

Ο Ιωάννης Σ. Νικόλης είναι καθηγητής της Θεωρίας Πληροφοριών και της Κυβερνητικής στο Πανεπιστήμιο της Πάτρας. Ασχολείται συγγραφικά και ερευνητικά με τη θεωρία παιγνίων από το 1973.

▼ Τι περιγράφουν οι μαθηματικές εξισώσεις στη θεωρία παιγνίων;

▼ Ουσιαστικά, τον τρόπο με τον οποίο οι στρατηγικές των συμβαλλόμενων διολισθαίνουν στον χρόνο. Για την ακρίβεια, οι στρατηγικές (δηλαδή οι πιθανότητες επιλογής μεταξύ των κινήσεων συνεργασίας ή παρασπονδίας) αποτελούν τις μεταβλητές των πεπλεγμένων, μη γραμμικών διαφορικών εξισώσεων, που περιγράφουν την εξέλιξη της αντιπαράθεσης. Αν αυτή η εξέλιξη συγκλίνει σε κάποιο μόνιμο καθεστώς, αν δηλαδή μετά από κάποιο χρόνο παγιωθούν οι στρατηγικές των αντιπάλων, το παίγνιο, από στρατηγικό, μεταβάλλεται σε τακτικό. Τακτικά παίγνια είναι εκείνα στα οποία οι στρατηγικές είναι γνωστές: τυποποιώ τον αλγόριθμο και από εκεί και πέρα όλη η υπόθεση είναι πώς θα πραγματοποιήσω το σενάριο. Το σχέδιο Ξενοκράτης, για παράδειγμα, ή οποιοδήποτε αλγόριθμος έκτακτης ανάγκης, αποτελεί τακτικό παίγνιο.

▼ Και τα στρατηγικά παίγνια;

▼ Τα στρατηγικά παίγνια ξεκινούν με βάση μόνο τα κίνητρα των παικτών, που είναι η μεγιστοποίηση του προσωπικού κέρδους και η ελαχιστοποίηση της προσωπικής απόλειας. Με αυτά τα... όχι και πολύ αλτρουιστικά κίνητρα, πάρα πολλές φορές οι συμβαλλόμενοι καταλήγουν να δέονται σε συνεργειτική κατάσταση για μεγάλο χρονικό διάστημα -κάτι που δεν θα μπορούσε κανείς να προείπει, αν κοίταζε μόνο τα ταπεινά κίνητρα με τα οποία ο καθένας παίζει. Υπεύθυνος για το «λυρωτικό» αποτέλεσμα της αθέλητης, ούτως ειπείν, συνεργασίας, είναι η μνήμη των προηγούμενων κινήσεων και η μη γραμμικότητα της δυναμικής. Κάθε παίκτης έχει στη διάθεσή του δύο κινήσεις: την κίνηση της συνεργασίας ή της παρασπονδίας. Τα λεγόμενα παράδοξα παίγνια, που είναι πολύ ενδιαφέροντα, γιατί απίχουν πραγματικές κοινωνικές καταστάσεις, έχουν τέτοια δομή, ώστε η μονόφωρη παρασπονδία εκ μέρους ενός εκ των δύο παικτών, αντί να τιμωρείται, αμείβεται. Εάν όμως ο ένας παρασπονδήσει και ο άλλος κάνει το ίδιο, το «παράδοξο» είναι ότι καταλήγουν σε μία κατάσταση όπου χάνουν και οι δύο! Στα παράδοξα παίγνια, δηλαδή, ατομικό και συλλογικό συμφέρον αποκλίνουν.

▼ Μπορούμε να περιγράψουμε τη θεωρία παιγνίων σαν την προσπάθεια μαθηματικής μοντελοποίησης πραγμάτων που συμβαίνουν γύρω μας;

▼ Βεβαίως. Κάνουμε ένα μοντέλο των παραμέτρων και των μεταβλητών που διασυνδέουν τους «παικτές» -τους διάφορους οργανισμούς ενός συγκεκριμένου οικολογικού συστήματος, τους συνεργαζόμενους ή ανταγωνιζόμενους σε μία ζούγκλα, μία κοινωνία, ένα εργοστάσιο, ένα χρηματιστήριο, ένα πανεπιστήμιο... Μας ενδιαφέρει, παράγοντας διάφορα σενάρια με τις εξισώσεις μας, να δούμε εάν και μέχρι ποίου βαθμού αυτό το αρχικό συντονίσλευμα που, όπως είναι, δεν παρέχει καμία εγγύηση συνεργασίας και μακράς βιωσιμότητας, μπορεί να κατακτήσει και να διατηρήσει κάποια δυναμική ευστάθεια.

▼ Οι αρχικές συνθήκες αφίνουν περιθώρια πρόγνωσης;

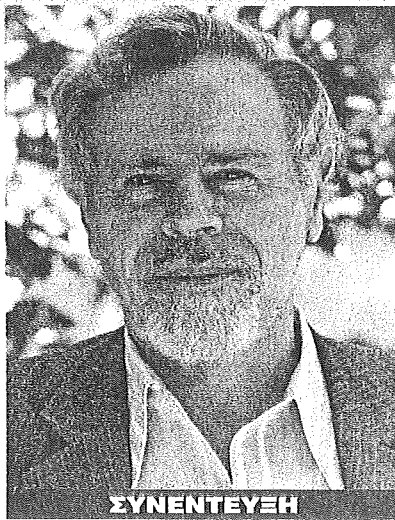
▼ Μάλλον όχι. Φανταστείτε το απλούστερο

ΙΩΑΝΝΗΣ ΝΙΚΟΛΗΣ

Θεωρία Παιγνίων

Η επιστήμη που σπουδάζει τη δυναμική της διαδικασίας λήψης αποφάσεων υπό συνθήκες αβεβαιότητας και ανταγωνισμού. Ως κλάδος των μαθηματικών γεννήθηκε «επίσημα» το 1944, με το περίφημο βιβλίο του μαθηματικού John von Neumann και του οικονομολόγου Oskar Morgenstern, «Θεωρία παιγνίων και οικονομική συμπεριφορά». Σήμερα η θεωρία παιγνίων χρησιμοποιεί έναν πλούτο από μαθηματικά εργαλεία (Ανάλυση, Θεωρία Πιθανοτήτων, Θεωρία Χάους και Φράκταλς, Θεωρία Ελέγχου), εφαρμόζεται σε κάθε χώρο συγκρουσιακών καταστάσεων -από τα στρατιωτικά ή οικονομικά προβλήματα ως την πολιτική, τη βιολογία ή την ψυχολογία- και, όπως αποκαλύπτει η συζήτηση με τον καθηγητή Ιωάννη Νικόλη, διερευνά καθοριστικά τις συνθήκες ευστάθειας του κοινωνικού γίγνεσθαι.

Μελετώντας ζούγκλες έως... χρηματιστήρια



ΣΥΝΕΝΤΕΥΞΗ

ΣΤΗ ΣΟΦΙΑ ΛΟΒΕΡΔΟΥ

παίγνιο, έναν άβυσσο δύο επί δύο, με αριθμούς που δείχνουν κέρδη και απώλειες για δύο αντιπάλους. Είναι πολύ ρεαλιστικό να επιτρέψουμε στις τιμές των κερδών και των απωλειών να μεταβάλλονται με τον χρόνο, λόγω πληθωρισμού ή για οποιοδήποτε άλλο λόγο. Αν το κάνουμε αυτό, αν δηλαδή σε ένα παιχνίδι, που υπό κανονικές συνθήκες δεν οδηγεί σε χάος, βάλουμε και μια τρίτη μεταβλητή να διολισθαίνει στον χρόνο, τότε το σύστημα γίνεται χαοτικό.

▼ Δηλαδή;

▼ Συνήθως, όταν ένα εξελισσόμενο παίγνιο παγιώνεται, μπορούμε να διαχωρίσουμε ορισμένες περιοχές αρχικών συνθηκών, δηλαδή αρχικών στρατηγικών, από τις οποίες είναι βέβαιον πού θα καταλήξουμε. Αντίθετα, στην περίπτωση του ντετερμινιστικού χάους, οι καμπύλες που διαχωρίζουν αυτά τα υποσύνολα αρχικών συνθηκών αλληλοεμπλέκονται, με

αποτέλεσμα να είναι απόβλεπτο εάν το παίγνιο καταλήξει τελικά σε αρμοβία συνεργασία, αμοιβαία καταστροφή ή σε αέναη ανταλλαγή χτυπημάτων και, το σπουδαιότερο, με τι συχνότητα η δυναμική θα εναλλάσσεται ανάμεσα σε αυτές τις καταστάσεις. Ας σημειωθεί, κι αυτό είναι μια ειρωνεία, κι πολλές φορές εμπλεκόμενα συστήματα, τα οποία ούτε συνεργάζονται, ούτε αλληλοκαταστρέφονται αλλά μένουν στο καθεστώς μιας κακεκτικώς, αέναως «ανταλλαγής πυρών» (π.χ. οι σχέσεις παρασίτου - ξενιστή), έχουν και πολύ μεγαλύτερη ευστάθεια στον χρόνο. Βέβαια, ούτε αυτή είναι εγγύηση: όταν κάποια περιβαλλοντική παράμετρος διολισθήσει, η ευστάθεια μπορεί να διαταραχθεί και να αρχίσουμε να παίζουμε, όχι κατ' ανάγκην το ίδιο παίγνιο αλλά κάποιο άλλο, που ίσως μας οδηγήσει σε ένα ανώτερο ιεραρχικό επίπεδο συνεργασίας.

Το εκπληκτικό είναι, ότι η μελέτη της χαοτικής δυναμικής μέσα στα τελευταία 20 χρόνια, μάς έχει δώσει τη δυνατότητα να εφεύρουμε χαοτικούς ελέγχους, ελέγχους που χτυπούν το χάος με τα ίδια του τα όπλα, περιορίζοντας εντός προδιαγεγραμμένων ορίων το απόβλεπτο της συμπεριφοράς που αυτό συνεπάγεται. Ετσι, μπορούμε να αναζητήσουμε μοντέλα με τα οποία να επέμβουμε εκ των εξω, για να παροκετεύσουμε μια δυναμική, την οποία βλέπουμε να πηγαίνει κατά κρημόν, σε μια κατάσταση λιγότερο ανυπόφορη.

▼ Το χάος, δηλαδή, εδώ δεν βλάπτει...

▼ Έχει αποδειχθεί ότι ένας φυσιολογικός ιστός -που μπορεί να είναι μια καρδιά αλλά κι ένα οικοσύστημα ή ένας ανθρώπινος πολιτισμός- θα πρέπει να έχει χαοτικό χαρακτήρα, να δημιουργεί απόβλεπτα σενάρια. Ετσι θα έχει την ευελιξία να αυτοπροσαρμόζεται γρήγορα και αποτελεσματικά σε απότομα και απροσδοκίτα ερεθίσματα. Διαφορετικά, το σύστημα είναι ευάλωτο. Μια κλειστή και συντηρητική κοινωνία, για παράδειγμα, μπορεί να φαίνεται ότι λειτουργεί «ρολόι» αλλά το τέλος της είναι προδιαγεγραμμένο -δεν ξέρεις πότε θα έρθει, αλλά αν προκύψει μία έστω «ασήμαντη» διαταραχή, θα καταρρεύσει σαν χάρτινος πύργος.

▼ Ποια θεωρείτε τα σημαντικότερα αντικείμενα της θεωρίας παιγνίων;

▼ Στο πλαίσιο της θεωρίας παιγνίων εντάσσονται όληρη τρόποι αντιμετώπισης παγκόσμιων προβλημάτων, όπως ο υπερπληθυσμός, ο έλεγχος της ρύπανσης, το παγκόσμιο χρηματιστηριακό σύστημα και η εναισθητή οικολογία του πλανήτη. Βέβαια, για να δεις αν ένα σύστημα θα σταθεροποιηθεί ή θα παραμείνει ασταθές, δεν έχεις παρά να ακολουθήσεις βήμα προς βήμα το ίδιο το σύστημα -ή να στηριχθείς στην προσομοίωσή του στον υπολογιστή σου. Το προσόν του υπολογιστή είναι ότι τρέχει πολύ πιο γρήγορα. Ετσι, αντί να παρακολουθείς π.χ. ένα οικοσύστημα επί εκατοντάδες ή χιλιάδες χρόνια, μπορείς μέσα σε λίγες ώρες να δεις το μοντέλο του, υπογραμμίζω, το μοντέλο του, να σου δίνει μια ένδειξη. Φυσικά, το σενάριο που θα προκύψει μπορεί να είναι παραπλανητικό. Η χρησιμότητα της θεωρίας παιγνίων είναι ότι ανιχνεύει εναλλακτικά σενάρια, τα οποία ενδεχομένως κρούουν τον κώδωνα του κινδύνου και οδηγούν τον ελεγχτή ενός συστήματος, μια κυβέρνηση π.χ., να αναστείλει ή να επιταχύνει ορισμένες διαδικασίες, να μεταβάλει δηλαδή ορισμένες παραμέτρους ώστε να ανακαταστεί ή να αναστρέψει μια ανεπιθύμητη δυναμική. Εάν, βέβαια, η υιοθέτηση του μοντέλου δεν οδηγήσει στο αποτέλεσμα που θέλουμε, θα προσπαθήσουμε να συλλέξουμε περισσότερα πειραματικά στοιχεία, να έχουμε ακριβέστερες επιδόσεις των εξισώσεών μας και θα επιχειρήσουμε και πάλι.

▼ Μία λεπτή υπόθεση...

▼ Οπου, επίσης, δεν αποζητούμε μία πειθαναγκαστική ευστάθεια, που θα απέκλειε την περαιτέρω εξέλιξη ενός συστήματος. Μέσα στην εκφυλιστική πολυπλοκότητα του κόσμου στον οποίο ζούμε κι όπου πλέον οι πάντες συνδέονται με τους πάντες, πρέπει ανά πάσα στιγμή να κινούμεθα σε ένα τενομένο σκονί και να προσπαθούμε να παροκετεύουμε τη δυναμική ενός συστήματος προς μια κατεύθυνση, όπου θα εξασφαλίζονται εχέγγυα ευστάθειας, χωρίς να εμπόδιζεται η πολυμορφία, η εξέλιξη, η απροσδοκίτες ευκαιρίες που ένα εξελισσόμενο σύστημα μάς επιφυλάσσει.



Το κύριο ίσως χαρακτηριστικό ενός οποιδήποτε υγιούς βιολογικού ιστού είναι η ικανότητα άνετης αυτοπροσαρμογής σε απώταμα και απροσδόκητα περιβαλλοντικά ερεθίσματα. Δεν είναι τυχαίο ότι πλείστοι βιολογικοί ιστοί είναι δομημένα με fractals, λειτουργικά δε χαοτικά παράξενoi εκλυσιτές.

Αλλά τι είναι χάος και fractals; Κατ' αρχάς, η χαοτική δυναμική αφορά αποκλειστικώς και μόνο μη γραμμικά δυναμικά συστήματα, συστήματα δηλαδή όπου καθ' έκαστα μεταβλητές συνδέονται όχι προσθετικά αλλά πολλαπλασιαστικά και οι καθ' έκαστα λύσεις των συστημάτων αυτών δεν είναι γραμμικά υπερθέσιμες αλλά μάλλον συμπληρωματικές και αμοιβαία αποκλειόμενες.

Δεύτερον, τα χαοτικά συστήματα, ενώ είναι εν γένει ολιγοδιάστατα και πλήρως ντετερμινιστικά, είναι και απρόβλεπτα από πλευράς μακράς χρονικής εξέλιξης λόγω ευαισθητής εξάρτησης της πορείας τους από τις αρχικές συνθήκες «εκκινήσεων». Τούτο σημαίνει ότι μικροδιακυμάνσεις στις αρχικές συνθήκες πολλαπλασιάζονται στον χρόνο κατά μέσον όρον εκθετικά έτσι ώστε δύο «προχέρες» του συγκεκριμένου συστήματος που εκκινούν με μικροδιαφορές στις αρχικές συνθήκες να αποκλίνουν τάχιστα.

Αν όμως υπάρχουν κατευθύνσεις κατά τις οποίες αρχικά γειτονικές τροχιές αποκλίνουν εκθετικά, υπάρχουν σε κάθε χαοτικό σύστημα και κατευθύνσεις κατά τις οποίες αρχικά απομακρυσμένες τροχιές συγκλίνουν εκθετικά.

Ετσι, αν θεωρήσουμε ότι το σύστημα δειγματοληπτεί ούτως ειπείν τον χώρο των καταστάσεων στον οποίον εξελίσσεται μέσω των δυναμικών «ψευδοπαθών» του, δηλαδή των τροχιών του, τότε αντιλαμβανόμεθα ότι κατά τις κατευθύνσεις που αποκλινουσών τροχιών ο χώρος των καταστάσεων δειγματοληπτείται όλο και πιο αραιά: έτσι, αρχικές αβεβαιότητες αυξάνονται, με αποτέλεσμα το χαοτικό μας σύστημα να δρα ουσιαστικά κατά τις κατευθύνσεις αυτές σαν πηγή εντροπίας ενώ κατά τις κατευθύνσεις των συγκλινουσών τροχιών αρχικές αβεβαιότητες «σμητίζονται» προοδευτικά ώστε να κάνουν το σύστημα μας να δρα σαν πηγή πληροφορίας.

Διά την κατηγορία των «διατηρητικών» χαοτικών συστημάτων οι διαγραφόμενοι «όγκοι» στον χώρο των καταστάσεων παραμένουν σταθεροί κατά την εξέλιξη του συστήματος, δηλαδή ο ρυθμός παραγωγής εντροπίας εξισορροπείται ακριβώς από τον ρυθμό παραγωγής πληροφορίας. Διά την πολύ ενδιαφέρουσα όμως κατηγορία των μη διατηρητικών χαοτικών συστημάτων - που έχουν και το πρακτικό ενδιαφέρον - οι όγκοι στον χώρο των καταστάσεων συρρικνώνονται προοδευτικά με ασυμπτωτική τιμή το μηδέν, που σημαίνει ότι ο μέσος ρυθμός παραγωγής πληροφορίας είναι μεγαλύτερος από τον μέσο ρυθμό παραγωγής εντροπίας.

Ιδεώδη μοντέλα

Τα συστήματα αυτά έχουν λοιπόν το χαρακτηριστικό της ασυμπτωτικής ευστάθειας και μάλιστα σε πολλαπλό βαθμό: έχουν, δηλαδή, την ιδιότητα εξελισσόμενα από διαφορετικά υποσύνολα αρχικών συνθηκών να καταλήγουν σε συντηρητικές πολλαπλούς εκλυσιτές (attractors), καθένας των οποίων δρα όπως ειπείν σαν αφάραξη ή abstraction, σαν «σμητίζση» ή σαν «φωτισική ρουφήρα», αν θέλετε, ενός πεπερασμένου υποσυνόλου αρχικών συνθηκών που λέγεται «κοίτη εξέλιξης». Οι συντηρητικές λοιπόν εκλυσιτές ενός τέτοιου μη διατηρητικού χαοτικού συστήματος μπορούν να παίζουν τον ρόλο συνεπιτημένων κατηγοριών ή ημιμηδών στις οποίες το υπό εξομοίωση γινώσκον σύστημα διαμερίζεται ένα αρχικά αδιαφοροποίητο σύνολο αρχικών συνθηκών ή εξωτερικών ερεθισμάτων.

Η ιδιότητα αυτή καθιστά τα μη διατηρητικά χαοτικά συστήματα ιδεώδη μοντέλα (πρώτα) βιολογικών επεξεργασιών πληροφορίας, τοσοῦτον μάλλον καθ' όσον η συντηρητική «θόρυβος» και τάξος σε έναν χαοτικό εκλυσιτή συνδέεται προς τη φύση μιας βιολογικής μνήμης, η οποία, μακράν του να είναι «στατική» ή περιοδικώς επαναλαμβανόμενη, ενέχει στοιχεία αυτοεξιδειασμού και εξέλιξης. Η τοπολογία των χαοτικών εκλυσιτών είναι fractal (μορφολογικώς) και fractal δομή χαρακτηρίζεται (κατ' αντιστοίχισιν) προς τα ευκλείδεια γεωμετρικά

Ο εγκεφαλικός φλοιός αποτελεί παράδειγμα βιολογικού ιστού με fractal δομή



Η χαοτική δυναμική στην ιατρική

Του Ι. Σ. ΝΙΚΟΛΗ

“ Δόξα φρεσίν τάλι οβεία

Τα χαοτικά συστήματα έχουν ευαισθητή εξάρτηση από τις αρχικές συνθήκες «εκκινήσεως». Μικροδιακυμάνσεις στις αρχικές συνθήκες πολλαπλασιάζονται στον χρόνο κατά μέσον όρον εκθετικά έτσι ώστε δύο «προχέρες» του συγκεκριμένου συστήματος που εκκινούν με μικροδιαφορές στις αρχικές συνθήκες να αποκλίνουν τάχιστα

σχήματα) από αναλλοίστες ιδιότητες σε αλλαγή κλίμακας και από κλασματικούς βαθμούς ελευθερίας.

Δεν είναι ίσως τυχαίο ότι πλείστοι βιολογικοί ιστοί (το βροχονευμωτικό δένδρο, η προστάτη, ο εγκεφαλικός φλοιός, το εσωτερικό τοίχωμα του λεπτού εντέρου, το κυκλοφορικό σύστημα των αρτηριών και φλεβών κλπ. καθώς και όλες οι πρωτεΐνες) έχουν fractal δομή, είναι δε αξιοσημείωτο ότι όταν μια fractal (αυτοομοία σε μετασχηματισμούς κλίμακας) δομή διεγερθεί από ένα παλιικό ερέθισμα παρουσιάζει μη διατηρητική χαοτική λειτουργία με απώλειες ή πολλαπλούς συντηρητικούς εκλυσιτές.

Τέσσερα πλεονεκτήματα

Η χαοτική δομή εξασφαλίζει σε ένα βιολογικό ιστό τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- 1) Σε πολύ μικρούς όγκους επιμερίζονται τερματικές επιφάνειες (π.χ. ο βροχονευμωτικός ιστός του ανθρώπου καταλαμβάνει όγκο μόλις ~ 0.1 l αλλά, αν η επιφάνειά του απλωθεί σε μια στρώση πάχους μιας κυτταρικής διαμέτρου, καταλαμβάνει την έκταση περίπου... ενός ημιμόδι τέλις).
- 2) Σε ένα σύνθετο ευκλείδειο στερεό η επιφάνεια ο «βαθιάς διαχυσιμότητας» μιας ουσίας υπό την επίδραση τυχαίων διακυμάνσεων (θόρυβος) είναι ευθέως ανάλογος του χρόνου t. Αποδεικνύεται ότι σε fractal δομής ο βαθμός διαχυσιμότητας αυξάνεται ταχύτατα ως δύναμη του t (v ~ t). Ετσι, π.χ. στους πνεύμονες η σίσην προστάτη η fractal δομή επιτρέπει ταχύτερη και αποτελεσματικότερη μείξη αερίων και υγρών αντίστοιχα. (Το φαινόμενο αυτό καλείται «υπερ-διάχυση»).
- 3) Μια fractal δομή είναι δυνατόν να κατασκευασθεί σε μικρό χρόνο από έναν απλό αλγόριθμο, ο οποίος αναλαμβάνει χωρίς σε πολλές κλίμακες ταυτόχρονα χωρίς ουσιώδεις αλλαγές. Ετσι ο γεννητικός αλγόριθμος εν προκειμένω χρειάζεται για την κατα-

σκευή ενός βιολογικού ιστού πολύ μικρότερο χρόνο από αυτόν που θα απαιτούσε η κατασκευή ενός «συμπαγούς» ευκλείδειου ιστού.

4) Ακριβώς επειδή μια fractal δομή επιμερίζεται πολλαπλές κλίμακες, επιτρέπει βραδεία αύξηση του λεγομένου «μορφογεννητικού σφάλματος», δηλαδή του μοιραίου σφάλματος (λόγω μεταλλαγών) ανακατασκευής από γενέας εις γενεάν ενός συγκεκριμένου ιστού.

Στην περιοχή της καρδιολογίας

Μια διαταραχή λόγω μεταλλαγών θα ισοδυναμούσε πρακτικά με την παρασχηματική εισαγωγή μιας νέας κλίμακας. Αν όμως στην υπό κατασκευή fractal δομή η κλίμακα αυτή παραβιάζεται, τότε η εξωτερική διαταραχή «απαρβιάζεται» ούτως ειπείν «αναισθητός» Τούτο σημαίνει ότι μια fractal δομή παρουσιάζει μεγάλη ανοσηθσία σε τυχαίες διαταραχές - συγκεκριμένα το μορφογεννητικό σφάλμα αυξάνεται λογαριθμικά με τη μέση απόκλιση της διαταραχής, ενώ για μια μη fractal δομή θα αυξανόταν εκθετικά. Μια εντυπωσιακή βιολογική εφαρμογή της χαοτικής δυναμικής εντοπίζεται στην περιοχή της κλινικής καρδιολογίας. Μέχρι και προλίπη περίπου ετών επιστεύεται ότι η «αληθής» καρδιά παρουσιάζει αυστηρή περιοδικότητα, δηλαδή η ασυμπτωματικά ευστάθης δυναμική της είναι ένας «οριακός κύκλος». Πρόσφατες κλινικές και επιδημιολογικές σπουδές ανατρέπουν άρδην την (εύλογη) αυτή άποψη. Ο δρ Any Goldberger στην καρδιολογική κλινική του Harvard άρχισε προ ηνέταετίας μια συστηματική φασματική ανάλυση του QRS ρυθμού (που καταγράφεται σε εξεταστικά ρουτίνας από τον κοινό ηλεκτροκαρδιογράφο) του κοιλιακού μυοκαρδίου. Βρήκε ότι σε υγιή άτομα το φάσμα αυτό σε διηλί λογαριθμική κλίμακα είναι για μια συνεχή περιοχή συχνότητας ~ 0.3 Hz - 100 Hz μία ευθεία γραμμή με κλίση -1 (αυτό που ονομάζεται «1/f θόρυβος») αλλά σε άτομα επιδεικτικά σε ανατέλιμη ή μη ανατέλιμη κοιλιακή μορμαρμυγή (ventricular fibrillation) το φάσμα αυτό συρρικνώνεται σημαντικά (η κλίση γίνεται -1.5, -2, -3.0...) έτσι ώστε οι υψηλές συχνότητες να αποκλίνονται. Τ σημαίνει αυτό;

Σημαίνει ότι η λειτουργία του υγιούς κοιλιακού μυοκαρδίου οφείλει να είναι εν τινι μέτρο «θόρυβος» ώστε να καθιστά το άτομο ικανό να προσαρμόζεται σε ερεθίσματα (συγκινήσεις, μυική καταπόνηση) που απαιτούν μικρό χρόνο χαλάρωσης (δηλαδή, υψηλές συχνότητες). Η ασυμπτωματική ευστάθης τροχιά (ο εκλυσιτής) μιας τέτοιας

χρονοσειράς QRS με φάσμα «1/f-noise» δεν είναι οριακός κύκλος (πράγμα που θα έδιδε ένα διακριτό φάσμα συχνότητας) αλλά ένας χαοτικός εκλυσιτής «διαστατικότητα» της τάξεως του ~5.2 (και όχι 1, όπως θα συνέβαινε αν ο εκλυσιτής ήταν οριακός κύκλος).

Ας σημειωθεί ότι αυτή η χαοτική λειτουργική συμπεριφορά του (υγιούς) κοιλιακού μυοκαρδίου είναι απότοκος της fractal δομής ενός (αυτοομοίου) δενδρικού σχηματισμού κυτταρικών αδένων του μυοκαρδίου (του His-Purkinje σχηματισμού) μέσω του οποίου ο παλμός του κατώτερου καρδιακού βηματοδότη (του κόμβου AV) μεταβιβάζεται στο κοιλιακό μυοκαρδίον. Τυχόν τοπολογική παραμόρφωση του παραπάνω δενδρικού σχηματισμού (οφειλόμενη σε παθολογικά αίτια) τροποποιεί άρδην (και επί τα χέρση) το λειτουργικό φάσμα του υγιούς μυοκαρδίου, δηλαδή το «στενεύει», με αποτέλεσμα ο κτύπος του να αδυνατεί να αντεπεξέλθει σε εξωτερικά ερεθίσματα που, όπως είπαμε, απαιτούν μικρούς χρόνους χαλάρωσης.

Η εφαρμογή στον εγκέφαλο

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί μια εφαρμογή των χαοτικών συστημάτων με πολλαπλούς εκλυσιτές (κατηγορίες - μνήμες) στη δυναμική του εγκεφαλικού φλοιού: η δυναμική αυτή πειραματικά ελέγχεται με το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα, που είναι (όπως και το ηλεκτροκαρδιογράφημα) η καταγραφή μιας μονοδιάστατης προβολής (χρονοσειράς) μιας πολυδιάστατης δυναμικής διαδικασίας.

Στο προκειμένο, οι διάφορες μνήμες - κατηγορίες - εκλυσιτές στον εγκεφαλικό φλοιό έχουν ως hardware - «υλική υποδομή» - υποσύνολα νευρωνικών δικτύων.

Ενας νευροφυσιολογικός «βηματοδότης» - βρόχος ανάδρασης - του οποίου η δυναμική εκπληρώνει από ειδικά νευρωνικά κέντρα του θάλαμου (the «thalamocortical pacemaker»), που εκτείνεται μέχρι των νευρωνικών δικτύων του φλοιού και επιστρέφει στον θάλαμο, είναι υπεύθυνος για την εκ περιτροπής στον χρόνο «αναζωογόνηση» των καθ' έκαστα συντηρητικών μνημών - κατηγοριών - χαοτικών εκλυσιτών.

Κατά τη διάρκεια συμπεριφερικών καθεστώτων, όπως π.χ. η κατάσταση χαλάρωσης (relaxation) και ο ελαρρός ύπνος, η δυναμική του παραπάνω βηματοδότη είναι και αυτή ένας χαοτικός εκλυσιτής σχετικά μικρής διαστατικότητας (~3-4) και η διαλειπτική διαδικασία μεταπίσεως του από τη μία μνήμη στην άλλη είναι σχεπικά ομοιογενής (δηλαδή, περίπου ίσος χρόνος «προσοχής» εκχωρείται σε κάθε μία από τις συντηρημένες μνήμες).

Κατά τη διάρκεια όμως ενεργού συμμετοχής του ατόμου σε επίλυση προβλημάτων ή αναγνωρίσεως προτύπων ο νευροφυσιολογικός βηματοδότης καθίσταται χαρακτηριστικά ανομοιογενής: ο χρόνος που διατίθεται για κάθε μία από τις συντηρημένες μνήμες - κατηγορίες διαφοροποιείται δραματικά έτσι ώστε λίγες μνήμες διεκδικούν από πλευράς χρόνου «προσοχής» τη μερίδα του λέοντος ενώ οι υπόλοιπες πρακτικά παραμερίζονται εντελώς. Αυτή η ανομοιογενής διαλεπίτητα συνενάγεται και την αύξηση της διαστατικότητας του βηματοδότη - εκλυσιτή που από την τιμή 3.4 είναι δυνατόν να μεταβηδίσει στην τάξη του ~10 - δείχνοντας με αυτόν τον τρόπο μια αύξηση της χωρητικότητας του (των βαθμών ελευθερίας του) ως επεξεργαστή πληροφορίας.

Είναι, τέλος, αξιοσημείωτο ότι κατά τη διάρκεια επιληπτικών επεισοδίων (petit-mal epilepsy), όπου σχεδόν εξ ορισμού ο νευροφυσιολογικός επεξεργαστής πληροφορίας αβρανοποιείται, η διαστατικότητα του βηματοδότη πέφτει στην τιμή ~2. Ετσι μπορεί να παύσει ότι η χαοτική δυναμική προσφέρει ένα πειστικό πρόβλημα ενός βιολογικού επεξεργαστή πληροφορίας που πριν από όλα πρέπει να είναι άνετα αυτοπροσαρμόσιμος.

Η υγιής καρδιά και ο υγιής εγκέφαλος λοιπόν λειτουργικά εμφανίζουν χαοτικούς εκλυσιτές μεγάλης διαστατικότητας με ευρεία συνεχή φάσματα συχνότητας. Κατ' αντίθεση, η άρρωστη καρδιά και ο άρρωστος εγκέφαλος εμφανίζουν λειτουργικά ουσιαστικά ανεπιτηρητά (μικρής διαστατικότητας και ισχυρού διακριτού φάσματος συχνότητας).

Μπορούμε έτσι ίσως να πούμε ότι η επιληψία αφενός και η κολικακή μορμαρμυγή αφετέρου είναι ούτως ειπείν «μοιομορφικές» ασθένειες: και στις δύο περιπτώσεις το αντίστοιχο βιολογικό όργανο είναι άνετα να λειτουργήσει σαν προσορμιστικός επεξεργαστής πληροφορίας.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι η σύγχρονη αντίληψη για τον τρόπο αναγωγής ενός ενζύμου από το υποστρώμα του δεν αφορά στην προσαρμογή των αναποδογμένων στερεοδωμών (τύπου «κλειδιού - κλειδαριάς») αλλά μάλλον στη δυναμική αλληλεπίδραση των φασμάτων των συστημάτων του ενζύμου (που είναι ένα χαοτικό δυναμικό σύστημα) με τον υποδοχέα του (που είναι επίσης ένα χαοτικό δυναμικό σύστημα).

Ο κ. Ι. Σ. Νικόλης είναι καθηγητής Γενεας Πληροφορίας και Κυβερνητικής στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πατρών.

