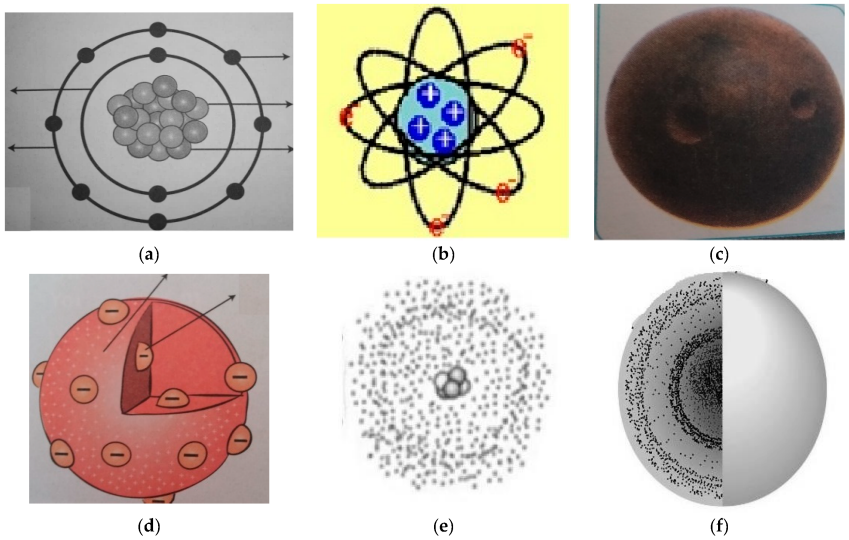
4. What is Agent-Based Modeling? - A Simple Model

Αποκεντρωμένος Υπολογισμός και Μοντελοποίηση

14 Νοεμβρίου 2022

Τι είναι ένα Μοντέλο;



- Μια αφαιρετική περιγραφή μιας διαδικασίας, ενός αντικειμένου ή γεγονότος
- Τονίζει ορισμένες ιδιότητες σε βάρος άλλων
- «Όλα τα μοντέλα είναι εσφαλμένα, αλλά κάποια είναι χρήσιμα» (G. Box, 1987).

Τι είναι η Μοντελοποίηση με συστήματα πρακτόρων (agent-based modeling);

Η μοντελοποίηση με σύστημα πρακτόρων συνιστά μια μεθοδολογία που έχει στόχο να χτίσει τυπικά μοντέλα συστημάτων τα οποία αντιπροσωπεύουν συνθήκες του αληθινού κόσμου, κατασκευασμένα από ατομικές μονάδες (π.χ. άτομα, κύτταρα, ζώα, ανθρώπους ή οργανισμούς), που αντιδρούν επαναλαμβανόμενα μεταξύ τους ή σε σχέση με το περιβάλλον.

Τι είναι πράκτορας (agent);

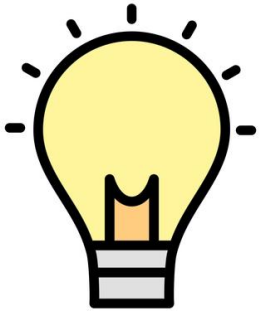
Ένας πράκτορας (agent) είναι ένα μεμονωμένο αυτόματο στοιχείο με ιδιότητες και δυνατότητες ενέργειας/λήψης απόφασης σε προσομοίωση υπολογιστή.
Γίνεται χρήση του όρου «πράκτορας» για να αναφερθούμε σε ενα διακριτό τμήμα του (υπολογιστικού) μοντέλου, το οποίο αναπαριστά έναν δημιουργό-απόφασης.
Οι πράκτορες είναι δυνατό να αναπαριστούν ανθρώπους, μη ανθρώπινα όντα, ζώα, θεσμούς, εταιρείες κλπ.
Οι πράκτορες έχον ατομικές μεταβλητές, οι οποίες περιγράφουν την εσωτερική τους κατάσταση (λ.χ. μια στρατηγική) και είναι ικανές να διεξάγουν συγκεκριμένες διεργασίες ή αποστολές λ.χ. είναι ικανές να τρέξουν εντολές (για να ενισχύσουν την στρατηγική τους). Αυτές οι εντολές, ενίοτε αποκαλούνται κανόνες συμπεριφοράς και συχνά υπονοούν κάποιου είδους αλληλεπίδραση με άλλα είδη πρακτόρων στο περιβάλλον.
Παρακάτω, παρατίθενται μερικές από τις ατομικές μεταβλητές που έχουν οι πράκτορες που θα χρησιμοποιήσουμε στο φροντιστήριο:

1. strategy - στρατηγική (έναν αριθμό)
2. payoff - πληρωμή (έναν αριθμό)
3. my-coplayers - συναθλητές (ένα σετ πρακτόρων)
4. color - χρώμα (το χρώμα του κάθε πράκτορα).

Για τη μετάφραση του όρου «πράκτορας»

Από το το λεξικό merriam-webster (http://www.merriam-webster.com/dictionary/agent) η δόκιμη έννοια στο πλαίσιο της προσέγγισης Agent Based Modeling είναι agent: "1: one that acts or exerts power" είτε "2a : something that produces or is capable of producing an effect : an active or efficient cause".
Η μεταφορά στα ελληνικά σαν «πράκτορας» είναι αδόκιμη. Όπως διαβάζουμε στο λεξικό Μπαμπινιώτη, «Πράκτορας: ο συμβαλλόμενος στη σύμβαση πρακτορείας ο οποίος αναλαμβάνει έναντι αμοιβής την επιμέλεια και διεκπεραίωση του αντισυμβαλλόμενου και στο πλαίσιο της οποίας διενεργεί κάθε απαραίτητη νομική ή υλική πράξη στο όνομα και για λογαριασμό του πρακτορευόμενου». Η έννοια αυτή αντιστοιχεί στην σημασία του agent: "4:one who is authorized to act for or in the place of another: as a (a): a representative, emissary, or official of a government <crown agent> <federal agent> (b): one engaged in undercover activities (as espionage) : spy <secret agent>" .
Η απόδοση του αγγλικού όρου "agent" θα ήταν πιο δόκιμο να γίνει ως «υποκείμενο» ή «δράστης» ή «μονάδα δράσης» ή «αυτουργός».

Η ιδέα για τη Μοντελοποίηση με συστήματα πρακτόρων (agent-based modeling)



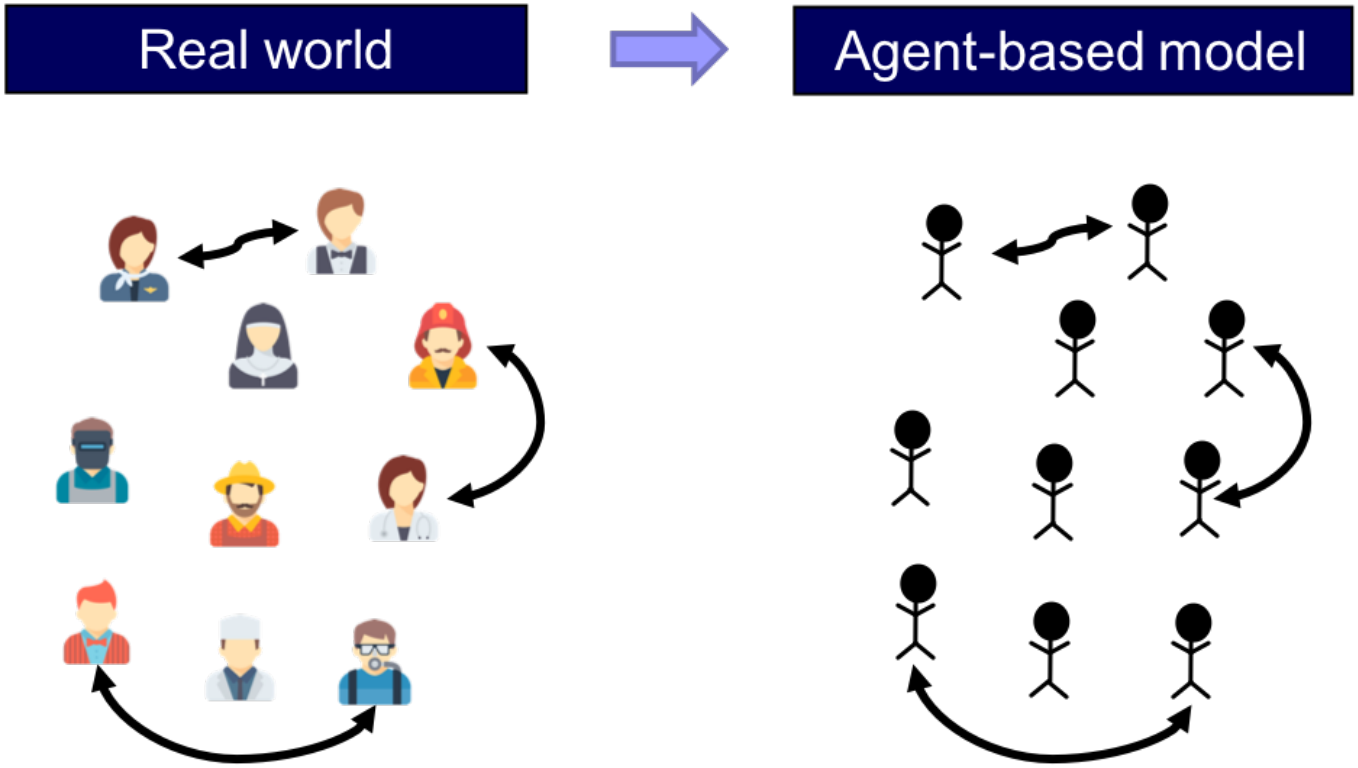
Ο φυσικός (και όχι μόνο) κόσμος μπορεί να μοντελοποιηθεί με τη χρήση:

- πρακτόρων (agents),
- ενός περιβάλλοντος (environment) και
- την περιγραφή των αλληλεπιδράσεων μεταξύ πρακτόρων - πρακτόρων και πρακτόρων - περιβάλλοντος.

Η ουσία της μοντελοποίησης με σύστημα πρακτόρων I

Η ειδοποιός διαφορά μιας προσέγγισης που αφορά την μοντελοποίηση με σύστημα πρακτόρων, είναι το γεγονός ότι καθιερώνει μια ευθεία και σαφή επικοινωνία ανάμεσα σε ατομικές μονάδες που πρόκειται να μοντελοποιηθούν στο στοχευμενο σύστημα και στα μέρη των μονάδων του συστήματος που αναπαριστούν αυτές οι μονάδες (οι πράκτορες), ενώ επίσης ανάμεσα σε αλληλεπιδράσεις των ατομικών μονάδων του συστήματος-στόχου καθώς και στις αλληλεπιδράσεις των επικοινωνούντων πρακτόρων στο μοντέλο.
Η προσέγγιση αυτή, αντιτίθεται με ένα μοντέλο λόγου χάριν που βασίζεται σε εξίσωση (equation based), και που οι οντότητες του συστήματος-στόχου μπορεί να αναπαρίστανται είτε μέσω ιδιοτήτων μέσης τιμής είτε μέσω πρακτόρων - ατομικών αντιπροσώπων.

Η ουσία της μοντελοποίησης με σύστημα-πρακτόρων II



Σε ένα μοντέλο με σύστημα πρακτόρων, οι ατομικές μονάδες του αληθινού κόσμου μοντελοποιούνται και οι αλληλεπιδράσεις του είναι σαφείς και αναπαρίστανται ατομικά στο μοντέλο.

Χαρακτηριστικά ΜΣΠ Ι

Η κάτωθι λίστα συνοψίζει ορισμένα χαρακτηριστικά, τα οποία είναι δύσκολο να αναλυθούν με τον παραδοσιακό τρόπο των μαθηματικών, και που το σύστημα πρακτόρων είναι ικανό να φανεί χρήσιμο (Epstein and Axtell, 1996):

- Η ετερογένεια των πρακτόρων. Από την στιγμή που οι πράκτορες αναπαρίστανται με σαφήνεια στο μοντέλο, δύνανται να είναι ετερογενείς, εφόσον ο μοντελοποιητής κρίνεται κατάλληλος.
- Αλληλεξαρτήσεις ανάμεσα στην διαδικασία (λ.χ. δημογραφικές, οικονομικές, βιολογικές, γεωγραφικές, τεχνολογικές), οι οποίες έχουν παραδοσιακά μελετηθεί σε διαφορετικούς τομείς αλλά συχνά δεν αναλύονται μαζί. Δεν υπάρχει περιορισμός στον τύπο των κανόνων που μπορούν να εφαρμοστούν σε ένα μοντέλο με σύστημα πρακτόρων, επομένως τα μοντέλα είναι ικανά να περιέχουν κανόνες που συνδέουν ανομοιογενείς εκφάνσεις του κόσμου που συχνά μελετώνται και από διαφορετικούς τομείς.

Χαρακτηριστικά ΜΣΠ ΙΙ

- Δυναμική εκτός ισορροπίας. Η δυναμική είναι εγγενής στο ΜΣΠ. Το τρέξιμο μιας προσομοίωσης αποτελείται από την τοποθέτηση κανόνων που καθορίζουν το μοντέλο ξανά και ξανά ώστε το μοντέλο που βασίζεται σε σύστημα πρακτόρων να εμπεριέχει σχεδόν πάντα κάποιας «μορφής» χρόνου μέσα του. Η ισορροπία δεν εγκαθίσταται ποτέ εκ των προτέρων: μπορεί να αναδύεται σαν αποτέλεσμα της προσομοίωσης ή και όχι.
- Η σύνδεση μικρο-μακρο. Το ΜΣΠ κυρίως κατασκευάζεται με στόχο την μελέτη του τρόπου με τον οποίο αναδύονται καθολικά φαινόμενα από τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ατόμων, καθώς επίσης και πώς αυτά τα αναδυόμενα καθολικά φαινόμενα είναι δυνατό να περιορίζουν και να διαμορφώνουν με τον τρόπο τους τις δράσεις των ατόμων.
- Τοπικές αλληλεπιδράσεις και ο ρόλος του φυσικού χώρου. Το γεγονός ότι οι πράκτορες και τα περιβάλλοντά τους αναπαρίστανται σαφώς στο ΜΣΠ, κάνει ιδιαιτέρως ευδιάκριτο και φυσικό το μοντέλο ως προς τις τοπικές αλληλεπιδράσεις (λ.χ. μέσω δικτύων).

Εφαρμογές

- Στην μοντελοποίηση complex adaptive systems (δηλαδή σχεδόν κάθε βιολογικό, οικονομικό και κοινωνικό σύστημα)
- Στην επιδημιολογία
- Στο περιβάλλον
- Στις επιχειρήσεις, την τεχνολογία και την θεωρία δικτύου
- Στην οικονομία και τις κοινωνικές επιστήμες
- Στην ενέργεια
- Στη μελέτη κυκλοφοριακών προβλημάτων στις πόλεις
- Αυτοοδηγούμενα αυτοκίνητα
- +++

Μοντέλα που βασίζονται σε σύστημα-πρακτόρων vs. άλλα μοντέλα

Τι είναι εκείνο που διακρίνει ένα σύστημα μοντέλων-πρακτόρων από άλλα μοντέλα; Η πιο κοινή μορφή των επιστημονικών μοντέλων είναι η μορφή της εξίσωσης (equation-based).
Μια διάκριση αφορά το γεγονός ότι το ΜΣΠ μπορεί να μοντελοποιήσει ετερογενείς πληθυσμούς, ενώ τα μοντέλα με βάση εξισώσεις τυπικά κάνουν υποθέσεις, κυρίως για ομοιογένεια. Σε πολλά μοντέλα, κυρίως σε μοντέλα των κοινωνικών επιστημών, η ετερογένεια παίζει σημαντικό ρόλο. Επιπλέον, όταν μοντελοποιεί κανείς οντότητες, οι αλληλεπιδράσεις και τα αποτελέσματα συνήθως είναι διακριτά και όχι συνεχή. Τα συνεχή μοντέλα, συνήθως δεν απεικονίζουν σε καταστάσεις του αληθινού κόσμου. Για παράδειγμα, μοντέλα που βασίζονται στην εξίσωση της δυναμικής του πληθυσμού συμπεριφέρονται στους πληθυσμούς σαν συνεχόμενες ποσότητες όταν στην πραγματικότητα είναι πληθυσμοί διακριτών οντοτήτων (π.χ. κλασικά S-I-R επιδημιολογικά μοντέλα).
Όταν προσομοιάζεται η δυναμική του πληθυσμού είναι ιδιαιτέρως σημαντικό να γνωρίζει κανείς αν ο πληθυσμός είναι βιώσιμος. Στην τελική ανάλυση, ένας πληθυσμός από λύκους δεν μπορεί να συνεχίσει να υφίσταται αν υπάρχουν λιγότεροι από δύο λύκοι. Για την ακρίβεια, ένα εκατομμυριοστό από λύκους δεν μπορεί να υπάρξει και φυσικά δεν μπορεί να αναπαραχθεί, ωστόσο μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση του πληθυσμού των λύκων σε Equation-Based Models.

Emergence

Definition of emergence - Merriam-Webster
(`https://www.merriam-webster.com/dictionary/emergence`)

1. the act or an instance of emerging (newly formed or prominent)
2. any of various superficial outgrowths of plant tissue usually formed from both epidermis and immediately underlying tissues
3. penetration of the soil surface by a newly germinated plant

Η ανάδυση (Emergence) είναι μια ιδιότητα που υπάρχει παραδοσιακά σε μοντέλα συστήματος-πρακτόρων, και είναι δυνατό να εμφανίζεται όταν μια συνεισφορά που μπορεί να περιγραφεί σε ένα επίπεδο συστήματος δεν είναι επαρκώς κωδικοποιημένη σε ατομικό επίπεδο. Το γεγονός αυτό, μπορεί να οδηγήσει να εκπλήξεις, ειδικά όταν οι συμπεριφορές είναι κωδικοποιημένες σε ατομικό επίπεδο και καταλήγουν σε μη αναμενόμενη για ένα σύστημα σε μακροεπίπεδο συμπεριφορά. Όταν η πλειονότητα των ανθρώπων ανακαλύπτει ένα αναδυόμενο φαινόμενο, τείνουν να μην βλέπουν την ανάδυση, και συνήθως εξηγούν το φαινόμενο ως αποτέλεσμα ντετερμινιστικού, κεντροποιημένου ελέγχου. Τα σύνθετα συστήματα χαρακτηρίζονται ως μοτίβο αναδυόμενων φαινομένων που συχνά παράγουν απλούς κανόνες. Όταν εξερευνά κανείς ένα μοντέλο συστήματος-πρακτόρων, είναι δυνατό να εκστασιαστεί από την απλοϊκότητα των κανόνων. Ένα από τα βασικά εργαλεία για την δημιουργία μοντέλων με σύστημα πρακτόρων είναι η αξιοποίηση της ανάδυσης, καθορίζοντας τους απλούς κανόνες που μπορεί να παραγάγει το φαινόμενο.

ABM software (ενδεικτικά)

Name	Primary Domain	License	Language	Parallelism	GIS capabilities	Last update	Reference
REINA	Epidemics (COVID-19)	AGPL3	Python (Cython)	No ?	Possibly ?	8-4-2020	[1, 2]
Evoplex	Various	GPLv3	C++, OpenGL, Qt and CMake	?	?	5-1-2019	[4, 10]
Mesa	Various	Apache2	Python	No ?	Yes	6-5-2020	[11, 12]
Agentmaps	Social Simulations on Interactive Maps	BSD-2-Clause License	Javascript, Leaflet	?	Yes	11-7-2020	[13, 14]
Netlogo	Various (epiDEM Basic)	GNU GPL2. Commercial version available.	Scala, Java	No ?	Yes	18-1-2018	[15, 16]
GAMA	Spatially Explicit ABMs	GPL3	Java	?	Yes	23-6-2020	[18, 19]
EpiModel	Disease	GPL3	R	No	No	5-8-2020	[20, 21, 22]
Agents.jl	Various	MIT	Julia	Yes	No	12-9-2020	[23, 24, 25]
depthmapX	Various	GPL3	C++	No ?	No ?	7-7-2019	[26]
SARL	Various	Apache2	Java	Yes	No ?	31-5-2020	[27, 28]
Ebola-ABM	Disease	Unknown	Java	Yes ?	No ?	17-5-2016 ?	[30]
AgentBase	Various	GPL3	Coffescript, Javascript	No ?	No ?	3-2-2017	[31, 32]
EMOD	Various	CCAN-SA 4.0	C++, Python	No ?	Yes ?	10-4-2019	[33, 34]
FLAME, FLAMEGPU	Various	MIT	C++, C, CUDA	Yes	No?	6-7-2018	[35, 36, 37]
Mason	Various	Academic Free License 3	Java	Yes	Yes	3-9-2019	[40, 41]
RePast	Various	New BSD	Java	Yes	Yes	1-10-2019	[42, 43]
Swarm (Inactive)	Various	GNU GPL	Objective-C, Java	No ?	No ?	1-10-2013	[44]
EpiRust	Various	AGPL3	Rust, Javascript	Yes ?	No ?	?	[45, 46]

Δείτε και εδώ: `https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_agent-based_modeling_software`

Πώς μπορώ να μάθω περισσότερα για την μοντελοποίηση συστήματος-πρακτόρων (agent-based modeling);

Ένα κλασικό εγχειρίδιο για την εκμάθηση των θεμελιωδών εννοιών και την εκτίμηση των μοντέλων που μπορεί κανείς να χτίσει χρησιμοποιώντας ABM είναι το Epstein and Axtell (1996). Σε αυτό το μικρό εγχειρίδιο, οι συγγραφείς δείχνουν τον τρόπο με τον οποίο δημιουργείται μια τεχνητή κοινωνία όπου οι πράκτορες χρησιμοποιώντας απλούς κανόνες, είναι ικανοί να έχουν ένα ευρύ φάσμα δραστηριοτήτων όπως είναι η πολιτιστική ανταλλαγή, το εμπόριο, η μάχη, η μετάδοση ασθενειών, κ.α. Το διεπιστημονικό εγχειρίδιο των Epstein and Axtell (1996) αναδεικνύει τον τρόπο με τον οποίο σύνθετα μοτίβο αναδύονται από πολύ απλούς κανόνες αλληλεπίδρασης. Το επιδραστικό εγχειρίδιο των Epstein and Axtell (1996), επίσης, εστιάζει στις θεμελιώδεις έννοιες χωρίς περεταίρω συζητήσεις για κώδικες. Ομοίως τα ακόλουθα εγχειρίδια παρουσιάζουν επαρκώς το επιστημονικό τρόπο μοντελοποίησης με σύστημα-πρακτόρων, με την χρήση μάλιστα της NetLogo: Gilbert (2007), Railsback and Grimm (2019), Wilensky and Rand (2015) and Janssen (2020). Τέλος, το Hamill and Gilbert (2016) πραγματεύεται την εφαρμογή πολλών μοντέλων NetLogo στο πλαίσιο των Οικονομικών. Τα περισσότερα από αυτά τα μοντέλα είναι περισσότερο εκλεπτυσμένα σε σχέση με αυτά που εφαρμόζουμε και αναλύουμε σε αυτό το μάθημα.

Δημιουργώντας ένα Ant Foraging Model

Πλήθος βιολόγων και εντομολόγων έχουν παρατηρήσει μυρμήγκια στην άγρια φύση (Holldobler & Wilson, 1998; Wilson, 1974) και έχουν περιγράψει τον τρόπο με τον οποίο τα μυρμήγκια δημιουργούν μονοπάτια για την μεταφορά της τροφής τους από την πηγή στις φωλιές τους. Θα περιγράψουμε κάποια υποθετικά σενάρια για τον τρόπο με τον οποίο τα μυρμήγκια καταφέρνουν αυτή την συμπεριφορά και τι μηχανισμούς χρησιμοποιούν ώστε να βρουν τροφή με αυτό τον τρόπο.
Ας υποθέσουμε ότι το μονοπάτι σχηματίζεται ακολούθως: Από την στιγμή που το μυρμήγκι βρίσκει την τροφή του, επιστρέφει πίσω στην φωλιά, ρίχνει λίγη ποσότητα φαγητού και επικοινωνεί με την βασίλισσα. Η βασίλισσα με την σειρά της, στέλνει τα υπόλοιπα μυρμήγκια εκεί που υπάρχει φαγητό για να το συλλέξουν. Ας υποθέσουμε ότι ένας ερευνητής παρατηρεί ότι το μυρμήγκι που βρίσκει το φαγητό, δεν επικοινωνεί ποτέ με κανένα μυρμήγκι-αρχηγό πριν ξαναφύγει από την φωλιά του. Ο ερευνητής είναι πιθανό να εικάσει ότι η συλλογή φαγητού δεν λειτουργεί με έναν κεντρικό ηγέτη που ελέγχει, αλλά λειτουργεί καλύτερα με κατανεμημένο έλεγχο.

NetLogo links

https://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/Ants
http://www.netlogoweb.org/launch#http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/models/Sample%20Models/Biology/Ants.nlogo