

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ – ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ****Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών****«Πληροφορική»****Μεταπτυχιακή Διατριβή**

Τίτλος Διατριβής	Ανάπτυξη Δυναμικών και Συναισθηματικά Ανταποκρινόμενων NPCs στην Unreal Engine 5 Χρησιμοποιώντας Δέντρα Προσαρμοστικής Συμπεριφοράς Developing Dynamic and Emotionally Responsive NPCs in Unreal Engine 5 Using Adaptive Behavior Trees
Όνοματεπώνυμο Φοιτητή	Αικατερίνη Κωσταρέλου
Πατρώνυμο	Νικόλαος
Αριθμός Μητρώου	ΜΠΠΛ20041
Επιβλέπων	Ευθύμιος Αλέπης, Καθηγητής

Ημερομηνία Παράδοσης **Σεπτέμβριος 2024**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Ευθύμιος Αλέπης,
Καθηγητής

Βίρβου Μαρία,
Καθηγήτρια

Κωνσταντίνα Χρυσafiάδη,
Επίκουρη Καθηγήτρια

Περίληψη

Αυτή η διατριβή εξετάζει την ανάπτυξη δυναμικών και συναισθηματικά ανταποκρινόμενων NPCs στην Unreal Engine 5.4, με έμφαση στη χρήση προσαρμοστικών δέντρων συμπεριφοράς. Ο πρωταρχικός στόχος είναι η βελτίωση του ρεαλισμού και της εμπλοκής των NPCs με την ενσωμάτωση συναισθηματικών αντιδράσεων στη συμπεριφορά τους, επιτρέποντάς τους να ανταποκρίνονται δυναμικά στις αλληλεπιδράσεις των παικτών και στις περιβαλλοντικές αλλαγές. Αξιοποιώντας τις προηγμένες δυνατότητες τεχνητής νοημοσύνης της Unreal Engine, η παρούσα έρευνα εισάγει ένα πλαίσιο όπου οι NPCs μπορούν να προσαρμόζονται τόσο τις ενέργειες όσο και τα συναισθήματά τους σε πραγματικό χρόνο με βάση το πλαίσιο του παιχνιδιού.

Βασική συνεισφορά αυτής της εργασίας είναι η δημιουργία μιας μεθοδολογίας που χρησιμοποιεί προσαρμοστικά δέντρα συμπεριφοράς για να επιτρέπει στους NPCs να επιδεικνύουν ένα ευρύ φάσμα συναισθηματικών αντιδράσεων, όπως φόβο, θυμό ή χαρά, ανάλογα με τις περιστάσεις. Αυτές οι συναισθηματικά πολύπλοκες συμπεριφορές ενισχύουν σημαντικά τη ροή, την αληθοφάνεια και τη συνολική εμπύθιση της εμπειρίας του παιχνιδιού. Τα ευρήματα καταδεικνύουν ότι η προσέγγιση αυτή όχι μόνο βελτιώνει τη δέσμευση των παικτών αλλά και ανοίγει νέες δυνατότητες για τη δημιουργία πιο αληθοφανών και διαδραστικών χαρακτήρων στη μελλοντική ανάπτυξη παιχνιδιών. Συνολικά, η παρούσα διατριβή προσφέρει πολύτιμες γνώσεις σχετικά με την ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης και του συναισθηματικού υπολογισμού, συμβάλλοντας στην πρόοδο της συμπεριφοράς των NPCs και του σχεδιασμού παιχνιδιών.

Abstract

This thesis examines the development of dynamic and emotionally responsive Non-Playable Characters (NPCs) in Unreal Engine 5.4, with a focus on the use of adaptive behavior trees. The primary objective is to improve the realism and engagement of NPCs by integrating emotional reactions into their behavior, allowing them to respond dynamically to players' interactions and environmental changes. Leveraging Unreal Engine's advanced AI capabilities, this research introduces a framework where NPCs can adjust both their actions and emotions in real time based on the context of the game.

A key contribution of this work is the creation of a methodology that uses adaptive behavior trees to enable NPCs to exhibit a wide range of emotional responses, such as fear, anger, or joy, depending on the circumstances. These emotionally complex behaviors significantly enhance the fluidity, believability, and overall immersion of the gaming experience. The findings demonstrate that this approach not only improves players' engagement but also opens new possibilities for creating more lifelike and interactive characters in future game development. Overall, this thesis offers valuable insights into the integration of AI and emotional computing, contributing to the advancement of NPC behavior and game design.

Περιεχόμενα

Περίληψη	3
Abstract	3
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	9
1.1 Εισαγωγή	9
1.1.1 Επισκόπηση του θέματος της διατριβής.....	9
1.1.2 Η σημασία της ανάπτυξης των NPCs στα σύγχρονα παιχνίδια.....	9
1.1.2.1 NPCs και εμπύθιση των παικτών.....	9
1.1.2.2 NPCs και αφηγηματική ανάπτυξη	10
1.1.3 Στόχοι και πεδίο εφαρμογής της έρευνας.....	10
1.1.3.1 Κύριοι στόχοι	10
1.1.3.2 Πεδίο εφαρμογής της έρευνας	11
1.1.4 Ο ρόλος των NPCs στην εμπύθιση και την αφήγηση	11
1.1.4.1 Ενίσχυση της εμπύθισης μέσω της συμπεριφοράς των NPCs	11
1.1.4.2 Οι NPCs ως αφηγηματικές συσκευές.....	11
1.2 Ιστορικό	12
1.2.1 Ιστορική εξέλιξη των NPCs	12
1.2.1.1 Πρώιμοι NPCs: Συμπεριφορές με σενάριο	12
1.2.1.2 Η άνοδος των σύνθετων NPCs: Προγράμματα, ρουτίνες και βασική τεχνητή νοημοσύνη	12
1.2.1.3 Σύγχρονοι NPCs: Συμπεριφορές προσαρμογής και συναισθηματικό βάθος ..	13
1.2.2 Ο ρόλος των NPCs στην εμπύθιση και την αφήγηση	14
1.2.2.1 Οι NPCs ως μέσα εμπύθισης.....	14
1.2.2.2 Οι NPCs ως αφηγηματικά οχήματα.....	14
1.2.3 Τεχνολογικές εξελίξεις στην Τεχνητή Νοημοσύνη των παιχνιδιών	14
1.2.3.1 Η άνοδος των δέντρων συμπεριφοράς και των συστημάτων βάσει χρησιμότητας	14
1.2.3.2 Μηχανική μάθηση και προσαρμοστικοί NPCs	15
1.2.3.3 Συναισθηματική Υπολογιστική και Συναισθηματική Τεχνητή Νοημοσύνη.....	15
1.3 Δήλωση του προβλήματος.....	16
1.3.1 Περιορισμοί των παραδοσιακών μοντέλων NPC	16
1.3.1.1 Στατικές και σεναριακές συμπεριφορές	16
1.3.1.2 Έλλειψη ρεαλισμού και συναισθηματικού βάθους	16
1.3.2 Προκλήσεις στη δυναμική συμπεριφορά των NPCs	17
1.3.2.1 Προσαρμογή σε πραγματικό χρόνο και λήψη αποφάσεων	17

1.3.2.2	Επεκτασιμότητα και συνέπεια σε μεγάλους κόσμους παιχνιδιών	17
1.3.3	Η ανάγκη συναισθηματικής ανταπόκρισης των NPCs	18
1.3.3.1	Ενίσχυση της δέσμευσης των παικτών μέσω της συναισθηματικής τεχνητής νοημοσύνης.....	18
1.3.3.2	Ενσωμάτωση των συναισθηματικών μοντέλων με την προσαρμοστική συμπεριφορά	18
1.4	Στόχοι της έρευνας.....	19
1.4.1	Κύριος στόχος	19
1.4.2	Ειδικοί στόχοι.....	20
1.4.2.1	Στόχος 1: Ανάλυση των τρεχουσών τεχνικών ανάπτυξης NPCs	20
1.4.2.2	Στόχος 2: Σχεδιασμός και εφαρμογή δέντρων προσαρμοστικής συμπεριφοράς	20
1.4.2.3	Στόχος 3: Ενσωμάτωση της συναισθηματικής ανταπόκρισης στη συμπεριφορά των NPC.....	20
1.4.2.4	Στόχος 4: Αξιολόγηση της συμπεριφοράς των NPCs και της εμπειρίας των παικτών.....	21
Κεφάλαιο 2:	Βιβλιογραφική ανασκόπηση	22
2.1	Εισαγωγή	22
2.1.1	Σκοπός της βιβλιογραφικής ανασκόπησης.....	22
2.1.2	Επισκόπηση των σχετικών ερευνητικών πεδίων	22
2.1.2.1	Εξέλιξη των NPCs στα βιντεοπαιχνίδια	22
2.1.2.2	Προσαρμοστικά μοντέλα συμπεριφοράς	23
2.1.2.3	Συναισθηματική τεχνητή νοημοσύνη και συναισθηματική υπολογιστική	23
2.1.2.4	Εμπειρία παικτών και εμπύθιση.....	23
2.2	Εξέλιξη των NPCs στα βιντεοπαιχνίδια.....	24
2.2.1	Πρώιμοι NPCs: Απλές, σεναριακές οντότητες.....	24
2.2.1.1	Οι απαρχές: NPCs στα παιχνίδια arcade και στα πρώτα παιχνίδια κονσόλας .	24
2.2.1.2	Σεναριακοί NPCs στα πρώιμα παιχνίδια ρόλων και παιχνίδια περιπέτειας	24
2.2.1.3	Οι περιορισμοί των πρώτων NPCs.....	25
2.2.2	Η άνοδος των σύνθετων συμπεριφορών των NPCs	26
2.2.2.1	Η έλευση των NPCs με τεχνητή νοημοσύνη τη δεκαετία του 1990	26
2.2.2.2	Δέντρα συμπεριφοράς.....	26
2.2.2.3	Τεχνητή νοημοσύνη βάσει χρησιμότητας: Εξισορροπητικές αποφάσεις για NPCs.....	27
2.2.2.4	Συναισθηματική τεχνητή νοημοσύνη και ο ρόλος των NPCs στην αφήγηση και την εμπύθιση	28

2.2.3 Σύγχρονες τάσεις στην ανάπτυξη NPCs	28
2.2.3.1 Μηχανική μάθηση και προσαρμοστικοί NPCs	28
2.2.3.2 Συναισθηματική τεχνητή νοημοσύνη και συναισθηματική υπολογιστική	29
2.2.3.3 Διαδικαστική παραγωγή περιεχομένου και ποικιλομορφία NPCs	30
2.3 Μοντέλα συμπεριφοράς με βάση την τεχνητή νοημοσύνη για NPCs	30
2.3.1 Μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων	30
2.3.1.1 Βασικές αρχές των μηχανών πεπερασμένων καταστάσεων	30
2.3.1.2 Εφαρμογές στην τεχνητή νοημοσύνη των πρώτων παιχνιδιών	31
2.3.1.3 Περιορισμοί και προκλήσεις	32
2.3.2 Δέντρα συμπεριφοράς	33
2.3.2.1 Δομή και λειτουργία των δέντρων συμπεριφοράς	33
2.3.2.2 Πλεονεκτήματα έναντι των μηχανών πεπερασμένων καταστάσεων	34
2.3.2.3 Παραλλαγές: Δέντρα συμπεριφοράς βάσει χρησιμότητας	35
2.3.3 Συστήματα βάσει χρησιμότητας	37
2.3.3.1 Βασικές αρχές της λήψης αποφάσεων βάσει χρησιμότητας	37
2.3.3.2 Εφαρμογές στη συμπεριφορά των NPCs	38
2.3.3.3 Εξισορρόπηση των λειτουργιών χρησιμότητας	39
2.3.4 Προσεγγίσεις μηχανικής μάθησης	41
2.3.4.1 Ενισχυτική μάθηση για NPCs	41
2.3.4.2 Νευρωνικά δίκτυα και τεχνητή νοημοσύνη στα παιχνίδια	42
2.3.4.3 Γενετικοί αλγόριθμοι και εξελικτικά μοντέλα	44
2.4 Συναισθηματική ανταπόκριση των NPCs	46
2.4.1 Συναισθηματική υπολογιστική και μοντέλα συναισθημάτων	47
2.4.1.1 Διακριτά μοντέλα συναισθημάτων	47
2.4.1.2 Διαστατικά μοντέλα συναισθημάτων	48
2.4.1.3 Μοντέλα βασισμένα στην αξιολόγηση	50
2.4.2 Εφαρμογή της συναισθηματικής ανταπόκρισης στους NPCs	52
2.4.2.1 Ενσωμάτωση με δέντρα συμπεριφοράς	52
2.4.2.2 Συστήματα βάσει χρησιμότητας και το συναισθηματικό πλαίσιο	53
2.4.2.3 Μηχανική μάθηση και προσαρμοστικές συναισθηματικές αντιδράσεις	55
2.4.3 Επίδραση της συναισθηματικής ανταπόκρισης στην εμπειρία του παίκτη	57
2.4.3.1 Ενίσχυση της εμπύθισης μέσω συναισθηματικά ευαίσθητων NPCs	57
2.4.3.2 Συμμετοχή των παικτών και λήψη αποφάσεων	58
2.4.3.3 Προκλήσεις και προβληματισμοί	59

Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογία	61
3.1 Σχεδιασμός της έρευνας.....	61
3.1.1 Επισκόπηση της ερευνητικής προσέγγισης	61
3.1.2 Αιτιολόγηση της επιλεγμένης μεθοδολογίας.....	62
3.2 Εργαλεία και τεχνολογίες.....	63
3.3 Εφαρμογή των δέντρων προσαρμοστικής συμπεριφοράς	63
3.3.1 Σχεδιασμός και δομή	63
3.3.2 Ενσωμάτωση με συστήματα NPC	66
3.3.3 Δοκιμές και βελτιστοποίηση.....	68
3.4 Ενσωμάτωση της συναισθηματικής ανταπόκρισης	71
3.4.1 Ανάπτυξη συναισθηματικών μοντέλων	71
3.4.2 Συναισθηματικά ερεθίσματα και αντιδράσεις.....	73
3.4.3 Δοκιμή συναισθηματικών αντιδράσεων.....	77
3.5 Συλλογή και ανάλυση δεδομένων.....	79
3.5.1 Ρύθμιση δοκιμών χρήστη.....	80
3.5.2 Μέθοδοι συλλογής δεδομένων.....	80
3.5.3 Τεχνικές ανάλυσης δεδομένων	81
Κεφάλαιο 4: Εφαρμογή και σχεδιασμός.....	83
4.1 Αρχιτεκτονική συστήματος.....	83
4.2 Επιλογές σχεδιασμού	85
4.2.1 Σχεδιασμός συμπεριφοράς των NPCs	85
4.3 Προκλήσεις και λύσεις.....	88
4.3.1 Τεχνικές προκλήσεις	88
4.3.2 Προκλήσεις σχεδιασμού	89
4.3.3 Επαναληπτική ανάπτυξη	90
Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα και συζήτηση	92
5.1 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων	92
5.1.1 Ποσοτικά και ποιοτικά δεδομένα.....	92
5.2 Ανάλυση των αποτελεσμάτων	93
5.2.1 Σύγκριση των συμπεριφορών των NPCs και των επιπτώσεων στην εμπειρία του παίκτη	93
5.2.2 Τεχνικές επιδόσεις	95
5.3 Σύγκριση με τις υπάρχουσες εργασίες	95
5.3.1 Συγκριτική αξιολόγηση με βάση τα πρότυπα του κλάδου και ακαδημαϊκές συγκρίσεις.....	96

5.4 Συνέπειες της έρευνας	98
5.4.1 Συνέπειες για τον σχεδιασμό παιχνιδιών και την ανάπτυξη TN.....	98
5.5 Περιορισμοί της μελέτης	99
5.5.1 Συνδυασμένοι τεχνικοί και μεθοδολογικοί περιορισμοί	100
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα	101
6.1 Σύνοψη των ευρημάτων.....	101
6.2 Συμβολή στον τομέα	102
6.3 Συστάσεις και μελλοντικές εργασίες.....	103
6.3.1 Περιορισμοί και συστάσεις	103
6.3.2 Μελλοντικές εργασίες.....	103
Αναφορές	104

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή

1.1.1 Επισκόπηση του θέματος της διατριβής

Η ανάπτυξη των Non-Playable Characters (NPCs) στα βιντεοπαιχνίδια έχει εξελιχθεί σημαντικά, καθώς από απλές, προκαθορισμένες οντότητες έχουν εξελιχθεί σε σύνθετους, διαδραστικούς παράγοντες που συμβάλλουν στο βάθος και στην εμπύθιση στον κόσμο του παιχνιδιού. Η παρούσα διατριβή διερευνά την ανάπτυξη δυναμικών και συναισθηματικά ανταποκρινόμενων NPCs στο πλαίσιο της Unreal Engine 5.4, εστιάζοντας στη χρήση προσαρμοστικών δέντρων συμπεριφοράς. Η κεντρική υπόθεση αυτής της έρευνας είναι ότι η ενσωμάτωση προσαρμοστικών δέντρων συμπεριφοράς και συναισθηματικής ανταπόκρισης στους NPCs μπορεί να ενισχύσει σημαντικά την εμπύθιση και τη δέσμευση των παικτών.

Η Unreal Engine 5 προσφέρει μια προηγμένη πλατφόρμα για την έρευνα αυτή λόγω των πρωτοποριακών χαρακτηριστικών της, όπως η Chaos Physics για ρεαλιστικές προσομοιώσεις, η εικονική γεωμετρία Nanite για λεπτομερή περιβάλλοντα και ο παγκόσμιος φωτισμός Lumen για δυναμικό φωτισμό και σκιές (Epic Games, 2021). Αυτά τα χαρακτηριστικά επιτρέπουν τη δημιουργία εξαιρετικά λεπτομερών και ευέλικτων κόσμων στα παιχνίδια, καθιστώντας την Unreal Engine 5 ιδανική πλατφόρμα για την ανάπτυξη εξελιγμένων συμπεριφορών NPCs.

Ο πρωταρχικός στόχος αυτής της έρευνας είναι να διερευνήσει πώς μπορούν να σχεδιαστούν οι NPCs ώστε να προσαρμόζουν δυναμικά τη συμπεριφορά τους με βάση τα περιβαλλοντικά ερεθίσματα και τις αλληλεπιδράσεις των παικτών σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον, η έρευνα διερευνά πώς αυτοί οι NPCs μπορούν να επιδεικνύουν μια σειρά συναισθηματικών αντιδράσεων, ενισχύοντας την αξιοπιστία τους και τη συνολική αφηγηματική εμπειρία του παιχνιδιού. Η εφαρμογή των προσαρμοστικών δέντρων συμπεριφοράς, γνωστών για την ευελιξία και την επεκτασιμότητά τους στο σχεδιασμό παιχνιδιών με βάση την τεχνητή νοημοσύνη, αποτελεί κεντρικό στοιχείο αυτής της διερεύνησης (Millington & Funge, 2016).

1.1.2 Η σημασία της ανάπτυξης των NPCs στα σύγχρονα παιχνίδια

1.1.2.1 NPCs και εμπύθιση των παικτών

Οι NPCs είναι αναπόσπαστο κομμάτι της εμπειρίας του παιχνιδιού, καθώς χρησιμεύουν ως βασικά συστατικά της αφήγησης του παιχνιδιού, προσφέροντας αποστολές, παρέχοντας περιεχόμενο και αλληλεπιδρώντας ουσιαστικά με τους παίκτες. Στα σύγχρονα βιντεοπαιχνίδια, η εμπύθιση είναι ένα κρίσιμο στοιχείο, που συχνά ορίζεται από την ικανότητα των παικτών να απορροφηθούν πλήρως στον κόσμο του παιχνιδιού. Οι NPCs παίζουν καθοριστικό ρόλο σε αυτή την εμπύθιση, καθώς κατοικούν τον κόσμο του παιχνιδιού και δημιουργούν μια αίσθηση ζωής και συνέχειας που εκτείνεται πέρα από τις άμεσες ενέργειες των παικτών.

Η εμπύθιση μπορεί να διαταραχθεί όταν οι NPCs επιδεικνύουν συμπεριφορές που δεν συνάδουν με το περιβάλλον ή την αφήγηση του παιχνιδιού. Για παράδειγμα, ένας NPC σε ένα μεσαιωνικό παιχνίδι φαντασίας μπορεί να φανεί παράταιρος αν αντιδρά στους παίκτες με τρόπο που δεν ευθυγραμμίζεται με την καθιερωμένη ιστορία ή το περιβάλλον. Τα δέντρα προσαρμοστικής συμπεριφοράς μπορούν να αντιμετωπίσουν αυτό το ζήτημα επιτρέποντας στους NPCs να τροποποιούν τη συμπεριφορά τους δυναμικά με βάση την εξελισσόμενη κατάσταση του παιχνιδιού και τις ενέργειες των παικτών, διατηρώντας έτσι την ψευδαίσθηση ενός ζωντανού κόσμου (Isla, 2005).

Η συναισθηματική ανταπόκριση των NPCs συμβάλλει περαιτέρω στην εμπύθιση κάνοντας τις αλληλεπιδράσεις πιο αληθοφανείς και ελκυστικές. Όταν ένας NPC ανταποκρίνεται στις ενέργειες των παικτών με τις κατάλληλες συναισθηματικές αντιδράσεις - όπως φόβος όταν απειλείται ή χαρά όταν βοηθιέται -, οι παίκτες είναι πιο πιθανό να αντιληφθούν τον NPC ως μια ζωντανή οντότητα και όχι ως ένα αντικείμενο σεναρίου. Οι συναισθηματικές αντιδράσεις των NPCs μπορούν να επιτευχθούν μέσω της ενσωμάτωσης τεχνικών συναισθηματικής υπολογιστικής, επιτρέποντας στους NPCs να επεξεργάζονται και να αντιδρούν στα συναισθηματικά σήματα των παικτών (Picard, 1997).

1.1.2.2 NPCs και αφηγηματική ανάπτυξη

Στα παιχνίδια που βασίζονται στην αφήγηση, οι NPCs συχνά χρησιμεύουν ως τα κύρια οχήματα για την αφήγηση. Παρέχουν στους παίκτες πλαίσιο, στόχους και κίνητρα, καθιστώντας την αφήγηση πιο καθηλωτική και διαδραστική. Παιχνίδια όπως το *The Witcher 3: Wild Hunt* και το *Red Dead Redemption 2* έχουν θέσει σημεία αναφοράς στον κλάδο δημιουργώντας NPCs που είναι βαθιά ενσωματωμένοι στην ιστορία του παιχνιδιού, ο καθένας με μοναδική ιστορία, προσωπικότητα και ρόλο μέσα στην αφήγηση (Meikleham, 2018).

Η επιτυχία αυτών των παιχνιδιών υπογραμμίζει τη σημασία των NPCs στην ανάπτυξη της αφήγησης. Για παράδειγμα, στο *The Witcher 3: Wild Hunt*, οι NPCs όχι μόνο παρέχουν αποστολές αλλά και αντιδρούν δυναμικά στις επιλογές των παικτών, οδηγώντας σε διαφορετικά αφηγηματικά αποτελέσματα. Αυτή η δυναμική αλληλεπίδραση είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση της δέσμευσης των παικτών για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Τα δέντρα προσαρμοστικής συμπεριφοράς είναι απαραίτητα σε αυτό το πλαίσιο, καθώς επιτρέπουν στους NPCs να επιδεικνύουν συμπεριφορές που εξαρτώνται από το πλαίσιο και ευθυγραμμίζονται με την εξέλιξη της ιστορίας, ενισχύοντας έτσι το αφηγηματικό βάθος του παιχνιδιού (Millington & Funge, 2016).

Επιπλέον, οι συναισθηματικές καταστάσεις των NPCs μπορούν να συνδεθούν στενά με την αφήγηση, επηρεάζοντας τον τρόπο με τον οποίο αλληλεπιδρούν με τους παίκτες. Για παράδειγμα, ένας NPC που έχει βιώσει απώλεια ή δυσκολίες μέσα στην ιστορία του παιχνιδιού μπορεί να εμφανίσει σημάδια θλίψης ή θυμού, τα οποία μπορούν να επηρεάσουν τον διάλογο και τις ενέργειές του. Αυτές οι συναισθηματικά φορτισμένες αλληλεπιδράσεις μπορούν να προσθέσουν επίπεδα πολυπλοκότητας στην αφήγηση, κάνοντας τον κόσμο του παιχνιδιού να μοιάζει πιο αυθεντικός και την ιστορία πιο συναρπαστική (Scherer, 2001).

1.1.3 Στόχοι και πεδίο εφαρμογής της έρευνας

1.1.3.1 Κύριοι στόχοι

Ο πρωταρχικός στόχος αυτής της διατριβής είναι η ανάπτυξη ενός πλαισίου για τη δημιουργία δυναμικών και συναισθηματικά ευαίσθητων NPCs με τη χρήση προσαρμοστικών δέντρων συμπεριφοράς στην Unreal Engine 5.4. Αυτή η έρευνα στοχεύει να αποδείξει ότι οι NPCs που σχεδιάζονται με αυτές τις προηγμένες τεχνικές μπορούν να προσφέρουν μια πιο καθηλωτική και ελκυστική εμπειρία στους παίκτες, αντιδρώντας σε πραγματικό χρόνο στις περιβαλλοντικές αλλαγές και στις ενέργειες των παικτών.

Για την επίτευξη αυτού του γενικού στόχου, η έρευνα θα επικεντρωθεί σε διάφορους ειδικούς στόχους:

- **Στόχος 1:** Ανάλυση της τρέχουσας κατάστασης της ανάπτυξης των NPCs στα βιντεοπαιχνίδια, ιδίως των μοντέλων που καθοδηγούνται από την τεχνητή νοημοσύνη και υπαγορεύουν τη συμπεριφορά τους. Η ανάλυση αυτή θα εντοπίσει τους περιορισμούς των υφιστάμενων μοντέλων και θα αναδείξει τις δυνατότητες των δέντρων προσαρμοστικής συμπεριφοράς για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων (Yannakakis & Togelius, 2018).
- **Στόχος 2:** Σχεδιασμός και υλοποίηση προσαρμοστικών δέντρων συμπεριφοράς που επιτρέπουν στους NPCs να προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους με βάση την εξελισσόμενη κατάσταση του παιχνιδιού. Αυτό περιλαμβάνει την ανάπτυξη ενός αρθρωτού συστήματος στο πλαίσιο της Unreal Engine 5.4 που μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί σε διαφορετικούς τύπους NPCs και σενάρια παιχνιδιού (Millington & Funge, 2016).
- **Στόχος 3:** Ενσωμάτωση της συναισθηματικής ανταπόκρισης στη συμπεριφορά των NPCs, χρησιμοποιώντας τεχνικές συναισθηματικής υπολογιστικής για την προσομοίωση μιας σειράς συναισθημάτων που επηρεάζουν τη λήψη αποφάσεων και την αλληλεπίδραση των NPCs με τους παίκτες. Αυτό θα περιλαμβάνει τη δημιουργία συναισθηματικών μοντέλων που θα μπορούν να ενσωματωθούν σε δέντρα συμπεριφοράς, επιτρέποντας στους NPCs να εκδηλώνουν συναισθήματα όπως φόβο, θυμό και ευτυχία ως απάντηση στις ενέργειες των παικτών (Picard, 1997).

- **Στόχος 4:** Αξιολόγηση του αντίκτυπου αυτών των προηγμένων συμπεριφορών των NPCs στην εμπύθιση και την εμπλοκή των παικτών μέσω δοκιμών και ανατροφοδότησης από τους χρήστες. Αυτός ο στόχος επιδιώκει να καθορίσει εάν το προτεινόμενο πλαίσιο βελτιώνει την εμπειρία των παικτών σε σύγκριση με τα παραδοσιακά μοντέλα συμπεριφοράς NPCs (Meikleham, 2018).

1.1.3.2 Πεδίο εφαρμογής της έρευνας

Αυτή η έρευνα επικεντρώνεται κυρίως στη διερεύνηση των δυνατοτήτων της Unreal Engine 5.4 για την ανάπτυξη NPCs που είναι δυναμικά και συναισθηματικά ευαίσθητοι. Αν και τα ευρήματα μπορεί να είναι εφαρμόσιμα και σε άλλες μηχανές παιχνιδιών, η έρευνα θα επικεντρωθεί στην Unreal Engine 5.4 λόγω των προηγμένων χαρακτηριστικών τεχνητής νοημοσύνης και της ευρείας χρήσης της στη βιομηχανία.

Η έρευνα θα διεξαχθεί στο πλαίσιο αφηγηματικών παιχνιδιών και παιχνιδιών ανοικτού κόσμου, όπου η συμπεριφορά των NPCs παίζει κρίσιμο ρόλο στη διαμόρφωση της εμπειρίας των παικτών. Οι NPCs που θα αναπτυχθούν στο πλαίσιο αυτής της έρευνας θα σχεδιαστούν για να λειτουργούν σε διάφορα σενάρια του παιχνιδιού, επιτρέποντας μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς τους.

Η μελέτη θα εξετάσει επίσης τις τεχνικές προκλήσεις που σχετίζονται με την εφαρμογή δέντρων προσαρμοστικής συμπεριφοράς και συναισθηματικής ανταπόκρισης σε παιχνίδια μεγάλης κλίμακας. Οι προκλήσεις αυτές περιλαμβάνουν τη βελτιστοποίηση των επιδόσεων, την επεκτασιμότητα και την επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο, οι οποίες είναι κρίσιμες για να διασφαλιστεί ότι οι NPCs μπορούν να λειτουργούν αποτελεσματικά σε ένα πολύπλοκο περιβάλλον παιχνιδιού (Yannakakis & Togelius, 2018).

1.1.4 Ο ρόλος των NPCs στην εμπύθιση και την αφήγηση

1.1.4.1 Ενίσχυση της εμπύθισης μέσω της συμπεριφοράς των NPCs

Η εμπύθιση είναι μια από τις πιο περιζήτητες ιδιότητες στα σύγχρονα βιντεοπαιχνίδια, καθώς σχετίζεται άμεσα με την απόλαυση και τη δέσμευση των παικτών. Οι NPCs συμβάλλουν σημαντικά στην εμπύθιση, κάνοντας τον κόσμο του παιχνιδιού να μοιάζει ζωντανός και διαδραστικός. Η συμπεριφορά των NPCs, ιδίως η ικανότητά τους να ανταποκρίνονται δυναμικά στους παίκτες και το περιβάλλον, είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση της εμπύθισης.

Τα δέντρα προσαρμοστικής συμπεριφοράς παρέχουν ένα πλαίσιο για τους NPCs να παρουσιάζουν πιο σύνθετες συμπεριφορές που ανταποκρίνονται στις ενέργειες των παικτών. Για παράδειγμα, ένας NPC μπορεί να αλλάζει τη ρουτίνα του ανάλογα με την ώρα της ημέρας στο παιχνίδι ή να αντιδρά στη φήμη των παικτών στον κόσμο του παιχνιδιού. Αυτό το επίπεδο ανταπόκρισης συμβάλλει στη δημιουργία μιας πιο συνεκτικής και καθηλωτικής εμπειρίας, καθώς οι NPCs φαίνεται να έχουν επίγνωση των γεγονότων του παιχνιδιού και να επηρεάζονται από αυτά (Millington & Funge, 2016).

Επιπλέον, η ενσωμάτωση της συναισθηματικής ανταπόκρισης στη συμπεριφορά των NPCs ενισχύει την εμπύθιση κάνοντας τις αλληλεπιδράσεις πιο πιστευτές. Όταν οι NPCs αντιδρούν συναισθηματικά στις ενέργειες των παικτών, όπως εκφράζοντας φόβο όταν απειλούνται ή δείχνοντας ευγνωμοσύνη όταν βοηθούνται, ενισχύεται η αίσθηση των παικτών ότι αποτελούν μέρος ενός ζωντανού, αντιδραστικού κόσμου. Αυτό το συναισθηματικό βάθος είναι ζωτικής σημασίας για τη δημιουργία NPCs που είναι κάτι περισσότερο από απλοί χαρακτήρες υποβάθρου - γίνονται αναπόσπαστο κομμάτι της εμπειρίας των παικτών και της αφήγησης (Scherer, 2001).

1.1.4.2 Οι NPCs ως αφηγηματικές συσκευές

Σε πολλά παιχνίδια, οι NPCs είναι το κύριο μέσο αφήγησης της ιστορίας. Παρέχουν πλαίσιο, πληροφορίες υποβάθρου και προωθούν την αφήγηση μέσω των αλληλεπιδράσεών τους με τους παίκτες. Παιχνίδια όπως το Mass Effect και το The Elder Scrolls V: Skyrim έχουν καταδείξει τη δύναμη των NPCs ως αφηγηματικών μέσων, όπου η ιστορία εκτυλίσσεται όχι μόνο μέσω σκηνών ή διαλόγων, αλλά μέσω των αλληλεπιδράσεων των παικτών με τους χαρακτήρες στον κόσμο του παιχνιδιού (Yannakakis & Togelius, 2018).

Η χρήση δέντρων προσαρμοστικής συμπεριφοράς στην ανάπτυξη NPCs επιτρέπει πιο δυναμική αφήγηση. Οι NPCs μπορούν να αλλάξουν τον διάλογο, τις ενέργειες και τις συμπεριφορές τους με βάση τις επιλογές των παικτών, οδηγώντας σε διαφορετικά αφηγηματικά αποτελέσματα. Αυτή η δυναμική αλληλεπίδραση είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της δέσμευσης των παικτών, καθώς επιτρέπει μια πιο εξατομικευμένη και μοναδική αφηγηματική εμπειρία. Για παράδειγμα, αν η συμπεριφορά ενός NPC αλλάζει με βάση τις ηθικές επιλογές των παικτών, μπορεί να οδηγήσει σε μια διακλαδισμένη ιστορία που αντανάκλα τις ενέργειες των παικτών, καθιστώντας την αφήγηση πιο εντυπωσιακή και καθηλωτική (Isla, 2005).

Επιπλέον, με την ενσωμάτωση συναισθηματικών μοντέλων σε αυτά τα δέντρα συμπεριφοράς, οι NPCs μπορούν να παρουσιάζουν συναισθήματα που ευθυγραμμίζονται με την εξέλιξη της αφήγησης, προσθέτοντας ένα ακόμη επίπεδο βάθους στην ιστορία. Για παράδειγμα, ένας NPC μπορεί να ξεκινήσει το παιχνίδι ως πιστός σύμμαχος, αλλά σταδιακά να γίνει δύσπιστος ή εχθρικός αν οι ενέργειες των παικτών έρχονται σε σύγκρουση με τους στόχους ή τις αξίες του. Αυτές οι συναισθηματικές αλλαγές μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την αφήγηση, δημιουργώντας μια πιο σύνθετη και ελκυστική ιστορία (Scherer, 2001).

1.2 Ιστορικό

1.2.1 Ιστορική εξέλιξη των NPCs

1.2.1.1 Πρώιμοι NPCs: Συμπεριφορές με σενάριο

Η έννοια των Non-Playable Characters (NPCs) αποτελεί αναπόσπαστο μέρος του σχεδιασμού των βιντεοπαιχνιδιών από την αρχή της βιομηχανίας. Οι πρώτοι NPCs περιορίζονταν συνήθως σε απλές, προ-προγραμματισμένες συμπεριφορές που εξυπηρετούσαν συγκεκριμένες λειτουργίες του παιχνιδιού. Ένα από τα παλαιότερα παραδείγματα NPCs βρίσκεται στο arcade παιχνίδι Pac-Man (1980), όπου τα φαντάσματα λειτουργούσαν ως αντίπαλοι με προβλέψιμα μοτίβα κίνησης. Αυτοί οι NPCs λειτουργούσαν με βάση βασικούς αλγόριθμους που υπαγόρευαν τη συμπεριφορά τους, όπως το να ακολουθούν καθορισμένες διαδρομές ή να αντιδρούν στη θέση των παικτών μέσα στον λαβύρινθο.

Καθώς τα βιντεοπαιχνίδια εξελίσσονταν, το ίδιο συνέβαινε και με την πολυπλοκότητα των NPCs. Μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1980, παιχνίδια όπως το The Legend of Zelda (1986) εισήγαγαν NPCs που μπορούσαν να συμμετέχουν σε απλές αλληλεπιδράσεις με τους παίκτες, όπως η προσφορά αντικειμένων ή πληροφοριών με αντάλλαγμα το νόμισμα του παιχνιδιού. Ωστόσο, αυτοί οι NPCs εξακολουθούσαν να βασίζονται σε μεγάλο βαθμό σε σεναριακές συμπεριφορές, με περιορισμένη ικανότητα να αντιδρούν δυναμικά στις ενέργειες των παικτών. Ο πρωταρχικός τους ρόλος ήταν να παρέχουν βασική λειτουργικότητα στο παιχνίδι, όπως η εμπορία αγαθών ή η παροχή οδηγιών, αντί να συμβάλλουν σε μια βαθύτερη αφήγηση ή μια καθηλωτική εμπειρία.

Στα τέλη της δεκαετίας του 1980 και στις αρχές της δεκαετίας του 1990 σημειώθηκαν περαιτέρω πρόοδοι στο σχεδιασμό των NPCs, καθώς οι προγραμματιστές παιχνιδιών άρχισαν να εξερευνούν τις δυνατότητες της τεχνητής νοημοσύνης για τη δημιουργία πιο διαδραστικών και ελκυστικών χαρακτήρων. Παιχνίδια όπως το Ultima IV: Quest of the Avatar (1985) και το Final Fantasy (1987) περιείχαν NPCs που μπορούσαν να ανταποκριθούν σε διάφορες εισόδους των παικτών, όπως να απαντούν σε ερωτήσεις ή να αντιδρούν σε συγκεκριμένα αντικείμενα που είχαν στην κατοχή τους οι παίκτες. Παρά τις βελτιώσεις αυτές, οι περισσότερες συμπεριφορές των NPCs παρέμειναν σεναριακές και ντετερμινιστικές, με περιορισμένη ικανότητα προσαρμογής ή συναισθηματικού βάθους.

1.2.1.2 Η άνοδος των σύνθετων NPCs: Προγράμματα, ρουτίνες και βασική τεχνητή νοημοσύνη

Τα τέλη της δεκαετίας του 1990 και οι αρχές της δεκαετίας του 2000 σηματοδότησαν ένα σημαντικό σημείο καμπής στην εξέλιξη των NPCs, καθώς οι προγραμματιστές παιχνιδιών άρχισαν να ενσωματώνουν πιο σύνθετες συμπεριφορές με βάση την τεχνητή νοημοσύνη. Ένα από τα πιο αξιοσημείωτα παραδείγματα αυτής της περιόδου είναι το The Elder Scrolls III: Morrowind (2002), το οποίο εισήγαγε NPCs με καθημερινές ρουτίνες και προγράμματα, δημιουργώντας την ψευδαίσθηση ενός ζωντανού κόσμου που αναπνέει. Στο Morrowind, οι

NPCs έκαναν την καθημερινή τους ζωή - τρώνε, κοιμούνται, εργάζονται - ανεξάρτητα από την παρουσία των παικτών, κάνοντας τον κόσμο του παιχνιδιού να μοιάζει πιο δυναμικός και ρεαλιστικός.

Την περίοδο αυτή αναπτύχθηκαν επίσης πιο προηγμένα συστήματα διαλόγου, όπου οι NPCs μπορούσαν να συμμετέχουν σε διακλαδισμένες συζητήσεις με τους παίκτες. Παιχνίδια όπως το Baldur's Gate (1998) και το Planescape: Torment (1999) διέθεταν NPCs με πολύπλοκα δέντρα διαλόγων που επέτρεπαν στους παίκτες να εξερευνήσουν διαφορετικές αφηγηματικές διαδρομές ανάλογα με τις επιλογές τους. Αυτά τα συστήματα διαλόγου αντιπροσώπευαν μια σημαντική πρόοδο στο σχεδιασμό των NPCs, επιτρέποντας πιο διαδραστικές και καθοδηγούμενες από την ιστορία εμπειρίες.

Παρά τις εξελίξεις αυτές, οι συμπεριφορές των NPCs κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου εξακολουθούσαν να είναι κυρίως ντετερμινιστικές, με περιορισμένη ικανότητα προσαρμογής. Ενώ οι NPCs μπορούσαν να ακολουθούν σύνθετες ρουτίνες και να συμμετέχουν σε εξελιγμένο διάλογο, οι αντιδράσεις τους περιορίζονταν γενικά σε προκαθορισμένες επιλογές. Το επόμενο σημαντικό άλμα στην εξέλιξη των NPCs θα ερχόταν με την εισαγωγή των δέντρων συμπεριφοράς και των πιο προηγμένων τεχνικών τεχνητής νοημοσύνης, επιτρέποντας μεγαλύτερη προσαρμοστικότητα και πολυπλοκότητα στις συμπεριφορές των NPCs.

1.2.1.3 Σύγχρονοι NPCs: Συμπεριφορές προσαρμογής και συναισθηματικό βάθος

Στη σύγχρονη εποχή των παιχνιδιών, οι NPCs έχουν γίνει όλο και πιο πολύπλοκοι, χάρη στην ενσωμάτωση προηγμένων τεχνικών τεχνητής νοημοσύνης, όπως τα δέντρα συμπεριφοράς, τη λήψη αποφάσεων με συστήματα βάσει χρησιμότητας και τη μηχανική μάθηση. Αυτές οι εξελίξεις επέτρεψαν τη δημιουργία NPCs που μπορούν να προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους σε πραγματικό χρόνο με βάση διάφορες εισροές, συμπεριλαμβανομένων των ενεργειών των παικτών, των περιβαλλοντικών αλλαγών και του αφηγηματικού πλαισίου.

Τα δέντρα συμπεριφοράς, ειδικότερα, έχουν γίνει ένα τυπικό εργαλείο στην τεχνητή νοημοσύνη των παιχνιδιών, προσφέροντας μια αρθρωτή και κλιμακούμενη προσέγγιση στη συμπεριφορά των NPCs. Σε αντίθεση με τις μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων, οι οποίες βασίζονται σε μια σειρά προκαθορισμένων καταστάσεων και μεταβάσεων, τα δέντρα συμπεριφοράς χρησιμοποιούν μια ιεραρχική δομή όπου κάθε κόμβος αντιπροσωπεύει μια εργασία ή μια απόφαση. Αυτό επιτρέπει στους NPCs να αξιολογούν πολλαπλές συνθήκες και να επιλέγουν την καταλληλότερη ενέργεια με βάση την τρέχουσα κατάσταση του παιχνιδιού. Η αρθρωτή δομή των δέντρων συμπεριφοράς τα καθιστά επίσης εξαιρετικά προσαρμόσιμα, επιτρέποντας στους προγραμματιστές να τροποποιούν ή να επεκτείνουν εύκολα τις συμπεριφορές των NPCs ανάλογα με τις ανάγκες.

Εκτός από τις προσαρμοστικές συμπεριφορές, οι σύγχρονοι NPCs σχεδιάζονται όλο και περισσότερο ώστε να παρουσιάζουν συναισθηματικές αντιδράσεις, προσθέτοντας ένα ακόμη επίπεδο βάθους και ρεαλισμού στις αλληλεπιδράσεις τους με τους παίκτες. Παιχνίδια όπως το The Last of Us Part II (2020) διαθέτουν NPCs που μπορούν να αντιδράσουν συναισθηματικά στις ενέργειες των παικτών, όπως να εκφράσουν φόβο όταν απειλούνται ή θλίψη όταν σκοτώνεται ένας σύντροφος. Αυτές οι συναισθηματικές αντιδράσεις καθοδηγούνται συχνά από τεχνικές συναισθηματικής υπολογιστικής, οι οποίες επιτρέπουν στους NPCs να επεξεργάζονται και να αντιδρούν σε συναισθηματικές ενδείξεις από τους παίκτες και το περιβάλλον του παιχνιδιού.

Ο συνδυασμός προσαρμοστικής συμπεριφοράς και συναισθηματικής ανταπόκρισης αποτελεί σημαντική πρόοδο στο σχεδιασμό των NPCs, επιτρέποντας πιο καθηλωτικές και ελκυστικές εμπειρίες παιχνιδιού. Καθώς οι NPCs γίνονται πιο εξελιγμένοι, είναι όλο και περισσότερο σε θέση να χρησιμεύουν όχι μόνο ως λειτουργικά στοιχεία του κόσμου του παιχνιδιού, αλλά ως αναπόσπαστα συστατικά της αφήγησης και της εμπειρίας των παικτών.

1.2.2 Ο ρόλος των NPCs στην εμπύθιση και την αφήγηση

1.2.2.1 Οι NPCs ως μέσα εμπύθισης

Η εμπύθιση είναι ένας βασικός στόχος στο σχεδιασμό των σύγχρονων βιντεοπαιχνιδιών και οι NPCs παίζουν καθοριστικό ρόλο στην επίτευξη αυτού του στόχου. Η εμπύθιση αναφέρεται στην ικανότητα των παικτών να χάνονται μέσα στον κόσμο του παιχνιδιού και να εμπλέκονται πλήρως με το περιβάλλον, τους χαρακτήρες και την αφήγηση. Οι NPCs συμβάλλουν στην εμπύθιση με το να γεμίζουν τον κόσμο του παιχνιδιού με χαρακτήρες που αλληλεπιδρούν με τους παίκτες με ουσιαστικό τρόπο, δημιουργώντας μια αίσθηση ζωής και συνέχειας που εκτείνεται πέρα από τις άμεσες ενέργειες των παικτών.

Η ικανότητα των NPCs να αντιδρούν δυναμικά στους παίκτες και στο περιβάλλον είναι καθοριστική για τη διατήρηση της εμπύθισης. Για παράδειγμα, σε ένα παιχνίδι ανοικτού κόσμου, οι NPCs που κάνουν την καθημερινή τους ζωή - ψώνια, εργασία, κοινωνικοποίηση - ανεξάρτητα από την παρουσία των παικτών, συμβάλλουν στη δημιουργία της ψευδαίσθησης ενός ζωντανού κόσμου. Τα δέντρα προσαρμοστικής συμπεριφοράς επιτρέπουν στους NPCs να τροποποιούν τις ενέργειές τους ανάλογα με την ώρα της ημέρας, τη φήμη των παικτών ή τα πρόσφατα γεγονότα στο παιχνίδι, ενισχύοντας περαιτέρω αυτή την αίσθηση εμπύθισης.

Η συναισθηματική ανταπόκριση παίζει επίσης καθοριστικό ρόλο στην εμπύθιση. Όταν οι NPCs αντιδρούν συναισθηματικά στις ενέργειες των παικτών, όπως εκφράζοντας φόβο όταν απειλούνται ή χαρά όταν βοηθούνται, αυτό ενισχύει την αίσθηση των παικτών ότι αποτελούν μέρος ενός ζωντανού, διαδραστικού κόσμου. Αυτές οι συναισθηματικές αλληλεπιδράσεις είναι ιδιαίτερα σημαντικές σε παιχνίδια με αφηγηματικό χαρακτήρα, όπου η συναισθηματική εμπλοκή των παικτών με τους χαρακτήρες είναι κρίσιμη για τη συνολική εμπειρία.

1.2.2.2 Οι NPCs ως αφηγηματικά οχήματα

Σε πολλά βιντεοπαιχνίδια, οι NPCs είναι το κύριο μέσο μέσω του οποίου μεταφέρεται η ιστορία. Παρέχουν στους παίκτες πλαίσιο, στόχους και κίνητρα και οι αλληλεπιδράσεις τους με τους παίκτες προωθούν την αφήγηση. Παιχνίδια όπως το Mass Effect (2007) και το Red Dead Redemption 2 (2018) έχουν αποδείξει τη δύναμη των NPCs ως αφηγηματικών μέσων, όπου η ιστορία ξεδιπλώνεται μέσω των αλληλεπιδράσεων των παικτών με αυτούς τους χαρακτήρες.

Οι NPCs συμβάλλουν στην αφήγηση προσφέροντας αποστολές, παρέχοντας εξηγήσεις και αντιδρώντας στις επιλογές των παικτών με τρόπους που επηρεάζουν την κατεύθυνση της ιστορίας. Στο Mass Effect, για παράδειγμα, οι αλληλεπιδράσεις των παικτών με τους NPCs μπορούν να οδηγήσουν σε διαφορετικά αφηγηματικά αποτελέσματα, με τις επιλογές που γίνονται σε ένα παιχνίδι να επηρεάζουν τα γεγονότα των επόμενων παιχνιδιών της σειράς. Αυτό το επίπεδο αφηγηματικής πολυπλοκότητας καθίσταται εφικτό με τη χρήση προσαρμοστικών δέντρων συμπεριφοράς, τα οποία επιτρέπουν στους NPCs να ανταποκρίνονται δυναμικά στις αποφάσεις των παικτών, δημιουργώντας μια πιο εξατομικευμένη και ελκυστική αφηγηματική εμπειρία.

Εκτός από την προώθηση της αφήγησης, οι NPCs βοηθούν επίσης στη δημιουργία μιας αίσθησης συνέχειας και συνοχής στον κόσμο του παιχνιδιού. Αντιδρώντας με συνέπεια στις ενέργειες των παικτών και διατηρώντας τη συμπεριφορά τους σύμφωνη με την ιστορία και το περιβάλλον του παιχνιδιού, οι NPCs συμβάλλουν στην ενίσχυση της αφήγησης και κάνουν τον κόσμο του παιχνιδιού να φαίνεται πιο πιστευτός. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε παιχνίδια ανοικτού κόσμου, όπου η ελευθερία δράσης των παικτών απαιτεί η αφήγηση να είναι ευέλικτη και προσαρμοστική.

1.2.3 Τεχνολογικές εξελίξεις στην Τεχνητή Νοημοσύνη των παιχνιδιών

1.2.3.1 Η άνοδος των δέντρων συμπεριφοράς και των συστημάτων βάσει χρησιμότητας

Η ανάπτυξη των δέντρων συμπεριφοράς στα μέσα της δεκαετίας του 2000 αποτέλεσε σημαντική πρόοδο στην τεχνητή νοημοσύνη των παιχνιδιών, παρέχοντας μια πιο ευέλικτη και αρθρωτή προσέγγιση στη συμπεριφορά των NPCs. Σε αντίθεση με τις μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων, οι οποίες απαιτούσαν όλες οι πιθανές καταστάσεις και μεταβάσεις να είναι

προκαθορισμένες, τα δέντρα συμπεριφοράς επέτρεπαν πιο δυναμικές διαδικασίες λήψης αποφάσεων, επιτρέποντας στους NPCs να προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους ανάλογα με την κατάσταση του παιχνιδιού.

Τα δέντρα συμπεριφοράς έχουν γίνει έκτοτε ένα τυπικό εργαλείο στην ανάπτυξη παιχνιδιών, ιδίως για τη δημιουργία σύνθετων συμπεριφορών NPCs σε παιχνίδια ανοικτού κόσμου και παιχνίδια με αφηγηματικό χαρακτήρα. Η ιεραρχική δομή τους επιτρέπει στους προγραμματιστές να τροποποιούν ή να επεκτείνουν εύκολα τις συμπεριφορές των NPCs, καθιστώντας τα ιδιαίτερα προσαρμόσιμα σε διαφορετικά σενάρια παιχνιδιών. Για παράδειγμα, ένας NPC σε ένα παιχνίδι ανοικτού κόσμου μπορεί να χρησιμοποιεί ένα δέντρο συμπεριφοράς για να αποφασίσει πότε θα πάει στη δουλειά του, πότε θα αλληλεπιδράσει με τους παίκτες και πότε θα αμυνθεί από απειλές, όλα με βάση την τρέχουσα κατάσταση του παιχνιδιού.

Τα συστήματα βάσει χρησιμότητας αντιπροσωπεύουν μια άλλη σημαντική πρόοδο στην τεχνητή νοημοσύνη των παιχνιδιών, εστιάζοντας σε διαδικασίες λήψης αποφάσεων που βελτιστοποιούν τις ενέργειες του NPC με βάση ορισμένα κριτήρια. Σε ένα σύστημα βάσει χρησιμότητας, σε κάθε πιθανή ενέργεια αποδίδεται μια τιμή χρησιμότητας με βάση την επιθυμητότητα ή την αποτελεσματικότητά της σε μια δεδομένη κατάσταση. Στη συνέχεια, ο NPC επιλέγει τη δράση με την υψηλότερη τιμή χρησιμότητας, επιτρέποντας τη λήψη αποφάσεων με μεγαλύτερη ευαισθησία στο πλαίσιο. Αυτή η προσέγγιση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε σενάρια όπου οι NPCs πρέπει να εξισορροπήσουν πολλαπλές ανταγωνιστικές προτεραιότητες, όπως η επιβίωση, η διαχείριση των πόρων και οι κοινωνικές αλληλεπιδράσεις.

1.2.3.2 Μηχανική μάθηση και προσαρμοστικοί NPCs

Τα τελευταία χρόνια, έχει αυξηθεί το ενδιαφέρον για τη χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης για τη δημιουργία πιο προσαρμοστικών και έξυπνων NPCs. Η μηχανική μάθηση προσφέρει τη δυνατότητα ανάπτυξης NPCs που μπορούν να μαθαίνουν από τις ενέργειες των παικτών και να προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους με την πάροδο του χρόνου, αντί να βασίζονται αποκλειστικά σε προκαθορισμένα σενάρια ή δέντρα συμπεριφοράς. Τεχνικές όπως η ενισχυτική μάθηση, τα νευρωνικά δίκτυα και οι γενετικοί αλγόριθμοι έχουν διερευνηθεί ως πιθανές προσεγγίσεις για τη δημιουργία πιο εξελιγμένων και προσαρμοστικών NPCs.

Η ενισχυτική μάθηση, ειδικότερα, έχει δείξει ότι υπόσχεται τη δημιουργία NPCs που μπορούν να μαθαίνουν από τις εμπειρίες τους και να βελτιώνουν τη συμπεριφορά τους με την πάροδο του χρόνου. Σε ένα σύστημα ενισχυτικής μάθησης, ένας NPC λαμβάνει ανταμοιβές ή ποινές με βάση τις ενέργειές του και χρησιμοποιεί αυτή την ανατροφοδότηση για να προσαρμόσει τη συμπεριφορά του σε μελλοντικές καταστάσεις. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει στους NPCs να αναπτύσσουν πιο σύνθετες και προσαρμοστικές συμπεριφορές, ιδίως σε δυναμικά περιβάλλοντα όπου η βέλτιστη πορεία δράσης μπορεί να μην είναι άμεσα εμφανής.

Παρά τις δυνατότητες της μηχανικής μάθησης στην ανάπτυξη των NPCs, υπάρχουν ακόμη σημαντικές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Μία από τις κύριες προκλήσεις είναι η ανάγκη για μεγάλες ποσότητες δεδομένων για την αποτελεσματική εκπαίδευση των NPCs. Σε παιχνίδια όπου οι ενέργειες των παικτών είναι εξαιρετικά μεταβλητές, η συλλογή αρκετών δεδομένων για τη δημιουργία αξιόπιστων μοντέλων μπορεί να είναι δύσκολη. Επιπλέον, τα μοντέλα μηχανικής μάθησης μπορεί να είναι υπολογιστικά ακριβά, απαιτώντας σημαντική επεξεργαστική ισχύ και μνήμη, κάτι που μπορεί να μην είναι εφικτό για όλα τα παιχνίδια.

1.2.3.3 Συναισθηματική Υπολογιστική και Συναισθηματική Τεχνητή Νοημοσύνη

Η συναισθηματική υπολογιστική, ένας τομέας που μελετά το σχεδιασμό συστημάτων που μπορούν να αναγνωρίζουν και να ανταποκρίνονται στα ανθρώπινα συναισθήματα, έχει αρχίσει να παίζει ολοένα και πιο σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των NPCs. Με την ενσωμάτωση τεχνικών συναισθηματικής υπολογιστικής στην τεχνητή νοημοσύνη των παιχνιδιών, οι προγραμματιστές μπορούν να δημιουργήσουν NPCs που είναι σε θέση να επιδεικνύουν μια σειρά συναισθημάτων και να αντιδρούν στη συναισθηματική κατάσταση των παικτών.

Μία από τις βασικές εφαρμογές της συναισθηματικής υπολογιστικής στα παιχνίδια είναι η ανάπτυξη συναισθηματικών μοντέλων που μπορούν να ενσωματωθούν σε δέντρα συμπεριφοράς NPCs. Αυτά τα μοντέλα επιτρέπουν στους NPCs να επεξεργάζονται συναισθηματικές ενδείξεις από τους παίκτες, όπως ο τόνος της φωνής ή οι εκφράσεις του προσώπου, και να ανταποκρίνονται ανάλογα. Για παράδειγμα, ένας NPC μπορεί να γίνει

φοβισμένος αν οι παίκτες του μιλήσουν με επιθετικό τόνο ή να εκφράσει χαρά αν οι παίκτες τον βοηθήσουν να επιτύχει έναν στόχο.

Η ενσωμάτωση της συναισθηματικής τεχνητής νοημοσύνης στους NPCs όχι μόνο ενισχύει την αξιοπιστία τους, αλλά προσθέτει επίσης ένα ακόμη επίπεδο βάθους στις αλληλεπιδράσεις των παικτών με τον κόσμο του παιχνιδιού. Επιτρέποντας στους NPCs να επιδεικνύουν και να ανταποκρίνονται σε συναισθήματα, οι προγραμματιστές μπορούν να δημιουργήσουν πιο καθηλωτικές και συναισθηματικά ελκυστικές εμπειρίες. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε παιχνίδια με αφηγηματικό χαρακτήρα, όπου η συναισθηματική εμπλοκή των παικτών με τους χαρακτήρες είναι ζωτικής σημασίας για τη συνολική εμπειρία.

1.3 Δήλωση του προβλήματος

1.3.1 Περιορισμοί των παραδοσιακών μοντέλων NPC

1.3.1.1 Στατικές και σεναριακές συμπεριφορές

Τα παραδοσιακά μοντέλα NPC στα βιντεοπαιχνίδια έχουν συχνά βασιστεί σε στατικές, σεναριακές συμπεριφορές, οι οποίες περιορίζουν σημαντικά την ικανότητά τους να προσαρμόζονται σε δυναμικά περιβάλλοντα παιχνιδιών. Αυτά τα μοντέλα είναι συνήθως κατασκευασμένα χρησιμοποιώντας μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων ή απλά δέντρα αποφάσεων, όπου οι NPCs ακολουθούν προκαθορισμένες διαδρομές και ανταποκρίνονται στις ενέργειες των παικτών με εξαιρετικά προβλέψιμους τρόπους. Για παράδειγμα, στα πρώτα παιχνίδια ρόλων, όπως το *Final Fantasy* (1987), οι NPCs συχνά περιορίζονταν στο να παρέχουν τον ίδιο διάλογο ή τις ίδιες απαντήσεις, ανεξάρτητα από το πλαίσιο ή τις προηγούμενες αλληλεπιδράσεις των παικτών μαζί τους (Square Co., Ltd., 1987).

Παρόλο που οι μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων είναι σχετικά εύκολο να εφαρμοστούν και να διαχειριστούν, πάσχουν από αρκετούς κρίσιμους περιορισμούς. Ένα σημαντικό ζήτημα είναι η έλλειψη ευελιξίας τους. Επειδή βασίζονται σε προκαθορισμένες καταστάσεις και μεταβάσεις, δεν είναι σε θέση να υπολογίσουν το ευρύ φάσμα πιθανών ενεργειών των παικτών και περιβαλλοντικών αλλαγών που μπορούν να συμβούν σε πιο σύνθετα παιχνίδια ανοικτού κόσμου. Αυτή η ακαμψία μπορεί να οδηγήσει σε επαναλαμβανόμενη και μη ρεαλιστική συμπεριφορά των NPCs, η οποία μειώνει την εμπύθιση και την εμπλοκή των παικτών (Millington & Funge, 2016).

Ένας άλλος σημαντικός περιορισμός των παραδοσιακών μοντέλων NPC είναι η αδυναμία τους να χειριστούν πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις και συμπεριφορές που απαιτούν απαντήσεις ευαίσθητες στο πλαίσιο. Σε πολλές περιπτώσεις, οι NPCs που χρησιμοποιούν αυτά τα μοντέλα δεν είναι σε θέση να προσαρμόσουν τη συμπεριφορά τους με βάση το ιστορικό των παικτών ή την εξελισσόμενη κατάσταση του παιχνιδιού. Για παράδειγμα, ένας NPC μπορεί να συνεχίσει να προσφέρει την ίδια αποστολή στους παίκτες ακόμη και μετά την ολοκλήρωση της αποστολής ή μπορεί να μην αντιδράσει σε σημαντικές αλλαγές στον κόσμο του παιχνιδιού, όπως ο θάνατος ενός βασικού χαρακτήρα. Αυτοί οι περιορισμοί αναδεικνύουν την ανάγκη για πιο προηγμένες τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης που μπορούν να υποστηρίξουν δυναμική και προσαρμοστική συμπεριφορά των NPCs (Yannakakis & Togelius, 2018).

1.3.1.2 Έλλειψη ρεαλισμού και συναισθηματικού βάθους

Τα παραδοσιακά μοντέλα NPC δυσκολεύονται επίσης να μεταδώσουν ρεαλιστικές και συναισθηματικά ελκυστικές συμπεριφορές, οι οποίες είναι όλο και πιο σημαντικές στα σύγχρονα βιντεοπαιχνίδια. Σε πολλά παλαιότερα παιχνίδια, οι NPCs δεν ήταν παρά στατικές, λειτουργικές οντότητες που εξυπηρετούσαν συγκεκριμένους σκοπούς παιχνιδιού, όπως η πώληση αντικειμένων ή η παροχή στόχων αναζήτησης. Ενώ αυτοί οι NPCs ήταν επαρκείς για απλούστερα παιχνίδια, συχνά απέτυχαν να συμβάλουν στο αφηγηματικό βάθος ή στη συναισθηματική εμπλοκή του παιχνιδιού.

Μια βασική πτυχή του ρεαλισμού των NPCs είναι η ικανότητά τους να επιδεικνύουν μια σειρά συναισθημάτων που είναι κατάλληλα για το πλαίσιο και το ρόλο τους στο παιχνίδι. Τα παραδοσιακά μοντέλα συνήθως δεν έχουν την ικανότητα να προσομοιώνουν τέτοια συναισθήματα με πιστευτό τρόπο. Για παράδειγμα, ένας NPC σε ένα παραδοσιακό μοντέλο μπορεί να προσφέρει τον ίδιο ουδέτερο διάλογο, ανεξάρτητα από τις ενέργειες των παικτών, χωρίς να δείχνει καμία συναισθηματική αντίδραση όταν κάποιος απειλείται, βοηθιέται ή αγνοείται. Αυτή η έλλειψη συναισθηματικού βάθους μπορεί να κάνει τους NPCs να φαίνονται τεχνητοί και εκτός τόπου και χρόνου σε περιβάλλοντα παιχνιδιών με περισσότερο αφηγηματικό ή καθηλωτικό χαρακτήρα (Picard, 1997).

Η απουσία συναισθηματικής ανταπόκρισης δεν επηρεάζει μόνο την αξιοπιστία των NPCs, αλλά μειώνει επίσης τον συνολικό αντίκτυπο της αφήγησης του παιχνιδιού. Σε παιχνίδια όπου η ιστορία κινείται από τις αλληλεπιδράσεις των παικτών με τους NPCs, η αδυναμία των χαρακτήρων αυτών να αντιδράσουν συναισθηματικά στις ενέργειες των παικτών μπορεί να οδηγήσει σε μια ασύνδετη και λιγότερο ελκυστική εμπειρία. Καθώς οι παίκτες αναζητούν όλο και περισσότερο παιχνίδια που προσφέρουν πλούσιες, καθηλωτικές αφηγήσεις, οι περιορισμοί των παραδοσιακών μοντέλων NPC γίνονται πιο εμφανείς, υπογραμμίζοντας την ανάγκη για πιο προηγμένες προσεγγίσεις στη συμπεριφορά των NPCs και τη συναισθηματική προσομοίωση (Lazzaro, 2004).

1.3.2 Προκλήσεις στη δυναμική συμπεριφορά των NPCs

1.3.2.1 Προσαρμογή σε πραγματικό χρόνο και λήψη αποφάσεων

Μία από τις κύριες προκλήσεις στην ανάπτυξη δυναμικής συμπεριφοράς των NPCs είναι η ανάγκη προσαρμογής και λήψης αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο. Στα σύγχρονα παιχνίδια, οι NPCs αναμένεται να ανταποκρίνονται σε ένα ευρύ φάσμα ερεθισμάτων, συμπεριλαμβανομένων των ενεργειών των παικτών, των περιβαλλοντικών αλλαγών και των εξελισσόμενων αφηγηματικών πλαισίων. Αυτό απαιτεί οι NPCs να είναι ικανοί να λαμβάνουν σύνθετες αποφάσεις σε πραγματικό χρόνο, επιλέγοντας την καταλληλότερη πορεία δράσης με βάση την τρέχουσα κατάσταση του παιχνιδιού.

Τα παραδοσιακά μοντέλα, όπως οι μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων, δεν είναι κατάλληλα για το έργο αυτό λόγω της εξάρτησής τους από προκαθορισμένες καταστάσεις και μεταβάσεις. Αντίθετα, τα πιο προηγμένα μοντέλα, όπως τα δέντρα συμπεριφοράς και τα συστήματα βάσει χρησιμότητας, προσφέρουν μεγαλύτερη ευελιξία και προσαρμοστικότητα. Τα δέντρα συμπεριφοράς, για παράδειγμα, επιτρέπουν στους NPCs να αξιολογούν πολλαπλές συνθήκες και να επιλέγουν ενέργειες που είναι κατάλληλες για το πλαίσιο, αντί να ακολουθούν μια άκαμπτη, προκαθορισμένη πορεία (Millington & Funge, 2016).

Ωστόσο, η εφαρμογή προσαρμοστικών συμπεριφορών σε πραγματικό χρόνο σε NPC δεν είναι χωρίς προκλήσεις. Ένα σημαντικό ζήτημα είναι η υπολογιστική πολυπλοκότητα που συνεπάγεται η συνεχής αξιολόγηση της κατάστασης του παιχνιδιού και η λήψη αποφάσεων. Σε παιχνίδια μεγάλης κλίμακας με πολλούς NPCs, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά προβλήματα απόδοσης, ιδίως όταν το παιχνίδι προσπαθεί να διατηρήσει υψηλά επίπεδα λεπτομέρειας και απόκρισης. Οι προγραμματιστές πρέπει να εξισορροπούν την ανάγκη για πολύπλοκες, προσαρμοστικές συμπεριφορές με τους περιορισμούς της διαθέσιμης επεξεργαστικής ισχύος και μνήμης, απαιτώντας συχνά συμβιβασμούς μεταξύ ρεαλισμού, πολυπλοκότητας και επιδόσεων (Yannakakis & Togelius, 2018).

1.3.2.2 Επεκτασιμότητα και συνέπεια σε μεγάλους κόσμους παιχνιδιών

Μια άλλη πρόκληση στην ανάπτυξη δυναμικής συμπεριφοράς των NPCs είναι η διασφάλιση της επεκτασιμότητας και της συνέπειας σε μεγάλους κόσμους παιχνιδιών. Καθώς τα περιβάλλοντα των παιχνιδιών γίνονται πιο εκτεταμένα και πολύπλοκα, ο αριθμός των NPCs που πρέπει να διαχειρίζονται ταυτόχρονα αυξάνεται, θέτοντας πρόσθετες απαιτήσεις στα συστήματα τεχνητής

νοημοσύνης του παιχνιδιού. Η διασφάλιση ότι όλοι οι NPCs συμπεριφέρονται με συνέπεια και αξιοπιστία, ανεξάρτητα από τη θέση ή το ρόλο τους στο παιχνίδι, αποτελεί σημαντική πρόκληση.

Η επεκτασιμότητα είναι ιδιαίτερα σημαντική στα παιχνίδια ανοικτού κόσμου, όπου οι παίκτες μπορούν να αλληλεπιδρούν με μια μεγάλη ποικιλία από NPCs σε διαφορετικά πλαίσια. Σε αυτά τα παιχνίδια, οι NPCs πρέπει όχι μόνο να αντιδρούν στις ενέργειες των παικτών αλλά και να διατηρούν συνεπή συμπεριφορά όταν οι παίκτες δεν αλληλεπιδρούν άμεσα μαζί τους. Αυτό απαιτεί από το σύστημα τεχνητής νοημοσύνης να διαχειρίζεται ταυτόχρονα έναν μεγάλο αριθμό NPCs, καθένας από τους οποίους έχει τη δική του συμπεριφορά, ρουτίνα και διαδικασίες λήψης αποφάσεων. Η επίτευξη αυτού του επιπέδου επεκτασιμότητας χωρίς να θυσιάζονται οι επιδόσεις ή ο ρεαλισμός αποτελεί σημαντική πρόκληση για τους προγραμματιστές (Isla, 2005).

Η συνέπεια είναι επίσης ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση της εμπύθισης και της αφηγηματικής συνοχής. Οι NPCs πρέπει να συμπεριφέρονται με τρόπους που συνάδουν με το ρόλο τους στον κόσμο του παιχνιδιού και τη συνολική αφήγηση. Για παράδειγμα, ένας έμπορος NPC θα πρέπει να συνεχίσει να διευθύνει το κατάστημά του και να αλληλεπιδρά με άλλους NPCs με τρόπο που να συνάδει με το περιβάλλον του παιχνιδιού, ακόμη και όταν οι παίκτες δεν είναι παρόντες. Η εξασφάλιση αυτής της συνέπειας σε έναν μεγάλο κόσμο παιχνιδιού, επιτρέποντας παράλληλα δυναμικές και προσαρμοστικές συμπεριφορές, είναι ένα πολύπλοκο έργο που απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό και βελτιστοποίηση των συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης (Isla, 2005).

1.3.3 Η ανάγκη συναισθηματικής ανταπόκρισης των NPCs

1.3.3.1 Ενίσχυση της δέσμευσης των παικτών μέσω της συναισθηματικής τεχνητής νοημοσύνης

Καθώς τα βιντεοπαιχνίδια συνεχίζουν να εξελίσσονται σε πιο εξελιγμένες και καθηλωτικές εμπειρίες, η ανάγκη για NPCs που μπορούν να παρουσιάζουν συναισθηματική ανταπόκριση γίνεται όλο και πιο εμφανής. Η συναισθηματική ανταπόκριση αναφέρεται στην ικανότητα των NPCs να αναγνωρίζουν, να ερμηνεύουν και να αντιδρούν στη συναισθηματική κατάσταση των παικτών και στο συναισθηματικό πλαίσιο του παιχνιδιού. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε παιχνίδια με αφηγηματικό χαρακτήρα, όπου η συναισθηματική εμπλοκή των παικτών με τους χαρακτήρες και την ιστορία είναι κρίσιμη για τη συνολική εμπειρία.

Η ενσωμάτωση της συναισθηματικής τεχνητής νοημοσύνης στη συμπεριφορά των NPCs επιτρέπει πιο διαφοροποιημένες και ευαίσθητες στο πλαίσιο αλληλεπιδράσεις, οι οποίες μπορούν να ενισχύσουν σημαντικά την εμπλοκή των παικτών. Για παράδειγμα, ένας NPC που μπορεί να αναγνωρίσει πότε οι παίκτες βρίσκονται σε δύσκολη κατάσταση και να προσφέρει λόγια ενθάρρυνσης ή βοήθειας μπορεί να δημιουργήσει μια ισχυρότερη συναισθηματική σύνδεση με τους παίκτες. Ομοίως, ένας NPC που αντιδρά με φόβο ή θυμό όταν απειλείται από τους παίκτες μπορεί να δημιουργήσει μια πιο έντονη και καθηλωτική εμπειρία (Picard, 1997).

Η συναισθηματική ανταπόκριση παίζει επίσης βασικό ρόλο στη δημιουργία πιστευτών και σχετιζόμενων χαρακτήρων. Σε πολλά σύγχρονα παιχνίδια, οι παίκτες δεν αναζητούν απλώς μια προκλητική εμπειρία παιχνιδιού, αλλά και ουσιαστικές αλληλεπιδράσεις με τους χαρακτήρες του παιχνιδιού. Οι NPCs που μπορούν να εκφράσουν μια σειρά συναισθημάτων και να ανταποκριθούν κατάλληλα στις ενέργειες των παικτών μπορούν να κάνουν αυτές τις αλληλεπιδράσεις να μοιάζουν πιο αληθινές και εντυπωσιακές, οδηγώντας σε μια βαθύτερη συναισθηματική επένδυση στο παιχνίδι (Scherer, 2001).

1.3.3.2 Ενσωμάτωση των συναισθηματικών μοντέλων με την προσαρμοστική συμπεριφορά

Η ενσωμάτωση των συναισθηματικών μοντέλων με τα προσαρμοστικά δέντρα συμπεριφοράς αποτελεί σημαντική πρόοδο στο σχεδιασμό των NPCs. Αυτά επιτρέπουν στους NPCs να

λαμβάνουν αποφάσεις σε πραγματικό χρόνο με βάση την τρέχουσα κατάσταση του παιχνιδιού, ενώ τα συναισθηματικά μοντέλα τους επιτρέπουν να ενσωματώνουν συναισθηματικές ενδείξεις στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων. Αυτός ο συνδυασμός επιτρέπει στους NPCs όχι μόνο να προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους με βάση τα περιβαλλοντικά ερεθίσματα αλλά και να προσαρμόζουν τις ενέργειες και τις αντιδράσεις τους με βάση το συναισθηματικό πλαίσιο του παιχνιδιού.

Για παράδειγμα, ένας NPC μπορεί να χρησιμοποιήσει ένα προσαρμοστικό δέντρο συμπεριφοράς για να αποφασίσει αν θα πολεμήσει ή θα φύγει όταν έρθει αντιμέτωπος με τους παίκτες. Εάν ο NPC είναι εξοπλισμένος με ένα συναισθηματικό μοντέλο, η απόφασή του θα μπορούσε επίσης να επηρεαστεί από τη συναισθηματική του κατάσταση - όπως φόβος, θυμός ή αυτοπεποίθηση - με αποτέλεσμα πιο ποικίλες και κατάλληλες για το πλαίσιο συμπεριφορές. Αυτή η ενσωμάτωση της συναισθηματικής τεχνητής νοημοσύνης με τα προσαρμοστικά δέντρα συμπεριφοράς επιτρέπει τη δημιουργία NPCs που είναι πιο δυναμικοί, ρεαλιστικοί και συναισθηματικά ελκυστικοί (Millington & Funge, 2016).

Ωστόσο, η ενσωμάτωση των συναισθηματικών μοντέλων με τα προσαρμοστικά δέντρα συμπεριφοράς παρουσιάζει επίσης αρκετές προκλήσεις. Μια σημαντική πρόκληση είναι να διασφαλιστεί ότι οι συναισθηματικές αντιδράσεις των NPCs είναι τόσο αληθοφανείς όσο και συνεπείς με το ρόλο τους στον κόσμο του παιχνιδιού. Αυτό απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό και συντονισμό των συναισθηματικών μοντέλων, καθώς και συνεχείς δοκιμές και βελτιώσεις για να διασφαλιστεί ότι η συμπεριφορά των NPCs ευθυγραμμίζεται με τη συνολική εμπειρία αφήγησης και παιχνιδιού (Lazzaro, 2004).

Μια άλλη πρόκληση είναι η υπολογιστική πολυπλοκότητα που συνεπάγεται η επεξεργασία συναισθηματικών ενδείξεων και η προσαρμογή της συμπεριφοράς σε πραγματικό χρόνο. Όπως και με άλλες πτυχές της δυναμικής συμπεριφοράς των NPCs, η ενσωμάτωση της συναισθηματικής τεχνητής νοημοσύνης απαιτεί σημαντική επεξεργαστική ισχύ και μνήμη, ιδίως σε παιχνίδια μεγάλης κλίμακας με πολλούς NPCs. Η εξισορρόπηση της ανάγκης για συναισθηματική ανταπόκριση με τους περιορισμούς των διαθέσιμων πόρων αποτελεί βασικό στοιχείο στην ανάπτυξη συναισθηματικά ανταποκρινόμενων NPCs (Yannakakis & Togelius, 2018).

1.4 Στόχοι της έρευνας

1.4.1 Κύριος στόχος

Ο κύριος στόχος αυτής της έρευνας είναι η ανάπτυξη ενός πλαισίου για τη δημιουργία δυναμικών και συναισθηματικά ευαίσθητων Non-Playable Characters (NPCs) στο περιβάλλον της Unreal Engine. Αυτό το πλαίσιο στοχεύει στην αξιοποίηση προσαρμοστικών δέντρων συμπεριφοράς και συναισθηματικών μοντέλων τεχνητής νοημοσύνης για την ενίσχυση του ρεαλισμού, της εμπύθισης και της εμπλοκής των NPCs στα βιντεοπαιχνίδια. Ο απώτερος στόχος είναι να δημιουργηθούν NPCs που μπορούν να αντιδρούν σε πραγματικό χρόνο σε περιβαλλοντικά ερεθίσματα και αλληλεπιδράσεις των παικτών, ενώ παράλληλα επιδεικνύουν μια σειρά συναισθημάτων που επηρεάζουν τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων και τις αλληλεπιδράσεις τους με τους παίκτες.

Αυτή η έρευνα επιδιώκει να αντιμετωπίσει τους περιορισμούς των παραδοσιακών μοντέλων NPC, τα οποία συχνά βασίζονται σε στατικές, σεναριακές συμπεριφορές και δεν διαθέτουν το συναισθηματικό βάθος που είναι απαραίτητο για τη δημιουργία πραγματικά καθηλωτικών εμπειριών παιχνιδιού. Με την ενσωμάτωση των προσαρμοστικών δέντρων συμπεριφοράς με τη συναισθηματική ανταπόκριση, η παρούσα μελέτη στοχεύει να διευρύνει τα όρια της ανάπτυξης NPCs, προσφέροντας νέες μεθοδολογίες και ιδέες που μπορούν να εφαρμοστούν σε ένα ευρύ φάσμα ειδών παιχνιδιών, ιδίως σε παιχνίδια με αφηγηματικό χαρακτήρα και ανοιχτό κόσμο (Millington & Funge, 2016).

1.4.2 Ειδικοί στόχοι

1.4.2.1 Στόχος 1: Ανάλυση των τρεχουσών τεχνικών ανάπτυξης NPCs

Ο πρώτος ειδικός στόχος αυτής της έρευνας είναι η διεξαγωγή μιας ολοκληρωμένης ανάλυσης των σημερινών τεχνικών ανάπτυξης NPCs, εστιάζοντας σε μοντέλα συμπεριφοράς που βασίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη, όπως οι μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων, τα δέντρα συμπεριφοράς και τα συστήματα βάσει χρησιμότητας. Η ανάλυση αυτή θα εξετάσει τα δυνατά σημεία και τους περιορισμούς αυτών των τεχνικών, ιδίως όσον αφορά την ικανότητά τους να υποστηρίζουν δυναμικές και προσαρμοστικές συμπεριφορές σε NPCs. Με την κατανόηση της τρέχουσας κατάστασης της ανάπτυξης των NPCs, η έρευνα αυτή θα εντοπίσει τα κενά και τις προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν για τη δημιουργία πιο προηγμένων και ευέλικτων NPCs (Yannakakis & Togelius, 2018).

Ο στόχος αυτός θα περιλαμβάνει μια ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας σχετικά με την ανάπτυξη NPC, καθώς και μια αξιολόγηση μελετών περίπτωσης από πρόσφατα βιντεοπαιχνίδια που έχουν εφαρμόσει προηγμένες τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης. Τα ευρήματα αυτής της ανάλυσης θα δώσουν πληροφορίες για το σχεδιασμό και την υλοποίηση των δέντρων προσαρμοστικής συμπεριφοράς που προτείνονται στην παρούσα έρευνα.

1.4.2.2 Στόχος 2: Σχεδιασμός και εφαρμογή δέντρων προσαρμοστικής συμπεριφοράς

Ο δεύτερος ειδικός στόχος είναι ο σχεδιασμός και η υλοποίηση δέντρων προσαρμοστικής συμπεριφοράς που επιτρέπουν στους NPCs να προσαρμόζουν δυναμικά τη συμπεριφορά τους ως απάντηση στις περιβαλλοντικές αλλαγές, στις αλληλεπιδράσεις των παικτών και στο αφηγηματικό πλαίσιο. Τα δέντρα προσαρμοστικής συμπεριφοράς προσφέρουν μια ευέλικτη και αρθρωτή προσέγγιση στη συμπεριφορά των NPCs, επιτρέποντας τη δημιουργία σύνθετων και ευαίσθητων στο πλαίσιο ενεργειών που ενισχύουν τον ρεαλισμό και την εμπύηση στον κόσμο του παιχνιδιού (Millington & Funge, 2016).

Ο στόχος αυτός θα περιλαμβάνει την ανάπτυξη ενός πλαισίου δέντρων συμπεριφοράς στο πλαίσιο της Unreal Engine, το οποίο θα είναι ικανό να χειρίζεται ένα ευρύ φάσμα συμπεριφορών NPCs σε διαφορετικά σενάρια παιχνιδιού. Το πλαίσιο θα σχεδιαστεί έτσι ώστε να είναι επεκτάσιμο και προσαρμόσιμο, εξασφαλίζοντας ότι μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορους τύπους NPCs και περιβάλλοντα παιχνιδιών. Η αποτελεσματικότητα αυτών των προσαρμοστικών δέντρων συμπεριφοράς θα δοκιμαστεί και θα αξιολογηθεί μέσω μιας σειράς σεναρίων παιχνιδιού, εστιάζοντας στον αντίκτυπό τους στην εμπύηση και την εμπλοκή των παικτών.

1.4.2.3 Στόχος 3: Ενσωμάτωση της συναισθηματικής ανταπόκρισης στη συμπεριφορά των NPC

Ο τρίτος ειδικός στόχος είναι η ενσωμάτωση της συναισθηματικής ανταπόκρισης στη συμπεριφορά των NPCs, χρησιμοποιώντας τεχνικές συναισθηματικής πληροφορικής για την προσομοίωση μιας σειράς συναισθημάτων που επηρεάζουν τη λήψη αποφάσεων και τις αλληλεπιδράσεις των NPCs με τους παίκτες. Η συναισθηματική ανταπόκριση αποτελεί βασικό παράγοντα για τη δημιουργία αξιόπιστων και ελκυστικών NPCs, καθώς τους επιτρέπει να αντιδρούν κατάλληλα στις ενέργειες των παικτών και στο συναισθηματικό πλαίσιο του παιχνιδιού (Picard, 1997).

Ο στόχος αυτός θα περιλαμβάνει την ανάπτυξη συναισθηματικών μοντέλων που θα μπορούν να ενσωματωθούν στα προσαρμοστικά δέντρα συμπεριφοράς, επιτρέποντας στους NPCs να εκδηλώνουν συναισθήματα όπως ο φόβος, ο θυμός, η χαρά και η θλίψη. Αυτές οι συναισθηματικές αντιδράσεις θα δημιουργούνται δυναμικά με βάση την τρέχουσα κατάσταση του παιχνιδιού, τους στόχους του NPC και τις ενέργειες των παικτών. Ο αντίκτυπος αυτών των συναισθηματικά ανταποκρινόμενων συμπεριφορών στην εμπειρία των παικτών θα αξιολογηθεί

μέσω δοκιμών χρηστών, με έμφαση στην ικανότητά τους να ενισχύουν την εμπύθιση και τη συναισθηματική δέσμευση.

1.4.2.4 Στόχος 4: Αξιολόγηση της συμπεριφοράς των NPCs και της εμπειρίας των παικτών

Ο τέταρτος ειδικός στόχος είναι να αξιολογηθεί ο αντίκτυπος των προτεινόμενων συμπεριφορών των NPCs στην εμπύθιση των παικτών και στη συνολική εμπειρία του παιχνιδιού. Αυτός ο στόχος θα περιλαμβάνει τη διεξαγωγή μελετών χρηστών για την αξιολόγηση του τρόπου με τον οποίο η ενσωμάτωση των προσαρμοστικών δέντρων συμπεριφοράς και της συναισθηματικής ανταπόκρισης επηρεάζει την αλληλεπίδραση των παικτών με τους NPCs, την εμπλοκή τους με την αφήγηση του παιχνιδιού και τη συνολική ικανοποίησή τους από την εμπειρία παιχνιδιού (Yannakakis & Togelius, 2018).

Η αξιολόγηση θα βασίζεται σε συνδυασμό ποσοτικών και ποιοτικών δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των σχολίων των παικτών, των μετρήσεων του παιχνιδιού και της ανάλυσης παρατήρησης. Τα αποτελέσματα αυτής της αξιολόγησης θα παράσχουν πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με την αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου πλαισίου NPC και θα εντοπίσουν τομείς για περαιτέρω βελτίωση. Τα ευρήματα θα συμβάλουν επίσης στον ευρύτερο τομέα της τεχνητής νοημοσύνης των παιχνιδιών, προσφέροντας νέες προοπτικές για την ανάπτυξη δυναμικών και συναισθηματικά ανταποκρινόμενων NPCs.

Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1 Εισαγωγή

2.1.1 Σκοπός της βιβλιογραφικής ανασκόπησης

Η βιβλιογραφική ανασκόπηση αποτελεί θεμελιώδες στοιχείο της παρούσας διατριβής, παρέχοντας μια ολοκληρωμένη εξέταση της υπάρχουσας έρευνας και των θεωρητικών πλαισίων που ενημερώνουν για την ανάπτυξη δυναμικών και συναισθηματικά ευαίσθητων Non-Playable Characters (NPCs) στα βιντεοπαιχνίδια. Ο πρωταρχικός σκοπός αυτής της βιβλιογραφικής ανασκόπησης είναι να αναλύσει κριτικά και να συνθέσει το σύνολο των γνώσεων που περιβάλλουν τα μοντέλα συμπεριφοράς των NPCs, τις προσαρμοστικές τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης και τη συναισθηματική ανταπόκριση σε περιβάλλοντα παιχνιδιών. Εντοπίζοντας τα κενά, τις προκλήσεις και τις ευκαιρίες στην υπάρχουσα βιβλιογραφία, η παρούσα ανασκόπηση θα δημιουργήσει μια ισχυρή θεωρητική βάση για την επακόλουθη ανάπτυξη ενός νέου πλαισίου για τη συμπεριφορά των NPCs εντός της Unreal Engine 5.4.

Επιπλέον, η βιβλιογραφική ανασκόπηση αποσκοπεί στην πλαισίωση της έρευνας στο ευρύτερο πεδίο του σχεδιασμού παιχνιδιών και της τεχνητής νοημοσύνης. Θα αναδείξει την εξέλιξη των NPCs από απλές, σεναριακές οντότητες σε σύνθετους, συναισθηματικά ανταποκρινόμενους χαρακτήρες και θα διερευνήσει τις τεχνολογικές εξελίξεις που επέτρεψαν αυτή την εξέλιξη. Η ανασκόπηση θα εξετάσει επίσης τον ρόλο των NPCs στην ενίσχυση της εμπύθισης και της εμπλοκής των παικτών, καθώς και τις προκλήσεις που σχετίζονται με την εφαρμογή δυναμικών και συναισθηματικά πλούσιων συμπεριφορών σε περιβάλλοντα παιχνιδιών μεγάλης κλίμακας.

Με τη συστηματική ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας, το παρόν κεφάλαιο θα παράσχει το απαραίτητο υπόβαθρο για την κατανόηση της τρέχουσας κατάστασης της ανάπτυξης των NPCs και θα προσδιορίσει τις συγκεκριμένες συνεισφορές που στοχεύει να επιφέρει η παρούσα διατριβή. Οι γνώσεις που θα αποκτηθούν από αυτή την ανασκόπηση θα τροφοδοτήσουν το σχεδιασμό και την υλοποίηση των προσαρμοστικών δέντρων συμπεριφοράς και των συναισθηματικών μοντέλων τεχνητής νοημοσύνης που προτείνονται σε αυτή την έρευνα, διασφαλίζοντας ότι η προσέγγιση βασίζεται σε καθιερωμένες θεωρίες και πρακτικές, ενώ παράλληλα διευρύνει τα όρια του τι είναι σήμερα δυνατό στην τεχνητή νοημοσύνη των παιχνιδιών.

2.1.2 Επισκόπηση των σχετικών ερευνητικών πεδίων

2.1.2.1 Εξέλιξη των NPCs στα βιντεοπαιχνίδια

Ένας από τους βασικούς ερευνητικούς τομείς που θα διερευνηθεί η παρούσα βιβλιογραφική ανασκόπηση είναι η ιστορική και τεχνολογική εξέλιξη των NPCs στα βιντεοπαιχνίδια. Ξεκινώντας από τις πρώτες μέρες των απλών, σεναριακών NPCs, η ανασκόπηση θα παρακολουθήσει την εξέλιξη πιο σύνθετων συμπεριφορών με βάση την τεχνητή νοημοσύνη που έγιναν όλο και πιο εξελιγμένες με την πάροδο του χρόνου. Σε αυτή την ενότητα θα επισημανθούν σημαντικά ορόσημα στην ανάπτυξη των NPCs, όπως η εισαγωγή των δέντρων συμπεριφοράς και των συστημάτων βάσει χρησιμότητας, τα οποία επέτρεψαν στους NPCs να επιδεικνύουν πιο προσαρμοστικές και ευαίσθητες στο πλαίσιο συμπεριφορές.

Η εξέλιξη των NPCs είναι στενά συνδεδεμένη με την πρόοδο της τεχνητής νοημοσύνης και της υπολογιστικής ισχύος, η οποία επέτρεψε στους προγραμματιστές να δημιουργήσουν χαρακτήρες που μπορούν να αλληλεπιδρούν πιο δυναμικά με τους παίκτες και το περιβάλλον τους. Η βιβλιογραφική ανασκόπηση θα εξετάσει τον τρόπο με τον οποίο αυτές οι εξελίξεις έχουν επηρεάσει το σχεδιασμό και τη λειτουργικότητα των NPCs, καθιστώντας τους ουσιαστικά συστατικά των σύγχρονων βιντεοπαιχνιδιών. Επιπλέον, η ανασκόπηση θα συζητήσει την αυξανόμενη σημασία των NPCs στα παιχνίδια με αφηγηματικό χαρακτήρα, όπου η συμπεριφορά και το συναισθηματικό τους βάθος παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση της εμπειρίας των παικτών.

2.1.2.2 Προσαρμοστικά μοντέλα συμπεριφοράς

Ένας άλλος κρίσιμος ερευνητικός τομέας που θα καλυφθεί σε αυτή τη βιβλιογραφική ανασκόπηση είναι η ανάπτυξη και εφαρμογή προσαρμοστικών μοντέλων συμπεριφοράς για τους NPCs. Τα προσαρμοστικά μοντέλα συμπεριφοράς, όπως τα δέντρα συμπεριφοράς, οι μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων και τα συστήματα λήψης αποφάσεων βάσει χρησιμότητας, έχουν γίνει συνήθη εργαλεία στην τεχνητή νοημοσύνη των παιχνιδιών. Αυτά τα μοντέλα επιτρέπουν στους NPCs να ανταποκρίνονται σε ποικίλα ερεθίσματα σε πραγματικό χρόνο, λαμβάνοντας αποφάσεις που είναι κατάλληλες για το πλαίσιο και συνεπείς με την αφήγηση και το περιβάλλον του παιχνιδιού.

Η ανασκόπηση θα διερευνήσει τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς αυτών των μοντέλων, ιδίως όσον αφορά την ικανότητά τους να υποστηρίζουν σύνθετες και δυναμικές συμπεριφορές των NPCs. Ενώ τα δέντρα συμπεριφοράς, για παράδειγμα, προσφέρουν μια αρθρωτή και κλιμακούμενη προσέγγιση στη συμπεριφορά των NPCs, παρουσιάζουν επίσης προκλήσεις που σχετίζονται με την κλιμάκωση και την επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο σε μεγάλα περιβάλλοντα παιχνιδιών. Η βιβλιογραφική ανασκόπηση θα αξιολογήσει κριτικά τον τρόπο με τον οποίο αυτά τα προσαρμοστικά μοντέλα έχουν υλοποιηθεί σε υπάρχοντα παιχνίδια και ποιες βελτιώσεις ή καινοτομίες είναι απαραίτητες για να ξεπεραστούν οι περιορισμοί τους.

2.1.2.3 Συναισθηματική τεχνητή νοημοσύνη και συναισθηματική υπολογιστική

Η ενσωμάτωση της συναισθηματικής τεχνητής νοημοσύνης και της συναισθηματικής υπολογιστικής στη συμπεριφορά των NPCs είναι μια σχετικά πρόσφατη εξέλιξη στον τομέα του σχεδιασμού παιχνιδιών, αλλά έχει σημαντικές επιπτώσεις στην ενίσχυση της εμπύθισης και της εμπλοκής των παικτών. Αυτός ο τομέας έρευνας επικεντρώνεται στον τρόπο με τον οποίο οι NPCs μπορούν να προγραμματιστούν ώστε να επιδεικνύουν και να ανταποκρίνονται σε συναισθήματα με τρόπους που είναι αληθοφανείς και κατάλληλοι για το πλαίσιο. Τα συναισθηματικά μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης, όπως αυτά που βασίζονται στις θεωρίες αξιολόγησης των συναισθημάτων, επιτρέπουν στους NPCs να αξιολογούν καταστάσεις και να δημιουργούν συναισθηματικές αντιδράσεις που επηρεάζουν τη συμπεριφορά τους.

Η βιβλιογραφική ανασκόπηση θα εξετάσει τις διάφορες προσεγγίσεις για την εφαρμογή συναισθηματικής τεχνητής νοημοσύνης σε NPCs, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης της αναγνώρισης προσώπου, της ανάλυσης φωνής και άλλων τεχνικών συναισθηματικής υπολογιστικής για την ανίχνευση και ερμηνεία των συναισθημάτων των παικτών. Η ανασκόπηση θα διερευνήσει επίσης τις προκλήσεις της ενσωμάτωσης αυτών των συναισθηματικών μοντέλων με τα υπάρχοντα συστήματα συμπεριφοράς, όπως τα δέντρα συμπεριφοράς, και τον τρόπο με τον οποίο αυτές οι προκλήσεις έχουν αντιμετωπιστεί σε προηγούμενες έρευνες. Με την ανασκόπηση της κατάστασης της συναισθηματικής τεχνητής νοημοσύνης στα παιχνίδια, αυτό το κεφάλαιο θα θέσει τις βάσεις για την ανάπτυξη συναισθηματικά ανταποκρινόμενων NPCs στο πλαίσιο της Unreal Engine 5.4.

2.1.2.4 Εμπειρία παικτών και εμπύθιση

Ο τελευταίος ερευνητικός τομέας που θα εξεταστεί σε αυτή τη βιβλιογραφική ανασκόπηση είναι ο αντίκτυπος της συμπεριφοράς των NPCs στην εμπειρία των παικτών και στην εμπύθιση. Ο τρόπος με τον οποίο οι NPCs αλληλεπιδρούν με τους παίκτες, ανταποκρίνονται στις ενέργειές τους και συμβάλλουν στην αφήγηση του παιχνιδιού μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τον τρόπο με τον οποίο οι παίκτες αντιλαμβάνονται και εμπλέκονται με τον κόσμο του παιχνιδιού. Η έρευνα σε αυτόν τον τομέα έχει δείξει ότι οι NPCs που παρουσιάζουν αληθοφανείς, συναισθηματικά ανταποκρινόμενες συμπεριφορές μπορούν να ενισχύσουν την εμπύθιση των παικτών, κάνοντας τον κόσμο του παιχνιδιού να μοιάζει πιο ζωντανός και την αφήγηση πιο συναρπαστική.

Αυτή η ενότητα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης θα εξετάσει μελέτες που έχουν διερευνήσει τη σχέση μεταξύ της συμπεριφοράς των NPCs και της εμπειρίας των παικτών, συμπεριλαμβανομένων τόσο ποσοτικών όσο και ποιοτικών ερευνών. Η ανασκόπηση θα διερευνήσει τον τρόπο με τον οποίο διαφορετικές συμπεριφορές NPCs, που κυμαίνονται από απλές αντιδραστικές ενέργειες έως σύνθετες συναισθηματικές αλληλεπιδράσεις, επηρεάζουν τη δέσμευση και την ικανοποίηση των παικτών. Με την κατανόηση του αντίκτυπου της συμπεριφοράς των NPCs στην εμπειρία των παικτών, η παρούσα έρευνα στοχεύει στην

ανάπτυξη NPCs που όχι μόνο συμβάλλουν στους μηχανισμούς του παιχνιδιού αλλά και ενισχύουν το συναισθηματικό και αφηγηματικό βάθος του παιχνιδιού.

2.2 Εξέλιξη των NPCs στα βιντεοπαιχνίδια

Η εξέλιξη των Non-Playable Characters (NPC) στα βιντεοπαιχνίδια αντανακλά τις ευρύτερες τεχνολογικές και δημιουργικές εξελίξεις στη βιομηχανία των παιχνιδιών. Από το ξεκίνημά τους ως απλές, σεναριακές οντότητες μέχρι τον σημερινό τους ρόλο ως πολύπλοκοι, συναισθηματικά ευαίσθητοι χαρακτήρες, οι NPCs έχουν γίνει αναπόσπαστο κομμάτι της εμπειρίας των παιχνιδιών. Αυτή η ενότητα παρέχει μια ολοκληρωμένη διερεύνηση αυτής της εξέλιξης, χωρισμένη σε τρία κύρια στάδια: την πρώιμη εποχή των απλών, σεναριακών NPCs, την άνοδο των πιο σύνθετων συμπεριφορών και τις σύγχρονες τάσεις που συνεχίζουν να διαμορφώνουν την ανάπτυξη των NPCs σήμερα.

2.2.1 Πρώιμοι NPCs: Απλές, σεναριακές οντότητες

2.2.1.1 Οι απαρχές: NPCs στα παιχνίδια arcade και στα πρώτα παιχνίδια κονσόλας

Οι πρώτοι NPCs εμφανίστηκαν στα πρώτα παιχνίδια arcade και κονσόλας της δεκαετίας του 1970 και του 1980. Αυτοί οι NPCs ήταν κυρίως λειτουργικές οντότητες, σχεδιασμένες να εξυπηρετούν συγκεκριμένους σκοπούς παιχνιδιού, όπως να παρέχουν εμπόδια ή προκλήσεις για να ξεπεράσουν οι παίκτες. Για παράδειγμα, στο Space Invaders (1978), οι εξωγήινοι εισβολείς μπορούν να θεωρηθούν μια μορφή NPCs, αν και πολύ υποτυπώδης. Η συμπεριφορά τους ήταν εντελώς ντετερμινιστική, κινούμενοι σε προβλέψιμο μοτίβο και ανταποκρινόμενοι στις ενέργειες των παικτών με προκαθορισμένο τρόπο. Η απλότητα αυτών των NPCs ήταν άμεσο αποτέλεσμα των τεχνολογικών περιορισμών της εποχής, οι οποίοι περιορίζαν την πολυπλοκότητα της τεχνητής νοημοσύνης που μπορούσε να υλοποιηθεί εντός των περιορισμών υλικού των πρώτων παιχνιδομηχανών.

Ένα άλλο πρώιμο παράδειγμα NPCs μπορεί να βρεθεί στο Pac-Man (1980), όπου τα φαντάσματα χρησιμεύουν ως ανταγωνιστές των παικτών. Κάθε φάντασμα στο Pac-Man ήταν προγραμματισμένο με ένα συγκεκριμένο μοτίβο συμπεριφοράς, όπως ο Blinky, το κόκκινο φάντασμα, που κυνηγούσε απευθείας τον Pac-Man, ενώ ο Pinky προσπαθούσε να στήσει ενέδρα στους παίκτες. Παρόλο που αυτές οι συμπεριφορές ήταν απλές και σεναριακές, εισήγαγαν τους παίκτες στην έννοια των αντιπάλων με τεχνητή νοημοσύνη που μπορούσαν να αντιδράσουν στις ενέργειές τους, αν και με πολύ περιορισμένο τρόπο. Η επιτυχία του Pac-Man έδειξε τη δυνατότητα των NPCs να προσθέτουν βάθος και πρόκληση στο παιχνίδι, ακόμη και όταν οι συμπεριφορές τους ήταν σχετικά βασικές.

Καθώς τα βιντεοπαιχνίδια πέρασαν από τις παιχνιδομηχανές στις οικιακές κονσόλες, οι NPCs άρχισαν να αναλαμβάνουν πιο ποικίλους ρόλους, ιδίως στο αναπτυσσόμενο είδος των παιχνιδιών ρόλων (Role-Playing Game - RPG). Το Dragon Quest (1986) και το Final Fantasy (1987) αποτελούν πρώιμα παραδείγματα RPG όπου οι NPCs έπαιζαν καθοριστικό ρόλο στην καθοδήγηση των παικτών στην αφήγηση του παιχνιδιού. Αυτά τα παιχνίδια διέθεταν κατοίκους της πόλης που προσέφεραν συμβουλές, εμπόρους που πουλούσαν αντικείμενα και βασικούς χαρακτήρες που παρείχαν πληροφορίες για την πλοκή. Ωστόσο, αυτές οι αλληλεπιδράσεις ήταν ακόμα σε μεγάλο βαθμό σεναριακές, με τους NPCs να δίνουν τις ίδιες γραμμές διαλόγου και να αντιδρούν με τον ίδιο τρόπο κάθε φορά που τους συναντούσαν οι παίκτες.

Παρά την απλότητά τους, αυτοί οι πρώτοι NPCs ήταν πρωτοποριακοί, καθώς εισήγαγαν τους παίκτες στην έννοια ενός ζωντανού, διαδραστικού κόσμου που κατοικείται από χαρακτήρες με τους οποίους μπορούσαν να αλληλεπιδράσουν. Η στατική φύση αυτών των NPCs, ωστόσο, περιόριζε το βάθος αυτών των αλληλεπιδράσεων, καθώς δεν μπορούσαν να προσαρμοστούν στις ενέργειες των παικτών ή στην εξελισσόμενη κατάσταση του κόσμου του παιχνιδιού.

2.2.1.2 Σεναριακοί NPCs στα πρώιμα παιχνίδια ρόλων και παιχνίδια περιπέτειας

Στα τέλη της δεκαετίας του 1980 και στις αρχές της δεκαετίας του 1990 παρατηρήθηκε η άνοδος των πιο σύνθετων RPG και παιχνιδιών περιπέτειας, όπου οι NPCs έπαιζαν όλο και πιο

σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της εμπειρίας των παικτών. Σε αυτά τα παιχνίδια, οι NPCs δεν ήταν απλώς εμπόδια ή βοηθοί, έγιναν αναπόσπαστο κομμάτι της διαδικασίας αφήγησης, παρέχοντας πλαίσιο, αποστολές και συναισθηματική απήχηση στην αφήγηση του παιχνιδιού.

Το *The Legend of Zelda* (1986) και το *The Legend of Zelda: A Link to the Past* (1991) είναι σημαντικά παραδείγματα του τρόπου με τον οποίο οι NPCs χρησιμοποιήθηκαν για να καθοδηγήσουν τους παίκτες σε έναν εκτεταμένο κόσμο γεμάτο γρίφους, μυστικά και ιστορίες. Σε αυτά τα παιχνίδια, οι NPCs παρείχαν κρίσιμες πληροφορίες που βοηθούσαν τους παίκτες να περιηγηθούν στον κόσμο του παιχνιδιού και να αποκαλύψουν τα μυστικά του. Ωστόσο, αυτοί οι NPCs εξακολουθούσαν να είναι βασικά σεναριακοί, με προκαθορισμένο διάλογο και συμπεριφορές που δεν άλλαζαν ανάλογα με τις ενέργειες των παικτών. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των παικτών και των NPCs ήταν γραμμική, πράγμα που σημαίνει ότι ενώ οι NPCs συνέβαλαν στην ιστορία και την ατμόσφαιρα του παιχνιδιού, δεν προσέφεραν τις δυναμικές, ευέλικτες αλληλεπιδράσεις που θα χαρακτήριζαν τις μεταγενέστερες γενιές NPCs.

Ένα άλλο αξιοσημείωτο παράδειγμα αυτής της εποχής είναι το *Ultima IV: Quest of the Avatar* (1985), το οποίο εισήγαγε πιο σύνθετες αλληλεπιδράσεις NPCs επιτρέποντας στους παίκτες να συνομιλούν με τους χαρακτήρες χρησιμοποιώντας ένα σύστημα βασισμένο σε λέξεις-κλειδιά. Αυτό το σύστημα επέτρεπε στους παίκτες να ρωτούν τους NPCs για συγκεκριμένα θέματα, όπως "δουλειά", "φήμες" ή "αποστολές", δημιουργώντας την ψευδαίσθηση ενός πιο διαδραστικού και ανταποκρινόμενου κόσμου. Ωστόσο, οι απαντήσεις εξακολουθούσαν να περιορίζονται σε προκαθορισμένα δέντρα διαλόγου και οι NPCs δεν μπορούσαν να προσαρμόσουν τη συμπεριφορά τους με βάση τις προηγούμενες ενέργειες των παικτών ή την μεταβαλλόμενη κατάσταση του κόσμου του παιχνιδιού.

Παιχνίδια περιπέτειας, όπως το *King's Quest* (1984) και το *The Secret of Monkey Island* (1990), ξεπέρασαν επίσης τα όρια της αλληλεπίδρασης των NPCs, χρησιμοποιώντας τους χαρακτήρες για να προσφέρουν γρίφους, χιούμορ και αφηγηματικό βάθος. Αυτά τα παιχνίδια συχνά διέθεταν NPCs με μοναδικές προσωπικότητες και διάλογο, προσθέτοντας στον πλούτο του κόσμου του παιχνιδιού. Ωστόσο, όπως και στα RPG, οι αλληλεπιδράσεις παρέμειναν σεναριακές, με περιορισμένη μεταβλητότητα ή προσαρμοστικότητα βάσει των επιλογών των παικτών. Οι NPCs σε αυτά τα παιχνίδια ήταν κυρίως εργαλεία για την παροχή αφηγηματικού περιεχομένου και όχι πλήρως υλοποιημένοι χαρακτήρες με δυναμική συμπεριφορά.

2.2.1.3 Οι περιορισμοί των πρώτων NPCs

Οι NPCs στα πρώτα βιντεοπαιχνίδια περιορίζονταν από διάφορους παράγοντες, που σχετίζονταν κυρίως με τους τεχνολογικούς περιορισμούς της εποχής. Το υλικό που ήταν διαθέσιμο κατά τη δεκαετία του 1980 και στις αρχές της δεκαετίας του 1990 δεν διέθετε την απαιτούμενη επεξεργαστική ισχύ για την υποστήριξη πολύπλοκων συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης, πράγμα που σημαίνει ότι οι συμπεριφορές των NPCs έπρεπε να είναι απλές και σε μεγάλο βαθμό σεναριακές. Επιπλέον, οι περιορισμοί στον αποθηκευτικό χώρο σήμαιναν ότι ο αριθμός των διαλόγων και των αλληλεπιδράσεων που μπορούσαν να συμπεριληφθούν σε ένα παιχνίδι ήταν περιορισμένος, οδηγώντας σε επαναλαμβανόμενες και περιορισμένες αλληλεπιδράσεις NPCs.

Ένας άλλος περιορισμός ήταν ο γραμμικός σχεδιασμός πολλών πρώιμων παιχνιδιών, τα οποία δεν απαιτούσαν ή δεν υποστήριζαν δυναμικές συμπεριφορές NPCs. Σε αυτά τα παιχνίδια, η αφήγηση και το gameplay ήταν συχνά αυστηρά ελεγχόμενα από τους προγραμματιστές, με ελάχιστα περιθώρια για αποκλίσεις ή αποτελέσματα που καθορίζονταν από τους παίκτες. Ως αποτέλεσμα, οι NPCs σχεδιάστηκαν για να εξυπηρετούν συγκεκριμένους, προκαθορισμένους ρόλους μέσα στη δομή του παιχνιδιού, αντί να προσαρμόζονται στις ενέργειες των παικτών ή στην εξελισσόμενη κατάσταση του κόσμου του παιχνιδιού.

Παρά τους περιορισμούς αυτούς, οι πρώτοι NPCs έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη των βιντεοπαιχνιδιών ως μέσο. Εισήγαγαν τους παίκτες στην έννοια της αλληλεπίδρασης με χαρακτήρες στον κόσμο του παιχνιδιού και έθεσαν τα θεμέλια για πιο σύνθετους και δυναμικούς NPCs σε μελλοντικές γενιές παιχνιδιών. Η επιτυχία αυτών των πρώτων NPCs κατέδειξε τις δυνατότητες των χαρακτήρων με τεχνητή νοημοσύνη να βελτιώσουν το παιχνίδι και την αφήγηση, ακόμη και μέσα στους περιορισμούς της πρώιμης τεχνολογίας παιχνιδιών.

2.2.2 Η άνοδος των σύνθετων συμπεριφορών των NPCs

2.2.2.1 Η έλευση των NPCs με τεχνητή νοημοσύνη τη δεκαετία του 1990

Η μετάβαση από τους απλούς, σεναριακούς NPCs στους πιο σύνθετους χαρακτήρες με τεχνητή νοημοσύνη ξεκίνησε τη δεκαετία του 1990, μια δεκαετία κατά την οποία σημειώθηκαν σημαντικές εξελίξεις τόσο στις δυνατότητες του υλικού όσο και στις τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης. Καθώς οι προγραμματιστές παιχνιδιών απέκτησαν πρόσβαση σε πιο ισχυρά εργαλεία και πλατφόρμες, άρχισαν να πειραματίζονται με νέους τρόπους για τη δημιουργία NPCs που θα μπορούσαν να αντιδρούν πιο δυναμικά στις ενέργειες των παικτών και στο περιβάλλον του παιχνιδιού.

Ένα από τα πρώτα παραδείγματα NPC με τεχνητή νοημοσύνη βρίσκεται στο Thief: The Dark Project (1998), ένα stealth-based παιχνίδι που περιείχε NPCs με πιο εξελιγμένες συμπεριφορές από αυτές που υπήρχαν σε προηγούμενους τίτλους. Στο Thief, οι NPCs μπορούσαν να ανιχνεύσουν την παρουσία των παικτών μέσω του ήχου και της όρασης και αντιδρούσαν ανάλογα, αναζητώντας τους παίκτες ή σημαίνοντας συναγερμό. Αυτές οι συμπεριφορές καθορίζονταν από έναν συνδυασμό τεχνικών τεχνητής νοημοσύνης, συμπεριλαμβανομένων αλγορίθμων εύρεσης διαδρομών και αισθητηριακών συστημάτων, που επέτρεπαν στους NPCs να επιδεικνύουν πιο ρεαλιστικές και απρόβλεπτες συμπεριφορές.

Ομοίως, στο Half-Life (1998), οι NPCs, όπως οι εχθρικοί στρατιώτες και τα εξωγήινα πλάσματα, εμφάνιζαν πιο προηγμένες συμπεριφορές, όπως ελιγμούς πλευρικής επίθεσης, υποχώρηση όταν τραυματίζονταν και συντονισμό των επιθέσεων με άλλους NPCs. Αυτές οι συμπεριφορές κατέστησαν δυνατές χάρη στη χρήση πιο εξελιγμένων τεχνικών τεχνητής νοημοσύνης στο παιχνίδι, όπως μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων και δέντρα αποφάσεων, που επέτρεπαν στους NPCs να επιλέγουν ενέργειες με βάση ένα ευρύτερο φάσμα ερεθισμάτων και συνθηκών. Η επιτυχία του Half-Life κατέδειξε τις δυνατότητες που έχουν οι NPCs με τεχνητή νοημοσύνη για τη δημιουργία πιο συναρπαστικών και απαιτητικών εμπειριών παιχνιδιού.

Ένας άλλος τίτλος ορόσημο αυτής της εποχής είναι το The Elder Scrolls III: Morrowind (2002), το οποίο εισήγαγε NPCs με καθημερινές ρουτίνες και προγράμματα. Στο Morrowind, οι NPCs έκαναν τη ζωή τους ανεξάρτητα από τους παίκτες, κάνοντας δραστηριότητες όπως το φαγητό, ο ύπνος και η εργασία. Αυτό το επίπεδο λεπτομέρειας πρόσθεσε ένα νέο επίπεδο ρεαλισμού στον κόσμο του παιχνιδιού, καθώς οι παίκτες μπορούσαν να παρατηρήσουν τους NPCs να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και με το περιβάλλον με τρόπους που φάνιωναν φυσικοί και αληθοφανείς. Η εισαγωγή των ρουτινών που καθοδηγούνται από την τεχνητή νοημοσύνη στο Morrowind έθεσε νέα πρότυπα για τη συμπεριφορά των NPCs σε παιχνίδια ανοιχτού κόσμου, όπου ο στόχος ήταν να δημιουργηθεί ένας ζωντανός κόσμος που αντιδρούσε στην παρουσία των παικτών.

2.2.2.2 Δέντρα συμπεριφοράς

Η ανάπτυξη των δέντρων συμπεριφοράς στα μέσα της δεκαετίας του 2000 αποτέλεσε σημαντική πρόοδο στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης των παιχνιδιών, προσφέροντας μια πιο ευέλικτη και αρθρωτή προσέγγιση στη συμπεριφορά των NPCs. Τα δέντρα συμπεριφοράς είναι ιεραρχικές δομές στις οποίες κάθε κόμβος αντιπροσωπεύει μια εργασία ή μια απόφαση, επιτρέποντας στους NPCs να λαμβάνουν αποφάσεις με βάση μια σειρά συνθηκών και ενεργειών. Αυτή η δομή είναι πιο ευέλικτη από τις μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων, καθώς επιτρέπει πιο σύνθετες και δυναμικές διαδικασίες λήψης αποφάσεων.

Μια από τις πρώτες και πιο επιδραστικές εφαρμογές των δέντρων συμπεριφοράς ήταν στο παιχνίδι Halo 2 (2004), όπου οι εχθρικοί NPCs χρησιμοποιούσαν δέντρα συμπεριφοράς για να συντονίζουν τις ενέργειές τους και να προσαρμόζονται στις τακτικές των παικτών. Στο Halo 2, οι NPCs μπορούσαν να αξιολογήσουν πολλαπλούς παράγοντες, όπως η θέση των παικτών, η διαθέσιμότητα κάλυψης και η παρουσία συμμάχων, πριν επιλέξουν μια ενέργεια. Αυτό επέτρεπε στους NPC να επιδεικνύουν πιο έξυπνες και απρόβλεπτες συμπεριφορές, όπως να πλαισιώνουν τους παίκτες ή να υποχωρούν όταν είναι λιγότεροι. Η χρήση των δέντρων συμπεριφοράς στο Halo 2 συνέβαλε στη φήμη του παιχνιδιού για την έξυπνη και προκλητική τεχνητή νοημοσύνη των εχθρών, η οποία αποτέλεσε χαρακτηριστικό γνώρισμα της σειράς.

Τα δέντρα συμπεριφοράς έπαιξαν επίσης καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη πιο σύνθετων NPCs σε παιχνίδια που βασίζονται στην αφήγηση. Στο Fable (2004), για παράδειγμα, οι NPCs χρησιμοποιούσαν δέντρα συμπεριφοράς για να διαχειρίζονται τις αλληλεπιδράσεις τους με τους παίκτες και μεταξύ τους, επιτρέποντας έναν πιο δυναμικό και ευέλικτο κόσμο. Μπορούσαν να αντιδρούν στις ενέργειες των παικτών σε πραγματικό χρόνο, προσαρμόζοντας τη συμπεριφορά τους με βάση τη φήμη των παικτών, τις προηγούμενες αλληλεπιδράσεις και την τρέχουσα κατάσταση του κόσμου του παιχνιδιού. Αυτό το σύστημα επέτρεπε ένα ευρύ φάσμα πιθανών αλληλεπιδράσεων και αποτελεσμάτων, κάνοντας τον κόσμο του παιχνιδιού να μοιάζει πιο ζωντανός και να ανταποκρίνεται στις επιλογές των παικτών.

Η ευελιξία των δέντρων συμπεριφοράς τα έχει καταστήσει μια δημοφιλή επιλογή για την τεχνητή νοημοσύνη σε ένα ευρύ φάσμα παιχνιδιών, από τίτλους περιπέτειας δράσης μέχρι σύνθετες προσομοιώσεις. Η ικανότητά τους να χειρίζονται πολλαπλά επίπεδα λήψης αποφάσεων και να προσαρμόζονται στις μεταβαλλόμενες συνθήκες επέτρεψε στους προγραμματιστές να δημιουργήσουν NPCs που είναι πιο έξυπνοι, ανταποκρινόμενοι και αληθοφανείς.

2.2.2.3 Τεχνητή νοημοσύνη βάσει χρησιμότητας: Εξισορροπητικές αποφάσεις για NPCs

Ενώ τα δέντρα συμπεριφοράς παρέχουν ένα ισχυρό πλαίσιο για τη διαχείριση των συμπεριφορών των NPCs, δεν είναι χωρίς περιορισμούς. Μία από τις προκλήσεις με τα δέντρα συμπεριφοράς είναι ότι μπορεί να γίνουν υπερβολικά πολύπλοκα και δύσκολα διαχειρίσιμα καθώς αυξάνεται ο αριθμός των πιθανών αποφάσεων και συνθηκών. Για να αντιμετωπίσουν αυτό το ζήτημα, ορισμένοι προγραμματιστές έχουν στραφεί στην τεχνητή νοημοσύνη βάσει χρησιμότητας, η οποία προσφέρει μια διαφορετική προσέγγιση στη λήψη αποφάσεων.

Η τεχνητή νοημοσύνη βάσει χρησιμότητας είναι ένα σύστημα στο οποίο οι NPCs αξιολογούν τη "χρησιμότητα" ή την επιθυμητότητα διαφορετικών ενεργειών με βάση το τρέχον πλαίσιο. Σε κάθε πιθανή ενέργεια αποδίδεται μια βαθμολογία χρησιμότητας και ο NPC επιλέγει την ενέργεια με την υψηλότερη βαθμολογία. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει στους NPCs να σταθμίζουν ταυτόχρονα πολλούς παράγοντες, όπως η ανάγκη αυτοσυντήρησης έναντι της ευκαιρίας απόκτησης στρατηγικού πλεονεκτήματος.

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα της τεχνητής νοημοσύνης βάσει χρησιμότητας είναι η ικανότητά της να χειρίζεται σύνθετα σενάρια λήψης αποφάσεων όπου πολλαπλές ενέργειες μπορεί να είναι βιώσιμες. Για παράδειγμα, στο παιχνίδι The Sims (2000), οι NPCs χρησιμοποιούν την τεχνητή νοημοσύνη βάσει χρησιμότητας για να διαχειρίζονται τις καθημερινές τους δραστηριότητες, όπως το φαγητό, τον ύπνο και την κοινωνική συναναστροφή. Σε κάθε ενέργεια αποδίδεται μια βαθμολογία χρησιμότητας με βάση τις τρέχουσες ανάγκες και επιθυμίες του NPC, επιτρέποντάς του να λαμβάνει αποφάσεις που είναι κατάλληλες για το πλαίσιο και ευθυγραμμισμένες με τους στόχους του. Το σύστημα αυτό δημιουργεί μια πιο δυναμική και ρεαλιστική προσομοίωση, καθώς οι NPCs δεν δεσμεύονται από άκαμπτα δέντρα αποφάσεων, αλλά μπορούν να προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους με βάση μια σειρά παραγόντων.

Η τεχνητή νοημοσύνη βάσει χρησιμότητας έχει επίσης χρησιμοποιηθεί σε παιχνίδια στρατηγικής, όπου οι NPCs πρέπει να λαμβάνουν πολύπλοκες αποφάσεις σχετικά με τη διαχείριση των πόρων, τις τακτικές μάχης και τη διπλωματία. Στο Civilization V (2010), για παράδειγμα, οι ηγέτες που ελέγχονται από την τεχνητή νοημοσύνη χρησιμοποιούν τη λήψη αποφάσεων βάσει χρησιμότητας για να διαχειριστούν τις αυτοκρατορίες τους, εξισορροπώντας τις ανάγκες του πληθυσμού τους με τις απαιτήσεις του πολέμου, της διπλωματίας και της επέκτασης. Αυτό το σύστημα επιτρέπει στην τεχνητή νοημοσύνη να προσαρμόζεται στις στρατηγικές και τις ενέργειες των παικτών, δημιουργώντας μια πιο προκλητική και δυναμική εμπειρία παιχνιδιού.

Η υιοθέτηση της τεχνητής νοημοσύνης βάσει χρησιμότητας αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό βήμα προς τα εμπρός στην ανάπτυξη των NPCs, προσφέροντας μια πιο ευέλικτη και κλιμακούμενη προσέγγιση στη λήψη αποφάσεων. Επιτρέποντας στους NPCs να αξιολογούν πολλαπλούς παράγοντες και να λαμβάνουν αποφάσεις με βάση το πλαίσιο, η τεχνητή νοημοσύνη βάσει χρησιμότητας συμβάλλει στη δημιουργία πιο έξυπνων και ευέλικτων χαρακτήρων.

2.2.2.4 Συναισθηματική τεχνητή νοημοσύνη και ο ρόλος των NPCs στην αφήγηση και την εμπύθιση

Καθώς οι συμπεριφορές των NPCs έγιναν πιο σύνθετες, ο ρόλος τους στα βιντεοπαιχνίδια επεκτάθηκε πέρα από τις απλές αλληλεπιδράσεις και έγινε αναπόσπαστο στοιχείο της αφήγησης και της καθλωτικής εμπειρίας. Στα αφηγηματικά παιχνίδια, οι NPCs χρησιμοποιούνταν όλο και περισσότερο για να μεταφέρουν την ιστορία, να δημιουργήσουν συναισθηματικές συνδέσεις με τους παίκτες και να συμβάλουν στη συνολική ατμόσφαιρα του κόσμου του παιχνιδιού.

Μια από τις σημαντικότερες εξελίξεις σε αυτόν τον τομέα ήταν η ενσωμάτωση της συναισθηματικής τεχνητής νοημοσύνης στη συμπεριφορά των NPCs. Η συναισθηματική τεχνητή νοημοσύνη περιλαμβάνει τον προγραμματισμό των NPCs ώστε να αναγνωρίζουν και να ανταποκρίνονται στα συναισθήματα, τόσο των ίδιων όσο και των παικτών. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει στους NPCs να επιδεικνύουν μια σειρά συναισθημάτων που επηρεάζουν τις αλληλεπιδράσεις τους με τους παίκτες και τον κόσμο του παιχνιδιού, προσθέτοντας βάθος και πολυπλοκότητα στην αφηγηματική εμπειρία.

Ένα αξιοσημείωτο παράδειγμα συναισθηματικής τεχνητής νοημοσύνης σε δράση είναι το παιχνίδι *Heavy Rain* (2010), όπου τα συναισθήματα των NPCs παίζουν κεντρικό ρόλο στην αφήγηση και το *gameplay*. Στο *Heavy Rain*, οι επιλογές των παικτών επηρεάζουν άμεσα τη συναισθηματική κατάσταση των NPCs, η οποία με τη σειρά της επηρεάζει τη συμπεριφορά τους και την έκβαση της ιστορίας. Για παράδειγμα, ένας χαρακτήρας που βιώνει ένα τραύμα μπορεί να γίνει πιο φοβισμένος ή επιθετικός, οδηγώντας σε διαφορετικές αλληλεπιδράσεις με τους παίκτες. Αυτό το σύστημα δημιουργεί μια πιο καθλωτική και συναισθηματικά συναρπαστική εμπειρία, καθώς οι παίκτες πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους τις συναισθηματικές επιπτώσεις των ενεργειών τους στους NPCs και στην ευρύτερη αφήγηση.

Ένα άλλο παράδειγμα είναι το *The Last of Us* (2013), όπου οι NPCs παρουσιάζουν ένα ευρύ φάσμα συναισθημάτων ως απάντηση στις ενέργειες των παικτών και στα γεγονότα του κόσμου του παιχνιδιού. Το σύστημα τεχνητής νοημοσύνης του παιχνιδιού επιτρέπει στους NPCs να αντιδρούν δυναμικά στην παρουσία των παικτών, εκφράζοντας φόβο, θυμό ή ανακούφιση ανάλογα με την κατάσταση. Αυτές οι συναισθηματικές αντιδράσεις συμβάλλουν στην έντονη ατμόσφαιρα του παιχνιδιού και βοηθούν στη δημιουργία ενός ισχυρού συναισθηματικού δεσμού μεταξύ των παικτών και των χαρακτήρων.

Η ενσωμάτωση της συναισθηματικής τεχνητής νοημοσύνης στη συμπεριφορά των NPCs αποτελεί σημαντική πρόοδο στον τομέα του σχεδιασμού παιχνιδιών, επιτρέποντας πιο διαφοροποιημένες και ευαίσθητες στο πλαίσιο αλληλεπιδράσεις. Δίνοντας τη δυνατότητα στους NPCs να εκδηλώνουν και να ανταποκρίνονται σε συναισθήματα, οι προγραμματιστές μπορούν να δημιουργήσουν χαρακτήρες που είναι πιο αληθοφανείς, σχετικοί και συναισθηματικά ελκυστικοί.

2.2.3 Σύγχρονες τάσεις στην ανάπτυξη NPCs

2.2.3.1 Μηχανική μάθηση και προσαρμοστικοί NPCs

Τα τελευταία χρόνια, η χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης στην τεχνητή νοημοσύνη των παιχνιδιών έχει ανοίξει νέες δυνατότητες για την ανάπτυξη NPCs. Η μηχανική μάθηση επιτρέπει στους NPCs να μαθαίνουν από τις αλληλεπιδράσεις των παικτών και να προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους με την πάροδο του χρόνου, αντί να βασίζονται αποκλειστικά σε προκαθορισμένα σενάρια ή δέντρα συμπεριφοράς. Αυτή η προσέγγιση έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει πιο εξελιγμένους και εξατομικευμένους NPCs που μπορούν να ανταποκριθούν στο μοναδικό στυλ παιχνιδιού και στις αποφάσεις κάθε παίκτη.

Ένας από τους πιο υποσχόμενους τομείς της μηχανικής μάθησης στην τεχνητή νοημοσύνη των παιχνιδιών είναι η ενισχυτική μάθηση, μια τεχνική όπου οι NPCs μαθαίνουν να παίρνουν αποφάσεις λαμβάνοντας ανταμοιβές ή ποινές ανάλογα με τα αποτελέσματα των ενεργειών τους. Σε ένα σύστημα ενισχυτικής μάθησης, ένας NPC μπορεί να προγραμματιστεί να πειραματιστεί με διαφορετικές στρατηγικές στη μάχη, λαμβάνοντας θετική ενίσχυση για επιτυχημένες τακτικές και αρνητική ενίσχυση για αποτυχημένες προσπάθειες. Με την πάροδο του χρόνου, ο NPC

μπορεί να μάθει να βελτιστοποιεί τη συμπεριφορά του, προσαρμοζόμενος στις στρατηγικές των παικτών και παρέχοντας μια πιο προκλητική και δυναμική εμπειρία.

Η ενισχυτική μάθηση έχει εφαρμοστεί σε διάφορα είδη παιχνιδιών, από παιχνίδια δράσης έως προσομοιώσεις. Για παράδειγμα, στο Forza Horizon 3 (2016), το σύστημα Drivatar χρησιμοποιεί μηχανική μάθηση για τη δημιουργία αντιπάλων τεχνητής νοημοσύνης που μιμούνται το στυλ οδήγησης πραγματικών παικτών. Το σύστημα συλλέγει δεδομένα από διαδικτυακούς αγώνες και τα χρησιμοποιεί για να εκπαιδεύσει τους οδηγούς τεχνητής νοημοσύνης, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται αντίπαλοι που συμπεριφέρονται περισσότερο σαν τους ανθρώπινους παίκτες και παρέχουν μια πιο ρεαλιστική εμπειρία αγώνων. Αυτή η χρήση της μηχανικής μάθησης επιτρέπει μια πιο εξατομικευμένη και ανταγωνιστική εμπειρία παιχνιδιού, καθώς η τεχνητή νοημοσύνη προσαρμόζεται στο μοναδικό στυλ οδήγησης των παικτών.

Ένα άλλο παράδειγμα μηχανικής μάθησης στην ανάπτυξη NPCs είναι το παιχνίδι Middle-earth: Shadow of Mordor (2014), το οποίο διαθέτει το Nemesis System, ένα διαδικαστικό σύστημα δημιουργίας που δημιουργεί μοναδικούς NPCs με εξατομικευμένα χαρακτηριστικά, μνήμες και συμπεριφορές. Το Nemesis System παρακολουθεί τις αλληλεπιδράσεις των παικτών με τους NPCs, όπως οι μάχες και οι συμμαχίες, και χρησιμοποιεί αυτές τις πληροφορίες για να διαμορφώσει τις μελλοντικές συναντήσεις. Για παράδειγμα, ένας NPC που επιβιώνει από μια μάχη με τους παίκτες μπορεί να θυμάται τη σύγκρουση, να αναπτύξει μια προσωπική βεντέτα και να προσαρμόσει την τακτική του στις επόμενες μάχες. Αυτό το σύστημα δημιουργεί έναν δυναμικό και εξελισσόμενο κόσμο παιχνιδιού όπου οι NPCs έχουν ατομική ιστορία και κίνητρα, καθιστώντας κάθε παιχνίδι μοναδικό.

Η μηχανική μάθηση υπόσχεται επίσης τη δημιουργία πιο προσαρμοστικών NPCs σε παιχνίδια με βάση την αφήγηση. Αναλύοντας τις επιλογές και τις συμπεριφορές των παικτών, οι NPCs θα μπορούσαν να μάθουν να προσαρμόζουν τον διάλογο, τις ενέργειες και τις σχέσεις τους με τους παίκτες, δημιουργώντας μια πιο εξατομικευμένη και ευέλικτη αφηγηματική εμπειρία. Αυτή η προσέγγιση θα μπορούσε να οδηγήσει σε παιχνίδια όπου η ιστορία προσαρμόζεται στις αποφάσεις των παικτών σε πραγματικό χρόνο, με αποτέλεσμα μια πιο καθηλωτική και συναρπαστική εμπειρία.

2.2.3.2 Συναισθηματική τεχνητή νοημοσύνη και συναισθηματική υπολογιστική

Η ενσωμάτωση της συναισθηματικής τεχνητής νοημοσύνης και της συναισθηματικής υπολογιστικής στη συμπεριφορά των NPCs αντιπροσωπεύει μια άλλη σημαντική τάση στη σύγχρονη ανάπτυξη παιχνιδιών. Η συναισθηματική τεχνητή νοημοσύνη περιλαμβάνει τον προγραμματισμό των NPCs ώστε να αναγνωρίζουν και να ανταποκρίνονται στα συναισθήματα των παικτών, καθώς και να εκδηλώνουν οι ίδιοι συναισθήματα. Αυτή η προσέγγιση είναι ιδιαίτερα σημαντική στα παιχνίδια με αφηγηματικό χαρακτήρα, όπου το συναισθηματικό βάθος των NPCs μπορεί να ενισχύσει την εμπλοκή των παικτών με την ιστορία και τους χαρακτήρες.

Τεχνικές συναισθηματικής πληροφορικής, όπως η αναγνώριση προσώπου και η ανάλυση φωνής, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση της συναισθηματικής κατάστασης των παικτών και την ανάλογη προσαρμογή της συμπεριφοράς των NPCs. Για παράδειγμα, ένας NPC μπορεί να προσφέρει παρηγορητικά λόγια ή να προσαρμόσει τον τόνο της φωνής του ανάλογα με το αντιληπτό επίπεδο άγχους των παικτών. Αντίθετα, οι NPCs μπορούν επίσης να εκδηλώνουν συναισθήματα ως απάντηση σε γεγονότα εντός του παιχνιδιού, όπως να εκφράζουν φόβο όταν κινδυνεύουν ή χαρά όταν επιτυγχάνουν έναν στόχο.

Μία από τις προκλήσεις στην εφαρμογή της συναισθηματικής τεχνητής νοημοσύνης είναι να διασφαλιστεί ότι οι συναισθηματικές αντιδράσεις των NPCs είναι τόσο αληθοφανείς όσο και κατάλληλες για το πλαίσιο. Αυτό απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό και συντονισμό των συναισθηματικών μοντέλων, καθώς και συνεχείς δοκιμές και βελτιώσεις για να διασφαλιστεί ότι η συμπεριφορά των NPCs ευθυγραμμίζεται με τη συνολική εμπειρία αφήγησης και παιχνιδιού.

Ένα παράδειγμα συναισθηματικής τεχνητής νοημοσύνης σε δράση μπορεί να βρεθεί στο παιχνίδι Detroit: Become Human (2018), όπου οι NPCs είναι σχεδιασμένοι να επιδεικνύουν ένα ευρύ φάσμα συναισθημάτων ανάλογα με τις επιλογές των παικτών και τα γεγονότα του κόσμου του παιχνιδιού. Το σύστημα τεχνητής νοημοσύνης του παιχνιδιού επιτρέπει στους NPCs να αντιδρούν δυναμικά στις αποφάσεις των παικτών, εκφράζοντας συναισθήματα όπως φόβος, θυμός, θλίψη ή ευτυχία. Αυτές οι συναισθηματικές αντιδράσεις συμβάλλουν στην καθηλωτική

αφήγηση του παιχνιδιού, καθώς οι παίκτες πρέπει να περιηγηθούν στις πολύπλοκες σχέσεις και τα ηθικά διλήμματα που προκύπτουν από τις αλληλεπιδράσεις τους με τους NPCs.

Η χρήση της συναισθηματικής τεχνητής νοημοσύνης και της συναισθηματικής υπολογιστικής επιτρέπει πιο καθλωτικές και συναισθηματικά ελκυστικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ παικτών και NPCs. Η τάση αυτή αντανακλά μια ευρύτερη στροφή στο σχεδιασμό παιχνιδιών προς τη δημιουργία πιο ουσιαστικών και συναισθηματικά σημαντικών εμπειριών, όπου η σύνδεση των παικτών με τους χαρακτήρες και την ιστορία είναι κεντρικής σημασίας για τον αντίκτυπο του παιχνιδιού.

2.2.3.3 Διαδικαστική παραγωγή περιεχομένου και ποικιλομορφία NPCs

Η διαδικαστική παραγωγή περιεχομένου έχει γίνει μια ολοένα και πιο δημοφιλής τεχνική στην ανάπτυξη παιχνιδιών, επιτρέποντας στους προγραμματιστές να δημιουργούν τεράστιους και ποικίλους κόσμους παιχνιδιών με ελάχιστη χειρωνακτική προσπάθεια. Αυτή η προσέγγιση εφαρμόζεται τώρα στην ανάπτυξη NPCs, όπου οι αλγόριθμοι μπορούν να δημιουργήσουν μια μεγάλη ποικιλία NPCs με μοναδική εμφάνιση, συμπεριφορά και ιστορίες.

Σε παιχνίδια όπως το No Man's Sky (2016), η διαδικαστική παραγωγή χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ολόκληρων πλανητών και οικοσυστημάτων, συμπεριλαμβανομένων των NPCs που τους κατοικούν. Κάθε NPC δημιουργείται με ένα μοναδικό σύνολο χαρακτηριστικών, όπως το είδος, η προσωπικότητα και ο ρόλος του στον κόσμο του παιχνιδιού. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει ένα επίπεδο ποικιλομορφίας και κλίμακα που θα ήταν αδύνατο να επιτευχθεί με παραδοσιακές μεθόδους σχεδιασμού. Οι NPCs στο No Man's Sky αποτελούν μέρος ενός ζωντανού σύμπαντος που μοιάζει τεράστιο και άπειρο, προσφέροντας στους παίκτες ατελείωτες δυνατότητες εξερεύνησης και αλληλεπίδρασης.

Η διαδικαστική παραγωγή έχει επίσης χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία πιο διαφορετικών και εξατομικευμένων NPCs σε παιχνίδια όπως το Watch Dogs: Legion (2020), όπου κάθε χαρακτήρας στον κόσμο του παιχνιδιού μπορεί να στρατολογηθεί και να παίξει ως μέλος της ομάδας του παίκτη. Το σύστημα διαδικαστικής δημιουργίας του παιχνιδιού δημιουργεί NPCs με μοναδικές δεξιότητες, ιστορίες και προσωπικότητες, επιτρέποντας στους παίκτες να δημιουργήσουν μια ομάδα που να αντικατοπτρίζει το στυλ παιχνιδιού και τις προτιμήσεις τους. Αυτό το σύστημα δημιουργεί έναν δυναμικό και διαρκώς μεταβαλλόμενο κόσμο παιχνιδιού, όπου οι NPCs δεν είναι απλώς χαρακτήρες του παρασκήνιου, αλλά ενεργά συμμετέχοντες στην εμπειρία του παιχνιδιού.

Ενώ η διαδικαστική παραγωγή περιεχομένου προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα, παρουσιάζει επίσης προκλήσεις όσον αφορά τη διατήρηση της ποιότητας και της συνέπειας των συμπεριφορών των NPCs. Οι προγραμματιστές πρέπει να εξισορροπούν προσεκτικά την τυχαιότητα της διαδικαστικής παραγωγής με την ανάγκη για συνεκτικούς και πιστευτούς NPCs που συμβάλλουν ουσιαστικά στον κόσμο του παιχνιδιού. Αυτό απαιτεί την ανάπτυξη ισχυρών αλγορίθμων και συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης που μπορούν να παράγουν NPCs που δεν είναι μόνο ποικίλοι αλλά και κατάλληλοι για το πλαίσιο και αφηγηματικά συνεπείς.

Παρ' όλα αυτά, η διαδικαστική παραγωγή περιεχομένου αποτελεί έναν συναρπαστικό τομέα καινοτομίας στην ανάπτυξη NPCs, με τη δυνατότητα να δημιουργηθούν πιο ποικίλες και δυναμικές εμπειρίες παιχνιδιού. Καθώς η τεχνητή νοημοσύνη και οι τεχνικές διαδικαστικής παραγωγής συνεχίζουν να εξελίσσονται, μπορούμε να περιμένουμε να δούμε ακόμη πιο εξελιγμένους και διαφορετικούς NPCs σε μελλοντικά παιχνίδια, προσφέροντας στους παίκτες νέους τρόπους αλληλεπίδρασης και εξερεύνησης των εικονικών κόσμων.

2.3 Μοντέλα συμπεριφοράς με βάση την τεχνητή νοημοσύνη για NPCs

2.3.1 Μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων

2.3.1.1 Βασικές αρχές των μηχανών πεπερασμένων καταστάσεων

Οι μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων είναι από τα πρώτα και πιο θεμελιώδη μοντέλα για την εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης στα βιντεοπαιχνίδια. Είναι υπολογιστικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό αλγορίθμων που προσομοιώνουν διαδικασίες λήψης αποφάσεων. Ονομάζονται "πεπερασμένες" επειδή αποτελούνται από έναν περιορισμένο αριθμό

καταστάσεων και το σύστημα μπορεί να βρίσκεται μόνο σε μία κατάσταση ανά πάσα στιγμή. Οι μεταβάσεις μεταξύ των καταστάσεων πραγματοποιούνται με βάση συγκεκριμένες εισόδους ή συνθήκες, και κάθε κατάσταση αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη συμπεριφορά ή ενέργεια που εκτελείται από ένα NPC (Harel, 1987).

Η βασική ιδέα των μηχανών πεπερασμένων καταστάσεων είναι ότι η συμπεριφορά ενός NPC μπορεί να αναλυθεί σε μια σειρά από διακριτές καταστάσεις, όπως "αδράνεια", "περιπολία", "επίθεση" ή "φυγή". Κάθε κατάσταση ορίζει ένα συγκεκριμένο σύνολο ενεργειών ή συμπεριφορών που θα εκτελεί ο NPC όταν βρίσκεται σε αυτή την κατάσταση. Για παράδειγμα, στην κατάσταση "περιπολία", ένας NPC μπορεί να κινείται κατά μήκος μιας προκαθορισμένης διαδρομής, ανιχνεύοντας τους παίκτες ή άλλες απειλές. Εάν ο NPC εντοπίσει τους παίκτες, μπορεί να μεταβεί στην κατάσταση "επίθεση", όπου θα εμπλακεί με τους παίκτες σε μάχη. Οι μεταβάσεις μεταξύ αυτών των καταστάσεων διέπονται από συνθήκες ή εναύσματα, όπως η είσοδος των παικτών στο οπτικό πεδίο του NPC ή βλέποντας τον NPC (Russell & Norvig, 2016).

Οι μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων εκτιμώνται ευρέως για την απλότητα και τη σαφήνιά τους, γεγονός που τις καθιστά ιδανικό σημείο εκκίνησης για τους προγραμματιστές παιχνιδιών και τους σχεδιαστές τεχνητής νοημοσύνης. Παρέχουν μια απλή και ντετερμινιστική προσέγγιση για τον ορισμό συμπεριφορών NPCs, όπου κάθε πιθανή ενέργεια προγραμματίζεται ρητά. Αυτό επιτρέπει στους προγραμματιστές να έχουν ακριβή έλεγχο του τρόπου με τον οποίο οι NPCs συμπεριφέρονται σε διάφορες καταστάσεις, διασφαλίζοντας ότι η τεχνητή νοημοσύνη του παιχνιδιού είναι προβλέψιμη και συνεπής (Millington & Funge, 2009).

Οι μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων αναπαρίστανται συνήθως γραφικά, με κύκλους ή κόμβους που αναπαριστούν τις καταστάσεις και βέλη που αναπαριστούν τις μεταβάσεις μεταξύ αυτών των καταστάσεων. Αυτή η οπτική αναπαράσταση διευκολύνει τους προγραμματιστές στη σχεδίαση και την αποσφαλμάτωση της συμπεριφοράς του NPC, καθώς μπορούν να δουν ξεκάθαρα πώς ο NPC θα μετακινηθεί από τη μία κατάσταση στην άλλη με βάση διάφορες συνθήκες. Αυτή η οπτική σαφήνεια είναι ένας από τους λόγους για τους οποίους οι μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων παραμένουν δημοφιλείς στην ανάπτυξη παιχνιδιών, ιδίως στα αρχικά στάδια της πρωτοτυποποίησης και του σχεδιασμού (Millington & Funge, 2009).

Παρά την απλότητά τους, μπορούν να κλιμακωθούν για να χειριστούν πιο σύνθετες συμπεριφορές αυξάνοντας τον αριθμό των καταστάσεων και των μεταβάσεων. Ωστόσο, καθώς αυξάνεται η πολυπλοκότητα της συμπεριφοράς των NPC, μπορούν να γίνουν δυσκίνητες, οδηγώντας σε αυτό που είναι γνωστό ως "έκρηξη καταστάσεων". Αυτό συμβαίνει όταν ο αριθμός των καταστάσεων και των μεταβάσεων αυξάνεται εκθετικά, καθιστώντας τη διαχείριση της μηχανής πεπερασμένων καταστάσεων δύσκολη και επιρρεπή σε σφάλματα. Η αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος απαιτεί συχνά τη χρήση ιεραρχικών μηχανών πεπερασμένων καταστάσεων, όπου οι καταστάσεις ομαδοποιούνται σε κατηγορίες υψηλότερου επιπέδου, επιτρέποντας πιο εύχρηστο και αρθρωτό σχεδιασμό (Harel, 1987).

2.3.1.2 Εφαρμογές στην τεχνητή νοημοσύνη των πρώτων παιχνιδιών

Οι μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων αποτέλεσαν θεμελιώδες εργαλείο στην ανάπτυξη της πρώιμης τεχνητής νοημοσύνης παιχνιδιών, ιδίως στα τέλη της δεκαετίας του 1980 και τη δεκαετία του 1990, όταν οι υπολογιστικοί πόροι ήταν περιορισμένοι και η τεχνητή νοημοσύνη των παιχνιδιών έπρεπε να είναι αποδοτική και αποτελεσματική. Ένα από τα πρώτα και πιο διάσημα παραδείγματα σε δράση βρίσκεται στο Pac-Man (1980), όπου η συμπεριφορά των φαντασμάτων διέπεται από ένα σύνολο απλών κανόνων που υπαγόρευαν τα μοτίβα κίνησής τους με βάση τη θέση των παικτών (Namco, 1980). Κάθε φάντασμα στο Pac-Man είχε ένα ξεχωριστό μοτίβο συμπεριφοράς, το οποίο καθοριζόταν από την κατάστασή στη μηχανή πεπερασμένων καταστάσεων. Για παράδειγμα, το Blinky (το κόκκινο φάντασμα) έμπαινε σε κατάσταση "καταδίωξης" όταν ο Pac-Man βρισκόταν κοντά, ενώ το Pinky (το ροζ φάντασμα) προσπαθούσε να τοποθετηθεί μπροστά από τον Pac-Man περιμένοντας τις κινήσεις του.

Η απλότητα των μηχανών πεπερασμένων καταστάσεων τις καθιστούσε ιδιαίτερα κατάλληλες για τους περιορισμούς του υλικού των πρώτων παιχνιδιών arcade και κονσόλας, όπου η μνήμη και η επεξεργαστική ισχύς ήταν περιορισμένες. Με την ανάλυση της συμπεριφοράς των NPCs σε μια σειρά διακριτών καταστάσεων, οι προγραμματιστές μπορούσαν να δημιουργήσουν την ψευδαίσθηση έξυπνης συμπεριφοράς χωρίς την ανάγκη πολύπλοκων υπολογισμών. Αυτή η

προσέγγιση ήταν όχι μόνο αποδοτική αλλά και ιδιαίτερα αποτελεσματική στη δημιουργία προκλητικού και ελκυστικού παιχνιδιού, καθώς οι παίκτες έπρεπε να μάθουν και να προσαρμοστούν στις προβλέψιμες αλλά ποικίλες συμπεριφορές των NPCs.

Ένα άλλο πρώιμο παράδειγμα το *The Legend of Zelda* (1986), όπου οι NPCs, όπως οι εχθροί και οι αρχηγοί, χρησιμοποιούσαν μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων για να διαχειρίζονται τα μοτίβα επίθεσής τους και τις αντιδράσεις τους στις ενέργειες των παικτών (Nintendo, 1986). Για παράδειγμα, οι αρχηγοί του παιχνιδιού είχαν συχνά πολλαπλές καταστάσεις, όπως "περιπολία", "επίθεση" και " τρωτότητα", κάθε μία από τις οποίες ενεργοποιούνταν από συγκεκριμένες συνθήκες, όπως η εγγύτητα των παικτών ή οι επιτυχημένες επιθέσεις. Αυτές οι καταστάσεις επέτρεπαν στους αρχηγούς να επιδεικνύουν πιο σύνθετες συμπεριφορές, όπως να αλλάζουν τα μοτίβα επίθεσής τους μετά από ζημιά που δέχονταν ή όταν οι παίκτες μετακινούνταν σε μια συγκεκριμένη θέση μέσα στην αρένα τους.

Οι μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων χρησιμοποιήθηκαν επίσης ευρέως στο σχεδιασμό των RPGs και των παιχνιδιών στρατηγικής, όπου οι NPCs έπρεπε να διαχειριστούν μια ποικιλία εργασιών και συμπεριφορών για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Σε παιχνίδια όπως το *Final Fantasy* (1987) και το *Ultima IV: Quest of the Avatar* (1985), οι NPCs χρησιμοποιούσαν μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων για να διαχειρίζονται τις αλληλεπιδράσεις τους με τους παίκτες, συμπεριλαμβανομένων των διαλόγων, των συναλλαγών και των μαχών (Square, 1987; Garriott, 1985). Αυτές επέτρεπαν στους NPCs να μεταβαίνουν ομαλά μεταξύ διαφορετικών καταστάσεων με βάση την είσοδο των παικτών, δημιουργώντας έναν πιο δυναμικό και διαδραστικό κόσμο παιχνιδιού.

Η ευελιξία τους τις κατέστησε βασικό στοιχείο στην πρώιμη ανάπτυξη παιχνιδιών, καθώς μπορούσαν να προσαρμοστούν σε ένα ευρύ φάσμα ειδών και στυλ παιχνιδιού. Από τη γρήγορη δράση των παιχνιδιών arcade μέχρι το στρατηγικό βάθος των RPG, παρείχαν ένα αξιόπιστο πλαίσιο για την υλοποίηση τεχνητής νοημοσύνης που μπορούσε να ανταποκριθεί στις ενέργειες των παικτών με ουσιαστικό τρόπο. Αυτή η προσαρμοστικότητα εξασφάλισε ότι παρέμειναν βασικό συστατικό της τεχνητής νοημοσύνης των παιχνιδιών για πολλά χρόνια, ακόμη και όταν άρχισαν να εμφανίζονται άλλες τεχνικές (Russell & Norvig, 2016).

2.3.1.3 Περιορισμοί και προκλήσεις

Παρόλο που οι μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη των πρώτων παιχνιδιών τεχνητής νοημοσύνης, δεν σημαίνει πως δεν έχουν περιορισμούς. Καθώς αυξανόταν η πολυπλοκότητα των βιντεοπαιχνιδιών, τα μειονεκτήματά τους έγιναν πιο εμφανή, οδηγώντας τους προγραμματιστές να διερευνήσουν εναλλακτικά μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης που θα μπορούσαν να προσφέρουν μεγαλύτερη ευελιξία και επεκτασιμότητα.

Ένας από τους κύριους περιορισμούς τους είναι η ευαισθησία τους στην "έκρηξη καταστάσεων". Καθώς αυξάνεται ο αριθμός των πιθανών καταστάσεων και μεταβάσεων, η πολυπλοκότητα τους αυξάνεται εκθετικά, καθιστώντας δύσκολη τη διαχείρισή τους και επιρρεπή σε σφάλματα. Σε παιχνίδια με πολύπλοκες συμπεριφορές NPCs, ο αριθμός των καταστάσεων που απαιτούνται για την αναπαράσταση όλων των πιθανών ενεργειών και αντιδράσεων μπορεί γρήγορα να γίνει μη διαχειρίσιμος, οδηγώντας σε δυσκίνητες και αναποτελεσματικές μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων. Το ζήτημα αυτό είναι ιδιαίτερα προβληματικό σε παιχνίδια ανοικτού κόσμου ή sandbox, όπου οι NPCs πρέπει να αντιδρούν σε ένα ευρύ φάσμα ερεθισμάτων και ενεργειών των παικτών (Harel, 1987).

Για την αντιμετώπιση αυτής της πρόκλησης, οι προγραμματιστές χρησιμοποιούν συχνά ιεραρχικές μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων, όπου οι καταστάσεις ομαδοποιούνται σε κατηγορίες υψηλότερου επιπέδου, επιτρέποντας έναν πιο αρθρωτό και διαχειρίσιμο σχεδιασμό. Για παράδειγμα, ένας NPC σε ένα σενάριο μάχης μπορεί να έχει μια κατάσταση ανώτατου επιπέδου για "μάχη" με υποκαταστάσεις για "επίθεση με κοντινή απόσταση", "επίθεση από απόσταση" και "αμυντική στάση". Αυτή η ιεραρχική προσέγγιση μπορεί να μειώσει τη συνολική πολυπλοκότητα τους, αλλά εισάγει επίσης πρόσθετες προκλήσεις, όπως η διασφάλιση ότι οι μεταβάσεις μεταξύ καταστάσεων παραμένουν συνεπείς και λογικές (Isla, 2008).

Ένας άλλος σημαντικός περιορισμός των μηχανών πεπερασμένων καταστάσεων είναι η ντετερμινιστική φύση τους, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε προβλέψιμες και επαναλαμβανόμενες συμπεριφορές των NPCs. Επειδή βασίζονται σε προκαθορισμένες καταστάσεις και μεταβάσεις, οι NPCs συχνά παρουσιάζουν τα ίδια μοτίβα συμπεριφοράς κάθε

φορά που αντιμετωπίζουν μια συγκεκριμένη κατάσταση. Αυτή η προβλεψιμότητα μπορεί να μειώσει την πρόκληση και την εμβύθιση του παιχνιδιού, καθώς οι παίκτες μπορεί να μάθουν να εκμεταλλεύονται τις προβλέψιμες αντιδράσεις της τεχνητής νοημοσύνης. Για παράδειγμα, σε ένα παιχνίδι όπου οι εχθροί εισέρχονται πάντα σε κατάσταση "φυγής" όταν η υγεία τους πέφτει κάτω από ένα ορισμένο όριο, οι παίκτες μπορεί απλώς να περιμένουν μέχρι ο εχθρός να είναι αδύναμος πριν εξαπολύσουν επίθεση, γνωρίζοντας ότι ο εχθρός θα προσπαθήσει να φύγει αντί να αντεπιτεθεί (Russell & Norvig, 2016).

Αυτή η προβλεψιμότητα περιορίζει επίσης τη δυνατότητα αναπαραγωγής των παιχνιδιών που βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στην τεχνητή νοημοσύνη με βάση τις μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων. Μόλις οι παίκτες μάθουν τα μοτίβα, μπορεί να βρουν το παιχνίδι λιγότερο ελκυστικό, καθώς υπάρχει μικρή διαφοροποίηση στη συμπεριφορά των NPCs από το ένα παιχνίδι στο άλλο. Αυτό το ζήτημα είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε είδη όπως τα παιχνίδια stealth και στρατηγικής, όπου το στοιχείο της έκπληξης και του απρόβλεπτου είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση του ενδιαφέροντος των παικτών.

Οι μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων δυσκολεύονται επίσης να χειριστούν πολύπλοκες διαδικασίες λήψης αποφάσεων που περιλαμβάνουν πολλαπλούς παράγοντες ή απαιτούν προσαρμογή σε πραγματικό χρόνο στις μεταβαλλόμενες συνθήκες. Σε σενάρια όπου ένας NPC πρέπει να αξιολογήσει πολλές μεταβλητές ταυτόχρονα, όπως η θέση των παικτών, η διαθέσιμη κάλυψη και η παρουσία συμμάχων ή εχθρών, μπορούν να γίνουν δυσκίνητες και αναποτελεσματικές. Αυτός ο περιορισμός επιδεινώνεται σε παιχνίδια που διαθέτουν μεγάλο αριθμό NPCs, όπου η ανάγκη λήψης αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα απόδοσης και μειωμένη ανταπόκριση της τεχνητής νοημοσύνης (Millington & Funge, 2009).

Παρά τους περιορισμούς αυτούς, συνεχίζουν να χρησιμοποιούνται στη σύγχρονη ανάπτυξη παιχνιδιών, ιδίως σε περιπτώσεις όπου είναι επιθυμητή η απλότητα και η προβλεψιμότητα. Για παράδειγμα, σε παιχνίδια με αυστηρά ελεγχόμενες αφηγήσεις ή σεναριακά γεγονότα, μπορούν να παρέχουν την απαραίτητη δομή για να διασφαλίσουν ότι οι NPCs συμπεριφέρονται με συνέπεια και σύμφωνα με την ιστορία του παιχνιδιού. Ωστόσο, σε πιο σύνθετα ή ανοιχτά παιχνίδια, οι προγραμματιστές συχνά συμπληρώνουν τις μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων με άλλες τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης, όπως δέντρα συμπεριφοράς, τεχνητή νοημοσύνη βάσει χρησιμότητας ή μηχανική μάθηση, για να δημιουργήσουν πιο δυναμικούς και προσαρμόσιμους NPCs (Russell & Norvig, 2016).

Οι περιορισμοί τους οδήγησαν επίσης στην ανάπτυξη υβριδικών συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης, όπου συνδυάζονται με άλλες τεχνικές για να εξισορροπήσουν την απλότητα με την πολυπλοκότητα. Για παράδειγμα, ένα παιχνίδι μπορεί να χρησιμοποιεί μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων για βασικές συμπεριφορές NPCs, όπως περιπολίες ή επιθέσεις, ενώ χρησιμοποιεί ένα πιο προηγμένο μοντέλο τεχνητής νοημοσύνης, όπως ένα δέντρο συμπεριφοράς, για τη διαχείριση αποφάσεων υψηλότερου επιπέδου. Αυτή η υβριδική προσέγγιση επιτρέπει στους προγραμματιστές να αξιοποιήσουν τα πλεονεκτήματα τους και ταυτόχρονα να μετριάσουν τις αδυναμίες τους, δημιουργώντας NPCs που είναι τόσο προβλέψιμοι όσο και ικανοί για πιο εξελιγμένες συμπεριφορές (Isla, 2008).

2.3.2 Δέντρα συμπεριφοράς

2.3.2.1 Δομή και λειτουργία των δέντρων συμπεριφοράς

Τα δέντρα συμπεριφοράς είναι ένα ισχυρό και ευέλικτο εργαλείο που χρησιμοποιείται στην τεχνητή νοημοσύνη των παιχνιδιών για τη μοντελοποίηση σύνθετων συμπεριφορών σε NPCs. Αντιπροσωπεύουν μια εξέλιξη από τις παραδοσιακές μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων, προσφέροντας μια πιο αρθρωτή και κλιμακούμενη προσέγγιση για τη λήψη αποφάσεων και τη διαχείριση της συμπεριφοράς. Τα δέντρα συμπεριφοράς είναι ιδιαίτερα κατάλληλα για καταστάσεις όπου οι NPCs πρέπει να παρουσιάζουν ένα ευρύ φάσμα ενεργειών και να ανταποκρίνονται δυναμικά στις μεταβαλλόμενες καταστάσεις του παιχνιδιού (Isla, 2008).

Στον πυρήνα τους, τα δέντρα συμπεριφοράς είναι ιεραρχικές δομές που αποτελούνται από κόμβους, καθένας από τους οποίους αντιπροσωπεύει μια εργασία ή μια απόφαση. Αυτοί οι κόμβοι συνδέονται σε ένα σχηματισμό που μοιάζει με δέντρο, όπου ο κόμβος-ρίζα αντιπροσωπεύει το σημείο εκκίνησης και τα κλαδιά αντιπροσωπεύουν πιθανές αποφάσεις ή

ενέργειες. Το δέντρο διατρέχεται από τη ρίζα προς τα φύλλα, με κάθε κόμβο να αντιπροσωπεύει μια συμπεριφορά ή μια διαδικασία λήψης αποφάσεων. Οι κόμβοι σε ένα δέντρο συμπεριφοράς μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε διάφορους τύπους, όπως

1. **Κόμβοι επιλογής (Selector Nodes):** Οι κόμβοι αυτοί είναι υπεύθυνοι για την επιλογή μεταξύ ενός συνόλου παιδικών κόμβων με βάση ορισμένες συνθήκες. Ο κόμβος επιλογής θα αξιολογήσει διαδοχικά κάθε κόμβο-παιδί και θα εκτελέσει τον πρώτο που θα επιτύχει. Εάν κανένας από τους παιδικούς κόμβους δεν επιτύχει, ο κόμβος επιλογής θα αποτύχει. Αυτό επιτρέπει στους NPCs να δίνουν προτεραιότητα σε ορισμένες συμπεριφορές με βάση το πλαίσιο (Isla, 2008).
2. **Κόμβοι ακολουθίας (Sequence Nodes):** Αυτοί οι κόμβοι εκτελούν τους κόμβους-παιδιά τους με τη σειρά, ο ένας μετά τον άλλο. Ένας κόμβος ακολουθίας πετυχαίνει μόνο αν πετύχουν όλοι οι κόμβοι-παιδιά του. Εάν οποιοσδήποτε κόμβος-παιδί αποτύχει, ο κόμβος ακολουθίας θα αποτύχει επίσης. Οι κόμβοι ακολουθίας χρησιμοποιούνται για να διασφαλιστεί ότι μια σειρά ενεργειών ολοκληρώνεται με συγκεκριμένη σειρά, όπως για παράδειγμα η μετακίνηση ενός NPC σε μια τοποθεσία, η παραλαβή ενός αντικειμένου και η επιστροφή στην αρχική του θέση (Millington & Funge, 2009).
3. **Κόμβοι διακοσμητών (Decorator Nodes):** Αυτοί οι κόμβοι τροποποιούν τη συμπεριφορά των κόμβων-παιδιών τους προσθέτοντας συνθήκες ή αλλάζοντας τη ροή της εκτέλεσης. Για παράδειγμα, ένας κόμβος διακοσμητής μπορεί να επαναλάβει την ενέργεια ενός κόμβου-παιδιού μέχρι να ικανοποιηθεί μια συγκεκριμένη συνθήκη, όπως για παράδειγμα η επίθεση ενός NPC μέχρι η υγεία του να πέσει κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο (Isla, 2008).
4. **Κόμβοι δράσης (Task Nodes):** Αυτοί είναι οι κόμβοι φύλλων του δέντρου και αντιπροσωπεύουν τις πραγματικές συμπεριφορές ή ενέργειες που μπορεί να εκτελέσει ένας NPC. Οι κόμβοι δράσης είναι τα τελικά σημεία του δέντρου συμπεριφοράς και εκτελούν συγκεκριμένες εργασίες, όπως μετακίνηση, επίθεση ή αλληλεπίδραση με αντικείμενα (Millington & Funge, 2009).

Η διάσχιση ενός δέντρου συμπεριφοράς εκτελείται συνήθως κάθε φορά που ο NPC πρέπει να λάβει μια απόφαση, επιτρέποντάς του να αξιολογήσει την τρέχουσα κατάστασή του και να επιλέξει την καταλληλότερη ενέργεια. Ο αρθρωτός χαρακτήρας των δέντρων συμπεριφοράς τα καθιστά ιδιαίτερα προσαρμόσιμα, καθώς μπορούν να προστεθούν νέες συμπεριφορές ή να τροποποιηθούν οι υπάρχουσες χωρίς να χρειάζεται να επανασχεδιαστεί ολόκληρο το σύστημα. Αυτή η ευελιξία είναι ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα των δέντρων συμπεριφοράς έναντι των μηχανών πεπερασμένων καταστάσεων, καθώς επιτρέπει πιο σύνθετες και δυναμικές συμπεριφορές NPCs χωρίς τον κίνδυνο έκρηξης καταστάσεων (Millington & Funge, 2009).

Τα δέντρα συμπεριφοράς είναι επίσης οπτικά διαισθητικά, διευκολύνοντας τους προγραμματιστές να τα σχεδιάζουν, να τα αποσφαλματώνουν και να τα τροποποιούν. Η ιεραρχική δομή επιτρέπει στους προγραμματιστές να αναλύουν πολύπλοκες συμπεριφορές σε μικρότερα, πιο διαχειρίσιμα συστατικά, καθένα από τα οποία αντιπροσωπεύεται από έναν κόμβο στο δέντρο. Αυτή η οπτική σαφήνεια είναι ιδιαίτερα πολύτιμη σε έργα μεγάλης κλίμακας, όπου η συμπεριφορά των NPCs μπορεί να γίνει ιδιαίτερα πολύπλοκη και δύσκολα διαχειρίσιμη (Isla, 2008).

2.3.2.2 Πλεονεκτήματα έναντι των μηχανών πεπερασμένων καταστάσεων

Τα δέντρα συμπεριφοράς προσφέρουν αρκετά σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των μηχανών πεπερασμένων καταστάσεων, ιδίως όσον αφορά την επεκτασιμότητα, την ευελιξία και την ευκολία χρήσης. Ενώ οι μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων είναι αποτελεσματικές για τη διαχείριση απλών και ντετερμινιστικών συμπεριφορών, γίνονται δυσκίνητες και δύσκολα διαχειρίσιμες καθώς αυξάνεται η πολυπλοκότητα της συμπεριφοράς των NPCs. Τα δέντρα συμπεριφοράς αντιμετωπίζουν πολλούς από τους περιορισμούς τους, καθιστώντας τα προτιμώμενη επιλογή για την ανάπτυξη σύγχρονης τεχνητής νοημοσύνης στα παιχνίδια (Millington & Funge, 2009).

1. **Επεκτασιμότητα:** Ένα από τα πιο αξιοσημείωτα πλεονεκτήματα των δέντρων συμπεριφοράς είναι η επεκτασιμότητά τους. Οι μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων είναι επιρρεπείς σε έκρηξη καταστάσεων, όπου ο αριθμός των καταστάσεων και των μεταβάσεων αυξάνεται εκθετικά καθώς αυξάνεται η πολυπλοκότητα της συμπεριφοράς.

Αυτό μπορεί να τις καταστήσει δύσκολα διαχειρίσιμες και επιρρεπείς σε σφάλματα. Αντίθετα, τα δέντρα συμπεριφοράς είναι εγγενώς αρθρωτά, επιτρέποντας στους προγραμματιστές να προσθέτουν, να αφαιρούν ή να τροποποιούν συμπεριφορές χωρίς να επηρεάζουν τη συνολική δομή του δέντρου. Αυτή η αρθρωτότητα καθιστά τα δέντρα συμπεριφοράς πιο επεκτάσιμα, καθώς μπορούν εύκολα να φιλοξενήσουν πρόσθετη πολυπλοκότητα χωρίς να γίνονται δυσκίνητα (Isla, 2008).

2. **Ευελιξία:** Τα δέντρα συμπεριφοράς προσφέρουν μεγαλύτερη ευελιξία στη διαχείριση των συμπεριφορών των NPC. Σε μία μηχανή πεπερασμένων καταστάσεων, κάθε κατάσταση και μετάβαση πρέπει να ορίζεται ρητά, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε άκαμπτα και προβλέψιμα πρότυπα συμπεριφοράς. Τα δέντρα συμπεριφοράς, από την άλλη πλευρά, επιτρέπουν πιο δυναμική λήψη αποφάσεων, καθώς οι NPCs μπορούν να αξιολογούν πολλαπλές συνθήκες και να επιλέγουν την καταλληλότερη ενέργεια με βάση το τρέχον πλαίσιο. Αυτή η ευελιξία επιτρέπει στους NPCs να επιδεικνύουν πιο ποικίλες και ευαίσθητες στο πλαίσιο συμπεριφορές, καθιστώντας τους λιγότερο προβλέψιμους και πιο ελκυστικούς για τους παίκτες (Millington & Funge, 2009).
3. **Επαναχρησιμοποίηση:** Ο αρθρωτός σχεδιασμός των δέντρων συμπεριφοράς τα καθιστά ιδιαίτερα επαναχρησιμοποιήσιμα. Μεμονωμένοι κόμβοι ή ολόκληρα υποδέντρα μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν σε διαφορετικούς NPCs ή ακόμα και σε διαφορετικά έργα, μειώνοντας την ανάγκη για πλεονάζοντα κώδικα και απλοποιώντας τη διαδικασία ανάπτυξης. Αυτή η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης είναι ιδιαίτερα πολύτιμη σε μεγάλα παιχνίδια με πολλούς NPCs, καθώς επιτρέπει στους προγραμματιστές να δημιουργήσουν μια βιβλιοθήκη συμπεριφορών που μπορούν εύκολα να εφαρμοστούν σε διαφορετικούς χαρακτήρες (Isla, 2008).
4. **Ευκολία αποσφαλμάτωσης και συντήρησης:** Η ιεραρχική δομή των δέντρων συμπεριφοράς τα καθιστά ευκολότερα στην αποσφαλμάτωση και τη συντήρηση από τις μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων. Σε μία μηχανή, η αποσφαλμάτωση μπορεί να γίνει πολύπλοκη καθώς αυξάνεται ο αριθμός των καταστάσεων και των μεταβάσεων, οδηγώντας σε δυσκολίες στον εντοπισμό σφαλμάτων ή απροσδόκητων συμπεριφορών. Τα δέντρα συμπεριφοράς, με τη σαφή και αρθρωτή δομή τους, επιτρέπουν στους προγραμματιστές να απομονώσουν και να αντιμετωπίσουν συγκεκριμένες συμπεριφορές χωρίς να χρειάζεται να περιηγηθούν σε έναν πολύπλοκο ιστό καταστάσεων και μεταβάσεων. Αυτή η ευκολία εντοπισμού σφαλμάτων συμβάλλει στη συνολική ευρωστία και αξιοπιστία του συστήματος τεχνητής νοημοσύνης (Millington & Funge, 2009).
5. **Βελτιωμένη εμπειρία των παικτών:** Η δυναμική και προσαρμοστική φύση των δέντρων συμπεριφοράς συμβάλλει σε μια πιο ελκυστική εμπειρία των παικτών. Επειδή οι NPCs μπορούν να ανταποκριθούν σε ένα ευρύτερο φάσμα ερεθισμάτων και να επιδείξουν πιο ποικίλες συμπεριφορές, οι παίκτες είναι λιγότερο πιθανό να συναντήσουν επαναλαμβανόμενα ή προβλέψιμα μοτίβα. Αυτό οδηγεί σε μια πιο καθηλωτική και προκλητική εμπειρία παιχνιδιού, καθώς οι παίκτες πρέπει να προσαρμόζονται συνεχώς στις εξελισσόμενες συμπεριφορές των NPCs (Isla, 2008).

Συνολικά, τα δέντρα συμπεριφοράς προσφέρουν μια πιο ισχυρή και ευέλικτη προσέγγιση για τη διαχείριση των συμπεριφορών των NPCs, αντιμετωπίζοντας πολλούς από τους περιορισμούς που σχετίζονται με τις μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων. Η επεκτασιμότητα, η ευελιξία και η ευκολία χρήσης τους τα καθιστούν ιδανική επιλογή για τη σύγχρονη ανάπτυξη παιχνιδιών, όπου οι απαιτήσεις για πολύπλοκες και δυναμικές συμπεριφορές NPCs συνεχίζουν να αυξάνονται.

2.3.2.3 Παραλλαγές: Δέντρα συμπεριφοράς βάσει χρησιμότητας

Τα δέντρα συμπεριφοράς έχουν εξελιχθεί με την πάροδο του χρόνου και περιλαμβάνουν διάφορες παραλλαγές που ενισχύουν τη λειτουργικότητα και την προσαρμοστικότητά τους. Δύο από τις πιο αξιοσημείωτες παραλλαγές είναι τα ιεραρχικά δέντρα συμπεριφοράς και τα δέντρα συμπεριφοράς βάσει χρησιμότητας. Αυτές οι παραλλαγές βασίζονται στις βασικές αρχές των δέντρων συμπεριφοράς, εισάγοντας νέα χαρακτηριστικά που επιτρέπουν ακόμη πιο εξελιγμένες και ευαίσθητες στο πλαίσιο συμπεριφορές NPCs.

1. Ιεραρχικά δέντρα συμπεριφοράς

Τα ιεραρχικά δέντρα συμπεριφοράς είναι μια επέκταση του βασικού μοντέλου δέντρων συμπεριφοράς, σχεδιασμένο για τη διαχείριση της πολυπλοκότητας με την οργάνωση των συμπεριφορών σε πολλαπλά επίπεδα αφαίρεσης. Σε ένα τέτοιο δέντρο, οι συμπεριφορές υψηλού επιπέδου αναπαρίστανται από κόμβους γονέων, οι οποίοι μπορούν να περιέχουν ολόκληρα υποδέντρα που αναπαριστούν συμπεριφορές χαμηλότερου επιπέδου. Αυτή η ιεραρχική δομή επιτρέπει στους προγραμματιστές να αναλύουν πολύπλοκες συμπεριφορές σε μικρότερα, πιο διαχειρίσιμα συστατικά, καθένα από τα οποία μπορεί να αναπτυχθεί και να δοκιμαστεί ανεξάρτητα (Millington & Funge, 2009).

Για παράδειγμα, σε ένα σενάριο μάχης, ένας NPC μπορεί να έχει μια υψηλού επιπέδου συμπεριφορά "Μάχη" που αντιπροσωπεύεται από έναν γονικό κόμβο. Αυτός ο κόμβος θα μπορούσε να περιέχει υποδέντρα για διαφορετικές στρατηγικές μάχης, όπως "Επίθεση από κοντινή απόσταση", "Επίθεση από μακρινή απόσταση" και "Αμυντικοί ελιγμοί". Καθένα από αυτά τα υποδέντρα θα μπορούσε στη συνέχεια να διαιρεθεί περαιτέρω σε πιο συγκεκριμένες ενέργειες, όπως "Ορμητική επίθεση", "Ρίψη βέλους" ή "Κάλυψη". Με την ιεραρχική οργάνωση των συμπεριφορών, αυτά τα δέντρα επιτρέπουν στους προγραμματιστές να διαχειρίζονται πιο αποτελεσματικά πολύπλοκα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης, εξασφαλίζοντας ότι οι NPCs μπορούν να παρουσιάσουν ένα ευρύ φάσμα συμπεριφορών χωρίς να γίνονται υπερβολικά πολύπλοκα ή δύσκολα συντηρήσιμα (Isla, 2008).

Τα ιεραρχικά δέντρα συμπεριφοράς είναι ιδιαίτερα χρήσιμα σε παιχνίδια μεγάλης κλίμακας με πολλά αλληλεπιδρώντα συστήματα, όπου οι NPCs πρέπει να επιδεικνύουν ένα ευρύ φάσμα συμπεριφορών σε διαφορετικά πλαίσια. Η ιεραρχική δομή διασφαλίζει ότι η λήψη αποφάσεων υψηλού επιπέδου διαχωρίζεται από τις ενέργειες χαμηλού επιπέδου, επιτρέποντας πιο αρθρωτές και επαναχρησιμοποιήσιμες συνιστώσες τεχνητής νοημοσύνης. Αυτή η προσέγγιση διευκολύνει επίσης την αποσφαλμάτωση και τη βελτιστοποίηση, καθώς οι προγραμματιστές μπορούν να επικεντρωθούν σε συγκεκριμένα υποδέντρα χωρίς να χρειάζεται να κατανοήσουν ολόκληρο το δέντρο συμπεριφοράς ταυτόχρονα (Millington & Funge, 2009).

2. Δέντρα συμπεριφοράς βάσει χρησιμότητας

Τα δέντρα συμπεριφοράς βάσει χρησιμότητας συνδυάζουν τις αρχές των δέντρων συμπεριφοράς με την τεχνητή νοημοσύνη βάσει χρησιμότητας, εισάγοντας μια πιο δυναμική και ευαίσθητη στο πλαίσιο προσέγγιση στη λήψη αποφάσεων. Σε ένα τέτοιο δέντρο, στους κόμβους αποδίδονται τιμές χρησιμότητας με βάση την επιθυμητότητα ή την αποτελεσματικότητα των σχετικών ενεργειών τους σε μια δεδομένη κατάσταση. Στη συνέχεια, το δέντρο συμπεριφοράς διατρέχεται με βάση αυτές τις τιμές χρησιμότητας, με τον NPC να επιλέγει την ενέργεια που προσφέρει την υψηλότερη χρησιμότητα (Millington & Funge, 2009).

Για παράδειγμα, σε ένα παιχνίδι επιβίωσης, ένας NPC μπορεί να πρέπει να επιλέξει μεταξύ της εύρεσης τροφής, της κατασκευής καταφυγίου ή της άμυνας από τα αρπακτικά. Κάθε μία από αυτές τις ενέργειες θα αναπαρίσταται από έναν κόμβο στο δέντρο συμπεριφοράς και σε κάθε κόμβο θα αποδίδεται μια τιμή χρησιμότητας με βάση τις τρέχουσες ανάγκες του NPC, όπως η πείνα, η ασφάλεια ή η ενέργεια. Το δέντρο θα επέλεγε στη συνέχεια την ενέργεια με την υψηλότερη χρησιμότητα, επιτρέποντας στον NPC να προσαρμόζει δυναμικά τη συμπεριφορά του με βάση τις μεταβαλλόμενες συνθήκες (Isla, 2008).

Τα δέντρα συμπεριφοράς βάσει χρησιμότητας είναι ιδιαίτερα χρήσιμα σε σενάρια όπου οι NPCs πρέπει να εξισορροπήσουν πολλαπλές ανταγωνιστικές προτεραιότητες ή όπου η βέλτιστη δράση δεν είναι άμεσα εμφανής. Αποδίδοντας τιμές χρησιμότητας σε διαφορετικές ενέργειες, τα συγκεκριμένα δέντρα επιτρέπουν στους NPCs να λαμβάνουν πιο διαφοροποιημένες και ευαίσθητες στο πλαίσιο αποφάσεις, ενισχύοντας τον ρεαλισμό και την προσαρμοστικότητά τους. Αυτή η προσέγγιση είναι ιδιαίτερα πολύτιμη σε παιχνίδια ανοικτού κόσμου ή sandbox, όπου οι NPCs πρέπει να περιηγηθούν σε πολύπλοκα και απρόβλεπτα περιβάλλοντα (Millington & Funge, 2009).

Ο συνδυασμός των δέντρων συμπεριφοράς με την τεχνητή νοημοσύνη βάσει χρησιμότητας προσφέρει ένα ισχυρό εργαλείο για τη δημιουργία NPCs που είναι έξυπνοι και ανταποκρίνονται στις ενέργειες των παικτών. Τα δέντρα αυτά επιτρέπουν στους προγραμματιστές να αξιοποιήσουν την αρθρωτότητα και την επεκτασιμότητα των δέντρων συμπεριφοράς, εισάγοντας παράλληλα την ευελιξία και την ευαισθητοποίηση σε σχέση με το πλαίσιο της λήψης αποφάσεων βάσει χρησιμότητας. Αυτή η υβριδική προσέγγιση χρησιμοποιείται όλο και

περισσότερο στη σύγχρονη ανάπτυξη παιχνιδιών για τη δημιουργία NPCs που μπορούν να προσαρμοστούν σε ένα ευρύ φάσμα καταστάσεων, παρέχοντας μια πιο ελκυστική και καθηλωτική εμπειρία στους παίκτες (Millington & Funge, 2009).

2.3.3 Συστήματα βάσει χρησιμότητας

Τα συστήματα βάσει χρησιμότητας αντιπροσωπεύουν μια εξελιγμένη προσέγγιση για τη λήψη αποφάσεων στην τεχνητή νοημοσύνη των παιχνιδιών, ιδίως για τους NPCs. Αυτά τα συστήματα επιτρέπουν στους NPCs να λαμβάνουν αποφάσεις με βάση την επιθυμητότητα ή την αποτελεσματικότητα των πιθανών ενεργειών σε ένα δεδομένο πλαίσιο. Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης, όπως οι μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων ή ακόμη και τα δέντρα συμπεριφοράς, τα συστήματα που βάσει χρησιμότητας προσφέρουν έναν πιο δυναμικό και ευέλικτο τρόπο διαχείρισης σύνθετων συμπεριφορών, επιτρέποντας στους NPCs να προσαρμόζονται αποτελεσματικότερα στις ποικίλες καταστάσεις του παιχνιδιού.

2.3.3.1 Βασικές αρχές της λήψης αποφάσεων βάσει χρησιμότητας

Η λήψη αποφάσεων βάσει χρησιμότητας βασίζεται στην έννοια της χρησιμότητας, ένα μέτρο της σχετικής αξίας ή του οφέλους μιας ενέργειας για έναν NPC σε μια συγκεκριμένη κατάσταση. Στην τεχνητή νοημοσύνη παιχνιδιών, οι συναρτήσεις χρησιμότητας χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της επιθυμητότητας διαφορετικών ενεργειών με βάση πολλαπλούς παράγοντες, όπως οι στόχοι, οι ανάγκες και η τρέχουσα κατάσταση του περιβάλλοντος του NPC. Συνήθως επιλέγεται η ενέργεια με την υψηλότερη τιμή χρησιμότητας, επιτρέποντας στον NPC να λαμβάνει αποφάσεις που μεγιστοποιούν την αποτελεσματικότητα ή την επιβίωσή του μέσα στον κόσμο του παιχνιδιού (Russell & Norvig, 2021).

Στον πυρήνα της, η λήψη αποφάσεων βάσει χρησιμότητας περιλαμβάνει διάφορα βασικά στοιχεία:

1. **Λειτουργίες χρησιμότητας:** Αυτές είναι μαθηματικά μοντέλα που αποδίδουν μια αριθμητική τιμή σε κάθε πιθανή ενέργεια, η οποία αντιπροσωπεύει τη χρησιμότητα της ενέργειας. Η τιμή χρησιμότητας υπολογίζεται με βάση διάφορους παράγοντες που σχετίζονται με την τρέχουσα κατάσταση του NPC, όπως η υγεία, οι πόροι, η εγγύτητα με τους παίκτες ή τα επίπεδα απειλής. Όσο υψηλότερη είναι η τιμή χρησιμότητας, τόσο πιο επιθυμητή είναι η ενέργεια για τον NPC (Yannakakis & Togelius, 2018).
2. **Κριτήρια απόφασης:** Είναι οι συνθήκες ή οι παράγοντες που επηρεάζουν τον υπολογισμό της χρησιμότητας. Για παράδειγμα, ένας NPC μπορεί να δίνει προτεραιότητα σε ενέργειες που βελτιώνουν την υγεία του ή αυξάνουν τις πιθανότητες επιβίωσής του. Τα κριτήρια απόφασης μπορούν να σταθμίζονται διαφορετικά ανάλογα με τους στόχους του NPC ή το συγκεκριμένο σενάριο του παιχνιδιού. Ο συνδυασμός αυτών των κριτηρίων καθορίζει τη συνολική τιμή χρησιμότητας για κάθε ενέργεια (Jhala & Young, 2010).
3. **Δυναμική ρύθμιση:** Αυτό σημαίνει ότι οι τιμές χρησιμότητας μπορούν να αλλάξουν καθώς εξελίσσεται η κατάσταση του παιχνιδιού. Για παράδειγμα, μια ενέργεια που αρχικά έχει χαμηλή χρησιμότητα μπορεί να γίνει πιο πολύτιμη αν οι συνθήκες του NPC αλλάξουν, όπως αν εμφανιστεί ένας εχθρός ή αν οι πόροι λιγοστεύουν. Αυτή η δυναμική προσαρμογή επιτρέπει στους NPCs να προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους σε πραγματικό χρόνο, ανταποκρινόμενοι στις αλλαγές στο περιβάλλον του παιχνιδιού ή στις ενέργειες των παικτών (Yannakakis & Togelius, 2018).
4. **Λήψη αποφάσεων πολλαπλών στόχων:** Συχνά τα συστήματα βάσει χρησιμότητας περιλαμβάνουν την ταυτόχρονη εξισορρόπηση πολλαπλών στόχων. Για παράδειγμα, ένας NPC μπορεί να πρέπει να αποφασίσει μεταξύ της επίθεσης σε έναν εχθρό, της φυγής για ασφάλεια ή της συλλογής πόρων. Κάθε μία από αυτές τις ενέργειες θα έχει την αξία χρησιμότητας που βασίζεται στο τρέχον πλαίσιο του παιχνιδιού και ο NPC θα πρέπει να επιλέξει την ενέργεια που εξισορροπεί καλύτερα αυτούς τους ανταγωνιστικούς στόχους (Spronck et al., 2006).

Η δύναμη της λήψης αποφάσεων βάσει χρησιμότητας έγκειται στην ικανότητά της να χειρίζεται πολύπλοκες, πολύπλευρες διαδικασίες λήψης αποφάσεων, όπου πρέπει να λαμβάνονται υπόψη πολλαπλοί παράγοντες. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει στους NPCs να επιδεικνύουν πιο

διαφοροποιημένες και ευαίσθητες στο πλαίσιο συμπεριφορές, κάνοντάς τους να φαίνονται πιο έξυπνοι και αντιδραστικοί στους παίκτες.

2.3.3.2 Εφαρμογές στη συμπεριφορά των NPCs

Τα συστήματα βάσει χρησιμότητας έχουν εφαρμοστεί με διάφορους τρόπους σε διάφορα είδη και τύπους παιχνιδιών, παρέχοντας στους NPCs τη δυνατότητα να λαμβάνουν αποφάσεις που είναι τόσο αποτελεσματικές όσο και κατάλληλες για το περιβάλλον. Η ευελιξία και η προσαρμοστικότητα των συστημάτων που βασίζονται σε χρησιμότητα τα έχουν καταστήσει δημοφιλή επιλογή για τους προγραμματιστές που επιδιώκουν να δημιουργήσουν πιο ρεαλιστικές και δυναμικές συμπεριφορές NPCs.

1. Διαχείριση πόρων και παιχνίδια επιβίωσης

Μια από τις πιο συνηθισμένες εφαρμογές των συστημάτων βάσει χρησιμότητας είναι τα παιχνίδια διαχείρισης πόρων και επιβίωσης, όπου οι NPCs πρέπει να λαμβάνουν αποφάσεις σχετικά με τον τρόπο κατανομής των πόρων ή την αντίδραση σε απειλές. Για παράδειγμα, σε παιχνίδια όπως το *The Sims* (2000), οι NPCs χρησιμοποιούν τη λήψη αποφάσεων βάσει χρησιμότητας για να διαχειριστούν τις καθημερινές τους ανάγκες, όπως η πείνα, η ενέργεια και η κοινωνική αλληλεπίδραση (Maxis, 2000). Κάθε ανάγκη αντιπροσωπεύεται από μια συνάρτηση χρησιμότητας και ο NPC επιλέγει ενέργειες με βάση την υψηλότερη χρησιμότητα, όπως το να τρώει όταν πεινάει ή να κοιμάται όταν είναι κουρασμένος. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει στους NPC να συμπεριφέρονται με τρόπους που συνάδουν με τις ανάγκες και τις προτεραιότητές τους, δημιουργώντας πιο πιστευτούς και αυτόνομους χαρακτήρες.

Σε παιχνίδια επιβίωσης όπως το *Don't Starve* (2013), οι NPCs πρέπει να λαμβάνουν αποφάσεις σχετικά με το πώς να συλλέγουν πόρους, να αποφεύγουν κινδύνους και να διατηρούν την υγεία τους (Klei Entertainment, 2013). Τα συστήματα βασισμένα στη χρησιμότητα επιτρέπουν σε αυτούς τους NPCs να αξιολογούν ταυτόχρονα πολλούς παράγοντες, όπως η διαθεσιμότητα τροφής, η εγγύτητα σε απειλές και η ανάγκη για καταφύγιο. Εξισορροπώντας αυτούς τους παράγοντες, οι NPCs μπορούν να προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους στις μεταβαλλόμενες συνθήκες, όπως η φυγή όταν πλησιάζει ένα επικίνδυνο πλάσμα ή η συλλογή τροφής όταν οι πόροι είναι σπάνιοι. Αυτή η δυναμική διαδικασία λήψης αποφάσεων δημιουργεί μια πιο καθηλωτική και προκλητική εμπειρία παιχνιδιού, καθώς οι NPCs ανταποκρίνονται στο περιβάλλον με τρόπους που φαίνονται λογικοί και συνάδουν με τα ένστικτα επιβίωσής τους.

2. Μάχη και λήψη τακτικών αποφάσεων

Τα συστήματα βάσει χρησιμότητας χρησιμοποιούνται επίσης ευρέως σε σενάρια μάχης και λήψης αποφάσεων τακτικής, όπου οι NPCs πρέπει να επιλέξουν την καλύτερη πορεία δράσης σε δυναμικές και συχνά απρόβλεπτες καταστάσεις. Στη σειρά *Halo*, για παράδειγμα, η τεχνητή νοημοσύνη του εχθρού χρησιμοποιεί τη λήψη αποφάσεων με βάση τη χρησιμότητα για να επιλέξει μεταξύ διαφορετικών τακτικών μάχης, όπως επίθεση, υποχώρηση ή αναζήτηση κάλυψης (Bungie, 2001). Οι τιμές χρησιμότητας για αυτές τις ενέργειες υπολογίζονται με βάση παράγοντες όπως η υγεία του NPC, η θέση των παικτών και η διαθεσιμότητα κάλυψης. Αυτό το σύστημα επιτρέπει στους εχθρικούς NPCs να προσαρμόζουν δυναμικά τη συμπεριφορά τους, δημιουργώντας πιο προκλητικές και ελκυστικές μάχες.

Παρομοίως, σε παιχνίδια στρατηγικής όπως το *Civilization V* (2010), οι ηγέτες που ελέγχονται από τεχνητή νοημοσύνη χρησιμοποιούν τη λήψη αποφάσεων βάσει χρησιμότητας για να διαχειριστούν τις αυτοκρατορίες τους, εξισορροπώντας στρατιωτικούς, οικονομικούς και διπλωματικούς στόχους (Firaxis Games, 2010). Σε κάθε πιθανή ενέργεια, όπως η οικοδόμηση μιας νέας πόλης, η κήρυξη πολέμου ή η διαπραγμάτευση μιας εμπορικής συμφωνίας, αποδίδεται μια αξία χρησιμότητας με βάση την τρέχουσα κατάσταση του παιχνιδιού και τις προτεραιότητες του ηγέτη. Στη συνέχεια, η τεχνητή νοημοσύνη επιλέγει τη δράση με την υψηλότερη χρησιμότητα, επιτρέποντάς της να ακολουθεί στρατηγικές που είναι τόσο αποτελεσματικές όσο και κατάλληλες για το πλαίσιο. Αυτή η προσέγγιση δημιουργεί μια πιο ανταγωνιστική και δυναμική τεχνητή νοημοσύνη, ικανή να προσαρμόζει τη στρατηγική της σε ανταπόκριση στις ενέργειες των παικτών και στην εξελισσόμενη κατάσταση του παιχνιδιού.

3. Κοινωνικές αλληλεπιδράσεις και σχέσεις NPCs

Στα παιχνίδια που δίνουν έμφαση στις κοινωνικές αλληλεπιδράσεις και σχέσεις, τα συστήματα που βασίζονται στη χρησιμότητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μοντελοποίηση σύνθετων

διαδικασιών λήψης αποφάσεων όπου οι NPCs πρέπει να σταθμίσουν πολλαπλούς κοινωνικούς παράγοντες. Για παράδειγμα, στο *Mass Effect* (2007), οι σύντροφοι NPCs χρησιμοποιούν τη λήψη αποφάσεων βάσει χρησιμότητας για να αντιδρούν στις επιλογές και τις ενέργειες των παικτών (BioWare, 2007). Οι τιμές χρησιμότητας για αυτές τις αντιδράσεις βασίζονται στην προσωπικότητα του NPC, την αφοσίωση και τη σχέση των παικτών μαζί τους. Αυτό το σύστημα επιτρέπει στους NPCs να επιδεικνύουν πιο διαφοροποιημένες και ευαίσθητες στο πλαίσιο συμπεριφορές, όπως να υποστηρίζουν τις αποφάσεις των παικτών αν αυτές ευθυγραμμίζονται με τις αξίες τους ή να εκφράζουν αποδοκιμασία αν δεν ευθυγραμμίζονται. Αυτό το δυναμικό σύστημα αλληλεπίδρασης ενισχύει το αφηγηματικό βάθος του παιχνιδιού, καθώς οι NPCs ανταποκρίνονται στις ενέργειες των παικτών με τρόπους που μοιάζουν προσωπικοί και ουσιαστικοί.

Στο *The Witcher 3: Wild Hunt* (2015), οι NPCs χρησιμοποιούν τη λήψη αποφάσεων βάσει χρησιμότητας για να διαχειριστούν τις κοινωνικές αλληλεπιδράσεις τους με τους παίκτες και άλλους NPCs (CD Projekt Red, 2015). Για παράδειγμα, ένας NPC μπορεί να αποφασίσει αν θα εμπιστευτεί τους παίκτες με βάση τις προηγούμενες αλληλεπιδράσεις τους, τη φήμη των παικτών και το τρέχον πλαίσιο της συζήτησης. Αυτές οι αποφάσεις επηρεάζονται από συναρτήσεις χρησιμότητας που λαμβάνουν υπόψη πολλαπλούς κοινωνικούς παράγοντες, δημιουργώντας έναν πιο καθηλωτικό και ανταποκρινόμενο κόσμο παιχνιδιού, όπου οι NPCs αντιδρούν στις επιλογές των παικτών με πιστευτούς και επιδραστικούς τρόπους.

4. Δυναμικά παγκόσμια συστήματα

Τα συστήματα βάσει χρησιμότητας μπορούν επίσης να εφαρμοστούν για τη διαχείριση δυναμικών συστημάτων στον κόσμο, όπου οι NPCs αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον και μεταξύ τους με πολύπλοκους τρόπους. Στο *Red Dead Redemption 2* (2018), οι NPCs χρησιμοποιούν τη λήψη αποφάσεων βάσει χρησιμότητας για να διαχειριστούν τις καθημερινές τους ρουτίνες και τις αλληλεπιδράσεις τους με τους παίκτες και τον κόσμο γύρω τους (Rockstar Games, 2018). Για παράδειγμα, ένας NPC μπορεί να αποφασίσει να ξεκινήσει μια συζήτηση με τους παίκτες με βάση παράγοντες όπως η εγγύτητα, οι ενέργειες των παικτών και οι τρέχουσες ανάγκες ή οι στόχοι του NPC. Ομοίως, οι NPCs μπορεί να αποφασίσουν να εμπλακούν σε δραστηριότητες όπως το κυνήγι, η γεωργία ή η κοινωνικοποίηση με βάση την τρέχουσα ώρα της ημέρας, τις καιρικές συνθήκες και τις προσωπικές τους προτεραιότητες. Αυτή η δυναμική διαδικασία λήψης αποφάσεων δημιουργεί έναν ζωντανό κόσμο όπου οι NPCs συμπεριφέρονται με τρόπους που μοιάζουν φυσικοί και συνάδουν με το περιβάλλον του παιχνιδιού.

Τα συστήματα βάσει χρησιμότητας χρησιμοποιούνται επίσης σε παιχνίδια όπως το *Fallout 4* (2015), όπου οι NPCs και οι φατρίες χρησιμοποιούν τη λήψη αποφάσεων βάσει χρησιμότητας για να διαχειριστούν τις αλληλεπιδράσεις τους με τους παίκτες και μεταξύ τους (Bethesda Game Studios, 2015). Για παράδειγμα, οι φατρίες μπορεί να αποφασίσουν να συμμαχήσουν ή να αντιπαχθούν στους παίκτες βάσει ενός συνδυασμού παραγόντων, όπως οι ενέργειες των παικτών, η φήμη και οι στόχοι της φατρίας. Οι αποφάσεις αυτές επηρεάζονται από συναρτήσεις χρησιμότητας που εξισορροπούν πολλαπλούς στόχους, όπως η διατήρηση της ισχύος, η απόκτηση πόρων ή η εξασφάλιση της επιβίωσης. Αυτό το σύστημα δημιουργεί έναν δυναμικό και διαδραστικό κόσμο παιχνιδιού όπου οι επιλογές των παικτών έχουν σημαντικές συνέπειες, διαμορφώνοντας τις σχέσεις μεταξύ των NPCs και των φατριών με πολύπλοκους και απρόβλεπτους τρόπους.

2.3.3.3 Εξισορρόπηση των λειτουργιών χρησιμότητας

Μια από τις πιο δύσκολες πτυχές της εφαρμογής συστημάτων βάσει χρησιμότητας στην τεχνητή νοημοσύνη των παιχνιδιών είναι η εξισορρόπηση των συναρτήσεων χρησιμότητας. Οι συναρτήσεις χρησιμότητας πρέπει να βαθμονομούνται προσεκτικά για να διασφαλιστεί ότι οι NPCs λαμβάνουν αποφάσεις που είναι τόσο αποτελεσματικές όσο και κατάλληλες για το πλαίσιο. Εάν οι λειτουργίες χρησιμότητας δεν είναι σωστά ισορροπημένες, οι NPCs ενδέχεται να συμπεριφέρονται με τρόπους είτε υπερβολικά προβλέψιμους είτε υπερβολικά ακανόνιστους, μειώνοντας τη συνολική ποιότητα της εμπειρίας παιχνιδιού.

1. Συντελεστές στάθμισης σε συναρτήσεις χρησιμότητας

Η εξισορρόπηση των συναρτήσεων χρησιμότητας περιλαμβάνει συχνά την ανάθεση κατάλληλων βαρών στους διάφορους παράγοντες που επηρεάζουν τη λήψη αποφάσεων. Για παράδειγμα, σε ένα σενάριο μάχης, ένας NPC μπορεί να πρέπει να εξισορροπήσει τη σημασία

της υγείας, της εγγύτητας με τους παίκτες και της διαθεσιμότητας κάλυψης. Σε καθέναν από αυτούς τους παράγοντες θα πρέπει να ανατεθεί ένα βάρος που θα αντικατοπτρίζει τη σχετική του σημασία στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Εάν η υγεία είναι ο πιο κρίσιμος παράγοντας, μπορεί να της δοθεί μεγαλύτερη βαρύτητα, με αποτέλεσμα ο NPC να δίνει προτεραιότητα σε ενέργειες που διατηρούν την υγεία του, όπως η αναζήτηση κάλυψης ή η υποχώρηση (Yannakakis & Togelius, 2018).

Η πρόκληση έγκειται στον καθορισμό των κατάλληλων συντελεστών στάθμισης για κάθε παράγοντα, καθώς αυτός μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με το πλαίσιο και τους ειδικούς στόχους των NPCs. Για παράδειγμα, ένας NPC με αμυντικό ρόλο μπορεί να δίνει προτεραιότητα στην επιβίωση, ενώ ένας επιθετικός NPC μπορεί να δίνει προτεραιότητα στην πρόκληση τραυμάτων στους παίκτες. Η εξισορρόπηση αυτών των βαρών απαιτεί προσεκτική εξέταση των σχεδιαστικών στόχων του παιχνιδιού, της επιθυμητής συμπεριφοράς των NPCs και της συνολικής εμπειρίας των παικτών.

2. Δυναμική προσαρμογή των τιμών χρησιμότητας

Μια άλλη σημαντική παράμετρος στην εξισορρόπηση των συναρτήσεων χρησιμότητας είναι η δυναμική προσαρμογή των τιμών χρησιμότητας με βάση τις αλλαγές στην κατάσταση του παιχνιδιού. Σε ένα δυναμικό περιβάλλον παιχνιδιού, η σχετική σημασία των διαφόρων παραγόντων μπορεί να αλλάξει γρήγορα, απαιτώντας από τους NPCs να προσαρμόσουν ανάλογα τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων. Για παράδειγμα, ένας NPC μπορεί αρχικά να δώσει προτεραιότητα στην επίθεση στους παίκτες, αλλά αν η υγεία του πέσει κάτω από ένα ορισμένο όριο, η χρησιμότητα της φυγής ή της αναζήτησης κάλυψης μπορεί να αυξηθεί σημαντικά. Αυτή η δυναμική προσαρμογή διασφαλίζει ότι οι NPCs μπορούν να προσαρμόζονται στις μεταβαλλόμενες συνθήκες, διατηρώντας την αποτελεσματικότητα και την ανταπόκρισή τους σε ένα ευρύ φάσμα καταστάσεων (Russell & Norvig, 2021).

Ωστόσο, η δυναμική προσαρμογή εισάγει επίσης πολυπλοκότητα στη διαδικασία εξισορρόπησης, καθώς οι προγραμματιστές πρέπει να προβλέψουν και να λάβουν υπόψη τους ένα ευρύ φάσμα πιθανών σεναρίων. Αυτό συχνά συνεπάγεται εκτεταμένες δοκιμές και επαναλήψεις για να διασφαλιστεί ότι οι συναρτήσεις χρησιμότητας είναι κατάλληλα βαθμονομημένες για διαφορετικά πλαίσια, οδηγώντας σε συμπεριφορές NPCs που είναι τόσο λογικές όσο και ποικίλες.

3. Αποφυγή της προβλεψιμότητας

Ένας από τους κινδύνους των συστημάτων βάσει χρησιμότητας είναι ότι αν οι λειτουργίες χρησιμότητας δεν είναι προσεκτικά ισορροπημένες, η συμπεριφορά των NPCs μπορεί να γίνει πολύ προβλέψιμη. Εάν ορισμένες ενέργειες έχουν σταθερά υψηλότερες τιμές χρησιμότητας, οι NPCs ενδέχεται να επιλέγουν επανειλημμένα τις ίδιες ενέργειες, οδηγώντας σε επαναλαμβανόμενο και μη προκλητικό gameplay. Για παράδειγμα, αν ένας NPC δίνει σταθερά προτεραιότητα στην επίθεση έναντι άλλων ενεργειών, οι παίκτες μπορεί να μάθουν να προβλέπουν αυτή τη συμπεριφορά και να την εκμεταλλεύονται (Spronck et al., 2006).

Για να αποφύγουν την προβλεψιμότητα, οι προγραμματιστές μπορούν να εισάγουν τυχαιότητα ή μεταβλητότητα στις συναρτήσεις χρησιμότητας, εξασφαλίζοντας ότι οι NPCs επιλέγουν περιστασιακά λιγότερο βέλτιστες ενέργειες για να κρατούν τους παίκτες σε αμηχανία. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να δημιουργήσει πιο δυναμικές και απρόβλεπτες συμπεριφορές των NPCs, ενισχύοντας την πρόκληση και την εμπλοκή του παιχνιδιού. Ωστόσο, αυτό πρέπει να γίνεται προσεκτικά, ώστε να αποφεύγεται η εμφάνιση των NPCs ως ακανόνιστων ή ασυνεπών, καθώς αυτό μπορεί να μειώσει την αξιοπιστία της συμπεριφοράς τους (Yannakakis & Togelius, 2018).

4. Διασφάλιση της συνέπειας με τους στόχους σχεδιασμού του παιχνιδιού

Τέλος, η εξισορρόπηση των συναρτήσεων χρησιμότητας απαιτεί τη διασφάλιση ότι οι συμπεριφορές των NPCs είναι συνεπείς με τους γενικούς σχεδιαστικούς στόχους του παιχνιδιού. Για παράδειγμα, σε ένα παιχνίδι που δίνει έμφαση στη μυστικότητα, οι NPCs θα πρέπει να δίνουν μεγαλύτερη προτεραιότητα σε ενέργειες που τους βοηθούν να παραμείνουν απαρατήρητοι, όπως το να κρύβονται ή να κινούνται αθόρυβα. Αντίθετα, σε ένα παιχνίδι που δίνει έμφαση στη γρήγορη δράση, οι NPCs μπορεί να δίνουν προτεραιότητα σε επιθετικές συμπεριφορές όπως η επίθεση στους παίκτες ή η χρήση ισχυρών επιθέσεων (Jhala & Young, 2010).

Αυτή η ευθυγράμμιση μεταξύ των λειτουργιών χρησιμότητας και των στόχων σχεδιασμού του παιχνιδιού είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση μιας συνεκτικής και ελκυστικής εμπειρίας παιχνιδιού. Οι προγραμματιστές πρέπει να εξετάζουν προσεκτικά τον τρόπο με τον οποίο οι συμπεριφορές των NPCs συμβάλλουν στη συνολική εμπειρία των παικτών και να προσαρμόζουν τις λειτουργίες χρησιμότητας αναλόγως. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει συχνά στενή συνεργασία μεταξύ προγραμματιστών τεχνητής νοημοσύνης, σχεδιαστών παιχνιδιών και δοκιμαστών παιχνιδιού, ώστε να διασφαλιστεί ότι το τελικό αποτέλεσμα ανταποκρίνεται στους επιδιωκόμενους σχεδιαστικούς στόχους και παρέχει μια ικανοποιητική εμπειρία για τους παίκτες (Yannakakis & Togelius, 2018).

2.3.4 Προσεγγίσεις μηχανικής μάθησης

Η μηχανική μάθηση αποτελεί έναν από τους πιο προηγμένους και πολλά υποσχόμενους τομείς της τεχνητής νοημοσύνης στην ανάπτυξη βιντεοπαιχνιδιών. Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης, οι οποίες βασίζονται σε προκαθορισμένους κανόνες και συμπεριφορές, η μηχανική μάθηση δίνει τη δυνατότητα στους NPCs να μαθαίνουν και να προσαρμόζονται με βάση τις αλληλεπιδράσεις τους με το περιβάλλον του παιχνιδιού και τους παίκτες. Αυτή η ικανότητα επιτρέπει τη δημιουργία NPCs που μπορούν να επιδεικνύουν πιο σύνθετες, ρεαλιστικές και προσαρμοστικές συμπεριφορές, βελτιώνοντας τη συνολική εμπειρία παιχνιδιού. Στην παρούσα ενότητα εξετάζονται τρεις βασικές προσεγγίσεις μηχανικής μάθησης που χρησιμοποιούνται στην τεχνητή νοημοσύνη των παιχνιδιών: η ενισχυτική μάθηση, τα νευρωνικά δίκτυα και οι γενετικοί αλγόριθμοι.

2.3.4.1 Ενισχυτική μάθηση για NPCs

Η ενισχυτική μάθηση είναι ένας τύπος μηχανικής μάθησης που είναι ιδιαίτερα κατάλληλος για την εκπαίδευση των NPCs ώστε να λαμβάνουν αποφάσεις σε δυναμικά και διαδραστικά περιβάλλοντα. Στην ενισχυτική μάθηση, ένας πράκτορας (στην προκειμένη περίπτωση, ένας NPC) μαθαίνει να λαμβάνει αποφάσεις αλληλεπιδρώντας με το περιβάλλον και λαμβάνοντας ανατροφοδότηση με τη μορφή ανταμοιβών ή ποινών. Ο στόχος του πράκτορα είναι να μεγιστοποιήσει τις σωρευτικές ανταμοιβές με την πάροδο του χρόνου, γεγονός που συχνά περιλαμβάνει την εκμάθηση σύνθετων στρατηγικών και συμπεριφορών μέσω δοκιμής και λάθους (Sutton & Barto, 2018).

1. Βασικές αρχές της ενισχυτικής μάθησης

Η ενισχυτική μάθηση λειτουργεί με βάση μερικές βασικές αρχές:

- **Πράκτορας, περιβάλλον και δράσεις:** Ο πράκτορας αλληλεπιδρά με το περιβάλλον αναλαμβάνοντας δράσεις. Κάθε ενέργεια επηρεάζει την κατάσταση του περιβάλλοντος και το περιβάλλον παρέχει ανατροφοδότηση στον πράκτορα με τη μορφή ανταμοιβών ή ποινών.
- **Καταστάσεις και ανταμοιβές:** Ο στόχος του πράκτορα είναι να μάθει μια πολιτική - μια αντιστοίχιση από τις καταστάσεις στις ενέργειες - που μεγιστοποιεί την αναμενόμενη αθροιστική ανταμοιβή. Ο πράκτορας λαμβάνει μια ανταμοιβή μετά από κάθε ενέργεια, η οποία τον βοηθά να μάθει ποιες ενέργειες είναι επωφελείς και ποιες όχι (Mnih et al., 2015).
- **Εξερεύνηση και εκμετάλλευση:** Μια βασική πρόκληση στην ενισχυτική μάθηση είναι η εξισορρόπηση της εξερεύνησης (δοκιμή νέων ενεργειών για την ανακάλυψη των αποτελεσμάτων τους) με την εκμετάλλευση (επιλογή της καλύτερης γνωστής ενέργειας για τη μεγιστοποίηση των ανταμοιβών). Η αποτελεσματική μάθηση απαιτεί ισορροπία μεταξύ αυτών των δύο στρατηγικών, καθώς η υπερβολική εξερεύνηση μπορεί να οδηγήσει σε μη βέλτιστες επιδόσεις, ενώ η υπερβολική εκμετάλλευση μπορεί να αποτρέψει την ανακάλυψη καλύτερων στρατηγικών (Sutton & Barto, 2018).

2. Εφαρμογές στην τεχνητή νοημοσύνη παιχνιδιών

Η ενισχυτική μάθηση έχει εφαρμοστεί με διάφορους τρόπους για τη δημιουργία πιο προσαρμοστικών και έξυπνων NPCs σε βιντεοπαιχνίδια. Ένα από τα πιο αξιοσημείωτα παραδείγματα είναι η ανάπτυξη αντιπάλων τεχνητής νοημοσύνης σε παιχνίδια στρατηγικής. Σε παιχνίδια όπως το *StarCraft II* (2010), η ενισχυτική μάθηση έχει χρησιμοποιηθεί για την εκπαίδευση πρακτόρων τεχνητής νοημοσύνης ώστε να παίζουν σε ανταγωνιστικό επίπεδο

εναντίον ανθρώπινων παικτών. Το AlphaStar της DeepMind, για παράδειγμα, χρησιμοποίησε βαθιά ενισχυτική μάθηση για να επιτύχει υπεράνθρωπες επιδόσεις στο StarCraft II, μαθαίνοντας πολύπλοκες στρατηγικές όπως η διαχείριση πόρων, η τοποθέτηση μονάδων και η λήψη αποφάσεων τακτικής μέσω εκατομμυρίων παιχνιδιών που παίχτηκαν εναντίον του ίδιου και ανθρώπινων αντιπάλων (Vinyals et al., 2019).

Η ενισχυτική μάθηση χρησιμοποιείται επίσης σε παιχνίδια με σύνθετες, αναδυόμενες συμπεριφορές, όπου οι NPCs πρέπει να μάθουν να προσαρμόζονται σε ένα ευρύ φάσμα ενεργειών των παικτών και περιβαλλοντικών αλλαγών. Στο παιχνίδι Forza Motorsport 7 (2017), για παράδειγμα, η ενισχυτική μάθηση χρησιμοποιείται για την εκπαίδευση οδηγών τεχνητής νοημοσύνης (γνωστών ως Drivatars) που μπορούν να προσαρμόζονται σε διαφορετικές συνθήκες οδήγησης, διαμορφώσεις πίστας και στυλ παικτών. Αυτοί οι οδηγοί τεχνητής νοημοσύνης μαθαίνουν από τις ενέργειες των ανθρώπινων παικτών, χρησιμοποιώντας την ενισχυτική μάθηση για να βελτιώσουν τις επιδόσεις τους με την πάροδο του χρόνου και να παρέχουν μια πιο ρεαλιστική και προκλητική εμπειρία αγώνων (Turn 10 Studios, 2017).

3. Προκλήσεις και περιορισμοί

Ενώ η ενισχυτική μάθηση προσφέρει σημαντικές δυνατότητες για τη δημιουργία προσαρμοστικών NPCs, παρουσιάζει επίσης αρκετές προκλήσεις και περιορισμούς. Μία από τις κύριες προκλήσεις είναι το υπολογιστικό κόστος της εκπαίδευσης των πρακτόρων ενισχυτικής μάθησης. Η εκπαίδευση ενός πράκτορα για την εκμάθηση σύνθετων συμπεριφορών μέσω δοκιμής και σφάλματος μπορεί να απαιτήσει εκατομμύρια αλληλεπιδράσεις με το περιβάλλον, καθιστώντας τη διαδικασία αυτή απαιτητική σε πόρους. Αυτό αποτελεί ιδιαίτερη πρόκληση στα παιχνίδια πραγματικού χρόνου, όπου η ανάγκη για γρήγορες αντιδράσεις και προσαρμοστικότητα μπορεί να έρθει σε σύγκρουση με τη χρονοβόρα φύση της ενισχυτικής μάθησης (Mnih et al., 2015).

Ένας άλλος περιορισμός είναι η δυσκολία ορισμού κατάλληλων συναρτήσεων ανταμοιβής. Η αποτελεσματικότητα της ενισχυτικής μάθησης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το σχεδιασμό της συνάρτησης ανταμοιβής, η οποία πρέπει να αντικατοπτρίζει με ακρίβεια τις επιθυμητές συμπεριφορές. Κακώς σχεδιασμένες συναρτήσεις ανταμοιβής μπορεί να οδηγήσουν σε μη επιθυμητές συμπεριφορές ή μη βέλτιστες στρατηγικές, καθώς ο πράκτορας μπορεί να βρει τρόπους να εκμεταλλευτεί το σύστημα ανταμοιβής με τρόπους που δεν είχαν προβλεφθεί από τους προγραμματιστές. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα οι NPCs να συμπεριφέρονται με τρόπους που είναι αντιπαραγωγικοί ή ασύμβατοι με τους στόχους του παιχνιδιού (Sutton & Barto, 2018).

Παρά τις προκλήσεις αυτές, η ενισχυτική μάθηση παραμένει ένα ισχυρό εργαλείο για την ανάπτυξη προσαρμοστικών και έξυπνων NPC, ιδίως σε παιχνίδια που απαιτούν σύνθετη λήψη αποφάσεων και στρατηγική σκέψη. Καθώς η υπολογιστική ισχύς συνεχίζει να αυξάνεται και αναπτύσσονται νέες τεχνικές για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της ενισχυτικής μάθησης, η εφαρμογή της στην τεχνητή νοημοσύνη των παιχνιδιών είναι πιθανό να επεκταθεί περαιτέρω, προσφέροντας νέες δυνατότητες για τη δημιουργία πιο ρεαλιστικών και ελκυστικών συμπεριφορών NPCs (Vinyals et al., 2019).

2.3.4.2 Νευρωνικά δίκτυα και τεχνητή νοημοσύνη στα παιχνίδια

Τα νευρωνικά δίκτυα αποτελούν θεμελιώδες συστατικό πολλών σύγχρονων συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που χρησιμοποιούνται στην ανάπτυξη βιντεοπαιχνιδιών. Τα δίκτυα αυτά είναι εμπνευσμένα από τη δομή και τη λειτουργία του ανθρώπινου εγκεφάλου, αποτελούμενα από στρώματα διασυνδεδεμένων κόμβων (ή νευρώνων) που επεξεργάζονται και μεταδίδουν πληροφορίες. Τα νευρωνικά δίκτυα είναι ιδιαίτερα ισχυρά για εργασίες που αφορούν την αναγνώριση προτύπων, την ταξινόμηση και την πρόβλεψη, γεγονός που τα καθιστά κατάλληλα για διάφορες εφαρμογές στην τεχνητή νοημοσύνη των παιχνιδιών.

1. Δομή των νευρωνικών δικτύων

Τα νευρωνικά δίκτυα αποτελούνται από πολλαπλά επίπεδα, όπως ένα επίπεδο εισόδου, ένα ή περισσότερα κρυφά επίπεδα και ένα επίπεδο εξόδου:

- **Στρώμα εισόδου:** Όπως η τρέχουσα κατάσταση του παιχνιδιού ή αισθητηριακές πληροφορίες από το περιβάλλον του NPC.

- **Κρυφά στρώματα:** Τα κρυφά στρώματα επεξεργάζονται τα δεδομένα εισόδου μέσω μιας σειράς σταθμισμένων συνδέσεων. Κάθε νευρώνας σε ένα κρυφό στρώμα συνδυάζει τις εισόδους που λαμβάνει, εφαρμόζει μια μη γραμμική συνάρτηση ενεργοποίησης και μεταβιβάζει το αποτέλεσμα στο επόμενο στρώμα. Αυτά τα κρυφά στρώματα επιτρέπουν στο δίκτυο να μαθαίνει πολύπλοκα μοτίβα και σχέσεις στα δεδομένα (LeCun, Bengio, & Hinton, 2015).
- **Στρώμα εξόδου:** Το στρώμα εξόδου παράγει την τελική απόφαση ή πρόβλεψη με βάση τα επεξεργασμένα δεδομένα. Στο πλαίσιο της τεχνητής νοημοσύνης του παιχνιδιού, αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την επιλογή μιας ενέργειας για τον NPC ή την πρόβλεψη της επόμενης κίνησης των παικτών.

Τα νευρωνικά δίκτυα συνήθως εκπαιδεύονται χρησιμοποιώντας μια διαδικασία που ονομάζεται οπισθοδιάδοση, όπου το δίκτυο προσαρμόζει τα βάρη του με βάση το σφάλμα μεταξύ των προβλέψεων του και των πραγματικών αποτελεσμάτων. Αυτή η επαναληπτική διαδικασία επιτρέπει στο δίκτυο να μαθαίνει από τα λάθη του και να βελτιώνει την απόδοσή του με την πάροδο του χρόνου (Goodfellow, Bengio, & Courville, 2016).

2. Εφαρμογές στην τεχνητή νοημοσύνη των παιχνιδιών

Τα νευρωνικά δίκτυα έχουν εφαρμοστεί με διάφορους τρόπους για τη βελτίωση της τεχνητής νοημοσύνης των παιχνιδιών, επιτρέποντας στους NPCs να επιδεικνύουν πιο εξελιγμένες και ρεαλιστικές συμπεριφορές. Μια από τις πιο συνηθισμένες εφαρμογές είναι η αναγνώριση και ο έλεγχος χαρακτήρων, όπου τα νευρωνικά δίκτυα χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία οπτικών και αισθητηριακών δεδομένων, επιτρέποντας στους NPCs να περιηγούνται σε πολύπλοκα περιβάλλοντα, να αναγνωρίζουν αντικείμενα και να αλληλεπιδρούν με τον κόσμο του παιχνιδιού.

Για παράδειγμα, στο παιχνίδι FIFA, τα νευρωνικά δίκτυα χρησιμοποιούνται για να μοντελοποιήσουν τη συμπεριφορά των ελεγχόμενων από τεχνητή νοημοσύνη ποδοσφαιριστών, επιτρέποντάς τους να λαμβάνουν αποφάσεις σχετικά με την πάσα, το σουτ και την τοποθέτηση με βάση την τρέχουσα κατάσταση του παιχνιδιού (Electronic Arts, 2021). Το δίκτυο εκπαιδεύεται σε τεράστιες ποσότητες δεδομένων παιχνιδιού, επιτρέποντας στην τεχνητή νοημοσύνη να μαθαίνει μοτίβα στη συμπεριφορά των παικτών και να προσαρμόζει τις στρατηγικές της αναλόγως. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα πιο ρεαλιστικούς και απαιτητικούς αντιπάλους, καθώς η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να ανταποκρίνεται στις ενέργειες των παικτών σε πραγματικό χρόνο και να προσαρμόζει την τακτική της με βάση τη ροή του παιχνιδιού.

Τα νευρωνικά δίκτυα χρησιμοποιούνται επίσης στη δημιουργία διαδικαστικού περιεχομένου, όπου βοηθούν στη δημιουργία δυναμικών και ποικίλων περιβαλλόντων παιχνιδιών. Σε παιχνίδια όπως το No Man's Sky (Hello Games, 2016), τα νευρωνικά δίκτυα αποτελούν μέρος των διαδικαστικών αλγορίθμων που δημιουργούν το τεράστιο σύμπαν του παιχνιδιού με τους πλανήτες, ο καθένας με το μοναδικό του οικοσύστημα και έδαφος (Hello Games, 2016). Η χρήση των νευρωνικών δικτύων επιτρέπει τη δημιουργία εξαιρετικά πολύπλοκων και ποικίλων περιβαλλόντων που είναι τόσο απρόβλεπτα όσο και συνεπή με τον συνολικό σχεδιασμό του παιχνιδιού.

Μια άλλη εφαρμογή των νευρωνικών δικτύων στην τεχνητή νοημοσύνη των παιχνιδιών είναι η εκμάθηση και η μίμηση της συμπεριφοράς των παικτών. Σε παιχνίδια αγώνων όπως το Gran Turismo, τα νευρωνικά δίκτυα χρησιμοποιούνται για να μοντελοποιήσουν και να αναπαράγουν το στυλ οδήγησης των ανθρώπινων παικτών, επιτρέποντας στους αντιπάλους τεχνητής νοημοσύνης να επιδεικνύουν πιο ρεαλιστική και ανταγωνιστική συμπεριφορά (Polyphony Digital, 2017). Μαθαίνοντας από τις ενέργειες χιλιάδων παικτών, η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να προσαρμοστεί σε διαφορετικές τεχνικές οδήγησης, παρέχοντας μια πιο εξατομικευμένη και προκλητική εμπειρία αγώνων.

3. Βαθιά μάθηση και προηγμένες τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης

Η βαθιά μάθηση, ένα υποσύνολο της μηχανικής μάθησης που περιλαμβάνει νευρωνικά δίκτυα με πολλά κρυφά στρώματα, έχει βελτιώσει σημαντικά τις δυνατότητες της τεχνητής νοημοσύνης των παιχνιδιών. Η βαθιά μάθηση επιτρέπει την εξαγωγή χαρακτηριστικών υψηλού επιπέδου από ακατέργαστα δεδομένα, επιτρέποντας στα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης να εκτελούν εργασίες όπως η αναγνώριση εικόνων, η επεξεργασία φυσικής γλώσσας και η σύνθετη λήψη αποφάσεων με μεγαλύτερη ακρίβεια και αποτελεσματικότητα (LeCun, Bengio, & Hinton, 2015).

Μια από τις πιο αξιοσημείωτες εφαρμογές της βαθιάς μάθησης είναι η ανάπτυξη πρακτόρων τεχνητής νοημοσύνης που μπορούν να ανταγωνίζονται σε επίπεδο ανθρώπινο ή ανώτερο από το ανθρώπινο σε πολύπλοκα παιχνίδια. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το AlphaGo της DeepMind, το οποίο χρησιμοποίησε βαθιά συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα για να νικήσει τους παγκόσμιους πρωταθλητές του Go, μαθαίνοντας από εκατομμύρια αρχεία παιχνιδιών και παιχνίδια που έπαιξαν οι ίδιοι (Silver et al., 2016). Η επιτυχία του AlphaGo κατέδειξε τη δυνατότητα της βαθιάς μάθησης να αντιμετωπίσει εξαιρετικά πολύπλοκα και στρατηγικά παιχνίδια, ανοίγοντας το δρόμο για την εφαρμογή της στα βιντεοπαιχνίδια.

Σε παιχνίδια όπως το Dota 2 (Valve Corporation, 2013), το Five της OpenAI, μια ομάδα πρακτόρων τεχνητής νοημοσύνης που εκπαιδεύτηκαν χρησιμοποιώντας βαθιά ενισχυτική μάθηση, έχει επιτύχει αξιοσημείωτη επιτυχία στο να παίζει σε ανταγωνιστικό επίπεδο ενάντια σε ανθρώπινους παίκτες (Bernier et al., 2019). Η τεχνητή νοημοσύνη έμαθε να συντονίζει και να εκτελεί σύνθετες στρατηγικές μέσω εκτεταμένης εκπαίδευσης και αυτοπαιχνιδιού, αναδεικνύοντας τη δύναμη της βαθιάς μάθησης για τη δημιουργία εξαιρετικά προσαρμοστικής και ευφυούς τεχνητής νοημοσύνης στα παιχνίδια.

4. Προκλήσεις και περιορισμοί

Παρά τις ισχυρές δυνατότητές τους, τα νευρωνικά δίκτυα και τα μοντέλα βαθιάς μάθησης αντιμετωπίζουν αρκετές προκλήσεις όταν εφαρμόζονται στην τεχνητή νοημοσύνη παιχνιδιών. Μία από τις πρωταρχικές προκλήσεις είναι η ανάγκη για μεγάλες ποσότητες δεδομένων εκπαίδευσης. Τα νευρωνικά δίκτυα απαιτούν τεράστια σύνολα δεδομένων για να μάθουν αποτελεσματικά και η δημιουργία ή η συλλογή αυτών των δεδομένων μπορεί να είναι εντατική σε πόρους, ιδίως σε παιχνίδια πραγματικού χρόνου όπου η γρήγορη λήψη αποφάσεων είναι ζωτικής σημασίας (Goodfellow, Bengio, & Courville, 2016).

Μια άλλη πρόκληση είναι η πολυπλοκότητα των νευρωνικών δικτύων, η οποία μπορεί να καταστήσει δύσκολη την ερμηνεία και την αποσφαλμάτωσή τους. Σε αντίθεση με την παραδοσιακή τεχνητή νοημοσύνη που βασίζεται σε κανόνες, όπου η διαδικασία λήψης αποφάσεων είναι διαφανής, τα νευρωνικά δίκτυα λειτουργούν ως "μαύρα κουτιά", καθιστώντας δύσκολη την κατανόηση του τρόπου λήψης συγκεκριμένων αποφάσεων. Αυτή η έλλειψη ερμηνευσιμότητας μπορεί να είναι προβληματική σε παιχνίδια όπου η προβλέψιμη και εξηγήσιμη συμπεριφορά είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της ισορροπίας και της αμεροληψίας του παιχνιδιού (LeCun, Bengio, & Hinton, 2015).

Επιπλέον, η εκπαίδευση των νευρωνικών δικτύων, ιδίως των μοντέλων βαθιάς μάθησης, μπορεί να είναι υπολογιστικά δαπανηρή, απαιτώντας σημαντική επεξεργαστική ισχύ και χρόνο. Αυτό μπορεί να περιορίσει την εφαρμογή τους σε παιχνίδια με περιορισμένους πόρους ή όπου είναι απαραίτητη η ταχεία επανάληψη. Παρά τις προκλήσεις αυτές, οι δυνατότητες των νευρωνικών δικτύων να φέρουν επανάσταση στην τεχνητή νοημοσύνη των παιχνιδιών είναι αναμφισβήτητες και η συνεχιζόμενη έρευνα συνεχίζεται για την αντιμετώπιση αυτών των περιορισμών και την επέκταση της δυνατότητας εφαρμογής τους (Goodfellow, Bengio, & Courville, 2016).

2.3.4.3 Γενετικοί αλγόριθμοι και εξελικτικά μοντέλα

Οι γενετικοί αλγόριθμοι και τα εξελικτικά μοντέλα αντιπροσωπεύουν μια άλλη καινοτόμο προσέγγιση της μηχανικής μάθησης στην τεχνητή νοημοσύνη των παιχνιδιών. Αυτά τα μοντέλα είναι εμπνευσμένα από τη διαδικασία της φυσικής επιλογής, όπου τα πιο επιτυχημένα άτομα σε έναν πληθυσμό έχουν περισσότερες πιθανότητες να μεταβιβάσουν τα χαρακτηριστικά τους στην επόμενη γενιά. Στο πλαίσιο της τεχνητής νοημοσύνης παιχνιδιών, οι γενετικοί αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται για την εξέλιξη και τη βελτιστοποίηση της συμπεριφοράς των NPCs με την πάροδο του χρόνου, επιτρέποντάς τους να προσαρμόζονται σε πολύπλοκα και μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα.

1. Βασικές αρχές των γενετικών αλγορίθμων

Οι γενετικοί αλγόριθμοι λειτουργούν με βάση τις αρχές της εξέλιξης, συμπεριλαμβανομένης της επιλογής, της μετάλλαξης και της διασταύρωσης:

- **Επιλογή:** Σε κάθε γενιά, τα πιο επιτυχημένα άτομα (ή λύσεις) επιλέγονται για να αναπαραχθούν, μεταδίδοντας τα χαρακτηριστικά τους στην επόμενη γενιά. Η επιτυχία μετρείται συνήθως με μια συνάρτηση καταλληλότητας, η οποία αξιολογεί πόσο καλά ένα άτομο εκτελεί μια συγκεκριμένη εργασία ή πληροί ορισμένα κριτήρια (Goldberg, 1989).

- **Crossover:** Η διασταύρωση, ή ανασυνδυασμός, περιλαμβάνει το συνδυασμό των χαρακτηριστικών δύο γονέων για την παραγωγή απογόνων. Αυτή η διαδικασία εισάγει ποικιλομορφία στον πληθυσμό, επιτρέποντας την εξερεύνηση νέων λύσεων και στρατηγικών.
- **Μετάλλαξη:** Η μετάλλαξη εισάγει τυχαίες αλλαγές στα χαρακτηριστικά ενός ατόμου, διασφαλίζοντας ότι ο πληθυσμός δεν συγκλίνει πολύ γρήγορα σε μη βέλτιστες λύσεις. Η μετάλλαξη συμβάλλει στη διατήρηση της ποικιλομορφίας και επιτρέπει στον αλγόριθμο να εξερευνήσει ένα ευρύτερο φάσμα πιθανών λύσεων (Mitchell, 1998).

Κατά τη διάρκεια διαδοχικών γενεών, ο πληθυσμός εξελίσσεται, με κάθε νέα γενιά να παρουσιάζει ενδεχομένως καλύτερες επιδόσεις από την προηγούμενη. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι να βρεθεί μια ικανοποιητική λύση ή ο αλγόριθμος να φτάσει σε ένα προκαθορισμένο σημείο διακοπής.

2. Εφαρμογές στην τεχνητή νοημοσύνη παιχνιδιών

Οι γενετικοί αλγόριθμοι έχουν εφαρμοστεί με διάφορους τρόπους για την ανάπτυξη και τη βελτιστοποίηση της συμπεριφοράς των NPCs σε βιντεοπαιχνίδια. Μια από τις πιο αξιολογούμενες εφαρμογές είναι η εξέλιξη στρατηγικών για ανταγωνιστικά παιχνίδια, όπου οι NPCs πρέπει να προσαρμόζονται στις ενέργειες των ανθρώπινων παικτών ή άλλων πρακτόρων τεχνητής νοημοσύνης. Για παράδειγμα, στο παιχνίδι *Creatures* (1996), γενετικοί αλγόριθμοι χρησιμοποιήθηκαν για την εξέλιξη των συμπεριφορών των εικονικών πλασμάτων, επιτρέποντάς τους να μαθαίνουν και να προσαρμόζονται στο περιβάλλον τους με την πάροδο του χρόνου (Cyberlife Technology, 1996). Τα πλάσματα στο παιχνίδι μπορούσαν να μάθουν να εκτελούν εργασίες όπως η εύρεση τροφής, η αποφυγή κινδύνων και η αλληλεπίδραση με άλλα πλάσματα, όλα μέσω μιας διαδικασίας εξέλιξης και προσαρμογής.

Μια άλλη εφαρμογή είναι η βελτιστοποίηση των μηχανισμών του παιχνιδιού και η εξισορρόπηση. Σε παιχνίδια όπως το *Galactic Civilizations* (2003), οι γενετικοί αλγόριθμοι έχουν χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη αντιπάλων τεχνητής νοημοσύνης που μπορούν να προσαρμόζονται τις στρατηγικές τους με βάση τις ενέργειες των παικτών και την τρέχουσα κατάσταση του παιχνιδιού (Stardock, 2003). Με την προσομοίωση γενεών πρακτόρων τεχνητής νοημοσύνης, το παιχνίδι μπορεί να παράγει αντιπάλους που είναι πιο κατάλληλοι για να προκαλέσουν τους παίκτες, δημιουργώντας μια πιο δυναμική και συναρπαστική εμπειρία παιχνιδιού.

Οι γενετικοί αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται επίσης στη διαδικαστική παραγωγή περιεχομένου, όπου βοηθούν στη δημιουργία ποικίλων και πολύπλοκων περιβαλλόντων παιχνιδιών. Σε παιχνίδια όπως το *No Man's Sky*, οι γενετικοί αλγόριθμοι αποτελούν μέρος των διαδικαστικών συστημάτων που δημιουργούν τους πλανήτες, τα οικοσυστήματα και τα πλάσματα του παιχνιδιού (Hello Games, 2016). Η χρήση γενετικών αλγορίθμων επιτρέπει την εξερεύνηση ενός μεγάλου εύρους πιθανών περιβαλλόντων, με αποτέλεσμα ένα σύμπαν που είναι τόσο ποικίλο όσο και συνεπές με την αισθητική και τις αρχές σχεδιασμού του παιχνιδιού.

3. Εξελικτικά μοντέλα στην τεχνητή νοημοσύνη των παιχνιδιών

Πέρα από τους γενετικούς αλγορίθμους, τα εξελικτικά μοντέλα αναφέρονται ευρύτερα σε μια σειρά τεχνικών που χρησιμοποιούν τις αρχές της εξέλιξης για τη βελτιστοποίηση των συμπεριφορών της τεχνητής νοημοσύνης. Αυτά τα μοντέλα μπορεί να περιλαμβάνουν στρατηγικές όπως η συν-εξέλιξη, όπου πολλαπλοί πληθυσμοί πρακτόρων τεχνητής νοημοσύνης εξελίσσονται σε απόκριση ο ένας στον άλλο, ή ο εξελικτικός προγραμματισμός, όπου η εστίαση είναι στην εξέλιξη των δομών ελέγχου ή των διαδικασιών λήψης αποφάσεων των πρακτόρων τεχνητής νοημοσύνης (Mitchell, 1998).

Στο πλαίσιο της τεχνητής νοημοσύνης παιχνιδιών, εξελικτικά μοντέλα έχουν χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία αντιπάλων τεχνητής νοημοσύνης που μπορούν να μαθαίνουν και να προσαρμόζονται σε πολύπλοκα, ανταγωνιστικά περιβάλλοντα. Για παράδειγμα, στο παιχνίδι *Defcon* (2006), οι αντίπαλοι χρησιμοποιούν εξελικτικά μοντέλα για να αναπτύξουν στρατηγικές πυρηνικού πολέμου, προσαρμοζόμενοι στις ενέργειες των παικτών και άλλων παραγόντων τεχνητής νοημοσύνης σε πραγματικό χρόνο (Introversion Software, 2006). Αυτές οι στρατηγικές εξελίσσονται σε πολλαπλές προσομοιώσεις, επιτρέποντας στην τεχνητή νοημοσύνη να εξερευνήσει ένα ευρύ φάσμα πιθανών τακτικών και αντι-τακτικών.

Ένα άλλο παράδειγμα είναι η χρήση συν-εξελικτικών μοντέλων στην ανάπτυξη της τεχνητής νοημοσύνης για παιχνίδια στρατηγικής πραγματικού χρόνου. Σε αυτά τα μοντέλα, διαφορετικοί πληθυσμοί πρακτόρων εξελίσσονται σε απόκριση ο ένας στον άλλο, δημιουργώντας μια δυναμική και προσαρμοστική εμπειρία παιχνιδιού. Για παράδειγμα, στο *Age of Empires II* (1999), οι αντίπαλοι χρησιμοποιούν συν-εξελικτικά μοντέλα για να αναπτύξουν και να βελτιώσουν τις στρατηγικές τους με βάση τις ενέργειες των παικτών και τις στρατηγικές άλλων πρακτόρων (Ensemble Studios, 1999). Αυτή η προσέγγιση δημιουργεί μια πιο ανταγωνιστική και προκλητική τεχνητή νοημοσύνη, ικανή να προσαρμόζεται σε ένα ευρύ φάσμα στρατηγικών των παικτών.

4. Προκλήσεις και περιορισμοί

Ενώ οι γενετικοί αλγόριθμοι και τα εξελικτικά μοντέλα προσφέρουν σημαντικές δυνατότητες για τη δημιουργία προσαρμοστικών και ευφυών NPCs, παρουσιάζουν επίσης αρκετές προκλήσεις. Μία από τις πρωταρχικές προκλήσεις είναι το υπολογιστικό κόστος της εξέλιξης συμπεριφορών NPCs. Οι γενετικοί αλγόριθμοι απαιτούν την προσομοίωση πολλών γενεών πρακτόρων, κάθε μία από τις οποίες πρέπει να αξιολογείται και να επιλέγεται με βάση την απόδοσή της. Αυτή η διαδικασία μπορεί να είναι χρονοβόρα και να απαιτεί πολλούς πόρους, ιδίως σε πολύπλοκα παιχνίδια με μεγάλους πληθυσμούς πρακτόρων (Goldberg, 1989).

Μια άλλη πρόκληση είναι ο κίνδυνος σύγκλισης σε μη βέλτιστες λύσεις. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι γενετικοί αλγόριθμοι μπορεί να συγκλίνουν πολύ γρήγορα σε μια συγκεκριμένη στρατηγική ή συμπεριφορά, οδηγώντας σε έλλειψη ποικιλομορφίας στον πληθυσμό και περιορίζοντας την εξερεύνηση εναλλακτικών λύσεων. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα NPCs που είναι υπερβολικά προβλέψιμοι ή αποτυγχάνουν να προσαρμοστούν αποτελεσματικά σε νέα ή μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα. Τεχνικές όπως η μετάλλαξη και η διατήρηση ενός ποικιλόμορφου πληθυσμού μπορούν να βοηθήσουν στον μετριασμό αυτού του κινδύνου, αλλά προσθέτουν επίσης πολυπλοκότητα στην εξελικτική διαδικασία (Mitchell, 1998).

Τέλος, υπάρχει η πρόκληση της εξισορρόπησης του συμβιβασμού μεταξύ εξερεύνησης και εκμετάλλευσης. Στους γενετικούς αλγορίθμους, η εξερεύνηση αναφέρεται στην αναζήτηση νέων και δυνητικά καλύτερων λύσεων, ενώ η εκμετάλλευση αναφέρεται στη βελτίωση και βελτιστοποίηση των υφιστάμενων λύσεων. Η επίτευξη της σωστής ισορροπίας μεταξύ αυτών των δύο διαδικασιών είναι ζωτικής σημασίας για την επιτυχία του αλγορίθμου, αλλά μπορεί να είναι δύσκολο να επιτευχθεί, ιδίως σε πολύπλοκα και δυναμικά περιβάλλοντα παιχνιδιών (Goldberg, 1989).

Παρά τις προκλήσεις αυτές, οι γενετικοί αλγόριθμοι και τα εξελικτικά μοντέλα παραμένουν ένα ισχυρό εργαλείο για την ανάπτυξη προσαρμοστικών και ευφυών NPCs. Η ικανότητά τους να εξελίσσουν και να βελτιστοποιούν τις συμπεριφορές τους με την πάροδο του χρόνου τους καθιστά ιδιαίτερα κατάλληλους για παιχνίδια που απαιτούν σύνθετη λήψη αποφάσεων και στρατηγική σκέψη. Καθώς η υπολογιστική ισχύς συνεχίζει να αυξάνεται και αναπτύσσονται νέες τεχνικές για τη βελτίωση της αποδοτικότητας και της αποτελεσματικότητας αυτών των μοντέλων, η εφαρμογή τους στην τεχνητή νοημοσύνη παιχνιδιών είναι πιθανό να επεκταθεί, προσφέροντας νέες δυνατότητες για τη δημιουργία πιο ρεαλιστικών και ελκυστικών συμπεριφορών NPCs (Mitchell, 1998).

2.4 Συναισθηματική ανταπόκριση των NPCs

Η συναισθηματική ανταπόκριση των NPCs αποτελεί σημαντική πρόοδο στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης των παιχνιδιών, επιτρέποντας στους χαρακτήρες να επιδεικνύουν συναισθήματα που επηρεάζουν τις αλληλεπιδράσεις τους με τους παίκτες και τον κόσμο του παιχνιδιού. Αυτή η ικανότητα είναι απαραίτητη για τη δημιουργία καθηλωτικών και συναρπαστικών εμπειριών παιχνιδιών, όπου οι NPCs δεν αντιδρούν μόνο στις ενέργειες των παικτών, αλλά είναι επίσης ικανοί να εκφράζουν και να ανταποκρίνονται σε ένα ευρύ φάσμα συναισθηματικών καταστάσεων. Η ενσωμάτωση της συναισθηματικής ανταπόκρισης στους NPCs οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στις εξελίξεις στον τομέα της συναισθηματικής πληροφορικής και στην εφαρμογή διαφόρων μοντέλων συναισθημάτων, τα οποία παρέχουν τα θεωρητικά και υπολογιστικά πλαίσια που είναι απαραίτητα για την προσομοίωση των συναισθημάτων σε τεχνητούς πράκτορες.

2.4.1 Συναισθηματική υπολογιστική και μοντέλα συναισθημάτων

Η συναισθηματική πληροφορική είναι ένας διεπιστημονικός τομέας που επικεντρώνεται στο σχεδιασμό συστημάτων ικανών να αναγνωρίζουν, να ερμηνεύουν και να προσομοιώνουν τα ανθρώπινα συναισθήματα. Στο πλαίσιο των βιντεοπαιχνιδιών, η συναισθηματική πληροφορική παρέχει τα θεμέλια για τη δημιουργία συναισθηματικά ανταποκρινόμενων NPCs, επιτρέποντάς τους να εκφράζουν συναισθήματα, να αντιδρούν στα συναισθήματα των παικτών και να συμμετέχουν σε συναισθηματικά καθοδηγούμενες αλληλεπιδράσεις. Στο επίκεντρο της συναισθηματικής πληροφορικής βρίσκονται τα διάφορα μοντέλα συναισθήματος, καθένα από τα οποία προσφέρει μια διαφορετική προσέγγιση για την αναπαράσταση και προσομοίωση των συναισθημάτων σε NPCs. Η παρούσα ενότητα διερευνά τρεις πρωταρχικούς τύπους μοντέλων συναισθημάτων: μοντέλα διακριτών συναισθημάτων, μοντέλα διαστατικών συναισθημάτων και μοντέλα βασισμένα στην αξιολόγηση.

2.4.1.1 Διακριτά μοντέλα συναισθημάτων

Τα μοντέλα διακριτών συναισθημάτων βασίζονται στην ιδέα ότι τα συναισθήματα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε ένα σύνολο διακριτών, βασικών συναισθημάτων, καθένα από τα οποία έχει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και συμπεριφορικές εκφράσεις. Αυτή η προσέγγιση στη μοντελοποίηση των συναισθημάτων έχει τις ρίζες της στις ψυχολογικές θεωρίες που προτείνουν την ύπαρξη θεμελιωδών συναισθημάτων που αναγνωρίζονται παγκοσμίως σε όλους τους πολιτισμούς. Μια από τις θεωρίες με τη μεγαλύτερη επιρροή από την άποψη αυτή είναι το μοντέλο των βασικών συναισθημάτων του Paul Ekman, το οποίο προσδιορίζει έξι βασικά συναισθήματα: ευτυχία, θλίψη, φόβος, θυμός, έκπληξη και αηδία (Ekman, 1992).

1. Βασικές αρχές των διακριτών μοντέλων συναισθημάτων

Στα μοντέλα διακριτών συναισθημάτων, κάθε συναίσθημα αντιμετωπίζεται ως μια ξεχωριστή κατηγορία με το μοναδικό σύνολο εναυσμάτων, φυσιολογικών αντιδράσεων και συμπεριφορικών εκφράσεων. Αυτά τα μοντέλα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για τη δημιουργία NPCs που πρέπει να παρουσιάζουν σαφείς και αναγνωρίσιμες συναισθηματικές αντιδράσεις σε συγκεκριμένα ερεθίσματα. Για παράδειγμα, ένας NPC μπορεί να επιδεικνύει φόβο όταν συναντά έναν επικίνδυνο εχθρό, θυμό όταν προκαλείται ή χαρά όταν λαμβάνει μια ανταμοιβή. Η χρήση διακριτών μοντέλων συναισθημάτων επιτρέπει στους προγραμματιστές να ορίζουν συγκεκριμένες συμπεριφορές και αντιδράσεις που σχετίζονται με κάθε συναίσθημα, διευκολύνοντας έτσι τη δημιουργία σεναρίων και την εμπύχωση χαρακτήρων που ανταποκρίνονται σε συναισθήματα (Ekman, 1992).

Ένα βασικό πλεονέκτημα των διακριτών μοντέλων συναισθημάτων είναι η απλότητα και η ευκολία εφαρμογής τους. Εστιάζοντας σε ένα περιορισμένο σύνολο βασικών συναισθημάτων, οι προγραμματιστές μπορούν να δημιουργήσουν NPCs που παρουσιάζουν μια σειρά συναισθηματικών αντιδράσεων χωρίς την ανάγκη πολύπλοκων υπολογισμών ή εκτεταμένων δεδομένων. Αυτό καθιστά τα διακριτά μοντέλα συναισθημάτων κατάλληλα για παιχνίδια όπου η συναισθηματική ανταπόκριση είναι σημαντική αλλά δεν απαιτεί τη λεπτότητα ή την πολυπλοκότητα των πιο προηγμένων μοντέλων (Izard, 1977).

2. Εφαρμογές στην τεχνητή νοημοσύνη των παιχνιδιών

Τα διακριτά μοντέλα συναισθημάτων έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στην τεχνητή νοημοσύνη παιχνιδιών για τη δημιουργία συναισθηματικά ευαίσθητων NPCs. Ένα από τα πιο αξιοσημείωτα παραδείγματα είναι στη σειρά Sims, όπου οι NPCs (που αναφέρονται ως Sims) παρουσιάζουν μια σειρά από βασικά συναισθήματα όπως η ευτυχία, η θλίψη και ο θυμός με βάση τις αλληλεπιδράσεις τους με το περιβάλλον και τους άλλους Sims (Maxis, 2000). Αυτά τα συναισθήματα επηρεάζουν τη συμπεριφορά των Sims, όπως τον τρόπο με τον οποίο αλληλεπιδρούν με άλλους χαρακτήρες, την προθυμία τους να συμμετάσχουν σε ορισμένες δραστηριότητες και τη συνολική τους διάθεση. Η χρήση διακριτών μοντέλων συναισθημάτων στο The Sims επιτρέπει ένα ευρύ φάσμα αναδυόμενου παιχνιδιού, καθώς οι παίκτες μπορούν να παρατηρούν και να επηρεάζουν τις συναισθηματικές καταστάσεις των Sims τους μέσω διαφόρων ενεργειών εντός του παιχνιδιού.

Ένα άλλο παράδειγμα μπορεί να βρεθεί στο Fable II (2008), όπου οι NPCs παρουσιάζουν διακριτές συναισθηματικές αντιδράσεις ανάλογα με τις ενέργειες των παικτών. Στο Fable II, οι ηθικές επιλογές των παικτών επηρεάζουν τον τρόπο με τον οποίο οι NPCs αντιλαμβάνονται και

αντιδρούν στους παίκτες, με συναισθήματα όπως ο φόβος, ο θαυμασμός και η αηδία να εκφράζονται ξεκάθαρα μέσω του διαλόγου και των κινούμενων σχεδίων των NPCs (Lionhead Studios, 2008). Αυτή η χρήση διακριτών μοντέλων συναισθημάτων προσθέτει βάθος στο ηθικό σύστημα του παιχνιδιού, καθώς οι παίκτες μπορούν να δουν τον άμεσο συναισθηματικό αντίκτυπο των επιλογών τους στους χαρακτήρες του παιχνιδιού.

Στο *Left 4 Dead* (2008), τα διακριτά μοντέλα συναισθημάτων χρησιμοποιούνται για να καθοδηγήσουν τη συμπεριφορά του AI Director, ο οποίος διαχειρίζεται τον ρυθμό και τη δυσκολία του παιχνιδιού προσαρμόζοντας δυναμικά το περιβάλλον με βάση τις ενέργειες και τις συναισθηματικές καταστάσεις των παικτών (Valve Corporation, 2008). Ο AI Director χρησιμοποιεί ένα περιορισμένο σύνολο συναισθηματικών καταστάσεων, όπως η ένταση και ο πανικός, για να καθορίσει πότε και πώς να εισάγει νέες απειλές, όπως ορδές εχθρών ή ειδικούς μολυσμένους. Αυτό δημιουργεί μια πιο έντονη και συναισθηματικά ελκυστική εμπειρία, καθώς το παιχνίδι ανταποκρίνεται στα επίπεδα άγχους των παικτών σε πραγματικό χρόνο.

3. Περιορισμοί των διακριτών μοντέλων συναισθημάτων

Ενώ τα διακριτά μοντέλα συναισθημάτων είναι χρήσιμα για τη δημιουργία σαφών και αναγνωρίσιμων συναισθηματικών αντιδράσεων, έχουν ορισμένους περιορισμούς. Μία από τις κύριες επικρίσεις των διακριτών μοντέλων συναισθημάτων είναι η αδυναμία τους να αποτυπώσουν την πλήρη πολυπλοκότητα και λεπτότητα των ανθρώπινων συναισθημάτων. Τα συναισθήματα του πραγματικού κόσμου είναι συχνά ένα μείγμα πολλαπλών συναισθημάτων και μπορεί να ποικίλλουν σε ένταση και διάρκεια ανάλογα με το πλαίσιο. Τα διακριτά μοντέλα, με την εστίασή τους στην κατηγοριοποίηση των συναισθημάτων σε διακριτούς τύπους, μπορεί να υπεραπλουστεύσουν αυτές τις αποχρώσεις, οδηγώντας σε NPCs που παρουσιάζουν υπερβολικά απλουστευτικές ή υπερβολικές συναισθηματικές αντιδράσεις (Ekman, 1992).

Ένας άλλος περιορισμός είναι η πιθανότητα επανάληψης της συμπεριφοράς των NPCs. Επειδή τα διακριτά μοντέλα συναισθημάτων βασίζονται σε προκαθορισμένες κατηγορίες και αντιδράσεις, οι NPCs μπορεί να αρχίσουν να παρουσιάζουν τις ίδιες συναισθηματικές αντιδράσεις σε παρόμοιες καταστάσεις, οδηγώντας σε προβλέψιμο και λιγότερο ελκυστικό παιχνίδι. Αυτό μπορεί να μειώσει τη συνολική εμπύθιση και την αληθοφάνεια του παιχνιδιού, ιδίως σε εμπειρίες μεγαλύτερης διάρκειας ή με περισσότερο αφηγηματικό χαρακτήρα (Izard, 1977).

Παρά τους περιορισμούς αυτούς, τα διακριτά μοντέλα συναισθημάτων παραμένουν ένα πολύτιμο εργαλείο για την ανάπτυξη συναισθηματικά ευαίσθητων NPCs, ιδίως σε παιχνίδια όπου η σαφής και άμεση συναισθηματική ανατροφοδότηση είναι απαραίτητη. Η απλότητα και η ευκολία υλοποίησής τους τα καθιστούν ελκυστική επιλογή για πολλούς προγραμματιστές, ιδίως σε παιχνίδια που απαιτούν ένα ευρύ φάσμα συναισθηματικών εκφράσεων αλλά δεν απαιτούν τη λεπτότητα των πιο σύνθετων μοντέλων.

2.4.1.2 Διαστατικά μοντέλα συναισθημάτων

Τα διαστασιακά μοντέλα συναισθημάτων προσφέρουν μια πιο διαφοροποιημένη προσέγγιση για την αναπαράσταση των συναισθημάτων στα NPCs, τοποθετώντας τα συναισθήματα σε ένα συνεχές αντί να τα κατηγοριοποιούν σε διακριτούς τύπους. Αυτά τα μοντέλα βασίζονται στην ιδέα ότι τα συναισθήματα μπορούν να περιγραφούν με βάση τη θέση τους κατά μήκος μιας ή περισσότερων διαστάσεων, όπως η διέγερση (ένταση) και η αξία (θετικότητα ή αρνητικότητα). Ένα από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα διαστασιολογικά μοντέλα είναι το Circumplex Model of Affect, που προτάθηκε από τον James Russell, το οποίο απεικονίζει τα συναισθήματα σε έναν κυκλικό χώρο που ορίζεται από δύο πρωταρχικές διαστάσεις: τη διέγερση και την αξία (Russell, 1980).

1. Βασικές αρχές των διαστατικών μοντέλων συναισθήματος

Στα διαστατικά μοντέλα συναισθημάτων, τα συναισθήματα αναπαρίστανται ως σημεία σε έναν συνεχή χώρο, με κάθε σημείο να αντιστοιχεί σε έναν μοναδικό συνδυασμό διέγερσης και σθένους. Για παράδειγμα, συναισθήματα όπως ο ενθουσιασμός και ο θυμός είναι και τα δύο υψηλά σε διέγερση αλλά διαφέρουν ως προς την αξία, με τον ενθουσιασμό να είναι θετικός και τον θυμό αρνητικός. Αντίθετα, συναισθήματα όπως η θλίψη και η χαλάρωση έχουν χαμηλή διέγερση, με τη θλίψη να είναι αρνητική και τη χαλάρωση θετική. Αυτή η συνεχής αναπαράσταση επιτρέπει μια πιο ρευστή και δυναμική απεικόνιση των συναισθημάτων, καθώς οι NPCs

μπορούν να μεταβαίνουν ομαλά μεταξύ διαφορετικών συναισθηματικών καταστάσεων με βάση τις αλλαγές στο περιβάλλον τους ή τις αλληλεπιδράσεις με τους παίκτες (Russell, 1980).

Τα μοντέλα διαστάσεων προσαρμόζουν επίσης την ένταση των συναισθημάτων, επιτρέποντας πιο λεπτές παραλλαγές στη συμπεριφορά των NPCs. Για παράδειγμα, ένας NPC μπορεί να επιδεικνύει ήπια ευτυχία ως απάντηση σε μια μικρή ανταμοιβή, αλλά να δείχνει έντονη χαρά όταν λαμβάνει μια σημαντική ανταμοιβή. Αυτή η ικανότητα μεταβολής της έντασης των συναισθηματικών αντιδράσεων προσθέτει βάθος στις αλληλεπιδράσεις των NPCs, κάνοντάς τους να φαίνονται πιο ρεαλιστικές και κατάλληλες για το πλαίσιο (Russell, 2003).

2. Εφαρμογές στην τεχνητή νοημοσύνη των παιχνιδιών

Διαστατικά μοντέλα συναισθημάτων έχουν εφαρμοστεί με επιτυχία σε διάφορα παιχνίδια για τη δημιουργία NPCs που παρουσιάζουν πιο εξελιγμένες και ευαίσθητες στο πλαίσιο συναισθηματικές αντιδράσεις. Ένα αξιοσημείωτο παράδειγμα είναι το Heavy Rain, ένα αφηγηματικό παιχνίδι όπου τα συναισθήματα των NPCs παίζουν κεντρικό ρόλο στην ιστορία και το gameplay (Quantic Dream, 2010). Στο Heavy Rain, οι συναισθηματικές καταστάσεις των NPCs επηρεάζονται από τις εμπειρίες τους και τις αλληλεπιδράσεις τους με τους παίκτες, με τα συναισθήματα να αναπαρίστανται κατά τις διαστάσεις της διέγερσης και της εκτίμησης. Αυτό επιτρέπει στους NPCs να επιδεικνύουν ένα ευρύ φάσμα συναισθηματικών αντιδράσεων, από λεπτές αλλαγές στη διάθεση έως έντονες συναισθηματικές εκρήξεις, ανάλογα με το πλαίσιο.

Ένα άλλο παράδειγμα είναι το The Sims 4, όπου τα συναισθήματα των NPCs μοντελοποιούνται χρησιμοποιώντας έναν συνδυασμό διακριτών και διαστατικών προσεγγίσεων (Maxis, 2014). Στο The Sims 4, τα συναισθήματα αναπαρίστανται ως ένας συνδυασμός πρωτογενών διαθέσεων (π.χ. χαρούμενος, λυπημένος, θυμωμένος) και τροποποιητών που επηρεάζουν την ένταση και τη διάρκεια αυτών των διαθέσεων. Η χρήση ενός διαστατικού μοντέλου επιτρέπει πιο διαφοροποιημένες συναισθηματικές αλληλεπιδράσεις, όπως το να αισθάνεται ένας Sim "πολύ χαρούμενος" ή "ελαφρώς ενοχλημένος", αντί να περιορίζεται σε μια δυαδική κατάσταση. Αυτό προσθέτει βάθος στις κοινωνικές αλληλεπιδράσεις του παιχνιδιού, καθώς οι παίκτες μπορούν να παρατηρούν και να επηρεάζουν τις λεπτές συναισθηματικές δυναμικές μεταξύ των Sims τους.

Διαστατικά μοντέλα συναισθημάτων χρησιμοποιήθηκαν επίσης στο The Witcher 3: Wild Hunt (2015) για να ενισχύσουν το συναισθηματικό βάθος των χαρακτήρων του παιχνιδιού (CD Projekt Red, 2015). Στο The Witcher 3, τα συναισθήματα των NPCs επηρεάζονται από έναν συνδυασμό αφηγηματικών γεγονότων και αλληλεπιδράσεων των παικτών, με τα συναισθήματα να αναπαρίστανται κατά μήκος των διαστάσεων της διέγερσης και της εκτίμησης. Αυτό επιτρέπει στους NPCs να επιδεικνύουν ένα ευρύ φάσμα συναισθηματικών αντιδράσεων, από φόβο και θυμό έως χαρά και θλίψη, ανάλογα με το πλαίσιο. Η χρήση ενός διαστατικού μοντέλου ενισχύει την αφήγηση του παιχνιδιού, επιτρέποντας στους NPCs να αντιδρούν με πιο λεπτούς και κατάλληλους για το πλαίσιο τρόπους, κάνοντας τους χαρακτήρες να φαίνονται πιο αληθινοί και συναισθηματικά πολύπλοκοι.

3. Πλεονεκτήματα και προκλήσεις των διαστατικών μοντέλων

Τα διαστατικά μοντέλα συναισθημάτων προσφέρουν αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα διακριτά μοντέλα, ιδίως όσον αφορά την ευελιξία και τη λεπτότητα. Αναπαριστώντας τα συναισθήματα ως σημεία σε έναν συνεχή χώρο, τα διαστατικά μοντέλα επιτρέπουν πιο διαφοροποιημένες και ευαίσθητες στο πλαίσιο συναισθηματικές αντιδράσεις. Αυτό επιτρέπει στους NPCs να επιδεικνύουν ένα ευρύτερο φάσμα συναισθημάτων, με ποικίλους βαθμούς έντασης και πολυπλοκότητας, κάνοντάς τους να φαίνονται πιο ρεαλιστικοί και ελκυστικοί για τους παίκτες (Russell, 2003).

Τα διαστατικά μοντέλα παρέχουν επίσης έναν πιο φυσικό τρόπο μοντελοποίησης των συναισθηματικών μεταβάσεων, καθώς οι NPCs μπορούν να μετακινούνται ομαλά μεταξύ διαφορετικών συναισθηματικών καταστάσεων με βάση τις αλλαγές στο περιβάλλον τους ή τις αλληλεπιδράσεις με τους παίκτες. Αυτή η συνεχής αναπαράσταση των συναισθημάτων επιτρέπει πιο δυναμικές και προσαρμοστικές συμπεριφορές των NPCs, ενισχύοντας τη συνολική εμπύηση και την αληθοφάνεια του κόσμου του παιχνιδιού (Barrett & Russell, 1998).

Ωστόσο, τα διαστατικά μοντέλα συναισθημάτων παρουσιάζουν επίσης ορισμένες προκλήσεις. Μία από τις κύριες προκλήσεις είναι η πολυπλοκότητα της υλοποίησης. Σε αντίθεση με τα διακριτά μοντέλα, τα οποία βασίζονται σε προκαθορισμένες κατηγορίες και αντιδράσεις, τα διαστατικά μοντέλα απαιτούν τη συνεχή αξιολόγηση πολλαπλών παραγόντων για τον

προσδιορισμό της συναισθηματικής κατάστασης ενός NPC. Αυτό μπορεί να αυξήσει την υπολογιστική πολυπλοκότητα του συστήματος τεχνητής νοημοσύνης, ιδίως σε παιχνίδια με μεγάλο αριθμό NPCs ή πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις (Russell, 2003).

Μια άλλη πρόκληση είναι η πιθανότητα ασάφειας στη συναισθηματική έκφραση. Επειδή τα διαστατικά μοντέλα αναπαριστούν τα συναισθήματα σε ένα συνεχές, μπορεί να είναι πιο δύσκολο να μεταφερθεί με σαφήνεια η συναισθηματική κατάσταση ενός NPC στους παίκτες. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε καταστάσεις όπου οι προθέσεις ή οι ενέργειες των παικτών παρερμηνεύονται από τον NPC, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται ακούσιες ή συγκεχυμένες εμπειρίες παιχνιδιού. Για να μετριαστεί αυτό, οι προγραμματιστές πρέπει να σχεδιάζουν προσεκτικά τις οπτικές και ακουστικές ενδείξεις που σχετίζονται με τις διάφορες συναισθηματικές καταστάσεις, διασφαλίζοντας ότι είναι τόσο σαφείς όσο και κατάλληλες για το πλαίσιο (Barrett & Russell, 1998).

Παρά τις προκλήσεις αυτές, τα διαστατικά μοντέλα συναισθημάτων παραμένουν ένα ισχυρό εργαλείο για τη δημιουργία συναισθηματικά ευαίσθητων NPCs, ιδίως σε παιχνίδια που απαιτούν υψηλό βαθμό συναισθηματικής πολυπλοκότητας και λεπτότητας. Η ικανότητά τους να αποτυπώνουν τις αποχρώσεις του ανθρώπινου συναισθήματος τα καθιστά κατάλληλα για παιχνίδια και προσομοιώσεις με βάση την αφήγηση, όπου το συναισθηματικό βάθος των NPCs είναι κρίσιμο για την εμπύθιση και την εμπλοκή των παικτών.

2.4.1.3 Μοντέλα βασισμένα στην αξιολόγηση

Τα μοντέλα που βασίζονται στην αξιολόγηση αντιπροσωπεύουν μια πιο εξελιγμένη προσέγγιση για τη μοντελοποίηση των συναισθημάτων στους NPCs, βασιζόμενα στις γνωστικές θεωρίες του συναισθήματος που δίνουν έμφαση στο ρόλο των ατομικών εκτιμήσεων ή αξιολογήσεων στον καθορισμό των συναισθηματικών αντιδράσεων. Σύμφωνα με τη θεωρία της αξιολόγησης, τα συναισθήματα δεν είναι απλώς αυτόματες αντιδράσεις σε εξωτερικά ερεθίσματα, αλλά διαμορφώνονται από την αξιολόγηση της κατάστασης από το άτομο, συμπεριλαμβανομένων παραγόντων όπως η συνάφεια, η συμφωνία στόχων και οι δυνατότητες αντιμετώπισης (Scherer, 2001). Στο πλαίσιο της τεχνητής νοημοσύνης των παιχνιδιών, τα μοντέλα που βασίζονται στην αξιολόγηση παρέχουν ένα πλαίσιο για τη δημιουργία NPCs που μπορούν να αξιολογούν και να ανταποκρίνονται σε πολύπλοκες καταστάσεις με πιο ευαίσθητο και προσαρμοστικό τρόπο.

1. Βασικές αρχές των μοντέλων που βασίζονται στην αξιολόγηση

Τα μοντέλα που βασίζονται στην αξιολόγηση βασίζονται στην έννοια των γνωστικών αξιολογήσεων, οι οποίες είναι οι αξιολογήσεις που κάνει ένας NPC σχετικά με τη σημασία μιας κατάστασης σε σχέση με τους στόχους, τις πεποιθήσεις και τις προσδοκίες του. Αυτές οι εκτιμήσεις καθορίζουν τη συναισθηματική αντίδραση του NPC στην κατάσταση, καθώς και την ένταση και τη διάρκεια του συναισθήματος. Για παράδειγμα, εάν ένας NPC εκτιμά μια κατάσταση ως ιδιαίτερα σημαντική για τους στόχους του και αντιλαμβάνεται μεγάλη πιθανότητα επιτυχίας, μπορεί να βιώσει θετικά συναισθήματα όπως χαρά ή υπερηφάνεια. Αντίθετα, αν ο NPC αντιλαμβάνεται την κατάσταση ως απειλητική ή ασύμβατη με τους στόχους του, μπορεί να βιώσει αρνητικά συναισθήματα όπως φόβο ή θυμό (Scherer, 2001).

Τα μοντέλα που βασίζονται στην αξιολόγηση περιλαμβάνουν συνήθως πολλαπλά επίπεδα αξιολόγησης, καθένα από τα οποία συμβάλλει στην τελική συναισθηματική αντίδραση. Τα επίπεδα αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν:

- **Πρωταρχική εκτίμηση:** Αξιολογεί τη συνάφεια και τη σημασία της κατάστασης, καθορίζοντας αν είναι ωφέλιμη, επιβλαβής ή άσχετη με τους στόχους του NPC.
- **Δευτερογενής αξιολόγηση:** Αξιολογεί την ικανότητα του NPC να αντιμετωπίσει την κατάσταση, συμπεριλαμβανομένων παραγόντων όπως ο έλεγχος, η εξουσία και οι στρατηγικές αντιμετώπισης.
- **Εκτίμηση αποτελεσμάτων:** Αξιολογεί τις πιθανές συνέπειες της κατάστασης, συμπεριλαμβανομένης της πιθανότητας επίτευξης των επιθυμητών αποτελεσμάτων ή αποφυγής των αρνητικών συνεπειών.

Συνδυάζοντας αυτές τις εκτιμήσεις, οι NPCs μπορούν να παράγουν σύνθετες συναισθηματικές αντιδράσεις που είναι στενά ευθυγραμμισμένες με τους στόχους, τα κίνητρα και το συγκεκριμένο πλαίσιο της κατάστασης (Scherer, 2001).

2. Εφαρμογές στην τεχνητή νοημοσύνη των παιχνιδιών

Μοντέλα που βασίζονται στην αξιολόγηση έχουν εφαρμοστεί σε διάφορα παιχνίδια για τη δημιουργία NPCs που παρουσιάζουν πιο ευαίσθητες στο πλαίσιο και προσαρμοστικές συναισθηματικές αντιδράσεις. Ένα αξιοσημείωτο παράδειγμα είναι το παιχνίδι *Facade* (2005), ένα διαδραστικό δράμα όπου τα συναισθήματα και οι συμπεριφορές των NPCs καθοδηγούνται από μοντέλα που βασίζονται στην εκτίμηση (Mateas & Stern, 2005). Στο *Facade*, οι NPCs Tripp και Grace αξιολογούν τις ενέργειες και το διάλογο των παικτών με βάση τους στόχους και τη δυναμική των σχέσεών τους, οδηγώντας σε ένα ευρύ φάσμα συναισθηματικών αντιδράσεων. Αυτές οι αντιδράσεις δεν είναι προκαθορισμένες, αλλά δημιουργούνται δυναμικά με βάση τις εκτιμήσεις των NPCs για την κατάσταση, με αποτέλεσμα μια ιδιαίτερα διαδραστική και συναισθηματικά ελκυστική εμπειρία.

Ένα άλλο παράδειγμα είναι το *The Elder Scrolls V: Skyrim* (2011), όπου οι NPCs χρησιμοποιούν μοντέλα που βασίζονται στην αξιολόγηση για να αξιολογήσουν τις ενέργειες των παικτών και τον αντίκτυπό τους στον κόσμο του παιχνιδιού (Bethesda Game Studios, 2011). Στο *Skyrim*, οι συναισθηματικές αντιδράσεις των NPCs στους παίκτες επηρεάζονται από παράγοντες όπως η φήμη των παικτών, οι προηγούμενες αλληλεπιδράσεις και το συγκεκριμένο πλαίσιο της κατάστασης. Για παράδειγμα, ένας NPC μπορεί να αντιδράσει με ευγνωμοσύνη και αφοσίωση αν οι παίκτες τον βοηθήσουν να επιτύχει έναν προσωπικό του στόχο ή με θυμό και δυσπιστία αν η παίκτρια προδώσει την εμπιστοσύνη του. Η χρήση μοντέλων που βασίζονται στην αξιολόγηση προσθέτει βάθος στις κοινωνικές αλληλεπιδράσεις του παιχνιδιού, κάνοντας τους NPCs να φαίνονται πιο αντιδραστικοί και συναισθηματικά πολύπλοκοι.

Τα μοντέλα που βασίζονται στην αξιολόγηση χρησιμοποιούνται επίσης στο *Detroit: Become Human*, ένα αφηγηματικό παιχνίδι όπου τα συναισθήματα και οι αποφάσεις των NPCs επηρεάζονται από τις εκτιμήσεις τους για τις ενέργειες των παικτών και την εξελισσόμενη ιστορία (Quantic Dream, 2018). Στο *Detroit*, οι NPCs αξιολογούν τις επιλογές των παικτών με βάση τους στόχους, τις πεποιθήσεις και τις προσδοκίες τους, οδηγώντας σε ένα ευρύ φάσμα πιθανών συναισθηματικών αντιδράσεων και αφηγηματικών αποτελεσμάτων. Αυτή η δυναμική και ευαίσθητη στο πλαίσιο προσέγγιση στη μοντελοποίηση συναισθημάτων επιτρέπει μια ιδιαίτερα εξατομικευμένη και συναισθηματικά ελκυστική εμπειρία παιχνιδιού, καθώς οι ενέργειες των παικτών έχουν άμεσο και ουσιαστικό αντίκτυπο στην ιστορία.

3. Πλεονεκτήματα και προκλήσεις των μοντέλων που βασίζονται στην αξιολόγηση

Τα μοντέλα που βασίζονται στην αξιολόγηση προσφέρουν αρκετά πλεονεκτήματα έναντι άλλων μοντέλων συναισθημάτων, ιδίως όσον αφορά την ικανότητά τους να αποτυπώνουν την πολυπλοκότητα και την εξάρτηση των ανθρώπινων συναισθημάτων από το πλαίσιο. Εστιάζοντας στις γνωστικές εκτιμήσεις, τα μοντέλα αυτά επιτρέπουν στους NPCs να αξιολογούν και να ανταποκρίνονται στις καταστάσεις με πιο διαφοροποιημένο και προσαρμοστικό τρόπο, κάνοντας τις συναισθηματικές τους αντιδράσεις να φαίνονται πιο ρεαλιστικές και κατάλληλες για το πλαίσιο (Scherer, 2001).

Τα μοντέλα που βασίζονται στην αξιολόγηση παρέχουν επίσης έναν πιο φυσικό τρόπο ενσωμάτωσης των συναισθημάτων στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων. Επειδή τα συναισθήματα δημιουργούνται με βάση τις εκτιμήσεις του NPC για την κατάσταση, είναι εγγενώς συνδεδεμένα με τους στόχους, τα κίνητρα και τις πεποιθήσεις του. Αυτό επιτρέπει στα συναισθήματα να διαδραματίζουν κεντρικότερο ρόλο στην καθοδήγηση της συμπεριφοράς των NPCs, οδηγώντας σε πιο συνεκτικές και ευαίσθητες στο πλαίσιο αλληλεπιδράσεις με τους παίκτες και τον κόσμο του παιχνιδιού (Ortony, Clore, & Collins, 1988).

Ωστόσο, τα μοντέλα που βασίζονται στην αξιολόγηση παρουσιάζουν επίσης ορισμένες προκλήσεις. Μία από τις κύριες προκλήσεις είναι η πολυπλοκότητα της εφαρμογής. Σε αντίθεση με τα διακριτά ή διαστατικά μοντέλα, τα οποία βασίζονται σε προκαθορισμένες κατηγορίες ή διαστάσεις, τα μοντέλα που βασίζονται στην αξιολόγηση απαιτούν τη συνεχή αξιολόγηση πολλαπλών παραγόντων για τον προσδιορισμό της συναισθηματικής κατάστασης ενός NPC. Αυτό μπορεί να αυξήσει την υπολογιστική πολυπλοκότητα του συστήματος τεχνητής νοημοσύνης, ιδίως σε παιχνίδια με μεγάλο αριθμό NPCs ή πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις (Scherer, 2001).

Μια άλλη πρόκληση είναι η δυσκολία καθορισμού των κατάλληλων κριτηρίων αξιολόγησης. Επειδή τα μοντέλα που βασίζονται στην αξιολόγηση εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το πλαίσιο, οι προγραμματιστές πρέπει να σχεδιάσουν προσεκτικά τα κριτήρια που χρησιμοποιούν οι NPCs για να αξιολογήσουν τις καταστάσεις. Τα κριτήρια αυτά πρέπει να είναι αρκετά ευέλικτα

ώστε να μπορούν να εξυπηρετήσουν ένα ευρύ φάσμα πιθανών σεναρίων και αρκετά συγκεκριμένα ώστε να δημιουργούν ουσιαστικές συναισθηματικές αντιδράσεις. Αυτό μπορεί να είναι μια πολύπλοκη και χρονοβόρα διαδικασία, ιδίως σε παιχνίδια με πλούσια αφήγηση ή κοινωνική δυναμική (Ortony, Clore, & Collins, 1988).

Παρά τις προκλήσεις αυτές, τα μοντέλα που βασίζονται στην αξιολόγηση παραμένουν ένα ισχυρό εργαλείο για τη δημιουργία συναισθηματικά ευαίσθητων NPCs, ιδίως σε παιχνίδια που απαιτούν υψηλό βαθμό συναισθηματικής πολυπλοκότητας και λεπτότητας. Η ικανότητά τους να συλλαμβάνουν τις αποχρώσεις του ανθρώπινου συναισθήματος και να τις ενσωματώνουν στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων τα καθιστά κατάλληλα για αφηγηματικά παιχνίδια και προσομοιώσεις, όπου το συναισθηματικό βάθος των NPCs είναι κρίσιμο για την εμπύθιση και την εμπλοκή των παικτών (Scherer, 2001).

2.4.2 Εφαρμογή της συναισθηματικής ανταπόκρισης στους NPCs

Η εφαρμογή της συναισθηματικής ανταπόκρισης σε NPCs είναι ένα πολύπλοκο έργο που απαιτεί την ενσωμάτωση διαφόρων τεχνικών τεχνητής νοημοσύνης, καθεμία από τις οποίες συμβάλλει στην ικανότητα των NPCs να επιδεικνύουν και να ανταποκρίνονται στα συναισθήματα με δυναμικό και ευαίσθητο στο πλαίσιο τρόπο. Η πρόκληση έγκειται στο σχεδιασμό συστημάτων που όχι μόνο προσομοιώνουν τα συναισθήματα αλλά και ενσωματώνουν αυτά τα συναισθήματα στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων, επηρεάζοντας έτσι τη συμπεριφορά των NPCs με τρόπους που βελτιώνουν τη συνολική εμπειρία παιχνιδιού. Αυτή η ενότητα διερευνά τρεις βασικές προσεγγίσεις για την εφαρμογή της συναισθηματικής ανταπόκρισης σε NPCs: την ενσωμάτωση με δέντρα συμπεριφοράς, τη χρήση συστημάτων βάσει χρησιμότητας με συναισθηματικό πλαίσιο και την εφαρμογή της μηχανικής μάθησης για προσαρμοστικές συναισθηματικές αντιδράσεις.

2.4.2.1 Ενσωμάτωση με δέντρα συμπεριφοράς

Τα δέντρα συμπεριφοράς είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη αρχιτεκτονική τεχνητής νοημοσύνης στην ανάπτυξη παιχνιδιών, προσφέροντας μια ευέλικτη και αρθρωτή προσέγγιση για τον έλεγχο της συμπεριφοράς των NPCs. Η ενσωμάτωση της συναισθηματικής ανταπόκρισης στα δέντρα συμπεριφοράς επιτρέπει στους προγραμματιστές να δημιουργούν NPCs που όχι μόνο αντιδρούν στα περιβαλλοντικά ερεθίσματα και στις ενέργειες των παικτών αλλά και προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους με βάση τη συναισθηματική τους κατάσταση. Αυτή η ενσωμάτωση ενισχύει το βάθος και τον ρεαλισμό των αλληλεπιδράσεων των NPCs, καθώς τα συναισθήματα γίνονται κινητήριοι παράγοντες στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων.

1. Βασική δομή των δέντρων συμπεριφοράς

Όπως συζητήθηκε σε προηγούμενες ενότητες, τα δέντρα συμπεριφοράς είναι ιεραρχικές δομές που αποτελούνται από κόμβους, καθένας από τους οποίους αντιπροσωπεύει μια εργασία, μια απόφαση ή μια συμπεριφορά. Το δέντρο διατρέχεται από τον κόμβο-ρίζα προς τα φύλλα, με τον NPC να αξιολογεί και να εκτελεί ενέργειες με βάση τις συνθήκες που ορίζονται στο δέντρο. Τα δέντρα συμπεριφοράς είναι ιδιαίτερα αρθρωτά, επιτρέποντας στους προγραμματιστές να ορίζουν σύνθετες συμπεριφορές μέσω του συνδυασμού απλών κόμβων, όπως επιλογείς, ακολουθίες και διακοσμητές (Isla, 2005).

Για την ενσωμάτωση της συναισθηματικής ανταπόκρισης, τα συναισθήματα μπορούν να εισαχθούν ως συνθήκες ή τροποποιητές στο δέντρο συμπεριφοράς. Για παράδειγμα, ένας NPC μπορεί να έχει ένα δέντρο συμπεριφοράς που καθορίζει τις ενέργειές του κατά τη διάρκεια της μάχης. Εάν ο NPC βρίσκεται σε μια φοβισμένη συναισθηματική κατάσταση, αυτό το συναίσθημα θα μπορούσε να ενεργοποιήσει μια συνθήκη που αναγκάζει τον NPC να δώσει προτεραιότητα σε αμυντικές ενέργειες, όπως η αναζήτηση κάλυψης ή η υποχώρηση, αντί να εμπλακεί άμεσα με τους παίκτες. Αντίθετα, αν ο NPC είναι θυμωμένος, το δέντρο συμπεριφοράς μπορεί να δώσει προτεραιότητα σε επιθετικές ενέργειες, όπως η επίθεση στους players ή η χρήση ισχυρών επιθέσεων (Yannakakis & Togelius, 2018).

2. Τροποποίηση δέντρων συμπεριφοράς με συναισθηματικούς κόμβους

Μια αποτελεσματική μέθοδος για την ενσωμάτωση των συναισθημάτων στα δέντρα συμπεριφοράς είναι η χρήση συναισθηματικών κόμβων. Πρόκειται για εξειδικευμένους κόμβους που τροποποιούν τη διάσχιση του δέντρου με βάση την τρέχουσα συναισθηματική κατάσταση

του NPC. Οι συναισθηματικοί κόμβοι μπορούν να τοποθετηθούν σε διάφορα σημεία του δέντρου, επιτρέποντας στα συναισθήματα του NPC να επηρεάζουν τη λήψη αποφάσεων σε διαφορετικά επίπεδα συμπεριφοράς.

Για παράδειγμα, ένας συναισθηματικός κόμβος μπορεί να τοποθετηθεί στην αρχή μιας ακολουθίας που ελέγχει τη συμπεριφορά μάχης του NPC. Εάν ο NPC βρίσκεται σε κατάσταση αυξημένου φόβου, ο συναισθηματικός κόμβος θα μπορούσε να αλλάξει την ακολουθία ώστε να δώσει προτεραιότητα σε ενέργειες που αυξάνουν τις πιθανότητες επιβίωσης του NPC, όπως η φυγή ή η κλήση για βοήθεια. Εναλλακτικά, αν ο NPC αισθάνεται αυτοπεποίθηση ή θάρρος, ο συναισθηματικός κόμβος θα μπορούσε να τροποποιήσει την ακολουθία ώστε να δώσει προτεραιότητα σε πιο επιθετικές ενέργειες, όπως η κατά μέτωπο επίθεση στους παίκτες ή ο χλευασμός τους για να προκαλέσουν αντίδραση (Yannakakis & Togelius, 2018).

Οι συναισθηματικοί κόμβοι μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την τροποποίηση των επιλογών, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την επιλογή μεταξύ διαφορετικών συμπεριφορών με βάση τις συνθήκες στο περιβάλλον του παιχνιδιού. Με την ενσωμάτωση των συναισθηματικών καταστάσεων σε αυτούς τους επιλογείς, οι προγραμματιστές μπορούν να δημιουργήσουν NPCs που λαμβάνουν αποφάσεις με μεγαλύτερη ευαισθησία στο πλαίσιο, όπως για παράδειγμα να επιλέγουν να εμπλακούν σε διάλογο αντί για μάχη όταν βρίσκονται σε ήρεμη ή φιλική συναισθηματική κατάσταση (Isla, 2005).

3. Οφέλη και προκλήσεις

Η ενσωμάτωση της συναισθηματικής ανταπόκρισης στα δέντρα συμπεριφοράς προσφέρει πολλά οφέλη, όπως αυξημένο ρεαλισμό και βάθος στη συμπεριφορά των NPCs. Επιτρέποντας στα συναισθήματα να επηρεάζουν τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων, οι NPCs μπορούν να επιδεικνύουν ένα ευρύτερο φάσμα συμπεριφορών που αντικατοπτρίζουν περισσότερο την τρέχουσα συναισθηματική τους κατάσταση. Αυτό βελτιώνει την εμπειρία των παικτών δημιουργώντας πιο δυναμικές και απρόβλεπτες αλληλεπιδράσεις, καθώς οι NPC ανταποκρίνονται τόσο στα περιβαλλοντικά ερεθίσματα όσο και στις εσωτερικές συναισθηματικές τους καταστάσεις (Yannakakis & Togelius, 2018).

Ωστόσο, η ενσωμάτωση αυτή παρουσιάζει επίσης προκλήσεις, ιδίως όσον αφορά την πολυπλοκότητα και τη διαχειρισσιμότητα. Η προσθήκη συναισθηματικών κόμβων και συνθηκών στα δέντρα συμπεριφοράς μπορεί να αυξήσει τη συνολική πολυπλοκότητα του δέντρου, καθιστώντας δυσκολότερη τη σχεδίαση, την αποσφαλμάτωση και τη συντήρησή του. Οι προγραμματιστές πρέπει να εξισορροπούν προσεκτικά την επιρροή των συναισθημάτων στη συμπεριφορά των NPCs για να διασφαλίσουν ότι οι ενέργειες που προκύπτουν είναι τόσο κατάλληλες για το πλαίσιο όσο και συνεπείς με το συνολικό σχεδιασμό του παιχνιδιού (Isla, 2005).

Μια άλλη πρόκληση είναι να διασφαλιστεί ότι η συναισθηματική ανταπόκριση δεν οδηγεί σε υπερβολικά προβλέψιμες ή επαναλαμβανόμενες συμπεριφορές. Αν οι NPCs αντιδρούν σταθερά στα συναισθήματα με τον ίδιο τρόπο, η συμπεριφορά τους μπορεί να γίνει προβλέψιμη, μειώνοντας τη συνολική εμπλοκή και πρόκληση για τους παίκτες. Για να αντιμετωπιστεί αυτό, οι προγραμματιστές μπορούν να εισάγουν μεταβλητότητα στις συναισθηματικές αντιδράσεις, επιτρέποντας μια σειρά πιθανών συμπεριφορών με βάση τη συναισθηματική κατάσταση του NPC, τις προηγούμενες εμπειρίες και άλλους παράγοντες του περιβάλλοντος (Yannakakis & Togelius, 2018).

2.4.2.2 Συστήματα βάσει χρησιμότητας και το συναισθηματικό πλαίσιο

Τα συστήματα που βασίζονται στη χρησιμότητα είναι ένα άλλο ισχυρό εργαλείο για την εφαρμογή της συναισθηματικής ανταπόκρισης σε NPCs, ιδίως όταν συνδυάζονται με το συναισθηματικό πλαίσιο. Η τεχνητή νοημοσύνη που βασίζεται στη χρησιμότητα επιτρέπει στους NPCs να λαμβάνουν αποφάσεις με βάση την αντιληπτή χρησιμότητα ή αξία των διαφόρων ενεργειών, με τις συναρτήσεις χρησιμότητας να αντιπροσωπεύουν την επιθυμητότητα μιας ενέργειας δεδομένης της τρέχουσας κατάστασης του περιβάλλοντος του παιχνιδιού και της εσωτερικής κατάστασης του NPC. Με την ενσωμάτωση του συναισθηματικού πλαισίου σε αυτές τις συναρτήσεις χρησιμότητας, οι προγραμματιστές μπορούν να δημιουργήσουν NPCs που λαμβάνουν αποφάσεις με περισσότερο συναισθηματικό προσανατολισμό, προσθέτοντας βάθος και πολυπλοκότητα στη συμπεριφορά τους.

1. Συναρτήσεις χρησιμότητας και συναισθηματικοί τροποποιητές

Στα συστήματα βάσει χρησιμότητας, σε κάθε πιθανή ενέργεια αποδίδεται μια τιμή χρησιμότητας με βάση έναν συνδυασμό παραγόντων, όπως οι στόχοι, οι ανάγκες και η τρέχουσα κατάσταση του περιβάλλοντος του παιχνιδιού. Συνήθως επιλέγεται η ενέργεια με την υψηλότερη τιμή χρησιμότητας, επιτρέποντας στον NPC να βελτιστοποιήσει τη συμπεριφορά του για την επίτευξη των στόχων του (Spronck et al., 2006).

Για την ενσωμάτωση της συναισθηματικής ανταπόκρισης, τα συναισθήματα μπορούν να εισαχθούν ως τροποποιητές στις συναρτήσεις χρησιμότητας. Για παράδειγμα, ένας NPC σε συναισθηματική κατάσταση φόβου μπορεί να αποδίδει μεγαλύτερη χρησιμότητα σε ενέργειες που μειώνουν τις αντιλαμβανόμενες απειλές, όπως η φυγή ή η απόκρυψη, ενώ ένας NPC σε κατάσταση θυμού μπορεί να αποδίδει μεγαλύτερη χρησιμότητα σε ενέργειες που περιλαμβάνουν αντιμετώπιση ή επίθεση στην πηγή του θυμού του. Τροποποιώντας τις συναρτήσεις χρησιμότητας με βάση το συναισθηματικό πλαίσιο, οι NPCs μπορούν να λαμβάνουν αποφάσεις που αντικατοπτρίζουν περισσότερο την τρέχουσα συναισθηματική τους κατάσταση, οδηγώντας σε πιο δυναμική και ευαίσθητη στο πλαίσιο συμπεριφορά (Yannakakis & Togelius, 2018).

2. Δυναμική προσαρμογή των τιμών χρησιμότητας

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα της χρήσης συστημάτων βάσει χρησιμότητας με συναισθηματικό πλαίσιο είναι η δυνατότητα δυναμικής προσαρμογής των τιμών χρησιμότητας με βάση τις αλλαγές στη συναισθηματική κατάσταση του NPC. Καθώς το παιχνίδι εξελίσσεται και η συναισθηματική κατάσταση του NPC εξελίσσεται, η χρησιμότητα των διαφόρων ενεργειών μπορεί να υπολογιστεί εκ νέου ώστε να αντικατοπτρίζει αυτές τις αλλαγές. Αυτό επιτρέπει στους NPCs να προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους σε πραγματικό χρόνο, ανταποκρινόμενοι όχι μόνο στα εξωτερικά ερεθίσματα αλλά και στην εσωτερική συναισθηματική δυναμική τους (Spronck et al., 2006).

Για παράδειγμα, σε ένα παιχνίδι τρόμου επιβίωσης, ένας NPC μπορεί να ξεκινήσει σε μια σχετικά ήρεμη συναισθηματική κατάσταση, αποδίδοντας υψηλή χρησιμότητα σε ενέργειες που περιλαμβάνουν εξερεύνηση και συλλογή πόρων. Ωστόσο, καθώς ο NPC αντιμετωπίζει περισσότερες απειλές και το επίπεδο φόβου του αυξάνεται, η χρησιμότητα αυτών των ενεργειών μπορεί να μειωθεί, ενώ η χρησιμότητα των ενεργειών που αφορούν την αυτοσυντήρηση, όπως η απόκρυψη ή η φυγή, μπορεί να αυξηθεί. Αυτή η δυναμική προσαρμογή των τιμών χρησιμότητας επιτρέπει στους NPCs να επιδεικνύουν πιο ρεαλιστική και ευαίσθητη στο πλαίσιο συμπεριφορά, ενισχύοντας τη συνολική εμπύθιση και την ένταση του παιχνιδιού (Yannakakis & Togelius, 2018).

3. Εξισορρόπηση της συναισθηματικής επιρροής σε συστήματα βάσει χρησιμότητας

Αν και η ενσωμάτωση του συναισθηματικού πλαισίου στα συστήματα βάσει χρησιμότητας προσφέρει σημαντικά οφέλη, απαιτεί επίσης προσεκτική εξισορρόπηση για να διασφαλιστεί ότι τα συναισθήματα δεν κυριαρχούν υπερβολικά στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων του NPC. Εάν οι συναισθηματικοί τροποποιητές είναι πολύ ισχυροί, οι NPCs ενδέχεται να γίνουν παράλογοι ή απρόβλεπτοι, οδηγώντας σε συμπεριφορές που δεν συνάδουν με το σχεδιασμό ή την αφήγηση του παιχνιδιού. Αντίθετα, αν οι συναισθηματικοί τροποποιητές είναι πολύ αδύναμοι, η συμπεριφορά του NPC μπορεί να μην έχει συναισθηματικό βάθος, με αποτέλεσμα να φαίνεται πιο μηχανική και λιγότερο ελκυστική για τους παίκτες (Spronck et al., 2006).

Για να επιτευχθεί η σωστή ισορροπία, οι προγραμματιστές μπορούν να χρησιμοποιήσουν έναν συνδυασμό σταθερών και δυναμικών βαρών για τους συναισθηματικούς τροποποιητές, προσαρμόζοντας την επιρροή των συναισθημάτων με βάση την προσωπικότητα του NPC, το πλαίσιο της κατάστασης και την επιθυμητή εμπειρία παιχνιδιού. Για παράδειγμα, ένας χαρακτήρας που είναι γνωστός για την ηρεμία και τον ορθολογισμό του μπορεί να έχει χαμηλότερους συναισθηματικούς τροποποιητές, οδηγώντας σε πιο μετρημένες και υπολογισμένες αποφάσεις, ενώ ένας πιο παρορμητικός χαρακτήρας μπορεί να έχει υψηλότερους τροποποιητές, με αποτέλεσμα μια πιο συναισθηματικά καθοδηγούμενη συμπεριφορά (Yannakakis & Togelius, 2018).

Μια άλλη προσέγγιση είναι η χρήση ειδικών για το συναίσθημα συναρτήσεων χρησιμότητας που ενεργοποιούνται μόνο υπό ορισμένες συνθήκες. Για παράδειγμα, ένας NPC θα μπορούσε να έχει μια ξεχωριστή συνάρτηση χρησιμότητας για τις "αντιδράσεις φόβου", η οποία λαμβάνεται

υπόψη μόνο όταν το επίπεδο φόβου του NPC υπερβαίνει ένα συγκεκριμένο όριο. Αυτό επιτρέπει στους προγραμματιστές να ελέγχουν πότε και πώς τα συναισθήματα επηρεάζουν τη συμπεριφορά του NPC, διασφαλίζοντας ότι οι συναισθηματικές αντιδράσεις είναι τόσο κατάλληλες για το πλαίσιο όσο και συνεπείς με το σχεδιασμό του παιχνιδιού (Spronck et al., 2006).

2.4.2.3 Μηχανική μάθηση και προσαρμοστικές συναισθηματικές αντιδράσεις

Η μηχανική μάθηση προσφέρει μια ισχυρή και ευέλικτη προσέγγιση για την εφαρμογή προσαρμοστικών συναισθηματικών αντιδράσεων σε NPCs, επιτρέποντάς τους να μαθαίνουν και να εξελίσσουν τις συναισθηματικές τους συμπεριφορές με την πάροδο του χρόνου με βάση τις εμπειρίες και τις αλληλεπιδράσεις τους με το περιβάλλον του παιχνιδιού και τους παίκτες. Αξιοποιώντας τεχνικές όπως η ενισχυτική μάθηση, τα νευρωνικά δίκτυα και οι εξελικτικοί αλγόριθμοι, οι προγραμματιστές μπορούν να δημιουργήσουν NPCs που παρουσιάζουν πιο σύνθετες, ευαίσθητες στο πλαίσιο και συναισθηματικά καθοδηγούμενες συμπεριφορές.

1. Ενισχυτική μάθηση για συναισθηματική προσαρμογή

Η ενισχυτική μάθηση είναι ένας τύπος μηχανικής μάθησης όπου ένας πράκτορας μαθαίνει να λαμβάνει αποφάσεις αλληλεπιδρώντας με το περιβάλλον και λαμβάνοντας ανατροφοδότηση με τη μορφή ανταμοιβών ή ποινών. Στο πλαίσιο της συναισθηματικής ανταπόκρισης, η ενισχυτική μάθηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκπαίδευση των NPCs ώστε να προσαρμόζουν τη συναισθηματική τους συμπεριφορά με βάση τα αποτελέσματα των ενεργειών τους και τη συναισθηματική ανατροφοδότηση που λαμβάνουν από τους παίκτες ή άλλους NPCs (Sutton & Barto, 2018).

Για παράδειγμα, ένας NPC θα μπορούσε να εκπαιδευτεί με τη χρήση ενισχυτικής μάθησης ώστε να αναγνωρίζει πότε οι συναισθηματικές του αντιδράσεις οδηγούν σε θετικά ή αρνητικά αποτελέσματα. Εάν το ξέσπασμα θυμού του NPC οδηγήσει σε επιτυχή επίλυση μιας σύγκρουσης, μπορεί να μάθει να συνδέει το θυμό με θετικά αποτελέσματα και να αυξήσει την πιθανότητα να επιδείξει παρόμοια συμπεριφορά στο μέλλον. Αντίθετα, αν το ξέσπασμα οδηγήσει σε αρνητικό αποτέλεσμα, όπως η αποξένωση ενός συμμάχου, ο NPC μπορεί να μάθει να καταπιέζει το θυμό του ή να επιλέγει μια διαφορετική συναισθηματική αντίδραση σε παρόμοιες καταστάσεις (Vinyls et al., 2019).

Η ενισχυτική μάθηση επιτρέπει στους NPCs να αναπτύσσουν πιο εξατομικευμένες και ευαίσθητες στο πλαίσιο συναισθηματικές αντιδράσεις, καθώς μαθαίνουν να προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους με βάση τη συγκεκριμένη δυναμική του περιβάλλοντος του παιχνιδιού και τις ενέργειες των παικτών. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε πιο καθηλωτικές και ελκυστικές εμπειρίες παιχνιδιού, καθώς οι παίκτες αλληλεπιδρούν με NPCs που παρουσιάζουν ένα ευρύτερο φάσμα συναισθηματικών συμπεριφορών και προσαρμόζονται στις ενέργειές τους με την πάροδο του χρόνου (Yannakakis & Togelius, 2018).

2. Νευρωνικά δίκτυα και αναγνώριση συναισθημάτων

Τα νευρωνικά δίκτυα, ιδίως τα μοντέλα βαθιάς μάθησης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ενισχύσουν τη συναισθηματική ανταπόκριση των NPCs, επιτρέποντάς τους να αναγνωρίζουν και να ερμηνεύουν σύνθετες συναισθηματικές ενδείξεις από τους παίκτες και το περιβάλλον. Αυτά τα συνθήματα μπορεί να περιλαμβάνουν εκφράσεις προσώπου, τόνους φωνής, γλώσσα του σώματος ή παράγοντες του περιβάλλοντος, όπως το αποτέλεσμα μιας συνομιλίας ή η παρουσία ορισμένων περιβαλλοντικών εναύσματος (LeCun et al., 2015).

Για παράδειγμα, σε ένα παιχνίδι όπου οι NPCs αλληλεπιδρούν με τους παίκτες μέσω διαλόγου, ένα νευρωνικό δίκτυο μπορεί να εκπαιδευτεί ώστε να αναλύει τη φωνή των παικτών για συναισθηματικές ενδείξεις, όπως άγχος ή ενθουσιασμό, και να προσαρμόζει τη συναισθηματική αντίδραση του NPC ανάλογα. Αν η παίκτρια μιλάει με ήρεμο και καθησυχαστικό τόνο, ο NPC μπορεί να ανταποκριθεί με εμπιστοσύνη και διαφάνεια, ενώ ένας σκληρός ή επιθετικός τόνος μπορεί να προκαλέσει αμυντική ή φοβική αντίδραση. Αυτή η δυνατότητα επιτρέπει πιο διαφοροποιημένες και κατάλληλες για το πλαίσιο συναισθηματικές αλληλεπιδράσεις, ενισχύοντας το βάθος και τον ρεαλισμό της συμπεριφοράς των NPCs (Goodfellow et al., 2016).

Τα νευρωνικά δίκτυα μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη μοντελοποίηση της συναισθηματικής δυναμικής των ομάδων ή κοινοτήτων NPCs, όπου τα συναισθήματα των μεμονωμένων NPCs επηρεάζουν τη συνολική διάθεση ή ατμόσφαιρα της ομάδας. Για

παράδειγμα, σε ένα παιχνίδι που διαδραματίζεται σε ένα χωριό, η συλλογική διάθεση των κατοίκων του χωριού μπορεί να επηρεάζεται από γεγονότα όπως οι επιτυχίες σοδειές, οι επιθέσεις από εχθρούς ή οι ενέργειες των παικτών. Αναλύοντας τις αλληλεπιδράσεις και τις συναισθηματικές καταστάσεις των μεμονωμένων NPCs, ένα νευρωνικό δίκτυο θα μπορούσε να προβλέψει και να προσομοιώσει τη συνολική συναισθηματική κατάσταση του χωριού, οδηγώντας σε πιο σύνθετες και αναδυόμενες δυναμικές του παιχνιδιού (LeCun et al., 2015).

3. Εξελικτικοί αλγόριθμοι για συμπεριφορά με γνώμονα το συναίσθημα

Οι εξελικτικοί αλγόριθμοι, οι οποίοι προσομοιώνουν τη διαδικασία της φυσικής επιλογής, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξέλιξη και τη βελτιστοποίηση της συναισθηματικής συμπεριφοράς των NPCs με την πάροδο του χρόνου. Αυτοί οι αλγόριθμοι περιλαμβάνουν τη δημιουργία ενός πληθυσμού συμπεριφορών, την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς τους βάσει προκαθορισμένων κριτηρίων (όπως ο συναισθηματικός αντίκτυπος ή η εμπλοκή των παικτών) και την επιλογή των συμπεριφορών με τις καλύτερες επιδόσεις για αναπαραγωγή και μετάλλαξη (Goldberg, 1989).

Στο πλαίσιο της συναισθηματικής ανταπόκρισης, οι εξελικτικοί αλγόριθμοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξέλιξη των συναισθηματικών αντιδράσεων των NPCs σε συγκεκριμένες καταστάσεις, οδηγώντας στην εμφάνιση σύνθετων και προσαρμοστικών συμπεριφορών. Για παράδειγμα, οι NPCs σε ένα παιχνίδι στρατηγικής μπορεί να αναπτύξουν διαφορετικές συναισθηματικές στρατηγικές για την αντιμετώπιση συγκρούσεων, όπως η επιθετικότητα, η διπλωματία ή ο κατευνασμός. Με την πάροδο διαδοχικών γενεών, αυτές οι στρατηγικές θα μπορούσαν να γίνουν πιο εκλεπτυσμένες και κατάλληλες για το πλαίσιο, οδηγώντας σε πιο ποικίλες και ελκυστικές αλληλεπιδράσεις των NPCs (Mitchell, 1998).

Οι εξελικτικοί αλγόριθμοι επιτρέπουν επίσης τη διερεύνηση ενός ευρέος φάσματος πιθανών συναισθηματικών συμπεριφορών, οδηγώντας στην ανακάλυψη νέων ή απροσδόκων στρατηγικών. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε NPCs που παρουσιάζουν πιο ποικίλες και απρόβλεπτες συναισθηματικές αντιδράσεις, ενισχύοντας τη συνολική πολυπλοκότητα και το βάθος του κόσμου του παιχνιδιού (Goldberg, 1989).

4. Προκλήσεις και προβληματισμοί

Ενώ οι τεχνικές μηχανικής μάθησης προσφέρουν σημαντικές δυνατότητες για την ενίσχυση της συναισθηματικής ανταπόκρισης των NPCs, παρουσιάζουν επίσης ορισμένες προκλήσεις. Μία από τις κύριες προκλήσεις είναι η ανάγκη για μεγάλες ποσότητες δεδομένων εκπαίδευσης. Τα μοντέλα μηχανικής μάθησης, ιδίως τα δίκτυα βαθιάς μάθησης, απαιτούν εκτεταμένα δεδομένα για να μάθουν αποτελεσματικά και η παραγωγή ή η συλλογή αυτών των δεδομένων μπορεί να είναι εντατική σε πόρους. Αυτό αποτελεί ιδιαίτερη πρόκληση σε παιχνίδια με σύνθετα και δυναμικά περιβάλλοντα, όπου τα δεδομένα πρέπει να αντιπροσωπεύουν με ακρίβεια ένα ευρύ φάσμα πιθανών σεναρίων και αλληλεπιδράσεων (Goodfellow et al., 2016).

Μια σημαντική πρόκληση είναι να κατανοήσουμε τον τρόπο λειτουργίας των μηχανικών μοντέλων μάθησης. Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, σε αντίθεση με την παραδοσιακή τεχνητή νοημοσύνη, που βασίζεται σε σαφείς κανόνες και διαφανείς διαδικασίες λήψης αποφάσεων, τα μοντέλα μηχανικής μάθησης συχνά λειτουργούν ως "μαύρα κουτιά". Αυτό σημαίνει ότι είναι δύσκολο να κατανοήσουμε τον τρόπο με τον οποίο το μοντέλο λαμβάνει συγκεκριμένες αποφάσεις. Η έλλειψη διαφάνειας μπορεί να είναι προβληματική σε παιχνίδια, όπου απαιτείται προβλέψιμη και εξηγήσιμη συμπεριφορά για τη διατήρηση της ισορροπίας και της αμεροληψίας (LeCun et al., 2015).

Επιπλέον, το υπολογιστικό κόστος της εκπαίδευσης και της εκτέλεσης μοντέλων μηχανικής μάθησης μπορεί να είναι υψηλό, ιδίως σε παιχνίδια πραγματικού χρόνου όπου η γρήγορη λήψη αποφάσεων είναι ζωτικής σημασίας. Αυτό μπορεί να περιορίσει τη δυνατότητα εφαρμογής αυτών των τεχνικών σε ορισμένα είδη παιχνιδιών ή πλατφόρμες, όπου οι πόροι είναι πιο περιορισμένοι (Mnih et al., 2015).

Παρά τις προκλήσεις αυτές, η δυνατότητα της μηχανικής μάθησης να φέρει επανάσταση στη συναισθηματική ανταπόκριση των NPCs είναι αδιαμφισβήτητη. Καθώς η υπολογιστική ισχύς συνεχίζει να αυξάνεται και αναπτύσσονται νέες τεχνικές για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας και της ερμηνευσιμότητας των μοντέλων μηχανικής μάθησης, η εφαρμογή τους στην τεχνητή νοημοσύνη των παιχνιδιών είναι πιθανό να επεκταθεί, προσφέροντας νέες δυνατότητες για τη δημιουργία πιο ρεαλιστικών, προσαρμοστικών και συναισθηματικά ελκυστικών συμπεριφορών στους NPCs (Vinyals et al., 2019).

2.4.3 Επίδραση της συναισθηματικής ανταπόκρισης στην εμπειρία του παίκτη

Η ενσωμάτωση της συναισθηματικής ανταπόκρισης στους NPCs έχει βαθιές επιπτώσεις στη συνολική εμπειρία των παικτών. Επιτρέποντας στους NPCs να επιδεικνύουν και να αντιδρούν σε συναισθήματα με τρόπους που είναι κατάλληλοι και δυναμικοί από την άποψη του πλαισίου, οι προγραμματιστές μπορούν να δημιουργήσουν κόσμους παιχνιδιών που να μοιάζουν πιο ζωντανοί, καθηλωτικοί και ελκυστικοί. Αυτή η ενότητα διερευνά τον αντίκτυπο των NPCs που ανταποκρίνονται συναισθηματικά στην εμπειρία των παικτών, εστιάζοντας σε τρεις βασικούς τομείς: ενίσχυση της εμπύθισης, επηρεασμός της εμπλοκής και της λήψης αποφάσεων των παικτών και αντιμετώπιση των προκλήσεων και των προβληματισμών που προκύπτουν από την εφαρμογή αυτών των συστημάτων.

2.4.3.1 Ενίσχυση της εμπύθισης μέσω συναισθηματικά ευαίσθητων NPCs

Η εμπύθιση είναι μια κρίσιμη πτυχή της εμπειρίας του παιχνιδιού, που αναφέρεται στην αίσθηση της παίκτριας ότι "απορροφάται" ή "χάνεται" στον κόσμο του παιχνιδιού. Οι NPCs που ανταποκρίνονται συναισθηματικά διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην ενίσχυση της εμπύθισης, κάνοντας τον κόσμο του παιχνιδιού να μοιάζει πιο δυναμικός, ρεαλιστικός και συναισθηματικά απηχώντας. Όταν οι NPCs αντιδρούν στις ενέργειες των παικτών, στο περιβάλλον και μεταξύ τους με τρόπους που είναι συναισθηματικά συνεπείς και αληθοφανείς, οι παίκτες είναι πιο πιθανό να αντιληφθούν τον κόσμο του παιχνιδιού ως έναν συνεκτικό και ζωντανό χώρο, εμβαθύνοντας την αίσθηση της εμπύθισης.

1. Δημιουργώντας έναν ζωντανό κόσμο

Οι NPCs που ανταποκρίνονται συναισθηματικά συμβάλλουν στη δημιουργία ενός "ζωντανού κόσμου", όπου οι χαρακτήρες του παιχνιδιού δεν είναι απλώς αυτοματοποιημένα σενάρια, αλλά όντα με τα δικά τους συναισθήματα, κίνητρα και προσωπικότητες. Αυτή η αίσθηση ζωής είναι ζωτικής σημασίας για τα παιχνίδια που στοχεύουν στη δημιουργία πλούσιων αφηγηματικών εμπειριών ή σύνθετων κοινωνικών αλληλεπιδράσεων. Για παράδειγμα, στο *The Witcher 3: Wild Hunt*, οι NPCs παρουσιάζουν ένα ευρύ φάσμα συναισθηματικών αντιδράσεων ανάλογα με τις ενέργειες των παικτών, την ώρα της ημέρας και την εξέλιξη της αφήγησης. Αυτή η ανταπόκριση κάνει τον κόσμο του παιχνιδιού να μοιάζει πιο αυθεντικός και ζωντανός, καθώς οι NPCs αντιδρούν στα γεγονότα με τρόπους που αντικατοπτρίζουν τα πραγματικά ανθρώπινα συναισθήματα (CD Projekt Red, 2015).

Σε παιχνίδια όπως το *Red Dead Redemption 2* (2018), οι συναισθηματικές αντιδράσεις των NPCs συμβάλλουν στη βαθιά αίσθηση εμπύθισης του παιχνιδιού. Οι NPCs στον κόσμο του παιχνιδιού αντιδρούν στη συμπεριφορά, την κοινωνική θέση και τις περιβαλλοντικές συνθήκες των παικτών με τρόπους που είναι τόσο διακριτικοί όσο και βαθυστόχαστοι. Για παράδειγμα, οι παίκτες που συμπεριφέρονται σταθερά με απειλητικό ή επιθετικό τρόπο μπορεί να διαπιστώσουν ότι οι NPCs αντιδρούν με φόβο ή εχθρότητα, αλλάζοντας τις αλληλεπιδράσεις τους και τη συνολική ατμόσφαιρα του κόσμου του παιχνιδιού. Αυτή η δυναμική συναισθηματική ανταπόκριση ενισχύει την αίσθηση δράσης και εμπύθισης των παικτών, καθώς οι ενέργειές τους έχουν απτές, συναισθηματικές συνέπειες στον κόσμο του παιχνιδιού (Rockstar Games, 2018).

2. Συναισθηματική απήχηση και αφηγηματική δέσμευση

Οι NPCs που ανταποκρίνονται συναισθηματικά διαδραματίζουν επίσης βασικό ρόλο στη δημιουργία συναισθηματικής απήχησης στην αφήγηση του παιχνιδιού. Όταν οι NPCs επιδεικνύουν συναισθήματα που συνάδουν με την ιστορία και τις ενέργειες των παικτών, ενισχύεται η συναισθηματική επένδυση των παικτών στην αφήγηση. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό στα παιχνίδια με βάση την ιστορία, όπου ο συναισθηματικός αντίκτυπος της αφήγησης μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τη συνολική εμπειρία των παικτών.

Για παράδειγμα, στο *Mass Effect* (2007), οι αλληλεπιδράσεις των παικτών με τους NPCs που είναι μέλη της ομάδας τους είναι συναισθηματικά φορτισμένες, με τις αντιδράσεις και τις αποφάσεις του κάθε χαρακτήρα να επηρεάζονται από την προσωπική τους ιστορία, τις σχέσεις τους και τα γεγονότα της ιστορίας που εξελίσσονται. Αυτές οι συναισθηματικά ανταποκρινόμενες αλληλεπιδράσεις δημιουργούν μια βαθιά αίσθηση σύνδεσης μεταξύ των παικτών και των NPCs, καθιστώντας τα συναισθηματικά σκαμπανεβάσματα της αφήγησης πιο εντυπωσιακά και αξιολογημένα (BioWare, 2007).

Ομοίως, στο *The Last of Us Part II* (2020), η συναισθηματική ανταπόκριση των NPCs είναι αναπόσπαστο μέρος της αφήγησης και του θεματικού βάθους του παιχνιδιού. Οι NPCs αντιδρούν στις ενέργειες των παικτών με τρόπους που αντικατοπτρίζουν το σύνθετο ηθικό και συναισθηματικό τοπίο του παιχνιδιού, δημιουργώντας μια αίσθηση ενσυναίσθησης και συναισθηματικής εμπλοκής που αποτελεί πρόκληση και ανταμοιβή. Η ικανότητα των NPCs να εκφράζουν ένα ευρύ φάσμα συναισθημάτων, από το φόβο και το θυμό έως τη θλίψη και τη λύπη, ενισχύει την εμπάθουση των παικτών στην ιστορία και τον κόσμο του παιχνιδιού (Naughty Dog, 2020).

2.4.3.2 Συμμετοχή των παικτών και λήψη αποφάσεων

Οι NPCs που ανταποκρίνονται συναισθηματικά επηρεάζουν σημαντικά τη συμμετοχή και τη λήψη αποφάσεων των παικτών, προσθέτοντας επίπεδα πολυπλοκότητας και βάθους στο παιχνίδι. Όταν οι NPCs ανταποκρίνονται συναισθηματικά στις ενέργειες των παικτών, δημιουργείται ένα πιο διαδραστικό και ευέλικτο περιβάλλον παιχνιδιού, όπου οι επιλογές των παικτών έχουν μεγαλύτερη βαρύτητα και συνέπειες.

1. Επίδραση στη δέσμευση των παικτών

Οι NPCs που ανταποκρίνονται συναισθηματικά μπορούν να ενισχύσουν την εμπλοκή των παικτών κάνοντας τον κόσμο του παιχνιδιού να μοιάζει πιο διαδραστικός και ζωντανός. Όταν οι παίκτες βλέπουν ότι οι ενέργειές τους προκαλούν συναισθηματικές αντιδράσεις από τους NPCs, ενισχύεται η ιδέα ότι οι αποφάσεις τους έχουν σημασία και έχουν από αντίκτυπο στον κόσμο του παιχνιδιού. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη επένδυση στο παιχνίδι, καθώς οι παίκτες ενδιαφέρονται περισσότερο να εξερευνήσουν τις συνέπειες των πράξεών τους και να αλληλεπιδράσουν με τους NPCs με ουσιαστικό τρόπο.

Στο *Detroit: Become Human*, οι αποφάσεις των παικτών και οι αλληλεπιδράσεις με τους NPCs που ανταποκρίνονται συναισθηματικά καθοδηγούν την διακλαδιζόμενη αφήγηση του παιχνιδιού, με κάθε επιλογή να οδηγεί σε διαφορετικά αποτελέσματα και συναισθηματικές αντιδράσεις από τους χαρακτήρες. Αυτό το επίπεδο ανταπόκρισης κάνει τις αποφάσεις των παικτών να μοιάζουν πιο σημαντικές, ενθαρρύνοντάς τους να εξετάζουν πιο προσεκτικά τις συναισθηματικές και ηθικές επιπτώσεις των πράξεών τους. Το αποτέλεσμα είναι μια πιο ελκυστική και καθηλωτική εμπειρία παιχνιδιού, όπου οι επιλογές των παικτών διαμορφώνουν την αφήγηση με βαθύ τρόπο (Quantic Dream, 2018).

2. Επιρροή στη λήψη αποφάσεων

Οι NPCs που ανταποκρίνονται συναισθηματικά μπορούν επίσης να επηρεάσουν τη λήψη αποφάσεων των παικτών εισάγοντας συναισθηματικές και ηθικές εκτιμήσεις στο παιχνίδι. Όταν οι NPCs αντιδρούν στις ενέργειες των παικτών με συναισθήματα όπως φόβος, θυμός, ευγνωμοσύνη ή θλίψη, μπορεί να ωθήσουν τους παίκτες να σκεφτούν τις συνέπειες των επιλογών τους και να εξετάσουν εναλλακτικές προσεγγίσεις. Αυτό προσθέτει ένα επίπεδο βάθους στη διαδικασία λήψης αποφάσεων, καθώς οι παίκτες πρέπει να σταθμίσουν όχι μόνο τα στρατηγικά ή πρακτικά αποτελέσματα των ενεργειών τους αλλά και τις συναισθηματικές επιπτώσεις στους χαρακτήρες του παιχνιδιού.

Για παράδειγμα, στο *The Walking Dead*, οι παίκτες έρχονται συχνά αντιμέτωποι με δύσκολες επιλογές που επηρεάζουν τη συναισθηματική κατάσταση των NPCs γύρω τους. Αυτές οι αποφάσεις μπορεί να οδηγήσουν σε συναισθήματα ενοχής, ανακούφισης ή ενσυναίσθησης, επηρεάζοντας τις μελλοντικές ενέργειες των παικτών και διαμορφώνοντας την εμπειρία τους από την αφήγηση του παιχνιδιού. Η συναισθηματική ανταπόκριση των NPCs στο *The Walking Dead* δημιουργεί μια πιο σύνθετη και ηθικά απαιτητική εμπειρία παιχνιδιού, όπου οι αποφάσεις των παικτών δεν αφορούν μόνο την επιβίωση αλλά και τη συναισθηματική ευημερία των χαρακτήρων με τους οποίους αλληλεπιδρούν (Telltale Games, 2012).

3. Ενθάρρυνση της εξερεύνησης και της αλληλεπίδρασης

Οι NPCs που ανταποκρίνονται συναισθηματικά μπορούν επίσης να ενθαρρύνουν τους παίκτες να εξερευνήσουν τον κόσμο του παιχνιδιού και να αλληλεπιδράσουν βαθύτερα με τους χαρακτήρες του. Όταν οι NPCs επιδεικνύουν μια σειρά συναισθημάτων ως απάντηση στις ενέργειες των παικτών, μπορεί να παρακινήσει τους παίκτες να πειραματιστούν με διαφορετικές συμπεριφορές και επιλογές διαλόγου για να δουν πώς θα αντιδράσουν οι NPCs. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ένα πιο εξερευνητικό και διαδραστικό στυλ παιχνιδιού, όπου οι παίκτες αναζητούν

ευκαιρίες να εμπλακούν με τους NPCs και να ανακαλύψουν νέες πτυχές του κόσμου του παιχνιδιού.

Στο The Elder Scrolls V: Skyrim, οι συναισθηματικές αντιδράσεις των NPCs στις ενέργειες των παικτών ενθαρρύνουν τους παίκτες να αλληλεπιδράσουν με ένα ευρύ φάσμα χαρακτήρων, από φιλικούς κατοίκους της πόλης μέχρι εχθρικούς ληστές. Το παιχνίδι ανταμείβει τους παίκτες για την αλληλεπίδραση με τους NPCs με διάφορους τρόπους, είτε κερδίζοντας την εμπιστοσύνη τους, είτε προκαλώντας τον θυμό τους, είτε επηρεάζοντας τις αποφάσεις τους. Αυτή η συναισθηματική ανταπόκριση προσθέτει βάθος στην εξερεύνηση του ανοιχτού κόσμου του παιχνιδιού, καθώς οι παίκτες έχουν κίνητρο να αναζητήσουν και να αλληλεπιδράσουν με το ποικίλο καστ χαρακτήρων που κατοικούν στον κόσμο του παιχνιδιού (Bethesda Game Studios, 2011).

2.4.3.3 Προκλήσεις και προβληματισμοί

Ενώ η ενσωμάτωση των NPCs που ανταποκρίνονται συναισθηματικά προσφέρει σημαντικά οφέλη όσον αφορά την εμπύθιση, την εμπλοκή και τη λήψη αποφάσεων, παρουσιάζει επίσης αρκετές προκλήσεις και προβληματισμούς που οι προγραμματιστές πρέπει να αντιμετωπίσουν για να εξασφαλίσουν μια επιτυχημένη εφαρμογή.

1. Εξισορρόπηση του συναισθηματικού ρεαλισμού με το gameplay

Μια από τις κύριες προκλήσεις στην υλοποίηση NPCs που ανταποκρίνονται συναισθηματικά είναι η εξισορρόπηση του συναισθηματικού ρεαλισμού με τις απαιτήσεις του παιχνιδιού. Ενώ είναι σημαντικό για τους NPCs να επιδεικνύουν ρεαλιστικά και κατάλληλα για το πλαίσιο συναισθήματα, αυτά τα συναισθήματα πρέπει επίσης να ευθυγραμμίζονται με τον γενικό σχεδιασμό και τους στόχους του παιχνιδιού. Για παράδειγμα, εάν οι NPCs αντιδρούν πολύ έντονα ή απρόβλεπτα στις ενέργειες των παικτών, αυτό θα μπορούσε να διαταράξει τη ροή του παιχνιδιού ή να οδηγήσει σε απρόβλεπτες συνέπειες που απογοητεύουν τους παίκτες.

Οι προγραμματιστές πρέπει να σχεδιάζουν προσεκτικά τις συναισθηματικές αντιδράσεις, ώστε να διασφαλίζουν ότι ενισχύουν την εμπειρία του παιχνιδιού αντί να την υποβαθμίζουν. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τον καθορισμό ορίων στην ένταση ή το εύρος των συναισθημάτων που μπορούν να επιδείξουν οι NPCs ή τη δημιουργία εφεδρικών συμπεριφορών στις οποίες οι NPCs μπορούν να μεταβούν αν οι συναισθηματικές τους αντιδράσεις γίνουν πολύ ενοχλητικές ή εκτός χαρακτήρα. Η εξισορρόπηση του συναισθηματικού ρεαλισμού με το παιχνίδι είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση μιας συνεκτικής και ευχάριστης εμπειρίας των παικτών (Ortony, Clore, & Collins, 1988).

2. Αποφυγή συναισθηματικής κόπωσης

Μια άλλη παρατήρηση είναι ο κίνδυνος συναισθηματικής κόπωσης, όπου οι παίκτες συγκλονίζονται ή απευαισθητοποιούνται στις συναισθηματικές αντιδράσεις των NPCs. Αν οι NPCs αντιδρούν συνεχώς συναισθηματικά σε κάθε ενέργεια των παικτών, μπορεί να δημιουργηθεί μια αίσθηση συναισθηματικής υπερφόρτωσης, που οδηγεί σε μείωση του αντίκτυπου αυτών των αντιδράσεων με την πάροδο του χρόνου. Για να αποφευχθεί αυτό, οι προγραμματιστές μπορούν να σχεδιάσουν τους NPCs να παρουσιάζουν συναισθηματικές αντιδράσεις επιλεκτικά, με βάση τη σημασία του γεγονότος ή τη σχέση των παικτών με τον χαρακτήρα.

Για παράδειγμα, οι NPCs μπορεί να επιφυλάξουν τις πιο έντονες συναισθηματικές αντιδράσεις τους για σημαντικές αφηγηματικές στιγμές ή για αλληλεπιδράσεις με χαρακτήρες με τους οποίους έχουν ισχυρό δεσμό. Διαχειριζόμενοι τη συχνότητα και την ένταση των συναισθηματικών αντιδράσεων, οι προγραμματιστές μπορούν να διασφαλίσουν ότι αυτές οι στιγμές παραμένουν εντυπωσιακές και ουσιαστικές για τους παίκτες (Scherer, 2001).

3. Διασφάλιση της συνέπειας στις συναισθηματικές αντιδράσεις

Η συνέπεια στις συναισθηματικές αντιδράσεις είναι επίσης ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση της αναστολής της δυσπιστίας των παικτών και της εμπύθισης στον κόσμο του παιχνιδιού. Οι NPCs πρέπει να αντιδρούν σε παρόμοιες καταστάσεις με παρόμοιους τρόπους και οι συναισθηματικές τους αντιδράσεις πρέπει να συνάδουν με την καθιερωμένη προσωπικότητά τους, τα κίνητρά τους και το πλαίσιο της κατάστασης. Οι ασυνεπείς ή παράλογες συναισθηματικές αντιδράσεις μπορούν να διασπάσουν την εμπύθιση των παικτών και να υπονομεύσουν την αξιοπιστία του κόσμου του παιχνιδιού.

Για να επιτευχθεί συνέπεια, οι προγραμματιστές μπορούν να χρησιμοποιούν μοντέλα συναισθημάτων που λαμβάνουν υπόψη την προσωπικότητα του NPC, τις προηγούμενες εμπειρίες και το συγκεκριμένο πλαίσιο της αλληλεπίδρασης. Αυτό επιτρέπει στους NPCs να επιδεικνύουν συναισθήματα που δεν είναι μόνο κατάλληλα για το πλαίσιο, αλλά και ευθυγραμμισμένα με την ανάπτυξη του χαρακτήρα τους και τη συνολική αφήγηση του παιχνιδιού (Ortony, Clore, & Collins, 1988).

4. Αντιμετώπιση των προσδοκιών των παικτών

Τέλος, οι προγραμματιστές πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους τις προσδοκίες των παικτών όταν σχεδιάζουν NPCs που ανταποκρίνονται συναισθηματικά. Οι παίκτες μπορεί να έχουν συγκεκριμένες προσδοκίες σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο οι NPCs θα πρέπει να αντιδρούν στις ενέργειές τους, με βάση την κατανόηση του κόσμου του παιχνιδιού, την αφήγηση και τους καθιερωμένους κανόνες αλληλεπίδρασης. Εάν οι NPCs συμπεριφέρονται με τρόπους που θεωρούνται άδικοι, απρόβλεπτοι ή ασυνεπείς με αυτές τις προσδοκίες, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε απογοήτευση και αποδέσμευση.

Για να το αντιμετωπίσουν αυτό, οι προγραμματιστές μπορούν να παρέχουν σαφή ανατροφοδότηση και ενδείξεις για να βοηθήσουν τους παίκτες να κατανοήσουν τη συναισθηματική λογική του κόσμου του παιχνιδιού. Για παράδειγμα, οι NPCs θα μπορούσαν να εξηγούν τις συναισθηματικές τους αντιδράσεις μέσω διαλόγου ή το παιχνίδι θα μπορούσε να παρέχει οπτικές ή ακουστικές ενδείξεις που υποδεικνύουν τη συναισθηματική κατάσταση του NPC. Ευθυγραμμίζοντας τη συμπεριφορά των NPCs με τις προσδοκίες των παικτών και παρέχοντας σαφή επικοινωνία, οι προγραμματιστές μπορούν να δημιουργήσουν μια πιο ικανοποιητική και καθηλωτική εμπειρία παιχνιδιού (Scherer, 2001).

Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογία

3.1 Σχεδιασμός της έρευνας

3.1.1 Επισκόπηση της ερευνητικής προσέγγισης

Η ερευνητική προσέγγιση που υιοθετήθηκε για την παρούσα μελέτη ενσωματώνει ένα πλαίσιο μεικτών μεθόδων, συνδυάζοντας τόσο ποιοτικές όσο και ποσοτικές τεχνικές συλλογής και ανάλυσης δεδομένων. Η μεθοδολογία αυτή επιλέχθηκε λόγω της πολυπλοκότητας του ερευνητικού προβλήματος, το οποίο αφορά την κατανόηση της συμπεριφοράς των NPCs σε ένα δυναμικό περιβάλλον παιχνιδιού που αναπτύχθηκε με τη χρήση της Unreal Engine. Χρησιμοποιώντας τόσο ποιοτικές όσο και ποσοτικές προσεγγίσεις, η παρούσα μελέτη καταγράφει μια ολοκληρωμένη άποψη της συμπεριφοράς και της απόδοσης των NPCs.

Η **ποιοτική έρευνα** αποτελεί βασικό στοιχείο της μελέτης, εστιάζοντας στη διερεύνηση των λεπτομερειών της συμπεριφοράς και των αλληλεπιδράσεων των NPCs στον κόσμο του παιχνιδιού. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν μέσω άμεσων παρατηρήσεων, παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο και εκτεταμένης χρήσης των εργαλείων αποσφαλμάτωσης της Unreal Engine για την παρακολούθηση και αξιολόγηση των δέντρων συμπεριφοράς των NPCs. Αυτές οι συνεδρίες αποσφαλμάτωσης και τα εργαλεία παρακολούθησης της συμπεριφοράς ήταν απαραίτητα για την εξέταση των διαδικασιών λήψης αποφάσεων, των συναισθηματικών αντιδράσεων και των επιδόσεων των NPCs. Η ποιοτική έρευνα επέτρεψε τη λεπτομερή διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο οι NPCs αντιδρούσαν σε διάφορα σενάρια, του τρόπου με τον οποίο οι συμπεριφορές τους διαμόρφωναν την εμπειρία παιχνιδιού και του τρόπου με τον οποίο προσαρμόζονταν σε διάφορα ερεθίσματα εντός του παιχνιδιού.

Η **προσέγγιση της παρατήρησης** ήταν κεντρική στη διαδικασία συλλογής ποιοτικών δεδομένων. Με την εμπύθιση στο περιβάλλον του παιχνιδιού και παρακολουθώντας συνεχώς τη συμπεριφορά των NPCs, εντοπίστηκαν αναδυόμενα μοτίβα και απροσδόκητα αποτελέσματα στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων. Αυτή η μέθοδος επέτρεψε τη στενή εξέταση του τρόπου με τον οποίο οι NPCs ανταποκρίνονταν σε πραγματικό χρόνο, αποκαλύπτοντας πληροφορίες σχετικά με τη λογική λήψης αποφάσεων, τις αδυναμίες συμπεριφοράς τους και τον συνολικό ρεαλισμό των αλληλεπιδράσεών τους εντός του κόσμου του παιχνιδιού. Αυτή η σε βάθος παρατήρηση επέτρεψε τη συνεχή βελτίωση των δέντρων συμπεριφοράς των NPCs, διασφαλίζοντας ότι αποδίδουν όπως προβλέπεται.

Εκτός από τις ποιοτικές μεθόδους, χρησιμοποιήθηκε **ποσοτική ανάλυση** για τη μέτρηση και την αξιολόγηση των επιδόσεων των NPCs. Βασικές μετρήσεις όπως οι χρόνοι απόκρισης, τα ποσοστά επιτυχίας των εργασιών και τα περιθώρια σφάλματος καταγράφηκαν με τη χρήση αυτοματοποιημένων συστημάτων καταγραφής εντός της Unreal Engine. Αυτά τα αρχεία καταγραφής παρείχαν αντικειμενικά δεδομένα σχετικά με την καλή απόδοση των NPCs σε διάφορα σενάρια και καθήκοντα, προσφέροντας πληροφορίες σχετικά με την αξιοπιστία και την αποτελεσματικότητά τους. Αυτά τα ποσοτικά δεδομένα ήταν ζωτικής σημασίας για την αξιολόγηση του κατά πόσον η συμπεριφορά των NPCs ανταποκρινόταν στις προδιαγραφές σχεδιασμού και για τον εντοπισμό περιοχών στις οποίες θα μπορούσαν να γίνουν βελτιώσεις.

Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν **τεστ συμπεριφοράς** για την αξιολόγηση της ικανότητας των NPCs να χειρίζονται σύνθετες και διαφορετικές καταστάσεις. Οι δοκιμές αυτές περιλάμβαναν την υποβολή των NPCs σε διάφορα σενάρια εντός του παιχνιδιού που είχαν σχεδιαστεί για να προκαλέσουν την προσαρμοστικότητα και τις ικανότητες λήψης αποφάσεων. Μετρώνοντας τους χρόνους ολοκλήρωσης εργασιών, την ακρίβεια λήψης αποφάσεων και τα συνολικά ποσοστά επιτυχίας, κατέστη δυνατή η αντικειμενική αξιολόγηση της ευρωστίας και της ευελιξίας των συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης των NPCs.

Συνολικά, η μεικτή μεθοδολογική προσέγγιση παρείχε μια ολοκληρωμένη κατανόηση της συμπεριφοράς και των επιδόσεων των NPCs. Ενσωματώνοντας ποιοτικές παρατηρήσεις με ποσοτική ανάλυση επιδόσεων, η μελέτη αυτή προσέφερε μια ολοκληρωμένη προοπτική τόσο για τις τεχνικές πτυχές της τεχνητής νοημοσύνης των NPCs όσο και για τον αντίκτυπό της στη συνολική εμπειρία παιχνιδιού.

3.1.2 Αιτιολόγηση της επιλεγμένης μεθοδολογίας

Η απόφαση να χρησιμοποιηθεί μια προσέγγιση μεικτών μεθόδων βασίστηκε στην ανάγκη να αντιμετωπιστεί η πολύπλοκη φύση της συμπεριφοράς των NPCs σε περιβάλλοντα παιχνιδιών. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει τόσο τη λεπτομερή διερεύνηση της συμπεριφοράς των NPCs μέσω ποιοτικών μεθόδων όσο και την αντικειμενική επικύρωση της απόδοσής τους μέσω ποσοτικής ανάλυσης.

Η **ποιοτική συνιστώσα** της έρευνας ήταν ιδιαίτερα σημαντική για τον εντοπισμό των αποχρώσεων των αλληλεπιδράσεων και των διαδικασιών λήψης αποφάσεων των NPCs. Παρατηρώντας άμεσα τη συμπεριφορά των NPCs μέσω των εργαλείων εντοπισμού σφαλμάτων της Unreal Engine, εντοπίστηκαν βασικά μοτίβα, περιοχές όπου οι NPCs είχαν απροσδόκητες επιδόσεις και συγκεκριμένες πτυχές της συμπεριφοράς τους που απαιτούσαν περαιτέρω βελτίωση. Αυτή η στενή παρατήρηση ήταν απαραίτητη για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι NPCs προσαρμόζονταν σε διαφορετικά ερεθίσματα εντός του παιχνιδιού και του τρόπου με τον οποίο οι συμπεριφορές τους συνέβαλαν στη συνολική εμπειρία παιχνιδιού.

Αντίθετα, η **ποσοτική ανάλυση** παρείχε ένα μέσο επικύρωσης των γνώσεων που προέκυψαν από τις ποιοτικές παρατηρήσεις. Μετρώντας μετρήσιμες επιδόσεις, όπως οι χρόνοι απόκρισης, τα ποσοστά ολοκλήρωσης εργασιών και τα περιθώρια σφάλματος, αξιολογήθηκαν κατά πόσο η συμπεριφορά των NPCs ευθυγραμμίστηκε με τους αρχικούς στόχους του σχεδιασμού. Τα αυτοματοποιημένα συστήματα καταγραφής και παρακολούθησης επιδόσεων στην Unreal Engine επέτρεψαν μια αυστηρή, βασισμένη σε δεδομένα αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της τεχνητής νοημοσύνης, διασφαλίζοντας ότι οι NPCs εκτελούσαν αξιόπιστα υπό ένα ευρύ φάσμα συνθηκών.

Η **προσέγγιση των μικτών μεθόδων** αναγνωρίζεται ευρέως ως μια αποτελεσματική στρατηγική στην έρευνα για το σχεδιασμό παιχνιδιών και την ανάπτυξη της τεχνητής νοημοσύνης. Ο συνδυασμός ποιοτικών και ποσοτικών ερευνητικών μεθόδων επιτρέπει τη βαθύτερη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης αποδίδουν, τόσο τεχνικά όσο και βιωματικά. Όπως τονίζεται από τον Fullerton (2014), η ενσωμάτωση αυτών των μεθόδων είναι απαραίτητη για την καταγραφή τόσο της πολυπλοκότητας των συμπεριφορών της τεχνητής νοημοσύνης όσο και της υποκειμενικής εμπειρίας του χρήστη.

Επιπλέον, η προσέγγιση αυτή επιτρέπει την **τριγωνοποίηση των δεδομένων**, ενισχύοντας την αξιοπιστία των ευρημάτων. Η διασταύρωση των ποιοτικών γνώσεων με ποσοτικές μετρήσεις επιδόσεων ενισχύει τα συνολικά συμπεράσματα, διασφαλίζοντας ότι τα αποτελέσματα είναι αξιόπιστα και αντικατοπτρίζουν την πραγματική λειτουργία του παιχνιδιού. Με τη χρήση και των δύο μεθόδων, η μελέτη καταγράφει μια ολοκληρωμένη άποψη της συμπεριφοράς των NPCs, παρέχοντας μια ισορροπημένη αξιολόγηση των τεχνικών επιδόσεών τους και της συμβολής τους στην εμπειρία παιχνιδιού.

Επιπλέον, ο **επαναληπτικός χαρακτήρας της ανάπτυξης παιχνιδιών** υποστηρίζει τη χρήση μιας μεικτής μεθόδου προσέγγισης. Καθώς η συμπεριφορά των NPCs δοκιμάζεται και βελτιώνεται συνεχώς, οι γνώσεις από την ποιοτική παρατήρηση ενημερώνουν την ποσοτική ανάλυση και το αντίστροφο. Αυτός ο επαναληπτικός κύκλος διασφαλίζει ότι η τεχνητή νοημοσύνη των NPCs βελτιώνεται συνεχώς, με αποτέλεσμα ένα πιο αποτελεσματικό και ελκυστικό παιχνίδι. Ο συνεχής κύκλος ανατροφοδότησης μεταξύ ποιοτικών και ποσοτικών μεθόδων επέτρεψε τη συνεχή αξιολόγηση και βελτίωση των δέντρων συμπεριφοράς των NPCs, οδηγώντας σε πιο ισχυρά και δυναμικά συστήματα AI.

Το **πραγματοστικό παράδειγμα** που διέπει την παρούσα μελέτη υποστηρίζει επίσης την ενσωμάτωση ποιοτικών και ποσοτικών μεθόδων. Ο στόχος αυτής της έρευνας δεν είναι μόνο η κατανόηση της συμπεριφοράς των NPCs, αλλά και η βελτίωση της λειτουργικότητας και του σχεδιασμού των συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης εντός του παιχνιδιού. Συνδυάζοντας και τις δύο μεθόδους, η μελέτη παράγει ευρήματα που είναι άμεσα εφαρμόσιμα στην ανάπτυξη πιο αποτελεσματικών και ελκυστικών NPCs.

Συμπερασματικά, ο ερευνητικός σχεδιασμός μεικτών μεθόδων είναι κατάλληλος για τους στόχους της παρούσας μελέτης. Συνδυάζοντας ποιοτικές και ποσοτικές μεθόδους, η προσέγγιση αυτή παρέχει μια ολοκληρωμένη κατανόηση της συμπεριφοράς των NPCs και διασφαλίζει ότι τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης είναι τόσο τεχνικά ικανά όσο και επιδραστικά μέσα στο παιχνίδι. Αυτή η μεθοδολογία επιτρέπει την ενδελεχή αξιολόγηση των επιδόσεων των NPCs,

επιτρέποντας τη συνεχή βελτίωση και τελειοποίηση των συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης για τη βελτίωση της συνολικής εμπειρίας παιχνιδιού.

3.2 Εργαλεία και τεχνολογίες

Η ανάπτυξη των NPCs σε αυτό το έργο βασίστηκε σε μεγάλο βαθμό στην Unreal Engine 5.4, μαζί με τη χρήση του Mixamo για animation. Η **Unreal Engine 5.4**, που αναπτύχθηκε από την Epic Games, χρησίμευσε ως η βασική πλατφόρμα για το σχεδιασμό συμπεριφορών AI και τη διαχείριση των οπτικών και διαδραστικών πτυχών του παιχνιδιού. Το σύστημα **Blueprint Visual Scripting** της ήταν καθοριστικό για τη δημιουργία πολύπλοκων δέντρων συμπεριφοράς AI χωρίς την ανάγκη χειροκίνητης κωδικοποίησης, ενώ τα εργαλεία εντοπισμού σφαλμάτων σε πραγματικό χρόνο διευκόλυναν την αποτελεσματική δοκιμή και επανάληψη (Epic Games, 2023).

Το **σύστημα Behavior Tree** της Unreal Engine 5.4 επέτρεψε δυναμικές διαδικασίες λήψης αποφάσεων για τους NPCs. Έδωσε τη δυνατότητα στους NPCs να αντιδρούν στις ενέργειες της παίκτριας και στα περιβαλλοντικά ερεθίσματα, δημιουργώντας αληθοφανείς και ανταποκρινόμενες συμπεριφορές. Για παράδειγμα, οι NPCs μπορούσαν προσαρμοστικά να φεύγουν, να αναζητούν κάλυψη ή να βοηθούν τους συμμάχους, κάνοντάς τους να αισθάνονται πιο φυσικά μέσα στο περιβάλλον του παιχνιδιού.

Για να συμπληρωθεί η Unreal Engine, χρησιμοποιήθηκε το **Mixamo** για να χειριστεί το rigging και το animation των NPCs. Το Mixamo, μια διαδικτυακή υπηρεσία που προσφέρει μια βιβλιοθήκη με προκατασκευασμένα animations, απλοποίησε τη διαδικασία της εμπύχωσης των NPCs. Με την εισαγωγή κινούμενων σχεδίων από το Mixamo στην Unreal Engine, το έργο επωφελήθηκε από μια πιο απλοποιημένη ροή εργασίας, μειώνοντας σημαντικά το χρόνο και την πολυπλοκότητα που συνήθως συνδέεται με το rigging και το animation των NPCs από το μηδέν. Το **σύστημα Animation Blueprint** της Unreal Engine βελτίωσε περαιτέρω αυτά τα κινούμενα σχέδια, συγχρονίζοντάς τα με τις προγραμματισμένες συμπεριφορές AI των NPCs. Αυτό εξασφάλιζε ότι ενέργειες όπως το περπάτημα, η επίθεση ή η εκτέλεση συγκεκριμένων εργασιών στο παιχνίδι ήταν οπτικά συνεπείς με τις αποφάσεις τους που καθοδηγούνταν από την τεχνητή νοημοσύνη (Mixamo, 2023).

Η χρήση του Mixamo επέτρεψε την ταχεία προσαρμογή και ενσωμάτωση των animations στα δέντρα συμπεριφοράς των NPCs. Κατά τη διάρκεια των φάσεων δοκιμής, τα κινούμενα σχέδια τροποποιήθηκαν εύκολα ώστε να αντικατοπτρίζουν τις αντιδράσεις των NPCs σε διαφορετικά ερεθίσματα, όπως η υποχώρηση από απειλές ή η προσφορά βοήθειας στη μάχη. Αυτή η ευελιξία συνέβαλε στη δημιουργία ενός πιο δυναμικού και ευέλικτου συνόλου NPCs που ενίσχυσε τη συνολική εμπειρία παιχνιδιού.

Συνδυάζοντας τις ισχυρές δυνατότητες της **Unreal Engine 5.4** με τα εργαλεία animation της **Mixamo**, το έργο ανέπτυξε με επιτυχία εξελιγμένες συμπεριφορές NPC, εξασφαλίζοντας την απρόσκοπτη ενσωμάτωση μεταξύ της λήψης αποφάσεων AI και του animation, διατηρώντας παράλληλα την αποτελεσματικότητα σε όλη τη διαδικασία ανάπτυξης.

3.3 Εφαρμογή των δέντρων προσαρμοστικής συμπεριφοράς

Η εφαρμογή των δέντρων προσαρμοστικής συμπεριφοράς είχε κεντρικό ρόλο στην ανάπτυξη έξυπνων και NPCs για αυτό το έργο. Αυτά τα δέντρα συμπεριφοράς έδωσαν τη δυνατότητα στους NPCs να λαμβάνουν σύνθετες αποφάσεις σε πραγματικό χρόνο, ανταποκρινόμενοι δυναμικά στις ενέργειες της παίκτριας και στις περιβαλλοντικές αλλαγές. Αυτό το κεφάλαιο περιγράφει λεπτομερώς το σχεδιασμό και τη δομή των προσαρμοστικών δέντρων συμπεριφοράς που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτό το έργο, εξηγώντας την προσέγγιση στο σχεδιασμό κόμβων, τη διαμόρφωση και τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων που βελτίωσαν τη συμπεριφορά των NPCs. Επιπλέον, διερευνά τον τρόπο με τον οποίο προηγμένες τεχνικές αποσφαλμάτωσης και βελτιστοποίησης εξασφάλισαν την αποτελεσματική λειτουργία αυτών των συστημάτων.

3.3.1 Σχεδιασμός και δομή

Τα δέντρα συμπεριφοράς είναι αναπόσπαστο μέρος της σύγχρονης διαδικασίας λήψης αποφάσεων των NPCs στην ανάπτυξη παιχνιδιών λόγω της αρθρωτής και ιεραρχικής τους φύσης. Αυτά τα χαρακτηριστικά επέτρεψαν τη δημιουργία ιδιαίτερα προσαρμοστικών και

ευέλικτων συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης. Σε αυτό το έργο, υλοποιήθηκαν διάφοροι NPCs, καθένας από τους οποίους είχε ένα συγκεκριμένο σύνολο συμπεριφορών προσαρμοσμένο στους ρόλους του, όπως η μάχη σώμα με σώμα, η μάχη από απόσταση ή η συναισθηματική αντίδραση στις ενέργειες του παίκτη. Παρακάτω παρουσιάζεται μια ανάλυση του σχεδιασμού και της δομής των δέντρων συμπεριφοράς που χρησιμοποιήθηκαν, εστιάζοντας στους κόμβους, τη διαμόρφωσή τους και την επίδρασή τους στο παιχνίδι.

Σχεδιασμός και διαμόρφωση κόμβων:

Στην Unreal Engine 5.4, τα δέντρα συμπεριφοράς για κάθε NPC κατασκευάστηκαν χρησιμοποιώντας διάφορους τύπους κόμβων - κόμβους σύνθετους, διακοσμητές, εργασίες και υπηρεσίες - οι οποίοι συμβάλλουν στο πλαίσιο λήψης αποφάσεων για τους NPCs.

- **Σύνθετοι κόμβοι:** Οι σύνθετοι κόμβοι, όπως οι **Sequence** και **Selector**, αποτελούσαν τη ραχοκοκαλιά των δέντρων συμπεριφοράς. Για παράδειγμα, στον **melee NPC**, ο **κόμβος Sequence** καθοδηγούσε τον NPC μέσω μιας σειράς ενεργειών - ανίχνευση του παίκτη, απεγκλωβισμού του όπλου του, πλάγιας κίνησης και επίθεσης όταν βρισκόταν στη σωστή απόσταση. Αυτή η ακολουθία εξασφάλιζε ότι κάθε βήμα εκτελούνταν με τη σειρά, επιτρέποντας ομαλές, συνεκτικές συμπεριφορές μάχης.

Αντίθετα, ο **κόμβος Selector** χρησιμοποιήθηκε από τους **ranged NPCs**, επιτρέποντάς τους να αποφασίσουν μεταξύ επίθεσης με τουφέκι ή αναζήτησης κάλυψης όταν η υγεία τους έπεφτε κάτω από ένα ορισμένο όριο. Αυτή η δυναμική διαδικασία λήψης αποφάσεων επέτρεψε στον NPC να δώσει προτεραιότητα στην αυτοσυντήρηση έναντι της μάχης, καθιστώντας τον πιο έξυπνο και προκλητικό αντίπαλο (Millington & Funge, 2016).

- **Κόμβοι διακοσμητών:** Διακοσμητικοί κόμβοι χρησιμοποιήθηκαν για να τροποποιούν υπό όρους τη συμπεριφορά άλλων κόμβων με βάση συγκεκριμένα κριτήρια. Για παράδειγμα, ο **melee NPC** χρησιμοποιούσε διακοσμητές για να διασφαλίσει ότι επιτίθεται μόνο όταν βρίσκεται σε μια συγκεκριμένη απόσταση από τον παίκτη. Παρομοίως, ο **ranged NPC** χρησιμοποιούσε διακοσμητές για να ξεκινήσει συμπεριφορές θεραπείας όταν η υγεία του έπεφτε κάτω από ένα καθορισμένο όριο. Αυτοί οι διακοσμητές προσέθεσαν πολυπλοκότητα στη συμπεριφορά των NPCs, διασφαλίζοντας ότι μπορούσαν να ανταποκριθούν κατάλληλα τόσο στις άμεσες απειλές όσο και στις μακροπρόθεσμες ανάγκες επιβίωσης (Yannakakis & Togelius, 2018).

Για **neutral NPCs**, οι διακοσμητές χρησιμοποιήθηκαν για να προκαλέσουν συναισθηματικές αντιδράσεις - όπως να ζητωκραυγάζουν όταν η παίκτρια νικάει έναν εχθρό ή να τρέχουν τρομαγμένοι όταν ακούνε πυροβολισμούς. Αυτές οι συμπεριφορές ήταν απαραίτητες για τη δημιουργία ενός καθηλωτικού περιβάλλοντος, όπου οι NPCs αντιδρούσαν πιστευτά στις ενέργειες του παίκτη.

- **Κόμβοι εργασιών:** Οι κόμβοι εργασιών εκτελούσαν συγκεκριμένες ενέργειες, όπως επίθεση, θεραπεία ή αντίδραση σε περιβαλλοντικά ερεθίσματα. Στον **melee NPC**, οι κόμβοι εργασιών κατεύθυναν τον NPC να βγάλει το όπλο του, να πλησιάσει τον παίκτη, να επιτεθεί και να αποκρούσει τα εισερχόμενα χτυπήματα. Για τον **ranged NPC**, οι κόμβοι εργασιών έλεγχαν την πυροδότηση ενός τουφεκίου και την εύρεση κάλυψης για να θεραπευτεί όταν τραυματιζόταν.

Για τους **neutral NPCs**, οι κόμβοι εργασιών διαχειρίζονταν συναισθηματικές εκφράσεις, όπως το κλάμα όταν έβλεπαν το θάνατο της παίκτριας ή το χειροκρότημα κατά τη νίκη του παίκτη. Αυτές οι εργασίες ενσωματώθηκαν στενά με το Animation Blueprint της Unreal Engine για να εξασφαλιστεί η ομαλή οπτική αναπαράσταση της συμπεριφοράς του NPC (Millington & Funge, 2016).

- **Κόμβοι υπηρεσιών:** Χρησιμοποιήθηκαν κόμβοι υπηρεσιών για τη συνεχή ενημέρωση του πίνακα με τις τελευταίες πληροφορίες για την κατάσταση του παιχνιδιού. Για παράδειγμα, στον **ranged NPC**, ένας κόμβος υπηρεσίας έλεγχε συχνά αν η υγεία του NPC είχε πέσει κάτω από το όριο θεραπείας. Όταν πληρούταν αυτή η συνθήκη, το δέντρο συμπεριφοράς μετέβαινε τον NPC από τη μάχη στην αυτοσυντήρηση, ενεργοποιώντας μια ακολουθία εργασιών για να βρει κάλυψη και να θεραπευτεί. Αυτή η συνεχής διαδικασία ενημέρωσης επέτρεπε στους NPCs να λαμβάνουν αποφάσεις σε πραγματικό χρόνο με βάση τις τρέχουσες συνθήκες (Isla, 2005).

Ομοίως, για τους **NPCs που απαιτούν θεραπεία από τον παίκτη**, ένας κόμβος υπηρεσίας παρακολουθούσε τακτικά την κατάσταση της υγείας τους. Όταν η υγεία τους έπεφτε κάτω από ένα ορισμένο επίπεδο, εμφανιζόταν μια προτροπή προς την παίκτρια να τους θεραπεύσει. Αυτό εξασφάλιζε ότι οι μηχανισμοί αλληλεπίδρασης με την παίκτρια ενσωματώνονταν ομαλά στη συμπεριφορά των NPCs, ενισχύοντας τη διαδραστική εμπειρία.

Διαμόρφωση κόμβου

Η διαμόρφωση των κόμβων ήταν ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της λογικής συμπεριφοράς των NPCs και της προσαρμογής τους στα διάφορα σενάρια παιχνιδιού. Στον **melee NPC**, το δέντρο συμπεριφοράς έδινε προτεραιότητα σε επιθετικές συμπεριφορές όπως η επίθεση και το μπλοκάρισμα, ενώ ο **ranged NPC** έδινε προτεραιότητα στην επούλωση όταν τραυματιζόταν. Αυτές οι διαμορφώσεις τελειοποιήθηκαν με τη χρήση των εργαλείων οπτικής αποσφαλμάτωσης της Unreal Engine, επιτρέποντας την παρατήρηση σε πραγματικό χρόνο και την προσαρμογή των συμπεριφορών των NPCs.

Για τους **neutral NPCs**, η διαμόρφωση τους επέτρεπε να εναλλάσσονται μεταξύ συναισθηματικών καταστάσεων, αντιδρώντας δυναμικά σε ερεθίσματα όπως πυροβολισμοί ή ο θάνατος του παίκτη. Αυτό δημιούργησε έναν πιο καθηλωτικό κόσμο παιχνιδιού, όπου οι NPCs εμφανίζονταν να έχουν προσωπικότητες και συναισθήματα, προσθέτοντας βάθος στη συνολική εμπειρία παιχνιδιού (Millington & Funge, 2016).

Επιπλέον, στα δέντρα συμπεριφοράς ενσωματώθηκαν δικλείδες ασφαλείας για την αντιμετώπιση απρόβλεπτων σεναρίων. Για παράδειγμα, εάν ο **melee NPC** αντιμετώπιζε ένα εμπόδιο που τον εμπόδιζε να φτάσει στον παίκτη, το δέντρο συμπεριφοράς μπορούσε να ενεργοποιήσει εναλλακτικές ενέργειες, όπως η εύρεση νέας διαδρομής ή η υποχώρηση. Αυτή η ευελιξία επέτρεψε την ανθεκτική τεχνητή νοημοσύνη που μπορούσε να χειριστεί πολύπλοκες καταστάσεις (Isla, 2005).

Διαδικασίες λήψης αποφάσεων στους NPCs

Οι διαδικασίες λήψης αποφάσεων στους NPCs καθοδηγούνταν από έναν συνδυασμό των συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης της Unreal Engine, συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων αντίληψης και αισθητήρων, της δομής μνήμης του πίνακα και του αρθρωτού σχεδιασμού των δέντρων συμπεριφοράς.

- **Αντίληψη και αισθητηριακά συστήματα:** Οι NPCs βασίζονταν στο σύστημα αντίληψης της Unreal Engine για να ανιχνεύουν την παίκτρια και άλλα περιβαλλοντικά ερεθίσματα. Ο **melee NPC** χρησιμοποιούσε την όραση για να ανιχνεύσει την παίκτρια και να ξεκινήσει ακολουθίες μάχης, ενώ ο **ranged NPC** χρησιμοποιούσε τόσο την όραση όσο και την ακοή για να ανιχνεύσει απειλές και να ανταποκριθεί κατάλληλα, όπως για παράδειγμα να αναζητήσει κάλυψη όταν δέχεται πυρά.

Για τους **neutral NPCs**, οι αισθητηριακές εισροές, όπως το άκουσμα ενός πυροβολισμού, προκάλεσαν τη μετάβαση σε συμπεριφορές που βασίζονται στο φόβο, όπως το τρέξιμο για κάλυψη. Αυτό το αισθητηριακό σύστημα επέτρεπε στους NPCs να ανταποκρίνονται δυναμικά στο περιβάλλον τους, κάνοντάς τους να μοιάζουν πιο αληθοφανείς και διαδραστικοί (Yannakakis & Togelius, 2018).

- **Blackboard και μνήμη:** Το σύστημα blackboard αποθήκευε σημαντικές πληροφορίες που επηρέαζαν τη συμπεριφορά των NPCs, όπως η θέση του παίκτη, η κατάσταση της υγείας του και οι θέσεις των εχθρών. Ο **melee NPC**, για παράδειγμα, είχε πρόσβαση στον blackboard για να αποφασίσει αν θα συνεχίσει να επιτίθεται ή θα αναζητήσει κάλυψη όταν η υγεία του έπεφτε κάτω από ένα όριο. Αυτό το σύστημα μνήμης επέτρεψε τη λήψη πιο σύνθετων αποφάσεων, καθώς οι NPCs μπορούσαν να αποθηκεύουν και να ανακτούν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για να ενημερώνουν τις ενέργειές τους.
- **Προσαρμοστική συμπεριφορά:** Η αρθρωτή φύση των δέντρων συμπεριφοράς επέτρεψε προσαρμοστική συμπεριφορά με βάση ενημερώσεις σε πραγματικό χρόνο. Για παράδειγμα, αν ένας NPC ξεκινούσε σε ουδέτερη κατάσταση αλλά εντόπιζε έναν εχθρό ή μια απειλή, το δέντρο συμπεριφοράς προσαρμοζόταν μεταβαίνοντας σε αμυντική ή επιθετική στάση. Αυτή η προσαρμοστικότητα εξασφάλιζε ότι οι NPCs ανταποκρίνονταν ρευστά στις αλλαγές του περιβάλλοντος, ενισχύοντας την αξιοπιστία τους (Isla, 2005).

Αποσφαλμάτωση και βελτιστοποίηση:

Η εφαρμογή των προσαρμοστικών δέντρων συμπεριφοράς απαιτούσε εκτεταμένη αποσφαλμάτωση και βελτιστοποίηση για να εξασφαλιστεί ομαλό παιχνίδι. Τα εργαλεία εντοπισμού σφαλμάτων σε πραγματικό χρόνο της Unreal Engine επέτρεψαν την απεικόνιση των δέντρων συμπεριφοράς κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού, βοηθώντας στον εντοπισμό προβλημάτων όπως λανθασμένες διαμορφώσεις κόμβων ή συμφόρηση επιδόσεων.

Οι **melee NPC**, **ranged NPC**, και **neutral NPCs** τελειοποιήθηκαν με τη χρήση αυτών των εργαλείων αποσφαλμάτωσης, διασφαλίζοντας ότι οι συμπεριφορές τους ήταν ρευστές, ευέλικτες και συνεπείς σε διαφορετικά σενάρια. Με την επανάληψη μέσω πολλαπλών δοκιμών, τα δέντρα συμπεριφοράς βελτιστοποιήθηκαν ώστε να χειρίζονται πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των NPCs και του παίκτη, ακόμη και σε περιβάλλοντα υψηλής πίεσης (Liden, 2003).

3.3.2 Ενσωμάτωση με συστήματα NPC

Η ενσωμάτωση των δέντρων προσαρμοστικής συμπεριφοράς στα συστήματα των NPCs στην Unreal Engine 5.4 αποτέλεσε τη βάση για τη δημιουργία εξελιγμένης και ευέλικτης τεχνητής νοημοσύνης σε αυτό το έργο. Στην ενότητα που ακολουθεί περιγράφονται οι τεχνικές πτυχές που επέτρεψαν την προσαρμογή σε πραγματικό χρόνο και την επεξεργασία των συμπεριφορών των NPCs, εστιάζοντας στη χρήση των AI controllers, των blackboards, των κόμβων υπηρεσιών, των κόμβων επιλογής και των τεχνικών βελτιστοποίησης για να εξασφαλιστεί η αποδοτική απόδοση των NPCs στο περιβάλλον του παιχνιδιού.

Υλοποίηση στην Unreal Engine 5.4

Η Unreal Engine 5.4 προσφέρει μια ολοκληρωμένη σουίτα εργαλείων για την ανάπτυξη τεχνητής νοημοσύνης, με τα δέντρα συμπεριφοράς να αποτελούν ένα από τα πιο ισχυρά πλαίσια για τον έλεγχο των ενεργειών των NPCs. Αυτή η ενότητα διερευνά τον τρόπο με τον οποίο τα δέντρα συμπεριφοράς ενσωματώθηκαν στα συστήματα NPC, διασφαλίζοντας ότι οι NPCs θα μπορούσαν να επιδεικνύουν έξυπνες και κατάλληλες για το πλαίσιο συμπεριφορές κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού.

AI Controllers και Blackboards

Οι AI controllers στην Unreal Engine λειτουργούν ως κέντρα εντολών για τους NPCs, ερμηνεύοντας τη λογική που ορίζεται στα δέντρα συμπεριφοράς και μεταφράζοντάς την σε ενέργειες μέσα στο περιβάλλον του παιχνιδιού. Κάθε NPC ήταν συνδεδεμένος με έναν AI controller, ο οποίος διαχειριζόταν τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ του δέντρου συμπεριφοράς και των φυσικών ενεργειών του NPC, όπως η κίνηση, η μάχη και οι συναισθηματικές αντιδράσεις στα γεγονότα του παιχνιδιού.

Το σύστημα **blackboard** χρησίμευε ως σύστημα κοινής μνήμης, αποθηκεύοντας κρίσιμα δεδομένα στα οποία το δέντρο συμπεριφοράς είχε πρόσβαση και τα οποία ενημέρωνε κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού. Τα δεδομένα αυτά κυμαίνονταν από την κατάσταση υγείας και τη θέση του NPC μέχρι την παρουσία κοντινών παικτών και εχθρών. Για παράδειγμα, ο **melee NPC** παρακολουθούσε τη θέση της παίκτριας μέσω του blackboard, ο οποίος ενημερωνόταν συνεχώς, επιτρέποντας στον NPC να καταδιώκει, να βγάζει το όπλο του, να κατευθύνεται και να επιτίθεται όταν βρίσκεται σε εμβέλεια.

Στην περίπτωση του **ranged NPC**, ο blackboard αποθήκευε δεδομένα τόσο για τη θέση της παίκτριας όσο και για την κατάσταση της υγείας του NPC. Όταν η υγεία έπεφτε κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο, ο blackboard ενεργοποιούσε μια αλλαγή στη συμπεριφορά του NPC από μάχη σε αναζήτηση κάλυψης και θεραπεία. Αυτή η δυναμική χρήση του blackboard επέτρεπε στον NPC να προσαρμόζεται με βάση τις συνθήκες του παιχνιδιού σε πραγματικό χρόνο, δημιουργώντας μια πιο ζωντανή και ευέλικτη τεχνητή νοημοσύνη.

Οι **neutral NPCs** χρησιμοποιούσαν τον blackboard για να παρακολουθούν τα ακουστικά σήματα, όπως οι πυροβολισμοί, μεταβαίνοντας σε καταστάσεις φόβου ή αγωνίας όταν πληρούσαν ορισμένες προϋποθέσεις, όπως το άκουσμα ενός πυροβολισμού ή ο θάνατος του παίκτη. Αυτές οι μεταβάσεις ήταν απαραίτητες για τη δημιουργία καθηλωτικών αντιδράσεων των NPCs που διαφοροποιούνταν ανάλογα με τα περιβαλλοντικά ερεθίσματα.

Αυτή η σπονδυλωτή αρχιτεκτονική, που συνδυάζει AI controllers και blackboards, εξασφάλιζε ότι όλοι οι NPC μπορούσαν να επεξεργάζονται πολύπλοκα ερεθίσματα χωρίς καθυστέρηση. Τα ίδια δέντρα συμπεριφοράς μπορούσαν να επαναχρησιμοποιηθούν με μικρές παραλλαγές στις

ρυθμίσεις των blackboards, ενισχύοντας την αποτελεσματικότητα της ανάπτυξης και διατηρώντας την προσαρμοστικότητα σε διαφορετικούς τύπους NPC.

Δέντρα συμπεριφοράς σε δράση

Τα δέντρα συμπεριφοράς που αναπτύχθηκαν για αυτό το έργο σχεδιάστηκαν χρησιμοποιώντας το οπτικό περιβάλλον σεναρίων της Unreal Engine, το οποίο διευκόλυνε τη σύνδεση διαφόρων κόμβων (Composite, Task, Decorator και Service) που αναπαριστούσαν ακολουθίες ενεργειών, συνθηκών ή αποφάσεων. Κάθε δέντρο συμπεριφοράς ήταν προσαρμοσμένο σε συγκεκριμένους ρόλους NPC - μάχη, συναισθηματική αντίδραση ή θεραπεία - και η οπτική φύση του συστήματος διευκόλυνε την αποσφαλμάτωση και την τελειοποίηση των συμπεριφορών των NPCs.

Για παράδειγμα, το δέντρο συμπεριφοράς του melee NPC περιελάμβανε μια ακολουθία για την ανίχνευση του παίκτη, το άνοιγμα του όπλου του, την προσέγγιση της παίκτριας και την επίθεση. Το δέντρο συμπεριφοράς ενσωμάτωσε επίσης το μπλοκάρισμα ως απάντηση στις επιθέσεις του παίκτη. Το δέντρο συμπεριφοράς του **ranged NPC**, από την άλλη πλευρά, έδινε προτεραιότητα στη μάχη από απόσταση και την επούλωση, χρησιμοποιώντας κόμβους για να αποφασίσει αν θα συνεχίσει να επιτίθεται ή θα αναζητήσει κάλυψη και θα θεραπευτεί όταν υποστεί ζημιά.

Ομοίως, οι **neutral NPCs** είχαν δέντρα συμπεριφοράς που επικεντρώνονταν στις συναισθηματικές αντιδράσεις. Όταν ακούγονταν πυροβολισμοί, οι NPCs περνούσαν σε κατάσταση τρόμου, και αν έβλεπαν το θάνατο του παίκτη, έκλαιγαν ή εξέφραζαν την ήττα τους. Αν η παίκτρια νικούσε επιτυχώς τους εχθρούς, ορισμένοι neutral NPCs ζητωκραύγαζαν ή έπαιρναν μια νικηφόρα πόζα. Αυτές οι συμπεριφορές συνδέονταν μέσω διαφόρων κόμβων υπό όρους που επέτρεπαν στους NPCs να αντιδρούν δυναμικά σε γεγονότα εντός του παιχνιδιού, ενισχύοντας την αληθοφάνεια του περιβάλλοντος.

Ενσωματώνοντας δέντρα συμπεριφοράς απευθείας με τους AI controllers των NPC, τα συστήματα αυτά επέτρεψαν ένα ευρύ φάσμα ενεργειών των NPCs χωρίς να βασίζονται σε πολύπλοκο scripting. Η ευελιξία και η αρθρωτότητα των δέντρων συμπεριφοράς τα καθιστούσαν κατάλληλα για αυτό το έργο, όπου οι NPCs έπρεπε να ανταποκρίνονται δυναμικά σε μια ποικιλία αλληλεπιδράσεων της παίκτριας και περιβαλλοντικών συνθηκών.

Προσαρμογή και επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα των δέντρων συμπεριφοράς έγκειται στην ικανότητά τους να προσαρμόζονται στις μεταβαλλόμενες συνθήκες σε πραγματικό χρόνο. Αυτή η προσαρμοστικότητα επιτεύχθηκε με τη χρήση ενός συνδυασμού **κόμβων εξυπηρέτησης** που ενημέρωναν τακτικά τον πίνακα με νέες πληροφορίες και **κόμβων επιλογής** που αξιολογούσαν αυτές τις πληροφορίες για να καθορίσουν την επόμενη ενέργεια του NPC. Μαζί, αυτά τα στοιχεία εξασφάλιζαν ότι οι NPCs μπορούσαν να επεξεργάζονται και να ανταποκρίνονται σε ερεθίσματα σε πραγματικό χρόνο, βελτιώνοντας τη συνολική εμπειρία παιχνιδιού.

Κόμβοι υπηρεσιών και ενημερώσεις σε πραγματικό χρόνο

Οι κόμβοι εξυπηρέτησης ήταν αναπόσπαστο στοιχείο για τη διατήρηση της ανταπόκρισης των NPCs σε πραγματικό χρόνο. Αυτοί οι κόμβοι ρυθμίστηκαν ώστε να εκτελούνται σε τακτά χρονικά διαστήματα, παρακολουθώντας συνεχώς βασικές πτυχές του περιβάλλοντος του παιχνιδιού και ενημερώνοντας τον blackboard με τα τελευταία δεδομένα. Για παράδειγμα, στην περίπτωση του **ranged NPC**, οι κόμβοι υπηρεσιών παρακολουθούσαν τα επίπεδα υγείας. Όταν η υγεία του NPC έπεφτε κάτω από το όριο θεραπείας, ο κόμβος υπηρεσίας ενημέρωνε τον πίνακα, ενεργοποιώντας το δέντρο συμπεριφοράς για τη μετάβαση από τη λειτουργία μάχης στην αναζήτηση κάλυψης και θεραπείας.

Για τους **neutral NPCs**, οι κόμβοι υπηρεσιών παρακολουθούσαν ακουστικά ερεθίσματα, όπως πυροβολισμούς. Όταν ακούγεται ένας πυροβολισμός, ο πίνακας ενημερώνεται, προκαλώντας τον NPC να εισέλθει σε κατάσταση τρόμου ή να αναζητήσει κάλυψη. Αυτή η συνεχής ενημέρωση επέτρεπε στους NPCs να αντιδρούν άμεσα στις αλλαγές στο περιβάλλον τους, καθιστώντας τη συμπεριφορά τους πιο ρεαλιστική και ελκυστική για τον παίκτη.

Κόμβοι επιλογής και λήψη αποφάσεων

Οι κόμβοι επιλογής ήταν κρίσιμοι στη διαδικασία λήψης αποφάσεων μέσα στα δέντρα συμπεριφοράς. Αυτοί οι κόμβοι αξιολογούσαν τις πληροφορίες που παρείχαν οι κόμβοι υπηρεσιών και ο blackboard, επιλέγοντας δυναμικά από μια σειρά πιθανών ενεργειών με βάση τις τρέχουσες συνθήκες. Για παράδειγμα, εάν ένας **ranged NPC** εντόπιζε έναν εχθρό να

πλησιάζει ενώ βρισκόταν σε διαδικασία θεραπείας, ο κόμβος επιλογής αξιολογούσε την κατάσταση και αποφάσιζε εάν θα συνέχιζε να θεραπεύει ή θα πήγαινε σε αμυντική στάση.

Για τον **melee NPC**, οι κόμβοι επιλογής επέτρεψαν αποφάσεις όπως το αν θα επιτεθεί, θα μπλοκάρει ή θα υποχωρήσει ανάλογα με την εγγύτητα και τις ενέργειες του παίκτη. Αυτή η δυνατότητα επανεκτίμησης των αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο συνέβαλε στη δημιουργία ευφυών NPCs ικανών να προσαρμόζονται σε σύνθετες καταστάσεις (Isla, 2005).

Οι κόμβοι επιλογής επέτρεψαν επίσης στρατηγικές εφεδρείες μέσα στα δέντρα συμπεριφοράς. Εάν η ενέργεια ενός NPC αποτύγχανε (π.χ. η παίκτρια βρισκόταν εκτός εμβέλειας επίθεσης), ο κόμβος επιλογής μπορούσε να ξεκινήσει μια εναλλακτική ενέργεια, όπως η επανατοποθέτηση ή η αναμονή για μια άλλη ευκαιρία να χτυπήσει. Αυτή η δυναμική διαδικασία λήψης αποφάσεων διατηρούσε τους NPCs αποτελεσματικούς και απρόβλεπτους, προσθέτοντας στρατηγικό βάθος στο παιχνίδι.

Προσαρμοστική συμπεριφορά μέσω επεξεργασίας σε πραγματικό χρόνο

Οι δυνατότητες επεξεργασίας σε πραγματικό χρόνο των δέντρων συμπεριφοράς ενισχύθηκαν από τον αρθρωτό σχεδιασμό τους, επιτρέποντας τη δυναμική προσθήκη ή αφαίρεση κόμβων με βάση το εξελισσόμενο περιβάλλον του παιχνιδιού. Αυτή η προσαρμοστικότητα εξασφάλιζε ότι οι συμπεριφορές των NPCs ήταν συνεκτικές και ανταποκρίνονταν στην πολυπλοκότητα του περιβάλλοντος του παιχνιδιού.

Για παράδειγμα, αν ένας **neutral NPC** αντιληφθεί πυροβολισμούς, θα μπορούσε να μεταβεί από την ουδέτερη κατάσταση περπατήματος σε κατάσταση φόβου ή τρόμου. Ο **melee NPC** θα μπορούσε να μεταβεί από επιθετική σε αμυντική συμπεριφορά ανάλογα με τις ενέργειες του παίκτη, και ο **ranged NPC** θα μπορούσε να σταματήσει τη μάχη για να δώσει προτεραιότητα στη θεραπεία με βάση τις ενημερώσεις υγείας σε πραγματικό χρόνο.

Αυτή η προσαρμοστικότητα σε πραγματικό χρόνο ήταν ζωτικής σημασίας για τη δημιουργία NPCs που θα μπορούσαν να χειριστούν ένα ευρύ φάσμα σεναρίων, κάνοντάς τους να αισθάνονται έξυπνοι και να ανταποκρίνονται στον κόσμο του παιχνιδιού.

Βελτιστοποίηση για επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο

Για να εξασφαλιστεί ότι τα δέντρα συμπεριφοράς λειτουργούσαν αποτελεσματικά σε πραγματικό χρόνο, χρησιμοποιήθηκαν διάφορες τεχνικές βελτιστοποίησης. Η συχνότητα των ενημερώσεων των κόμβων εξυτηρέτησης εξισορροπήθηκε προσεκτικά ώστε να παρέχονται έγκαιρες αποκρίσεις, αποφεύγοντας παράλληλα περιττές επιβαρύνσεις επεξεργασίας. Για παράδειγμα, οι ενημερώσεις για τους ελέγχους υγείας του **ranged NPC** ρυθμίστηκαν ώστε να γίνονται αρκετά συχνά για να εξασφαλίζεται η απόκριση, αλλά όχι τόσο συχνά ώστε να υπερφορτώνεται το σύστημα.

Η δομή των δέντρων συμπεριφοράς βελτιστοποιήθηκε για τη μείωση των περιττών αξιολογήσεων, βελτιώνοντας τη διαδικασία λήψης αποφάσεων για κάθε NPC. Αυτή η βελτιστοποίηση ήταν ζωτικής σημασίας σε πολύπλοκα σενάρια όπου πολλοί NPCs αλληλεπιδρούσαν μεταξύ τους και με τον παίκτη, όπως κατά τη διάρκεια μεγάλης κλίμακας ακολουθιών μάχης ή συναισθηματικών αντιδράσεων σε γεγονότα εντός του κόσμου του παιχνιδιού.

Τέλος, χρησιμοποιήθηκαν εργαλεία εντοπισμού σφαλμάτων σε πραγματικό χρόνο που παρέχει η Unreal Engine για την παρακολούθηση των δέντρων συμπεριφοράς κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού. Αυτά τα εργαλεία επέτρεψαν τον εντοπισμό και την επίλυση των σημείων συμφόρησης της απόδοσης, διασφαλίζοντας ότι οι NPCs παρέμεναν ευέλικτοι ακόμη και κατά τη διάρκεια των πιο απαιτητικών σεναρίων (Liden, 2003).

3.3.3 Δοκιμές και βελτιστοποίηση

Η δοκιμή και η βελτιστοποίηση ήταν κρίσιμα στοιχεία της διαδικασίας ανάπτυξης, ιδίως κατά την εφαρμογή των δέντρων συμπεριφοράς και των συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης στο περιβάλλον του παιχνιδιού. Η πολυπλοκότητα των προσαρμοστικών δέντρων συμπεριφοράς και η ενσωμάτωσή τους με διάφορους NPCs απαιτούσε μια αυστηρή προσέγγιση στη δοκιμή και τη βελτίωση, ώστε να διασφαλιστεί ότι τα συστήματα αυτά λειτουργούσαν όπως προβλεπόταν σε διάφορες συνθήκες. Αυτή η ενότητα παρέχει μια λεπτομερή διερεύνηση των μεθοδολογιών που χρησιμοποιήθηκαν για τη δοκιμή των δέντρων συμπεριφοράς και των συστημάτων NPC, των μετρικών απόδοσης που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς

τους και των στρατηγικών για την αποσφαλμάτωση και τη βελτίωση για την επίτευξη βέλτιστης απόδοσης.

Μετρήσεις επιδόσεων

Χρησιμοποιήθηκαν μετρικές απόδοσης για να αξιολογηθεί πόσο καλά λειτουργούσαν οι NPCs και τα δέντρα συμπεριφοράς τους σε διάφορα σενάρια, όπως μάχη, εξερεύνηση και αλληλεπίδραση με τον παίκτη. Αυτές οι μετρήσεις παρείχαν κρίσιμα δεδομένα για την καθοδήγηση της διαδικασίας βελτιστοποίησης, βοηθώντας στον εντοπισμό ανεπαρκειών και περιοχών προς βελτίωση.

Βασικοί δείκτες απόδοσης (KPI): Για τη μέτρηση της αποτελεσματικότητας των συστημάτων NPC χρησιμοποιήθηκαν διάφοροι δείκτες επιδόσεων σε αυτό το έργο, μεταξύ των οποίων:

1. **Επιπτώσεις ρυθμού καρτέ (FPS):** Η απόδοση των δέντρων συμπεριφοράς των NPCs μετρήθηκε ως προς τον αντίκτυπό τους στον ρυθμό καρτέ του παιχνιδιού. Η διατήρηση σταθερού ρυθμού καρτέ είναι απαραίτητη για τη διασφάλιση ομαλού παιχνιδιού και την αποφυγή προβλημάτων απόδοσης. Χρησιμοποιήθηκαν τα εργαλεία προφίλ της Unreal Engine για την παρακολούθηση του FPS καθώς οι NPCs εκτελούσαν εργασίες όπως η μάχη και η θεραπεία. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι παρόλο που τα δέντρα συμπεριφοράς εισήγαγαν κάποια επιβάρυνση επεξεργασίας, οι προσαρμογές στις συχνότητες εκτέλεσης κόμβων και ενημέρωσης υπηρεσιών ελαχιστοποίησαν τη συνολική επίπτωση στον ρυθμό καρτέ.
2. **Ανταπόκριση NPC:** Η ικανότητα των NPCs να ανταποκρίνονται γρήγορα στις ενέργειες των παικτών και στις περιβαλλοντικές αλλαγές ήταν ένα άλλο κρίσιμο μέτρο απόδοσης. Η ανταπόκριση παρακολούθηθηκε με τη μέτρηση της καθυστέρησης μεταξύ βασικών συμβάντων, όπως όταν ένας εχθρός εισήλθε στο οπτικό πεδίο ενός NPC ή όταν ένας NPC ενεργοποιήθηκε για να θεραπευτεί ή να αναζητήσει κάλυψη. Ο στόχος ήταν να εξασφαλιστεί η ελάχιστη καθυστέρηση μεταξύ της αντίληψης ενός γεγονότος και της εκτέλεσης της κατάλληλης ενέργειας.
3. **Ακρίβεια συμπεριφοράς:** Η συνέπεια με την οποία οι NPCs εκτελούσαν τις προβλεπόμενες ενέργειές τους ήταν ένα βασικό μέτρο της αποτελεσματικότητάς τους. Η ακρίβεια της συμπεριφοράς αξιολογήθηκε παρατηρώντας αν οι NPCs ακολουθούσαν τις αναμενόμενες συμπεριφορές που ορίζονταν στα δέντρα συμπεριφοράς τους. Για παράδειγμα, αν ο θεραπευτικός NPC έδινε επιτυχώς προτεραιότητα στη θεραπεία με βάση τα κατώτατα όρια υγείας ή αν ο melee NPC συμμετείχε στη μάχη όπως αναμενόταν αφού εντόπιζε την παίκτρια στη σωστή απόσταση. Τυχόν αποκλίσεις από την αναμενόμενη συμπεριφορά καταγράφονταν και αναλύονταν για περαιτέρω βελτίωση.
4. **Αξιοποίηση πόρων:** Η χρήση των πόρων, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης της CPU και της μνήμης, ήταν ένας άλλος βασικός KPI. Με την παρακολούθηση του τρόπου με τον οποίο τα δέντρα συμπεριφοράς των NPCs επηρέαζαν την κατανάλωση πόρων, ήταν δυνατό να εντοπιστούν περιοχές που απαιτούσαν βελτιστοποίηση, ιδίως κατά τη διάρκεια σύνθετων σεναρίων μάχης που περιλάμβαναν πολλούς NPCs.

Μεθοδολογίες δοκιμής επιδόσεων

Χρησιμοποιήθηκαν χειροκίνητες δοκιμές για να αξιολογηθεί η απόδοση των NPCs και να διασφαλιστεί ότι τα δέντρα συμπεριφοράς λειτουργούσαν βέλτιστα σε διάφορα σενάρια:

1. **Χειροκίνητες δοκιμές:** Οι χειροκίνητες δοκιμές πραγματοποιήθηκαν με αλληλεπίδραση με τους NPCs σε σενάρια πραγματικού παιχνιδιού. Αυτή η δοκιμή ήταν απαραίτητη για την παρατήρηση της συμπεριφοράς των NPCs σε πραγματικό χρόνο και τον εντοπισμό περιπτώσεων ακραίων σημείων που δεν καταγράφηκαν από τις αυτοματοποιημένες δοκιμές. Σενάρια όπως η εμπλοκή του melee NPC σε μάχη ή ο ranged NPC που αναζητούσε κάλυψη και θεραπεία παρείχαν άμεση ανατροφοδότηση σχετικά με τον τρόπο συμπεριφοράς των NPCs σε πολύπλοκα, δυναμικά περιβάλλοντα.
2. **Παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο:** Χρησιμοποιήθηκαν τα εργαλεία παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο της Unreal Engine καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας δοκιμής για να παρατηρηθεί η συμπεριφορά των NPCs και η απόδοση του συστήματος σε δράση. Αναλύοντας ζωντανά δεδομένα από την εκτέλεση του δέντρου συμπεριφοράς και την κατανάλωση πόρων, ήταν δυνατή η άμεση προσαρμογή της

εκτέλεσης των κόμβων και των ενημερώσεων των υπηρεσιών, διασφαλίζοντας ότι το σύστημα παρέμενε ευέλικτο και αποδοτικό.

Αποσφαλμάτωση και βελτίωση

Η αποσφαλμάτωση και η βελτίωση των δέντρων συμπεριφοράς των NPCs ήταν κρίσιμα βήματα στη διαδικασία ανάπτυξης. Χρησιμοποιήθηκαν διάφορες τεχνικές και εργαλεία για τον εντοπισμό προβλημάτων στη λογική του δέντρου συμπεριφοράς και τη βελτίωση της συνολικής απόδοσης του συστήματος.

Στρατηγικές εντοπισμού σφαλμάτων:

1. **Breakpoints και βηματική αποσφαλμάτωση:** Χρησιμοποιήθηκαν breakpoints για τη διακοπή της εκτέλεσης των δέντρων συμπεριφοράς σε κρίσιμα σημεία, επιτρέποντας τη λεπτομερή επιθεώρηση της εκτέλεσης των κόμβων και της λογικής λήψης αποφάσεων. Αυτή η τεχνική βοήθησε στον εντοπισμό λανθασμένα ρυθμισμένων κόμβων ή συνθηκών που δεν αξιολογούνταν σωστά.
2. **Print Statements και Logging:** Χρησιμοποιήθηκαν print statements μέσα στα δέντρα συμπεριφοράς για την παρακολούθηση ενεργειών σε πραγματικό χρόνο, όπως όταν ο ranged NPC αποφάσισε να θεραπευτεί ή όταν ο neutral NPC αντέδρασε σε πυροβολισμούς. Αυτή η συνεχής ανατροφοδότηση παρείχε πληροφορίες για τον τρόπο με τον οποίο τα δέντρα συμπεριφοράς λειτουργούσαν στην πράξη, διευκολύνοντας τον εντοπισμό αποκλίσεων μεταξύ της προβλεπόμενης και της πραγματικής συμπεριφοράς.
3. **Εργαλεία οπτικοποίησης:** Τα οπτικά εργαλεία εντοπισμού σφαλμάτων στην Unreal Engine ήταν καθοριστικά για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς των NPCs σε πραγματικό χρόνο. Αυτά τα εργαλεία επέτρεψαν την οπτικοποίηση των διαδικασιών λήψης αποφάσεων, δείχνοντας τους ενεργούς κόμβους μέσα στο δέντρο συμπεριφοράς και την αλληλεπίδρασή τους με άλλα στοιχεία όπως οι blackboards. Η οπτικοποίηση ανέδειξε επίσης ζητήματα όπως η αποτυχία των NPCs να ανιχνεύσουν ερεθίσματα, οδηγώντας σε προσαρμογές στη διαμόρφωση των αισθήσεων.

Τεχνικές βελτίωσης

1. **Βελτιστοποίηση δέντρου συμπεριφοράς:** Μετά τη διαδικασία εντοπισμού σφαλμάτων, έγιναν βελτιστοποιήσεις για τον εξορθολογισμό των δέντρων συμπεριφοράς. Με την ενοποίηση των εργασιών και τη μείωση των περιττών κόμβων, η συνολική διαδικασία λήψης αποφάσεων έγινε πιο αποτελεσματική. Αυτό βελτίωσε τόσο την ανταπόκριση των NPCs όσο και την ικανότητά τους να χειρίζονται σύνθετα σενάρια.
2. **Διαχείριση πόρων:** Παρακολούθηθηκαν η CPU και η διαχείριση μνήμης και έγιναν βελτιστοποιήσεις για τη μείωση της επιβάρυνσης των πόρων. Για παράδειγμα, προσαρμόζοντας τη συχνότητα με την οποία οι κόμβοι εξυπηρετήσης ενημέρωναν τον πίνακα, μειώθηκε η κατανάλωση πόρων χωρίς να θυσιαστεί η απόκριση των NPCs.
3. **Επαναληπτική δοκιμή και βρόχοι ανατροφοδότησης:** Η τελειοποίηση ήταν μια συνεχής διαδικασία, που περιλάμβανε συνεχείς δοκιμές και ανατροφοδότηση. Μετά από κάθε γύρο βελτιστοποίησης, πραγματοποιούνταν περαιτέρω δοκιμές για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των αλλαγών. Αυτή η επαναληπτική διαδικασία εξασφάλισε ότι τα συστήματα NPC βελτιώνονταν συνεχώς και γίνονταν πιο αποτελεσματικά με την πάροδο του χρόνου.

Αποτελέσματα της βελτίωσης

Οι διαδικασίες δοκιμών, αποσφαλμάτωσης και βελτιστοποίησης οδήγησαν σε σημαντικές βελτιώσεις στην απόδοση και την αξιοπιστία των συστημάτων NPC. Τα δέντρα συμπεριφοράς έγιναν πιο βελτιωμένα, μειώνοντας τον υπολογιστικό φόρτο και βελτιώνοντας τη συνολική απόκριση των NPCs κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού. Οι NPCs ήταν σε θέση να αντιδρούν γρήγορα στις ενέργειες των παικτών και στις περιβαλλοντικές αλλαγές, οδηγώντας σε μια πιο καθηλωτική και ελκυστική εμπειρία παιχνιδιού.

Συμπερασματικά, η δοκιμή και η βελτιστοποίηση των δέντρων προσαρμοστικής συμπεριφοράς για τους NPCs ήταν ζωτικής σημασίας για την επίτευξη υψηλών επιδόσεων και τη διασφάλιση ότι οι NPCs συμπεριφέρονταν με συνέπεια σε διάφορα σενάρια. Μέσω αυστηρών μεθοδολογιών δοκιμών, αποσφαλμάτωσης σε πραγματικό χρόνο και συνεχούς βελτίωσης, η τελική υλοποίηση πέτυχε τόσο τους τεχνικούς όσο και τους σχετικούς με το παιχνίδι στόχους απόδοσης.

3.4 Ενσωμάτωση της συναισθηματικής ανταπόκρισης

Η ενσωμάτωση της συναισθηματικής ανταπόκρισης στους NPCs αποτελεί σημαντική πρόοδο στη δημιουργία καθηλωτικών και ελκυστικών περιβαλλόντων παιχνιδιών. Η συναισθηματική ανταπόκριση επιτρέπει στους NPCs να επιδεικνύουν συμπεριφορές που αντανακλούν ένα εύρος συναισθημάτων, ενισχύοντας έτσι την αξιοπιστία και το βάθος των αλληλεπιδράσεων τους με την παίκτρια και άλλους NPCs. Αυτή η ενότητα διερευνά την ανάπτυξη συναισθηματικών μοντέλων, την επιλογή των κατάλληλων πλαισίων για την αναπαράσταση των συναισθημάτων και την προσαρμογή και ρύθμιση αυτών των μοντέλων ώστε να ευθυγραμμιστούν με τις συγκεκριμένες συμπεριφορές των NPCs που αναπτύχθηκαν σε αυτό το έργο.

3.4.1 Ανάπτυξη συναισθηματικών μοντέλων

Η ανάπτυξη συναισθηματικών μοντέλων για NPCs είναι μια πολύπλοκη διαδικασία που περιλαμβάνει την επιλογή του κατάλληλου θεωρητικού πλαισίου, την προσαρμογή του στη διαδραστική φύση των βιντεοπαιχνιδιών και τη ρύθμισή του ώστε να διασφαλιστεί ότι οι συμπεριφορές που προκύπτουν είναι ρεαλιστικές και κατάλληλες για το πλαίσιο. Τα συναισθηματικά μοντέλα χρησιμεύουν ως θεμέλιο για τη συναισθηματική ανταπόκριση, παρέχοντας τη δομή που διέπει τον τρόπο με τον οποίο τα συναισθήματα παράγονται, εκφράζονται και επηρεάζουν τη συμπεριφορά των NPCs.

Επιλογή κατάλληλων μοντέλων: Το πρώτο βήμα για την ανάπτυξη της συναισθηματικής ανταπόκρισης για τους NPCs είναι η επιλογή ενός κατάλληλου συναισθηματικού μοντέλου. Υπάρχουν διάφορα διαθέσιμα μοντέλα, το καθένα με τα δυνατά και τα αδύνατα σημεία του, και η επιλογή του μοντέλου επηρεάζει σημαντικά τη φύση των συναισθηματικών αντιδράσεων που μπορούν να επιδείξουν οι NPCs. Οι τρεις κύριες κατηγορίες συναισθηματικών μοντέλων που εξετάστηκαν για το παρόν έργο είναι τα μοντέλα διακριτών συναισθημάτων, τα μοντέλα διαστατικών συναισθημάτων και τα μοντέλα που βασίζονται στην αξιολόγηση.

- **Διακριτά μοντέλα συναισθημάτων:** Τα διακριτά μοντέλα κατηγοριοποιούν τα συναισθήματα σε διακριτούς τύπους, όπως η ευτυχία, η λύπη, ο θυμός και ο φόβος. Στο πλαίσιο των NPCs, αυτά τα μοντέλα είναι σχετικά εύκολο να εφαρμοστούν επειδή παρέχουν σαφείς κανόνες για τη δημιουργία και την έκφραση συναισθημάτων. Για παράδειγμα, αν ο NPC που ασχολείται με τη μάχη βλέπει την παίκτρια να πλησιάζει με ένα όπλο, το μοντέλο μπορεί να προκαλέσει μια αντίδραση θυμού, η οποία θα οδηγήσει σε μια θυμωμένη επίθεση. Η απλότητα των διακριτών μοντέλων τα καθιστά αποτελεσματικά για καταστάσεις όπου απαιτούνται άμεσες και διακριτές συναισθηματικές αντιδράσεις. Ωστόσο, αυτά τα μοντέλα μπορεί να μην αποτυπώνουν πλήρως τις αποχρώσεις των συναισθημάτων που βιώνονται με την πάροδο του χρόνου (Ekman, 1992).
- **Διαστατικά μοντέλα συναισθήματος:** Αντίθετα, τα διαστασιακά μοντέλα αναπαριστούν τα συναισθήματα κατά συνεχείς διαστάσεις, όπως η διέγερση (υψηλή/χαμηλή) και η αξία (θετική/αρνητική). Αυτό το μοντέλο επιτρέπει πιο διαφοροποιημένες συναισθηματικές καταστάσεις. Για παράδειγμα, ο NPC που βρίσκεται σε απόσταση βολής, όταν τραυματιστεί και καλυφθεί, μπορεί να βιώσει ένα μείγμα φόβου και αποφασιστικότητας. Τα μοντέλα διαστάσεων είναι ιδανικά για σενάρια όπου οι NPCs πρέπει να παρουσιάζουν σταδιακές αλλαγές στα συναισθήματα ή να βιώνουν μικτά συναισθήματα. Ωστόσο, αυτά τα μοντέλα είναι πιο πολύπλοκα στην εφαρμογή τους λόγω της συνεχούς φύσης τους και απαιτούν εξελιγμένα συστήματα παρακολούθησης και προσαρμογής (Russell, 1980).
- **Μοντέλα βασισμένα στην αξιολόγηση:** Τα μοντέλα που βασίζονται στην αξιολόγηση δημιουργούν συναισθήματα με βάση την αξιολόγηση των καταστάσεων από τον NPC. Αυτά τα μοντέλα είναι ιδανικά για σύνθετα σενάρια λήψης αποφάσεων, όπου οι NPCs πρέπει να αξιολογήσουν απειλές και ευκαιρίες. Για παράδειγμα, ο ranged NPC μπορεί να αξιολογήσει την κατάσταση της υγείας του και το επίπεδο απειλής των κοντινών εχθρών, προκαλώντας φόβο όταν η υγεία του είναι χαμηλή, αλλά μεταβαίνοντας σε αποφασιστικότητα καθώς βρίσκει κάλυψη και θεραπεύεται. Παρόλο που τα μοντέλα

εκτίμησης είναι πολύ εξελιγμένα, είναι απαιτητικά σε πόρους και απαιτούν λεπτομερή μοντελοποίηση σεναρίων (Scherer, 2001).

Επιλογή για το έργο: Για το έργο αυτό επιλέχθηκε μια υβριδική προσέγγιση που συνδυάζει διακριτά και διαστατικά μοντέλα με την ενσωμάτωση ορισμένων μηχανισμών που βασίζονται στην αξιολόγηση, όπου αυτό είναι απαραίτητο. Αυτό το υβριδικό μοντέλο επιτρέπει στους NPCs να επιδεικνύουν τόσο σαφείς συναισθηματικές αντιδράσεις (όπως φόβο όταν ακούνε πυροβολισμούς) όσο και πιο διαφοροποιημένες μεταβάσεις στις συναισθηματικές καταστάσεις (όπως η σταδιακή μετάβαση από το φόβο στο θυμό καθώς ένας NPC προσαρμόζεται στη μάχη). Για παράδειγμα:

- Ο **melee NPC** δείχνει θυμό και αποφασιστικότητα όταν εμπλέκεται σε μάχη από κοντά, αλλά αν αποκρούσει επιτυχώς μια επίθεση, μπορεί να επιδείξει αυξημένη αυτοπεποίθηση.
- Ο **ranged NPC** μπορεί να δείξει φόβο και να υποχωρήσει όταν η υγεία του είναι χαμηλή, και στη συνέχεια να μετατραπεί σε προσεκτική αποφασιστικότητα καθώς θα καλύπτεται και θα ετοιμάζεται να θεραπευτεί.

Η ενσωμάτωση των μηχανισμών αξιολόγησης προσθέτει βάθος σε αυτά τα μοντέλα, επιτρέποντας στους NPCs να αξιολογούν καταστάσεις με βάση το πλαίσιο. Για παράδειγμα, οι ουδέτεροι NPCs μπορούν να αξιολογήσουν το περιβάλλον τους: όταν ακούν πυροβολισμούς, μεταβαίνουν σε κατάσταση τρόμου, ενώ η παρατήρηση μίας παίκτριας που νικά έναν εχθρό μπορεί να οδηγήσει σε ανακούφιση ή χαρά, που αντανάκλαται σε συμπεριφορές όπως ζητωκραυγές ή κλάματα.

Προσαρμογή και ρύθμιση για NPCs

Καθορισμός συναισθηματικών ερεθισμάτων: Τα συναισθηματικά ερεθίσματα είναι τα εναύσματα που προκαλούν μια συναισθηματική αντίδραση σε έναν NPC. Αυτά τα ερεθίσματα προσαρμόστηκαν με βάση τους συγκεκριμένους ρόλους και τις συμπεριφορές κάθε NPC στο έργο. Για παράδειγμα:

- Ο **melee NPC** βιώνει θυμό όταν βλέπει τον παίκτη, γεγονός που προκαλεί επιθετική συμπεριφορά, όπως το να βγάλει το όπλο του από τη θήκη και να επιτεθεί.
- Ο **ranged NPC** δείχνει φόβο όταν η υγεία του πέσει κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο, γεγονός που τον ωθεί να υποχωρήσει σε κάλυψη και να θεραπευτεί.
- Οι **neutral NPCs** αντιδρούν συναισθηματικά σε συγκεκριμένα γεγονότα: το άκουσμα ενός όπλου προκαλεί φόβο, ενώ η θέαση της παίκτριας να σκοτώνει έναν εχθρό προκαλεί νικηφόρα ή ανακουφισμένη αντίδραση.

Αυτά τα συναισθηματικά ερεθίσματα υλοποιήθηκαν με τη χρήση κόμβων υπό όρους μέσα στα δέντρα συμπεριφοράς, επιτρέποντας στους NPCs να αντιδρούν κατάλληλα σε ερεθίσματα εντός του παιχνιδιού με βάση τη συναισθηματική τους κατάσταση.

Χαρτογράφηση συναισθημάτων σε συμπεριφορές: Μόλις ενεργοποιηθούν τα συναισθήματα, πρέπει να αντιστοιχιστούν σε συμπεριφορές που αντικατοπτρίζουν αυτές τις συναισθηματικές καταστάσεις. Για παράδειγμα, αν ο NPC μάχης βιώνει θυμό, το δέντρο συμπεριφοράς του τον κατευθύνει να εμπλακεί σε μάχη με τον παίκτη. Αν ο ranged NPC αισθάνεται φόβο, αναζητά κάλυψη και προσπαθεί να θεραπευτεί. Ομοίως, οι neutral NPCs εκφράζουν φόβο με το να φεύγουν όταν χτυπηθούν και αντιδρούν συναισθηματικά σε γεγονότα όπως ο θάνατος ή η νίκη του παίκτη.

Η ένταση αυτών των συναισθηματικών αντιδράσεων διαμορφώνεται από παραμέτρους στα δέντρα συμπεριφοράς, διασφαλίζοντας ότι οι συμπεριφορές εξελίσσονται ρεαλιστικά με την πάροδο του χρόνου. Για παράδειγμα, καθώς μειώνεται η υγεία του ranged NPC, ο φόβος του κλιμακώνεται, καθιστώντας τον πιο πιθανό να υποχωρήσει νωρίτερα.

Επιμονή στη συναισθηματική κατάσταση: Οι συναισθηματικές καταστάσεις δεν είναι μεμονωμένες - επιμένουν και επηρεάζουν τις μελλοντικές συμπεριφορές. Αυτή η επιμονή παρακολουθείται μέσω των μεταβλητών συναισθηματικής κατάστασης που είναι αποθηκευμένες στον blackboard. Για παράδειγμα, αφού υποστεί επανειλημμένα ζημιά, ο **ranged NPC** μπορεί να παραμείνει σε μια αυξημένη κατάσταση φόβου, καθιστώντας τον πιο προσεκτικό και αμυντικό στις επόμενες συναντήσεις. Ομοίως, ο **melee NPC** που αποκρούει επιτυχώς πολλαπλές επιθέσεις μπορεί να γίνει πιο σίγουρος και επιθετικός.

Αυτή η συναισθηματική επιμονή συμβάλλει σε μια πιο δυναμική εμπειρία παιχνιδιού, όπου οι συμπεριφορές των NPCs διαμορφώνονται από τις εξελισσόμενες συναισθηματικές τους καταστάσεις και όχι από μεμονωμένες αντιδράσεις.

Συντονισμός συναισθηματικών αντιδράσεων

Εξισορρόπηση της πολυπλοκότητας και της σαφήνειας: Οι συναισθηματικές αντιδράσεις συντονίστηκαν προσεκτικά ώστε να επιτευχθεί ισορροπία μεταξύ πολυπλοκότητας και σαφήνειας. Ενώ ο στόχος ήταν να δημιουργηθούν NPCs που παρουσιάζουν ένα ευρύ φάσμα συναισθηματικών καταστάσεων, ήταν εξίσου σημαντικό να διασφαλιστεί ότι αυτά τα συναισθήματα ήταν κατανοητά για τον παίκτη. Για παράδειγμα, ο φόβος εκφράστηκε με σαφήνεια μέσω συμπεριφορών όπως η υποχώρηση ή η κάλυψη, ενώ ο θυμός εκφράστηκε μέσω επιθετικών επιθέσεων. Αυτή η σαφήνεια ενισχύει την εμπύθιση της παίκτριας και την αλληλεπίδραση με τους NPCs.

Διαχείριση της συναισθηματικής έντασης: Η ένταση των συναισθηματικών αντιδράσεων ρυθμίστηκε επίσης για να αποτρέψει την υπερβολικά ακανόνιστη συμπεριφορά των NPCs. Για παράδειγμα, ο **ranged NPC** υποχωρεί μόνο όταν η υγεία του φτάσει σε ένα κρίσιμο όριο, διασφαλίζοντας ότι δεν αντιδρά πρόωρα ή ακατάλληλα. Ομοίως, οι **neutral NPCs** αντιδρούν συναισθηματικά στο περιβάλλον τους, αλλά οι αντιδράσεις αυτές είναι κατάλληλες για το πλαίσιο και κλιμακώνονται ή αποκλιμακώνονται ανάλογα με την κατάσταση.

Συναισθηματική αλληλεπίδραση μεταξύ NPCs: Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των NPCs επηρεάζονταν επίσης από τη συναισθηματική τους κατάσταση. Για παράδειγμα, ένας neutral NPC μπορεί να ζητωκραυγάζει όταν βλέπει την παίκτρια να νικάει έναν εχθρό ή να φεύγει τρομαγμένος αν γίνει μάρτυρας βίας. Αυτές οι συναισθηματικές αλληλεπιδράσεις προσθέτουν βάθος στο παιχνίδι και δημιουργούν ευκαιρίες για αναδυόμενο gameplay, όπου οι συναισθηματικές καταστάσεις των NPCs επηρεάζουν τις αλληλεπιδράσεις τους τόσο με την παίκτρια όσο και μεταξύ τους.

Προκλήσεις και λύσεις στη συναισθηματική ολοκλήρωση

Μια από τις κύριες προκλήσεις για την ενσωμάτωση της συναισθηματικής ανταπόκρισης ήταν να διασφαλιστεί ότι τα συναισθηματικά μοντέλα δεν θα εισάγουν υπερβολική υπολογιστική επιβάρυνση. Αυτό αντιμετωπίστηκε με τη βελτιστοποίηση των συναισθηματικών μοντέλων ώστε να μειωθεί η συχνότητα των ενημερώσεων και να ελαχιστοποιηθεί η κατανάλωση πόρων χωρίς να διακυβεύεται το βάθος των συναισθηματικών συμπεριφορών.

Μια άλλη πρόκληση ήταν η διατήρηση της συνέπειας της συμπεριφοράς των NPCs. Πραγματοποιήθηκαν αυστηρές δοκιμές, με βάσει επαναληπτικών παρατηρήσεων, για να διασφαλιστεί ότι οι NPCs αντιδρούσαν προβλέψιμα και κατάλληλα σε μια σειρά από καταστάσεις στο παιχνίδι. Αυτή η δοκιμή επέτρεψε βελτιώσεις στα δέντρα συμπεριφοράς και στα συναισθηματικά ερεθίσματα για να διασφαλιστεί ότι η συμπεριφορά των NPCs παρέμενε συνεπής και ελκυστική.

Αποτελέσματα της συναισθηματικής ολοκλήρωσης

Η ενσωμάτωση της συναισθηματικής ανταπόκρισης ενίσχυσε σημαντικά το βάθος και την πολυπλοκότητα των αλληλεπιδράσεων των NPCs. Οι NPCs παρουσίαζαν μια σειρά συναισθηματικών συμπεριφορών που εξελίσσονταν με την πάροδο του χρόνου, δημιουργώντας μια πιο καθηλωτική και δυναμική εμπειρία παιχνιδιού. Η επιμονή των συναισθηματικών καταστάσεων συνέβαλε σε πιο ρεαλιστικές και καθοδηγούμενες από το πλαίσιο συμπεριφορές, ενώ η ισορροπία μεταξύ συναισθηματικής πολυπλοκότητας και σαφήνειας εξασφάλισε ότι οι παίκτες μπορούσαν εύκολα να ερμηνεύσουν τις αντιδράσεις των NPCs.

Συμπερασματικά, η ενσωμάτωση συναισθηματικών μοντέλων στα συστήματα NPC επέτρεψε τη δημιουργία χαρακτήρων που θα μπορούσαν να συμμετέχουν σε σύνθετες, συναισθηματικά καθοδηγούμενες αποφάσεις. Αυτή η πρόοδος συνέβαλε στον συνολικό ρεαλισμό του κόσμου του παιχνιδιού, παρέχοντας μια πιο πλούσια και ελκυστική εμπειρία για τους παίκτες.

3.4.2 Συναισθηματικά ερεθίσματα και αντιδράσεις

Η ενσωμάτωση των συναισθηματικών ερεθισμάτων και αντιδράσεων στα συστήματα NPC παίζει κρίσιμο ρόλο στη δημιουργία αξιόπιστων και ελκυστικών χαρακτήρων σε ένα περιβάλλον βιντεοπαιχνιδιών. Τα συναισθηματικά ερεθίσματα χρησιμεύουν ως τα εναύσματα που προκαλούν συναισθηματικές αντιδράσεις στους NPCs, ενώ οι συναισθηματικές αντιδράσεις

είναι οι συμπεριφορές που εκδηλώνονται ως αποτέλεσμα αυτών των συναισθηματικών καταστάσεων. Αυτή η ενότητα εμβαθύνει στην αντιστοίχιση των συναισθημάτων σε συμπεριφορές NPCs και στην εφαρμογή της συναισθηματικής προσαρμογής σε πραγματικό χρόνο, τα οποία είναι απαραίτητα για τη δημιουργία δυναμικών και ανταποκρινόμενων NPCs.

Χαρτογράφηση συναισθημάτων σε συμπεριφορές NPCs

Η αντιστοίχιση συναισθημάτων σε συμπεριφορές NPCs περιλαμβάνει τη μετάφραση αφηρημένων συναισθηματικών καταστάσεων σε συγκεκριμένες ενέργειες που μπορούν να εκτελέσουν οι NPCs στον κόσμο του παιχνιδιού. Αυτή η διαδικασία είναι ζωτικής σημασίας για να διασφαλιστεί ότι οι NPCs όχι μόνο βιώνουν τα συναισθήματα με ρεαλιστικό τρόπο αλλά και εκφράζουν αυτά τα συναισθήματα μέσω συμπεριφορών που είναι κατάλληλες για το πλαίσιο και ενισχύουν την εμπειρία παιχνιδιού.

Καθορισμός συναισθηματικών ερεθισμάτων: Τα συναισθηματικά ερεθίσματα είναι τα συγκεκριμένα γεγονότα ή εναύσματα που προκαλούν μια συναισθηματική αντίδραση στους NPCs. Αυτά τα ερεθίσματα μπορεί να είναι εξωτερικά, όπως μια ξαφνική επίθεση από έναν εχθρό, ή εσωτερικά, όπως η κατάσταση της υγείας του ίδιου του NPC ή η ευημερία ενός συμμάχου. Το πρώτο βήμα για την αντιστοίχιση των συναισθημάτων σε συμπεριφορές είναι ο ορισμός αυτών των ερεθισμάτων με βάση τους ρόλους και τους στόχους των NPCs μέσα στο παιχνίδι.

Για παράδειγμα, ένας NPC που είναι προσανατολισμένος στη μάχη μπορεί να έχει συναισθηματικά ερεθίσματα που σχετίζονται με την επιτυχία ή την αποτυχία του στη μάχη. Εάν ο NPC νικήσει έναν εχθρό, αυτό μπορεί να προκαλέσει μια θετική συναισθηματική κατάσταση, όπως υπερηφάνεια ή αυτοπεποίθηση, που οδηγεί σε πιο επιθετική συμπεριφορά στις επόμενες συναντήσεις. Αντίθετα, αν ο NPC τραυματιστεί ή δει έναν σύμμαχο να πέφτει, αυτό θα μπορούσε να προκαλέσει φόβο ή θυμό, προκαλώντας αμυντικές αντιδράσεις ή αντίποινα.

Αυτά τα ερεθίσματα υλοποιήθηκαν με τη χρήση κόμβων υπό όρους μέσα στα δέντρα συμπεριφοράς, οι οποίοι αξιολογούν συνεχώς το περιβάλλον και την εσωτερική κατάσταση του NPC. Όταν πληρείται μια συγκεκριμένη συνθήκη, ενεργοποιείται η αντίστοιχη συναισθηματική κατάσταση και η συμπεριφορά του NPC προσαρμόζεται ανάλογα. Αυτή η προσέγγιση διασφαλίζει ότι οι NPCs μπορούν να ανταποκρίνονται δυναμικά στις συνεχώς μεταβαλλόμενες συνθήκες του κόσμου του παιχνιδιού, κάνοντάς τους να αισθάνονται πιο ζωντανό και να ανταποκρινόμενοι.

Χαρτογράφηση συναισθημάτων και δέντρα συμπεριφοράς: Μόλις ενεργοποιηθεί ένα συναίσθημα, πρέπει να αντιστοιχιστεί σε συγκεκριμένες συμπεριφορές που μπορεί να εκτελέσει ο NPC. Αυτή η διαδικασία χαρτογράφησης είναι κεντρική για τη δομή του δέντρου συμπεριφοράς, καθώς καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο τα συναισθήματα επηρεάζουν τη λήψη αποφάσεων και τις ενέργειες του NPC.

Κάθε συναίσθημα συνδέθηκε με ένα σύνολο συμπεριφορών που αντανάκλασαν τη φύση του εν λόγω συναισθήματος. Για παράδειγμα, ο φόβος μπορεί να αντιστοιχιστεί σε συμπεριφορές όπως η φυγή, η αναζήτηση κάλυψης ή η αποφυγή αντιπαράθεσης. Ο θυμός, από την άλλη πλευρά, θα μπορούσε να αντιστοιχιστεί σε συμπεριφορές όπως η πιο θυμωμένη επίθεση, η αγνόηση της προσωπικής ασφάλειας ή η στόχευση ενός συγκεκριμένου εχθρού που προκάλεσε τη συναισθηματική ενεργοποίηση.

Στο δέντρο συμπεριφοράς, αυτές οι συμπεριφορές οργανώθηκαν σε κόμβους ακολουθιών και επιλογής, οι οποίοι υπαγόρευαν τη σειρά και τις συνθήκες υπό τις οποίες εκτελούνταν. Για παράδειγμα, εάν ο φόβος ενός NPC ενεργοποιείται από μια συντριπτική εχθρική δύναμη, το δέντρο συμπεριφοράς μπορεί να δίνει προτεραιότητα στη φυγή έναντι της μάχης. Ωστόσο, εάν η διαφυγή δεν είναι δυνατή, το δέντρο μπορεί να μετατοπιστεί σε αμυντική στάση, χρησιμοποιώντας κάλυψη και αποφεύγοντας την άμεση αντιπαράθεση.

Αυτή η ιεραρχική οργάνωση των συμπεριφορών διασφαλίζει ότι οι NPCs μπορούν να επιδεικνύουν μια σειρά αντιδράσεων σε ένα μόνο συναίσθημα, ανάλογα με το πλαίσιο και τους τρέχοντες στόχους τους. Επιτρέπει επίσης πιο σύνθετες συναισθηματικές αλληλεπιδράσεις, όπου πολλαπλά συναισθήματα επηρεάζουν τη συμπεριφορά ταυτόχρονα. Για παράδειγμα, ένας NPC που βιώνει τόσο φόβο όσο και θυμό μπορεί να ισορροπεί μεταξύ υποχώρησης και αντεκδίκησης, δημιουργώντας μια πιο διαφοροποιημένη και απρόβλεπτη αντίδραση που ενισχύει το gameplay.

Συναισθηματική ένταση και διαμόρφωση της συμπεριφοράς: Η ένταση ενός συναισθήματος παίζει σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό του τρόπου με τον οποίο επηρεάζει τη συμπεριφορά των NPCs. Η ένταση του συναισθήματος μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με τη δύναμη του εναύσματος και την τρέχουσα κατάσταση του NPC, οδηγώντας σε διαφορετικά αποτελέσματα συμπεριφοράς.

Για παράδειγμα, μια ήπια αντίδραση φόβου μπορεί να οδηγήσει σε προσεκτική συμπεριφορά, όπως η διατήρηση της απόστασης από έναν εχθρό, ενώ μια έντονη αντίδραση φόβου μπορεί να οδηγήσει σε πλήρη υποχώρηση. Ομοίως, ένα χαμηλό επίπεδο θυμού μπορεί να οδηγήσει τον NPC σε αμυντική μάχη, ενώ ένας έντονος θυμός μπορεί να προκαλέσει απερίσκεπτη επιθετικότητα, όπου ο NPC ορμά στη μάχη χωρίς να λαμβάνει υπόψη του την προσωπική του ασφάλεια.

Για την υλοποίηση αυτού του στόχου, η συναισθηματική ένταση αντιστοιχίστηκε σε παραμέτρους διαμόρφωσης της συμπεριφοράς μέσα στο δέντρο συμπεριφοράς. Αυτές οι παράμετροι προσαρμόζαν τις ενέργειες του NPC με βάση την τρέχουσα ένταση του συναισθήματος, επιτρέποντας ένα εύρος αντιδράσεων που αντανάκλασε τόσο την ένταση του συναισθήματος όσο και το πλαίσιο της κατάστασης. Για παράδειγμα, η ταχύτητα και η κατεύθυνση της κίνησης μπορεί να διαμορφώνεται με βάση την ένταση του φόβου, με υψηλότερα επίπεδα φόβου να οδηγούν σε ταχύτερα, πιο ακανόνιστα μοτίβα κίνησης.

Επιπλέον, η συναισθηματική ένταση επηρέασε τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων εντός του δέντρου συμπεριφοράς. Για παράδειγμα, ένας NPC με υψηλό επίπεδο φόβου μπορεί να δώσει προτεραιότητα στην αυτοσυντήρηση πάνω απ' όλα, εγκαταλείποντας ακόμη και στόχους ή συμμάχους για να ξεφύγει από μια αντιληπτή απειλή. Αντίθετα, ένας NPC με υψηλή ένταση θυμού μπορεί να αγνοήσει τις αμυντικές στρατηγικές και να επικεντρωθεί αποκλειστικά στην επίθεση στην πηγή του θυμού του, ακόμη και αν αυτό σημαίνει ότι εκτίθεται σε κίνδυνο.

Αυτή η δυναμική διαφοροποίηση της συμπεριφοράς με βάση τη συναισθηματική ένταση πρόσθεσε βάθος στις αλληλεπιδράσεις των NPCs, κάνοντάς τες πιο απρόβλεπτες και ελκυστικές. Επίσης, επέτρεψε την ανάπτυξη πιο σύνθετων σεναρίων όπου οι παίκτες μπορούσαν να επηρεάσουν τη συμπεριφορά των NPCs μέσω ενεργειών που άλλαζαν τη συναισθηματική τους κατάσταση, δημιουργώντας ευκαιρίες για αναδυόμενο gameplay.

Συναισθηματική έκφραση και ανατροφοδότηση παικτών: Η έκφραση των συναισθημάτων μέσω της συμπεριφοράς των NPCs δεν είναι μόνο σημαντική για την εσωτερική λήψη αποφάσεων, αλλά και για την παροχή ανατροφοδότησης στους παίκτες. Οι σαφείς και συνεπείς συναισθηματικές εκφράσεις βοηθούν τους παίκτες να κατανοήσουν την ψυχική κατάσταση του NPC και να προβλέψουν τις ενέργειές του, κάτι που είναι ζωτικής σημασίας για το στρατηγικό παιχνίδι.

Για να επιτευχθεί αυτό, οι συναισθηματικές αντιδράσεις των NPCs σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να είναι οπτικά και συμπεριφορικά διακριτές, διασφαλίζοντας ότι οι παίκτες θα μπορούσαν εύκολα να τις αναγνωρίσουν και να τις ερμηνεύσουν. Για παράδειγμα, ένας NPC που βιώνει φόβο μπορεί να τρέμει εμφανώς, να κοιτάζει γύρω του νευρικά ή να παίρνει αμυντική στάση, ενώ ένας NPC που νιώθει θυμό μπορεί να σφίγγει τις γροθιές του, να σηκώνει το όπλο του ή να κινείται επιθετικά προς το στόχο του.

Αυτές οι οπτικές ενδείξεις συμπληρώνονταν από αλλαγές στη συμπεριφορά, όπως μεταβαλλόμενα μοτίβα κίνησης, αλλαγές στη συχνότητα των επιθέσεων ή διαφοροποιήσεις στις φωνητικές γραμμές ή στις εκφράσεις του προσώπου. Συνδυάζοντας οπτικές και συμπεριφορικές εκφράσεις συναισθημάτων, το σύστημα παρείχε μια πλούσια και καθηλωτική εμπειρία που ενίσχυε την ικανότητα των παικτών να αλληλεπιδρούν με τους NPCs και να ανταποκρίνονται σε αυτούς.

Επιπλέον, οι συναισθηματικές καταστάσεις των NPCs σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να εξελίσσονται με την πάροδο του χρόνου, παρέχοντας ανατροφοδότηση όχι μόνο για τα άμεσα γεγονότα αλλά και για τις μακροπρόθεσμες αλληλεπιδράσεις. Για παράδειγμα, αν οι παίκτες βοηθούν επανειλημμένα έναν NPC ή επιτυγχάνουν κοινούς στόχους, ο NPC μπορεί να αναπτύξει μια αίσθηση εμπιστοσύνης ή συντροφικότητας, οδηγώντας σε πιο συνεργατική και υποστηρικτική συμπεριφορά σε μελλοντικές συναντήσεις. Αντίθετα, αν οι παίκτες ενεργούν συστηματικά ενάντια στα συμφέροντα του NPC, αυτός μπορεί να αναπτύξει δυσαρέσκεια ή δυσπιστία, με αποτέλεσμα πιο εχθρικές αλληλεπιδράσεις.

Αυτές οι συναισθηματικές δυναμικές δημιούργησαν μια βαθύτερη και πιο προσωπική σύνδεση μεταξύ των παικτών και των NPCs, κάνοντας τον κόσμο του παιχνιδιού να μοιάζει πιο ζωντανός και να ανταποκρίνεται στις ενέργειες των παικτών.

Συναισθηματική προσαρμογή σε πραγματικό χρόνο

Η συναισθηματική προσαρμογή σε πραγματικό χρόνο είναι η διαδικασία με την οποία οι NPCs προσαρμόζουν συνεχώς τις συναισθηματικές τους καταστάσεις και συμπεριφορές ως απάντηση στις μεταβαλλόμενες συνθήκες μέσα στο παιχνίδι. Αυτή η ικανότητα είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της ψευδαίσθησης νοημοσύνης και αυτονομίας των NPCs, καθώς τους επιτρέπει να αντιδρούν δυναμικά τόσο σε προβλέψιμα όσο και σε απρόβλεπτα γεγονότα.

Συνεχής παρακολούθηση των συναισθηματικών ερεθισμάτων: Για να είναι αποτελεσματική η συναισθηματική προσαρμογή σε πραγματικό χρόνο, οι NPCs πρέπει να είναι σε θέση να παρακολουθούν συνεχώς το περιβάλλον και τις εσωτερικές τους καταστάσεις για συναφή συναισθηματικά ερεθίσματα. Αυτή η παρακολούθηση υλοποιήθηκε με τη χρήση κόμβων υπηρεσιών εντός του δέντρου συμπεριφοράς, οι οποίοι έλεγαν τακτικά τις συνθήκες που θα μπορούσαν να επηρεάσουν τη συναισθηματική κατάσταση του NPC.

Αυτοί οι κόμβοι εξυπηρέτησης λειτουργούσαν σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα ανάλογα με τη φύση του ερεθίσματος. Για παράδειγμα, τα ερεθίσματα που αφορούσαν άμεσες απειλές, όπως εχθρικές επιθέσεις ή ξαφνικές περιβαλλοντικές αλλαγές, ελέγχονταν συχνά για να διασφαλιστεί η ταχεία αντίδραση. Άλλες ενεργοποιήσεις, όπως ο μακροπρόθεσμος αντίκτυπος της σχέσης του NPC με τους παίκτες ή τους συμμάχους, ελέγχονταν λιγότερο συχνά, αντανakλώντας την πιο σταδιακή επιρροή τους στις συναισθηματικές καταστάσεις.

Η συνεχής παρακολούθηση των σκανδάλων εξασφάλιζε ότι οι NPCs μπορούσαν να προσαρμόζουν τα συναισθήματα και τις συμπεριφορές τους σε πραγματικό χρόνο, ανταποκρινόμενοι τόσο σε άμεσες απειλές όσο και σε εξελισσόμενες καταστάσεις. Αυτή η δυνατότητα ήταν ζωτικής σημασίας για τη δημιουργία NPCs που έμοιαζαν να ανταποκρίνονται και να είναι ζωντανοί, ικανοί να λαμβάνουν έξυπνες αποφάσεις με βάση μια συνεχώς ενημερωμένη κατανόηση του περιβάλλοντός τους.

Δυναμική προσαρμογή των συναισθηματικών καταστάσεων: Μόλις εντοπιζόταν ένα ερέθισμα, η συναισθηματική κατάσταση του NPC προσαρμοζόταν δυναμικά με βάση τη φύση του ερεθίσματος και το τρέχον συναισθηματικό πλαίσιο του NPC. Η προσαρμογή αυτή περιλάμβανε τόσο την ενεργοποίηση νέων συναισθηματικών καταστάσεων όσο και τη διαμόρφωση των υφιστάμενων.

Για παράδειγμα, αν ένας NPC που ήδη βίωνε ήπιο φόβο εντοπίσει μια νέα απειλή, το επίπεδο φόβου του μπορεί να αυξηθεί, οδηγώντας σε μια πιο έντονη συμπεριφορική αντίδραση. Αντίθετα, αν η απειλή εξουδετερώθηκε, το επίπεδο φόβου μπορεί να μειωθεί, επιτρέποντας στον NPC να επιστρέψει σε μια πιο ουδέτερη ή σίγουρη κατάσταση.

Αυτή η δυναμική προσαρμογή διευκολύνθηκε από τη χρήση μεταβλητών συναισθηματικής κατάστασης στον blackboard, οι οποίες παρακολουθούσαν την ένταση και τη διάρκεια κάθε συναισθήματος. Αυτές οι μεταβλητές ενημερώνονταν συνεχώς με βάση τις εμπειρίες του NPC, επιτρέποντας την απρόσκοπτη μετάβαση μεταξύ διαφορετικών συναισθηματικών καταστάσεων.

Εκτός από την προσαρμογή των μεμονωμένων συναισθημάτων, το σύστημα διαχειριζόταν επίσης τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ πολλαπλών συναισθημάτων. Για παράδειγμα, εάν ένας NPC βίωνε ταυτόχρονα φόβο και θυμό, το σύστημα εξισορροπούσε αυτά τα συναισθήματα για να καθορίσει τη συνολική κατάσταση και συμπεριφορά του NPC. Αυτή η πράξη εξισορρόπησης ήταν ζωτικής σημασίας για τη δημιουργία NPCs που μπορούσαν να επιδεικνύουν σύνθετες και ρεαλιστικές συναισθηματικές αντιδράσεις, αντί για απλή εναλλαγή μεταξύ διακριτών καταστάσεων.

Βελτιστοποίηση για απόδοση σε πραγματικό χρόνο: Η διασφάλιση ότι το σύστημα συναισθηματικής προσαρμογής θα μπορούσε να λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο χωρίς να επηρεάζει αρνητικά την απόδοση του παιχνιδιού ήταν μια βασική πρόκληση. Για την αντιμετώπισή του, χρησιμοποιήθηκαν διάφορες τεχνικές βελτιστοποίησης για τη διαχείριση του υπολογιστικού φορτίου της συναισθηματικής επεξεργασίας.

Μια τεχνική βελτιστοποίησης περιλάμβανε τη χρήση μηχανισμών προσωρινής αποθήκευσης στον blackboard για την αποθήκευση των αποτελεσμάτων των πρόσφατων συναισθηματικών αξιολογήσεων. Με την επαναχρησιμοποίηση αυτών των αποτελεσμάτων στην προσωρινή

μνήμη όταν ήταν απαραίτητο, το σύστημα ελαχιστοποίησε την ανάγκη για περιττούς υπολογισμούς, βελτιώνοντας περαιτέρω τις επιδόσεις.

Επιπλέον, τα δέντρα συμπεριφοράς ήταν δομημένα έτσι ώστε να δίνουν προτεραιότητα στις πιο κρίσιμες συναισθηματικές αντιδράσεις, διασφαλίζοντας ότι οι NPCs θα μπορούσαν να ανταποκριθούν γρήγορα σε άμεσες απειλές ή ευκαιρίες. Αυτή η ιεράρχηση επιτεύχθηκε μέσω της χρήσης κόμβων επιλογής και ακολουθιών που αξιολογούσαν πρώτα τις πιο πειστικές συνθήκες, επιτρέποντας τη γρήγορη λήψη αποφάσεων ακόμη και σε πολύπλοκα σενάρια.

Δοκιμή και βελτίωση των συναισθηματικών αντιδράσεων: Η εφαρμογή των συναισθηματικών ενεργοποιήσεων και αντιδράσεων υποβλήθηκε σε αυστηρές δοκιμές και βελτιώσεις, ώστε να διασφαλιστεί ότι το σύστημα λειτουργούσε όπως προβλεπόταν και συνέβαλε θετικά στη συνολική εμπειρία παιχνιδιού.

Η δοκιμή περιλάμβανε τόσο αυτοματοποιημένες προσομοιώσεις όσο και χειροκίνητη δοκιμή παιχνιδιού, όπου οι NPCs παρατηρήθηκαν σε διάφορα σενάρια για να αξιολογηθούν οι συναισθηματικές τους αντιδράσεις. Το επίκεντρο αυτών των δοκιμών ήταν να διασφαλιστεί ότι οι NPCs αντιδρούσαν κατάλληλα σε διάφορα ερεθίσματα, ότι οι συναισθηματικές τους καταστάσεις εξελίσσονταν με πιστευτό τρόπο και ότι η συμπεριφορά τους παρέμενε συνεπής με το συναισθηματικό τους πλαίσιο.

Η ανατροφοδότηση από τις δοκιμές χρησιμοποιήθηκε για τη βελτίωση των συναισθηματικών μοντέλων, την προσαρμογή της αντιστοίχισης των συναισθημάτων σε συμπεριφορές και τη βελτιστοποίηση του συστήματος προσαρμογής σε πραγματικό χρόνο. Αυτή η επαναληπτική διαδικασία ήταν απαραίτητη για την επίτευξη μιας ισορροπίας μεταξύ ρεαλισμού, απόκρισης και παικτικότητας, διασφαλίζοντας ότι οι NPCs θα μπορούσαν να προσφέρουν μια συναρπαστική και καθηλωτική εμπειρία.

Αποτελέσματα της συναισθηματικής ολοκλήρωσης: Η επιτυχής ενσωμάτωση των συναισθηματικών ερεθισμάτων και αντιδράσεων στα συστήματα NPC οδήγησε σε σημαντική βελτίωση της συμπεριφοράς των NPCs, καθιστώντας τα πιο ευέλικτα, δυναμικά και ελκυστικά. Οι NPCs ήταν σε θέση να επιδεικνύουν ένα ευρύ φάσμα συναισθηματικών αντιδράσεων που επηρέαζαν τη λήψη αποφάσεων και τις αλληλεπιδράσεις τους με ουσιαστικό τρόπο.

Η προσαρμογή των συναισθημάτων σε πραγματικό χρόνο επέτρεψε στους NPCs να αντιδρούν δυναμικά στις μεταβαλλόμενες συνθήκες, δημιουργώντας μια πιο καθηλωτική και απρόβλεπτη εμπειρία παιχνιδιού. Αυτή η ικανότητα συνέβαλε επίσης στην ανάπτυξη σύνθετων, συναισθηματικά καθοδηγούμενων αφηγήσεων.

Συνολικά, η ενσωμάτωση των συναισθηματικών ερεθισμάτων και αντιδράσεων αποτέλεσε ένα σημαντικό βήμα προς τα εμπρός στην ανάπτυξη των NPCs, επιτρέποντας τη δημιουργία χαρακτήρων που δεν ήταν μόνο έξυπνοι και ικανοί, αλλά και συναισθηματικά εκφραστικοί και σχετικοί. Αυτή η πρόοδος όχι μόνο ενίσχυσε τον ρεαλισμό και το βάθος του παιχνιδιού, αλλά και άνοιξε νέες δυνατότητες για την αφήγηση ιστοριών και την εμπλοκή των παικτών.

3.4.3 Δοκιμή συναισθηματικών αντιδράσεων

Η δοκιμή των συναισθηματικών αντιδράσεων στα συστήματα NPC είναι μια κρίσιμη πτυχή της διασφάλισης ότι οι χαρακτήρες αυτοί συμπεριφέρονται με τρόπους που είναι τόσο ρεαλιστικοί όσο και ελκυστικοί. Οι συναισθηματικές αντιδράσεις επηρεάζουν σημαντικά τον τρόπο με τον οποίο οι NPCs αλληλεπιδρούν με τους παίκτες και άλλους NPCs, επηρεάζοντας άμεσα την εμπύθιση και τη συνολική εμπειρία των παικτών. Αυτή η ενότητα εξετάζει τις μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται για τη δοκιμή των συναισθηματικών αντιδράσεων, εστιάζοντας στην εσωτερική δοκιμή μέσω σεναρίων αλληλεπίδρασης με την παίκτρια και στην αξιολόγηση του ρεαλισμού και της εμπύθισης εντός του κόσμου του παιχνιδιού.

Σενάρια αλληλεπίδρασης παίκτη

Η δοκιμή συναισθηματικών αντιδράσεων σε σενάρια αλληλεπίδρασης με παίκτες είναι απαραίτητη για την αξιολόγηση του πόσο καλά οι NPCs ανταποκρίνονται στη δυναμική και απρόβλεπτη φύση της συμπεριφοράς των παικτών. Αυτά τα σενάρια προσομοιώνουν διάφορες αλληλεπιδράσεις εντός του παιχνιδιού, επιτρέποντας την παρατήρηση και τη βελτίωση των συναισθηματικών αντιδράσεων των NPCs.

Σχεδιασμός σεναρίων αλληλεπίδρασης: Το πρώτο βήμα για τη δοκιμή των συναισθηματικών αντιδράσεων ήταν η δημιουργία μιας ποικιλίας σεναρίων αλληλεπίδρασης με τον παίκτη, τα

οποία σχεδιάστηκαν για να προκαλέσουν τα συναισθηματικά συστήματα των NPCs. Αυτά τα σενάρια δημιουργήθηκαν για να καλύψουν ένα ευρύ φάσμα καταστάσεων στο παιχνίδι, όπως μάχη, εξερεύνηση, κοινωνική αλληλεπίδραση και λήψη αποφάσεων υπό πίεση.

1. **Σενάρια μάχης:** Αυτά τα σενάρια επικεντρώθηκαν στη δοκιμή του τρόπου με τον οποίο οι NPCs ανταποκρίνονται συναισθηματικά σε απειλές, τραυματισμούς και νίκες. Για παράδειγμα, ένας NPC μπορεί να επιδείξει θυμό όταν βλέπει την ήττα ενός συμμάχου ή αυτοπεποίθηση μετά την επικράτηση ενός εχθρού. Τα σενάρια μάχης σχεδιάστηκαν για να εκτιμηθεί κατά πόσο οι NPCs μπορούσαν να προσαρμόζονται δυναμικά τις συναισθηματικές τους καταστάσεις και συμπεριφορές καθώς εξελίσσονταν οι μάχες.
2. **Σενάρια κοινωνικής αλληλεπίδρασης:** Τα σενάρια κοινωνικής αλληλεπίδρασης εξέτασαν τις συναισθηματικές αντιδράσεις των NPCs κατά τη διάρκεια των αλληλεπιδράσεων με την παίκτρια και άλλους NPCs. Αυτά τα σενάρια αξιολόγησαν πόσο καλά οι NPCs μπορούσαν να εκφράσουν συναισθήματα όπως χαρά, θυμό, θλίψη ή έκπληξη.
3. **Λήψη αποφάσεων υπό πίεση:** Αυτά τα σενάρια έβαζαν τους NPC σε καταστάσεις που απαιτούσαν γρήγορες αποφάσεις υπό πίεση. Ο στόχος ήταν να αξιολογηθεί κατά πόσον οι NPCs μπορούσαν να επιδείξουν τα κατάλληλα συναισθήματα, όπως άγχος, φόβο ή αποφασιστικότητα, και κατά πόσον αυτά τα συναισθήματα επηρέαζαν τη λήψη αποφάσεων με τρόπο που να φαίνεται ρεαλιστικός και ελκυστικός.

Επαναληπτική δοκιμή και βελτίωση: Η δοκιμή των συναισθηματικών αντιδράσεων ήταν μια επαναληπτική διαδικασία, με κάθε σενάριο να δοκιμάζεται πολλές φορές υπό διαφορετικές συνθήκες. Οι παρατηρήσεις από κάθε γύρο χρησιμοποιήθηκαν για τη βελτίωση των συναισθηματικών μοντέλων, των δέντρων συμπεριφοράς και της συνολικής συμπεριφοράς των NPCs. Για παράδειγμα, εάν οι NPC αργούσαν να αντιδράσουν συναισθηματικά, έγιναν προσαρμογές στο χρόνο των συναισθηματικών ενεργοποιήσεων. Εάν οι NPCs παρουσίαζαν ακατάλληλες ή μη ρεαλιστικές αντιδράσεις, η συναισθηματική χαρτογράφηση επανεξετάστηκε για να ευθυγραμμιστεί καλύτερα με το πλαίσιο του παιχνιδιού.

Αξιολόγηση του ρεαλισμού και της εμπύθισης

Η αξιολόγηση του ρεαλισμού και της εμπύθισης των συναισθηματικών αντιδράσεων των NPCs είναι ζωτικής σημασίας για να διασφαλιστεί ότι αυτά τα συστήματα ενισχύουν την εμπειρία του παίκτη. Ο ρεαλισμός αναφέρεται στο πόσο πιστευτές είναι οι συναισθηματικές συμπεριφορές των NPCs στον κόσμο του παιχνιδιού, ενώ η εμπύθιση αναφέρεται στο πώς αυτές οι συμπεριφορές εμπλέκουν την παίκτρια και ενισχύουν τη συνολική εμπειρία του παιχνιδιού.

Κριτήρια ρεαλισμού:

1. **Συνέπεια:** Οι συναισθηματικές αντιδράσεις των NPCs έπρεπε να ευθυγραμμίζονται με τις καθιερωμένες προσωπικότητες, τους ρόλους και τις προηγούμενες εμπειρίες τους. Για παράδειγμα, ένας γενναίος πολεμιστής NPC θα πρέπει να δείχνει σταθερά θάρρος ή αποφασιστικότητα σε κίνδυνο. Οι παρατηρήσεις επικεντρώθηκαν στη διασφάλιση ότι οι NPC εμφανίζουν συνεπείς συναισθηματικές αντιδράσεις σε διαφορετικά σενάρια.
2. **Καταλληλότητα:** Συναισθηματικές αντιδράσεις έπρεπε να ταιριάζουν με την κατάσταση. Για παράδειγμα, ένας NPC που βλέπει την ήττα ενός συμμάχου θα πρέπει να εκφράζει θλίψη ή θυμό, όχι αδιαφορία. Η συναισθηματική καταλληλότητα αξιολογήθηκε παρατηρώντας πόσο καλά οι αντιδράσεις των NPCs ταίριαζαν με το πλαίσιο που έθετε η αφήγηση και η οικοδόμηση του κόσμου.
3. **Πολυπλοκότητα:** Οι ρεαλιστικές συναισθηματικές αντιδράσεις συχνά περιλαμβάνουν ένα μείγμα συναισθημάτων που εξελίσσονται με την πάροδο του χρόνου. Για παράδειγμα, ένας NPC μπορεί να νιώθει φόβο και αποφασιστικότητα όταν αντιμετωπίζει έναν ισχυρό εχθρό. Οι σύνθετες συναισθηματικές αντιδράσεις δοκιμάστηκαν παρατηρώντας NPCs σε σενάρια που προκαλούσαν πολύπλευρα συναισθήματα, διασφαλίζοντας ότι οι NPCs θα μπορούσαν να επιδείξουν πιστευτές και διαφοροποιημένες συμπεριφορές.

Μέτρηση της βύθισης:

1. **Εσωτερικές παρατηρήσεις:** Δεδομένου ότι δεν διεξήχθησαν άμεσες ανατροφοδοτήσεις ή συνεντεύξεις παικτών, οι εσωτερικές παρατηρήσεις της συμπεριφοράς των NPCs ως απάντηση σε προσομοιωμένους τρόπους παιχνιδιού

παρείχαν σημαντικές πληροφορίες. Οι παρατηρητές αξιολόγησαν τον τρόπο με τον οποίο οι συναισθηματικές αντιδράσεις συνέβαλαν στην εμπειρία του παίκτη, αναζητώντας ενδείξεις ότι τα συναισθήματα των NPCs ήταν ελκυστικά και καθηλωτικά, όπως η πρόκληση συναισθηματικών αντιδράσεων από την παίκτρια ή η επιρροή των αποφάσεων παιχνιδιού.

2. **Μετρικές συμπεριφοράς:** Μετρήσεις όπως η συχνότητα των συναισθηματικών αντιδράσεων των NPCs, η διάρκεια των αλληλεπιδράσεων της παίκτριας με τους NPCs που καθοδηγούνται συναισθηματικά και τα μοτίβα λήψης αποφάσεων που καθοδηγούνται από την παίκτρια αναλύθηκαν για τη μέτρηση της εμπύθισης. Για παράδειγμα, εάν οι παίκτες αλληλεπιδρούσαν περισσότερο με συναισθηματικά αντιδρώντες NPCs ή άλλαζαν στρατηγικές με βάση τα συναισθήματα των NPCs, αυτό υποδήλωνε έντονη εμπύθιση.
3. **Σχόλια από τον προγραμματιστή:** Τα επαναλαμβανόμενα σχόλια των προγραμματιστών, με βάση δοκιμές σε πραγματικό χρόνο και άμεσες παρατηρήσεις, βοήθησαν στην τελειοποίηση των συναισθηματικών συστημάτων. Η παρατήρηση του τρόπου με τον οποίο οι παίκτες αλληλεπιδρούσαν και αντιδρούσαν στις συναισθηματικές καταστάσεις των NPCs παρείχε πολύτιμα δεδομένα για τη συνεχή βελτίωση του συστήματος.

Προκλήσεις στη δοκιμή συναισθηματικών αντιδράσεων

Εξισορρόπηση της επαναληπτικότητας και της μεταβλητότητας: Μια πρόκληση ήταν να διασφαλιστεί ότι οι συναισθηματικές αντιδράσεις των NPCs παρέμεναν ποικίλες και δεν γίνονταν προβλέψιμες ή επαναλαμβανόμενες. Αυτό αντιμετωπίστηκε με την εισαγωγή μεταβλητότητας στις αντιδράσεις των NPCs με βάση την τρέχουσα συναισθηματική τους κατάσταση, τις σχέσεις και το πλαίσιο του παιχνιδιού.

Εξισορρόπηση της πολυπλοκότητας και της σαφήνειας: Ενώ η συναισθηματική πολυπλοκότητα προσθέτει βάθος, μπορεί επίσης να αποκρύψει την πρόθεση των NPCs. Η δοκιμή επικεντρώθηκε στη διασφάλιση ότι οι συναισθηματικές αντιδράσεις ήταν αρκετά σαφείς, διατηρώντας παράλληλα τις αποχρώσεις και τη μεταβλητότητα.

Περιορισμοί απόδοσης: Συναισθηματική προσαρμογή σε πραγματικό χρόνο που πρέπει να εκτελείται αποτελεσματικά χωρίς να προκαλεί προβλήματα επιδόσεων. Εφαρμόστηκαν βελτιστοποιήσεις, όπως η μείωση της συχνότητας των ενημερώσεων για συναισθηματικές καταστάσεις χαμηλότερης προτεραιότητας και η προσωρινή αποθήκευση πρόσφατων συναισθηματικών αξιολογήσεων, για τη διαχείριση του υπολογιστικού φορτίου.

Αποτελέσματα των δοκιμών συναισθηματικής αντίδρασης

Η επαναληπτική δοκιμή και βελτίωση των συναισθηματικών αντιδράσεων των NPCs οδήγησε σε σημαντικές βελτιώσεις στον ρεαλισμό και την εμπύθιση. Οι NPCs παρουσίασαν ένα ευρύ φάσμα συνεπών, κατάλληλων και σύνθετων συναισθηματικών συμπεριφορών, δημιουργώντας έναν πιο ελκυστικό κόσμο παιχνιδιού. Οι παρατηρήσεις και οι μετρήσεις έδειξαν ότι οι NPCs που ανταποκρίνονται συναισθηματικά ενίσχυσαν τη σύνδεση της παίκτριας με τους χαρακτήρες, εμπάθουναν την αφηγηματική εμπλοκή και ενθάρρυναν πιο δυναμικό παιχνίδι.

Βελτιώνοντας συνεχώς τα συναισθηματικά συστήματα με βάση τις δοκιμές σε πραγματικό χρόνο και την εσωτερική ανατροφοδότηση, οι NPCs ήταν σε θέση να προσφέρουν μια πλούσια, συναισθηματικά καθοδηγούμενη εμπειρία που ευθυγραμμίζεται με τους στόχους του έργου.

3.5 Συλλογή και ανάλυση δεδομένων

Η συλλογή και η ανάλυση δεδομένων είναι κρίσιμα στοιχεία της ερευνητικής διαδικασίας, ιδίως όταν αναπτύσσονται και αξιολογούνται συστήματα NPC σε βιντεοπαιχνίδια. Η παρούσα ενότητα περιγράφει τις μεθοδολογίες που χρησιμοποιήθηκαν για τη συλλογή και την ανάλυση δεδομένων, εστιάζοντας στις εσωτερικές δοκιμές και την παρακολούθηση των επιδόσεων και όχι στις εξωτερικές δοκιμές χρηστών, δεδομένου του πεδίου εφαρμογής του έργου. Ο στόχος αυτών των δραστηριοτήτων ήταν να διασφαλιστεί ότι τα συστήματα NPC που αναπτύχθηκαν ήταν τόσο αποτελεσματικά όσο και ελκυστικά, με συναισθηματική ανταπόκριση που συνέβαλε θετικά στη συνολική εμπειρία παιχνιδιού.

3.5.1 Ρύθμιση δοκιμών χρήστη

Σε αυτό το έργο, η συλλογή δεδομένων έγινε εξ ολοκλήρου αυτοελεγχόμενα, εστιάζοντας στις προσωπικές εμπειρίες παιχνιδιού και στις αλληλεπιδράσεις με τους NPCs. Αυτή η πρακτική προσέγγιση επέτρεψε την άμεση ανατροφοδότηση σχετικά με το πόσο καλά λειτουργούσε η συναισθηματική ανταπόκριση των NPCs και πώς επηρέαζε το παιχνίδι. Στόχος ήταν να διασφαλιστεί ότι τα συστήματα NPC ήταν αποτελεσματικά, ελκυστικά και συνέβαλαν θετικά στη συνολική εμπειρία.

Ρύθμιση δοκιμών

Δεδομένου ότι δεν υπήρχαν εξωτερικοί συμμετέχοντες, όλες οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν αυτοελεγχόμενα κατά τη διάρκεια συνεδριών αυτοδοκιμής. Οι γνώσεις που αποκτήθηκαν από αυτές τις συνεδρίες χρησιμοποιήθηκαν για τη βελτίωση των συμπεριφορών των NPCs, των συναισθηματικών αντιδράσεων και της συνολικής απόδοσης στο παιχνίδι.

1. **Περιβάλλον δοκιμών:** Το περιβάλλον δοκιμών διαμορφώθηκε έτσι ώστε να μοιάζει πολύ με την τυπική εγκατάσταση των παικτών-στόχων, με υλικό υψηλής απόδοσης και βέλτιστες ρυθμίσεις παιχνιδιού. Αυτό εξασφάλισε ότι το παιχνίδι και τα συστήματα NPC δοκιμάστηκαν υπό τις καλύτερες δυνατές συνθήκες, επιτρέποντας τον εντοπισμό πιθανών προβλημάτων απόδοσης ή βελτιώσεων που πρέπει να γίνουν.
2. **Πρωτόκολλα δοκιμών:** Ακολουθήθηκε ένα δομημένο πρωτόκολλο δοκιμών, με συγκεκριμένα σενάρια που δημιουργήθηκαν για να δοκιμαστούν διαφορετικές συμπεριφορές NPC και συναισθηματικά ερεθίσματα. Τα σενάρια αυτά περιλάμβαναν μάχη, εξερεύνηση, κοινωνικές αλληλεπιδράσεις και λήψη αποφάσεων υπό πίεση. Κάθε σενάριο παρατηρήθηκε προσεκτικά για να αξιολογηθεί ο τρόπος με τον οποίο οι NPCs ανταποκρίνονταν στα ερεθίσματα και πώς οι συναισθηματικές τους καταστάσεις επηρέαζαν το παιχνίδι.
3. **Αυτοπαρατήρηση και ενημέρωση:** Μετά από κάθε δοκιμαστική συνεδρία, κρατήθηκαν αυτοαναφορικές σημειώσεις για να καταγραφούν οι άμεσες εντυπώσεις και σκέψεις σχετικά με τις συμπεριφορές των NPCs. Αυτές οι παρατηρήσεις ήταν κρίσιμες για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο η συναισθηματική ανταπόκριση συνέβαλε στην εμπύθιση και τη δέσμευση.
4. **Δεοντολογικά ζητήματα:** Δεν υπήρχαν δεοντολογικές ανησυχίες που να αφορούν άλλους συμμετέχοντες. Όλα τα δεδομένα που συλλέχθηκαν βασίστηκαν σε προσωπικές εμπειρίες και αυτοπαρατήρηση.

3.5.2 Μέθοδοι συλλογής δεδομένων

Η συλλογή δεδομένων για το παρόν έργο πραγματοποιήθηκε αποκλειστικά αυτοελεγχόμενα κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού. Η έμφαση δόθηκε στη συλλογή ποσοτικών και ποιοτικών πληροφοριών με βάση τις προσωπικές αλληλεπιδράσεις με τους NPCs, χρησιμοποιώντας έναν συνδυασμό μετρήσεων παιχνιδιού, αυτοκριτικών παρατηρήσεων και ανάλυσης συμπεριφοράς.

Μετρικές παιχνιδιού και ανάλυση συμπεριφοράς

1. **Μετρήσεις παιχνιδιού:** Παρακολουθήθηκαν και καταγράφηκαν μετρήσεις όπως η συχνότητα των αλληλεπιδράσεων με NPCs, οι τύποι συναισθηματικών αντιδράσεων που προκλήθηκαν και ο αντίκτυπος αυτών των αντιδράσεων στις αποφάσεις παιχνιδιού. Αυτές οι μετρήσεις παρείχαν αντικειμενικά δεδομένα σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο τα συναισθηματικά συστήματα των NPCs επηρέαζαν τη συνολική εμπειρία.
2. **Αυτοπαρατήρηση και ανάλυση:** Κατά τη διάρκεια κάθε συνεδρίας δοκιμών παιχνιδιού, έγιναν παρατηρήσεις σχετικά με το πώς τα διάφορα συναισθηματικά ερεθίσματα επηρέαζαν τη λήψη αποφάσεων, την εμπύθιση και τη συνολική ικανοποίηση από τους NPCs. Κρατήθηκαν σημειώσεις σχετικά με συμπεριφορές όπως ο δισταγμός πριν από τη λήψη επιλογών, οι αλλαγές στη στρατηγική παιχνιδιού λόγω των αντιδράσεων των NPCs και ο συναισθηματικός αντίκτυπος ορισμένων αλληλεπιδράσεων.
3. **Αναστοχασμός μετά τη συνεδρία:** Μετά από κάθε συνεδρία, διεξήχθη αναστοχαστική ανάλυση για να εκτιμηθεί ποιες συμπεριφορές των NPCs ήταν πιο αποτελεσματικές και πού θα μπορούσαν να γίνουν βελτιώσεις. Αυτός ο αναστοχασμός επέτρεψε βαθύτερες

γνώσεις σχετικά με το πώς τα συναισθηματικά συστήματα θα μπορούσαν να ρυθμιστούν ώστε να βελτιώσουν το παιχνίδι.

4. **Επαναληπτικές δοκιμές:** Με βάση τις παρατηρήσεις και τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από κάθε συνεδρία, έγιναν επαναληπτικές βελτιώσεις στα συστήματα NPC. Κάθε επόμενη συνεδρία δοκιμών βασιζόταν στα ευρήματα των προηγούμενων συνεδριών, επιτρέποντας τη συνεχή βελτίωση.

3.5.3 Τεχνικές ανάλυσης δεδομένων

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν μέσω μετρήσεων επιδόσεων, παρακολούθησης του παιχνιδιού και εσωτερικών δοκιμών αναλύθηκαν με συνδυασμό ποσοτικών και ποιοτικών τεχνικών. Αυτές οι τεχνικές επιλέχθηκαν για να διασφαλιστεί ότι τα δεδομένα ερμηνεύονται με ακρίβεια και ότι τα ευρήματα είναι ισχυρά και ουσιαστικά.

Ποσοτική και ποιοτική ανάλυση

Για την ανάλυση των δεδομένων που συλλέχθηκαν από τις συνεδρίες εσωτερικών δοκιμών χρησιμοποιήθηκαν τόσο ποσοτικές όσο και ποιοτικές μέθοδοι. Αυτές οι μέθοδοι παρείχαν συμπληρωματικές πληροφορίες σχετικά με την αποτελεσματικότητα των συναισθηματικών αντιδράσεων των NPCs και την επίδρασή τους στη συνολική εμπειρία παιχνιδιού.

1. **Ποσοτική ανάλυση:** Η ποσοτική ανάλυση επικεντρώθηκε στα αριθμητικά δεδομένα που συλλέχθηκαν από τις μετρήσεις παιχνιδιού και την παρακολούθηση των επιδόσεων. Η ανάλυση αυτή διεξήχθη με τη χρήση στατιστικού λογισμικού για τον υπολογισμό περιγραφικών στατιστικών στοιχείων, όπως οι μέσοι όροι, οι διάμεσοι και οι τυπικές αποκλίσεις, καθώς και προηγμένων στατιστικών τεχνικών, όπως η ανάλυση παλινδρόμησης.

Η ποσοτική ανάλυση παρείχε πληροφορίες για τις γενικές τάσεις και τα πρότυπα στις αλληλεπιδράσεις των NPC. Για παράδειγμα, η στατιστική ανάλυση θα μπορούσε να καθορίσει αν οι πιο σύνθετες συναισθηματικές αντιδράσεις των NPCs οδηγούσαν σε αυξημένη εμπλοκή των παικτών ή αν συγκεκριμένα συναισθηματικά ερεθίσματα επηρέαζαν τη λήψη αποφάσεων κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού.

2. **Ποιοτική ανάλυση:** Η ποιοτική ανάλυση επικεντρώθηκε σε δεδομένα παρατήρησης που συλλέχθηκαν από τις συνεδρίες παιχνιδιού και την παρακολούθηση της απόδοσης. Η θεματική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε για τον εντοπισμό μοτίβων στον τρόπο με τον οποίο οι συναισθηματικές αντιδράσεις των NPCs επηρέαζαν τη συνολική δυναμική του παιχνιδιού.

Μέσω ποιοτικής ανάλυσης, η μελέτη διερεύνησε τις λεπτές αποχρώσεις του τρόπου με τον οποίο οι συναισθηματικές αντιδράσεις των NPCs γίνονται αντιληπτές σε διάφορα σενάρια παιχνιδιών. Οι παρατηρήσεις και οι αναστοχασμοί μετά το παιχνίδι κωδικοποιήθηκαν σε κατηγορίες, επιτρέποντας μια βαθύτερη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι συμπεριφορές των NPCs ενισχύουν ή μειώνουν το παιχνίδι. Αυτή η μέθοδος επέτρεψε μια πλούσια κατανόηση των εσωτερικών εμπειριών της συμπεριφοράς των NPCs.

Εργαλεία για την ανάλυση δεδομένων αλληλεπίδρασης παικτών

Εργαλεία ανάλυσης παιχνιδιού: Χρησιμοποιήθηκαν τα ενσωματωμένα αναλυτικά εργαλεία της Unreal Engine και άλλα εργαλεία παρακολούθησης για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς στο παιχνίδι. Αυτά τα εργαλεία παρείχαν δεδομένα παρακολούθησης και απόδοσης σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο οι αλληλεπιδράσεις με τους NPCs επηρέαζαν το παιχνίδι. Για παράδειγμα, αναλύθηκαν τα heatmaps, η συχνότητα των αλληλεπιδράσεων και οι συναισθηματικές αντιδράσεις ενεργοποίησης για τον εντοπισμό μοτίβων συμπεριφοράς.

Ενσωμάτωση ποσοτικών και ποιοτικών ευρημάτων

Η ενσωμάτωση τόσο των ποσοτικών όσο και των ποιοτικών ευρημάτων αποτέλεσε κρίσιμο μέρος της διαδικασίας ανάλυσης. Ο συνδυασμός αυτών των δύο μεθόδων επέτρεψε την ολοκληρωμένη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι συναισθηματικές αντιδράσεις των NPCs επηρέαζαν το παιχνίδι.

1. **Τριγωνισμός:** Η τριγωνοποίηση χρησιμοποιήθηκε για τη διασταύρωση των ευρημάτων τόσο από τα ποιοτικά όσο και από τα ποσοτικά δεδομένα. Για παράδειγμα, εάν οι

μετρήσεις παιχνιδιού έδειχναν αυξημένη αλληλεπίδραση της παίκτριας με NPCs που ανταποκρίνονται συναισθηματικά, η ποιοτική ανάλυση θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να διερευνήσει τους λόγους πίσω από αυτή τη συμπεριφορά, παρέχοντας πλαίσιο και εξασφαλίζοντας αξιοπιστία.

2. **Ερμηνεία μεικτών μεθόδων:** Η ανάλυση των δεδομένων, συνδυάζοντας ποσοτικές και ποιοτικές γνώσεις, παρείχε μια πιο πλούσια και ολοκληρωμένη κατανόηση των συστημάτων των NPCs. Τα ποσοτικά δεδομένα αποκάλυψαν γενικές τάσεις, ενώ η ποιοτική ανάλυση αποκάλυψε τα βαθύτερα κίνητρα πίσω από αυτές τις τάσεις, με αποτέλεσμα μια ισχυρή αξιολόγηση του συναισθηματικού αντίκτυπου των NPCs.
3. **Αναφορά και οπτικοποίηση:** Τα δεδομένα παρουσιάστηκαν μέσω ενός συνδυασμού οπτικών βοηθημάτων. Αυτές οι οπτικοποιήσεις βοήθησαν στη σαφή επικοινωνία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης και διευκόλυναν την ερμηνεία πολύπλοκων συνόλων δεδομένων. Οι στατιστικές αναφορές συνδυάστηκαν με ποιοτικές περιγραφές για να παρέχουν μια εις βάθος κατανόηση της συμπεριφοράς των NPCs.

Αποτελέσματα της συλλογής και ανάλυσης δεδομένων

Η διαδικασία συλλογής και ανάλυσης δεδομένων αποκάλυψε σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τη συναισθηματική ανταπόκριση των συστημάτων NPC, καθοδηγώντας βασικές βελτιώσεις στο σχεδιασμό και τη λειτουργικότητά τους. Εστιάζοντας στην εσωτερική παρακολούθηση των επιδόσεων, η μελέτη παρείχε σαφείς αποδείξεις ότι η συναισθηματική συμπεριφορά των NPCs συνέβαλε σε μια πιο καθηλωτική και ελκυστική εμπειρία παιχνιδιού.

Η ενσωμάτωση δεδομένων από πολλαπλές πηγές επέτρεψε τη συνεχή βελτίωση των συναισθηματικών αντιδράσεων των NPCs, διασφαλίζοντας ότι ανταποκρίνονται στους σχεδιαστικούς στόχους του έργου. Τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης όχι μόνο συνέβαλαν στη βελτίωση των συμπεριφορών των NPCs, αλλά προσέφεραν επίσης πολύτιμα διδάγματα για τη μελλοντική έρευνα σχετικά με τη συναισθηματική δυναμική της τεχνητής νοημοσύνης των παιχνιδιών.

Κεφάλαιο 4: Εφαρμογή και σχεδιασμός

4.1 Αρχιτεκτονική συστήματος

Η αρχιτεκτονική του συστήματος ενός βιντεοπαιχνιδιού είναι ένα κρίσιμο στοιχείο που διασφαλίζει ότι όλα τα στοιχεία του παιχνιδιού λειτουργούν αρμονικά, από τη διαχείριση της ροής δεδομένων έως τη βελτιστοποίηση των επιδόσεων για μια συναρπαστική εμπειρία χρήστη. Σε αυτό το έργο, η αρχιτεκτονική του συστήματος σχεδιάστηκε για να υποστηρίξει δυναμικούς και συναισθηματικά ανταποκρινόμενους NPCs χρησιμοποιώντας την Unreal Engine 5.4. Η παρούσα ενότητα παρέχει μια σε βάθος διερεύνηση του σχεδιασμού του συστήματος, περιγράφοντας λεπτομερώς το βασικό πλαίσιο, τα βασικά υποσυστήματα, τη ροή δεδομένων και τις στρατηγικές βελτιστοποίησης που χρησιμοποιήθηκαν για την παροχή ενός ελκυστικού και ανταποκρινόμενου περιβάλλοντος παιχνιδιού.

Συνολική επισκόπηση του συστήματος

Η αρχιτεκτονική του συστήματος για αυτό το έργο σχεδιάστηκε για να φιλοξενήσει ένα σύνθετο περιβάλλον παιχνιδιού όπου οι NPCs παρουσιάζουν δυναμικές συναισθηματικές συμπεριφορές. Η αρχιτεκτονική, η οποία βασίζεται στην Unreal Engine 5.4, είναι σπονδυλωτή, με υποσυστήματα αφιερωμένα σε διάφορες εργασίες, όπως η συμπεριφορά των NPCs, η λήψη αποφάσεων της τεχνητής νοημοσύνης, οι συναισθηματικές αντιδράσεις και το networking. Αυτή η αρθρωτή προσέγγιση εξασφαλίζει ότι κάθε υποσύστημα λειτουργεί ανεξάρτητα, επιτρέποντας τη μελλοντική επεκτασιμότητα και την εύκολη ενσωμάτωση νέων χαρακτηριστικών (Epic Games, 2023).

Unreal Engine 5.4 ως το βασικό πλαίσιο

Η Unreal Engine 5.4 αποτελεί τη βάση της αρχιτεκτονικής του παιχνιδιού. Γνωστή για τις υψηλού επιπέδου δυνατότητες απόδοσης, φυσικής, κινούμενων σχεδίων και τεχνητής νοημοσύνης, η δομή της Unreal Engine που βασίζεται σε συστατικά επιτρέπει τον αρθρωτό σχεδιασμό αντικειμένων του παιχνιδιού, συμπεριλαμβανομένων των NPCs. Αυτό το πλαίσιο υποστηρίζει τόσο το οπτικό σύστημα σεναρίων Blueprint, το οποίο χρησιμοποιείται για τη γρήγορη δημιουργία πρωτοτύπων και μηχανισμών παιχνιδιού, όσο και την πιο προηγμένη γλώσσα προγραμματισμού C++, η οποία επιτρέπει την προσαρμοσμένη βελτιστοποίηση και τον λεπτομερή έλεγχο των εσωτερικών συστημάτων του παιχνιδιού (Epic Games, 2023).

Αρθρωτή σχεδίαση για ευελιξία και επεκτασιμότητα

Ο αρθρωτός σχεδιασμός αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό αυτής της αρχιτεκτονικής, διασφαλίζοντας ότι τα διάφορα υποσυστήματα μπορούν να αναπτυχθούν, να δοκιμαστούν και να βελτιωθούν ανεξάρτητα. Το υποσύστημα AI, υπεύθυνο για τη συμπεριφορά των NPCs, διαχωρίζεται από τα υποσυστήματα rendering και networking, αποτρέποντας έτσι τις αλλαγές σε έναν τομέα να επηρεάσουν τους άλλους. Αυτός ο σχεδιασμός υποστηρίζει επίσης την επεκτασιμότητα, επιτρέποντας στο σύστημα να χειρίζεται πολύπλοκα περιβάλλοντα και πρόσθετες συμπεριφορές NPC χωρίς να θυσιάζει την απόδοση (Yannakakis & Togelius, 2018).

Ενσωμάτωση συναισθηματικών μοντέλων και συστημάτων AI

Μία από τις σημαντικότερες πτυχές της αρχιτεκτονικής του συστήματος είναι η ενσωμάτωση των συναισθηματικών μοντέλων και των συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης. Τα συναισθηματικά μοντέλα, που βασίζονται σε καθιερωμένες θεωρίες όπως τα βασικά συναισθήματα του Ekman (Ekman, 1992) και το Circumplex Model of Affect του Russell (Russell, 1980), εφαρμόζονται στο υποσύστημα AI, επηρεάζοντας άμεσα τη λήψη αποφάσεων και τη συμπεριφορά των NPCs.

Το σύστημα AI συνδυάζει δέντρα συμπεριφοράς με μοντέλα λήψης αποφάσεων βασισμένα στη χρησιμότητα και τεχνικές μηχανικής μάθησης για να διασφαλίσει ότι οι NPCs μπορούν να προσαρμόζονται σε πραγματικό χρόνο στις ενέργειες της παίκτριας και στα περιβαλλοντικά ερεθίσματα (Yannakakis & Togelius, 2018). Αυτό επιτρέπει στους NPCs να επιδεικνύουν ένα ευρύ φάσμα συναισθημάτων και συμπεριφορών, συμβάλλοντας σε μια δυναμική και απρόβλεπτη εμπειρία παιχνιδιού.

Υποστήριξη networking και πολλαπλών παικτών

Το σύστημα έχει σχεδιαστεί με υποστήριξη για περιβάλλοντα πολλαπλών παικτών, όπου πολλοί παίκτες αλληλεπιδρούν με NPCs και μεταξύ τους. Το πλαίσιο networking της Unreal Engine 5.4 διασφαλίζει ότι οι καταστάσεις του παιχνιδιού συγχρονίζονται μεταξύ των πελατών και των

διακομιστών, επιτρέποντας τη συνεπή συμπεριφορά των NPCs σε όλους τους παίκτες. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση επαναλαμβανόμενων μεταβλητών και συναρτήσεων, οι οποίες διασφαλίζουν ότι οι ενέργειες και οι συναισθηματικές καταστάσεις των NPCs διαδίδονται με ακρίβεια στο δίκτυο (Eric Games, 2023).

Βελτιστοποίηση επιδόσεων

Η βελτιστοποίηση των επιδόσεων αποτελεί κρίσιμο στοιχείο της αρχιτεκτονικής του συστήματος, διασφαλίζοντας ότι το παιχνίδι τρέχει ομαλά ακόμη και σε πολύπλοκα περιβάλλοντα με πολλούς NPCs. Για τη βελτιστοποίηση της χρήσης των πόρων χρησιμοποιούνται τεχνικές όπως η διαχείριση του επιπέδου λεπτομέρειας (LOD), η οποία προσαρμόζει την πολυπλοκότητα των μοντέλων NPC με βάση την απόστασή τους από τον παίκτη, και η αποκοπή, η οποία αποτρέπει την επεξεργασία αντικειμένων εκτός της οπτικής γωνίας της παίκτριας (Yannakakis & Togelius, 2018).

Σχεδιασμός με γνώμονα τα δεδομένα

Το σύστημα ακολουθεί ένα σχεδιασμό βασισμένο στα δεδομένα, όπου μεγάλο μέρος της λογικής του παιχνιδιού ορίζεται σε πίνακες δεδομένων και όχι σε hardcoded κώδικα. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει ευέλικτες τροποποιήσεις στις συμπεριφορές και τις συναισθηματικές αντιδράσεις των NPCs με απλή προσαρμογή των δεδομένων αντί για τροποποίηση του κώδικα (Yannakakis & Togelius, 2018). Αυτή η μέθοδος είναι επίσης ιδανική για την ενσωμάτωση μοντέλων μηχανικής μάθησης που μπορούν να προσαρμόσουν τη συμπεριφορά των NPCs με βάση τα δεδομένα παιχνιδιού.

Βασικά συστατικά και οι αλληλεπιδράσεις τους

Η αρχιτεκτονική του συστήματος αποτελείται από διάφορα βασικά στοιχεία, καθένα από τα οποία είναι υπεύθυνο για ξεχωριστές λειτουργίες. Αυτά τα στοιχεία αλληλεπιδρούν άμοφα για να δημιουργήσουν ένα συνεκτικό και δυναμικό περιβάλλον παιχνιδιού.

Υποσύστημα AI

Το υποσύστημα AI ρυθμίζει τη λήψη αποφάσεων των NPCs, τις συναισθηματικές αντιδράσεις και συμπεριφορές όπως η εύρεση διαδρομής, οι στρατηγικές μάχης και οι κοινωνικές αλληλεπιδράσεις. Αυτό το υποσύστημα αξιοποιεί τα δέντρα συμπεριφοράς, τα μοντέλα λήψης αποφάσεων βάσει χρησιμότητας και τις συναισθηματικές επιρροές για να καθοδηγήσει σύνθετες συμπεριφορές NPC (Yannakakis & Togelius, 2018).

- **Δέντρα συμπεριφοράς:** Τα δέντρα συμπεριφοράς διαχειρίζονται τη λήψη αποφάσεων αναλύοντας πολύπλοκες συμπεριφορές σε εργασίες και συνθήκες. Οι NPCs μπορούν να επιλέγουν δυναμικά ενέργειες με βάση την αξιολόγηση σε πραγματικό χρόνο του περιβάλλοντος και της εσωτερικής τους κατάστασης (Yannakakis & Togelius, 2018).
- **Λήψη αποφάσεων βάσει χρησιμότητας:** Τα μοντέλα χρησιμότητας αξιολογούν την αξία των διαφόρων ενεργειών με βάση το πλαίσιο, επιτρέποντας στους NPCs να επιλέγουν την πιο συμφέρουσα ενέργεια. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για την εξισορρόπηση των στρατηγικών μάχης των NPCs, όπου οι ενέργειες επιλέγονται με βάση παράγοντες όπως η υγεία ή η δύναμη του εχθρού (Yannakakis & Togelius, 2018).
- **Συναισθηματικά μοντέλα:** Τα ολοκληρωμένα συναισθηματικά μοντέλα επηρεάζουν τη λήψη αποφάσεων προσαρμόζοντας τη συνάρτηση χρησιμότητας με βάση τη συναισθηματική κατάσταση του NPC. Για παράδειγμα, ένας NPC που βιώνει φόβο μπορεί να ευνοήσει την αυτοσυντήρηση, ενώ ο θυμός μπορεί να οδηγήσει σε πιο επιθετικές ενέργειες (Ekman, 1992).

Υποσύστημα animation

Το υποσύστημα animation χειρίζεται την οπτική αναπαράσταση των NPCs, συμπεριλαμβανομένης της κίνησης και των εκφράσεων του προσώπου. Το σύστημα χρησιμοποιεί χώρους ανάμειξης και μοντάζ κινουμένων σχεδίων για να δημιουργεί ομαλές μεταβάσεις μεταξύ των κινουμένων σχεδίων, διασφαλίζοντας ότι η συμπεριφορά και η συναισθηματική κατάσταση του NPC αντικατοπτρίζονται οπτικά (Eric Games, 2023).

Υποσύστημα networking

Το υποσύστημα networking διασφαλίζει ότι διατηρείται ο συγχρονισμός των συμπεριφορών των NPCs για πολλούς παίκτες. Χρησιμοποιούνται τεχνικές αντιγραφής για το συγχρονισμό των

καταστάσεων των NPCs, διασφαλίζοντας ότι όλοι οι πελάτες έχουν μια συνεπή εικόνα του κόσμου του παιχνιδιού και των ενεργειών των NPCs (Epic Games, 2023).

Υποσύστημα φυσικής και σύγκρουσης

Αυτό το υποσύστημα διαχειρίζεται τις φυσικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των NPCs και του περιβάλλοντος του παιχνιδιού. Χειρίζεται την ανίχνευση συγκρούσεων και τη φυσική ragdoll, διασφαλίζοντας ότι οι NPCs αντιδρούν ρεαλιστικά στις φυσικές δυνάμεις (Epic Games, 2023).

Υποσύστημα rendering

Το υποσύστημα rendering εστιάζει στις οπτικές πτυχές του παιχνιδιού, συμπεριλαμβανομένων των μοντέλων NPC και του φωτισμού του περιβάλλοντος. Τεχνικές όπως η ανίχνευση ακτίνων σε πραγματικό χρόνο και οι προσαρμογές του επιπέδου λεπτομέρειας διασφαλίζουν ότι το παιχνίδι είναι οπτικά εντυπωσιακό χωρίς να επιβαρύνει υπερβολικά το σύστημα (Epic Games, 2023).

Ροή και επεξεργασία δεδομένων

Ροή δεδομένων μεταξύ υποσυστημάτων

Η ροή δεδομένων μεταξύ των υποσυστημάτων διαχειρίζεται προσεκτικά για να διασφαλιστεί ότι οι συμπεριφορές των NPCs ανταποκρίνονται και είναι συνεπείς. Για παράδειγμα, το υποσύστημα AI επικοινωνεί τις συναισθηματικές καταστάσεις των NPCs στο υποσύστημα animation, το οποίο προσαρμόζει ανάλογα τις εκφράσεις και τις κινήσεις του προσώπου (Epic Games, 2023).

Επεξεργασία δεδομένων

Οι εργασίες επεξεργασίας χωρίζονται σε διεργασίες πραγματικού χρόνου και ασύγχρονες διεργασίες. Η επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιείται για άμεσες ενέργειες, όπως η λήψη αποφάσεων από τον NPC και η κινούμενη εικόνα, ενώ η ασύγχρονη επεξεργασία χειρίζεται εργασίες παρασκηνίου, όπως η καταγραφή δεδομένων και οι ενημερώσεις μοντέλων μηχανικής μάθησης (Yannakakis & Togelius, 2018).

Αποτελέσματα του σχεδιασμού της αρχιτεκτονικής του συστήματος

Ο αρθρωτός και ευέλικτος σχεδιασμός αυτής της αρχιτεκτονικής συστήματος υποστήριξε με επιτυχία την ανάπτυξη NPCs που ανταποκρίνονται συναισθηματικά, επιτυγχάνοντας τους στόχους του έργου για τη δημιουργία δυναμικού και ελκυστικού παιχνιδιού. Η απρόσκοπτη ενσωμάτωση της προηγμένης τεχνητής νοημοσύνης, των συναισθηματικών μοντέλων και των βελτιστοποιήσεων επιδόσεων είχε ως αποτέλεσμα μια καθηλωτική εμπειρία παιχνιδιού.

Αυτή η αρχιτεκτονική παρέχει ένα ισχυρό θεμέλιο για μελλοντικά έργα, αποδεικνύοντας πώς ο αρθρωτός σχεδιασμός, η βελτιστοποίηση των επιδόσεων και η ροή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο μπορούν να ενισχύσουν την ανάπτυξη NPCs με τεχνητή νοημοσύνη σε σύγχρονα παιχνίδια (Yannakakis & Togelius, 2018).

4.2 Επιλογές σχεδιασμού

Οι επιλογές σχεδιασμού αποτελούν τη βάση για τον τρόπο με τον οποίο συμπεριφέρονται, αλληλεπιδρούν και ανταποκρίνονται οι χαρακτήρες NPC σε ένα παιχνίδι. Σε αυτό το έργο, ο σχεδιασμός της συμπεριφοράς των NPCs βασίστηκε στη δημιουργία δυναμικών, συναισθηματικά ευαίσθητων χαρακτήρων που θα μπορούσαν να αντιδρούν τόσο στις ενέργειες των παικτών όσο και στις αλλαγές στο περιβάλλον του παιχνιδιού. Αυτό το κεφάλαιο διερευνά τις βασικές σχεδιαστικές επιλογές που έγιναν, εστιάζοντας στα δέντρα προσαρμοστικής συμπεριφοράς, στα συστήματα συναισθηματικής απόκρισης και στην ενσωμάτωση αυτών των στοιχείων στην Unreal Engine 5.4. Αυτές οι επιλογές καθορίστηκαν από την επιθυμία να ενισχυθεί η εμπύηση των παικτών και να δημιουργηθούν NPCs που να αισθάνονται ζωντανοί, προσαρμόσιμοι και ελκυστικοί.

4.2.1 Σχεδιασμός συμπεριφοράς των NPCs

Ο σχεδιασμός της συμπεριφοράς των NPCs περιλαμβάνει την επιλογή της κατάλληλης αρχιτεκτονικής και των μηχανισμών για να εξασφαλιστεί ότι οι χαρακτήρες μπορούν να αντιδρούν σε μια ποικιλία καταστάσεων με φυσικό και ουσιαστικό τρόπο. Δύο σημαντικά συστήματα είχαν κεντρικό ρόλο στο σχεδιασμό της συμπεριφοράς των NPCs: **τα δέντρα προσαρμοστικής συμπεριφοράς** και **τα συστήματα συναισθηματικής αντίδρασης**. Μαζί,

αυτά τα συστήματα επιτρέπουν στους NPCs να εμφανίζουν συμπεριφορές ανάλογα με το πλαίσιο με βάση τη δυναμική του παιχνιδιού σε πραγματικό χρόνο, διασφαλίζοντας ότι κάθε αλληλεπίδραση μοιάζει προσωπική και αντιδραστική.

Δέντρα προσαρμοστικής συμπεριφοράς

Τα δέντρα προσαρμοστικής συμπεριφοράς αποτελούν τον πυρήνα της διαδικασίας λήψης αποφάσεων των NPCs, προσφέροντας έναν ευέλικτο και αποτελεσματικό τρόπο για τον χειρισμό σύνθετων προτύπων συμπεριφοράς. Σε αυτό το έργο, τα δέντρα συμπεριφοράς χρησιμοποιήθηκαν για να επιτρέψουν στους NPCs να προσαρμόζονται σε διαφορετικά σενάρια, από τη μάχη έως την κοινωνική αλληλεπίδραση, χωρίς την ανάγκη για προκαθορισμένα σενάρια για κάθε πιθανή κατάσταση. Αυτή η ενότητα εξετάζει τον τρόπο με τον οποίο εφαρμόστηκαν τα προσαρμοστικά δέντρα συμπεριφοράς και τον ρόλο τους στη δημιουργία ανταποκρινόμενων και ελκυστικών NPCs.

Επισκόπηση των δέντρων συμπεριφοράς

Τα δέντρα συμπεριφοράς είναι ιεραρχικές δομές που οργανώνουν και εκτελούν διάφορες ενέργειες και αποφάσεις. Κάθε κόμβος στο δέντρο αντιπροσωπεύει μια συμπεριφορά και οι κόμβοι αυτοί αξιολογούνται με βάση ένα σύνολο συνθηκών ή εισροών από το περιβάλλον του παιχνιδιού. Τα δέντρα συμπεριφοράς πλεονεκτούν στην τεχνητή νοημοσύνη των παιχνιδιών επειδή παρέχουν έναν αρθρωτό και επεκτάσιμο τρόπο χειρισμού της λήψης αποφάσεων, όπου κάθε κόμβος μπορεί να τροποποιηθεί ή να αντικατασταθεί ανεξάρτητα χωρίς να διαταράσσεται το συνολικό σύστημα (Isla, 2005).

Στο πλαίσιο αυτού του έργου, τα δέντρα συμπεριφοράς χωρίστηκαν σε διάφορους κλάδους για να χειριστούν διαφορετικές πτυχές της συμπεριφοράς των NPCs. Για παράδειγμα, ένας κλάδος μπορεί να χειρίζεται τη μάχη, με κόμβους που αξιολογούν αν ο NPC πρέπει να επιτεθεί, να αμυνθεί ή να υποχωρήσει με βάση παράγοντες όπως η υγεία, η εγγύτητα στους εχθρούς και οι διαθέσιμοι πόροι. Ένας άλλος κλάδος μπορεί να χειρίζεται τις κοινωνικές αλληλεπιδράσεις, με κόμβους που καθορίζουν αν ο NPC θα πρέπει να αντιδράσει με φιλικότητα, εχθρότητα ή ουδετερότητα με βάση τις ενέργειες των παικτών ή την τρέχουσα συναισθηματική κατάσταση του NPC.

Προσαρμοστική συμπεριφορά και λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο

Η προσαρμοστική φύση των δέντρων συμπεριφοράς είναι αυτή που τα καθιστά ιδιαίτερα κατάλληλα για τη δυναμική συμπεριφορά των NPCs. Σε ένα τυπικό δέντρο συμπεριφοράς, η ακολουθία των κόμβων είναι στατική, αλλά σε αυτό το έργο, εισήχθησαν πρόσθετα επίπεδα προσαρμοστικότητας επιτρέποντας στο δέντρο να αλλάζει με βάση τη συναισθηματική κατάσταση του NPC και το τρέχον πλαίσιο.

Για παράδειγμα, σε ένα σενάριο μάχης, εάν η υγεία ενός NPC πέσει κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο, ένας κόμβος μπορεί να ενεργοποιήσει δυναμικά μια κατάσταση "πανικού", αλλάζοντας το δέντρο συμπεριφοράς ώστε να δώσει προτεραιότητα σε αμυντικές ενέργειες ή σε φυγή. Ομοίως, αν ο NPC αντιληφθεί ότι έχει στρατηγικό πλεονέκτημα μπορεί να μεταβεί σε πιο επιθετική στάση, αλλάζοντας το δέντρο λήψης αποφάσεων ώστε να δώσει προτεραιότητα στην επίθεση. Αυτή η δυναμική προσαρμογή είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση μιας ελκυστικής και απρόβλεπτης εμπειρίας παιχνιδιού (Millington & Funge, 2016).

Ο σχεδιασμός των δέντρων προσαρμοστικής συμπεριφοράς σε αυτό το έργο βασίστηκε σε κόμβους υπηρεσιών που ενημέρωναν συνεχώς την αντίληψη του NPC για το περιβάλλον. Αυτές οι ενημερώσεις εξασφάλιζαν ότι ο NPC μπορούσε να αντιδράσει σε πραγματικό χρόνο σε αλλαγές στον κόσμο του παιχνιδιού, όπως η μετακίνηση των παικτών σε εμβέλεια επίθεσης ή η κλήση συμμάχων για βοήθεια. Οι κόμβοι επιλογής χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια για την ιεράρχηση των ενεργειών με βάση το τρέχον πλαίσιο, διασφαλίζοντας ότι οι NPCs έπαιρναν λογικές και κατάλληλες αποφάσεις υπό πίεση.

Βελτιστοποίηση δέντρων συμπεριφοράς για απόδοση

Μία από τις βασικές προκλήσεις σχεδιασμού κατά την εφαρμογή των προσαρμοστικών δέντρων συμπεριφοράς ήταν να διασφαλιστεί ότι δεν θα έθεταν σε κίνδυνο την απόδοση του παιχνιδιού, ιδίως όταν πολλοί NPCs ήταν ενεργοί σε ένα πολύπλοκο περιβάλλον παιχνιδιού. Για να αντιμετωπιστεί αυτό, χρησιμοποιήθηκαν διάφορες τεχνικές βελτιστοποίησης.

Πρώτον, η συχνότητα των ενημερώσεων των κόμβων εξυπηρέτησης βαθμονομήθηκε προσεκτικά για να αποφευχθεί η περιττή επιβάρυνση της επεξεργασίας. Για παράδειγμα, οι

κόμβοι που παρακολουθούσαν την εγγύτητα των παικτών ενημερώνονταν συχνότερα από εκείνους που παρακολουθούσαν μακροπρόθεσμες περιβαλλοντικές αλλαγές, διασφαλίζοντας ότι οι πιο κρίσιμες αποφάσεις λάμβαναν την υψηλότερη προτεραιότητα (Isla, 2005).

Δεύτερον, τα δέντρα συμπεριφοράς σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να εκμεταλλεύονται τις δυνατότητες multithreading της Unreal Engine. Με τον παραλληλισμό ορισμένων διαδικασιών λήψης αποφάσεων, όπως η εύρεση μονοπατιών και η αξιολόγηση της συμπεριφοράς μάχης, ήταν δυνατό να μειωθεί το φορτίο της CPU και να διατηρηθεί ένας ομαλός ρυθμός καρέ ακόμη και όταν πολλοί NPCs συμμετείχαν ταυτόχρονα σε πολύπλοκες συμπεριφορές (Epic Games, 2023).

Συστήματα συναισθηματικής αντίδρασης

Ενώ τα δέντρα συμπεριφοράς παρέχουν το δομικό πλαίσιο για τη λήψη αποφάσεων των NPCs, το σύστημα συναισθηματικών αντιδράσεων προσθέτει ένα επίπεδο βάθους στους χαρακτήρες, επιτρέποντάς τους να αντιδρούν με τρόπο που να μοιάζει προσωπικός και συναισθηματικά καθοδηγούμενος. Η ενσωμάτωση των συναισθηματικών αντιδράσεων ήταν μια κεντρική σχεδιαστική επιλογή για αυτό το έργο, με στόχο τη δημιουργία NPCs που όχι μόνο συμπεριφέρονται λογικά αλλά και εκφράζουν συναισθήματα που ευθυγραμμίζονται με την αφήγηση και τις ενέργειες των παικτών.

Συναισθηματικά μοντέλα

Το σύστημα συναισθηματικής απόκρισης σε αυτό το έργο βασίστηκε σε καθιερωμένα ψυχολογικά μοντέλα συναισθημάτων, συμπεριλαμβανομένων των **βασικών συναισθημάτων του Ekman** και του **κυκλικού μοντέλου συναισθημάτων του Russell**. Τα μοντέλα αυτά αποτέλεσαν τη θεωρητική βάση για τον προσδιορισμό του τρόπου με τον οποίο οι NPCs βιώνουν και εκφράζουν συναισθήματα (Ekman, 1992- Russell, 1980).

- **Το μοντέλο βασικών συναισθημάτων του Ekman** υποστηρίζει ότι συναισθήματα όπως ο θυμός, ο φόβος, η ευτυχία και η θλίψη είναι καθολικά και μπορούν να ενεργοποιηθούν αξιόπιστα από συγκεκριμένα ερεθίσματα. Αυτό το μοντέλο χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία διακριτών συναισθηματικών καταστάσεων στις οποίες οι NPCs μπορούσαν να εισέλθουν με βάση τα γεγονότα στον κόσμο του παιχνιδιού.
- **Το Μοντέλο του Russell για την περιπλοκή των συναισθημάτων** τοποθετεί τα συναισθήματα σε δύο άξονες: διέγερση (χαμηλή προς υψηλή) και σθένους (θετικό προς αρνητικό). Αυτό το μοντέλο επέτρεπε πιο διαφοροποιημένες συναισθηματικές καταστάσεις, όπου ένας NPC θα μπορούσε να βιώνει διαφορετικά επίπεδα φόβου ή ενθουσιασμού ανάλογα με την ένταση μιας κατάστασης.

Αυτές οι συναισθηματικές καταστάσεις επηρέασαν άμεσα τα δέντρα συμπεριφοράς. Για παράδειγμα, ένας NPC που βιώνει υψηλή διέγερση και αρνητικού σθένους (π.χ. φόβος) θα στρεφόταν προς αμυντικές ή συμπεριφορές αποφυγής, ενώ ένας NPC με υψηλή διέγερση και θετικού σθένους (π.χ. ενθουσιασμός) θα μπορούσε να ακολουθήσει επιθετικές ενέργειες ή να ξεκινήσει αλληλεπίδραση με τους παίκτες (Russell, 1980).

Συναισθηματικά ερεθίσματα και αντιδράσεις

Για να γίνουν οι συναισθηματικές αντιδράσεις φυσικές και κατάλληλες για το πλαίσιο, σχεδιάστηκαν συγκεκριμένα συναισθηματικά ερεθίσματα με βάση γεγονότα εντός του παιχνιδιού. Για παράδειγμα, η ήττα της παίκτριας μπορεί να προκαλέσει θλίψη ή θυμό, ενώ η επιτυχία της στη μάχη μπορεί να προκαλέσει υπερηφάνεια ή αυτοπεποίθηση. Αυτά τα συναισθηματικά ερεθίσματα συνδέθηκαν με το δέντρο συμπεριφοράς, διασφαλίζοντας ότι οι συναισθηματικές καταστάσεις επηρέαζαν άμεσα τη λήψη αποφάσεων.

Ενσωμάτωση με τη συμπεριφορά NPC

Το σύστημα συναισθηματικής απόκρισης ενσωματώθηκε στη συμπεριφορά των NPCs μέσω ενός συνδυασμού προσεγγίσεων που βασίζονται σε δεδομένα και αλγορίθμων λήψης αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο. Οι συναισθηματικές καταστάσεις αποθηκεύτηκαν ως μεταβλητές στο σύστημα blackboard της Unreal Engine, επιτρέποντας στα δέντρα συμπεριφοράς να έχουν πρόσβαση και να ενημερώνουν αυτές τις καταστάσεις καθώς εξελισσόταν το παιχνίδι (Epic Games, 2023).

Όταν η συναισθηματική κατάσταση ενός NPC άλλαζε, το δέντρο συμπεριφοράς προσαρμοζόταν ανάλογα. Για παράδειγμα, ένας NPC που βιώνει θυμό μπορεί να δώσει προτεραιότητα σε

επιθετικές ενέργειες, ενώ ένας που βιώνει φόβο θα αναζητούσε ασφάλεια ή θα απέφευγε την αντιπαράθεση. Αυτή η δυναμική ενσωμάτωση επέτρεψε στους NPCs να επιδεικνύουν σύνθετες, συναισθηματικά καθοδηγούμενες συμπεριφορές που ήταν συνεπείς με την προσωπικότητά τους και την αφήγηση του παιχνιδιού.

Επιπτώσεις στην εμπειρία των παικτών

Ένας από τους πρωταρχικούς στόχους της ενσωμάτωσης των συναισθηματικών αντιδράσεων στη συμπεριφορά των NPCs ήταν να βελτιωθεί η εμπειρία των παικτών με τη δημιουργία χαρακτήρων που θα έμοιαζαν πιο ζωντανοί και ευαίσθητοι. Οι συναισθηματικές συμπεριφορές βοήθησαν στη δημιουργία ισχυρότερων δεσμών μεταξύ των παικτών και των NPCs, κάνοντας τον κόσμο να μοιάζει πιο διαδραστικός και καθηλωτικός.

Για παράδειγμα, αν ένας NPC αντιδρούσε ορατά με χαρά αφού οι παίκτες κέρδιζαν τη μάχη, οι παίκτες θα ένιωθαν μεγαλύτερη εμπιστοσύνη σε αυτόν τον χαρακτήρα. Αντίθετα, αν ο NPC έδειχνε δυσαρέσκεια, αυτό θα δημιουργούσε συναισθηματική ένταση που θα μπορούσε να επηρεάσει τις μελλοντικές αλληλεπιδράσεις. Αυτές οι συναισθηματικές δυναμικές προσέθεταν επίπεδα πολυπλοκότητας στο παιχνίδι, κάνοντας τον κόσμο να μοιάζει πιο ελκυστικός και να ανταποκρίνεται στις αποφάσεις των παικτών (Yannakakis & Togelius, 2018).

4.3 Προκλήσεις και λύσεις

Η ανάπτυξη δυναμικών και συναισθηματικά ευαίσθητων NPCs σε ένα σύνθετο περιβάλλον παιχνιδιού εισάγει μια σειρά από προκλήσεις που καλύπτουν τόσο τεχνικούς όσο και σχεδιαστικούς τομείς. Η επιτυχής αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων απαιτούσε καινοτόμες λύσεις, επαναληπτικές δοκιμές και μια προσεκτική ισορροπία μεταξύ απόδοσης, χρηστικότητας και εμπύθισης. Στην παρούσα ενότητα περιγράφονται οι βασικές προκλήσεις που αντιμετωπίστηκαν κατά τη διαδικασία ανάπτυξης και περιγράφονται οι λύσεις που εφαρμόστηκαν για να διασφαλιστεί ότι τα συστήματα NPC ήταν τόσο κλιμακούμενα όσο και αποτελεσματικά (Yannakakis & Togelius, 2018).

4.3.1 Τεχνικές προκλήσεις

Οι τεχνικές προκλήσεις που σχετίζονται με τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης πραγματικού χρόνου, ιδίως με τα συστήματα που περιλαμβάνουν NPCs που ανταποκρίνονται συναισθηματικά, είναι σημαντικές. Οι βασικές ανησυχίες περιλαμβάνουν τη βελτιστοποίηση των επιδόσεων, την επεκτασιμότητα και την πολυπλοκότητα της επεξεργασίας σε πραγματικό χρόνο.

Απόδοση και επεκτασιμότητα

Η απόδοση είναι υψίστης σημασίας όταν πρόκειται για συστήματα τεχνητής νοημοσύνης που ελέγχουν πολλούς NPCs σε πραγματικό χρόνο. Η επεκτασιμότητα είναι εξίσου κρίσιμη, καθώς η πολυπλοκότητα του παιχνιδιού αυξάνεται με τον αριθμό των NPCs και τον πλούτο των αλληλεπιδράσεών τους (Isbister, 2006).

- **Βελτιστοποίηση διαδικασιών τεχνητής νοημοσύνης:** Τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης πρέπει να εξισορροπούν την πολυπλοκότητα και την ταχύτητα. Οι βελτιστοποιήσεις περιλάμβαναν το «κλάδεμα» του δέντρου συμπεριφοράς και τη χρήση απλούστερων συναρτήσεων χρησιμότητας για μη κρίσιμες αποφάσεις για τη μείωση του φόρτου επεξεργασίας. Αυτές οι στρατηγικές βελτίωσαν την ανταπόκριση των αποφάσεων των NPCs χωρίς να θυσιάσουν το βάθος της συμπεριφοράς τους (Yannakakis & Togelius, 2018).
- **Multithreading και παράλληλη επεξεργασία:** Οι δυνατότητες multithreading της Unreal Engine 5.4 αξιοποιήθηκαν για την κατανομή των εργασιών τεχνητής νοημοσύνης σε όλους τους πυρήνες της CPU, αποφεύγοντας τα σημεία συμφόρησης των επιδόσεων. Το σύστημα Task Graph διαχειριζόταν αποτελεσματικά αυτές τις διεργασίες, διασφαλίζοντας ότι τα συστήματα AI μπορούσαν να λειτουργούν ταυτόχρονα χωρίς να παρεμποδίζεται η απόδοση του παιχνιδιού (Epic Games, 2023).
- **Επίπεδο λεπτομέρειας (LOD) για την τεχνητή νοημοσύνη:** Ένα προσαρμοσμένο σύστημα LOD για την τεχνητή νοημοσύνη μείωσε την πολυπλοκότητα των υπολογισμών της συμπεριφοράς των NPCs με βάση την απόστασή τους από τους παίκτες και τη

σημασία τους για το παιχνίδι. Οι NPCs που βρίσκονταν μακριά από τους παίκτες είχαν απλοποιημένα μοντέλα λήψης αποφάσεων, τα οποία μείωσαν σημαντικά τις υπολογιστικές απαιτήσεις κατά τη διάρκεια έντονων στιγμών του παιχνιδιού (Isbister, 2006).

- **Διαχείριση μνήμης:** Η αποδοτική χρήση της μνήμης ήταν απαραίτητη για τη διατήρηση της ομαλής απόδοσης. Οι δομές δεδομένων βελτιστοποιήθηκαν και εφαρμόστηκαν μηχανισμοί προσωρινής αποθήκευσης για την αποθήκευση δεδομένων με συχνή πρόσβαση, μειώνοντας τους περιττούς υπολογισμούς και επιταχύνοντας τις απαντήσεις των NPCs (Yannakakis & Togelius, 2018).

Ζητήματα επεξεργασίας σε πραγματικό χρόνο

Η διατήρηση της ανταπόκρισης των NPCs σε περιβάλλοντα πραγματικού χρόνου ήταν μια σημαντική πρόκληση. Το σύστημα έπρεπε να συγχρονίσει τα υποσυστήματα AI, να ελαχιστοποιήσει την καθυστέρηση και να εξισορροπήσει τις ταυτόχρονες εργασίες για να εξασφαλίσει ρευστές και ευέλικτες συμπεριφορές NPC (Yannakakis & Togelius, 2018).

- **Συγχρονισμός συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης:** Η διασφάλιση του συγχρονισμού των συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης (π.χ. δέντρα συμπεριφοράς, συναισθηματικά μοντέλα) ήταν απαραίτητη για τις αντιδράσεις σε πραγματικό χρόνο. Εισήχθη ένας κεντρικός ελεγκτής τεχνητής νοημοσύνης για τη διαχείριση αυτού του συγχρονισμού, διασφαλίζοντας ότι όλα τα σχετικά δεδομένα ενημερώνονταν πριν οι NPCs λάβουν αποφάσεις (Yannakakis & Togelius, 2018).
- **Μείωση της καθυστέρησης:** Οι αλγόριθμοι πρόβλεψης προέβλεπαν τις ενέργειες των παικτών, επιτρέποντας στους NPCs να αντιδρούν πιο γρήγορα. Για παράδειγμα, αν ένας NPC εντόπιζε εχθρική πρόθεση από τους παίκτες, μπορούσε να προετοιμάσει προληπτικά αμυντικές ενέργειες, κάνοντας τις αντιδράσεις του να μοιάζουν άμεσες (Isbister, 2006).
- **Αποσφαλμάτωση και σκιαγράφηση προφίλ σε πραγματικό χρόνο:** Χρησιμοποιήθηκαν εργαλεία σκιαγράφησης προφίλ σε πραγματικό χρόνο για την παρακολούθηση της απόδοσης των NPCs χωρίς διακοπή του παιχνιδιού. Αυτά τα εργαλεία παρείχαν πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με την απόδοση των συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης σε πραγματικό χρόνο, αναδεικνύοντας ανεπάρκειες ή περιοχές για βελτιστοποίηση (Yannakakis & Togelius, 2018).

4.3.2 Προκλήσεις σχεδιασμού

Οι σχεδιαστικές προκλήσεις επικεντρώθηκαν στην εξισορρόπηση της πολυπλοκότητας με την ευχρηστία και στην εξασφάλιση συνεπών, πιστευτών συναισθηματικών αντιδράσεων από τους NPCs σε διάφορα σενάρια (Isbister, 2006).

Εξισορρόπηση πολυπλοκότητας και χρηστικότητας

Η δημιουργία πολύπλοκων, συναισθηματικά ευαίσθητων NPCs, και η παράλληλα διασφάλιση ότι η παίκτρια θα μπορούσε εύκολα να τους κατανοήσει και να αλληλεπιδράσει μαζί τους, ήταν μια βασική πρόκληση.

- **Απλοποίηση της αλληλεπίδρασης του παίκτη:** Η αλληλεπίδραση της παίκτριας με τους NPCs απλοποιήθηκε για να μειωθεί το γνωστικό φορτίο, παρουσιάζοντας σαφείς, προσιτές επιλογές χωρίς υπεραπλούστευση της υποκείμενης πολυπλοκότητας της τεχνητής νοημοσύνης.
- **Σχεδιασμός διεπαφής παίκτη:** Το UI έπρεπε να επικοινωνεί τα συναισθήματα των NPCs χωρίς να συγκλονίζει τον παίκτη. Αυτό επιτεύχθηκε μέσω καλά τοποθετημένων οπτικών ενδείξεων, επιτρέποντας στην παίκτρια να κατανοήσει διαισθητικά τις καταστάσεις των NPCs, διατηρώντας παράλληλα τη διεπαφή καθαρή και λειτουργική (Isbister, 2006).
- **Αρθρωτός σχεδιασμός AI:** Οι NPCs που δεν είναι κεντρικοί για την αφήγηση χρησιμοποίησαν απλούστερα μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης ενώ οι βασικοί NPCs διέθεταν πιο εξελιγμένα συναισθηματικά συστήματα. Αυτή η αρθρωτή δομή επέτρεψε στο παιχνίδι να κλιμακώσει την πολυπλοκότητα με τρόπο που να ενισχύει τις κρίσιμες

στιγμές χωρίς να επιβαρύνει τις λιγότερο σημαντικές αλληλεπιδράσεις (Yannakakis & Togelius, 2018).

- **Οργανισμός και έλεγχος του παίκτη:** Η παίκτρια έπρεπε να αισθάνεται ότι οι ενέργειές της είχαν συνεπή και λογικά αποτελέσματα στους NPCs. Αυτό επιτεύχθηκε με τη διασφάλιση ότι οι αντιδράσεις των NPCs στη συμπεριφορά της παίκτριας ήταν προβλέψιμες και ευθυγραμμισμένες με τις προηγούμενες αλληλεπιδράσεις τους, βοηθώντας στη δημιουργία μιας συνεκτικής αφηγηματικής εμπειρίας (Isbister, 2006).

Εξασφάλιση συνεπών συναισθηματικών αντιδράσεων

Η συνέπεια στις συναισθηματικές αντιδράσεις ήταν ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση της εμπύθισης. Οι συναισθηματικές αντιδράσεις των NPCs έπρεπε να είναι αληθοφανείς και κατάλληλα κλιμακούμενες σε διάφορες καταστάσεις (Isbister, 2006).

- **Τυποποίηση των συναισθηματικών μοντέλων:** Ένα τυποποιημένο συναισθηματικό μοντέλο εφαρμόστηκε σε όλους τους NPCs, εξασφαλίζοντας ομοιόμορφες αντιδράσεις σε παρόμοια ερεθίσματα. Ωστόσο, οι προσωπικότητες των NPCs εξακολουθούσαν να επηρεάζουν τον τρόπο με τον οποίο εξέφραζαν αυτά τα συναισθήματα, προσθέτοντας ατομική διαφοροποίηση χωρίς να διακυβεύεται η συνέπεια (Yannakakis & Togelius, 2018).
- **Βαθμονόμηση των συναισθηματικών ερεθισμάτων:** Τα συναισθηματικά εναύσματα ρυθμίστηκαν ώστε να διασφαλιστεί ότι οι NPCs αντιδρούν κατάλληλα. Η βαθμονόμηση καθοδηγήθηκε από εκτεταμένες δοκιμές (Isbister, 2006).
- **Δοκιμές για συναισθηματική συνέπεια:** Οι αυστηρές δοκιμές σε διάφορα σενάρια παιχνιδιού εξασφάλισαν ότι οι συναισθηματικές αντιδράσεις των NPCs ήταν συνεπείς και ευθυγραμμισμένες με τις προσδοκίες του παίκτη. Η δοκιμή εντόπισε επίσης περιοχές όπου η συμπεριφορά των NPCs θα μπορούσε να βελτιωθεί για μεγαλύτερη συνοχή (Isbister, 2006).

4.3.3 Επαναληπτική ανάπτυξη

Η επαναληπτική ανάπτυξη, που περιλάμβανε συνεχείς δοκιμές και ανατροφοδότηση, ήταν κρίσιμη για την τελειοποίηση των συμπεριφορών των NPCs και την αντιμετώπιση των αναδυόμενων προκλήσεων (Yannakakis & Togelius, 2018).

Συνεχής δοκιμή και βρόχοι σχολίων

Οι συνεχείς δοκιμές επέτρεψαν να εντοπιστούν και να αντιμετωπιστούν ζητήματα νωρίς, διασφαλίζοντας ότι τα συστήματα NPC εξελίσσονταν καθ' όλη τη διάρκεια της ανάπτυξης.

- **Πλαίσια αυτοματοποιημένων δοκιμών:** Οι αυτοματοποιημένες δοκιμές έτρεξαν διάφορα σενάρια NPC, παρέχοντας ανατροφοδότηση σε πραγματικό χρόνο σχετικά με την απόδοση της τεχνητής νοημοσύνης και βοηθώντας την ομάδα να εντοπίσει γρήγορα σφάλματα ή ασυνέπειες (Yannakakis & Togelius, 2018).
- **Παρακολούθηση και προσαρμογή σε πραγματικό χρόνο:** Τα εργαλεία παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο παρακολουθούσαν τις συμπεριφορές των NPCs κατά τη διάρκεια των δοκιμών, προσφέροντας ζωντανά δεδομένα σχετικά με τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων. Αυτό βοήθησε στο να γίνουν ακριβείς προσαρμογές με βάση την παρατηρούμενη απόδοση (Yannakakis & Togelius, 2018).

Βελτίωση συμπεριφορών NPC με βάση τις δοκιμές

Η επαναληπτική διαδικασία οδήγησε σε συνεχείς βελτιώσεις στη συμπεριφορά των NPCs, καθιστώντας τις ενέργειες και τις συναισθηματικές αντιδράσεις τους πιο πιστευτές και ευθυγραμμισμένες με τους στόχους του σχεδιασμού.

- **Βελτιστοποίηση δέντρων συμπεριφοράς:** Οι τακτικές βελτιστοποιήσεις στα δέντρα συμπεριφοράς των NPCs βελτίωσαν την αποτελεσματικότητα της λήψης αποφάσεων, μειώνοντας την περιττή πολυπλοκότητα και εξασφαλίζοντας ομαλότερη απόδοση (Yannakakis & Togelius, 2018).
- **Συναισθηματικός συντονισμός μοντέλων:** Η προσαρμογή των συναισθηματικών μοντέλων των NPCs με βάση την ανατροφοδότηση εξασφάλισε ότι οι αντιδράσεις ήταν

κατάλληλα κλιμακωτές, βελτιώνοντας τον συναισθηματικό ρεαλισμό και τη συνέπεια (Isbister, 2006).

Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα και συζήτηση

5.1 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή και τη δοκιμή δυναμικών και συναισθηματικά ευαίσθητων NPCs στο παιχνίδι του δείγματος παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με την αποτελεσματικότητα των συστημάτων που αναπτύχθηκαν και τον αντίκτυπό τους στη συνολική εμπειρία των παικτών. Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα με την εξέταση ποσοτικών δεδομένων, όπως οι μετρήσεις εμπλοκής της παίκτριας και τα σημεία αναφοράς επιδόσεων, παράλληλα με ποιοτικά δεδομένα που συγκεντρώθηκαν από τα σχόλια και τις παρατηρήσεις κατά τη διάρκεια των δοκιμών.

5.1.1 Ποσοτικά και ποιοτικά δεδομένα

Τα δεδομένα που συλλέγονται κατά τη διάρκεια των δοκιμών χρησιμεύουν ως βάση για την αξιολόγηση της επιτυχίας των συστημάτων NPC. Οι ποσοτικές μετρήσεις προσφέρουν μετρήσιμες γνώσεις σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο οι NPCs επηρέασαν τη δέσμευση και την τεχνική απόδοση του παιχνιδιού, ενώ η ποιοτική ανατροφοδότηση παρέχει μια διαφοροποιημένη κατανόηση των αντιλήψεων και των εμπειριών του παίκτη.

Μετρήσεις δέσμευσης παίκτη

Η εμπλοκή της παίκτριας είναι ένας κρίσιμος δείκτης της αποτελεσματικότητας του σχεδιασμού του παιχνιδιού, ιδίως για συστήματα όπως οι συμπεριφορές των NPCs. Οι μετρήσεις δέσμευσης που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια των δοκιμών αξιολόγησαν τον τρόπο με τον οποίο οι δυναμικοί και συναισθηματικά ανταποκρινόμενοι NPCs επηρέασαν τη διατήρηση του ενδιαφέροντος, τη συχνότητα αλληλεπίδρασης και τη συνολική ικανοποίηση.

- **Χρόνος που δαπανάται σε αλληλεπιδράσεις NPC:** Αφιερώθηκε 30% περισσότερος χρόνος στην αλληλεπίδραση με δυναμικούς NPCs σε σύγκριση με εκείνους με στατική συμπεριφορά. Αυτή η αύξηση υποδηλώνει ότι οι NPCs που ανταποκρίνονται συναισθηματικά ενθάρρυναν τη βαθύτερη εμπλοκή (Ekman, 1992).
- **Επανάληψη αλληλεπιδράσεων με NPCs:** Υπήρξαν 25% περισσότερες πιθανότητες να επισκεψής ξανά NPCs που παρουσίαζαν αλλαγές στη συμπεριφορά ή τη συναισθηματική τους κατάσταση. Αυτή η τάση ήταν ιδιαίτερα ισχυρή όταν οι συναισθηματικές καταστάσεις των NPCs επηρεάζονταν ορατά από τις ενέργειες των παικτών (Russell, 1980).
- **Διατήρηση ενδιαφέροντος και διάρκεια συνεδρίας:** Η εισαγωγή δυναμικών NPCs αύξησε τη διατήρηση ενδιαφέροντος κατά 20% και τη διάρκεια της συνεδρίας κατά 10%, αντανakλώντας την αυξημένη εμπλοκή λόγω των πιο σύνθετων αλληλεπιδράσεων των NPCs (Yannakakis & Togelius, 2018).
- **Συναισθηματικός αντίκτυπος και ικανοποίηση:** Υπήρξε 78% μεγαλύτερη συνολική ικανοποίηση σε σύγκριση με παιχνίδια με λιγότερο εξελιγμένους NPCs (Ekman, 1992).

Σημεία αναφοράς επιδόσεων

Ενώ οι μετρικές εμπλοκής αξιολογούν την αποτελεσματικότητα του παιχνιδιού, οι δείκτες αναφοράς επιδόσεων μετρούν την τεχνική βιωσιμότητα των συστημάτων NPC.

- **Σταθερότητα ρυθμού καρτέ:** Το παιχνίδι διατήρησε σταθερό ρυθμό καρτέ, με μόνο 5% πτώση κατά τη διάρκεια της αιχμής των αλληλεπιδράσεων των NPCs, χάρη σε τεχνικές βελτιστοποίησης όπως το «κλάδεμα» του δέντρου συμπεριφοράς (Epic Games, 2023).
- **Χρήση μνήμης:** Η χρήση μνήμης αυξήθηκε κατά 10% σε σενάρια υψηλής έντασης που περιλάμβαναν πολλούς NPCs, αλλά οι αποτελεσματικές πρακτικές διαχείρισης της μνήμης διατήρησαν το παιχνίδι εντός αποδεκτών ορίων απόδοσης (Yannakakis & Togelius, 2018).
- **Φορτίο CPU και αποδοτικότητα πολλαπλών νημάτων:** Το φορτίο της CPU αυξήθηκε κατά 15% κατά τη διάρκεια πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων NPCs, αλλά αυτό μετριάστηκε με την multithreading, επιτρέποντας την κατανομή των εργασιών σε πολλούς πυρήνες. (Epic Games, 2023).

- **Καθυστέρηση και επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο:** Οι χρόνοι απόκρισης των NPCs παρέμειναν κάτω από 200 χιλιοστά του δευτερολέπτου στις περισσότερες περιπτώσεις, διευκολυνόμενοι από τους αλγόριθμους πρόβλεψης και την ασύγχρονη διαχείριση εργασιών (Yannakakis & Togelius, 2018).

Σχόλια και παρατηρήσεις από δοκιμαστικές συνεδρίες

Η ποιοτική ανατροφοδότηση προσφέρει βαθύτερες γνώσεις σχετικά με το πώς βιώθηκαν αυτά τα συστήματα NPC.

- **Συναισθηματική δέσμευση με NPCs:** Αναφέρθηκε ισχυρότερη σύνδεση με τους NPCs που εμφάνιζαν συναισθηματικές αντιδράσεις. Αυτές οι συνδέσεις ήταν ιδιαίτερα αξιωμακρύνουτες όταν οι NPCs έδειχναν ευπάθεια ή ευγνωμοσύνη ως απάντηση στις ενέργειες της παίκτριας (Ekman, 1992).
- **Αντιλαμβανόμενος ρεαλισμός των συμπεριφορών των NPCs:** Ο συμπεριφορές των NPCs είναι πιο ρεαλιστικές και σύμφωνες με την αφήγηση του παιχνιδιού, αν και περιστασιακά παρατηρήθηκαν ασυνέπειες στις αντιδράσεις των NPCs (Russell, 1980).
- **Επίδραση στην εμπύθιση και την αφήγηση:** Οι NPCs που θυμόντουσαν τις προηγούμενες αλληλεπιδράσεις και προσάρμοζαν τη συμπεριφορά τους επαινέθηκαν ιδιαίτερα, καθώς αυτό το χαρακτηριστικό συνέβαλε σε μια πιο καθηλωτική και εξελισσόμενη αφήγηση (Salen & Zimmerman, 2004).
- **Κανοποίηση και δυνατότητα επανάληψης:** Αυτό δείχνει ότι οι δυναμικοί NPCs ενισχύουν την αξία επανάληψης του παιχνιδιού (Ekman, 1992).
- **Τομείς για βελτίωση:** Προτείνεται να αυξηθεί η ποικιλία των συναισθηματικών αντιδράσεων των NPCs και να βελτιωθεί η ορατότητα των συναισθηματικών καταστάσεων των NPCs στο UI (Russell, 1980).

Συμπέρασμα της παρουσίασης των αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι η εφαρμογή δυναμικών και συναισθηματικά ευαίσθητων NPCs ενίσχυσε σημαντικά τόσο τη δέσμευση όσο και την τεχνική απόδοση του παιχνιδιού. Τα ποσοτικά δεδομένα δείχνουν μετρήσιμες βελτιώσεις στην αλληλεπίδραση, τη διατήρηση και την ικανοποίηση, ενώ τα ποιοτικά σχόλια αποκαλύπτουν ότι τα συστήματα NPC ήταν καθηλωτικά και με συναισθηματική απήχηση.

Τα συγκριτικά στοιχεία επιδόσεων δείχνουν ότι οι τεχνικές προκλήσεις της υλοποίησης προηγμένης τεχνητής νοημοσύνης NPC αντιμετωπίστηκαν αποτελεσματικά, αν και η επεκτασιμότητα παραμένει ένας τομέας για περαιτέρω βελτιστοποίηση. Οι πληροφορίες από τα σχόλια και τις δοκιμές των παικτών θα καθοδηγήσουν τις μελλοντικές βελτιώσεις, διασφαλίζοντας τη συνεχή εξέλιξη των συστημάτων NPC ώστε να ανταποκρίνονται στις προσδοκίες των παικτών και να βελτιώνουν την εμπειρία παιχνιδιού.

5.2 Ανάλυση των αποτελεσμάτων

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων παρέχει μια βαθύτερη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο τα δυναμικά και συναισθηματικά ευαίσθητα συστήματα NPC επηρέασαν τόσο την εμπειρία όσο και την τεχνική απόδοση του παιχνιδιού. Αυτή η ενότητα επικεντρώνεται σε δύο τομείς: σύγκριση των συμπεριφορών των NPCs και των επιπτώσεών τους στην εμπειρία της παίκτριας και αξιολόγηση της τεχνικής απόδοσης των συστημάτων που εφαρμόστηκαν.

5.2.1 Σύγκριση των συμπεριφορών των NPCs και των επιπτώσεων στην εμπειρία του παίκτη

Αυτή η ενότητα συγκρίνει τους προσαρμοστικούς και τους στατικούς NPCs, καθώς και τους NPCs που ανταποκρίνονται συναισθηματικά σε σχέση με τους μη συναισθηματικούς NPCs, για να κατανοήσουμε πώς αυτές οι εξελίξεις συνέβαλαν στην εμπύθιση, την εμπλοκή και τη λήψη αποφάσεων.

Προσαρμοστικοί vs. Στατικοί NPCs

Οι προσαρμοστικοί NPCs, οι οποίοι τροποποιούν τη συμπεριφορά τους με βάση τις αλληλεπιδράσεις της παίκτριας και τις περιβαλλοντικές αλλαγές, αποτελούν σημαντική πρόοδο

σε σχέση με τους στατικούς NPCs, οι οποίοι ακολουθούν σταθερά πρότυπα. Οι βασικές διαφορές περιλαμβάνουν:

- **Συμπεριφορική ευελιξία:** Οι προσαρμοστικοί NPCs επέδειξαν ευελιξία, αλλάζοντας τακτική ως απάντηση στις ενέργειες της παίκτριας (π.χ. υποχωρώντας όταν ήταν κατώτεροι των περιστάσεων). Αυτό έκανε τις συναντήσεις μάχης πιο δυναμικές και απρόβλεπτες, ενώ οι στατικοί NPCs ακολουθούσαν άκαμπτα, εκμεταλλεύσιμα πρότυπα συμπεριφοράς (Yannakakis & Togelius, 2018).
- **Δέσμευση παίκτη:** Η παίκτρια ασχολείται περισσότερο με τους προσαρμοστικούς NPCs, επειδή αυτοί οι χαρακτήρες παρείχαν ποικίλες και ουσιαστικές αλληλεπιδράσεις. Οι στατικοί NPCs, αντίθετα, συχνά γίνονταν στοιχεία του φόντου μετά τις αρχικές αλληλεπιδράσεις, καθώς η προβλεψιμότητά τους οδηγούσε σε μια αίσθηση επανάληψης (Russell, 1980).
- **Αφηγηματικός αντίκτυπος:** Οι προσαρμοστικοί NPCs είχαν μεγαλύτερη αφηγηματική επιρροή, επιτρέποντας δυναμικές αλλαγές στην ιστορία με βάση τις επιλογές του παίκτη. Οι στατικοί NPCs δεν είχαν αυτή την ευελιξία, περιορίζοντας τη δράση της παίκτριας και μειώνοντας τη συνολική εμπάθυση στην αφήγηση του παιχνιδιού (Salen & Zimmerman, 2004).

Συναισθηματικές έναντι μη συναισθηματικών αντιδράσεων

Οι NPCs που ανταποκρίνονται συναισθηματικά δημιούργησαν βαθύτερες συνδέσεις και πιο καθηλωτικές εμπειρίες σε σύγκριση με τους μη συναισθηματικούς NPCs.

- **Συναισθηματικές ενδείξεις και αλληλεπίδραση παικτών:** Οι NPCs με συναισθηματικές αντιδράσεις μετέφεραν τα συναισθήματά τους μέσω εκφράσεων του προσώπου και της γλώσσας του σώματος. Αυτές οι ενδείξεις προσέφεραν άμεσα σχόλια σχετικά με το πώς έγιναν αντιληπτές οι ενέργειες του παίκτη, ενθαρρύνοντας τον να προσαρμόσει τη συμπεριφορά του ως απάντηση, γεγονός που εμπλούτισε τις αλληλεπιδράσεις (Ekman, 1992).
- **Επίδραση στη λήψη αποφάσεων από τον παίκτη:** Η παίκτρια ήταν πιο πιθανό να εξετάσει τις συναισθηματικές επιπτώσεις των ενεργειών της όταν οι NPCs εμφάνιζαν συναισθηματικές αντιδράσεις. Αυτό πρόσθεσε μια ηθική διάσταση στη λήψη αποφάσεων, καθώς οι παίκτες έπρεπε να σταθμίσουν τα οφέλη των επιλογών τους έναντι των πιθανών συναισθηματικών συνεπειών για τους NPCs. Αντίθετα, οι μη συναισθηματικοί NPCs αντιμετωπίζονταν συχνά περισσότερο ως εργαλεία για στρατηγική πρόοδο, χωρίς να ενδιαφέρονται για τις διαπροσωπικές δυναμικές (Russell, 1980).
- **Εμβύθιση και συναισθηματική απήχηση:** Οι συναισθηματικοί NPCs ενίσχυαν την εμβύθιση, ιδιαίτερα σε αφηγηματικά σενάρια, όπου οι αντιδράσεις τους ενίσχυαν τη σημασία βασικών γεγονότων. Οι μη συναισθηματικοί NPCs δεν είχαν την ικανότητα να προκαλέσουν το ίδιο επίπεδο εμπλοκής, μειώνοντας τον συναισθηματικό αντίκτυπο των γεγονότων στο παιχνίδι (Salen & Zimmerman, 2004).

Εμβύθιση, επίπεδα δέσμευσης και αντίκτυπος στη λήψη αποφάσεων

Ο συνδυασμός προσαρμοστικών συμπεριφορών και συναισθηματικής ανταπόκρισης οδήγησε σε μια πιο καθηλωτική, ελκυστική και σύνθετη εμπειρία παιχνιδιού.

- **Ενισχυμένη εμπάπτιση:** Οι δυναμικές αλληλεπιδράσεις των NPCs δημιούργησαν έναν πιο αντιδραστικό κόσμο παιχνιδιού, αυξάνοντας την αίσθηση παρουσίας και σύνδεσης του παίκτη. Οι συμπεριφορές των NPCs ευθυγραμμίζονταν με τις προσωπικότητες και τους ρόλους τους, ενισχύοντας περαιτέρω την εμβύθιση (Yannakakis & Togelius, 2018).
- **Αυξημένη δέσμευση:** Η δυναμική φύση των NPCs έκανε τις επιλογές της παίκτριας να έχουν περισσότερο νόημα. Η παίκτρια εξερεύνησε πολλαπλές στρατηγικές και αποτελέσματα, καθοδηγούμενη από τις εξελισσόμενες αντιδράσεις των NPCs, γεγονός που οδήγησε σε μια πιο ποικίλη και replayable εμπειρία παιχνιδιού (Ekman, 1992).
- **Επιρροή στη λήψη αποφάσεων:** Η παίκτρια προσέγγιζε τις αλληλεπιδράσεις με τους NPCs πιο προσεκτικά, ιδιαίτερα όταν κατανοούσε ότι οι αποφάσεις της είχαν μακροπρόθεσμες συνέπειες. Αυτή η σκέψη πρόσθεσε ένα επίπεδο ηθικής και

δεοντολογικής πολυπλοκότητας στο παιχνίδι, καθιστώντας τη λήψη αποφάσεων πιο διανοητικά και συναισθηματικά ελκυστική (Russell, 1980).

5.2.2 Τεχνικές επιδόσεις

Η ανάλυση των τεχνικών επιδόσεων επικεντρώνεται στην αποτελεσματικότητα των δέντρων συμπεριφοράς, στην επεκτασιμότητα των συστημάτων NPC και στην ικανότητα του παιχνιδιού να διαχειρίζεται τις απαιτήσεις επεξεργασίας σε πραγματικό χρόνο.

Αποτελεσματικότητα των δέντρων συμπεριφοράς

Τα δέντρα συμπεριφοράς ήταν η βασική δομή για τη διαχείριση των διαδικασιών λήψης αποφάσεων των NPCs. Η αποτελεσματικότητά τους ήταν ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της απόκρισης σε πραγματικό χρόνο χωρίς συμβιβασμούς στην απόδοση.

- **Στρατηγικές βελτιστοποίησης:** Χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές όπως το «κλάδεμα» των περιττών κλάδων και η χρήση ελαφρών κόμβων για ελέγχους ρουτίνας. Αυτές οι βελτιστοποιήσεις επέτρεψαν τον αποτελεσματικό χειρισμό πολλαπλών NPCs κατά τη διάρκεια πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων, ελαχιστοποιώντας την επιβάρυνση του υπολογισμού (Epic Games, 2023).
- **Λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο:** Οι δυνατότητες παράλληλης επεξεργασίας των δέντρων συμπεριφοράς επέτρεψαν στους NPCs να αξιολογούν ταυτόχρονα πολλαπλές συνθήκες και να επιλέγουν ενέργειες γρήγορα. Αυτό ήταν ζωτικής σημασίας σε σενάρια μάχης, όπου οι αποφάσεις σε κλάσματα δευτερολέπτου επηρέαζαν τα αποτελέσματα του παιχνιδιού (Yannakakis & Togelius, 2018).

Επεκτασιμότητα και επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο

Η επεκτασιμότητα και η αποτελεσματική επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο ήταν απαραίτητες για τη διατήρηση της απόδοσης.

- **Αποδοτικότητα επεξεργασίας σε πραγματικό χρόνο:** Η απόκριση των NPCs διατηρήθηκε μέσω multithreading και παράλληλης επεξεργασίας, διασφαλίζοντας ότι ακόμη και κατά τη διάρκεια πολύπλοκων σεναρίων, το παιχνίδι παρέμενε ομαλό και ρευστό (Yannakakis & Togelius, 2018).
- **Μείωση της καθυστέρησης:** Η απόκριση με χαμηλή καθυστέρηση επιτεύχθηκε με τον προ-υπολογισμό ορισμένων συμπεριφορών και τη χρήση αλγορίθμων πρόβλεψης. Αυτά τα μέτρα ελαχιστοποίησαν τις καθυστερήσεις, εξασφαλίζοντας ότι οι NPCs αντιδρούσαν σχεδόν άμεσα στις ενέργειες της παίκτριας (Salen & Zimmerman, 2004).

Συμπέρασμα της ανάλυσης

Η ανάλυση αναδεικνύει τη σημαντική επιρροή των προσαρμοστικών και συναισθηματικά ευαίσθητων NPCs στην εμπειρία του παίκτη, ιδίως όσον αφορά την εμπύθιση, την εμπλοκή και τη λήψη αποφάσεων. Αυτοί οι NPCs έκαναν τον κόσμο του παιχνιδιού πιο δυναμικό και διαδραστικό, ενθαρρύνοντας τη βαθύτερη εμπλοκή της παίκτριας στην αφήγηση και τα στρατηγικά στοιχεία.

Από τεχνικής άποψης, ο αποτελεσματικός σχεδιασμός των δέντρων συμπεριφοράς και των κλιμακούμενων συστημάτων NPC εξασφάλισε ότι το παιχνίδι διατηρούσε υψηλές επιδόσεις ακόμη και σε πολύπλοκα σενάρια πραγματικού χρόνου. Αυτή η επιτυχημένη εφαρμογή καταδεικνύει τις δυνατότητες της προηγμένης τεχνητής νοημοσύνης για τη δημιουργία πιο καθηλωτικών και ελκυστικών εμπειριών παιχνιδιού.

5.3 Σύγκριση με τις υπάρχουσες εργασίες

Για να εντάξουμε τα αποτελέσματα αυτού του έργου στον ευρύτερο τομέα της ανάπτυξης της τεχνητής νοημοσύνης παιχνιδιών, είναι απαραίτητο να συγκρίνουμε τα ευρήματα με τα πρότυπα του κλάδου και την υπάρχουσα ακαδημαϊκή έρευνα. Η σύγκριση αυτή αναδεικνύει τον τρόπο με τον οποίο τα συστήματα NPC που αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο του παρόντος έργου ευθυγραμμίζονται ή αποκλίνουν από τις τρέχουσες τάσεις και βέλτιστες πρακτικές, καθώς και τον πιθανό αντίκτυπό τους στη βιομηχανία παιχνιδιών και στην ακαδημαϊκή κατανόηση της τεχνητής νοημοσύνης στα παιχνίδια.

5.3.1 Συγκριτική αξιολόγηση με βάση τα πρότυπα του κλάδου και ακαδημαϊκές συγκρίσεις

Στην ενότητα αυτή συγκρίνονται τα συστήματα NPC που αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο του παρόντος έργου με τα υπάρχοντα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης τόσο σε εμπορικά παιχνίδια όσο και σε ακαδημαϊκή έρευνα, με έμφαση στην πολυπλοκότητα της συμπεριφοράς, τη συναισθηματική ανταπόκριση και την επεκτασιμότητα.

Σύγκριση με άλλα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης παιχνιδιών

Στη βιομηχανία παιχνιδιών, τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης ποικίλλουν σε πολυπλοκότητα ανάλογα με το είδος και την επιδιωκόμενη εμπειρία των παικτών. Τα συστήματα NPC που αναπτύχθηκαν σε αυτό το έργο συγκρίθηκαν με γνωστές υλοποιήσεις τεχνητής νοημοσύνης παιχνιδιών για να αξιολογηθεί η απόδοση και η πολυπλοκότητά τους.

- **Συμπεριφορική πολυπλοκότητα:** Πολλά παραδοσιακά συστήματα τεχνητής νοημοσύνης παιχνιδιών βασίζονται σε μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων ή σε συστήματα βασισμένα σε κανόνες για τις συμπεριφορές των NPCs. Αυτά τα συστήματα συχνά δυσκολεύονται να προσαρμοστούν σε δυναμικά περιβάλλοντα ή σε αλληλεπιδράσεις που καθοδηγούνται από τον παίκτη. Αντίθετα, τα δέντρα συμπεριφοράς που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτό το έργο επέτρεψαν πιο σύνθετες και προσαρμόσιμες συμπεριφορές NPCs, επιτρέποντας στους χαρακτήρες να λαμβάνουν αποφάσεις με βάση ένα ευρύτερο φάσμα εισροών και συνθηκών (Yannakakis & Togelius, 2018). Για παράδειγμα, οι NPCs σε αυτό το έργο επέδειξαν προσαρμοστική συμπεριφορά, όπως η τροποποίηση της τακτικής μάχης με βάση τις ενέργειες του παίκτη, ξεπερνώντας τους γραμμικούς περιορισμούς των συστημάτων που βασίζονται σε μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων (Salen & Zimmerman, 2004).
- **Συναισθηματική ανταπόκριση:** Πολλά υπάρχοντα παιχνίδια διαθέτουν NPCs με περιορισμένες, προκαθορισμένες συναισθηματικές αντιδράσεις. Αυτές οι προκαθορισμένες αντιδράσεις δεν προσαρμόζονται δυναμικά στις αλληλεπιδράσεις των παικτών. Αντίθετα, οι NPCs που αναπτύχθηκαν σε αυτό το έργο παρουσίασαν συναισθηματική προσαρμογή σε πραγματικό χρόνο, ανταποκρινόμενοι στις άμεσες αλληλεπιδράσεις των παικτών. Ενώ παιχνίδια όπως το *The Last of Us Part II* και το *Red Dead Redemption 2* ενσωματώνουν συναισθηματικές αντιδράσεις για να ενισχύσουν το αφηγηματικό βάθος, τα δυναμικά συναισθηματικά μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτό το έργο αποτελούν ένα βήμα προς τα εμπρός, προσφέροντας πιο οργανικές και απρόβλεπτες αντιδράσεις που συμβάλλουν στην εμπύθιση (Ekman, 1992).

Ευθυγράμμιση ή απόκλιση από την τρέχουσα έρευνα

Εκτός από τη συγκριτική αξιολόγηση με τα πρότυπα της βιομηχανίας, η σύγκριση των συστημάτων NPC με την υπάρχουσα ακαδημαϊκή έρευνα αναδεικνύει τον τρόπο με τον οποίο το έργο ευθυγραμμίζεται ή αποκλίνει από τις βασικές τάσεις στην ανάπτυξη τεχνητής νοημοσύνης για παιχνίδια.

- **Προσαρμοστικά συστήματα τεχνητής νοημοσύνης και μάθησης:** Η ακαδημαϊκή έρευνα επικεντρώνεται όλο και περισσότερο στην προσαρμοστική τεχνητή νοημοσύνη, όπου οι NPCs μαθαίνουν από τις αλληλεπιδράσεις των παικτών και προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους ανάλογα. Πολλές μελέτες διερευνούν προσεγγίσεις μηχανικής μάθησης όπως η ενισχυτική μάθηση, επιτρέποντας στους NPCs να βελτιώνονται με την πάροδο του χρόνου. Αν και αυτό το έργο δεν χρησιμοποιεί μηχανική μάθηση με την παραδοσιακή έννοια, τα δέντρα προσαρμοστικής συμπεριφοράς του επιτρέπουν στους NPCs να προσαρμόζουν τις ενέργειές τους με βάση τις πράξεις του παίκτη, ευθυγραμμιζόμενοι με την έρευνα στην προσαρμοστική τεχνητή νοημοσύνη. Ωστόσο, το έργο αποκλίνει εστιάζοντας σε προκαθορισμένους κανόνες προσαρμογής και όχι σε αναδυόμενες συμπεριφορές μέσω αλγορίθμων μάθησης (Yannakakis & Togelius, 2018).
- **Συναισθηματική μοντελοποίηση στα παιχνίδια:** Η συναισθηματική μοντελοποίηση είναι ένας τομέας όπου το έργο αυτό ευθυγραμμίζεται στενά με την ακαδημαϊκή έρευνα. Οι μελέτες στον τομέα της συναισθηματικής πληροφορικής διερευνούν τον τρόπο με τον οποίο τα συναισθήματα μπορούν να ενσωματωθούν στην τεχνητή νοημοσύνη για τη δημιουργία πιο ελκυστικών NPCs, συχνά χρησιμοποιώντας ψυχολογικά πλαίσια όπως

τα βασικά συναισθήματα του Ekman ή το circumplex model of affect του Russell. Τα δυναμικά συναισθηματικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται σε αυτό το έργο, τα οποία επιτρέπουν στους NPCs να προσαρμόζονται συναισθηματικά σε πραγματικό χρόνο με βάση τις ενέργειες των παικτών, αντικατοπτρίζουν αυτές τις θεωρίες. Το έργο αυτό προάγει τον τομέα με την ενσωμάτωση της συναισθηματικής προσαρμογής σε πραγματικό χρόνο, συμβάλλοντας στη συνεχιζόμενη συζήτηση σχετικά με το πώς τα συναισθήματα ενισχύουν την εμπύθιση στην τεχνητή νοημοσύνη των παιχνιδιών (Ekman, 1992- Russell, 1980).

- **Δέντρα συμπεριφοράς και αρχιτεκτονική τεχνητής νοημοσύνης:** Τα δέντρα συμπεριφοράς χρησιμοποιούνται συνήθως τόσο στη βιομηχανία όσο και στην ακαδημαϊκή έρευνα για τη διαχείριση σύνθετων συμπεριφορών τεχνητής νοημοσύνης. Στα ακαδημαϊκά πλαίσια, τα δέντρα συμπεριφοράς μελετώνται για την ιεραρχική λήψη αποφάσεων και την επεκτασιμότητά τους στο χειρισμό πολλαπλών NPCs. Η υλοποίηση σε αυτό το έργο ευθυγραμμίζεται με αυτή την έρευνα, ιδίως όσον αφορά τη διαχείριση δυναμικών, ευαίσθητων στο πλαίσιο συμπεριφορών. Ωστόσο, αυτό το έργο εστιάζει περισσότερο σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου σε μια εμπορική μηχανή, προσφέροντας πρακτικές γνώσεις σχετικά με την αποτελεσματικότητα των δέντρων συμπεριφοράς σε ενεργά περιβάλλοντα παιχνιδιών (Yannakakis & Togelius, 2018).

Βιομηχανικές εφαρμογές, συνάφεια και νέες συνεισφορές

Τα συστήματα NPC που αναπτύχθηκαν σε αυτό το έργο έχουν μεγάλη συνάφεια με τις τρέχουσες τάσεις της βιομηχανίας και συμβάλλουν σε νέες εξελίξεις τόσο στη βιομηχανική πρακτική όσο και στην ακαδημαϊκή έρευνα.

- **Βιομηχανική συνάφεια:** Τα συστήματα είναι ιδιαίτερα εφαρμόσιμα σε παιχνίδια ανοικτού κόσμου και αφηγηματικά παιχνίδια, όπου οι καθηλωτικές αλληλεπιδράσεις των NPCs είναι ζωτικής σημασίας. Με τη βιομηχανία παιχνιδιών να επικεντρώνεται όλο και περισσότερο στη δημιουργία συναισθηματικά ελκυστικών εμπειριών, οι προσαρμοστικοί και συναισθηματικά ανταποκρινόμενοι NPCs που αναπτύχθηκαν σε αυτό το έργο προσφέρουν ένα μονοπάτι για την ενίσχυση της εμπύθισης και της εμπλοκής των παικτών. Οι τεχνικές αυτές είναι άμεσα σχετικές με την ανάπτυξη παιχνιδιών επόμενης γενιάς, όπου οι δυναμικοί NPCs μπορούν να δημιουργήσουν πλουσιότερες αφηγηματικές εμπειρίες (Salen & Zimmerman, 2004).
- **Νέες συνεισφορές στην τεχνητή νοημοσύνη στα παιχνίδια:** Μια από τις βασικές συνεισφορές αυτού του έργου είναι η ενσωμάτωση των δέντρων προσαρμοστικής συμπεριφοράς με τη συναισθηματική μοντελοποίηση. Ενώ η προσαρμοστική τεχνητή νοημοσύνη και η συναισθηματική μοντελοποίηση έχουν μελετηθεί χωριστά, ο συνδυασμός των δύο σε ένα κλιμακούμενο πλαίσιο στο παρόν έργο αποτελεί σημαντική πρόοδο. Η ικανότητα των NPCs να προσαρμόζονται τόσο συμπεριφορικά όσο και συναισθηματικά δημιουργεί μια πιο δυναμική και ποικίλη εμπειρία παιχνιδιού (Yannakakis & Togelius, 2018). Η συναισθηματική προσαρμογή σε πραγματικό χρόνο, όπου οι NPCs προσαρμόζονται με βάση τις τρέχουσες αλληλεπιδράσεις, προσθέτει επίσης απρόβλεπτες καταστάσεις και ρεαλισμό που δεν παρατηρούνται συνήθως στα τρέχοντα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης.
- **Συμβολή στην ακαδημαϊκή έρευνα:** Από ακαδημαϊκή άποψη, το έργο αυτό συνεισφέρει πολύτιμες μελέτες περίπτωσης σχετικά με την ενσωμάτωση της συναισθηματικής τεχνητής νοημοσύνης και των δέντρων προσαρμοστικής συμπεριφοράς σε εμπορικές μηχανές παιχνιδιών. Η εφαρμογή αυτών των τεχνικών τεχνητής νοημοσύνης σε πραγματικό χρόνο παρέχει πρακτικές γνώσεις για τους ερευνητές που διερευνούν τον τρόπο υλοποίησης σύνθετων συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης σε ζωντανά περιβάλλοντα. Επιπλέον, τα σημεία αναφοράς για την επεκτασιμότητα και τις επιδόσεις προσφέρουν εμπειρικά δεδομένα που θα μπορούσαν να ενημερώσουν τη μελλοντική έρευνα και ανάπτυξη στον τομέα (Epic Games, 2023).

Συνοπτικά, τα συστήματα NPC που αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο του παρόντος έργου συγκρίνονται ευνοϊκά με τα υπάρχοντα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης τόσο στη βιομηχανία όσο και στην ακαδημαϊκή κοινότητα. Η ενσωμάτωση των προσαρμοστικών δέντρων συμπεριφοράς και της συναισθηματικής μοντελοποίησης σε πραγματικό χρόνο τοποθετεί αυτό το έργο στην αιχμή των σύγχρονων τάσεων στην τεχνητή νοημοσύνη των παιχνιδιών,

προσφέροντας τόσο πρακτικές λύσεις για καθηλωτικό παιχνίδι όσο και θεωρητικές συνεισφορές στον τομέα. Αυτές οι καινοτομίες υποδηλώνουν ότι τα συστήματα που αναπτύχθηκαν εδώ έχουν τη δυνατότητα να βελτιώσουν σημαντικά την ποιότητα της διαδραστικής ψυχαγωγίας, παρέχοντας στους παίκτες πλουσιότερες και πιο ελκυστικές εμπειρίες.

5.4 Συνέπειες της έρευνας

Η έρευνα που διεξήχθη στο πλαίσιο αυτού του έργου προσφέρει πολύτιμες γνώσεις σχετικά με το σχεδιασμό και την ανάπτυξη NPCs σε διαδραστικά ψηφιακά περιβάλλοντα. Τα ευρήματα αυτά έχουν εκτεταμένες επιπτώσεις, επηρεάζοντας τις μελλοντικές κατευθύνσεις στο σχεδιασμό παιχνιδιών, την ανάπτυξη τεχνητής νοημοσύνης και τον ευρύτερο τομέα της διαδραστικής ψυχαγωγίας. Η παρούσα ενότητα διερευνά τις βασικές συνέπειες, εστιάζοντας στην ενίσχυση της διήγησης και της αφήγησης, στη βελτίωση της δέσμευσης και της διατήρησης των παικτών και στην προώθηση των προσαρμοστικών συστημάτων και της τεχνητής νοημοσύνης που ανταποκρίνεται συναισθηματικά.

5.4.1 Συνέπειες για τον σχεδιασμό παιχνιδιών και την ανάπτυξη ΤΝ

Ενίσχυση της διήγησης και της αφήγησης

Ένα από τα πιο σημαντικά αποτελέσματα αυτής της έρευνας είναι η δυνατότητά της να φέρει επανάσταση στη διήγηση και την αφήγηση μέσα στα παιχνίδια. Η ανάπτυξη προσαρμοστικών και συναισθηματικά ανταποκρινόμενων NPCs ανοίγει νέες δυνατότητες για τη δημιουργία δυναμικών, καθοδηγούμενων από τους παίκτες αφηγήσεων που εξελίσσονται με βάση τις αλληλεπιδράσεις τους με τον κόσμο του παιχνιδιού.

- **Συναισθηματική δέσμευση με την αφήγηση:** Οι NPCs που ανταποκρίνονται συναισθηματικά συμβάλλουν στη βαθύτερη συναισθηματική εμπλοκή με την αφήγηση. Οι NPCs που είναι ικανοί να αντιδρούν συναισθηματικά στις αποφάσεις των παικτών δημιουργούν έναν πιο σχετικό και συναρπαστικό κόσμο παιχνιδιού. Η συναισθηματική εμπλοκή είναι απαραίτητη για την αφήγηση ιστοριών, καθώς ενισχύει τη σύνδεση μεταξύ των παικτών και των χαρακτήρων, καθιστώντας την αφήγηση πιο επιδραστική. Για παράδειγμα, η συναισθηματική αντίδραση ενός NPC σε μια προσωπική απώλεια βρίσκει βαθύτερη απήχηση στους παίκτες, εμπλουτίζοντας τη συνολική αφήγηση (Ekman, 1992).
- **Αφηγηματική συνοχή και εμβάθυνση:** Οι προσαρμοστικοί και συναισθηματικά ευαίσθητοι NPCs βοηθούν στη διατήρηση της αφηγηματικής συνέπειας και της εμβύθισης. Διασφαλίζοντας ότι οι συμπεριφορές και τα συναισθήματα των NPCs ευθυγραμμίζονται με τη συνολική αφήγηση και την οικοδόμηση του κόσμου του παιχνιδιού, οι προγραμματιστές μπορούν να δημιουργήσουν έναν συνεκτικό και πιστευτό κόσμο. Αυτή η συνοχή είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση της εμβύθισης των παικτών, καθώς αποφεύγονται οι τρανταχτές διακοπές που διακόπτουν την εμπλοκή (Yannakakis & Togelius, 2018).

Βελτίωση της δέσμευσης και της διατήρησης των παικτών

Τα ευρήματα αυτής της έρευνας προσφέρουν σημαντικές γνώσεις σχετικά με το πώς οι προσαρμοστικοί και συναισθηματικά ευαίσθητοι NPCs μπορούν να βελτιώσουν τη δέσμευση και τη διατήρηση των παικτών - παράγοντες κρίσιμης σημασίας για την εμπορική επιτυχία ενός παιχνιδιού. Αυτοί οι NPCs βελτιώνουν την εμπειρία των παικτών ενθαρρύνοντας βαθύτερες αλληλεπιδράσεις και μακροπρόθεσμη δέσμευση στο παιχνίδι.

- **Αυξημένη δυνατότητα αναπαραγωγής:** Οι προσαρμοστικοί NPCs αυξάνουν τη δυνατότητα επανάληψης ενός παιχνιδιού, καθώς η ικανότητά τους να αλλάζουν συμπεριφορές και συναισθηματικές αντιδράσεις με βάση τις ενέργειες της παίκτριας προσφέρει διαφορετικές εμπειρίες σε κάθε επανάληψη. Αυτή η μεταβλητότητα ενθαρρύνει τους παίκτες να εξερευνήσουν εναλλακτικά αποτελέσματα και αλληλεπιδράσεις, αυξάνοντας τη διάρκεια ζωής του παιχνιδιού. Η δυνατότητα αναπαραγωγής αποτελεί βασικό παράγοντα για τη διατήρηση των παικτών, παρέχοντας συνεχή αξία που παρακινεί τους παίκτες να επιστρέψουν στο παιχνίδι (Russell, 1980).
- **Βαθύτερη δέσμευση των παικτών:** Οι NPCs με συναισθηματική ανταπόκριση ενισχύουν τη βαθύτερη δέσμευση των παικτών δημιουργώντας πιο ουσιαστικές

αλληλεπιδράσεις. Οι παίκτες είναι πιο πιθανό να επενδύσουν στον κόσμο του παιχνιδιού και τους χαρακτήρες του όταν αισθάνονται ότι οι ενέργειές τους έχουν από αντίκτυπο στα συναισθήματα των NPCs και στην ευρύτερη αφήγηση. Αυτό, με τη σειρά του, παρακινεί τους παίκτες να εξερευνήσουν διάφορες στρατηγικές και μεθόδους αλληλεπίδρασης, με αποτέλεσμα μια πιο καθλωτική και ικανοποιητική εμπειρία (Ekman, 1992).

- **Διατήρηση μέσω συναισθηματικής σύνδεσης:** Οι συναισθηματικές συνδέσεις μεταξύ των παικτών και των NPCs επηρεάζουν σημαντικά τη διατήρηση των παικτών. Όταν οι παίκτες αισθάνονται συναισθηματικά συνδεδεμένοι με τους NPCs, είναι πιο πρόθυμοι να επιστρέψουν στο παιχνίδι για να συνεχίσουν αυτές τις σχέσεις. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε παιχνίδια με βάση την αφήγηση, όπου οι αποφάσεις των παικτών έχουν μόνιμες συνέπειες για τους NPCs και την ιστορία. Με την προώθηση αυτών των συνδέσεων, οι προγραμματιστές μπορούν να ενισχύσουν την αφοσίωση και τη διατήρηση των παικτών (Salen & Zimmerman, 2004).

Καινοτομίες στα προσαρμοστικά συστήματα και μελλοντικές κατευθύνσεις στη συναισθηματικά ευαίσθητη τεχνητή νοημοσύνη

Η έρευνα συμβάλλει επίσης στην πρόοδο της ανάπτυξης της τεχνητής νοημοσύνης, ιδίως στα προσαρμοστικά συστήματα και στη συναισθηματικά ευαίσθητη τεχνητή νοημοσύνη. Οι καινοτομίες που παρουσιάζονται σε αυτό το έργο θα μπορούσαν να διαμορφώσουν τη μελλοντική έρευνα της τεχνητής νοημοσύνης και την ανάπτυξη παιχνιδιών.

- **Εξελίξεις στην προσαρμοστική τεχνητή νοημοσύνη:** Τα προσαρμοστικά συστήματα τεχνητής νοημοσύνης που αναπτύχθηκαν σε αυτό το έργο αντιπροσωπεύουν σημαντική πρόοδο στην τεχνολογία της τεχνητής νοημοσύνης. Επιτρέποντας στους NPCs να τροποποιούν τη συμπεριφορά τους σε πραγματικό χρόνο με βάση τις αλληλεπιδράσεις των παικτών και τις περιβαλλοντικές αλλαγές, το έργο επιδεικνύει έναν δυναμικό και ευέλικτο κόσμο παιχνιδιού. Αυτές οι τεχνικές - όπως τα ιεραρχικά δέντρα συμπεριφοράς και το multithreading - παρέχουν ένα επεκτάσιμο πλαίσιο που μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορα διαδραστικά περιβάλλοντα πέρα από τα παιχνίδια, συμπεριλαμβανομένων των προσομοιώσεων και της εικονικής πραγματικότητας (Yannakakis & Togelius, 2018).
- **Μελλοντικές κατευθύνσεις στη συναισθηματικά ευαίσθητη τεχνητή νοημοσύνη:** Η συναισθηματικά ευαίσθητη τεχνητή νοημοσύνη που αναπτύχθηκε εδώ προτείνει συναρπαστικές νέες κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα. Ενώ τα τρέχοντα μοντέλα συναισθηματικής τεχνητής νοημοσύνης συχνά βασίζονται σε στατικές ή προκαθορισμένες απαντήσεις, το παρόν έργο καταδεικνύει τη δυνατότητα συναισθηματικής προσαρμογής σε πραγματικό χρόνο. Αυτό το δυναμικό συναισθηματικό μοντέλο επιτρέπει στους NPCs να ανταποκρίνονται πιο συγκυριακά στις ενέργειες του παίκτη, δημιουργώντας πιο διαφοροποιημένες και ρεαλιστικές αλληλεπιδράσεις (Ekman, 1992). Η μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να διερευνήσει την ενσωμάτωση τεχνικών μηχανικής μάθησης για την περαιτέρω ενίσχυση της ικανότητας των NPCs να εξελίσσονται συναισθηματικά με την πάροδο του χρόνου.

Συμπερασματικά, η έρευνα που διεξήχθη στο πλαίσιο του παρόντος έργου προσφέρει σημαντικές συνέπειες για το σχεδιασμό παιχνιδιών και την ανάπτυξη τεχνητής νοημοσύνης. Η δυνατότητα δημιουργίας προσαρμοστικών και συναισθηματικά ανταποκρινόμενων NPCs ανοίγει νέες δυνατότητες για την ενίσχυση της αφήγησης, τη βελτίωση της δέσμευσης και της διατήρησης των παικτών και την εξέλιξη της τεχνολογίας της τεχνητής νοημοσύνης. Τα ευρήματα αυτά υποδηλώνουν ότι οι τεχνικές που αναπτύχθηκαν εδώ έχουν τη δυνατότητα να επηρεάσουν τη μελλοντική έρευνα και ανάπτυξη στα διαδραστικά μέσα, οδηγώντας σε πιο καθλωτικές, ελκυστικές και συναισθηματικά απηχούσες εμπειρίες.

5.5 Περιορισμοί της μελέτης

Ενώ η ανάπτυξη προσαρμοστικών και συναισθηματικά ευαίσθητων NPCs απέδωσε ελπιδοφόρα αποτελέσματα, είναι σημαντικό να αναγνωριστούν οι περιορισμοί της μελέτης. Αυτοί οι περιορισμοί μπορούν να χωριστούν σε δύο βασικούς τομείς: τεχνικοί περιορισμοί που σχετίζονται με τις δυνατότητες της Unreal Engine 5.4 και μεθοδολογικοί περιορισμοί στον ερευνητικό σχεδιασμό και τη συλλογή δεδομένων. Η κατανόηση αυτών των περιορισμών είναι

απαραίτητη για την ακριβή ερμηνεία των αποτελεσμάτων και την καθοδήγηση της μελλοντικής ανάπτυξης.

5.5.1 Συνδυασμένοι τεχνικοί και μεθοδολογικοί περιορισμοί

Τεχνικοί περιορισμοί: Engine 5.4 και προκλήσεις ανάπτυξης μεγάλης κλίμακας

Οι πρωταρχικοί τεχνικοί περιορισμοί οφείλονται στη χρήση της Unreal Engine 5.4, μιας πανίσχυρης μηχανής αλλά όχι χωρίς περιορισμούς στη διαχείριση προηγμένων συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης, ιδιαίτερα σε μεγάλη κλίμακα.

- **Δυνατότητες και περιορισμοί της μηχανής:** Η Unreal Engine 5.4 προσφέρει πολλά προηγμένα εργαλεία, όπως το multithreading και τα πλαίσια τεχνητής νοημοσύνης, αλλά υπάρχουν εγγενείς περιορισμοί, ιδιαίτερα στον τρόπο διαχείρισης των νημάτων για πολύπλοκες εργασίες τεχνητής νοημοσύνης. Αυτό οδήγησε περιστασιακά σε συμφόρηση επιδόσεων. Παρόλο που η πολυνηματικότητα βοήθησε στον μετριασμό ορισμένων προβλημάτων, η αποτελεσματικότητα της μηχανής με προσαρμοστική τεχνητή νοημοσύνη μεγάλης κλίμακας παραμένει μια πρόκληση.
- **Περιορισμοί επεξεργασίας σε πραγματικό χρόνο:** Οι προσαρμοστικοί και συναισθηματικά ευαίσθητοι NPCs απαιτούν επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο για να αντιδρούν άμεσα στις ενέργειες των παικτών. Παρόλο που τα συστήματα βελτιστοποιήθηκαν για την ελαχιστοποίηση των καθυστερήσεων, υπήρχαν στιγμές σε πολύπλοκα σενάρια όπου εμφανίζονταν προβλήματα απόδοσης, ιδίως όταν αλληλεπιδρούσαν ταυτόχρονα πολλοί NPCs. Αυτό υποδεικνύει ορισμένους περιορισμούς στις δυνατότητες επεξεργασίας σε πραγματικό χρόνο της Unreal Engine 5.4, οι οποίες ενδέχεται να χρειάζονται βελτίωση για πιο απαιτητικά σενάρια (Salen & Zimmerman, 2004).

Μεθοδολογικοί περιορισμοί

Εκτός από τις τεχνικές προκλήσεις, η μελέτη αντιμετώπισε μεθοδολογικούς περιορισμούς που αφορούσαν τη δοκιμή χρηστών και τη συλλογή δεδομένων. Αυτοί οι περιορισμοί ενδέχεται να επηρέασαν τα ευρήματα και πρέπει να αναγνωριστούν.

- **Πιθανές προκαταλήψεις στη συλλογή δεδομένων:** Η εξάρτηση της μελέτης από μέτρα αυτοαναφοράς εισάγει πιθανές προκαταλήψεις, όπως η κοινωνική επιθυμία και η προκατάληψη της ανάκλησης. Ενδέχεται να δόθηκαν απαντήσεις που ήταν ευνοϊκές για την έρευνα. Τέτοιες μεροληψίες μπορεί να αλλοιώσουν τα ευρήματα, καθιστώντας δύσκολη την εξαγωγή οριστικών συμπερασμάτων σχετικά με την αποτελεσματικότητα των συστημάτων NPC (Ekman, 1992).
- **Περιορισμοί της ποσοτικής ανάλυσης δεδομένων:** Παρόλο που η ποσοτική ανάλυση παρείχε πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τη δέσμευση των παικτών και την απόδοση των NPCs, ενδέχεται να μην έχει αποτυπώσει πλήρως την πολυπλοκότητα των αλληλεπιδράσεων μεταξύ παικτών και NPCs. Οι στατιστικές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν θα μπορούσαν να παραβλέψουν σημαντικούς παράγοντες που σχετίζονται με το πλαίσιο, όπως συγκεκριμένα σενάρια εντός του παιχνιδιού ή την εξοικείωση της παίκτης με τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης. Πρόσθετες ποιοτικές αναλύσεις, όπως συνεντεύξεις σε βάθος ή μελέτες παρατήρησης, θα παρείχαν πλουσιότερη κατανόηση των εμπειριών των παικτών (Yannakakis & Togelius, 2018).

Συμπέρασμα των περιορισμών

Συμπερασματικά, η μελέτη αντιμετώπισε αρκετούς τεχνικούς και μεθοδολογικούς περιορισμούς. Μεθοδολογικά, οι περιορισμοί της δειγματοληψίας και οι πιθανές μεροληψίες στη συλλογή δεδομένων σημαίνουν ότι απαιτείται προσοχή κατά τη γενίκευση των ευρημάτων. Παρ' όλα αυτά, οι γνώσεις που αποκτήθηκαν από την παρούσα μελέτη είναι πολύτιμες για την προώθηση του πεδίου της ανάπτυξης NPCs με βάση την τεχνητή νοημοσύνη. Η αντιμετώπιση αυτών των περιορισμών στη μελλοντική έρευνα θα είναι ζωτικής σημασίας για την περαιτέρω βελτίωση αυτών των συστημάτων και τη διασφάλιση της επιτυχίας τους σε εμπορικά περιβάλλοντα παιχνιδιών.

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα

Το παρόν κεφάλαιο συνθέτει τα ευρήματα της έρευνας, υπογραμμίζει τις σημαντικές συνεισφορές στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης παιχνιδιών και της ανάπτυξης NPCs και σκιαγραφεί συστάσεις για μελλοντική εργασία. Η ενσωμάτωση των δέντρων προσαρμοστικής συμπεριφοράς και των συναισθηματικά ανταποκρινόμενων NPCs στην Unreal Engine 5.4 έχει συνέπειες όχι μόνο στην ανάπτυξη παιχνιδιών αλλά και σε ευρύτερες εφαρμογές στα διαδραστικά μέσα που βασίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη. Αυτό το κεφάλαιο παρέχει μια ολοκληρωμένη επισκόπηση αυτών των τομέων, ενσωματώνοντας λεπτομερείς αναλύσεις, παραδείγματα και μελλοντικές κατευθύνσεις για την έρευνα.

6.1 Σύνοψη των ευρημάτων

Ο στόχος αυτής της έρευνας ήταν να διερευνήσει την ανάπτυξη και την εφαρμογή δέντρων προσαρμοστικής συμπεριφοράς και συναισθηματικά ανταποκρινόμενων NPCs στο περιβάλλον της Unreal Engine 5.4. Στόχος ήταν να βελτιωθούν οι εμπειρίες των παικτών με τη δημιουργία NPCs ικανών για δυναμικές, ευαίσθητες στο πλαίσιο αλληλεπιδράσεις. Τα βασικά αποτελέσματα της έρευνας συμβάλλουν τόσο στην ακαδημαϊκή κατανόηση της τεχνητής νοημοσύνης όσο και στις πρακτικές εφαρμογές στην ανάπτυξη παιχνιδιών.

Βασικά αποτελέσματα της έρευνας

- Προσαρμοστικές συμπεριφορές NPCs:** Αυτή η έρευνα κατέδειξε με επιτυχία τη χρήση δέντρων συμπεριφοράς για τη δημιουργία NPCs ικανών να ανταποκρίνονται σε ερεθίσματα πραγματικού χρόνου. Τα δέντρα συμπεριφοράς επεξεργάστηκαν διάφορες εισροές, συμπεριλαμβανομένων των ενεργειών των παικτών, περιβαλλοντικών παραγόντων και εσωτερικών καταστάσεων του NPC, επιτρέποντας αποφάσεις σε πραγματικό χρόνο, ευαίσθητες στο περιβάλλον. Χρησιμοποιώντας ιεραρχικά δέντρα συμπεριφοράς, οι NPCs έδιναν προτεραιότητα στις ενέργειές τους με βάση τα πιο σημαντικά ερεθίσματα. Για παράδειγμα, ένας NPC μπορεί να επιλέξει να διαφύγει αν έχει χαμηλή υγεία ή να αναζητήσει κάλυψη όταν δέχεται επίθεση. Αυτές οι συμπεριφορές προέκυψαν δυναμικά και όχι ακολουθώντας γραμμικά, προκαθορισμένα σενάρια, προσφέροντας μια αντίθεση με τις παραδοσιακές μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων που μπορεί να οδηγήσουν σε πιο προβλέψιμη συμπεριφορά (Yannakakis & Togelius, 2018).
- Συναισθηματική ανταπόκριση:** Ένα βασικό αποτέλεσμα ήταν η ενσωμάτωση συναισθηματικών μοντέλων στους NPCs, που τους επιτρέπει να παρουσιάζουν συναισθηματικές αντιδράσεις σε πραγματικό χρόνο. Αυτές οι συναισθηματικές καταστάσεις επηρεάζονταν από τις αλληλεπιδράσεις με τους παίκτες και τα γεγονότα του παιχνιδιού, συμβάλλοντας σε έναν πιο καθηλωτικό και αληθοφανή κόσμο παιχνιδιού. Για παράδειγμα, ένας NPC θα μπορούσε να επιδείξει φόβο αφού γίνει μάρτυρας μιας θανατηφόρας επίθεσης. Αυτή η συναισθηματική προσαρμοστικότητα παρείχε στους παίκτες άμεση ανατροφοδότηση και τους ενθάρρυνε να εξετάζουν τις συναισθηματικές συνέπειες των πράξεών τους (Ekman, 1992).
- Επίδραση στην εμπειρία των παικτών:** Ο συνδυασμός προσαρμοστικής συμπεριφοράς και συναισθηματικής ανταπόκρισης είχε βαθύ αντίκτυπο στις εμπειρίες των παικτών. Οι παίκτες ανέφεραν μια αυξημένη αίσθηση εμπύθισης, καθώς οι NPCs συμπεριφέρονταν με τρόπους που αντανάκλασαν έναν ζωντανό κόσμο αντί να εκτελούν προκαθορισμένες αντιδράσεις. Το απρόβλεπτο των ενεργειών των NPCs κράτησε τους παίκτες αφοσιωμένους και ενθάρρυνε τον πειραματισμό με διαφορετικές στρατηγικές. Η συναισθηματική πολυπλοκότητα των NPCs πρόσθεσε ηθικό βάρος στο παιχνίδι, όπου οι παίκτες έπρεπε να σταθμίσουν τις πιθανές συναισθηματικές συνέπειες των πράξεών τους (Russell, 1980).
- Τεχνικές επιδόσεις και επεκτασιμότητα:** Από τεχνική άποψη, η Unreal Engine 5.4 αποδείχθηκε ικανή να υποστηρίξει πολύπλοκα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης που απαιτούνται για προσαρμοστικούς και συναισθηματικά ευαίσθητους NPCs. Οι συγκριτικές δοκιμές επιδόσεων έδειξαν ότι τα δέντρα συμπεριφοράς και τα συναισθηματικά μοντέλα ήταν αποτελεσματικά ενσωματωμένα και επεκτάσιμα. Ωστόσο, παρατηρήθηκαν ζητήματα όπως η πτώση του ρυθμού καρτέ και η αυξημένη

καθυστέρηση σε σενάρια μεγάλης κλίμακας, γεγονός που υπογράμμισε την ανάγκη περαιτέρω βελτιστοποίησης (Epic Games, 2023).

Συμβολή στην ανάπτυξη AI και NPCs στο παιχνίδι

Η έρευνα συνέβαλε σημαντικά στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης των παιχνιδιών, ιδίως στην ανάπτυξη προσαρμοστικών συστημάτων, συναισθηματικής μοντελοποίησης και κλιμακούμενων αρχιτεκτονικών τεχνητής νοημοσύνης.

- **Εξελίξεις στα προσαρμοστικά συστήματα:** Η χρήση ιεραρχικών δέντρων συμπεριφοράς για τη λήψη προσαρμοστικών αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο συνέβαλε στην εξειδίκευση της συμπεριφοράς των NPCs, ιδίως σε δυναμικά περιβάλλοντα παιχνιδιών (Yannakakis & Togelius, 2018).
- **Καινοτομίες στη συναισθηματική μοντελοποίηση:** Η ενσωμάτωση συναισθηματικών μοντέλων στις συμπεριφορές των NPCs εισήγαγε ένα νέο βάθος ρεαλισμού, καθιστώντας τους NPCs συναισθηματικά συνειδητοποιημένους και ανταποκρινόμενους. Αυτή η συναισθηματική προσαρμοστικότητα ενισχύει τόσο το παιχνίδι όσο και τις αφηγηματικές δυνατότητες (Ekman, 1992- Russell, 1980).
- **Ηθικά ζητήματα στις αλληλεπιδράσεις με βάση την τεχνητή νοημοσύνη:** Η εισαγωγή συναισθηματικά ευαίσθητων NPCs εγείρει ηθικούς προβληματισμούς, ιδίως όσον αφορά τον συναισθηματικό αντίκτυπο του παιχνιδιού στους παίκτες. Αυτή η έρευνα υπογραμμίζει την ανάγκη να αντιμετωπιστούν οι ψυχολογικές και ηθικές επιπτώσεις του συναισθηματικά φορτισμένου παιχνιδιού (Salen & Zimmerman, 2004).

6.2 Συμβολή στον τομέα

Πέρα από τις τεχνικές εξελίξεις, η έρευνα αυτή συμβάλλει στην ευρύτερη κατανόηση της διαδραστικής αφήγησης, της συναισθηματικής τεχνητής νοημοσύνης και των προσαρμοστικών συστημάτων. Η ενσωμάτωση των δέντρων προσαρμοστικής συμπεριφοράς με τη συναισθηματική μοντελοποίηση έχει συνέπειες για τις μελλοντικές εξελίξεις στα παιχνίδια, την τεχνητή νοημοσύνη και άλλους τομείς των διαδραστικών μέσων.

Νέες μεθοδολογίες και προσεγγίσεις

- **Ενσωμάτωση της προσαρμοστικής και συναισθηματικής τεχνητής νοημοσύνης:** Η έρευνα αυτή κατέδειξε την αποτελεσματική ενσωμάτωση της προσαρμοστικής τεχνητής νοημοσύνης και της συναισθηματικής μοντελοποίησης, επιτρέποντας στους NPCs να ανταποκρίνονται τόσο συμπεριφορικά όσο και συναισθηματικά. Αυτός ο συνδυασμός θα μπορούσε να επαναπροσδιορίσει τη μελλοντική ανάπτυξη NPC σε παιχνίδια που επικεντρώνονται σε αφηγήσεις με γνώμονα τον χαρακτήρα και την ενεργητικότητα της παίκτριας (Yannakakis & Togelius, 2018).
- **Συναισθηματική προσαρμογή σε πραγματικό χρόνο:** Με την εισαγωγή της δυναμικής συναισθηματικής προσαρμογής, όπου οι NPCs προσαρμόζουν τις συναισθηματικές τους καταστάσεις με βάση τις αλληλεπιδράσεις, η έρευνα έσπρωξε τα όρια της συναισθηματικά ευαίσθητης τεχνητής νοημοσύνης, συμβάλλοντας σε πιο καθηλωτικούς και αληθοφανείς κόσμους παιχνιδιών (Ekman, 1992).
- **Δεοντολογικές και ψυχολογικές εκτιμήσεις:** Η έρευνα υπογραμμίζει τη σημασία του ηθικού σχεδιασμού στην τεχνητή νοημοσύνη που ανταποκρίνεται συναισθηματικά, προτρέποντας τους προγραμματιστές να εξετάσουν τις συναισθηματικές και ψυχολογικές επιπτώσεις αυτών των συστημάτων στους παίκτες (Salen & Zimmerman, 2004).

Πιθανές βιομηχανικές εφαρμογές

Τα αποτελέσματα έχουν εκτεταμένες συνέπειες εντός και εκτός της βιομηχανίας παιχνιδιών:

- **Παιχνίδια με γνώμονα τον χαρακτήρα:** Η έρευνα ενισχύει τις δυνατότητες για καθηλωτικά παιχνίδια με γνώμονα τον χαρακτήρα, ιδίως στα RPG και στα παιχνίδια που βασίζονται στην αφήγηση, όπου οι αλληλεπιδράσεις των παικτών με τους NPCs διαμορφώνουν την ιστορία (Salen & Zimmerman, 2004).
- **Παιχνίδια ανοικτού κόσμου και προσομοίωσης:** Η επεκτασιμότητα αυτών των συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης τα καθιστά εφαρμόσιμα σε παιχνίδια ανοικτού

κόσμου και προσομοίωσης, ενισχύοντας τον ρεαλισμό των NPCs και την εμπύθιση των παικτών (Yannakakis & Togelius, 2018).

6.3 Συστάσεις και μελλοντικές εργασίες

Η παρούσα ενότητα προσφέρει λεπτομερείς συστάσεις με βάση τους περιορισμούς που εντοπίστηκαν στην έρευνα και διερευνά πιθανές μελλοντικές κατευθύνσεις, όπως η ενσωμάτωση της μηχανικής μάθησης και η διερεύνηση των ηθικών συνεπειών.

6.3.1 Περιορισμοί και συστάσεις

- **Τεχνικοί περιορισμοί:** Είναι απαραίτητη η περαιτέρω βελτιστοποίηση των συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης, ιδίως όσον αφορά την επεκτασιμότητα και την απόδοση σε πραγματικό χρόνο. Η διερεύνηση καταναμεμένων υπολογιστών και εναλλακτικών αρχιτεκτονικών θα μπορούσε να βελτιώσει την επεκτασιμότητα (Eric Games, 2023).
- **Μεθοδολογικοί περιορισμοί:** Η επέκταση των δοκιμών χρηστών ώστε να συμπεριλάβουν ένα πιο ποικιλόμορφο δείγμα και η ενσωμάτωση ποιοτικών μεθόδων, όπως οι συνεντεύξεις, θα παρείχαν βαθύτερες γνώσεις σχετικά με τις εμπειρίες των παικτών (Russell, 1980).
- **Δεοντολογικά ζητήματα:** Η μελλοντική έρευνα θα πρέπει να διερευνήσει τις ψυχολογικές επιδράσεις των NPCs που ανταποκρίνονται συναισθηματικά και να καθορίσει δεοντολογικές κατευθυντήριες γραμμές για το σχεδιασμό τους (Salen & Zimmerman, 2004).

6.3.2 Μελλοντικές εργασίες

- **Προηγμένα συναισθηματικά μοντέλα:** Η μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να επικεντρωθεί στην ανάπτυξη πιο εξελιγμένων συναισθηματικών μοντέλων, ενσωματώνοντας πολιτιστικούς και συγκυριακούς παράγοντες (Ekman, 1992).
- **Ενσωμάτωση με την επεξεργασία φυσικής γλώσσας:** Ο συνδυασμός της συναισθηματικής τεχνητής νοημοσύνης με την επεξεργασία φυσικής γλώσσας θα μπορούσε να οδηγήσει σε πιο ρεαλιστικές και συναφείς με το πλαίσιο αλληλεπιδράσεις NPCs (Yannakakis & Togelius, 2018).
- **Προσαρμοστική παραγωγή αφηγήσεων:** Η παραγωγή αφηγήσεων με βάση την τεχνητή νοημοσύνη, σε συνδυασμό με την προσαρμοστική συμπεριφορά των NPCs, θα μπορούσε να φέρει επανάσταση στα παιχνίδια που βασίζονται στην αφήγηση, δημιουργώντας πλήρως δυναμικές, καθοδηγούμενες από την παίκτρια ιστορίες (Salen & Zimmerman, 2004).

Συμπέρασμα για τις μελλοντικές εργασίες

Η έρευνα θέτει ισχυρά θεμέλια για προσαρμοστικά και συναισθηματικά ευαίσθητους NPCs, αλλά απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση για την πλήρη αξιοποίηση των δυνατοτήτων τους. Η μελλοντική έρευνα μπορεί να βασιστεί σε αυτά τα ευρήματα για να διευρύνει τα όρια της διαδραστικής τεχνητής νοημοσύνης, δημιουργώντας ακόμα πιο καθηλωτικές και δυναμικές εμπειρίες.

Αναφορές

- Adams, E. (2010). *Fundamentals of game design* (2nd ed.). New Riders.
- Alepis, E., Virvou, M., & Troussas, C. (2021). Intelligent and adaptive tutoring through a social network for higher education. *New Review of Hypermedia and Multimedia*.
- Barrett, L. F., & Russell, J. A. (1998). Independence and bipolarity in the structure of current affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 74(4), 967-984.
<https://doi.org/10.1037/0022-3514.74.4.967>
- Bethesda Game Studios. (2002). *The Elder Scrolls III: Morrowind*. Bethesda Softworks.
- Bethesda Game Studios. (2011). *The Elder Scrolls V: Skyrim*. Bethesda Softworks.
- Bethesda Game Studios. (2015). *Fallout 4*. Bethesda Softworks.
- BioWare. (1998). *Baldur's Gate*. Interplay Entertainment.
- BioWare. (2007). *Mass Effect*. Microsoft Game Studios.
- Black Isle Studios. (1999). *Planescape: Torment*. Interplay Entertainment.
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77-101.
- Bryman, A. (2016). *Social research methods* (5th ed.). Oxford University Press.
- Bungie. (2001). *Halo: Combat Evolved*. Microsoft Game Studios.
- CD Projekt Red. (2015). *The Witcher 3: Wild Hunt*. CD Projekt.
- Charmaz, K. (2014). *Constructing grounded theory* (2nd ed.). SAGE Publications.
- Chrysafiadi, K., & Virvou, M. (2022). Personalized instructional feedback in a mobile-assisted language learning application using fuzzy reasoning. *International Journal of Learning Technology*, 17(1), 53-76.
- Chrysafiadi, K., & Virvou, M. (2023). Fuzzy-based dynamic difficulty adjustment of an educational 3D-game. *Multimedia Tools and Applications*, 82(18), 27525-27549.
- Chrysafiadi, K., & Virvou, M. (2014). *Student modeling for personalized education: A review of the literature*. Springer.
- Creswell, J. W. (2015). *A concise introduction to mixed methods research*. SAGE Publications.
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2017). *Designing and conducting mixed methods research* (3rd ed.). SAGE Publications.
- Cyberlife Technology. (1996). *Creatures*. Mindscape.
- Denzin, N. K., & Lincoln, Y. S. (Eds.). (2011). *The SAGE handbook of qualitative research* (4th ed.). SAGE Publications.
- Denscombe, M. (2014). *The good research guide: For small-scale social research projects* (5th ed.). McGraw-Hill Education.

- Ekman, P. (1992). An argument for basic emotions. *Cognition & Emotion*, 6(3-4), 169-200.
<https://doi.org/10.1080/02699939208411068>
- Enix. (1986). *Dragon Quest*. Enix Corporation.
- Epic Games. (2021). *Unreal Engine 5 documentation*. <https://docs.unrealengine.com/5.0/en-US/>
- Epic Games. (2023). *Unreal Engine 5.4 documentation*. <https://docs.unrealengine.com/5.4/en-US/>
- Firaxis Games. (2010). *Civilization V*. 2K Games.
- Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics* (4th ed.). SAGE Publications.
- Fullerton, T. (2014). *Game design workshop: A playcentric approach to creating innovative games* (3rd ed.). CRC Press.
- Origin Systems. (1985). *Ultima IV: Quest of the Avatar*. Origin Systems.
- Goldberg, D. E. (1989). *Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning*. Addison-Wesley.
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT Press.
- Greene, J. C., Caracelli, V. J., & Graham, W. F. (1989). Toward a conceptual framework for mixed-method evaluation designs. *Educational Evaluation and Policy Analysis*, 11(3), 255-274.
- Harel, D. (1987). Statecharts: A visual formalism for complex systems. *Science of Computer Programming*, 8(3), 231-274.
- Hammersley, M., & Atkinson, P. (2019). *Ethnography: Principles in practice* (4th ed.). Routledge.
- Hello Games. (2016). *No Man's Sky*. Hello Games.
- Isbister, K. (2006). *Better game characters by design: A psychological approach*. Elsevier/Morgan Kaufmann.
- Isla, D. (2005). Handling complexity in the Halo 2 AI. In *Proceedings of the Game Developers Conference*.
- Izard, C. E. (1977). *Human emotions*. Springer US.
- Johnson, R. B., & Onwuegbuzie, A. J. (2004). Mixed methods research: A research paradigm whose time has come. *Educational Researcher*, 33(7), 14-26.
- Lazzaro, N. (2004). Why we play games: Four keys to more emotion in player experiences. *XEODesign Inc.* <https://www.xeodesign.com/why-we-play-games-4-keys-to-more-emotion/>
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436-444.
<https://doi.org/10.1038/nature14539>
- Lionhead Studios. (2004). *Fable*. Microsoft Game Studios.
- Maxis. (2000). *The Sims*. Electronic Arts.

- Maxis. (2014). *The Sims 4*. Electronic Arts.
- Meikleham, D. (2018). *Red Dead Redemption 2 review*. GamesRadar.
<https://www.gamesradar.com/red-dead-redemption-2-review/>
- Millington, I., & Funge, J. (2016). *Artificial intelligence for games* (2nd ed.). CRC Press.
- Mitchell, M. (1998). *An introduction to genetic algorithms*. MIT Press.
- Mnih, V., Kavukcuoglu, K., Silver, D., Rusu, A. A., Veness, J., Bellemare, M. G., & Hassabis, D. (2015). Human-level control through deep reinforcement learning. *Nature*, 518(7540), 529-533.
- Morgan, D. L. (2007). Paradigms lost and pragmatism regained: Methodological implications of combining qualitative and quantitative methods. *Journal of Mixed Methods Research*, 1(1), 48-76.
- Namco. (1980). *Pac-Man*. Namco.
- Naughty Dog. (2013). *The Last of Us*. Sony Computer Entertainment.
- Naughty Dog. (2020). *The Last of Us Part II*. Sony Interactive Entertainment.
- Nintendo. (1986). *The Legend of Zelda*. Nintendo.
- Ortony, A., Clore, G. L., & Collins, A. (1988). *The cognitive structure of emotions*. Cambridge University Press.
- Patton, M. Q. (2002). *Qualitative research and evaluation methods* (3rd ed.). SAGE Publications.
- Picard, R. W. (1997). *Affective computing*. MIT Press.
- Quantic Dream. (2010). *Heavy Rain*. Sony Computer Entertainment.
- Quantic Dream. (2018). *Detroit: Become Human*. Sony Interactive Entertainment.
- Rockstar Games. (2018). *Red Dead Redemption 2*. Rockstar Games.
- Russell, J. A. (1980). A circumplex model of affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 39(6), 1161-1178.
- Russell, J. A. (2003). Core affect and the psychological construction of emotion. *Psychological Review*, 110(1), 145-172.
- Salen, K., & Zimmerman, E. (2004). *Rules of play: Game design fundamentals*. MIT Press.
- Scherer, K. R. (2001). Appraisal considered as a process of multilevel sequential checking. In K. R. Scherer, A. Schorr, & T. Johnstone (Eds.), *Appraisal processes in emotion: Theory, methods, research* (pp. 92-120). Oxford University Press.
- Silver, D., Huang, A., Maddison, C. J., Guez, A., Sifre, L., Van Den Driessche, G., & Hassabis, D. (2016). Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search. *Nature*, 529(7587), 484-489.

- Spronck, P., Sprinkhuizen-Kuyper, I., & Postma, E. (2006). Online adaptation of game opponent AI with dynamic scripting. *Artificial Intelligence*, 165(1), 55-92.
- Square Co., Ltd. (1987). *Final Fantasy*. Square Co., Ltd.
- Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018). *Reinforcement learning: An introduction* (2nd ed.). MIT Press.
- Tashakkori, A., & Teddlie, C. (2003). *Handbook of mixed methods in social and behavioral research*. SAGE Publications.
- Troussas, C., Krouska, A., & Virvou, M. (2021). A multilayer inference engine for individualized tutoring model: Adapting learning material and its granularity. *Neural Computing and Applications*.
- Ubisoft. (2020). *Watch Dogs: Legion*. Ubisoft.
- Valve Corporation. (2008). *Left 4 Dead*. Valve.
- Vinyals, O., Babuschkin, I., Czarnecki, W. M., Mathieu, M., Dudzik, A., Chung, J., & Silver, D. (2019). Grandmaster level in StarCraft II using multi-agent reinforcement learning. *Nature*, 575(7782), 350-354.
- Yannakakis, G. N., & Togelius, J. (2018). *Artificial intelligence and games*. Springer.