

Μέρος Πέμπτο

Σχεδιασμός, Ανάπτυξη και Αξιολόγηση Εκπαιδευτικού Λογισμικού

Από τις εμπειρικές προσεγγίσεις στη διεπιστημονική θεώρηση

Παιδαγωγικές και τεχνολογικές αρχές σχεδίασης ενός λογισμικού συνεργατικής εννοιολογικής χαρτογράφησης βασισμένο στο Διαδίκτυο

Βασίλης Κόμης

Παιδαγωγικό Τμήμα Νηπιαγωγών, Πανεπιστήμιο Πατρών & Ινστιτούτο Υπολογιστικών Μαθηματικών, Ίδρυμα Τεχνολογίας & Έρευνας

komis@upatras.gr

Χρήστος Φείδας

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανολόγων και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Πατρών

fidas@hermes.clab.ee.upatras.gr

Περίληψη

Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται οι βασικές παιδαγωγικές αρχές σχεδίασης και οι τεχνικές ανάπτυξης του λογισμικού ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ (έκδοση 2.0), ενός ανοικτού εκπαιδευτικού λογισμικού συνεργατικής εννοιολογικής χαρτογράφησης βασισμένο στο Διαδίκτυο. Κύριος στόχος του λογισμικού είναι η υπολογιστική υποστήριξη της ανάδυσης των γνωστικών αναπαραστάσεων και για το λόγο αυτό περιλαμβάνει ειδικές συνιστώσες υποστήριξης και καταγραφής της όλης αναπαραστασιακής διαδικασίας καθώς και συνιστώσα συλλογικής και εξ αποστάσεως έκφρασης των αναπαραστάσεων με τη χρήση μιας ειδικής κατηγορίας δρώντων (reactive agents). Επιπρόσθετα, το λογισμικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλο το φάσμα εφαρμογών που βασίζονται στην υπολογιστική εννοιολογική χαρτογράφηση.

Λέξεις – κλειδιά: αναπαραστάσεις, συνεργατική νοητική χαρτογράφηση, ιδέες των παιδιών, γνωστικό εργαλείο, αναπαραστασιακό εργαλείο, εκπαιδευτικό λογισμικό, ανοικτά μαθησιακά περιβάλλοντα, συνεργατική μάθηση, υπολογιστική υποστήριξη συνεργατικής μάθησης, δρώντες.

Abstract

This paper discusses the pedagogical and technical principles of design concerning the Representation Tool. This tool is an open ended educational software of collaborative concept mapping based on Internet. The essential aim of this software is the computational support to emerge children's cognitive representation; thus it comprises specific components of support and recording the representation procedure. It contains also the component of collaborative and distant expression of representation with reactive agents. Furthermore, this software can be used in multiple applications based on the computational concept mapping.

Key words: Representations, collaborative concept mapping, children's ideas, cognitive tool, representational tool, educational software, open learning environments, collaborative learning, reactive agents, CSCL.

Εισαγωγή

Η πρόοδος που έχει συντελεστεί τα τελευταία χρόνια στην ψυχολογία της μάθησης και γενικότερα στο χώρο της γνωστικής επιστήμης έχει οδηγήσει σε μεγάλο βαθμό και στην αλλαγή προοπτικής όσον αφορά στη χρήση και ενσωμάτωση των τεχνολογιών της πληροφορίας και της επικοινωνίας στην εκπαίδευση [Vosniadou et al., 1994, Jonassen & Reeves, 1995]. Η υιοθέτηση της ιδέας ότι η μάθηση είναι αποτέλεσμα μιας διαρκούς διαδικασίας αλλαγών στις γνωστικές δομές του υποκειμένου, όπου σημαντικό ρόλο παίζει το κοινωνικό και πολιτισμικό περιβάλλον [Bruner, 1966], το πλαίσιο (context) μέσα στο οποίο διαδραματίζεται η μαθησιακή δραστηριότητα [Nardi, 1996] αλλά και η διαμεσολαβημένη μέσω εργαλείων (νοητικών αλλά και υλικών) ανθρώπινη δραστηριότητα [Vygotsky, 1986, Engstrom et al., 1999], έχει συντελέσει καταλυτικά και στο σχεδιασμό εκπαιδευτικού λογισμικού.

Την τελευταία δεκαετία έχει αναπτυχθεί ένας σημαντικός αριθμός υπολογιστικών περιβαλλόντων που έχουν ως στόχο την υποστήριξη των μαθητών κατά τη διαδικασία οικοδόμησης και έκφρασης των γνώσεών τους σε διάφορα γνωστικά αντικείμενα αλλά και

στα πλαίσια διεπιστημονικών δραστηριοτήτων διερεύνησης και μοντελοποίησης [Dimitrakopoulou et al., 1999]. Κάποια από αυτά τα λογισμικά δίνουν έμφαση στην υποστήριξη της μαθησιακής διαδικασίας διευκολύνοντας διάφορους τρόπους έκφρασης και οικοδόμησης της γνώσης, όπως ρεαλιστικές ή λιγότερο ρεαλιστικές προσομοιώσεις (Δημιουργός Μοντέλων, Modellus, Stella) ή σημασιολογικά δίκτυα στατικού χαρακτήρα (Inspiration, SemNet, MindMap, CLASS, Decision Explorer, Axon Idea), ενώ άλλα ασχολούνται περισσότερο με την υποστήριξη συνεργατικών δραστηριοτήτων μάθησης (CSILE, Belvedere, CoVis) κάνοντας ευρεία χρήση των υπηρεσιών του Διαδικτύου.

Όλα τα προαναφερθέντα λογισμικά χρησιμοποιούν τον υπολογιστή ως *γνωστικό εργαλείο* (cognitive tool) [Kommers et al., 1992, Jonassen & Reeves, 1995] που μπορεί να συντελέσει με ουσιαστικό τρόπο ώστε να υποστηριχθούν και να αναδειχθούν οι γνώσεις που δεν έχουν οικοδομηθεί πλήρως ή βρίσκονται σε λανθάνουσα μορφή. Τα *γνωστικά εργαλεία* είναι, σύμφωνα με τον [McAleese, 1992], κατασκευές που επιτρέπουν στο χρήστη τους να αποσαφηνίσει, να καταστήσει ξεκάθαρα και να συζητήσει σκέψεις με τη βοήθεια μιας διεπιφάνειας χρήσης υπολογιστή. Τα γνωστικά εργαλεία επεκτείνουν τις γνωστικές ικανότητες των ανθρώπινων όντων στη σκέψη, στην επίλυση προβλήματος και στη μάθηση [Jonassen & Reeves, 1995], και, εάν είναι ορθά σχεδιασμένα και υλοποιημένα, μπορούν να ενεργοποιήσουν και να υποστηρίξουν γνωστικές και μεταγνωστικές στρατηγικές μάθησης [Jonassen, 1992].

Μια ειδική κατηγορία υπολογιστικού γνωστικού εργαλείου αφορά στη χρήση του υπολογιστή ως *αναπαραστασιακό εργαλείο* (representational tool). Ένα *αναπαραστασιακό εργαλείο* είναι ένα λογισμικό το οποίο επιτρέπει στο χρήστη να οικοδομεί, να εξετάζει και να χειρίζεται εξωτερικές αναπαραστάσεις των γνώσεών του [Suthers, 1999], αλλά και με μια πιο πρόσφατη θεώρηση [Komis and O'Flaherty, 2000], να ανταλλάσσει με άλλους και να επικοινωνεί αυτές τις αναπαραστάσεις στο πλαίσιο συνεργατικών δραστηριοτήτων. Τότε πλέον, το λογισμικό δεν παίζει μόνο το ρόλο μιας φορμαλιστικής καταγραφής γνώσεων, αλλά αποτελεί πηγή ερεθισμάτων και κινήτρων για συζήτηση (conversation) και διαπραγμάτευση (negotiation). Οι εξωτερικές αυτές αναπαραστάσεις είναι αναλογικής (έχουν δηλαδή τοπολογική ομοιότητα με αυτό που αναπαριστούν, όπως για παράδειγμα μία εικόνα), συμβολικής (είναι δηλαδή φορμαλιστικού τύπου χωρίς τοπολογικές ομοιότητες με το αντικείμενο της αναπαράστασης, όπως για παράδειγμα λέξεις ή άλλα αφηρημένα σύμβολα) ή διαγραμματικής (σχήματα και διαγράμματα) μορφής.

Θεωρητικό πλαίσιο

Η έννοια της αναπαράστασης

Η έννοια της *αναπαράστασης* (representation), τόσο στη γνωστική όσο και στην κοινωνική της διάσταση, διαδραματίζει κεντρικό ρόλο στο χώρο των γνωστικών επιστημών και της εκπαίδευσης [Vergnaud, 1996]. Αυτοί που μαθαίνουν, με βάση τις παρατηρήσεις και την προηγούμενη εμπειρία τους οικοδομούν μια «προσωπική εικόνα του κόσμου», ένα σύστημα αναπαραστάσεων με τη βοήθεια του οποίου αφομοιώνουν σταδιακά νέες γνώσεις και πραγματώνουν την προσωπική τους μάθηση. Η εκπαιδευτική σημασία των αναπαραστάσεων συνάδει τόσο με την κλασική οικοδομηστική θεώρηση των διαδικασιών μάθησης, όπου πλέον η προσοχή εστιάζεται στη δραστηριότητα του υποκειμένου που μαθαίνει, όσο και στις κοινωνικοπολιτισμικές θεωρήσεις της γνώσης και της μάθησης [Vygotksy, 1986, Bruner, 1966].

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι ανάδειξης και μελέτης των αναπαραστάσεων, οι οποίες περιγράφονται αναλυτικά στο [Baron, Bruillard and Dansac, 1999]. Μια πρώτη προσέγγιση βασίζεται στη γλώσσα και θεωρείται ένας καλός τρόπος πρόσβασης στις γνωστικές αναπαραστάσεις παρότι σε μεγάλο βαθμό εξαρτάται από τις γλωσσικές δεξιότητες του υποκειμένου που μελετάται. Μια δεύτερη προσέγγιση σχετίζεται με τη μελέτη σχεδίων και γενικότερα ζωγραφικής. Η μελέτη τότε εστιάζει στην παρουσία ή απουσία ορισμένων χαρακτηριστικών του αντικειμένου που μελετάται. Ένας τρίτος, ενδιάμεσος των δύο προηγούμενων τρόπος προσέγγισης, είναι η εννοιολογική χαρτογράφηση (concept mapping), η οποία συνδυάζει την ελεύθερη έκφραση των ιδεών (με εικόνες, σχήματα και λέξεις) καθώς και τη σύνδεση ανάμεσα στις χρησιμοποιούμενες έννοιες.

Η έννοια της εννοιολογικής χαρτογράφησης

Η εννοιολογική χαρτογράφηση συνιστά έναν από τους πιο γνωστούς τρόπους αναπαράστασης της γνώσης [Novak & Gowin, 1984, Fisher et al, 2000] της οποίας αποτελεί μία ιδεατή εννοιολογική δομή [McAleese, 1998] αλλά και της ανάδυσης των αναπαραστάσεων αυτών που μαθαίνουν [Jonassen and Marra, 1994, Fisher, 1990] κάνοντας χρήση γράφων σε μορφή δικτύου. Η έννοια αναπτύχθηκε από τον John Novak [Novak, 1977, Novak & Gowin, 1984, Novak, 1990, Novak, 1998] με βάση τις ψυχολογικές απόψεις του [Ausubel, 1978]. Βασικά συστατικά της νοητικής χαρτογράφησης είναι οι κόμβοι που αναπαριστούν έννοιες (αλλά και σε μερικές περιπτώσεις συμβάντα ή γεγονότα) και οι σύνδεσμοι που αναπαριστούν σχέσεις ανάμεσα στις έννοιες [Novak, 1977, Fisher, 1990, Buzan & Buzan, 1993, McAleese, 1998] ή αιτίες που προκαλούν ένα γεγονός. Κόμβοι που συνδέονται με συνδέσμους σχηματίζουν έναν εννοιολογικό χάρτη (concept map) που μπορεί να έχει τη μορφή ενός σημασιολογικού δικτύου (semantic network) [Fisher, 1990].

Η διαδικασία της νοητικής χαρτογράφησης, που στις απαρχές της διεξαγόταν με χαρτί και μολύβι, έχει βελτιωθεί ριζικά με τη χρήση υπολογιστικών εργαλείων. Σε γενικές γραμμές, ένα λογισμικό νοητικής χαρτογράφησης, και στην κατηγορία αυτή συγκαταλέγουμε τα λογισμικά σημασιολογικών δικτύων (semantic networks) και νοητικών χαρτών (mind maps), περιέχει τρία βασικά στοιχεία: έννοιες (concepts), συνδέσμους (links) και στιγμιότυπα (instances) [Fisher, 1992, McAleese, 1998]:

- Μια έννοια που αποτελεί μια μονάδα πληροφορίας και αναπαρίσταται από μια λέξη, μια φράση ή μια εικόνα. Στη γενική περίπτωση, μια έννοια προσδιορίζεται απλά από την ετικέτα της (label).
- Ένας σύνδεσμος ανήκει σε μια ειδική κατηγορία εννοιών και περιγράφει πως μια έννοια συνδέεται με μια άλλη. Στη γενική περίπτωση, ένας σύνδεσμος αντιστοιχεί σε μία σχέση που συνδέει δύο έννοιες.
- Ένα στιγμιότυπο είναι μια πρόταση της μορφής «έννοια – σύνδεσμος – έννοια» και περιγράφει τη σχέση ανάμεσα στις δύο έννοιες.

Με τη χρήση των παραπάνω στοιχείων δημιουργούνται (με χαρτί και μολύβι ή με λογισμικό) εννοιολογικοί χάρτες. Σύμφωνα με τον [McAleese, 1998] ένας εννοιολογικός χάρτης είναι ένας συνεχής μη κυκλικός γράφος (directed acyclic graph) διάστασης n που αποτελείται από ένα σύνολο n ετικετών εννοιών $\{C_1, \dots, C_n\}$ και ένα μη κενό σύνολο από r σχέσεις $\{R_1, \dots, R_r\}$.

Παρεμφερώς με την έννοια της εννοιολογικής χαρτογράφησης χρησιμοποιούνται και οι έννοιες της νοητικής χαρτογράφησης (mind mapping) [Buzan & Buzan, 1993] και του σημασιολογικού δικτύου (semantic network) [Quillian, 1968, Fisher, 1992]. Οι τρεις έννοιες δεν έχουν σημαντικές διαφορές [Fisher, 1990, McAleese, 1998] και τείνουν να χρησιμοποιούνται με ταυτόσημο σχεδόν τρόπο, τουλάχιστον όσον αφορά στην εκπαίδευση.

Η εννοιολογική χαρτογράφηση χρησιμοποιείται με ποικίλους τρόπους, όπως:

- για διδασκαλία διαφόρων γνωστικών αντικειμένων,
- για μάθηση ως μαθησιακό εργαλείο,

- για αξιολόγηση (μέσω σύγκρισης δύο ή περισσότερων εννοιολογικών χαρτών),
- για ανάδυση και καταγραφή των αναπαραστάσεων,
- για ανταλλαγή και επικοινωνία ιδεών,
- για σχεδίαση εφαρμογών υπερμέσων και γενικότερα συστημάτων πλοήγησης.

Εννοιολογικός Σχεδιασμός της ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ

Παιδαγωγικές αρχές

1. Ανοικτό εκπαιδευτικό λογισμικό συνεργατικής εννοιολογικής χαρτογράφησης

Η ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ¹ (Representation Tool) συνιστά ένα ανοικτό εκπαιδευτικό περιβάλλον (open learning environment), χωρίς συγκεκριμένο γνωστικό περιεχόμενο, που παρέχει τη δυνατότητα στους χρήστες του να το χρησιμοποιήσουν ως γνωστικό και αναπαραστασιακό εργαλείο το οποίο υποστηρίζει, οδηγεί και βοηθά την έκφραση των ιδεών και των αναπαραστάσεών τους λειτουργώντας ως γνωστικός ενισχυτής. Έχει σχεδιαστεί και στηρίζεται στις βασικές αρχές της εννοιολογικής χαρτογράφησης [Novak, 1977, Fisher, 1990, Buzan & Buzan, 1993, McAleese, 1998] και της συνεργατικής μάθησης με υπολογιστές [Scardamalia and Bereiter, 1994].

2. Έκφραση και διερεύνηση μέσω πολλαπλών εξωτερικών αναπαραστάσεων και άμεσο χειρισμό

Η ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ επιτρέπει την έκφραση και διερεύνηση των ιδεών και των αντιλήψεων των μαθητών μέσω του χειρισμού ταυτόχρονων πολλαπλών αναπαραστάσεων [Suthers, 1999] αναλογικής (εικονικής) και συμβολικής μορφής. Το λογισμικό, στο πλαίσιο αυτό, παρέχει στους χρήστες τη δυνατότητα να χειρίζονται και να συνδέουν με άμεσο χειρισμό (direct manipulation) τις εξωτερικές αναπαραστάσεις (εικόνες και σύμβολα που αναπαριστούν έννοιες) μέσω έτοιμων βιβλιοθηκών ή με τη δυνατότητα προσθήκης και ενσωμάτωσης νέων εικόνων και συμβόλων, ενισχύοντας κατ'αυτό τον τρόπο τον ανοικτό χαρακτήρα του.

3. Υποστήριξη της συνεργατικής μάθησης και της κατανεμημένης γνώσης

Οι σύγχρονες εκπαιδευτικές θεωρίες δίνουν έμφαση στην ενεργή, αλληλεπιδραστική και κοινωνική φύση της γνώσης. Η οικοδόμηση των εννοιών και η απόδοση νοήματος στις ανθρώπινες πράξεις δεν είναι μια αποκομμένη δραστηριότητα αλλά εμφανίζεται στο πλαίσιο μιας κοινότητας ατόμων που μαθαίνουν (community of learners) [Scardamalia and Bereiter, 1994].

Τα αναπαραστασιακά εργαλεία διαμεσολαβούν συνεργατικές μαθησιακές αλληλεπιδράσεις όταν παρέχουν στους χρήστες τρόπους διασύνδεσης και επικοινωνίας της αναδυόμενης γνώσης μέσω ενός κατάλληλου εργαλείου [Suthers, 1999]. Στο πλαίσιο αυτό, Η ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ επιτρέπει και ευνοεί την επικοινωνία και την ανταλλαγή εννοιολογικών χαρτών ενώ παράλληλα υποστηρίζει και την από κοινού δημιουργία και χειρισμό τους. Στην τρέχουσα έκδοσή του (στην έκδοση 2.0) το λογισμικό στηρίχθηκε στις αρχές της συνεργατικής μάθησης (collaborative learning) [Scardamalia and Bereiter, 1994] και της κατανεμημένης γνώσης (distributed cognition).

¹ Η ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ (έκδοση 2.0) αποτελεί εξέλιξη της ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ (έκδοση 1.0, Απρίλιος 2000) που αναπτύχθηκε στα πλαίσια του έργου Representation¹, Educational Multimedia - Task Force (project contract 1045) της Ευρωπαϊκής Ένωσης, με υπεύθυνο φορέα το Ινστιτούτο Υπολογιστικών Μαθηματικών του ΙΤΕ. Η πρώτη έκδοση (διαθέσιμη στο <http://hermes.iacm.forth.gr>) χρησιμοποιήθηκε ερευνητικά για την ανάδυση και μελέτη των αναπαραστάσεων των μαθητών ηλικίας 10-12 ετών σε έξι ευρωπαϊκές χώρες (Ελλάδα, Γαλλία, Αγγλία, Ολλανδία, Δανία, Ισπανία) σχετικά με τις τεχνολογίες της πληροφορίας και της επικοινωνίας.

Ο εννοιολογικός σχεδιασμός του λογισμικού βασίζεται πάνω στην αρχή των *μαθησιακών αλληλεπιδράσεων* (learning interactions) [Suthers, 1999] που συμπεριλαμβάνουν αλληλεπιδράσεις ανάμεσα σε μαθητές και αναπαραστάσεις (όπως για παράδειγμα ο έλεγχος της δημιουργίας μιας αναπαράστασης), ανάμεσα σε μαθητές και άλλους μαθητές (με τη δυνατότητα ανταλλαγής αλλά και από κοινού δημιουργίας αναπαραστάσεων), ανάμεσα σε μαθητές και εκπαιδευτικούς αλλά και ανάμεσα σε μαθητές και ερευνητές. Κάτω από το πρίσμα, ο βασικός χώρος εργασίας του λογισμικού γίνεται *χώρος (και εξ αποστάσεως) συνεργασίας και ταυτόχρονου χειρισμού των πρωταρχικών αντικειμένων* (έννοιες και σύνδεσμοι) από ομάδες χρηστών τόσο σε επίπεδο τοπικού δικτύου όσο και Διαδικτύου. Η εξ αποστάσεως συνεργασία υποστηρίζεται με κατάλληλα εργαλεία *επικοινωνίας* που συνιστούν αναπόσπαστο τμήμα του περιβάλλοντος.

4. Παροχή πλαισίου στηρίγματος για την ανάπτυξη των αναπαραστάσεων

Από τη φύση της η ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ, ως αναπαραστασιακό εργαλείο, εμπεριέχει ως εγγενές συστατικό, ένα πλαίσιο στηρίγματος (scaffolding) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους χρήστες της ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι που έχουν θέσει. Το πλαίσιο αυτό [Vygotsky, 1986] είναι απαραίτητο για την ανάδυση των νοητικών αναπαραστάσεων, οι οποίες, εκ φύσεως, ως νοητικές κατασκευές των υποκειμένων, δεν είναι ούτε άμεσα αντιληπτές ούτε συνήθως εν γνώσει αυτών που τις διαθέτουν.

Οι στρατηγικές πλαισίου στηρίγματος που υποστηρίζει η ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ αφορούν στη δυνατότητα της οικοδόμησης νέων αναπαραστάσεων με βάση τις ήδη υπάρχουσες, στις πολλαπλές μορφές αναπαράστασης με συγκεκριμένα και αφηρημένα αντικείμενα (αναλογικού και συμβολικού τύπου) καθώς και στην ύπαρξη ενσωματωμένων βιβλιοθηκών με αντικείμενα ή στη δυνατότητα προσθήκης νέων αντικειμένων. Τα προκαθορισμένα (συγκεκριμένης μορφής) αντικείμενα και η δυνατότητα προσθήκης νέων από τους χρήστες συνιστούν ένα επιπλέον πλαίσιο στηρίγματος το οποίο υποστηρίζει και ενισχύει τη σκέψη.

5. Έκφραση και υποστήριξη της σύνθετης και πολυεπίπεδης δομής των νοητικών σχημάτων

Οι αναπαραστάσεις που οικοδομούν τα υποκείμενα συγκροτούνται σε εννοιολογικά σχήματα μέσω των οποίων αντιλαμβάνονται και επιδρούν στον κόσμο που τους περιβάλλει [Vergnaud, 1996]. Τα εννοιολογικά σχήματα είναι σύνθετες γνωστικές κατασκευές, ιδίον του γνωστικού συστήματος κάθε ανθρώπινου όντος. Κάτω από το πρίσμα αυτό, το ενδιαφέρον τόσο των παιδαγωγών όσο και των ψυχολόγων δεν εστιάζεται τόσο στην οικοδόμηση της αναπαράστασης μίας έννοιας αλλά περισσότερο στον τρόπο με τον οποίο οι διάφορες αναπαραστάσεις συνδέονται μεταξύ τους συγκροτώντας πιο σύνθετες εννοιολογικές δομές. Τα πολλαπλά επίπεδα εννοιολογικών χαρτών (η δυνατότητα δηλαδή της σύνδεσης ενός αντικειμένου όχι πλέον με ένα άλλο αντικείμενο αλλά με έναν εννοιολογικό χάρτη) εντάσσεται σε αυτή τη διαδικασία.

Τεχνολογικές αρχές σχεδίασης

Η ανάπτυξη λογισμικού συνεργατικής εννοιολογικής χαρτογράφησης βασισμένο στο Διαδίκτυο συνιστά ένα σύνθετο πρόβλημα και απαιτεί προγραμματισμό σε γλώσσα μεσαίου επιπέδου που προσφέρει αποτελεσματικές ταχύτητες για υψηλής αλληλεπίδρασης εφαρμογές όπως η συγκεκριμένη.

Οι τεχνολογίες υλοποίησης της ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ συνίστανται σε περιβάλλον Windows και η ανάπτυξη πραγματοποιήθηκε με αντικειμενοστραφή προγραμματισμό με συνιστώσες (C++). Οι συνιστώσες που συνθέτουν το περιβάλλον του λογισμικού έχουν αναπτυχθεί σε Microsoft Visual C++ χρησιμοποιώντας το Win32 API, το Winsock API και το WinInet API.

Η αρχιτεκτονική της ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ

Πρωτογενή στοιχεία του λογισμικού και χρησιμοποιούμενες συμβάσεις

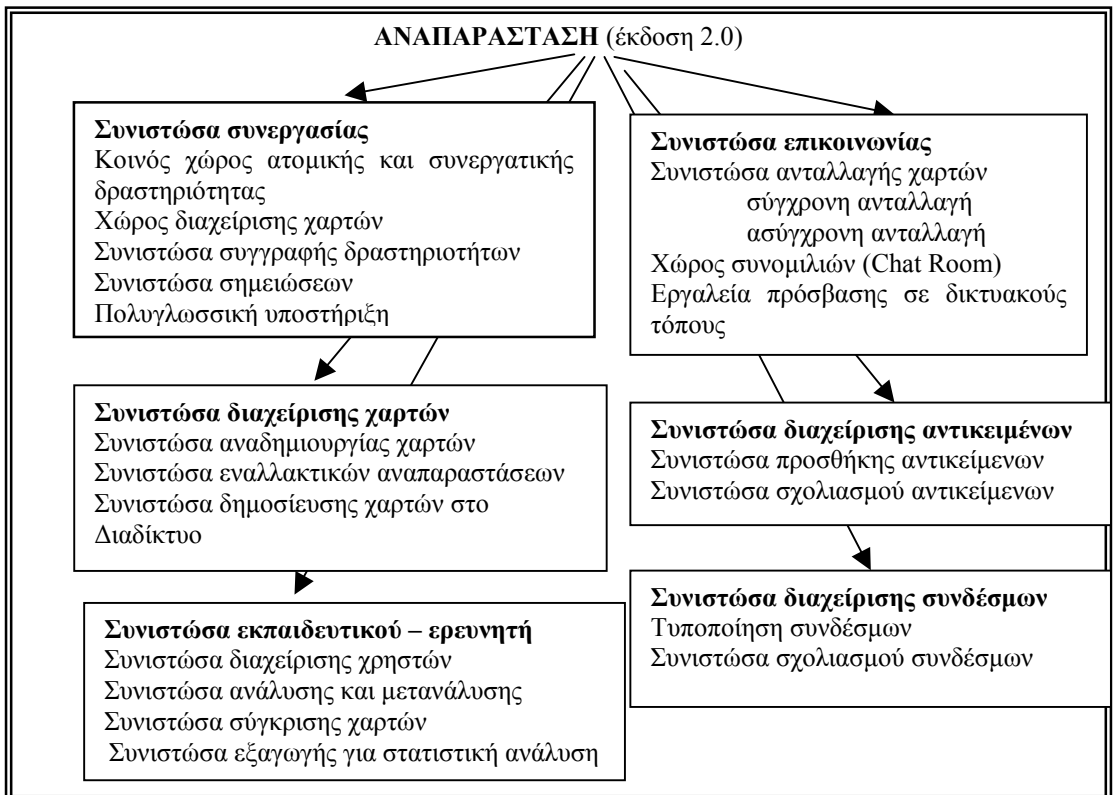
Η ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ, ως ένα αναπαραστασιακό εργαλείο, παρέχει στους χρήστες ένα σύνολο από *πρωτογενή στοιχεία* με τα οποία μπορούν να οικοδομηθούν αναπαραστάσεις με τη μορφή εννοιολογικών χαρτών (concept maps) [Novak, 1977, McAleese, 1998] ή αναπαραστασιακών κατασκευασμάτων (representational artifacts) [Suthers, 1999]. Τα πρωτογενή στοιχεία συνίστανται σε *αντικείμενα* (objects) και *συνδέσμους* (links).

Αντικείμενα (συνιστώσα διαχείρισης αντικειμένων)

Ο χρησιμοποιούμενος από το λογισμικό *αναπαραστασιακός φορμαλισμός* επιτρέπει τόσο τη χρήση αναλογικών αναπαραστάσεων (με τη μορφή έτοιμων εικόνων ή εικόνων που δημιουργούνται από το χρήστη και ενσωματώνονται στο λογισμικό) ή συμβολικών αναπαραστάσεων (με τη μορφή «αφηρημένων» - φορμαλιστικών αντικειμένων τα οποία ο χρήστης μπορεί να ονομάσει, περιγράψει ή σχολιάσει).

Συνδέσμοι (συνιστώσα διαχείρισης συνδέσμων)

Το λογισμικό συμπεριλαμβάνει δύο μεγάλες κατηγορίες συνδέσμων, που προσδιορίζουν τις σχέσεις ανάμεσα στα αντικείμενα: οι σύνδεσμοι που μπορούν να ονομαστούν από το χρήστη (typed) και οι απλοί σύνδεσμοι που δεν επιδέχονται ονομασίας. Οι δεύτεροι υποδεικνύουν σχέσεις ανάμεσα στις έννοιες που έχουν αναγνωριστεί αλλά δεν έχουν οριστεί. Υποδηλώνουν συνεπώς το πρώτο βήμα προς την κατανόηση της κατάστασης [Fisher, 1990].



Σχήμα 1: Η αρχιτεκτονική δομή της ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ

Δευτερογενή στοιχεία του λογισμικού**Εννοιολογικοί χάρτες ενός ή πολλών επιπέδων (συνιστώσα διαχείρισης χαρτών)**

Η συσχέτιση αντικειμένων μέσω συνδέσμων οδηγεί στη δημιουργία εννοιολογικών χαρτών που αποτελούν την κύρια κατηγορία των δευτερογενών αντικειμένων του λογισμικού. Σε αντίθεση όμως με τα κλασικά λογισμικά νοητικής χαρτογράφησης (εξαιρέση αποτελεί το λογισμικό Inspiration™) όπου επιτρέπονται στιγμιότυπα (instances) της μορφής «έννοια – σύνδεσμος – έννοια» που περιγράφουν και την απλή σχέση ανάμεσα στις δύο έννοιες, η ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ επιτρέπει δύο διαφορετικού τύπου στιγμιότυπων:

A) το κλασικού τύπου στιγμιότυπο: «αντικείμενο – σύνδεσμος – αντικείμενο»

B) το «υπερστιγμιότυπο»¹: «αντικείμενο – (σύνδεσμος) – εννοιολογικός χάρτης» (ο σύνδεσμος στην περίπτωση αυτή εννοείται και δεν εισάγεται από το χρήστη).

Στη δεύτερη περίπτωση, που είναι και η πιο ενδιαφέρουσα από γνωστική άποψη, υλοποιείται η δυνατότητα δημιουργίας εννοιολογικών χαρτών πολλών διαστάσεων, χαρακτηριστικό που προσδίδει στο λογισμικό να αναπαριστά με πιο συναφή τρόπο την ανθρώπινη σκέψη, όπου μια έννοια μπορεί να συνδέεται με ένα σύνολο εννοιών δημιουργώντας συνεπώς ένα εννοιολογικό σχήμα [Vergnaud, 1996].

Ιστορικό δημιουργίας εννοιολογικού χάρτη (συνιστώσα ανάλυσης και μετανάλυσης)

Η αποθήκευση ενός εννοιολογικού χάρτη δημιουργεί (ή ενημερώνει) αυτόματα και ένα αρχείο που εμπεριέχει το ιστορικό δημιουργίας του (log file). Κάθε μεταγενέστερη μετατροπή του εννοιολογικού χάρτη αντικατοπτρίζεται και στο ιστορικό, το οποίο είναι διαθέσιμο στον εκπαιδευτικό ή τον ερευνητή και συνιστά ένα ισχυρό εργαλείο ανάλυσης των εννοιολογικών χαρτών. Το ιστορικό της κατασκευής ενός εννοιολογικού χάρτη αναπαρίσταται με λεκτικό τρόπο (πίνακας 1). Το ιστορικό ενός χάρτη συνιστά ένα πρόσθετο γνωστικό αλλά και μεταγνωστικό εργαλείο για το μαθητή και ένα σημαντικό εργαλείο με πλούσιο πληροφοριακό υλικό [Rahkila & Karjalainen, 1999, Stern, 2000] για τον εκπαιδευτικό και τον ερευνητή αφού εμπεριέχει μια συνολική εικόνα της πορείας εξέλιξης της σκέψης του μαθητή κατά την οικοδόμηση του εννοιολογικού χάρτη.

APPLICATION ACTIVATED DATE: 5 - 8 - 2000 USER ACTIONS		
1)	16 : 39 : 41	00 : 00 : 00 Added object: Hard disk
2)	16 : 39 : 43	00 : 00 : 02 Added object: Monitor
3)	16 : 39 : 45	00 : 00 : 04 Added object: Printer
4)	16 : 39 : 47	00 : 00 : 06 Added relation: Link 2 :Connected: Monitor - Connected: Printer
...		
14)	16 : 40 : 05	00 : 00 : 24 Moved Object Hard disk
15)	16 : 40 : 07	00 : 00 : 26 Added object: Monitor
...		
18)	16 : 53 : 04	00 : 13 : 23 Chat Activated
19)	16 : 53 : 09	00 : 13 : 28 Deleted File From User: teacher1Subject: Title:
20)	16 : 53 : 10	00 : 13 : 29 Closed Collaboration Space
...		
24)	17 : 19 : 10	00 : 39 : 29 Deleted object: Monitor
25)	17 : 19 : 10	00 : 39 : 29 Deleted relation: Link 2
...		
89)	17 : 22 : 02	00 : 42 : 21 Insert Map Tower (Level 1)
90)	17 : 22 : 03	00 : 42 : 22 Added object: Hard disk
91)	17 : 22 : 05	00 : 42 : 24 Moved Object Hard disk
92)	17 : 22 : 09	00 : 42 : 28 Rename object: Hard disk
...		
101)	17 : 23 : 25	00 : 43 : 44 Saved Model Subject : Computers Title : PC composition

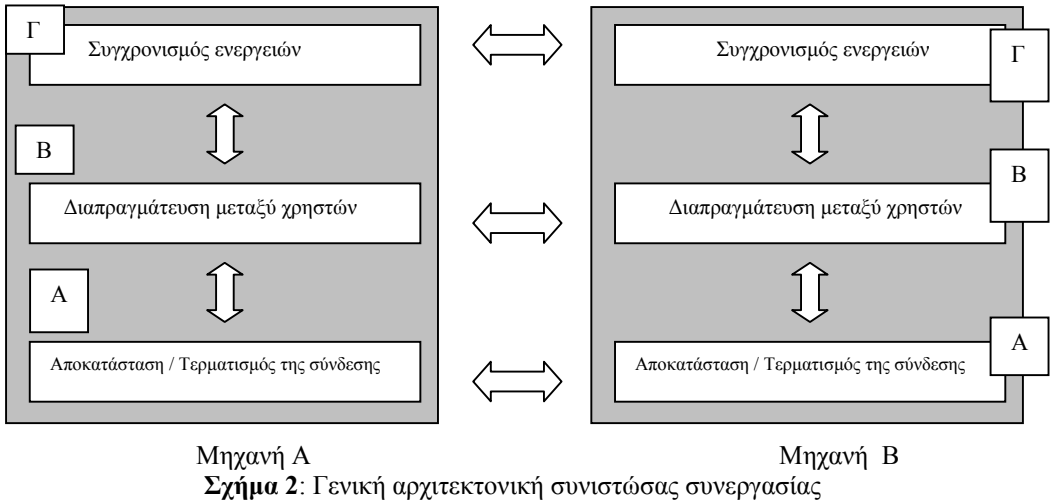
Πίνακας 1: Τμήμα ιστορικού όπως παρουσιάζεται στη διεπιφάνεια χρήσης

¹ Το πρόθεμα «υπέρ» χρησιμοποιείται εδώ με τη μαθηματική του έννοια που υποδηλώνει πολλές διαστάσεις.

Συνιστώσα συνεργασίας για την ανάπτυξη εννοιολογικών χαρτών

Ο χώρος συνεργασίας για την ανάπτυξη εννοιολογικών χαρτών συνιστά το βασικό χώρο εργασίας της ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ (έκδοση 2.0). Ο χώρος συνεργασίας περιέχει όλα τα εργαλεία για την ανταλλαγή, επικοινωνία και από κοινού οικοδόμηση ενός εννοιολογικού χάρτη (σε τοπικό δίκτυο ή στο Διαδίκτυο), χαρακτηριστικό που δεν υποστηρίζει προς το παρόν κανένα άλλο σύστημα εννοιολογικής χαρτογράφησης.

Η αρχιτεκτονική της συνιστώσας, η οποία επιτρέπει την από κοινού δημιουργία εννοιολογικών χαρτών, έχει σχεδιαστεί με έναν υψηλό βαθμό δόμησης. Για να ελαττωθεί η πολυπλοκότητα της σχεδίασης έχει οργανωθεί σε σειρές από **στρώματα ή επίπεδα**. Σκοπός κάθε επιπέδου είναι να προσφέρει συγκεκριμένες υπηρεσίες στα υψηλότερα επίπεδα, απομονώνοντας αυτά τα επίπεδα από τις λεπτομέρειες σχετικά με το πως πραγματικά υλοποιούνται οι παρεχόμενες υπηρεσίες. Η αρχιτεκτονική που υιοθετήθηκε (σχήμα 2) είναι τριών επιπέδων.



Επίπεδο Α: Αποκατάσταση / τερματισμός της σύνδεσης

Σκοπός αυτού του επιπέδου είναι η αποκατάσταση, συντήρηση και τερματισμός της σύνδεσης και επιτυγχάνεται με τη χρήση Sockets σύμφωνα με το πρωτόκολλο TCP / IP. Για την αποκατάσταση της σύνδεσης ο χρήστης πληκτρολογεί τη διεύθυνση του υπολογιστή (IP ή Domain Name) με τον οποίο θέλει να συνδεθεί και το όνομα του χρήστη με τον οποίο επιθυμεί τη συνεργασία.

Επίπεδο Β: Διαπραγμάτευση μεταξύ χρηστών

Σκοπός αυτού του επιπέδου είναι η υποστήριξη του διαλόγου μεταξύ των χρηστών για την αποδοχή ή τη μη αποδοχή της αίτησης για την από κοινού δημιουργία εννοιολογικών χαρτών. Επίσης, αυτό το επίπεδο υποστηρίζει τη διαπραγμάτευση για το ποιος από τους χρήστες είναι ο ενεργός και ποιος ο παθητικός. Ενεργός χρήστης είναι αυτός του οποίου οι ενέργειες κωδικοποιούνται και αποστέλλονται στον παθητικό χρήστη. Εκεί αποκωδικοποιούνται και επιτυγχάνεται η οπτικοποίηση αυτών των μηνυμάτων με αποτέλεσμα ο παθητικός χρήστης να βλέπει ένα ακριβές αντίγραφο της οθόνης του ενεργού χρήστη.

Επίπεδο Γ: Συγχρονισμός ενεργειών

Σκοπός αυτού του επιπέδου είναι να επιτύχει σε πραγματικό χρόνο την απεικόνιση των ενεργειών του ενεργού χρήστη στην οθόνη του παθητικού χρήστη. Για την επίτευξη αυτού του στόχου υιοθετήθηκε η τεχνολογία μίας ειδικής κατηγορίας δρώντων γνωστή ως Reactive Agents. Σύμφωνα με τον [Nwana, 1996] αυτά δεν κατέχουν ένα εσωτερικό λογικό μοντέλο του περιβάλλοντος στο οποίο δρουν. Αντιθέτως προσπαθούν να επιτύχουν συγχρονισμό με άλλους δρώντες με βάση το μοντέλο ερεθίσματος – απόκρισης (stimulus - response) .

Στην προκειμένη περίπτωση ο δρών δέχεται το ερέθισμα από το περιβάλλον του και το αναγνωρίζει με βάση τους αισθητήρες που κατέχει. Η συμπεριφορά του δρώντος σε αυτό το ερέθισμα εξαρτάται από το αν αυτός βρίσκεται στην πλευρά του παθητικού ή του ενεργού χρήστη. Αν βρίσκεται στον ενεργό χρήστη τότε κωδικοποιεί το ερέθισμα που δέχτηκε και το αποστέλλει στον ομότιμο δρώντα που βρίσκεται στον παθητικό χρήστη. Εκείνος δέχεται το ερέθισμα, το αποκωδικοποιεί και συμπεριφέρεται αναλόγως. Ο συγχρονισμός των κινήσεων των ομότιμων δρώντων επιτυγχάνεται με την αποστολή μηνυμάτων κατάλληλης μορφής. Το μέγεθος αυτών των μηνυμάτων είναι μεταβλητό και εξαρτάται από το είδος της ενέργειας του ενεργού χρήστη.

Συνιστώσα επικοινωνίας

Για την υποστήριξη συνεργατικών δραστηριοτήτων μεταξύ των χρηστών υλοποιήθηκε μία συνιστώσα επικοινωνίας η οποία αποτελείται από τις συνιστώσες σύγχρονης και ασύγχρονης επικοινωνίας.

Σύγχρονη Επικοινωνία

Στα πλαίσια της σύγχρονης επικοινωνίας το σύστημα παρέχει στους χρήστες ένα χώρο για συνομιλία (Chat Room) όπως επίσης και μία συνιστώσα επικοινωνίας η οποία επιτρέπει την ανταλλαγή εννοιολογικών χαρτών.

Συνιστώσα Συνομιλίας

Το υποσύστημα αυτό παρέχει στους χρήστες ένα χώρο ανταλλαγής απόψεων με μεταφορά κειμένου. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στην από κοινού δημιουργία χαρτών γιατί παρέχει ένα μέσο επικοινωνίας κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας. Έχει υλοποιηθεί σύμφωνα με την αρχιτεκτονική Client / Server.

Συνιστώσα Αποστολής Χαρτών

Στόχος του υποσυστήματος αυτού είναι να επιτρέπει στους χρήστες με εύκολο τρόπο την ανταλλαγή εννοιολογικών χαρτών σε πραγματικό ή σε διαφοροποιημένο χρόνο. Επειδή τη στιγμή της αποστολής ενός χάρτη ο παραλήπτης ενδεχομένως να μην έχει ενεργό το λογισμικό του, διακρίνουμε δύο περιπτώσεις αποστολής χαρτών: α) Στην πρώτη περίπτωση ο παραλήπτης έχει ενεργό το λογισμικό και η αποστολή επιτυγχάνεται με σύγχρονο τρόπο. β) Αντιθέτως, εάν ο παραλήπτης έχει το λογισμικό μη ενεργό η αποστολή επιτυγχάνεται με ασύγχρονο τρόπο. Στην περίπτωση της σύγχρονης αποστολής ο εννοιολογικός χάρτης αποστέλλεται μέσω του πρωτοκόλλου TCP / IP με χρήση ειδικής συνιστώσας επικοινωνίας που επιτρέπει στην αποστολή και παραλαβή εννοιολογικών χαρτών μέσω του ίδιου του λογισμικού.

Ασύγχρονη Επικοινωνία

Η ασύγχρονη επικοινωνία έγκειται στην παραλαβή και αποστολή εννοιολογικών χαρτών με χρήση μίας συνιστώσας που επιτρέπει την αποστολή και παραλαβή αρχείων εννοιολογικών χαρτών μέσω ενός Ftp - Server. Κάθε φορά που κάποιος χρήστης ενεργοποιεί το λογισμικό αυτό συνδέεται αυτόματα με το διακομιστή αρχείων και ελέγχει αν υπάρχουν για το χρήστη αρχεία. Αν υπάρχουν, τα μεταφέρει στον υπολογιστή του χρήστη, τα διαγράφει από το διακομιστή αρχείων και ενημερώνει το χρήστη με κατάλληλο μήνυμα.

Εργαλεία για τους χρήστες

Εργαλείο «αναδημιουργίας» (recreation) του εννοιολογικού χάρτη: χειριστήριο που επιτρέπει την εξ ολοκλήρου ή βήμα – βήμα αναδημιουργία του εννοιολογικού χάρτη (με σταδιακή και σε χρονική ακολουθία επανατοποθέτηση στο χώρο εργασίας των αντικειμένων και των συνδέσμων) ώστε να μελετηθεί ο τρόπος επιλογής και σύνδεσης των επιμέρους αντικειμένων. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να σταματήσει σε κάποιο σημείο την αναδημιουργία του εννοιολογικού χάρτη και να τον συνεχίσει με διαφορετικό τρόπο.

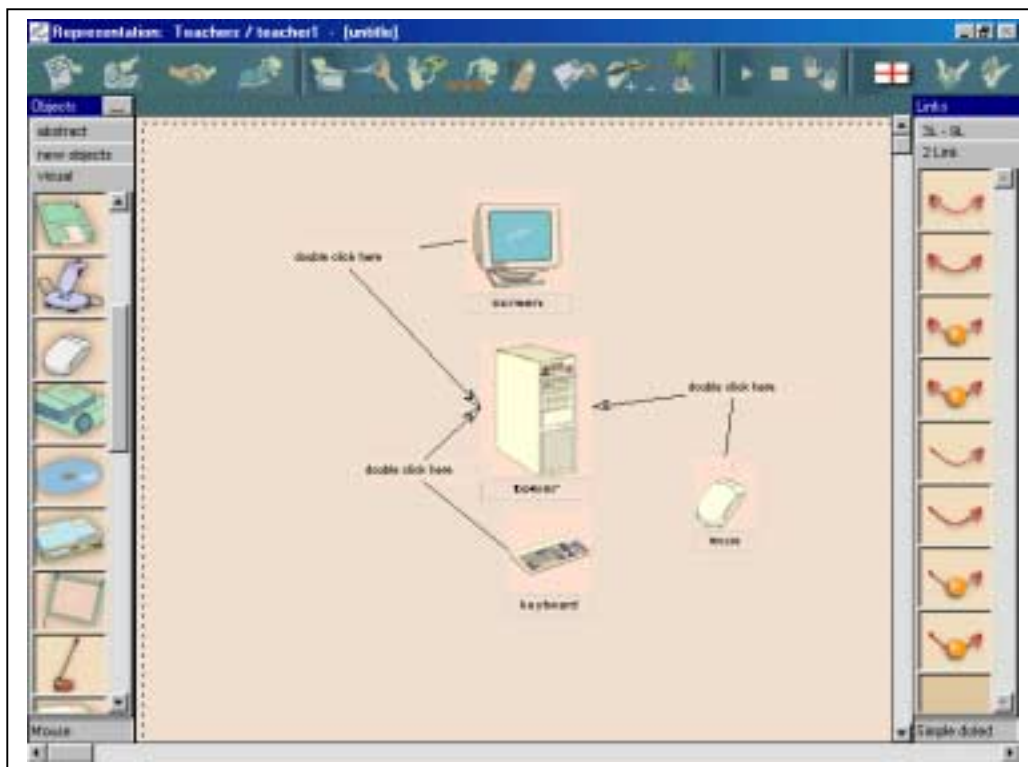
Προσθήκη νέων αντικειμένων (objects): η βιβλιοθήκη συγκεκριμένων αντικειμένων της ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ μπορεί να εμπλουτισθεί δυναμικά με νέα αντικείμενα (εικόνες μορφής

.bmp) επεκτείνοντας και εξατομικεύοντας έτσι τις δυνατότητες αναπαράστασης μέσω του λογισμικού.

Σχολιασμός αντικειμένων και συνδέσμων: κάθε αντικείμενο και κάθε σύνδεσμος μπορούν να σχολιαστούν από τους χρήστες.

Ειδικά εργαλεία για τον εκπαιδευτικό και τον ερευνητή

Ο χώρος εκπαιδευτικού και ερευνητή περιέχει μια σειρά από πρόσθετα εργαλεία διαχείρισης και μεταανάλυσης, όπως: Α. *Εργαλείο διαχείρισης χώρου συνεργασίας:* το εργαλείο αυτό επιτρέπει τη διαχείριση του χώρου συνεργασίας παρέχοντας τη δυνατότητα προσθήκης νέων τάξεων, νέων χρηστών, νέων κατηγοριών θεμάτων. Β. *Ιστορικό δημιουργίας εννοιολογικού χάρτη:* όπως έχει περιγραφεί σε προηγούμενη παράγραφο της εργασίας. *Εργαλείο εξαγωγής χαρτών:* ο εκπαιδευτικός ή ο ερευνητής μπορεί να εξάγει έναν ή περισσότερους εννοιολογικούς χάρτες (π.χ. τους χάρτες ενός μαθητή, μιας τάξης, κλπ.) σε κωδικοποιημένη μορφή, ώστε τα στοιχεία που περιέχουν (αριθμός αντικειμένων, αριθμός συνδέσμων, επίπεδα, κλπ.) να είναι άμεσα διαθέσιμα για στατιστική επεξεργασία.



Σχήμα 3: η διεπιφάνεια χρήσης της ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ

Συζήτηση - συμπεράσματα

Η χρήση αναπαραστασιακών εργαλείων όπως τα υπολογιστικά εργαλεία νοητικής χαρτογράφησης για την ανάδυση και καταγραφή των νοητικών αναπαραστάσεων φαίνεται να είναι αρκετά αποτελεσματική κυρίως όσον αφορά στην ανάδυση των δηλωτικών αναπαραστάσεων (declarative representations). Τα αποτελέσματα πρόσφατων ερευνών [Deliverable 12, Representation Project, 2000, Κόλλιας, Μαργετουσάκη, Κόμης, Γουμένακης, 2000], με τη χρήση των λογισμικών ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ (έκδοση 1.0) και Inspiration™, επιβεβαιώνουν αυτή την προβληματική. Αντίθετα, ένα από τα πιο σημαντικά μειονεκτήματα που παρουσιάζουν τα αναπαραστασιακά εργαλεία συνίσταται στο ότι δεν είναι σε θέση να

υποστηρίζουν αποτελεσματικά, σε αντίθεση με όσα υποστηρίζουν οι [Jonassen and Marra, 1994], τις διαδικαστικές αναπαραστάσεις (procedural representations) [Fisher, 1992]. Ένα από τα ενδιαφέροντα ζητήματα που πρέπει να ερευνηθούν αφορά στην υποστήριξη συνεργατικών δραστηριοτήτων εννοιολογικής χαρτογράφησης και κατά πόσο επηρεάζει την αλληλεπίδραση ανάμεσα στους χρήστες [Chiu et al., 2000]. Επιπρόσθετα, η αξιολόγηση του λογισμικού σε περιβάλλον συνεργατικών δραστηριοτήτων σε επίπεδο τοπικού δικτύου και Διαδικτύου θα δείξει και την παιδαγωγική αποτελεσματικότητα τέτοιων εργαλείων.

Ευχαριστίες

Ευχαριστούμε όλους τους συνεργάτες της ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ για τη γόνιμη κριτική τους και την υποστήριξη τους σε όλη τη διάρκεια ανάπτυξης του λογισμικού. Ιδιαίτερα τους Κ. Μπαλαμπάνη που έγραψε τον κώδικα της έκδοσης 1, τον Π. Αποστολόπουλο και τον John O'Flaherty.

Βιβλιογραφία

- Anderson-Inman, L., & Zeitz, L. (1993). - Computer-based concept mapping: Active studying for active learners. - *The Computing Teacher*, 21(-1), pp. 1-5.
- Anderson-Inman L., Ditson L.A., Ditson M.T. (1998). - Computer-Based Concept Mapping: Promoting meaningful learning in science for students with disabilities. - *Information Technologies and Disabilities Journal*, Special K-12 issue, June 1998. ITDV05N1-2, article 2
<http://www.bubl.ac.uk/journals/lis/com/itad/v05n0198/article2.htm>
- Ausubel D.P., *Educational psychology: A cognitive view*, Holt, Rinehart & Wilson, 1968.
- Bruner, J., *Toward a theory of instruction*, Harvard University Press, 1966.
- Buzan T. and Buzan B., *The mind map book: How to use radiant thinking to maximize your brain's untapped potential*, Plume Book, 1993.
- Chiu C.-H., Huang C.-C., Chang W.-T., *The evaluation and influence of interaction in network supported collaborative concept mapping*, *Computers & Education*, Vol. 34, 2000, pp. 17-25.
- Dimitracopoulou A., Komis V., Apostolopoulos P., Politis P., "Design principles of a new modelling environment for young students, supporting various types of reasoning and interdisciplinary approaches" AI-ED 99, 9th International Conference on Artificial Intelligence in Education, Le Mans, France, pp. 109-120.
- Fisher K., *Semantic Networking: the new kid on the block*, *Journal of Research of Science Teaching*, Vol. 27, No 10, pp. 1001-1018, 1990.
- Fisher K., *SemNet: A Tool for Personal Knowledge Construction* in Kommers P. et al. (edited by) *Cognitive Tools for Learning*, Springer-Verlag, 1992.
- Fisher K., Wandersee J., Wideman G., *Enhancing cognitive skills for meaningful understanding of domain specific knowledge*, American Association for the Advancement of Science, 2000 (<http://public.sdsu.edu/CRMSE/Fisher-one.com>).
- Jonassen D. & Marra R.M., *Concept mapping and other formalisms as mindtools for representing knowledge*, *ALT-J*, Vol. 2, 1994, pp.50-56.
- Jonassen D. & Reeves T., "Learning with Technology: Using computers as cognitive tools", *Hand Book of Research for Educational Communications and Technology*, Macmillan Library, 1995.
- Κόλλιας Α., Μαργετουσάκη Α., Κόμης Β., Γουμενάκης Γ., «Αναπαραστάσεις μαθητών του δημοτικού για τις νέες τεχνολογίες όπως αναδύονται από τη χρήση εννοιολογικών χαρτών και κειμένων», 2^ο Πανελλήνιο Συνέδριο με διεθνή συμμετοχή «Οι Τεχνολογίες της Πληροφορίας και της Επικοινωνίας στην Εκπαίδευση», Πανεπιστήμιο Πατρών, Οκτώβριος 2000.
- Komis V., O'Flaherty J., *Representation Tool Specifications*, Deliverable A06, Representation Consortium, Project Ref. MM 1045, June 2000.
- Kommers P.A.M., Jonassen D., Mayes T., (edited by), *Cognitive Tools for Learning*, Springer – Verlag, 1992.
- McAleese R., *The Knowledge Arena as an Extension to the Concept Map: Reflection in Action*, *Interactive Learning Environments*, Vol. 6, No x, pp. 1-22, 1998.
- Nardi B., (edited by), *Context and Consciousness, Activity Theory and Human-Computer Interaction*, The MIT Press, 1996.
- Novak J. & Gowin D.B., *Learning how to learn*, Cambridge University Press, 1984.
- Novak J., *A theory of education*, Cornell University Press, 1977.

- Novak, *Concept maps and Vee diagrams: two metacognitive tools to facilitate meaningful learning*, Instructional Science, Vol. 19, pp. 29-52, 1990.
- Novak, Learning, Creating and using knowledge: Concept maps as facilitative tools in schools and corporations, Lawrence Erlbaum, 1998.
- Quillian M.R., Semantic Memory, in Minsky M. (ed.), Semantic Information Processing, MIT Press, 1968, pp. 459-475.
- Representation Project, Deliverable A12, Representation Consortium, Project Ref. MM 1045, July 2000
- Vygotsky, L. S., Thought and language, M.I.T. Press, 1986.
- Rahkila M. & Karjalainen M., *Evaluation of learning in computer based education using log files*, 29th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, November 1999.
- Scardamalia M. and Bereiter C., *Computer Support for Knowledge-Building Communities*, The Journal of Learning Sciences, 3(3), pp. 265-283, 1994.
- Stern J., *The Design of Learning Software: Principles Learned from the Computer as Learning Partner Project*, Journal of Science Education Technology, Vol. 9, No1, 2000, pp. 49-65.
- Suthers D., *Representational Support for Collaborative Inquiry*, Proceedings of the Hawai'i International Conference on System Sciences, IEEE, 1999.
- Vosniadou S., De Corte E., Mandl H., (edited by) Technology-Based Learning Environments, Springer-Verlag, 137, 1994.
- Vergnaud. G, *Vers une théorie intégrée de la représentation* in Baron G.-L. & Bruillard E. (ss la dir.). Informatique et éducation: regards cognitifs, pédagogiques et sociaux: Textes issus du séminaire Informatique et formation des enseignants, INRP, 1996.
- Engestrom Y., Miettinen R., Punamaki R.-L., (edited by), Perspectives on Activity Theory, Cambridge University Press, 1999.
- Hyacinth S.Nwana., Knowledge Engineering Review, Vol.11, No3, pp.205-244, October / November 1996