

Διαδραστικές “Αφηγήσεις”: Δυνατότητες και Εκπαιδευτικές Προεκτάσεις της Μοντελοποίησης Μη Γραμμικών Δυναμικών Συστημάτων στον Υπολογιστή

Ιωάννης Ι. Κεκές
Λέκτορας
Π.Τ.Δ.Ε. Πανεπιστημίου Αθηνών
Ναυαρίνου 13^Α, 106 80 ΑΘΗΝΑ
ikekes@primedu.uoa.gr

Ηρώ Μυλωνάκου – Κεκέ
Σύμβουλος
Παιδαγωγικό Ινστιτούτο
gkekes@otenet.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις της εποχής μας και η συνειδητοποίηση του γεγονότος, ότι η υπολογιστική τεχνολογία αποτελεί πλέον αναπόσπαστο τμήμα στις περισσότερες εκπαιδευτικές δραστηριότητες, μας υποχρεώνει να αντιμετωπίσουμε τα νέα ζητήματα που ανακύπτουν. Αυτά σχετίζονται - μεταξύ άλλων- με την επανεξέταση εννοιών και μεθόδων που ως τώρα εμφανίζονταν να είναι ισχυρές στη συλλογιστική των επιστημόνων της αγωγής. Σταδιακά αρχίζει να δημιουργείται μια νέα ορολογία στην οποία εμπεριέχονται πολλά στοιχεία από διαφορετικά επιστημονικά πεδία. Στη βάση όμως όλων παραμένει η κλασική λειτουργία της αφήγησης – με τη γενική της έννοια - ως γλωσσικό και διανοητικό εργαλείο για την εκπαίδευση. Μόνο που τώρα μπορούμε να αρχίσουμε να συζητούμε σοβαρά την έννοια της «διαδραστικής αφήγησης» και να σκεπτόμαστε ότι παράλληλα με την μετάδοση πληροφοριών και γνώσεων είναι δυνατό να δημιουργηθούν και περιβάλλοντα «εμπειριών» που έως πρόσφατα αποτελούσαν προνόμιο ελάχιστων ειδικών εμπειρογνομόνων. Η τεχνολογική διάσταση μιας τέτοιας προσπάθειας χρειάζεται να υποστηριχθεί από μια λειτουργική μοντελοποίηση. Σε αυτή την εργασία προτείνεται, για την κατασκευή μοντέλων αυτού του τύπου, η αξιοποίηση της δυναμικής των μη γραμμικών συστημάτων, σε συνδυασμό με τις βασικές αρχές της θεωρίας Καταστροφών (R. Thom) και της Ασαφούς (Fuzzy) Λογικής, μέσα στο γενικότερο πλαίσιο της Συστημικής – Κυβερνητικής προσέγγισης.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Διαδραστική αφήγηση, μη γραμμικά δυναμικά συστήματα, ασαφής λογική, θεωρία καταστροφών, μοντελοποίηση.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η έννοια της επικοινωνίας αποτελεί αμφιλεγόμενο και πολυσυζητημένο θέμα στην εποχή μας. Ο χαρακτηρισμός αυτής της εποχής με όρους που παραπέμπουν κυρίως στην πληροφορία αναδεικνύει και την επικρατούσα άποψη (κυρίως στους κύκλους των επιστημόνων της «πληροφορικής» για την ίδια την επικοινωνία. Πρόκειται για το επικοινωνιακό μοντέλο του Shannon το οποίο παρά τις πολλές κριτικές και τροποποιήσεις που δέχθηκε δεν ξέφυγε ποτέ από το σύστημα πομπός – δέκτης. Το ερώτημα εδώ είναι «πώς θα καταφέρουμε να προκαλέσουμε την επικοινωνία, ως μετάδοση ενός μηνύματος, και πώς θα διασφαλίσουμε τους καλύτερους όρους γι’ μια επιτυχημένη μετάδοση». Η πρόθεση του πομπού μπορεί να είναι δηλωμένη ή όχι, συνειδητή ή

ασυνείδητη, ωστόσο πρέπει να είναι δυνατό να διαπιστωθεί με την ανάλυση. Μήνυμα είναι ότι ο πομπός βάζει σε αυτό που μεταδίδεται - με οποιονδήποτε τρόπο - και η επικοινωνία γίνεται αντιληπτή ως διαδικασία με την οποία ένας άνθρωπος σχετίζεται με κάποιον άλλον επηρεάζοντας τη συμπεριφορά ή τη νοητική και συγκινησιακή του κατάσταση και αντίστροφα.

Από την άλλη πλευρά, η λεγόμενη Σημειωτική σχολή (Fiske, 1989) ενδιαφέρεται ιδιαίτερα για την παραγωγή και την ανταλλαγή νοημάτων και επικεντρώνεται στη μελέτη των «σημείων» και του «νοήματος». Η αξία του «πομπού» υποβαθμίζεται και η έμφαση μεταφέρεται στο «κείμενο» και στον τρόπο που αυτό διαβάζεται από τον «αναγνώστη» καθώς αυτός αλληλεπιδρά μαζί του προσθέτοντας στοιχεία της δικής του πολιτισμικής εμπειρίας στα σημεία κι τους κώδικες του κειμένου.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας παράλληλα παρέχει τη δυνατότητα για μια δυναμική αλληλεπίδραση (διάδραση) του «αναγνώστη» τόσο με τα «μηνύματα» όσο και με τα «κείμενα» και μας αναγκάζει να παρατηρήσουμε και να χειρισθούμε με διαφορετικό τρόπο τα ζητήματα της επικοινωνίας. Εδώ «αναδύονται» νέες ευκαιρίες και δυνατότητες για συμμετοχή στη δημιουργία «διαδρομών» στη σκέψη και στη δράση του «διαδραστικού αναγνώστη» - «χρήστη» του τεχνολογικού μέσου. Η επικοινωνία αντιμετωπίζεται ως ένα ενιαίο όλο και η έμφαση μετατοπίζεται στο περιβάλλον της διάδρασης όπου έχουμε πια την ανάγκη για μια ανάλυση περιβάλλοντος αντί για μια ανάλυση περιεχομένου. Με αυτή τη συλλογιστική βλέπουμε την επικοινωνία με όρους όπως «επίπεδο πολυπλοκότητας», «πολλαπλά περιβάλλοντα», «βρόχοι ανάδρασης» κ.ο.κ οι οποίοι παραπέμπουν ευθέως στη Συστημική και την Κυβερνητική προσέγγιση. Πρόκειται για νέα και διαφορετικά νοητικά εργαλεία ιδιαίτερα προσφιλή σε ορισμένους θεωρητικούς της επικοινωνίας (G. Bateson, P. Watzlawick, D. Jackson, A. Scheffen, βλ. και Winkin, 1981) που είναι εξοικειωμένοι με αυτά.

Κάποιοι λοιπόν θα πρέπει να «γράφουν» για το «διαδραστικό αναγνώστη» με σκοπό όχι πλέον να του μεταδώσουν απλά πληροφορίες ή μηνύματα αλλά να υποστηρίξουν τη δική του επιλεκτική («σκηνοθετική» σε κάποιο βαθμό) παρέμβαση. Αυτό σημαίνει πως εγείρονται και άλλα ζητήματα που σχετίζονται τόσο με την έννοια του περιεχόμενου και τη μοντελοποίηση της διαδραστικής αφήγησης, όσο και με την απαραίτητη μοντελοποίηση στο επίπεδο του σχεδιασμού των διαδραστικών εφαρμογών.

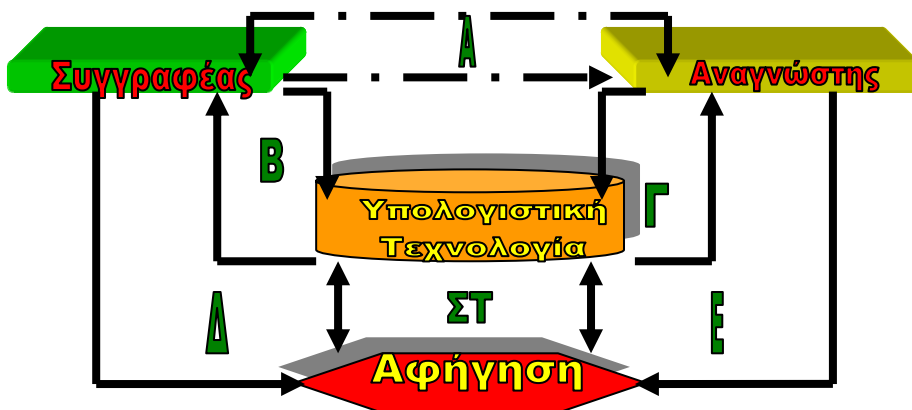
Η ΔΙΑΔΡΑΣΤΙΚΗ ΑΦΗΓΗΣΗ

Η έννοια της διαδραστικότητας (interactivity) αποτελεί σήμερα μια εξαιρετικά σύνθετη έννοια την οποία αρκετοί στα ελληνικά αποδίδουν με τον όρο αλληλεπιδραστικότητα. Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχει μεγάλη ποικιλία ορισμών (1) ανάλογα με την έμφαση που επιλέγεται να δοθεί σε κάποιο από τα επιμέρους στοιχεία που συνθέτουν την όντως πολύπλοκη αυτή έννοια. Αυτά είναι: Η αλληλεπίδραση. Η κοινωνική παρουσία. Η ανταλλαγή μηνυμάτων. Η ικανοποίηση επικοινωνιακών αναγκών.

Στη δική μας θεώρηση η διαδραστικότητα συγκροτείται ως αποτέλεσμα της διάθεσης από τους ανθρώπους για την ικανοποίηση επικοινωνιακών τους αναγκών, με την πραγματοποίηση μιας ιδιότυπης συνδιάλεξης (με τη βοήθεια των μέσων επικοινωνίας τα οποία αναδεικνύουν, με ψηφιακές απεικονίσεις, τη χωρική της διάσταση) ανάμεσα στον δημιουργό (συγγραφέα – αφηγητή) και τον αναγνώστη μέσα από την ανταλλαγή μηνυμάτων. Αυτή η διαδικασία λαμβάνει χώρα σε ένα (συχνά κατασκευασμένο) «ψηφιακό περιβάλλον» το οποίο υποστηρίζει και εξελίσσει τη δράση.

Με τον όρο «διαδραστική αφήγηση» εννοούμε ένα νέο είδος λογοτεχνίας με προορισμό τα ηλεκτρονικά μέσα επικοινωνίας και κύριο χαρακτηριστικό την άμεση και ενεργό συμμετοχή (σε κάποιο βαθμό) του «αναγνώστη» στην διαμόρφωση και την εξέλιξη μιας ιστορίας. Ο όρος αντιδιαστέλλεται από αυτούς της δράσης και της απλής αλληλεπίδρασης και αποκτά το περιεχόμενο της δυναμικής αλληλεπίδρασης με την έννοια της παροχής άμεσης ανάδρασης από τον αναγνώστη – χρήστη στον αφηγητή μέσα από μια τεχνολογική δομή που επιτρέπει την ενσωμάτωση αυτής της ανάδρασης στην εξέλιξη της ιστορίας. Ο αφηγητής θα πρέπει να έχει

λάβει ειδική πρόνοια για αυτό το ενδεχόμενο και το μέσο θα πρέπει να εμφανίζει - περιορισμένες έστω - ιδιότητες ενός έμπειρου συστήματος ή ακόμη και τεχνητής νοημοσύνης.



Σχέδιο 1: Η ένταξη της υπολογιστικής τεχνολογίας στην δομή της αφήγησης

Στο Σχέδιο 1 παρουσιάζεται τα βασικό μοντέλο της διαδραστικής αφήγησης και επισημαίνονται οι σημαντικοί βρόχοι ανάδρασης που ενεργοποιούνται στα διάφορα στάδια της προκειμένου να ενισχυθεί αποτελεσματικά η «διαδραστικότητα» του μέσου:

- | | |
|---|---|
| A: Συγγραφέας – Αναγνώστης (2) | B: Συγγραφέας – Υπολογιστική τεχνολογία |
| Γ: Αναγνώστης - Υπολογιστική τεχνολογία | Δ: Συγγραφέας – Αφήγηση |
| E. Αναγνώστης – Αφήγηση | ΣΤ: Αφήγηση - Υπολογιστική τεχνολογία |

Από τη μια πλευρά λοιπόν έχουμε τις ανάγκες για την αφήγηση και από την άλλη τη δυναμική της αλληλεπίδραση με το τεχνολογικό μέσο. Ως αποτέλεσμα αναμένουμε την αποτελεσματική διαδραστική λειτουργία του συνόλου σε σχέση με τον «αναγνώστη» - «χρήστη» του συστήματος. Σε ότι αφορά στις λειτουργίες της αφήγησης οι περισσότερες αναλύσεις βασίζονται στην αρχική κατηγοριοποίηση (31 συνολικά λειτουργίες) από τον V. Propp (1928). Στη δική μας αντίληψη θα ήταν πολύ χρήσιμη (για τις ανάγκες της μοντελοποίησης σε υπολογιστή) μια σύμπτυξη τους που θα κατέληγε σε εννέα αρχικά και σε τέσσερις τελικά γενικές κατηγορίες (βλ. Πιν. 1).

Με αυτή τη συλλογιστική η έννοια της σύγκρουσης τοποθετείται στο επίκεντρο της αφήγησης και αναδεικνύεται ευκολότερα η ανάγκη για την ανάπτυξη μιας στρατηγικής για την αντιμετώπιση του προβλήματος που θέτει ο «συγγραφέας – αφηγητής». Κατά την ανάπτυξη της διαδραστικής αφήγησης «κατασκευάζεται» ένα χωρικό και χρονικό πλαίσιο αναφοράς με την εκτεταμένη χρήση μαθηματικών μοντέλων. Με τη συνδρομή της τεχνολογίας ο χώρος διαμορφώνεται (με μια διανοητική λογική) σε έναν «τοπολογικό υποδοχέα» των πληροφοριών που είναι σε θέση να διαχειρίζεται ένα πλήθος δεδομένων τα οποία διαρκώς μεταβάλλονται. Η φόρμα καταλήγει να «αναπαριστά» τις πληροφορίες και η χρονική συνιστώσα την εξέλιξή τους. Το αποτέλεσμα είναι μια ιδιότυπη «αρχιτεκτονική» του αφηγηματικού χωροχρόνου που επιτρέπει στο χρήστη του συστήματος να αλληλεπιδρά μαζί του και να έχει (σε κάποιο βαθμό) τον έλεγχο της δράσης. Σε τέτοιες καταστάσεις οι σχεδιαστές του συστήματος βρίσκονται αντιμέτωποι με ένα «μίγμα» χάους και πολυπλοκότητας (3) και θα πρέπει να εξασφαλίσουν την επικοινωνία και τον έλεγχο (με όρους της Κυβερνητικής) με τα κρίσιμα (αποφασίζοντα) υποσυστήματά του.

Ο ΗΡΩΑΣ	1. Παρουσίαση (αξίες, αρετές, ικανότητες) και αναχώρηση του ήρωα 2. Το πρόβλημα (αιτιολογία) που καθορίζει το είδος της αποστολής που πρέπει να ολοκληρωθεί για το κοινό καλό. 3. Η «από μηχανής» βοήθεια. Τρόποι και μέσα για την ενίσχυση – υποστήριξη του ήρωα.
Ο ΑΝΤΙΠΑΛΟΣ	4. Εμφάνιση – παρουσίαση του αντιπάλου – ανταγωνιστή, ο οποίος προικισμένος με ξεχωριστές ικανότητες (από τις δυνάμεις του κακού) προσπαθεί να εμποδίσει την εκτέλεση του σχεδίου του ήρωα.
Ο ΑΓΩΝΑΣ - Η ΣΥΓΚΡΟΥΣΗ	5. Οι δοκιμασίες που πρέπει να αντιμετωπίσει ο ήρωας. Πάλη ανάμεσα στον ήρωα και τον ανταγωνιστή. Ενδεχόμενη «απώλεια» και «ενισχυμένη επάνοδος» του ήρωα. 6. Η νίκη του ήρωα. Η τιμωρία ή εξόντωση του ανταγωνιστή. 7. Η τιμωρία ή εξόντωση του ανταγωνιστή
Η ΚΑΤΑΛΗΞΗ	8. Η «ένδοξη» επιστροφή του ήρωα. 9. Το ευτυχές τέλος ή το νέο ξεκίνημα (σε περίπτωση που η δράση προβλέπεται να συνεχισθεί).

Πίνακας 1: Οι αφηγηματικές «λειτουργίες» στη διαδραστική αφήγηση

Το κατάλληλο διανοητικό εργαλείο για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος είναι κατά τη γνώμη μας η Συστημική – Κυβερνητική προσέγγιση. Με τον όρο αυτό (Κεκές, 2000α) προσδιορίζουμε το επιστημονικό πεδίο που προέρχεται από την συγχώνευση της Συστημικής επιστήμης και της Κυβερνητικής και έχει ως αντικείμενο έρευνας: «Την παρατήρηση την περιγραφή και τον έλεγχο πολύπλοκων αλληλεπιδρώντων οργανισμών των οποίων η επιβίωση και η εξέλιξη καθορίζονται από τη σύζευξη φυσικών και συμβολικών διαδικασιών».

Η ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΗ ΔΙΑΔΡΑΣΤΙΚΗ ΑΦΗΓΗΣΗ

Η μοντελοποίηση μιας διαδραστικής αφήγησης στα πλαίσια της Συστημικής – Κυβερνητικής προσέγγισης γίνεται αντιληπτή ως «κατασκευή» λειτουργικού πρωτοτύπου στο οποίο υιοθετείται και αποτυπώνεται ταυτόχρονα ένας τρόπος σκέψης και μια γλώσσα περιγραφής. Η πολυπλοκότητα της κατάστασης που περιγράφεται με το μοντέλο καθορίζει και την αντίστοιχη πολυπλοκότητα του ίδιου του μοντέλου. Η χρήση εξελιγμένων υπολογιστών επιτρέπει σήμερα την κατασκευή και τον έλεγχο (με τη βοήθεια της δυναμικής συστημάτων) αυτορρυθμιζόμενων (σε σημαντικό βαθμό) μοντέλων ακόμη και για νοητικές λειτουργίες (όπως η συγγραφή) που μέχρι προ τίνος θεωρούνταν αποκλειστικό προνόμιο του ανθρώπου. Ως «έννοιες – κλειδιά» για την μοντελοποίηση πολύπλοκων αφηγηματικών συστημάτων στα οποία συνυπάρχουν και συνεξελίσσονται ανθρώπινα, οργανωτικά και υλικά υποσυστήματα θεωρούνται οι παρακάτω:

- Ανάδυση: Εμφάνιση ενός ποιοτικά διαφορετικού φαινομένου σε ένα ειδικό στάδιο (επίπεδο) οργάνωσης.
- Ιεραρχία: Σχέσεις υποσυστήματος, συστήματος, υπερσυστήματος.
- Επικοινωνία: Μεταξύ των «στοιχείων - κόμβων» του συστήματος.
- Έλεγχος: Για το μετασχηματισμό και την αναδιάταξη των «στοιχείων».

Με βάση αυτές τις έννοιες και την κατηγοριοποίηση των αφηγηματικών λειτουργιών που προηγήθηκε διατυπώνουμε στη συνέχεια τρεις βασικές γενικές αρχές για τη μοντελοποίηση μιας διαδραστικής αφήγησης στον υπολογιστή:

ΑΡΧΗ 1^η. Η αφήγηση της ιστορίας μπορεί να γίνει αντιληπτή ως η εξέλιξη ενός ευρύτερου συστήματος και να «διασπασθεί» στα επιμέρους υποσυστήματα τα οποία το συγκροτούν.

Τα υποσυστήματα αυτά εμφανίζουν τη δική τους εξέλιξη ενώ ταυτόχρονα αλληλεπιδρούν δυναμικά στο πλαίσιο του συστήματος το οποίο τα περιέχει. Σημαντικό εδώ να γνωρίζουμε πως το σύστημα συγκροτείται από τον παρατηρητή και η πολυπλοκότητα που το χαρακτηρίζει σχετίζεται άμεσα με τα στοιχεία που επιλέγει αυτός (ως δημιουργός είτε ως συνδημιουργός – αναγνώστης) για να το συγκροτήσει.

Επιπρόσθετα προκειμένου να μελετήσει κανείς συνέχεια να προσπαθήσει να μοντελοποιήσει τη διαδραστική αφήγηση χρειάζεται να συνεκτιμήσει:

- *Τον αριθμό των στοιχείων (ήρωες - χαρακτήρες).*
- *Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των στοιχείων (ιδιότητες, αξίες, προθέσεις των ηρώων - χαρακτήρων).*
- *Τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των στοιχείων (η ανάπτυξη της δράσης στο πλαίσιο διαφόρων αφηγηματικών καταστάσεων).*
- *Το βαθμό οργάνωσης αυτών των αλληλεπιδράσεων (σεναριακή πλοκή).*
- *Την ιδιαίτερη σκοποθεσία των υποσυστημάτων (ιδιαιτερότητες, προθέσεις).*
- *Τους κανόνες ελέγχου για τη συμπεριφορά του συστήματος (αφηγηματικές λειτουργίες, βλ. και Πιν. 1).*
- *Την επίδραση της συμπεριφοράς μας στο σύστημα (διαδραστικότητα).*
- *Την αλληλεπίδραση του συστήματος με το περιβάλλον (ρεαλιστικές προσομοιώσεις, εμφύθιση σε περιβάλλοντα εικονικής πραγματικότητας).*
- *Την εξέλιξη του συστήματος στο χρόνο (ροή – ανατροπές στην ιστορία).*
- *Την επίδραση του «τυχαίου» στο σύστημα (προσθήκη επιπλέον πλοκής και δράσης με τη ρήση «γεννήτριας τυχαίων γεγονότων»).*

Στην (συνηθισμένη) περίπτωση που στο σύστημα εμπλέκονται και άνθρωποι («διαδραστικοί αναγνώστες» - χρήστες), η κατηγοριοποίησή τους ως «συμμετεχόντων», «διαχειριστών» ή και «στοιχείων» του συστήματος, για να καθορίσει τη σχέση και την αλληλεπίδρασή τους τόσο με το σύστημα όσο και μεταξύ τους, λαμβάνει υπόψη τα παρακάτω:

- *Τα κοινά τους ενδιαφέροντα (υπάρχουν; Πόσα και ποια).*
- *Τις αξίες και πεποιθήσεις που μοιράζονται (συμπίπτουν ή είναι σε σύγκρουση).*
- *Τους σκοπούς και τους στόχους που έχουν την πρόθεση να προωθήσουν (υπάρχει συμφωνία, χρειάζονται συμβιβασμοί, πόσοι είναι οι - διαθέσιμοι από το σενάριο - βαθμοί ελευθερίας).*
- *Τη διαδικασία λήψης των κοινών αποφάσεων (πόσοι και ποιοι συμμετέχουν, ποιος τις επιβάλλει στους άλλους).*
- *Τον τρόπο υλοποίησης αυτών των αποφάσεων (το είδος της δράσης σε συμφωνία με αυτές).*

ΑΡΧΗ 2^η. Η αφήγηση ευνοεί την αναπαράσταση, η διαδραστική αφήγηση ευνοεί την προσομοίωση και για αυτό ενδιαφέρεται ιδιαίτερα για τη θέσπιση αφηγηματικών κανόνων.

Η προσομοίωση είναι κάτι περισσότερο από μια απλή αναπαράσταση για αυτόν ο οποίος την διαχειρίζεται (π.χ μέσα από ορισμένα ηλεκτρονικά παιχνίδια). Αποτελεί έναν τρόπο να βιώσει κανείς εμπειρίες αντί να παρακολουθήσει μια ιστορία. Βέβαια για έναν εξωτερικό παρατηρητή το αποτέλεσμα της προσομοίωσης μπορεί να μοιάζει πιο πολύ με αναπαράσταση, όχι όμως και τους συμμετέχοντες σε αυτή. Οι «παίκτες» των ηλεκτρονικών παιχνιδιών συχνά βιώνουν την εμπειρία ως μια εναλλακτική πραγματικότητα στην οποία συμμετέχουν έχοντας και μια σχετική ελευθερία προσωπικής δράσης και λήψης αποφάσεων και όχι ως την αφήγηση μιας ιστορίας. Η διαφορά ανάμεσα στην αναπαράσταση και την προσομοίωση είναι σημαντική. Η αναπαράσταση υποστηρίζεται από την αφήγηση και αξιοποιεί μια στρατηγική τύπου «βάση - κορυφή» (down –

top), περιγράφει συνήθως γεγονότα και επιτρέπει τη συναγωγή συμπερασμάτων και τη γενίκευση (εδώ οφείλεται και η συστηματική της χρήση στην εκπαιδευτική διαδικασία).

Η προσομοίωση εμπεριέχει την έννοια της μοντελοποίησης πολύπλοκων δυναμικών συστημάτων και αξιοποιεί συνήθως την αντίθετη στρατηγική «κορυφή - βάση», προσδιορίζει κάποιους βασικούς κανόνες για τη λειτουργία ενός πολύπλοκου συστήματος και παρέχει τη δυνατότητα στο χρήστη να πειραματισθεί με αυτό. Με αυτή τη συλλογιστική η Συστημική – Κυβερνητική προσέγγιση προσφέρεται για τη μελέτη των καταστάσεων προσομοίωσης που, επιτρέπουν τη διαχείριση (στα πλαίσια κανόνων) της πολυπλοκότητας, είναι «βιωματικές» και αξιοποιούν την τεχνολογία των υπολογιστών προωθώντας την «αφηγηματική αναπαράσταση» σε μια διαφορετική διάσταση.

ΑΡΧΗ 3^η. Η μοντελοποίηση ενός διαδραστικού αφηγηματικού συστήματος σε υπολογιστή μπορεί να υποστηριχθεί αποτελεσματικά από τη μη γραμμική δυναμική των συστημάτων.

Τα μη γραμμικά μοντέλα έχουν πολλές διαφορές από τα γραμμικά (βλ. και Briggs & Peat, 1989). Ο κατασκευαστής τους δεν επικεντρώνει το ενδιαφέρον του στην αριθμητική επεξεργασία αιτιακών αλυσίδων μέσα από ένα πρόγραμμα σε υπολογιστή. Αντίθετα ενδιαφέρεται για την αναζήτηση κόμβων όπου συναντώνται βρόχοι ανάδρασης, με στόχο να συμπεριλάβει στην «εικόνα» του συστήματος όσο περισσότερους κρίσιμους βρόχους γίνεται. Η διαμόρφωση του μοντέλου δεν γίνεται με σκοπό την πρόβλεψη (για κάποια μελλοντική εξέλιξη της ιστορίας στη δική μας περίπτωση) ή για την άσκηση κάποιου κεντρικού ελέγχου (από το συγγραφέα). Ο κατασκευαστής μη γραμμικών μοντέλων ανάδρασης αρκείται μάλλον στο να διαταράσσει το μοντέλο δοκιμάζοντας διάφορες μεταβλητές του (αυτή είναι κυρίως η δουλειά και του αναγνώστη) με σκοπό να μάθει για τα κρίσιμα σημεία του συστήματος και για την αντίστασή του στη μεταβολή (ομοιόσταση). Δεν επιδιώκει να ελέγξει το πολύπλοκο σύστημα (όπως αυτό είναι δοσμένο ως αφήγηση από τη δημιουργικότητα του συγγραφέα) ποσοτικοποιώντας το και κυριαρχώντας στην αιτιότητά του. Επιθυμεί (το ίδιο κάνει και ο αναγνώστης) να βελτιώσει τη «διαισθητική του αντίληψη» για το πως δουλεύει το σύστημα ώστε να μπορεί να αλληλεπιδρά αρμονικά μαζί του.

Ο ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ

Η ανάπτυξη μοντέλων της δυναμικής των συστημάτων αποτελεί παράδειγμα της μετατόπισης που πραγματοποιείται από τον ποσοτικό αναγωγισμό σε μιας ποιοτική ολική εκτίμηση της δυναμικής. Ένα μοντέλο αυτού του τύπου εμπεριέχει και αρκετά ποιοτικά στοιχεία, στην περίπτωση π.χ της προσομοίωσης μια μάχης περιλαμβάνει στοιχεία για την κόπωση και το ηθικό των στρατιωτών, την ορατότητα κ.ο.κ. Η πρώτη αντίδραση των ανθρώπων που για πρώτη φορά έρχονται σε επαφή με μοντελοποιήσεις αυτού του τύπου είναι σχεδόν πάντοτε αρνητική. Δεν μπορεί να γίνει – ισχυρίζονται – ένα μοντέλο και δεν μπορούν να προσδιορισθούν βρόχοι ανάδρασης για πράγματα που εμφανίζουν τόσο λεπτές αποχρώσεις όπως η ανανέωση των αντιλήψεων, η ανθρώπινη κόπωση, η ψυχολογία μια ομάδας στρατιωτών. Από την άλλη πλευρά προβάλλεται η αντίληψη ότι αν μπορούμε να συζητήσουμε για κάτι με αρκετή σαφήνεια συνήθων μπορεί και να κατασκευασθεί ένα μοντέλο γι αυτό. Το μπέρδεμα των βρόχων ανάδρασης είναι πολυσύνθετο οι υπολογιστές όμως μπορούν να χειρισθούν. Οι βρόχοι αποδίδονται με μη γραμμικές εξισώσεις δείχνουν ξαφνικά συμβάντα που προκύπτουν καθώς αυξάνονται ή μειώνονται οι τιμές («απολαβές βρόχου»). Από το μοντέλο παραλείπονται σκοπίμως τα ιστορικά δεδομένα (δεδομένα «χρονικής σειράς») τα τόσο προσφιλή στους γραμμικούς κατασκευαστές μοντέλων και χρησιμοποιούνται μόνο για τον έλεγχο και όχι για τον προσδιορισμό του μοντέλου. Το ενδιαφέρον για μοντελοποιήσεις ποιοτικών δεδομένων αυτού του τύπου δημιουργεί την ανάγκη για τη χρησιμοποίηση και μιας «μαθηματικής γλώσσας», πέρα πόα τη γλώσσα των μαθηματικών. Σε αυτή την κατεύθυνση έχουν γίνει σήμερα σημαντικές πρόοδοι. Συγκεκριμένα έχει αρχίσει σταδιακά να αναγνωρίζεται η θεωρητική αλλά και η πρακτική χρησιμότητα δύο

(αμφιλεγόμενων έως και πρόσφατα) επιστημονικών πεδίων τα οποία στο μέλλον θα υποστηρίξουν, κατά την αντίληψή μας, αποτελεσματικά τη μοντελοποίηση των μη γραμμικών δυναμικών συστημάτων με έντονα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Πρόκειται για τη Θεωρία των Καταστροφών του R. Thom και την Ασαφή Λογική του L. Zadeh. Θα αναφερθούμε στη συνέχεια με συντομία σε αυτά ξεκινώντας από την περιγραφή των βασικών ιδιοτήτων – χαρακτηριστικών ενός μη γραμμικού δυναμικού συστήματος, διότι πάνω σε αυτές στηρίζεται η κατασκευή του αντίστοιχου μοντέλου.

ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ - ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

- Ένα δυναμικό σύστημα δεν είναι απαραίτητο να γίνει εξαιρετικά πολύπλοκο για να περιπέσει σε χαοτική συμπεριφορά.
- Το «χάος» λειτουργεί «διαβρωτικά» στα μη γραμμικά συστήματα.
- Μικρές μεταβολές μπορούν να προκαλέσουν δυσανάλογα μεγάλα αποτελέσματα.
- Τα μη γραμμικά δυναμικά συστήματα μικρές μεταβολές στις παραμέτρους μπορούν να οδηγήσουν σε ποιοτική μεταβολή («διακλάδωση») της συμπεριφοράς.
- Τα τυπικά μη γραμμικά συστήματα εμφανίζουν πολλαπλά εστιακά σημεία («ελκυστές») και τα σύνορα μεταξύ αυτών των σημείων συχνά εμφανίζουν πολύπλοκες μορφοκλασματικές (fractal) δομές.
- Οι ελκυστές μπορούν να δώσουν πληροφορίες για τη γενική «κατεύθυνση» ενός συστήματος.
- Είναι δυνατόν να εκτιμηθεί ο ελάχιστος αριθμός μεταβλητών που είναι απαραίτητος για την περιγραφή της λειτουργίας ενός συστήματος.
- Η πιθανή χαοτική συμπεριφορά ενός συστήματος δεν αποκλείει κατ' ανάγκη και τη δυνατότητα για μια βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη της συμπεριφοράς του.

ΑΣΑΦΗΣ (FUZZY) ΛΟΓΙΚΗ

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, δύο γεγονότα οδήγησαν στη γέννηση της «πλειοψηφίας» ή αόριστης λογικής, όπως την ονόμασαν τότε οι φιλόσοφοι (βλ. και Κεκές, 2000α) :

1. Ο B. Russell για να θεμελιώσει τα σύγχρονα μαθηματικά επανέφερε τα κλασικά παράδοξα των αρχαίων ελλήνων.
2. Ο W. Heisenberg ανακάλυψε στην κβαντική φυσική την αρχή της αβεβαιότητας.

Χρειάστηκαν τα νέα μαθηματικά του Russell και η κβαντομηχανική του Heisenberg για να αρχίσει η επιστημονική κοινότητα να προβληματίζεται πραγματικά για τη λογική που κληρονομήσαμε από τον Αριστοτέλη. Η συνέχεια δόθηκε από έναν άνθρωπο με ιδιαίτερη επιμονή και ξεχωριστές ικανότητες ο οποίος αγωνίσθηκε σκληρά για να γίνει αποδεκτή η αοριστία στην επιστήμη.

Ο λόγος γίνεται για τον καθηγητή L. Zadeh, έναν Ιρανό μέτοικο που ξεκίνησε αυτή την προσπάθεια με μια αλλαγή ονόματος. Αντί για «αοριστία» άρχισε να μιλά για «ασάφεια». Το 1965, δημοσίευσε στο περιοδικό Information and Control το άρθρο «Ασαφή Σύνολα». Είναι χαρακτηριστικό ένα απόσπασμα του διάσημου καθηγητή R. Kalman που αποτελεί απάντηση στις θέσεις που εξέφρασε ο Zadeh σε ένα συνέδριο με θέμα «Άνθρωπος και Ηλεκτρονικός Υπολογιστής» (Μπορντώ, 1972, βλ. και Kosko, 93): «... Αναμφίβολα ο ενθουσιασμός του καθηγητή Zadeh για την ασάφεια ενισχύθηκε από το πολιτικό κλίμα στις Η.Π.Α. που δεν έχει προηγούμενο ανεκτικότητα. Η άρση της σαφήνειας είναι ένα είδος επιστημονικής ανεκτικότητας, διευκολύνει στο να συνάγονται κοινωνικώς ελκυστικά σλόγκαν που δε συνοδεύονται με την πειθαρχημένη αυστηρότητα της σκληρής επιστημονικής δουλειάς και την υπομονετική παρατήρηση ...»

Τελικά η απάντηση στους επικριτές του Zadeh ήρθε στη δεκαετία του '80 όταν οι Ιάπωνες εφάρμοσαν αυτήν τη θεωρία και το 1990 διέθεταν περισσότερες από 100 πραγματικές εφαρμογές και προϊόντα ελέγχου που στηρίζονταν στη θεωρία και τα μαθηματικά της Ασαφούς Λογικής. Στις μέρες μας το νέο αυτό επιστημονικό πεδίο έχει αρχίσει να καταξιώνεται και να αποκτά έναν σοβαρό μαθηματικό και φιλοσοφικό εξοπλισμό με σημαντικές εφαρμογές στο πεδίο της τεχνητής νοημοσύνης. Είναι φανερό, πιστεύουμε σε αυτό το σημείο το δίλημμα των επιστημόνων που ανακαλύπτουν με δέος, πως καλούνται συχνά να παραστήσουν με γραμμικά μαθηματικά ένα μη γραμμικό κόσμο, με ότι αυτό συνεπάγεται για την ακρίβεια και την προβλεψιμότητα των μοντέλων τους. Η Λογική της Ασάφειας από την άλλη πλευρά μας διευκολύνει την πρόσβαση σε έναν καινούριο κόσμο. Μας επιτρέπει να περιγράψουμε και να καθοδηγήσουμε υπερπολύπλοκα συστήματα, που θα μπορούν «να σκέπτονται» με ασαφείς αριθμούς και προτάσεις του τύπου εάν - τότε:

ΘΕΩΡΙΑ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ

Η θεωρία καταστροφών είναι ένας αμφιλεγόμενος νέος τρόπος σκέψης για την αλλαγή, αλλαγή σε μια πορεία πραγμάτων, αλλαγή στη συμπεριφορά ενός συστήματος, αλλαγή στις ίδιες τις ιδέες. Η ονομασία της υποδηλώνει «συμφορά» και ισχύει πράγματι για κυριολεκτικές καταστροφές, όπως η πτώση μιας αυτοκρατορίας ή η κατάρρευση μια γέφυρας. Ασχολείται όμως και με αλλαγές περισσότερο ήπιες και δυσδιάκριτες όπως η μετάβαση από την εγρήγορση στον ύπνο κ.ο.κ. Η θεωρία διατυπώθηκε από το R. Thom (1975) και θεωρείται αμφιλεγόμενη διότι εκφράζει την άποψη ότι τα μαθηματικά που στηρίζαν τα τελευταία 300 χρόνια της επιστήμης, ανεξάρτητα από τη δύναμη και την επιτυχία τους, έχουν ενθαρρύνει μια μονόπλευρη αντίληψη της αλλαγής. Οι μαθηματικές αυτές αρχές προσφέρονται ιδανικά για την ανάλυση (4) επειδή δημιουργήθηκαν για την ανάλυση (5), υπάρχει όμως και άλλου είδους αλλαγή, η οποία δεν προσφέρεται για μαθηματική ανάλυση, όπως το απότομο σπάσιμο μιας φυσαλίδας ή η ποιοτική μετάπτωση που συντελείται στο νου μας όταν αντιλαμβανόμαστε ένα αστείο ή ένα λογοπαίγνιο. Η θεωρία καταστροφών είναι μια μαθηματική γλώσσα που δημιουργήθηκε για να περιγράψει και να ταξινομήσει αυτού του τύπου ην αλλαγή. Ο Thom (1975) πιστεύει ότι η ποιοτική αντίληψη της μορφής και της γεωμετρικής τάξης έχει μεγαλύτερη αξία από την ποσοτική μας αντίληψη του αριθμού και του μεγέθους και δεν θα έπρεπε να εγκαταλειφθεί. Χρησιμοποιεί τη διαφορική τοπολογία για να ασχοληθεί με ζητήματα σταθερότητας και μετασχηματισμού και προσφέρει έναν διαφορετικό τρόπο θέασης του κόσμου. Επισημαίνει ποιοτικές ομοιότητες σε μία μεγάλη ποικιλία διεργασιών, όπως γίνεται και με τη χρήση της «μεταφοράς» στη γλώσσα, με τη διαφορά ότι οι δικές του «μεταφορές» μπορούν να ταξινομηθούν και να συνδυαστούν χρησιμοποιώντας μαθηματικό εξοπλισμό το ίδιο κατάλληλο γι αυτό το σκοπό όσο ήταν και ο λογισμός του Νεύτωνα για την ανάλυση ποσοτικών σχέσεων.

Σε μια ευρεία περιοχή καταστάσεων (φυσικών, βιολογικών ή και ψυχολογικών ακόμη συστημάτων) όπου η εμπειρία μας υποδεικνύει ότι κάτι αναμένεται να συμβεί, ο Thom υποστηρίζει πως υπάρχουν μόνο εφτά θεμελιακά διαφορετικοί τρόποι που αυτό μπορεί να γίνει. Πρόκειται για κατηγορίες συμπεριφοράς αυτών των συστημάτων που συναρτώνται άμεσα με τους παράγοντες ελέγχου που δεχόμαστε και οι οποίες παριστάνονται τοπολογικά με συγκεκριμένα αναπτύγματα. Σήμερα έχουν προστεθεί ακόμη τέσσερις τρόποι στους αρχικούς εφτά και μπορούμε να χειρισθούμε έως πέντε παράγοντες ελέγχου.

ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΕΣ ΠΡΟΕΚΤΑΣΕΙΣ

Σε μια πρώτη (πρόχειρη) ανάγνωση θα μπορούσε ίσως κάποιος να ισχυρισθεί πως τελικά γίνεται πολύς θόρυβος για το τίποτα, δεν είναι δυνατό να επιτύχουν όλες αυτές οι προσπάθειες για να αποδοθεί πειστικά μέσα από την υπολογιστική τεχνολογία η διαδραστική αφήγηση. Υπάρχουν πολλές ακόμη θεωρίες που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε αυτή την κατεύθυνση και

πιθανότατα δεν θα αποδώσουν. Από την άλλη πλευρά υπάρχει η αντίληψη ότι ζούμε σε μια εποχή ραγδαίων αλλαγών και διαδοχικών μεταβάσεων, παριστάμεθα μάρτυρες μιας σημαντικής μεταβολής στο εκπαιδευτικό παράδειγμα του καιρού μας. Από τη (συνήθως γραμμική) διαδικασία της μετάδοσης (με όρους επικοινωνίας) πληροφοριών και γνώσεων από το «δάσκαλο» στο μαθητή στην προσφορά (μη γραμμικών) άμεσων διαδραστικών «εμπειριών».

Ας δούμε τα πράγματα για λίγο και διαχρονικά. Στην αρχή υπήρχαν τα ζώα, που δεν διέθεταν τίποτε περισσότερο από την εμπειρία τους. Μετά ήρθε ο άνθρωπος που επεξεργάζεται την πραγματικότητα με αναλογίες, μεταφορές (με τη γραμματική έννοια) και σύμβολα. Τα σύμβολα της γραφής και των μαθηματικών καθόρισαν σε μεγάλο βαθμό την πορεία και τη νοητική κατάσταση των ανθρώπων, μέσα από τις εφαρμογές και τις προεκτάσεις τους. Μετά ήρθε η τυπογραφία και μας έδωσε για πρώτη φορά τη δυνατότητα μαζικής παραγωγής συμβόλων σηματοδύνοντας μια πραγματική αλλαγή. Και τέλος έφθασε η εποχή των υπολογιστών και είμαστε σε θέση να αναπαράγουμε μαζικά την άμεση εμπειρία. Ο μαθητής - γραφέας μετατρέπεται σε «εκδότη» και ο μαθητής – «καταναλωτής και αναπαραγωγός» της γνώσης αποκτά πρόσβαση σε πλήθος εμπειριών που μέχρι πριν λίγα χρόνια ήταν αποκλειστικά στη διάθεση περιορισμένου αριθμού εμπειρογνομόνων. Όπως η εφεύρεση του τρισδιάστατου ολογράμματος χρησιμεύει ως πολιτιστικό και επιστημονικό αντίστοιχο με την εισαγωγή της προοπτικής στη ζωγραφική της Αναγέννησης, οι εξελίξεις στα πεδία της εικονικής πραγματικότητας και της τεχνητής νοημοσύνης αποτελούν το ηλεκτρονικό αντίστοιχο για το αρχικό κίνημα της διάδοσης της γραφής. Για το λόγο αυτό χρειαζόμαστε και πάλι μια νέα «μυθοπλασία» και καινούργιους «αιοδούς» για να την εξιστορήσουν. Μόνο που η τυπική συμβολική γλώσσα των μαθηματικών, που εύκολα γίνεται κτήμα της «λογικής» των υπολογιστών έχει δραματικά απομακρυνθεί από τη σημειολογία και το νόημα της καθημερινής (συχνά μεταφορικής) γλώσσας των ανθρώπων. Η διαδραστική αφήγηση δεν μπορεί όμως να υπάρξει χωρίς τη χρήση των τεχνολογικών μέσων και ο διαδραστικός αναγνώστης δεν είναι διατεθειμένος (και δεν χρειάζεται εξάλλου) να εγκαταλείψει τον γλωσσικό του κώδικα και τις συνήθειές του ως βιο-ψυχο- κοινωνικό σύστημα προκειμένου να αποκτήσει πρόσβαση στο περιεχόμενο μιας τέτοιας εμπειρίας. Δεν ευθύνεται αυτός για το ότι η αναλυτική λογική που κυριάρχησε στη μαθηματική σκέψη και μοντελοποίηση είναι τόσο μακριά από τις καθημερινές του εμπειρίες και συμπεριφορές. Είναι ευθύνη της επιστήμης να αναγνωρίσει το πρόβλημα και να προτείνει λύσεις. Σε αυτό το πλαίσιο όλες οι προτάσεις που συντελούν στο να αναβαθμίζεται η «ποιοτική» διάσταση των μαθηματικών και να ενισχύεται η μη γραμμική μοντελοποίηση μπορούν να θεωρηθούν θετικές. Συχνά μοντελοποιούμε με καθαρά γραμμικό τρόπο το μη γραμμικό περιβάλλον στο οποίο ζούμε. Με τη χρήση των υπολογιστών αυτή η ανακολουθία έγινε περισσότερο σαφής και η λύση άρχισε να αναζητείται με την ανάπτυξη νέων αντιλήψεων στη μοντελοποίηση. Η ασαφής λογική και η θεωρία καταστροφών είναι δύο μόνο από τα νέα πεδία στη συμβολική σκέψη που μπορούν να υποστηρίξουν αποτελεσματικά τη μοντελοποίηση μη γραμμικών δυναμικών συστημάτων, σίγουρα υπάρχουν και άλλα, το ζήτημα όμως είναι να αποφασίσουμε να τους δώσουμε τη βαρύτητα που τους αξίζει στο εκπαιδευτικό μας σύστημα. Με τον τρόπο αυτό, ο μαθητής θα βρεθεί (σε κάποιες περιπτώσεις) στο επίκεντρο της δημιουργίας των «διαδραστικών εμπειριών» ως συνειδητοποιημένος και κριτικός «αναγνώστης» με απαιτήσεις αλλά και προτάσεις για το είδος και το περιεχόμενο των «αφηγήσεων» που προορίζονται γι αυτόν.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ

Συνοψίζοντας τα παραπάνω θεωρούμε, ότι η «διαδραστική αφήγηση» ή όπως αλλιώς θα ονομασθεί στο μέλλον αυτό το πολύπλοκο σύστημα παραγωγής εμπειριών με τη βοήθεια των υπολογιστών θα έχει δεσπόζουσα θέση και σημαντικές εκπαιδευτικές προεκτάσεις στο άμεσο μέλλον. Στη θέση της παροχής πληροφοριών και γνώσεων προς τους μαθητές από την πλευρά του

σχολικού συστήματος θα προσφέρονται «εμπειρίες», προς επεξεργασία από τους ίδιους τους μαθητές. Σε μια τέτοια προοπτική, η μοντελοποίηση σε υπολογιστή θα αναδειχθεί σε καθοριστική παράμετρο της διαδικασίας μάθησης, και μια νέα γλώσσα, ίσως και μια νέα σημειολογία θα είναι αναγκαίο να προσδιορισθεί. Η δυναμική των συστημάτων συνδέεται άμεσα με τον ποιοτικό χαρακτήρα της θεωρίας καταστροφών και από την άλλη μεριά τα μαθηματικά της ασαφούς λογικής καταφέρνουν να εκφράσουν με μαθηματικούς κώδικες την ίδια τη γλώσσα, μοιάζει πιθανό λοιπόν από τη συνδυασμένη αξιοποίηση αυτών τριών επιστημονικών πεδίων να προέλθει η «κρίσιμη μάζα» που θα δημιουργήσει την «έκρηξη». Μεμονωμένες προσπάθειες ήδη υπάρχουν (6) και προνομιακό πεδίο εφαρμογής τους μοιάζει να είναι ο χώρος των ηλεκτρονικών παιχνιδιών (βλ. και Κεκές, 2000β) ο οποίος διαρκώς εξελίσσεται και σε κάποιο βαθμό αποτελεί και προάγγελο των εκπαιδευτικών εφαρμογών που θα χρησιμοποιούμε στο μέλλον.

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ

- (1) Ενδεικτικά: Η διαδραστικότητα (interactivity) είναι:
«Μια σύνθετη διαδικασία με τρεις μεταβλητές: Συχνότητα (πόσο συχνά αλληλεπιδρούμε). Εύρος (πόσες επιλογές είναι διαθέσιμες). Σημασία (σε ποιο βαθμό οι επιλογές μας επηρεάζουν πραγματικά τις καταστάσεις). (Laurel, 1993). « Μια κυκλική διαδικασία στην οποία δύο άτομα ακούν σκέπτονται και μιλούν εναλλάξ», (Crowford, 2000).
- (2) Η διακεκομμένη γραμμή υποδηλώνει χαλαρή αλληλεπίδραση, η οποία δεν είναι πάντοτε δεδομένη.
- (3) Χρησιμοποιώντας μια απλουστευτική (όχι όμως και ανακριβή) διατύπωση μπορούμε να δεχθούμε ότι: Με τον όρο «χάος» αντιλαμβανόμαστε τη μελέτη του τρόπου με τον οποίο απλά συστήματα μπορούν υπό προϋποθέσεις (μη γραμμικότητα, ανάδραση) να εκδηλώσουν πολύπλοκη συμπεριφορά. Ενώ με τον όρο πολυπλοκότητα τη μελέτη του τρόπου με τον οποίο πολύπλοκα συστήματα μπορούν να οδηγηθούν σε απλές συμπεριφορές.
- (4) Δηλαδή το διαφορικό και τον ολοκληρωτικό λογισμό.
- (5) Της ομαλής, συνεχούς ποσοτικής αλλαγής.
- (6) Μια από αυτές είναι ήδη σε εξέλιξη στο Dublin City University και εστιάζεται τα παιχνίδια στρατηγικής. (βλ. και <http://www.compapp.dcu.ie/~tonyv/gamesAI/>).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Briggs, J. & Peat, F.D. (1989). *Turbulent Mirror*, Harper & Row.
- Crowford, C. (2000). *Understanding Interactivity*, Draft 7.0, Crowford.
- Fiske, J. (1989). *Introduction to Communication Studies*, London, Rautledge.
- Κεκές, Ι. (2000α). *Η Ανάπτυξη Πληροφορικών Συστημάτων για Περιβάλλοντα Υψηλής Πολυπλοκότητας και Ασάφειας: Εκπαιδευτικές Προεκτάσεις*, Πρακτικά Β' Πανελληνίου Συνεδρίου του Κ.Ε.Ε.Ε. «Οι Νέες Τεχνολογίες για την Κοινωνία και τον Πολιτισμό», Αθήνα.
- Κεκές, Ι. (2000β). *Ηλεκτρονικά παιχνίδια: Παιδαγωγικοί Προβληματισμοί και Εκπαιδευτικές Προεκτάσεις*, Πρακτικά 2^ο Πανελλήνιο Συνέδριο της Παιδαγωγικής Εταιρείας της Ελλάδας «Ελληνική Παιδαγωγική και Εκπαιδευτική Έρευνα», Αθήνα.
- Kosko, B. (1993). *Fuzzy Thinking: The New Science of Fuzzy Logic*, New York, Yperion.
- Laurel, B. (1993) *Computers as Theater*, New York, Addison – Wesley.
- Propp, V. (1928). *Morphologie du Conte*, Paris, Seuil
- Thom, R. (1975). *Structural Stability and Morfogenesis: An Outline of a General Theory of Models*, Reading, Benjamin.
- Winkin, Y. (1981). *La Nouvelle Communication*, Paris, Edition du Seuil.