



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Πτυχιακή Εργασία

| | |
|---------------------------|---|
| Τίτλος Πτυχιακής Εργασίας | Προηγμένη Αντιδραστική Συμπεριφορά Τεχνητής Νοημοσύνης σε Εικονικές Προσομοιώσεις Advanced Artificial Intelligence Reactive Behaviour in Virtual Simulations |
| Όνοματεπώνυμο Φοιτητή | Απόστολος – Ανδρέας Χαριτούδης |
| Πατρώνυμο | Ιωάννης |
| Αριθμός Μητρώου | Π17178 |
| Επιβλέπων | Θεμιστοκλής Παναγιωτόπουλος, Καθηγητής |

Copyright ©

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν αποκλειστικά τον συγγραφέα και δεν αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του πανεπιστημίου Πειραιώς.

Ως συγγραφέας της παρούσας εργασίας δηλώνω πως η παρούσα εργασία δεν αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και δεν περιέχει υλικό από μην αναφερόμενες πηγές.

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου Θεμιστοκλή Παναγιωτόπουλο, για την καθοδήγηση που μου προσέφερε και το χρόνο που διέθεσε. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του Τμήματος Πληροφορικής για τη συμβολή τους στην επιστημονική και τεχνολογική μου πρόοδο στα χρόνια της φοίτησής μου στο Τμήμα. Οφείλω επίσης ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όλους εκείνους που συνέβαλαν είτε πρακτικά, είτε ψυχικά (βοήθεια και παραινέσεις) στην ολοκλήρωση της εργασίας μου. Ένα ακόμα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου για την οικονομική τους υποστήριξη, καθώς και τους φίλους για την ηθική υποστήριξη σε όλο το διάστημα των σπουδών μου. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την κοπέλα μου για όλη της την στήριξη και την συμπαράστασή της στα χρόνια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αυτή η πτυχιακή εργασία διερευνά την ενσωμάτωση της Μηχανικής Μάθησης (ML) και των Μηχανών Πεπερασμένων Καταστάσεων (FSM) στην ανάπτυξη Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) στα βιντεοπαιχνίδια. Εστιάζοντας στην Προδιαγεγραμμένη Αντιδραστική Συμπεριφορά. Μέσω κριτικής ανάλυσης τριών βασικών μελετών, αξιολογείται η αποτελεσματικότητα των υβριδικών τεχνικών TN στην ενίσχυση των δυνατοτήτων της σε βιντεοπαιχνίδια. Τα ευρήματα δείχνουν ότι ο συνδυασμός της ML και της FSM βελτιώνει την προσαρμοστικότητα και πολυπλοκότητα της TN, επιτρέποντας πιο αληθοφανείς και ελκυστικές συμπεριφορές. Επιπλέον, αναγνωρίζονται οι περιορισμοί της χειροκίνητης έρευνας και η πιθανότητα να μην έχουν συμπεριληφθεί κάποιες σχετικές μελέτες. Η εργασία συμβάλλει στη σύνθεση τρέχουσας γνώσης, αναγνωρίζει ερευνητικά κενά και παρέχει πρακτικές συστάσεις, υπογραμμίζοντας τα πιθανά οφέλη των διεπιστημονικών προσεγγίσεων στην ανάπτυξη της TN στον τομέα που ερευνάται.

Επιστημονικό πεδίο της συγκεκριμένης εργασίας είναι η Τεχνητή Νοημοσύνη στο πλαίσιο των βιντεοπαιχνιδιών με ιδιαίτερη εστίαση στην ενσωμάτωση της Μηχανικής Μάθησης και της Μηχανής Πεπερασμένων Καταστάσεων.

Λέξεις Κλειδιά: Βιντεοπαιχνίδια, Τεχνητή Νοημοσύνη, Μηχανική Μάθηση, Μηχανή Πεπερασμένων Καταστάσεων και Υβριδικές Τεχνικές.

ABSTRACT

This dissertation explores the integration of Machine Learning (ML) and Finite State Machines (FSM) in the development of Artificial Intelligence (AI) in video games, focusing on Prescribed Reactive Behavior. Through a critical analysis of three key studies, the effectiveness of hybrid AI techniques in enhancing AI capabilities in video games is evaluated. The findings indicate that the combination of ML and FSM improves the adaptability and complexity of AI, enabling more realistic and engaging behaviors. Additionally, the limitations of manual research and the possibility that some relevant studies may not have been included are acknowledged. The dissertation contributes to the synthesis of current knowledge, identifies research gaps, and provides practical recommendations, highlighting the potential benefits of interdisciplinary approaches in AI development in the researched field.

The scientific field of this dissertation is Artificial Intelligence in the context of video games with a particular focus on the integration of Machine Learning and Finite State Machines.

Keywords: Video Games, Artificial Intelligence, Machine Learning, Finite State Machine and Hybrid Techniques.

Πίνακας περιεχομένων

| | |
|--|-----------|
| Ευχαριστίες | 1 |
| Περίληψη (Abstract) | 2 |
| Εισαγωγή | 5 |
| Διάρθρωση της πτυχιακής | 6 |
| 1. Βασικές Αρχές Προ-προγραμματισμένων Αντιδραστικών Συμπεριφορών (ΑΣ) της Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) | 7 |
| 1.1 Ορισμός της Προ-προγραμματισμένης Αντιδραστικής Συμπεριφοράς | 7 |
| 1.2 Ρόλος της Αντιδραστικής Συμπεριφοράς στην βελτίωση της gameplay experience και της δυναμικής του παιχνιδιού | 8 |
| 1.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα | 8 |
| 2. Finite State Machine ως παραδοσιακός τρόπος σχεδίασης TN στα πλαίσια των βιντεοπαιχνιδιών | 10 |
| 2.1 Ορισμός και επεξήγηση | 10 |
| 2.2 Εξελίξεις της κλασσικής FSM | 12 |
| 2.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα..... | 15 |
| 2.3.1 Πλεονεκτήματα..... | 15 |
| 2.3.2 Μειονεκτήματα | 18 |
| 3. Machine Learning | 19 |
| 3.1 Ορισμός Machine Learning | 19 |
| 3.2 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα χρήσης ML για την υλοποίηση TN στα βιντεοπαιχνίδια | 22 |
| 4. Επισκόπηση των συλλεχθέντων ερευνών | 24 |
| 4.1 Προσαρμοστικοί Χαρακτήρες Παιχνιδιού με την χρήση Δένδρων Αποφάσεων και Μηχανών Πεπερασμένης Κατάστασης | 24 |
| 4.1.1 Συσχέτιση με την έρευνα | 24 |
| 4.1.2 Επιχείρημα και Μεθοδολογία της έρευνας των Yoon et al.σ | 24 |
| 4.1.3 Αποτελέσματα της έρευνας | 25 |
| 4.2 Αυτόνομοι Πράκτορες μέσω Εξελιγτικής Μηχανής Πεπερασμένης Κατάστασης | 25 |
| 4.2.1 Συσχέτιση με την έρευνα | 25 |
| 4.2.2 Επιχείρημα και Μεθοδολογία της έρευνας των Mora et al. (2014) | 25 |
| 4.2.3 Αποτελέσματα | 26 |
| 4.3 3 Μηχανή Πεπερασμένων Καταστάσεων Βασισμένη σε Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο για την Προσαρμοστική Επιλογή Σεναρίου | 26 |

| | |
|---|-----------|
| 4.3.1 Συσχέτιση με την έρευνα | 26 |
| 4.3.2 Επιχειρήματα και Μεθοδολογία της έρευνας των Arif et al. (2023) | 27 |
| 4.3.3 Αποτελέσματα | 28 |
| 5. Μεθοδολογία | 28 |
| 5.1 Σχεδίαση της Έρευνας | 28 |
| 5.2 Κριτήρια Επιλογής Μελετών | 29 |
| 5.3 Μέθοδος Ανάλυσης Ερευνών-Δεδομένων | 29 |
| 6. Κριτική Ανάλυση | 29 |
| 6.1 Αξιολόγηση, Δυνατά και Αδύναμα Σημεία Μεθοδολογιών | 30 |
| 6.1.1 Έρευνα των Yoon et al. (2007) | 30 |
| 6.1.2 Έρευνα των Mora et al. (2014) | 31 |
| 6.1.3 Έρευνα των Arif et al. (2023) | 33 |
| 6.2 Πρακτικές και Θεωρητικές Συνεισφορές | 34 |
| 6.2.1 Πρακτικές Συνεισφορές | 34 |
| 6.2.2 Θεωρητικές συνεισφορές | 35 |
| 6.3 Ευρύτερα Patterns, Insights και Ερευνητικά Κενά στις μελέτες | 35 |
| 6.3.1 Ευρύτερα Patterns και Γνώσεις | 35 |
| 6.3.2 Ερευνητικά Κενά | 36 |
| 7. Συζήτηση | 36 |
| 7.1 Απαντώντας στα Ερευνητικά Ερωτήματα | 38 |
| 7.2 Ευρύτερες Επιπτώσεις για τον Τομέα των Βιντεοπαιχνιδιών | 38 |
| 7.3 Μελλοντικές Κατευθύνσεις | 38 |
| 8. Συμπέρασμα | 39 |
| 9. Πίνακας Ορολογιών | 39 |
| 10. Πίνακας Ακρωνύμων | 42 |
| 11. Κατάλογος Εικόνων | 43 |
| 12. Κατάλογος Πινάκων | 43 |
| 13. Βιβλιογραφία | 44 |
| 14. Βιβλιογραφία Παιχνιδιών | 45 |

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια, ο τομέας των βιντεοπαιχνιδιών και γενικότερα ο τομέας της τεχνολογίας έχει βιώσει ραγδαία ανάπτυξη, ιδίως σε ότι αφορά την Τεχνητή Νοημοσύνη (TN, στα αγγλικά Artificial Intelligence) και τις τεχνικές μηχανικής μάθησης (Machine Learning). Έχουμε έρθει σε επαφή με προηγμένα μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης, όπως ChatGPT, Claude, Gemini και την υλοποίηση ευφυών πρακτόρων με την χρήση τεχνικών ML σε βιντεοπαιχνίδια, όπως Dota 2 (Valve Corporation, 2013), StarCraft 2 (Blizzard Entertainment, 2010), αλλά και Minecraft (Mojang Studios, 2011) (Berner et al., 2019); Johnson et al., 2016; Justesen et al., 2020). Οι ευφυείς πράκτορες στα βιντεοπαιχνίδια που αναφέρθηκαν έχουν ξεπεράσει σε απόδοση τους επαγγελματίες παίκτες των αντίστοιχων παιχνιδιών.

Παρόλο που γνωρίζουμε αυτές τις αναπτυσσόμενες εφαρμογές και γενικά η ML ως τεχνική προγραμματισμού είναι πιο προσβάσιμη (έτοιμα εργαλεία ML, όπως το Unity ML kit), παρατηρείται ότι υπάρχει μια προτίμηση στις πιο παραδοσιακές τεχνικές υλοποίησης (Μηχανές Πεπερασμένων Καταστάσεων, Συστήματα Κανόνων – Finite State Machine (FSM), Rule Based System) της TN όσον αφορά τα βιντεοπαιχνίδια. Όπως θα αναλυθεί παρακάτω, ο λόγος που προτιμούνται αυτές οι τεχνικές είναι η απλότητά τους, η μη απαίτηση εξειδικευμένου γνωσσιακού υπόβαθρου, το οποίο είναι απαραίτητο στις πιο προηγμένες μεθόδους, ο γρήγορος σχεδιασμός και ανάπτυξη (deployment), η ευκολότερη απασφαλμάτωση και μερικά ακόμα που θα τα δούμε στην συνέχεια.

Σε αυτό το σημείο, αξίζει να σημειωθεί πως στα βιντεοπαιχνίδια όταν χρησιμοποιούμε τον όρο Τεχνητή Νοημοσύνη (TN) δεν τον εννοούμε με τον τρόπο που γενικά ορίζεται στον ευρύτερο κόσμο της τεχνολογίας. Πιο συγκεκριμένα, τον χρησιμοποιούμε για να περιγράψουμε τους Non-Playable Characters (NPC) ή τα bots, όπως είναι γνωστό από την κοινότητα των gamers. Αυτοί οι δύο ορισμοί αναφέρονται στους χαρακτήρες που εμφανίζονται στα εικονικά περιβάλλοντα των παιχνιδιών, είτε είναι εχθροί, είτε είναι σύμμαχοι, οι οποίοι δεν χειρίζονται από τους παίκτες. Σκοπός αυτών, είναι η εμπλούτιση του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκονται, η βελτίωση της εμπειρίας και της εμπύθισης του παίκτη και η αλληλεπίδραση του παίκτη με τον κόσμο του παιχνιδιού.

Προχωρώντας στην μεθοδολογία η αναζήτηση έγινε στα αγγλικά σε γνωστές βάσεις, όπως Google Scholar, Semantics Scholar, IEEE Xplore και arXiv με τις σχετικές λέξεις κλειδιά, οι πιο σημαντικές Machine Learning, Finite State Machines, Artificial Intelligence και Video Games. Η βαθύτερη ανάλυση της μεθοδολογίας θα πραγματοποιηθεί σε επόμενο κεφάλαιο.

Σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη και η κριτική ανάλυση των υπαρχόντων ερευνών, οι οποίες είτε εξερεύνησαν, είτε υλοποίησαν υβριδικά μοντέλα, τα οποία συνδύασαν την FSM και την ML, για την ενίσχυση κάποιου στοιχείου εντός του βιντεοπαιχνιδιού, με ιδιαίτερη έμφαση στην συμπεριφορά της TN. Με την αξιολόγηση των συλλεχθέντων μελετών, που αξιοποιούν αυτόν τον συνδυασμό τεχνικών αυτή η εργασία θα εντοπίσει τα δυνατά σημεία, τις αδυναμίες και τα τυχόν κενά στην τρέχουσα βιβλιογραφία. Επίσης, η εργασία αυτή θα βοηθήσει στην βαθύτερη κατανόηση του τρόπου, με τον οποίο αυτές οι τεχνικές μπορούν να συνδυαστούν για την δημιουργία δυναμικών και ανταποκρινόμενων NPC συμπεριφορών. Αν και η ML είναι απαιτητική στον σχεδιασμό της, πιστεύω ότι η υβριδική προσέγγιση που μελετάται είναι εφικτή και μπορεί να πραγματοποιηθεί αποδοτικά, βελτιώνοντας την εμπειρία του παίκτη, παίρνοντας κάτι στατικό και μετατρέποντάς το σε κάτι πιο δυναμικό και προσαρμόσιμο.

Εκτός των προαναφερθέντων, στοχεύει στην απάντηση του ερευνητικού ερωτήματος πως οι ML τεχνικές μπορούν να ενσωματωθούν με τις FSM για να ενισχύσουν τις προ-προγραμματισμένες αντιδραστικές συμπεριφορές (Prescribed Reactive Behavior) των NPCs στα πλαίσια των βιντεοπαιχνιδιών. Επίσης, αποσκοπεί στην εξερεύνηση της αποδοτικότητάς τους. Κλείνοντας, επιθυμώ να προκαλέσω το επιστημονικό ενδιαφέρον των αναγνωστών, προκειμένου να διερευνηθεί περαιτέρω αυτό το υβριδικό μοντέλο και να αποτελέσει θεμέλιο για μεταγενέστερες έρευνες.

Διάρθρωση Πτυχιακής

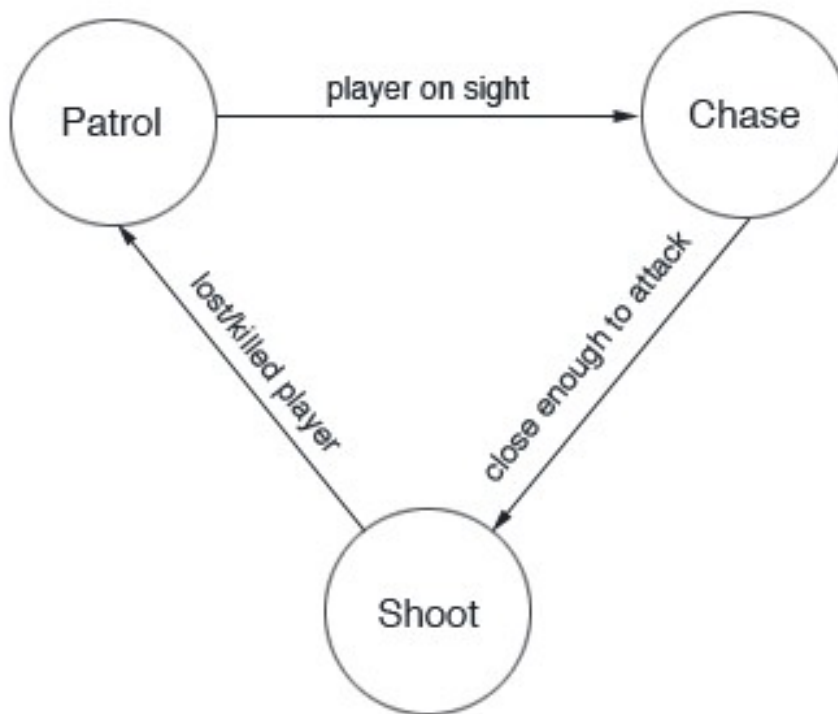
Η πτυχιακή είναι χωρισμένη σε τέσσερα κεντρικά μέρη.

- Το πρώτο μέρος περιλαμβάνει την βιβλιογραφική επισκόπηση, η οποία είναι χωρισμένη σε τέσσερα κεφάλαια:
 - Στο 1^ο κεφάλαιο αναφερόμαστε στον ορισμό της προ-προγραμματισμένης αντιδραστικής συμπεριφοράς (ΑΣ), στον ρόλο της στην βελτίωση της gameplay εμπειρίας και της δυναμικής του παιχνιδιού, καθώς και τα οφέλη και τα μειονεκτήματά της.
 - Στο 2^ο κεφάλαιο δίδεται ο ορισμός της FSM, μερικές εξελίξεις και παραδείγματα αυτών και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους.
 - Στο 3^ο κεφάλαιο αναλύεται ο ορισμός της ML, οι διάφορες τεχνικές της και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα από την χρήση τους.
 - Στο 4^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι συλλεγμένες μελέτες βασισμένες σε τρία κριτήρια, στην συσχέτισή της με το ερευνητικό ερώτημα της πτυχιακής, στα επιχειρήματα και την μεθοδολογία τους και τα αποτελέσματα αυτών.
- Το δεύτερο μέρος αποτελείται από το 5^ο κεφάλαιο. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο περιγράφεται ο τρόπος σχεδίασης της έρευνας, τα κριτήρια επιλογής μελετών και η μέθοδος ανάλυσης των επιλεγμένων ερευνών.
- Το τρίτος μέρος περιέχει το 6^ο κεφάλαιο, στο οποίο γίνεται βαθύτερη διερεύνηση των μελετών που συλλέχθηκαν που χωρίζεται σε τρεις ενότητες. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται αξιολόγηση των μεθοδολογιών ως προς τα δυνατά και αδύναμα σημεία, ως προς τις πρακτικές και θεωρητικές συνεισφορές αυτών και ως προς τα ευρύτερα μοτίβα, την αντιληπτική ικανότητα και τα ερευνητικά κενά.
- Το τέταρτο μέρος περιλαμβάνει δύο κεφάλαια:
 - Στο 7^ο κεφάλαιο αναφερόμαστε στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων, στις επιπτώσεις της θεωρίας, της πρακτικής εφαρμογής και των βιντεοπαιχνιδιών και στις κατευθύνσεις μελλοντικών ερευνών.
 - Στο 8^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα της έρευνας, η συνεισφορά της πτυχιακής αυτής εργασίας στον ευρύτερο επιστημονικό κλάδο και τα ερευνητικά κενά.

1. Βασικές Αρχές Προ-προγραμματισμένων Αντιδραστικών Συμπεριφορών (ΑΣ) της Τεχνητής Νοημοσύνης (ΤΝ)

1.1 Ορισμός της Προ-προγραμματισμένης ΑΣ

Όταν γίνεται αναφορά στην αντιδραστική συμπεριφορά της ΤΝ, συνήθως εννοείται η προ-προγραμματισμένη αντιδραστική συμπεριφορά. Δηλαδή, στις άμεσες και προκαθορισμένες αντιδράσεις των NPCs σε συγκεκριμένα ερεθίσματα ή γεγονότα που συμβαίνουν στον κόσμο του παιχνιδιού. Αυτή η μορφή συμπεριφοράς, σχεδιάζεται για να προσομοιώνει αληθοφανείς αντιδράσεις σε ενέργειες παικτών ή αλλαγές του γύρω περιβάλλοντος χωρίς εκτεταμένους υπολογισμούς. Οι συνηθέστερες τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την επίτευξη της αντιδραστικής συμπεριφοράς είναι οι Μηχανές Πεπερασμένης Κατάστασης (FSM) και τα Συστήματα Βασιζόμενα σε Κανόνες (Rule-Based Systems). Με τις τεχνικές αυτές, οι NPC κάνουν μετάβαση μεταξύ διαφόρων καταστάσεων ακολουθώντας μια σειρά λογικών κανόνων “if-else” με βάση τα εισερχόμενα ερεθίσματα (Millington, 2009).



Εικόνα 1.1 Παράδειγμα ΑΣ (πηγή [εικόνας](#)).

Για παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα stealth παιχνίδι και ότι ο NPC έχει αυτές τις τρεις καταστάσεις όπως φαίνεται στην εικόνα 1.1, περιπολία (patrol), κυνήγι (chase) και πυροβολισμός (shoot). Όταν ο παίκτης έρθει εντός της εμβέλειας στην οποία ο NPC «βλέπει», τότε ο NPC θα μεταβεί στην κατάσταση κυνήγι, και θα κουνηθεί προς την πλευρά του παίκτη. Αν ο παίκτης ξεφύγει (δηλαδή βγει εκτός του πεδίου οράσεως) ή εξολοθρευθεί, τότε ο NPC επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση. Για αυτό και αυτή η μορφή συμπεριφοράς καλείται αντιδραστική, διότι η ΤΝ αντιδρά απευθείας στις κινήσεις ή ενέργειες του παίκτη χωρίς να λαμβάνει υπόψιν της προηγούμενες αλληλεπιδράσεις ή μελλοντικές επιπτώσεις που μπορεί να αποφέρει κάποια από τις αντιδράσεις της.

Όπως είδαμε στο παράδειγμα, αυτή η μορφή συμπεριφοράς δεν απαιτεί πολύπλοκες υπολογιστικές διαδικασίες (processes), όπως επιπλέον σχεδιασμός (planning) ή και μάθηση που θα συναντούσε κανείς σε άλλες πιο προχωρημένες τεχνικές υλοποίησης TN. Αντίθετα, χρησιμοποιεί μια απλή προσέγγιση στην λήψη αποφάσεων που επιτρέπει γρήγορες και προβλέψιμες ανταποκρίσεις, οι οποίες είναι ζωτικής σημασίας για την διατήρηση του ρυθμού του παιχνιδιού και των επιπέδων δυσκολίας (difficulty level). Χρησιμοποιώντας ένα σύστημα δηλώσεων υπό όρους (conditional statements), η αντιδραστική TN μπορεί να προσφέρει μια συνεπή και κατανοητή εμπειρία παιχνιδιού (gameplay experience). Αυτή η άμεση αντίδραση όταν ικανοποιούνται τα προκαθορισμένα κριτήρια, είναι μια συμπεριφορά που τυπικά κωδικοποιείται μέσω απλών ζευγαριών ερεθίσματος-απόκρισης (Buckland, 2005).

1.2 Ρόλος της Αντιδραστικής Συμπεριφοράς στην βελτίωση της gameplay experience και της δυναμικής του παιχνιδιού

Οι ΑΣ της TN παίζουν καθοριστικό ρόλο στην βελτίωση τόσο της εμπειρίας, όσο και της δυναμικής του παιχνιδιού. Με την άμεση ανταπόκριση στις ενέργειες των παικτών, η TN συμβάλει σε ένα δυναμικό και συναρπαστικό κόσμο όπου οι ενέργειες του παίκτη μπορούν να οδηγήσουν σε άμεσες συνέπειες, ενισχύοντας έτσι την αίσθηση της αλληλεπίδρασης και της εμπύθισης (immersion) σε αυτόν (Sweetser & Wiles, 2005).

Επιπλέον, με την διασφάλιση ότι οι NPC αντιδρούν απευθείας, η TN διατηρεί το παιχνίδι ελκυστικό και τεταμένο (tense). Για παράδειγμα, σε ένα shooting παιχνίδι, οι εχθροί μπορεί να σκύψουν για να έχουν κάλυψη από τα πυρά του παίκτη. Δημιουργώντας μια αληθοφανή και ανταποκρινόμενη εμπειρία μάχης (combat experience) που απαιτεί από τους παίκτες να προσαρμόζουν συνεχώς τις τακτικές τους (Buckland, 2005)

Πέρα από αυτό, η εφαρμογή τέτοιας μορφής συμπεριφοράς είναι σε γενικό βαθμό λιγότερο υπολογιστικά απαιτητική απ' ότι πιο περίπλοκα συστήματα TN, τα οποία μπορεί να χρησιμοποιούν καταστάσεις μνήμης και σχεδιασμού. Αυτή η απλότητα λοιπόν, επιτρέπει στους προγραμματιστές να διαθέσουν περισσότερους πόρους σε άλλες πτυχές της διαδικασίας σχεδίασης παιχνιδιών, όπως στα γραφικά και physics, βελτιώνοντας έτσι την συνολική ποιότητα της εμπειρίας του παιχνιδιού (Millington, 2009).

Παρόλο, που η αντιδραστική TN από μόνη της είναι περιορισμένης εμβέλειας, αποτελεί ουσιαστικό θεμέλιο για τις πιο εξελιγμένες τεχνικές σχεδίασης TN. Η ΑΣ μπορεί να συνδυαστεί με ανωτέρου επιπέδου διαδικασίες λήψης αποφάσεων. Όπως αυτές που περιλαμβάνουν FSM και GOAP (Goal Oriented Action Planning), για να υλοποιηθούν NPC που όχι μόνο αντιδρούν άμεσα στις ενέργειες των παικτών, αλλά και επιδιώκουν μακροπρόθεσμους στόχους και προσαρμόζονται στις μεταβαλλόμενες καταστάσεις του παιχνιδιού (Orkin, 2008).

Συνοψίζοντας, οι προ-προγραμματισμένες αντιδραστικές συμπεριφορές είναι θεμελιώδεις για την υλοποίηση ανταποκρινόμενων NPCs και immersive game κόσμων. Διότι παρέχουν μια άμεση feedback (ανατροφοδότηση) στους παίκτες, συμβάλλοντας έτσι σε μια αίσθηση παρουσίας και αλληλεπίδρασης που αποτελεί κρίσιμο κομμάτι για την επίτευξη μιας συναρπαστικής gameplay εμπειρίας. Ενώ συχνά αποτελούν μόνο ένα στοιχείο του συστήματος της TN, το αντίκτυπο τους στην δυναμική του παιχνιδιού και στην player engagement είναι ουσιώδες.

1.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα

Η υλοποίηση (implementation) των ΑΣ στα βιντεοπαιχνίδια αν και δεν είναι πρωτεύον στόχος έχει υπάρξει βασικό στοιχείο της ανάπτυξης NPCs στα πλαίσια των βιντεοπαιχνιδιών εδώ και παρά πολύ καιρό. Αυτή επιτυγχάνεται όταν οι προγραμματιστές καθορίζουν εκ των προτέρων κάποιες ορισμένες ακολουθίες συμπεριφορών και αλληλεπιδράσεων που θα εκτελέσει ο NPC ως αντίδραση στις ενέργειες του παίκτη. Ενώ αυτή η μορφή συμπεριφοράς παρέχει αρκετά πλεονεκτήματα, όπως έλεγχο από την πλευρά του προγραμματιστή και προβλεψιμότητα από την πλευρά του παίκτη, παρουσιάζει και διάφορα μειονεκτήματα, τα οποία δεν γίνεται να μην τα λάβουμε υπόψιν, διότι μπορούν να έχουν αρνητικές

αποδοχές τόσο στην διαδικασία ανάπτυξης όσο και στην εμπειρία του παίκτη. Σε αυτή την ενότητα θα γίνει αναφορά σε αυτά τα οφέλη και τις προκλήσεις που παρουσιάζονται στην υλοποίηση τέτοιας μορφής συμπεριφοράς, βασιζόμενες στην ακαδημαϊκή βιβλιογραφία που συλλέχθηκε για το αυτό το κεφάλαιο.

Ξεκινώντας, σύμφωνα με τους Sweetser και Wiles (2005), ένα από τα κυριότερα πλεονεκτήματα αυτών των συμπεριφορών όσον αφορά στον σχεδιασμό είναι το επίπεδο δημιουργικού ελέγχου που δίδεται στους προγραμματιστές. Τους επιτρέπει να σχεδιάσουν σχολαστικά και να υλοποιήσουν συγκεκριμένες ακολουθίες και αλληλεπιδράσεις, ώστε να διασφαλιστεί ότι το σενάριο θα εξελιχθεί όπως το οραματίστηκαν. Κάτι που είναι σημαντικό για την επίτευξη μιας συνεκτικής αφήγησης και την παροχή μιας σταθερής και συνεπούς player experience. Παράλληλα, υπάρχει ένας βαθμός προβλεψιμότητας από τους NPCs, το οποίο μπορεί όχι μόνο να ενισχύσει το learning curve (καμπύλη εκμάθησης), καθιστώντας τα παιχνίδια αυτά πιο προσίτα στους λεγόμενους casual παίκτες, αλλά και να υποστηρίξει την ενσωμάτωση πολύπλοκων για παράδειγμα παζλ και προκλήσεων που εξαρτώνται από τις ακριβείς συμπεριφορές (αντιδραστικές ή μη) των NPCs για να εκτελεστούν όπως προβλέφθηκε από τους προγραμματιστές.

Επιπρόσθετα, η ελεγχόμενη φύση των συμπεριφορών αυτών επιταχύνει και διευκολύνει την διαδικασία εξασφάλισης ποιότητας του έργου, στην προκειμένη περίπτωση του βιντεοπαιχνιδιού της TN. Οι προγραμματιστές μπορούν να δοκιμάσουν εκτενώς κάθε πιθανό σενάριο για να επιβεβαιώσουν ότι το παιχνίδι ή η TN λειτουργεί σωστά. Μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο εμφάνισης απρόβλεπτων σφαλμάτων ή/και δυσλειτουργιών που θα μπορούσαν να δυσχεράνουν την εμπειρία του παίκτη. Έτσι, αυτή η δομημένη προσέγγιση του προγραμματισμού μπορεί να συμβάλει σε σημαντικό βαθμό τόσο στην σιβαρότητα όσο και στο βάθος της gaming experience.

Παρόλο που οι ΑΣ οδηγούν σε σημαντικά πλεονεκτήματα όπως αναφέρθηκαν προηγουμένως, οι ίδιοι συγγραφείς (Sweetser & Wiles, 2005) εντοπίζουν και αξιοσημείωτες προκλήσεις. Μια από αυτές, είναι η εκτεταμένη προσπάθεια που απαιτείται από τους προγραμματιστές στην φάση του σχεδιασμού, υλοποίησης και testing, καθώς πρέπει να προβλέπουν και να σχεδιάζουν σχολαστικά κάθε πιθανή αλληλεπίδραση και ανταπόκριση. Μια διαδικασία που καθίσταται ολοένα και πιο περίπλοκη και απαιτητική (resource intensive), καθώς η κλίμακα του παιχνιδιού διευρύνεται. Αυτός ο εκτενής σχεδιασμός και προγραμματισμός απαιτούν όχι μόνο σημαντική επένδυση χρόνου αλλά και περιορίζουν την ικανότητα του συστήματος να προσαρμοστεί γρήγορα σε νέες απαιτήσεις ή ανατροφοδοτήσεις.

Ομοίως, η ακαμψία των συμπεριφορών αυτών θέτει και άλλη μια πρόκληση. Μόλις υλοποιηθεί μια αλληλεπίδραση, τότε οποιαδήποτε τροποποίηση πιθανό θα απαιτήσει κάποιες μορφές αναθεώρηση του υπάρχοντος συστήματος-κώδικα, καταπνίγοντας την καινοτομία και την προσαρμοστικότητα. Αυτή η έλλειψη ευελιξίας καθιστά δύσκολο για τους προγραμματιστές να προβούν σε τροποποιήσεις του συστήματος με βάση την ανατροφοδότηση των παικτών. Επιπλέον, ίσως τους σταθεί εμπόδιο στην πραγματοποίηση του οράματος τους όπως το φαντάζονται όσο περισσότερο εξελίσσεται το παιχνίδι. Τέτοιοι περιορισμοί μπορούν να εμποδίσουν την δυναμική ανάπτυξη και την βελτίωση του παιχνιδιού, επηρεάζοντας πιθανότατα την συνολική δημιουργικότητα και την ανταπόκριση (responsiveness) της σχεδιαστικής διαδικασίας.

Επίσης, οι προκαθορισμένες συμπεριφορές οδηγούν συχνά σε περιορισμένες και προβλέψιμες ενέργειες (actions) των NPCs. Κάτι που μπορεί να μειώσει το βάθος και το replayability του συγκεκριμένου παιχνιδιού. Αφού, οι παίκτες μπορεί να αναγνωρίσουν γρήγορα τα μοτίβα των συμπεριφορών και να χάσουν το ενδιαφέρον τους, καθώς το παιχνίδι αποτυγχάνει να προσφέρει νέες, απροσδόκητες και δυσκολότερες προκλήσεις (Spronck et al, 2006). Αυτή η προβλεψιμότητα λοιπόν, μπορεί ως αποτέλεσμα να υπονομεύσει την καθηλωτική εμπειρία, δίνοντας εντύπωση ότι το παιχνίδι είναι στατικό και κάνοντας το λιγότερο ελκυστικό.

Παρόλο που οι συγκεκριμένες προκλήσεις αυτών των συμπεριφορών που οδηγούν σε μείωση της αξίας του replay δεν αντιμετωπίζονται άμεσα, η γενική συζήτηση όσον αφορά την πολυπλοκότητα του προγραμματισμού συμπεριφοράς για την TN αναφέρει σχετικές προκλήσεις. Όπως την διατήρηση του engagement των παικτών και την διασφάλιση λογικής συνέπειας. Αυτές οι προκλήσεις είναι σχετικές με αυτό το είδος συμπεριφορών οι οποίες απαιτούν σχολαστική κατασκευή για την αποφυγή αποκλίσεων και εκτεταμένων testing και debugging (Buckland, 2005).

Τέλος, δεδομένων των πλεονεκτημάτων και των προκλήσεων των ΑΣ, πολλοί προγραμματιστές υποστηρίζουν μια υβριδική προσέγγιση που συνδυάζει τον προγραμματισμό με στοιχεία emergent gameplay. Αυτά τα emergent συστήματα, τα οποία βασίζονται σε γενικούς κανόνες παρά προκαθορισμένα σενάρια, παρέχουν μια ευελιξία και μια προσαρμοστικότητα που απουσιάζει στις ΑΣ (Sweetser & Wiles, 2005). Αυτή η εναλλακτική επιτρέπει στους NPCs να αντιδρούν με πιο σύνθετους, ποικίλους και αληθοφανείς τρόπους, ενισχύοντας την εμπύθιση και το replayability του παιχνιδιού.

Έχοντας μελετήσει τον ρόλο των ΑΣ στα πλαίσια της TN στα βιντεοπαιχνίδια, τα μειονεκτήματα και πλεονεκτήματά τους, θα μεταβούμε στο επόμενο κεφάλαιο, το οποίο αφορά την δομημένη προσέγγιση, την σχεδίαση και διαχείριση συμπεριφοράς των NPCs μέσω της FSM.

2. Finite State Machine ως παραδοσιακός τρόπος σχεδίασης TN στα πλαίσια των βιντεοπαιχνιδιών

Στο προηγούμενο κεφάλαιο έγινε συζήτηση των προ-προγραμματισμένων αντιδραστικών συμπεριφορών, οι οποίες κατά βάση υλοποιούνται με τεχνικές που προκαθορίζουν τις συμπεριφορές. Μια από αυτές είναι η Finite State Machine (FSM) στην οποία εμβαθύνει αυτό το κεφάλαιο.

2.1 Ορισμός και επεξήγηση

Η τεχνική FSM αποτελεί ένα από τα βασικότερα μέρη όσον αφορά την αρχιτεκτονική των συστημάτων TN στα πλαίσια των βιντεοπαιχνιδιών. Αυτό το υπολογιστικό μοντέλο διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην προσομοίωση διαδικασιών λήψης αποφάσεων και συμπεριφορών για τους NPCs. Συμβάλλοντας στην πολυπλοκότητα και στον δυναμισμό των εικονικών κόσμων. Αυτή η ενότητα διερευνά τον ορισμό, την δομή καθώς και κάποιες από τις σύγχρονες και πιο αξιοσημείωτες εξελίξεις (advancements) της στον τομέα των βιντεοπαιχνιδιών και πιο συγκεκριμένα της TN αυτών.

Οι FSMs είναι ένα μια κατηγορία αυτόματων (automata) που αποτελείται από ένα περιορισμένο πλήθος καταστάσεων και τις μεταβάσεις μεταξύ αυτών. Κάθε κατάσταση σε μια FSM ανήκει σε μια συγκεκριμένη διαμόρφωση του συστήματος. Και οι μεταβάσεις θα μπορούσε να θεωρησει κανείς ότι είναι τα μονοπάτια μέσω των οποίων το σύστημα μετακινείται από την μια κατάσταση στην άλλη με βάση συγκεκριμένους triggers.

Στο πλαίσιο των βιντεοπαιχνιδιών όμως, η FSM χρησιμοποιείται κυρίως, για την μοντελοποίηση των patterns της λογικής και της συμπεριφοράς των NPCs, επιτρέποντάς τους να αντιδρούν στις ενέργειες των παικτών και σε ότι αλλαγές προβεί ο γύρω εικονικός κόσμος του παιχνιδιού. Η FSM λειτουργεί σύμφωνα με τις αρχές της σαφούς οριοθέτησης της κατάστασης και της εξειδίκευσης της μετάβασης. Ουσιαστικά, ανά πάσα στιγμή, βρίσκεται σε μια ρητή κατάσταση μέχρις ότου να καλυφθεί κάποια συνθήκη κάποιος άλλης με αποτέλεσμα το σύστημα να μεταβεί στην καινούργια κατάσταση της οποίας η συνθήκη καλύφθηκε. Αυτές οι συνθήκες ορίζονται συνήθως από τα τρέχοντα σενάρια του παιχνιδιού και αλληλεπιδράσεις του παίκτη, καθιστώντας την FSM ένα εξαιρετικά αποδοτικό εργαλείο για την υλοποίηση προβλέψιμης αλλά και ευέλικτης TN (Buckland, 2005). Επίσης, οι Yannakakis & Togelius και ο Buckland υποστηρίζουν ότι ανά πάσα στιγμή η FSM μπορεί να βρίσκεται μόνο σε μια κατάσταση, όπως επεξηγήθηκε προ λίγου (Yannakakis & Togelius, 2018; Buckland, 2005).

Και οι τρεις αυτοί συγγραφείς (Yannakakis & Togelius 2018; Buckland, 2005) υποστηρίζουν ότι η δομή μιας τυπικής FSM που υλοποιείται σε βιντεοπαιχνίδια για την TN, περιλαμβάνει αυτά τα τρία κύρια στοιχεία: κατάσταση, μετάβαση, ενέργεια (state, transition, action).

Τα οποία ορίζονται ως εξής :

- **State:** Η οποία αντιπροσωπεύει καταστάσεις (ή πιο απλά συμπεριφορές) που μπορεί να υπάρχουν στο περιβάλλον ή να εκτελεί ο NPC. Παραδείγματος χάρη ο NPC να έχει διάφορες συμπεριφορές-καταστάσεις όπως patrolling, chasing, attacking.
- **Transition:** Εδώ περιέχονται οι κανόνες που ορίζουν πως και πότε μια κατάσταση μπορεί να αλλάξει σε μια άλλη. Συνήθως αυτή η αλλαγή συμβαίνει όταν πληρούνται κάποιες συνθήκες ή

ενέργειες (events) εντός του κόσμου του παιχνιδιού. Ένα τέτοιο παράδειγμα θα μπορούσε να είναι ένας παίκτης που πυροκροτεί το όπλο του ή κάποια ενέργειά του που προκαλεί έντονο θόρυβο, με αποτέλεσμα ο NPC να μπει σε κατάσταση alert.

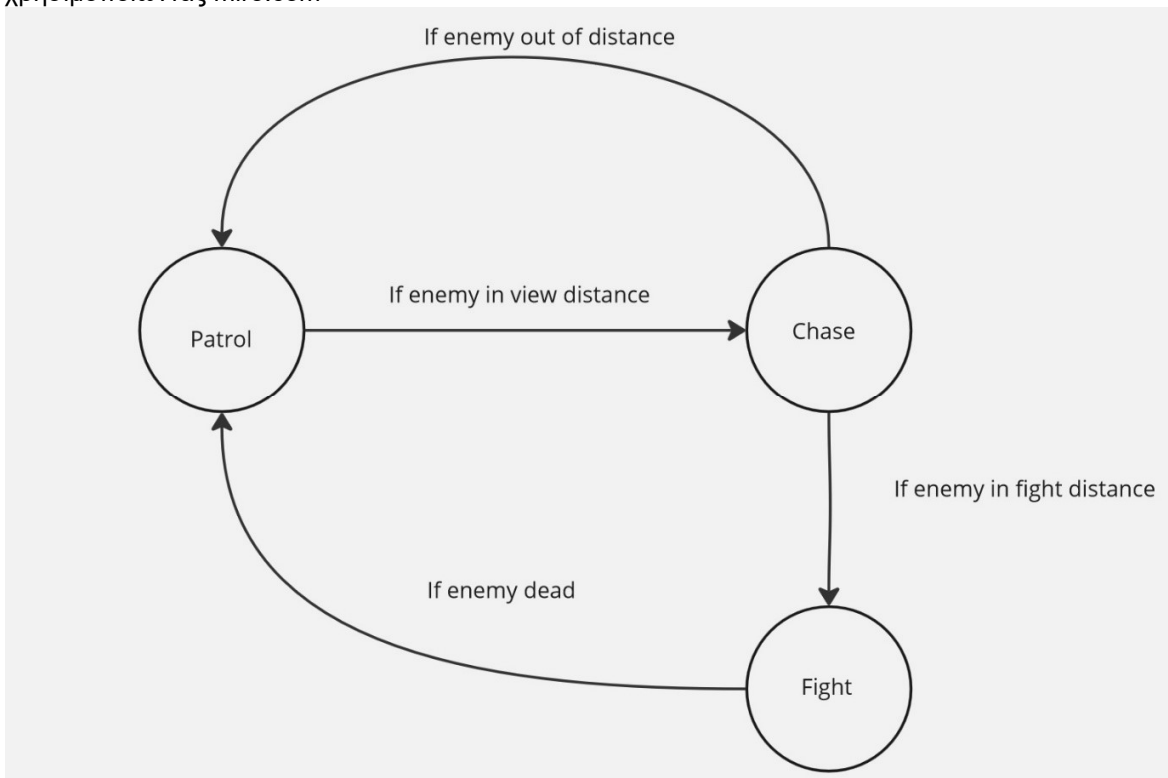
- **Actions:** Είναι το σύνολο διεργασιών ή δραστηριοτήτων που μπορεί να πραγματοποιήσει ο NPC εντός κάποιας κατάστασης. Για παράδειγμα, αν ο NPC βρίσκεται στην κατάσταση chasing, δηλαδή κυνηγά κάτι ή κάποιον, που συνήθως είναι ο παίκτης, τότε η εκτελούμενη ενέργεια είναι η κίνηση προς την κατεύθυνση του στόχου του (Buckland,2005 ; Yannakakis & Togelius, 2018).

Παρακάτω δίδεται ο πίνακας σύντομης περιγραφής της τυπικής δομής της FSM.

| State | Transition | Actions |
|----------------------|---------------------------------------|--|
| Συμπεριφορές του NPC | Κανόνες που μεταβάλλουν μια κατάσταση | Δραστηριότητες που εκτελεί ο NPC ανάλογα την κατάσταση που βρίσκεται |

Πίνακας 2.1 Σύντομη περίληψη των τριών κύριων στοιχείων μιας FSM.

Για ευκολότερη κατανόηση παρουσιάζεται το επόμενο διάγραμμα το οποίο κατασκευάστηκε χρησιμοποιώντας miro.com



Εικόνα 2.1 Παράδειγμα απλού FSM

Όπως φαίνεται στην εικόνα 2.1 και με βάση τους ορισμούς που δόθηκαν προ λίγου, αυτή η FSM περιλαμβάνει τρεις καταστάσεις (Patrol, Chase, Fight) και τέσσερις μεταβάσεις (Patrol → Chase, Chase → Fight, Chase → Patrol, Fight → Patrol). Παράλληλα, έχουμε τέσσερις συνθήκες, οι οποίες ενεργοποιούν τις μεταβάσεις που αναφέραμε και για λόγους απλότητας ας υποθέσουμε ότι έχουμε τρεις ενέργειες, μια ενέργεια για κάθε κατάσταση. Ο NPC κάνει περιπολία εντός μιας εμβέλειας στην οποία βρίσκεται, άρα εκτελεί την ενέργεια κίνηση. Στην κατάσταση Chase πάλι έχουμε κίνηση προς την κατεύθυνση του εχθρού που κυνηγά. Στην κατάσταση Fight έχουμε την ενέργεια μάχης με τον εχθρό. Πώς λειτουργεί όμως;

Με βάση αυτά που προαναφέρθηκαν ως υποθέσουμε ότι η αρχική κατάσταση είναι Patrol στην οποία εκτελείται η ενέργεια κίνησης σε ορισμένο σημείο. Τότε η κατάσταση αυτή θα μεταβεί σε κατάσταση Chase αν και μόνο αν βρεθεί εντός του πεδίου οράσεως του NPC ο εχθρός. Τότε ο NPC μεταβαίνει στην κατάσταση Chase και κυνηγά τον εχθρό. Σε αυτή την κατάσταση έχουμε δύο μεταβάσεις από τις οποίες μόνο μία από αυτές θα εκτελεσθεί. Η μία είναι η μετάβαση προς την κατάσταση Patrol, η οποία θα εκτελεσθεί αν ο εχθρός βγει εκτός του πεδίου οράσεως (ουσιαστικά όταν τον χάσει). Η άλλη θα πραγματοποιηθεί όταν ο NPC θα πλησιάσει αρκετά ώστε να πολεμήσουν, και θα μεταβεί στην κατάσταση Fight. Τέλος, έχουμε την μετάβαση από την κατάσταση Fight προς την κατάσταση Patrol, που όπως δείχνει και η εικόνα 2.1 θα ενεργοποιηθεί όταν ο εχθρός έχει εξολοθρευθεί.

Έχοντας μελετήσει το παράδειγμα, γίνεται κατανοητό γιατί η FSM εφαρμόζεται εκτενώς στα βιντεοπαιχνίδια για την υλοποίηση της TN που θα ελέγχει τις συμπεριφορές των NPCs, αφού η απλότητα της επιτρέπει στους προγραμματιστές να διαχειρίζονται αποτελεσματικά τις αντιδράσεις και τις αλληλεπιδράσεις της TN με ελεγχόμενο τρόπο. Επιπλέον, στα βιντεοπαιχνίδια, η FSM συμβάλλει στην ικανότητα του NPC να λαμβάνει αποφάσεις ή πιο σωστά να αντιδρά κατάλληλα με βάση τις αλληλεπιδράσεις του με τον παίκτη. Δημιουργώντας εν τέλη μια ανταποκριτική (responsive) και διαδραστική gaming experience (Yannakakis & Togelius, 2018).

2.2 Εξελίξεις της κλασσικής FSM

Με την πάροδο του χρόνου ωστόσο η FSM έχει δει σημαντικές βελτιώσεις όσον αφορά στην πολυπλοκότητα και στην λειτουργικότητάς της. Μια από αυτές είναι η Hierarchical Finite State Machine (HFSM, στα ελληνικά Ιεραρχική Μηχανή Πεπερασμένων Καταστάσεων), η οποία αποτελεί μια εξέλιξη της βασικής ιδέας της FSM, δίνοντας την δυνατότητα για έναν πιο λεπτομερή έλεγχο των καταστάσεων μέσω της εμφώλευσης (nesting) της FSM εντός μιας άλλης FSM ή εντός πολλών άλλων FSMs. Αυτή η παραλλαγή επιτρέπει στους προγραμματιστές να κατασκευάσουν μια πολυεπίπεδη προσέγγιση στην διαδικασία λήψης αποφάσεων της TN. Σε αυτήν την περίπτωση, οι ευρύτερες συμπεριφορές ελέγχονται από ανώτερου επιπέδου καταστάσεις και οι λεπτές αντιδράσεις ελέγχονται από τα εμφωλευμένα FSMs. Η μέθοδος αυτή μειώνει την πολυπλοκότητα όταν το παιχνίδι ή το σύστημα γενικότερα αντιμετωπίζει πολυάριθμες καταστάσεις και κατά προέκταση μεταβάσεις. Οργανώνοντας αυτές σε διαχειρίσιμες ιεραρχίες με αποτέλεσμα να απλοποιείται η συντήρηση (maintenance) και η επεκτασιμότητα της λογικής της TN (Millington & Funge, 2009 ; Dawe et al., 2014).

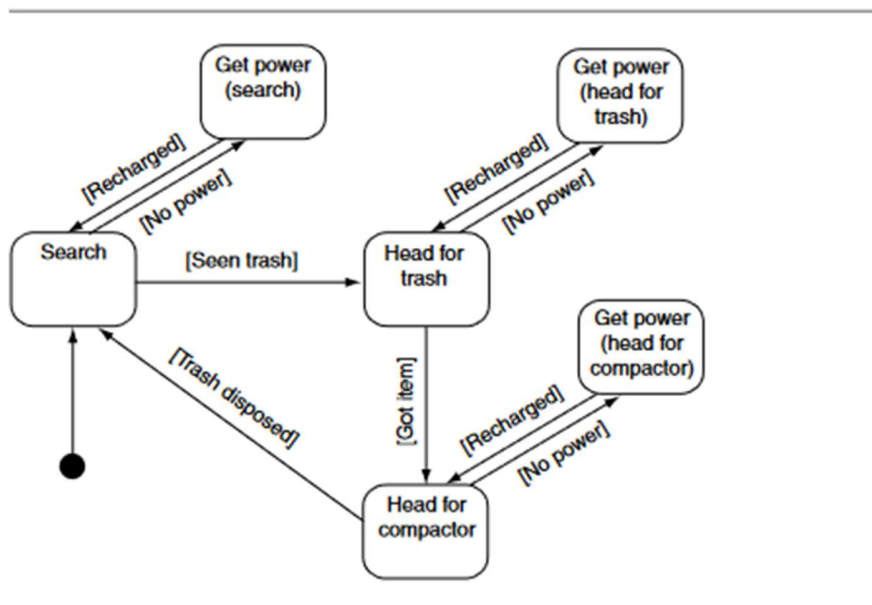


Figure 5.15 An alarm mechanism in a standard state machine

Εικόνα 2.2.1 Παράδειγμα HFSM από το βιβλίο του Ian Millington (2006).

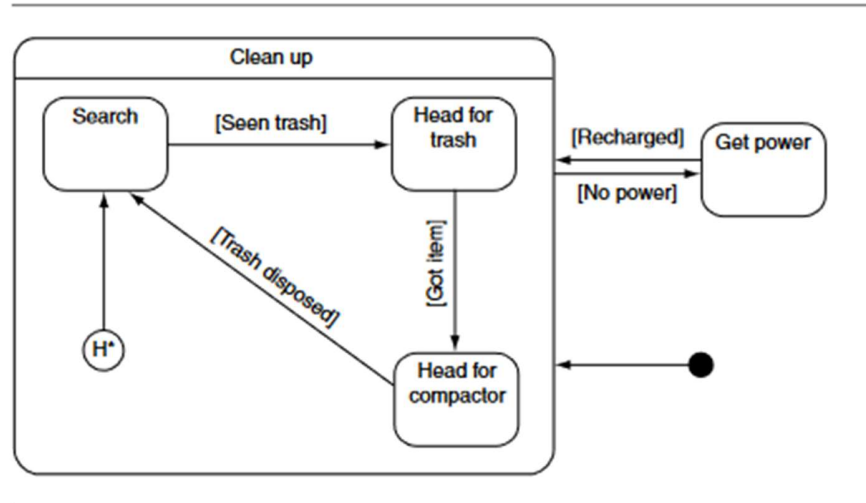


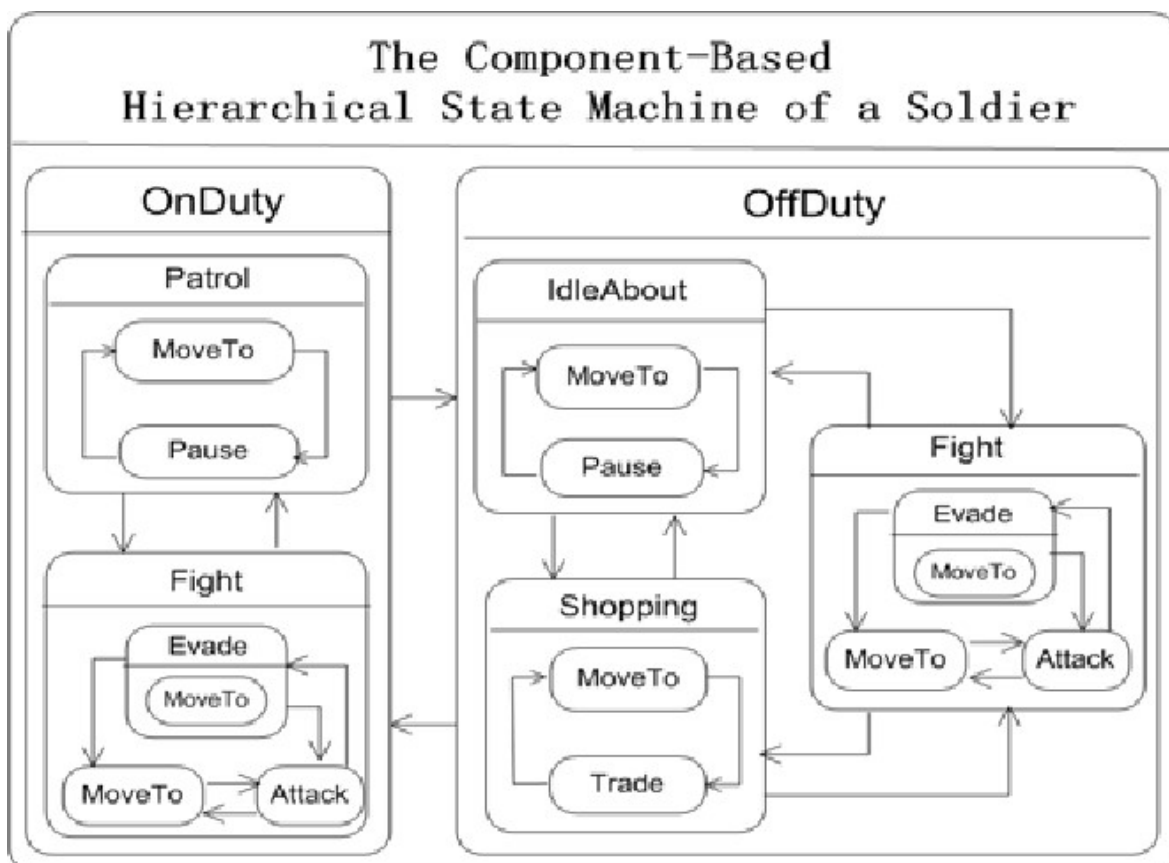
Figure 5.16 A hierarchical state machine for the robot

Εικόνα 2.2.2 Παράδειγμα HFSM από το βιβλίο του Ian Millington (2006).

Επιπλέον, στην ίδια βιβλιογραφία «Artificial Intelligence for Games» των Millington και Funge παρουσιάζεται η Fuzzy Finite State Machine (FFSM, στα ελληνικά Ασαφείς Πεπερασμένες Κατάστασης Μηχανή), μια άλλη παραλλαγή της κλασσικής FSM. Αυτός είναι ένας τρόπος να αντιμετωπιστούν οι έμφυτες αβεβαιότητες και οι μεταβλητότητες των συμπεριφορών των NPCs πιο αποτελεσματικά απ' ό,τι η τυπική FSM. Όπως περιγράφει και το όνομα η FFSM ενσωματώνει στοιχεία ασάφειας στην λογική, με την οποία επιτρέπει οι μεταβάσεις να ενεργοποιούνται από ασαφή λογική ή οι καταστάσεις να είναι ασαφείς εξαρχής. Για παράδειγμα, ο NPC να βρίσκεται σε πολλές καταστάσεις ταυτόχρονα εντός κάποιου ορίου. Για να επιτευχθεί αυτή η ασάφεια κάθε κατάσταση αποκτά ένα βαθμό συμμετοχής (Degree of Membership- DoM), με τις μεταβάσεις να λαμβάνονται υπόψιν για όλες τις τρέχουσες καταστάσεις σε κάθε επανάληψη. Οι τιμές DoM των επιθυμητών καταστάσεων ενημερώνονται με βάση τον βαθμό της μετάβασης, επιτρέποντας για πιο ομαλές και πιο αληθοφανείς (nuanced) αλλαγές καταστάσεων σε σύγκριση με την τυπική FSM όπου γίνεται χρήση δυαδικής λογικής. Δηλαδή, αντί να υπάρχουν μεταβάσεις καταστάσεων, τις οποίες τις απενεργοποιούν ή τις ενεργοποιούν, έχουμε ως αποτέλεσμα ο NPC να μπορεί να βρίσκεται μερικώς σε μια και μερικώς σε κάποια άλλη, αναλόγως συνθηκών. Η FFSM είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική όταν επιθυμείται η άρση αποφάσεων να είναι λιγότερο στατική και πιο ευέλικτη, με απώτερο σκοπό να ενισχυθεί η αληθοφάνεια και η πολυπλοκότητα των συμπεριφορών των NPCs. Με λίγα λόγια, με την χρήση αυτής της τεχνικής επιδιώκεται η υλοποίηση πιο προχωρημένης TN, η οποία θα μπορεί να διαχειριστεί τις ιδιαιτερότητες και την λεπτότητα των διαδικασιών λήψης αποφάσεων.

Τέλος, έχουμε την Component-Based Hierarchical SM (CB-HSM, στα ελληνικά Μηχανή Ιεραρχικής Κατάστασης Βασιζόμενη σε Στοιχεία), η οποία παρόλο που δεν είναι πολύ ακουστή, προσφέρει κάποιες ενδιαφέρουσες πτυχές. Αρχικά, αυτή η παραλλαγή της FSM προτάθηκε από τους Wenfeng Hu, Qiang Zhang, and Yaqin Mao στο έργο τους «Component-Based Hierarchical State Machine - A Reusable and Flexible Game AI Technology» το 2011, η οποία ενισχύει την TN στα βιντεοπαιχνίδια μέσω της αρθρωτοποίησης (modular) των καταστάσεων και των μεταβάσεων, για να ξεπεραστούν οι περιορισμοί της τυπικής FSM. Η CB-HSM χωρίζει σε μικρότερα μέρη τις καταστάσεις και τις μεταβάσεις, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν και να αναδιαμορφωθούν δυναμικά. Στον πυρήνα της λογικής, το σύστημα

περιλαμβάνει σημαντικές κλάσεις (classes), όπως GComponent, GState, GTransition, GCondition, οι οποίες συλλογικά διαχειρίζονται τις καταστάσεις (συμπεριφορές), μεταβάσεις και συνθήκες. Επιπλέον, γίνεται χρήση ενός ασύγχρονου συστήματος βασισμένου σε γεγονότα Asynchronous Event-Driven System (AEDS) για την διαχείριση των μεταβάσεων των καταστάσεων, επιτρέποντας την προσθήκη, την αφαίρεση ή την τροποποίηση τους κατά την διάρκεια της εκτέλεσης με βάση τις μεταβαλλόμενες συνθήκες και τα γεγονότα του στον κόσμο του παιχνιδιού. Αυτή η προσέγγιση αποσυνδέει τη λογική των καταστάσεων από συγκεκριμένα πλαίσια, επιτρέποντας μεγαλύτερη ευελιξία, προσαρμοστικότητα και επαναχρησιμοποίηση στην ανάπτυξη της TN στα παιχνίδια. Με τον τρόπο αυτό, κατά τα λεγόμενα των συγγραφέων αυτή η προσέγγιση μπορεί να προσαρμόζεται εύκολα σε διάφορα περιβάλλοντα και καταστάσεις, ενισχύοντας τη δυνατότητα για δημιουργία πιο σύνθετων και αληθοφανών αλληλεπιδράσεων χαρακτήρων.



Εικόνα 2.2.3 Παράδειγμα CB-HSM από την έρευνα των Hu et al. στο έργο τους “Component-Based Hierarchical State Machine - A Reusable and Flexible Game AI Technology” (2011).

2.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα

Έχοντας εξερευνήσει τις παραλλαγές της FSM, σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα όλων αυτών, ακόμα και της παραδοσιακής FSM.

2.3.1 Πλεονεκτήματα

Ξεκινώντας έχουμε την κλασική FSM στην οποία όπως παρουσιάστηκε ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της είναι η απλότητα και η ευκολία χρήσης που προσφέρει. Καθώς αυτή λειτουργεί με μια βασική αρχή: Μια οντότητα (στην προκειμένη περίπτωση ο NPC) μπορεί να υπάρχει σε μόνο μία κατάσταση από το

σύνολο των περιορισμένων πλήθους καταστάσεων που υπάρχουν σύστημα. Όπως φαίνεται δηλαδή στην εικόνα 2.1, από τις τρεις καταστάσεις θα βρισκεται σε μια μόνο ανά πάσα στιγμή. Και θα μεταβαίνει μεταξύ αυτών μόνο όταν πληρείται κάποια από τις συνθήκες. Αυτή η απλή προσέγγιση καθιστά εύκολη την κατανόηση και την εφαρμογή των FSMs, ακόμη και αν ο σχεδιαστής δεν κατέχει βαθιές γνώσεις στο αντικείμενο αυτό. Όπως υποστηρίζει και ο Buckland (2005), οι FSMs είναι εύκολα κατανοητές για την σχεδίαση συμπεριφορών για την TN. Καθιστώντας αυτές ένα προσιτό εργαλείο για μικρότερες ομάδες ή προγραμματιστές που δουλεύουν μόνοι τους. Με λίγα λόγια, η απλότητα της διασφαλίζει ότι οι προγραμματιστές μπορούν να υλοποιήσουν γρήγορα μια λειτουργική TN, χωρίς την χρήση περίπλοκων αλγορίθμων ή μεγάλων υπολογιστικών πόρων. Η FSM επίσης προσφέρει στους προγραμματιστές υψηλό βαθμό ελέγχου και εξατομίκευση στις συμπεριφορές χαρακτήρων. Αφού κάθε κατάσταση και μετάβαση μπορεί να σχεδιαστεί με ακρίβεια για να επιτευχθούν οι συγκεκριμένες αποκρίσεις σε in-game καταστάσεις (situations), όπως ακριβώς το επιθυμεί ο προγραμματιστής. Οι Dawe, Gargolinski, Dicken, Humphreys, & Mark (2014) σημείωσαν ότι αυτός ο έλεγχος είναι ιδιαίτερα ωφέλιμος στην σχεδίαση προβλέψιμων συμπεριφορών των NPCs, ενισχύοντας έτσι την εμπειρία του παίκτη. Να σημειωθεί επίσης, ότι δίδεται η δυνατότητα στους προγραμματιστές να προγραμματίσουν ακριβείς συμπεριφορές με αυτή την τεχνική, εξασφαλίζοντας ότι οι NPCs επιδεικνύουν δράσεις που συμβαδίζουν συνεπώς με το σύνολο σχεδιασμού και της αφήγησης του παιχνιδιού.

Άλλο ένα στοιχείο στο οποίο υπερτερεί η FSM είναι η αποδοτικότητάς της. Χάρη στην απλοικότητα της, η FSM επιφέρει χαμηλό υπολογιστικό βάρος. Καθιστώντας την κατάλληλη για real-time (πραγματικού χρόνου) εφαρμογές, όπου οι πόροι είναι περιορισμένοι. Ο Ian Millington (2016) συζητά πως οι χαμηλές υπολογιστικές απαιτήσεις της, την κάνει ιδανική για παιχνίδια που απαιτούν γρήγορη και αποτελεσματική επεξεργασία της TN. Αυτή η αποδοτικότητα εξασφαλίζει την ομαλή λειτουργικότητα της TN, ακόμα και σε συσκευές με περιορισμένη επεξεργαστική ισχύ, όπως κινητές συσκευές ή παλιότερης γενιάς υπολογιστές.

Όσον αφορά τις πιο εξελιγμένες μορφές της FSM παρατηρούμε ότι η HFSM είναι ιδιαίτερα δυνατή σε σενάρια όπου η TN πρέπει να διαχειριστεί μεγάλο πλήθος καταστάσεων ή όταν οι συμπεριφορές πρέπει να επαναχρησιμοποιηθούν σε παραπάνω από μια καταστάσεις, χωρίς όμως να αναπαράγεται η λογική. Αυτή η μέθοδος επιτρέπει κάθε κατάσταση εντός της HFSM να είναι αυτούσια FSM, οργανώνοντας ουσιαστικά τις καταστάσεις σε μια δενδροειδή δομή. Έτσι, προσφέρεται ένας τρόπος ενθυλάκωσης των συμπεριφορών και αποδοτικότερης διαχείρισης των μεταβάσεων των καταστάσεων. Μειώνοντας έτσι την πολυπλοκότητα που τυπικά εμπεριέχεται σε μεγάλες FSMs ή όταν προστίθενται και άλλες επιπλέον καταστάσεις σε μια υπάρχουσα FSM (Dawe et al., 2014). Εκτός από αυτό η HFSM επιτρέπει την αποφυγή παρουσίας πολλαπλών ίδιων καταστάσεων. Αυτός ο περιορισμός είναι ιδιαίτερα επιθυμητός όταν οι καταστάσεις πρέπει να επαναχρησιμοποιηθούν περισσότερες από μία φορές με διαφορετικό νόημα. Τα HFSMs λοιπόν επιτρέπουν μια πιο αποδοτική και κομψή δομή που δεν απαιτεί την υλοποίηση πολλαπλών όμοιων καταστάσεων, κάτι που εν τέλη βοηθά και στην αποφυγή της state explosion (έκρηξη καταστάσεων). Πρόβλημα που εμφανίζεται σε τυπικές FSM και τις καθιστά δύσκολο στην κατανόηση και πιο σύνθετες και επιρρεπείς σε σφάλματα όταν προστίθενται καινούργιες καταστάσεις (Dawe et al., 2014).

Επιπλέον λόγω της φύσης της HFSM, παρέχεται καλύτερος έλεγχος στην δομή των καταστάσεων. Αυτός ο ενισχυμένος έλεγχος προσφέρει την δυνατότητα να διαχωριστούν οι μεγαλύτερες και πιο πολύπλοκες συμπεριφορές σε μικρότερα και πιο απλοποιημένα μέρη. Εν γένη επιτρέπει σε ολόκληρο το σύστημα να είναι πιο εύκολα διαχειρίσιμο και πιο κατανοητό, διευκολύνοντας την διαδικασία υλοποίησης πιο σύνθετων συμπεριφορών ή και πιο σύνθετων μοτίβων συμπεριφορών στην TN (Dawe et al., 2014).

Ένα ακόμα πλεονέκτημά της, είναι η έννοια του ιστορικού καταστάσεων. Αυτές οι καταστάσεις επιτρέπουν στο σύστημα να θυμάται την τελευταία ενεργή υπο-κατάσταση κατά την επανασύνδεση (re-entering) σε ανώτερου επιπέδου κατάσταση. Εξασφαλίζει έτσι ότι το σύστημα θα συνεχίσει τις λειτουργίες από την τελευταία ενεργή παρά από την αρχική κατάσταση, προσθέτοντας ένα επίπεδο υστέρησης που δεν υπάρχει στις τυπικές FSMs (Dawe et al., 2014).

Στο βιβλίο "Artificial Intelligence for Games", ο Ian Millington τονίζει ως κύριο πλεονέκτημα της HFSM την ικανότητά της να ενισχύει την αληθοφάνεια και την ευελιξία των συμπεριφορών των NPCs στα

παιχνίδια, επιτρέποντάς τους να καταλαμβάνουν μερικώς πολλαπλές καταστάσεις ταυτόχρονα μέσω βαθμών συμμετοχής (DoM). Η FFSM επιτρέπει πιο ομαλές και λεπτομερείς μεταβάσεις μεταξύ καταστάσεων, αντανακλώντας τη φυσική μεταβλητότητα και την πολυπλοκότητα των πραγματικών ενεργειών. Αυτή η προσέγγιση δίνει την δυνατότητα στην TN του παιχνιδιού να προσαρμόζεται δυναμικά σε μεταβαλλόμενες συνθήκες και πολύπλοκα περιβάλλοντα, με αποτέλεσμα να φαίνονται πιο πειστικές και ευαίσθητες οι συμπεριφορές των χαρακτήρων, όπου οι παραδοσιακές δυαδικές μηχανές καταστάσεων δυσκολεύονται να επιτύχουν (Millington, 2006).

Η CB-HSM τεχνική, παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα, όπως περιγράφεται στο έργο των Hu et al. (2011). Αυτά τα πλεονεκτήματα την καθιστούν μια ανώτερη επιλογή σε σύγκριση με την τυπική FSM, όσον αφορά στο πεδίο υλοποίησης της TN στα βιντεοπαιχνίδια.

Αρχικά οι συγγραφείς σημειώνουν ότι η CB-HSM επιτρέπει στους προγραμματιστές να υλοποιήσουν υψηλού επιπέδου και σύνθετες συμπεριφορές, συνδυάζοντας ήδη υπάρχουσες και απλούστερες καταστάσεις και μεταβάσεις ως δομικά στοιχεία κατά την διάρκεια της μεταγλώττισης. Αυτή η αρθρωτή προσέγγιση διευκολύνει την επαναχρησιμοποίηση του κώδικα και επιταχύνει την ανάπτυξη, δίνοντας την ικανότητα δημιουργίας εξελιγμένων συμπεριφορών από βασικά στοιχεία χωρίς ραγδαία αλλοίωση του αρχικού κώδικα, αφού μειώνει την ανάγκη για επαναληπτικό κώδικα και απλοποιεί την διαδικασία ανάπτυξης.

Επιπλέον, σε αντίθεση με την τυπική FSM, όπου οι διαμορφώσεις είναι ενσωματωμένες κατά τη μεταγλώττιση, η CB-HSM επιτρέπει να γίνουν αλλαγές κατά τον σχεδιασμό. Αυτό αποσυνδέει τον υψηλού επιπέδου σχεδιασμό παιχνιδιών από τον χαμηλού επιπέδου προγραμματισμό TN, επιτρέποντας στους σχεδιαστές παιχνιδιών να κάνουν προσαρμογές χωρίς να απαιτείται αναμεταγλώττιση (recompile). Ως αποτέλεσμα, μικρές αλλαγές στο σχεδιασμό μπορούν να υλοποιηθούν πιο αποδοτικά, ενισχύοντας τη διαδικασία επαναληπτικού σχεδιασμού και επιτρέποντας μια δυναμική και προσαρμοστική ανάπτυξη παιχνιδιών (Hu et al., 2011).

Χρησιμοποιώντας σύνθεση αντικειμένων αντί για κληρονομικότητα, η CB-HSM εξασφαλίζει ότι οι καταστάσεις και οι μεταβάσεις είναι λιγότερο εξαρτημένες από το συμφραζόμενο και πιο επαναχρησιμοποιήσιμες σε διαφορετικά σενάρια και projects. Αυτή η μέθοδος μειώνει την ανάγκη για την εκ νέου υλοποίηση των καταστάσεων και των μεταβάσεων για κάθε νέο παιχνίδι, εξοικονομώντας έτσι χρόνο και πόρους ανάπτυξης. Η αποσύνδεση των καταστάσεων από τους κοντέινερ τους και τις μεταβάσεις σημαίνει επίσης ότι οι μεμονωμένες συνιστώσες μπορούν να επαναπροσδιοριστούν χωρίς εκτεταμένες τροποποιήσεις.

Τέλος, αυτή η τεχνική εμφωλεύει τις μεταβάσεις σε αντικείμενα, αφαιρώντας τη ρητά κωδικοποιημένη λογική από τις καταστάσεις και επιτρέποντας έναν πιο αρθρωτό σχεδιασμό. Αυτός ο διαχωρισμός των ανησυχιών καθιστά το σύστημα πιο εύκολο στη συντήρηση και την επέκταση. Οι προγραμματιστές μπορούν να ενημερώσουν ή να αντικαταστήσουν συγκεκριμένες καταστάσεις και μεταβάσεις χωρίς να επηρεάσουν τη συνολική δομή, οδηγώντας σε πιο ανθεκτικές και συντηρήσιμες βάσεις κώδικα (Hu et al., 2011). Στην επόμενη υπό-ενότητα θα εξερευνηθούν τα μειονεκτήματα.

2.3.2 Μειονεκτήματα

Η τυπική FSM παρά τα πλεονεκτήματά της, δεν πρέπει να ξεχαστεί ότι έχει και αρκετά μειονεκτήματα. Ένα κύριο μειονέκτημά της είναι η έλλειψη ευελιξίας, αφού από την φύση της είναι άκαμπτη, γεγονός που την καθιστά ευάλωτη σε δυναμικές ή αναδυόμενες συμπεριφορές (Millington & Funge, 2006). Άλλο ένα μειονέκτημα είναι ότι οι NPCs που υλοποιήθηκαν με αυτή την τεχνική παρουσιάζουν προβλέψιμες και επαναλαμβανόμενες συμπεριφορές, μειώνοντας έτσι την ολική gaming εμπειρία. Οι Yannakis και Togelius (2018) επισήμαναν ότι η TN υλοποιημένη με την τεχνική FSM δεν παρουσιάζει στοιχεία προσαρμογής που απαιτείται στα σύγχρονα βιντεοπαιχνίδια, τα οποία συνήθως στοχεύουν σε πιο αληθοφανείς και απρόβλεπτες συμπεριφορές.

Μερικά άλλα μειονεκτήματα που παρατηρούνται στην FSM είναι η δυσκολία συντήρησής της όσο περισσότερο επεκτείνεται. Αυτή η ανάπτυξη συχνά μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλα κομμάτια ή όπως το

λένε οι προγραμματιστές block σύνθετου και δυσανάγνωστου κώδικα, τα οποία είναι δύσκολο να συντηρηθούν και να προσαρμοστούν ανάλογα καθώς το παιχνίδι εξελίσσεται (Millington & Funge, 2006).

Η FSM επίσης μπορεί να παρουσιάσει δυσκολίες διαχείρισης πιο σύνθετων δομών TN, όπως HFSM. Η ρητή κωδικοποίηση της FSM περιπλέκει το συντονισμό αυτών των δομών, κάνοντας πιο δύσκολη την ευθυγράμμιση και τον συγχρονισμό διαφόρων συμπεριφορών της TN αποδοτικά εντός του κόσμου του παιχνιδιού (Millington & Funge, 2006).

Να σημειωθεί επίσης, ότι η διαδικασία debugging μπορεί να παρουσιάσει και αυτή κάποιες δυσκολίες. Καθώς η τυπική FSM δεν υποστηρίζει αποδοτικά την ενσωμάτωση debugging outputs, με αποτέλεσμα να μην είναι εύκολο να εντοπιστούν και να επιλυθούν τα σφάλματα αυτά (Millington & Funge, 2006).

Όσον αφορά τις προηγμένες εκδοχές της FSM, παρόλο που επιλύουν διάφορα μειονεκτήματά της, πρέπει να σημειωθεί ότι και αυτές παρουσιάζουν κάποιες δυσκολίες. Ξεκινώντας με την HFSM, λόγω της φύσης της ένα σημαντικό μειονέκτημά της είναι η αυξημένη πολυπλοκότητα στον σχεδιασμό. Παρά το γεγονός ότι προσφέρει μεγαλύτερο έλεγχο στην δομή και επιτρέπει την αποσύνθεση των καταστάσεων σε μικρότερα μέλη, εισάγει επίσης και πρόσθετα επίπεδα ιεραρχίας. Ως αποτέλεσμα, αυτή η αυξημένη πολυπλοκότητα κάνει την αρχική υλοποίηση πιο προκλητική και απαιτεί πιο προσεκτικό σχεδιασμό ώστε η ιεραρχία να είναι λογική και αποδοτική. Επιπλέον, αυτή καταντά το σύστημα πιο δύσκολο στην κατανόηση και διαχείριση, ειδικά σε μεγάλες εφαρμογές (Dawe et al., 2014).

Ένα άλλο πρόβλημα που σημειώνεται και στην τυπική FSM είναι η διαδικασία του debugging, το οποίο είναι εν γένη δύσκολο λόγω της ιεραρχικής φύσης της και της δομής. Όταν προκύπτει κάποιο πρόβλημα, δεν είναι άμεσα σαφές σε ποιο επίπεδο της ιεραρχίας εμφανίζεται αυτό. Με αποτέλεσμα η αντιμετώπιση και η επίλυση των προβλημάτων να είναι πιο χρονοβόρα και να απαιτεί πιο εξελιγμένα εργαλεία για αυτές τις διαδικασίες (Dawe et al., 2014).

Οι ίδιοι συγγραφείς Dawe, Gargolinski, Dicken, Humphreys, και Mark από το βιβλίο του Rabin Game Pro 1 επισημαίνουν ότι η τεχνική αυτή εισάγει υπολογιστικό φόρτο λόγω της ανάγκης να διαχειρίζεται πολλαπλές καταστάσεις και μεταβάσεις. Αυτό το επιπλέον υπολογιστικό βάρος μπορεί να επηρεάσει την απόδοση, ιδιαίτερα σε εφαρμογές που τρέχουν σε πραγματικό χρόνο όπου αυτή είναι σημαντική. Αλλά και η επεξεργασία που απαιτείται μόνο για την διαχείριση της ιεραρχικής δομής μπορεί να επηρεάσει την συνολική απόδοση της εκάστοτε εφαρμογής.

Υπάρχει, επίσης και ο κίνδυνος υπερ-σχεδιασμού όπου οι προγραμματιστές μπορεί να έκαναν το σύστημα πιο πολύπλοκο απ' ό τι φανταζόντουσαν, υλοποιώντας υπερβολικά πολλές καταστάσεις και μεταβάσεις ή πολλά επίπεδα ιεραρχίας. Με αποτέλεσμα το σύστημα να είναι δύσκολο να συντηρηθεί και να κατανοηθεί, ακυρώνοντας οποιοδήποτε όφελος μπορεί να είχε η υλοποίηση της αντί της FSM (Dawe et al., 2014).

Ο Ian Millington συζητά στο "Artificial Intelligence for Games" ότι η FFSM έχει και αυτή μερικά μειονεκτήματα, ένα από αυτά και πιθανό το σημαντικότερο είναι η αυξημένη πολυπλοκότητα όσο αφορά την υλοποίηση και την διαχείριση. Η FFSM απαιτεί την διαχείριση των βαθμών DoM για τις καταστάσεις και την αποτελεσματική ενημέρωση των τιμών αυτών κατά την διάρκεια κάθε επανάληψης, το οποίο αυξάνει την πολυπλοκότητα. Αυτή, μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση υπολογιστικού φόρτου, αφού η TN πρέπει να εξετάσει πολλαπλές ενεργές καταστάσεις και μεταβάσεις ταυτόχρονα.

Επιπλέον, αυτή η επιπρόσθετη υπολογιστική επιβάρυνση μπορεί να μειώσει την απόδοση του παιχνιδιού, ιδίως σε όχι τόσο ισχυρά συστήματα. Η αυξημένη πολυπλοκότητα συνεπάγεται και την ανάγκη για πιο περίπλοκες διαδικασίες αποσφαλμάτωσης και συντήρησης. Οι προγραμματιστές πρέπει να διαχειρίζονται την πολυπλοκότητα της FSM με τέτοιο τρόπο ώστε να διατηρούν την αποδοτικότητα του συστήματος χωρίς να θυσιάζουν τη λειτουργικότητα και την αληθοφάνεια της TN. Η διαχείριση των ενεργών καταστάσεων και των μεταβάσεών τους σε πραγματικό χρόνο απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή και προγραμματιστική επιδεξιότητα, κάτι που μπορεί να αυξήσει το συνολικό κόστος ανάπτυξης και συντήρησης των παιχνιδιών (Millington & Funge, 2006).

Και τέλος, η CB-HSM παρά τα θετικά που παρουσίασαν οι συγγραφείς Hut et al. (2011), επισήμηνουν και μερικά αρνητικά. Όπως η πολυπλοκότητα που εμπλέκεται στην υλοποίηση και στην

συντήρηση αυτής της τεχνικής. Η ανάγκη για ένα πιο σχολαστικό τρόπο σχεδιασμού κάθε κατάστασης και μετάβασης με σκοπό να διασφαλιστεί η επαναχρησιμοποίηση και η ευελιξία μπορεί να αποβεί χρονοβόρα. Καθώς και απαιτητική όσον αφορά στον σχολαστικό προγραμματισμό και στον συντονισμό μεταξύ των προγραμματιστών και σχεδιαστών παιχνιδιών.

Από την άλλη ενώ βελτιώνει την ευελιξία και την προσαρμοστικότητα, εισάγει επίσης πιθανές επιβαρύνσεις στην απόδοση. Η δυναμική φύση της διαχείρισης των καταστάσεων και των μεταβάσεων κατά την διάρκεια της εκτέλεσης μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένο υπολογιστικό κόστος. Ιδιαίτερα σε πολύπλοκες εφαρμογές όπου είναι αναγκαία η διαχείριση πολλών καταστάσεων και μεταβάσεων ταυτόχρονα (Hu et al., 2011).

Τέλος, ένα ακόμα μειονέκτημά της είναι εξάρτηση της ασύγχρονης διαχείρισης των γεγονότων, η οποία αποτελεί βασικό στοιχείο του συστήματος CB-HSM, προκαλώντας έτσι προκλήσεις συγχρονισμού. Η διασφάλιση ότι όλα τα γεγονότα του παιχνιδιού επεξεργάζονται με τη σωστή σειρά και τους κατάλληλους χρόνους απαιτεί ένα ισχυρό σύστημα διαχείρισης γεγονότων, αλλιώς το σύστημα μπορεί να οδηγήσει σε απρόβλεπτες συμπεριφορές ή εμφράξεις στην απόδοση.

Έχοντας μελετήσει τις διάφορες πτυχές της FSM, καθώς και τις διαφορές της βελτιώσεις όπως HFSM, FFSM και CB-HSM, καθώς και τις θετικές αλλά και αρνητικές επιπτώσεις τους, στο επόμενο κεφάλαιο θα παρουσιαστεί η τεχνική Machine Learning και οι παραδοχές της.

3. Machine Learning

Η Machine Learning (ML) έχει κεντρίσει το ενδιαφέρον πολλών τομέων τα τελευταία χρόνια, με ένα από αυτούς να είναι αυτός των βιντεοπαιχνιδιών. Η τεχνική αυτή και οι διάφορες εκδοχές της, έχουν δει ποικίλες υλοποιήσεις από προχωρημένους agents που νίκησαν επαγγελματίες παίκτες στο Dota 2 και σε άλλα παιχνίδια, σε map ή και σε content αναπαραγωγή έως και αναπαραγωγή διαλόγου ή ακόμα και σε αυτοματοποίηση στη αναζήτηση σφαλμάτων και play testing. Σε αυτό το κεφάλαιο θα δοθεί έμφαση στην ML και τις διάφορες εκδοχές της όσον αφορά την δημιουργία ευφυών πρακτόρων καθώς και στα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους.

3.1 Ορισμός Machine Learning

Η ML ορίζεται ως ένα σύνολο μεθόδων που μπορούν να ανιχνεύσουν αυτόματα πρότυπα σε δεδομένα και να τα χρησιμοποιήσουν για να προβλέψουν μελλοντικά δεδομένα ή να πραγματοποιήσουν άλλου είδους λήψη αποφάσεων υπό συνθήκες αβεβαιότητας (Murphy, 2012). Αυτός ο ορισμός υπογραμμίζει τον διπλό σκοπό της ML: την ανίχνευση προτύπων και την επακόλουθη πρόβλεψη ή λήψη αποφάσεων. Η προσέγγιση του Murphy, βασίζεται στην θεωρία της πιθανότητας και τονίζει την εφαρμογή της για την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας που ενυπάρχει σε αυτές τις εργασίες.

Στην ML εμφανίζονται πολλές τεχνικές, μερικές εκ των οποίων Supervised Learning, Unsupervised Learning, Reinforcement Learning, Deep Learning και Hybrid Learning και άλλες πολλές. Ξεκινώντας έχουμε την Supervised Learning (SL, στα ελληνικά Επιβλεπόμενη Μάθηση) είναι η αλγοριθμική διαδικασία προσέγγισης της υποκείμενης συνάρτησης μεταξύ των labelled δεδομένων και των αντίστοιχων τους χαρακτηριστικών ή γνωρισμάτων τους. Ένα γνωστό παράδειγμα της το οποίο περιγράφεται στο βιβλίο των Yannakakis & Togellius (2018) "Artificial Intelligence and Games", περιλαμβάνει την μηχανή που κάνει διάκριση μεταξύ μήλων και αχλαδιών (κατηγοριοποιημένα δεδομένα) και τα γνωρίσματα αυτών των φρούτων όπως χρώμα και μέγεθος. Αρχικά η ML μαθαίνει να αναγνωρίζει τα φρούτα εξετάζοντας τα παραδείγματα με τις δοσμένες ετικέτες τους. Μόλις εκπαιδευτεί, η μηχανή μπορεί να αναγνωρίζει καινούρια φρούτα που δεν έχει ξαναδεί χρησιμοποιώντας τα μαθημένα γνωρίσματα.

Στον κόσμο των βιντεοπαιχνιδιών η SL μπορεί να υλοποιηθεί για να γίνει χαρτογράφηση καταστάσεων του παιχνιδιού σε ενέργειες ή αποτελέσματα. Παραδείγματος χάρη εδώ φαίνονται γνωρίσματα-στοιχεία εισόδου και οι αντίστοιχες ενέργειες τους, {player health, own health, distance to

player} → {action (shoot, flee, idle)}, {player's previous position, player's current position} → {player's next position} ή και {number of kills and headshots, ammo spent} → {skill rating}.

Η SL στοχεύει στην εξαγωγή μιας συνάρτησης $f \rightarrow Y$, δεδομένου ενός συνόλου N παραδειγμάτων εκπαίδευσης $\{(x_1, y_1), \dots, (x_N, y_N)\}$, όπου X και Y αντιπροσωπεύουν τους χώρους εισόδου και εξόδου αντίστοιχα. Η φάση της εκπαίδευσης, περιλαμβάνει την διαδικασία παρουσίασης του αλγορίθμου με τα επισημασμένα δεδομένα για την εξαγωγή της συνάρτησης f . Κατά την διάρκεια της δοκιμής (test), γίνεται επαλήθευση της f χρησιμοποιώντας ένα νέο σύνολο δεδομένων, όπου η f πρέπει να προβλέψει τις ετικέτες τους με βάση τα γνωρίσματα τους. Η γενίκευση της f επαληθεύεται με την χρήση ενός ανεξαρτήτου συνόλου δεδομένων και η αποδοτικότητα μετριέται από την ακρίβεια. Όταν μιλάμε για ακρίβεια μιλάμε για το ποσοστό των σωστά αναγνωρισμένων δειγμάτων δοκιμής. Αν το ποσοστό ακρίβειας είναι επιθυμητό από τους προγραμματιστές-ερευνητές τότε η f θα χρησιμοποιηθεί για να προβλέψει τις ετικέτες των νέων δεδομένων.

Για παράδειγμα: στα πλαίσια των βιντεοπαιχνιδιών η SL μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μαντέψει την επόμενη κατάσταση του παιχνιδιού ή την επόμενη ενέργεια του παίκτη. Βασιζόμενη σε ιστορικά δεδομένα, στην προκειμένη ιστορικά εννοείται η μνήμη, δηλαδή η ML θυμάται τι έχει γίνει πριν ώστε να μπορεί να ανταποκριθεί ανάλογα. Αυτή η τεχνική βοηθά στην δημιουργία πιο ανταποκρινόμενων και ανθρωπόμορφων NPCs (Yannakakis & Togelius, 2018).

Έπειτα, υπάρχει η Unsupervised Learning (UL, στα ελληνικά Μη Επιβλεπόμενη Μάθηση) όπου ο στόχος της είναι να αναγνωριστούν τα εγγενής πρότυπα εντός ενός δοσμένου συνόλου δεδομένων χωρίς την χρήση επισημασμένων απαντήσεων (labelled answers). Σε αντίθεση με την SL, η UL προσπαθεί να συνάγει (infer) την φυσική δομή που υπάρχει μέσα σε ένα σύνολο δεδομένων. Σύμφωνα με το άρθρο των Niels Justesen, Philip Bontrager, Julian Togelius και Sebastian Risi "Deep Learning for Video Game Playing" η UL εστιάζει με λίγα λόγια στον εντοπισμό προτύπων και δομών στα δεδομένα. Αυτά τα πρότυπα μπορούν στην συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για διάφορες διεργασίες, όπως η ομαδοποίηση παρόμοιων δεδομένων, η συμπίεσή τους στα βασικά τους χαρακτηριστικά ή η δημιουργία νέων δεδομένων τα οποία μοιράζονται τα χαρακτηριστικά με το πρωταρχικό σύνολο (Justesen et al., 2020).

Στο πλαίσιο των βιντεοπαιχνιδιών, η UL μπορεί να επιλύσει προκλήσεις όπως σπάνιες ανταμοιβές, οι οποίες είναι διαδοσμένες σε σύνθετα παιχνίδια όπως το Montezuma's Revenge. Η ικανότητα της να εντοπίζει και να αξιοποιεί τα υποκείμενα πρότυπα των δεδομένων χωρίς ρητές ανταμοιβές (rewards) είναι ιδιαίτερα πολύτιμη. Η αναφερόμενη έρευνα τονίζει ότι παρόλο που η εφαρμογή της παρούσας τεχνικής σε δεδομένα παιχνιδιών βρίσκεται στα πρώτα της στάδια, έχει σημαντικές δυνατότητες στην βελτίωση του πεδίου της game-playing TN (Justesen et al., 2020). Εν συντομία, σκοπός της UL είναι η ανακάλυψη προτύπων στα δεδομένα χωρίς την ανάγκη για επισημασμένα αποτελέσματα. Η εφαρμογή της στην Deep Learning (DL, στα ελληνικά Βαθιά Μάθηση) και στο game playing υπόσχεται πολλά. Ιδίως όταν πρέπει να αντιμετωπίσει δεδομένα υψηλών διαστάσεων και σενάρια σπάνιων ανταμοιβών, όπου οι τυπικές SL μέθοδοι αποτυγχάνουν (Justesen et al., 2020).

Η Deep Learning (DL) είναι ένα υποσύνολο της ML το οποίο περιλαμβάνει την χρήση τεχνητών νευρωνικών δικτύων (στα αγγλικά Artificial Neural Networks - ANN) με πολλά επίπεδα για την μοντελοποίηση περίπλοκων μοτίβων σε δεδομένα. Για αυτό και ονομάζεται βαθιά μάθηση. Είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική στην διαχείριση δεδομένων υψηλών διαστάσεων και στην εξαγωγή περίπλοκων δομών από μεγάλα σύνολα δεδομένων. Με βάση τον ορισμό που δίδεται από τους Ian Goodfellow, Yoshua Bengio και Aaron Courville, η DL μέθοδος μπορεί να ανακαλύψει αυτόματα αναπαραστάσεις από ακατέργαστα δεδομένα, κάνοντάς την κατάλληλη για εργασίες όπως αναγνώριση εικόνων και ομιλίας. Κάτι που οι τυπικές μέθοδοι ML θα δυσκολευόντουσαν λόγω της πολυπλοκότητας των εμπλεκόμενων δεδομένων (Goodfellow et al., 2016).

Όσον αφορά την υλοποίηση της στα βιντεοπαιχνίδια, η DL έχει φέρει δραματικές βελτιώσεις στον τρόπο με τον οποίο οι NPCs και οι κόσμοι των παιχνιδιών σχεδιάζονται και αλληλοεπιδρούν με τους παίκτες. Όπως παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο οι NPCs και κατά προέκταση η TN κατά βάση σχεδιάζονται με τεχνικές που εμπειρίζουν προκαθορισμένες συμπεριφορές και κανόνες. Πράγμα που τους καθιστούσε προβλέψιμους και λιγότερο διαδραστικούς. Με την DL όμως, και πιο συγκεκριμένα με την βοήθεια της Reinforcement Learning (RL, στα ελληνικά Ενισχυτική Μάθηση), επιτρέπει στην TN να μαθαίνει και να προσαρμόζεται με βάση την εμπειρία που αποκτά. Δημιουργώντας έτσι πιο περίπλοκες και δυναμικές

TN οι οποίες αντιδρούν στις ενέργειες του παίκτη σε πραγματικό χρόνο. Αυτή η προσαρμοστικότητα ενισχύει την αληθοφάνεια και την εμπλοκή (engagement) στα βιντεοπαιχνίδια, καθιστώντας την εμπειρία παιχνιδιού πιο καθηλωτική (immersive) και προκλητική (Justesen et al., 2020).

Κάποιες από τις εφαρμογές τις DL την έχουν προωθήσει ως μια δυνατή μέθοδο υλοποίησης αναπτυγμένης TN σε διάφορα είδη παιχνιδιών. Στα arcade παιχνίδια, η ανάπτυξη της Deep Q-Networks (DQN) μεθόδου από την ερευνητική ομάδα DeepMind αποτελεί ένα παράδειγμα αυτής της επίδρασης. Αυτή η μέθοδος πέτυχε υπεράνθρωπες επιδόσεις σε αρκετά Atari 2600 παιχνίδια, μαθαίνοντας να παίζει απευθείας από τα ακατέργαστα pixels. Παρομοίως σε First Person Shooter (FPS) παιχνίδια όπως Doom, χρησιμοποιήθηκαν Deep Reinforcement Learning (DRL) αλγορίθμων όπως ο Asynchronous Advantage Actor-Critic (A3C), ο οποίος εκπαιδευσε τους agents στο πως να πλοηγούνται σε τρισδιάστατα περιβάλλοντα, να συμμετέχουν σε μάχες και να λαμβάνουν τακτικές με βάση τα pixels και σε ανταμοιβές βασιζόμενες στην απόδοσή τους (Justesen et al., 2020).

Παράλληλα, σε πιο σύνθετα περιβάλλοντα παιχνιδιών, όπως τα παιχνίδια στρατηγικής πραγματικού χρόνου (στα αγγλικά Real-Time Strategy - RTS) και στα παιχνίδια Multiplayer Online Battle Arena (MOBA), η DL συνεχίζει να επιδεικνύει την ευελιξία της. Πιο συγκεκριμένα, στα RTS παιχνίδια όπως το StarCraft II, χρησιμοποιήθηκαν οι τεχνικές Hierarchical Reinforcement Learning (HRL) και Imitation Learning (IL) για την εκπαίδευση agents, ικανών να διαχειρίζονται πόρους, να κατασκευάζουν μονάδες και να εκτελούν στρατηγικές σε πραγματικό χρόνο (Berner et al., 2019; Justesen et al., 2020). Επιπρόσθετα, η ερευνητική εταιρία OpenAI με την βοήθεια της Deep RL (DRL) παρουσίασε μια TN, η οποία μπόρεσε να παίξει σε υψηλό επίπεδο το παιχνίδι ονόματι Dota 2. Ένα παιχνίδι που απαιτεί σύνθετη στρατηγική, ομαδική συνεργασία και προσαρμοστικότητα στα συνεχώς μεταβαλλόμενα δεδομένα (Berner et al., 2019). Σε παιχνίδι ανοικτού κόσμου (open world games) όπως το Minecraft, οι αλγόριθμοι DL, όπως υποδείχθηκε από το Project Malmo, επιτρέπουν στην TN να εξερευνήσει εκτεταμένα περιβάλλοντα, να συλλέγει πόρους και να ολοκληρώνει στόχους χωρίς προκαθορισμένα μονοπάτια. Οδηγώντας σε ένα πιο ενδιαφέρον, καθηλωτικό και απρόβλεπτο παιχνίδι (Johnson et al., 2016).

Η RL είναι ένας τύπος ML που επικεντρώνεται στο πώς ο πράκτορας πρέπει να λαμβάνει δράσεις σε ένα περιβάλλον με απώτερο σκοπό να μεγιστοποιήσει τις συνολικές ανταμοιβές. Διαφέρει από την SL, η οποία βασίζεται σε ένα σύνολο δεδομένων με επισημασμένα παραδείγματα. Και από την UL όμως, η οποία επιδιώκει να βρει κρυμμένα μοτίβα σε μη επισημασμένα δεδομένα. Στην RL, ο πράκτορας μαθαίνει μέσω δοκιμής και λάθους, λαμβάνοντας ανταμοιβές ή ποινές ως ανατροφοδότηση για τις δράσεις του. Αυτός ο μηχανισμός ανατροφοδότησης επιτρέπει στον πράκτορα να αναπτύξει στρατηγικές που αποδίδουν τις υψηλότερες ανταμοιβές με την πάροδο του χρόνου. Τα βασικά συστατικά της RL περιλαμβάνουν τακτικές, σήματα ανταμοιβής, συναρτήσεις αξίας και μερικές φορές μοντέλα του περιβάλλοντος. Στόχος του πράκτορα είναι να μάθει μια στρατηγική: χαρτογραφώντας (mapping) καταστάσεις του περιβάλλοντος σε δράσεις, η οποία θα μεγιστοποιεί την αναμενόμενη μακροπρόθεσμη ανταμοιβή από οποιαδήποτε δεδομένη κατάσταση (Sutton & Barto, 2018).

Ένα από τα σημαντικότερα παραδείγματα υλοποίησης RL στα βιντεοπαιχνίδια είναι το πασίγνωστο σύστημα TN το AlphaGo, το οποίο σχεδιάστηκε από την ίδια ερευνητική ομάδα που σχεδίασε και το DQN, η DeepMind. Πιο συγκεκριμένα έγινε ενσωμάτωση της DL με την RL. Αρχικά, το δίκτυο στρατηγικής εκπαιδεύτηκε με την χρήση SL πάνω σε ένα σύνολο δεδομένων που αποτελούσε παιχνίδια επαγγελματιών του παιχνιδιού Go, παρέχοντας έτσι μια ισχυρή βάση εκπαίδευσης. Έπειτα, εφαρμόστηκε η RL, επιτρέποντας στο AlphaGo να βελτιώσει την στρατηγική του σκέψη μέσω της διαδικασίας self-play, μαθαίνοντας επαναληπτικά από τα αποτελέσματα των παιχνιδιών. Αυτή η διαδικασία περιλάμβανε την εκπαίδευση δύο τύπων δικτύων: ενός δικτύου στρατηγικής και ενός δικτύου αξίας για την αξιολόγηση των θέσεων στη σκακιέρα. Αυτός ο συνδυασμός της SL για την πρώτη εκπαίδευση και της RL για την συνεχή βελτίωση και την υποστήριξη από Deep Neural Networks (DNN, βαθιά νευρωνικά δίκτυα) επέτρεψαν το AlphaGo να ξεπεράσει τους παγκόσμιους πρωταθλητές του Go (Sutton & Barto, 2018).

Επιπλέον, αν και αναφέρθηκαν προηγουμένως ως παραδείγματα της DL αξίζει να σημειωθεί ότι οι επιτυχίες στα παιχνίδια Atari και στο Dota 2 από τις DeepMind και OpenAI, αντίστοιχα, καθοδηγούνται από RL τεχνικές. Πιο συγκεκριμένα, το DQN και άλλοι αλγόριθμοι της RL χρησιμοποιήθηκαν για να επιτρέψουν στους πράκτορες της TN να μάθουν τις βέλτιστες στρατηγικές μέσω αλληλεπίδρασης με τα περιβάλλοντα των παιχνιδιών. Αυτός ο συνδυασμός της RL με αρχιτεκτονικές DL επέτρεψε στα συστήματα TN να

επιτύχουν υψηλά επίπεδα απόδοσης μαθαίνοντας από ακατέργαστες εισόδους και μέσω εκτεταμένου self-play, καταδεικνύοντας την ισχυρή συνέργεια αυτών των προσεγγίσεων σε περίπλοκα και δυναμικά σενάρια (Sutton & Barto, 2018).

Τέλος όπως άτυπα ειπώθηκε υπάρχουν και οι υβριδικές τεχνικές ML στις οποίες συνδυάζονται διάφορες τεχνικές για διάφορους σκοπούς. Παραδείγματος χάρη για το Go η DeepMind χρησιμοποίησε RL για την συνεχή βελτίωση με την βοήθεια DNN για την TN και SL για την αρχική εκπαίδευση (Justesen et al., 2020).

3.2 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα χρήσης ML για την υλοποίηση TN στα βιντεοπαιχνίδια

Η ενσωμάτωση ML στην TN των βιντεοπαιχνιδιών προσφέρει μια πληθώρα πλεονεκτημάτων, ενισχύοντας σημαντικά τόσο την ανάπτυξη παιχνιδιών όσο και την εμπειρία των παικτών. Αυτά τα πλεονεκτήματα βασίζονται στην ευελιξία και την προσαρμοστικότητα των αλγορίθμων ML, οι οποίοι μπορούν να υπερβούν τις παραδοσιακές προσεγγίσεις.

Οι αλγόριθμοι ML, ιδιαίτερα εκείνοι που περιλαμβάνουν την RL και την DL, έχουν επιδείξει εξαιρετικές ικανότητες στην εκμάθηση πολύπλοκων συμπεριφορών και στρατηγικών απευθείας από τα δεδομένα του παιχνιδιού. Για παράδειγμα, το OpenAI Five, ένα σύστημα που εκπαιδεύτηκε να παίζει Dota 2, πέτυχε υπεράνθρωπη απόδοση μαθαίνοντας από εκατομμύρια καρέ παιχνιδιού κατά τη διάρκεια αρκετών μηνών. Αυτό το επίπεδο ικανότητας όχι μόνο δημιουργεί πιο προκλητικούς και αληθοφανούς αντιπάλους για τους παίκτες αλλά και επιτρέπει στην TN να προσαρμόζεται σε νέες στρατηγικές και τρόπο (style) παιχνιδιού, διατηρώντας ένα δυναμικό και ενδιαφέρον περιβάλλον (Bernier et al., 2019).

Η ML επιτρέπει την προσαρμογή των εμπειριών παιχνιδιού στις προτιμήσεις του καθενός και στα επίπεδα ικανότητας του κάθε παίκτη. Αναλύοντας τη συμπεριφορά και την απόδοση των παικτών, οι αλγόριθμοι ML μπορούν να ρυθμίζουν τη δυσκολία του παιχνιδιού σε πραγματικό χρόνο, διασφαλίζοντας ότι το παιχνίδι παραμένει προκλητικό αλλά και προσβάσιμο. Αυτή η δυναμική ρύθμιση της δυσκολίας ενισχύει την αφοσίωση και την ικανοποίηση των παικτών, αποτρέποντας την απογοήτευσή τους από υπερβολικά δύσκολα σενάρια και τη πλήξη από ανεπαρκώς προκλητικά σημεία (Johnson et al., 2016).

Η ML μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τη συμπεριφορά των NPCs στα παιχνίδια. Η παραδοσιακή συμπεριφορά των NPCs συχνά βασίζεται σε προκαθορισμένα σενάρια, τα οποία μπορεί να είναι προβλέψιμα και περιορισμένα σε εύρος. Αντίθετα, οι NPCs που βασίζονται στη ML μπορούν να μαθαίνουν από τις αλληλεπιδράσεις των παικτών και να προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους, οδηγώντας σε πιο φυσικές και πιστευτές ενέργειες χαρακτήρων. Αυτή η προσαρμοστικότητα ενισχύει την εμπύθιση, καθώς οι NPCs ανταποκρίνονται με πιο σύνθετους και ζωντανούς τρόπους στις ενέργειες του παίκτη και στο περιβάλλον του παιχνιδιού (Johnson et al., 2016). Παρομοίως, η TN, και κατά προέκταση οι NPCs μπορούν να παρουσιάσουν πιο πιστευτά συναισθήματα και συμπεριφορές που μιμούνται στενά αυτές των ανθρώπων με την βοήθεια της ML. Αυτό καθιστά τις αλληλεπιδράσεις με τους NPCs πιο αληθοφανείς και ενισχύει σημαντικά την εμπύθιση στον κόσμο του παιχνιδιού. Για παράδειγμα, η TN στο «The Elder Scrolls V: Skyrim» (Bethesda Game Studios, 2011) επιχειρεί να δημιουργήσει έναν ζωντανό, αναπνευστικό κόσμο όπου οι NPCs έχουν τις δικές τους ρουτίνες και να ανταποκρίνονται στις ενέργειες του παίκτη (Yannakakis & Togelius, 2018).

Παρόλα αυτά, η χρήση της ML έχει και τις δυσκολίες τις, όπως η ανάγκη για υψηλούς υπολογιστικούς πόρους για τα μοντέλα αυτά, ιδίως αυτών που χρησιμοποιούν DL και RL. Η ανάγκη για ισχυρό υλικό, όπως κάρτες γραφικών (GPU) και μεγάλης κλίμακας μνήμης για την αποθήκευση δεδομένων, μπορεί να καταστήσει τη διαδικασία ανάπτυξης δαπανηρή και χρονοβόρα (OpenAI et al., 2019). Αυτό το υψηλό υπολογιστικό κόστος μπορεί να αποτελέσει απωθητικό κριτήριο για μικρές ομάδες ή προγραμματιστών που δουλεύουν μόνοι τους, καθώς πολλές φορές δεν έχουν ούτε το υλικό, αλλά ούτε και τον χρόνο για να προχωρήσουν σε τέτοια εκτενή διαδικασία υλοποίησης TN.

Τα μοντέλα ML, ειδικά εκείνα που βασίζονται στην RL, μπορεί να απαιτούν εκτεταμένο χρονικό διάστημα για να εκπαιδευτούν. Για παράδειγμα, η εκπαίδευση του OpenAI Five για να παίζει Dota 2 σε ανταγωνιστικό επίπεδο χρειάστηκε περίπου 10 μήνες συνεχούς εκπαίδευσης με τη χρήση χιλιάδων GPUs

(Bernier et al., 2019). Αυτή η μακρά περίοδος εκπαίδευσης μπορεί να καθυστερήσει την ανάπτυξη και τις ενημερώσεις των παιχνιδιών.

Μία από τις προκλήσεις με την TN βασισμένη στην ML είναι η απρόβλεπτη συμπεριφορά της όταν εφαρμοστεί. Σε αντίθεση με τη σεναριογραφημένη TN (όπως μελετήθηκε στο κεφάλαιο 2), η οποία ακολουθεί προκαθορισμένα μοτίβα. Τα μοντέλα ML μπορούν να επιδείξουν απρόβλεπτες συμπεριφορές, οι οποίες ενδέχεται να μην ευθυγραμμίζονται με τον σχεδιασμό του παιχνιδιού ή τις προσδοκίες των παικτών-σχεδιαστών. Αυτή η απρόβλεπτη συμπεριφορά μπορεί να «χαλάσει» το παιχνίδι, οδηγώντας σε μη ισορροπημένες ή απογοητευτικές εμπειρίες παιχνιδιού (Yannakakis & Togelius, 2018). Επιπλέον, η εξασφάλιση ότι τα μοντέλα ML θα αποδίδουν σταθερά σε διαφορετικά σενάρια παιχνιδιού μπορεί να είναι δύσκολη. Διότι, η μεταβλητότητα στις αποφάσεις της TN μπορεί να οδηγήσει σε ασυνεπείς εμπειρίες για τους παίκτες. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η AI μπορεί να αποδίδει εξαιρετικά καλά, ενώ σε άλλες μπορεί να αποτυγχάνει να ανταποκριθεί κατάλληλα, επηρεάζοντας την συνολική ποιότητα του παιχνιδιού (Yannakakis & Togelius, 2018).

Επιπλέον αν και όχι στο στόχαστρο της πτυχιακής αυτής αξίζει να σημειωθεί ότι η χρήση της ML στα παιχνίδια εγείρει ηθικά ερωτήματα σχετικά με την ιδιωτικότητα των δεδομένων και τη συναίνεση των παικτών. Για παράδειγμα, τα μοντέλα AI συχνά απαιτούν μεγάλα σύνολα δεδομένων συμπεριφοράς των παικτών, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει ανησυχίες σχετικά με την ιδιοκτησία και την ιδιωτικότητα των δεδομένων (Yannakakis & Togelius, 2018). Ταυτόχρονα υπάρχουν και ηθικές σκέψεις σχετικά με τη χρήση της ML για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των αλληλεπιδράσεων των παικτών με σκοπό την πρόληψη τοξικής συμπεριφοράς. Η ισορροπία μεταξύ της προστασίας των παικτών από αρνητικές συμπεριφορές και της διατήρησης της ιδιωτικότητάς τους αποτελεί ένα σημαντικό ηθικό ζήτημα.

Συνεχίζοντας, τα μοντέλα ML, ιδιαίτερα τα βαθιά νευρωνικά δίκτυα (DNN- Deep Neural Networks), συχνά θεωρούνται «μαύρα κουτιά» λόγω της πολύπλοκης και αδιαφανούς φύσης τους. Αυτό καθιστά την αποσφαλμάτωση - debugging και τη λεπτομερή ρύθμιση (fine-tuning) αυτών των μοντέλων προκλητική, καθώς οι προγραμματιστές μπορεί να δυσκολευτούν να κατανοήσουν γιατί η TN λαμβάνει ορισμένες αποφάσεις και πώς να διορθώσουν τις ανεπιθύμητες συμπεριφορές (Yannakakis & Togelius, 2018). Η ενσωμάτωση της TN που βασίζεται στη ML στα υπάρχοντα συστήματα παιχνιδιών μπορεί να είναι τεχνικά πολύπλοκη και χρονοβόρα διαδικασία. Πολλά περιβάλλοντα ανάπτυξης παιχνιδιών δεν είναι σχεδιασμένα για να φιλοξενούν τη δυναμική και απαιτητική σε δεδομένα φύση των μοντέλων αυτών, απαιτώντας σημαντικές τροποποιήσεις στην αρχιτεκτονική και τη ροή εργασίας του παιχνιδιού (Yannakakis & Togelius, 2018).

Τέλος, εφαρμογή της ML στην TN των παιχνιδιών απαιτεί εξειδικευμένες γνώσεις και δεξιότητες πάνω σε αυτήν, οι οποίες ενδέχεται να μην είναι εύκολα διαθέσιμες σε όλες τις ομάδες ανάπτυξης. Αυτό δημιουργεί ένα εμπόδιο εισόδου (entry barrier) για τα στούντιο που δεν διαθέτουν την απαραίτητη τεχνογνωσία, οδηγώντας στην εξάρτησή τους από παραδοσιακές μεθόδους που είναι πιο προσιτές στον ευρύτερο κλάδο των προγραμματιστών (Larsson & Örnquist, 2022).

Όπως παρουσιάστηκε, η ML είναι ένα δυνατό εργαλείο για να την αναβάθμιση των παιχνιδιών, αλλά και του τρόπου με τον οποίο σχεδιάζεται η TN σε αυτά. Παρά το δημοφιλή ενδιαφέρον που παρουσιάζεται σε αυτή, αξίζει να τονιστεί ότι δεν υπάρχουν πολλά παιχνίδια που να την έχουν υλοποιήσει εξαρχής. Θέτοντας το ερώτημα αν μια υβριδική προσέγγιση όπως αυτή της FSM και ML ίσως να είναι πιο προσιτή αφού η FSM είναι μια από της πιο διαδεδομένες τεχνικές υλοποίησης TN. Οπότε στο επόμενο κεφάλαιο θα γίνει επισκόπηση των μελετών που συλλέχτηκαν, για να παρουσιαστούν οι πιθανοί τρόποι υλοποίησης αυτής της υβριδικής προσέγγισης.

4. Επισκόπηση των συλλεχθέντων ερευνών

Για την πτυχιακή αυτή συλλέχτηκαν τρεις έρευνες που παρουσιάζουν τις δικιές τους προσπάθειες στην υλοποίηση της υβριδικής προσέγγισης FSM και ML. Παρόλο που είναι μικρός ο αριθμός των ερευνών, αυτές οι έρευνες προσφέρουν μια ενδιαφέρουσα πτυχή στην βελτίωση της FSM με την χρήση ML. Στις παρακάτω τρεις ενότητες γίνεται μια σύντομη επισκόπηση των μελετών αυτών.

4.1 Προσαρμοστικοί Χαρακτήρες Παιχνιδιού με την χρήση Δένδρων Αποφάσεων και Μηχανών Πεπερασμένης Κατάστασης

4.1.1 Συσχέτιση με την έρευνα

Η μελέτη των Yoon et al. (2007) ασχολείται άμεσα με την ενσωμάτωση της FSM με τεχνικές ML, πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιώντας ειδικευμένα Decision Tree (DT, στα ελληνικά Δένδρα Αποφάσεων) για την ενίσχυση της συμπεριφοράς των NPCs σε βιντεοπαιχνίδια. Αυτή η έρευνα εναρμονίζεται με την ερευνητική απορία αυτή της διατριβής, καθώς δείχνει μια πρακτική εφαρμογή του συνδυασμού της FSM με την ML, για την βελτίωση της προσαρμοστικότητας και της αληθοφάνειας των NPCs σε απόκριση στις ενέργειες-συμπεριφορές του παίκτη. Η έννοια της Δυναμικής FSM (Dynamic FSM – DFSM ή D-FSM) που εισάγεται σε αυτό το άρθρο είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς αντιπροσωπεύει ένα εξελιγμένο σύστημα FSM. Αυτό προσαρμόζει δυναμικά τις μεταβάσεις των καταστάσεων με βάση τα δεδομένα αλληλεπίδρασης με τον παίκτη που αναλύονται μέσω των DT.

4.1.2 Επιχείρημα και Μεθοδολογία της έρευνας των Yoon et al.

Το κεντρικό επιχείρημα του άρθρου των Yoon et al. (2007) είναι ότι οι παραδοσιακές στατικές τεχνικές όπως η FSM, αν και ευρέως χρησιμοποιούμενες για την μοντελοποίηση συμπεριφορών στους NPCs, στερούνται της ευελιξίας να προσαρμόζονται στη δυναμική φύση των αλληλεπιδράσεων των παικτών. Οι συγγραφείς προτείνουν μια υβριδική προσέγγιση, η οποία ενσωματώνει την DT στην FSM, και ονομάζεται D-FSM. Αυτή η πειραματική τεχνική επιτρέπει στους NPCs να τροποποιούν τις συμπεριφορές τους σε πραγματικό χρόνο, με αποτέλεσμα να ενισχυθεί η εμπλοκή του παίκτη (engagement) και να επεκταθεί ο κύκλος ζωής του παιχνιδιού. Επίσης, υποστηρίζουν ότι αυτή η ενσωμάτωση όχι μόνο εξοικονομεί χρόνο ανάπτυξης, αλλά και δημιουργεί NPCs που συμπεριφέρονται πιο ανθρώπινα και είναι πιο προσαρμοστικοί στο μοναδικό playstyle που έχει ο κάθε παίκτης.

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε στο άρθρο αυτό για την υλοποίηση αυτής της υβριδικής τεχνικής μπορεί να χωριστεί σε διάφορα επιμέρους κομμάτια:

- Συλλογή Δεδομένων: Τα δεδομένα των παικτών που συλλέχτηκαν κατά την διάρκεια του παιχνιδιού.
- Μοντελοποίηση της FSM: Η αρχική FSM δημιουργείται βάση των τυπικών συμπεριφορών που συναντιούνται από τους NPCs στα βιντεοπαιχνίδια.
- Ανάλυση Δεδομένων: Τα δεδομένα των παικτών αναλύονται χρησιμοποιώντας την μέθοδο DT για να διακριθούν μοτίβα και πιθανές προσαρμογές.
- Εφαρμογή της D-FSM: Βάση των αποτελεσμάτων του δέντρου αποφάσεων, οι αρχικές FSMs τροποποιούνται δυναμικά για να αντικατοπτρίζουν τις μαθημένες συμπεριφορές.

Η μέθοδος υλοποιήθηκε εντός ενός ελεγχόμενου περιβάλλοντος παιχνιδιού και πιο συγκεκριμένα εντός ενός mod του παιχνιδιού «Half-Life». Οι NPCs αρχικά προγραμματίστηκαν με τυπικά πρότυπα συμπεριφοράς, τα οποία στην συνέχεια προσαρμόζονταν δυναμικά μετά την επεξεργασία των δεδομένων των παικτών μέσω των DT, επιτρέποντας στο παιχνίδι να προσομοιώνει πιο ρεαλιστικές και προσαρμοστικές συμπεριφορές NPCs.

4.1.3 Αποτελέσματα της έρευνας

Η μελέτη έδειξε ότι οι NPCs που προσαρμόστηκαν χρησιμοποιώντας την D-FSMs παρουσίασαν συμπεριφορές που ήταν πιο ευθυγραμμισμένες με τις ενέργειες και τις στρατηγικές των παικτών. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την αυξημένη δυσκολία του παιχνιδιού και την μεγαλύτερη εμπλοκή των παικτών. Τα πειράματα έδειξαν ότι αυτοί οι προσαρμοστικοί NPCs μπορούσαν να ενισχύσουν αποτελεσματικά τη δυναμική του παιχνιδιού, παρουσιάζοντας προκλήσεις που είναι προσαρμοσμένες στην ικανότητα και το playstyle του παίκτη. Τα ποσοτικά δείγματα έδειξαν βελτιώσεις στην εμπλοκή των παικτών και στους παρατεταμένους χρόνους παιχνιδιού, επιβεβαιώνοντας την δυνατότητα των D-FSMs να επηρεάσουν θετικά τον σχεδιασμό της συμπεριφοράς των NPCs.

4.2 Αυτόνομοι Πράκτορες μέσω Εξελικτικής Μηχανής Πεπερασμένης Κατάστασης

4.2.1 Συσχέτιση με την έρευνα

Αυτό το άρθρο είναι ιδιαίτερα σχετικό με την ερευνητική ερώτηση, για την ενσωμάτωση της ML με τις FSMs για την ενίσχυση των συμπεριφορών των NPCs. Αν και επικεντρώνεται στους εξελικτικούς (evolutionary) αλγόριθμους αντί για τις συμβατικές τεχνικές ML, η εξελικτική προσέγγιση που χρησιμοποιείται για την προσαρμογή και βελτιστοποίηση των FSMs για πιο δυναμική και αυτόνομη συμπεριφορά πρακτόρων στα πλαίσια των βιντεοπαιχνιδιών μοιράζεται εννοιολογικές ομοιότητες με τις εφαρμογές ML. Οι εξελικτικοί μηχανισμοί προσαρμόζουν τη συμπεριφορά των FSMs βάση μετρικών απόδοσης (metrics), παρόμοια με τις διαδικασίες μάθησης.

4.2.2 Επιχείρημα και Μεθοδολογία της έρευνας των Mora et al. (2014)

Το κύριο επιχείρημα της μελέτης είναι ότι οι εξελικτικοί αλγόριθμοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά για την ανάπτυξη FSMs που θα καθορίζουν τη συμπεριφορά των αυτόνομων πρακτόρων σε ένα περίπλοκο περιβάλλον βιντεοπαιχνιδιών όπως το Super Mario Bros. Οι συγγραφείς υποστηρίζουν ότι αυτές οι εξελικτικές FSMs (στα αγγλικά Evolutionary FSM - EFSM) μπορούν να ελέγχουν προσαρμοστικά τους πράκτορες ώστε να αποδίδουν καλά σε διάφορα επίπεδα του παιχνιδιού. Αυτή η προσέγγιση προσφέρει μια ανθεκτική εναλλακτική λύση στα στατικά σενάρια συμπεριφοράς των NPCs που χρησιμοποιούνται συνήθως στα βιντεοπαιχνίδια.

Η μεθοδολογία που εφαρμόζεται σε αυτή την έρευνα είναι η εξής:

- Ρύθμιση Εξελικτικού Αλγορίθμου: Η χρήση γενετικών αλγορίθμων για την εξέλιξη της FSM, η οποία καθορίζει τις ενέργειες των πρακτόρων βάση των καταστάσεων του παιχνιδιού.
- Σχεδιασμός FSM: Οι πράκτορες ελέγχονται από την FSM όπου οι καταστάσεις αντιπροσωπεύουν διαφορετικές ενέργειες και οι μεταβάσεις καθορίζονται από τη δυναμική του παιχνιδιού.
- Μετρικές Αξιολόγησης: Η απόδοση αυτών των πρακτόρων αξιολογείται βάση της ικανότητάς τους να ολοκληρώνουν τα επίπεδα του παιχνιδιού και να διαχειρίζονται αποτελεσματικά τα δυναμικά γεγονότα στο παιχνίδι.
- Προσεγγίσεις Μονού Σπόρου και Πολλαπλού Σπόρου (Mono-seed (MonoS) και Multi-seed (MultiS)): Δοκιμή της απόδοσης σε ένα επίπεδο έναντι της γενίκευσης σε πολλά επίπεδα.

Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε από τους Mora et al. (2014) περιλαμβάνει την χρήση γενετικών αλγορίθμων για την εξέλιξη της FSM, η οποία ελέγχει τους αυτόνομους πράκτορες στο παιχνίδι ονόματι Super Mario Bros. Η FSM υπαγορεύει τις ενέργειες του πράκτορα με βάση τις καταστάσεις και την δυναμική του παιχνιδιού, η οποία βελτιστοποιείται μέσω μιας εξελικτικής διαδικασίας και η οποία περιλαμβάνει τα εξής: επιλογή, διασταύρωση και μετάλλαξη (mutation). Η απόδοση του πράκτορα αξιολογείται με την χρήση comprehensive fitness function που λαμβάνει υπόψιν διάφορους in-game παράγοντες. Η μελέτη εξερευνά τόσο τις προσεγγίσεις MonoS όσο και τις MultiS για να αξιολογήσει την αποτελεσματικότητα των πρακτόρων σε συγκεκριμένα επίπεδα και τη γενίκευσή τους σε πολλαπλά επίπεδα, αντίστοιχα.

4.2.3 Αποτελέσματα

Η μελέτη των Mora et al. (2014) δείχνει ότι οι πράκτορες που ελέγχονται από την EFSM αποδίδουν αποτελεσματικά, συχνά υπερβαίνοντας τους πραγματικούς παίκτες όσον αφορά την ολοκλήρωση των επιπέδων και τη διαχείριση σύνθετων καταστάσεων στο παιχνίδι. Τα αποτελέσματα υπογραμμίζουν την προοπτική της χρήσης εξελικτικών αλγορίθμων για το σχεδιασμό FSMs που μπορούν να προσαρμόζονται και να ανταποκρίνονται σε ένα ευρύ φάσμα σεναρίων σε πραγματικό χρόνο. Ενισχύοντας εν τέλη την εμπειρία παιχνιδιού με την παροχή πιο προκλητικών και απρόβλεπτων συμπεριφορών NPCs.

4.3 Μηχανή Πεπερασμένων Καταστάσεων Βασισμένη σε Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο για την Προσαρμοστική Επιλογή Σεναρίου

4.3.1 Συσχέτιση με την έρευνα

Όπως και οι δύο προηγούμενες έρευνες, έτσι και αυτή σχετίζεται άμεσα με το ερευνητικό ερώτημα, καθώς εξετάζει την υλοποίηση υβριδικής TN, συνδυάζοντας την FSM με τα Artificial Neural Networks (ANNs, στα ελληνικά Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα), για να γίνει προσαρμοστική επιλογή σεναρίων με βάση τις προτιμήσεις των παικτών σε serious games. Τα serious games είναι εκπαιδευτικά βιντεοπαιχνίδια με πρωταρχικό στόχο κάτι πέρα από την απλή ψυχαγωγία όπως συμβαίνει στα τυπικά βιντεοπαιχνίδια. Αυτά τα παιχνίδια ενσωματώνουν εκπαιδευτικά στοιχεία για την επίτευξη συγκεκριμένων μαθησιακών στόχων. Καλύπτουν μια ποικιλία θεμάτων και στοχεύουν σε διαφορετικά κοινά, συμπεριλαμβανομένων των παιχνιδιών γνώσεων, των εκπαιδευτικών παιχνιδιών, των παιχνιδιών κατάρτισης, των επιχειρηματικών παιχνιδιών και των παιχνιδιών που προάγουν τη σωματική δραστηριότητα καθώς και τον τουρισμό όπως παρατηρείται στην έρευνα των Arif et al. (2024). Το μοναδικό χαρακτηριστικό των σοβαρών παιχνιδιών είναι η ενσωμάτωση παιδαγωγικών στόχων μέσα σε ένα ελκυστικό και διαδραστικό περιβάλλον παιχνιδιού (Πελέκη Α., 2016). Τώρα που εξηγήθηκαν τι είναι τα serious games και όπως αναφέρθηκε στην αρχή της ενότητας η έρευνα των Arif et al. (2024) ευθυγραμμίζεται με το ερευνητικό ερώτημα της υβριδικής υλοποίησης FSM με την ML. Ακόμα και αν δεν έχει να κάνει με NPC και συμπεριφορές, προσφέρει μια ενδιαφέρουσα πτυχή που θα αναλυθεί αργότερα μαζί με τις άλλες δύο έρευνες.

4.3.2 Επιχειρήματα και Μεθοδολογία

Το κεντρικό επιχείρημα του άρθρου των Arif et al. είναι ότι τα Serious Games μπορούν να ωφεληθούν σημαντικά από τα προσαρμοστικά συστήματα επιλογής σεναρίων που ενισχύουν την εμπλοκή και τη μάθηση των παικτών. Ενσωματώνοντας FSMs με ANNs, το σύστημα μπορεί δυναμικά να επιλέγει σενάρια παιχνιδιών που ευθυγραμμίζονται με τις προτιμήσεις των παικτών, βελτιώνοντας έτσι την εκπαιδευτική αξία και την εμπλοκή των παιχνιδιών.

Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε από τους συγγραφείς της έρευνας είναι η εξής:

- **Καθορισμός περιεχομένου:** Το αρχικό στάδιο περιλαμβάνει τον καθορισμό του περιεχομένου για το Serious Game, το οποίο στην παρούσα μελέτη εστιάζει στην επιλογή τουριστικών προορισμών στην πόλη Batu της Ινδονησίας, ως θεματικό περιεχόμενο. Αυτό το στάδιο περιλαμβάνει επίσης την επιλογή στοιχείων και χαρακτηριστικών που θα επηρεάσουν τα σενάρια του παιχνιδιού. Χαρακτηριστικά όπως η εργασία, τα ενδιαφέροντα, η καταγωγή, το μέλος ομάδας και η επανάληψη προσδιορίζονται ως σημαντικά κριτήρια που επηρεάζουν τις προτιμήσεις των παικτών.
- **Σχεδιασμός Σεναρίων Παιχνιδιών:** Το δεύτερο στάδιο είναι ο σχεδιασμός σεναρίων παιχνιδιού, το οποίο περιλαμβάνει τη δημιουργία ιδέων ιστορίας και τη μετάφρασή τους σε λεπτομερή σενάρια παιχνιδιού. Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας μια προσέγγιση FSM, η οποία βοηθά στη δόμηση της λογικής του παιχνιδιού σε δραστηριότητες καταστάσεων. Η ιδέα της ιστορίας λειτουργεί ως αφηγηματικό προσχέδιο και η FSM βοηθά στον καθορισμό της ροής των σεναρίων βάση των αλληλεπιδράσεων και των προτιμήσεων των παικτών.
- **Διαδικασία ANN:** Το τρίτο στάδιο περιλαμβάνει την εφαρμογή ANN για την υποστήριξη της προσαρμοστικής επιλογής σεναρίων. Αυτή η διαδικασία χωρίζεται σε δύο υποστάδια:
 - **Επιλογή Χαρακτηριστικών:** Χρήση μεθόδων όπως το Chi-Square για την αναγνώριση των πιο επιδραστικών χαρακτηριστικών για την επιλογή σεναρίων.
 - **Διαδικασία Μάθησης:** Εκπαίδευση του ANN χρησιμοποιώντας μια MLP (Multi-Layer Perceptron) με αλγόριθμους μάθησης οπισθοδιάδοσης (backpropagation). Η διαδικασία εκπαίδευσης περιλαμβάνει την ενημέρωση του βάρους και των προτιμήσεων μέσω της προώθησης και της οπισθοδιάδοσης μέχρι το δίκτυο να επιτύχει την επιθυμητή ακρίβεια. Η αρχιτεκτονική που παρέιχε τα καλύτερα αποτελέσματα σε αυτή τη μελέτη ήταν μια διαμόρφωση MLP 5-7-5-3-14.

- Επιλογή Σεναρίων Παιχνιδιού: Το τελικό στάδιο είναι η πρακτική εφαρμογή του εκπαιδευμένου μοντέλου ANN στη μηχανή παιχνιδιών. Το σύστημα πραγματοποιεί feedforward υπολογισμούς για να καθορίσει τα πιο κατάλληλα σενάρια για τους παίκτες βάσει των προτιμήσεών τους. Αυτό το στάδιο περιλαμβάνει επίσης την απεικόνιση των επιλεγμένων σεναρίων σε ένα εικονικό περιβάλλον χρησιμοποιώντας το Unity 3D. Η απόδοση του συστήματος αξιολογείται με τη χρήση μετρικών όπως η ακρίβεια, η ευκρίνεια, η ανάκληση και το F1 score, που προκύπτουν από έναν πίνακα σύγχυσης που συγκρίνει τις επιλογές του συστήματος με τις πραγματικές προτιμήσεις των παικτών.

Επιπλέον, η πειραματική διάταξη περιλάμβανε τη χρήση δεδομένων από 14 τουριστικούς προορισμούς και δεδομένα προτιμήσεων παικτών για τη δοκιμή του συστήματος. Οι μετρικές αξιολόγησης απέδειξαν την ικανότητα του συστήματος να επιλέγει προσαρμοστικά κατάλληλα σενάρια για τους παίκτες, επιβεβαιώνοντας έτσι τη μεθοδολογία.

Αυτή η δομημένη μεθοδολογία αναδεικνύει την ενσωμάτωση του αφηγηματικού σχεδιασμού, την εκπαίδευση των ANN και την λογική των FSM για τη δημιουργία ενός προσαρμοστικού συστήματος επιλογής σεναρίων σε εκπαιδευτικά παιχνίδια, παρέχοντας μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για την ενίσχυση της εμπλοκής των παικτών και της εξατομίκευσης σε περιβάλλοντα μάθησης βασισμένα σε παιχνίδια.

4.3.3 Αποτελέσματα

Τέλος, οι συγγραφείς ανέφεραν ότι η FSM που βασίζεται σε ANN προσαρμόστηκε με επιτυχία στην επιλογή σεναρίων στις ατομικές προτιμήσεις των παικτών με ποσοστό ακρίβειας 67,25%. Αυτή η προσαρμογή έδειξε ότι μπορεί να αυξήσει το ενδιαφέρον και την εμπλοκή των παικτών, παρέχοντας πιο εξατομικευμένες εμπειρίες παιχνιδιού.

Όπως φάνηκε αυτές οι τρεις έρευνες παρουσιάζουν ενδιαφέρουσες πτυχές στην υβριδική υλοποίηση που μελετάται, η οποία είναι ο συνδυασμός FSM και ML. Και εν πρώτης όψεως φαίνεται να απαντούν το βασικό ερώτημα το οποίο είναι αν και πως έχουν γίνει τέτοιας μορφής υλοποιήσεις

5. Μεθοδολογία

Παρόλο που η εργασία είναι βιβλιογραφική, κρίθηκε απαραίτητο να συμπεριληφθεί αυτό το κεφάλαιο, ώστε να περιγράψει την ερευνητική διαδικασία σε μεγαλύτερο βάθος. Σε αυτό το κεφάλαιο λοιπόν, περιγράφεται η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε για την αναζήτηση και εύρεση σχετικών πηγών. Όπως επίσης και ο τρόπος που συντάχθηκε η ερευνητική αναζήτηση, τις αστοχίες της και τα κριτήρια που λήφθηκαν υπόψη για να συλλεχθούν ποιοτικές έρευνες.

5.1 Σχεδίαση της Έρευνας

Όσον αφορά στην έρευνα πέρασε από αρκετές διαφοροποιήσεις μέχρις ότου να βρεθεί η ιδανική προσέγγιση. Αρχικά για την ερευνητική αναζήτηση, αποφασίστηκε να μην γίνει χρήση αυτοματοποιημένων μοντέλων συλλογής υλικού όπως web scrappers ή κάποια από τα εργαλεία TN που ψάχνουν βάση δοσμένων queries. Ο λόγος που αποφασίστηκε αυτό είναι ότι το ερευνητικό ερώτημα της πτυχιακής είναι πολύ συγκεκριμένο, θα το έλεγε κανείς niche και το ανανεωμένο ενδιαφέρον πάνω στην ML σήμαινε ότι θα υπήρχε ποικίλο υλικό πάνω σε αυτήν, χωρίς απαραίτητα να είναι σχετικό.

Επιπλέον, οι εφαρμογές TN όχι μόνο δεν παρέχουν σχετικά υλικά αλλά και δεν φιλτράρουν τα αμφιλεγόμενα AI Generated. Οπότε εν τέλη, η τελική έρευνα σχεδιάστηκε με γνώμονα την συλλογή σχετικού και ποιοτικού υλικού. Για αυτό εφαρμόστηκε η χειροκίνητη αναζήτηση ερευνών σε βάσεις όπως Google Scholar, Semantic Scholar, IEEE Xplore, και arXiv με τις σχετικές λέξεις κλειδιά. Μερικά από αυτά

ήταν Machine Learning Finite State Machines, καθώς και τα ακρώνυμα τους ML, FSM, Hybrid, Video Games AI, AI, Artificial Intelligence και άλλες πολλές μέχρις ότου να βρεθεί ένα ικανοποιητικό υλικό. Χρησιμοποιήθηκαν επίσης boolean λογικές (AND, OR etc.) Παρόλα αυτά λόγω της περιοριστικής φύσης του θέματος, δεν βρέθηκαν πολλές έρευνες στον τομέα των παιχνιδιών. Να σημειωθεί επίσης ότι ενώ η χειροκίνητη αναζήτηση ήταν χρονοβόρα θεωρήθηκε αποδεκτό διότι θα διασφαλιζόταν η σχετικότητα των επιλεγμένων μελετών. Επίσης, η βιβλιογραφική αναζήτηση έγινε πάνω στην αγγλική γλώσσα διευρύνοντας το φάσμα δυνατών αποτελεσμάτων, οπότε ήταν λογικό να απορριφθούν σχετικές μελέτες σε άλλες γλώσσες (όπως των Budnyk and Yakovyna (2023)).

Στην συνέχεια αφού συλλέχτηκε ένα ικανοποιητικό πλήθος μελετών, εκτελέστηκε η πρώτη φάση ανάγνωσης για να διευκρινιστεί αν το επιλεγμένο υλικό είναι σχετικό. Και εδώ πολλές έρευνες αφαιρέθηκαν αφού δεν κάλυπταν τα κριτήρια. Τα κριτήρια αυτά ήταν η χρήση και των δυο τεχνικών (FSM και ML) για την υλοποίηση μιας υβριδικής τεχνικής στα πλαίσια των βιντεοπαιχνιδιών και πιο συγκεκριμένα στα πλαίσια της TN τους. Έτσι, από όλο το σύνολο προέκυψαν τρεις μελέτες.

Να σημειωθεί ότι ενώ αρκετές έρευνες μιλούσαν για τις δυο τεχνικές που πραγματεύεται η έρευνα, στον τομέα των βιντεοπαιχνιδιών, δεν υλοποίησαν κάποια πρακτική, ούτε πρότειναν κάποια θεωρητική υβριδική προσέγγιση αυτών, και για αυτό αποκλείστηκαν. Τέλος, αφού εδραιώθηκε η σχετικότητα, τότε έγινε βαθύτερη ανάλυση με σκοπό να απαντηθούν κάποια ερωτήματα όπως πρακτικές και θεωρητικές συνεισφορές, ανάλυση πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων κάθε μεθοδολογίας και εύρεση ερευνητικών κενών και ευρύτερα patterns.

Επιλέχθηκαν χειροκίνητες μέθοδοι για την αναζήτηση, συλλογή και την ανάλυση δεδομένων λόγω της σύνθετης φύσης της ενσωμάτωσης των τεχνικών ML και FSM. Αυτή η προσέγγιση εξασφάλισε ακριβή επιλογή και λεπτομερή αξιολόγηση των μελετών, αποτυπώνοντας το βάθος και την πολυπλοκότητα που απαιτούνται για μια ισχυρή αφηγηματική σύνθεση και κριτική ανάλυση των τεχνικών TN στην ανάπτυξη παιχνιδιών.

5.2 Κριτήρια Επιλογής Μελετών

Τα κριτήρια επιλογής των σχετικών μελετών ήταν τα εξής: Οι μελέτες έπρεπε να έχουν ως επίκεντρο στο θέμα την συζήτηση ή την υλοποίηση υβριδικού μοντέλου με την χρήση των τεχνικών ML και FSM πάνω στον τομέα των βιντεοπαιχνιδιών. Παρόλα αυτά το κριτήριο έγινε επεικέστερο, ώστε να βρεθούν βιβλιογραφίες που για τον οποιοδήποτε λόγο δεν συμπεριλαμβάνονταν όταν γινόταν αυστηρή χρήση των κλειδίων βιντεοπαιχνίδια και TN, εμφανές παράδειγμα η μελέτη των Arif et al. (2023), η οποία ομιλεί για τα serious games. Στην συνέχεια όπως αναφέρθηκε αποκλείστηκαν άρθρα, μελέτες-έρευνες που συζητούσαν μεμονωμένα τις τεχνικές ML ή FSM ή ήταν εκτός του πλαισίου των βιντεοπαιχνιδιών. Επιπλέον, δόθηκε προτεραιότητα σε άρθρα και έρευνες με αξιολόγηση από ομότιμους ακαδημαϊκούς, εργασίες συνεδρίων και διατριβές για να εξασφαλιστεί η αξιοπιστία και η ακαδημαϊκή εγκυρότητα των περιλαμβανόμενων μελετών. Μη αξιολογημένες πηγές από ομότιμους αποκλείστηκαν για τη διατήρηση της ποιότητας της ανασκόπησης.

5.3 Μέθοδος Ανάλυσης Ερευνών-Δεδομένων

Οι επιλεγμένες μελέτες αναλύθηκαν χρησιμοποιώντας την μεθοδολογία της αφηγηματικής σύνθεσης, μια ποιοτική μέθοδο για την ενσωμάτωση ποικίλων ευρημάτων σε ένα συνεκτικό αφήγημα. Κάθε μελέτη αναγνώστηκε προσεκτικά και διεξοδικά για να επιβεβαιωθεί η ορθή κατανόηση των στόχων, των μεθοδολογιών και των αποτελεσμάτων κάθε μιας από αυτές. Επιπλέον, έγινε αναζήτηση κοινών θεμάτων, διαφορών, προόδων και κενών. Τα κοινά θέματα περιλάμβαναν την αποτελεσματικότητα των υβριδικών μοντέλων και την σημασία της προσαρμογής σε πραγματικό χρόνο. Οι διαφορές ανέδειξαν περιοχές που απαιτούσαν περαιτέρω έρευνα. Σημειώθηκαν καινοτόμες προσεγγίσεις, όπως ο συνδυασμός των DT με FSMs. Τα κενά στην έρευνα περιλάμβαναν την ανάγκη για περισσότερες μη ανταγωνιστικές εφαρμογές TN και ολοκληρωμένες μετρικές αξιολόγησης.

Με την βοήθεια της αφηγηματικής σύνθεσης παρουσιάστηκαν τα ευρήματα με λογικό τρόπο, τονίζοντας τις τάσεις, όπως χρήση υβριδικών μοντέλων TN για την βελτίωσή της και προσαρμογή σε πραγματικό χρόνο. Και τέλος, προτάθηκαν μελλοντικές κατευθύνσεις έρευνας με βάση τα εντοπισμένα κενά.

6. Κριτική Ανάλυση

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει βαθύτερη ανάλυση των μελετών που συλλέχτηκαν, ξεκινώντας με την πρώτη ενότητα· Αξιολόγηση, δυνατά και αδύναμα σημεία των μεθοδολογιών, η οποία ενότητα είναι χωρισμένη σε τρεις υποενότητες, ώστε να αξιολογηθεί κάθε έρευνα ξεχωριστά. Στην συνέχεια, γίνεται συζήτηση των πρακτικών και θεωρητικών συνεισφορών αυτών των μελετών, ανάλυση ευρύτερων μοτίβων και ιδεών σε όλες τις μελέτες και στο τέλος αναφορά στα πιθανά ερευνητικά κενά και στις επιπτώσεις αυτών των μεθοδολογιών σε διάφορα φάσματα.

6.1 Αξιολόγηση, Δυνατά και Αδύναμα Σημεία Μεθοδολογιών

6.1.1 Έρευνα των Yoon et al. (2007)

Το κύριο δυνατό στοιχείο της μεθοδολογίας στην έρευνα των Yoon et al., έγκειται στην υβριδική προσέγγισή της. Η οποία ήταν η αξιοποίηση του ντετερμινιστικού ελέγχου των FSMs με τις προσαρμοστικές ικανότητες μάθησης των DTs. Οι FSM παρέχουν έναν απλό τρόπο διαχείρισης των καταστάσεων και των μεταβάσεων του παιχνιδιού, απαραίτητο για την προβλέψιμη και διαχειρίσιμη συμπεριφορά των χαρακτήρων. Τα DT, τα οποία προέρχονται από τη ML, επιτρέπουν σε αυτές τις FSMs να ενημερώνονται δυναμικά βάση των αλληλεπιδράσεων των παικτών. Αυτός ο συνδυασμός ενισχύει την ευελιξία των πρακτόρων, επιτρέποντάς τους να εμφανίζουν ποικίλες και αληθοφανείς συμπεριφορές. Η ικανότητα του DT να γενικεύεται από τα δεδομένα των παικτών διασφαλίζει ότι οι χαρακτήρες του παιχνιδιού μπορούν να προσαρμοστούν σε απρόβλεπτες στρατηγικές των παικτών, αυξάνοντας την ανθεκτικότητα της TN του παιχνιδιού (Yoon et al., 2007).

Η ικανότητα της υλοποιημένης μεθόδου να συλλέγει και να αναλύει συνεχώς δεδομένα παικτών εξασφαλίζει ότι οι πράκτορες του παιχνιδιού μπορούν να προσαρμόζονται σε πραγματικό χρόνο. Αυτή η προσαρμογή είναι κρίσιμη για τη διατήρηση της εμπλοκής του παίκτη, καθώς αποτρέπει τους πράκτορες του παιχνιδιού από το να γίνονται προβλέψιμοι και βαρετοί (Yoon et al., 2007). Με την μοντελοποίηση της συμπεριφοράς των παικτών, η μέθοδος εξασφαλίζει ότι οι αντιδράσεις των πρακτόρων του παιχνιδιού είναι προσαρμοσμένες στο playstyle του κάθε παίκτη. Αυτή η εξατομικευμένη εμπειρία παιχνιδιού μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ευχαρίστηση και την εμπύθιση του παίκτη (Yoon et al., 2007).

Η δυναμική ενημέρωση των FSMs βάση της DT ανάλυσης σημαίνει ότι οι πράκτορες του παιχνιδιού μπορούν να εξελίσσονται κατά τη διάρκεια του gameplay. Αυτή η διαδικασία συνεχής μάθησης διασφαλίζει ότι οι πράκτορες του παιχνιδιού παραμένουν προκλητικοί και ενδιαφέροντες κατά τη διάρκεια εκτεταμένων περιόδων παιχνιδιού (Yoon et al., 2007). Η ικανότητα να τροποποιούνται δυναμικά οι FSMs εισάγει μια ποικιλία συμπεριφορών στους πράκτορες του παιχνιδιού, κάνοντας κάθε συνάντηση ξεχωριστή. Αυτή η ποικιλία είναι κρίσιμη σε παιχνίδια όπου η δυνατότητα επαναληψιμότητας και η εμπλοκή του παίκτη έχουν προτεραιότητα (Yoon et al., 2007).

Η χρήση γλωσσών προγραμματισμού για τον καθορισμό προτύπων δράσης επιτρέπει τη μεθοδολογία να εφαρμόζεται σε διάφορα είδη παιχνιδιών, από παιχνίδια δράσης μέχρι παιχνίδια προσομοίωσης. Αυτή η ευρεία εφαρμοσιμότητα καθιστά τη μεθοδολογία πολύτιμη για ένα ευρύ φάσμα παιχνιδιών. Επιπλέον, ο τρόπος αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά τη φάση αρχικού σχεδιασμού για τη δημιουργία πιο αληθοφανών πρακτόρων, μειώνοντας τον χρόνο και την φόρτο ανάπτυξης. Ξεκινώντας με προσαρμοστικούς πράκτορες, οι προγραμματιστές μπορούν να εξασφαλίσουν ένα υψηλότερο επίπεδο εμπλοκής από την αρχή (Yoon et al., 2007).

Τέλος, η πειραματική επικύρωση της μεθοδολογίας είναι ισχυρή. Η χρήση του γνωστού παιχνιδιού (Half-Life) και ενός συγκεκριμένου bot (Jeffrey's HPB Bot) στα πειράματα παρέχει μια γερή βάση για την

επικύρωση της μεθοδολογίας. Αυτή η πρακτική εφαρμογή αποδεικνύει τη σκοπιμότητα και την αποτελεσματικότητα της προσέγγισης σε πραγματικά σενάρια. Το άρθρο επίσης παρέχει ποσοτικές μετρήσεις σχετικά με τα βελτιωμένα επίπεδα δυσκολίας και απόλαυσης που βίωσαν οι παίκτες, προσφέροντας απτά στοιχεία για την επίδραση της μεθοδολογίας (Yoon et al., 2007).

Παρά τα πλεονεκτήματά της, η μεθοδολογία εισάγει μεγάλο υπολογιστικό φόρτο λόγω της συνεχούς συλλογής δεδομένων της σε πραγματικό χρόνο DT ανάλυσης και FSM ενημερώσεων. Αυτή η πολυπλοκότητα μπορεί να επιβαρύνει τους πόρους του συστήματος, ιδίως σε συσκευές με περιορισμένους πόρους, όπως οι πλατφόρμες κινητών ή κονσόλων (PS, PSP, Xbox etc.). Για την αντιμετώπιση αυτού, η μεθοδολογία απαιτεί τεχνικές βελτιστοποίησης, όπως το «κλάδεμα» περιττών καταστάσεων ή μεταβάσεων και την αποτελεσματική διαχείριση των υπολογιστικών πόρων (Yoon et al., 2007).

Η κλιμάκωση αυτής της τεχνικής για την διαχείριση μεγάλου πλήθους πρακτόρων ή πολύπλοκων περιβαλλόντων παιχνιδιού μπορεί να οδηγήσει σε σημεία συμφόρησης της απόδοσης. Κάθε πράκτορας απαιτεί ατομική συλλογή και ανάλυση δεδομένων, η οποία μπορεί να αυξήσει εκθετικά την υπολογιστική δαπάνη. Η εφαρμογή καταναμημένων λύσεων υπολογισμού ή η αξιοποίηση της επεξεργασίας μέσω του cloud μπορεί να αντιμετωπίσει τις ανησυχίες για την κλιμάκωση, αλλά αυτές οι προσεγγίσεις εισάγουν τις δικές τους προκλήσεις και εξαρτήσεις (Yoon et al., 2007).

Η αποτελεσματικότητα της μεθοδολογίας βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην ποιότητα και τη συνέπεια των συλλεγμένων δεδομένων από τους παίκτες. Ασυνεπή ή θορυβώδη (noisy) δεδομένα μπορούν να οδηγήσουν σε λανθασμένη DT ανάλυση, που συνεπάγεται ότι οι πράκτορες παρουσιάζουν μια υπο-βέλτιστη ή ασταθή συμπεριφορά. Οι τεχνικές προ-επεξεργασίας δεδομένων είναι απαραίτητες για την απομάκρυνση του θορύβου και την εξασφάλιση ότι τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση είναι αξιόπιστα. Αυτές έχουν ως αποτέλεσμα την προσθήκη ενός επιπλέον επιπέδου πολυπλοκότητας στην υλοποίηση (Yoon et al., 2007).

Η μεθοδολογία υποθέτει ότι η αρχική FSM είναι καλά σχεδιασμένη και περιεκτική. Αν δεν ορισθούν καλά εξαρχές, οι FSMs μπορούν να περιορίσουν την αποτελεσματικότητα των δυναμικών ενημερώσεων, καθώς το θεμέλιο μπορεί να είναι ελαττωματικό. Μια διαδικασία επαναληπτικής βελτίωσης για τον αρχικό σχεδιασμό των FSM, που ενσωματώνει μια ανατροφοδότηση από πρώιμες δοκιμές παιχνιδιού, μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος. Η εξαρχής διασφάλιση ενός σταθερού θεμελίου είναι κρίσιμη για την επιτυχία των δυναμικών προσαρμογών (Yoon et al., 2007).

Τέλος, η πειραματική επικύρωση είναι περιορισμένη σε ένα συγκεκριμένο παιχνίδι και σενάριο. Ευρύτερες δοκιμές σε διάφορα είδη παιχνιδιών, διαφορετικούς τύπους πρακτόρων παιχνιδιού και ποικίλες δημογραφικές ομάδες παικτών θα παρείχαν μια πιο ολοκληρωμένη αξιολόγηση της γενίκευσης και της ανθεκτικότητας της μεθοδολογίας που ερευνάτε. Μακροχρόνιες μελέτες σχετικά με την εμπλοκή και την ικανοποίηση των παικτών θα βοηθούσαν επίσης στην αξιολόγηση της διαρκούς επίδρασης των προσαρμοστικών πρακτόρων παιχνιδιού κατά τη διάρκεια εκτεταμένων περιόδων παιχνιδιού (Yoon et al., 2007).

6.1.2 Έρευνα των Mora et al. (2014)

Το κύριο δυνατό στοιχείο της μελέτης έγκειται στην καινοτόμο χρήση εξελικτικών αλγορίθμων (EAs – Evolutionary Algorithms) για την ανάπτυξη αυτόνομων πρακτόρων για το παιχνίδι Super Mario Bros. Χρησιμοποιώντας γενετικούς αλγορίθμους (GAs – Genetic Algorithms) για την εξέλιξη των FSM, οι συγγραφείς παρουσιάζουν μια μέθοδο που συνδυάζει αποτελεσματικά τον εξελικτικό (evolutionary) υπολογισμό με τη μοντελοποίηση συμπεριφοράς. Αυτή η ενσωμάτωση επιτρέπει την ανάπτυξη πρακτόρων που μπορούν να προσαρμοστούν σε διάφορα σενάρια παιχνιδιού και να βελτιώσουν την απόδοσή τους με την πάροδο του χρόνου (Mora et al., 2014).

Ένα άλλο εξίσου σημαντικό πλεονέκτημα της χρήσης FSM όπως παρουσιάστηκε και στο 2^ο κεφάλαιο είναι η ικανότητά τους να αντιπροσωπεύουν ένα σύνολο καταστάσεων και μεταβάσεων. Με την

βοήθειά της δίνεται η δυνατότητα αποτελεσματικής μοντελοποίησης της συμπεριφοράς ενός έμπειρου παίκτη. Οι FSM εξελίσσονται μέσω των GA, παρέχοντας έναν ισχυρό μηχανισμό για τη βελτιστοποίηση των ενεργειών των πρακτόρων βάση του δυναμικού περιβάλλοντος του παιχνιδιού. Αυτή η προσέγγιση εξασφαλίζει ότι οι πράκτορες μπορούν να αντιμετωπίσουν ένα ευρύ φάσμα καταστάσεων (situations), από απλά μέχρι και πιο σύνθετα στάδια παιχνιδιού, εξελίσσοντας τις FSMs για να συμπεριλαμβάνουν πιο εκλεπτυσμένες συμπεριφορές και μεταβάσεις (Mora et al., 2014).

Η μελέτη επίσης εξετάζει δύο διαφορετικά σχήματα αξιολόγησης, τις προσεγγίσεις MonoS (Mono-Seed) και MultiS (Multi-Seed). Η προσέγγιση MonoS αξιολογεί κάθε πράκτορα σε ένα μόνο στάδιο παιχνιδιού. Ενώ η προσέγγιση MultiS δοκιμάζει τους πράκτορες σε πολλαπλά στάδια με διαφορετικούς τυχαίους σπόρους (seeds). Αυτή η διπλή προσέγγιση παρέχει μια πιο ολοκληρωμένη αξιολόγηση της απόδοσης των πρακτόρων, εξασφαλίζοντας ότι μπορούν να γενικεύσουν τη συμπεριφορά τους σε διάφορα σενάρια παιχνιδιού. Η προσέγγιση MultiS, ειδικότερα, βοηθά στην άμβλυση του προβλήματος της υπερ-προσαρμογής σε ένα μόνο στάδιο, εκθέτοντας τους πράκτορες σε μια ποικιλία προκλήσεων (Mora et al., 2014).

Χάρη στην μεθοδολογία αυτή, επιτυγχάνεται η λεπτομερής ανάλυση των πόρων που καταναλώνει η μηχανή, η οποία αντιμετωπίζει τα υπολογιστικά σημεία συμφόρησης που αντιμετωπίστηκαν κατά τη διάρκεια των πειραμάτων. Η μελέτη παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για τη βελτιστοποίηση της υλοποίησης των FSMs και GAs ώστε να μειωθεί η χρήση μνήμης και να βελτιωθεί η συλλογή απορριμμάτων. Αυτές οι βελτιστοποιήσεις είναι κρίσιμες για την εξασφάλιση της δυνατότητας εξέλιξης των πρακτόρων σε πιο σύνθετα και απαιτητικά περιβάλλοντα παιχνιδιού (Mora et al., 2014).

Παρά τα πλεονεκτήματά της, η μελέτη αντιμετωπίζει αρκετούς περιορισμούς, κυρίως όσον αφορά το υπολογιστικό φορτίο και την κατανάλωση πόρων. Η συνεχής εξέλιξη και αξιολόγηση των FSMs μέσω των GAs απαιτεί σημαντικούς υπολογιστικούς πόρους, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε σημεία συμφόρησης απόδοσης. Αυτό το ζήτημα είναι ιδιαίτερα έντονο στην MultiS προσέγγιση, όπου κάθε πράκτορας πρέπει να αξιολογηθεί σε πολλαπλά στάδια παιχνιδιού, αυξάνοντας σημαντικά την υπολογιστική δαπάνη και τις απαιτήσεις μνήμης (Mora et al., 2014).

Ένας άλλος περιορισμός είναι η επεκτασιμότητα της προσέγγισης. Ενώ η μελέτη δείχνει την αποτελεσματικότητα των εξελιγμένων πρακτόρων στην ολοκλήρωση σταδίων μέχρι το επίπεδο δυσκολίας 4, υψηλότερα επίπεδα δυσκολίας θέτουν σημαντικές προκλήσεις. Η κατανάλωση μνήμης αυξάνεται εκθετικά με την πολυπλοκότητα των σταδίων παιχνιδιού, οδηγώντας συχνά σε διακοπές λειτουργίας και μη ολοκληρωμένες βελτιστοποιήσεις. Αυτό το ζήτημα επεκτασιμότητας περιορίζει την εφαρμοσιμότητα της προσέγγισης σε πιο απαιτητικά περιβάλλοντα παιχνιδιού και την ικανότητα των πρακτόρων να διαχειρίζονται αποτελεσματικά τα υψηλότερα επίπεδα δυσκολίας (Mora et al., 2014).

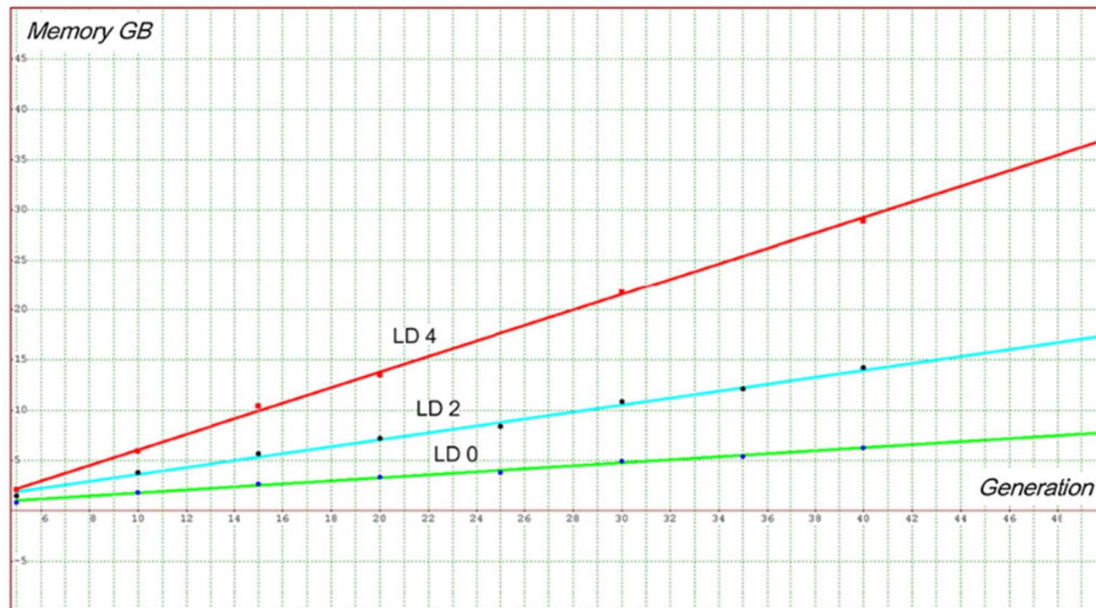


Fig. 8 Run machine requirements: computation time (in min) and occupied memory (GB) for multi-seed approach

Εικόνα 6.1.2.1 Περιγράφει τις υπολογιστικές δαπάνες, από την έρευνα των Mora et al. (2014)

Η μελέτη βασίζεται επίσης σε μεγάλο βαθμό στον αρχικό σχεδιασμό και προγραμματισμό των FSMs. Η αποτελεσματικότητα των εξελιγμένων πρακτόρων εξαρτάται από την ποιότητα και την πληρότητα των αρχικών FSMs. Ανεπαρκώς σχεδιασμένα FSMs μπορούν να περιορίσουν την ικανότητα των πρακτόρων να προσαρμόζονται και να βελτιστοποιούν τη συμπεριφορά τους, οδηγώντας σε υποβέλτιστη απόδοση. Επιπλέον, η πιθανολογική φύση των GAs σημαίνει ότι η επίτευξη συνεπών και βέλτιστων λύσεων μπορεί να είναι δύσκολη, καθώς ο ρυθμός σύγκλισης μπορεί να διαφέρει σημαντικά ανάλογα με την αρχική πληθυσμιακή ομάδα και τους ρυθμούς των μεταλλάξεων (Mora et al., 2014).

Τέλος, οι μετρικές αξιολόγησης που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της απόδοσης των πρακτόρων βασίζονται σε συγκεκριμένα σενάρια και στόχους του παιχνιδιού. Και ενώ αυτές παρέχουν ένα χρήσιμο σημείο αναφοράς για τη σύγκριση διαφορετικών προσεγγίσεων, ενδέχεται να μην καταγράφουν όλες τις πτυχές της συμπεριφοράς και της προσαρμοστικότητας των πρακτόρων. Για παράδειγμα, οι μετρικές εστιάζουν κυρίως στην ολοκλήρωση σταδίων παιχνιδιού και την εξάλειψη εχθρών, αλλά μπορεί να παραβλέπουν άλλους σημαντικούς παράγοντες όπως η εξερεύνηση, η στρατηγική και η προσαρμοστικότητα σε απρόβλεπτα γεγονότα (Mora et al., 2014). Παρόλο που η μελέτη δεν χρησιμοποιεί ML, ο τρόπος που χρησιμοποιεί τους GAs και γενικότερα τους EAs παρομοιάζονται με αυτήν.

6.1.3 Έρευνα των Arif et al. 2023

Η μελέτη των Arif et al. παρουσιάζει μια σημαντική πρόοδο στην ανάπτυξη προσαρμοστικών συστημάτων επιλογής σεναρίων για εκπαιδευτικά παιχνίδια, χρησιμοποιώντας μια FSM βασισμένη σε ANN. Αυτή η καινοτόμος προσέγγιση συνδυάζει τη ντετερμινιστική διαχείριση καταστάσεων των FSMs με τις προσαρμοστικές ικανότητες μάθησης των ANNs, συγκεκριμένα μια αρχιτεκτονική MLP. Αυτή η ενσωμάτωση επιτρέπει στο σύστημα να επιλέγει δυναμικά τα σενάρια βάση των προτιμήσεων του παίκτη, ενισχύοντας έτσι την εκπαιδευτική αξία και την εμπύθιση στα εκπαιδευτικά παιχνίδια (Arif et al., 2023).

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα αυτής της μεθοδολογίας είναι η ικανότητά της να προσαρμόζει τα σενάρια παιχνιδιού στις ατομικές προτιμήσεις των παικτών. Χρησιμοποιώντας πέντε συγκεκριμένες προτιμήσεις: εργασία, ενδιαφέροντα, καταγωγή, μέλη της ομάδας και επανάληψη. Το σύστημα μπορεί να επιλέγει προσαρμοστικά τα πιο κατάλληλα σενάρια για κάθε παίκτη. Αυτή η εξατομικευμένη προσέγγιση

διασφαλίζει ότι το περιεχόμενο παραμένει σχετικό και ενδιαφέρον, αυξάνοντας έτσι την πιθανότητα αποτελεσματικής μεταφοράς γνώσεων και διατήρησης του ενδιαφέροντος των παικτών (Arif et al., 2023).

Η χρήση της αρχιτεκτονικής MLP για το ANN στοιχείο (component) είναι και αυτό ένα αξιοσημείωτο πλεονέκτημα. Τα MLP είναι γνωστά για τις ισχυρές τους ικανότητες στην εκμάθηση μοντέλων, στην εκτίμηση συναρτήσεων και στην ταξινόμηση προτύπων, τα οποία είναι απαραίτητα για την ακριβή πρόβλεψη των καλύτερων σεναρίων βάση των εισόδων (inputs). Η μελέτη δείχνει την αποτελεσματική υλοποίηση αυτής της αρχιτεκτονικής χρησιμοποιώντας τη γλώσσα προγραμματισμού Python για την αρχική μοντελοποίηση και την πλατφόρμα παιχνιδιών Unity για την πρακτική εφαρμογή, υπογραμμίζοντας τη σκοπιμότητα και την ευελιξία του προτεινόμενου συστήματος (Arif et al., 2023).

Το λεπτομερές πειραματικό setup και η επικύρωση είναι επίσης αξιόπαινα. Η μελέτη χρησιμοποιεί ένα θέμα βασισμένο στον τουρισμό στην πόλη Batu, στην Ανατολική Ιάβα της Ινδονησίας, και συλλέγει δεδομένα από 227 ερωτηθέντες για την εκπαίδευση και τη δοκιμή του συστήματος. Η ακρίβεια 67,25% που προκύπτει από την έρευνα υποδεικνύει ένα υποσχόμενο επίπεδο απόδοσης για το FSM βασισμένο σε ANN σε πραγματικές εφαρμογές. Επιπλέον, η ικανότητα του συστήματος να διαχειρίζεται προβλήματα ταξινόμησης ακόμη και σε μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα καταδεικνύει την ανθεκτικότητά του και το δυναμικό του για ευρύτερη εφαρμογή σε διάφορα συγκεκριμένα εκπαιδευτικά παιχνίδια (serious game contexts) (Arif et al., 2023).

Παρά την καινοτόμο προσέγγιση και τα υποσχόμενα αποτελέσματά της, η μελέτη των Arif et al. έχει αρκετούς περιορισμούς που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Ένα βασικό ζήτημα το οποίο συναντάται και εδώ είναι το υπολογιστικό φορτίο που σχετίζεται με τη συνεχή εξέλιξη και αξιολόγηση της FSM βασισμένης σε ANN. Η ενσωμάτωση της ANN και της FSM εισάγει σημαντική υπολογιστική περιπλοκότητα, η οποία μπορεί να επιβαρύνει τους πόρους του συστήματος, ιδίως σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Αυτή λοιπόν μπορεί να περιορίσει την επεκτασιμότητα του συστήματος σε περιβάλλοντα με μειωμένους πόρους, όπως κινητές συσκευές ή παλαιότερα συστήματα υπολογιστών (Arif et al., 2023).

Ένας άλλος περιορισμός είναι η εξάρτηση του συστήματος από την ποιότητα και την πληρότητα της αρχικής επιλογής χαρακτηριστικών και της προετοιμασίας των δεδομένων. Η αποτελεσματικότητα της υβριδικής προσέγγισης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ακρίβεια των εισαγόμενων δεδομένων, που σε αυτή την περίπτωση περιλαμβάνουν τις προτιμήσεις των παικτών. Ασυνεπή ή θορυβώδη δεδομένα μπορούν να οδηγήσουν σε υπο-βέλτιστη επιλογή σεναρίων, μειώνοντας τη συνολική αποτελεσματικότητα του προσαρμοστικού συστήματος. Η μελέτη χρησιμοποιεί τη μέθοδο Chi-square για την επιλογή χαρακτηριστικών και την min-max normalization για την επεξεργασία δεδομένων. Επιπλέον η ικανότητα του συστήματος να χειρίζεται προβλήματα κατηγοριοποίησης, ακόμα και σε μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα δείχνει την ανθεκτικότητά της και την δυνατότητα για ευρύτερη εφαρμογή σε διάφορα περιβάλλοντα εκπαιδευτικών παιχνιδιών (Arif et al., 2023).

Η επεκτασιμότητα του προτεινόμενου συστήματος είναι ένα ακόμη κρίσιμο ζήτημα. Ενώ η μελέτη δείχνει αποτελεσματική απόδοση στο συγκεκριμένο πλαίσιο του τουρισμού, η κλιμάκωση αυτής της προσέγγισης για να χειριστεί πιο πολύπλοκα και διαφοροποιημένα σενάρια εκπαιδευτικών παιχνιδιών θα μπορούσε να παρουσιάσει προκλήσεις. Η τρέχουσα αρχιτεκτονική του συστήματος μπορεί να χρειαστεί να βελτιστοποιηθεί ή να επανασχεδιαστεί για να διαχειριστεί αποτελεσματικά μεγαλύτερα σύνολα δεδομένων και πιο ποικίλες εισροές παικτών χωρίς να θυσιάζεται η απόδοση (Arif et al., 2023).

Επιπλέον, οι μετρικές αξιολόγησης που χρησιμοποιούνται στη μελέτη: ευστοχία (accuracy), ακρίβεια (precision), ανάκληση (recall) και F1 score, παρέχουν ένα χρήσιμο σημείο αναφοράς για την απόδοση του συστήματος, ενδέχεται όμως να μην καταγράφουν πλήρως την λεπτή αποτελεσματικότητα των επιλογών σεναρίων. Αυτές οι μετρικές εστιάζουν στην ικανότητα του συστήματος να ταιριάζει τις προτιμήσεις των παικτών με προκαθορισμένα σενάρια, μπορούν ωστόσο να παραβλέπουν άλλους σημαντικούς παράγοντες όπως τα συνολικά μαθησιακά αποτελέσματα, η ικανοποίηση των παικτών και η μακροχρόνια εμπλοκή. Μελλοντικές μελέτες θα πρέπει να εξετάσουν την ενσωμάτωση πιο ολοκληρωμένων μετρικών αξιολόγησης για να αξιολογήσουν καλύτερα την επίδραση του συστήματος στην μάθηση και την εμπλοκή των παικτών (Arif et al., 2023).

Τέλος, η εστίαση της μελέτης στην προσαρμοστική επιλογή σεναρίων δεν επεκτείνεται στην ενίσχυση των συμπεριφορών της TN εντός του ίδιου του παιχνιδιού. Ενώ η ενσωμάτωση των ANN και FSM είναι αποτελεσματική για την επιλογή σεναρίων βάση των προτιμήσεων των παικτών, δεν αντιμετωπίζει τις διαδικασίες συμπεριφοράς ή λήψης αποφάσεων των χαρακτήρων TN στο παιχνίδι, που παραμένει ένας πιθανός τομέας για μελλοντική βελτίωση.

6.2 Πρακτικές και Θεωρητικές Συνεισφορές

6.2.1 Πρακτικές Συνεισφορές

Η μεθοδολογία των Yoon et al. προσφέρει ένα πρακτικό πλαίσιο για τη δημιουργία προσαρμοστικών NPCs σε βιντεοπαιχνίδια, ενισχύοντας την εμπειρία παιχνιδιού κάνοντας τις συμπεριφορές των NPCs πιο ανταποκρίσιμες και αληθοφανείς. Με την ενσωμάτωση DT με τις FSMs, οι προγραμματιστές μπορούν να προσαρμόζουν δυναμικά τις καταστάσεις των NPCs βάση των δεδομένων των παικτών σε πραγματικό χρόνο, οδηγώντας σε πιο ενδιαφέρον και απρόβλεπτο gameplay. Αυτή η προσέγγιση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε είδη παιχνιδιών που επωφελούνται από σύνθετες αλληλεπιδράσεις TN, όπως RPGs (Role-Playing Games) και στρατηγικά παιχνίδια. Επιπλέον, η εφαρμοσιμότητα της μεθόδου σε διάφορους τύπους παιχνιδιών προσφέρει ευελιξία στους προγραμματιστές, μειώνοντας πιθανόν τον χρόνο και τους πόρους που απαιτούνται για την αναλυτική σχεδίαση των συμπεριφορών των NPCs.

Οι Mora et al. παρέχουν μια πρακτική λύση για την ανάπτυξη αυτόνομων πρακτόρων παιχνιδιού χρησιμοποιώντας εξελικτικούς αλγορίθμους (EA). Η προσέγγισή τους εστιάζει στην εξέλιξη των FSMs με γενετικούς αλγορίθμους, επιτρέποντας τη δημιουργία πρακτόρων παιχνιδιού που μπορούν να προσαρμόζονται σε διάφορα σενάρια παιχνιδιού και να βελτιώνονται με την πάροδο του χρόνου. Αυτή η πρακτική εφαρμογή είναι ιδιαίτερα σχετική για τα παιχνίδια πλατφόρμας, όπου η προσαρμοστικότητα και η βελτιστοποίηση των συμπεριφορών των πρακτόρων είναι κρίσιμες. Τα διπλά σχήματα αξιολόγησης (MonoS και MultiS) εξασφαλίζουν ότι οι πράκτορες δοκιμάζονται συνολικά, προάγοντας την ανθεκτικότητα και τη γενίκευση σε πραγματικά περιβάλλοντα παιχνιδιού.

Η μελέτη των Arif et al. προσφέρει ένα πρακτικό πλαίσιο για την προσαρμοστική επιλογή σεναρίων σε εκπαιδευτικά παιχνίδια, χρησιμοποιώντας μια FSM βασισμένη σε ANN. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει τη δυναμική επιλογή σεναρίων παιχνιδιού βάση των προτιμήσεων των παικτών, ενισχύοντας τη συνάφεια και την εμπλοκή στα εκπαιδευτικά παιχνίδια. Εστιάζοντας στις προτιμήσεις των παικτών, το σύστημα μπορεί να προσαρμόσει την εμπειρία παιχνιδιού στις ατομικές ανάγκες, καθιστώντας το πιο αποτελεσματικό για τη μεταφορά γνώσεων και τη διατήρηση του ενδιαφέροντος των παικτών. Η εφαρμογή σε ένα παιχνίδι με θέμα τον τουρισμό αποδεικνύει την πρακτική υλοποίηση και το δυναμικό για ευρύτερη χρήση σε διάφορα θέματα εκπαιδευτικών παιχνιδιών.

6.2.2 Θεωρητικές συνεισφορές

Θεωρητικά, η μελέτη των Yoon et al. προάγει τον τομέα της TN στα παιχνίδια, αποδεικνύοντας την αποτελεσματικότητα του συνδυασμού Δέντρων Απόφασης και FSMs. Παρέχει μια νέα υβριδική προσέγγιση που αξιοποιεί τα πλεονεκτήματα και των δύο τεχνικών: τη ντετερμινιστική φύση των FSMs για τη διαχείριση καταστάσεων και μεταβάσεων και την προσαρμοστικότητα των DT για την ανάλυση και την ανταπόκριση στη συμπεριφορά των παικτών. Αυτή η ενσωμάτωση συμβάλλει στην ευρύτερη κατανόηση του πώς μπορούν να συνδυαστούν διαφορετικές μεθοδολογίες TN για την ενίσχυση της αληθοφάνειας και προσαρμοστικότητας των χαρακτήρων του παιχνιδιού, προσφέροντας ένα θεμελιώδες πλαίσιο για μελλοντική έρευνα πάνω στην προσαρμοστικότητα της TN στα παιχνίδια.

Η μελέτη των Mora et al., συμβάλλει στη θεωρητική προσέγγιση δείχνοντας τη χρήση εξελικτικών αλγορίθμων για τη βελτιστοποίηση των FSMs στη TN των παιχνιδιών. Επεκτείνει την εφαρμογή των γενετικών αλγορίθμων πέρα από τα παραδοσιακά προβλήματα βελτιστοποίησης στον τομέα της, αποδεικνύοντας πώς αυτοί οι αλγόριθμοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξέλιξη σύνθετων συμπεριφορών σε αυτόνομους πράκτορες. Αυτή η εργασία θέτει τα θεμέλια για μελλοντικές εξερευνήσεις στη χρήση της εξελικτικής υπολογιστικής σε δυναμικά και προσαρμοστικά περιβάλλοντα παιχνιδιών,

αναδεικνύοντας το δυναμικό των γενετικών αλγορίθμων να βελτιώσουν τη μάθηση και την προσαρμοστικότητα της TN σε διάφορα θέματα.

Τέλος, η μελέτη των Arif et al. εμπλουτίζει τον τομέα των προσαρμοστικών συστημάτων μάθησης σε εκπαιδευτικά παιχνίδια, εισάγοντας ένα υβριδικό μοντέλο που συνδυάζει τη ντετερμινιστική διαχείριση καταστάσεων των FSMs με τις προσαρμοστικές ικανότητες μάθησης των ANNs. Αυτή η ενσωμάτωση αναδεικνύει το δυναμικό χρήσης νευρωνικών δικτύων για τη δυναμική επιλογή περιεχομένου, συμβάλλοντας στην ευρύτερη κατανόηση του πώς μπορούν να εφαρμοστούν τεχνικές μηχανικής μάθησης στην επιλογή σεναρίων σε εκπαιδευτικά περιβάλλοντα. Η μελέτη επίσης παρέχει γνώσεις σχετικά με την αποτελεσματικότητα των αρχιτεκτονικών MLP για την ταξινόμηση προτύπων και την προσαρμοστική μάθηση, προσφέροντας ένα θεμέλιο για περαιτέρω μελλοντική έρευνα στην ενίσχυση της εμπλοκής των παικτών μέσω εξατομικευμένων σεναρίων παιχνιδιού.

6.3 Ευρύτερα Patterns, Insights και Ερευνητικά Κενά στις μελέτες

6.3.1 Ευρύτερα Patterns και Γνώσεις

Οι μελέτες των Yoon et al. (2007), Mora et al. (2014) και Arif et al. (2023) μοιράζονται έναν κοινό στόχο: Την ενίσχυση της προσαρμοστικότητας και της νοημοσύνης των στοιχείων του παιχνιδιού, μέσω διαφορετικών μεθοδολογιών. Ένα ευρύτερο μοτίβο σε αυτές τις μελέτες είναι η ενσωμάτωση παραδοσιακών τεχνικών TN με σύγχρονες μεθόδους μηχανικής μάθησης για τη δημιουργία πιο δυναμικών και ανταποκρινόμενων περιβαλλόντων παιχνιδιού. Οι Yoon et al. συνδυάζουν δέντρα απόφασης με FSMs για την προσαρμογή των συμπεριφορών των NPCs σε πραγματικό χρόνο, οι Mora et al. χρησιμοποιούν εξελικτικούς αλγόριθμους για τη βελτιστοποίηση των FSMs για αυτόνομους πράκτορες, και οι Arif et al. εφαρμόζουν ANNs για την εξατομίκευση της επιλογής σεναρίων σε εκπαιδευτικά παιχνίδια. Αυτές οι προσεγγίσεις αντικατοπτρίζουν μια σημαντική στροφή προς τα υβριδικά μοντέλα που αξιοποιούν τα πλεονεκτήματα πολλαπλών τεχνικών TN για την επίτευξη πιο σύνθετων αποτελεσμάτων.

Μια άλλη πτυχή (insight) είναι η έμφαση στον σχεδιασμό του παίκτη ως κεντρικού άξονα. Και οι τρεις μελέτες εστιάζουν στη βελτίωση της εμπλοκής και της εμπειρίας των παικτών, κάνοντας τα στοιχεία του παιχνιδιού πιο προσαρμοστικά στις ατομικές συμπεριφορές και προτιμήσεις. Αυτή η προσέγγιση με κεντρικό άξονα τον παίκτη, όχι μόνο ενισχύει την εμπειρία παιχνιδιού, αλλά και παρέχει πολύτιμα δεδομένα για την περαιτέρω βελτίωση των μοντέλων TN.

6.3.2 Ερευνητικά Κενά

Παρά τις προόδους, παραμένουν αρκετά ερευνητικά κενά. Ένα κύριο κενό είναι η εξάρτηση από μικρά μεγέθη δειγμάτων στις πειραματικές φάσεις. Τόσο οι Mora et al. όσο και οι Arif et al. χρησιμοποιούν περιορισμένο αριθμό υποκειμένων ή σεναρίων δοκιμής, κάτι που μπορεί να μην αποτυπώνει πλήρως την ποικιλία των συμπεριφορών και προτιμήσεων των παικτών. Αυτός ο περιορισμός θα μπορούσε να οδηγήσει σε μια ελλιπή κατανόηση της αποτελεσματικότητας και της γενίκευσης των μεθοδολογιών. Μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να περιλαμβάνει μεγαλύτερα και πιο ποικίλα δείγματα για να παρέχει μια πιο ολοκληρωμένη αξιολόγηση αυτών των προσαρμοστικών συστημάτων.

Επιπλέον, η περιοχή της ενσωμάτωσης προηγμένων τεχνικών TN με τον σχεδιασμό παιχνιδιών παραμένει σχετικά ανεξερεύνητη. Αν και αυτές οι μελέτες κάνουν προοδευτικά βήματα, υπάρχει σημαντικό δυναμικό για περαιτέρω διερεύνηση. Για παράδειγμα, βαθύτερες έρευνες για το πώς μπορούν να συνδυαστούν και να βελτιστοποιηθούν διαφορετικές τεχνικές TN για διάφορους τύπους παιχνιδιών θα μπορούσαν να αποδώσουν πιο ανθεκτικά - προσαρμοστικά συστήματα. Επιπλέον, διαχρονικές μελέτες που παρακολουθούν την εμπλοκή και τα μαθησιακά αποτελέσματα των παικτών σε εκτεταμένες περιόδους θα παρείχαν βαθύτερες γνώσεις για τη μακροπρόθεσμη αποτελεσματικότητα αυτών των συστημάτων.

Συνολικά, αν και οι μελέτες παρέχουν πολύτιμες συνεισφορές στον τομέα της TN στα παιχνίδια, η διεύρυνση των δειγμάτων και η εξερεύνηση νέων υβριδικών μεθοδολογιών TN θα είναι κρίσιμες για την προώθηση αυτού του ερευνητικού τομέα.

7. Συζήτηση

Η κριτική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στις επιλεγμένες μελέτες Yoon et al. (2007), Mora et al. (2014) και Arif et al. (2023), παρέχει σημαντικές γνώσεις σχετικά με τις προόδους και τις προκλήσεις στον τομέα της TN στα παιχνίδια. Αυτές οι μελέτες συλλογικά ενισχύουν την κατανόησή μας για το πώς τα υβριδικά μοντέλα TN, που ενσωματώνουν παραδοσιακές πεπερασμένες αυτόματες μηχανές (FSMs) με σύγχρονες τεχνικές μηχανικής μάθησης (ML) και εξελικτικούς αλγόριθμους, μπορούν να δημιουργήσουν πιο έξυπνους και προσαρμοστικούς NPCs και περιβάλλοντα παιχνιδιού. Τα ευρήματα είναι σημαντικά για την απάντηση των ερευνητικών ερωτημάτων, ιδιαίτερα όσον αφορά τη δυνατότητα υλοποίησης, την αποτελεσματικότητα και τις επιπτώσεις αυτών των προηγμένων τεχνικών TN στην ανάπτυξη παιχνιδιών.

Η ενσωμάτωση δέντρων απόφασης, τεχνητών νευρωνικών δικτύων (ANNs) και γενετικών αλγόριθμων με FSMs οδηγεί σε στοιχεία παιχνιδιού που δεν είναι μόνο πιο ανταποκρινόμενα στις ενέργειες των παικτών, αλλά είναι και ικανά να μαθαίνουν και να εξελίσσονται με την πάροδο του χρόνου. Αυτή η προσαρμοστικότητα είναι κρίσιμη για την ενίσχυση της εμπλοκής των παικτών και τη δημιουργία δυναμικών εμπειριών παιχνιδιού. Για παράδειγμα, η ενσωμάτωση δέντρων απόφασης με FSMs από τους Yoon et al. δείχνει πώς οι συμπεριφορές των NPCs μπορούν να προσαρμοστούν σε πραγματικό χρόνο βάση των αλληλεπιδράσεων των παικτών, οδηγώντας σε πιο απρόβλεπτο και προκλητικό gameplay. Ομοίως, η χρήση γενετικών αλγόριθμων για την εξέλιξη των FSMs από τους Mora et al. δείχνει ότι οι NPCs μπορούν να βελτιστοποιηθούν για να διαχειριστούν αποτελεσματικά διάφορα και σύνθετα σενάρια παιχνιδιού. Οι Arif et al. επεκτείνουν περαιτέρω αυτήν την προσαρμοστικότητα χρησιμοποιώντας ANNs για την επιλογή σεναρίων παιχνιδιού βάση των προτιμήσεων των παικτών, εξατομικεύοντας έτσι την εμπειρία παιχνιδιού και βελτιώνοντας την εμπλοκή των παικτών.

Αντιμετωπίζοντας τα αναγνωρισμένα ερευνητικά κενά, η ανάλυση υπογραμμίζει την ανάγκη για ευρύτερη εξερεύνηση των μη ανταγωνιστικών εφαρμογών TN. Ενώ οι μελέτες επικεντρώνονται κυρίως στη δημιουργία ανταγωνιστικών NPCs που μιμούνται ή προκαλούν τους ανθρώπινους παίκτες, υπάρχει σημαντική ευκαιρία να αναπτυχθούν συστήματα TN που ενισχύουν την αφήγηση, την συναισθηματική εμπλοκή και την πολυπλοκότητα της αφήγησης. Για παράδειγμα, NPCs σχεδιασμένοι να λειτουργούν ως σύντροφοι ή οδηγοί μπορούν να εμπλουτίσουν το βάθος της αφήγησης και την ποιότητα της εμπύθισης των παιχνιδιών. Η μελλοντική έρευνα θα πρέπει να εξερευνήσει αυτούς τους μη ανταγωνιστικούς ρόλους, στοχεύοντας στη δημιουργία TN που υποστηρίζει παρά ανταγωνίζεται τους παίκτες, διευρύνοντας έτσι το πεδίο εφαρμογής τους στα παιχνίδια.

Επιπλέον, η επεκτασιμότητα και η γενίκευση αυτών των υβριδικών μοντέλων TN παραμένουν τομείς που απαιτούν περαιτέρω διερεύνηση. Αν και οι μελέτες δείχνουν αποτελεσματικές εφαρμογές σε συγκεκριμένα περιβάλλοντα παιχνιδιών, η επεκτασιμότητά τους σε μεγαλύτερα και πιο ποικίλα περιβάλλοντα παιχνιδιών δεν είναι πλήρως εδραιωμένη. Οι μέθοδοι των Yoon et al. και Mora et al. χρειάζονται επικύρωση σε διάφορα είδη παιχνιδιών για να εξασφαλίσουν ευρύτερη εφαρμογή. Αυτό περιλαμβάνει δοκιμές σε παιχνίδια ρόλων (RPGs), περιπέτειας και προσομοίωσης, τα οποία έχουν διαφορετική δυναμική και πρότυπα αλληλεπίδρασης παικτών. Η επέκταση της έρευνας σε αυτά τα διάφορα είδη θα βοηθήσει να καθοριστεί η ευελιξία και η ανθεκτικότητα των προτεινόμενων τεχνικών TN.

Οι επιπτώσεις για τη θεωρία και την πρακτική από αυτά τα ευρήματα είναι βαθιές. Θεωρητικά, η ενσωμάτωση παραδοσιακών FSMs με ML και εξελικτικούς αλγόριθμους προάγει την κατανόησή μας για το πώς διαφορετικές τεχνικές TN μπορούν να αλληλοσυμπληρωθούν για να δημιουργήσουν πιο αναπτυγμένες συμπεριφορές παιχνιδιών. Αυτή η υβριδική προσέγγιση γεφυρώνει το χάσμα μεταξύ ντετερμινιστικών και πιθανολογικών μοντέλων, προσφέροντας ένα πλαίσιο που συνδυάζει την προβλεψιμότητα και τον έλεγχο των FSMs με την προσαρμοστικότητα και τις δυνατότητες μάθησης του ML. Πρακτικά, αυτά τα ευρήματα παρέχουν στους προγραμματιστές παιχνιδιών νέα εργαλεία και μεθοδολογίες για να βελτιώσουν το σχεδιασμό των παιχνιδιών. Εφαρμόζοντας προσαρμοστική TN, οι προγραμματιστές μπορούν να δημιουργήσουν πιο ενδιαφέρουσες και εξατομικευμένες εμπειρίες για τους

παίκτες, οι οποίες είναι κρίσιμες για τη διατήρηση του ενδιαφέροντος των παικτών και την επέκταση του κύκλου ζωής των παιχνιδιών.

Ωστόσο, είναι απαραίτητο να αναγνωριστούν οι περιορισμοί αυτής της μελέτης, ιδιαίτερα ο μικρός αριθμός των αναλυμένων μελετών. Η κριτική ανάλυση επικεντρώθηκε σε περιορισμένο αριθμό μελετών, οι οποίες, αν και παρέχουν πολύτιμες γνώσεις, μπορεί να μην αποτυπώνουν πλήρως το φάσμα των προόδων της TN στα παιχνίδια. Αυτό το περιορισμένο μέγεθος δείγματος περιορίζει τη γενίκευση των ευρημάτων και υπογραμμίζει την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα που να περιλαμβάνει ένα ευρύτερο φάσμα μελετών. Επιπλέον, η υπολογιστική ένταση και οι απαιτήσεις πόρων των προτεινόμενων τεχνικών TN θέτουν πρακτικές προκλήσεις για την ευρεία εφαρμογή, ιδιαίτερα σε μικρότερα στούντιο ανάπτυξης παιχνιδιών με περιορισμένους πόρους.

Επιπλέον, η ανάλυση αποκάλυψε ότι ενώ αυτά τα προηγμένα μοντέλα TN ενισχύουν την προσαρμοστικότητα και τη νοημοσύνη των NPCs, εισάγουν επίσης νέες πολυπλοκότητες και πιθανά ζητήματα αξιοπιστίας. Παραδείγματος χάρη, τα μοντέλα που ενισχύονται με μηχανική μάθηση μπορεί να παρουσιάσουν απρόβλεπτες συμπεριφορές, που πιθανό να υπονομεύσουν την πιστότητα και τη συνοχή των ενεργειών των NPCs. Αυτή η απρόβλεπτη συμπεριφορά αποτελεί σημαντική πρόκληση για τους προγραμματιστές που στοχεύουν στη δημιουργία συνεκτικών και εμπυθιστικών κόσμων παιχνιδιού. Επομένως, η μελλοντική έρευνα θα πρέπει να επικεντρωθεί στην ανάπτυξη μεθόδων για τον μετριασμό αυτών των ασυνεπειών, διασφαλίζοντας ότι οι NPCs ενισχυμένοι με ML μπορούν να λειτουργούν αξιόπιστα σε διάφορα σενάρια.

Ένα άλλο κρίσιμο στοιχείο που αναδείχθηκε από την ανάλυση είναι η ανάγκη για ολοκληρωμένες και τυποποιημένες μετρικές αξιολόγησης. Οι μελέτες χρησιμοποιούν ένα μείγμα ποσοτικών και ποιοτικών μετρικών για την αξιολόγηση της απόδοσης των NPCs, υπάρχει όμως έλλειψη στα τυποποιημένα πλαίσια που να μετρούν με συνέπεια τον αντίκτυπο της TN στην εμπειρία του παίκτη και τη δυναμική του παιχνιδιού. Η ανάπτυξη τέτοιων μετρικών θα επιτρέψει πιο αξιόπιστες συγκρίσεις μεταξύ διαφορετικών συστημάτων TN και ειδών παιχνιδιών, ενισχύοντας την εγκυρότητα των ερευνητικών ευρημάτων και παρέχοντας πιο σαφείς κατευθύνσεις τόσο για τους ερευνητές όσο και για τους επαγγελματίες.

7.1 Απαντώντας στα Ερευνητικά Ερωτήματα

Τα ερευνητικά ερωτήματα επικεντρώθηκαν στη δυνατότητα υλοποίησης, την αποτελεσματικότητα και τις επιπτώσεις των προηγμένων τεχνικών TN στην ανάπτυξη παιχνιδιών και έχουν απαντηθεί διεξοδικά. Οι μελέτες δείχνουν ότι η ενσωμάτωση των FSMs με δέντρα απόφασης, ANNs και γενετικούς αλγορίθμους είναι όχι μόνο δυνατή αλλά και αποτελεσματική στη δημιουργία πιο προσαρμοστικών και έξυπνων στοιχείων παιχνιδιού. Αυτά τα υβριδικά μοντέλα ενισχύουν σημαντικά την ανταπόκριση των NPCs και την προσαρμοστικότητα των σεναρίων, αποδεικνύοντας την πρακτική υλοποίηση αυτών των προηγμένων τεχνικών TN.

7.2 Ευρύτερες Επιπτώσεις για τον Τομέα των Βιντεοπαιχνιδιών

Οι ευρύτερες επιπτώσεις αυτών των ευρημάτων επεκτείνονται σε ολόκληρη τη βιομηχανία των βιντεοπαιχνιδιών. Η ενισχυμένη προσαρμοστικότητα και νοημοσύνη των NPCs και των σεναρίων παιχνιδιού μπορούν να επαναστατήσουν στον σχεδιασμό των παιχνιδιών, προσφέροντας πλουσιότερες, πιο εμβαθυμένες εμπειρίες που ανταποκρίνονται δυναμικά στις ενέργειες των παικτών. Αυτή η προσαρμοστικότητα είναι ιδιαίτερα πολύτιμη σε είδη παιχνιδιών που δίνουν προτεραιότητα στην αφήγηση και την εμπλοκή των παικτών, όπως τα RPGs και τα παιχνίδια περιπέτειας. Επιπλέον, η ενσωμάτωση αυτής μπορεί να απλοποιήσει τη διαδικασία ανάπτυξης, μειώνοντας την ανάγκη για χειροκίνητη σχεδίαση συμπεριφορών των NPCs, εξοικονομώντας έτσι χρόνο και πόρους.

7.3 Μελλοντικές Κατευθύνσεις

Η διεύρυνση της εστίασης της μελλοντικής έρευνας για να συμπεριλάβει μη ανταγωνιστικές εφαρμογές TN, η διασφάλιση της επεκτασιμότητας και της γενίκευσης, η βελτιστοποίηση της υπολογιστικής αποδοτικότητας και η ανάπτυξη ολοκληρωμένων μετρικών αξιολόγησης θα είναι ουσιαστικής σημασίας για την προώθηση του τομέα της TN στα παιχνίδια. Εξερευνώντας αυτούς τους τομείς, οι ερευνητές και οι προγραμματιστές μπορούν να δημιουργήσουν πιο ευέλικτα και εξελιγμένα συστήματα TN που ενισχύουν, τόσο την εμπειρία των παικτών, όσο και την πολυπλοκότητα των παιχνιδιών. Αυτές οι προσπάθειες θα συμβάλουν όχι μόνο στη θεωρητική γνώση αλλά και θα προσφέρουν πρακτικές λύσεις για τη δημιουργία πιο εμβαθών, ενδιαφέροντων και ευέλικτων εμπειριών παιχνιδιού.

Συνοψίζοντας, η κριτική ανάλυση αναδεικνύει το μετασχηματιστικό δυναμικό των υβριδικών μοντέλων TN στην ανάπτυξη παιχνιδιών. Αυτά τα μοντέλα προσφέρουν νέες ευκαιρίες για τη δημιουργία πιο προσαρμοστικών, έξυπνων και ενδιαφέροντων NPCs, ενισχύοντας τόσο την εμπειρία των παικτών όσο και την πολυπλοκότητα των παιχνιδιών. Η συζήτηση τονίζει την ανάγκη για συνεχή έρευνα για την αντιμετώπιση των υπάρχοντων κενών, τη βελτιστοποίηση της υπολογιστικής αποδοτικότητας και την ανάπτυξη ολοκληρωμένων μετρικών αξιολόγησης. Εξερευνώντας αυτά τα κενά, οι ερευνητές και οι προγραμματιστές μπορούν να ξεκλειδώσουν το πλήρες δυναμικό της TN στην επανάσταση της βιομηχανίας των παιχνιδιών, δημιουργώντας πιο εμβαθυμένες και ενδιαφέρουσες εμπειρίες για τους παίκτες παγκοσμίως, ανεξαρτήτως του είδους παιχνιδιού.

8. Συμπέρασμα

Αυτή η διατριβή εξερεύνησε την ενσωμάτωση παραδοσιακών μηχανών πεπερασμένων καταστάσεων (FSMs) με σύγχρονες τεχνικές TN, όπως δέντρα απόφασης (DT), τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (ANNs) και γενετικούς αλγόριθμους (EA), για να ενισχύσει την προσαρμοστικότητα και τη νοημοσύνη των non-playable χαρακτήρων (NPCs) και των περιβαλλόντων παιχνιδιού. Μέσω μιας κριτικής ανάλυσης των μεθοδολογιών που προτάθηκαν από τους Yoon et al. (2007), Mora et al. (2014) και Arif et al. (2023), η μελέτη αυτή έχει προσφέρει σημαντικές γνώσεις σχετικά με τη δυνατότητα υλοποίησης, την αποτελεσματικότητα και τις ευρύτερες επιπτώσεις αυτών των υβριδικών μοντέλων.

Τα ευρήματα δείχνουν ότι ο συνδυασμός FSMs με προηγμένες τεχνικές TN είναι μια βιώσιμη και αποτελεσματική προσέγγιση για τη δημιουργία πιο ανταποκρινόμενων και δυναμικών στοιχείων παιχνιδιού. Αυτή η ενσωμάτωση επιτρέπει στους NPCs να μαθαίνουν και να εξελίσσονται βάση των δεδομένων των παικτών σε πραγματικό χρόνο, οδηγώντας σε πιο ελκυστικές και απρόβλεπτες εμπειρίες παιχνιδιού. Οι πρακτικές συνεισφορές αυτών των μελετών όπως αναφέρθηκε προσφέρουν στους προγραμματιστές παιχνιδιών καινοτόμα εργαλεία και μεθοδολογίες για τη βελτίωση του σχεδιασμού των παιχνιδιών, ενώ οι θεωρητικές συνεισφορές προάγουν την κατανόησή μας για το πώς μπορούν να αλληλοσυμπληρώνονται διαφορετικές τεχνικές TN για την παραγωγή εξελιγμένων συμπεριφορών NPCs.

Ωστόσο, η έρευνα έχει επίσης εντοπίσει αρκετά κενά και προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Τα περιορισμένα μεγέθη δειγμάτων και η εστίαση σε συγκεκριμένα πλαίσια παιχνιδιών υπογραμμίζουν την ανάγκη για ευρύτερη εξερεύνηση και επικύρωση αυτών των υβριδικών μοντέλων σε διάφορα είδη παιχνιδιών. Επιπλέον, οι υπολογιστικές απαιτήσεις και η πιθανή απρόβλεπτη φύση αυτών των τεχνικών TN θέτουν πρακτικές προκλήσεις που απαιτούν περαιτέρω έρευνα και βελτιστοποίηση.

Η βιβλιογραφική αυτή εργασία παρόλο που δεν προσφέρει καινούρια εμπειρικά δεδομένα, πιστεύω ότι συνεισφέρει στον ευρύτερο τομέα των βιντεοπαιχνιδιών πάνω στην TN. Συνθέτει υπάρχουσες έρευνες σχετικά με τις υβριδικές τεχνικές που αναλύθηκαν, παρέχοντας μια ολοκληρωμένη επισκόπηση των τρεχόντων τεχνικών και τάσεων. Τονίζει στους αναγνώστες τους τομείς στους οποίους υστερεί η έρευνα, θέτοντας το υπόβαθρο για μελλοντικές μελέτες. Επίσης, προσφέρει λεπτομερή ανάλυση των πρακτικών εφαρμογών, η οποία αποτελεί χρήσιμο εργαλείο για τους προγραμματιστές που ενδιαφέρονται να χρησιμοποιήσουν τέτοιες υβριδικές προσεγγίσεις στις εφαρμογές τους. Τέλος, ενθαρρύνει την περαιτέρω διερεύνηση του θέματος υπογραμμίζοντας τα πιθανά οφέλη συνδυασμού των τεχνικών αυτών ή γενικότερα των υβριδικών τεχνικών.

Καταλήγοντας, αυτή η διατριβή υπογραμμίζει το μετασχηματιστικό δυναμικό των υβριδικών μοντέλων TN στη βιομηχανία των βιντεοπαιχνιδιών. Με την αντιμετώπιση των αναγνωρισμένων ερευνητικών κενών και την συνεχιζόμενη εξερεύνηση καινοτόμων ενσωματώσεων TN, οι ερευνητές και οι

προγραμματιστές μπορούν να δημιουργήσουν πιο εμπυθιστικές, προσαρμοστικές και ενδιαφέρουσες εμπειρίες παιχνιδιού. Οι πρόοδοι στην ΤΝ των παιχνιδιών όχι μόνο ενισχύουν την ικανοποίηση των παικτών, αλλά και ωθούν τα όρια του τι μπορούν να επιτύχουν τα παιχνίδια, ανοίγοντας το δρόμο για το μέλλον της διαδραστικής ψυχαγωγίας.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ

| ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΟΣ ΟΡΟΣ | ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΟΡΟΣ |
|-------------------------------|---|
| Videogames | Βιντεοπαιχνίδια |
| Artificial Intelligence | Τεχνητή Νοημοσύνη |
| Machine Learning | Μηχανική Μάθηση |
| Intelligent Agents | Ευφυείς Πράκτορες |
| Finite State Machine | Μηχανή Πεπερασμένης Κατάστασης |
| Rule Based System | Συστήματα Βασισμένα σε Κανόνες |
| Deployment | Ανάπτυξη |
| Debugging | Απασφαλμάτωση |
| Non-Playable Character | Χαρακτήρες που δεν Παίζονται |
| Bot | Μποτ |
| Gamers | Παίκτες |
| Enrich | Εμπλούτιση |
| Immersion | Εμβύθιση |
| Player Experience | Εμπειρία του Παίκτη |
| Prescripted Reactive Behavior | Προ-προγραμματισμένη Αντιδραστική Συμπεριφορά |
| Stealth | Μη Αντιληπτός |
| Patrol | Περιπολία |
| Chase | Κυνήγι |
| Shoot | Πυροβολώ |
| Processes | Διαδικασίες |
| Planning | Σχεδιασμός |
| Difficulty Level | Επίπεδο Δυσκολίας |
| Conditional Statement | Σύστημα Δηλώσεων υπό Όρους |
| Gameplay Experience | Εμπειρία Παιχνιδιού |
| Tense | Τεταμένο |
| Combat Experience | Εμπειρία Μάχης |
| Physics | Φυσική |
| Goal Oriented Action Planning | Σχεδιασμός Δράσης με βάση τους Στόχους |
| Immersive Game Worlds | Καθηλωτικοί Κόσμοι Παιχνιδιού |
| Feedback | Ανατροφοδότηση |
| Player Engagement | Εμπλοκή του Παίκτη |
| Implementation | Υλοποίηση |
| Learning Curve | Κύκλος Μάθησης |
| Casual Players | Κάζουαλ Παίκτες |
| Testing | Δοκιμή |
| Resource Intensive | Περίπλοκη και Απαιτητική |
| Responsiveness | Αναπόκριση |
| Actions | Ενέργειες |
| Replayability | Επαναληψιμότητα του Παιχνιδιού |
| Replay | Ξαναπαίζω |
| Emergent System | Αναδυόμενο Σύστημα |

| | |
|--|---|
| Advancements | Εξελίξεις |
| Automata | Αυτομάτων |
| Triggers | Κριτήρια Ενεργοποίησης |
| Patterns | Μοτίβα |
| Modelling | Μοντελοποίηση |
| Transition | Μετάβαση |
| State | Κατάσταση |
| Alert | Επιφυλακή |
| Fight | Μάχη |
| View Range | Πεδίο Οράσεως |
| Responsive | Αναπόκριση |
| Interactive | Διαδραστικό |
| Hierarchical Finite State Machine | Ιεραρχική Μηχανή Πεπερασμένης Κατάστασης |
| Nesting | Εμφώλευση |
| Multi-Layer | Πολυεπίπεδη |
| Maintenance | Συντήρηση |
| Fuzzy Finite State Machine | Ασαφής Μηχανή Πεπερασμένης Κατάστασης |
| Degree of Membership | Βαθμός Συμμετοχής |
| Nuanced | Αληθοφανής |
| Compact Based Hierarchical State Machine | Μηχανή Ιεραρχικής Κατάστασης Βασιζόμενη σε Στοιχεία |
| Modular | Αρθροποίηση |
| Classes | Κλάσεις |
| Asynchronous Event Driven System | Ασύγχρονο Σύστημα Βασισμένο σε Γεγονότα |
| In-game | Εντός Παιχνιδιού |
| Situations | Καταστάσεις |
| Real-time | Πραγματικού Χρόνου |
| State Explosion | Έκρηξη Καταστάσεων |
| Re-entering | Επανασύνδεση |
| Compile | Μεταγλώττιση |
| Recompile | Αναμεταγλώττιση |
| Project | Πρότζεκτ |
| Containers | Κοντέινερ (Δοχείο) |
| Output | Εκροή - Έξοδος |
| Input | Εισροή – Είσοδος |
| Play Testing | Δοκιμή Παιχνιδιού |
| Content Generation | Αναπαραγωγή Υλικού |
| Map Generation | Αναπαραγωγή Πεδίου |
| Agent | Πράκτορας |
| Supervised Learning | Επιβλεπόμενη Μάθηση |
| Unsupervised Learning | Μη Επιβλεπόμενη Μάθηση |
| Deep Learning | Βαθιά Μάθηση |
| Reinforcement Learning | Ενισχυτική Μάθηση |
| Hybrid Learning | Υβριδική Μάθηση |
| Labels | Ετικέτες |
| Labeled | Επισημασμένο |
| Answers | Απαντήσεις |
| Rewards | Ανταμοιβές |
| Artificial Neural Network | Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο |
| Image Recognition | Αναγνώριση Εικόνας |
| Speech Recognition | Αναγνώριση Ομιλίας |
| Immersive | Καθηλωτικό |
| Deep Q-Network | Βαθύ Q Δίκτυο |
| Arcade Games | Αρκέιντ Παιχνίδια |

| | |
|---|---|
| Pixels | Πίξελς |
| First Person Shooter | Παιχνίδια Πρώτου Προσώπου |
| Deep Reinforcement Learning | Βαθιά Ενισχυτική Μάθηση |
| Asynchronous Advantage Actor Critic - Algorithm | Ασύγχρονος Αλγόριθμος Πλεονεκτικού Κριτή - Ηθοποιού |
| Real Time Strategy | Παιχνίδια Στρατηγικής Πραγματικού Χρόνου |
| Multiplayer Online Battle Arena | Διαδικτυακή Αρένα Μάχης Πολλών Παικτών |
| Hierarchical Reinforcement Learning | Ιεραρχική Ενισχυτική Μάθηση |
| Imitation Learning | Μιμητική Μάθηση |
| Open World Game | Παιχνίδια Ανοιχτού Κόσμου |
| Mapping | Χαρτογράφηση |
| Deep Neural Network | Βαθύ Νευρωνικό Δίκτυο |
| Self-play | Αυτό-παιχνίδι |
| Raw Input | Ακατέργαστη Είσοδος |
| Playstyle | Στυλ Παιχνιδιού |
| Routines | Ρουτίνες |
| Graphics Processing Units | Κάρτες Γραφικών |
| Solo Programmers | Προγραμματιστές που Δουλεύουν Μόνοι τους |
| Computational | Υπολογιστικό |
| Black Box | Μαύρα Κουτιά |
| Fine-tuning | Λεπτομερή Ρύθμιση |
| Entry Barrier | Εμπόδιο Εισόδου |
| Studio | Στούντιο |
| Decision Tree | Δέντρο Απόφασης |
| Dynamic Finite State Machine | Δυναμική Μηχανή Πεπερασμένης Κατάστασης |
| Evolutionary | Εξελικτικό |
| Metrics | Μετρικές |
| Evolutionary Finite State Machine | Εξελικτική Μηχανή Πεπερασμένης Κατάστασης |
| Mono-seed | Μονός Σπόρος |
| Multi-seed | Πολλαπλός Σπόρος |
| Mutations | Μεταλλάξεις |
| Comprehensive Fitness | Συνολική Καταλληλότητα |
| Levels | Επίπεδα |
| Serious Games | Εκπαιδευτικά Παιχνίδια |
| Backpropagation | Οπισθοδιάδοση |
| Feedforward | Πρωθητική Τροφοδοσία |
| Score | Βαθμολογία – Σκορ |
| Queries | Ερωτήματα |
| Web Scrappers | Διαδικτυακός Συλλέκτης |
| Artificial Intelligence Generated | που δημιουργήθηκε από Τεχνητή Νοημοσύνη |
| Boolean | Λογική Τιμή |
| AND | ΚΑΙ |
| OR | Ή |
| Etcetera | Και τα Λοιπά |
| Cloud | Σύννεφο (κλάουντ) |
| Noisy | Θορυβώδης |
| Genetic Algorithms | Γεννητικός Αλγόριθμος |
| Evolutionary Algorithms | Εξελικτικός Αλγόριθμος |
| Over-fitting | Υπερ-προσαρμογή |
| Component | Στοιχείο |
| Min-max Normalization | Ελάχιστη – Μέγιστη Κανονικοποίηση |
| Accuracy | Ευστοχία |
| Precision | Ακρίβεια |
| Recall | Ανάκληση |

| | |
|------------------------|--------------------------------|
| Role Playing Games | Παιχνίδια Ρόλων |
| Multi-Layer Perceptron | Πολυεπίπεδο Νευρωνικό Δίκτυο |
| Insights | Πληροφορίες – Γνώσεις - Πτυχές |
| Simulation | Προσομοίωση |

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΚΡΩΝΥΜΩΝ

| | |
|----------|---|
| TN | Τεχνητή Νοημοσύνη |
| ML | Machine Learning |
| FSM | Finite State Machine |
| NPC | Non-Playable Character |
| ΑΣ | Προ-προγραμματισμένη Αντιδραστική Συμπεριφορά |
| GOAP | Goal Oriented Action Planning |
| HFSM | Hierarchical Finite State Machine |
| FFSM | Fuzzy Finite State Machine |
| DoM | Degree of Membership |
| CB – HSM | Compact Based Hierarchical State Machine |
| AEDS | Asynchronous Event Driven System |
| SL | Supervised Learning |
| UL | Unsupervised Learning |
| DL | Deep Learning |
| RL | Reinforcement Learning |
| HL | Hybrid Learning |
| ANN | Artificial Neural Network |
| DQN | Deep Q Network |
| FPS | First Person Shooter |
| DRL | Deep Reinforcement Learning |
| A3C | Asynchronous Advantage Actor Critic |
| RTS | Real-time Strategy |
| MOBA | Multiplayer Online Battle Arena |
| HRL | Hierarchical Reinforcement Learning |
| IL | Imitation Learning |
| DNN | Deep Neural Network |
| GPU | Graphics Processing Unit |
| DT | Decision Tree |
| D – FSM | Dynamic Finite State Machine |
| EFSM | Evolutionary Finite State Machine |
| MonoS | Mono-Seed |
| MultiS | Multi-Seed |
| PS | Play Station |
| PSP | Play Station Portable |
| GA | Genetic Algorithm |
| EA | Evolutionary Algorithm |
| RPG | Role Playing Game |
| MLP | Multi-Layer Perceptron |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1 Παράδειγμα ΑΣ (πηγή [εικόνας](#)).

Εικόνα 2.1 Παράδειγμα απλού FSM

Εικόνα 2.2.1 Παράδειγμα HFSM από το βιβλίο του Ian Millington (2006).

Εικόνα 2.2.2 Παράδειγμα HFSM από το βιβλίο του Ian Millington (2006).

Εικόνα 2.2.3 Παράδειγμα CB-HSM από την έρευνα των Hu et al. στο έργο τους “Component-Based Hierarchical State Machine - A Reusable and Flexible Game AI Technology” (2011).

Εικόνα 6.1.2.1 Περιγράφει τις υπολογιστικές δαπάνες, από την έρευνα των Mora et al. (2014)

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1 Σύντομη περίληψη των τριών κύριων στοιχείων μιας FSM.

Βιβλιογραφία:

- Arif, Y., Nurhayati, H., Karami, A., Nugroho, F., Kurniawan, F., Rasyid, H., Aini, Q., Diah, N., & Garcia, M. (2023). An artificial neural Network-Based finite state machine for adaptive scenario selection in serious game. *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, 16(5), 488–500. <https://doi.org/10.22266/ijies2023.1031.42>
- Berner, C., Brockman, G., Chan, B., Cheung, V., Debiak, P., Dennison, C., Farhi, D., Fischer, Q., Hashme, S., Hesse, C., Józefowicz, R., Gray, S., Olsson, C., Pachocki, J.W., Petrov, M., Pinto, H.P., Raiman, J., Salimans, T., Schlatter, J., Schneider, J., Sidor, S., Sutskever, I., Tang, J., Wolski, F., & Zhang, S. (2019). Dota 2 with Large Scale Deep Reinforcement Learning. ArXiv, abs/1912.06680.
- Budnyk, R., & Yakovyna, V. (2023). Machine learning methods for control of non-playable characters behaviour in multiplayer RPG. *Visnik Nacional'nogo Universitetu "L'vivs'ka Politehnika". Seriâ Informacijni Sistemi Ta Mereži*, 13, 79–92. <https://doi.org/10.23939/sisn2023.13.079>
- Buckland, M. (2005). *Programming game AI by example*. Wordware Pub.
- Dawe, M., Gargolinski, S., Dicken, L., Humphreys, T., & Mark, D. (2014). Behavior Selection Algorithms. In S. Rabin (Ed.), *Game AI Pro Collected Wisdom of Game AI Professionals*. CRC Press <https://doi.org/10.1201/b16725>
- García-Sánchez, P. (2019). Georgios N. Yannakakis and Julian Togelius: *Artificial Intelligence and Games*: Springer, 2018, Print ISBN: 978-3-319-63518-7, Online ISBN: 978-3-319-63519-4, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-63519-4>. *Genetic Programming and Evolvable Machines*, 20(1), 143–145. <https://doi.org/10.1007/s10710-018-9337-0>
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT Press.
- Hu, W., Zhang, Q., & Mao, Y. (2011). Component-based hierarchical state machine — A reusable and flexible game AI technology. 2011 6th IEEE Joint International Information

Technology and Artificial Intelligence Conference, 319–324.

<https://doi.org/10.1109/ITAIC.2011.6030340>

- Johnson, M., Hofmann, K., Hutton, T., & Bignell, D. (2016). The Malmo platform for artificial intelligence experimentation. International Joint Conference on Artificial Intelligence, 4246–4247. <https://www.microsoft.com/en-us/research/wp-content/uploads/2016/07/johnson-malmo-platform-camera-ready.pdf>
- Justesen, N., Bontrager, P., Togelius, J., & Risi, S. (2020). Deep learning for video game playing. IEEE Transactions on Games, 12(1), 1–20. <https://doi.org/10.1109/tg.2019.2896986>
- Larsson, M., & Örnquist, W. (2022). Viability of Machine Learning for enemies in Video Games. <https://gameresearch.blogs.dsv.su.se/game-related-ba-and-ma-theses-from-dsv/viability-of-machine-learning-for-enemies-in-video-games-ba-thesis/>
- Millington, I. (2006). Artificial intelligence for games. Elsevier.
- Millington, I., & Funge, J. D. (2009). Artificial intelligence for games (2nd ed). Morgan Kaufmann/Elsevier.
- Mora, A. M., Merelo, J. J., García-Sánchez, P., Castillo, P. A., Rodríguez-Domingo, M. S., & Hidalgo-Bermúdez, R. M. (2014). Creating autonomous agents for playing Super Mario Bros game by means of evolutionary finite state machines. Evolutionary Intelligence, 6(4), 205–218. <https://doi.org/10.1007/s12065-014-0105-7>
- Murphy, K. P. (2012). Machine Learning: A Probabilistic Perspective. <http://cds.cern.ch/record/1981503>
- Orkin, J. (2008). Applying Goal-Oriented Action Planning to Games.
- Peléki, A. (2016). Serious Games και Εκπαίδευση [Master's thesis, Πανεπιστήμιο Αιγαίου] <https://hellanicus.lib.aegean.gr/handle/11610/22596>
- Spronck, P., Ponsen, M., Sprinkhuizen-Kuyper, I., & Postma, E. (2006). Adaptive game AI with dynamic scripting. Machine Learning, 63(3), 217–248. <https://doi.org/10.1007/s10994-006-6205-6>
- Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018). Reinforcement Learning, second edition: An Introduction. MIT Press.
- Sweetser, P., & Wiles, J. (2005). Scripting versus Emergence: Issues for Game Developers and Players in Game Environment Design. International Journal of Intelligent Games & Simulation, 4, 1-9.
- Yoon, T. B., Park, K. H., Lee, J. H., & Lee, K. M. (2007). User adaptive game characters using decision trees and FSMs. In Lecture notes in computer science (pp. 972–981). https://doi.org/10.1007/978-3-540-72830-6_103

Βιβλιογραφία Παιχνιδιών:

- Bethesda Game Studios. (2011). *The Elder Scrolls V: Skyrim* [Video game]. Bethesda Softworks. Microsoft Windows.
- Valve Corporation. (2013). *Dota 2* [Video game]. Valve Corporation. Microsoft Windows.

- Blizzard Entertainment. (2010). StarCraft II: Wings of Liberty [Video game]. Blizzard Entertainment. Microsoft Windows.
- Mojang Studios. (2011). Minecraft [Video game]. Mojang Studios. Microsoft Windows.