

τα cellular automata στο σχεδιασμό

μια προσέγγιση στις αναδρομικές  
σχεδιαστικές διαδικασίες

Ηρώ Δημητρίου

επιβλέπων Σωκράτης Γιαννούδης



Πολυτεχνείο Κρήτης  
Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών

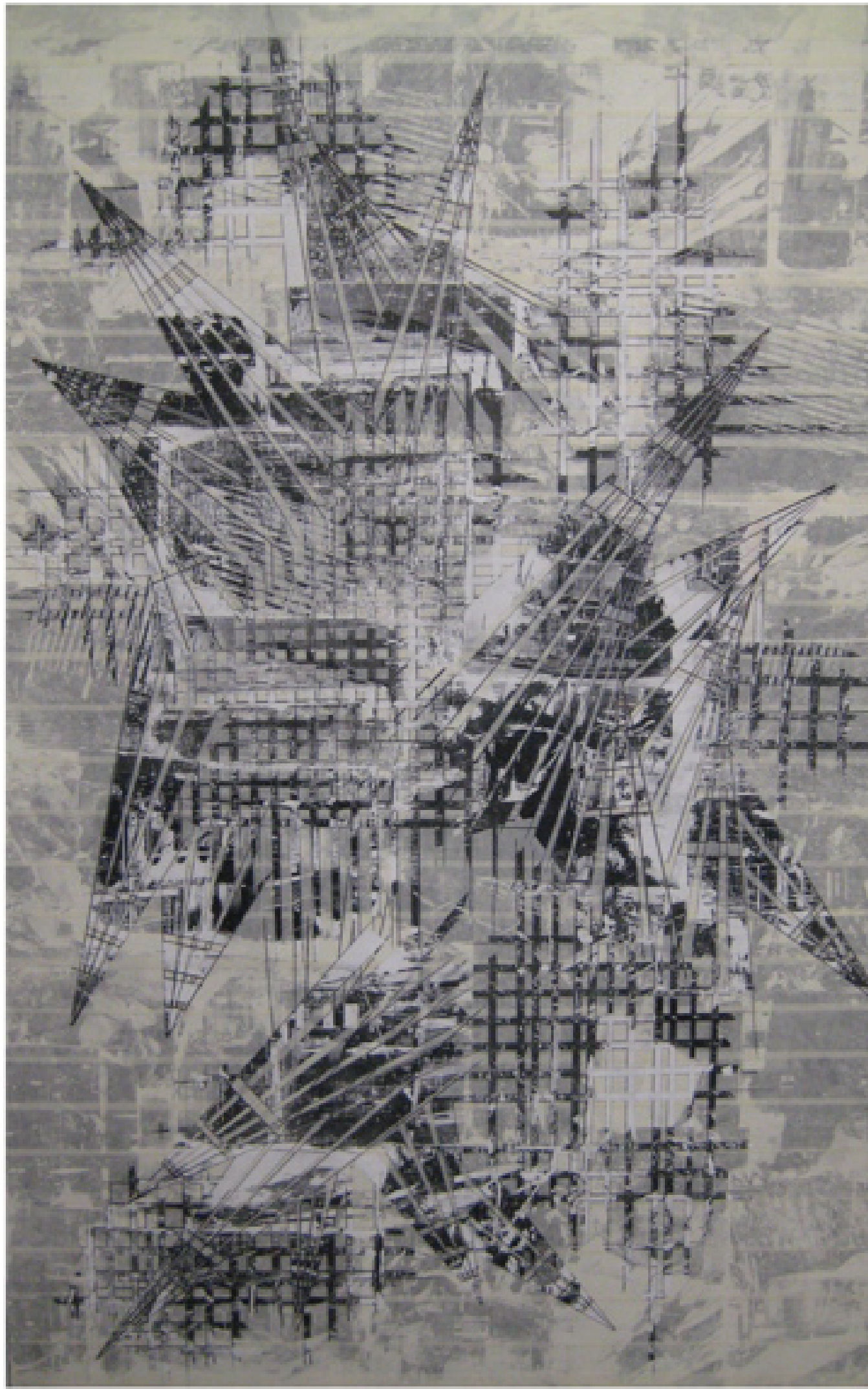
ερευνητική εργασία  
επιβλέπων καθηγητής

Ηρώ Δημητρίου  
Σωκράτης Γιαννούδης

# **Τα Cellular Automata στο σχεδιασμό**

μια προσέγγιση στις αναδρομικές σχεδιαστικές διαδικασίες

Χανιά, Μάιος 2013

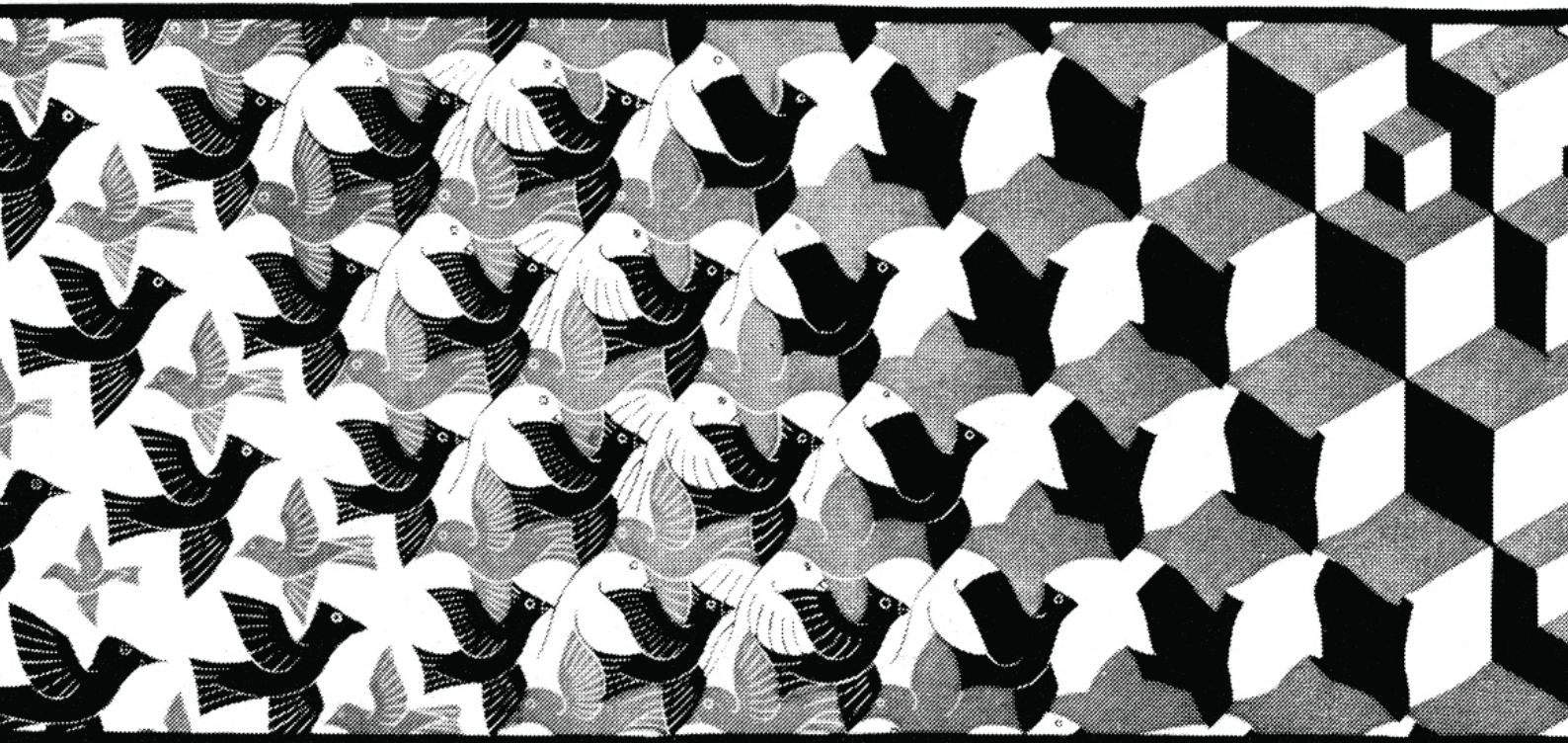


Chaos and Order - Carlo Allarde



## περιεχόμενα

0001. εισαγωγή	7
0010. χάος και πολυπλοκότητα	13
a. μια ιστορική αναδρομή στο χάος: Henri Poincare - Edward Lorenz	17
b. το χάος	22
c. η πολυπλοκότητα	23
d. αυτοοργάνωση και emergence	29
0011. cellular automata	31
0100. τα cellular automata στο σχεδιασμό	39
a. τα CA στην αρχιτεκτονική: Paul Coates	45
b. η φιλοσοφική προσέγγιση της διεπιστημονικότητας του σχεδιασμού	57
c. προσομοίωση της αστικής ανάπτυξης μέσω CA	61
d. η περίπτωση της Changsha	63
0101. συμπεράσματα	71
βιβλιογραφία	77



1. Metamorphosis II - M.C. Escher



*Η επιστήμη εξακολουθεί να είναι η εξ αποκαλύψεως προφητική  
περιγραφή του κόσμου, όπως αυτός φαίνεται από ένα θεϊκό ή  
δαιμονικό σημείο αναφοράς.*

Ilya Prigogine

0001.



Στοιχεία της τρέχουσας αρχιτεκτονικής θεωρίας και μεθοδολογίας προτείνουν μια εναλλακτική λύση στις πάγιες αρχιτεκτονικές μεθοδολογίες και σε ορισμένες περιπτώσεις υιοθετούν πτυχές του νέου τρόπου της κατανόησής μας για την επιστήμη. Αυτά τα στοιχεία εμπίπτουν σε τρεις κατηγορίες. Πρώτον, μεθοδολογίες που προτείνουν μια εναλλακτική λύση για τη γραμμικότητα και την αιτιοκρατία της παραδοσιακής αρχιτεκτονικής σχεδιαστικής διαδικασίας και θίγουν τον κεντρικό έλεγχο του αρχιτέκτονα, δεύτερον, η πρόταση μιας μεθοδολογίας με βάση την προσομοίωση της αυτο-οργάνωσης στην ανάπτυξη και εξέλιξη των φυσικών συστημάτων και τρίτον, σε ορισμένες περιπτώσεις, συναρτήσει των δύο προηγούμενων, είναι μεθοδολογίες οι οποίες πειραματίζονται με την αναδυόμενη μορφή σε εικονικά περιβάλλοντα.<sup>1</sup>

Οι ψηφιακές προσεγγίσεις στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό βασίζονται σε υπολογιστικές έννοιες όπως τοπολογικός χώρος, ισομορφικές επιφάνειες, κινηματική και δυναμική κίνηση, παραμετρικός σχεδιασμός και αναδρομικός σχεδιασμός που βασίζεται σε γενετικούς αλγόριθμους. Νέες κατηγορίες θα μπορούσαν να προστεθούν σε αυτή την ταξινόμηση, καθώς νέες διεργασίες εισάγονται στο σχεδιασμό, βασισμένες σε νέες αναδυόμενες υπολογιστικές προσεγγίσεις. Η συγκεκριμένη εργασία ασχολείται με την τελευταία κατηγορία σχεδιασμού που αναφέρθηκε, η οποία χρησιμοποιεί την υπολογιστική πολυπλοκότητα και τους γενετικούς αλγόριθμους για την βελτιστοποίηση του σχεδιασμού και ως πρακτική εφαρμογή τους, τα Cellular Automata (κυτταρικά αυτόματα).

Το εν λόγω είδος εξελικτικής ή αναδρομικής αρχιτεκτονικής προτείνει ένα φυσικό μοντέλο ως βάση για την σχεδιαστική διαδικασία. Σε αυτή την προσέγγιση, σύμφωνα με τον John Frazer, οι αρχιτεκτονικές έννοιες εκφράζονται ως κανόνες για το σχεδιασμό, έτσι ώστε η εξέλιξη και η ανάπτυξή τους μπορεί να επιταχυνθεί και να δοκιμαστεί από τη χρήση υπολογιστικών μοντέλων. Διάφορες παράμετροι κωδικοποιούνται ώστε να αλληλεπιδρούν και να μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας. Μια σειρά από όμοιες μορφές-ψευδοοργανισμοί παράγονται, κι έπειτα επιλέγονται κάποια από τα παραγόμενα στοιχεία, βάσει προκαθορισμένων κριτηρίων καταλληλότητας. Οι επιλεγμένοι οργανισμοί και οι αντίστοιχες τιμές παραμέτρων που προκύπτουν, κάθε φορά αποκτούν την πληροφορία που χρειάζονται, για την ενίσχυσή τους και την επιβίωση στις νέες γενιές. Οι βέλτιστες λύσεις προέρχονται από μικρές και σταδιακές αλλαγές στην διάρκεια πολλών γενεών.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Coates Paul, *The use of Cellular Automata to explore bottom up architectonic rules*, 14th Annual Conference, March 1996 London: Eurographics Association UK

<sup>2</sup> Kolarevic Branko, *Designing and Manufacturing Architecture in the Digital Age*, University of Pennsylvania, USA

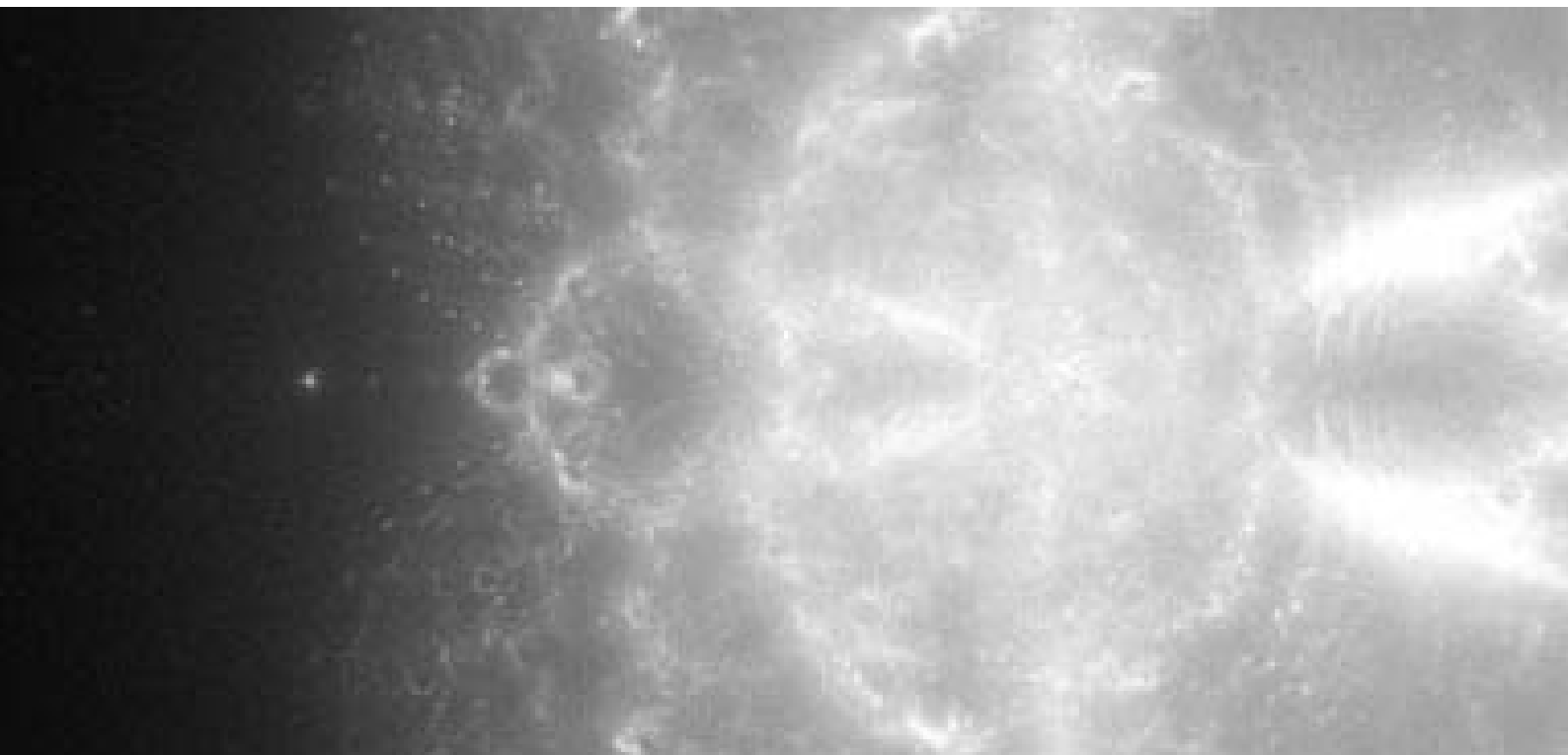
Έναυσμα για την εργασία υπήρξε το ερώτημα για το αν η αρχιτεκτονική είναι ικανή και σήμερα να ακολουθήσει τις εξελίξεις στο χώρο των θετικών επιστημών, τόσο σε θεωρητικό, όσο και σε πρακτικό επίπεδο. Η ανάπτυξη των μη-γραμμικών επιστημών και των υπολογιστικών συστημάτων, πως μπορούν να προσφέρουν στην εξέλιξη της αρχιτεκτονικής; Μπορεί η αρχιτεκτονική να απαντήσει στην όλο και αυξανόμενη πολυπλοκότητα σε όλους τους τομείς της ζωής και στις πόλεις ως κοινωνικά, πολιτιστικά και θεσμικά συστήματα, μέσω της μεταφοράς φυσικών δομών στο σχεδιασμό, όχι με τη βιομιμητική έννοια της μορφής, ή της λειτουργίας της δομής, αλλά με τη μεταφορά της διαδικασίας ανάπτυξης της μορφής; Στην εποχή που ο σχεδιασμός στηρίζεται σε τόσο μεγάλο βαθμό στον υπολογιστή, τι προεκτάσεις μπορεί να έχει αυτό στη διαδικασία του σχεδιασμού και πως μπορεί να ευνοήσει νέες προσεγγίσεις στη σχεδιαστική λογική και όχι μόνο στα μέσα αναπαράστασης;

Σκοπός της εργασίας είναι να εξετάσει την εφαρμογή των CA, πολύπλοκων συστημάτων, στο σχεδιασμό. Με στόχο την καλύτερη κατανόηση αυτής της διαδικασίας, αρχικά, θα αναλυθεί το θεωρητικό και επιστημονικό υπόβαθρο της λειτουργίας των CA, το οποίο αφορά στην ανάπτυξη της θεωρίας του χάους και της πολυπλοκότητας. Το αιτιοκρατικό χάος είναι το βασικό χαρακτηριστικό των πολύπλοκων συστημάτων, τα οποία αρχικά παρατηρήθηκαν σε φυσικές δομές και διαδικασίες κι έπειτα αναλύθηκαν με μαθηματικούς όρους και εφαρμόστηκαν σε πολλούς επιστημονικούς τομείς. Θα αναφερθούν τα βασικά χαρακτηριστικά που διέπουν τη λειτουργία πολύπλοκων συστημάτων, έτσι ώστε να γίνει αντιληπτή η διαδικασία με την οποία λειτουργούν και η σχέση τους με το σχεδιασμό. Έπειτα θα γίνει μια περιγραφή της λειτουργίας των CA και στη συνέχεια θα αναλυθούν δύο παραδείγματα διαφορετικής χρήσης τους στο σχεδιασμό. Το πρώτο παράδειγμα είναι μια εργασία του Paul Coates, στην οποία δημιουργήθηκε μια αρχική αρχιτεκτονική δομή με CA και στη συνέχεια εξετάστηκαν περιπτώσεις περαιτέρω επεξεργασίας της σε επίπεδο ογκοπλασίας. Η δεύτερη εφαρμογή που θα εξεταστεί είναι μια ανάλυση αστικής κλίμακας, από ομάδα ερευνητών στο Πανεπιστήμιο της Chang-sha, στην Κίνα. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή, αστικά στοιχεία όπως το οδικό δίκτυο και οι χρήσεις γης εισάγονται ως δεδομένα σε ένα πρόγραμμα προσομοίωσης βασισμένο σε CA, με σκοπό την ανάλυση και πρόβλεψη της αστικής ανάπτυξης. Τα δύο αυτά παραδείγματα επιλέχθηκαν ως αντιπροσωπευτικά και λόγω της πληρότητας τους σε δεδομένα. Ωστόσο δε βρέθηκε κάποιο παράδειγμα το οποίο να συνδυάζει την αναλυτική και τη συνθετική χρήση των CA στο σχεδιασμό και να αντιμετωπίζει τη μέθοδο συνολικά. Μέσω των παραδειγμάτων, θα ερευνηθεί η πρακτική χρήση αυτών των πολύπλοκων υπολογιστικών συστημάτων στο σχεδιασμό και σε ένα επόμενο επίπεδο ανάλυσης, η γενικότερη προσέγγιση του σχεδιασμού από τον αρχιτέκτονα μέσω προγραμμάτων τα οποία εισάγουν, ως ένα βαθμό, την αυτοματοποίηση στη διαδικασία του σχεδιασμού. Η προσπάθεια για μια πιο συνολική ανάλυση και αξιολόγηση των παραπάνω θα έχει αναφορά στη φιλοσοφική σκέψη του Manuel De Landa, η οποία αναλύει τις αυτοματοποιημένες



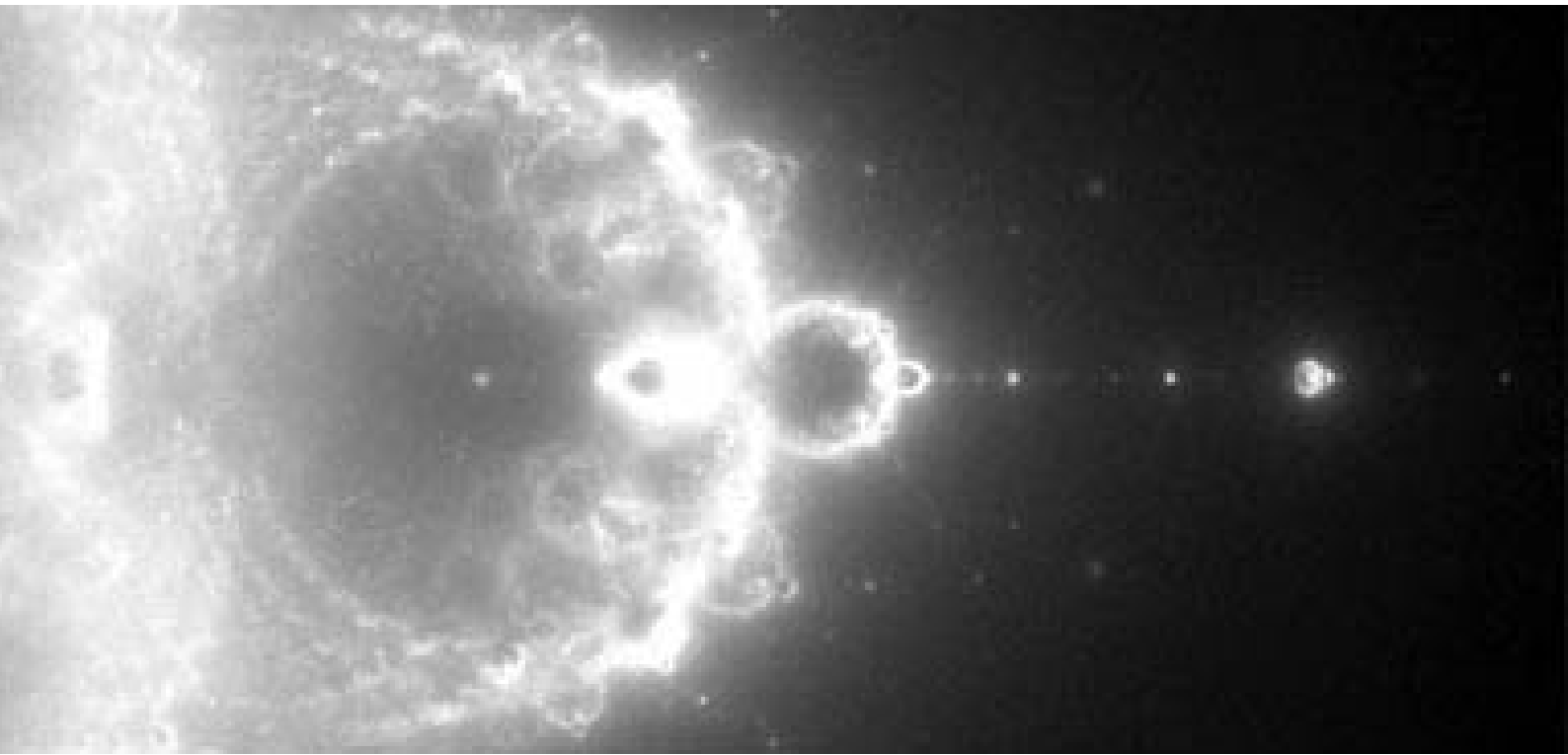
διεργασίες μέσω υπολογιστών στην αρχιτεκτονική.

Όσον αφορά τη βιβλιογραφικές πηγές, σημαντικές ήταν αυτές που βοήθησαν στην κατανόηση επιστημονικών εννοιών, όπως του James Gleick, *Χάος: μια νέα επιστήμη*, και του John Johnston, *The Allure of Machinic Life*, αλλά και της νέας φιλοσοφίας των μη-γραμμικών επιστημών όπως των Ilya Prigogine και Isabelle Stengers, *Τάξη μέσα από το χάος*. Επιπλέον όμως, κύρια βάση για την παρούσα εργασία υπήρξαν άρθρα από πανεπιστημιακές μελέτες σε αρχιτεκτονικές σχολές, καθώς η εφαρμογή των CA στο σχεδιασμό αποτελεί έναν τομέα εν εξελίξει.



2. Buddhabrot - Jarred Tarbell

0010. χάος και πολυπλοκότητα



*Τίποτε στη φύση δεν είναι τυχαίο. Ένα πράγμα μπορεί να φαίνεται τυχαίο μόνο εξαιτίας της ελλιπούς μας γνώσης.*

Baruch Spinoza



Μέχρι και πριν τουλάχιστον μισό αιώνα, ο όρος χάος περιέγραφε την καταστροφή ή την αταξία. Υπήρχε η πεποίθηση ότι όταν το χάος ενυπάρχει σε συστήματα οποιασδήποτε φύσεως προκαλεί την αναπόδραστη αποδόμησή τους και η επικράτηση του χάους σημαίνει την ολική αποδιοργάνωση. Χαώδες θεωρείτο οτιδήποτε που δεν υπόκειται σε νόμους της κλασικής φυσικής και συνεπώς παραμένει απρόβλεπτο και ανεξέλεγκτο. Όμως οι νόμοι της φύσης κατά κύριο λόγο συντελούν σε χαώδεις συμπεριφορές. Όπως σήμερα γνωρίζουμε, πρόκειται για το φαινόμενο που έχει ορισθεί ως ντετερμινιστικό χάος. Με την έρευνα τέτοιου είδους φαινομένων, οι επιστήμονες διαπίστωσαν ότι είναι εγγενώς μη γραμμικά, δηλαδή δεν είναι δυνατόν να προβλεφθεί η μελλοντική τους συμπεριφορά, ακόμη και αν γνωρίζουμε επαρκώς τις αρχικές συνθήκες ή τις προγενέστερες καταστάσεις τους στο πέρασμα του χρόνου. Εντούτοις αυτό ακριβώς το χαρακτηριστικό είναι που πλέον έχει καταστήσει το χάος επίσημο επιστημονικό αντικείμενο και απαραίτητο παράγοντα για την περαιτέρω κατανόηση του κόσμου που μας περιβάλλει. Η μη γραμμική δυναμική, η εγγενής αστάθεια δηλαδή, όροι που θα αναλυθούν παρακάτω, θεωρούνται πλέον τυπικά γνωρίσματα των πολύπλοκων δομών, όπως για παράδειγμα η ανάπτυξη ενός έμβιου οργανισμού, ή οι κατά τόπους μετεωρολογικές συνθήκες, ή ακόμη και το παγκόσμιο χρηματοπιστωτικό σύστημα.



4. Jules Henri Poincaré (1854 - 1912)



5. η τροχιά του αστεροειδούς με τα δύο άστρα ακίνητα



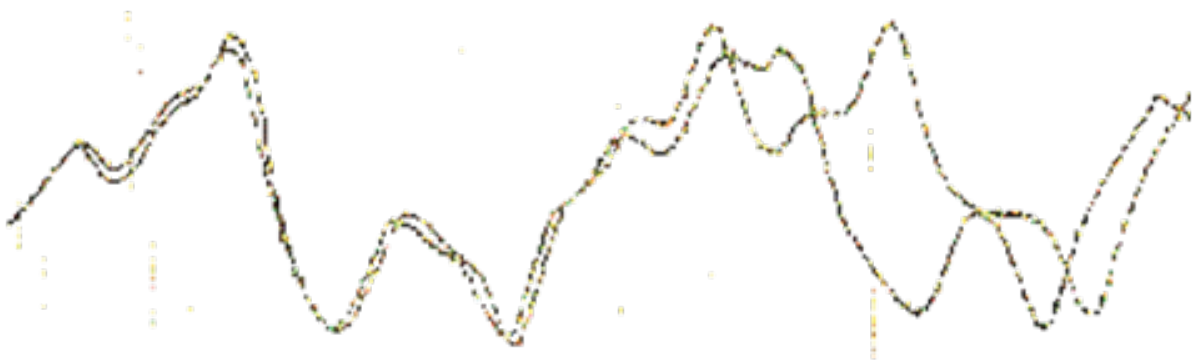
a. μια ιστορική αναδρομή στο χάος:  
Henri Poincare - Edward Lorenz

Ως το τέλος 19ου αιώνα, η τροχιά ουράνιων σωμάτων υπολογιζόταν κατά προσέγγιση, σύμφωνα με τους νόμους του Newton και του Kepler. Οι κινήσεις τους θεωρούνταν περιοδικές και με κανονικότητα ανάλογη της κίνησης ενός εκκρεμούς. Εκείνη την εποχή όμως, ο Γάλλος μαθηματικός και αστρονόμος Henri Poincare (1854-1912), με το έργο του, θα αναθεωρούσε τις βασικές αρχές της Νευτώνειας μηχανικής και θα έθετε τα θεμέλια της επιστήμης των δυναμικών συστημάτων και της θεωρίας του αιτιοκρατικού χάους, με τη σημερινή έννοια. Σε μια εργασία του η οποία αφορούσε στη σταθερότητα του ηλιακού μας συστήματος και το πρόβλημα των ουράνιων σωμάτων, ο Poincare εργάστηκε κυρίως με συστήματα διαφορικών εξισώσεων, με τη μορφή που είχαν από την εποχή του Newton. Απλοποίησε το πρόβλημα υποθέτοντας ότι υπάρχουν μόνο 3 σώματα που κινούνται στο επίπεδο (και όχι στον τρισδιάστατο χώρο). Τα δύο είχαν μεγάλη μάζα και το τρίτο έχει απειροελάχιστα μικρή μάζα, αμελητέα σε σχέση με τα άλλα δύο. Ο Poincare υπέθεσε επίσης ότι οι αρχικές συνθήκες, οι θέσεις και οι ταχύτητες των δύο άστρων ήταν τέτοιες ώστε αυτά να κινούνται με σταθερή ταχύτητα και σε ελλειπτική τροχιά.

Περίληπτικά το θέμα είχε ως εξής: Υποθέτουμε ότι κοιτάμε τα δύο άστρα πάνω από το επίπεδο που κινούνται, περιστρεφόμενοι και εμείς μαζί, ώστε να εμφανίζονται σταθερά. Στο αριστερό άκρο της ευθείας, βρίσκεται το σώμα με τη μεγαλύτερη μάζα και στο δεξί το δεύτερο μεγάλο σώμα, με μάζα μικρότερη του πρώτου. Σε αυτή την τροχιά, το μικροσκοπικό σώμα κινείται μπρος - πίσω ανάμεσα στα δύο μεγαλύτερα σώματα, για μεγάλο χρονικό διάστημα και αποκτά μεγάλη ταχύτητα καθώς καταλήγει να ξεφύγει προς τα δεξιά, ώστε να μην επιστρέψει πάλι. Αν θέσουμε διαφορετική την αρχική θέση του αστεροειδούς, αυτός παραμένει άλλοτε κοντά στο μεγάλο άστρο και άλλοτε κοντά στο μικρό. Μια απειροελάχιστη αλλαγή στην αρχική θέση ή ταχύτητα του αστεροειδούς δίνει εντελώς διαφορετική τροχιά ως αποτέλεσμα. Άρα είναι αδύνατο να προβλεφθεί η τροχιά του αστεροειδούς, αν και το φαινόμενο είναι αιτιοκρατικό και οι νόμοι που το διέπουν έχουν πλήρη μαθηματική διατύπωση. Με αυτόν τον τρόπο, ο Poincare έδειξε τη χαώδη συμπεριφορά του Ηλιακού συστήματος, ενός μη γραμμικού συστήματος. Έγινε λοιπόν κατανοητό πως απείρως μικρές αλλαγές συνθηκών, μέσω ανάδρασης, επιδρούν καταλυτικά στο σύστημα. Όπως θα αναλυθεί και παρακάτω, η εν λόγω ιδιότητα αναφέρεται σήμερα ως ευαισθησία στις αρχικές συνθήκες. Πέρασαν περίπου ογδόντα χρόνια για να επαναχρησιμοποιηθεί η ανακάλυψη του Poincare, από τον μετεωρολόγο Edward Lorenz. Η πρόβλεψη της τροχιάς των τριών σωμάτων παραμένει άλυτο πρόβλημα.



6. Edward Norton Lorenz (1917 – 2008)



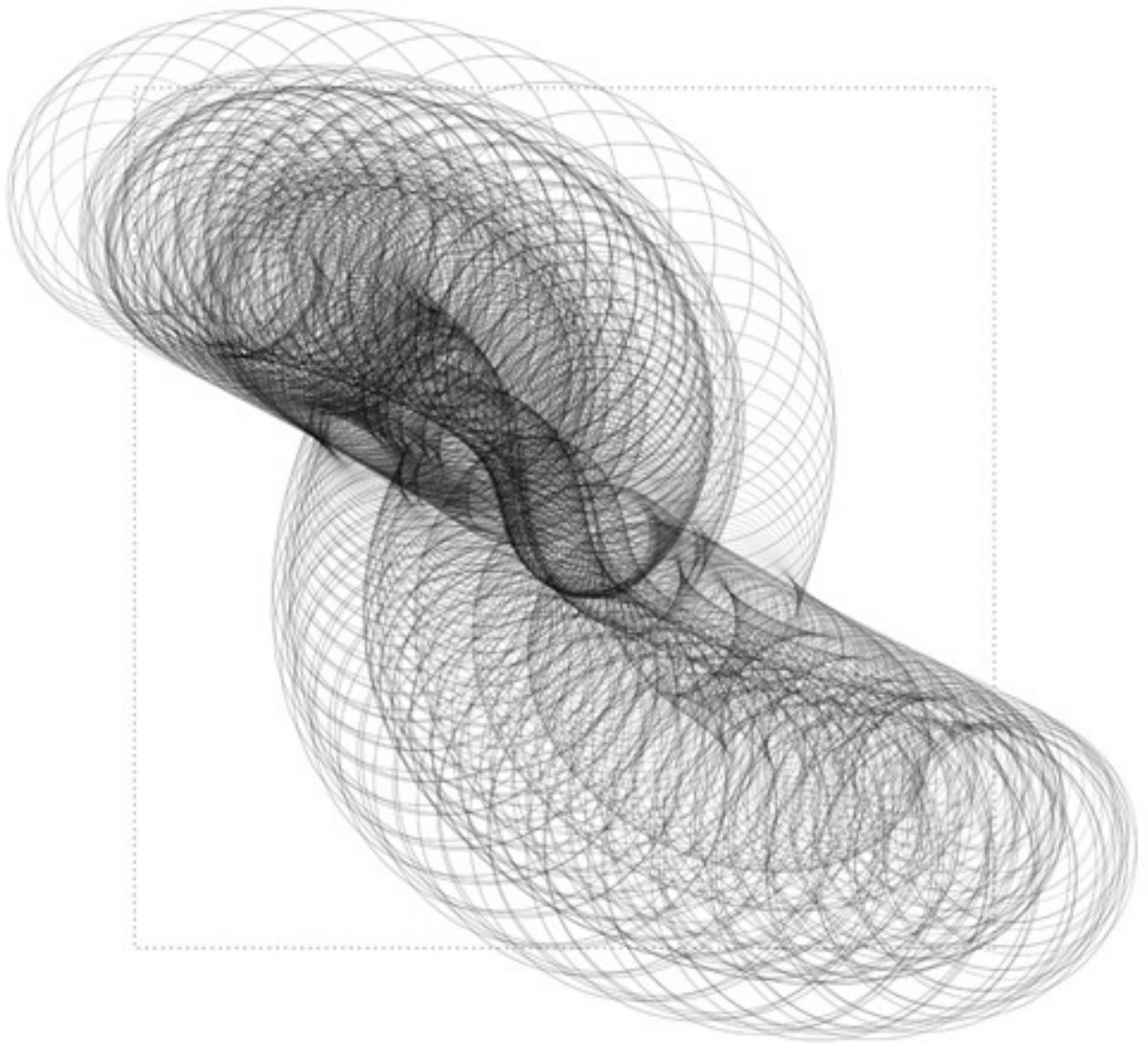
7. εκτύπωση του Lorenz το 1961  
από το ίδιο σχεδόν αρχικό σημείο,  
οι δυο παραστάσεις του καιρού,  
με την πάροδο του χρόνου,  
χάνουν κάθε ομοιότητα.

Ο Lorenz ήταν αυτός που επεσήμανε την μη-προβλεψιμότητα, σε βάθος χρόνου, στα ντετερμινιστικά συστήματα διαφορικών εξισώσεων, τα οποία χρησιμοποιούσε για την μελέτη των καιρικών συνθηκών. Ο Lorenz είχε δημιουργήσει ένα μοντέλο προσομοίωσης της εξέλιξης του καιρού, σε έναν από τους πρώτους ηλεκτρονικούς υπολογιστές της εποχής. Κατέληξε σε ένα σύστημα 12 διαφορικών εξισώσεων που εξέφραζαν τις σχέσεις ανάμεσα στις μεταβλητές από τις οποίες εξαρτάται η εξέλιξη του καιρού όπως η θερμοκρασία, η πίεση και η ταχύτητα του ανέμου. Χρησιμοποιώντας αριθμητική μέθοδο για την επίλυση του συστήματος, κάθε ένα λεπτό εργασίας ο υπολογιστής τύπωνε μια σειρά αριθμούς, οι οποίοι αντιστοιχούσαν στην εξέλιξη του καιρού μιας ολόκληρης μέρας. Η εξέλιξη του καιρού ήταν προδιαγεγραμμένη από τις διαφορικές εξισώσεις και την αρχική συνθήκη. Κάποτε ο Lorenz, θέλοντας να εκτυπώσει μια ακολουθία της εξέλιξης του καιρού μεγαλύτερου μήκους, αντί να αρχίσει από την αρχή, άρχισε από τη μέση των υπολογισμών της προηγούμενης μέρας. Πληκτρολόγησε τους αριθμούς κατευθείαν από την προηγούμενη τυπωμένη σελίδα. Το αποτέλεσμα ήταν απρόσμενο· η νέα εκτέλεση, που θα έπρεπε να είναι ίδια με την παλιά, διέφερε τελείως από κάποιο σημείο κι έπειτα, ώστε οι καιρικές συνθήκες μετά από κάποιους μήνες είχαν χάσει κάθε ομοιότητα με αυτές που είχε εξαγει ο υπολογιστής την προηγούμενη μέρα. Η απόκλιση οφειλόταν στο γεγονός ότι τα νούμερα που επανεισήγαγε ο Lorenz είχαν λιγότερα δεκαδικά ψηφία από εκείνα που αποθήκευε ο υπολογιστής. Ο Lorenz είχε πληκτρολογήσει τον αριθμό στρογγυλοποιημένο, υποθέτοντας ότι η διαφορά ενός χιλιοστού δε θα είχε συνέπειες. Το συμπέρασμα ήταν ότι, στο συγκεκριμένο μοντέλο, και η ελάχιστη έλλειψη ακρίβειας είναι καθοριστική, κάτι που αργότερα έγινε ένα από τα γενικά χαρακτηριστικά των χαοτικών συστημάτων.

Στη συνέχεια ο Lorenz απλοποίησε το μοντέλο του, κατασκευάζοντας ένα σύστημα διαφορικών εξισώσεων σε τρεις διαστάσεις και όχι δώδεκα. Στην εικόνα 8 παρουσιάζεται ένα μέρος της τροχιάς της λύσης, που σήμερα ονομάζεται Ελκυστής του Lorenz.

Η παραπάνω εικόνα αποκαλύπτει τη μικροσκοπική δομή που ελόχευε μέσα στην άτακτη ροή δεδομένων και προσδιορίζεται με τη μέθοδο της αριθμητικής επίλυσης. Είναι η απεικόνιση μιας λύσης συστήματος διαφορικών εξισώσεων με τρεις μεταβλητές για μια δεδομένη αρχική συνθήκη. Κάθε στιγμή οι τρεις μεταβλητές προσδιορίζουν τη θέση ενός σημείου στον τρισδιάστατο χώρο. Με τη μεταβολή του συστήματος, η κίνηση του σημείου παριστάνει την εξέλιξη του συστήματος στο χρόνο. Για ορισμένο χρονικό διάστημα η τροχιά του σημείου μοιάζει με πεταλούδα ή σαν ένα είδος διπλής έλικας. Ολόκληρος ο ελκυστής είναι αδύνατο να σχεδιαστεί καθώς οποιαδήποτε τροχιά είναι άπειρη. Παρότι οι τροχιές κινούνται επ' άπειρον στις τρεις διαστάσεις, παραμένουν σε μια πεπερασμένη περιοχή, χωρίς να τέμνονται ή να επαναλαμβάνονται περιοδικά κι έτσι εμφανίζεται ένα είδος άπειρης πολυπλοκότητας. Η ακολουθία των αριθμών που παράγει την τροχιά δεν επαναλαμβάνεται ποτέ, πρόκειται για πλήρη αταξία και ταυτόχρονα αποτελεί και το νέο είδος τάξης.

0010.



8. ο παράξενος ελκυστής του Lorenz

Μετά από αρκετό χρόνο, κάθε τροχιά, καταλήγει σε μια περιοχή, τον ελκυστή του συστήματος. Δεν πρόκειται όμως για κανονικό ελκυστή, δεν ανήκει σε οποιοδήποτε είδος ήδη γνωστό και αυτό το γεωμετρικό σύνολο δεν έχει καμιά συνήθη ιδιότητα· αργότερα το είδος αυτού του ελκυστή ονομάστηκε από τους David Ruelle και Floris Takens παράξενος ελκυστής και είναι μορφοκλασματικό σύνολο (fractal).

Η ευαισθησία στις αρχικές συνθήκες, ως φαινόμενο, ονομάστηκε φαινόμενο της πεταλούδας. Σύμφωνα με μια από τις διατυπώσεις, λέγεται ότι αν μια πεταλούδα κινήσει τα φτερά της στον Αμαζόνιο, μπορεί να φέρει βροχή στην Κίνα. Μια απειροελάχιστη μεταβολή στη ροή των γεγονότων οδηγεί, με την πάροδο αρκετού χρόνου, σε μια ιστορική εξέλιξη του συστήματος δραματικά διαφορετική από την περίπτωση στην οποία δεν θα είχε συμβεί η μεταβολή αυτή. Η έλλειψη προβλεψιμότητας δεν οφείλεται σε ανεπάρκεια της μαθηματικής περιγραφής των φαινομένων ή σε ελλιπή γνώση των φυσικών νόμων που τα διέπουν. Απορρέει κυρίως από το γεγονός ότι τα περισσότερα φυσικά φαινόμενα περιγράφονται από εξισώσεις που είναι μη γραμμικές και περιέχουν πολλές μεταβλητές, αλληλοεξαρτώμενες πολύπλοκα.

## b. το χάος

Έτσι, το αιτιοκρατικό χάος έγινε επιστημονικό αντικείμενο. Οι ορισμοί που έχουν διατυπωθεί για αυτό είναι πολλοί, όμως συγκλίνουν. Ένας ολοκληρωμένος και σαφής ορισμός είναι αυτός που το θέτει ως τη μη-γραμμική συμπεριφορά ενός πολύπλοκου συστήματος με κείμενη αιτιοκρατική τάξη.<sup>3</sup>

Ο Valle Vicente παραθέτει τα κύρια χαρακτηριστικά χαοτικών συστημάτων. Πρώτον, το ότι το σύστημα είναι δυναμικό, σημαίνει ότι αλλάζει με την πάροδο του χρόνου. Δεύτερον, το ότι η συμπεριφορά του συστήματος είναι ασταθής και απεριοδική σημαίνει ότι δεν επαναλαμβάνεται. Τρίτον, αν και η χαοτική συμπεριφορά είναι πολύπλοκη, μπορεί να έχει απλά αίτια. Τέταρτον, επειδή το σύστημα είναι μη-γραμμικό, είναι ευαίσθητο στις αρχικές συνθήκες. (Μη γραμμικότητα σημαίνει ότι η έξοδος του συστήματος δεν είναι ανάλογη με την είσοδο και ότι το σύστημα δεν είναι σύμφωνο με την αρχή της προσθετικότητας, δηλαδή, αυτό μπορεί να περιλαμβάνει αλληλεπιδράσεις οι οποίες, στο σύνολο, δεν είναι ίσες με το άθροισμα των επιμέρους μελών της). Πέμπτον, επειδή το σύστημα είναι ντετερμινιστικό, η χαοτική συμπεριφορά δεν είναι τυχαία, παρόλο που η απεριοδικότητα και η μη προβλεψιμότητα μπορεί να φαίνονται να είναι τέτοιες. Από την άλλη πλευρά, λόγω της αστάθειας, της απεριοδικότητας, και της ευαισθησίας στις αρχικές συνθήκες, η συμπεριφορά των χαοτικών συστημάτων δεν είναι προβλέψιμη, ακόμη και αν είναι αιτιοκρατική. Ένα τελευταίο χαρακτηριστικό του χάους, είναι αυτό της επανάληψης ή ανάδρασης, στην οποία η έξοδος του συστήματος χρησιμοποιείται σαν είσοδος στο επόμενο υπολογισμό.

<sup>3</sup> Valle Vicente Jr., *Chaos, Complexity and Deterrence*, Core Course 5605, April 19, 2000

<sup>4</sup> Valle Vicente Jr., *Chaos, Complexity and Deterrence*, Core Course 5605, April 19, 2000



### ς. η πολυπλοκότητα

Η επιστήμη του χάους και της πολυπλοκότητας αναπτύσσεται ραγδαία τις τελευταίες δεκαετίες τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο. Την ανάπτυξη αυτού του επιστημονικού κλάδου ευνόησαν κυρίως οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές καθώς οι μη γραμμικές εξισώσεις που υπεισέρχονται στην μελέτη της πολυπλοκότητας μπορούν να αντιμετωπιστούν μόνο με ισχυρή υπολογιστική ισχύ. Ο επιστημονικός αυτός κλάδος στηρίζεται και εξελίσσεται βάσει όμοιων μαθηματικών εργαλείων, δηλαδή μη γραμμικών εξισώσεων, ανεξάρτητα από τον κλάδο τον οποίο αφορά, που πλέον είναι πολλοί, όπως η Βιολογία, η Θεωρία της Σχετικότητας, η Κλιματολογία, η Φυσική πλάσματος, η Φυσική των υλικών, η Αστρονομία, η Κβαντομηχανική, η Θερμοδυναμική, η Οπτική, η Σεισμολογία, η Αρχιτεκτονική, η Γλωσσολογία, η Οικονομολογία και η Διαστημική.

Οι θεωρητικοί της πολυπλοκότητας την προσδιόρισαν ως ένα επιστημονικό πεδίο το οποίο αφορά τις έμβιες δομές και της ιδιότητες του emergence, όρο τον οποίο θα αναλύσουμε παρακάτω. Αυτό σημαίνει πως ένα πολύπλοκο σύστημα δεν δημιουργείται απλώς από την αλληλεπίδραση επιμέρους συστημάτων σε συνδυασμό, είτε με άλλο τυχαίο τρόπο, αλλά δημιουργείται μέσω της αυτο-οργανωμένης φύσης του. Σύμφωνα με τον Gary William Flake, η θεωρία της πολυπλοκότητας είναι η μελέτη του τρόπου με τον οποίο αλληλεπιδρούν τα αυτο-οργανούμενα μέρη εν δυνάμει εξελισσόμενων δομών, παρουσιάζοντας ιεραρχία στις αναδυόμενες ιδιότητες του συστήματος. Στην ουσία, χαοτική είναι η συμπεριφορά που διέπει κάθε πολύπλοκο σύστημα. Μπορούμε να πούμε ότι τα κύρια χαρακτηριστικά ενός πολύπλοκου συστήματος είναι δώδεκα.<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Batty Michael – Longley Paul A. (edit), *Fractal Cities – a geometry of form and function*, Academic Press Limited, London, 1994

0010.



9. κοχύλι του γένους *conus*  
παρουσιάζει διαμόρφωση σύμφωνα με τον κανόνα 3θ των CA

### 1 - Ποικιλία (Variety)

Τα εν λόγω συστήματα αποτελούνται από μια ποικιλία υποσυστημάτων ή μεγάλο αριθμό στοιχείων – παραγόντων, τα οποία αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.

### 2 - Μη διαιρετότητα (Irreducibility)

Όρος γνωστός και ως Gestalt, επισημαίνει το γεγονός πως το σύστημα αναδύεται (emerge) από τα μέλη του είναι αδύνατον να ανασκευαστεί απλώς ενώνοντάς τα. Το όλο είναι κάτι διαφορετικό από το άθροισμα των επιμέρους στοιχείων του.

### 3 - Αιτιοκρατικό χάος (Deterministic chaos)

Ενώ ένα απλό αιτιοκρατικό σύστημα με λίγα στοιχεία μπορεί να αναπτύξει οποιαδήποτε συμπεριφορά με οποιαδήποτε έκβαση, σε ένα πολύπλοκο αιτιοκρατικό σύστημα, φαινομενικά τυχαίες συμπεριφορές δεν παραβιάζουν τους γενικούς κανόνες του συνόλου.

### 4 - Θετική και αρνητική ανατροφοδότηση (Positive and negative feedback)

Η αλλιώς αναδρομή (recursion), είναι ο όρος που περιγράφει τα αποτελέσματα μιας αλλαγής μέσα στο σύστημα και το πως το σύστημα επηρεάζεται από τις προηγούμενες καταστάσεις του.

### 5 - Ευαισθησία στις αρχικές συνθήκες (Sensitivity to initial conditions)

Όπως αναφέραμε και με το φαινόμενο της πεταλούδας, σημαίνει πως απείρως μικρές αλλαγές σε μια αρχική συνθήκη είναι ικανές να προκαλέσουν δραματικά διαφορετικά εξαγόμενα αποτελέσματα.

### 6 - Περιορισμένη προβλεψιμότητα (Limited predictability)

Τα πολύπλοκα συστήματα, λόγω της ευαισθησίας που αναφέραμε, έχουν προβλέψιμη συμπεριφορά βραχυπρόθεσμα, όμως όχι σε βάθος χρόνου.

### 7 - Ανάδυση (Emergence)

Είναι η ανάδυση δομών και συμπεριφορών σε πολύπλοκα συστήματα, οι οποίες δεν μπορούν να προδιαγραφούν από τις επιμέρους ιδιότητες των συστημάτων αυτών. Την ιδιότητα αυτή ο Christopher Alexander ονόμασε εκτυλισσόμενη ολότητα (unfolding wholeness) <sup>6</sup>

### 8 - Αυτο-οργάνωση (Self-organisation)

Η ικανότητα της αυτο-οργάνωσης είναι μια ιδιότητα των πολύπλοκων συστημάτων, η οποία τους επιτρέπει να αναπτύξουν ή να μεταβάλλουν την εσωτερική δομή τους, αυθόρμητα και προσαρμοστικά, για να αντιμετωπίσουν ή να χειριστούν το περιβάλλον τους. <sup>7</sup>

### 9 - Προσαρμοστικότητα (Adaptability)

Τα αυτο-οργανούμενα συστήματα έχουν την ικανότητα να προσαρμόζονται σε νέες συνθήκες του περιβάλλοντός τους. Αυτό είναι το αποτέλεσμα εξελικτικών διαδικασιών σύμφωνα με τις οποίες ένα σύστημα μεταβάλλεται και χωρίς αυτές δεν θα ήταν δυνατόν να επιβιώσει.

### 10 - Διασύνδεση (Interconnectedness)

Η αλλιώς συνεργία, όρος ο οποίος αναφέρεται στα πλεονεκτήματα που προσφέρει η ομαδική εργασία και στην παράλληλη εξέλιξη των στοιχείων του συνόλου.

<sup>6</sup> Alexander Christopher, *A city is not a tree*, reprint from the magazine Design, London: Council of Industrial Design, No206, 1966

<sup>7</sup> Cilliers Paul, *Complexity & Post-modernism*, Routledge, London, 1998, σελ: 90





# ART FORMS IN NATURE

ERNST HAECKEL

100 Plates



### 11 - Ιεραρχία (Hierarchy)

Τα πολύπλοκα συστήματα αυτο-οργανώνονται αναπτύσσοντας μια ιεραρχία συνδέσεων σε πολλά επίπεδα.

### 12 - Αυτο-ομοιότητα και fractal δομή (Self-similarity and fractal pattern)

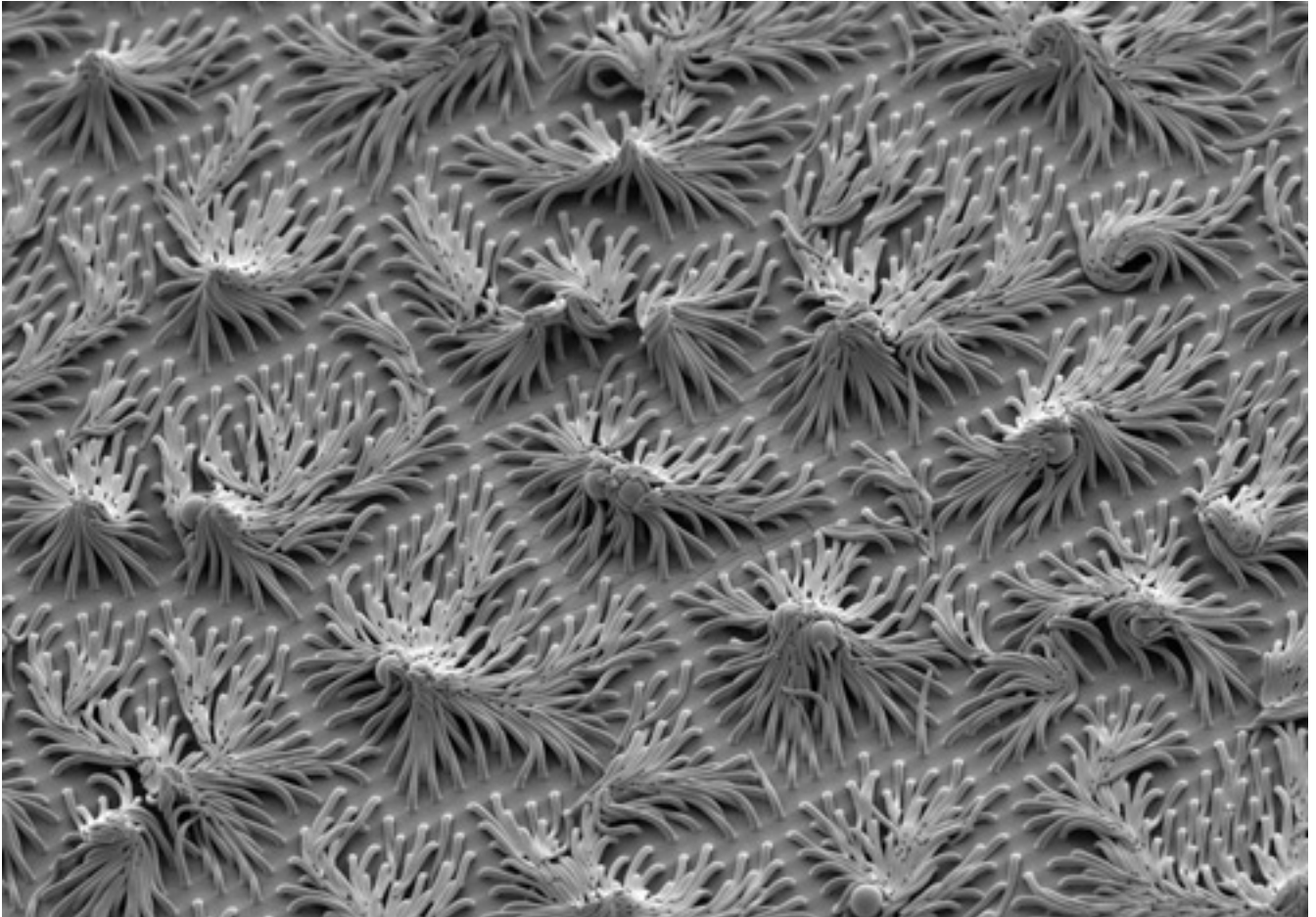
Αυτο-ομοιότητα είναι συμμετρία σε όλες τις κλίμακες. Συνεπάγεται αυτο-αναγωγή, μοτίβο μέσα στο μοτίβο ... όταν ένα χαοτικό σύστημα αναπαρίσταται γραφικά, η προκύπτουσα μορφή είναι ένα fractal. <sup>8</sup>

Τα πολύπλοκα συστήματα μπορούν να εξελιχθούν σε μια κρίσιμη κατάσταση αυτο-οργάνωσης, στην οποία η συμπεριφορά τους βρίσκεται στο μεταίχμιο της τάξης και της αταξίας. Το ίδιο σύστημα μπορεί να εμφανίσει τάξη, χάος, και αυτο-οργανωτική πολυπλοκότητα, ανάλογα με τις παραμέτρους ελέγχου. Δύο σημαντικές ιδιότητες πολύπλοκων συστημάτων είναι η αυτο-οργάνωση και το emergence (ανάδυση) οι οποίες αφορούν σε μεγάλο βαθμό την ανάπτυξη των CA, όπως θα δούμε παρακάτω, και την πρακτική εφαρμογή τους στο σχεδιασμό. Αυτό διότι, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, πρόκειται για τις δυο ιδιότητες οι οποίες αφορούν άμεσα στην διαδικασία ανάπτυξης της μορφής. Στην φύση μπορούμε να παρατηρήσουμε μορφές οι οποίες αναπτύσσονται υπό τους όρους ενός πολύπλοκου συστήματος. Ένα παράδειγμα είναι το κοχύλι γένους Conus. Τα κύτταρα που παράγουν χρωστικές ουσίες βρίσκονται στον εξωτερικό φλοιό του. Η ποσότητα χρωστικής η οποία θα παραχθεί από κάθε κύτταρο εξαρτάται από την ποσότητα που έχει παράξει το ίδιο και τα διπλανά του μέχρι εκείνη τη στιγμή: πρόκειται για ένα φυσικό πολύπλοκο σύστημα.

<sup>8</sup> Gleick James, Χάος: μια νέα επιστήμη, μτφρ: Μανώλης Κωνσταντινίδης, Κάτοπτρο, Αθήνα, 1990, σελ: 103

10. (απέναντι) εξώφυλλο του βιβλίου του Haeckel *Art forms in nature*

Παραδείγματα μορφογένεσης υπό όρους πολυπλοκότητας μας δίνει και ο γερμανός βιολόγος και καλλιτέχνης Ernst Haeckel (1834 - 1919) ο οποίος ανακάλυψε και περιέγραψε χιλιάδες είδη φυσικών οργανισμών.



11. αυτοοργανωτική διαδικασία των ινών Mesoscale σε ιεραρχικά συγκροτήματα

#### d. αυτοοργάνωση και emergence

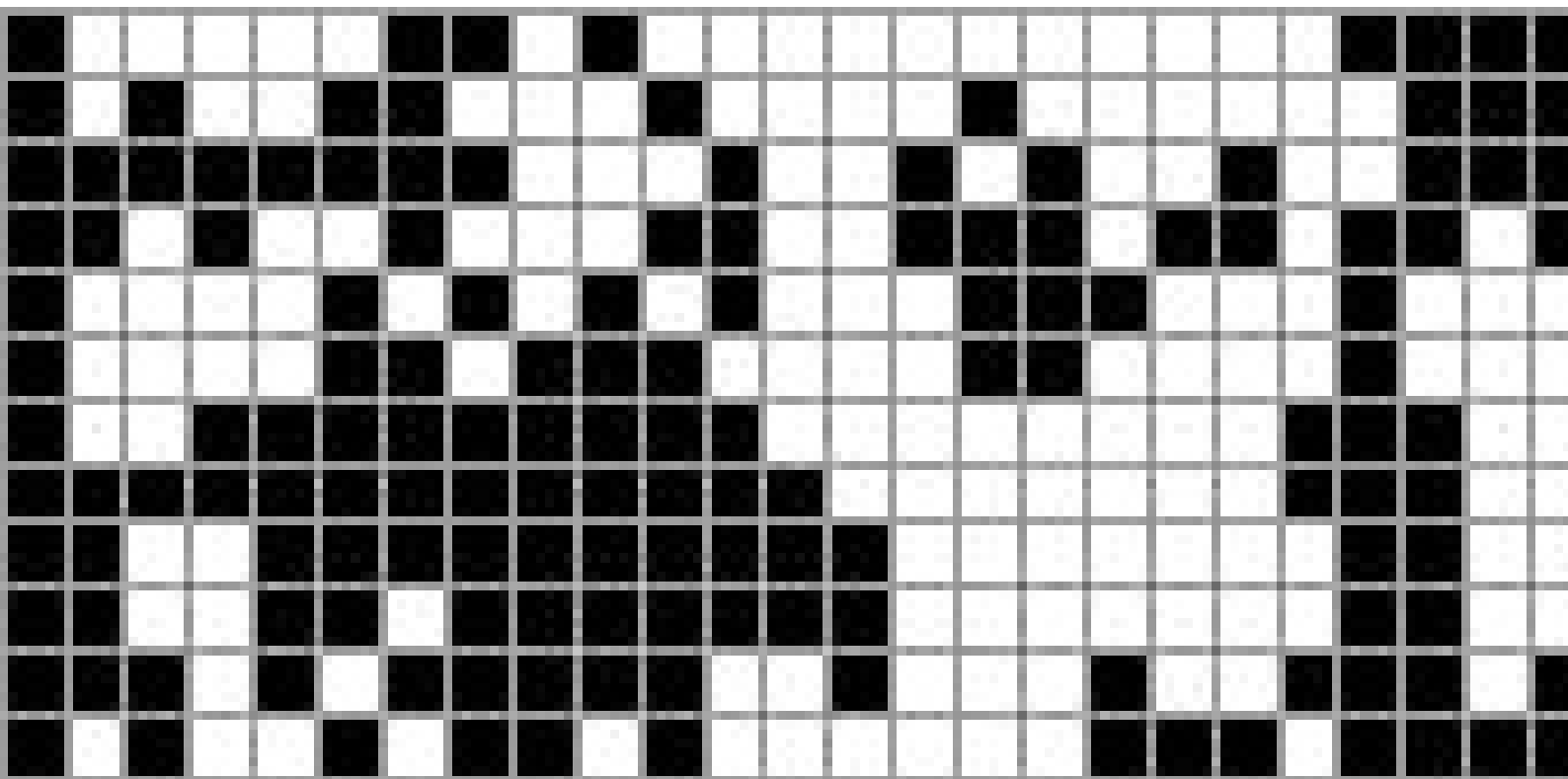
Ο Ludwig Von Bertalanffy (1901-1972), από τους μεγαλύτερους θεωρητικούς βιολόγους του 20ου αιώνα, καθόρισε τη Γενική Θεωρία των Συστημάτων ως τον επιστημονικό χώρο που ασχολείται με τις γενικές ιδιότητες των συστημάτων, ανεξάρτητα από τη φύση τους. Ορίζει ως σύστημα ένα σύνολο στοιχείων ευρισκομένων σε αλληλεπίδραση. Ο όρος emergence (ανάδυση) συνδέεται άμεσα με την ιδιότητα της μη-διαιρετότητας που αναφέρθηκε πριν. Δηλαδή, το emergence είναι η αιτία για την οποία τα μέλη ενός συστήματος είναι αδύνατον να το ανασκευάσουν με την απλή άθροισή τους, καθώς εξίσου καθοριστική παραμένει και η αλληλεπίδρασή τους στην διάρκεια του χρόνου. Παρόλαυτά, αυτός ο ορισμός παραμένει ελλειπής. Μια πολλά υποσχόμενη προσέγγιση στο πρόβλημα του ορισμού του όρου emergence παρέχεται από τα πρόσφατα αναπτυσσόμενα μοντέλα της αυτο-οργάνωσης. Αυτο-οργάνωση μπορεί να οριστεί ως μια αυθόρμητη διαδικασία οργάνωσης, δηλαδή ανάπτυξης μιας οργανωμένης δομής. Η αυθόρμητη δημιουργία ενός οργανωμένου συνόλου από μια άτακτη συλλογή αλληλεπιδρώντων μελών, όπως φαίνεται να συμβαίνει σε αυτο-οργανούμενα συστήματα στη φυσική, τη χημεία, τη βιολογία, την κοινωνιολογία, είναι ένα βασικό στοιχείο του emergence.<sup>9</sup>

Ωστόσο, ένα ακόμη βασικό χαρακτηριστικό του emergence, όπως γίνεται κατανοητό στη θεωρία των συστημάτων, είναι η ιεραρχική φύση του: ένα αναδυόμενο σύνολο σε ένα επίπεδο είναι απλώς ένα αναδυόμενο στοιχείο ενός έτερου αναδυόμενου συστήματος σε ανώτερο επίπεδο. Μέχρι τώρα, τα πιο δημοφιλή παραδείγματα που χρησιμοποιούνται για την εξήγηση αυτο-οργάνωσης, (π.χ. ελκυστές, συνέργια στοιχείων κτλ.), χαρακτηρίζονται από μια απλή δομή δύο επιπέδων: το μικροσκοπικό επίπεδο, όπου ένα πλήθος δομικών στοιχείων ή μεμονωμένα στοιχεία (π.χ. μόρια, οργανισμοί κτλ.) αλληλεπιδρούν, και το μακροσκοπικό επίπεδο, όπου αυτές οι αλληλεπιδράσεις καταλήγουν σε ορισμένα παγκόσμια πρότυπα οργάνωσης (π.χ. κρυσταλλική συμμετρία).

Παρακάτω θα δούμε πως ακριβώς λειτουργεί ένα πολύπλοκο σύστημα CA. Η λειτουργία του είναι η ακριβής πρακτική εφαρμογή της παραπάνω θεωρίας στην πράξη. Πως περιγράφεται απλά η θεωρία της πολυπλοκότητας με απτά στοιχεία; Ποια είναι η λειτουργία τους και τι είδους σχέση και εφαρμογή μπορούν να έχουν στο σχεδιασμό;

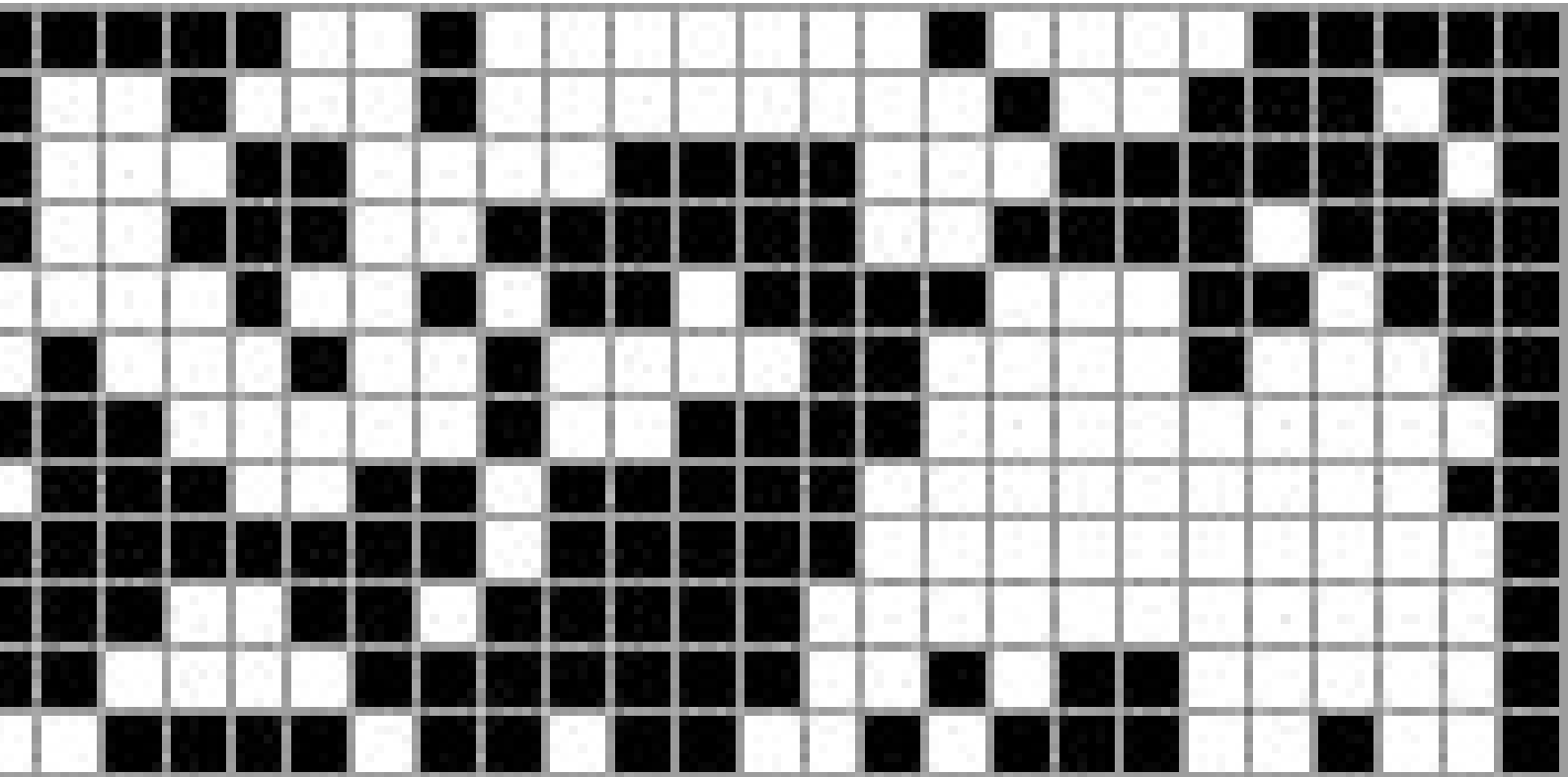
<sup>9</sup> Johnston John, *The Allure of Machinic Life: Cybernetics, Artificial Life, and the New AI*, A Bradford Book, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, 2008





12. δισδιάστατα cellular automata

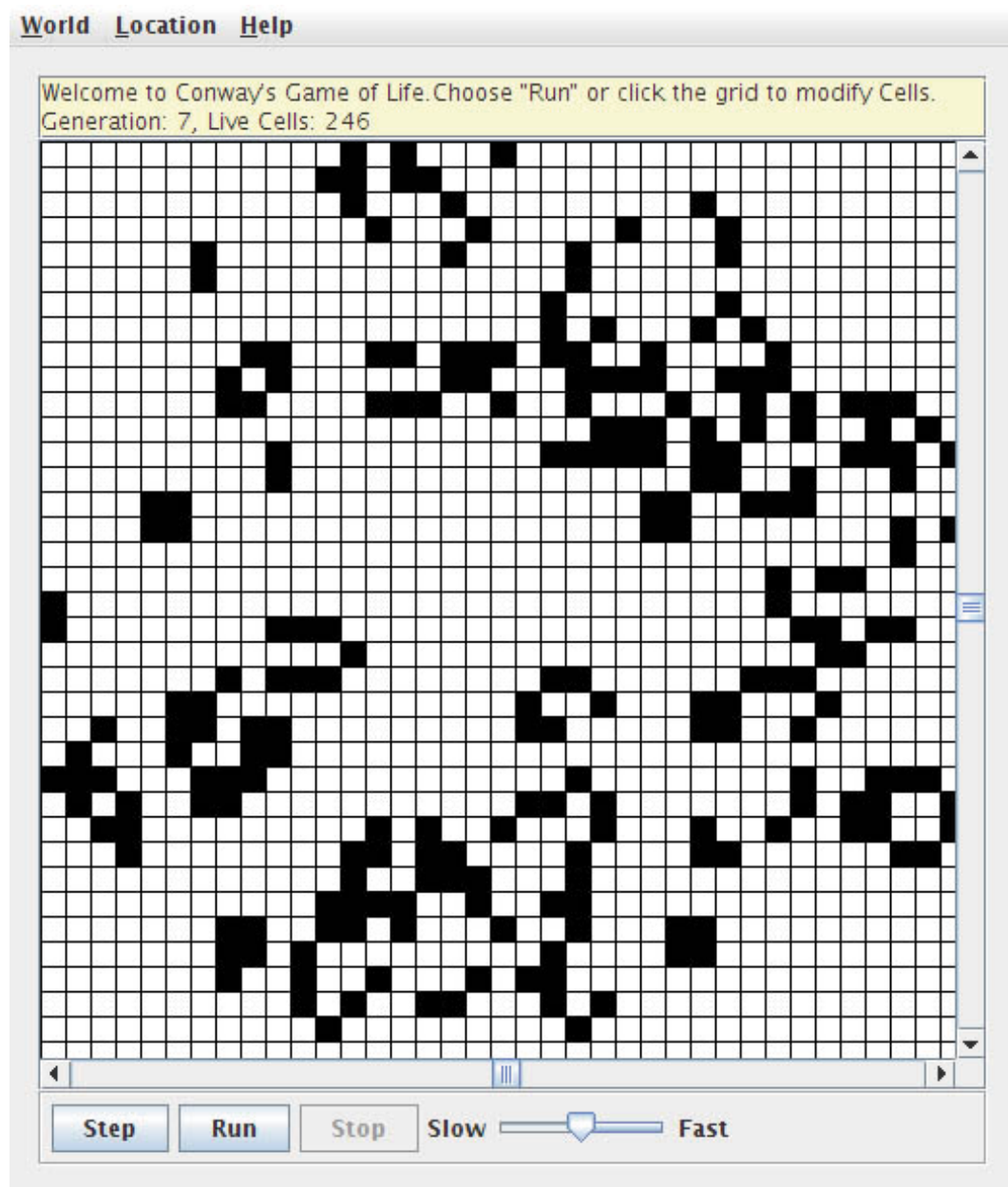
## 0011. cellular automata



*In a world where global interventions fuse in subtle and diverse ways with local action, cellular automata looks like a paradigm for the 21st century, resonating with everything from the postmodern mathematics of fractals and chaos to the cry of development theorists «think globally, act locally».*

Michael Batty

0011.



13. Game of Life

Τα CA είναι η υπολογιστική μέθοδος η οποία μπορεί να προσομοιώσει τη διαδικασία της ανάπτυξης, περιγράφοντας ένα πολύπλοκο σύστημα με απλά στοιχεία, ακολουθώντας απλούς κανόνες. Αυτή η έννοια της προσομοίωσης της ανάπτυξης εισήχθη από τον John von Neumann και αναπτύχθηκε περαιτέρω από τον Stanislaw Ulam. Η έννοια απέκτησε μεγαλύτερη δημοτικότητα, όταν ο Martin Gardner, ανέλυσε το Game of Life <sup>10</sup> του John Conway, ένα παιχνίδι φτιαγμένο να δημιουργεί δισοδιάστατα μοτίβα. Αργότερα, ο Stephen Wolfram άρχισε να ερευνά φυσικά φαινόμενα, μέσω των CA, και τα επανέφερε πρόσφατα στην επικαιρότητα με το βιβλίο του A New Kind of Science.

Τα CA αποτελούν μια αποτύπωση της υπολογιστικής πολυπλοκότητας όπως περιγράφηκε πριν. Μιλάμε για απλά υπολογιστικά μοντέλα τα οποία παρουσιάζουν πολύπλοκη συμπεριφορά, τα οποία είχαν αρχικά προταθεί από τον John von Neumann, στα τέλη της δεκαετίας του 1940, ως επίσημα μοντέλα αυτο-αναπαραγόμενων οργανισμών. Πρόκειται για μια εξιδανίκευση ενός φυσικού συστήματος, στην οποία ο χώρος και ο χρόνος είναι διακριτοί και οι φυσικές ποσότητες μπορούν να λαμβάνουν μόνο ένα πεπερασμένο σύνολο των αξιών.

Ο John von Neumann, ως μαθηματικός, είχε εμπλακεί στο σχεδιασμό των πρώτων ψηφιακών ηλεκτρονικών υπολογιστών και θέλησε να μιμηθεί τη συμπεριφορά ενός ανθρώπινου εγκεφάλου, προκειμένου να οικοδομήσει μια μηχανή για την επίλυση πολύ σύνθετων προβλημάτων. Σκέφτηκε ότι μια μηχανή με μια τέτοια πολυπλοκότητα όπως ο εγκέφαλος θα πρέπει να περιλαμβάνει, επίσης, στοιχεία αυτο-έλεγχου και αυτο-επιδιόρθωσης των μηχανισμών του. Μετά από έρευνα, οδηγήθηκε στην κατασκευή ενός συστήματος κυττάρων-μονάδων. Κάθε μονάδα χαρακτηρίζεται από μια εσωτερική κατάσταση, η οποία συνήθως αποτελείται από έναν πεπερασμένο αριθμό bits πληροφορίας. Ο von Neumann πρότεινε ότι αυτό το σύστημα εξελίσσεται σε διακριτά χρονικά βήματα, όπως ένα απλό αυτόματο το οποίο αναγνωρίζει μόνο ένα απλό αλγόριθμο για να ρυθμίζει την νέα κατάσταση του. Ο κανόνας προσδιορισμού της εξέλιξης του συστήματος είναι ο ίδιος για όλα τα κύτταρα-μονάδες και είναι μια συνάρτηση των καταστάσεων των γειτονικών μονάδων. Παρόμοια με ό, τι συμβαίνει σε οποιοδήποτε βιολογικό σύστημα, η δράση των μονάδων λαμβάνει χώρα ταυτοχρόνως.

<sup>10</sup> Το Game of Life δημιουργήθηκε από τον Conway απλοποιώντας τις ιδέες του John von Neumann. Το παιχνίδι δημοσιοποιήθηκε για πρώτη φορά στο περιοδικό Scientific American το 1970 στην έκδοση Οκτωβρίου στη στήλη "Mathematical Games" του Martin Gardner. Πρόκειται για ένα κυτταρικό αυτόματο. Η εξέλιξη του παιχνιδιού καθορίζεται από τις αρχικές συνθήκες. Ο παίκτης δημιουργεί την αρχική διάταξη και παρατηρεί πώς αυτή εξελίσσεται. Το περιβάλλον του παιχνιδιού είναι ένας άπειρος κάνναβος. Κάθε κελί μπορεί να βρίσκεται σε μία κατάσταση, νεκρό ή ζωντανό. Κάθε κελί έχει ακριβώς 8 γείτονες που βρίσκονται οριζόντια, κάθετα και διαγώνια δίπλα του. Σε κάθε χρονικό βήμα παρατηρούνται οι ακόλουθες αλλαγές:

Κάθε ζωντανό κελί με λιγότερους από δύο ζωντανούς γείτονες, πεθαίνει.

Κάθε ζωντανό κελί με δύο ή τρεις ζωντανούς γείτονες επιβιώνει στην επόμενη γενιά.

Κάθε ζωντανό κελί με περισσότερους από τρεις ζωντανούς γείτονες πεθαίνει.

Κάθε νεκρό κελί με ακριβώς τρεις ζωντανούς γείτονες ζωντανεύει.

Από το αρχικό μοτίβο ζωντανών κελιών, η πρώτη γενιά δημιουργείται εφαρμόζοντας τους κανόνες τος συμβαίνουν ταυτόχρονα. Κάθε γενιά είναι συνάρτηση μόνο της προηγούμενης γενιάς. Οι κανόνες εφαρμόζονται σε κάθε νέα γενιά δημιουργώντας τις επόμενες. <http://www.bitstorm.org/gameoflife/>



14. παραδείγματα κανόνων CA

Αυτά τα πλήρως διακριτά δυναμικά συστήματα που εφευρέθηκαν από τον von Neumann τώρα αναφέρονται ως κυτταρικά αυτόματα. Η δομή που μελετήθηκε ήταν, ως επί το πλείστον, σε μία και δύο διαστάσεις, σε καννάβους άπειρης έκτασης, αν και έπειτα εξετάστηκε η συμπεριφορά τους και στην τρίτη διάσταση. Αργότερα, φυσικοί και βιολόγοι άρχισαν να τα μελετούν, με σκοπό τη μοντελοποίηση συστημάτων στους αντίστοιχους τομείς. Σήμερα, μελετούνται από επιστήμονες σε διάφορους ερευνητικούς κλάδους και η σχέση αυτών των δομών με υπάρχοντα προβλήματα συνεχώς αναδεικνύονται. Τα CA είναι παραδείγματα μαθηματικών συστημάτων κατασκευασμένων από πολλά όμοια στοιχεία, καθένα από αυτά απλό, αλλά όταν συνδυάζονται, είναι ικανά να αναπτύξουν πολύπλοκες δομές. Μέσω της ανάλυσής τους μπορούν, από τη μία να αναπτυχθούν συγκεκριμένα μοντέλα για ειδικά συστήματα, από την άλλη να δημιουργηθεί η δυνατότητα εξαγωγής γενικών αρχών οι οποίες θα είναι εφαρμόσιμες σε μια ευρεία ποικιλία πολύπλοκων συστημάτων.<sup>11</sup>

Ένα μονοδιάστατο κυτταρικό αυτόματο αποτελείται από μια σειρά από θέσεις, με κάθε θέση να φέρει μια τιμή 0 ή 1 (ή γενικά 0, ..., k-1). Η αξία  $a_i$  της περιοχής σε κάθε θέση  $i$  ενημερώνεται σε διακριτά χρονικά βήματα, σύμφωνα με ένα βασικό αιτιοκρατικό κανόνα που έχει να κάνει με τις γειτονικές θέσεις:

<sup>11</sup> Chopard Bastien, Droz Michel, *CA Modeling of physical systems*, University of Geneva, Cambridge University Press, U.K., 1998

$$a_i^{(t+1)} = \varphi [ a_{i-r}^{(t)}, a_{i-r+1}^{(t)}, \dots, a_{i+r}^{(t)} ] \quad (I)$$

Ακόμη με  $k = 2$  και  $r = 1$  ή  $2$ , η συνολική συμπεριφορά του κυτταρικού αυτόματου δημιουργημένου με αυτό τον απλό τρόπο, μπορεί να είναι εξαιρετικά πολύπλοκη.

Θα δούμε ένα απλό παράδειγμα. Έστω ότι έχουμε τον παρακάτω κανόνα για ένα άπειρου μήκους μονοδιάστατο CA, όπου το αν ένα κύτταρο θα είναι κενό ή πλήρες στο επόμενο χρονικό βήμα, εξαρτάται από την κατάσταση του και την κατάσταση των δύο γειτονικών του κυττάρων:

111	110	101	100	011	010	001	000
0	0	0	1	1	1	1	0

Έχουμε άπειρες θέσεις και δύο δυνατότητες: 0 και 1 (κενό - πλήρες) Δηλαδή ο κανόνας του μετασχηματισμού είναι ο εξής:

Όπου υπάρχει 111, στο επόμενο χρονικό βήμα, το μεσαίο κελί θα γίνει 0.

Όπου υπάρχει 110, στο επόμενο χρονικό βήμα, το μεσαίο κελί θα γίνει 0.

Κ.ο.κ.

Έτσι για παράδειγμα, αν έχουμε ένα μοτίβο ως εξής: ...001110... Τότε η επόμενη γενιά θα έχει ως εξής: ...01100...

Το όνομα-νούμερο του κανόνα προκύπτει από τον αριθμό 00011110 θεωρούμενο στη δυαδική γραφή. Ο συγκεκριμένος λοιπόν είναι ο  $30 = 2^4 + 2^3 + 2^2 + 2^1 + 2^0$ . Άρα ο αριθμός που ονοματίζει έναν κανόνα είναι μοναδικός και ο κανόνας είναι συγκεκριμένος, π.χ. κανόνας 126.

Θεωρούμε τώρα μοτίβα τα οποία δημιουργούνται από CA, τα οποία εξελίσσονται από απλούς σχηματισμούς μη-μηδενικών στοιχείων. Κάποιοι τοπικοί κανόνες  $\phi$  προκαλούν απλές συμπεριφορές, άλλοι παράγουν πολύπλοκα μοτίβα. Μια εκτεταμένη εμπειρική έρευνα καταλήγει στο γεγονός πως τα μοτίβα που μπορούν να παραχθούν είναι τεσσάρων ποιοτικών δομών. Δηλαδή ένα μοτίβο μπορεί να:

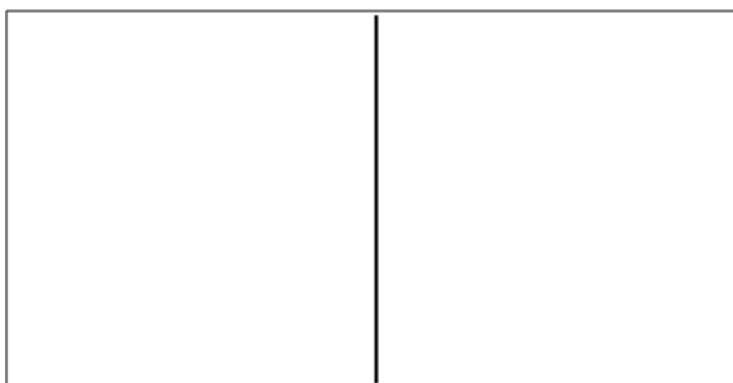
- 1 - εξαφανίζεται με το χρόνο
- 2 - εξελίσσεται σταθερά σε μέγεθος πεπερασμένο
- 3 - μεγαλώνει επ' αόριστον με σταθερή ταχύτητα
- 4 - μεγαλώνει ακανόνιστα



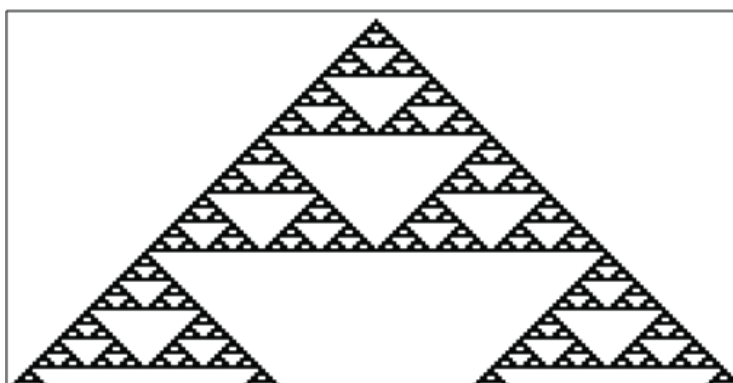
0011.



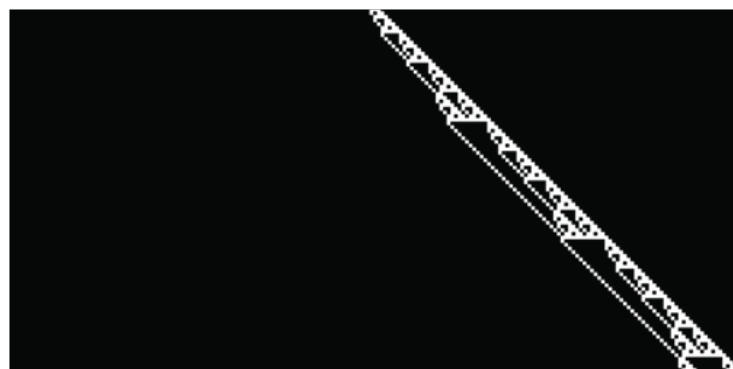
rule 128



rule 4



rule 126



rule 101

Τα μοτίβα του τύπου 3 συχνά παρουσιάζουν αυτο-ομοιότητα σε διαφορετικές κλίμακες, ιδιότητα που παρουσιάζει η γεωμετρία των fractal. Πολλά από τα μοτίβα τα οποία βρίσκονται στην φύση μπορούν να προέλθουν από την εξελικτική διαδικασία των CA. Διαφορετικές αρχικές καταστάσεις με ένα συγκεκριμένο κυτταρικό αυτόματο, αποδίδουν μοτίβα που διαφέρουν στις λεπτομέρειες, αλλά είναι παρόμοια σε δομικές ιδιότητες. Διαφορετικοί κανόνες CA αποδίδουν πολύ διαφορετικά μοτίβα. Η εμπειρική μελέτη, εντούτοις, καταλήγει ότι οι τέσσερις ποιοτικές κατηγορίες μπορούν να αναγνωριστούν, εξεταζόμενες υπό τέσσερις περιορισμούς που αφορούν μορφολογικά χαρακτηριστικά:

- 1 - χωρικά ομοιογενής κατάσταση
- 2 - αλληλουχία απλών, σταθερών ή περιοδικών δομών
- 3 - χαοτική, απεριοδική συμπεριφορά
- 4 - πολύπλοκες τοπικές δομές

Όλα τα CA, σε κάθε κατηγορία, ανεξάρτητα από τις λεπτομέρειες της κατασκευής τους και των κανόνων που διέπουν την εξέλιξή τους, παρουσιάζουν ποιοτικά παρόμοια συμπεριφορά. Η καθολικότητα αυτή θα πρέπει να αποδίδει γενικά αποτελέσματα για αυτές τις κατηγορίες που εφαρμόζονται σε μια ευρεία ποικιλία συστημάτων μοντελοποιημένων βάσει CA.<sup>12</sup>

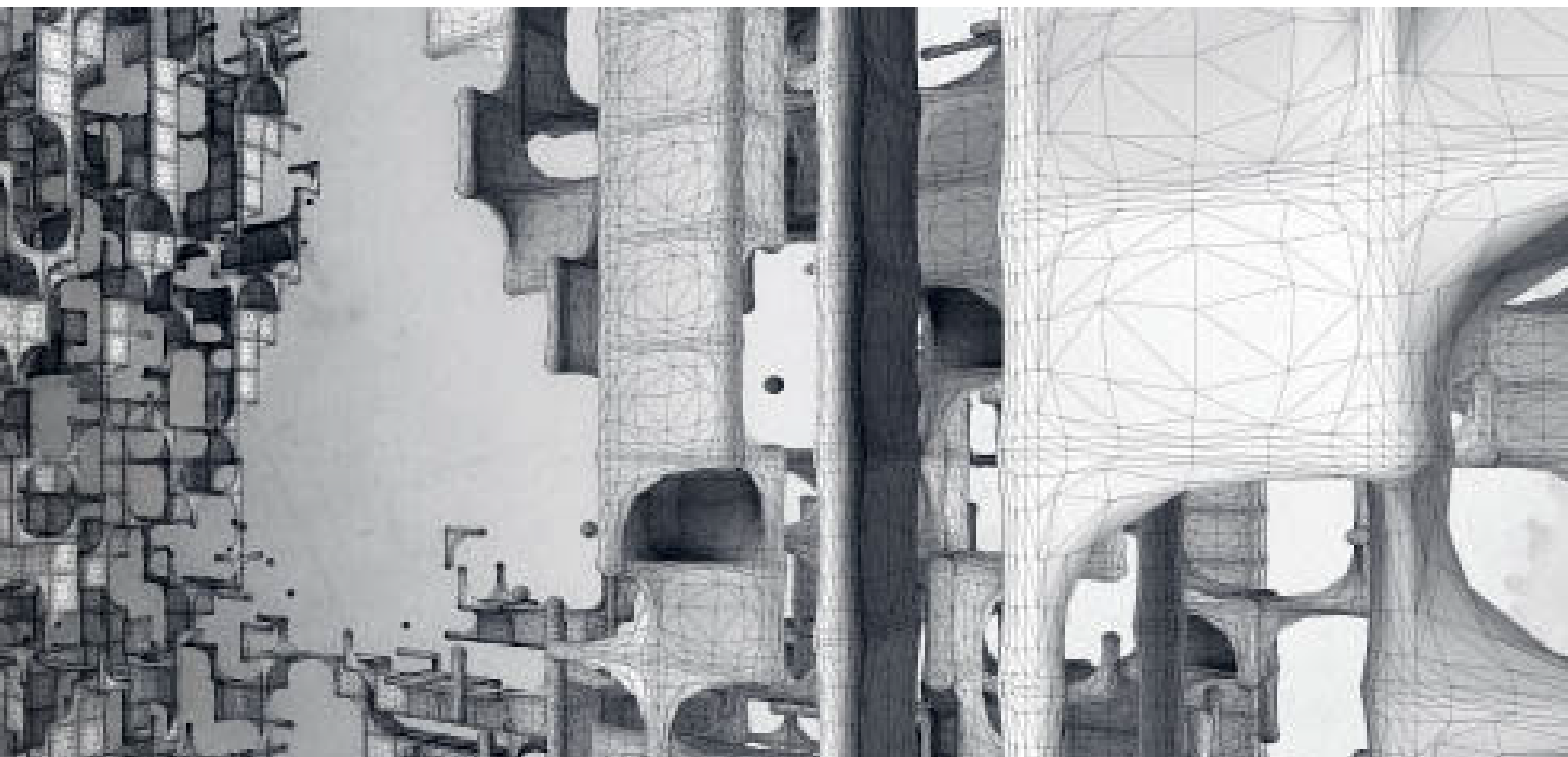
Κατηγορίες μοτίβων δημιουργούνται από την εξέλιξη των κυτταρικών αυτόματων που προκύπτουν από τον αρχικό σχηματισμό ζωντανών κυττάρων. Οι διαδοχικές σειρές αντιστοιχούν στα διαδοχικά χρονικά βήματα (εδώ 100). Κάθε τοποθεσία, κάθε μονάδα, ενημερώνεται σε κάθε χρονικό βήμα σύμφωνα με την εξίσωση (I) με κανόνες που εξαρτώνται από τις τιμές των γειτονικών του στοιχείων, στο αμέσως προηγούμενο βήμα. Οι τοποθεσίες με τιμές 0 και 1 εκπροσωπούνται από άσπρο και μαύρο, αντίστοιχα. Παρά την απλότητα της κατασκευής τους, μοτίβα πολύπλοκότητας φαίνεται να δημιουργούνται. Οι κανόνες που παρουσιάζονται είναι παραδείγματα για τις τέσσερις κατηγορίες της συμπεριφοράς που προαναφέρθηκαν. Στην τρίτη περίπτωση, βλέπουμε πως διαμορφώνεται ένα αυτοόμοιο μοτίβο.

<sup>12</sup> Stephen Wolfram, *Cellular automata as models of complexity*, The Institute for Advanced Study, Princeton, New Jersey, USA, reprinted from Nature, Vol. 311, No. 5985, pp. 419-424, October 1984



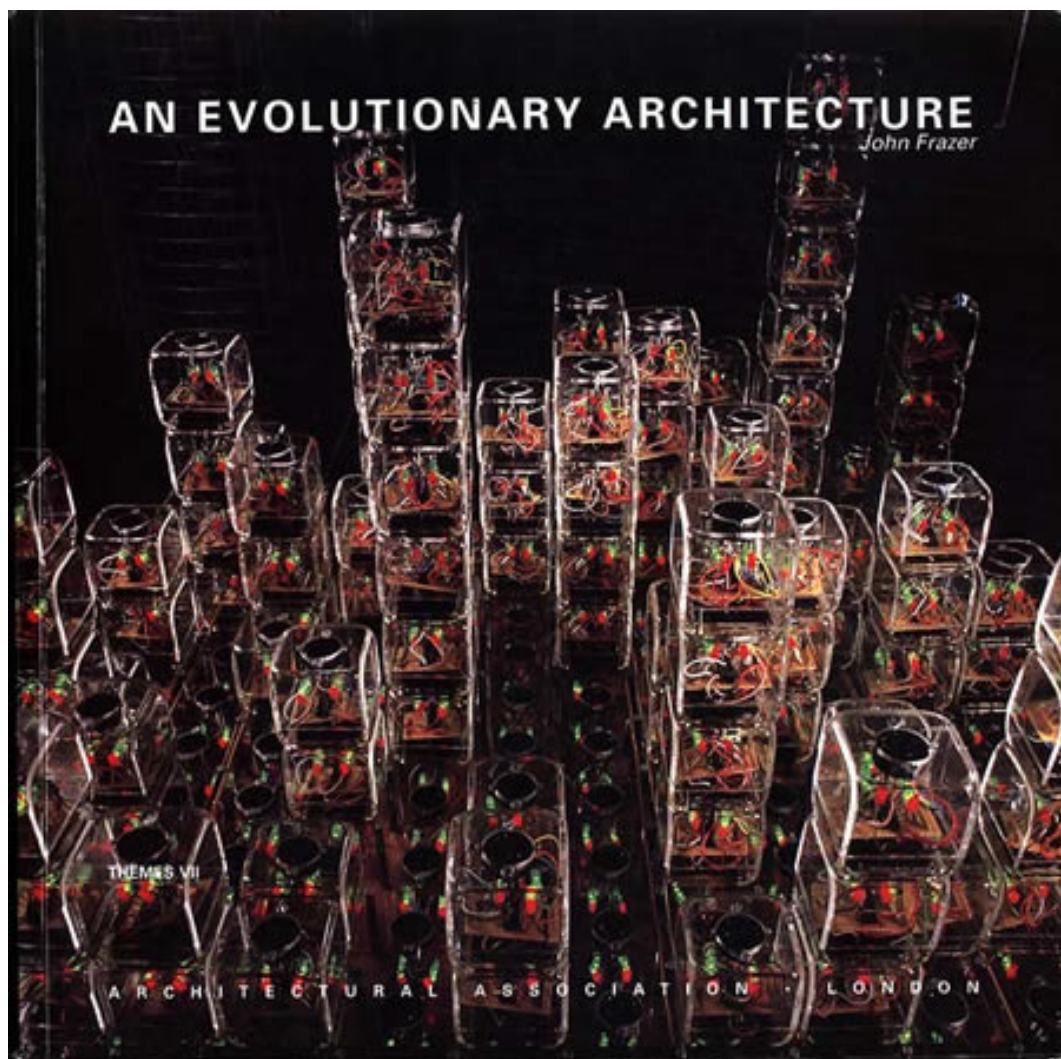
16. CA Landscapes - Dimitris Gourdoukis

## 0100. τα cellular automata στο σχεδιασμό



*Είναι μάταιο να σχεδιάζουμε την εμφάνιση μιας πόλης, ή να εικάζουμε το πως θα την αποκτήσει με μια ευχάριστη εμφάνιση τάξης, χωρίς να γνωρίζουμε τι είδους έμφυτη, λειτουργική τάξη έχει.*

Jane Jacobs



17. εξώφυλλο του βιβλίου του John Frazer *An Evolutionary Architecture*

Η χρήση προγραμμάτων βασισμένων σε CA στην αρχιτεκτονική εντάσσεται σε ένα ευρύτερο πλαίσιο εφαρμογών, μέσω των οποίων γίνεται προσπάθεια να χρησιμοποιηθούν υπολογιστικές, μορφογενητικές ή προσομοιωτικές διαδικασίες στο σχεδιασμό και στην ανάλυση αρχιτεκτονικών και αστικών χώρων. Για παράδειγμα, ο John Frazer, με το βιβλίο του *An Evolutionary Architecture*, το 1995, προσπάθησε να διερευνήσει τα θεμέλια των διαδικασιών μορφογένεσης στην αρχιτεκτονική, θεωρώντας την ως μια μορφή τεχνητής ζωής, και πρότεινε μια γενετική αναπαράσταση σε μορφή κώδικα DNA, η οποία μπορεί στη συνέχεια να υπόκειται σε αναπτυξιακές και εξελικτικές διαδικασίες, σύμφωνα με τα ερεθίσματα του περιβάλλοντος και του χρήστη. Ο Frazer ερευνά, θέτοντας ως στόχο της εξελικτικής αρχιτεκτονικής την επίτευξη, στο δομημένο περιβάλλον, της συμβίωσης και της ισορροπίας μέσω μεταβολών, που είναι χαρακτηριστικά του φυσικού περιβάλλοντος. Το ενδιαφέρον του δεν έγκειται σε μια επιφανειακή αναλογία με αναφορά σε βιολογικές μορφές, αλλά στις θεμελιώδεις αρχές της λειτουργίας ενός οργανισμού και στη σχέση τους με τις υποκείμενες σχεδιαστικές διαδικασίες της φύσης.

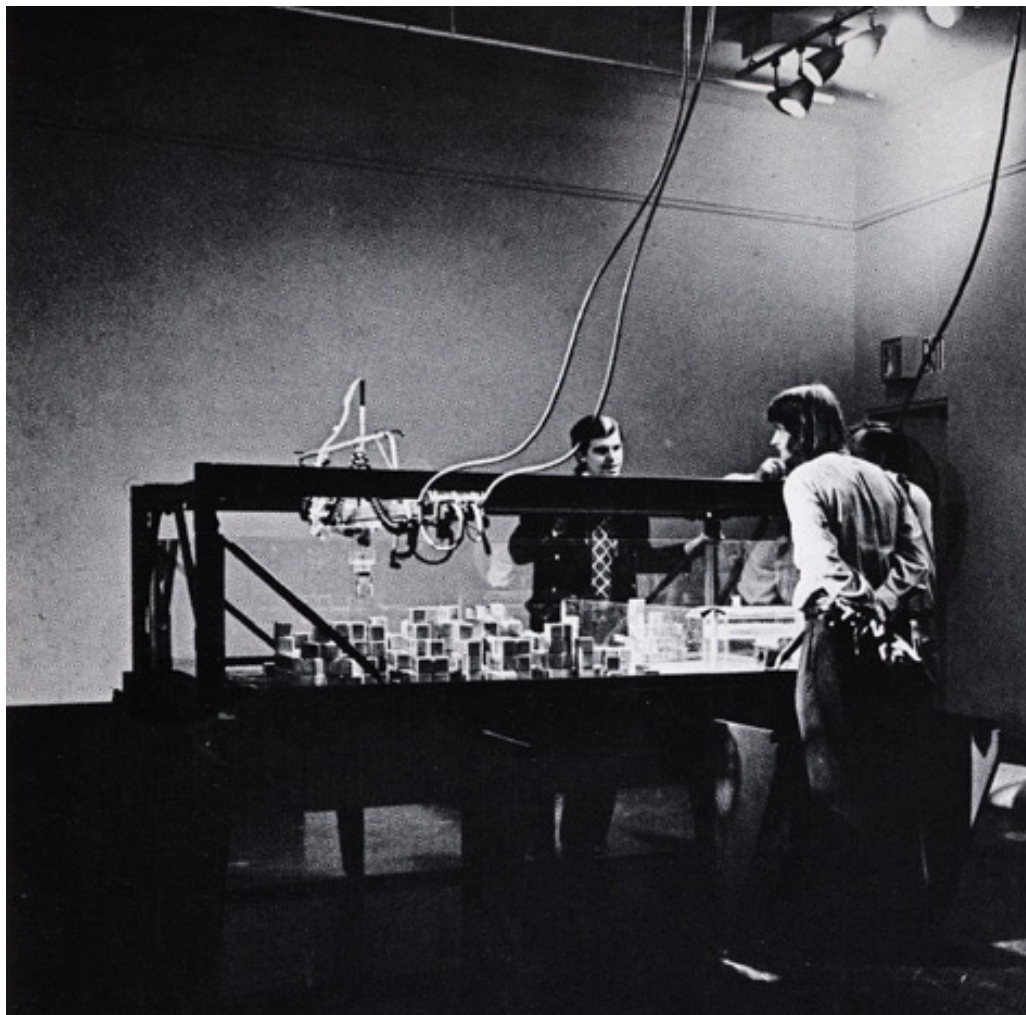
Ακόμα νωρίτερα, το 1975, ο Nicholas Negroponte στο βιβλίο του *Soft Architecture Machines*, κάνει την πρώτη σαφή αναφορά σε μέσα και μεθόδους CAD. Το πείραμά του SEEK, το οποίο παρουσιάστηκε στο εβραϊκό μουσείο της Νέας Υόρκης, είχε ως αντικείμενο την προσαρμογή του αρχιτεκτονικού χώρου στις ανάγκες του χρήστη. Το έκθεμα αποτελείτο από μια μικρή ομάδα γερβίλων, τα οποία τοποθετήθηκαν σε ένα περιβάλλον από μικρούς κύβους πλεξιγκλάς, συνεχώς αναδιατασσόμενων από ένα ρομποτικό βραχίονα. Η βασική ιδέα ήταν ότι ο μηχανισμός θα παρατηρούσε την αλληλεπίδραση των γερβίλων με το χώρο τους και σταδιακά θα μάθαινε τις προτιμήσεις στη διαβίωσή τους, με την παρατήρηση της συμπεριφοράς τους. Μπορεί το πείραμα να μην είχε τα αναμενόμενα αποτελέσματα, αφού τις περισσότερες φορές κατέληγε σε πλήρη αποδιοργάνωση. Σίγουρα όμως, συνέβαλε στην ανάπτυξη διάφορων εννοιών όπως τα ευφυή περιβάλλοντα και η προσαρμόσιμη αρχιτεκτονική και κυρίως, ανέδειξε τη σημασία των χωρικών δυνάμεων που αναπτύσσονται με το πέρασμα του χρόνου.

Οι έρευνες των Frazer και Negroponte εντάσσονται σε ένα ευρύτερο πλαίσιο το οποίο αντιμετωπίζει τον αρχιτεκτονικό χώρο σαν δυναμικό στοιχείο. Ο Frazer προσπαθεί να προσεγγίσει τις αρχές της λειτουργίας του οργανισμού και τις σχέσεις τους με τις υποκείμενες σχεδιαστικές διαδικασίες της φύσης. Ο Negroponte παρατηρεί κυρίως τις σχέσεις του χρήστη με το χώρο του και τη μεταβολή τους στο χρόνο. Η σχέση των δυο αυτών μεθόδων με τα CA είναι ουσιαστική. Πρώτον, τα CA είναι ένας άμεσος τρόπος οπτικοποίησης της λειτουργίας των γενετικών αλγορίθμων. Δηλαδή, για κάποιον που δε διαθέτει εξειδικευμένες γνώσεις βιολογίας ή μαθηματικών, οι σχεδιαστικές διαδικασίες φυσικών συστημάτων που ερεύνησε ο Frazer, με σκοπό τη χρήση τους σε προγράμματα σχεδιασμού, είναι πιο εύκολα αντιληπτές και κατ'επέκταση διαχειρίσιμες, εφόσον αναπαρίστανται με απλά στοιχεία, μέσω των CA. Δεύτερον, με παρόμοιο τρόπο, τα CA κάνουν εμφανείς τις δυναμικές ποιότητες ενός χώρου και τις σχέσεις

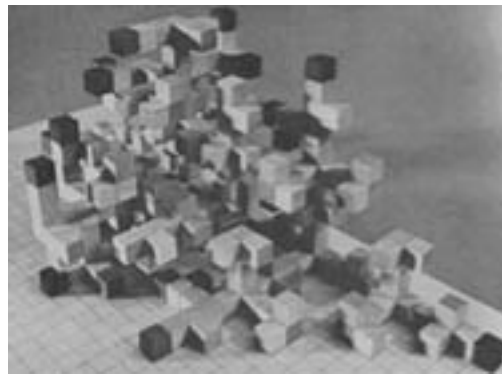




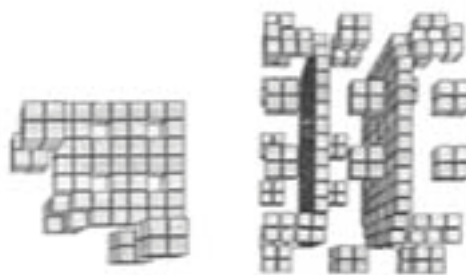
18 - 20. SEEK - Nicholas Negroponte



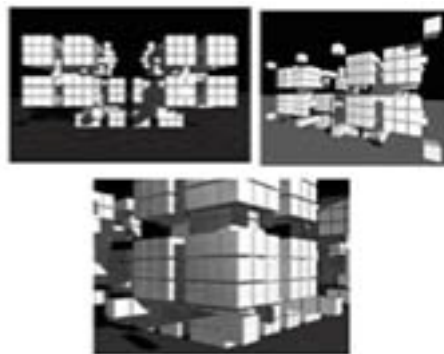
αλληλεπίδρασης που αναπτύσσονται σε αυτόν, κάτι το οποίο υπήρξε το κύριο αντικείμενο των μελετών του NegroponTE. Συμπεραίνουμε λοιπόν τη σύνδεση ανάμεσα σε υπολογιστικά συστήματα που έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν για την έρευνα του αρχιτεκτονικού χώρου και την εξέλιξη σχεδιαστικών μεθόδων, με τα σύγχρονα συστήματα CA.



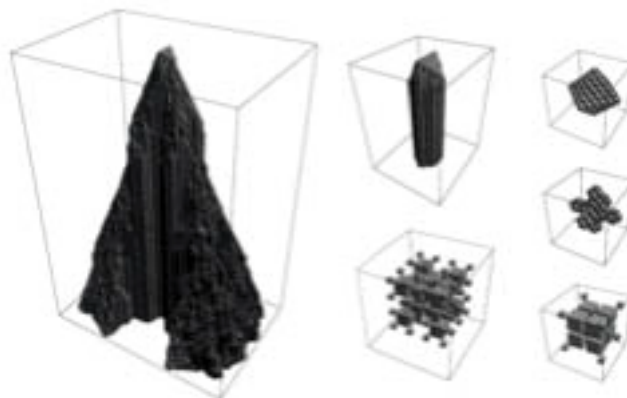
a.



b.



c.



d.

## a. τα CA στην αρχιτεκτονική: Paul Coates

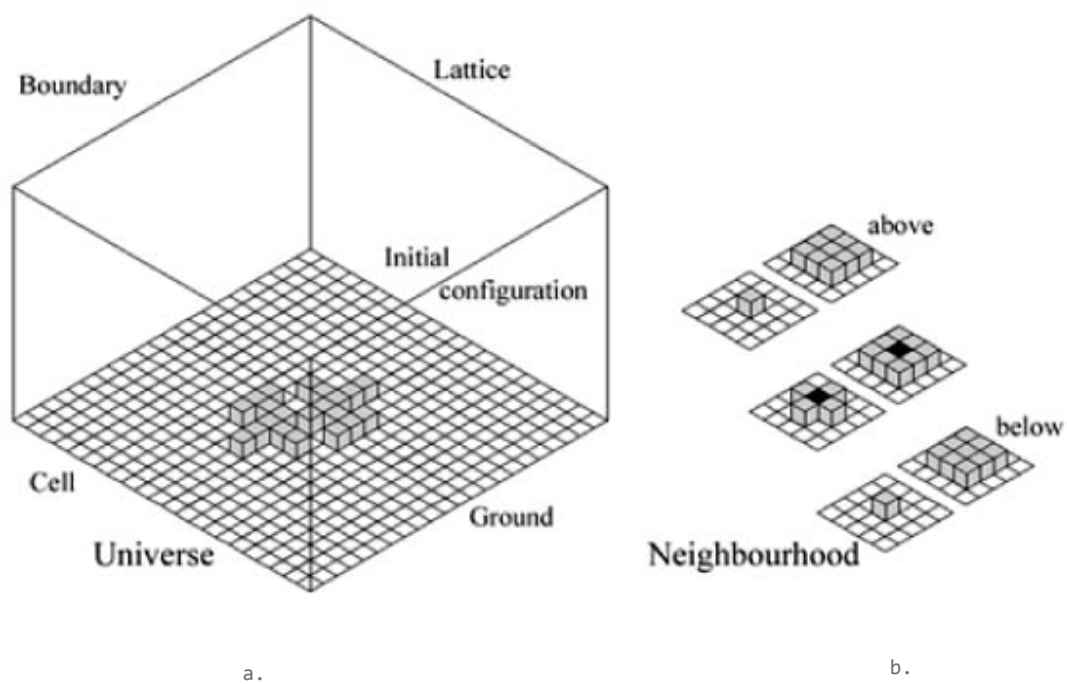
Η σύνδεση των CA με την αρχιτεκτονική εντοπίζεται στην ικανότητά τους να δημιουργούν δομές, κι από την οργάνωσή τους υπάρχει η δυνατότητα να προταθούν αρχιτεκτονικές δομές. Τα CA, ιδωμένα ως μια μαθηματική προσέγγιση, διαφέρουν από τις παραδοσιακές ντετερμινιστικές μεθόδους αιτίου-αποτελέσματος όσον αφορά το στοιχείο της συνεχούς ανατροφοδότησης· κάθε νέο αποτέλεσμα βασίζεται στα προηγούμενα αποτελέσματα από αυτό. Αυτή η επαναληπτική μέθοδος αντικατάστασης συνεχίζεται μέχρι κάποια θεμιτή κατάσταση να επιτευχθεί. Πολλές ψηφιακές μέθοδοι σχεδιασμού βασίζονται στην παραμετροποίηση, καθώς ένα αρχικό σύνολο παραμέτρων χρησιμοποιείται για να παράγει ένα αποτέλεσμα. Εάν ένα εναλλακτικό αποτέλεσμα είναι επιθυμητό, οι αρχικές παράμετροι θα πρέπει να τροποποιηθούν και η γενιά να επαναληφθεί εκ νέου. Η διαφορά μεταξύ αυτών των δύο μεθόδων είναι ότι στις παραμετρικές μεθόδους τα αποτελέσματα μπορούν εύκολα να προβλεφθούν, ενώ στις αναδρομικές, όπως τα CA, συνήθως δεν μπορούν. Αυτό προσφέρει μια ενδιαφέρουσα και γόνιμη πλατφόρμα, από την οποία είναι δυνατόν να αναπτυχθούν αρχιτεκτονικά πρότυπα.

Το πεδίο των CA έχει εξελιχθεί σε διαφορετικές μορφές, για τον Wolfram μονοδιάστατη, για τον Conway δισδιάστατη και για τον Ulam τρισδιάστατη. Η τελευταία είναι αυτή που ενδιαφέρει εμάς περισσότερο.

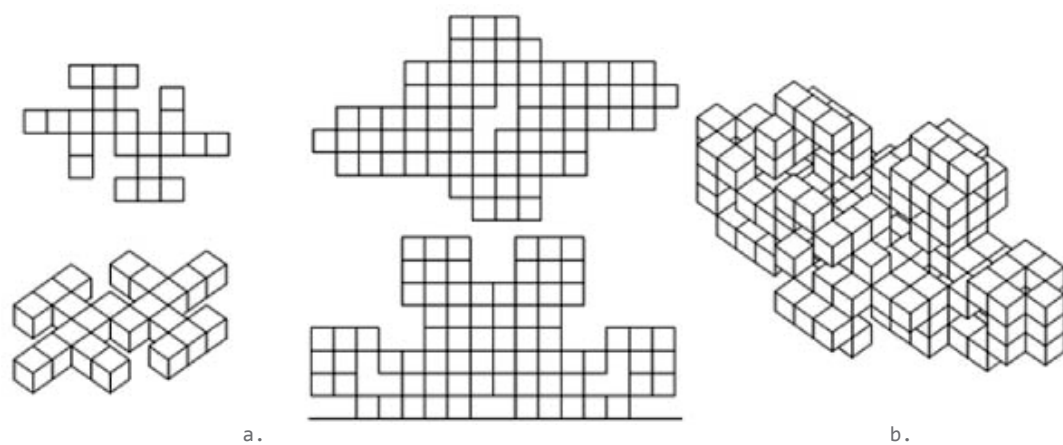
Ένα πρώιμο παράδειγμα τρισδιάστατης ανάπτυξης είναι η ξύλινη μακέτα που δημιουργήθηκε από τους Schrandt και Ulam (σχήμα 21a). Η διερεύνηση επαναλαμβανόμενων μοτίβων όπως του Conway είχε βρεθεί σε δισδιάστατη μορφή κι από τον Bays (σχήμα 21b) και, τέλος, μια αρχιτεκτονική εφαρμογή από τον Coates (σχήμα 21c). Οι πλέον πρόσφατες είναι δύο μέθοδοι που αναπτύχθηκαν από τον Wolfram (σχήμα 21d). Μπορούμε εύκολα να παρατηρήσουμε ομοιότητες, παρότι το κάθε μοντέλο αναπτύχθηκε με διαφορετική προσέγγιση και με διαφορετικό ερευνητικό στόχο.

Εδώ θα παρουσιαστεί η εργασία του Paul Coates, στην οποία μια τρισδιάστατη διαμόρφωση CA αντιμετωπίζεται ως αρχιτεκτονική μορφή και στη συνέχεια, υπόκειται σε επεξεργασία, ώστε να αποκτήσει λειτουργία και νόημα ως αρχιτεκτονικός χώρος.





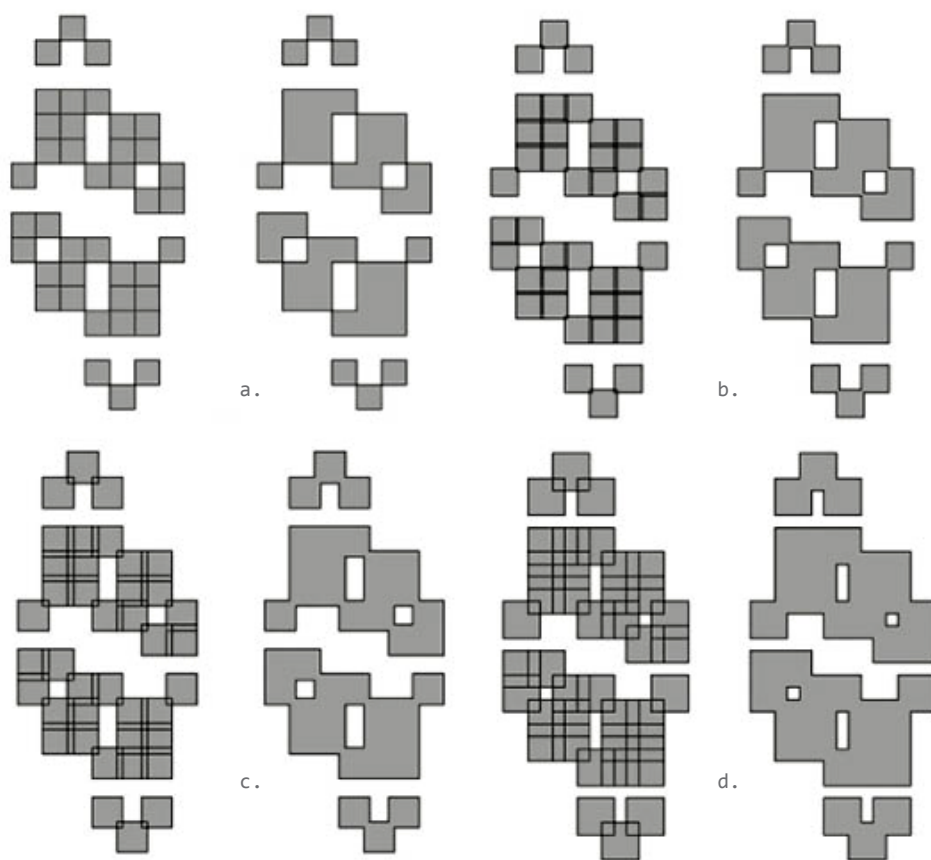
22. βασική ορολογία



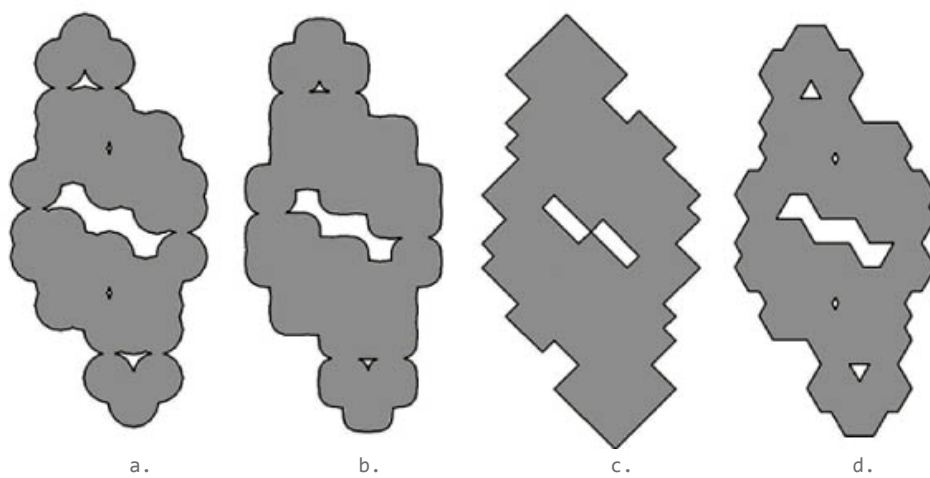
23. παράδειγμα διαμόρφωσης

Το τρισδιάστατο σύμπαν των CA (σχήμα 22a) αποτελείται από ένα απεριόριστο πλέγμα μονάδων. Καθεμιά από αυτές βρίσκεται σε μια συγκεκριμένη κατάσταση, πλήρες ή κενό και αντιπροσωπεύεται από ένα δείκτη ο οποίος καταγράφει τη θέση της. Η μεταβατική διαδικασία αρχίζει με μια αρχική κατάσταση πλήρων μονάδων και εξελίσσεται από ένα σύνολο κανόνων για κάθε επόμενη γενιά. Κανόνες καθορίζουν ποιο επιβιώνει, γεννάται, ή πεθαίνει στην επόμενη γενιά. Οι κανόνες χρησιμοποιούν ως δεδομένο την γειτονιά μιας μονάδας για να καθορίσουν το μέλλον της. Η γειτονιά προσδιορίζεται από το ποιες από τις μονάδες θα ληφθούν υπ'όψιν στην επόμενη ανατροφοδότηση. Εμφανίζονται δύο μέθοδοι στο σχήμα 22b. Ο κανόνας που αναπτύχθηκε από Coates είναι: Έλεγχος των πλήρων σε κάθε γειτονιά κάθε μονάδας. Η επιβίωση συμβαίνει όταν υπάρχουν έως τρεις γείτονες, ο θάνατος επέρχεται αν υπάρχουν παραπάνω πλήρεις γείτονες, και η γέννηση συμβαίνει σε ένα κενό κελί, με λιγότερο από τρεις πλήρεις γείτονες. Καθώς εξελίσσεται κάθε γενιά, μια από τις τρεις περιπτώσεις μπορεί να συμβεί στο πέρας ενός χρονικού βήματος. Στο τέλος, είναι δυνατόν να βρεθεί μια σταθερή μορφή. Ή να γίνει αυτό που ονομάζεται φλας, η εναλλαγή ανάμεσα σε δύο σταθερές καταστάσεις. Ή όλες ή μια συστάδα των μονάδων να γίνει ένα αλεξίπτωτο, δηλαδή να κινείται εγκάρσια προς το άπειρο για πάντα. Ή όλα τα κύτταρα να πεθάνουν και να επέλθει πλήρης εξαφάνιση.

Η καθαρή μαθηματική μετάφραση των CA σε αρχιτεκτονική μορφή περιλαμβάνει θέματα που δεν λαμβάνουν υπ'όψιν την σχεδιαστική-κατασκευαστική πραγματικότητα. Η εργασία του Paul Coates, έπειτα από τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου από CA, εξετάζει την περαιτέρω επεξεργασία του, κυρίως σε επίπεδο ογκοπλαστικό. Το σχήμα 26 παρουσιάζει μια αρχική διαμόρφωση (σχήμα 23a) και των πρώτων αποτελεσμάτων της κατά την 8η γενιά (σχήμα 23b). Η μετάφραση σε αρχιτεκτονικά δυνατή μορφή μπορεί να πραγματοποιηθεί με την επεξεργασία της τελικής μορφής του πλέγματος ή μπορεί να έχει προκαθοριστεί. Συνδυάζοντας τις δύο προσεγγίσεις, όπως βλέπουμε στο σχήμα 23, ένα όριο τοποθετείται πάνω στο πλέγμα για να αντιπροσωπεύει μία θέση, με ένα οριζόντιο επίπεδο, καθώς και έναν προσανατολισμό για περαιτέρω ανάπτυξη, ο οποίος είναι κατακόρυφος και προς τις πλευρές, αλλά όχι προς τα κάτω. Οι μονάδες στοιβάζονται ή μια πάνω στην άλλη για να δημιουργήσουν μια κατακόρυφη σύνδεση, χωρίς κατακόρυφη μετατόπιση μεταξύ των οριζόντιων επιπέδων. Σε μια πρώτη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων μπορεί να επισημανθεί μια σειρά από άλλα ζητήματα. Μερικές μονάδες δεν συνδέονται οριζόντια και άλλες δεν έχουν κάθετη στήριξη. Επίσης, οι μονάδες δεν έχουν αρχιτεκτονική κλίμακα ούτε μπορούν να προτείνουν εσωτερικό χώρο. Το σχήμα 24 παρουσιάζει ένα ενδεικτικό επίπεδο του πλέγματος και μια σειρά από παρεμβάσεις που έγιναν για να αντιμετωπιστούν αυτά τα ζητήματα. Το κεντρικό της κάθε μονάδας γίνεται η βάση για αυτή την περαιτέρω ανάπτυξη. Το πρώτο θέμα αφορά οριζόντια σύνδεση. Στο σχήμα 24a εμφανίζεται η αρχική διαμόρφωση σε ένα ενδεικτικό επίπεδο, κάθε μονάδα είναι δίπλα στην άλλη. Πρώτα ενώνονται μαζί για να σχηματίσουν μεγαλύτερες παρακείμενες περιοχές



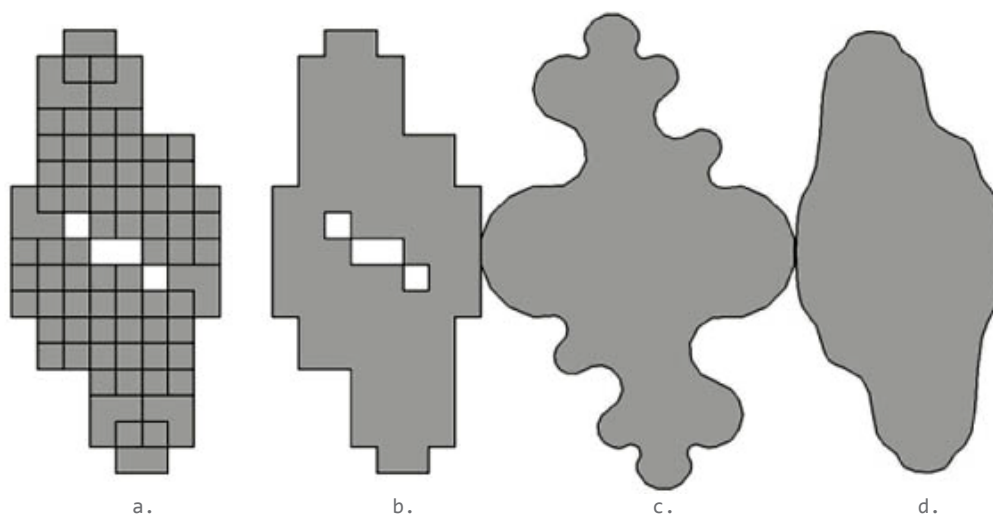
24. οριζόντια σύνδεση μονάδων



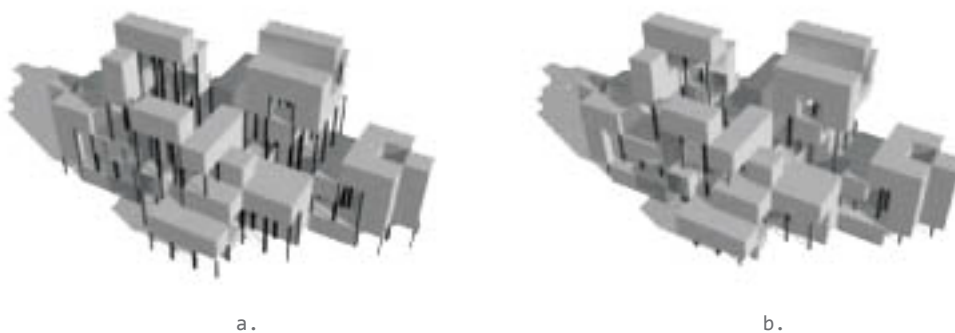
25. μεταβολή του σχήματος της μονάδας

δαπέδου. Στη διαμόρφωση αυτή, οι μονάδες που κείνται διαγωνίως δεν συνδέονται οριζόντια. Στο σχήμα 24b η μονάδα παραμένει τετράγωνη αλλά μεγενθύνεται τόσο ώστε να επικαλύπτει τους γείτονές της. Όταν ενώνονται, μια μικρή υποδοχή εμφανίζεται στις γωνίες. Στα σχήματα 24c και 24d η κλίμακα των μονάδων αυξάνεται ακόμα, για την περαιτέρω ανάπτυξη ενός συνδέσμου. Έπειτα από αυτές τις παρεμβάσεις, η εξωτερική μορφή του πλέγματος αλλάζει. Επιπλέον, ενδιαφέροντα στοιχεία εσωτερικών κενών αρχίζουν να εμφανίζονται.

Εκτός από την τετράγωνη μονάδα, μια ποικιλία από άλλα σχήματα θα μπορούσε να διερευνηθεί, που θα συνδέουν την ακμή κτιρίου και με άλλους τρόπους. Στις όψεις θα μπορούσαν να επεξεργαστούν οι επιφάνειες για την ανάπτυξη κατάλληλου προσανατολισμού και ανοιγμάτων. Στο σχήμα 25 εμφανίζονται διαμορφώσεις οι οποίες προκύπτουν από διαφορετικά σχήματα μονάδων: κύκλος, έλλειψη, περιστραμμένο τετράγωνο και εξάγωνο.



26. επεξεργασία του κελύφους

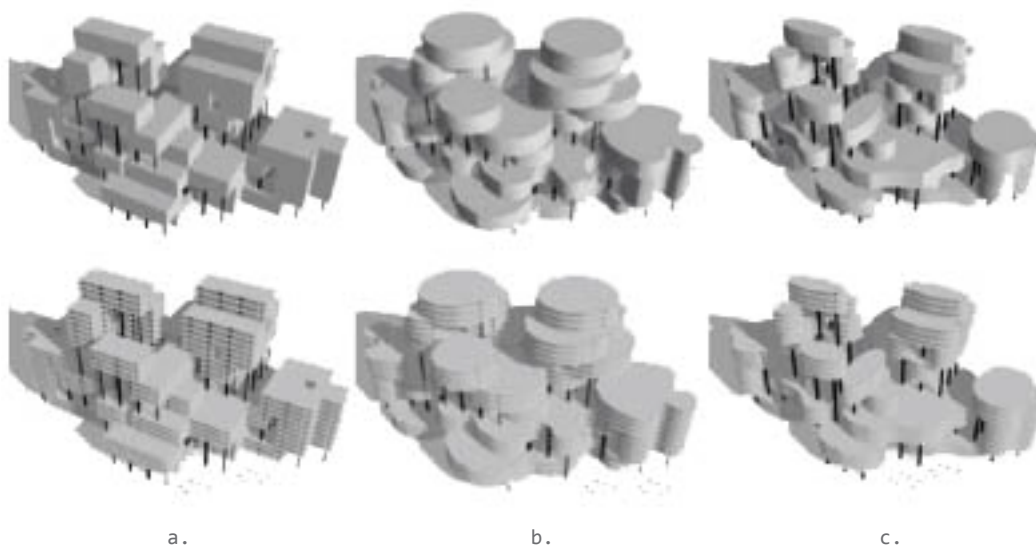


27. στηρίξεις των μονάδων

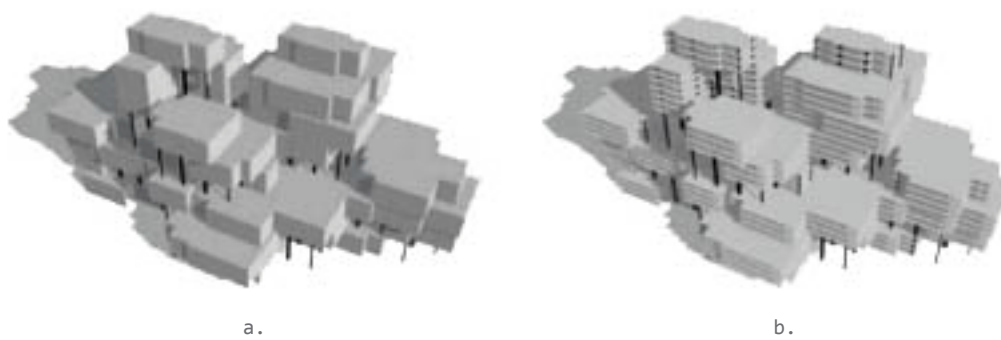


Η ένωση των μονάδων, εκτός από τη δημιουργία μεγαλύτερων χώρων, δημιουργεί επίσης ένα κέλυφος, το οποίο μπορεί να επεξεργαστεί περαιτέρω. Αυτό το κέλυφος μπορεί να ερμηνευθεί ως μια σειρά από τμήματα καμπύλης ή μιας σφήνας, όπως στο σχήμα 26. Ανάλογα με το σχήμα της μονάδας, μια ποικιλία από καμπύλα άκρα αρχίζουν να αναπτύσσονται.

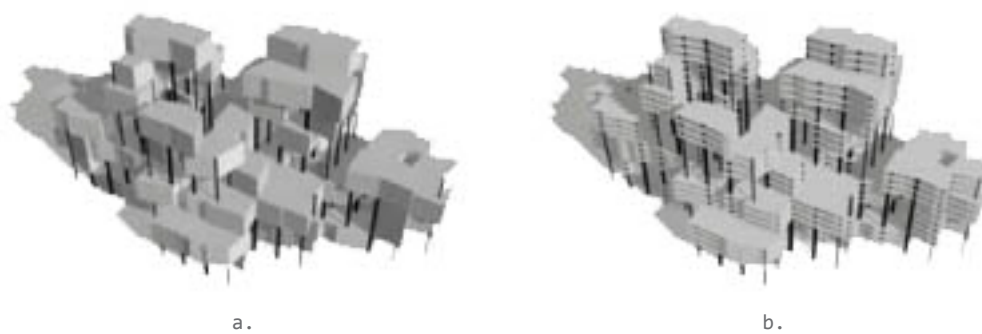
Όπως σημειώθηκε προηγουμένως, η αρχική διαμόρφωση στερείτο στηρίξεων. Αυτό το θέμα θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί από τους κανόνες ανάπτυξης του συστήματος, περιορίζοντας την ανάπτυξη μονάδων που με στήριξη από την κάτωθεν μονάδα ή με την πρόσθεση μονάδων-στηριγμάτων στην τελική διαμόρφωση. Στο σχήμα 27 βλέπουμε δύο πιθανές στηρίξεις, μία με υποστηλώματα στην κάθε γωνία των μονάδων και τη δεύτερη, με υποστηλώματα στο κέντρο κάθε μονάδας.



28. βασικές αρχιτεκτονικές μορφές



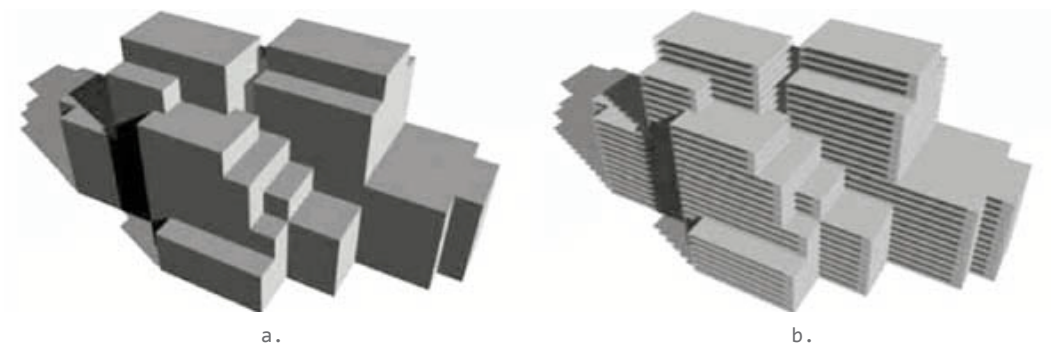
29. μονάδες τυχαίου μεγέθους



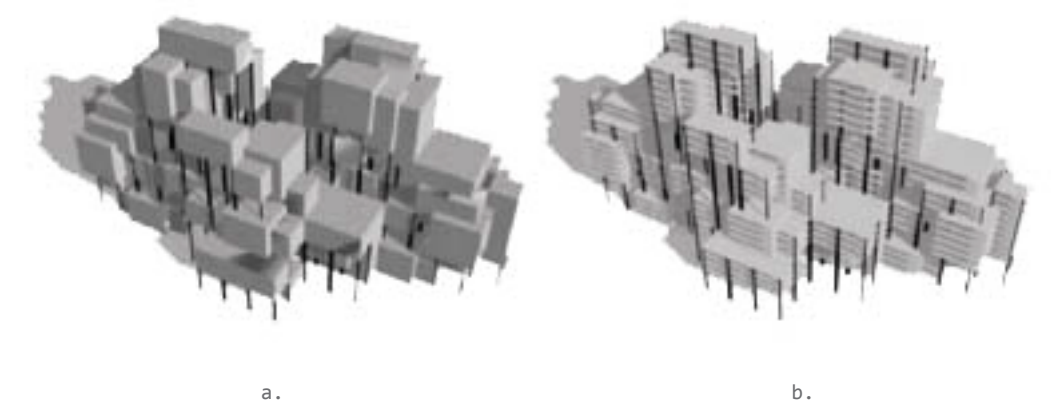
30. μονάδες με τυχαία αντιστάθμιση των κορυφών

Όταν το σύστημα φανεί συνολικά, όπως στο σχήμα 28, ζητήματα προς αντιμετώπιση παραμένουν. Στο σχήμα 28a βλέπουμε την μορφή χωρίς περαιτέρω επεξεργασία, τη διαμόρφωση των μονάδων με τις στηρίξεις και κάθε σειρά μονάδων να αντιπροσωπεύει τρεις ορόφους. Οι μεμονωμένες πλάκες δαπέδου περιλαμβάνονται και κάθε ομάδα των συγχωνευμένων μονάδων διαθέτει ένα γυάλινο κέλυφος. Στο 28b και 31c παρουσιάζονται αντίστοιχα με κύκλους και ελλείψεις. Μία από τις ενδιαφέρουσες πτυχές στις συγκεκριμένες επεξεργασίες είναι οι εσωτερικοί χώροι που δημιουργούνται από τη συγχώνευση των μονάδων.

Άλλες επεξεργασίες για την ερμηνεία των μονάδων ερευνήθηκαν επίσης. Στο σχήμα 29, αναδεικνύεται μια προσέγγιση όπου στο μέγεθος της μονάδας δίνεται ένα ελάχιστο και το μέγιστο, ενώ το τελικό μέγεθος επιλέγεται τυχαία. Η τυχαία μέθοδος υλοποιήθηκε επίσης όπως φαίνεται στο σχήμα 30. Μια ελάχιστη και μέγιστη αντιστάθμιση (offset) ορίστηκε για κάθε κορυφή μονάδας και έπειτα επιλέχθηκε τυχαία. Το σχήμα και στις δύο αυτές τις περιπτώσεις παραμένει περίπου το ίδιο με το αρχικό.



31. μονάδες κάθετων όγκων



32. μονάδες αυξημένου όγκου



33. επεξεργασμένο κέλυφος

Μία εντελώς διαφορετική προσέγγιση ερευνήθηκε επίσης, θεωρώντας κύρια την κατακόρυφη διάταξη και μετά πραγματοποιήθηκαν οι βασικές οριζόντιες συνδέσεις. Ένα τέτοιο παράδειγμα με τετραγωνική μονάδα βλέπουμε στο σχήμα 31. Τέλος, στο σχήμα 32 βλέπουμε την επεξεργασία κατά την οποία κάθε μονάδα που επεβίωσε, αύξανε κάθε φορά και το μέγεθός της.

Ακόμη, άλλες μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί, προσφέρουν δυνατότητες για μελλοντικές έρευνες. Σε μία η οποία προτάθηκε επίσης από τον Coates, όπως φαίνεται στο σχήμα 33, ολόκληρη η τρισδιάστατη διαμόρφωση του συστήματος εσωτερικά έχει διατηρηθεί ενώ το κέλυφός της έχει επεξεργαστεί μεμονωμένα, σύμφωνα με τον όγκο τον οποίο έχει ήδη δημιουργηθεί. Η πρόκληση θα ήταν ίσως να χρησιμοποιηθεί αυτή η μέθοδος, αλλά να εξακολουθεί να ενσωματώνεται το δάπεδο και η χωρική μονάδα σύμφωνα με τον τρόπο με τον οποίο αναλύθηκε το παρόν παράδειγμα. Η ποικιλία μεθόδων για την επεξεργασία περιορίζεται μόνο από τα μαθηματικά κατά την διαδικασία παραγωγής, τις δυνατότητες των εργαλείων που χρησιμοποιούμε για τη μοντελοποίηση και τη φαντασία μας.<sup>13</sup>

Το ενδιαφέρον έγκειται στην ικανότητα των CA να αντιπροσωπεύουν την πολυπλοκότητα της αρχιτεκτονικής μορφής με την εφαρμογή μιας εντελώς νέας μεθοδολογίας παράλληλης, μη-γραμμικής ανάπτυξης των πληροφοριών. Η γενετική δομή αντιπροσωπεύει την μέθοδο με την οποία το CA μπορεί να χειραγωγηθεί και αποτελείται από μια αρχική τρισδιάστατη διαμόρφωση των μονάδων και μιας σειράς σχετικών κανόνων που την ορίζουν. Επί του παρόντος, ο χρήστης εισάγει μια γενετική δομή άμεσα, ωστόσο, στο μέλλον ο στόχος είναι να εξελίσσονται οι γενετικές δομές στο πλαίσιο της διάδρασης με το περιβάλλον. Τα CA έχουν την δυνατότητα να λειτουργούν ανεξάρτητα γραφικού συστήματος, αλλά η κωδικοποιημένη πληροφορία που αφορά στην συμπεριφορά τους, χρήζει ερμηνείας και κατ'επέκταση αντίστοιχης επεξεργασίας σε υλική μορφή.<sup>14</sup>

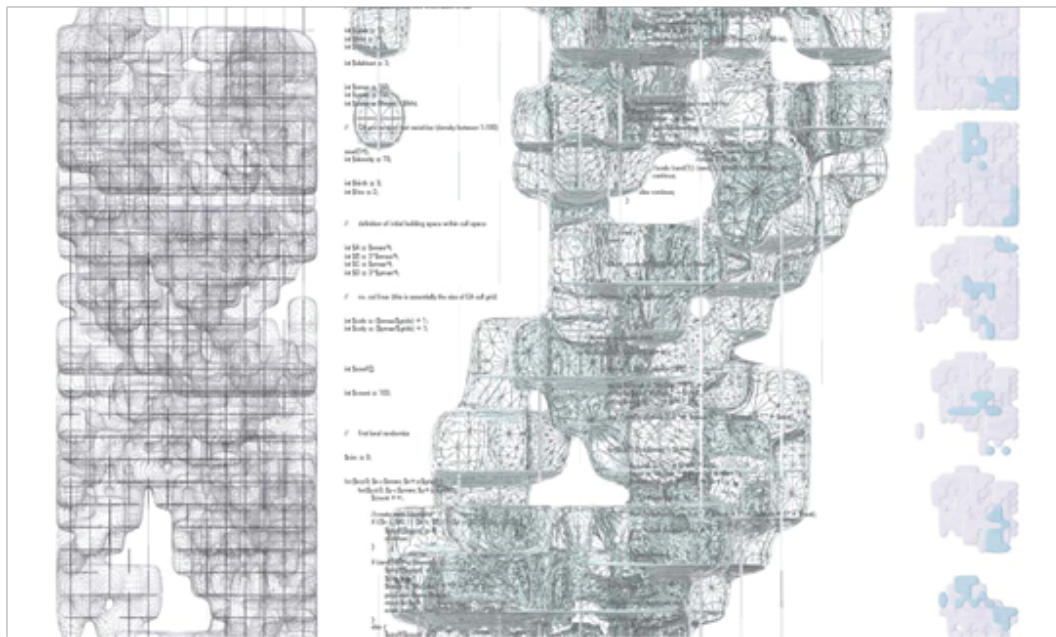
Σε αρχιτεκτονική κλίμακα, μια συνθετική μέθοδος με CA μπορεί να βοηθήσει στη διαχείριση της πληροφορίας. Το πρόβλημα είναι η ποσότητα της πληροφορίας και το επίπεδο της πολυπλοκότητας το οποίο εμπεριέχεται στα περισσότερα κτίρια, ειδικά σε πολύ ψηλά κτίρια αλλά και σε μεγάλης κλίμακας συγκροτήματα κατοικιών.<sup>15</sup>

<sup>13</sup> Krawczyk Robert J., *Architectural Interpretation of Cellular Automata*, Generative Art 2002, College of Architecture, Illinois Institute of Technology, Chicago, IL, USA

<sup>14</sup> Coates Paul, Healy N. Lamb, C. Voon W.L., *The use of Cellular Automata to explore bottom up architectonic rules*, Eurographics UK Chapter 14th Annual Conference, 26-28, March 1996 London: Eurographics Association UK

<sup>15</sup> Terzidis Kostas, *Algorithmic Complexity: Out of nowhere*, Harvard University, Massachusetts, U.S.A.





34. κτίριο κατοικιών αναπτυγμένο με CA - Mathew Snyder & Jeff Ding  
GSD 2311 Kostas Terzidis - Harvard University

<sup>17</sup> Ο Manuel De Landa αναφέρεται στο έργο του Deleuze που αφορά την επιστήμη και παρουσιάζει τους τρεις τρόπους συλλογισμού (reasoning styles), όπως συνδυαστικά διατυπώθηκαν από τον Deleuze και μέσω των οποίων αναλύεται και προκύπτει η μορφογένεση. Αναφέρεται στους διάφορους τρόπους σκέψης για να φτάσει κανείς σε ένα συμπέρασμα, καθώς η επιστήμη δεν έχει μια μοναδική μέθοδο αλλά πολλές, συνδεδεμένες με τα διαφορετικά επιστημονικά πεδία.

1. Η πληθυσμιακή σκέψη (population thinking) προκύπτει από τη Βιολογία και αφορά το πραγματικό. Η πληθυσμιακή σκέψη δημιουργεί μορφές, καθώς οι ανθρώπινες επιλογές, συνειδητές ή μη, οδηγούν στη γένεση μορφών.

2. Η εντατική σκέψη (intensive thinking) προκύπτει από τη Θερμοδυναμική και αφορά τις διαδικασίες οι οποίες παράγουν στοιχεία του περιβάλλοντός μας. Για την κατανόηση της εντατικής σκέψης, ο De Landa παραλληλίζει τη λειτουργία της ατμομηχανής με τη λειτουργία της ατμόσφαιρας του πλανήτη. Η δημιουργία της μηχανής ως μέσο μεταφοράς ενέργειας, η οποία, από μηχανικής πλευράς, μπορεί να θεωρηθεί σμίκρυνση της ατμόσφαιρας, είναι καθοριστικός παράγοντας μορφογένεσης.

3. Η τοπολογική σκέψη (topological thinking) προκύπτει από τα Μαθηματικά και αφορά τα εικονικά πράγματα, αυτά τα οποία είναι αληθινά αλλά όχι πραγματικά (think about virtual things, things that are real but not actual De Landa Manuel, *Deleuze and the Use of the Genetic Algorithm in Architecture*, 2001). Βασικό στοιχείο του εν λόγω τρόπου συλλογισμού είναι η συνεκτικότητα, δηλαδή μπορούμε να πούμε πως μελετά τις σχέσεις που αναπτύσσονται μεταξύ των πραγμάτων.

## β. η φιλοσοφική προσέγγιση της διεπιστημονικότητας του σχεδιασμού

Σε ένα επόμενο επίπεδο ανάλυσης, η φιλοσοφική σκέψη του Manuel De Landa μας βοηθάει να κατανοήσουμε και να προβληματιστούμε περαιτέρω για τη χρήση των CA στο σχεδιασμό. Στο άρθρο του *Deleuze and the Use of the Genetic Algorithm in Architecture*, ο De Landa απαντάει σε ένα θεωρητικό ερώτημα το οποίο ανακύπτει από το μεγάλο ποσοστό αυτοματοποίησης του σχεδιασμού με τη βοήθεια των υπολογιστικών συστημάτων. *In a sense evolutionary simulations replace design, since artists can use this software to breed new forms rather than specifically design them. This is basically correct but, as I argue below, there is a part of the process in which deliberate design is still a crucial component.*<sup>16</sup> Όπως αναφέρει, κατά μια έννοια, οι εξελικτικές προσομοιώσεις αντικαθιστούν το σχεδιασμό, αφού οι καλλιτέχνες μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτό το λογισμικό για την αναπαραγωγή νέων μορφών από το να τις σχεδιάσουν συγκεκριμένα. Αυτό είναι βασικά σωστό αλλά, όπως εξηγείται παρακάτω, υπάρχει ένα μέρος της διαδικασίας στο οποίο ο συνειδητός σχεδιασμός εξακολουθεί να είναι ένα κρίσιμο στοιχείο.

Στο άρθρο του υποστηρίζει πως η χρήση των γενετικών αλγορίθμων στο σχεδιασμό, για να είναι παραγωγική, πρέπει να συνεπάγεται την ανάπτυξη τριών μορφών φιλοσοφικής σκέψης, την πληθυσμιακή, την εντατική και την τοπολογική (*population, intensive and topological thinking*<sup>17</sup>), οι οποίες δεν εφευρέθηκαν από τον Deleuze, αλλά ήταν αυτός που τις συνέδεσε για πρώτη φορά και έθεσε τις βάσεις για μια ρηξικέλευστη αντίληψη της γένεσης της μορφής. Ο De Landa καταλήγει πως είναι πολύ νωρίς για να πει κανείς ακριβώς τι είδους σχεδιαστικές μεθοδολογίες θα είναι απαραίτητες, όμως θεωρεί πως οι αρχιτέκτονες που επιθυμούν να χρησιμοποιήσουν αυτό το νέο εργαλείο, δεν πρέπει να ξεκλειδώσουν τους κώδικες μόνο των υπολογιστικών συστημάτων, (έτσι ώστε να μπορούν να δημιουργήσουν τον κώδικα που απαιτείται), αλλά να είναι σε θέση να κάνουν το ίδιο και με τη βιολογία, τη θερμοδυναμική, τα μαθηματικά και με άλλους τομείς της επιστήμης, για να εκμεταλλευτούν τους απαραίτητους πόρους. Όσο συναρπαστική κι αν είναι η ιδέα αναπαραγόμενων κτιρίων μέσα σε έναν υπολογιστή, είναι σαφές ότι η απλή ψηφιακή τεχνολογία χωρίς πληθυσμιακή, εντατική και τοπολογική σκέψη δεν θα είναι ποτέ επαρκής.

Ο De Landa διαχωρίζει τη φυσική μορφογένεση από την καλλιτεχνική μορφογένεση. Αναλυτικότερα, επισημαίνει ότι κατά την ανθρώπινη-καλλιτεχνική μορφογένεση ο δημιουργός αποτελεί μέρος της διαδικασίας, χωρίς αυτή να συνεπάγεται την συνεργασία της με την

<sup>16</sup> De Landa Manuel, *Deleuze and the Use of the Genetic Algorithm in Architecture*, 2001



35. Automa[T]own - Andrea DeBilio  
Cellular Automata Architectural Investigation  
IAAC Master in Advanced Architecture Final Review



36. μελέτη για κτίριο γραφείων και κατοικιών στο Fargo  
North Dakota - Dennis Park & Daniel Yep

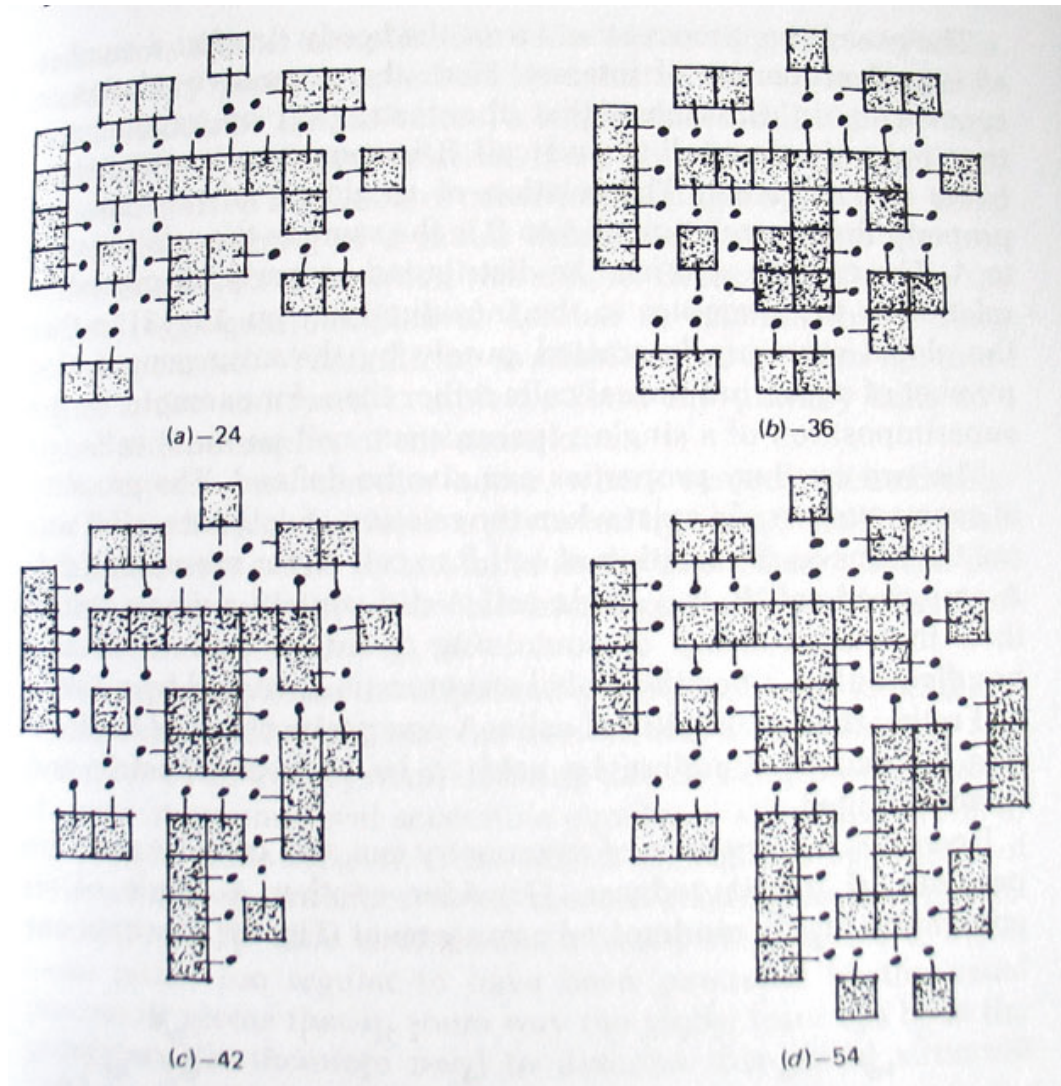
φυσική μορφογένεση. Η ανθρώπινη μορφογένεση δεν αντιγράφει τη φύση, αλλά αξιοποιεί φυσικούς κανόνες για να καταλήξει σε ένα αποτέλεσμα σχεδιασμένο από τον άνθρωπο. Για να έχει όμως νόημα η ανθρώπινη μορφογένεση, πρέπει να προσεγγίζεται με διεπιστημονικό τρόπο. Για αυτό το λόγο ο De Landa επισημαίνει τη σημασία των τριών φιλοσοφικών τρόπων σκέψης, με προέλευση από τρεις διαφορετικούς επιστημονικούς τομείς, οι οποίοι συντελούν στη διαδικασία ανάλυσης φυσικών κανόνων και την εφαρμογή τους στο σχεδιασμό.

Η πληθυσμιακή σκέψη μας βοηθάει να κατανοήσουμε πως η αλληλεπίδραση στοιχείων σε ένα περιβάλλον συντελεί στην δημιουργία. Ο οποιοσδήποτε πληθυσμός με διάφορα αναπαραγωγικά στοιχεία που συνενώνονται μέσα από ένα οποιοδήποτε φίλτρο, δίνει εξέλιξη. Σύμφωνα με αυτό το είδος συλλογισμού δηλαδή, τα είδη υπόκεινται σε φίλτρα τα οποία καθορίζουν και την εξέλιξή τους. Η εντατική σκέψη προκύπτει από τη θερμοδυναμική και αφορά τις διαδικασίες οι οποίες παράγουν στοιχεία του περιβάλλοντός μας. Στην ουσία, είναι ένα πρίσμα υπό το οποίο μπορούμε να αντιλαμβανόμαστε τις διαδικασίες βασικά ως μεταφορά ενέργειας, κάτι το οποίο είναι απαραίτητο για οποιαδήποτε δημιουργία, άρα και για τη μορφογένεση. Με λίγα λόγια, στη φιλοσοφία, η εντατική σκέψη μας αναγκάζει να σκεφτούμε τι τροφοδοτεί την δημιουργία. Ο De Landa μας εξηγεί πως ο Deleuze χρησιμοποιεί την πληθυσμιακή σκέψη για να σκεφτεί για υπαρκτά πράγματα και την εντατική σκέψη για να σκεφτεί για τη διαδικασία που παράγει υπαρκτά πράγματα. Χρειάζεται όμως και ένα τρίτο τρόπο συλλογισμού για τα δυνητικά πράγματα (*virtual things*), δηλαδή γι'αυτά που είναι αληθινά αλλά όχι πραγματικά. Για να καταλάβουμε τη διαφορά με ένα απλό παράδειγμα, Η δυνατότητα του μαχαιριού να κόψει μπορεί να είναι πραγματική όταν κόβει κάτι και αληθινή όταν δεν κόβει κάτι. Οι τοπολογικοί χώροι είναι μαθηματικές δομές που επιτρέπουν τον ορισμό θεμάτων όπως η σύγκλιση, η σύνδεση και η συνέχεια. Ένα δυνητικό σχήμα σε έναν τοπολογικό χώρο λοιπόν, έχει ανοιχτές δυνατότητες μορφοποίησης, δηλαδή μπορεί να εξελιχθεί, ως μορφή, σε πολλαπλές κατευθύνσεις.

Όλα αυτά φαίνονται πολύ σημαντικά, αν αναλογιστεί κανείς ότι με την ανάπτυξη συστημάτων σαν τα CA, εισαγάγουμε σε έναν διαφορετικό τρόπο σχεδιασμού. Όμως οφείλουμε να αντιληφθούμε ότι η ουσία δεν βρίσκεται στη χρήση μιας ακόμα τεχνολογικής καινοτομίας για την παραγωγή αρχιτεκτονικών μορφών. Αλλά είναι σημαντικό, να ερευνήσουμε και να εμπεδώσουμε πως οι νόμοι που διέπουν τα φυσικά και βιολογικά συστήματα, οι επιλογές που αφορούν στην (αυτο)-δημιουργία και (αυτο)-οργάνωσή τους, μπορούν να ενεργούν αναλόγως και στον αρχιτεκτονικό χώρο. Δηλαδή είναι κρίσιμο, όπως επισημαίνει ο John Johnston στο *Allure of Machinic Life*, να γίνει κατανοητό ότι τα υπολογιστικά συστήματα δεν έχουν χρησιμότητα για την προσομοίωση ή τη σύνθεση φυσικών μορφών, αλλά για να γίνει αντιληπτό πως η οργανωτική λογική της φύσης μπορεί να αναπτυχθεί για να επιτευχθεί μεγαλύτερη αξιοπιστία στα υπολογιστικά συστήματα.<sup>18</sup>

<sup>18</sup>Johnston John, *The Allure of Machinic Life: Cybernetics, Artificial Life, and the New AI*, A Bradford Book, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, 2008, σελ: 172





37. μοντέλο CA για την ανάπτυξη γαλλικών χωριών - Bill Hillier - 1989



### c. προσομοίωση της αστικής ανάπτυξης μέσω CA

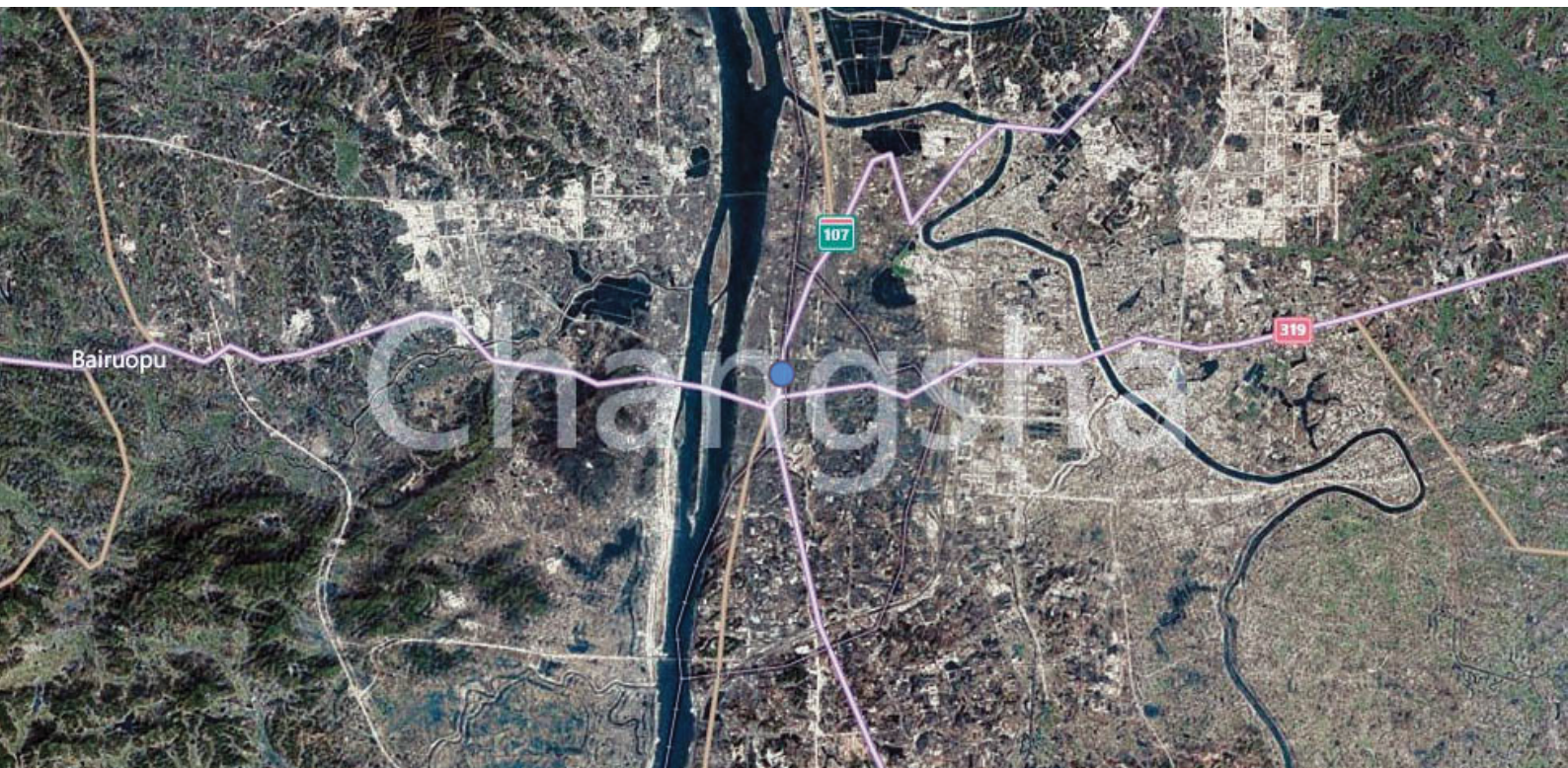
Μοντέλα που αντιμετώπιζαν την πόλη ως δυναμικό σύστημα προτάθηκαν για πρώτη φορά στα τέλη της δεκαετίας του 1950 και ο διαχωρισμός τους από τα παραδοσιακά-αναλυτικά μοντέλα δεν άργησε να θεσπιστεί. Οι προσομοιώσεις αστικής ανάπτυξης ήταν πρώτα, σε μεγάλο βαθμό, στηριγμένες σε στατικές δομές, σαν η πόλη να έχει φτάσει ένα σημείο ισορροπίας, με μικρή σημασία στις λεπτομέρειες που την καθιστούν δυναμικό στοιχείο. Τα μοντέλα προσομοίωσης διαμορφώνονταν γύρω από τις οικονομικές θεωρίες, με βάση την πυκνότητα του πληθυσμού, τα πρότυπα κυκλοφορίας, τις δημογραφικές προβλέψεις, τις αναλύσεις από συστήματα γραμμικής εισόδου-εξόδου, στοιχεία τα οποία βασίζονται άμεσα σε έννοιες της κλασσικής φυσικής, όπως η ροή και η δύναμη και είναι θεμελιωδώς εξαρτώμενα από τα οικονομικά δεδομένα.

Τα πρώτα bottom-up μοντέλα CA που εφαρμόστηκαν με αντικείμενο την αστική δομή και ανάπτυξη εμφανίστηκαν στη δεκαετία του 1960. Το 1968, προσομοιώθηκαν στοιχεία του χώρου ως κύτταρα, με μη-γραμμική συμπεριφορά και αλληλεπίδραση, για ένα πρόγραμμα αστικής ανάπτυξης του Γκρίνσμπορο της Βόρειας Καρολίνα. Στο Αμβούργο του 1965 χρησιμοποιήθηκε ένα παρόμοιο μοντέλο, ενώ το 1970 χρησιμοποιήθηκε μια αντίστοιχη προσομοίωση για την παραγωγή μιας ταινίας του γεωγράφου Waldo Tobler, με θέμα την ανάπτυξη στην περιοχή του Ντιτρόιτ. Στα χρόνια που μεσολάβησαν, οι προσομοιώσεις βασισμένες σε CA θεωρήθηκαν σημαντικές, αλλά κυρίως για παιδαγωγικούς λόγους αλλά και ως μέσο ανάλυσης.<sup>19</sup>

Ήταν όμως στις αρχές του 1990, όταν τα εν λόγω μοντέλα άρχισαν να χρησιμοποιούνται, ως αρκετά αξιόπιστα, σαν βάση για την προσομοίωση και την πρόβλεψη αστικών φαινομένων και ήταν εν μέρει η απαρχή για την ανάπτυξη και την εφαρμογή νέων προσεγγίσεων για την κατανόηση της δυναμικής του αστικού περιβάλλοντος. Για τη διερεύνηση της πολυπλοκότητας των πόλεων του 21ου αιώνα δημιουργήθηκαν προγράμματα προσομοίωσης βασισμένα σε συστήματα πολλαπλών παραγόντων (Parker 2003, Crooks 2008), τεχνητών νευρωνικών δικτύων (Li & Yeh 2002, Guan 2005) και μικροπροσομοιωτικών συστημάτων (Birkin 2010). Σε αυτό το πλαίσιο εφαρμογών προσομοίωσης εντάσσονται και τα μοντέλα βασισμένα σε CA (Batty 1997, Yan 2009). Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά μοντέλα ανάπτυξης, τα συγκεκριμένα είναι βασισμένα όχι στις αστικές οικονομικές θεωρίες ή την ανάλυση της αγοράς ακινήτων, αλλά σε έννοιες σχετικές με την ανάπτυξη της γης και τις μεταβολές στη χρήση και την κάλυψή της.<sup>20</sup> Ένα τέτοιου είδους υπολογιστικό πρόγραμμα χρησιμοποιήθηκε και στο παράδειγμα που ακολουθεί.

<sup>19</sup> Batty M. - Couclelis H. - Eichen M., *Urban Systems as Cellular Automata*, Pion, U.S.A., 1997

<sup>20</sup> Batty Michael, *Cities as Complex Systems*, Centre for Advanced Spatial Analysis, University College London, Working Papers Series, Paper 131



38 - 39. Changsha - Kiva



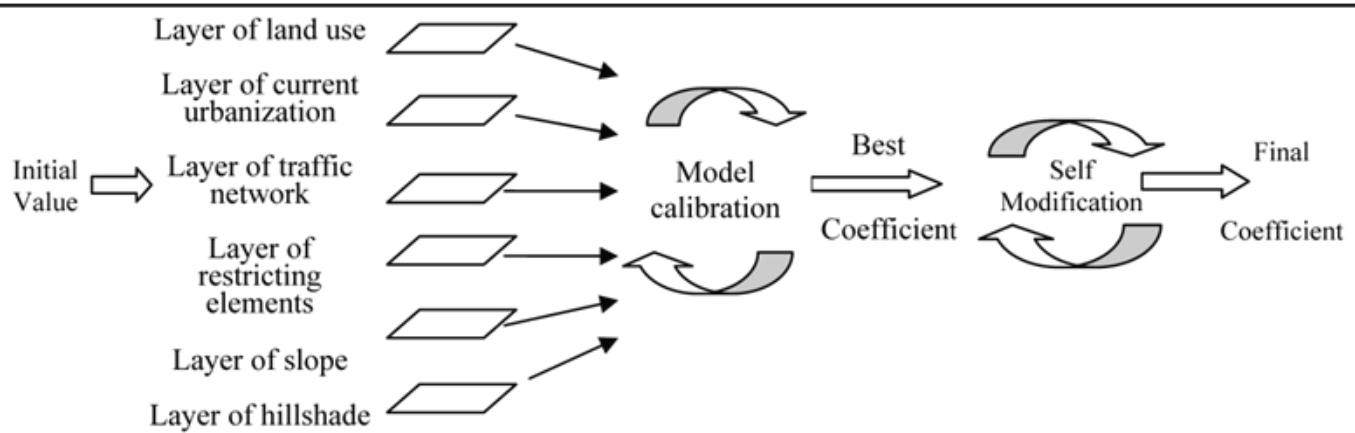
#### d. η περίπτωση της Changsha

Το πρότυπο μοντελοποίησης Sleuth, βασισμένο στα CA, χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση της διαδικασίας ανάπτυξης της πόλης Changsha από το 1996 μέχρι το 2005. Επιπλέον, προβλέφθηκε η χωρική μορφολογία της πόλης Changsha για το 2015 και 2030 ξεχωριστά. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης και προσομοίωσης δείχνουν ότι εφαρμογή του μοντέλου Sleuth αστικής ανάπτυξης είναι βάσιμη και η ακρίβειά της αποδεκτή. Τα τελευταία χρόνια, η εφαρμογή των CA στην αστική ανάπτυξη έχει μελετηθεί από πάρα πολλούς ερευνητές. Ο Michael Batty, στο βιβλίο του *Fractal Cities*, πραγματοποίησε περαιτέρω μελέτες σχετικά με την αστική εξέλιξη, με τη βοήθεια των fractal δομών και μοντέλων CA.

Η πόλη Changsha βρίσκεται στο νότιο τμήμα του ποταμού Yangtze στην κεντρική Κίνα και καλύπτει πέντε διαφορετικές διοικητικές περιοχές (Yuelu District, Kaifu District, Furong District, Tianxin District, και Yuhua District) με συνολική έκταση περίπου 556 χλμ<sup>2</sup> και σημερινό πληθυσμό περί τα δύο εκατομμύρια. Ως πρωτεύουσα και μεγαλύτερη πόλη στην επαρχία Χουνάν, η Changsha είναι το κέντρο διοίκησης, πολιτισμού, οικονομίας και μεταφορών. Από το χτίσιμο της γέφυρας του ποταμού Xiangjiang το 1972, η πόλη και η παρόχθια περιοχή του ποταμού Xiangjiang γνώρισαν ταχεία αστικοποίηση. Ως δεδομένα για την έρευνα χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία της Changsha για τα έτη 1996, 1999, 2002, 2005, ήταν τα δεδομένα χρήσεων γης και το ρυθμιστικό σχέδιο του 2006. Σύμφωνα με τις ανάγκες της μελέτης, τα δεδομένα διαιρούνται στις κατηγορίες: χρήσεων γης, παρούσας αστικοποίησης, δικτύου κυκλοφορίας, αναγλύφου και ρυθμιστικού σχεδίου. Για τα δεδομένα του ισχύοντος σχεδίου, η Changsha έχει καλύψει την προκαθορισμένη αστική περιοχή και η έκταση αστικής γης δεν πρόκειται να αλλάξει ουσιαστικά. Εκτάσεις που, σε οποιαδήποτε περίπτωση, δεν μπορούν να αναπτυχθούν, όπως η περιοχή με νερό, λόφους, δημόσια πράσινα, περιοχές οικολογικού ενδιαφέροντος, αγροτικές ζώνες και ζώνες προστασίας ελέγχονται. Το δίκτυο κυκλοφορίας περιλαμβάνει κεντρικούς δρόμους τη σιδηροδρομική γραμμή. Αντιστοίχως έχει καταγραφεί και το ανάγλυφο.

Το Sleuth είναι ένα είδος μοντελοποίησης, κατά το οποίο μια περιοχή μελέτης αντιστοιχεί σε ένα σύστημα CA. Κάθε κύτταρο-μονάδα αντιπροσωπεύει μια μονάδα χρήσης γης. Τα κύτταρα-μονάδες αντιστοιχούν στις ταξινομημένες υποδιαιρέσεις της περιοχής μελέτης: κάθε μονάδα αντιστοιχεί σε ένα pixel της εικόνας. Κατά τη διαδικασία της προσομοίωσης, αν μία ορισμένη, μη αστικοποιημένη μονάδα θα είναι αστικοποιημένη στο ακόλουθο χρονικό βήμα, εξαρτάται από την κατάσταση της μονάδας και τις αρχές εξέλιξης.





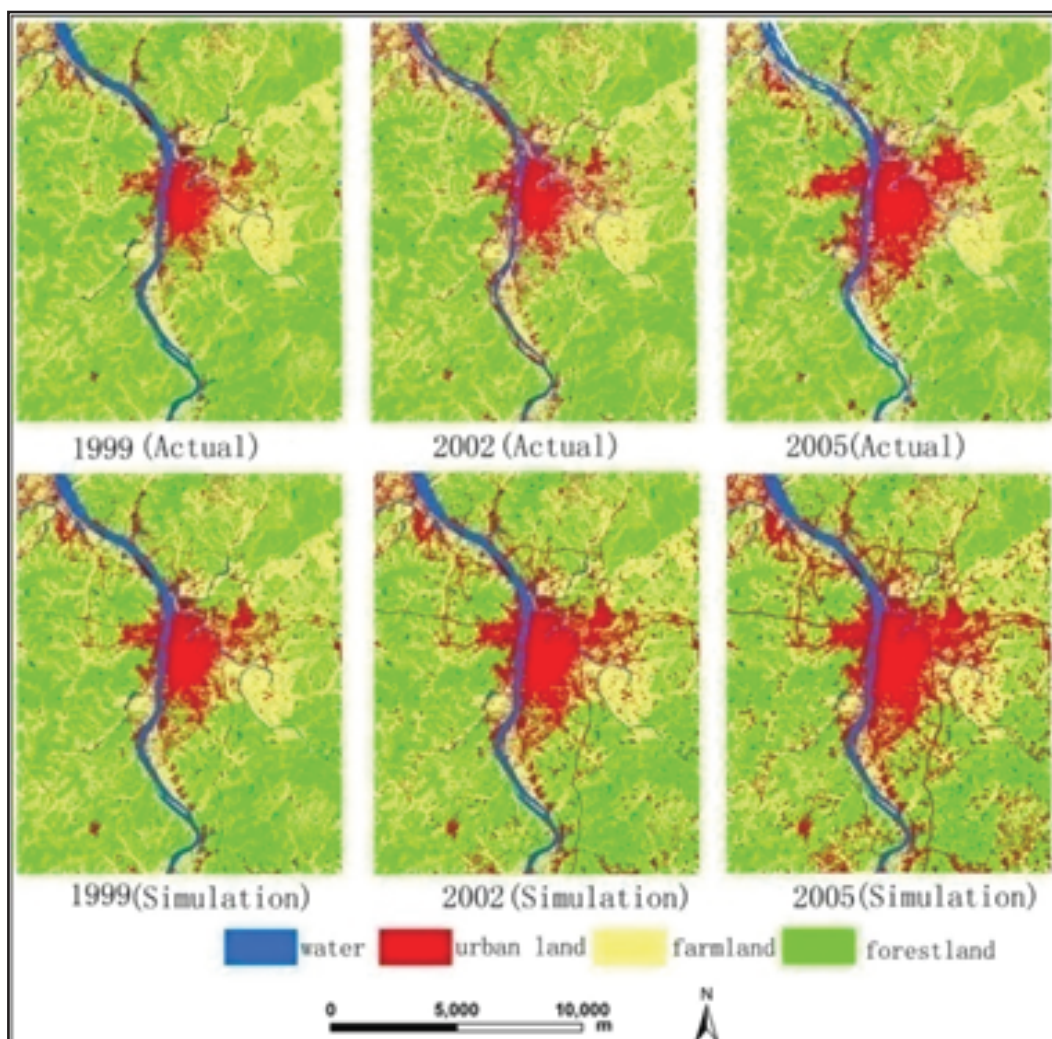
## συντελεστές και αρχές της αστικής ανάπτυξης

Το μοντέλο Sleuth βαθμονομείται με βάση τα ιστορικά δεδομένα. Οι συντελεστές προσαρμόζονται στις συγκεκριμένες περιοχές που έχουν επιλεγεί. Μέχρι πέντε συντελεστές και τέσσερις αρχές επηρεάζουν την ανάπτυξη. Οι πέντε συντελεστές είναι: εξάπλωση, φυλή, διασπορά, δρόμος και ανάγλυφο. Οι τέσσερις αρχές είναι: η αυτοτέλεια των χρήσεων, οι ζώνες νεόκτιστων, η εξελισσόμενη ανάπτυξη και το δίκτυο κυκλοφορίας. Τα στοιχεία αυτά έχουν επιλεγεί ως βασική επιρροή για τη συγκέντρωση πληθυσμού και την αστική ανάπτυξη. Βασικό χαρακτηριστικό το οποίο τα καθιστά σύστημα, με τρόπο με τον οποίο να μπορούν να μεταφραστούν σε στοιχεία ενός CA, είναι η άμεση αλληλεπίδρασή τους. Στην αρχή της αυτοτέλειας των χρήσεων, ο συντελεστής διασποράς καθορίζει την απόσταση του δρόμου από περιοχή και το αντίστροφο. Στην αρχή της ζώνης νεόκτιστων, ο συντελεστής φυλή καθορίζει τη σκοπιμότητα δημιουργίας ενός αστικού δικτύου για ένα κέντρο μιας αναπτυσσόμενης πόλης. Στην αρχή της εξελισσόμενης ανάπτυξης, ο συντελεστής εξάπλωσης προσδιορίζει τη σκοπιμότητα μιας τυχαίας αστικής μονάδας σε επέκταση να αστικοποιηθεί περαιτέρω. Ο συντελεστής ανάγλυφο έχει το ίδιο αποτέλεσμα σε όλες τις αρχές, δηλαδή όσο μεγαλύτερη η κλίση του εδάφους, τόσο μικρότερη η πιθανότητα του μέλους για αστικοποίηση. Εάν ο συντελεστής της κλίσης τείνει στο μηδέν, η σκοπιμότητα μιας μονάδας για αστικοποίηση δεν θα μπορούσε να επηρεαστεί. Είναι ενδεικτικό το γεγονός ότι αυτό το μοντέλο φαίνεται να επηρεάζεται συνθετικά και όχι χωριστά από τους πέντε συντελεστές, οι οποίοι προωθούν την εξέλιξη του μοντέλου σε καθορισμένες αρχές.

## βαθμονόμηση του μοντέλου

Η βαθμονόμηση του μοντέλου είναι η διαδικασία της κατάρτισης του δείγματος με τα ιστορικά δεδομένα. Δηλαδή, σε κάθε μονάδα-pixel, αποδίδεται ένας συντελεστής από τους παραπάνω και ταυτόχρονα μια τιμή που αφορά το πόσο ισχυρός ή αδύναμος είναι στην συγκεκριμένη θέση, κάτι το οποίο έπειτα λαμβάνεται υπ' όψιν από τον αλγόριθμο του προγράμματος, με σκοπό την ανατροφοδότησή του. Πρώτα από όλα, η αρχική τιμή των συντελεστών έχει δοθεί ως εξής: παίρνουν μια τιμή, κατά προσέγγιση, μεταξύ 0 και 100. Υπάρχουν 3 στάδια της βαθμονόμησης, η προσεγγιστική, η ακριβής και η τελική βαθμονόμηση. Σε κάθε στάδιο το μοντέλο συγκρίνει τα αποτελέσματα της κατάρτισης με τα πραγματικά δεδομένα και τα αξιολογεί σύμφωνα με ορισμένους δείκτες. Μετά τη βαθμονόμηση, το μοντέλο προσαρμόζει τους συντελεστές ανάπτυξης με αυτο-τροποποίηση. Η διαδικασία βαθμονόμησης φαίνεται στο σχήμα 40.





41. η προσομοίωση και η πραγματική αστική ανάπτυξη της πόλης Changsha, το 1999, το 2002 και το 2005

## αστική ανάπτυξη 1996 – 2005

Για τη μελέτη των μηχανισμών αστικής ανάπτυξης, η διαδικασία ανάπτυξης των αστικών περιοχών έχει ανακατασκευαστεί, όπως είπαμε, με την αναβαθμονόμηση των συντελεστών. Η σύγκριση της προσομοίωσης και των πραγματικών δεδομένων, το 1999, το 2002 και το 2005, είναι αρκετά έγκυρη και επιπλέον το σύστημα ανατροφοδοτείται με τα πραγματικά δεδομένα, με σκοπό την βελτίωσή του. Η ακρίβεια της προσομοίωσης με τα CA, σε σχέση με την πραγματικότητα είναι 70,12% το 1999, 68,37% το 2002 και 60,25% το 2005. Το σχήμα 44 δείχνει φαινόμενα διαφορετικής αστικής επέκτασης κατά μήκος των δρόμων. Ο μεγαλύτερος συντελεστής δρόμου έχει ως αποτέλεσμα την ταχεία ανάπτυξη των αστικών περιοχών κατά μήκος των δρόμων. Στη συνέχεια, η ταχύτητα της επέκτασης της γης δυτικά, όπου είναι ορεινή περιοχή, είναι πάνω από το αναμενόμενο, καθώς θα έπρεπε να έχει αναπτυχθεί πιο αργά από ότι νότια περιοχή ανατολικά λόγω του αναγλύφου. Τέλος, οι αστικές μάζες είναι πιο αποσπασματικές στην πραγματικότητα, από ότι στην προσομοίωση.

σενάρια για την μελλοντική αστική ανάπτυξη για το 2015 και το 2030 (σχήμα 42)

Σενάριο 1: Οι αστικές περιοχές αυξάνονται με την τρέχουσα τάση, χωρίς εκτιμήσεις για απώλεια των γεωργικών εκτάσεων, δασικών εκτάσεων και το δημόσιου πράσινου.

Σενάριο 2: Με στόχο την προστασία των γεωργικών εδαφών, η αστική ανάπτυξη καταλαμβάνει ελάχιστες γεωργικές εκτάσεις, δασικές εκτάσεις και δημόσιο πράσινο, χωρίς εξέταση της τρέχουσας τάσης.

Σενάριο 3: Με στόχο την προστασία των γεωργικών εδαφών, η αστική ανάπτυξη καταλαμβάνει ελάχιστες γεωργικές εκτάσεις, δασικές εκτάσεις και δημόσιο πράσινο, με εξέταση της τρέχουσας τάσης.<sup>21</sup>

<sup>21</sup> Changlin, Dingquan, Honghui, Shengjing, Guanghui, *Simulation of urban growth using a cellular automata-based model in a developing nation's region*, School of Info-Physics and Geomatics Engineering, Central South University, Changsha, China, Changsha Planning Information Service Center

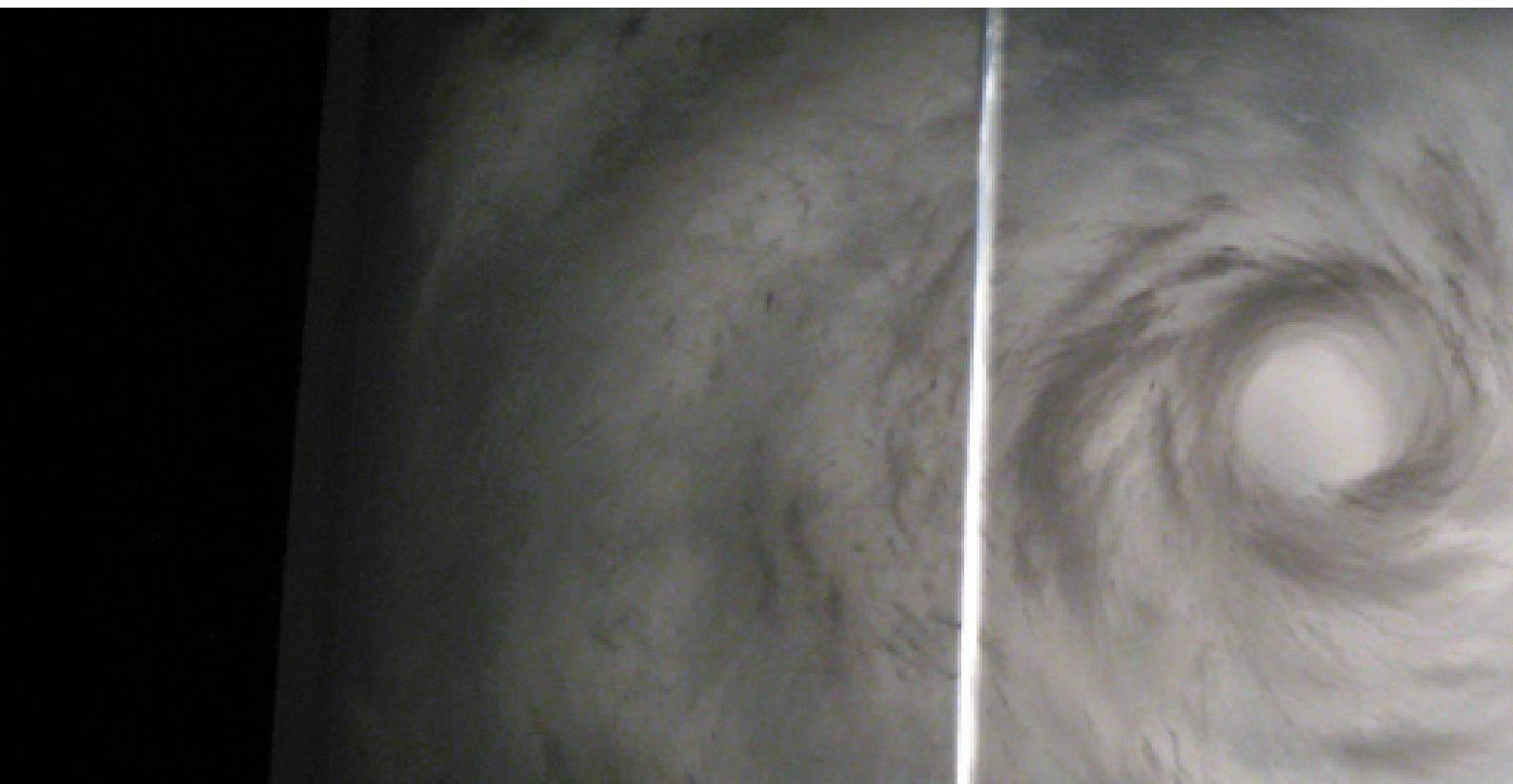


42. σενάρια  
για την αστική ανάπτυξη της πόλης Changsha το 2015

Στην περίπτωση του μοντέλου Sleuth, είδαμε πως τα CA λειτουργούν ως εργαλεία ανάλυσης του χώρου στη διάρκεια του χρόνου. Ο χρόνος είναι ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία τα οποία εισάγει ένα πολύπλοκο σύστημα στη διαδικασία του σχεδιασμού. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης, είναι φανερό η χρησιμότητα τέτοιων μοντέλων προσομοίωσης, καθώς τα αποτελέσματα φαίνονται αρκετά ακριβή για να μπορέσουμε να πάρουμε στοιχεία θα βοηθήσουν να τεθούν οι βασικές αρχές οι οποίες θα διέπουν το σχεδιασμό. Μπορούμε λοιπόν να συμπεράνουμε ότι η πόλη βρίσκεται σε έναν ιδιαιτέρως έντονο ρυθμό αστικοποίησης. Με αυτό το στοιχείο ως δεδομένο προβλέπεται σχεδόν αναπόφευκτη η κατάληψη γεωργικής γης και δασικών εκτάσεων. Σύμφωνα με τα παραπάνω, και συναρτήσει των ζητούμενων για το μέλλον της πόλης, τα ρυθμιστικά σχέδια που θα ακολουθήσουν θα είναι κατάλληλα για την πρόληψη και τον έλεγχο της αστικής ανάπτυξης.

Σε αστική κλίμακα, συστήματα σαν το Sleuth συνεχώς εξελίσσονται και αντίστοιχες μελέτες γίνονται με αντικείμενο διάφορες πόλεις. Ακόμα όμως, μένουν πολλά πράγματα να κατανοηθούν όσον αφορά στις διαδικασίες της αστικής ανάπτυξης. Μοντέλα βασισμένα σε CA είναι ένα πολύ χρήσιμα εργαλεία έρευνας, ώστε να μπορέσουμε να συλλάβουμε δυναμικές ιδιότητες μιας πόλης, όπως η αυτο-οργάνωση, το emergence και άλλες που προαναφέρθηκαν. Ωστόσο, τα εν λόγω μοντέλα προσομοίωσης ακόμα έχουν περιορισμένες δυνατότητες σχετικώς με τα παραγόμενα αποτελέσματα, καθώς δεν έχουν φτάσει σε σημείο απολύτως σαφούς χαρτογράφησης στοιχείων του αστικού περιβάλλοντος, κυρίως λεπτομέρειες που έχουν να κάνουν με το δομημένο περιβάλλον ή παράγοντες που επηρεάζουν το ρυθμό της αστικής ανάπτυξης.

Μέσω των υπολογιστικών συστημάτων και των γενετικών αλγορίθμων, είναι δυνατόν να ευνοηθεί η δημιουργία ενός λεξιλογίου σχεδιασμού, βασισμένου ακόμη και σε βιολογικές αναλογίες με το αστικό περιβάλλον. Μπορεί τέτοιες μέθοδοι να μην είναι πάντα ικανές να δώσουν συγκεκριμένες λύσεις σε πρακτικό επίπεδο, για την εξυγίανση αστικών στοιχείων και φαινομένων, όμως η κατανόηση χωρικών δυνάμεων οι οποίες ενεργούν μέσα στις πόλεις και τις οποίες επί του παρόντος δεν διαθέτουμε άλλο μέσο να τις συλλάβουμε και να τις αναλύσουμε, είναι σχεδόν βέβαιο πως θα βοηθήσει να δημιουργηθούν νέες βάσεις στις μεθόδους αστικού σχεδιασμού.



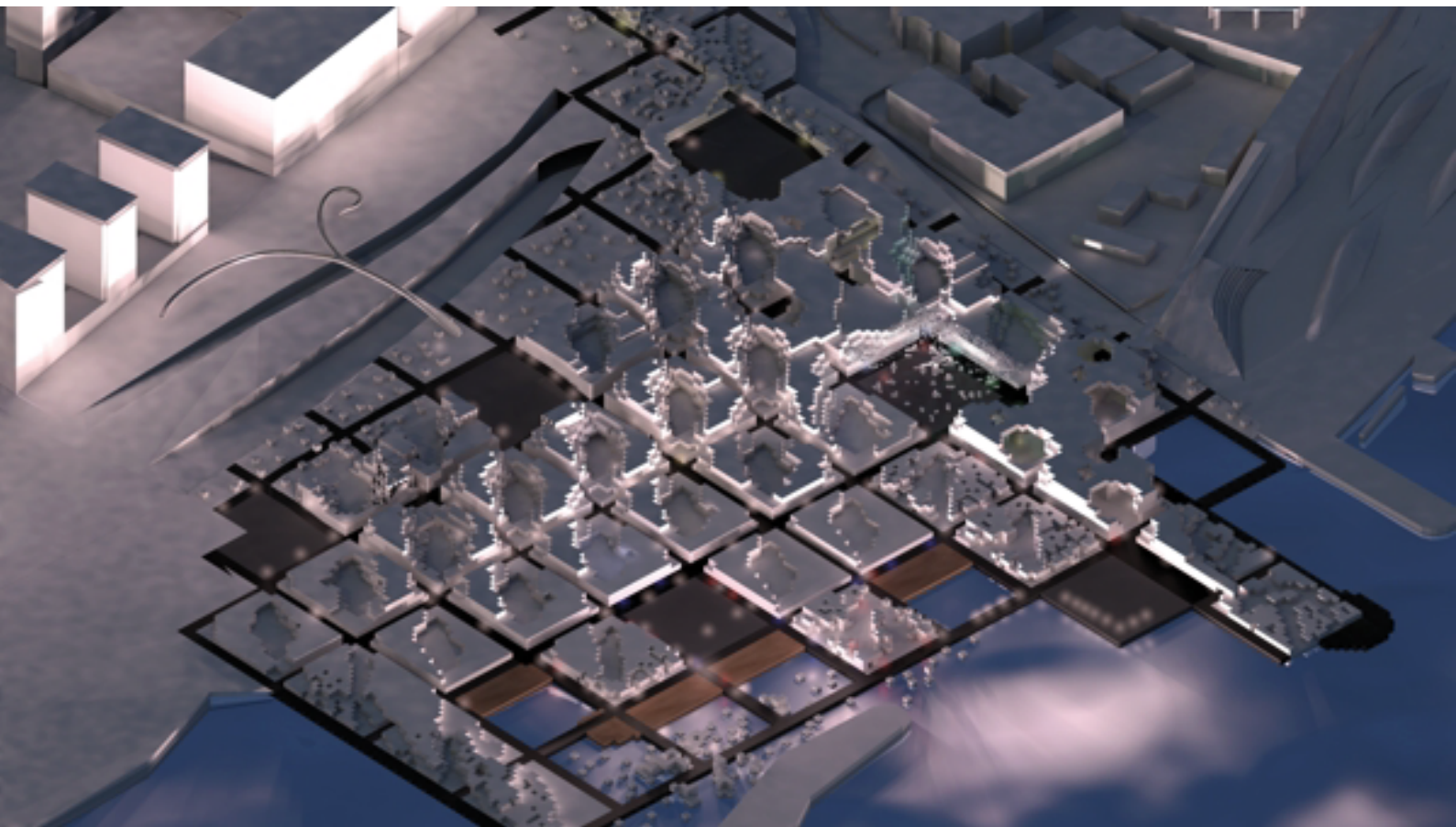
43. the axis of power - David Spriggs





*The role of the architect here, I think, is not so much to design  
a building or a city as to catalyse them: to act that they may  
evolve. That is the secret of the great architect.*

Gordon Pask



44. Cellular Automata Project - Barcelona  
DIA, WS 2011/2  
Architecture Ecosystem  
Prof. Krassimir Krastev  
Team: Axel Simon, Alessandro Cianci, Keila Caldeira

Όπως πάντα, έτσι και σήμερα ένα μέρος της σύγχρονης αρχιτεκτονικής θεωρίας διαμορφώνεται από την επιρροή των θετικών επιστημών και της τεχνολογίας. Στην εκάστοτε αρχιτεκτονική δημιουργία, εκτός από αισθητικά, κοινωνικά και άλλα στοιχεία, φανερώνονται και πτυχές του τρόπου με τον οποίο κατανοούμε την επιστήμη. Όπως αναλύθηκε σε αυτή την έρευνα, η ανάπτυξη των μη-γραμμικών επιστημών και των πολύπλοκων υπολογιστικών συστημάτων έχουν άμεση εφαρμογή στα προγράμματα CAD και αντίκτυπο στο σχεδιασμό. Τα CA ήδη έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται σε αρχιτεκτονικά προγράμματα και να εμπλουτίζουν τον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβανόμαστε τη σχεδιαστική διαδικασία.

Σκοπός της έρευνας ήταν, αφού θέσει το ανάλογο επιστημονικό υπόβαθρο, να μελετήσει την εφαρμογή των CA, ως αρχιτεκτονικό μέσο, σε επίπεδο πρακτικό και, σε μια δεύτερη ανάγνωση, να θέσει ένα προβληματισμό για τη σχέση του αρχιτέκτονα με τα προγράμματα τα οποία εισάγουν την αυτοματοποίηση στο σχεδιασμό. Στα δύο παραδείγματα που παρατέθηκαν, η εφαρμογή στο σχεδιασμό διαφέρει. Στην έρευνα του Paul Coates, τα CA χρησιμοποιήθηκαν ως εργαλείο σύνθεσης, σε σχεδιασμό αρχιτεκτονικής κλίμακας. Στην περίπτωση της πόλης Changsha, τα CA χρησιμοποιήθηκαν ως εργαλείο ανάλυσης σε αστική κλίμακα.

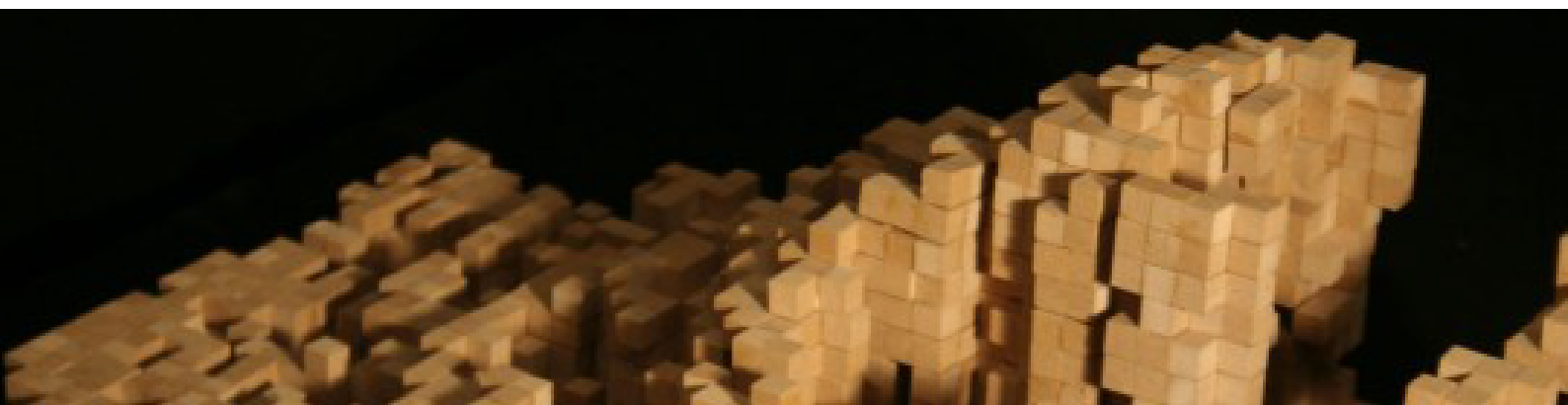
Σε επίπεδο σύνθεσης, βλέπουμε πως η εν λόγω μέθοδος επικεντρώνεται στην ογκοπλασία του κτιρίου και η μετέπειτα αρχιτεκτονική επεξεργασία μπορεί να ποικίλει. Ανάλογα με τα δεδομένα που μπορούν να εισαχθούν στο σύστημα, τα αποτελέσματα διαφέρουν και οι δυνατότητες φαίνονται να είναι απεριόριστες. Σίγουρα στο μέλλον θα διερευνηθούν οι σχέσεις ανάδρασης των αποτελεσμάτων αυτής της σχεδιαστικής μεθόδου με το περιβάλλον και θα δημιουργηθούν νέες δυνατότητες διαχείρισης του συστήματος. Όσον αφορά την ανάλυση της αστικής ανάπτυξης, τα CA αναδεικνύονται σε χρήσιμο ερευνητικό εργαλείο με στόχο την βαθύτερη κατανόηση των χωρικών δυνάμεων των πόλεων. Μια μελλοντική εξέλιξή τους ως συστήματα ανάλυσης και σύνθεσης μπορεί να δώσει τη δυνατότητα, εφόσον μια πόλη έχει αναγνωσθεί μέσω CA, ο αντίστοιχος σχεδιασμός να επιλύει θέματα αστικής κλίμακας, όχι με τρόπο σημειακό, αλλά αντιμετωπίζοντάς τη συνολικά ως πολύπλοκο σύστημα.

Μέθοδοι σαν τα CA, ίσως έχουν τη δυνατότητα να γεννούν λύσεις σε πολύπλοκα προβλήματα. Ένα πολύπλοκο πρόβλημα θα μπορούσε να είναι η ανάγκη για δημιουργία μεγάλης έκτασης χώρου κατοικίας, σε έναν ήδη πυκνά δομημένο αστικό ιστό με ποικίλες χρήσεις. Σε αρχιτεκτονική κλίμακα, αλλά και σε επίπεδο πόλης, αναλύοντας, μέσω CA, τα χωρικά δεδομένα, ουσιαστικά συνδεδεμένα μεταξύ τους και αλληλεπιδρόντα ως σύστημα, θα ήταν δυνατόν να εξάγουμε αποτελέσματα, τα οποία θα μας έδιναν επιλογές, έτσι ώστε ο σχεδιασμός να λειτουργήσει καταλυτικά και σε βάθος χρόνου, όχι μόνο για το ίδιο το κτίριο, αλλά και για την ζωτική του σχέση με το περιβάλλον του. Αρχικά, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μια μέθοδος βασισμένη στα CA για την ανάλυση της περιοχής, με τον αρχιτέκτονα να επιλέγει ποια είναι αυτά τα δεδομένα που χρειάζεται να ληφθούν

υπ' όψιν στην ανάλυση και ποια είναι η σχετική τους βαρύτητα στο σύνολο. Έπειτα, με την εισαγωγή βασικών ζητούμενων ως δεδομένα για το σύστημα, θα μπορούσαν να εξαχθούν ορισμένες επιλογές, ως πιθανές σχεδιαστικές κατευθύνσεις. Τέλος, ο αρχιτέκτονας καλείται να επιλέξει ανάμεσα σε αυτές και να τις επεξεργαστεί αναλόγως για να καταλήξει στο τελικό στάδιο του σχεδιασμού. Με αυτόν τον τρόπο, θα μπορούσαν να συνδυαστούν η μεγάλη με τη μικρή κλίμακα, η αναλυτική με τη συνθετική χρήση των CA και αυτά για ένα βάθος χρόνου ίσως πολύ μεγαλύτερο από αυτό το οποίο μπορεί να προβλέψει ο αρχιτέκτονας.

Γενικότερα όμως, τα CA μπορούν να ιδωθούν ως μέσο για την κατανόηση της πολυπλοκότητας των φυσικών συστημάτων από τον αρχιτέκτονα και ως μέσο για την εκ νέου κωδικοποίηση πληροφορίας σε αρχιτεκτονικό σχέδιο. Είναι ένα μέσο το οποίο φαίνεται να βελτιστοποιεί τα αποτελέσματά του όταν αντιμετωπίζεται διεπιστημονικά. Επιπλέον, ακόμα και αν δε χρησιμοποιείται για συνθετικό σκοπό, η ανάλυση των διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα κατά τη χρήση του, αποτελεί πολύτιμο αντικείμενο μελέτης για την κατανόηση φυσικών διεργασιών και αλληλεπιδράσεων. Ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί ένα τέτοιο σύστημα, αντίθετα με τις παραδοσιακές μεθόδους, εισάγει το στοιχείο της μη προβλεψιμότητας στο σχεδιασμό. Η μη προβλεψιμότητα, μέσω της αυτοματοποίησης, ενυπάρχει σε αυτή τη διαδικασία, καθώς ένα μεγάλο μέρος της πραγματοποιείται άμεσα, με τη χρήση των πολύπλοκων υπολογιστικών συστημάτων, όπως αναλύθηκε παραπάνω. Έπειτα και από αυτό το στάδιο, έρχεται το σημείο το οποίο, όπως αναφέρει και ο Manuel De Landa, ο συνειδητός σχεδιασμός εξακολουθεί να είναι το κρίσιμο στοιχείο. Μετά το στάδιο της ανάλυσης, σε συνθετικό επίπεδο, η επεξεργασία ενός εξαγόμενου αποτελέσματος από ένα σύστημα CA, δεν μπορεί να είναι επιφανειακή. Είναι μάλλον πιο χρήσιμο να αντιμετωπίζεται ως πιθανή επιλογή ή βασικό στοιχείο πάνω στο οποίο ο αρχιτέκτονας καλείται να προσαρμόσει οποιαδήποτε άλλη απόφαση κατά τη σχεδιαστική διαδικασία.

Όπως καθετί, κυρίως οτιδήποτε εμπίπτει στον τομέα της τεχνολογίας, έτσι και τα υπολογιστικά συστήματα CA, ο αρχιτέκτονας οφείλει να τα χρησιμοποιήσει ως εργαλείο για τη βαθύτερη κατανόηση του σχεδιασμού και την εξέλιξή του, αποφεύγοντας να στηριχθεί σε αυτά εξ' ολοκλήρου. Μπορούμε να πούμε πως η πιο σημαντική πτυχή αυτής της μεθόδου, είναι η διαδικασία: δημιουργία δεδομένων από ένα παραγωγικό μηχανισμό, διαμόρφωση μιας εν δυνάμει αρχιτεκτονικής μορφής, ερμηνεία και μετατροπή σε αρχιτεκτονικό σχέδιο. Η ανάπτυξη και η μελέτη των ζητημάτων τα οποία προκύπτουν με αυτόν τον τρόπο είναι η βάση για τη βαθύτερη κατανόηση του ίδιου του σχεδιασμού και τα τελικά αποτελέσματα έχουν σημασία, αλλά ακόμα μεγαλύτερη έχει η διαδικασία από την οποία προέκυψαν.









## βιβλιογραφία

- Alexander Christopher, *A city is not a tree*, reprint from the magazine Design, London: Council of Industrial Design, No206, 1966
- Bak Per, *Πως λειτουργεί η φύση: η επιστήμη της αυτοοργανούμενης κρισιμότητας*, μτφρ: Βασίλης Δρόλιας - Βασίλης Δρακόπουλος, Κάτοπτρο, Αθήνα, 2008
- Batty Michael – Longley Paul A. (edit), *Fractal Cities – a geometry of form and function*, Academic Press Limited, London, 1994
- Batty M. - Couclelis H. - Eichen M., *Urban Systems as Cellular Automata*, Pion, U.S.A., 1997
- Barcellos Anthony, *The fractal geometry of Mandelbrot*
- Batty Michael, *Building a science of cities*, Centre for Advanced Spatial Analysis, University College London, article in press, 10.1016/j.cities.2011.11.008
- Batty Michael, *Exploring the Historical Determinants of Urban Growth Patterns through Cellular Automata*, Transactions in GIS, 2011, 15(3): 253–271
- Batty Michael, *Cities as Complex Systems*, Centre for Advanced Spatial Analysis, University College London, Working Papers Series, Paper 131 - Feb 08
- Bovill Carl, *Fractal Geometry as Design Aid*, Journal for Geometry and Graphics Volume 4 (2000), No1, 71-78
- Briggs John – Peat David, *Ο παραγμένος καθρέφτης: μια περιήγηση στη θεωρία του χάους και την επιστήμη της ολότητας*, μτφρ: Νίκος Κωνσταντόπουλος, Κάτοπτρο, Αθήνα, 1991
- Briggs John, *Fractals: the patterns of chaos: a new aesthetic of art, science, and nature*, Touchstone, 1992
- Changlin, Dingquan, Honghui, Shengjing, Guanghui, *Simulation of urban growth using a cellular automata-based model in a developing nation's region*, School of Info-Physics and Geomatics Engineering, Central South University, Changsha, China, Changsha Planning Information Service Center
- Chopard Bastien, Droz Michel, *CA Modeling of physical systems*, University of Geneva, Cambridge University Press, U.K., 1998
- Cilliers Paul, *Complexity & Post-modernism*, Routledge, London, 1998
- Coates Paul, Healy N. Lamb, C. Voon W.L., *The use of Cellular Automata to explore bottom up architectonic rules*, Eurographics UK Chapter 14th Annual Conference, 26-28, March 1996 London: Eurographics Association UK
- De Landa Manuel, *Deleuze and the Use of the Genetic Algorithm in Architecture*, 2001
- Frazer John, *An Evolutionary Architecture*, Architectural Association, London, 1995

- Haghani Toofan, *Fractal Morphology & Urban Complexity*, BIAD, Birmingham City University, U.K., 2010
- Heylighen Francis, *Self-organization, Emergence and the Architecture of Complexity*, Proceedings of the 1st European Conference on System Science, (AFCET, Paris), p. 23-32
- Gleick James, *Χάος: μια νέα επιστήμη*, μτφρ: Μανώλης Κωνσταντινίδης, Κάτοπτρο, Αθήνα, 1990
- Jencks Charles, *The architecture of the jumping universe: a polemic: How Complexity Science is Changing Architecture and Culture*, Academy Editions, 1997
- Johnston John, *The Allure of Machinic Life: Cybernetics, Artificial Life, and the New AI*, A Bradford Book, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, 2008
- Kolarevic Branko, *Designing and Manufacturing Architecture in the Digital Age*, University of Pennsylvania, USA
- Lim Joseph Ee Man, *Bio-structural Analogues in Architecture*, BIS Publishers, 2009
- Mandelbrot Benoit, *The fractal geometry of nature*, W.H.Freeman & Company, N.Y.C., 1977
- Negroponte Nicholas, *Toward a Theory of Architecture Machines*, Journal of Architectural Education (1947-1974), Vol. 23, No. 2 (Mar., 1969), pp. 9-12
- Prigogine Ilya, *Οι νόμοι του χάους*, μτφρ: Πασχάλης Α. Χριστοδούλου, Τραυλός, Αθήνα, 2003
- Prigogine Ilya, *Το τέλος της βεβαιότητας: χρόνος, χάος και οι νόμοι της φύσης*, μτφρ: Μαρουλάκος Σταύρος, Κάτοπτρο, Αθήνα, 2003
- Prigogine Ilya - Stengers Isabelle, *Τάξη μέσα από το χάος: ο νέος διάλογος του ανθρώπου με τη φύση*, μτφρ: Λογιωτάτου Μαρία, Κέδρος, Αθήνα, 2008
- Rubinowicz Pawel, *Chaos and Geometric order in architecture and design*, Journal of geometry and graphics, vol.4, No.2, 197-207
- Ruelle David, *Τύχη και χάος*, μτφρ: Σαμαράς Κωνσταντίνος, Τραυλός, Αθήνα, 1999
- Sala Nicoletta, *Chaos and Complexity in the Arts and Architecture*, Nova Science Publishers, 2006
- Sardar Ziauddin - Abrams Iwona, *Introducing Chaos*, Icon Books, 2008
- Situngkir Hokky, *Exploring Ancient Architectural Designs with Cellular Automata*, BFI Working Paper Series WP-9-2010, Dept. Computational Sociology, Bandung Fe Institute
- Skavara Maria Eleni, *Learning Emergence - Adaptive Cellular Automata Façade Trained by Artificial Neural Networks*, MSc Adaptive Architecture & Computation, Bartlett, UCL, 2009
- Stephen Wolfram, *Cellular automata as models of complexity*, The Institute for Advanced Study, Princeton, New Jersey, USA, reprinted from Nature, Vol. 311, No. 5985, pp. 419-424, October 1984

- Terzidis Kostas, *Algorithmic Complexity: Out of nowhere*, Harvard University, Massachusetts, U.S.A.
- Thompson D'Arcy Wentworth, *On growth and form*, Cambridge University Press, N.Y.C., 1945
- Valle Vicente, Jr., *Chaos, Complexity and Deterrence*, Core Course 5605, April 19, 2000
- Βάρβογλης Χάρης, *Η πολυπλοκότητα στην επιστήμη*, Τμήμα Φυσικής Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, [www.tovima.gr/science](http://www.tovima.gr/science), δημοσίευση: 05/09/2010

## πηγές εικόνων

- 1.3. [www.mcescher.com](http://www.mcescher.com)
2. [www.complexification.net](http://www.complexification.net)
4. [www.guardian.co.uk](http://www.guardian.co.uk)
- 5.7. Gleick James, *Χάος: μια νέα επιστήμη*, μτφρ: Μανώλης Κωνσταντινίδης, Κάτοπτρο, Αθήνα, 1990
6. [www.realclimate.org](http://www.realclimate.org)
8. [www.levitaded.net](http://www.levitaded.net)
9. [www.insearchofnature.com](http://www.insearchofnature.com)
10. [www.robertburridge.com](http://www.robertburridge.com)
11. [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
12. [www.epfl.ch](http://www.epfl.ch)
13. [code.google.com](http://code.google.com)
- 14-15. [www.tony5m17h.net](http://www.tony5m17h.net)
16. [object-e.blogspot.gr](http://object-e.blogspot.gr)
17. Frazer John, *An Evolutionary Architecture*, Architectural Association, London, 1995
- 18-20. [cyberneticzoo.com](http://cyberneticzoo.com)
- 21-33. Coates Paul, Healy N. Lamb, C. Voon W.L., *The use of Cellular Automata to explore bottom up architectonic rules*, Eurographics UK Chapter 14th Annual Conference, 26-28, March 1996 London: Eurographics Association UK
34. Terzidis Kostas, *Algorithmic Complexity: Out of nowhere*, Harvard University, Massachusetts, U.S.A.
35. [archinect.com](http://archinect.com)
36. [matei23.wordpress.com](http://matei23.wordpress.com)
37. [www.urbagram.net](http://www.urbagram.net)
38. 39. [www.shodopedia.com](http://www.shodopedia.com)
- 40-42. Changlin, Dingquan, Honghui, Shengjing, Guanghui, *Simulation of urban growth using a cellular automata-based model in a developing nation's region*, School of Info-Physics and Geomatics Engineering, Central South University, Changsha, China, Changsha Planning Information Service Center
43. [www.ignant.de](http://www.ignant.de)
44. [www.behance.net](http://www.behance.net)







Θέμα της εργασίας είναι η εφαρμογή υπολογιστικών συστημάτων, των οποίων η λειτουργία βασίζεται στα cellular automata, στο σχεδιασμό. Το ερώτημα που ερευνάται είναι αν μπορεί η αρχιτεκτονική να εξελιχθεί μέσω της μεταφοράς φυσικών δομών στο σχεδιασμό, όχι με τη βιομιμητική έννοια της μορφής, ή της λειτουργίας της δομής, αλλά με τη μεταφορά της διαδικασίας ανάπτυξης της μορφής.

Με σκοπό την καλύτερη κατανόηση αυτής της διαδικασίας, αρχικά αναλύεται το θεωρητικό και επιστημονικό υπόβαθρο της λειτουργίας των CA, το οποίο αφορά στην ανάπτυξη της θεωρίας του χάους και της πολυπλοκότητας. Αναφέρονται τα βασικά χαρακτηριστικά που διέπουν τη λειτουργία πολύπλοκων συστημάτων, έτσι ώστε να γίνει αντιληπτή η διαδικασία με την οποία λειτουργούν και η σχέση τους με το σχεδιασμό. Έπειτα, μέσω δύο παραδειγμάτων, μια αρχιτεκτονική σύνθεση του Paul Coates και μια ανάλυση της αστικής ανάπτυξης της πόλης Changsha, ερευνάται το πως προγράμματα βασισμένα στα CA μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τον αρχιτέκτονα ως εργαλεία ανάλυσης ή και σύνθεσης. Τέλος, με βάση τη φιλοσοφική σκέψη του Manuel De Landa, μελετάται η γενικότερη, διεπιστημονική προσέγγιση του σχεδιασμού από τον αρχιτέκτονα, μέσω προγραμμάτων τα οποία εισάγουν, ως ένα βαθμό, την αυτοματοποίηση στη διαδικασία του σχεδιασμού.

Στην εργασία γίνεται μια προσπάθεια να ερευνηθεί αν και με ποιο τρόπο τα CA μπορούν να λειτουργήσουν, αναλυτικά και συνθετικά, σε αρχιτεκτονική και αστική κλίμακα εξίσου, εφόσον ιδωθούν ως μέσο για την κατανόηση της πολυπλοκότητας των φυσικών συστημάτων από τον αρχιτέκτονα και ως μέσο για την εκ νέου κωδικοποίηση πληροφορίας σε αρχιτεκτονικό σχέδιο.