



Πανεπιστήμιο Πειραιώς – Τμήμα Πληροφορικής

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Προηγμένα Συστήματα Πληροφορικής»

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Τίτλος Διατριβής	Τεχνητή Οικονομία σε ένα Ευφυές Εικονικό Περιβάλλον Artificial Economy in an Intelligent Virtual Environment
Όνοματεπώνυμο Φοιτητή	Άγγελος Αναστάση
Πατρώνυμο	Ανδρέας
Αριθμός Μητρώου	ΜΠΣΠ/11064
Επιβλέπων	Θεμιστοκλής Παναγιωτόπουλος, Καθηγητής

Ημερομηνία Παράδοσης **Ιούνιος 2015**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

(υπογραφή)

(υπογραφή)

(υπογραφή)

Θεμιστοκλής Παναγιωτόπουλος
Καθηγητής

Γεώργιος Τσιχριντζής
Καθηγητής

Δημήτριος Αποστόλου
Επίκουρος
Καθηγητής

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη.....	7
Abstract	7
1 Μοντελοποίηση	8
1.1 Εισαγωγή	8
1.2 Τύποι μοντέλων	10
1.2.1 Φυσικά μοντέλα.....	10
1.2.2 Εννοιολογικά μοντέλα	10
1.2.3 Μαθηματικά ή αναλυτικά μοντέλα	11
1.2.4 Υπολογιστικά μοντέλα	11
1.3 Ταξινόμηση μαθηματικών μοντέλων	11
2 Προσομοίωση με χρήση Η/Υ.....	12
2.1 Εισαγωγή	13
2.2 Πλεονεκτήματα της υπολογιστικής προσομοίωσης	13
2.2.1 Πειραματισμός σε μικρότερο χρόνο.....	13
2.2.2 Μειωμένες αναλυτικές απαιτήσεις	14
2.2.1 Εύκολα παρουσιάσιμα μοντέλα	14
2.3 Μειονεκτήματα της υπολογιστικής προσομοίωσης.....	15
2.3.1 Ανακριβή αποτελέσματα σε ανακριβή δεδομένα εισόδου ...	15
2.3.2 Αδυναμία εύκολων απαντήσεων σε σύνθετα προβλήματα ..	15
2.3.3 Η προσομοίωση δεν λύνει προβλήματα από μόνη της.....	16
2.4 Άλλα θέματα	16
2.4.1 Απαίτηση εξειδικευμένης εκπαίδευσης	16
2.4.2 Δαπανηρή μοντελοποίηση και ανάλυση προσομοιώσεων....	17
2.4.3 Πολλές στατιστικές	17

3	Ευφυείς πράκτορες	18
3.1	Εισαγωγή	18
3.2	Χαλαρή θεώρηση	18
3.3	Ισχυρή θεώρηση.....	19
3.4	Κατηγορίες περιβαλλόντων	20
4	Μακροοικονομικά μοντέλα	22
4.1	Μικροοικονομία και μακροοικονομία	22
4.2	Μακροοικονομικά μοντέλα	23
4.2.1	Τύποι μακροοικονομικών μοντέλων	24
4.2.2	Απλά θεωρητικά μοντέλα.....	24
4.2.3	Εμπειρικά προγνωστικά μοντέλα	25
4.2.4	Κριτική στα εμπειρικά προγνωστικά μοντέλα.....	26
4.3.1	Δυναμικά στοχαστικά μοντέλα γενικής ισορροπίας	28
4.2.5	Υπολογιστικά μοντέλα γενικής ισορροπίας.....	29
4.2.6	Υπολογιστικά οικονομικά με τη χρήση ευφυών πρακτόρων .	29
4.2.7	Σύγκριση των μοντέλων DSGE και ACE.....	30
4.3	Εμβάθυνση στη μεθοδολογία ACE	30
5	Unity.....	33
5.1	Εισαγωγή	33
5.2	Editor	34
5.3	API	35
6	Περιγραφή του εικονικού κόσμου	36
6.1	Κόσμος.....	36
6.2	Ευφυείς πράκτορες	36
6.2.1	Γενικά	36
6.2.2	Σύστημα λήψης αποφάσεων	37

6.2.3	Υλοποίηση αποφάσεων	38
6.2.4	Κύκλος ζωής	39
6.3	Κέντρο εμπορίου	39
7	Εφαρμογή	40
7.1	Εκκίνηση	40
7.2	UI	40
7.3	3D περιβάλλον	44
	Βιβλιογραφία.....	45

Περίληψη

Σε αυτήν την μεταπτυχιακή διατριβή δημιουργούμε έναν ευφυή εικονικό κόσμο που δίνει υπόσταση σε μια τεχνητή οικονομία. Ο εικονικός κόσμος κατοικείται από ευφυείς πράκτορες, οι οποίοι προκειμένου να ικανοποιήσουν κάποιες ανάγκες τους και χρησιμοποιώντας ένα ιεραρχικό σύστημα στόχων, επιδίδονται σε συλλογή πόρων από το περιβάλλον, μεταποίηση και αγοραπωλησία αυτών.

Το μοντέλο προσομοίωσης αυτό, στηριζόμενο στις βασικές αρχές που διέπουν τις οικονομικές και εμπορικές σχέσεις που παρατηρούνται στις συναλλαγές, κατορθώνει να αποδώσει τη δυναμική μιας πραγματικής μικροοικονομίας, ενώ παράλληλα εμβαθύνει στην προσέγγιση των ευφυών πρακτόρων που ενεργούν βάσει των αναγκών τους αλλά και βάσει των στόχων τους.

Abstract

In this thesis, we create an intelligent virtual world that gives substance to an artificial economy. The virtual world is populated by intelligent agents, who in order to satisfy their needs, and by using a hierarchical goal system, are engaged in collecting resources from the environment, processing and trading them.

This simulation model, based on the fundamental principles concerning economic and commercial relationships observed in transactions, manages to convey the dynamics of an actual microeconomy, while deepening the approach of intelligent agents acting on the basis of fulfilling their needs and achieving their objectives.

1 Μοντελοποίηση

1.1 Εισαγωγή

Ένα μοντέλο είναι μια απλοποιημένη, αφαιρετική αναπαράσταση της πολύπλοκης πραγματικότητας, ένα υποκατάστατο ενός πραγματικού συστήματος.^[i] Το **σύστημα**, το αντιλαμβανόμαστε ως ένα άθροισμα μερών που αλληλεπιδρούν και αλληλοεξαρτώνται, σχηματίζοντας ένα ενοποιημένο σύνολο.^[ii]

Παραδείγματα συστημάτων:

- Μια βιομηχανία με μηχανές, ανθρώπους, συσκευές και ιμάντες μεταφοράς και αποθηκευτικούς χώρους.
- Ένας ανθρώπινος ή άλλος βιολογικός οργανισμός, μονοκύτταρος ή πολυκύτταρος, με λειτουργίες ανάπτυξης, αναπαραγωγής, μεταβολισμού, και διατήρησης της ομοιόστασης του.
- Μια τραπεζική λειτουργία ή κάποια άλλη λειτουργία που βασίζεται σε προσωπικές υπηρεσίες, με διάφορα είδη πελατών, εξυπηρετητών και μέσων, όπως τα αυτόματα μηχανήματα ανάληψης μετρητών (ΑΤΜ) και τα χρηματοκιβώτια.
- Το ηλιακό σύστημα με τον ήλιο, τους πλανήτες που περιστρέφονται γύρω του σε κυκλική τροχιά και άλλα αστρονομικά αντικείμενα που περιλαμβάνονται σε αυτό.
- Ένα δίκτυο διανομής που αποτελείται από βιομηχανικές εγκαταστάσεις, αποθήκες εμπορευμάτων, και συνδέσμους μεταφοράς.
- Μια πτέρυγα εκτάκτων περιστατικών σε ένα νοσοκομείο, συμπεριλαμβανομένου του προσωπικού, των δωματίων, του εξοπλισμού, των προμηθειών και των μεταφορών ασθενών.
- Ένα δίκτυο υπολογιστών με εξυπηρετητές, πελάτες, μονάδες δίσκου, εκτυπωτές, ικανότητες διασύνδεσης, και χειριστές.
- Ένα σύστημα οδικών τμημάτων, κυκλοφοριακών κόμβων, φωτεινών σηματοδοτών και τροχαίας κίνησης.
- Ένα κράτος με κάποια μορφή διακυβέρνησης και διάφορους εκτελεστικούς μηχανισμούς.
- Ένα τμήμα αιτήσεων μιας εταιρίας, όπου πολλά έντυπα παραλαμβάνονται, αξιολογούνται, αντιγράφονται, αρχειοθετούνται, και ταχυδρομούνται από ανθρώπους και μηχανές.
- Ένα δικαστικό σύστημα που αποτελείται από δικαστήρια, δικαστές, συνηγόρους, εισαγγελείς, αστυνομικούς επιτήρησης, κατηγορούμενους, ενάγοντες κ.α.
- Βιομηχανικές εγκαταστάσεις χημικών προϊόντων με δεξαμενές αποθήκευσης, μεταλλικούς αγωγούς, χημικούς αντιδραστήρες και βυτιοφόρα βαγόνια, με τα οποία αποστέλλονται τα ολοκληρωμένα προϊόντα.

- Ένα ταχυεστιατόριο με εργαζομένους σε διάφορες θέσεις, πελάτες, εξοπλισμό, και προμήθειες.
- Μια κοινότητα με τους ανθρώπους που την αποτελούν, τις μεταξύ τους σχέσεις και την κοινωνική δομή την οποία έχουν δημιουργήσει.
- Ένα σουπερ μάρκετ με διαχείριση αποθεμάτων, αυτόματες ταμειακές μηχανές και εξυπηρέτηση πελατών.
- Ένα πάρκο αναψυχής με εγκαταστάσεις για ψυχαγωγικές δραστηριότητες, καταστήματα, εστιατόρια, εργαζομένους, φιλοξενούμενους και χώρους στάθμευσης.
- Ένα μόριο με τα άτομα που το αποτελούν, τους χημικούς δεσμούς με τους οποίους αυτά συγκρατούνται μεταξύ τους και τις ιδιότητες τις οποίες έχει.
- Η ανταπόκριση προσωπικού έκτακτης ανάγκης σε περίπτωση ενός καταστροφικού γεγονότος.

Σε γενικές γραμμές οτιδήποτε τόσο μεγάλο όσο ένας γαλαξίας ή τόσο μικρό όσο ένας μικροοργανισμός μπορούν να θεωρηθούν συστήματα. Εάν ένα μοντέλο θεωρείται καλό ή όχι εξαρτάται από το βαθμό στον οποίο προωθεί την κατανόηση του πραγματικού συστήματος.

Τα μοντέλα χρησιμοποιούνται όταν είναι ευκολότερο να χειριστεί κάποιος το υποκατάστατο, παρά το ίδιο το αναπαριστώμενο σύστημα. Το σχέδιο ενός αρχιτέκτονα, η αεροδυναμική σήραγγα ενός μηχανικού, τα γραφήματα ενός οικονομολόγου· όλα αυτά αποτελούν μοντέλα. Αποτελούν κάποια άποψη ενός πραγματικού συστήματος – ενός κτιρίου, ενός αεροσκάφους ή της οικονομίας ενός κράτους. Είναι χρήσιμα όταν μας βοηθούν να μάθουμε κάτι καινούργιο για τα συστήματα τα οποία αναπαριστούν, είτε αυτό είναι ο τρόπος λειτουργίας τους ή η συμπεριφορά που θα έχουν σε κάποιες υποθετικές καταστάσεις.

Δεδομένου ότι όλα τα μοντέλα είναι απλοποιήσεις της πραγματικότητας, όταν επιλέγεται το επίπεδο λεπτομέρειας του μοντέλου, υπάρχει πάντα μια ανταλλαγή ενός πλεονεκτήματος με ένα άλλο (trade-off). Εάν το μοντέλο δεν είναι πολύ λεπτομερές, υπάρχει ο κίνδυνος να μη γίνουν αντιληπτές από κάποιον οι σχετικές αλληλεπιδράσεις και το μοντέλο που θα προκύψει να μην ευνοεί την κατανόηση του συστήματος. Εάν δοθεί στο μοντέλο πολύ μεγάλη λεπτομέρεια, μπορεί αυτό να γίνει υπερβολικά περίπλοκο και στην πραγματικότητα να εμποδίζει την κατανόηση.^[iii]

Η μοντελοποίηση απαιτεί λοιπόν αφαιρετικότητα και απλοποίηση. Μάλιστα, αν κάθε άποψη του υπό μελέτη συστήματος έπρεπε να αναπαραχθεί στην παραμικρή λεπτομέρεια, τότε το κόστος κατασκευής του μοντέλου μπορεί να πλησίαζε αυτό του μοντελοποιημένου συστήματος και ως εκ τούτου θα εκμηδένιζε εξαρχής την ανάγκη δημιουργίας μοντέλου. Σε αυτήν την περίπτωση, ο σχεδιαστής ή θα χρησιμοποιούσε απλά το «πραγματικό» σύστημα ή θα έπρεπε να κατασκευάσει ένα πειραματικό, αν δεν υπήρχε ήδη· μια δαπανηρή και ανιαρή πρόταση. Τα μοντέλα, συνήθως, κατασκευάζονται ακριβώς για να αποφευχθεί αυτή η δυσάρεστη επιλογή. Πιο συγκεκριμένα, ενώ η μοντελοποίηση έχει, εν τέλει, οικονομικά κίνητρα, μπορούμε να διακρίνουμε και διάφορα άλλα κίνητρα:

Η απόδοση του συστήματος κάτω από συνηθισμένα και ασυνήθιστα σενάρια, μπορεί να αξιολογηθεί:

Ένα μοντέλο μπορεί να αποτελεί μια αναγκαιότητα, εάν η λειτουργία ρουτίνας του πραγματικού συστήματος που μελετάται, δεν μπορεί να διακοπεί χωρίς σοβαρές συνέπειες (π.χ. επιχειρώντας μια αναβάθμιση μιας γραμμής παραγωγής στη μέση της διεκπεραίωσης παραγγελιών από πελάτες, έχοντας αυστηρές προθεσμίες). Σε άλλες περιπτώσεις, το ακραίο σενάριο ενός μοντέλου που πρέπει να αποφευχθεί πάση θυσία (π.χ. η μοντελοποίηση ενός ελιγμού αποφυγής συντριβής για επανδρωμένα αεροσκάφη ή ενός ατυχήματος σε έναν πυρηνικό αντιδραστήρα).

Μπορεί να προβλεφθεί η απόδοση μοντέλων πειραματικών συστημάτων:

Όταν το προαπαιτούμενο σύστημα δεν υπάρχει ακόμα, η δημιουργία του μοντέλου (και ο χειρισμός) είναι πολύ φτηνότερη (και ασφαλέστερη) από το να κατασκευάζεις το πραγματικό σύστημα ή ακόμα και το πρωτότυπο μοντέλο του. Ιστορίες εμφανίζονται περιοδικά στα MME για πρότζεκτς που βεβαιωμένα μπήκαν στη φάση της υλοποίησης, χωρίς την κατάλληλη επαλήθευση της επάρκειας του σχεδίου τους, απλά για να ανακαλυφθεί στη συνέχεια ότι το σύστημα, σε μικρό ή μεγάλο βαθμό, ήταν ελαττωματικό.

Μπορεί να γίνει κατάταξη των διαφόρων σχεδίων και ανάλυση των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων τους:

Αυτή η περίπτωση συσχετίζεται με την προηγούμενη, με τη διαφορά ότι το οικονομικό κίνητρο είναι ακόμα μεγαλύτερο. Προκύπτει συχνά όταν ένα ακριβό σύστημα (με λεπτομερείς προδιαγραφές) πραγματοποιείται από αυτόν που προσφέρει την καλύτερη σχέση κόστους-οφέλους.

1.2 Τύποι μοντέλων

Τα μοντέλα που αναπτύσσουν οι επιστήμονες έχουν πολλές διαφορετικές μορφές: ^{[i][iii]}

1.2.1 Φυσικά μοντέλα

Τα μοντέλα αυτά είναι πραγματικές φυσικές κατασκευές. Ένα καλό παράδειγμα ενός τέτοιου μοντέλου, θα ήταν ένα που θα αναπαριστούσε τη γη, το φεγγάρι, και τον ήλιο με μικρές ξύλινες σφαίρες οι οποίες θα κινούνταν μηχανικά κατά τέτοιο τρόπο ώστε να παρουσίαζε τις φάσεις του φεγγαριού, τις εκλείψεις, και ούτω καθ' εξής.

1.2.2 Εννοιολογικά μοντέλα

Τα εννοιολογικά μοντέλα δεν είναι τίποτα περισσότερο από νοερές αναπαραστάσεις που δημιουργούνται σε μια προσπάθεια να απεικονιστεί κάτι μη ορατό. Ένα καλό παράδειγμα είναι το ατομικό μοντέλο του Μπορ (Bohr), που χρησιμοποιείται συχνά από αρχάριους

φοιτητές χημείας. Σε αυτό το μοντέλο, το άτομο παραλληλίζεται με το ηλιακό σύστημα. Ο πυρήνας παίρνει τη θέση του ήλιου και τα ηλεκτρόνια περιστρέφονται γύρω από τον πυρήνα, κατά τον ίδιο τρόπο με τον οποίο οι πλανήτες κινούνται σε τροχιά γύρω από τον ήλιο. Τα εννοιολογικά αυτά μοντέλα μπορούν να απεικονιστούν οπτικά με τη χρήση εικόνων και σχημάτων, ώστε να υπάρχει μια πιο ολοκληρωμένη εποπτεία τους και να μπορούν να κατανοηθούν σε μεγαλύτερο βάθος ακόμη και από άτομα που δεν είναι εξοικειωμένα σε μεγάλο βαθμό με τις σχετικές έννοιες. Ακριβώς γι' αυτό το λόγο, γραφικές αναπαραστάσεις εννοιολογικών μοντέλων χρησιμοποιούνται πολύ συχνά για διδακτικούς σκοπούς.

1.2.3 Μαθηματικά ή αναλυτικά μοντέλα

Αυτού του είδους τα μοντέλα χρησιμοποιούν τη γλώσσα των μαθηματικών για να περιγράψουν ένα σύστημα. Οι ακτίνες του φωτός είναι ένα καλό παράδειγμα για τον τύπο των συστημάτων που μπορούν να περιγράψουν τα μαθηματικά μοντέλα, δεδομένου ότι μπορούν να αντιμετωπιστούν ως κύματα, οι ιδιότητες των οποίων μπορούν να περιγράψουν με μεγάλη λεπτομέρεια χρησιμοποιώντας εξισώσεις.

1.2.4 Υπολογιστικά μοντέλα

Ένα υπολογιστικό μοντέλο είναι ένα πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή το οποίο επιχειρεί να προσομοιώσει ένα συγκεκριμένο σύστημα, χρησιμοποιώντας ένα μαθηματικό μοντέλο ως πυρήνα. Αναλυτικότερα για τα υπολογιστικά μοντέλα και την προσομοίωση με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή, θα μιλήσουμε αργότερα.

Τα μοντέλα, συνήθως, εξελίσσονται και βελτιώνονται καθώς σημειώνονται πρόοδοι στις επιστήμες. Μερικές φορές -όχι σπάνια- ένα μοντέλο απορρίπτεται εντελώς, βάσει νέων συμπερασμάτων που αποδεικνύουν ότι ήταν παραπλανητικό ή ανακριβές. Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικά μοντέλα για να περιγράψουν το ίδιο πράγμα και η επιλογή των μοντέλων εξαρτάται από το στόχο της επιστημονικής έρευνας ή καλύτερα από την επιστημονική καλλιέργεια του ατόμου που διεξάγει την εργασία. Ένα καλό παράδειγμα, για άλλη μια φορά, είναι τα μοντέλα του ατόμου. Το μοντέλο του ηλιακού συστήματος είναι επαρκές για πολλές περιπτώσεις, αλλά για μια ακριβή απεικόνιση άλλων πτυχών της συμπεριφοράς ενός ατόμου είναι απαραίτητο ένα πολύπλοκο μαθηματικό μοντέλο, βασισμένο στο πεδίο της κβαντομηχανικής. Κατά βάση, τα μοντέλα δημιουργούνται σε μια προσπάθεια να εξηγήσουμε πώς λειτουργούν κάποια πράγματα στη φύση.

1.3 Ταξινόμηση μαθηματικών μοντέλων

Τα μαθηματικά μοντέλα (και τα υπολογιστικά κατ' επέκταση) μπορούν να ταξινομηθούν περαιτέρω χρησιμοποιώντας κάποια κριτήρια.^[iv] Τα μοντέλα μπορεί να είναι:

- Γραμμικά ή μη γραμμικά

- Αιτιοκρατικά ή στοχαστικά (πιθανοκρατικά)
- Στατικά ή δυναμικά
- Συγκεντρωμένων ή κατανεμημένων παραμέτρων
- Διακριτά ή συνεχή

Γραμμικά ή μη γραμμικά: Τα μαθηματικά μοντέλα εμπεριέχουν συνήθως μεταβλητές, οι οποίες είναι αφαιρετικές αναπαραστάσεις των ποσοτήτων που μας ενδιαφέρουν στα συστήματα που θέλουμε να περιγράψουμε, και τελεστές που ενεργούν πάνω σε αυτές τις μεταβλητές, οι οποίες μπορούν να είναι αλγεβρικοί τελεστές, λειτουργίες, διαφορικοί τελεστές, κ.τ.λ. Εάν όλοι οι τελεστές σε ένα μαθηματικό μοντέλο παρουσιάζουν γραμμικότητα, το μαθηματικό μοντέλο που προκύπτει, ορίζεται ως γραμμικό. Διαφορετικά, το μοντέλο θεωρείται μη γραμμικό.

Αιτιοκρατικά ή στοχαστικά: Αιτιοκρατικό (deterministic) είναι το μοντέλο στο οποίο κάθε σύνολο καταστάσεων των μεταβλητών καθορίζεται μεμονωμένα από τις παραμέτρους στο μοντέλο και από τα σύνολα των προηγούμενων καταστάσεων αυτών των μεταβλητών. Επομένως, τα αιτιοκρατικά μοντέλα λειτουργούν κατά τον ίδιο τρόπο για ένα δεδομένο σύνολο αρχικών συνθηκών. Αντιθέτως, σε ένα στοχαστικό (stochastic) μοντέλο υπάρχει και το στοιχείο του τυχαίου και οι καταστάσεις των μεταβλητών δεν περιγράφονται από μοναδικές τιμές, αλλά μάλλον από κατανομές πιθανοτήτων.

Στατικά ή δυναμικά: Ένα στατικό μοντέλο δεν περιλαμβάνει το στοιχείο του χρόνου, δηλαδή δε μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου, ενώ ένα δυναμικό μοντέλο το κάνει. Τα δυναμικά μοντέλα συνήθως αναπαριστώνται με εξισώσεις διαφοράς ή διαφορικές εξισώσεις.

Συγκεντρωμένων ή κατανεμημένων παραμέτρων: Εάν το μοντέλο είναι ετερογενές (μια ιδιότητα έχει διαφοροποιημένη κατάσταση σε διαφορετικά σημεία του συστήματος) οι παράμετροι είναι διανεμημένες (distributed). Εάν, από την άλλη, το μοντέλο είναι ομοιογενές (μια ιδιότητα έχει την ίδια κατάσταση σε κάθε σημείο του συστήματος), τότε οι παράμετροι είναι ενιαίοι (lumped). Οι διανεμημένες παράμετροι αναπαριστώνται συνήθως με μερικές διαφορικές εξισώσεις (partial differential equations).

Διακριτά ή συνεχή: Ένα μοντέλο είναι συνεχές όταν οι μεταβλητές του μπορούν να πάρουν οποιαδήποτε τιμή μέσα σε ένα ευρύ πεδίο συνεχών τιμών, σε αντίθεση με τα διακριτά μοντέλα, στα οποία οι μεταβλητές παίρνουν μια τιμή από έναν πεπερασμένο και προκαθορισμένο αριθμό τιμών.

2 Προσομοίωση με χρήση H/Y

2.1 Εισαγωγή

Προσομοίωση είναι η αναπαράσταση ενός πραγματικού ή αφηρημένου συστήματος με ένα παρόμοιο, αλλά απλούστερο μοντέλο, το οποίο μπορούμε να χειριστούμε εύκολα με σκοπό να εξαγάγουμε επιστημονικά αποτελέσματα. Η αναπαράσταση αυτή μπορεί να είναι οικονομικότερη, ταχύτερη, λιγότερο επικίνδυνη ή περισσότερο προσιτή από το πραγματικό σύστημα. Κατά βάση, η προσομοίωση είναι ένα πείραμα που εκτελείται ως μοντέλο της πραγματικότητας. Η χρήση ενός προσομοιωτή ή ο πειραματισμός με ένα πλασματικό σύστημα μπορεί να αποκαλύψει τις ενδεχόμενες πραγματικές επιδράσεις μιας δεδομένης ενέργειας.^[v]

Οι προσομοιώσεις είναι δύο τύπων. Ο πρώτος τύπος προσομοίωσης είναι η **φυσική προσομοίωση**. Οι φυσικές προσομοιώσεις βασίζονται στη χρήση φυσικών αντικειμένων, που υποκαθιστούν τα πραγματικά. Ένα συγκεκριμένο είδος φυσικών προσομοιώσεων είναι διαδραστικές και συχνά αναφέρονται ως φυσικές προσομοιώσεις πραγματικών συνθηκών, των οποίων η πιο συχνή χρήση γίνεται για εκπαιδευτικούς λόγους. Οι προσομοιώσεις αυτές περιλαμβάνουν ανθρώπινους χειριστές, οι οποίοι αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον της προσομοίωσης. Μια τέτοια προσομοίωση είναι η προσομοίωση έλλειψης βαρύτητας, που συνήθως χρησιμοποιείται για την εκπαίδευση αστροναυτών σε συνθήκες παρόμοιες με αυτές που θα συναντήσουν στο διάστημα.^[vi]

Αυτού του είδους οι προσομοιώσεις μπορεί να περιλαμβάνουν και μια προσομοίωση με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή, για τις οποίες θα μιλήσουμε στη συνέχεια, οπότε έχουμε να κάνουμε με τα λεγόμενα **συνθετικά περιβάλλοντα**. Ο άλλος τύπος προσομοιώσεων πραγματοποιείται με τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών και αναφέρεται συχνά ως **υπολογιστική προσομοίωση**. Με αυτό το είδος θα ασχοληθούμε αναλυτικότερα σε αυτήν την εργασία.^[vii]

2.2 Πλεονεκτήματα της υπολογιστικής προσομοίωσης

Η μοντελοποίηση και η υπολογιστική προσομοίωση έχουν συγκεκριμένα οφέλη. Αυτά περιλαμβάνουν:

- Πειραματισμός σε μικρότερο χρόνο
- Μειωμένες αναλυτικές απαιτήσεις
- Εύκολα παρουσιάσιμα μοντέλα

2.2.1 Πειραματισμός σε μικρότερο χρόνο

Επειδή η λειτουργία του μοντέλου βασίζεται σε υπολογιστές, οι πειραματικές εκτελέσεις της προσομοίωσης μπορούν να γίνουν σε σχετικά σύντομο χρόνο. Αυτό είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα επειδή μερικές διαδικασίες μπορεί να πάρουν μήνες ή ακόμα και χρόνια για να ολοκληρωθούν.

Οι μεγάλοι χρόνοι επεξεργασίας των συστημάτων μπορεί να καταστήσουν μια εύρωστη ανάλυση δύσκολη ή ακόμα και αδύνατη να εκτελεστεί. Με ένα υπολογιστικό μοντέλο, η λειτουργία και η αλληλεπίδραση μεγάλων διαδικασιών μπορούν να προσομοιωθούν μέσα σε δευτερόλεπτα. Αυτό επίσης σημαίνει ότι πολλαπλές επαναλήψεις κάθε προσομοίωσης μπορούν εύκολα να εκτελεστούν για να αυξήσουν τη στατιστική αξιοπιστία της ανάλυσης. Κατά συνέπεια, τα συστήματα που ήταν προηγουμένως αδύνατα να αναλυθούν, μπορούν τώρα να μελετηθούν εύκολα.

2.2.2 Μειωμένες αναλυτικές απαιτήσεις

Πριν από την εμφάνιση των υπολογιστικών προσομοιώσεων, οι σχεδιαστές αναγκάζονταν να χρησιμοποιούν άλλα, πιο απαιτητικά από αναλυτική άποψη, εργαλεία. Ακόμα και τότε, μόνο απλά πιθανοκρατικά συστήματα μπορούσαν να αναλυθούν από το μέσο σχεδιαστή. Πιο πολυσύνθετα συστήματα ήταν αποκλειστικά στην περιοχή του μαθηματικού ή του αναλυτή επιχειρησιακής έρευνας.

Επιπλέον, τα συστήματα μπορούσαν να αναλυθούν μόνο με μια στατική προσέγγιση μιας δεδομένης χρονικής στιγμής. Αντίθετα, η εμφάνιση των μεθοδολογιών προσομοίωσης έχει επιτρέψει στους σχεδιαστές να μελετούν τα συστήματα δυναμικά, σε πραγματικό χρόνο, κατά τη διάρκεια των εκτελέσεων της προσομοίωσης.

Επιπρόσθετα, η ανάπτυξη πακέτων λογισμικού ειδικά προορισμένων για προσομοιώσεις, έχει βοηθήσει τους σχεδιαστές απλουστεύοντας πολλούς από τους περίπλοκους υπολογισμούς και μειώνοντας τις απαιτήσεις γνώσης προγραμματισμού που ειδιάλλως θα απαιτούνταν. Αυτές οι μειωμένες απαιτήσεις ανάλυσης έχουν παράσχει σε περισσότερους σχεδιαστές, με μια ευρύτερη ποικιλία γνωστικού υποβάθρου, την ευκαιρία να αναλύσουν πολύ περισσότερους διαφορετικούς τύπους συστημάτων από αυτό που ήταν προηγουμένως δυνατό.

2.2.1 Εύκολα παρουσιάσιμα μοντέλα

Τα περισσότερα πακέτα λογισμικού που είναι προσανατολισμένα στην προσομοίωση έχουν την ικανότητα να μπορούν να δώσουν ζωή (animation) στη λειτουργία του μοντέλου δυναμικά. Η ζωντάνια αυτή είναι χρήσιμη και για τη διόρθωση τυχόν λαθών του μοντέλου αλλά και για μια επίδειξη του πως αυτό λειτουργεί. Η αποσφαλμάτωση, η οποία υποβοηθείται από την κινητική απεικόνιση (animation), επιτρέπει στον σχεδιαστή να παρατηρεί τα ελαττώματα στη λογική του μοντέλου εύκολα. Η χρήση της κίνησης κατά τη διάρκεια μιας παρουσίασης μπορεί να βοηθήσει στην εγκαθίδρυση της αξιοπιστίας του μοντέλου.

Η κινητική απεικόνιση μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει ταυτόχρονα τη λειτουργία και την αλληλεπίδραση των διαδικασιών του συστήματος. Αυτό περιλαμβάνει τη

δυναμική παρουσίαση του πώς το σύστημα, που περιγράφεται από το μοντέλο, χειρίζεται διάφορες καταστάσεις. Χωρίς την ικανότητα της κινητικής απεικόνισης οι σχεδιαστές θα περιορίζονταν σε λιγότερο αποτελεσματικές παρουσιάσεις, που θα ήταν βασισμένες σε κείμενο και αριθμητικές παραστάσεις.

2.3 Μειονεκτήματα της υπολογιστικής προσομοίωσης

Αν και η προσομοίωση έχει πολλά πλεονεκτήματα, υπάρχουν επίσης και μερικά μειονεκτήματα με τα οποία πρέπει να είναι εξοικειωμένοι οι σχεδιαστές της προσομοίωσης. Αυτά τα μειονεκτήματα δεν είναι άμεσα συνδεδεμένα με τη μοντελοποίηση και την ανάλυση ενός συστήματος αλλά μάλλον με τις προσδοκίες που συνδέονται με τα προγράμματα (projects) προσομοιώσεων. Αυτά τα μειονεκτήματα περιλαμβάνουν τα παρακάτω:

- Η προσομοίωση δεν μπορεί να δώσει ακριβή αποτελέσματα όταν τα δεδομένα εισόδου είναι ανακριβή
- Η προσομοίωση δεν μπορεί να δώσει εύκολες απαντήσεις σε σύνθετα προβλήματα
- Η προσομοίωση δεν μπορεί να λύσει προβλήματα από μόνη της

2.3.1 Ανακριβή αποτελέσματα σε ανακριβή δεδομένα εισόδου

Ο πρώτος ισχυρισμός μπορεί να παραφραστεί ως «σκουπίδια ως είσοδος, σκουπίδια ως έξοδος». Ανεξάρτητα από το πόσο καλά κατασκευάζεται ένα μοντέλο, εάν το μοντέλο δεν έχει ακριβή δεδομένα εισόδου, ο σχεδιαστής εύλογα δεν μπορεί να περιμένει να λάβει ακριβή δεδομένα εξόδου. Δυστυχώς, η συλλογή δεδομένων θεωρείται το δυσκολότερο μέρος της διαδικασίας προσομοίωσης. Σε πείσμα αυτής της κοινής διαπίστωσης, είναι τυπικό για αυτήν την διαδικασία να διατίθεται πολύ λίγος χρόνος. Αυτό το πρόβλημα επιδεινώνεται από το γεγονός ότι πολλοί σχεδιαστές πιθανώς προτιμούν να αναπτύξουν ένα μοντέλο προσομοίωσης παρά να μπουν στην ανιαρή διαδικασία να συλλέξουν πραγματικά δεδομένα.

Πολλοί σχεδιαστές της προσομοίωσης δαλεάζονται στο να αποδεχτούν ιστορικά δεδομένα αμφίβολης ποιότητας, προκειμένου να μη σπαταλήσουν χρόνο για τη συλλογή δεδομένων εισόδου. Πάρα πολύ συχνά η ακριβής φύση ή οι συνθήκες κάτω από τις οποίες συλλέχθηκαν αυτά τα δεδομένα είναι άγνωστες. Σε περισσότερες από μια περιπτώσεις, η χρήση εξωτερικά συλλεχθέντων ιστορικών δεδομένων υπήρξε το θεμέλιο ενός ανεπιτυχούς προγράμματος προσομοίωσης.

2.3.2 Αδυναμία εύκολων απαντήσεων σε σύνθετα προβλήματα

Μερικοί αναλυτές ίσως θεωρούν ότι μια ανάλυση με τη χρήση προσομοίωσης θα δώσει απλές απαντήσεις σε σύνθετα προβλήματα. Στην πραγματικότητα, είναι πιο πιθανό να απαιτούνται σύνθετες απαντήσεις για σύνθετα προβλήματα. Εάν το υπό ανάλυση σύστημα αποτελείται από πολλές συνιστώσες και υπάρχουν πολλές αλληλεπιδράσεις, η καλύτερη

εναλλακτική τακτική λειτουργίας ή πόρων είναι, πιθανότατα, να ληφθεί υπόψιν κάθε στοιχείο του συστήματος.

Υπάρχει επίσης η δυνατότητα να γίνουν απλουστευτικές παραδοχές με σκοπό την ανάπτυξη ενός μοντέλου που θα έχει κάποια λογική βάση μέσα σε ένα λογικό χρονικό διάστημα. Εντούτοις, εάν κρίσιμα στοιχεία του συστήματος αγνοηθούν, τότε οποιαδήποτε τακτική λειτουργίας ή πόρων θα είναι, κατά πάσα πιθανότητα, λιγότερο αποτελεσματική.

2.3.3 Η προσομοίωση δεν λύνει προβλήματα από μόνη της

Από την άλλη, μερικοί διευθυντές μπορεί να πιστεύουν ότι η διεξαγωγή ενός προγράμματος μοντέλου και ανάλυσης προσομοίωσης (simulation model and analysis project) θα λύσει το πρόβλημα. Η προσομοίωση από μόνη της δε λύνει πραγματικά το πρόβλημα. Παρέχει μεν στη διεύθυνση του έργου πιθανές λύσεις για το πρόβλημα, αλλά η εφαρμογή των προτεινόμενων αλλαγών επαφίεται στα αρμόδια άτομα που βρίσκονται στη διοίκηση.

Για αυτόν το λόγο, είναι προς όφελος του σχεδιαστή να φροντίσει ότι ο διευθυντής ή οι πελάτες είναι όσο το δυνατόν περισσότερο αναμειγμένοι στο πρόγραμμα. Ο σχεδιαστής πρέπει να προσπαθεί να ωθεί τους εμπλεκόμενους να αναπτύξουν ένα αίσθημα ιδιοκτησίας της διαδικασίας προσομοίωσης. Πάρα πολύ συχνά, πιθανές λύσεις βρίσκονται αλλά δεν εφαρμόζονται ποτέ ή εφαρμόζονται ανεπαρκώς λόγω επιχειρηματικής αδράνειας ή πολιτικών τιμημάτων.

2.4 Άλλα θέματα

Εκτός από τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα στην μοντελοποίηση και ανάλυση προσομοιώσεων, στα οποία αναφερθήκαμε προηγουμένως, ο σχεδιαστής πρέπει να έχει υπόψιν κάποια άλλα σοβαρά θέματα κατά την έναρξη ενός προγράμματος. Αυτά τα θέματα μπορούν να επηρεάσουν την απόφαση του σχεδιαστή για το αν θα αναλάβει ή όχι το πρόγραμμα. Αυτά περιλαμβάνουν τα εξής:

- Η ανάπτυξη ενός μοντέλου προσομοίωσης μπορεί να απαιτεί εξειδικευμένη εκπαίδευση.
- Η μοντελοποίηση και η ανάλυση προσομοιώσεων μπορεί να είναι δαπανηρές.
- Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης περιλαμβάνουν πολλές στατιστικές.

2.4.1 Απαίτηση εξειδικευμένης εκπαίδευσης

Στο παρελθόν η μοντελοποίηση προσομοιώσεων ήταν εξαιρετικά δύσκολο να πραγματοποιηθεί. Πριν αρχίσουν να χρησιμοποιούνται ευρέως οι γραφικές απεικονίσεις, ολόκληρη η διαδικασία της μοντελοποίησης διεξαγόταν με τη χρήση μυστήριων γλωσσών

προσομοίωσης με ένα συντάκτη κειμένου. Ήταν υποχρεωτικό να δημιουργηθεί ο πηγαίος κώδικας, να μεταγλωττιστεί, να συνδεθεί και να εκτελεστεί το πρόγραμμα.

Εάν οποιαδήποτε κόμμα, ερωτηματικό ή τελεία ήταν σε λάθος θέση, ο σχεδιαστής λάμβανε μια σωρεία λαθών μεταγλώττισης. Κατά συνέπεια, χωρίς ισχυρές δεξιότητες προγραμματισμού υπολογιστών ήταν δύσκολο έως αδύνατο να δημιουργηθεί επιτυχώς κάτι περισσότερο από το απλούστερο μοντέλο. Ευτυχώς για μας, η έλευση του ισχυρού προσωπικού Η/Υ πολυμέσων έχει φέρει την μοντελοποίηση προσομοιώσεων πιο κοντά στο πεδίο του σχεδιαστή.

Οι περίεργες γλώσσες προγραμματισμού προσομοιώσεων έχουν δώσει τη θέση τους στις αρκετά εύχρηστες γραφικές διεπαφές. Παρ' όλα αυτά, η γενικότερη διαδικασία μοντελοποίησης και ανάλυσης προσομοιώσεων μπορεί ακόμα να αποδεικνύεται σύνθετη. Πολλοί επιτυχημένοι αναλυτές προσομοιώσεων έχουν πτυχία μηχανικής, πληροφορικής, μαθηματικών ή επιχειρησιακής έρευνας με μεγάλη βαρύτητα να έχει δοθεί στη μοντελοποίηση και την ανάλυση προσομοιώσεων.

2.4.2 Δαπανηρή μοντελοποίηση και ανάλυση προσομοιώσεων

Δεν γεννάται θέμα για το αν η ανάπτυξη ενός σύνθετου μοντέλου προσομοίωσης μπορεί να αποδειχτεί πολύ χρονοβόρα και ως εκ τούτου δαπανηρή. Ακόμα κι αν ο σχεδιαστής είναι αρκετά εξοικειωμένος με ένα δεδομένο πακέτο λογισμικού προσομοίωσης, ένα πολυσύνθετο σύστημα θα απαιτεί και πάλι ένα αναλογικά μεγαλύτερο χρονικό διάστημα για τη συλλογή δεδομένων, την υλοποίηση του μοντέλου και την ανάλυση.

Μερικά μοντέλα αρχικά εμφανίζονται να είναι σχετικά απλά. Όμως, μόλις ο σχεδιαστής αρχίσει την μοντελοποίηση και στην πράξη, ίσως συνειδητοποιήσει ότι το σύστημα είναι πολύ πιο σύνθετο από ότι αρχικά νόμιζε. Παρόλο που πολλές απλουστευτικές παραδοχές μπορούν να γίνουν στην μοντελοποίηση για να μειώσουν το διάστημα του χρόνου της ανάπτυξης, οι παραδοχές αυτές μπορούν επίσης να είναι τόσο ακραίες που να καταστούν το μοντέλο ανώφελο. Έτσι, ακριβώς όπως και με τη συλλογή των δεδομένων εισόδου, υπάρχει ένα όριο στο ποσό του χρόνου που μπορούμε να εξοικονομήσουμε κάνοντας απλοποιήσεις στη δομή του μοντέλου.

2.4.3 Πολλές στατιστικές

Τέλος, τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων είναι συνήθως υπό μορφή συνοπτικών στατιστικών. Για αυτόν τον λόγο, τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, μπορεί να αποδειχτούν δύσκολα στην ερμηνεία για τα άτομα που δεν έχουν καμία γνώση γύρω από τη στατιστική επιστήμη. Ως εκ τούτου, οι σχεδιαστές προσομοιώσεων πρέπει να έχουν τουλάχιστον μια σχετική γνώση στατιστικής.

3 Ευφυείς πράκτορες

3.1 Εισαγωγή

Για να ορίσουμε τι είναι οι ευφυείς πράκτορες, πρέπει πρώτα να ορίσουμε τι είναι οι πράκτορες. Ως **πράκτορας** μπορεί να οριστεί μια οντότητα η οποία ενεργεί ως αντιπρόσωπος κάποιας άλλης, με ρητό σκοπό την εκτέλεση συγκεκριμένης λειτουργίας η οποία φαίνεται να είναι ωφέλιμη για την αντιπροσωπευόμενη οντότητα.^[viii]

Στην επιστήμη των υπολογιστών, όταν αναφερόμαστε σε πράκτορες, εννοούμε τους **πράκτορες λογισμικού** (software agents)¹, τα προγράμματα δηλαδή αυτά που εκτελούν συγκεκριμένες λειτουργίες εκ μέρους του χρήστη τους ή εκ μέρους άλλων προγραμμάτων, μέσα σε ένα υπολογιστικό περιβάλλον. Ένας πράκτορας, λέμε ότι βρίσκεται μέσα σε ένα περιβάλλον, όταν μπορεί να το αντιληφθεί και όταν μπορεί να ενεργήσει μέσα σε αυτό. Το ίδιο το περιβάλλον μπορεί να είναι **στατικό**, δηλαδή να μη μεταβάλλεται, ή να είναι **δυναμικό**, δηλαδή να μεταβάλλεται.

Ένας πράκτορας έχει κάποιους στόχους, τους οποίους πρέπει να εκπληρώσει. Όταν έχει τη δυνατότητα να καθορίσει μόνος του τους στόχους του και δεν του δίνονται εξωτερικά, τότε έχουμε να κάνουμε με έναν **αυτόνομο** πράκτορα. Αν ο αυτόνομος πράκτορας είναι σε θέση να μεταβάλλει τους στόχους του σε σχέση με αυτό που αντιλαμβάνεται να αλλάζει στο δυναμικό περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται, τότε ο πράκτορας λέγεται επίσης ότι είναι και **προσαρμοστικός**. Αν αυτή η προσαρμοστικότητα, δίνει στον πράκτορα τη δυνατότητα να επωφελείται των ευκαιριών που παρουσιάζονται στο περιβάλλον του, ώστε να ικανοποιεί τους στόχους του, τότε ο πράκτορας είναι **ευφυής**.^[viii]

3.2 Χαλαρή θεώρηση

Συγκεντρωτικά, κατά μία χαλαρή θεώρηση των ευφυών πρακτόρων (weak notion of agency), τα χαρακτηριστικά που πρέπει να έχουν σύμφωνα με τον Woodridge και τον Jennings^[ix] είναι τα ακόλουθα:

- **Αυτονομία:** Οι πράκτορες πρέπει να έχουν την ικανότητα να ενεργούν χωρίς την άμεση παρέμβαση εξωτερικών παραγόντων στον μηχανισμό λειτουργίας τους και να έχουν κάποιου είδους έλεγχο πάνω στις πράξεις τους και την εσωτερική τους κατάσταση. Η έννοια της αυτονομίας προϋποθέτει και την έννοια μιας **χρονικής συνέχειας** (temporal continuity), δηλαδή να λειτουργούν αδιάκοπα και όχι απλά να εκτελούνται μια φορά και στη συνέχεια να τερματίζεται η λειτουργίας τους.

¹ Και σε αυτούς θα αναφερόμαστε, από εδώ και πέρα, όταν χρησιμοποιούμε τη λέξη πράκτορας.

- **Κοινωνικές ικανότητες:** Ο πράκτορας πρέπει, στην προσπάθεια να πετύχει τους στόχους του, να έχει τη δυνατότητα να αλληλεπιδρά με άλλους πράκτορες και πιθανότατα και με ανθρώπους μέσω κάποιου είδους πρωτοκόλλου επικοινωνίας.
- **Αντιδραστικότητα (reactivity):** Οι πράκτορες αντιλαμβάνονται το περιβάλλον τους και αντιδρούν στις αλλαγές που συντελούνται σε αυτό μέσα σε ένα εύλογο χρονικό διάστημα. Αυτό μπορεί να συνεπάγεται το ότι ένας πράκτορας καταναλώνει το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου του σε μια κατάσταση αδράνειας, από την οποία «ξυπνάει» όταν κάποιες συγκεκριμένες αλλαγές λάβουν χώρα στο περιβάλλον του.
- **Προδραστικότητα (proactivity):** Οι πράκτορες δεν αρκεί απλά να ενεργούν σε αντίδραση του περιβάλλοντος τους, αλλά πρέπει και να ενεργούν κατά τρόπο τέτοιο ούτως ώστε να επιφέρουν τέτοιες αλλαγές στο περιβάλλον τους, που να ευνοείται η εξυπηρέτηση των σκοπών τους.

3.3 Ισχυρή θεώρηση

Τα χαρακτηριστικά που αναφέραμε στην προηγούμενη ενότητα δε συνεπάγονται απαραίτητα έναν πράκτορα που είναι ευφυής. Σύμφωνα, λοιπόν, με μια πιο ισχυρή θεώρηση των ευφύων πρακτόρων (strong notion of agency), εκτός από τα παραπάνω, προσδίδονται επίσης και κάποια πιο ανθρωπομορφικά χαρακτηριστικά τα οποία πρέπει να επιδεικνύουν. Συγκεκριμένα πρέπει να έχουν γνώση (knowledge), πεποιθήσεις (beliefs), επιθυμίες (desires), προθέσεις (intentions) και υποχρεώσεις (obligations).^[viii]

Οι πράκτορες που ταιριάζουν στην περιγραφή της ισχυρής θεώρησης, συνήθως έχουν ένα ή περισσότερα από τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- **Λογικότητα (rationality):** Ο πράκτορας δρα για να επιτύχει τους στόχους του και δε θα ενεργήσει κατά τρόπο που θα εμποδίσει τους στόχους του από το να πραγματοποιηθούν.
- **Κινητικότητα (mobility):** Η ικανότητα ενός πράκτορα να κινείται στο υπολογιστικό περιβάλλον, στο οποίο βρίσκεται.
- **Καλή προαίρεση (benevolence):** Οι πράκτορες δεν πρέπει να έχουν αντικρουόμενους στόχους και κάθε πράκτορας, επομένως, θα κάνει πάντα αυτό που του έχει ζητηθεί.
- **Ειλικρίνεια (veracity):** Ο πράκτορας θα ενεργεί και θα δίνει αναφορά με ειλικρίνεια.
- **Προσαρμοστικότητα (adaptability):** Όπως είπαμε και πριν, προσαρμοστικότητα είναι η δυνατότητα του πράκτορα να μεταβάλλει τους στόχους του σε σχέση με αυτό που αντιλαμβάνεται να αλλάζει στο δυναμικό περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται.
- **Συνεργασία (collaboration):** Φυσική επέκταση της ιδιότητας επικοινωνίας αποτελεί η συνεργασία. Οι πράκτορες πρέπει να έχουν πνεύμα συνεργασίας ώστε να μπορούν να εργάζονται συλλογικά για την εκτέλεση αμοιβαία ωφέλιμων αλλά σύνθετων διεργασιών που δεν είναι σε θέση να πραγματοποιήσουν σε ικανοποιητικό βαθμό (ή και καθόλου) μόνοι τους.

3.4 Κατηγορίες περιβαλλόντων

Οι κατηγορίες των περιβαλλόντων μέσα στα οποία μπορεί να δρουν οι πράκτορες, συμπίπτουν εν μέρει με τις κατηγορίες μαθηματικών μοντέλων. Αυτό συμβαίνει επειδή τα περιβάλλοντα αυτά έχουν στον πυρήνα τους ένα μαθηματικό μοντέλο. Τα περιβάλλοντα κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τις ιδιότητές τους:^[x]

- Προσιτά ή μη προσιτά
- Αιτιοκρατικά ή στοχαστικά (πιθανοκρατικά)
- Στατικά ή δυναμικά
- Διακριτά ή συνεχή
- Επεισοδιακά ή ακολουθιακά
- Πολυπρακτορικά ή μονοπρακτορικά

Προσιτά ή μη προσιτά: ένα περιβάλλον είναι προσιτό όταν ο πράκτορας μπορεί να λάβει πλήρη, ακριβή και ενημερωμένη πληροφορία για την κατάσταση του. Διαφορετικά, το περιβάλλον είναι μη προσιτό. Τα περισσότερα πραγματικά περιβάλλοντα είναι μη προσιτά.

Αιτιοκρατικά ή στοχαστικά: ένα περιβάλλον είναι αιτιοκρατικό όταν κάθε ενέργεια που εκτελείται μέσα σε αυτό έχει ένα μοναδικό και εγγυημένο αποτέλεσμα (και οδηγεί σε μια μοναδική νέα κατάσταση του περιβάλλοντος). Σε αντίθετη περίπτωση το περιβάλλον είναι στοχαστικό και το αποτέλεσμα μιας ενέργειας είναι, εν μέρει τουλάχιστον, τυχαίο.

Στατικά ή δυναμικά: ένα περιβάλλον θεωρείται στατικό όταν αλλάζει μόνο εξαιτίας της ενέργειας κάποιου πράκτορα. Ένα δυναμικό περιβάλλον περιέχει κι άλλες διεργασίες που το αλλάζουν και οι οποίες βρίσκονται εκτός του ελέγχου του πράκτορα.

Διακριτά ή συνεχή: Ένα περιβάλλον είναι διακριτό όταν υπάρχει πεπερασμένος, προκαθορισμένος αριθμός κινήσεων δράσης και αντιλήψεων για τους πράκτορες. Μια παρτίδα σκάκι είναι ένα παράδειγμα διακριτού περιβάλλοντος, ενώ η οδήγηση ενός οχήματος είναι παράδειγμα συνεχούς, εφόσον η ταχύτητα και η θέση του μπορούν να πάρουν οποιαδήποτε τιμή μέσα σε ένα ευρύ πεδίο συνεχών τιμών.

Επεισοδιακά ή ακολουθιακά: Σε ένα επεισοδιακό περιβάλλον, η εμπειρία του πράκτορα περιορίζεται σε κάποια «επεισόδια». Σε κάθε επεισόδιο ο πράκτορας αντιλαμβάνεται τι συμβαίνει στο περιβάλλον του και στη συνέχεια ενεργεί. Η επίδοση του εξαρτάται μόνο από το ίδιο το επεισόδιο, επειδή τα επόμενα επεισόδια δεν εξαρτώνται από το ποιες ενέργειες συνέβησαν στα προηγούμενα επεισόδια. Αν η εκτέλεση δεν χωρίζεται σε επεισόδια, τότε

έχουμε να κάνουμε με ακολουθιακά περιβάλλοντα, στα οποία η εμπειρία του πράκτορα συνεχώς επεκτείνεται.

Πολυπρακτορικά ή μονοπρακτορικά: Πολυπρακτορικά είναι τα περιβάλλοντα μέσα στα οποία δραστηριοποιούνται παραπάνω από ένας πράκτορες. Διαφορετικά, έχουμε να κάνουμε με μονοπρακτορικό περιβάλλον.

4 Μακροοικονομικά μοντέλα

4.1 Μικροοικονομία και μακροοικονομία

Η **μικροοικονομία** είναι ένας κλάδος των οικονομικών που μελετά πώς τα μεμονωμένα τμήματα της οικονομίας, τα νοικοκυριά και οι εταιρίες, λαμβάνουν αποφάσεις για το πώς θα διαθέσουν τους περιορισμένους πόρους που έχουν, συνήθως σε ένα σύστημα αγοράς όπου τα αγαθά ή οι υπηρεσίες αγοράζονται και πωλούνται. Η μικροοικονομία εξετάζει πώς αυτές οι αποφάσεις και συμπεριφορές επιδρούν στην προσφορά και τη ζήτηση για τα αγαθά και τις υπηρεσίες, οι οποίες καθορίζουν τις τιμές και πώς οι τιμές, με τη σειρά τους, καθορίζουν την προσφορά και τη ζήτηση των αγαθών και των υπηρεσιών.^{[xi][xii]}

Ένας από τους στόχους της μικροοικονομίας είναι να αναλυθούν οι μηχανισμοί της αγοράς που προσδιορίζουν τις σχετικές τιμές (relative prices)² μεταξύ των αγαθών και των υπηρεσιών και την κατανομή των περιορισμένων πόρων μεταξύ πολλών εναλλακτικών χρήσεων. Η μικροοικονομία περιγράφει τις θεωρητικές προϋποθέσεις που απαιτούνται για να υπάρχει τέλειος ανταγωνισμός, η κατάσταση δηλαδή εκείνη στην οποία η δυνατότητα πραγματοποίησης κερδών (με την έννοια της αύξησης του πλούτου του παραγωγού) εκμηδενίζεται. Αναλύει επίσης την αποτυχία αγοράς (market failure), που συμβαίνει όταν η κατανομή των αγαθών και των υπηρεσιών σε μια οικονομία, σύμφωνα με κάποια κριτήρια, δεν είναι αποτελεσματική, δηλαδή δεν είναι η βέλτιστη κατανομή και υπάρχει χώρος για βελτίωση.^[xiii] Σημαντικοί τομείς μελέτης της μικροοικονομίας είναι η θεωρία γενικής ισορροπίας (general equilibrium theory), οι αγορές που έχουν ασύμμετρη πληροφόρηση, η λήψη αποφάσεων υπό καθεστώς αβεβαιότητας και οι οικονομικές εφαρμογές της θεωρίας παιγνίων. Επίσης εξετάζεται η έννοια της ελαστικότητας, που ίσως είναι μια από τις πιο σημαντικές έννοιες στη μικροοικονομική θεωρία.

Η **μακροοικονομία**, σε αντίθεση με τη μικροοικονομία, δε μελετά μεμονωμένα τμήματα της οικονομίας αλλά ασχολείται με το σύνολο των δραστηριοτήτων, την απόδοση, τη δομή, τη συμπεριφορά και τον τρόπο λήψης αποφάσεων ολόκληρης της οικονομίας, είτε αυτό αναφέρεται στην οικονομία ενός κράτους, μιας ομάδας κρατών ή την παγκόσμια οικονομία.^[xiv] Όλες οι πτυχές της οικονομίας είναι σημαντικές για την μακροοικονομία, αλλά ιδιαίτερος εξετάζονται η οικονομική μεγέθυνση (economic growth)³, ο πληθωρισμός⁴, η

² **Σχετική τιμή** είναι η τιμή ενός προϊόντος, αγαθού ή υπηρεσίας, σε σχέση με την τιμή ενός άλλου προϊόντος. Είναι δηλαδή η αναλογία δύο τιμών.

³ **Οικονομική μεγέθυνση** είναι η αύξηση του κατά κεφαλήν ΑΕΠ (GDP).

⁴ **Πληθωρισμός** είναι η αύξηση του γενικού επιπέδου τιμών μιας οικονομίας στη διάρκεια μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου.

ανεργία καθώς και οι οικονομικές πολιτικές που σχετίζονται με αυτά τα ζητήματα και ο τρόπος με τον οποίο τα επηρεάζουν.^{[xi][xv]}

Οι μακρο-οικονομολόγοι μελετούν αθροιστικούς δείκτες όπως το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν (ΑΕΠ), τους δείκτες ανεργίας και τους δείκτες τιμών για να κατανοήσουν πώς λειτουργεί το σύνολο της συγκεκριμένης οικονομίας. Επίσης αναπτύσσουν μακροοικονομικά μοντέλα, που εξηγούν τη σχέση μεταξύ παραγόντων όπως το εθνικό εισόδημα, την παραγωγή, την κατανάλωση, την ανεργία, τον πληθωρισμό, την αποταμίευση, την επένδυση, το διεθνές εμπόριο και τα διεθνή χρηματοοικονομικά.

Ενώ η μακροοικονομία περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα μελέτης, υπάρχουν δύο πεδία έρευνας που είναι εμβληματικά της επιστήμης: η προσπάθεια να γίνουν κατανοητές οι αιτίες και οι συνέπειες των βραχυπρόθεσμων διακυμάνσεων στο εθνικό εισόδημα και η προσπάθεια να γίνουν κατανοητοί οι καθοριστικοί παράγοντες της μακροπρόθεσμης οικονομικής μεγέθυνσης. Σημαντικά εργαλεία σε αυτήν την προσπάθεια είναι τα μακροοικονομικά μοντέλα, των οποίων οι προβλέψεις χρησιμοποιούνται από κυβερνήσεις και από μεγάλες εταιρίες για να παρέχουν βοήθεια στη χάραξη της οικονομικής πολιτικής και στην αξιολόγηση της επιχειρησιακής στρατηγικής.

4.2 Μακροοικονομικά μοντέλα

Ένα μακροοικονομικό μοντέλο είναι ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται για να παρουσιάσει μια συνολική εικόνα των λειτουργιών και των δραστηριοτήτων στην οικονομία μιας χώρας ή μιας περιοχής.^[xvi] Αυτά τα μοντέλα σχεδιάζονται συνήθως για να εξετάσουν τη δυναμική συνολικών ποσοτήτων, όπως το συνολικό ποσό των αγαθών και των υπηρεσιών που παράγονται, το συνολικό εισόδημα που αποκτάται, το επίπεδο εκμετάλλευσης των παραγωγικών πόρων, το επίπεδο των τιμών κτλ.

Είναι ένα μέσο αντιπαραβολής ερευνών πάνω σε μια οικονομία, με έναν συστηματικό και σχετικό με τις ασκούμενες οικονομικές πολιτικές τρόπο και εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα ερευνών αυτού του είδους. Ο στόχος ενός μακροοικονομικού μοντέλου είναι να καταφέρει να αναπαράξει τους κύριους μηχανισμούς ενός ολόκληρου οικονομικού συστήματος, το οποίο μπορεί να αποτελείται, όπως είπαμε και πριν, από μια περιοχή (όπως η νότια Ιταλία), ένα κράτος (όπως η Πολωνία), ή μια συλλογή κρατών (όπως τα μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης). Η μόνη απαίτηση είναι ότι η οντότητα που μοντελοποιείται, είναι αρκετά μεγάλη ώστε να μπορεί να επιδείξει τις χαρακτηριστικές ιδιότητες που βρίσκονται στο πεδίο του ενδιαφέροντος των μακροοικονομικών.^[xvii]

Τα μακροοικονομικά μοντέλα μπορεί να είναι εννοιολογικά, μαθηματικά ή/και υπολογιστικά. Οι διαφορετικοί τύποι μακροοικονομικών μοντέλων εξυπηρετούν διαφορετικούς σκοπούς και έχουν, ο καθένας, διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Τα μακροοικονομικά μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αποσαφηνίσουν και να επεξηγήσουν βασικές θεωρητικές αρχές. Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εξετάσουν, να συγκρίνουν και να ποσοτικοποιήσουν τις διαφορετικές θεωρίες που έχουν σχηματιστεί σχετικά με την οικονομία που είναι υπό μελέτη. Επιπλέον, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να παράγουν σενάρια «τι θα γινόταν αν», δηλαδή να εξεταστεί σε ποια κατάσταση θα βρισκόταν το οικονομικό σύστημα σε κάποια υποθετικά σενάρια. Συνήθως χρησιμοποιείται κατ' αυτόν τον τρόπο για να αξιολογηθούν τα πιθανά αποτελέσματα των αλλαγών σε νομισματικές, δημοσιονομικές ή άλλες κυβερνητικές οικονομικές πολιτικές.

Εν τέλει, μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίσης για να παράγουν οικονομικές προβλέψεις. Λόγω των παραπάνω, τα μακροοικονομικά μοντέλα χρησιμοποιούνται ευρέως στον ακαδημαϊκό κόσμο, τη διδασκαλία και την έρευνα· χρησιμοποιούνται επίσης ευρέως από διεθνείς οργανισμούς, κρατικές κυβερνήσεις και μεγάλες εταιρίες, καθώς επίσης και από συμβούλους οικονομικών και δεξαμενές σκέψης (think tanks).

4.2.1 Τύποι μακροοικονομικών μοντέλων

Τα μακροοικονομικά μοντέλα μπορεί να είναι πολλών ειδών. Οι πιθανοί τύποι, συγκεκριμένα, είναι:

- Απλά θεωρητικά μοντέλα
- Εμπειρικά προγνωστικά μοντέλα
- Δυναμικά στοχαστικά μοντέλα γενικής ισορροπίας
- Υπολογιστικά μοντέλα γενικής ισορροπίας
- Υπολογιστικά οικονομικά μοντέλα με τη χρήση ευφυών πρακτόρων

4.2.2 Απλά θεωρητικά μοντέλα

Τα μοντέλα αυτού του τύπου δεν είναι τίποτα παραπάνω από απλές περιγραφές με ένα μικρό αριθμό εξισώσεων ή διαγραμμάτων, που συχνά βρίσκουμε σε εκπαιδευτικά βιβλία σχετικά με την μακροοικονομία. Παραδείγματα αποτελούν το υπόδειγμα **IS/LM** (*Investment*: επένδυση, *Saving*: αποταμίευση, *Liquidity preference*: προτίμηση ρευστότητας, δηλαδή ζήτηση χρήματος, *Money supply*: προσφορά χρήματος), το υπόδειγμα **Mundell-Fleming** της Κεϋνσιανής θεωρίας της μακροοικονομίας, και το υπόδειγμα **Solow-Swan** της νεοκλασικής θεωρίας μεγέθυνσης (growth theory). Αυτά τα μοντέλα έχουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά γνωρίσματα. Είναι βασισμένα σε εξισώσεις που αφορούν μερικές μεταβλητές, οι οποίες μπορούν συχνά να παρουσιαστούν με απλά διαγράμματα. Πολλά από αυτά τα μοντέλα είναι στατικά, αλλά ορισμένα είναι δυναμικά και μπορούν να αναπαραστήσουν μια οικονομία κατά τη διάρκεια πολλών διαφορετικών χρονικών περιόδων. Οι μεταβλητές που εμφανίζονται σε αυτά τα μοντέλα συχνά αντικατοπτρίζουν μακροοικονομικά αθροιστικά δεδομένα (όπως το ΑΕΠ ή η συνολική απασχόληση) παρά μεταβλητές που περιγράφουν μεμονωμένες επιλογές. Και ενώ οι εξισώσεις που αφορούν αυτές τις μεταβλητές προορίζονται για να περιγράψουν

οικονομικές αποφάσεις, δεν αντλούνται συνήθως άμεσα με την απλή άθροιση των μεμονωμένων επιλογών. Αυτά τα μοντέλα, είναι αρκετά απλά για να χρησιμοποιηθούν για εκπαιδευτικούς σκοπούς σε επεξηγήσεις εισαγωγικών μακροοικονομικών θεωριών, αλλά για αυτόν ακριβώς το λόγο είναι και ανεπαρκή όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για την ποσοτική εφαρμογή στη χάραξη ή την αξιολόγηση μιας οικονομικής πολιτικής ή στην πρόγνωση, χωρίς να εμπλουτιστεί σημαντικά το μοντέλο.

4.2.3 Εμπειρικά προγνωστικά μοντέλα

Στη δεκαετία του '40 και του '50, δεδομένου ότι οι κυβερνήσεις άρχισαν να συσσωρεύουν δεδομένα για το εθνικό τους εισόδημα και το εθνικό τους προϊόν, οι οικονομολόγοι ανέλαβαν το έργο να κατασκευάσουν ποσοτικά μοντέλα για να απεικονίσουν τη δυναμική που παρατηρήθηκε στα δεδομένα. Αυτά τα μοντέλα υπολόγισαν τις σχέσεις μεταξύ των διαφορετικών μακροοικονομικών μεταβλητών χρησιμοποιώντας, γραμμική συνήθως, ανάλυση χρονολογικών σειρών (time series analysis). Όπως και τα απλούστερα θεωρητικά μοντέλα, αυτά τα εμπειρικά μοντέλα αναπαριστούσαν τις σχέσεις μεταξύ των συνολικών ποσοτήτων. Πολλά μοντέλα όμως προχώρησαν σε ένα πολύ μεγαλύτερο επίπεδο λεπτομέρειας (παραδείγματος χάριν, μελετώντας τις σχέσεις μεταξύ της παραγωγής, της απασχόλησης, της επένδυσης και άλλων μεταβλητών σε πολλές διαφορετικές βιομηχανίες).

Κατά συνέπεια, αυτά τα μοντέλα έτειναν, με την πάροδο του χρόνου, να περιλαμβάνουν εκατοντάδες ή χιλιάδες εξισώσεις που αναπαριστούσαν την εξέλιξη εκατοντάδων ή χιλιάδων τιμών και ποσοτήτων, κάτι που καθιστούσε τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές απαραίτητους για τη χρήση τους. Ενώ η επιλογή για το ποια μεταβλητή θα συμπεριλαμβανόταν σε κάθε εξίσωση γινόταν, εν μέρει, υπό την καθοδήγηση οικονομικών θεωριών (παραδείγματος χάριν, η συμπερίληψη του προηγούμενου εισοδήματος ως καθοριστικού παράγοντα της κατανάλωσης, όπως προτείνεται από τη θεωρία των προσαρμοστικών προσδοκιών), το αν θα συμπεριλαμβανόταν ή όχι μια μεταβλητή, καθοριζόταν κατά κύριο λόγο, με πλήρως εμπειρική εκτίμηση.

Ο Ολλανδός οικονομολόγος Jan Tinbergen δημιούργησε το πρώτο περιεκτικό εθνικό μοντέλο, το οποίο κατασκεύασε αρχικά για την Ολλανδία και στη συνέχεια, μετά το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, το εφάρμοσε στις Ηνωμένες Πολιτείες και το Ηνωμένο Βασίλειο. Το πρώτο παγκόσμιο μακροοικονομικό μοντέλο, το πρότζεκτ LINK του οργανισμού WEFA (Wharton Econometric Forecasting Associates), ξεκίνησε από τον Lawrence Klein, ιδρυτή της WEFA. Επίσημη αναφορά στο μοντέλο έγινε το 1980, όταν ο Klein κέρδισε, όπως και ο Tinbergen πριν από αυτόν, το βραβείο Νόμπελ. Μεγάλης κλίμακας εμπειρικά μοντέλα αυτού του τύπου, συμπεριλαμβανομένου του μοντέλου Wharton, χρησιμοποιούνται ακόμα σήμερα, ειδικά για προγνωστικούς σκοπούς.^{[xviii][xix]}

4.2.4 Κριτική στα εμπειρικά προγνωστικά μοντέλα

Οι οικονομετρικές⁵ μελέτες που έγιναν κατά το πρώτο μισό του 20ου αιώνα παρουσίασαν έναν αρνητικό συσχετισμό μεταξύ του πληθωρισμού και της ανεργίας σε μια οικονομία, που ονομάστηκε καμπύλη Phillips, προς τιμήν του Νεοζηλανδού οικονομολόγου William Phillips, που ανέδειξε αυτό το φαινόμενο σε μια εργασία του.^[xx] Εμπειρικά μακροοικονομικά προγνωστικά μοντέλα, που βασίζονταν περίπου στα ίδια στοιχεία, κατέληγαν σε παρόμοια συμπεράσματα: ισχυριζόντουσαν ότι η ανεργία θα μπορούσε να διατηρηθεί μόνιμα σε χαμηλά επίπεδα, αυξάνοντας μόνιμα τον πληθωρισμό. Και ο λόγος που κατέληγαν σε αυτά τα συμπεράσματα ήταν επειδή, συνήθως, πληθωριστικές πιέσεις παρατηρούνται σε οικονομίες που τρέχουν με υψηλούς ρυθμούς ανάπτυξης, κάτι που αυξάνει τη ζήτηση για προϊόντα, συνεπώς και τις τιμές για δεδομένη προσφορά. Λόγω δε των ρυθμών ανάπτυξης, δημιουργούνται θέσεις εργασίας, συνεπώς θα έπρεπε τα ποσοστά της ανεργίας να συμπιέζονται προς τα κάτω.

Εντούτοις, το 1968, ο Milton Friedman^[xxi] και ο Edmund Phelps^[xxii] υποστήριξαν ότι αυτή η φαινομενική ανταλλαγή ήταν πλασματική. Υποστήριξαν ότι η ιστορική σχέση μεταξύ του πληθωρισμού και της ανεργίας οφειλόταν στο γεγονός ότι τα προηγούμενα πληθωριστικά επεισόδια ήταν σε ένα μεγάλο βαθμό απροσδόκητα. Ισχυρίστηκαν ότι εάν οι νομισματικές αρχές αύξαναν μόνιμα το ποσοστό του πληθωρισμού, οι εργαζόμενοι και οι εταιρίες εν τέλει θα το συνειδητοποιούσαν και το αποτέλεσμα θα ήταν η επιστροφή της οικονομίας στην προηγούμενη κατάσταση, με το υψηλό επίπεδο ανεργίας, αλλά αυτή τη φορά και με υψηλότερο πληθωρισμό. Ο στασιμοπληθωρισμός⁶ της δεκαετίας του '70 εμφανίστηκε να επιβεβαιώνει αυτήν τους την πρόβλεψη.^[xv]

Το 1976, ο Robert Lucas, δημοσίευσε μια εργασία,^[xxiii] στην οποία υποστήριζε ότι η αποτυχία της καμπύλης Phillips στη δεκαετία του '70 ήταν μόνο ένα απλό παράδειγμα ενός γενικότερου προβλήματος που αφορούσε τα εμπειρικά προγνωστικά μοντέλα. Επεσήμανε ότι τέτοια μοντέλα προέρχονται από παρατηρηθείσες σχέσεις μεταξύ των διάφορων μακροοικονομικών ποσοτήτων στην πάροδο του χρόνου και ότι αυτές οι σχέσεις διαφέρουν αναλόγως με το ποια οικονομική πολιτική είναι σε ισχύ.

Στα πλαίσια της καμπύλης Phillips, αυτό σημαίνει ότι η σχέση μεταξύ του πληθωρισμού και της ανεργίας που παρατηρούνται σε μια οικονομία, όπου ο πληθωρισμός στο παρελθόν ήταν συνήθως σε χαμηλά επίπεδα, θα διέφερε από τη σχέση που παρατηρείται σε μια

⁵ **Οικονομετρία** είναι ο κλάδος της οικονομικής επιστήμης που εφαρμόζει τις μεθόδους της οικονομικής ανάλυσης στα στατιστικά δεδομένα για τη διάγνωση και ερμηνεία ενός οικονομικού φαινομένου.

⁶ **Στασιμοπληθωρισμός** (stagflation) αποκαλείται το οικονομικό φαινόμενο σύμφωνα με το οποίο, για ένα δεδομένο χρονικό διάστημα παρατηρείται **οικονομική στασιμότητα** (economic stagnation), δηλαδή χαμηλοί ρυθμοί οικονομικής μεγέθυνσης (και ως εκ τούτου υψηλό ποσοστό ανεργίας), παράλληλα με την αύξηση του **πληθωρισμού** (inflation).

οικονομία όπου ο πληθωρισμός είναι υψηλός.^[xv] Επιπροσθέτως, αυτό σημαίνει ότι κάποιος δεν μπορεί να προβλέψει τα αποτελέσματα μιας αλλαγής στην οικονομική πολιτική, χρησιμοποιώντας ένα εμπειρικό προγνωστικό μοντέλο, βασισμένο σε ιστορικά δεδομένα που είχαν συλλεχθεί σε προηγούμενες χρονικές περιόδους, όταν ήταν σε ισχύ διαφορετική οικονομική πολιτική, ειδικά όταν πρόκειται για ιστορικά δεδομένα που είναι σε μεγάλο βαθμό συγκεντρωτικά.^[xxiii]

Η θέση του αυτή, η οποία μετέπειτα θα ονομαζόταν προς τιμήν του **κριτική του Lucas**, έκανε εμφανές ότι οι συμβουλές κυβερνητικής πολιτικής, που βασιζόνταν σε συμπεράσματα που είχαν εξαχθεί από κατ' εκτίμηση συστήματα μοντέλων εξίσωσης, ουσιαστικά δεν είχαν ισχύ. Επειδή οι παράμετροι εκείνων των μοντέλων δεν ήταν δομικοί (δηλαδή δεν ήταν ανεξάρτητοι της οικονομικής πολιτικής), θα άλλαζαν αναγκαστικά, κάθε φορά που θα άλλαζε η πολιτική. Επομένως, τα συμπεράσματα για την πολιτική που θα έπρεπε να ακολουθηθεί, καθώς ήταν βασισμένα σε αυτά τα μοντέλα, αναπόφευκτα θα ήταν ελαττωματικά και ενδεχομένως παραπλανητικά. Αυτό το επιχείρημα έθεσε υπό αμφισβήτηση τα επικρατούντα μεγάλης κλίμακας οικονομετρικά μοντέλα εκείνης τη εποχής, που στερούνταν υποβάθρου στη δυναμική οικονομική θεωρία.

Ο Lucas υποστήριξε επίσης ότι οι οικονομολόγοι θα παρέμεναν ανίκανοι να προβλέψουν τα αποτελέσματα των νέων πολιτικών εκτός και αν σχεδίαζαν τα μοντέλα με τέτοιο τρόπο, ούτως ώστε να βασίζονται στα ίδια τα θεμελιώδη οικονομικά δεδομένα⁷, τις «βαθιές παραμέτρους» (deep parameters) όπως τις ονόμασε, που καθορίζουν τη συμπεριφορά του ατόμου. Έπειτα, μπορούμε να προβλέψουμε τι θα κάνουν τα μεμονωμένα άτομα, λαμβάνοντας υπόψη την αλλαγή στην οικονομική πολιτική και στη συνέχεια να αθροίσουμε τις μεμονωμένες αποφάσεις, για να υπολογίσουμε τις μακροοικονομικές συνέπειες της αλλαγής πολιτικής. Κάτι τέτοιο θα έκανε τα μοντέλα απρόσβλητα στις αλλαγές της οικονομικής πολιτικής.

Η κριτική του Lucas είχε καταλυτική επίδραση, όχι μόνο επειδή δημιούργησε αμφιβολίες για πολλά υπάρχοντα οικονομικά μοντέλα, αλλά και επειδή ενθάρρυνε τους μακρο-οικονομολόγους να κατασκευάζουν τα μοντέλα τους βασιζόμενοι στη μικρο-θεμελίωση (microfoundations), δηλαδή να στηρίζουν τη μακροοικονομική τους ανάλυση στη μικροοικονομική ανάλυση της συμπεριφοράς μεμονωμένων πρακτόρων, όπως τα νοικοκυριά ή οι εταιρίες. Η μικρο-θεμελίωση ανέκαθεν θεωρείτο επιθυμητή, αλλά ο Lucas έπεισε πολλούς οικονομολόγους ότι ήταν απαραίτητη.

⁷ Τα **Θεμελιώδη οικονομικά δεδομένα** (economic fundamentals) είναι ένας όρος με πολύ ευρεία σημασία και περιλαμβάνει μεγέθη που θεωρούνται θεμελιώδη για μια οικονομία, όπως τα επιτόκια, το δημοσιονομικό έλλειμμα, το εμπορικό ισοζύγιο μιας χώρας, το ποσοστό πληθωρισμού κ.α.

4.3.1 Δυναμικά στοχαστικά μοντέλα γενικής ισορροπίας

Εν μέρει, ως απάντηση στην κριτική του Lucas, οι οικονομολόγοι της δεκαετίας του '80 και του '90 άρχισαν να κατασκευάζουν μικρο-θεμελιωμένα (microfounded)^[xxiv] μακροοικονομικά μοντέλα, βασισμένα στη λογική επιλογή, τα οποία με τον καιρό ονομάστηκαν δυναμικά στοχαστικά μοντέλα γενικής ισορροπίας (dynamic stochastic general equilibrium ή DSGE).

Ο σχεδιασμός αυτών των μοντέλων ξεκινά με τον προσδιορισμό του συνόλου των πρακτόρων που ενεργούν μέσα στην οικονομία, όπως οι οικογένειες, οι εταιρίες και οι κυβερνήσεις, που βρίσκονται σε μια ή περισσότερες χώρες, καθώς επίσης και των προτιμήσεων, της τεχνολογίας -με την έννοια της παραγωγικής ικανότητας- και των θεσμικών περιορισμών, του καθενός πράκτορα. Γίνεται η υπόθεση ότι κάθε πράκτορας θα διαλέξει τη βέλτιστη επιλογή, λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές και τις στρατηγικές άλλων πρακτόρων, για την τρέχουσα περίοδο και το μέλλον. Συνοψίζοντας τις αποφάσεις των διαφορετικών τύπων πρακτόρων, είναι εφικτό να βρεθούν οι τιμές που εξισώνουν την προσφορά με τη ζήτηση σε κάθε αγορά. Κατά συνέπεια, αυτά τα μοντέλα ενσωματώνουν έναν τύπο συνεπούς ισορροπίας: οι πράκτορες επιλέγουν τη βέλτιστη απόφαση λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές, ενώ οι τιμές πρέπει να είναι σύμφωνες με τις προσφορές και τις ζητήσεις των πρακτόρων.

Τα μοντέλα DSGE συχνά υιοθετούν την υπόθεση ότι όλοι οι πράκτορες ενός δεδομένου τύπου είναι πανομοιότυποι (δηλ. υπάρχει μια «αντιπροσωπευτική οικογένεια» και μια «αντιπροσωπευτική εταιρία») και μπορούν να εκτελέσουν τέλειους υπολογισμούς, σχετικά με την πρόγνωση του μέλλοντος, που είναι κατά προσέγγιση σωστοί, σύμφωνα με τη θεωρία των λογικών προσδοκιών (rational expectations). Όμως, αυτές δεν είναι παρά απλουστευτικές υποθέσεις που κάνουμε και δεν είναι απαραίτητες για τη μεθοδολογία DSGE. Πολλές μελέτες DSGE στοχεύουν σε μεγαλύτερο ρεαλισμό, λαμβάνοντας υπόψη ετερογενείς πράκτορες ή διάφορους τύπους προσαρμοστικών προσδοκιών.^{[xxv][xxvi]}

Έναντι των εμπειρικών προγνωστικών μοντέλων, τα μοντέλα DSGE, τυπικά, έχουν λιγότερες μεταβλητές και εξισώσεις, κυρίως επειδή τα μοντέλα DSGE είναι πιο δύσκολο να λυθούν, ακόμη και με τη βοήθεια ηλεκτρονικών υπολογιστών.^[xxvii] Απλά θεωρητικά μοντέλα DSGE, που περιλαμβάνουν μόνο μερικές μεταβλητές, έχουν χρησιμοποιηθεί για να προσπαθήσουν να ανακαλύψουν τους μηχανισμούς, που είναι σημαντικοί για την κατανόηση των οικονομικών κύκλων (business cycles). Αυτή η εμπειρική εργασία έδωσε αφορμή για τη δημιουργία των δύο κύριων πλαισίων εργασίας, που ανταγωνίζονται το ένα το άλλο, αποκαλούμενα μοντέλο πραγματικών οικονομικών κύκλων (real business cycle model)^[xxviii] και το νεο-κεϋνσιανό DSGE μοντέλο.^[xxix]

Πιο περίπλοκα DSGE μοντέλα χρησιμοποιούνται για να προβλέψουν τα αποτελέσματα αλλαγών στην οικονομική πολιτική και να αξιολογήσουν τον αντίκτυπο που θα έχουν στην κοινωνική πρόνοια. Ωστόσο, η οικονομική πρόβλεψη είναι ακόμα, κατά ένα μεγάλο μέρος, βασισμένη στα πιο παραδοσιακά εμπειρικά μοντέλα· τα οποία, πιστεύεται ακόμα ευρέως ότι

επιτυγχάνουν να προβλέψουν με μεγάλη ακρίβεια τον αντίκτυπο των οικονομικών διαταραχών στην πάροδο του χρόνου.

4.2.5 Υπολογιστικά μοντέλα γενικής ισορροπίας

Μια στενά συνδεδεμένη μεθοδολογία μοντελοποίησης, που προηγείται χρονικά της DSGE, είναι η υπολογιστική μοντελοποίηση γενικής ισορροπίας (computable general equilibrium ή, εν συντομία, CGE). Όπως και τα DSGE μοντέλα, τα CGE μοντέλα είναι συχνά μικρο-θεμελιωμένα σε υποθέσεις που έχουν γίνει για τις προτιμήσεις, την τεχνολογία, και τους περιορισμούς προϋπολογισμού. Ωστόσο, τα μοντέλα CGE εστιάζουν κυρίως στις σχέσεις που έχουν μεγάλη διάρκεια, κάτι που τα καθιστά περισσότερο κατάλληλα για τη μελέτη του μακροπρόθεσμου αντίκτυπου των μόνιμων οικονομικών πολιτικών, όπως το φορολογικό σύστημα ή το πόσο ανοιχτή είναι η οικονομία στο διεθνές εμπόριο.^[xxx] Τα DSGE μοντέλα, εν αντιθέσει, δίνουν έμφαση στη δυναμική της οικονομίας όπως παρατηρείται στην πάροδο του χρόνου (συχνά σε μια τριμηνιαία συχνότητα), καθιστώντας τα πιο κατάλληλα για τη μελέτη των οικονομικών κύκλων και των κυκλικών επιδράσεων της νομισματικής και οικονομικής πολιτικής.

4.2.6 Υπολογιστικά οικονομικά με τη χρήση ευφυών πρακτόρων

Μια άλλη μεθοδολογία μοντελοποίησης, η οποία αναπτυσσόταν παράλληλα με τα μοντέλα DSGE, είναι αυτή των υπολογιστικών οικονομικών βασισμένων στη χρήση ευφυών πρακτόρων (Agent-based computational economics ή ACE).^[xxxi] Όπως και η DSGE μεθοδολογία, η ACE μεθοδολογία επιδιώκει να αναλύσει τις συνολικές μακροοικονομικές σχέσεις σε μικροοικονομικές αποφάσεις μεμονωμένων πρακτόρων.

Η μοντελοποίηση ACE ξεκινά, όπως και η DSGE, με τον καθορισμό του συνόλου των πρακτόρων που αποτελούν την οικονομία και τον προσδιορισμό των τύπων των αλληλεπιδράσεων που οι μεμονωμένοι πράκτορες μπορούν να έχουν ο ένας με τον άλλον ή με την αγορά σε σύνολο. Όμως, αντί να καθοριστούν οι προτιμήσεις αυτών των πρακτόρων, τα μοντέλα ACE συχνά προχωρούν κατευθείαν στον καθορισμό των στρατηγικών τους. Ή, μερικές φορές, καθορίζονται οι προτιμήσεις μαζί με μια αρχική στρατηγική και έναν κανόνα εκμάθησης, με τον οποίο η στρατηγική τροποποιείται σύμφωνα με την προηγούμενη επιτυχία της. Λαμβάνοντας υπόψη αυτές τις στρατηγικές, η αλληλεπίδραση ενός μεγάλου αριθμού μεμονωμένων πρακτόρων (οι οποίοι μπορεί να είναι πολύ ετερογενείς) μπορεί να προσομοιωθεί σε έναν υπολογιστή, ούτως ώστε να μπορούν έπειτα να μελετηθούν οι αθροιστικές μακροοικονομικές σχέσεις, που προκύπτουν από εκείνες τις μεμονωμένες ενέργειες.

4.2.7 Σύγκριση των μοντέλων DSGE και ACE

Τα DSGE και ACE μοντέλα έχουν διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, λόγω των διαφορετικών υποδομών που έχουν. Τα μοντέλα DSGE ίσως να μεγαλοποιούν τη σημασία της λογικής ικανότητας και της προορατικότητας των πρακτόρων και να μειώνουν τη σημασία της ετερογένειας, εφόσον η περίπτωση των αντιπροσωπευτικών πρακτόρων με λογικές προσδοκίες (rational expectations) παραμένει ο απλούστερος στην επίλυση και έτσι ο πιο κοινός τύπος μοντέλων DSGE. Επίσης, αντίθετα από τα μοντέλα ACE, είναι συνήθως πολύ δύσκολο να μελετηθούν οι τοπικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μεμονωμένων πρακτόρων στα πρότυπα DSGE, τα οποία συνήθως εστιάζουν αντ' αυτού στον τρόπο που οι πράκτορες αλληλεπιδρούν μέσω των αθροιστικών τιμών.

Αφ' ετέρου, τα μοντέλα ACE μπορεί να μεγαλοποιούν τα λάθη που κάνουν οι μεμονωμένοι πράκτορες κατά τη λήψη των αποφάσεων, δεδομένου ότι οι στρατηγικές που χρησιμοποιούνται στα πρότυπα ACE μπορεί να απέχουν πολύ από τις βέλτιστες επιλογές, εκτός αν ο σχεδιαστής είναι πολύ προσεκτικός. Ένα σχετικό ζήτημα είναι ότι τα μοντέλα ACE, που ξεκινούν από τις στρατηγικές αντί των προτιμήσεων, ίσως παραμείνουν τρωτά στην κριτική του Lucas: μια αλλαγή στην οικονομική πολιτική πρέπει συνήθως να ακολουθείται και από αλλαγή στρατηγικής.

4.3 Εμβάθυνση στη μεθοδολογία ACE

Οι αποκεντρωμένες οικονομίες αγοράς αποτελούνται από μεγάλους αριθμούς οικονομικών πρακτόρων που συμμετέχουν σε διανεμημένες τοπικές αλληλεπιδράσεις. Αυτές οι τοπικές αλληλεπιδράσεις προξενούν το σχηματισμό μακροοικονομικών κανονικότητας, όπως πρωτόκολλα εμπορικών συναλλαγών, κοινωνικά αποδεκτών χρημάτων και ευρέως υιοθετημένες τεχνολογικές καινοτομίες, οι οποίες ανατροφοδοτούν με τη σειρά τους τον προσδιορισμό των τοπικών αλληλεπιδράσεων. Το αποτέλεσμα είναι ένα περίπλοκο δυναμικό σύστημα επαναλαμβανόμενων αλυσιδωτών δράσεων και αντιδράσεων, που συνδέουν την συμπεριφορά των πρακτόρων, τα δίκτυα αλληλεπίδρασης και την κατάσταση της κοινωνικής ευημερίας.^[xxxii]

Αυτή η αμφίδρομη ανάδραση, μεταξύ της μικροδομής και της μακροδομής, έχει επισημανθεί στην οικονομική επιστήμη εδώ και πολύ καιρό.^[xxxiii] Εντούτοις, για ένα μεγάλο μέρος αυτής της περιόδου, οι οικονομολόγοι στερούνταν τα μέσα που θα τους έδιναν τη δυνατότητα να μοντελοποιήσουν αυτή την ανάδραση ποσοτικά, σε βαθμό που να προσέγγιζε την πραγματική πολυπλοκότητά του.

Το εμφανέστερο χαρακτηριστικό των παραδοσιακών ποσοτικών οικονομικών μοντέλων, που στηρίζονταν στη μικρο-θεμελίωση (microfoundations) είναι η κατασκευαστική προσέγγιση «από πάνω προς τα κάτω» (top-down). Έντονη εξάρτηση αναπτύσσεται σε εξωτερικά επιβληθέντες μηχανισμούς συντονισμού, όπως οι σταθεροί κανόνες λήψης

αποφάσεων, οι παραδοχές για την κοινή λογική, οι αντιπροσωπευτικοί πράκτορες και οι περιορισμοί της ισορροπίας της αγοράς. Οι προσωπικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των οικονομικών πρακτόρων δεν διαδραματίζουν κανέναν ουσιαστικό ρόλο ή εμφανίζονται υπό μορφή ιδιαίτερα τυποποιημένων αλληλεπιδράσεων παιχνιδιών. Εν ολίγοις, οι οικονομικοί πράκτορες σε αυτά τα μοντέλα είναι ασφυκτικά περιορισμένοι.

Τα τελευταία χρόνια, όμως, η ουσιαστική πρόοδος που έχει σημειωθεί στα εργαλεία μοντελοποίησης έχει επεκτείνει κατά πολύ τις δυνατότητες των οικονομολόγων. Οι ερευνητές μπορούν τώρα να μοντελοποιήσουν ποσοτικά μια ευρεία ποικιλία σύνθετων φαινομένων, που συνδέονται με τις αποκεντρωμένες οικονομίες της αγοράς, όπως η επαγωγική εκμάθηση, ο ατελής ανταγωνισμός, ο ενδογενής σχηματισμός εμπορικών δικτύων και η απέραντη συν-εξέλιξη των μεμονωμένων συμπεριφορών και των οικονομικών θεσμών.

Ένας κλάδος αυτής της εργασίας, έχει γίνει γνωστός με το όνομα «υπολογιστικά οικονομικά με τη χρήση ευφύων πρακτόρων» (ACE) και ορίζεται ως η «υπολογιστική μελέτη οικονομιών, οι οποίες έχουν μοντελοποιηθεί ως εξελισσόμενα συστήματα αυτόνομων αλληλεπιδρώντων πρακτόρων. Ξεκινώντας από κάποιες δεδομένες αρχικές συνθήκες, που έχουν καθοριστεί από τον σχεδιαστή, η υπολογιστική οικονομία εξελίσσεται με την πάροδο του χρόνου, καθώς οι πράκτορες που το αποτελούν, αλληλεπιδρούν επανειλημμένα μεταξύ τους και μαθαίνουν από αυτές τις αλληλεπιδράσεις».^[xxxi]

Όπως και σε ένα εργαστηριακό πείραμα με μικροβιολογικές καλλιέργειες, ο σχεδιαστής των ACE, ξεκινάει με την κατασκευή μιας οικονομίας με έναν αρχικό πληθυσμό πρακτόρων. Αυτοί περιλαμβάνουν και οικονομικούς πράκτορες (π.χ. έμποροι, χρηματοοικονομικοί θεσμοί, κτλ) και πράκτορες που αντιπροσωπεύουν τα διάφορα άλλα κοινωνικά και περιβαλλοντικά φαινόμενα (π.χ. κυβέρνηση, έδαφος, καιρός κτλ). Ο σχεδιαστής των ACE προσδιορίζει την αρχική κατάσταση της οικονομίας με τον καθορισμό των αρχικών ιδιοτήτων των πρακτόρων. Οι αρχικές ιδιότητες ενός πράκτορα μπορεί να περιλαμβάνουν χαρακτηριστικά τύπων, εσωτερικευμένες νόρμες συμπεριφοράς, εσωτερικές λειτουργίες συμπεριφοράς (συμπεριλαμβανομένων των λειτουργιών επικοινωνίας και εκμάθησης) και εσωτερικά αποθηκευμένων πληροφοριών για τον εαυτό του και για άλλους πράκτορες.

Η οικονομία εξελίσσεται έπειτα, με την πάροδο του χρόνου, χωρίς περαιτέρω επέμβαση από τον σχεδιαστή. Όλα τα γεγονότα που συμβαίνουν στη συνέχεια πρέπει να προκύπτουν από την αλληλουχία των γεγονότων, που συνέβησαν από τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των πρακτόρων. Κανένας εξωτερικός μηχανισμός συντονισμού δεν επιτρέπεται. Παραδείγματος χάριν, καμία προσφυγή δεν μπορεί να γίνει σε ένα σύστημα καθορισμού και επιβολής των τιμών εκκαθάρισης⁸ μέσω υπολογισμών σταθερών σημείων (fixed point calculations).

⁸ **Τιμή εκκαθάρισης** (market-clearing price) ή **τιμή ισορροπίας** (equilibrium price) είναι η τιμή ενός προϊόντος ή υπηρεσίας, στην οποία η ποσότητα που προσφέρεται, ισούται με την ποσότητα που ζητείται.

Εν κατακλείδι, το χαρακτηριστικό που καθορίζει τις οικονομίες των μοντέλων ACE είναι η θεμελίωση τους στις αλληλεπιδράσεις αυτόνομων προσαρμοστικών πρακτόρων, οι οποίοι μπορεί να περιλαμβάνουν οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές οντότητες. Η κατάσταση της οικονομίας ενός μοντέλου ACE, σε κάθε συγκεκριμένη στιγμή, δίνεται από τις εσωτερικές ιδιότητες των μεμονωμένων πρακτόρων, που αποτελούν την οικονομία εκείνη την περίοδο. Αυτού του είδους οι περιγραφές των καταστάσεων θα έχουν, πιθανώς, άμεση σημασία για τους οικονομολόγους και άλλους ειδικούς των κοινωνικών επιστημών, αυξάνοντας κατά συνέπεια τη διαφάνεια και τη σαφήνεια της διαδικασίας διαμόρφωσης.

Η χρήση των μοντέλων ACE μπορεί επίσης να διευκολύνει την ανάπτυξη και την πειραματική δοκιμή ενσωματωμένων θεωριών, που στηρίζονται στη θεωρία και τα δεδομένα πολλών διαφορετικών τομέων των κοινωνικών επιστημών. Συγκεκριμένα, τα συστήματα ACE θα μπορούσαν να ενθαρρύνουν τους οικονομολόγους να αντιμετωπίσουν τα ζητήματα της ανάπτυξης, της διανομής και της ευημερίας κατά τρόπο περιεκτικότερο, περικλείοντας ποικίλους οικονομικούς, κοινωνικούς, πολιτικούς και ψυχολογικούς παράγοντες, αποκαθιστώντας κατά συνέπεια το όραμα των πρώτων πολιτικών οικονομολόγων.

5 Unity

5.1 Εισαγωγή

Το Unity είναι μια μηχανή γραφικών που συνοδεύεται από ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης (IDE) και έχει κατασκευαστεί από την Unity Technologies.

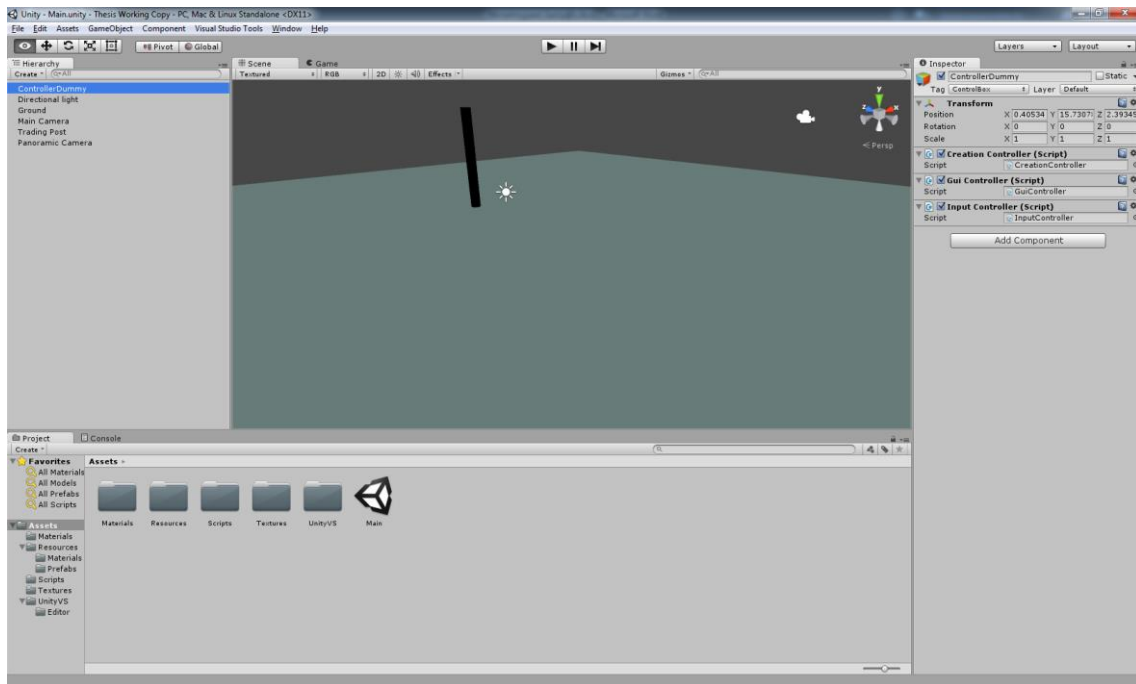
Για την παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η έκδοση 4 του Unity. Κατά την διάρκεια της εκπόνησης της διατριβής, δόθηκε στην κυκλοφορία η έκδοση 5 του Unity, αλλά η μετατροπή του project σε συμβατή έκδοχή με την έκδοση 5 προκάλούσε προβλήματα στην κίνηση των πρακτόρων, λόγω της αλλαγής στη μηχανή φυσικής που χρησιμοποιεί η έκδοση 5 (Nvidia PhysX 3.3 έναντι της 2.8 που χρησιμοποιεί το Unity 4).



Η εισαγωγική οθόνη του Unity 4

5.2 Editor

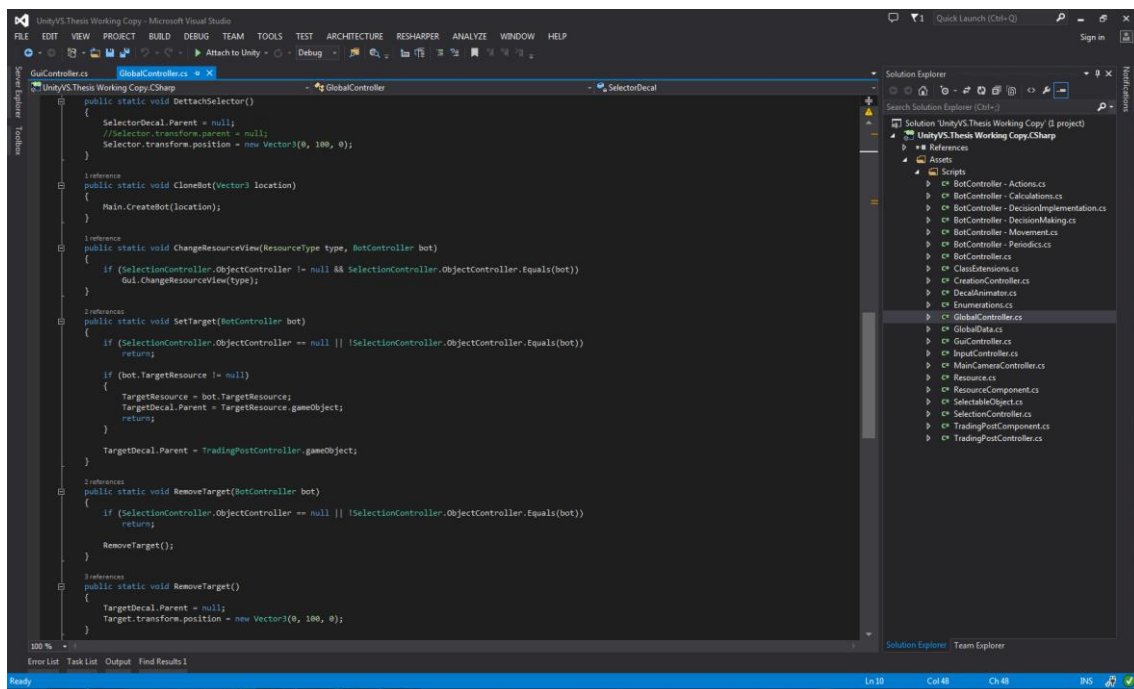
Ο Editor του Unity είναι πολύ απλός στη χρήση. Επιτρέπει την εισαγωγή 3D μοντέλων και άλλων πόρων με ένα απλό drag and drop και γενικά ο χειρισμός του είναι πολύ διαισθητικός.



Το IDE του Unity

5.3 API

Η μηχανή Unity παρέχει βιβλιοθήκες σε **C#** και **JavaScript** για την υποστήριξη των προγραμματιστών που θέλουν να κάνουν χρήση των δυνατοτήτων της μηχανής. Για την παρούσα εφαρμογή επελέγη η γλώσσα C# και το Visual Studio της Microsoft ως editor για τον κώδικα, σε συνδυασμό με το UnityVS που επιτρέπει τη χρήση του Visual Studio για το debugging του κώδικα.



Χρήση του Visual Studio 2013 για την κατασκευή του κώδικα

6 Περιγραφή του εικονικού κόσμου

6.1 Κόσμος

Στον εικονικό κόσμο που δημιουργήσαμε, δημιουργούνται κάποιοι κύβοι κόκκινου, κίτρινου ή μπλε χρώματος, οι οποίοι αναπτύσσονται συνεχώς σε μέγεθος, μέχρι να φτάσουν μια μέγιστη ποσότητα (5 μονάδες).

Ο κόσμος κατοικείται από ευφυείς πράκτορες που έχουν τη φυσική μορφή ενός ρομπότ. Οι πράκτορες εξάγουν τους κύβους από το έδαφος και τους συνδυάζουν για να παραγάγουν πιο σύνθετους πόρους ή τους ανταλλάσσουν στο κέντρο εμπορίου. Περισσότερα για τους πράκτορες και το κέντρο εμπορίου, πιο αναλυτικά παρακάτω.

6.2 Ευφυείς πράκτορες

6.2.1 Γενικά

Οι πράκτορες για να λειτουργούν καταναλώνουν μια μικρή ποσότητα από κάθε είδος κύβου, ανά μονάδα χρόνου. Για αυτόν τον λόγο, απαιτείται να εφοδιάζονται συνεχώς με όλα τα είδη των κύβων. Οι πράκτορες έχουν τη δυνατότητα να συλλέγουν τα τρία βασικά είδη πόρων (κόκκινο, κίτρινο, μπλε) από το περιβάλλον και να τα συνδυάζουν ώστε να παράγουν τα άλλα τρία είδη (πορτοκαλί, πράσινο, μωβ). Ως εκ τούτου, οι παραγωγικές δραστηριότητες που μπορούν να εκτελέσουν οι πράκτορες είναι οι εξής:

- Εξαγωγή κόκκινου
- Εξαγωγή κίτρινου
- Εξαγωγή μπλε
- Παραγωγή πορτοκαλί
- Παραγωγή πρασίνου
- Παραγωγή μωβ

Κάθε μία από τις παραπάνω δραστηριότητες, όταν πραγματοποιούνται, αυξάνουν την επιδεξιότητα του πράκτορα στην συγκεκριμένη δραστηριότητα και αυτό με τη σειρά του την κάνει πιο αποδοτική. Δηλαδή, όσο πιο ικανός γίνεται ένας πράκτορας στην εξαγωγή ή την παραγωγή ενός πόρου, τόσο πιο μεγάλη είναι η παραγόμενη ποσότητα ανά μονάδα χρόνου.

Οι πράκτορες έχουν επίσης τη δυνατότητα να αγοράσουν και να πουλήσουν μια ποσότητα ενός πόρου. Το παραπάνω, σε συνδυασμό με το ότι μια δραστηριότητα είναι πιο αποδοτική όταν ένας πράκτορας την εκτελεί συστηματικά, οδηγεί στο γεγονός ότι είναι προτιμότερο για τους πράκτορες να εξειδικεύονται σε κάποια δραστηριότητα και να αποκτούν τα υπόλοιπα αγαθά, αγοράζοντας τα.

6.2.2 Σύστημα λήψης αποφάσεων

Ένας πράκτορας λαμβάνει αποφάσεις με βάση ένα σύστημα ιεραρχημένων στόχων, που φαίνονται παρακάτω:

- Τελικός στόχος (*Goal*)
- Ενδιάμεσος στόχος (*Objective*)
- Αποστολή (*Task*)
- Δραστηριότητα (*Activity*)

Ο τελικός στόχος είναι η απόκτηση ενός από τα έξι είδη πόρων, δηλαδή είναι ένας από τους παρακάτω στόχους:

- AcquireRed
- AcquireYellow
- AcquireBlue
- AcquireOrange
- AcquireGreen
- AcquirePurple

Το είδος του πόρου, για τη συλλογή του οποίου θα τεθεί ο τελικός στόχος, είναι αυτό για το οποίο ο πράκτορας έχει τη μεγαλύτερη ανάγκη, ή την μικρότερη ποσότητα στην κατοχή του, σε σχέση με τα άλλα είδη.

Ο ενδιάμεσος στόχος, τίθεται με βάση τον τελικό στόχο. Στην ουσία είναι μια συγκεκριμένη στρατηγική για την πραγματοποίηση του τελικού στόχου, δηλαδή την απόκτηση ενός πόρου. Και αυτό θα γίνεται είτε με εξαγωγή/παραγωγή του πόρου, από τον ίδιο τον πράκτορα, είτε με την αγορά του. Ο ενδιάμεσος στόχος είναι ένας από τους ακόλουθους:

- ExtractRed
- ExtractYellow
- ExtractBlue
- ProduceOrange
- ProduceGreen
- ProducePurple
- BuyRed
- BuyYellow
- BuyBlue
- BuyOrange
- BuyGreen
- BuyPurple

Το αν ο πράκτορας επιλέξει να αγοράσει ή να εξαγάγει ένα είδος πόρου, αποφασίζεται με βάση τον εξής αλγόριθμο: Αν το είδος του πόρου είναι αυτό στο οποίο έχει την μεγαλύτερη ικανότητα, τότε επιλέγει να τον εξάγει. Διαφορετικά, αν είναι απλός και όχι σύνθετος πόρος και υπάρχει διαθέσιμη ποσότητα, τότε επιλέγει να τον αγοράσει. Αν είναι σύνθετος πόρος (πορτοκαλί, πράσινο, μωβ), τότε εξετάζει αν η τιμή του πόρου, στην παραγωγή του οποίου εξειδικεύεται, είναι διπλάσια από την τιμή των δύο πόρων που ο συνδυασμός του παράγει τον ζητούμενο πόρο. Αν αυτό ισχύει και υπάρχει διαθέσιμη ποσότητα, τότε αποφασίζει να τον αγοράσει. Διαφορετικά, τον εξάγει.

Η αποστολή του πράκτορα τίθεται με βάση τον ενδιάμεσο στόχο. Οι πιθανές επιλογές για αποστολές είναι πανομοιότυπες με αυτές των ενδιάμεσων στόχων, δηλαδή η εξαγωγή/παραγωγή ή αγορά κάποιου πόρου. Αν ο ενδιάμεσος στόχος είναι η εξαγωγή ενός απλού πόρου, τότε η αποστολή γίνεται πανομοιότυπη με αυτόν. Αν από την άλλη, ο ενδιάμεσος στόχος είναι η παραγωγή ενός σύνθετου πόρου, τότε η αποστολή αφορά την απόκτηση ενός από των δύο απαιτούμενων (για την παραγωγή) πόρων.

Με τη σειρά της, η δραστηριότητα του πράκτορα μπορεί να είναι μία από τις ακόλουθες:

- Moving
- ExtractingRed
- ExtractingYellow
- ExtractingBlue
- ProducingOrange
- ProducingGreen
- ProducingPurple

Περιλαμβάνει δηλαδή, τη μετακίνηση και την εξαγωγή ή παραγωγή των πόρων όλων των ειδών και ουσιαστικά αποτελεί την άμεση υλοποίηση της αποστολής.

6.2.3 Υλοποίηση αποφάσεων

Όταν ο πράκτορας θέλει να πραγματοποιήσει μια δραστηριότητα, συνήθως χρειάζεται να μετακινηθεί πρώτα. Παραδείγματος χάριν, για να εξάγει ένα πόρο, επιλέγει τον πλησιέστερο πόρο αυτού του είδους και τον θέτει ως στόχο για εξαγωγή. Στη συνέχεια κινείται προς το μέρος του, μέχρι να βρεθεί σε μικρή από αυτό απόσταση και να αρχίσει τη διαδικασία εξαγωγής.

Οι πράκτορες, για να καταφέρνουν να μετακινούνται προς το στόχο τους, διαθέτουν ένα σύστημα ανίχνευσης εμποδίων και αν αντιληφθούν ότι υπάρχει εμπόδιο στην πορεία τους προς τον στόχο, επιλέγουν εναλλακτική πορεία. Επιπλέον, αν παρατηρήσουν ότι υπάρχει συνωστισμός πρακτόρων γύρω από κάποιον πόρο, τότε επιλέγουν έναν πιο απομακρυσμένο.

6.2.4 Κύκλος ζωής

Οι πράκτορες έχουν συγκεκριμένη διάρκεια ζωής, πέραν της οποίας μπαίνουν σε κατάσταση αυτοκαταστροφής και εν τέλει εξαφανίζονται. Αυτή η διαδικασία μπορεί επίσης να ενεργοποιηθεί από τον χρήστη.

Ένας πράκτορας μπορεί να δημιουργήσει έναν άλλο πράκτορα, αν έχει στην κατοχή του 3 μονάδες από το κάθε είδους πόρου. Οι πόροι χρησιμοποιούνται και ένας νέος πράκτορας δημιουργείται.

6.3 Κέντρο εμπορίου

Το κέντρο εμπορίου είναι ένα κτίσμα στον κόσμο της προσομοίωσης, στο οποίο οι ευφυείς πράκτορες πραγματοποιούν αγορές και πωλήσεις πόρων. Οι συναλλαγές αυτές υλοποιούνται με τη χρήση ενός είδους νομίσματος. Το Κ.Ε. διαθέτει κάποια ποσότητα από το κάθε είδος πόρου και διενεργεί αγοραπωλησίες σε συγκεκριμένη τιμή για τον κάθε πόρο, που έχει καθοριστεί από έναν μηχανισμό. Η τιμή αγοράς και πώλησης είναι κοινή για το κάθε είδος και επίσης, οι ποσότητες και οι τιμές είναι ακέραιοι αριθμοί. Ο μηχανισμός καθορισμού τιμών είναι εξαιρετικά απλός, αλλά κατορθώνει να αποδώσει τη δυναμική μιας πραγματικής μικροοικονομίας.

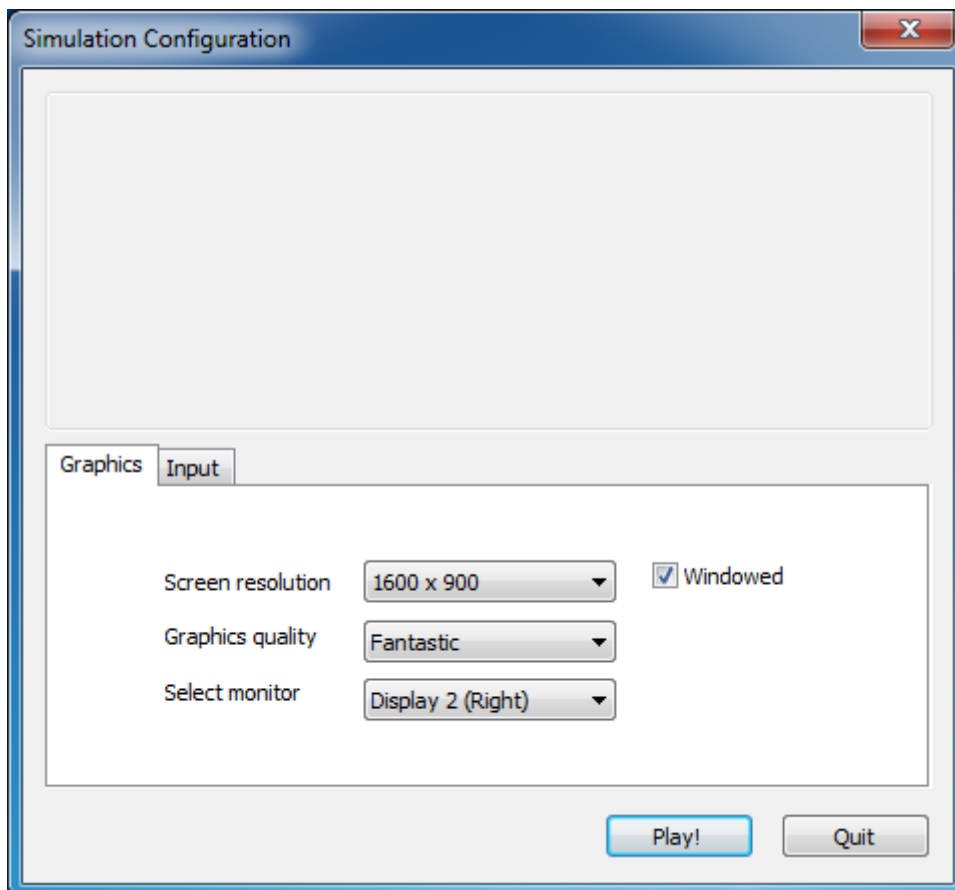
Συγκεκριμένα, στην εκκίνηση της προσομοίωσης, το Κ.Ε. είναι εφοδιασμένο με ένα αρχικό απόθεμα από κάθε πόρο και οι τιμές είναι ίδιες για όλους τους πόρους. Κάθε φορά που ένας πράκτορας πουλάει μια ποσότητα X ενός πόρου στο Κ.Ε., η τιμή του ελαττώνεται κατά X μονάδες, με βασική προϋπόθεση ότι η τιμή ενός πόρου δεν μπορεί να είναι λιγότερο από 1. Αυτό αντικατοπτρίζει την μείωση της τιμής ενός αγαθού με την αύξηση της προσφοράς για το αγαθό αυτό. Αύξηση της προσφοράς έχουμε επειδή η διαθέσιμη ποσότητα προς πώληση, μετά την αγορά από την πράκτορα αυξάνεται. Αντίστοιχα, με πώληση μιας ποσότητας X ενός πόρου σε έναν πράκτορα, θα έχουμε αύξηση της τιμής του πόρου κατά X μονάδες. Συμπληρωματικά, κάθε φορά που ένας πράκτορας δηλώνει την πρόθεση να αγοράσει ένα είδος πόρου, αλλά δεν υπάρχει σε απόθεμα στο Κ.Ε., τότε η τιμή του αυξάνεται κατά μία μονάδα.

Με αυτόν τον μηχανισμό, παρατηρείται ότι με την εκτέλεση της προσομοίωσης σε βάθος χρόνου, διαμορφώνονται κάποιες ισοτιμίες που είναι λογικές, αν λάβουμε υπόψιν την αφθονία των πόρων και την δυσκολία παραγωγής τους.

7 Εφαρμογή

7.1 Εκκίνηση

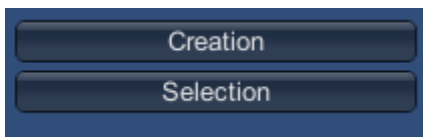
Η εκκίνηση της εφαρμογής είναι πολύ απλή. Απλά τρέχουμε το εκτελέσιμο αρχείο και επιλέγουμε κάποιες ρυθμίσεις γραφικών.



Εκκίνηση εφαρμογής

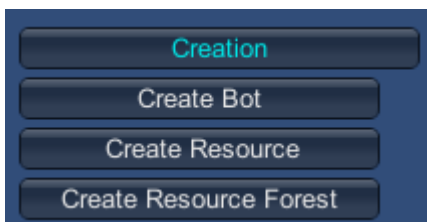
7.2 UI

Η εφαρμογή έχει ένα βασικό μενού στο πάνω δεξιό μέρος της οθόνης. Αυτό περιλαμβάνει δύο κουμπιά, τα οποία αν πατηθούν ανοίγει το καθένα ένα υπομενού, με τη μορφή επιπλέον κουμπιών.



Βασικό μενού

Το κουμπί *Creation*, όταν πατηθεί ανοίγει το υπομενού δημιουργίας. Αυτό περιλαμβάνει τη δημιουργία ενός νέου πράκτορα (*bot*), ενός πόρου (*resource*), ή ενός ολόκληρου «δάσους» από πόρους (*resource forest*), ο εικονικός κόσμος δηλαδή θα γεμίσει από πόρους όλων των ειδών.



Υπομενού δημιουργίας

Το κουμπί *Selection*, αντίστοιχα, ανοίγει το υπομενού επιλογής. Αυτό δίνει τη δυνατότητα επιλογής ενός πράκτορα και περιήγησης όλων των πρακτόρων με τα κουμπιά *Previous Bot* και *Next Bot*. Αντίστοιχα, με τα *Previous Resource* και *Next Resource*, κάνουμε περιήγηση ανάμεσα στους πόρους του εικονικού κόσμου. Τέλος με την επιλογή *Trading Post*, επιλέγουμε το κέντρο εμπορίου.

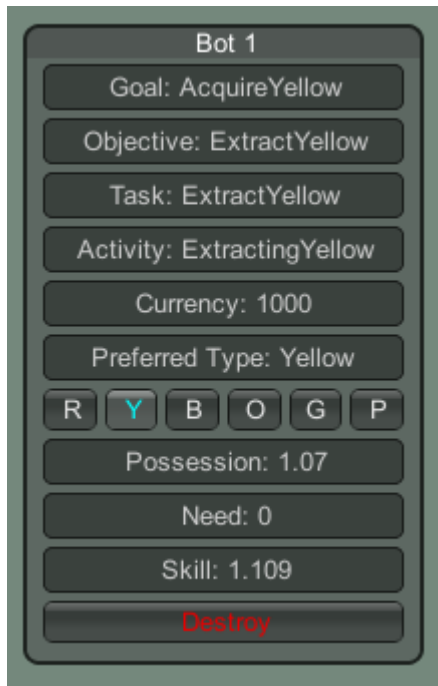


Υπομενού επιλογής

Πέρα από τη χρήση του υπομενού επιλογής, μπορούμε να επιλέξουμε έναν πράκτορα, πόρο, ή το κέντρο εμπορίου κάνοντας αριστερό κλικ πάνω σε αυτό το αντικείμενο. Η κάμερα τότε κεντράρει στο συγκεκριμένο αντικείμενο, και αν πρόκειται για πράκτορα, τον ακολουθεί στην κίνηση του. Με δεξί κλικ, η επιλογή παραμένει, αλλά η κάμερα δείχνει μια πανοραμική άποψη όλου του κόσμου και δεν κεντράρει στο επιλεγμένο αντικείμενο.

Όταν ένα αντικείμενο είναι επιλεγμένο, τότε στο πάνω αριστερά μέρος της οθόνης εμφανίζονται πληροφορίες σχετικά με αυτό. Συγκεκριμένα όταν το επιλεγμένο αντικείμενο είναι ένας πράκτορας, στο πάνω μέρος του παραθύρου πληροφοριών εμφανίζεται το όνομα του. Περιλαμβάνονται επίσης οι ιεραρχημένοι στόχοι του: Τελικός στόχος (*Goal*), Ενδιάμεσος Τεχνητή Οικονομία σε ένα Ευφύες Εικονικό Περιβάλλον

στόχος (*Objective*), Αποστολή (*Task*) και Δραστηριότητα (*Activity*). Αναφέρεται, επίσης, η ποσότητα χρημάτων που διαθέτει (*Currency*) και το προτιμώμενο είδος πόρου (*Preferred Type*), το οποίο είναι στην ουσία το είδος του πόρου για το οποίο ο πράκτορας έχει την μεγαλύτερη εξειδίκευση στην παραγωγή του.



Παράθυρο πληροφοριών ενός πράκτορα

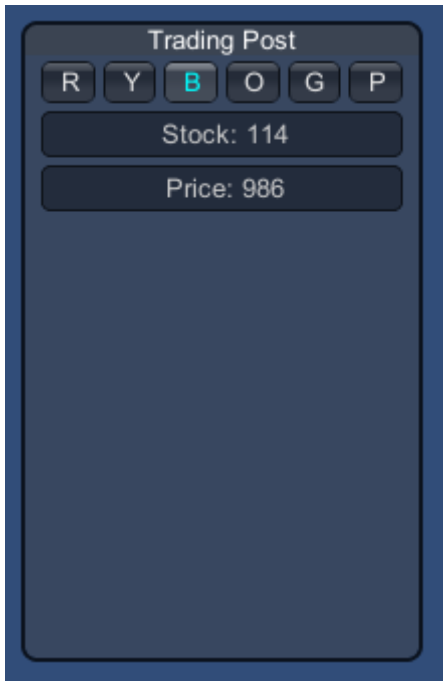
Ακόμα, υπάρχουν 6 κουμπιά που αντιστοιχούν στα διάφορα είδη πόρου: Red, Yellow, Blue, Orange, Green, Purple. Πατώντας το κάθε κουμπί, επιλέγεται το αντίστοιχο είδος πόρου και εμφανίζονται για τον πόρο αυτό η ποσότητα που έχει στην κατοχή του ο πράκτορας (*Possession*), η ανάγκη που έχει για αυτό το είδος (*Need*), και η ικανότητα εξαγωγής/παραγωγής αυτού του είδους (*Skill*). Ο προβαλλόμενος πόρος, εκτός από χειροκίνητα, αλλάζει και αυτόματα μαζί με την αλλαγή της δραστηριότητας του πράκτορα. Τέλος, υπάρχει και το κουμπί *Destroy*, το οποίο προκαλεί την καταστροφή του πράκτορα.

Όταν το επιλεγμένο αντικείμενο είναι ένας πόρος, τότε στο πάνω μέρος αναγράφεται το όνομα του, όπως και στους πράκτορες, και από κάτω η ποσότητα του και ο τύπος του, αν και ο τύπος γίνεται εύκολα αντιληπτός και οπτικά. Και εδώ υπάρχει κουμπί καταστροφής.

Παράθυρο πληροφοριών ενός πόρου

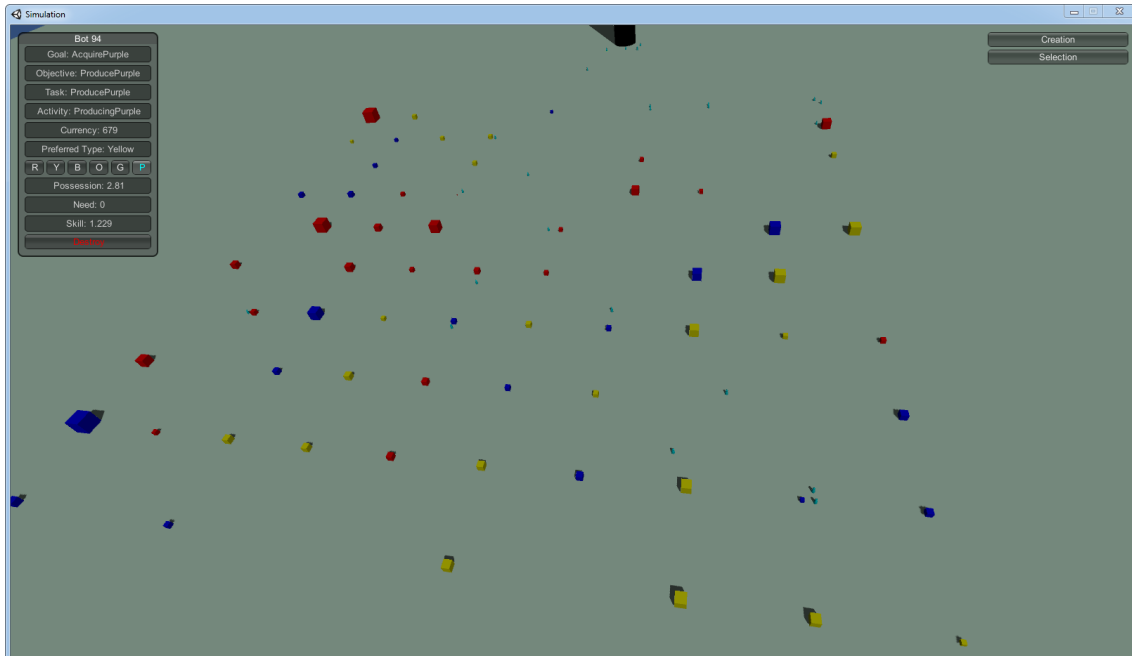
Όταν το επιλεγμένο αντικείμενο είναι το κέντρο εμπορίου, τότε το παράθυρο πληροφοριών έχει μια σειρά κουμπιών που αντιστοιχούν στα διάφορα είδη πόρων, όπως και στην

περίπτωση των πρακτόρων. Για τον επιλεγμένο πόρο, αναφέρεται το απόθεμα σε μονάδες (*Stock*) που έχει σε διάθεση το κέντρο και η τιμή ανά μονάδα (*Price*).

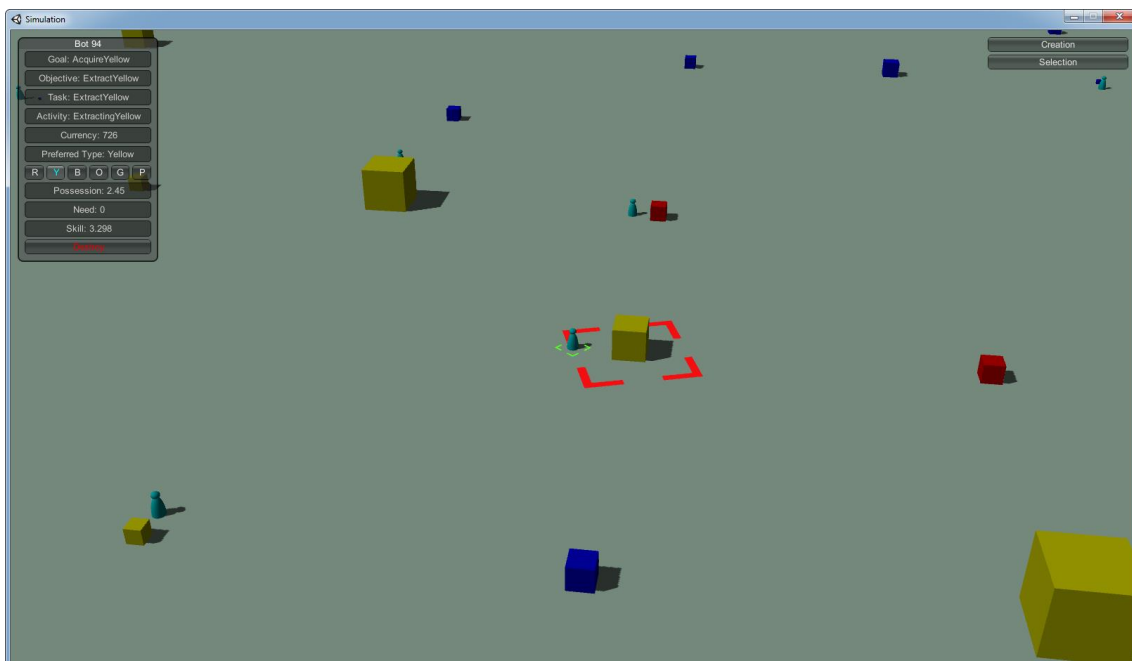


Παράθυρο πληροφοριών του κέντρου εμπορίου

7.3 3D περιβάλλον



Πανοραμική κάμερα



Κάμερα που ακολουθεί τον επιλεγμένο πράκτορα

Βιβλιογραφία

- ⁱ NASA / JPL / California Institute of Technology, Models in Science, <http://genesission.jpl.nasa.gov/educate/scimodule/SSWPrOptPDFs/2HowHotIsIt/ModelsInScience-ST-PO.pdf> (2010-06-07)
- ⁱⁱ Brian Wilson, *Systems: Concepts, methodologies and Applications*, John Wiley (1980)
- ⁱⁱⁱ Tayfur Altiok, Benjamin Melamed, *Simulation Modeling and Analysis with Arena*, Elsevier (2007)
- ^{iv} N. Gershenfeld, *The Nature of Mathematical Modelling*, Cambridge University Press, (1998)
- ^v Roger D. Smith, *Simulation*, Encyclopedia of Computer Science, Nature Publishing Group (1998)
- ^{vi} E. Winsberg, *Sanctioning Models: The Epistemology of Simulation*, *Science in Context*, 12, 275-292 (1999)
- ^{vii} Paul Humphreys, *The Philosophical Novelty of Computer Simulation Methods*, *Synthese*, 169, 3, 615-626 (2009)
- ^{viii} Stuart Russell, Peter Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach (2nd Edition)*, Prentice Hall (2003)
- ^{ix} Michael Wooldridge, Nicholas R. Jennings, *Intelligent Agents: Theory and Practice*, *The Knowledge Engineering Review*, 10, 2, 115-152 (1995)
- ^x James Odell et al., *Modeling Agents and their Environment*, *Agent-Oriented Software Engineering (AOSE) III, Lecture Notes on Computer Science*, 2585, Springer, 16-31 (2003)
- ^{xi} New Mexico Public Education Department, *Social Studies Standards Glossary*, <http://web.archive.org/web/20070808200604/http://nmlites.org/standards/socialstudies/glossary.html> (2010-06-07)
- ^{xii} Mary A. Marchant, William M. Snell, *Macroeconomic and International Policy Terms*, University of Kentucky Cooperative Extension Service (1997)
- ^{xiii} Francis M. Bator, *The Anatomy of Market Failure*, *The Quarterly Journal of Economics*, 72, 3, 351-379 (1958)
- ^{xiv} Mark Blaug, *Economic theory in retrospect*, Cambridge University Press (1985)
- ^{xv} Olivier Jean Blanchard, *Macroeconomics*, Prentice Hall (1997)

-
- ^{xxvi} Jordi Galí, Mark Gertler, Macroeconomic Modeling for Monetary Policy Evaluation, *Journal of Economic Perspectives*, 21, 4, 25–45 (2007)
- ^{xxvii} European Commission , Macroeconomic Models, http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/evaluation/evalsed/sourcebooks/method_techniques/modelling/macroeconomic_models/index_en.htm (2010-06-07)
- ^{xxviii} Lawrence R. Klein, *Comparative Performance of US Econometric Models*, Oxford University Press (1991)
- ^{xxix} Otto Eckstein, *The DRI Model of the US Economy*, McGraw-Hill (1983)
- ^{xxx} A. W. Phillips, The Relationship Between Unemployment and the Rate of Change of Money Wages in the United Kingdom 1861-1957, *Economica*, 25, 100, 283–299 (1958)
- ^{xxxi} Milton Friedman, The Role of Monetary Policy, *American Economic Review*, 58, 1, 1–17 (1968)
- ^{xxxii} Edmund S. Phelps, Money Wage Dynamics and Labor Market Equilibrium, *Journal of Political Economy*, 76, 4, 678–711 (1968)
- ^{xxxiii} Robert Lucas, *Econometric Policy Evaluation: A Critique*, Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy, 1, 19-46 (1976)
- ^{xxxiv} Edmund S. Phelps, *Microeconomic Foundations of Employment and Inflation Theory*, W. W. Norton & Company (1970)
- ^{xxxv} Per Krusell, Anthony A. Smith Jr., Income and Wealth Heterogeneity in the Macroeconomy, *Journal of Political Economy*, 106, 5, 243-277 (1998)
- ^{xxxvi} George W. Evans, Seppo Honkapohja, *Learning and Expectations in Macroeconomics*, Princeton University Press (2001)
- ^{xxxvii} D. N. DeJong, C. Dave, *Structural Macroeconometrics*. Princeton University Press (2007)
- ^{xxxviii} Finn E. Kydland, Edward C. Prescott, Time to Build and Aggregate Fluctuations, *Econometrica*, 50, 6, 1345-1370 (1982)
- ^{xxxix} Julio Rotemberg, Michael Woodford, An Optimization-based Econometric Framework for the Evaluation of Monetary Policy, *NBER Macroeconomics Annual*, 12, 297-346 (1997)
- ^{xxxx} John B. Shoven, John Whalley, A General Equilibrium Calculation of the Effects of Differential Taxation of Income from Capital in the US, *Journal of Public Economics*, 1, 3-4, 281-321 (1972)

^{xxxi} Leigh Tesfatsion, Agent-Based Computational Economics, Iowa State University Economics, Working Paper No. 1 (2003)

^{xxxii} Adam Smith, An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations, W. Strahan and T. Cadell (1776)