



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Μοντελοποίηση και προσομοίωση της κίνησης ατόμων στο χώρο σε περιβάλλον πόλης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Βασίλειος Μητρόπουλος

Επιβλέπων : Δημήτριος Ασκούνης

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2019



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Μοντελοποίηση και προσομοίωση της κίνησης ατόμων στο χώρο σε περιβάλλον πόλης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Βασίλειος Μητρόπουλος

Επιβλέπων : Δημήτριος Ασκούνης

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την _____

.....
Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ιωάννης Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Χρυσόστομος (Χάρης) Δούκας
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2019

Βασίλειος Μητρόπουλος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΜΗΤΡΟΠΟΥΛΟΣ, 2019

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, μελετάται το θέμα των μοτίβων της ανθρώπινης κινητικότητας και πως αυτό μπορεί να προσομοιωθεί μέσω της μοντελοποίησης με πράκτορες (Agent-Based Modeling). Ένας τρίτος παρατηρητής, όταν θα έβλεπε την κίνηση τυχαίων ανθρώπων στους δρόμους θα σχημάτιζε μια πρώτη εντύπωση πως οι πορείες που ακολουθούν έχουν έναν παράγοντα τύχης. Οι έρευνες πάνω στα μοτίβα ανθρώπινης κινητικότητας έρχονται να αποδείξουν ακριβώς το αντίθετο. Η κίνηση των ανθρώπων, παρόλο που μπορεί να φαίνεται τυχαία, στην πραγματικότητα περιορίζεται από διάφορους παράγοντες και είναι ως ένα βαθμό προβλεπόμενη. Πράγματι, εάν κάποιος το σκεφτεί, η έννοια της ρουτίνας παίζει κυρίαρχο ρόλο στη ζωή των ανθρώπων και αυτό έχει τις συνέπειες του στην πορεία που ακολουθούν. Για παράδειγμα, μεγάλο ποσοστό των ανθρώπων έχει τουλάχιστον ένα μέρος ενδιαφέροντος (είτε αυτό είναι δουλειά, είτε σχολείο, είτε πανεπιστήμιο, κτλ) και ως αποτέλεσμα, κάθε άτομο κάνει πολύ συχνά διαδρομές μεταξύ αυτού του μέρους και του σπιτιού του.

Τέτοιες καταστάσεις είναι εύκολο να προσομοιωθούν με τη μέθοδο του Agent-Based Modeling. Μέσω αυτής, κάθε άνθρωπος αντιπροσωπεύεται ως ένας πράκτορας (agent) μέσα στο περιβάλλον της προσομοίωσης. Σε ένα τέτοιο πείραμα εξετάζονται οι αλληλεπιδράσεις που έχουν τόσο οι agents μεταξύ τους αλλά και με το περιβάλλον. Με τον τρόπο αυτό καταγράφονται φαινόμενα για το σύνολο των agents και όχι μόνο για έναν agent ως μια οντότητα (φαινόμενο Emergence). Για παράδειγμα, μια κυκλοφοριακή συμφόρηση, η οποία προκύπτει από τη συμπεριφορά και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των επιμέρους οδηγών οχημάτων, μπορεί να κινείται προς την κατεύθυνση αντίθετη από εκείνη των αυτοκινήτων που την προκαλούν.

Στο πλαίσιο αυτό αναπτύχθηκε μια εφαρμογή για την προσομοίωση της κίνησης των ανθρώπων στο περιβάλλον μιας πόλης. Η εφαρμογή αυτή βασίστηκε πάνω στις μελέτες των μοτίβων ανθρώπινης κινητικότητας και χρησιμοποίησε το Agent-Based Modeling για να δημιουργήσει ένα περιβάλλον προσομοίωσης από το οποίο μπορούμε να λάβουμε στοιχεία για τη συμπεριφορά των ανθρώπων και του συνόλου. Πιο συγκεκριμένα, έγινε η προσομοίωση της εύρεσης ενός χαμένου παιδιού στο παραπάνω περιβάλλον. Ένας agent που αναπαριστά το παιδί κινείται στο περιβάλλον μιας γειτονιάς (ή μιας πόλης) ταυτόχρονα με τους υπόλοιπους agents που αναπαριστούν τους κανονικούς ανθρώπους των οποίων σκοπός είναι να τον βρουν. Κατά την εκτέλεση ενός τέτοιου πειράματος έχουμε την οπτική απεικόνιση αυτής της κίνησης των ατόμων σε συνδυασμό με ποικίλα στατιστικά για το τρέχων πείραμα.

Λέξεις κλειδιά: Μοτίβα ανθρώπινης κινητικότητας, Μοντελοποίηση με βάση πράκτορες, κίνηση των ανθρώπων σε περιβάλλον πόλης, χαμένο παιδί, προσομοίωση

Abstract

In the context of this diploma thesis, the topic of human mobility patterns is studied and the way that it can be simulated through Agent-Based Modeling. An observer, when looking at random people moving in the streets, would have a first impression that the paths that they follow are seemingly random. Studies of human mobility patterns prove the exact opposite. People's movement, although it may seem random, is in fact limited by several factors and is to some extent predictable. Indeed, if one thinks about it, the concept of routine plays a dominant role in people's lives, and this has consequences for the course they follow. For example, a large percentage of people have at least one place of interest (be it a job, school, university, etc.) and as a result, each person often travels between that place and his/her house.

Such situations are easy to simulate with the Agent-Based Modeling method. Through it, every human being is represented as an agent within the simulation environment. Such an experiment examines the interactions both agents have with each other and with the environment. In this way, we can observe phenomena about the simulation environment and not only for an individual agent (Emergence effect). For example, a traffic congestion, which results from the behavior and interactions between individual vehicle drivers, may be moving in the opposite direction to that of the cars that cause it.

In this context, an application was developed to simulate the movement of people in a city environment. This application was based on studies of the patterns of human mobility and used Agent-Based Modeling to create a simulation environment from which we can obtain data on both human and group behavior. More specifically, the case of finding a missing child in the above environment was simulated. An agent representing the child moves around the neighborhood (or the city) at the same time as the other agents representing the normal people whose purpose is to find him/her. While we perform such an experiment we can visualize the movement of the individuals in conjunction with various statistics for the current experiment.

key words: Human mobility patterns, Agent-Based Modeling, human movement in urban environments, lost child, simulation

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε υπό την επίβλεψη του Καθηγητή Δημήτρη Ασκούνη στο Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να εξεταστούν τα υπάρχοντα μοντέλα προσομοίωσης της κίνησης ατόμων στον φυσικό χώρο και να αναπτυχθεί μια αντίστοιχη προσομοίωση για την κίνηση των ανθρώπων σε περιβάλλον πόλης. Η συγκεκριμένη προσομοίωση μπορεί να αξιοποιηθεί σε πληθώρα εφαρμογών, μια από τις οποίες είναι η εύρεση ενός εξαφανισμένου παιδιού με την οποία και θα ασχοληθούμε.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τους επιβλέποντες της εργασίας μου Αριάδνη Μιχαλίτση-Ψαρρού για την δυνατότητα που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα, καθώς και για την συνεχή υποστήριξη και καθοδήγησή της καθ'όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Μητρόπουλος Βασίλειος, Οκτώβριος 2019

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	9
1.1. Στόχος της διπλωματικής εργασίας.....	10
1.1.1. Συνεισφορά.....	10
1.2. Δομή της διπλωματικής εργασίας.....	11
Κεφάλαιο 2: Μοτίβα ανθρώπινης κινητικότητας.....	12
2.1. Εισαγωγή στο αντικείμενο των μοτίβων ανθρώπινης κινητικότητας.....	13
2.2. Συλλογή δεδομένων.....	17
2.3. Οι μελέτες των μοτίβων ανθρώπινης κινητικότητας σήμερα.....	25
Κεφάλαιο 3: Agent-Based Modeling.....	28
3.1. Καταγραφή φαινομένων Emergence.....	31
3.2. Φυσική περιγραφή ενός συστήματος.....	33
3.3. Ευελιξία.....	34
3.4. Χρησιμότητα.....	35
3.5. Παραδείγματα.....	35
3.6. Προβλήματα.....	40
Κεφάλαιο 4: Προγράμματα προσομοίωσης.....	42
4.1. Project Mesa.....	43
4.2. NetLogo.....	46
4.3. GAMA-Platform.....	50
Κεφάλαιο 5: Τελική προσομοίωση.....	54
5.1. Σκοπός της προσομοίωσης.....	55
5.2. Δεδομένα της προσομοίωσης.....	56
5.3. Κώδικας της προσομοίωσης.....	60
5.4. Εκτέλεση της προσομοίωσης.....	65
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα και προοπτικές.....	73
Βιβλιογραφία.....	77

Μοντελοποίηση και προσομοίωση της κίνησης ατόμων στο χώρο σε περιβάλλον πόλης

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

1.1. Στόχος της διπλωματικής εργασίας

Η μελέτη των μοτίβων ανθρώπινης κινητικότητας έχει αποτελέσει αντικείμενο ενδιαφέροντος για διάφορες εφαρμογές και μελέτες. Συγκεκριμένα, η ανάλυση των διαδρομών που ακολουθούν οι άνθρωποι μπορεί να μας δώσει στοιχεία τα οποία είναι πολύ χρήσιμα για ανακάλυψη των μοτίβων της κίνησης που παρουσιάζει ένας πληθυσμός. Η καταγραφή αυτών των μοτίβων δίνει σε κάποιον τη δυνατότητα να μπορεί να προβλέψει με ικανοποιητική ακρίβεια το επόμενο βήμα κάποιου ατόμου. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε περιπτώσεις όπως είναι η εύρεση ενός εξαφανισμένου παιδιού ή τον εντοπισμό ενός εγκληματία. Ακόμη, τέτοια μοντέλα μπορεί να έχουν και πιο γενικές εφαρμογές, όπως είναι η μοντελοποίηση της κίνησης στους δρόμους.

Η πιο διαδεδομένη μέθοδος εξέτασης τέτοιων μοντέλων είναι η αυτή της μοντελοποίησης με βάση τους πράκτορες (Agent-Based Modeling). Σε αυτή τη μέθοδο κάθε κομμάτι του συνόλου αναπαριστάται ως ένας πράκτορας (agent) ο οποίος αλληλεπιδρά με τους υπόλοιπους και το περιβάλλον του. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατόν να μελετηθούν τα φαινόμενα που προκύπτουν από αυτές τις αλληλεπιδράσεις και για παράδειγμα να βγει κάποιο πόρισμα για τα μοτίβα της ανθρώπινης κινητικότητας.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να εξεταστούν τα υπάρχοντα μοντέλα προσομοίωσης της κίνησης ατόμων σε περιβάλλον πόλης αλλά και γενικότερα στον φυσικό χώρο καθώς και να αναπτυχθεί αντίστοιχη προσομοίωση για το θέμα αυτό. Συγκεκριμένα εξετάζεται η εφαρμογή για την πιθανότητα εύρεσης ενός χαμένου παιδιού.

1.1.1. Συνεισφορά

Η συνεισφορά της διπλωματικής εργασίας συνοψίζεται ως εξής:

1. Μελέτη των ήδη υπαρχόντων ερευνών πάνω στα μοτίβα ανθρώπινης κινητικότητας.
2. Ανάλυση της έννοιας του Agent-Based Modeling και εξέταση του τρόπου με τον οποίο μπορεί να ενταχθεί σε έρευνες μοτίβων ανθρώπινης κινητικότητας.
3. Εξέταση και αξιολόγηση προγραμμάτων και πλατφορμών που είναι κατάλληλες για την υλοποίηση μιας προσομοίωσης κίνησης ανθρώπων σε έναν χώρο που βασίζεται σε γεωγραφικά δεδομένα (δηλαδή πραγματικά δεδομένα χαρτών).
4. Υλοποίηση μιας εφαρμογής η οποία θα προσομοιώνει το σενάριο εύρεσης ενός εξαφανισμένου ατόμου σε περιβάλλον μιας γειτονιάς (ή πόλης).
5. Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και παρουσίαση των τρόπων με τους οποίους είναι δυνατόν να αναπτυχθεί μια τέτοια προσομοίωση στο μέλλον.

1.2. Δομή της διπλωματικής εργασίας

Στο παρόν κεφάλαιο (Κεφάλαιο 1, Εισαγωγή) αποτυπώνεται ο σκοπός της εργασίας και η δομή της. Στη συνέχεια (Κεφάλαιο 2, Μοτίβα ανθρώπινης κινητικότητας) εξετάζονται οι διάφορες μελέτες που έχουν γίνει πάνω στο θέμα των μοτίβων ανθρώπινης κινητικότητας. Συγκεκριμένα, αναφέρονται τα αντικείμενα των ερευνών και ο τρόπος με τον οποίο επιχειρούν να δικαιολογήσουν την θεωρία της ανθρώπινης κινητικότητας. Έπειτα γίνεται αναφορά στον τρόπο με τον οποίο μια τέτοια έρευνα μπορεί να συλλέξει τα δεδομένα της για να εκτελέσει τα πειράματα και να βγάλει τα πορίσματα.

Στο τρίτο μέρος της εργασίας (Κεφάλαιο 3, Agent-Based Modeling) γίνεται αναφορά στο τι είναι το Agent-Based Modeling και εξετάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του. Ακόμη γίνονται αναφορές στο πότε αυτό πρέπει να χρησιμοποιείται έτσι ώστε να διασφαλιστεί η σωστή χρήση του. Τέλος παρουσιάζονται διάφορα παραδείγματα του πως κάποια πραγματικά φαινόμενα μπορούν να μοντελοποιηθούν με τον συγκεκριμένο τρόπο προσομοίωσης.

Έπειτα (Κεφάλαιο 4, Προγράμματα προσομοίωσης) αναφέρονται τα προγράμματα τα οποία μελετήσαμε για να επιλέξουμε εν τέλει αυτό στο οποίο θα γίνει η τελική προσομοίωση. Παρουσιάζονται παραδείγματα για κάθε τέτοιο πρόγραμμα (ή πλατφόρμα) καθώς και οι λόγοι που τελικά το απορρίψαμε ή το επιλέξαμε. Στο επόμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 5, Τελική προσομοίωση) παρουσιάζεται η διαδικασία κατασκευής και εκτέλεσης της προσομοίωσης που δημιουργήθηκε στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής. Αρχικά αναφέρονται τα στοιχεία τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση ενώ μετά γίνεται εκτενής αναφορά και σχολιασμός του κώδικα της. Τέλος παραθέτουμε στιγμιότυπα από την εκτέλεση της και γίνεται σχολιασμός των αποτελεσμάτων.

Στο τελευταίο μέρος της εργασίας (Κεφάλαιο 6, Συμπεράσματα και προοπτικές) σχολιάζονται τα συμπεράσματα της προσομοίωσης του κεφαλαίου 5 καθώς και αναλύονται οι διάφορες προοπτικές που μπορεί να έχει μια τέτοια εργασία για το μέλλον.

Κεφάλαιο 2. Μοτίβα ανθρώπινης κινητικότητας

2.1. Εισαγωγή στο αντικείμενο των μοτίβων ανθρώπινης κινητικότητας

Τα μοτίβα της ανθρώπινης κινητικότητας έχουν αποτελέσει και αποτελούν αντικείμενο μελέτης σε πληθώρα επιστημονικών τομέων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι με την κατανόηση τους ποικίλα προβλήματα της καθημερινότητας μπορούν να επιλυθούν ή τουλάχιστον η κοινωνία να γίνει πιο αποδοτική ως προς την επίλυση τους. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η κίνηση στους δρόμους. Μελετώντας τα μοτίβα των ανθρώπων στους δρόμους θα μπορούσε κανείς να σχηματίσει μια γενική εικόνα για την κίνηση και την κυκλοφορία μιας συγκεκριμένης περιοχής. Με αυτόν τον τρόπο θα είναι δυνατό να προβλέψει με ικανοποιητική ακρίβεια για παράδειγμα την κίνηση που θα έχει ένας δρόμος κάποια μέρα της βδομάδας.

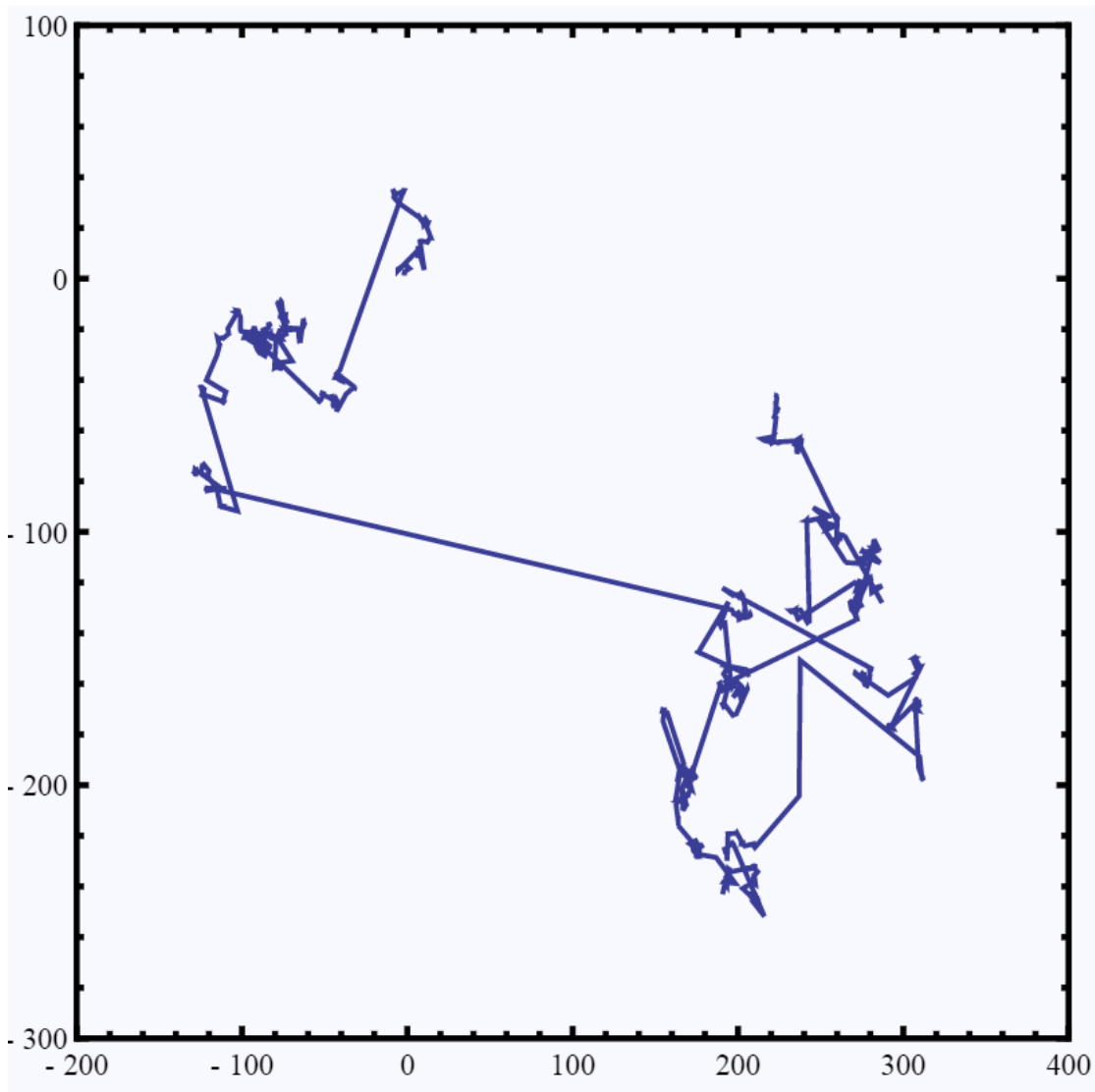
Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι να παρουσιαστούν κάποιες ενδεικτικές μελέτες πάνω στο αντικείμενο ώστε να γίνει κατανοητό το πως διεκπεραιώνεται μια τέτοια έρευνα και πως μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα αποτελέσματα της. Με τον τρόπο αυτό θα δημιουργηθεί μια σφαιρική εικόνα για το αντικείμενο και τις εφαρμογές του.

Κοινό σημείο στη θεματολογία των ερευνών είναι η μελέτη της τυχαιότητας στην ανθρώπινη κίνηση. Με άλλα λόγια, εξετάζουν τον βαθμό στον οποίο μπορεί κάποιος να προβλέψει με ασφάλεια το επόμενο βήμα σε μια πορεία ενός ανθρώπου.

Μια πρώτη προσέγγιση είναι η παρομοίωση της ανθρώπινης κίνησης με ένα μοντέλο Λένυ¹, δηλαδή ένα μοντέλο στο οποίο οι άνθρωποι περπατάνε τυχαία στον χώρο προς όλες τις κατευθύνσεις. Αυτή είναι πιο εμπειρική προσέγγιση στην οποία δεν παρατηρείται κάποιο ιδιαίτερο μοτίβο στην ανθρώπινη κίνηση και η πρόβλεψη για το μέλλον γίνεται ουσιαστικά αδύνατη.

¹Μια πτήση Λένυ, που ονομάστηκε για τον γαλλικό μαθηματικό Paul Lévy, είναι μια τυχαία πορεία στην οποία το μήκος των βημάτων έχει μια κατανομή πιθανότητας που έχει “βαριά ουρά” (heavy-tailed). Όταν ορίζεται ως μια βόλτα σε ένα χώρο διάστασης μεγαλύτερο από ένα, τα βήματα που γίνονται είναι σε ιστροπικές (δηλαδή γίνονται ομοιόμορφα) τυχαίες κατευθύνσεις.

Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/L%C3%A9vy_flight

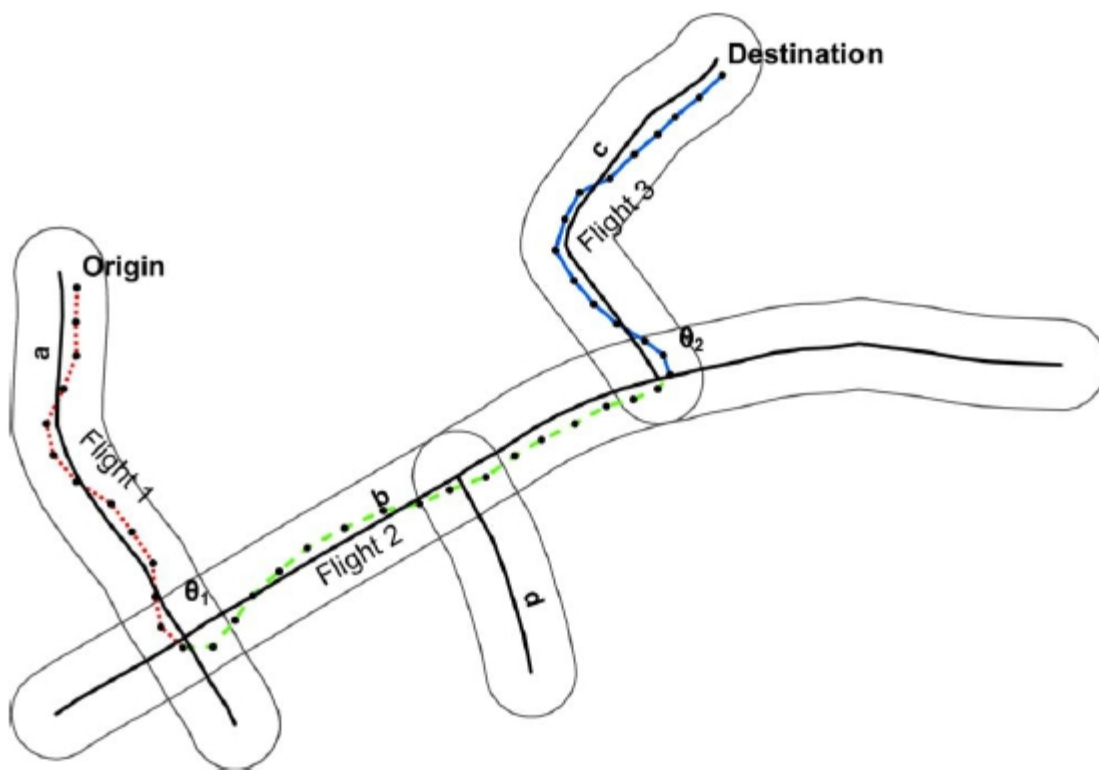


Εικόνα 2.1. Παράδειγμα 1000 βημάτων μιας πορείας Λένγ σε δύο διαστάσεις. Η αρχή της κίνησης είναι στο $[0,0]$, η γωνιακή διεύθυνση κατανέμεται ομοιόμορφα και το μέγεθος βήματος κατανέμεται σύμφωνα με μια κατανομή Λένγ (δηλ. Σταθερή) με $\alpha = 1$ και $\beta = 0$ η οποία είναι μια κατανομή Cauchy.

Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/L%C3%A9vy_flight

Παρόλα αυτά, έχουν υπάρξει έρευνες οι οποίες προσπαθούν να δικαιολογήσουν αυτή την “τυχαία” συμπεριφορά. Συγκεκριμένα, μια έρευνα [1] υποστηρίζει πως αυτή η συμπεριφορά μπορεί θεωρηθεί βάσιμη εάν κάποιος μελετήσει την ανθρώπινη κίνηση στο οδικό δίκτυο μιας πόλης. Η κινητικότητα αυτή αποτελείται από πολλαπλές μεταβολές και μετακινήσεις από έναν δρόμο σε έναν άλλον. Ένα υπεραπλουστευμένο παράδειγμα της συμπεριφοράς κινητικότητας

σε ένα οδικό δίκτυο από το οποίο ο άνθρωπος περιορίζεται είναι το εξής: Ένα άτομο που βρίσκεται στον δρόμο A, θα επιλέξει τυχαία (ή με βάση άλλους παράγοντες που ποικίλουν κάθε φορά) τον συνδεδεμένο δρόμο B. Περπατά κατά μήκος του δρόμου A, μέχρι που φτάνει στη διασταύρωση του A και του B. Μετά, θα επιλέξει άλλον έναν συνδεδεμένο δρόμο Γ και ούτω καθεξής, μέχρι να φτάσει στον προορισμό της Δ.



Εικόνα 2.2. Παράδειγμα της πορείας ενός ανθρώπου στο οδικό δίκτυο από ένα σημείο εκκίνησης (Origin) έως τον τερματισμό της (Destination). Φαίνεται πως η κίνηση του ανθρώπου περιορίζεται στο οδικό δίκτυο. [1]

Παρόλο που κάθε άνθρωπος έχει ένα σημείο εκκίνησης και ένα σημείο τερματισμού, η πορεία που θα επιλέξει για τη συγκεκριμένη διαδρομή επηρεάζεται από διάφορους εξωτερικούς παράγοντες, όπως είναι το οδικό δίκτυο. Με άλλα λόγια δεν μπορούμε να προβλέψουμε με ασφάλεια την κίνηση αυτή.

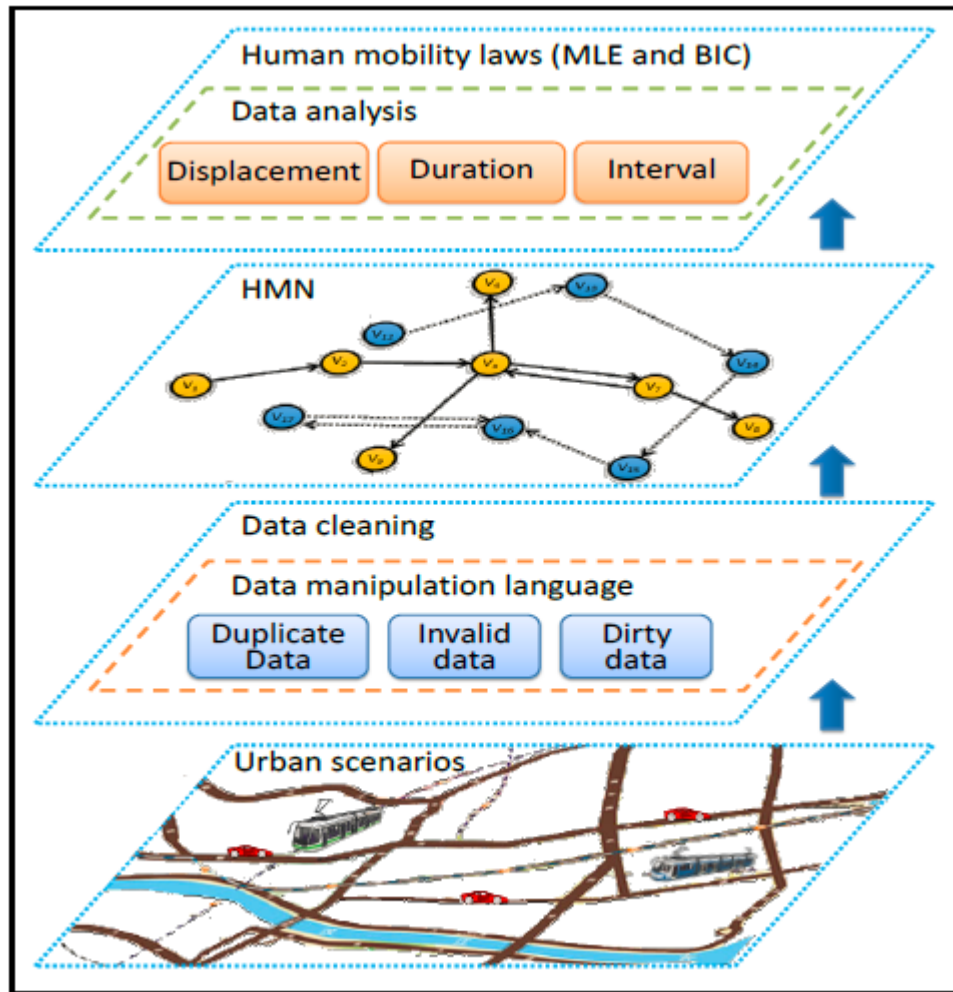
Πράγματι, αν και σπάνια ερμηνεύουμε τις ενέργειές μας ως τυχαίες, από την γωνία ενός τρίτου παρατηρητή που αγνοεί τα κίνητρα και το πρόγραμμά μας, το μοτίβο δραστηριοτήτων μας μπορεί εύκολα να φανεί τυχαίο και απρόβλεπτο. Για αυτό, τα υπάρχοντα μοντέλα ανθρώπινης δραστηριότητας είναι κατά κύριο λόγο στοχαστικού χαρακτήρα, από την φόρμουλα του Erlang που χρησιμοποιείται στην τηλεφωνία μέχρι τα μοντέλα Lévy. [3]

Σε αντίθεση με τις τυχαίες πορείες που είχε προβλέψει το επικρατέστερο σύστημα Lévy και οι προσομοιώσεις πεζών, οι ανθρώπινες πορείες εμφανίζουν υψηλό ποσοστό χρονικής και χωροταξικής ομαλότητας, με το κάθε άτομο να έχει μία σημαντική πιθανότητα να επιστρέψει σε λίγες αλλά πολυσύχναστες περιοχές. Αυτό σημαίνει πως οι άνθρωποι ακολουθούν απλά μοτίβα που μπορούν να αναπαρασταθούν. Αυτή η εγγενής ομοιότητα στα μοτίβα κίνησης θα μπορούσε να επηρεάσει όλα τα φαινόμενα που αφορούν την ανθρώπινη κινητικότητα, όπως η αποτροπή επιδημιών, μέτρα έκτακτης ανάγκης και την πολεοδομία. [2]

Στα τελευταία χρόνια, με την ταχύτατη εξέλιξη στην τεχνολογία πληροφόρησης και επικοινωνίας και την συνεχή βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης, οι «έξυπνες» πόλεις² έχουν αναγνωριστεί ως μία πολλά υποσχόμενη κοιτίδα έρευνας ανά τον κόσμο και έχουν φτάσει στο σημείο να είναι τρανά παραδείγματα για την επίλυση υπαρχόντων προβλημάτων και την αποφυγή θεμάτων στις μοντέρνες πόλεις, όπως είναι η κίνηση, η κατανάλωση ενέργειας και η μόλυνση του περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα, πολλές πόλεις, όπως η Βιέννη, το Τορόντο και το Παρίσι, έχουν θέσει την κατασκευή «έξυπνων» πόλεων ως προτεραιότητα και έχουν καταφέρει αξιοσημείωτα επιτεύγματα. Στις «έξυπνες» πόλεις οι άνθρωποι κινούνται κυρίως με μοντέρνα ΜΜΜ για τις κοινωνικές δραστηριότητές τους (δουλειά, ψώνια, ταξίδια), που οδηγεί σε ένα καινοτόμο δίκτυο επικοινωνίας. Αυτό οδηγεί στην ανάγκη για την ανάλυση των μοτίβων κινητικότητας. [4]

2 Μια έξυπνη πόλη είναι μια αστική περιοχή που χρησιμοποιεί διαφορετικούς τύπους ηλεκτρονικών αισθητήρων Διαδικτύου πραγμάτων (Internet of Things) για τη συλλογή δεδομένων και στη συνέχεια τη χρήση αυτών των δεδομένων για αποτελεσματική διαχείριση των διαθέσιμων πόρων. Αυτά περιλαμβάνουν τα δεδομένα που συλλέγονται από τους πολίτες, συσκευές και πόρων που επεξεργάζονται και αναλύονται για την παρακολούθηση και διαχείριση των συστημάτων κυκλοφορίας και μεταφοράς, σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, δικτύων ύδρευσης, κλπ.

Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Smart_city

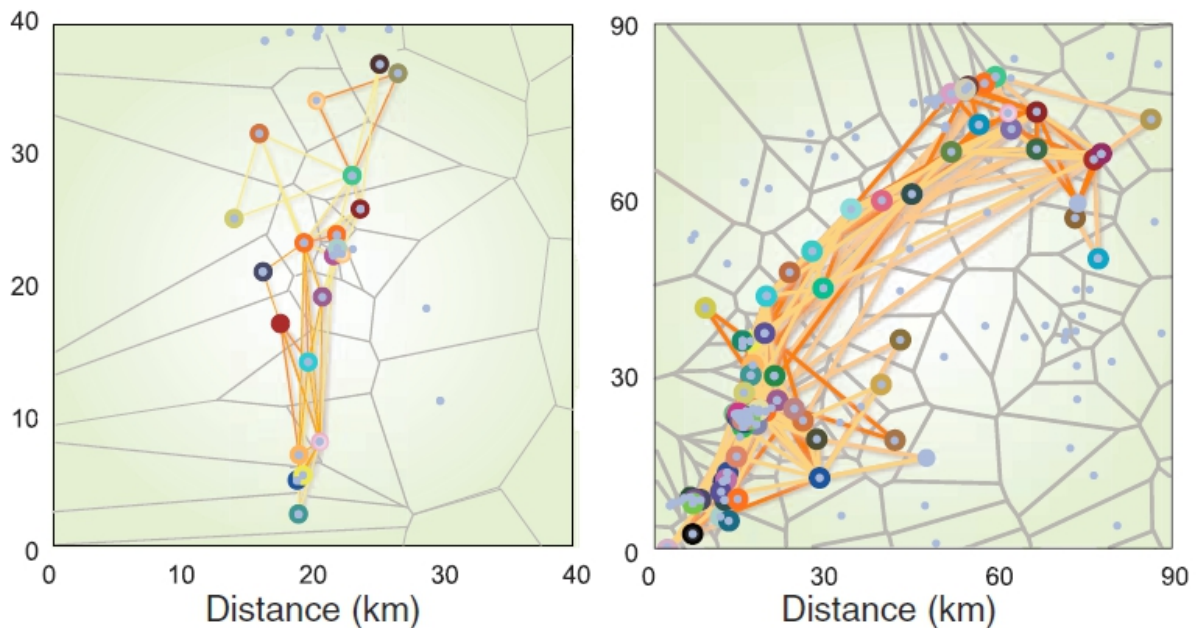


Εικόνα 2.3. Επισκόπηση του τρόπου μελέτης για τα μοτίβα ανθρώπινης κινητικότητας [4]

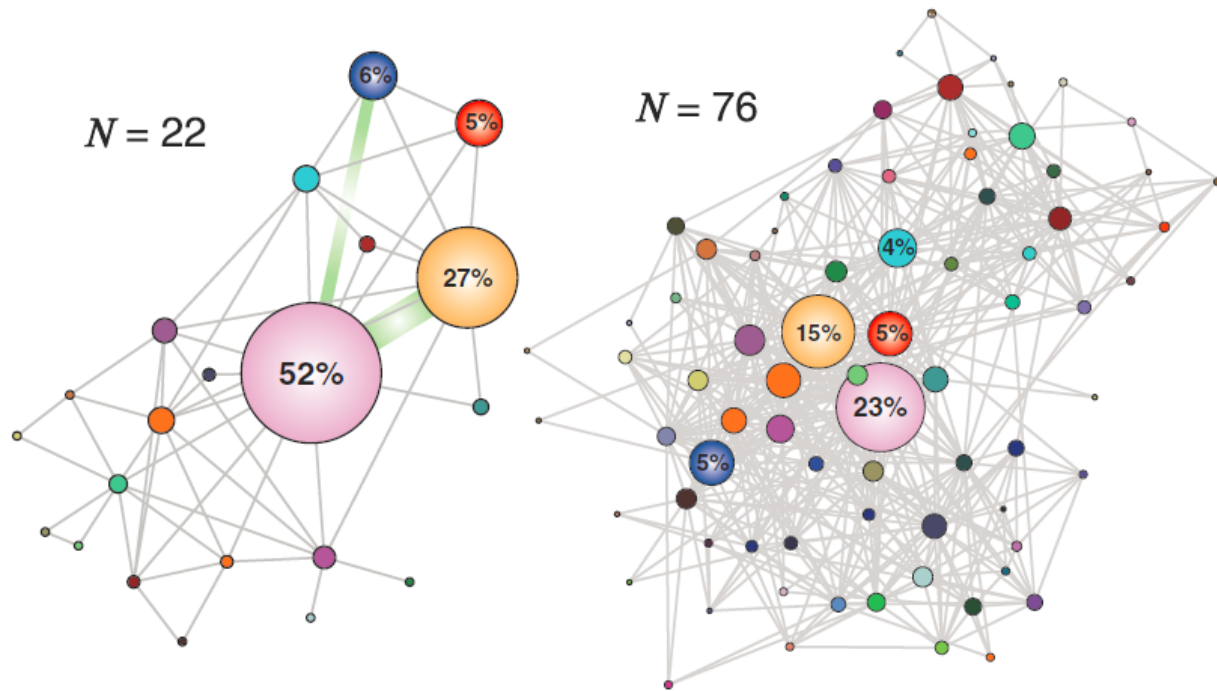
2.2. Συλλογή δεδομένων

Σε αυτό το σημείο είναι ιδιαίτερα σημαντικό να αναφερθεί το είδος καθώς και ο τρόπος με τον οποίο οι έρευνες για τα μοτίβα ανθρώπινης κινητικότητας συλλέγουν και επεξεργάζονται τα δεδομένα τους. Αυτήν τη στιγμή, οι πιο αναλυτικές πληροφορίες σχετικά με την ανθρώπινη κινητικότητα σε ένα μεγάλο πληθυσμιακό ποσοστό, συλλέγονται από τους παρόχους τηλεφωνικών υπηρεσιών.

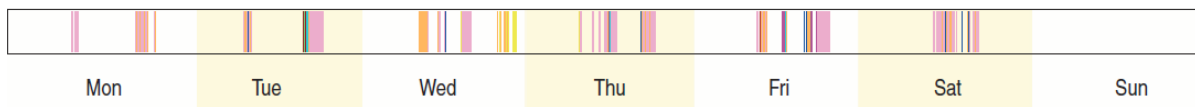
Για παράδειγμα, στην έρευνα [3] έγινε χρήση ανώνυμου αρχείου που συλλέχθηκε σε διάστημα 3 μηνών που καταγράφει τα μοτίβα κινητικότητας 50.000 ατόμων που επιλέχθηκαν τυχαία από 10 εκατομμύρια ανώνυμους χρήστες κινητών τηλεφώνων με κριτήριο να επισκέπτονται πάνω από 2 σημεία κατά την περίοδο καταγραφής και να έχουν συχνότητα κλήσης ≥ 0.5 ανά μια ώρα.



Εικόνα 2.4. Οι τροχιές δύο ανώνυμων χρηστών κινητών τηλεφώνων που επισκέφτηκαν την περιοχή από $N = 22$ και $N = 76$ διαφορετικούς πύργους κατά τη διάρκεια της τρίμηνης περιόδου παρακολούθησης. Κάθε κουκκίδα αντιστοιχεί σε έναν πύργο κινητού τηλεφώνου και κάθε φορά που ένας χρήστης κάνει μια κλήση, ο πλησιέστερος πύργος που δρομολογεί την κλήση καταγράφεται, εντοπίζοντας την κατά προσέγγιση τοποθεσία του χρήστη. Οι γκρι γραμμές είναι η κατά προσέγγιση περιοχή του κάθε πύργου. Οι έγχρωμες γραμμές αντιπροσωπεύουν την καταγραφόμενη κίνηση του χρήστη μεταξύ των πύργων. [3]



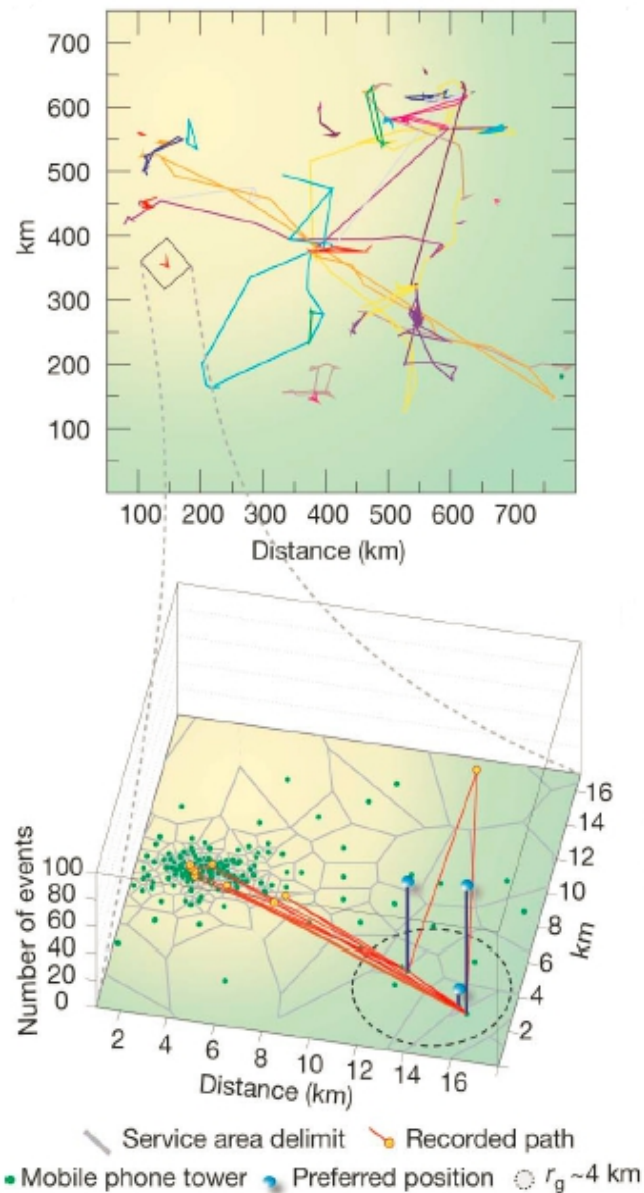
Εικόνα 2.5. Δίκτυα κινητικότητας που σχετίζονται με τους δύο χρήστες που εμφανίζονται στην εικόνα 2.4. Η περιοχή του κάθε κόμβου αντιστοιχεί στη συχνότητα των κλήσεων που πραγματοποίησε ο χρήστης στην εγγύτητα του αντίστοιχου πύργου. Τα πλάτη των ακμών είναι ανάλογα με τη συχνότητα της παρατηρούμενης άμεσης κίνησης μεταξύ δύο πύργων. [3]



Εικόνα 2.6. Ένα εβδομαδιαίο πρότυπο κλήσης που καταγράφει τη χρονικά εξαρτώμενη θέση του χρήστη με $N = 22$. Κάθε κάθετη γραμμή αντιστοιχεί σε μια κλήση και το χρώμα της αντιστοιχεί στον πύργο από όπου βρισκόταν η κλήση. [3]

Παρατηρώντας τις εικόνες 2.4 και 2.5 είναι εμφανές πως οι άνθρωποι εμφανίζουν μεγάλη επαναληψιμότητα στις κινήσεις τους. Συγκεκριμένα φαίνεται πως κάθε άνθρωπος έχει περίπου δυο μέρη τα οποία επισκέπτεται πολύ πιο συχνά σε σχέση με τα υπόλοιπα. Τέτοια μέρη μπορούμε με ασφάλεια να υποθέσουμε πως είναι το σπίτι του και ένα μέρος εργασίας ή απασχόλησης (ή/και ακόμα σχολείο/πανεπιστήμιο). Από τη στιγμή που υπάρχουν δυο μέρη (ή

και λίγα περισσότερα) στα οποία κάποιος βρίσκεται τη μεγαλύτερη διάρκεια της ημέρας του, είναι λογικό να παρατηρούμε ότι οι πιο συχνές διαδρομές που ακολουθεί είναι μεταξύ αυτών των τοποθεσιών. Το γεγονός αυτό αποτελεί ένα μοτίβο ανθρώπινης κινητικότητας.



Εικόνα 2.7. Εβδομαδιαία τροχιά 40 ημερών: Οι χρήστες κινητών τηλεφώνων δείχνουν ότι τα περισσότερα άτομα ταξιδεύουν μόνο σε σύντομες αποστάσεις, αλλά υπάρχουν άτομα τα οποία κάνουν τακτικά πολλά χιλιόμετρα. Στην κάτω φωτογραφία φαίνεται η λεπτομερή τροχιά

ενός μόνο χρήστη. Οι διάφοροι πύργοι τηλεφώνου εμφανίζονται ως οι πράσινες κουκκίδες. Η τροχιά του χρήστη που φαίνεται είναι κατασκευασμένη από 186 αναφορές δύο ωρών, κατά τις οποίες ο χρήστης επισκέφθηκε συνολικά 12 διαφορετικές τοποθεσίες (πύργοι). Μεταξύ αυτών, ο χρήστης βρίσκεται στις 96 και 67 φορές στις δύο πιο προτιμώμενες τοποθεσίες. Η συχνότητα των επισκέψεων για κάθε θέση εμφανίζεται ως κάθετη γραμμή. [2]

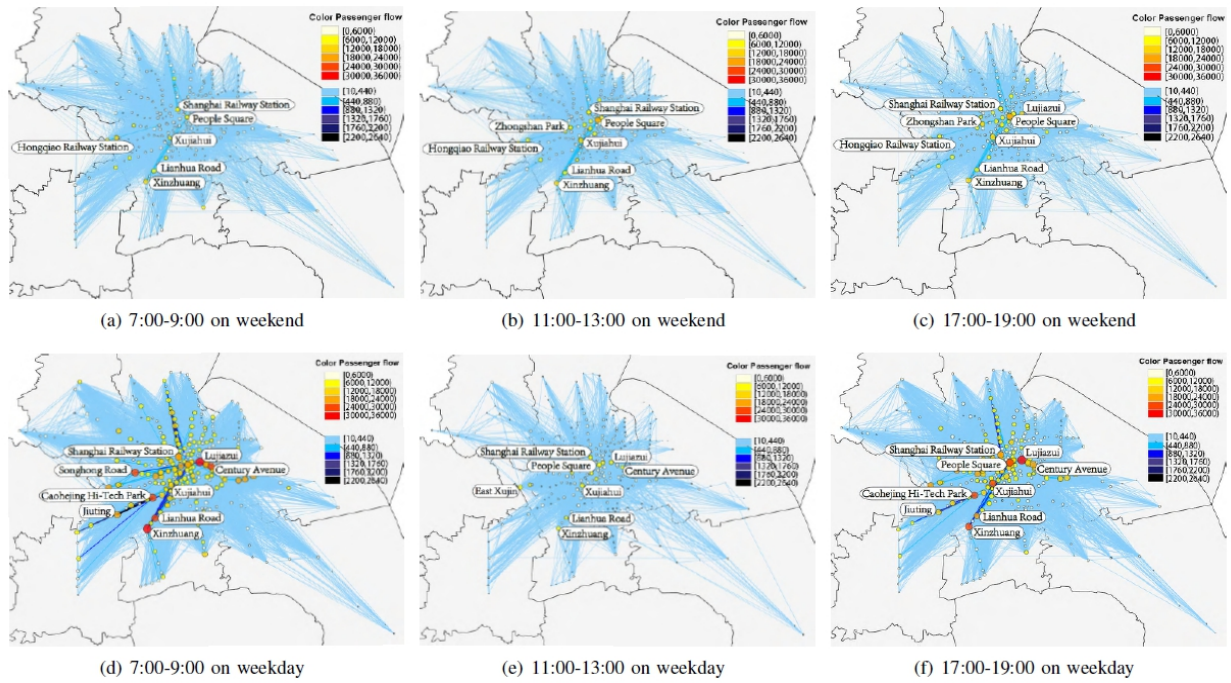
Αντίστοιχα, στο πλαίσιο της έρευνας [2] που περιγράφηκε παραπάνω στην ενότητα “Εισαγωγή στο αντικείμενο των μοτίβων ανθρώπινης κινητικότητας”, χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία που συλλέχθηκαν σε ένα διάστημα 6 μηνών από 100.000 τυχαία επιλεγμένα άτομα από ένα δείγμα πάνω από 6 εκατομμύρια ανώνυμων χρηστών κινητών τηλεφώνων. Συγκεκριμένα, κάθε φορά που ένας χρήστης δεχόταν ή έκανε μία κλήση ή έστειλε SMS, η τοποθεσία του καταγραφόταν από τον πύργο της εταιρείας τηλεφωνίας. Για να διασφαλισθεί πως τα αποτελέσματα δεν επηρεάστηκαν από τα ανώμαλα μοτίβα κλήσεων (όπως φαίνεται στην εικόνα 2.6), έγινε επίσης μελέτη ενός συνόλου δεδομένων που κατέγραφε την τοποθεσία 206 χρηστών κινητών τηλεφώνων ανά δύο ώρες για μία ολόκληρη εβδομάδα.

Όπως ήταν αναμενόμενο, η εικόνα 2.7 παρουσιάζει παρόμοια αποτελέσματα με αυτά των εικόνων 2.4 και 2.5. Πράγματι, η κίνηση των ανθρώπων φαίνεται να περιορίζεται σημαντικά μεταξύ κάποιων κομβικών για τον καθένα τοποθεσιών.

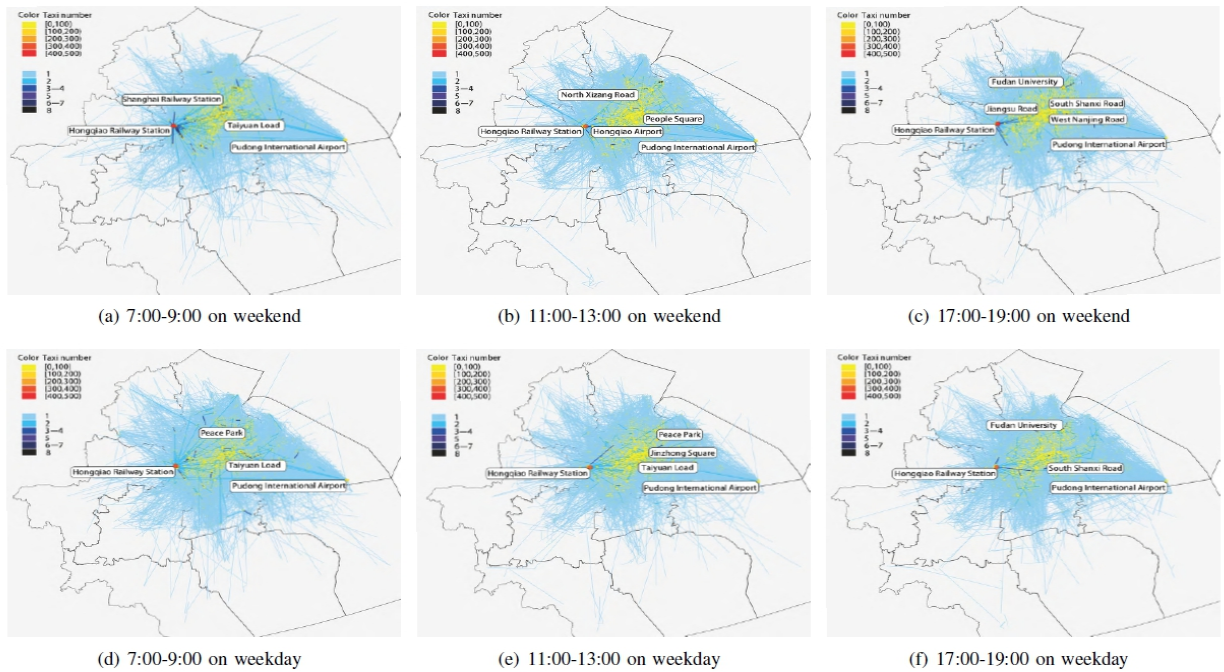
Εκτός από δεδομένα τηλεφώνων, υπάρχουν έρευνες(4) που χρησιμοποίησαν δεδομένα κίνησης γραμμών του μετρό (βλ. Εικόνα 2.8). Η ίδια έρευνα[4] έκανε επίσης χρήση δεδομένων GPS από ταξί (βλ. Εικόνα 2.9).

Οι εικόνες 2.8 και 2.9 μας δείχνουν την κίνηση των ανθρώπων σε διαφορετικές στιγμές μιας ημέρας. Αυτό έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον όταν κάποιος θέλει να μελετήσει φαινόμενα όπως είναι η κίνηση στους δρόμους καθώς μπορεί να αποτυπωθεί με ικανοποιητική προσέγγιση ο εκάστοτε πληθυσμός. Τα παραπάνω δεδομένα επιβεβαιώνουν και την κοινή αντίληψη που έχουν οι άνθρωποι όσον αφορά τις μετακινήσεις τους, δηλαδή ότι το μεγάλο μέρος του πληθυσμού κινείται στις ώρες που πηγαίνει και γυρνάει από τη δουλειά του (ή απασχόληση, σχολείο κτλ.).

Μοντελοποίηση και προσομοίωση της κίνησης ατόμων στο χώρο σε περιβάλλον πόλης

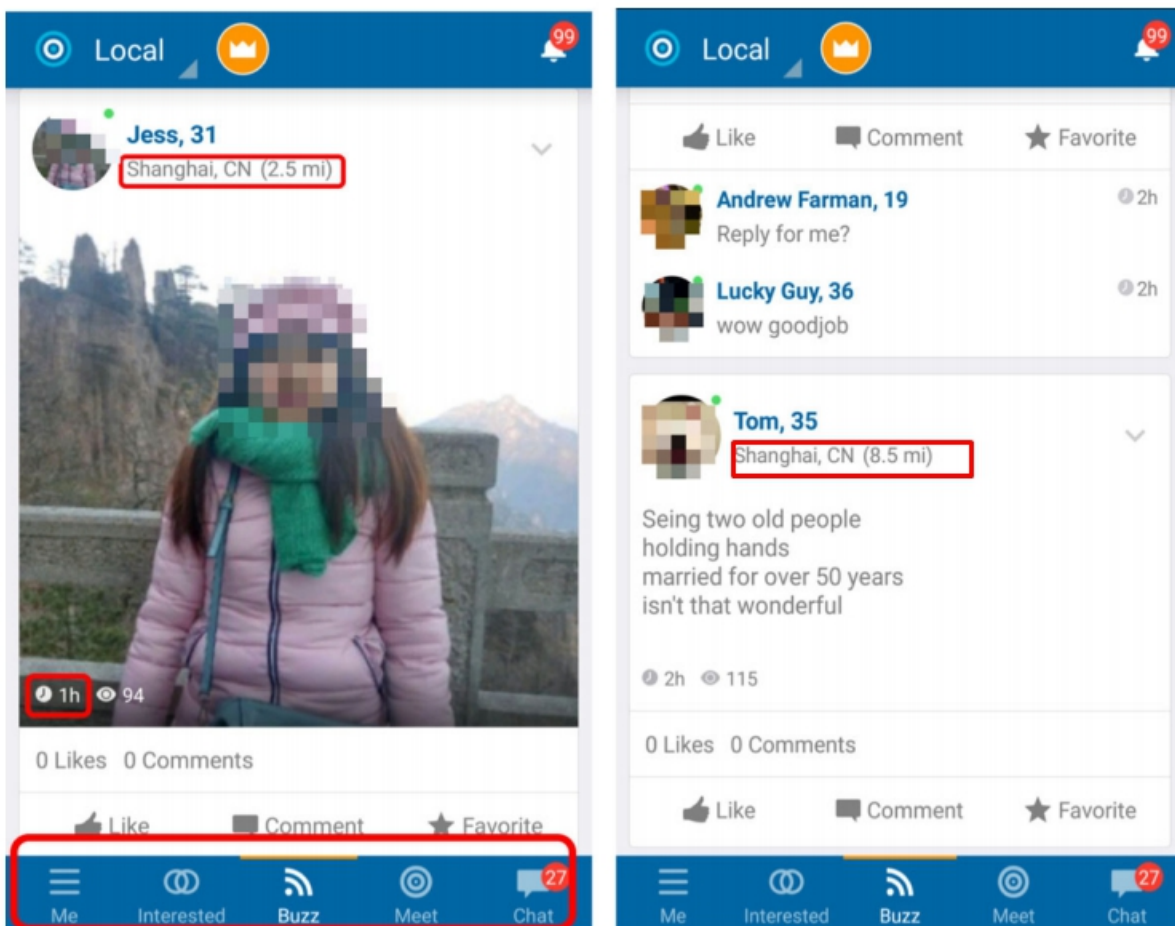


Εικόνα 2.8. Η κίνηση των ανθρώπων στις γραμμές του μετρό σε διαφορετικές στιγμές κατά τη διάρκεια μιας ημέρας. [4]



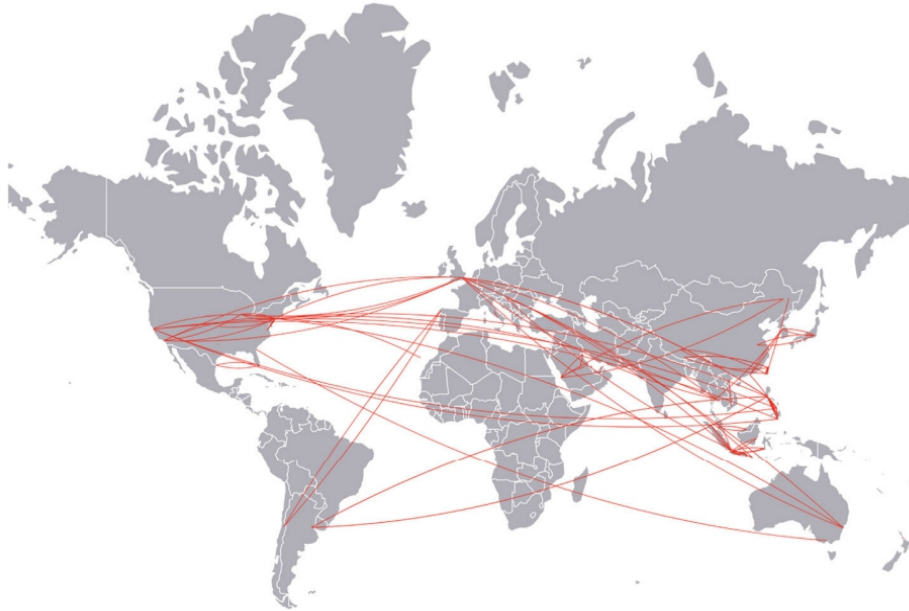
Εικόνα 2.9. Η κίνηση των ανθρώπων χρησιμοποιώντας ταξί σε διαφορετικές στιγμές κατά τη διάρκεια μιας ημέρας. [4]

Ένας άλλος τρόπος συλλογής δεδομένων που είναι βασισμένα στο GPS (Global Positioning System), είναι η αναζήτηση των δημοσιεύσεων που υπάρχουν στα κοινωνικά δίκτυα. Σήμερα αποτελεί συχνό φαινόμενο μεταξύ των χρηστών κοινωνικών δικτύων να συνοδεύεται μια ανάρτηση από την τοποθεσία του χρήστη. Στο πλαίσιο αυτό, η έρευνα [5] σύλλεξε τέτοιες αναρτήσεις από τους χρήστες μιας διαδεδομένης εφαρμογής κοινωνικών δικτύων, ώστε να κατασκευάσει, με βάση τα δεδομένα αυτά, ένα παγκόσμιο δίκτυο από τις πόλεις που έχουν επισκεφτεί οι χρήστες (Εικόνα 2.11). Στη συνέχεια, οργάνωσαν τις πιο δημοφιλείς διαδρομές σε κοινότητες πόλεων που βρίσκονται η μια κοντά στην άλλη (Εικόνα 2.12).

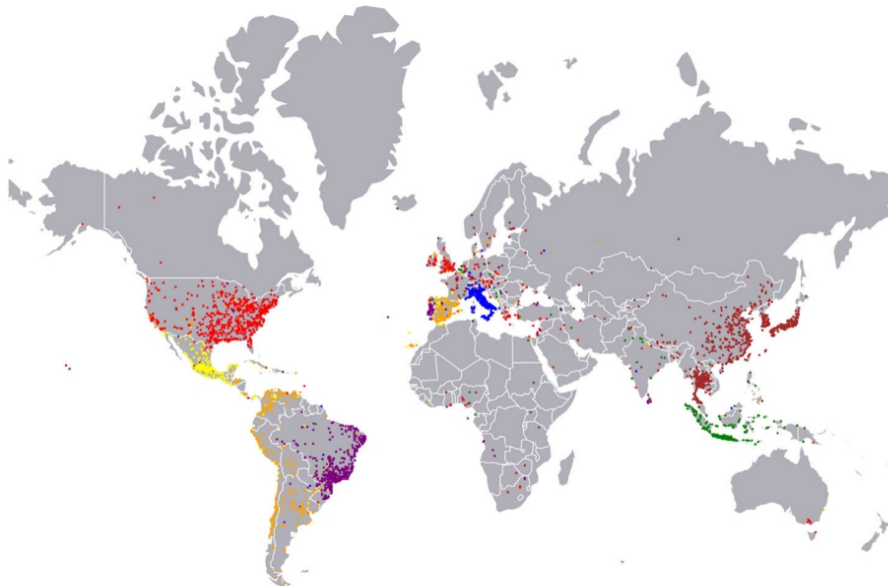


Εικόνα 2.10. Στιγμιότυπο από την εφαρμογή “Skout” στην οποία μέσω της λειτουργίας “Buzz” μπορεί να φανεί η τοποθεσία των χρηστών στις φωτογραφίες ή στις ενημερώσεις που

ανεβάζουν. [5]



Εικόνα 2.11. Χάρτης κινητικότητας που δείχνει τις πιο δημοφιλείς διαδρομές και προορισμούς μεταξύ πόλεων. Υπάρχουν πιο άμεσες μεταβάσεις μεταξύ πόλεων στην ίδια χώρα. [5]



Εικόνα 2.12. Οι κοινότητες που προσδιορίζονται από το παγκόσμιο δίκτυο πόλεων. Κάθε τελεία αντιπροσωπεύει μια πόλη, και πόλεις στο ίδια κοινότητα έχουν το ίδιο χρώμα. Οι πόλεις στην ίδια χώρα έχουν στενότερες συνδέσεις. Πόλεις που έχουν η ίδια γλώσσα ή το ίδιο πολιτισμικό υπόβαθρο τείνουν να είναι στην ίδια κοινότητα. Πολλές πόλεις στην Κίνα, την Ιαπωνία, στη Νότια Κορέα και στη Ταϊλάνδη ανήκουν στην ίδια κοινότητα. [5]

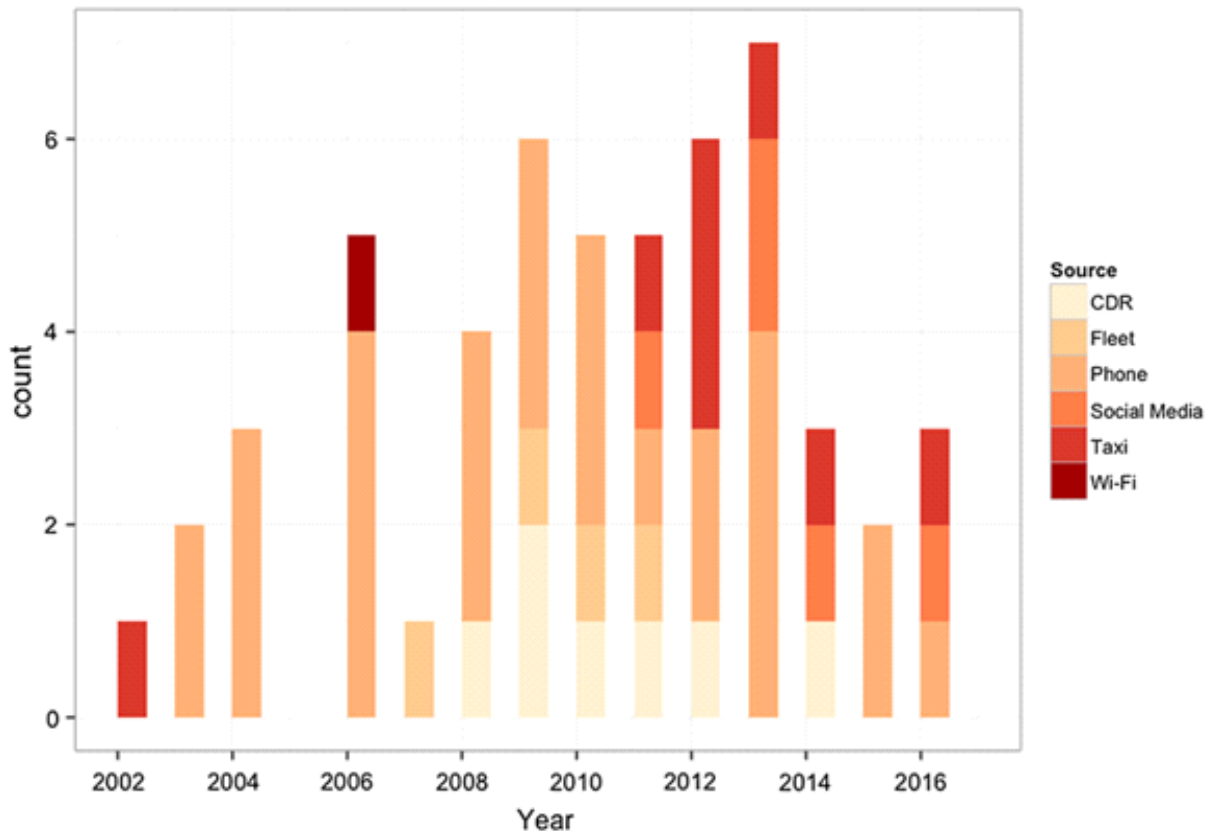
Γίνεται φανερό, λοιπόν, ότι μέσω αυτής της διαδικασίας και κάνοντας χρήση δεδομένων από κοινωνικά δίκτυα, μπορούμε να λάβουμε στοιχεία για την τοποθεσία του χρήστη, αλλά μόνο με τη συχνότητα που ο ίδιος ανεβάζει τέτοιες ενημερώσεις. Οι πορείες που μπορεί κανείς να σχεδιάσει με βάση αυτά τα στοιχεία εξαρτώνται από την εμβέλεια των ενημερώσεων αυτών. Για παράδειγμα, εάν κάποιος ήθελε να εξετάσει τα μοτίβα της ανθρώπινης κινητικότητας σε περιβάλλον πόλης, θα χρειαζόταν συχνές ενημερώσεις παρουσίας από τους χρήστες που εξετάζονται. Τέτοιες ενημερώσεις μπορούν να μην αφορούν μόνο τοποθεσία αλλά, και το σημασιολογικό περιεχόμενο της τοποθεσίας αυτής, δηλαδή αν πρόκειται για καφετέρια, σχολείο, εργασία, μαγαζιά, κτλ.

2.3. Οι μελέτες των μοτίβων ανθρώπινης κινητικότητας σήμερα

Ολοκληρώνοντας αυτό το κεφάλαιο είναι σημαντικό να δούμε την κατάσταση των μελετών μοτίβων ανθρώπινης κινητικότητας σήμερα³. Όπως είδαμε, τα αντικείμενα που μελετάνε οι έρευνες καθώς και τα δεδομένα που χρησιμοποιούν αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου.

Η εικόνα 2.13 παρέχει μια γενική εικόνα της χρήσης διαφορετικών πηγών δεδομένων στις έρευνες που εξέτασε η μελέτη [11]. Βλέπουμε μια σταδιακή αλλαγή στον τύπο των πηγών δεδομένων που χρησιμοποιούνται. Ενώ οι μέθοδοι από τη δεκαετία του 2000 χρησιμοποιούσαν μικρά σύνολα δεδομένων που βασιζόνταν κυρίως στην παρακολούθηση των τηλεφωνικών σημάτων με τη χρήση υλικού ή λογισμικού, άλλες μέθοδοι από εκείνη την εποχή βασιζόνταν σε στοιχεία που προέρχονταν από ένα πλήθος αυτοκινήτων και δίκτυα WiFi. Η επικράτηση των συστημάτων εντοπισμού και εντοπισμού θέσης, ιδίως στα συστήματα ταξί, οδηγεί σε σύνολα δεδομένων, μεγάλα σε όγκο και διάρκεια. Μελέτες που αναλύουν τα σύνολα δεδομένων βασισμένων σε συστήματα ταξί αποτελούν σημαντικό μέρος των πιο πρόσφατων εργασιών, παρέχοντας χρήσιμα συμπεράσματα, κυρίως αναφορικά με τις τροχιές και την ανάλυση της κυκλοφορίας. Ωστόσο, έχουν ορισμένα μειονεκτήματα. Πρώτον,

³ Να σημειωθεί πως κατά τη διαδικασία μελέτης για την συγγραφή της παρούσας διπλωματικής εργασίας λήφθηκαν υπόψη μερικές μόνο έρευνες με βάση το έτος δημοσίευσης τους και τις αναφορές που έχουν. Αυτά που παρουσιάζονται είναι αυτά που είναι πιο κοντά στο αντικείμενο της προσομοίωσης που έχουμε σκοπό να υλοποιήσουμε και σε καμία περίπτωση δεν πρόκειται για εκτενή και ενδελεχή ανάλυση του χώρου.



Εικόνα 2.13. Αριθμός των ερευνών που χρησιμοποίησαν τα δεδομένα που αναγράφονται με την πάροδο των χρόνων. Να σημειωθεί πως CDR είναι τα δεδομένα κλήσης (Call Detail Record) και Fleet είναι δεδομένα από αυτοκίνητα (“στόλος” αυτοκινήτων). [11]

τα παραπάνω σύνολα δεδομένων δεν περιέχουν πληροφορίες σχετικά με τους τύπους τοποθεσιών, τα χαρακτηριστικά των οδηγών και ούτω καθεξής. Επίσης, στα περισσότερα σύνολα αυτών των δεδομένων, η ταυτότητα του οδηγού ή της καμπίνας δεν καταγράφεται (για λόγους προστασίας ιδιωτικών δεδομένων), καθιστώντας τα σύνολα δεδομένων κυρίως συναφή με την ανάλυση τροχιάς και όχι κάποιας επιπλέον μελέτης. Τα δεδομένα τοποθεσίας από πηγές κοινωνικών μέσων, ειδικά από το Twitter, το Foursquare και το Gowalla, είναι μια άλλη δημοφιλής πηγή δεδομένων τα τελευταία χρόνια. Τα σύνολα δεδομένων των κοινωνικών μέσων περιέχουν πλούσια ενημέρωση, όπως τον τύπο της τοποθεσίας ή τις πληροφορίες ενός tweet. Ταυτόχρονα, καθώς οι εντοπισμοί θέσης ενεργοποιούνται από τις ενέργειες του χρήστη, όπως ένα check-in σε ένα χώρο ή δημοσίευση ενός tweet το οποίο περιέχει γεωγραφικό εντοπισμό, στερούνται συνέχειας και έχουν παρορμητικό χαρακτήρα. Αυτό σημαίνει πως ο κάθε χρήστης μπορεί να ανεβάσει την τοποθεσία του χωρίς κάποια συνέπεια ως προς τον χρόνο. Ως εκ τούτου, χρησιμοποιούνται κυρίως για ανάλυση τοποθεσιών. [11]

Αξίζει να τονιστεί ότι, οι σημερινές μελέτες εντάσσουν όλο και περισσότερο νέες τεχνολογίες για την ανάλυση της ανθρώπινης κινητικότητας. Για παράδειγμα, πρόσφατες έρευνες [11] κάνουν χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης (machine learning) για να ανακαλύψουν μοτίβα στην κίνηση των ανθρώπων. Ακόμη, οι μελέτες αυτές εξετάζουν θέματα τα οποία είναι πιο σχετικά από πότε, όπως είναι οι επιπτώσεις που έχει η μόλυνση του περιβάλλοντος στους ανθρώπους. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η μόλυνση του αέρα από τα καυσαέρια [12]. Οι περισσότερες μελέτες του θέματος δεν λαμβάνουν υπόψη την καθημερινή πορεία του ανθρώπου και δίνουν μεγάλη έμφαση στις επιπτώσεις που έχουν τα καυσαέρια όσο αυτός είναι σπίτι ή στη δουλειά του για παράδειγμα. Μελετώντας την κίνηση του ανθρώπου μέσα στην πόλη μπορεί κανείς να σχηματίσει μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα για τις πραγματικές επιπτώσεις που έχουν τα καυσαέρια για τον άνθρωπο.

Κεφάλαιο 3. Agent-Based Modeling

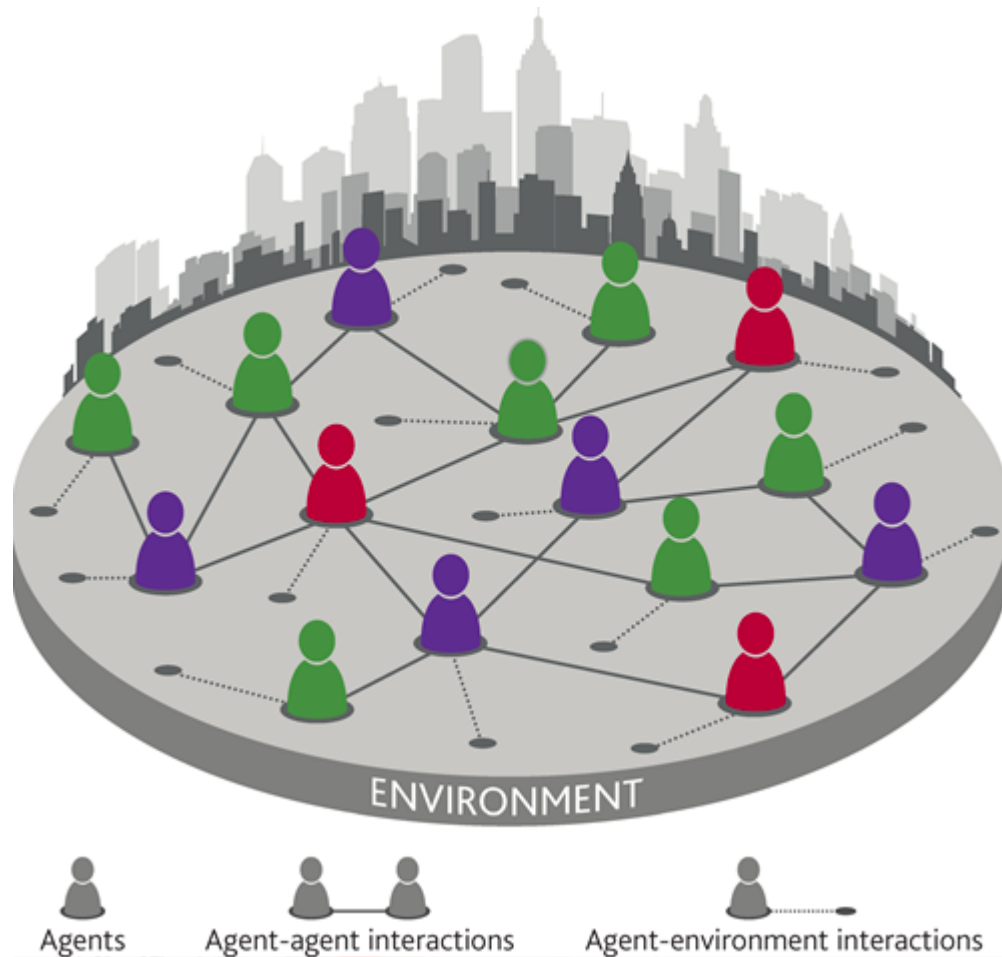
Το Agent-Based Modeling είναι μια ισχυρή τεχνική μοντελοποίησης και προσομοίωσης που έχει δει μια σειρά εφαρμογών τα τελευταία χρόνια, συμπεριλαμβανομένων εφαρμογών σε επιχειρηματικά και κοινωνικά προβλήματα.

Στο Agent-Based Modeling, ένα σύστημα διαμορφώνεται ως μια συλλογή από αυτόνομες οντότητες λήψης αποφάσεων που ονομάζονται πράκτορες (agents). Κάθε agent αξιολογεί μεμονωμένα την κατάστασή του και λαμβάνει αποφάσεις βάσει ενός συνόλου κανόνων. Οι agents μπορούν να εκτελούν διάφορες συμπεριφορές κατάλληλες για το σύστημα που αντιπροσωπεύουν - για παράδειγμα, παραγωγή, κατανάλωση ή πώληση ενός προϊόντος. Επαναλαμβανόμενες ανταγωνιστικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ πρακτόρων είναι ένα χαρακτηριστικό του Agent-Based Modeling, το οποίο βασίζεται στην ικανότητα των υπολογιστών να διερευνούν τη δυναμική μακριά από καθαρές μαθηματικές μεθόδους. Στο απλούστερο επίπεδο, ένα agent-based model αποτελείται από ένα σύστημα agents και τις σχέσεις μεταξύ τους. Ακόμη και ένα απλό μοντέλο που βασίζεται σε πράκτορες μπορεί να παρουσιάσει περίπλοκα πρότυπα συμπεριφοράς και να παρέχει πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τη δυναμική του πραγματικού συστήματος που μιμείται. Επιπλέον, οι agents μπορεί να είναι ικανοί να εξελίσσονται, επιτρέποντας την εμφάνιση απροσδόκητων συμπεριφορών. Το εξελιγμένο Agent-Based Modeling συχνά ενσωματώνει τεχνικές μάθησης, όπως νευρωνικά δίκτυα ή εξελικτικούς αλγόριθμους που επιτρέπουν την ρεαλιστική εκμάθηση και προσαρμογή του συστήματος που αναπτύσσεται.

Το Agent-Based Modeling είναι περισσότερο μια έννοια παρά μια τεχνολογία. Η έννοια του Agent-Based Modeling συνίσταται στην περιγραφή ενός συστήματος από την οπτική γωνία των συστατικών του μονάδων. Υπάρχει η αντίληψη από ορισμένους ερευνητές ότι ο αντίποδας, ή αλλιώς η εναλλακτική λύση, στο Agent-Based Modeling είναι η παραδοσιακή μοντελοποίηση διαφορικών εξισώσεων. Αυτό είναι δεν είναι, παρόλα αυτά, ακριβές καθώς κάθε μια εξίσωση ενός συνόλου διαφορικών εξισώσεων περιγράφει τη δυναμική μιας από τις συστατικές μονάδες του συστήματος και συνεπώς είναι, επί της ουσίας, ένα agent-based model. Ένα συνώνυμο του Agent-Based Modeling θα ήταν η μικροσκοπική μοντελοποίηση και μια εναλλακτική λύση θα ήταν η μακροσκοπική μοντελοποίηση. Καθώς η έννοια του Agent-Based Modeling αρχίζει να απολαμβάνει σημαντική δημοτικότητα, είναι μια κατάλληλη στιγμή να προσδιορίσουμε γιατί είναι χρήσιμο και πότε πρέπει αυτό να χρησιμοποιηθεί.

Ένας από τους λόγους που έκανε δημοφιλές το Agent-Based Modeling είναι η ευκολία υλοποίησής του. Επειδή η τεχνική είναι εύκολη στη χρήση, μπορεί κανείς να σκεφτεί λανθασμένα ότι οι έννοιες που περιγράφει είναι απλές. Αλλά αν και το Agent-Based Modeling είναι τεχνικά απλό, είναι επίσης εννοιολογικά βαθύ. Αυτός ο ασυνήθιστος συνδυασμός συχνά

οδηγεί σε ακατάλληλη χρήση του Agent-Based Modeling.



Εικόνα 3.1. Απλουστευμένη απεικόνιση ενός συστήματος Agent-Based Modeling. Φαίνεται το περιβάλλον πάνω στο οποίο βρίσκονται και συνυπάρχουν οι agents καθώς και οι αλληλεπιδράσεις που έχουν οι agents μεταξύ τους και με το περιβάλλον αυτό.

Πηγή: <https://www.bankofengland.co.uk/quarterly-bulletin/2016/q4/agent-based-models-understanding-the-economy-from-the-bottom-up>

Τα οφέλη του Agent-Based Modeling σε σχέση με άλλες τεχνικές μοντελοποίησης μπορούν να συνοψιστούν στις παρακάτω τρεις δηλώσεις [9]:

1. Το Agent-Based Modeling καταγράφει φαινόμενα και συμπεριφορές που παρουσιάζει ένας πληθυσμός,

2. Το Agent-Based Modeling παρέχει μια φυσική περιγραφή ενός συστήματος, και
3. Το Agent-Based Modeling είναι ευέλικτο.

Ωστόσο, είναι σαφές ότι η ικανότητα του Agent-Based Modeling να παρατηρεί και να καταγράφει τα παραπάνω φαινόμενα είναι αυτό που οδηγεί στα άλλα οφέλη.

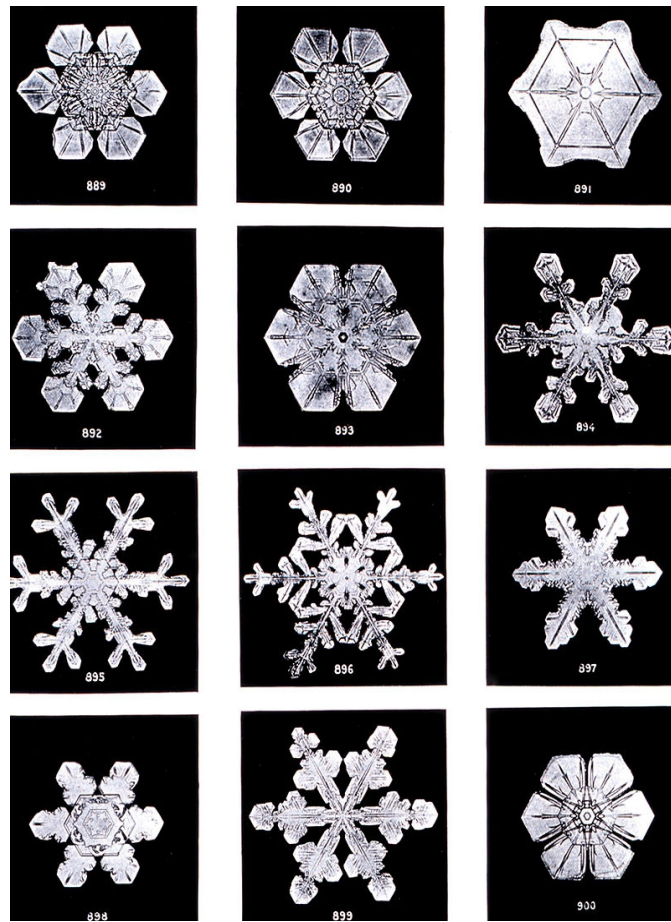
3.1. Καταγραφή φαινομένων Emergence

Τα φαινόμενα που περιγράφει το Agent-Based Modeling προκύπτουν από τις αλληλεπιδράσεις των επιμέρους οντοτήτων. Εξ ορισμού, δεν μπορούν να μειωθούν στα τμήματα του συστήματος: το σύνολο είναι μεγαλύτερο από το άθροισμα των τμημάτων του, λόγω των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των τμημάτων. Ένα τέτοιο φαινόμενο μπορεί να έχει ιδιότητες που αποσυνδέονται από τις ιδιότητες του τμήματος. Για παράδειγμα, μια κυκλοφοριακή συμφόρηση, η οποία προκύπτει από τη συμπεριφορά και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των επιμέρους οδηγών οχημάτων, μπορεί να κινείται προς κατεύθυνση αντίθετη από εκείνη των αυτοκινήτων που την προκαλούν. Αυτό το χαρακτηριστικό αυτών των φαινομένων καθιστά δύσκολο να κατανοηθούν και να προβλεφθούν.



Εικόνα 3.2. Τα σχέδια κυματισμών σε έναν αμμόλοφο που δημιουργείται από τον άνεμο ή το νερό είναι ένα παράδειγμα του φαινομένου Emergence στη φύση.

Πηγή: <https://en.wikipedia.org/wiki/Emergence>



Εικόνα 3.3. Ο σχηματισμός πολύπλοκων συμμετρικών και μοτίβων fractal στις νιφάδες χιονιού απεικονίζει το φαινόμενο αυτό (Emergence) σε ένα φυσικό σύστημα.

Πηγή: <https://en.wikipedia.org/wiki/Emergence>

Το Agent-Based Modeling είναι, από την ίδια του τη φύση, η κανονική προσέγγιση για τη μοντελοποίηση των παραπάνω φαινομένων: στο Agent-Based Modeling, ένα μοντέλο προσομοιώνει τη συμπεριφορά των συστατικών μονάδων του συστήματος και των αλληλεπιδράσεών τους, καταγράφοντας το φαινόμενο όταν εκτελείται η προσομοίωση.

Κάποιος μπορεί να θέλει να χρησιμοποιήσει το Agent-Based Modeling όταν υπάρχει πιθανότητα εμφάνισης των παραπάνω φαινομένων, δηλαδή όταν [9]:

- Η ατομική συμπεριφορά είναι μη γραμμική και μπορεί να χαρακτηρίζεται από κατώτατα όρια, αν υπάρχουν κανόνες ή από μη γραμμική σύζευξη. Η περιγραφή της ασυνέχειας στην ατομική συμπεριφορά είναι δύσκολη με τις διαφορικές εξισώσεις.

- Η ατομική συμπεριφορά εμφανίζει μνήμη, εξάρτηση από τη διαδρομή και υστέρηση, συμπεριφορά μη Μαρκοβιανή⁴ ή χρονικές συσχετίσεις, συμπεριλαμβανομένης της μάθησης και της προσαρμογής.
- Οι αλληλεπιδράσεις των παραγόντων είναι ετερογενείς και μπορούν να δημιουργήσουν φαινόμενα δικτύου. Οι εξισώσεις συσσωρευμένης ροής συνήθως υποθέτουν παγκόσμια ομοιογενή ανάμιξη, αλλά η τοπολογία του δικτύου αλληλεπίδρασης μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές αποκλίσεις από την προβλεπόμενη συσσωρευμένη συμπεριφορά.
- Οι μέσοι όροι δεν θα λειτουργήσουν. Οι συγκεντρωτικές διαφορικές εξισώσεις τείνουν να εξομαλύνουν τις διακυμάνσεις. Το Agent-Based Modeling δεν λειτουργεί με αυτόν τον τρόπο, γεγονός που είναι σημαντικό επειδή υπό ορισμένες συνθήκες οι διακυμάνσεις μπορούν να ενισχυθούν: το σύστημα είναι γραμμικά σταθερό αλλά ασταθές σε μεγαλύτερες διαταραχές.

3.2. Φυσική περιγραφή ενός συστήματος

Σε πολλές περιπτώσεις, το Agent-Based Modeling είναι πιο κατάλληλο για την περιγραφή και την προσομοίωση ενός συστήματος που αποτελείται από «συμπεριφορικές» οντότητες. Είτε προσπαθεί να περιγράψει μια κυκλοφοριακή συμφόρηση, το χρηματιστήριο, τους ψηφοφόρους, ή πώς λειτουργεί μια οργάνωση, το Agent-Based Modeling κάνει το μοντέλο να φαίνεται πιο κοντά στην πραγματικότητα. Για παράδειγμα, είναι πιο φυσικό να περιγράψουμε πώς οι αγοραστές κινούνται σε ένα σούπερ μάρκετ παρά να βρουν τις εξισώσεις που διέπουν τη δυναμική της πυκνότητας των αγοραστών. Επειδή οι εξισώσεις πυκνότητας προκύπτουν από τη συμπεριφορά των αγοραστών, η προσέγγιση του Agent-Based Modeling θα επιτρέψει επίσης στον χρήστη να μελετήσει τις συνολικές ιδιότητες.

Το Agent-Based Modeling καθιστά επίσης δυνατή την πλήρη αξιοποίηση των δυνατοτήτων των δεδομένων που μπορεί να έχει μια εταιρεία για τους πελάτες της: τα στοιχεία των ομάδων και οι έρευνες πελατών παρέχουν πληροφορίες σχετικά με το τι κάνουν πραγματικά οι άνθρωποι. Η γνώση του πραγματικού καλαθιού αγορών ενός πελάτη καθιστά δυνατή τη δημιουργία ενός εικονικού πράκτορα (agent) με αυτό το καλάθι αγορών και όχι μια πυκνότητα ατόμων με ένα συνθετικό καλάθι αγορών υπολογιζόμενο από τον μέσο όρο των δεδομένων αγορών.

4 Στη θεωρία πιθανοτήτων, ένα μοντέλο Μαρκοβ είναι ένα στοχαστικό μοντέλο που χρησιμοποιείται για να μοντελοποιεί τυχαία μεταβαλλόμενα συστήματα. Θεωρείται ότι οι μελλοντικές καταστάσεις εξαρτώνται μόνο από την τρέχουσα κατάσταση, όχι από τα γεγονότα που συνέβησαν πριν από αυτήν. Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Markov_model

Κάποιος μπορεί να θέλει να χρησιμοποιήσει το Agent-Based Modeling όταν το να περιγράψει το σύστημα από τη σκοπιά των τμημάτων που το αποτελούν είναι πιο φυσικό, δηλαδή όταν [9]:

- Η συμπεριφορά των ατόμων δεν μπορεί να προσδιοριστεί με σαφήνεια μέσω των συνολικών ρυθμών μετάβασης.
- Η ατομική συμπεριφορά είναι περίπλοκη. Τα πάντα μπορούν να γίνουν με εξισώσεις, αλλά η πολυπλοκότητα των διαφορικών εξισώσεων αυξάνεται εκθετικά καθώς αυξάνεται η πολυπλοκότητα της συμπεριφοράς. Η περιγραφή σύνθετης ατομικής συμπεριφοράς με εξισώσεις καθίσταται αδύνατη.
- Οι δραστηριότητες είναι ένας πιο φυσικός τρόπος περιγραφής του συστήματος από τις διαδικασίες.
- Η επικύρωση και η βαθμονόμηση του μοντέλου μέσω κρίσης εμπειρογνομώνων είναι καθοριστικής σημασίας. Το Agent-Based Modeling είναι συχνά ο καταλληλότερος τρόπος για να περιγράψουμε τι πραγματικά συμβαίνει στον πραγματικό κόσμο και οι ειδικοί μπορούν εύκολα να «συνδεθούν» με το μοντέλο και να έχουν μια αίσθηση "ιδιοκτησίας".
- Η στοχαστικότητα ισχύει για τη συμπεριφορά των παραγόντων. Με το Agent-Based Modeling, οι πηγές τυχαίας εφαρμογής εφαρμόζονται στις σωστές θέσεις σε αντίθεση με έναν θόρυβο που προστίθεται λίγο πολύ αυθαίρετα σε μια συνολική εξίσωση.

3.3. Ευελιξία

Η ευελιξία του Agent-Based Modeling μπορεί να παρατηρηθεί κατά μήκος πολλαπλών διαστάσεων. Για παράδειγμα, είναι εύκολο να προστεθούν περισσότεροι agents σε ένα μοντέλο που βασίζεται ήδη σε agents. Το Agent-Based Modeling παρέχει επίσης ένα φυσικό πλαίσιο για τον συντονισμό της πολυπλοκότητας των agents: συμπεριφορά, βαθμό ορθολογισμού, ικανότητα μάθησης και εξέλιξης και κανόνες αλληλεπιδράσεων.

Μια άλλη διάσταση ευελιξίας είναι η ικανότητα αλλαγής του βαθμού περιγραφής και της έννοιας του συνόλου: μπορεί κανείς εύκολα να παίξει με ένα σύνολο από agents, υποομάδες agents και μεμονωμένους agents, με διαφορετικά επίπεδα περιγραφής να συνυπάρχουν σε ένα δεδομένο μοντέλο. Κάποιος μπορεί να θέλει να χρησιμοποιήσει το Agent-Based Modeling όταν το κατάλληλο επίπεδο περιγραφής ή πολυπλοκότητας δεν είναι γνωστό από πριν και η

εύρεση του απαιτεί ένα βαθμό αυτοσχεδιασμού.

3.4. Χρησιμότητα

Τα πραγματικά οφέλη του Agent-Based Modeling εμφανίζονται όταν εφαρμόζεται σε ανθρώπινα συστήματα. Είναι χρήσιμο σε αυτό το σημείο να συνοψίσουμε πότε είναι καλύτερο να χρησιμοποιήσουμε το Agent-Based Modeling [9]:

- Όταν οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των παραγόντων είναι πολύπλοκες, μη γραμμικές, ασυνεχείς ή διακριτές (για παράδειγμα, όταν η συμπεριφορά ενός παράγοντα μπορεί να μεταβληθεί δραματικά, ακόμη και ασυνεχώς, από άλλους παράγοντες).
- Όταν ο χώρος είναι σημαντικός για το μοντέλο και οι θέσεις των πρακτόρων δεν είναι σταθερές. Για παράδειγμα η μοντελοποίηση της διαφυγής ενός πλήθους όταν έχει ξεσπάσει φωτιά.
- Όταν ο πληθυσμός είναι ετερογενής, όταν κάθε άτομο είναι (δυνητικά) διαφορετικό.
- Όταν η τοπολογία των αλληλεπιδράσεων είναι ετερογενής και περίπλοκη. Όταν οι αλληλεπιδράσεις είναι ομοιογενείς και αναμιγνύονται παγκοσμίως, δεν υπάρχει ανάγκη για Agent-Based Modeling, αλλά τα κοινωνικά δίκτυα είναι σπάνια ομοιογενή, χαρακτηρίζονται από ομάδες, οδηγώντας σε αποκλίσεις από τη μέση συμπεριφορά.
- Όταν οι agents παρουσιάζουν πολύπλοκη συμπεριφορά, συμπεριλαμβανομένης της μάθησης και της προσαρμογής.

3.5. Παραδείγματα

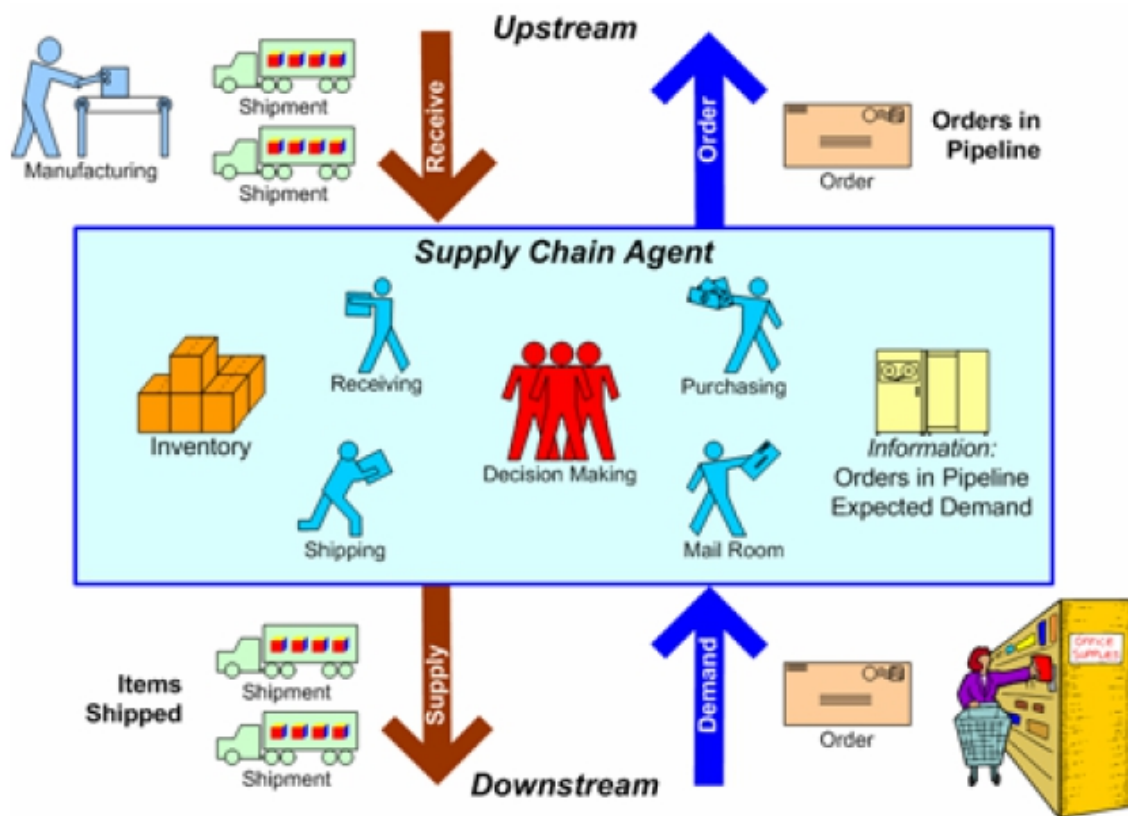
Μοντέλο αλυσίδας εφοδιασμού [6]

Η αλυσίδα εφοδιασμού αποτελείται από τέσσερα στάδια: εργοστάσια, διανομείς, χονδρέμποροι και λιανοπωλητές που ανταποκρίνονται στη ζήτηση των πελατών. Διάφορες παραδοχές για χάρη απλούστευσης γίνονται όπως: υπάρχει μόνο ένα εμπόρευμα, δεν υπάρχει μετασχηματισμός αγαθών και δεν απαιτείται συναρμολόγηση υλικών σε προϊόντα. Οι ροές αγαθών και οι πληροφορίες υπό μορφή παραγγελιών μεταξύ σταδίων καθώς και φυσικές αποστολές περιλαμβάνονται στο μοντέλο, αλλά οι ροές πληρωμών και οι πρόσθετες πολυπλοκότητες της τιμολόγησης, των διαπραγματεύσεων και της χρηματοοικονομική

λογιστικής δεν θα συμπεριληφθεί. Ωστόσο, αυτές οι πτυχές της συμπεριφοράς θα μπορούσαν εύκολα να ενσωματωθούν σε κάποια άλλη προσομοίωση.

Οι agents αλυσίδας εφοδιασμού όπως αναφέρθηκε παραπάνω αποτελούνται από τον πελάτη, τον πωλητή, τον χονδρέμπορο, τον διανομέα και τον κατασκευαστή. Κάθε περίοδο, οι παράγοντες της αλυσίδας εφοδιασμού εκτελούν συμπεριφορές:

1. Ο πελάτης τοποθετεί μια παραγγελία στον έμπορο λιανικής πώλησης.
2. Ο λιανοπωλητής εκτελεί αμέσως την παραγγελία εάν έχει αρκετό απόθεμα (εάν αυτό έχει εξαντληθεί, η παραγγελία του πελάτη μπαίνει σε αναμονή και εκτελείται όταν συμπληρωθεί το απόθεμα).
3. Ο λιανοπωλητής λαμβάνει μια αποστολή από τον χονδρέμπορο από μια από τις παραγγελίες στο βήμα 2. Ο λιανοπωλητής τότε αποφασίζει πόσο να παραγγείλει από τον χονδρέμπορο με βάση έναν "κανόνα παραγγελίας". Η απόφαση βασίζεται εν μέρει στο πόσο ο λιανοπωλητής αναμένει ότι η ζήτηση θα είναι στο μέλλον. Ο λιανοπωλητής υπολογίζει τη μελλοντική ζήτηση χρησιμοποιώντας έναν κανόνα "πρόβλεψης της ζήτησης". Ο λιανοπωλητής τότε θα παραγγείλει τα αντικείμενα από τον έμπορο χονδρικής πώλησης για να καλύψει αναμενόμενη ζήτηση και τυχόν ελλείψεις.
4. Ομοίως, κάθε χονδρέμπορος λαμβάνει μια αποστολή από τον διανομέα, προβλέπει μελλοντική ζήτηση από τον έμπορο λιανικής πώλησης και δίνει εντολή στον διανομέα. Αυτή η διαδικασία συνεχίζει την αλυσίδα στο εργοστάσιο το οποίο αποφασίζει σχετικά με το πόσο θα θέσει σε νέα παραγωγή.



Εικόνα 3.4. Απεικόνιση της διαδικασίας που ακολουθείται σε μια αλυσίδα ανεφοδιασμού. Σε αυτήν φαίνονται οι ενέργειες που έχουν να κάνουν οι agents που συμμετέχουν στο μοντέλο. [6]

Ο στόχος των πρακτόρων (agents) στο μοντέλο είναι να διαχειριστούν την αποθήκη τους κατά τρόπο που να ελαχιστοποιεί το κόστος τους μέσω δύσκολων αποφάσεων που βασίζονται στο μέγεθος της παραγγελίας κάθε περιόδου. Όταν τα αποθέματα είναι πολύ χαμηλά και υπάρχει κίνδυνος εξάντλησης των αποθεμάτων, οι agents παραγγέλνουν περισσότερο. Όταν τα αποθέματα είναι πολύ μεγάλα και οι agents έχουν υψηλό κόστος διατήρησης αποθεμάτων, οι agents παραγγέλνουν λιγότερο. Κάθε agent αναλαμβάνει ένα κόστος όταν κρατάει κάποιο αντικείμενο στο απόθεμα, το τέλος διατήρησης αποθέματος. Οι agents επίσης επιβαρύνονται οικονομικά όταν λαμβάνουν μια παραγγελία και δεν μπορούν να ανταποκριθούν αμέσως σε αυτήν επειδή έχουν κανένα απόθεμα. Κάθε πράκτορας επιτυγχάνει μια λεπτή ισορροπία μεταξύ του υπερβολικά μεγάλου αποθέματος, το οποίο έχει κάποιο κόστος, και πολύ λίγα αποθέματα, τα οποία βάζουν τον πράκτορα σε μεγαλύτερο κίνδυνο εξάντλησης των αποθεμάτων.

Σε αυτό το παράδειγμα, οι agents αλυσίδας εφοδιασμού έχουν πρόσβαση μόνο σε τοπικές πληροφορίες. Κανένας πράκτορας δεν έχει συνολική εικόνα της αλυσίδας ή είναι σε θέση να βελτιστοποιήσει το σύστημα. Οι πράκτορες υιοθετούν κανόνες απόφασης μόνο σε αυτές τις τοπικές πληροφορίες κατά τη λήψη των αποφάσεών τους.

Τα αποτελέσματα του μοντέλου αλυσίδας εφοδιασμού με Agent-Based Modeling μας δείχνουν πως είναι πολύ κοντά στις συνθήκες τις πραγματικής ζωής.

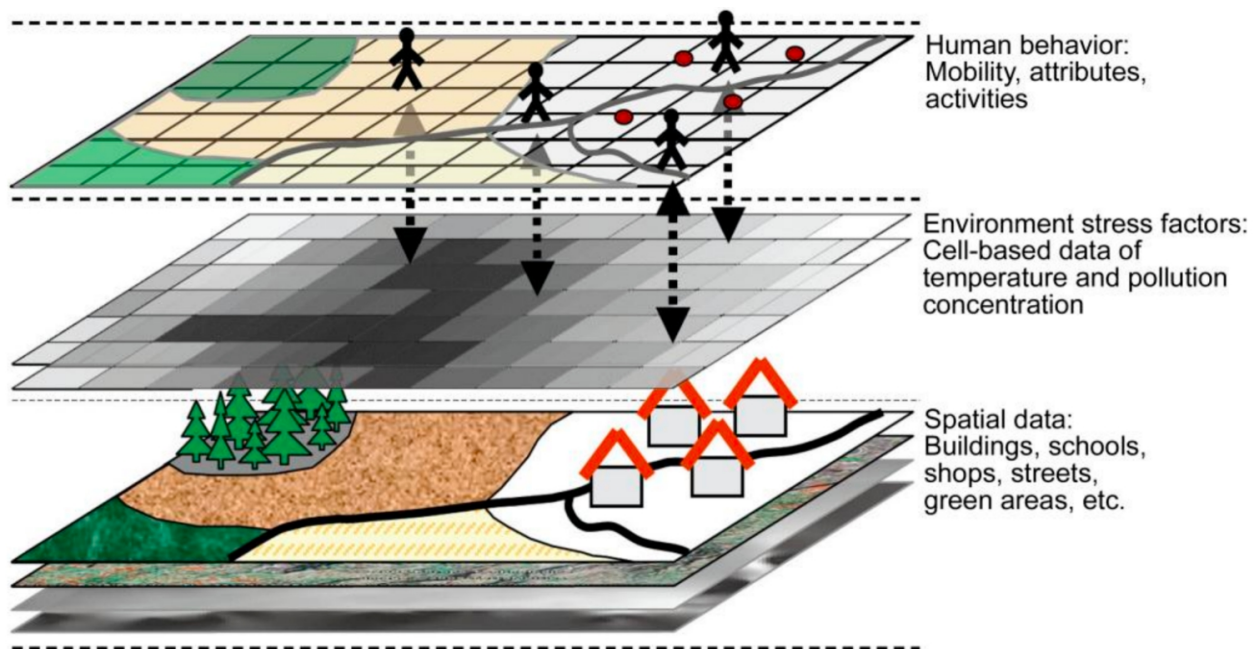
Μοντέλο ανθρώπινης έκθεσης σε περιβαλλοντικούς παράγοντες [7]

Η ανθρώπινη υγεία συνδέεται στενά με το περιβάλλον. Οι άνθρωποι εκτίθενται σε διάφορους παράγοντες που μπορεί να είναι επικίνδυνοι για την υγεία, συμπεριλαμβανομένου του φυσικού περιβάλλοντος διαβίωσης. Μια σειρά παραγόντων κινδύνου που συνδέονται με την αλλαγή του κλίματος (αύξηση των επιπέδων της θάλασσας και των καταιγίδων, καύσωνες και ξηρασίες, τυφώνες και ακραίες βροχοπτώσεις, εσωτερικές και παράκτιες πλημμύρες) δημιουργούν σοβαρούς κινδύνους για την ανθρώπινη κοινωνία. Η ένταση και η συχνότητα πολλών παραγόντων κινδύνου τείνει να αυξηθεί. Η εμφάνιση αυτών των κινδύνων συχνά υπογραμμίζει την ανθρώπινη υγεία και ευημερία, π.χ. μέσω ασθενειών, υλικών ζημιών, οικονομικών απωλειών και υποβάθμισης του οικολογικού περιβάλλοντος.

Κατά την τελευταία δεκαετία, οι επιπτώσεις ενός συνόλου περιβαλλοντικών παραγόντων όσον αφορά την υγεία του ανθρώπου έχουν λάβει αυξημένη προσοχή στην επιστημονική έρευνα. Παράλληλα παρατηρείται μια αυξανόμενη συνειδητοποίηση των κινδύνων που συνεπάγονται τα κύματα καύσωνα, η ατμοσφαιρική ρύπανση, ο θόρυβος και παρόμοια φαινόμενα.

Στο πλαίσιο αυτό, χρησιμοποιήθηκε ένας συγκεκριμένος χάρτης για την απεικόνιση της πόλης με κτίρια, δρόμους, καταστήματα, χώρους πρασίνου κλπ. Τα χωρικά δεδομένα των μεταβαλλόμενων ρυθμών συγκέντρωσης των περιβαλλοντικών παραγόντων τάσης είναι οι βασικές προκαθορισμένες εισόδους του συστήματος. Οι agents ενεργούν καθημερινά για να εργαστούν, να ξεκουραστούν, να διασκεδάσουν, να ψωνίσουν, να φροντίσουν τα παιδιά και να ακολουθήσουν ορισμένες διαδρομές στην εργασία. Μόλις προετοιμαστεί το πρωτότυπο μοντέλο, οι πράκτορες ακολουθούν δυναμικά την καθημερινή ζωή τους σύμφωνα με προκαθορισμένους κανόνες που ορίζονται σύμφωνα με εμπειρικές μελέτες και ειδικές έρευνες. Ανάλογα με τον φυσιολογικό τρόπο ζωής τους, καθώς και τους περιβαλλοντικούς παράγοντες πίεσης της θέσης τους, υποφέρουν ή μειώνουν τα επίπεδα έκθεσης.

Το μοντέλο παράγει συνοπτικές πληροφορίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διάγνωση της ατομικής και της συλλογικής έκθεσης και για την ενημέρωση σχετικών στρατηγικών μείωσης της έκθεσης.



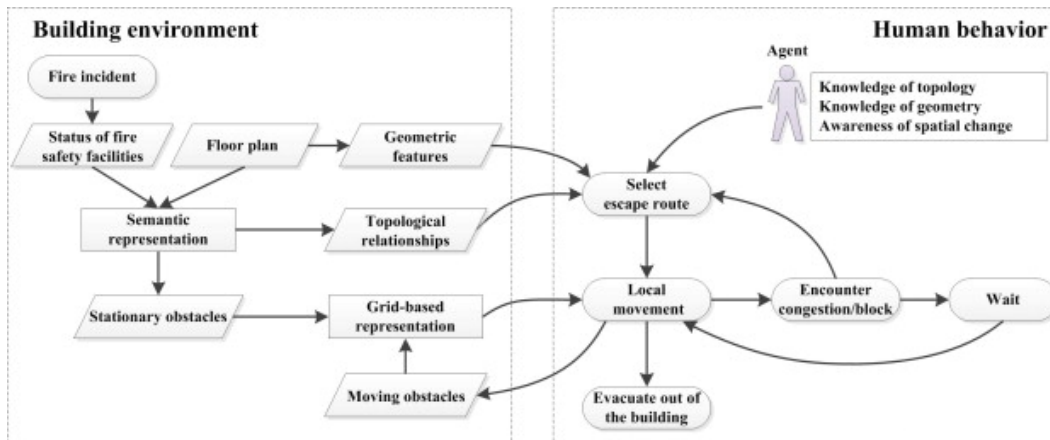
Εικόνα 3.5. Απεικόνιση ενός μοντέλου που μελετά τις επιπτώσεις των περιβαλλοντικών παραγόντων (όπως είναι για παράδειγμα η μόλυνση του αέρα λόγω των καυσαερίων) στην υγεία των ανθρώπων. Πρώτα γίνεται η μελέτη της ανθρώπινης συμπεριφοράς. Έπειτα αυτή συνδυάζεται με τους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Τέλος χρησιμοποιούνται τα δεδομένα του χώρου, δηλαδή το οδικό δίκτυο, τα σπίτια, τα δάση κτλ. [7]

Μοντέλο εκκένωσης κτηρίου σε περίπτωση φωτιάς

Ένας άλλος σημαντικός τομέας εφαρμογής του Agent-Based Modeling είναι αυτός της εκκένωσης κτηρίων όταν επικρατεί κατάσταση πανικού. Σε αυτή την περίπτωση, για την κατασκευή του μοντέλου θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα στοιχεία του περιβάλλοντος (δηλαδή του κτηρίου, για παράδειγμα διάφορα εμπόδια που θα εμφανιστούν) και η συμπεριφορά των ανθρώπων σε αυτό.

Κάθε άνθρωπος (agent) αντιδρά δυναμικά στις αλλαγές του περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα, όταν ένας agent διαλέξει μια διαδρομή διαφυγής, αναλόγως με τα εμπόδια/δυσκολίες που θα συναντήσει θα πρέπει να προσαρμόσει την στρατηγική του.

Η σχέση του περιβάλλοντος και των agents στο συγκεκριμένο μοντέλο φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 3.6. Απεικόνιση της μοντελοποίησης ενός ανθρώπου όταν αυτός πρέπει να εκκενώσει ένα κτήριο σε περίπτωση φωτιάς. Αριστερά φαίνεται η μοντελοποίηση του χώρου/περιβάλλοντος και δεξιά φαίνεται η μοντελοποίηση του ανθρώπου. [8]

3.6. Προβλήματα

Υπάρχουν ορισμένα ζητήματα που σχετίζονται με την εφαρμογή του Agent-Based Modeling στις κοινωνικές, πολιτικές και οικονομικές επιστήμες. Ένα ζήτημα είναι κοινό σε όλες τις τεχνικές μοντελοποίησης: ένα μοντέλο πρέπει να εξυπηρετεί έναν σκοπό. Ένα μοντέλο γενικής χρήσης δεν μπορεί να λειτουργήσει. Το μοντέλο πρέπει να κατασκευαστεί στο σωστό επίπεδο περιγραφής, με ακριβώς το σωστό ποσό λεπτομέρειας για να εξυπηρετήσει το σκοπό του.

Ένα άλλο ζήτημα σχετίζεται με την ίδια τη φύση των συστημάτων που μοντελοποιούνται με το Agent-Based Modeling στις κοινωνικές επιστήμες: συνηθέστερα περιλαμβάνουν ανθρώπινους παράγοντες, με δυνητικά παράλογη συμπεριφορά, υποκειμενικές επιλογές και σύνθετη ψυχολογία - με άλλα λόγια, δύσκολους προς την παραμετροποίηση παράγοντες. Για αυτόν τον λόγο κάποιος θα πρέπει να είναι προσεκτικός με τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιεί το Agent-Based Modeling: για παράδειγμα, δεν πρέπει να παίρνουμε αποφάσεις βάσει του ποσοτικού αποτελέσματος μιας προσομοίωσης που πρέπει να ερμηνεύεται καθαρά σε ποιοτικό επίπεδο. Λόγω του ποικίλου βαθμού ακρίβειας και πληρότητας των δεδομένων που εισάγονται στο μοντέλο (δεδομένα, εμπειρογνωμοσύνη κ.λπ.), η φύση του αποτελέσματος

ποικίλλει αντίστοιχα, κυμαινόμενο από καθαρά ποιοτικές ιδέες έως ποσοτικά αποτελέσματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη λήψη αποφάσεων και εκτέλεση.

Το τελευταίο σημαντικό θέμα στο Agent-Based Modeling είναι ένα πρακτικό ζήτημα που δεν πρέπει να παραβλεφθεί. Εξ ορισμού, το Agent-Based Modeling εξετάζει ένα σύστημα όχι σε συγκεντρωτικό επίπεδο αλλά στο επίπεδο των συστατικών μονάδων του. Αν και το συνολικό επίπεδο θα μπορούσε ίσως να περιγραφεί με λίγες εξισώσεις κίνησης, η περιγραφή του κατώτερου επιπέδου περιγράφει την ατομική συμπεριφορά δυνητικά πολλών συστατικών μονάδων. Η προσομοίωση της συμπεριφοράς όλων των μονάδων μπορεί να είναι υπολογιστικά απαιτητική και συνεπώς χρονοβόρα. Παρόλο που η υπολογιστική ισχύ συνεχίζει να αυξάνεται με εντυπωσιακό ρυθμό, οι υψηλές απαιτήσεις υπολογισμού του Agent-Based Modeling παραμένουν ένα πρόβλημα όταν πρόκειται για τη μοντελοποίηση μεγάλων συστημάτων[9].

Κεφάλαιο 4. Προγράμματα προσομοίωσης

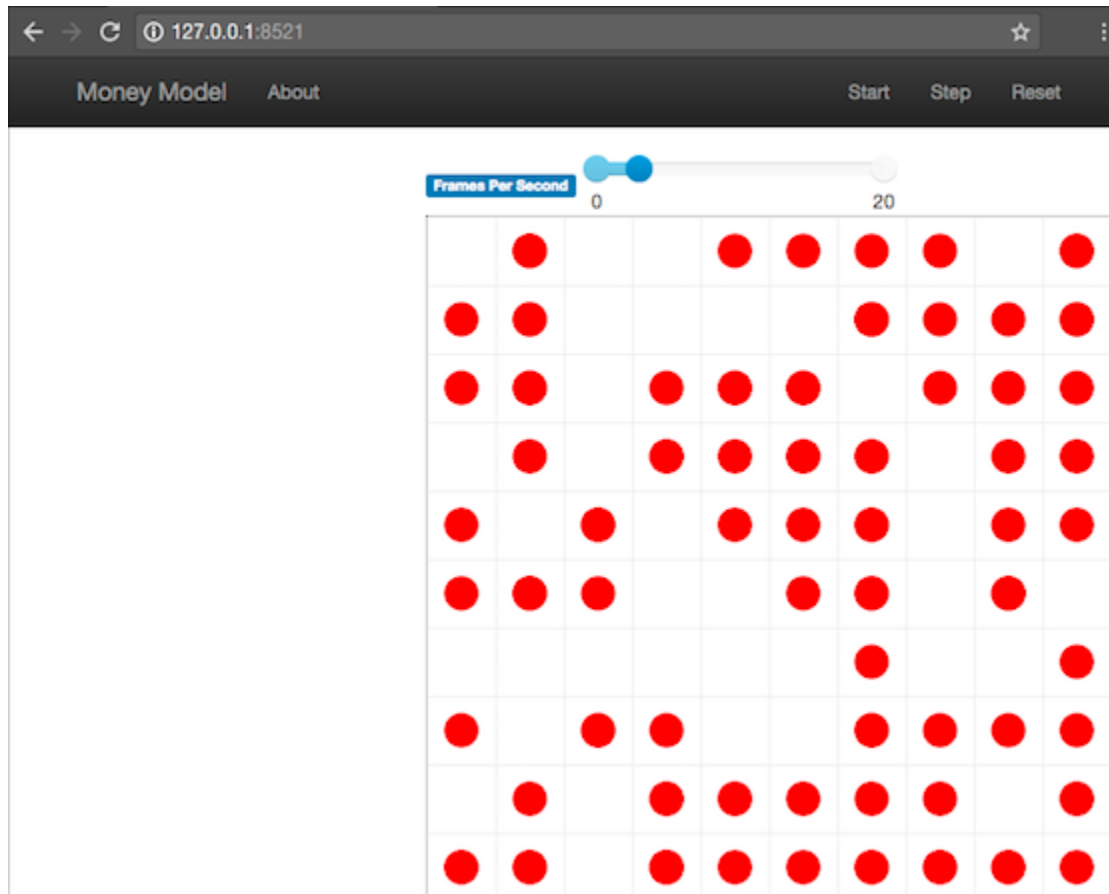
Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, το Agent-Based Modeling είναι μια μέθοδος μοντελοποίησης η οποία βρίσκει εφαρμογές σε ποικίλους επιστημονικούς τομείς. Στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής, θα ασχοληθούμε με την εφαρμογή του για την κατασκευή μιας προσομοίωσης η οποία θα περιγράφει την κίνηση των ανθρώπων σε περιβάλλον μιας πόλης. Αυτό σημαίνει πως το περιβάλλον της προσομοίωσης θα βασίζεται σε πραγματικά δεδομένα χαρτών.

Πριν όμως αναλύσουμε την παραμετροποίηση αυτής της προσομοίωσης, θα πρέπει να γίνει η κατάλληλη επιλογή προγράμματος/μεθόδου. Συγκεκριμένα, έγινε η μελέτη μερικών από τα πιο δημοφιλή προγράμματα agent-based προσομοιώσεων έτσι ώστε να επιλεγεί τελικά αυτό που θα χρησιμοποιηθεί για την τελική προσομοίωση. Τα προγράμματα/μέθοδοι που θα παρουσιάσουμε σε αυτό το κεφάλαιο είναι:

1. Το **Project Mesa**, ένα framework σε Python για Agent-Based Modeling.
2. Το **NetLogo**, ίσως το πιο δημοφιλές πρόγραμμα για Agent-Based Modeling με παραδείγματα και εφαρμογές σε πληθώρα θεμάτων.
3. Το **GAMA-Platform**, ένα πρόγραμμα για Agent-Based Modeling το οποίο επικεντρώνεται στις προσομοιώσεις που έχουν ως βάση GIS δεδομένα.

4.1. Project Mesa

Το Mesa είναι πιστοποιημένο από την Apache framework για Agent-Based Modeling σε Python. Επιτρέπει στους χρήστες να δημιουργούν γρήγορα τέτοια μοντέλα, χρησιμοποιώντας τα ήδη ενσωματωμένα βασικά στοιχεία (όπως χωρικά δίκτυα) ή προσαρμοσμένες εφαρμογές. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να απεικονίσει τις προσομοιώσεις του χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα περιήγησης του. Επιπροσθέτως, έχει τη δυνατότητα να αναλύσει τα αποτελέσματα του χρησιμοποιώντας τα εργαλεία ανάλυσης δεδομένων της Python. Ο στόχος του Mesa είναι να γίνει το αντίστοιχο των NetLogo, Repast ή MASON σε Python 3.

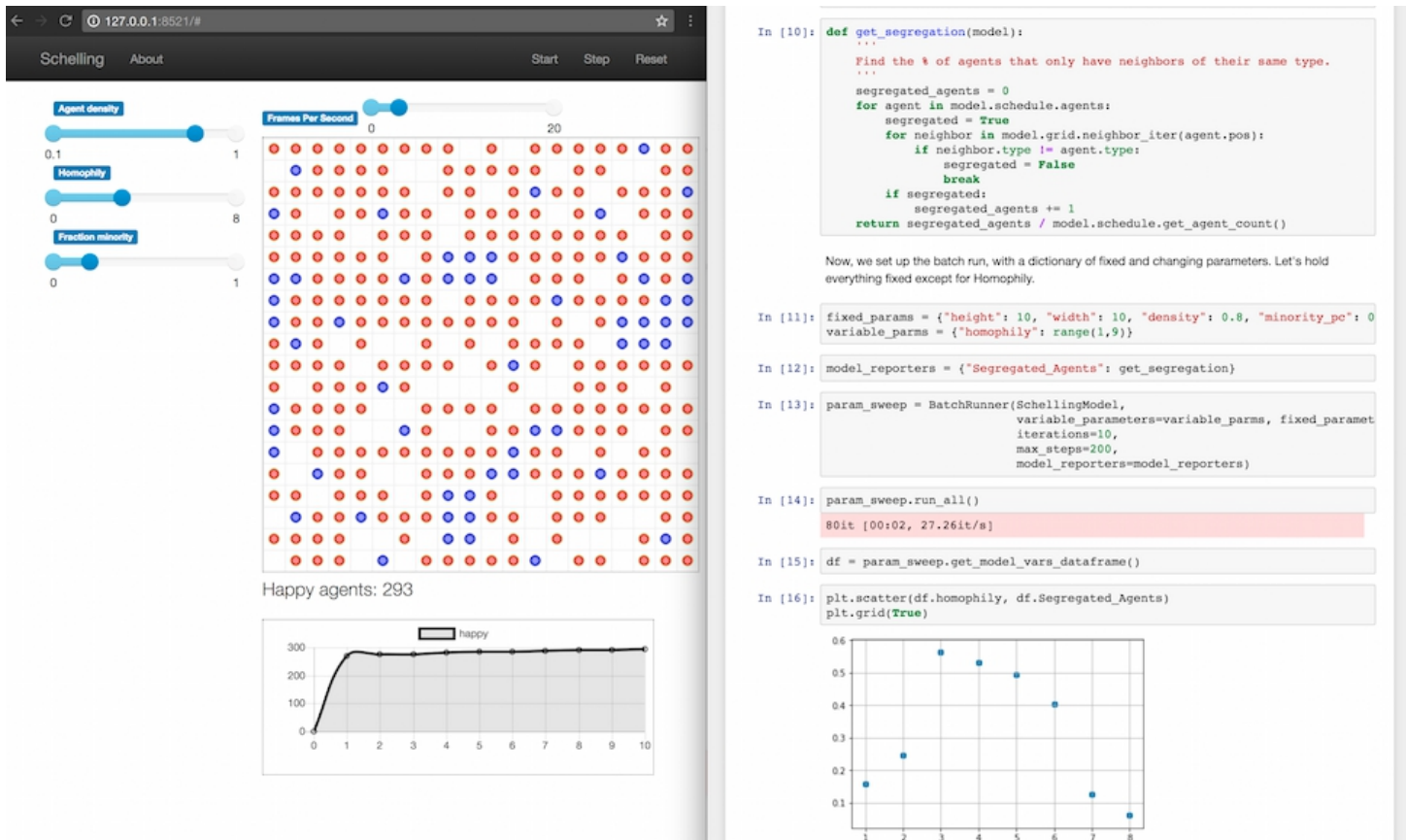


Εικόνα 4.1. Παράδειγμα της απεικόνισης μιας agent-based προσομοίωσης. Οι κόκκινες κουκκίδες είναι οι agents οι οποίοι βρίσκονται πάνω σε ένα grid το οποίο αποτελεί το περιβάλλον του πειράματος.

Πηγή: https://mesa.readthedocs.io/en/master/tutorials/adv_tutorial.html

Στην πρώτη φάση της μελέτης μεθόδων για agent-based προσομοίωση μελετήσαμε την περίπτωση ανάπτυξης της προσομοίωσης αυτής σε Python. Για τον λόγο αυτό, το project mesa ήταν η καλύτερη αφετηρία. Όπως φαίνεται και στις εικόνες που έχουμε παραθέσει, το mesa προσφέρει ανάπτυξη απλών έως και πιο ειδικευμένων μοντέλων.

Παρόλα αυτά, οι δυνατότητες που προσφέρει για την απεικόνιση της προσομοίωσης είναι περιορισμένες. Συγκεκριμένα, το project mesa δεν προσφέρει κάποιον τρόπο εκτέλεσης μιας προσομοίωσης με δεδομένα GIS.



Εικόνα 4.2. Μια εφαρμογή Mesa του μοντέλου διαχωρισμού Schelling, που απεικονίζεται σε ένα παράθυρο του προγράμματος περιήγησης και αναλύεται σε Jupyter notebook.

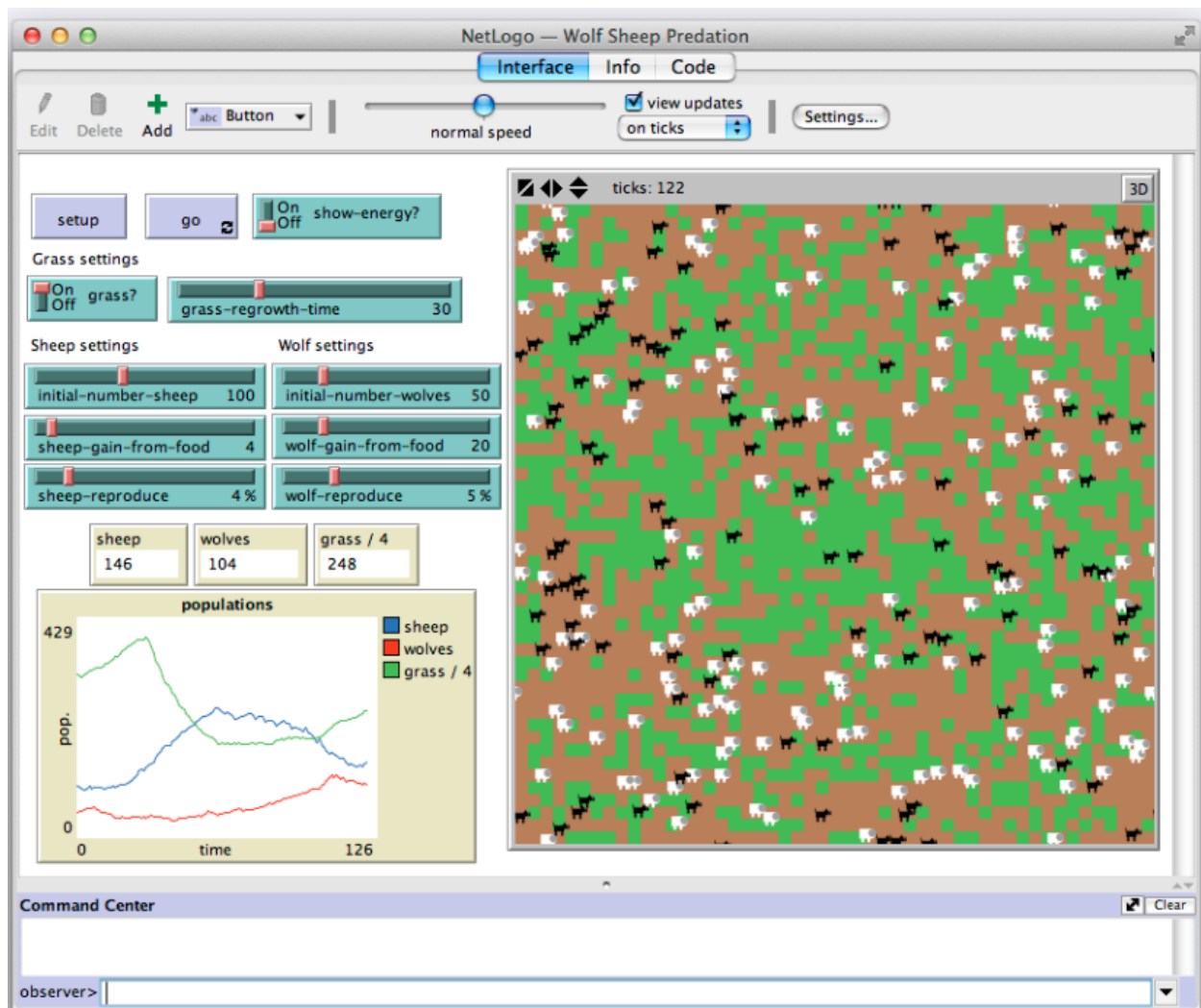
Πηγή: <https://github.com/projectmesa/mesa>

Λόγω αυτής της έλλειψης έχει δημιουργηθεί μια επέκταση (extension) για το mesa, το mesa-geo⁵, η οποία επιθυμεί να προσφέρει τη δυνατότητα επεξεργασίας GIS δεδομένων. Τη στιγμή που γράφεται αυτή η διπλωματική, το mesa-geo είναι ακόμα σε πολύ πρόσφατο στάδιο και δεν υπόσχεται ομαλή λειτουργία στους χρήστες. Για τον λόγο αυτό οδηγηθήκαμε στο να απορρίψουμε το project mesa καθώς δεν προσφέρει τις κατάλληλες δυνατότητες για να διεκπεραιωθεί η επιθυμητή προσομοίωση.

⁵ <https://github.com/Corvince/mesa-geo>

4.2. NetLogo

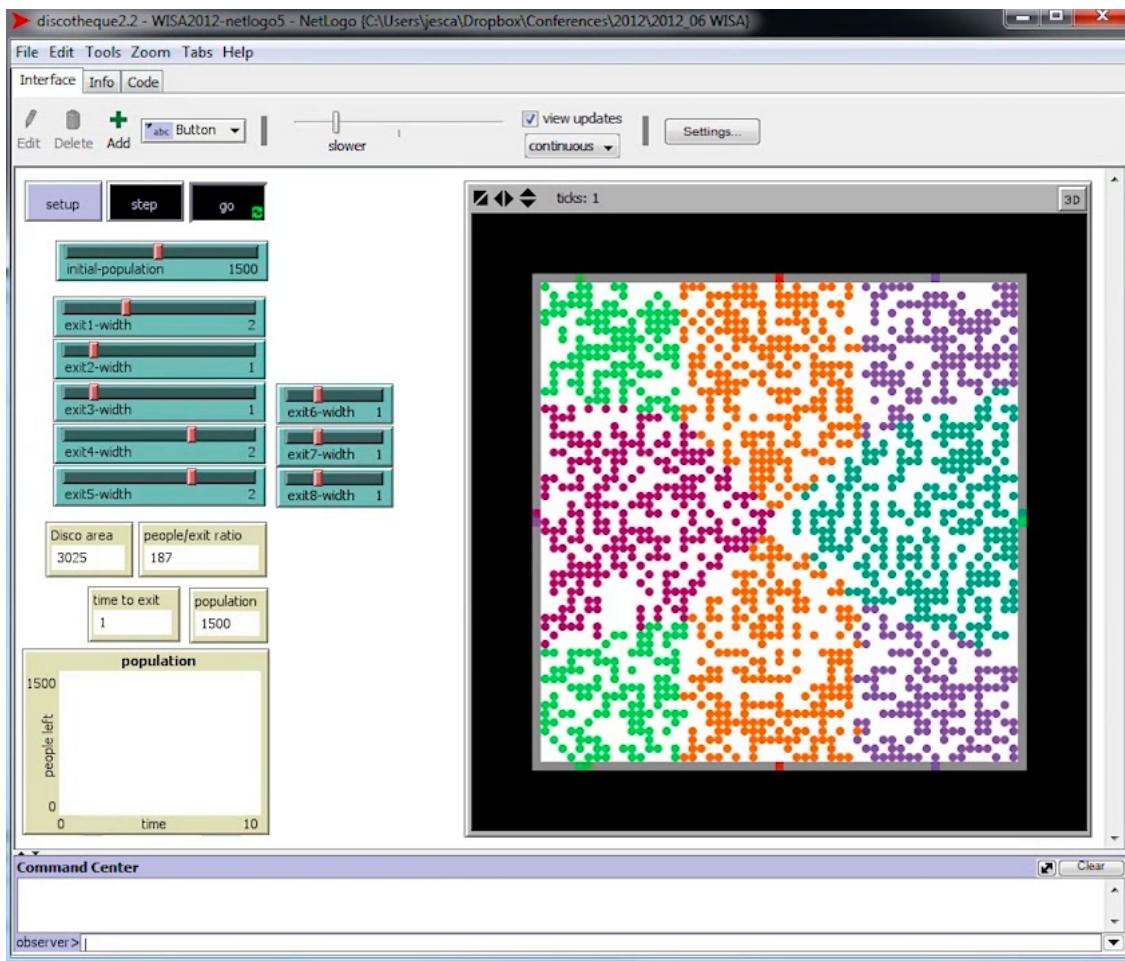
Το NetLogo είναι μια από τις πιο γνωστές πλατφόρμες για Agent-Based Modeling. Οι προσομοιώσεις αναπτύσσονται σε δική του γλώσσα προγραμματισμού η οποία είναι εύκολα κατανοητή λόγω της πληθώρας παραδειγμάτων που προσφέρει η πλατφόρμα.



Εικόνα 4.3. Παράδειγμα του Wolf-Sheep-Grass model σε ένα παράθυρο του NetLogo. Φαίνονται οι διάφορες παράμετροι που μπορούν να αλλάξουν πριν αλλά και κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Επίσης, φαίνονται τα στοιχεία των πληθυσμών που ενημερώνονται δυναμικά καθώς και ένα διάγραμμα με την εξέλιξη των πληθυσμών με την πάροδο του χρόνου.

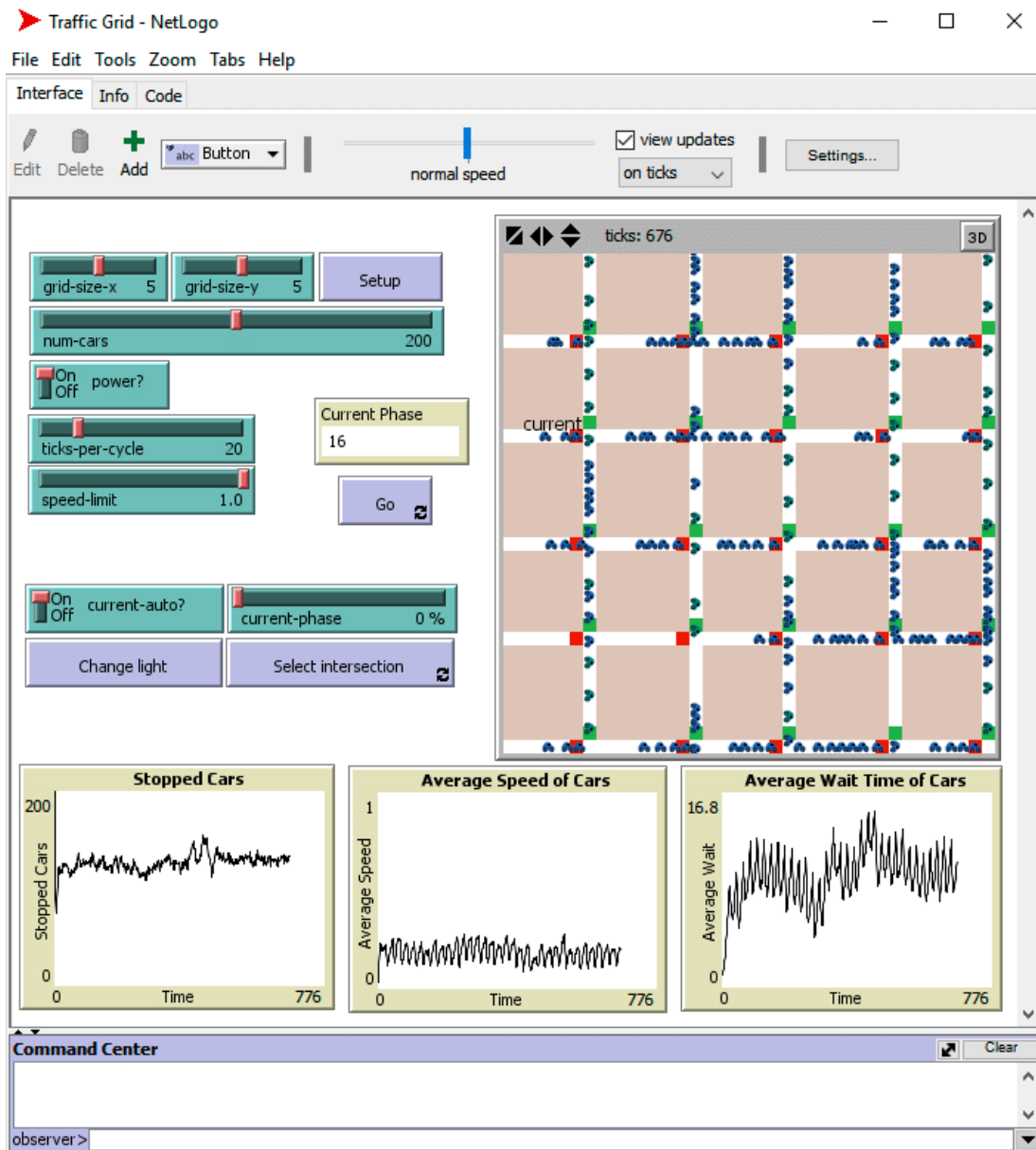
Πηγή: <https://sites.google.com/site/cartographyug/lectures/labs/lab1-netlogo-osm>

Το NetLogo έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί και για απλά αλλά και για πιο σύνθετα μοντέλα. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η προσομοίωση της εκκένωσης ενός χώρου, ένα μοντέλο το οποίο αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο.



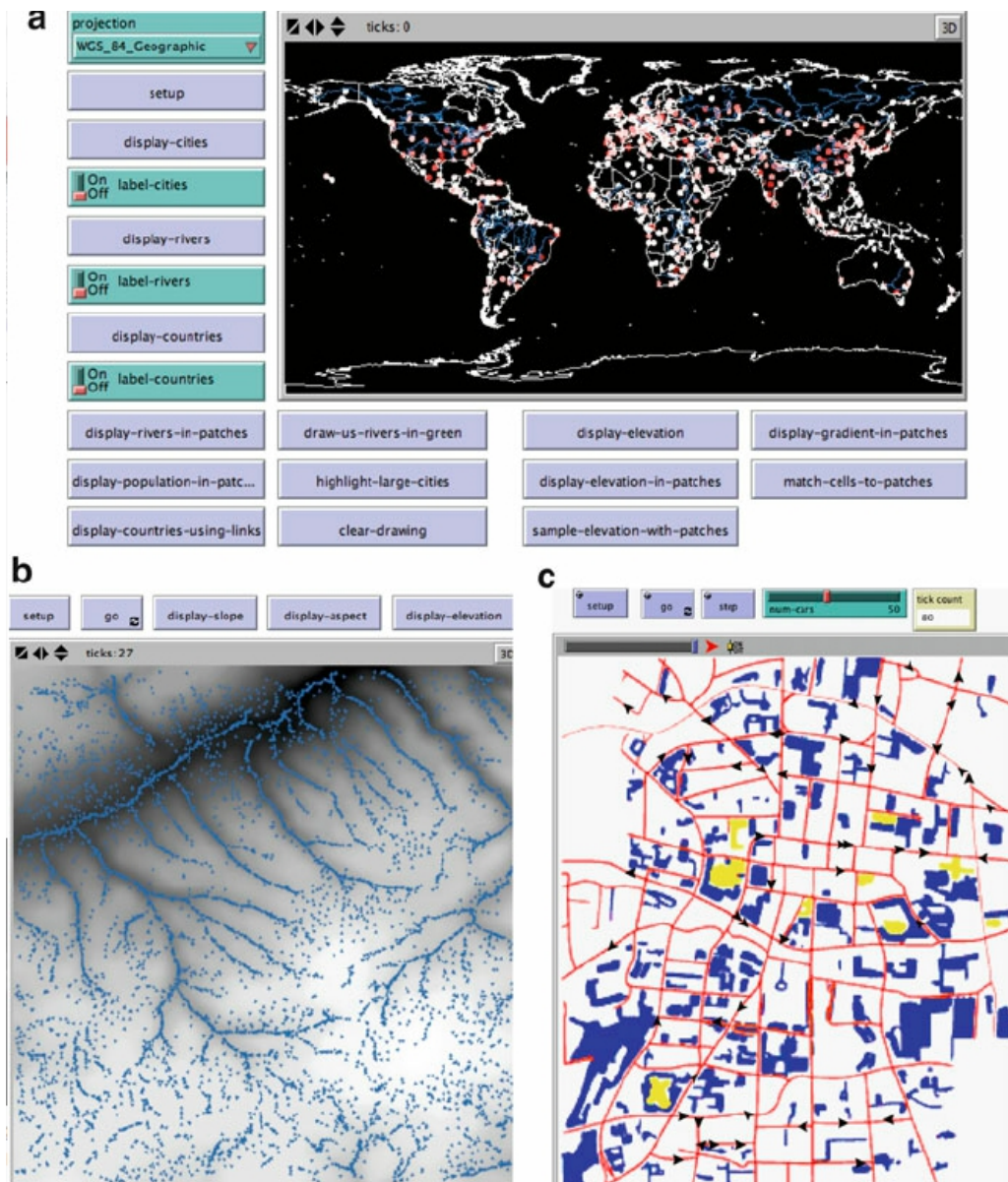
Εικόνα 4.4. Προσομοίωση εκκένωσης κτηρίου στο Netlogo.

Πηγή: <https://www.youtube.com/watch?v=MZZLrgSZVBU>



Εικόνα 4.5. Προσομοίωση της κίνησης στους δρόμους στο Netlogo. Στα αριστερά ο χρήστης μπορεί να αλλάξει διάφορες παραμέτρους της προσομοίωσης κατά τη διάρκεια του πειράματος. Στο κάτω μέρος της εικόνας φαίνονται διαγράμματα με στατιστικά για το συγκεκριμένο πείραμα. Πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Traffic-grid-simulation-in-Netlogo_fig1_309486004

Εκτός από όλα τα παραπάνω, το NetLogo προσφέρει τη δυνατότητα φόρτωσης και επεξεργασίας δεδομένων GIS.



Εικόνα 4.6. 3 παραδείγματα για την εφαρμογή GIS δεδομένων σε προσομοιώσεις στο NetLogo. (a) Χρήση GIS δεδομένων (shape files) για τη δημιουργία ενός τοπίου. (b) Παράδειγμα που δείχνει διαφορετικά υψόμετρα και (c) ένα μοντέλο στο οποίο αυτοκίνητα κινούνται πάνω στους δρόμους.

Πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Example-of-GIS-integration-in-NetLogo-a-Demonstration-model-of-using-point-line_fig4_226383283

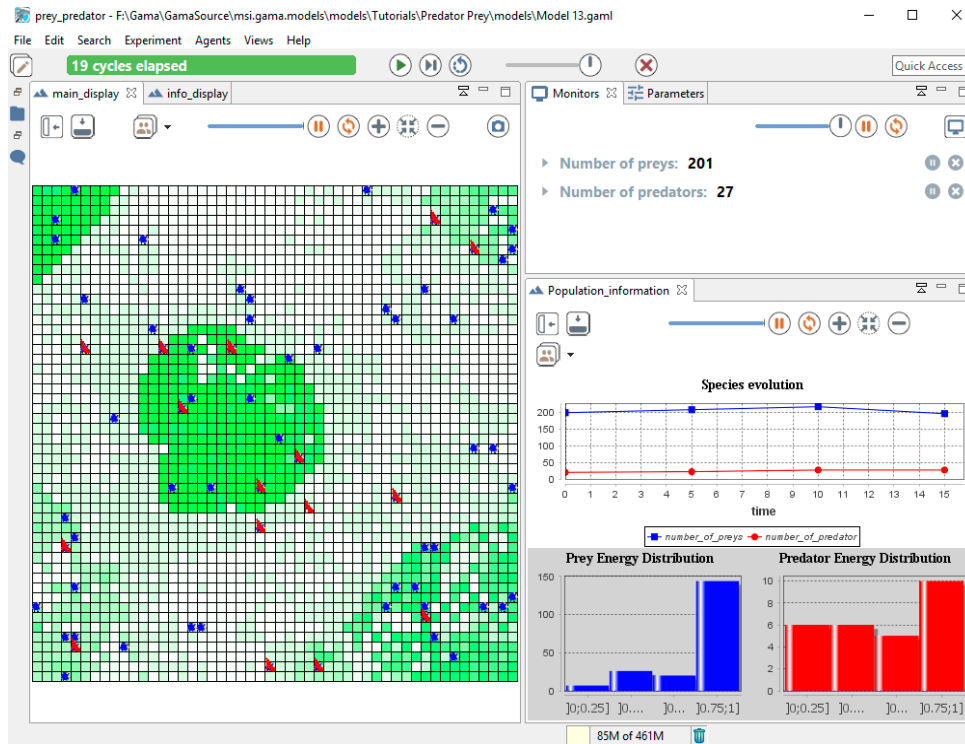
Από τα 3 παραδείγματα που φαίνονται στην παραπάνω εικόνα, αυτό που είναι πιο κοντά σε αυτό που θέλουμε να κάνουμε είναι το τρίτο. Όμως, μετά από περαιτέρω ανάλυση των δεδομένων και των στόχων της εργασίας, φτάσαμε στο συμπέρασμα πως το υπάρχει καλύτερη εναλλακτική για προσομοίωση με GIS δεδομένα. Παρόλο που το NetLogo πράγματι προσφέρει πάρα πολλά εργαλεία για Agent-Based Modeling, υπάρχει μια πλατφόρμα η οποία ειδικεύεται σε εκτέλεση προσομοιώσεων με GIS δεδομένα και θα παρουσιαστεί στη συνέχεια.

4.3. GAMA-Platform

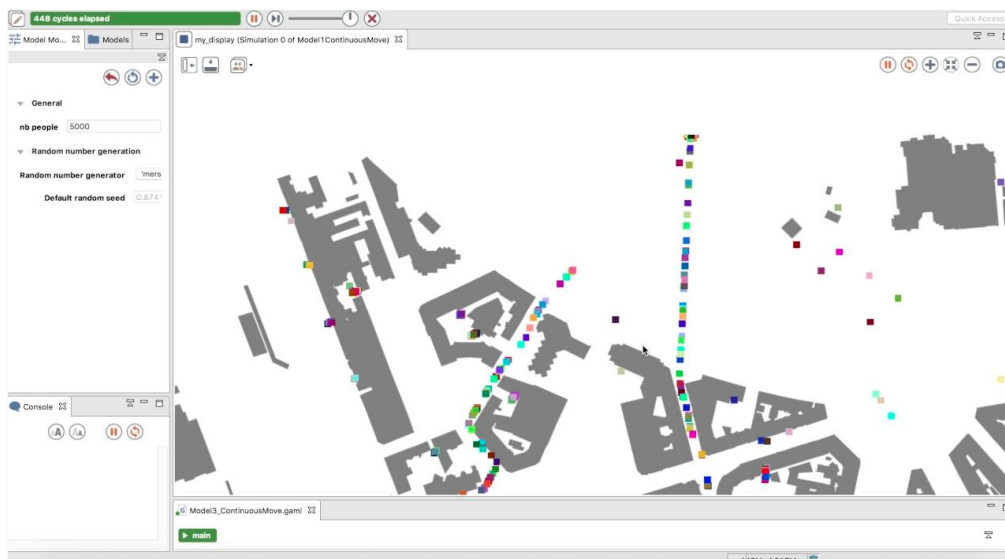
Η GAMA είναι μια πλατφόρμα προσομοίωσης, η οποία στοχεύει στην παροχή ενός ολοκληρωμένου περιβάλλοντος ανάπτυξης και προσομοίωσης για την ανάπτυξη προσομοιώσεων πολλαπλών agent σε χώρο. Αυτό που την διαφοροποιεί σε σχέση με τα προηγούμενα εργαλεία που εξετάσαμε αλλά και γενικότερα με τα υπόλοιπα εργαλεία στον χώρο είναι η ευκολία και η ευελιξία που παρουσιάζει όσον αφορά τον χειρισμό δεδομένων GIS.

Εκτός αυτού, η πλατφόρμα GAMA παρέχει όλες τις δυνατότητες που προσφέρουν τα προηγούμενα εργαλεία. Μπορεί δηλαδή να προσομοιώσει από σχετικά απλά μοντέλα (εικόνες 4.7 και 4.8) έως και πιο πολύπλοκα (εικόνα 4.10).

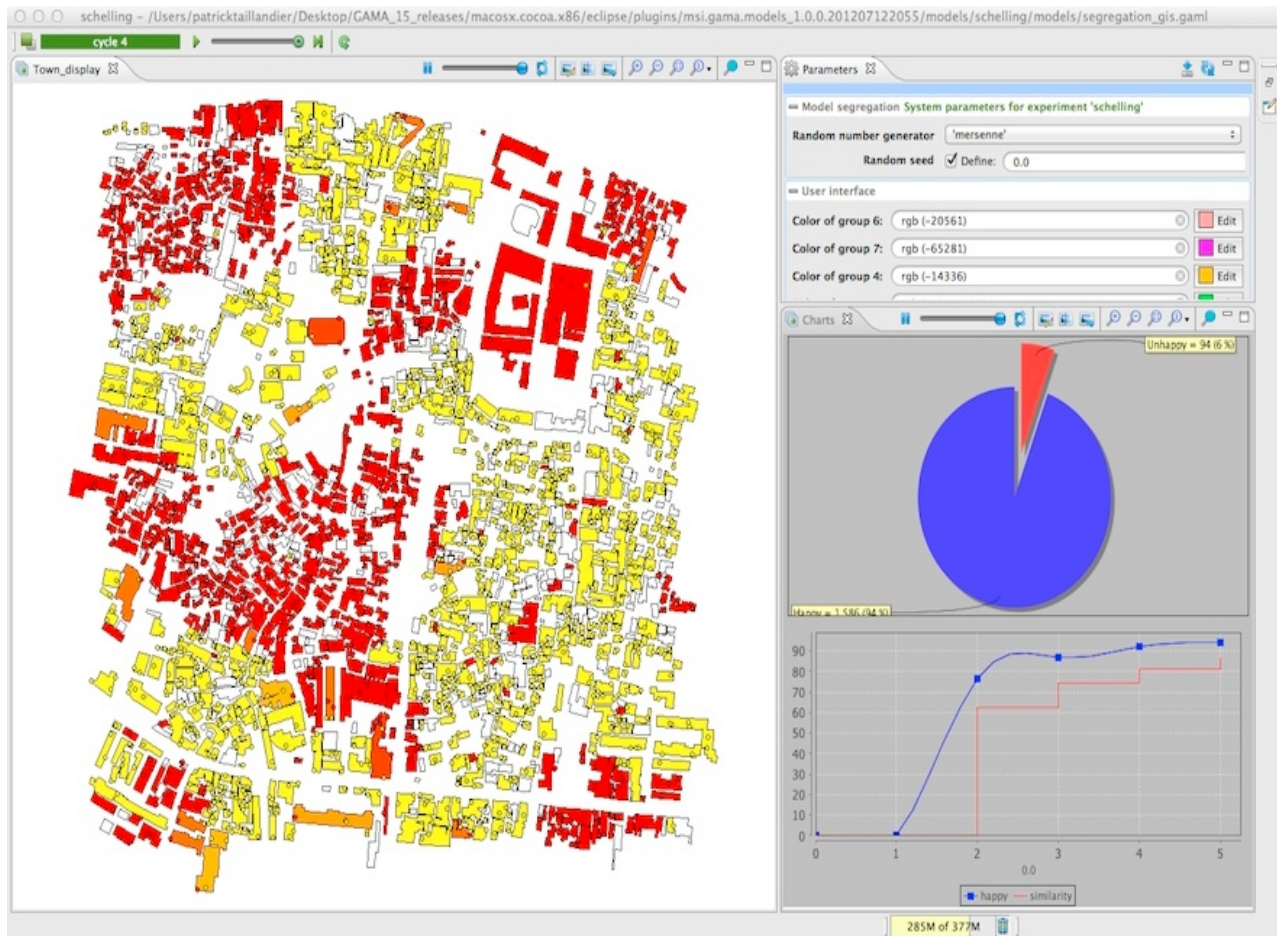
Όσον αφορά την προσομοίωση που έχουμε στόχο να φτιάξουμε, το GAMA μας προσφέρει τα κατάλληλα μέσα έτσι ώστε να μπορέσουμε να προγραμματίσουμε τους agents να κινούνται στους δρόμους, για παράδειγμα κάποιας γειτονιάς της Αθήνας. Με άλλα λόγια, το GAMA είναι ευέλικτο ως προς την φύση των δεδομένων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν.



Εικόνα 4.7. Το παράδειγμα preys and predators στην πλατφόρμα GAMA. Το παράδειγμα αυτό είναι το ακριβώς αντίστοιχο του Wolf-Sheep-Grass μοντέλου που είδαμε στην ενότητα του NetLogo. Αντίστοιχα και εδώ πέρα μπορούμε να δούμε διάφορα διαγράμματα για τη κατάσταση των πληθυσμών κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Πηγή: <https://gama-platform.github.io/wiki/Tutorials>

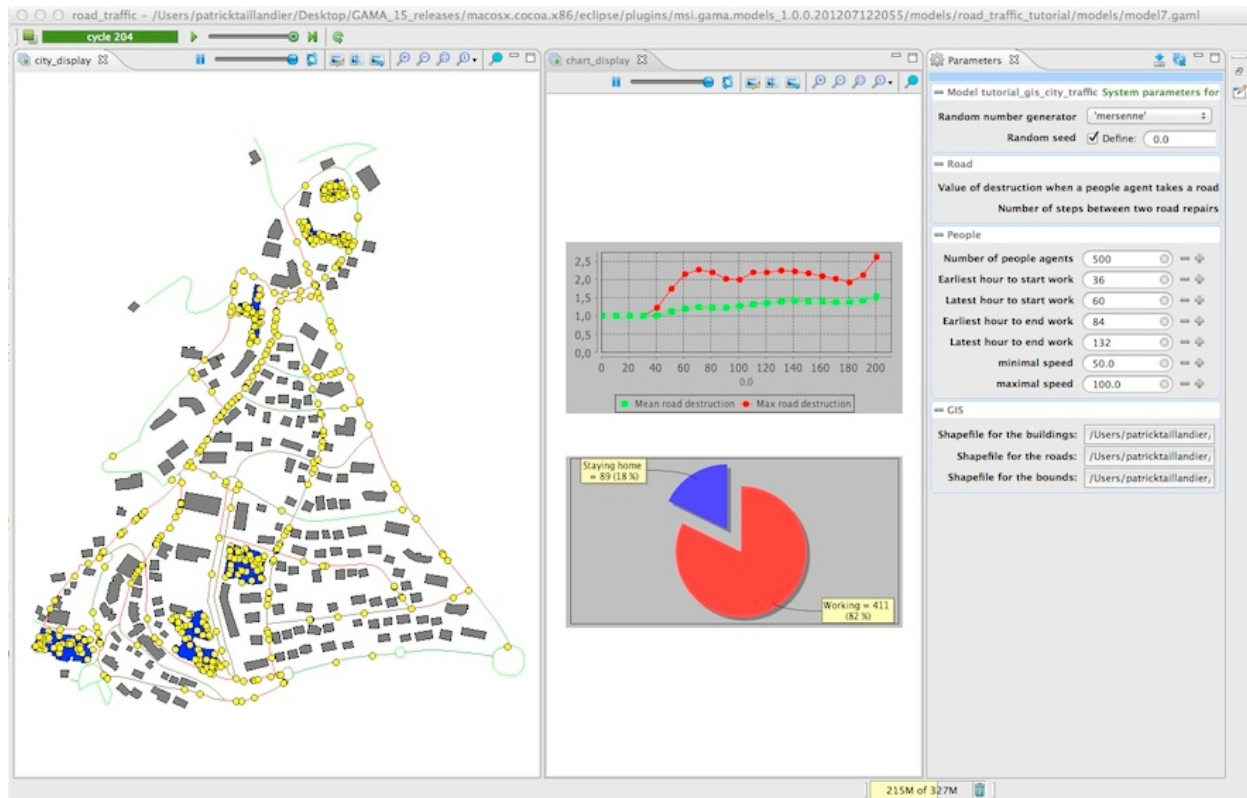


Εικόνα 4.8. Παράδειγμα για την εκκένωση ενός χώρου στην πλατφόρμα GAMA. Το συγκεκριμένο μοντέλο είναι ακριβώς αντίστοιχο με αυτό που παρουσιάστηκε στην ενότητα με το NetLogo. Πηγή: <https://www.youtube.com/watch?v=M7HVPQxdAsQ>



Εικόνα 4.10. Παράδειγμα με το μοντέλο του Schelling στην πλατφόρμα GAMA. Εδώ βλέπουμε ότι οι agents στο συγκεκριμένο μοντέλο είναι τα κτήρια μιας πόλης. Πηγή: <https://www.gisagents.org/2013/03/gama-gis-agent-based-modelling.html>

Ένα παράδειγμα του GAMA για την κίνηση στους δρόμους παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 4.10. Παράδειγμα κίνησης των ανθρώπων σε ένα οδικό δίκτυο στην πλατφόρμα GAMA. Πηγή:<https://gvlt.wordpress.com/2013/03/15/gama-gis-agent-based-modelling-architecture/>

Όπως φαίνεται και από τις εικόνες, η πλατφόρμα GAMA μας επιτρέπει να επεξεργαστούμε GIS δεδομένα με σχετική ευχέρεια. Όπως έχει αναφερθεί, βασικό χαρακτηριστικό που επιδιώχθηκε για την προσομοίωση που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας ήταν η δυνατότητα προσαρμογής της προσομοίωσης και εκτέλεσης της σε διάφορες τοποθεσίες ανά τον κόσμο με ευκολία. Εάν ο χρήστης έχει στη διάθεση του τα απαραίτητα δεδομένα (τα οποία μπορεί να πάρει με τρόπο που θα εξετάσουμε στη συνέχεια), μπορεί εύκολα να αλλάξει το περιβάλλον της προσομοίωσης και να εκτελέσει ένα δικό του πείραμα.

Οι λόγοι που αναφέρθηκαν παραπάνω ήταν αυτοί που έδωσαν ένα προβάδισμα στο GAMA σε σχέση με τα άλλα εργαλεία προσομοιώσεων που εξετάστηκαν και μας έκαναν τελικά να το επιλέξουμε για την εκτέλεση της προσομοίωσης μας.

Κεφάλαιο 5. Τελική προσομοίωση

5.1. Σκοπός της προσομοίωσης

Στόχος αυτής της διπλωματικής ήταν η μοντελοποίηση και η προσομοίωση της κίνησης των ανθρώπων σε περιβάλλον πόλης. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τέτοιες προσομοιώσεις και μελέτες έχουν ποικίλες εφαρμογές. Σε αυτή την περίπτωση θα εξετάσουμε την περίπτωση εύρεσης ενός χαμένου ατόμου από τη στιγμή που αυτό έχει εξαφανιστεί.

Για να μελετήσουμε αυτό το φαινόμενο βασιστήκαμε στις μελέτες για τα μοτίβα ανθρώπινης κινητικότητας που αναφέρθηκαν στο δεύτερο κεφάλαιο. Σύμφωνα με αυτές καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι η ανθρώπινη κίνηση παρουσιάζει έναν μεγάλο βαθμό επαναληψιμότητας. Κάθε άνθρωπος κινείται στο πλαίσιο μιας ρουτίνας η οποία σπάνια αλλάζει από μέρα σε μέρα. Η τελική προσομοίωση χρησιμοποίησε το Agent-Based Modeling για να αντιπροσωπεύσει τους ανθρώπους ως agents οι οποίοι κινούνται στον χώρο.

Σκοπός της προσομοίωσης ήταν να θέσει τα θεμέλια και τη βασική μεθοδολογία και να αφήσει περιθώρια ανάπτυξης και περαιτέρω εξέλιξης του αρχικού μοντέλου που προτείνεται. Για τον λόγο αυτό οι συμπεριφορές και αλληλεπιδράσεις των agents μεταξύ τους και με το περιβάλλον είναι απλές. Όσον αφορά την κίνηση τους, θεωρήσαμε ότι όλοι οι agents ή είναι στο σπίτι τους, ή στη δουλειά τους ή στην διαδρομή για να πάνε από το σπίτι στη δουλειά και αντίστροφα. Η ταχύτητα που έχει ο κάθε agent (η οποία ουσιαστικά αποτελεί την παράμετρο που μας δείχνει εάν ο agent ταξιδεύει με τα πόδια ή για παράδειγμα με αυτοκίνητο) μπορεί να προσαρμοστεί κατά τη διάρκεια του πειράματος. Για να κρατήσουμε μια ομοιομορφία οι agents έχουν μια τυχαία ταχύτητα η οποία έχει ένα κατώτατο και ένα ανώτατο όριο. Ακόμη, το ωράριο που έχει κάθε agent λειτουργεί με τον ίδιο ακριβώς τρόπο. Ο χρήστης μπορεί να ορίσει κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης τα ανώτατα και κατώτατα όρια για το πότε κάποιος αρχίζει τη δουλειά του και για το πότε την τελειώνει.

Οι παραπάνω agents όπως αναφέρθηκε κινούνται σε ένα περιβάλλον πόλης. Πριν την εκτέλεση του πειράματος ο χρήστης μπορεί να φορτώσει τους δικούς του χάρτες πάνω στους οποίους θα εκτελεστεί η προσομοίωση. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό καθώς εξασφαλίζει την γενίκευση της προσομοίωσης σε διαφορετικά περιβάλλοντα (δηλαδή διαφορετικές πόλεις, διαφορετικές γειτονιές).

Τέλος, στην προσομοίωση υπάρχει ένας agent που λειτουργεί ως το χαμένο άτομο. Η συμπεριφορά αυτού του agent είναι τυχαία, δηλαδή κινείται από το ένα κτήριο στο άλλο. Σκοπός είναι να βρεθεί αυτό το άτομο από κάποιον από τους άλλους agent.

5.2. Δεδομένα της προσομοίωσης

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η συγκεκριμένη προσομοίωση θέτει τα θεμέλια για ένα μοντέλο αυτού του θέματος. Κύριος στόχος ήταν η κατασκευή της με τέτοιο τρόπο που να είναι εύκολο να μπορεί να λειτουργεί σε διαφορετικά περιβάλλοντα τόσο όσον αφορά την τοπολογία αλλά και όσον αφορά την φύση των ανθρώπων (δηλαδή των agents).

Η συμπεριφορά των agents ήταν αρκετά απλουστευμένη, βασιζόμενοι όμως στις μελέτες που αναλύσαμε στο δεύτερο κεφάλαιο. Οι παράμετροι που αναφέρθηκαν παραπάνω μπορούν να αλλάζουν κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης από τον χρήστη.

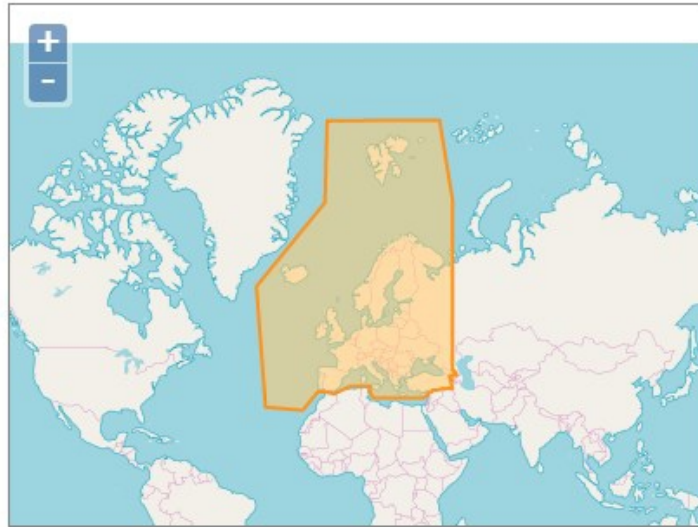
Βασικό κομμάτι της προσομοίωσης είναι η επιλογή των σωστών χαρτών πάνω στους οποίους θα εκτελεστεί το πείραμα. Σωστά και επαρκή δεδομένα GIS (geographic information system) είναι απαραίτητα για την ομαλή λειτουργία της προσομοίωσης.

Τα δεδομένα χαρτών που συνιστάται να χρησιμοποιηθούν προέρχονται από την πλατφόρμα του Open-Street-Maps. Το OpenStreetMaps (OSM) είναι ένας χάρτης με ελεύθερη άδεια ο οποίος αναπτύσσεται από μια κοινότητα εθελοντών που συνεισφέρουν και διατηρούν δεδομένα σχετικά με δρόμους, μονοπάτια, καφετέριες, σιδηροδρομικούς σταθμούς, και πολλά περισσότερα, σε όλον τον κόσμο. Οι συνεισφέροντες χρησιμοποιούν αεροφωτογραφίες, συσκευές GPS, και τοπικούς χάρτες χαμηλής τεχνολογίας για να σιγουρευτούν πως οι χάρτες που παρέχει το OSM είναι ακριβείς και ενημερωμένοι. Μέχρι το 2012 είχαν συνεισφέρει στη δημιουργία του πάνω από 500.000 άνθρωποι⁶.

Για να μπορέσει κάποιος να χρησιμοποιήσει τα παραπάνω δεδομένα θα πρέπει πρώτα να τα μετατρέψει σε share file, έτσι ώστε να μπορέσει να τα φορτώσει στην προσομοίωση. Ένα site που έχει έτοιμα τέτοια δεδομένα είναι το geofabrik⁷. Αφήνει τον χρήστη να επιλέξει το μέρος για το οποίο θέλει αυτά τα δεδομένα και να τα κατεβάσει.

⁶<https://el.wikipedia.org/wiki/OpenStreetMap>

⁷<http://download.geofabrik.de/>



Εικόνα 5.1. Επιλογή της Ευρώπης ως ηπείρου για να εξάγουμε δεδομένα του OpenStreetMaps.
Πηγή: <http://download.geofabrik.de/>

Αφού έχει γίνει η επιλογή της Ηπείρου ο χρήστης μπορεί να επιλέξει την χώρα για την οποία ενδιαφέρεται.



Εικόνα 5.2. Επιλογή της Γερμανίας ως χώρας για να εξάγουμε δεδομένα του OpenStreetMaps.
Πηγή: <http://download.geofabrik.de/>

Αφού έχει γίνει η επιλογή της χώρας, ο χρήστης μπορεί να δει τις πόλεις από τις οποίες μπορεί να πάρει στοιχεία.

Sub Region	Quick Links		
	.osm.pbf	.shp.zip	.osm.bz2
Baden-Württemberg	[.osm.pbf] (442 MB)	[.shp.zip]	[.osm.bz2]
Bayern	[.osm.pbf] (546 MB)	[.shp.zip]	[.osm.bz2]
Berlin	[.osm.pbf] (54 MB)	[.shp.zip]	[.osm.bz2]
Brandenburg (mit Berlin)	[.osm.pbf] (165 MB)	[.shp.zip]	[.osm.bz2]
Bremen	[.osm.pbf] (15.8 MB)	[.shp.zip]	[.osm.bz2]
Hamburg	[.osm.pbf] (33.5 MB)	[.shp.zip]	[.osm.bz2]
Hessen	[.osm.pbf] (212 MB)	[.shp.zip]	[.osm.bz2]
Mecklenburg-Vorpommern	[.osm.pbf] (86 MB)	[.shp.zip]	[.osm.bz2]
Niedersachsen	[.osm.pbf] (305 MB)	[.shp.zip]	[.osm.bz2]
Nordrhein-Westfalen	[.osm.pbf] (632 MB)	[.shp.zip]	[.osm.bz2]
Rheinland-Pfalz	[.osm.pbf] (152 MB)	[.shp.zip]	[.osm.bz2]
Saarland	[.osm.pbf] (36.0 MB)	[.shp.zip]	[.osm.bz2]
Sachsen	[.osm.pbf] (177 MB)	[.shp.zip]	[.osm.bz2]
Sachsen-Anhalt	[.osm.pbf] (90 MB)	[.shp.zip]	[.osm.bz2]
Schleswig-Holstein	[.osm.pbf] (105 MB)	[.shp.zip]	[.osm.bz2]
Thüringen	[.osm.pbf] (95 MB)	[.shp.zip]	[.osm.bz2]

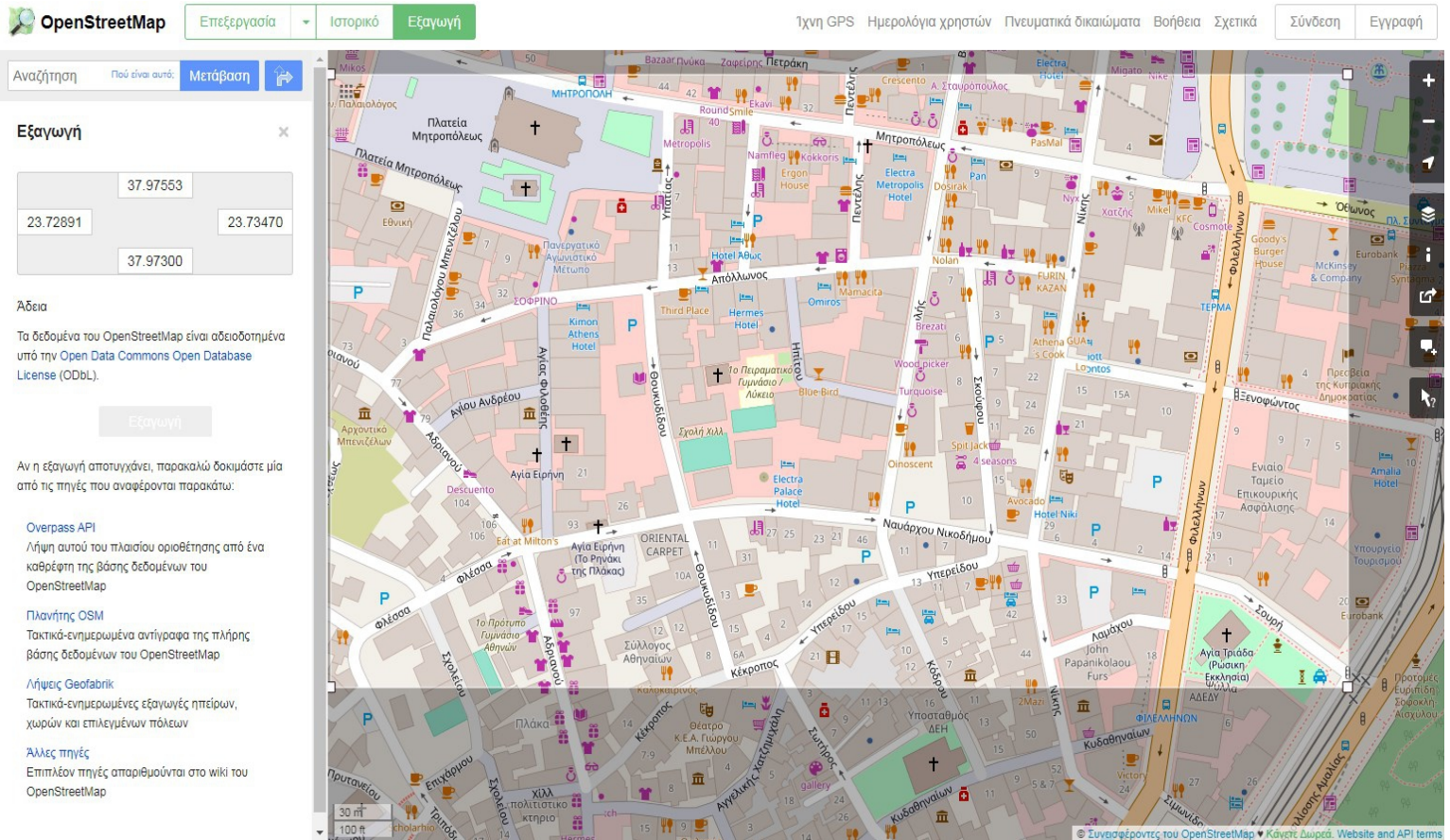
Εικόνα 5.3. Οι πόλεις για τις οποίες υπάρχουν δεδομένα που μπορούμε να κατεβάσουμε. Στο πλαίσιο της διπλωματικής πήραμε τα δεδομένα του Βερολίνου για να δοκιμάσουμε να εκτελέσουμε το πείραμα και εκεί. Τα αποτελέσματα θα παρουσιαστούν παρακάτω. Πηγή: <http://download.geofabrik.de/>

Δυστυχώς η συγκεκριμένη πλατφόρμα δεν έχει αρκετές πληροφορίες για την Ελλάδα, με αποτέλεσμα να μην μπορούμε να επιλέξουμε μόνο συγκεκριμένες περιοχές / γειτονιές.

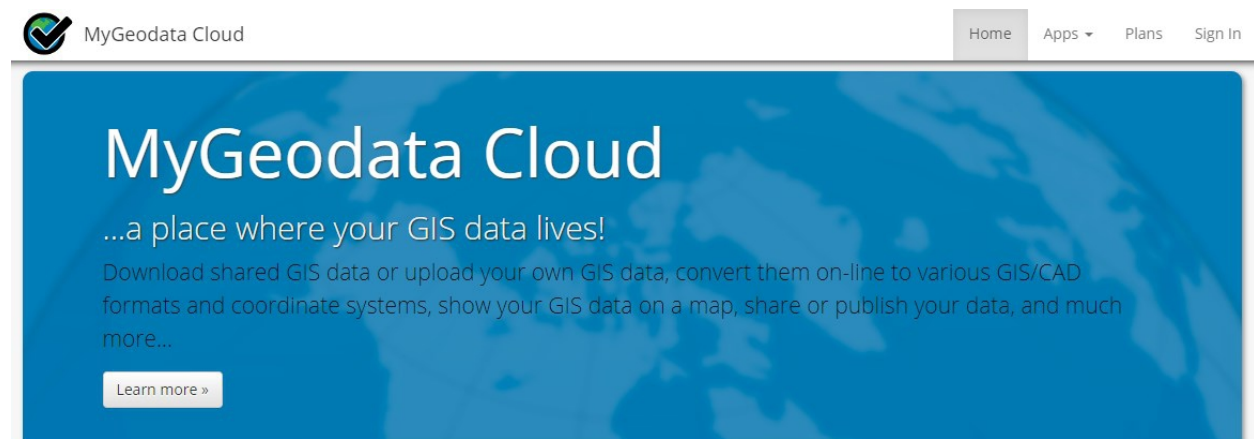
Ένας άλλος τρόπος για να εξαγάγουμε τα δεδομένα είναι να επιλέξει ο κάθε χρήστης την επιθυμητή περιοχή μόνος του, μέσω της πλατφόρμας του OpenStreetMaps. Έπειτα θα πρέπει να γίνει η μετατροπή αυτών των δεδομένων, όπως αναφέρθηκε, σε shape file. Για να το κάνουμε αυτό χρησιμοποιήσαμε την δωρεάν πλατφόρμα του my geodatacloud⁸. Με αυτόν τον τρόπο διασφαλίζουμε την γενίκευση της προσομοίωσης αφού ο καθένας μπορεί να δημιουργήσει και να φορτώσει τα δικά του δεδομένα.

⁸<https://mygeodata.cloud/>

Μοντελοποίηση και προσομοίωση της κίνησης ατόμων στο χώρο σε περιβάλλον πόλης



Εικόνα 5.4. Επιλογή μιας γειτονιάς στην Αθήνα για να εξάγουμε τα δεδομένα σε μορφή .osm. Πηγή: <https://www.openstreetmap.org/>



Εικόνα 5.5. Η αρχική σελίδα του MyGeodata Cloud. Πηγή: <https://mygeodata.cloud/>

5.3. Κώδικας της προσομοίωσης

Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα εξεταστούν μόνο συγκεκριμένα κομμάτια του κώδικα της προσομοίωσης με σκοπό να γίνουν κατανοητές οι έννοιες που χρησιμοποιήθηκαν. Ολόκληρος ο κώδικας μπορεί να βρεθεί στο αντίστοιχο repository του στο GitHub: <https://github.com/VassilisMitropGit/Agent-based-model-of-human-mobility-in-urban-environment>.

Το πρώτο πράγμα που ορίζουμε στον κώδικα είναι τα αρχεία που θα χρησιμοποιήσουμε. Συγκεκριμένα, στις ακόλουθες γραμμές κώδικα φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο φορτώνονται τα αρχεία στο περιβάλλον της προσομοίωσης.

```
file shape_file_buildings <- file("../includes/building.shp");  
file shape_file_roads <- file("../includes/road.shp");
```

Αφού έχουμε ορίσει τους δρόμους και τα κτήρια που θα χρησιμοποιήσουμε, κατασκευάζουμε το πλαίσιο μέσα στο οποίο θα περικλείεται ο χώρος αυτός.

```
geometry shape <- envelope(envelope(shape_file_buildings) + envelope(shape_file_roads));
```

Έπειτα πρέπει να αρχικοποιήσουμε ορισμένες μεταβλητές για τους agents. Οι μεταβλητές αυτές μπορούν να αλλάζουν από τον χρήστη κατά τη διάρκεια του πειράματος με τρόπο που θα δούμε παρακάτω. Εδώ φαίνεται η αρχικοποίηση των ορίων για τα ωράρια των ανθρώπων.

```
int min_work_start <- 7;  
int max_work_start <- 9;  
int min_work_end <- 16;  
int max_work_end <- 18;
```

Αντίστοιχα εδώ φαίνεται η αρχικοποίηση των ορίων για την ταχύτητα τους.

```
float min_speed <- 1.0 #km / #h;  
float max_speed <- 5.0 #km / #h;
```

Στη συνέχεια κατασκευάζουμε τα κτήρια και τους δρόμους από τα αρχεία που φορτώσαμε στην αρχή. Από αυτά, μπορούμε να κατασκευάσουμε τον γράφο, πάνω στον οποίο θα κινούνται οι agents. Ο γράφος αυτός κατασκευάζεται από το shapefile των δρόμων έχοντας ως ακμές τις διασταυρώσεις.

```
create building from: shape_file_buildings;
create road from: shape_file_roads ;

the_graph <- as_edge_graph(road);
```

Για να δημιουργήσουμε τους agents που είναι οι απλοί άνθρωποι, τους ορίζουμε τυχαία μια ταχύτητα, μια ώρα εκκίνησης εργασίας και μια ώρα λήξης εργασίας με τα όρια που αναφέραμε προηγουμένως. Έπειτα ο κάθε agent έχει μια οικία από τη λίστα των κτηρίων και ένα μέρος εργασίας. Η αρχική του κατάσταση είναι να βρίσκεται στο σπίτι του, το οποίο είναι αντίστοιχα η οικία που μόλις ορίστηκε.

```
create people number: nb_people {
  //define the speed, start and end work time that each agent will have.
  //these values are random so it will be different in each simulation
  speed <- min_speed + rnd (max_speed - min_speed) ;
  start_work <- min_work_start + rnd (max_work_start - min_work_start) ;
  end_work <- min_work_end + rnd (max_work_end - min_work_end) ;
  //define a living and a working place for each agent from the imported buildings
  living_place <- one_of(building) ;
  working_place <- one_of(building) ;
  objective <- "resting"; //each agent will begin resting, until it's time for him/her to
  go to work
  location <- any_location_in (living_place); //the agents home is his/her starting
  location
}
```

Με ακριβώς αντίστοιχο τρόπο δημιουργούμε και τον agent για το χαμένο άτομο.

Ενδεικτικά παραθέτουμε και τον τρόπο με τον οποίο έγινε ο ορισμός των κτηρίων. Με

αντίστοιχο ακριβώς τρόπο έγινε και ο σχεδιασμός των δρόμων.

```
species building {
  string type;
  rgb color <- #gray ; //the color of each
  building
  aspect base {
    draw shape color: color ;
  }
}
```

Στη συνέχεια ορίζουμε τον τρόπο με τον οποίο ένας agent κινείται στον χάρτη. Όταν η ώρα της προσομοίωσης είναι ίση με την ώρα που ο συγκεκριμένος agent ξεκινάει για δουλειά, αλλάζει την κατάσταση του σε "working" και ορίζει ως στόχο την τοποθεσία του κτηρίου εργασίας του. Όταν γίνεται αυτό, "ενεργοποιείται" το reflex "move" το οποίο κινεί τον agent στον χάρτη μέχρι να φτάσει στον προορισμό του. Αντίστοιχα, όταν η ώρα της προσομοίωσης είναι ίση με την ώρα που ο συγκεκριμένος agent τελειώνει την δουλειά του, γίνεται η αντίστροφη διαδικασία.

```
reflex time_to_work when: current_hour = start_work and objective = "resting"{
  objective <- "working" ;
  the_target <- any_location_in (working_place);
}
reflex time_to_go_home when: current_hour = end_work and objective = "working"{
  objective <- "resting" ;
  the_target <- any_location_in (living_place);
}
reflex move when: the_target != nil {
  do goto target: the_target on: the_graph ;
  if the_target = location {
    the_target <- nil ;
  }
}
```

Η αντίστοιχη διαδικασία κίνησης ακολουθείται και από τον agent που έχει χαθεί, με μικρές διαφοροποιήσεις αφού αυτός δεν έχει οικία/μέρος εργασίας.

Η προσομοίωση φτάνει στο τέλος της όταν ο agent που έχει χαθεί, “βρεθεί” από έναν από τους υπόλοιπους. Αυτό το υπολογίζουμε με τη συνάρτηση `agents_at_distance` η οποία μας δίνει μια λίστα από τους υπόλοιπους agents που βρίσκονται σε απόσταση ίση ή μικρότερη από αυτή που θα δώσουμε σαν παράμετρο. Εάν αυτή η λίστα δεν είναι κενή, σημαίνει πως υπάρχουν agents τριγύρω και θεωρούμε ότι ο συγκεκριμένος agent βρέθηκε.

```
list people_nearby <- agents_at_distance(1);  
  
reflex is_found when: length(people_nearby) >= 1 {  
  do die;  
}
```

Όταν συμβεί το παραπάνω, θα ενεργοποιηθεί ένα reflex το οποίο θα κάνει παύση την προσομοίωση. Στην συγκεκριμένη πλατφόρμα δεν υπάρχει τρόπος να τερματίσει η προσομοίωση, αλλά η λειτουργία παύσης πετυχαίνει το ίδιο αποτέλεσμα. Η μεταβλητή `missing` μετράει τον αριθμό των χαμένων agents. Όταν ένας agent βρεθεί τότε αυτή γίνεται μηδέν.

```
int missing -> {length(missing_person)};  
  
reflex stop_simulation when: missing = 0 {  
  do pause;  
}
```

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, ο χρήστης μπορεί να τροποποιεί διάφορες παραμέτρους κατά τη διάρκεια του πειράματος. Αυτό το επιτυγχάνουμε με το ακόλουθο κομμάτι κώδικα, το οποίο αφήνει τον χρήστη να φορτώσει άλλα αρχεία για δρόμους και κτήρια.

```
parameter "Shapefile for the buildings:" var: shape_file_buildings category: "GIS" ;  
parameter "Shapefile for the roads:" var: shape_file_roads category: "GIS" ;
```

Με αντίστοιχο κομμάτι κώδικα δίνουμε τη δυνατότητα στον χρήστη να αλλάξει τις μεταβλητές που έχουμε ορίσει παραπάνω.

Όσον αφορά το κομμάτι της εξόδου της προσομοίωσης, θέλουμε ο χρήστης να βλέπει το

περιβάλλον της προσομοίωσης καθώς και ένα διάγραμμα το οποίο δείχνει τον αριθμό των agents που δουλεύουν ή είναι σπίτι τους αντίστοιχα. Με το “city_display” δείχνουμε τα 4 είδη που έχουμε ορίσει, δηλαδή τους δρόμους, τα κτήρια, τους κανονικούς ανθρώπους agents και τον χαμένο άνθρωπο.

```
display city_display type: opengl {  
    species building aspect: base refresh: false;  
    species road aspect: base refresh: false;  
    species people aspect: base ;  
    species missing_person aspect: base ;  
}
```

Με το “chart_display” δείχνουμε το διάγραμμα που αναφέραμε.

```
display chart_display refresh:every(10#cycles) {  
    chart "People Objective" type: pie style: exploded size: {1, 0.5} position: {0, 0.5}{  
        data "Working" value: people count (each.objective="working") color: #magenta ;  
        data "Resting" value: people count (each.objective="resting") color: #blue ;  
    }  
}
```

Σε ένα δεύτερο πείραμα που εκτελέσαμε ορίσαμε να μην σταματάει η προσομοίωση μόλις βρεθεί ο missing person έτσι ώστε να βλέπουμε με πόσους άλλους ανθρώπους έχει βρεθεί κατά τη διάρκεια της πορείας του. Ουσιαστικά θέλουμε να αναπαραστήσουμε σε ένα διάγραμμα το μήκος της λίστας “people_nearby” που περιγράφηκε παραπάνω κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Για να το κάνουμε αυτό πρέπει πρώτα να ορίσουμε έναν agent που θα είναι ο missing person. Με άλλα λόγια, από το species “missing_person” που έχουμε δημιουργήσει θα πάρουμε τον μοναδικό agent που ανήκει σε αυτό. Αυτό το πετυχαίνουμε με το ακόλουθο κομμάτι κώδικα.

```
list missing_agents -> missing_person.population;  
agent the_missing_agent -> missing_agents at 0;
```


Έπειτα θα χρειαστούμε μια μεταβλητή η οποία θα κρατάει το μήκος της λίστας που αναφέραμε. Αυτή η μεταβλητή ενημερώνεται κάθε φορά που αλλάζει το μέγεθος της λίστας. Το μέγεθος της λίστας μεταβάλλεται κάθε φορά που ο εξαφανισμένος άνθρωπος κινείται στην προσομοίωση.

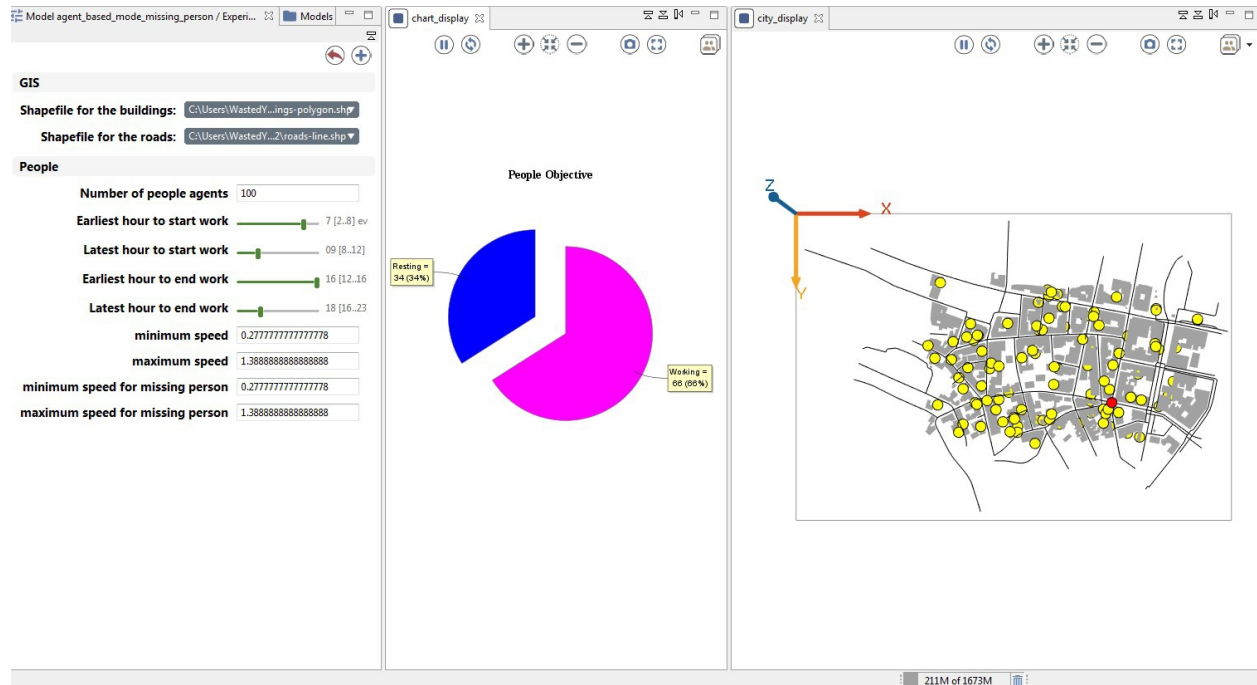
```
int nb_of_agents_nearby -> {length(people_nearby)};
```

Τέλος δημιουργούμε το διάγραμμα το οποίο θα μας δίνει αυτή την πληροφορία. Το διάγραμμα είναι τύπου “series”, δηλαδή παρακολουθεί την εξέλιξη μιας τιμής (αυτή η οποία δίνεται στα “data” του διαγράμματος) σε σχέση με τον χρόνο που περνάει στην προσομοίωση. Εδώ φαίνεται η ανάγκη του να πάρουμε μόνο τον agent που χρειαζόμαστε καθώς διαφορετικά δεν θα μπορούσαμε να έχουμε πρόσβαση στο μήκος της λίστας που δημιουργεί.

```
display chart refresh:every(10#cycles) {  
  chart "Number of people nearby the missing person" type: series {  
    data "Number of agents nearby" value: the_missing_agent_get('nb_of_agents_nearby')  
  }  
  color: #red;  
}
```

5.4. Εκτέλεση της προσομοίωσης

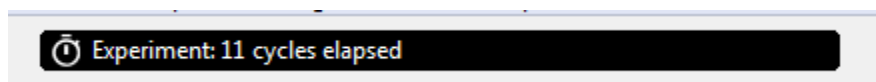
Σε αυτό το μέρος θα παρουσιάσουμε τα διάφορα αποτελέσματα και στιγμιότυπα από τις προσομοιώσεις που τρέξαμε στο πλαίσιο της εργασίας. Για να δείξουμε την ευελιξία του πειράματος, δοκιμάσαμε διάφορα σεντ δεδομένων όπως για παράδειγμα διάφορες γειτονιές της Αθήνας.



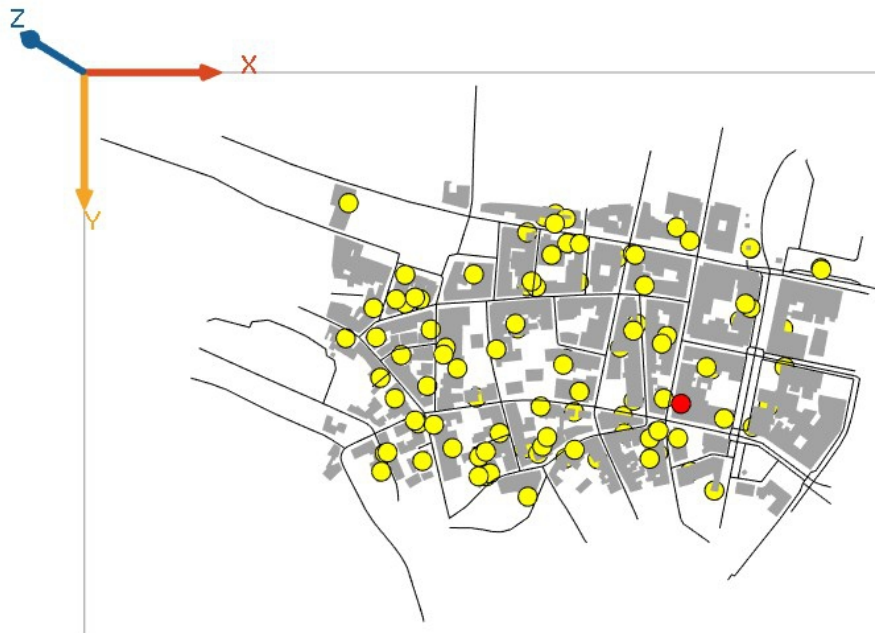
Εικόνα 5.6. Η συνολική εικόνα ενός πειράματος.

Μια εποπτική ματιά στο πείραμα φαίνεται στην εικόνα 5.6. Στο αριστερό κομμάτι φαίνονται οι διάφορες παραμέτρους που έχουν χρησιμοποιηθεί και μπορούν να αλλάξουν στην προσομοίωση. Στο μεσαίο κομμάτι φαίνεται ένα διάγραμμα που δείχνει ανά πάσα στιγμή το ποσοστό των agents που βρίσκονται στο σπίτι ή στη δουλειά τους. Τέλος στο δεξί κομμάτι υπάρχει η οπτική απεικόνιση της προσομοίωσης όπου οι agents βρίσκονται σε μια γειτονιά στο σύνταγμα. Οι πολίτες αναπαρίστανται με κουκκίδες κίτρινου χρώματος ενώ ο εξαφανισμένος agent με κόκκινο χρώμα.

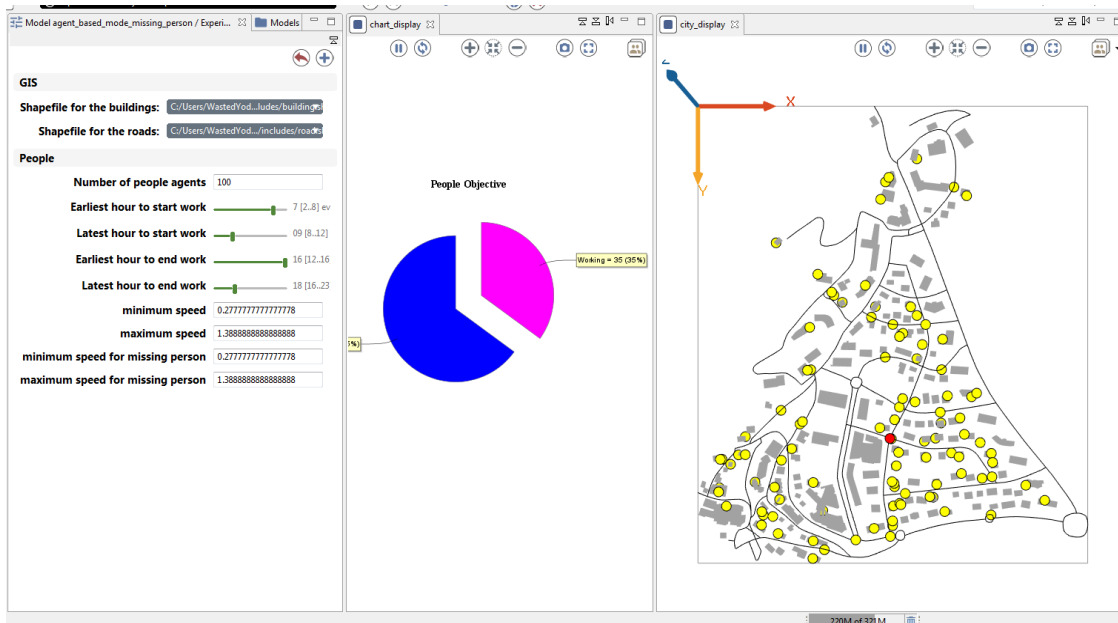
Όπως είπαμε όταν ένας agent βρεθεί η προσομοίωση σταματά. Ο χρόνος ο οποίος χρειάστηκε για να βρεθεί ο εξαφανισμένος agent υπολογίζεται από τους κύκλους που έχουν περάσει από την αρχή της προσομοίωσης. Για παράδειγμα, αφού έχουμε ορίσει κάθε κύκλο να κρατάει 10 λεπτά, στην εικόνα 5.7 ο agent βρέθηκε σε διάστημα 110 λεπτών.



Εικόνα 5.7. Παράδειγμα από τους κύκλους που έχουν περάσει από την εκκίνηση ενός πειράματος.

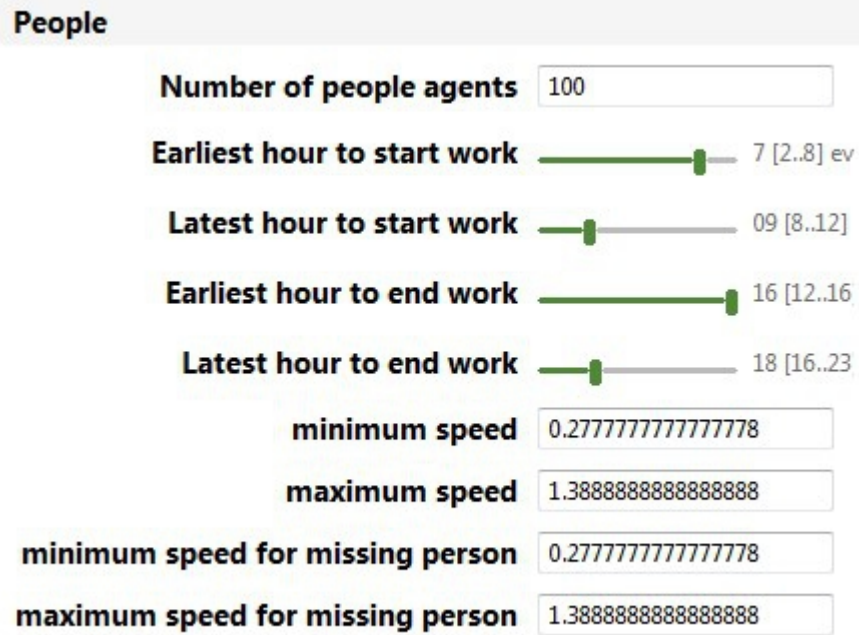


Εικόνα 5.8. Μια γειτονιά στο σύνταγμα στην οποία οι κανονικοί agents αναπαρίστανται με κίτρινες κουκκίδες στον χάρτη ενώ το εξαφανισμένο άτομο με κόκκινη.

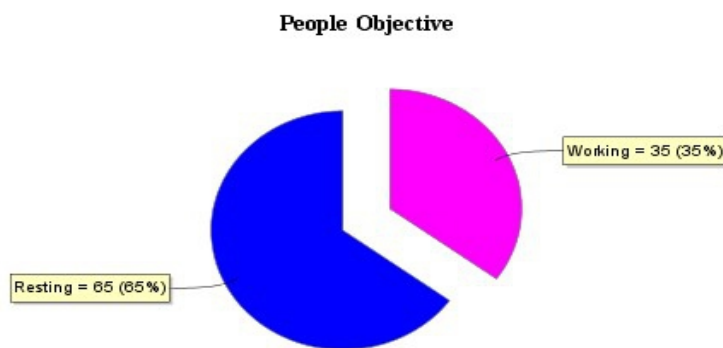


Εικόνα 5.9. Εκτέλεση πειράματος με τα γεωγραφικά δεδομένα που προσφέρει η πλατφόρμα GAMA.

Στο πλαίσιο της εκτέλεσης πειραμάτων με διαφορετικά δεδομένα, έγινε και η εκτέλεση ενός πειράματος με τα γεωγραφικά δεδομένα που προσφέρει η πλατφόρμα GAMA. Το πείραμα αυτό φαίνεται στην εικόνα 5.9.

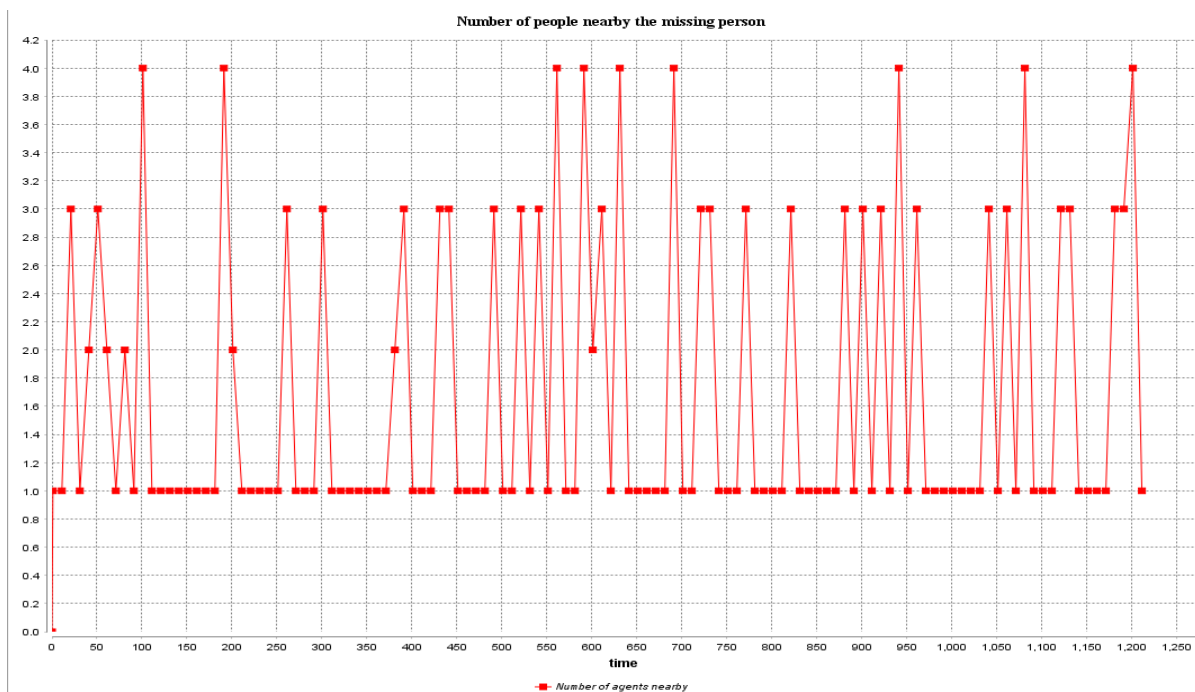


Εικόνα 5.10. Οι παράμετροι που έχουν χρησιμοποιηθεί στην προσομοίωση. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να αλλάξει τους παράγοντες αυτούς μέσω του συγκεκριμένου μενού, χωρίς δηλαδή να χρειαστεί να πειράξει τον κώδικα.

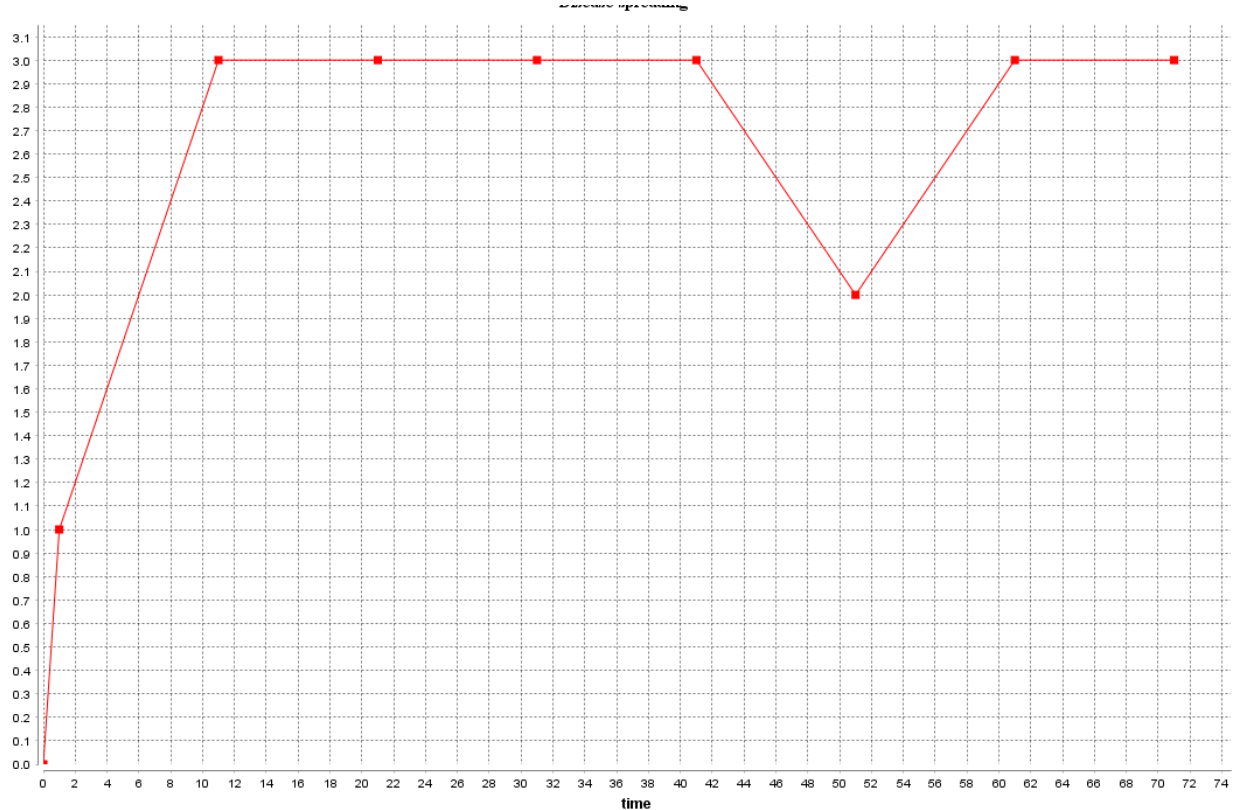


Εικόνα 5.11. Το διάγραμμα το οποίο δείχνει το ποσοστό των ανθρώπων που βρίσκεται στο σπίτι του και το ποσοστό των ανθρώπων που βρίσκεται στη δουλειά του. Αυτό το διάγραμμα ανανεώνεται σε πραγματικό χρόνο κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Όπως αναφέρθηκε στο υποκεφάλαιο του κώδικα, κατασκευάσαμε και μια άλλη εκδοχή της προσομοίωσης στην οποία η προσομοίωση δεν σταματάει μόλις βρεθεί ο χαμένος άνθρωπος. Αυτό το κάναμε έτσι ώστε να μπορούμε να μετράμε τον αριθμό των agents που ο χαμένος άνθρωπος θα συναντήσει στην πορεία που ακολουθεί. Παραδείγματα από αυτή την υλοποίηση φαίνονται στις εικόνες 5.12 και 5.13.

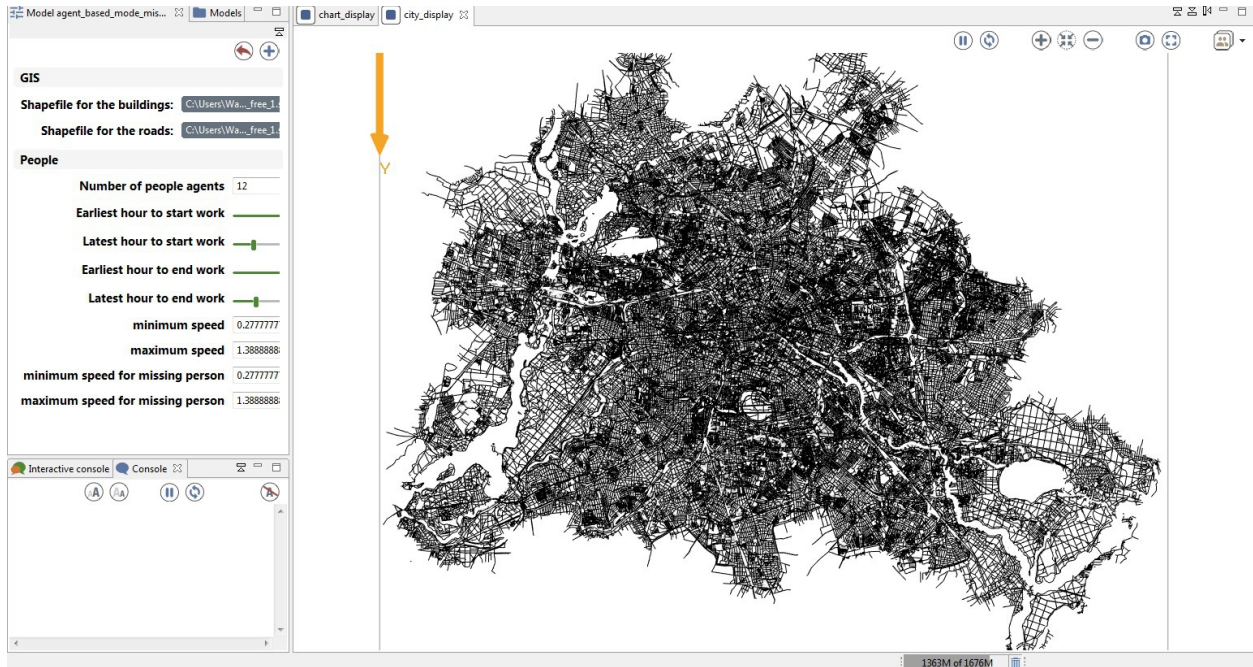


Εικόνα 5.12. Στιγμιότυπο ενός πειράματος του διαγράμματος των agents που συναντά ο χαμένος άνθρωπος κατά τη διάρκεια της πορείας που ακολουθεί.

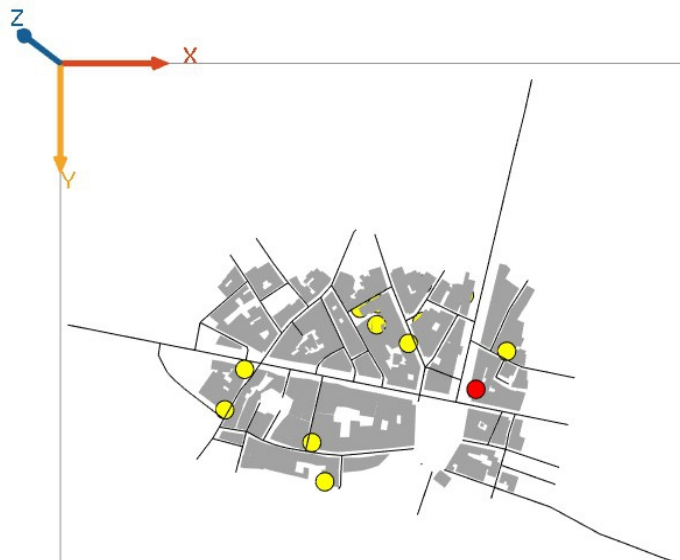


Εικόνα 5.13. Στιγμιότυπο ενός πειράματος του διαγράμματος των agents που συναντά ο χαμένος άνθρωπος κατά τη διάρκεια της πορείας που ακολουθεί.

Εκτός από γεωγραφικά δεδομένα μικρών περιοχών (δηλαδή γειτονιών), έγινε και η δοκιμή να τρέξει ένα πείραμα με τα γεωγραφικά δεδομένα μιας πόλης. Η εικόνα 5.12 δείχνει ένα τέτοιο πείραμα το οποίο έγινε με δεδομένα τα κτήρια και τους δρόμους της πόλης του Βερολίνου. Τα δεδομένα είναι τόσο μεγάλα που οι agents δεν φαίνονται λόγω του μικρού τους μεγέθους. Ακόμη, αξίζει να σημειωθεί πως ένα πείραμα με τόσο μεγάλα δεδομένα τρέχει πολύ αργά με αποτέλεσμα να μην είναι ιδανικό για την καταγραφή αποτελεσμάτων. Αυτό φαίνεται στο κάτω δεξιά μέρος της εικόνας 5.12 όπου η μνήμη που έχει διαθέσιμη η πλατφόρμα GAMA είναι σχεδόν γεμάτη. Επίσης, όπως είναι αναμενόμενο, ο εξαφανισμένος agents είναι πάρα πολύ δύσκολο να βρεθεί σε τόσο μεγάλη έκταση. Για να αυξήσουμε τις πιθανότητες αυτός να βρεθεί, θα πρέπει να αυξήσουμε τον αριθμό των agents που υπάρχουν στο πείραμα. Βέβαια αυτό επιβαρύνει και άλλο την απόδοση της πλατφόρμας.



Εικόνα 5.14. Ένα πείραμα με γεωγραφικά δεδομένα στην πόλη του Βερολίνου. Τα δεδομένα αυτά τα πήραμε από το *geofabrik*[25] με τον τρόπο που περιεγράφηκε στο υποκεφάλαιο 5.2.



Εικόνα 5.15. Η απεικόνιση ενός πειράματος σε μια γειτονιά στο Μοναστηράκι.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως για να τρέξει ομαλά ένα πείραμα, τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιεί πρέπει να είναι σωστά και επαρκή. Συγκεκριμένα, γεωγραφικά δεδομένα περιοχών που δεν είναι κοντά στο κέντρο της Αθήνας (για παράδειγμα η περιοχή της Δροσιάς ή του Άγιου Στεφάνου) δεν έχουν αποτυπωθεί με την απαιτούμενη ακρίβεια στο OpenStreetMaps και επομένως δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση με καλά αποτελέσματα. Αυτό συμβαίνει επειδή ο γράφος που δημιουργείται δεν έχει τον ακριβή αριθμό κόμβων λόγω της έλλειψης ακριβούς αποτύπωσης του οδικού δικτύου.

Κεφάλαιο 6. Συμπεράσματα και προοπτικές

Συνοψίζοντας, στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε η παρουσίαση των εννοιών και ερευνών των μοτίβων ανθρώπινης κινητικότητας και ο τρόπος με τον οποίο αυτές μοντελοποιούνται. Από τα παραπάνω βγήκε το συμπέρασμα πως η κίνηση των ανθρώπων δεν είναι καθόλου τυχαία, όπως κάποιος θα υπέθετε με μια πρώτη σκέψη, αλλά αντιθέτως περιορίζεται από ισχυρά μοτίβα. Ακόμη, η μεγάλη πλειοψηφία των ερευνών πάνω στο συγκεκριμένο θέμα έκανε τη χρήση του Agent-Based Modeling για να μπορέσει να εξάγει τα αποτελέσματα της.

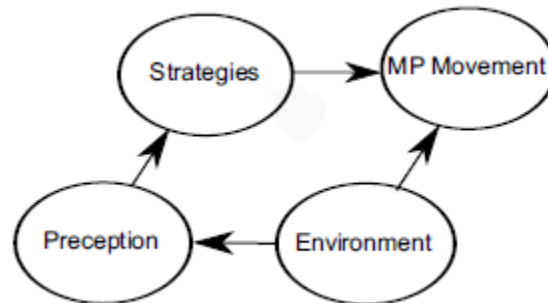
Με βάση τα παραπάνω έγινε η υλοποίηση προσομοίωσης στην πλατφόρμα GAMA η οποία μελετά την κίνηση των ανθρώπων σε περιβάλλον πόλης και την εύρεση ενός χαμένου παιδιού που κινείται σε αυτή. Από τα πειράματα τα οποία εκτελέσαμε παρατηρήσαμε πως η πιθανότητα εύρεσης ενός ανθρώπου εξαρτάται από τους ανθρώπους οι οποίοι τον ψάχνουν. Συγκεκριμένα, λαμβάνοντας υπόψη ότι το εξαφανισμένο άτομο κινούταν τυχαία, οι υπόλοιποι άνθρωποι είχαν αρκετά μεγάλη πιθανότητα να το πετύχουν στη διαδρομή τους από το σπίτι στη δουλειά ή αντίστροφα.

Σημαντικό αποτέλεσμα ήταν η ευελιξία της συγκεκριμένης προσομοίωσης, δηλαδή το γεγονός ότι μπορέσαμε με μεγάλη ευκολία να τρέξουμε πειράματα με διαφορετικά γεωγραφικά δεδομένα. Αυτό σε συνδυασμό με την ευκολία που έχει κάποιος στο να δημιουργήσει δικά του γεωγραφικά δεδομένα είναι που κάνει την προσομοίωση ευέλικτη. Ακόμη, όπως αναφέρθηκε δεν έχει μεγάλο νόημα η εκτέλεση ενός πειράματος σε πολύ μεγάλα δεδομένα (δηλαδή σε μια πόλη).

Έχοντας υπόψιν πως αυτή η μοντελοποίηση και προσομοίωση θέτει τα θεμέλια και τη βασική μεθοδολογία και αφήνει περιθώρια ανάπτυξης και περαιτέρω εξέλιξης του αρχικού, βασικού μοντέλου, προτείνονται ορισμένες πτυχές οι οποίες θα μπορούσαν να αναπτυχθούν σε μελλοντικές εργασίες:

- Μελέτη της συμπεριφοράς και της πορείας που ακολουθείται από τα άτομα που εξαφανίζονται. Ένας τρόπος ανάπτυξης της προσομοίωσης είναι η προσθήκη διάφορων χαρακτηριστικών και συμπεριφορών στον agent που παίζει τον ρόλο του εξαφανισμένου ανθρώπου. Συγκεκριμένα, αντί αυτός να κινείται τυχαία θα μπορούσε να έχει κάποια σημεία αναφοράς τα οποία και θα προσπαθούσε να βρει. Για παράδειγμα, τέτοια σημεία αναφοράς θα μπορούσαν να είναι ένα πάρκο κοντά στη γειτονιά του που θα αναγνωρίζει ή κάποιο μεγάλο κτήριο στην ευρύτερη περιοχή το οποίο αναγνωρίζει και θα τον βοηθήσει να προσδιοριστεί.

Εικόνα 6.1. Μια προτεινόμενη μοντελοποίηση για έναν άνθρωπο που έχει χαθεί. Η συνολική



συμπεριφορά του πράκτορα ελέγχεται από ένα σύνολο στρατηγικών που επηρεάζουν την κίνηση του. Αυτές οι στρατηγικές περιλαμβάνουν τη μετάβαση προς ένα καθορισμένο χαρακτηριστικό ή σημείο, εξερεύνηση του περιβάλλοντος για την περαιτέρω απόκτηση πληροφορίες, κίνηση τυχαία ή απλά διακοπή της κίνησης του. Αυτά είναι με γνώμονα την αντίληψη του χρήστη (όραση, μνήμη) για το περιβάλλον του. [13]

- Σχεδιασμός μιας εφαρμογής που θα στέλνει ειδοποιήσεις σε αυτούς που είναι σε μια κοντινή εμβέλεια με τον εξαφανισμένο άνθρωπο. Η εφαρμογή θα χρησιμοποιεί τις μελέτες για τις κινήσεις του ανθρώπου αυτού σε συνδυασμό με τα στοιχεία που υπάρχουν για το συγκεκριμένο άτομο (για παράδειγμα κάποιες πληροφορίες από άτομα που το γνωρίζουν) και θα προσπαθεί να προβλέπει την πορεία που θα ακολουθήσει. Έπειτα κάνοντας χρήση των δεδομένων τοποθεσίας των χρηστών της εφαρμογής θα ενημερώνει τους χρήστες που θα βρίσκονται κοντά στην προβλεπόμενη διαδρομή.
- Μια άλλη περίπτωση είναι οι agents να έχουν λόγο να ψάχνουν αυτόν που έχει εξαφανιστεί και δεν να μην καταλαβαίνουν αυτόματα το χαμένο παιδί όπως γίνεται εδώ. Συγκεκριμένα θα δίνεται μια πιθανότητα σε κάθε πολίτη να δει και να αναγνωρίσει το χαμένο παιδί εάν πέσει πάνω του.
- Περαιτέρω μοντελοποίηση των agents που χρησιμοποιήθηκαν στην προσομοίωση. Στη συγκεκριμένη περίπτωση όλοι οι agents παρουσιάζουν μια ομοιομορφία, δηλαδή όλοι έχουν την ίδια συμπεριφορά. Εάν κάποιος ήθελε να κάνει πιο ρεαλιστική την προσομοίωση θα μπορούσε να δώσει στους agents και άλλες, διαφορετικές στον καθένα, ιδιότητες οι οποίες να του άλλαζαν την πορεία και την συμπεριφορά. Για παράδειγμα θα μπορούσε να γίνει και η προσομοίωση των σαββατοκύριακων όπου οι agents αντί να πηγαίνουν δουλειά θα έχουν άλλα σημεία για εξόδους και βόλτες.
- Εισαγωγή του παράγοντα της κίνησης στο περιβάλλον της προσομοίωσης. Αφού πρώτα γίνει η συλλογή δεδομένων και η μελέτη της κίνησης σε κάποιο οδικό δίκτυο (για

παράδειγμα στο κέντρο της Αθήνας) η συγκεκριμένη προσομοίωση θα μπορούσε να εμπλουτιστεί με μοντέλα κίνησης. Με αυτόν τον τρόπο η προσομοίωση θα αποκτήσει μεγαλύτερο ρεαλισμό καθώς θα παίζουν σημαντικό ρόλο οι ταχύτητες του κάθε agent και οι πιθανές συμφορήσεις που μπορεί να συναντήσουν στους δρόμους.

- Οι agents μπορούν να αλλάζουν συμπεριφορά όταν λάμβαναν κάποια ειδοποίηση ότι το εξαφανισμένο άτομο είναι κοντά τους. Σε αυτή την περίπτωση θα άρχιζαν να ψάχνουν ενεργά κάνοντας έτσι πιο πιθανή την εύρεση του ατόμου.

Βιβλιογραφία

- [1] Jiang, Bin, Junjun Yin, and Sijian Zhao. "Characterizing the human mobility pattern in a large street network." *Physical Review E* 80.2 (2009): 021136.
- [2] Gonzalez, Marta C., Cesar A. Hidalgo, and Albert-Laszlo Barabasi. "Understanding individual human mobility patterns." *nature* 453.7196 (2008): 779.
- [3] Song, Chaoming, et al. "Limits of predictability in human mobility." *Science* 327.5968 (2010): 1018-1021.
- [4] Xia, Feng, et al. "Exploring human mobility patterns in urban scenarios: A trajectory data perspective." *IEEE Communications Magazine* 56.3 (2018): 142-149.
- [5] Xie, R., Chen, Y., Lin, S. et al. *World Wide Web* (2018). <https://doi.org/10.1007/s11280-018-0551-8>
- [6] Macal, Charles M., and Michael J. North. "Tutorial on agent-based modeling and simulation." *Proceedings of the Winter Simulation Conference, 2005.. IEEE, 2005.*
- [7] Yang, L.E.; Hoffmann, P.; Scheffran, J.; Rühle, S.; Fischereit, J.; Gasser, I. An Agent-Based Modeling Framework for Simulating Human Exposure to Environmental Stresses in Urban Areas. *Urban Sci.* 2018, 2, 36.
- [8] Lu Tan, Mingyuan Hu, Hui Lin, Agent-based simulation of building evacuation: Combining human behavior with predictable spatial accessibility in a fire emergency, *Information Sciences*, Volume 295, 2015, Pages 53-66, ISSN 0020-0255.
- [9] Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems Eric Bonabeau *Proceedings of the National Academy of Sciences* May 2002, 99 (suppl 3) 7280-7287; DOI: 10.1073/pnas.082080899
- [10] Taillandier, P., Gaudou, B., Grignard, A., Huynh, Q.-N., Marilleau, N., P. Caillou, P., Philippon, D., & Drogoul, A. (2019). Building, composing and experimenting complex spatial models with the GAMA platform. *Geoinformatica*, (2019), 23 (2), pp. 299-322, [doi:10.1007/s10707-018-00339-6]
- [11] Toch, Eran, et al. "Analyzing large-scale human mobility data: a survey of machine learning methods and applications." *Knowledge and Information Systems* 58.3 (2019): 501-523.

[12] Nyhan, M. M., et al. "Quantifying population exposure to air pollution using individual mobility patterns inferred from mobile phone data." *Journal of exposure science & environmental epidemiology* 29.2 (2019): 238.

[13] W. Mohibullah and S. J. Julie, "Developing an Agent Model of a Missing Person in the Wilderness," *2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, Manchester, 2013, pp. 4462-4469. doi: 10.1109/SMC.2013.759