

Συμμετοχή Καθηγητών και Μαθητών στην Ανάπτυξη Εκπαιδευτικού Λογισμικού

Βικτώρια Τσιρίγκα^(*), Μαρία Βίρβου
vtsir@unipi.gr, mvirvou@unipi.gr
Πανεπιστήμιο Πειραιώς,

Θεματική Ενότητα: Οι Τεχνολογίες της Πληροφορικής και/ή των Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση
Επίπεδο Εκπαίδευσης: Γυμνάσιο
Κατηγορία Εργασίας: Εμπειρική-Πειραματική Έρευνα

Περίληψη: Σε αυτή την εργασία περιγράφεται ένα Ευφυές Διδακτικό Σύστημα για την εκμάθηση των αλγεβρικών δυνάμεων. Το σύστημα ονομάζεται EasyMath και έχει ως στόχο να βοηθά τους καθηγητές και τους μαθητές στα σχολεία. Για να επιτευχθεί ο παραπάνω στόχος, καθηγητές μαθηματικών καθώς και μαθητές σχολείων έχουν συμμετάσχει σε διάφορες φάσεις του σχεδιασμού και της αξιολόγησης του EasyMath. Το EasyMath χρησιμοποιεί τεχνικές από τον τομέα των Ευφυών Διδακτικών Συστημάτων. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιεί μία ανακατασκευαστική προσέγγιση για την διάγνωση λαθών του μαθητή, η οποία αναπαράγει λανθασμένες απαντήσεις με βάση μία βιβλιοθήκη προτύπων συνηθισμένων λαθών. Η αξιολόγηση του συστήματος από δασκάλους και μαθητές έδειξε ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην τάξη ως βοηθητικό εργαλείο καθιστώντας τη διδασκαλία πιο ευχάριστη αλλά εξίσου αποτελεσματική.

^(*)πρόσωπο επικοινωνίας

Λέξεις Κλειδιά: Ευφυή Διδακτικά Συστήματα, Κύκλος Ζωής Εκπαιδευτικού Λογισμικού, Αξιολόγηση Εκπαιδευτικού Λογισμικού

Teachers' and Students' Involvement in the Development of Educational Software

Victoria Tsiriga^(*), University of Piraeus, vtsir@unipi.gr
Maria Virvou, University of Piraeus, mvirvou@unipi.gr

Conference Theme: Informatics and/or Communication Technologies in Education
Educational Level: Lower Secondary
Paper Classification: Empirical Investigation

Abstract: This paper describes an Intelligent Tutoring System for the domain of algebraic powers. The system is called EasyMath and aims at being useful in school classrooms. Therefore, school teachers of mathematics and their students have been involved in many phases of the design and evaluation of EasyMath. EasyMath incorporates techniques from Intelligent Tutoring Systems. In particular, it takes a reconstructive approach to error diagnosis, which uses a library of templates of common mistakes. EasyMath has been evaluated by school teachers and students. The results of the evaluation showed that the system could be used in a real classroom, rendering teaching and learning more amusing though equally effective.

^(*)contact person

Keywords: Intelligent Tutoring Systems, Educational Software Life-cycle, Evaluation of Educational Software

A.- Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια γίνεται ολοένα και πιο εμφανής η ανάγκη ενσωμάτωσης της τεχνολογίας της πληροφορικής και των επικοινωνιών στην εκπαίδευση. Κατά συνέπεια, έχουν αναπτυχθεί πολλά συστήματα που στοχεύουν στην παροχή βοήθειας στους δασκάλους και τους μαθητές κατά τη διδασκαλία διαφόρων μαθημάτων, για παράδειγμα της γεωμετρίας (Alexandris et al. 1998), της αγγλικής γλώσσας (Virvou and Tsiriga 2001), κλπ. Τα πρώτα τέτοια συστήματα, τα οποία άρχισαν να αναπτύσσονται από τη δεκαετία του 1950, είναι τα Συστήματα Διδασκαλίας Βοηθούμενα από Υπολογιστή (Computer Assisted Instruction). Συνήθως, τα Συστήματα Διδασκαλίας Βοηθούμενα από Υπολογιστή έχουν μία στατική δομή τέτοια ώστε να ενσωματώνουν τη γνώση γύρω από κάποιο συγκεκριμένο πεδίο και να την παρουσιάζουν στο μαθητή με κάποιο δομημένο τρόπο, ο οποίος αναπαριστά την παιδαγωγική στρατηγική κάποιου δασκάλου. Παρόλα αυτά τα Συστήματα Διδασκαλίας Βοηθούμενα από Υπολογιστή δεν πραγματοποιούν κάποια πιο περίπλοκη εργασία από την απλή προβολή προκαθορισμένου κειμένου και την παροχή απλουστευμένων ασκήσεων. Για να αντιμετωπίσουν τα προβλήματα των Συστημάτων Διδασκαλίας Βοηθούμενα από Υπολογιστή, οι ερευνητές στον τομέα του εκπαιδευτικού λογισμικού στράφηκαν προς τον τομέα της Τεχνητής Νοημοσύνης. Ως συνέπεια της προσπάθειας αυτής, δημιουργήθηκαν τα Ευφυή Διδακτικά Συστήματα. Τα συστήματα αυτά διαθέτουν μία πλούσια αναπαράσταση του πεδίου που καλούνται να διδάξουν, η οποία τους επιτρέπει να χρησιμοποιούν τη γνώση που κατέχουν με μη προκαθορισμένους τρόπους (Rickel 1989). Επιπρόσθετα, με την ικανότητά τους να διατηρούν στοιχεία σχετικά

με κάθε μαθητή, τα Ευφυή Διδακτικά Συστήματα μπορούν να εξατομικεύουν τη διδασκαλία στο επίπεδο γνώσης και στις αδυναμίες του μαθητή.

Παρόλα τα πλεονεκτήματά τους, τα Ευφυή Διδακτικά Συστήματα έχουν επικριθεί σε πολλές περιπτώσεις ότι δεν έχουν σχεδιαστεί ώστε να ανταπεξέρχονται στις ανάγκες που παρουσιάζονται σε μία πραγματική αίθουσα διδασκαλίας. Για παράδειγμα, ο Boyle (1997) επισημαίνει ότι σε κάποια συνεδρία του CAL '93, ο πρόεδρος έθεσε την ερώτηση στους συνέδρους σχετικά με το αν είχε δει κανένας κάποιο Ευφυές Διδακτικό Σύστημα να χρησιμοποιείται επιτυχώς σε μία πραγματική αίθουσα διδασκαλίας. Μόνο ένας από τους συνέδρους απάντησε θετικά, συμπληρώνοντας όμως ότι οι μαθητές θεώρησαν το μάθημα βαρετό.

Μία λύση στο παραπάνω πρόβλημα, θα μπορούσε να είναι η συμμετοχή καθηγητών και μαθητών κατά την ανάπτυξη ενός διδακτικού συστήματος, καθώς και η αξιολόγηση του παραγόμενου Ευφυούς Διδακτικού Συστήματος σε διάφορες φάσεις της ανάπτυξής του (Virvou and Tsiriga 2000a). Συγκεκριμένα, όπως τονίζεται από τους Mark και Greer (1993), η ακρίβεια κάποιων συστατικών στοιχείων ενός Ευφυούς Διδακτικού Συστήματος, όπως η γνώση του αντικείμενου που διδάσκει, πρέπει να αξιολογηθούν ως προς την ορθότητα και την πληρότητά τους πριν την ανάπτυξη της εφαρμογής. Η ιδέα της συμμετοχής τελικών χρηστών (π.χ. μαθητών) και ειδικών (π.χ. εκπαιδευτικών) δεν είναι καινούργια στον τομέα της τεχνολογίας γνώσης και λογισμικού. Για παράδειγμα, κατά τη φάση της ανάλυσης απαιτήσεων του κύκλου ζωής του λογισμικού, είναι αναγκαία η συμμετοχή των τελικών χρηστών του προϊόντος. Ομοίως, στη φάση της ανάκτησης γνώσης, σύμφωνα με την τεχνολογία γνώσης, απαιτείται η συμμετοχή ειδικών. Παρόλα αυτά, η ανάκτηση γνώσης είναι σε πολλές περιπτώσεις δυσχερής, ειδικά όταν πρόκειται για την κατασκευή έμπειρων συστημάτων για την επίλυση πραγματικών προβλημάτων (Hayes-Roth et al. 1983). Επιπρόσθετα, η απαίτηση για τη συμμετοχή τελικών χρηστών, συχνά παραμελείται σε επόμενα στάδια της ανάπτυξης, έχοντας ως αποτέλεσμα τη δημιουργία πακέτων λογισμικού που δεν είναι ιδιαίτερα χρήσιμα.

Στην εργασία αυτή περιγράφεται ένα Ευφυές Διδακτικό Σύστημα για την εκμάθηση των αλγεβρικών δυνάμεων, το οποίο ονομάζεται EasyMath. Η ευφυΐα του συστήματος έγκειται στην ικανότητά του να κατασκευάζει δυναμικά ασκήσεις προσαρμοσμένες στις προσωπικές ανάγκες του μαθητή και να παρέχει εξατομικευμένη βοήθεια στην περίπτωση που ο μαθητής απαντήσει λανθασμένα σε κάποια άσκηση. Για να διασφαλιστεί η χρησιμότητα του εκπαιδευτικού συστήματος σε συνθήκες πραγματικής διδασκαλίας καθηγητές και μαθητές έχουν συμμετάσχει σε διάφορα στάδια της ανάπτυξης του συστήματος. Συγκεκριμένα, ο σχεδιασμός του EasyMath έχει βασιστεί στα αποτελέσματα μίας εμπειρικής μελέτης που πραγματοποιήθηκε και στην οποία συμμετείχαν καθηγητές μαθηματικών και μαθητές της 2^{ης} τάξης του Γυμνασίου (Virvou and Tsiriga 1999). Επιπλέον, το σύστημα που αναπτύχθηκε αξιολογήθηκε από μαθητές και καθηγητές σε συνθήκες κανονικής διδασκαλίας σε σχολική τάξη.

Το EasyMath ακολουθεί την κλασική αρχιτεκτονική των Ευφώνων Διδακτικών Συστημάτων (Wenger 1987) και συνίσταται σε τέσσερα βασικά συστατικά στοιχεία: το γνωστικό πεδίο (domain knowledge), το υποσύστημα μοντελοποίησης του μαθητή (student modeller), το γεννήτορα συμβουλών (advice generator) και το σύστημα διεπαφής (user interface). Το γνωστικό πεδίο σε ένα Ευφυές Διδακτικό Σύστημα εμπερικλείει όλη τη γνώση σχετικά με κάποιο συγκεκριμένο πεδίο. Στο EasyMath, το γνωστικό πεδίο αναπαρίσταται ως ένα εννοιολογικό δίκτυο, το οποίο απεικονίζει τις σχέσεις μεταξύ του συνόλου των εννοιών των αλγεβρικών δυνάμεων. Επιπλέον, το γνωστικό πεδίο περιέχει την αναγκαία γνώση ώστε να μπορεί το EasyMath να λύνει ασκήσεις σχετικές με τις αλγεβρικές δυνάμεις. Τέλος, στο γνωστικό πεδίο εμπεριέχονται και οι συσχετισμοί των διαφόρων διαγνωστικών ασκήσεων που παρουσιάζονται στους μαθητές με την θεματική ενότητα στην οποία αναφέρονται.

Ενώ το γνωστικό πεδίο αναπαριστά όλη την αναγκαία γνώση που χρησιμοποιεί κάποιος εμπειρογνώμονας κατά την επίλυση των προβλημάτων ενός συγκεκριμένου τομέα, το μοντέλο του μαθητή συμπεριλαμβάνει πληροφορίες σχετικές με την ικανότητα του μαθητή να κατανοεί τις έννοιες και τις διαδικασίες που του διδάσκονται. Συνεπώς, το υποσύστημα μοντελοποίησης του μαθητή είναι υπεύθυνο για τη δυναμική αναπαράσταση της εξελισσόμενης γνώσης του μαθητή (Nwana 1991). Στην περίπτωση του EasyMath, για τη μοντελοποίηση του μαθητή χρησιμοποιούμε ένα σύνολο από λανθασμένους κανόνες για να αναγνωρίζουμε τα λάθη των μαθητών, όμοια με άλλα συστήματα (Sleeman 1987, Hoppe 1994, Sison et al. 1998, Sison et al. 2000). Οι λανθασμένοι κανόνες που έχουν ενσωματωθεί στο EasyMath αντιστοιχούν στα πιο συνηθισμένα λάθη των μαθητών όπως προέκυψαν από την εμπειρική μελέτη που πραγματοποιήθηκε. Επιπλέον, το σύστημα διατηρεί για κάθε μαθητή και ένα μοντέλο μακράς διάρκειας (long term student model). Το μοντέλο αυτό αποτελεί ένα ιστορικό των αδυναμιών και της προόδου του μαθητή, καθώς αυτός αλληλεπιδρά με το σύστημα. Συγκεκριμένα, στο μοντέλο αυτό καταγράφεται το κατά πόσο ο μαθητής γνωρίζει κάθε μία από τις θεματικές ενότητες του γνωστικού πεδίου ανάλογα με τις επιδόσεις του σε ασκήσεις που σχετίζονται με κάθε θεματική ενότητα.

Ο γεννήτορας συμβουλών είναι το τμήμα του Ευφυούς Διδακτικού Συστήματος που είναι υπεύθυνο για τη λήψη διαφόρων διδακτικών αποφάσεων. Στην περίπτωση του EasyMath, ο γεννήτορας συμβουλών είναι υπεύθυνος για την επιλογή των ασκήσεων που παρουσιάζονται στο μαθητή, για την πρόταση του θεωρητικού τμήματος που πρέπει να διαβάσει ο μαθητής, καθώς και για τις συμβουλές που δίδονται στα σφάλματα που κάνει ο εκάστοτε μαθητής. Τέλος, το σύστημα διεπαφής του EasyMath είναι ένα πολυμεσικό σύστημα διεπαφής (multimedia user interface) που χρησιμοποιεί στατικές και κινούμενες εικόνες καθώς και ήχους ώστε να προκαλέσει το

ενδιαφέρον του μαθητή. Η τεχνολογία των πολυμέσων έχει αξιολογηθεί και τα αποτελέσματα δείχνουν ότι όταν χρησιμοποιηθεί σε εκπαιδευτικά συστήματα μπορεί να έχει θετικές επιδράσεις στη μαθησιακή δραστηριότητα (π.χ. Woolf and Hall 1995, Johnson and O'Neill-Jones 1999).

B.- Εμπειρική Μελέτη

Ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη του EasyMath έχει βασιστεί σε μεγάλο βαθμό στα αποτελέσματα μίας εμπειρικής μελέτης στην οποία συμμετείχαν 4 μαθηματικοί καθώς και 240 μαθητές της 2^{ης} τάξης γυμνασίου. Οι μαθητές που συμμετείχαν στην εμπειρική μελέτη, είχαν διδαχθεί στο σύνολό της τη διδακτέα ύλη που σχετίζεται με τις αλγεβρικές δυνάμεις. Η εμπειρική μελέτη είχε ως στόχο να αναγνωριστούν οι απαιτήσεις που υπάρχουν από ένα πακέτο εκπαιδευτικού λογισμικού ώστε αυτό να είναι αποτελεσματικό σε πραγματικές συνθήκες διδασκαλίας. Επιπλέον, τα αποτελέσματα της εμπειρικής μελέτης χρησιμοποιήθηκαν ώστε να κατασκευαστεί μία βιβλιοθήκη των πιο συνηθισμένων λαθών που κάνουν οι μαθητές όταν μαθαίνουν τις αλγεβρικές δυνάμεις.

Συγκεκριμένα, αρχικά οι καθηγητές κλήθηκαν να ετοιμάσουν ένα τεστ που κάλυπτε όλο το πεδίο των αλγεβρικών δυνάμεων. Το τεστ περιελάμβανε ασκήσεις που σχετίζονται με όλες τις περιπτώσεις υπολογισμού δυνάμεων, μετατροπής κάποιου αριθμού σε δύναμη, με τις διάφορες πράξεις μεταξύ των δυνάμεων (πολλαπλασιασμός και διαίρεση), καθώς και με την ύψωση κάποιας δύναμης σε άλλη δύναμη. Το συγκεκριμένο τεστ δόθηκε στο σύνολο των μαθητών, οι οποίοι απάντησαν σε όλες τις ερωτήσεις. Στη συνέχεια, οι 4 καθηγητές διόρθωσαν τα τεστ των μαθητών καταγράφοντας τα λάθη που είχαν γίνει καθώς και ποια θεωρούσαν ότι ήταν η αιτία του κάθε λάθους. Από το σύνολο των λαθών που προέκυψαν αυτά που εμφανίστηκαν τις περισσότερες φορές επιλέχθηκαν ώστε να απαρτίσουν τη βιβλιοθήκη των πιο συνηθισμένων σφαλμάτων.

Για παράδειγμα, για τον πολλαπλασιασμό δυνάμεων τα πιο συνηθισμένα λάθη που αναγνωρίστηκαν είναι τα εξής:

1. Ο μαθητής μπορεί να πολλαπλασιάζει αντί να προσθέτει τους εκθέτες. Για παράδειγμα, $4^3 * 4^6 = 4^{18}$ αντί για 4^9 .
2. Ο μαθητής μπορεί να πολλαπλασιάζει τις βάσεις αντί να αφήνει την ίδια βάση. Για παράδειγμα, $3^4 * 3^5 = 9^9$ αντί για 3^9 .
3. Ο μαθητής μπορεί να πολλαπλασιάζει τόσο τις βάσεις όσο και τους εκθέτες. Για παράδειγμα, $2^3 * 2^5 = 4^{15}$ αντί για 2^8 .
4. Όταν η μία δύναμη έχει αρνητικό εκθέτη ο μαθητής μπορεί να αφαιρεί αντί να προσθέτει τους εκθέτες. Για παράδειγμα, $5^3 * 5^{-4} = 5^7$ αντί για 5^{-1} .
5. Ο μαθητής μπορεί να κάνει κάποιο λάθος απροσεξίας. Για παράδειγμα, $4^3 * 4^6 = 5^9$ αντί για 4^9 .

Η βιβλιοθήκη των πιο συνηθισμένων λαθών χρησιμοποιείται από το σύστημα κατά τη διαδικασία διάγνωσης της αιτίας κάποιου πιθανού λάθους ενός μαθητή. Επιπλέον, η βιβλιοθήκη των πλέον συνηθισμένων λαθών χρησιμοποιείται και για την κατασκευή των λανθασμένων εναλλακτικών απαντήσεων σε ασκήσεις πολλαπλών επιλογών.

Γ.- Λειτουργικότητα του EasyMath

Το EasyMath σχεδιάστηκε ώστε να χρησιμοποιείται από μαθητές και δασκάλους είτε κατά τη διδασκαλία σε μία σχολική αίθουσα, είτε κατά τη μελέτη στο σπίτι ή για την προετοιμασία ενός τεστ από κάποιο δάσκαλο. Συγκεκριμένα, το EasyMath έχει τέσσερα περιβάλλοντα λειτουργίας:

- **Περιβάλλον Παρουσίασης Θεωρίας:** Σε αυτό το περιβάλλον, ο μαθητής μπορεί να μελετήσει τα θεωρητικά τμήματα και τα παραδείγματα που σχετίζονται με το πεδίο των αλγεβρικών δυνάμεων. Ο μαθητής έχει τη δυνατότητα είτε να επιλέξει από μόνος του την ενότητα που επιθυμεί να μελετήσει, ή να επισκεφτεί την ενότητα που του προτείνει το EasyMath. Το σύστημα προτείνει στο μαθητή κάποια ενότητα, την οποία θεωρεί ως την πλέον κατάλληλη με βάση τις πληροφορίες που είναι καταγεγραμμένες στο μοντέλο του μαθητή. Συγκεκριμένα, το EasyMath επιλέγει ως πλέον κατάλληλη προς μελέτη, την ενότητα στις ασκήσεις της οποίας ο μαθητής έχει το μεγαλύτερο ποσοστό λανθασμένων απαντήσεων.
- **Περιβάλλον Επίλυσης Ασκήσεων:** Σε αυτό το περιβάλλον, το σύστημα παρουσιάζει στο μαθητή ασκήσεις προς επίλυση. Το EasyMath υποστηρίζει δύο τύπους ασκήσεων: ασκήσεις πολλαπλών επιλογών, και ασκήσεις στις οποίες ο μαθητής καλείται να πληκτρολογήσει την απάντηση. Η κατασκευή των ασκήσεων γίνεται δυναμικά βασιζόμενη σε ένα σύνολο προτύπων ασκήσεων και την τυχαία παραγωγή αριθμών που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν ως βάσεις και εκθέτες.

Όταν ο μαθητής λύσει μία άσκηση, το EasyMath ελέγχει τη λύση και παρέχει συμβουλευτικά μηνύματα σε περίπτωση κάποιου λάθους. Το επίπεδο βοήθειας του συμβουλευτικού μηνύματος αποφασίζεται λαμβάνοντας υπόψη το γνωστικό επίπεδο του μαθητή. Όσο πιο αδύναμος είναι ο μαθητής τόσο πιο λεπτομερής είναι η βοήθεια που του παρέχεται. Στην περίπτωση ασκήσεων πολλαπλών επιλογών η διαδικασία διάγνωσης της αιτίας κάποιου σφάλματος πραγματοποιείται με βάση το πλέον συνηθισμένο λάθος που έχει επιλέξει ο μαθητής. Για κάθε μία από τις εναλλακτικές απαντήσεις, το σύστημα γνωρίζει τη λανθασμένη διαδικασία που ακολούθησε ο μαθητής και παρέχει το αντίστοιχο συμβουλευτικό μήνυμα.

Στην περίπτωση ασκήσεων στις οποίες ο μαθητής καλείται να πληκτρολογήσει την απάντηση, η διαδικασία διάγνωσης της αιτίας τυχόν σφάλματος είναι πιο περίπλοκη. Συγκεκριμένα, κάθε φορά που

κάποιοι μαθητής δώσει μία λανθασμένη απάντηση, το σύστημα τη συγκρίνει με τις λανθασμένες διαδικασίες της βιβλιοθήκης σφαλμάτων. Αν κάποια από τις λανθασμένες διαδικασίες βρεθεί να δίνει το ίδιο αποτέλεσμα με την απάντηση του μαθητή, το σύστημα παρουσιάζει το αντίστοιχο συμβουλευτικό μήνυμα και καταγράφει το σφάλμα στο μοντέλο μακράς διάρκειας του συγκεκριμένου μαθητή. Σε κάποιες περιπτώσεις το σφάλμα ενός μαθητή μπορεί να αποδίδεται σε περισσότερες από μία αιτίες. Για παράδειγμα, εάν ο μαθητής πληκτρολογήσει την ακόλουθη λανθασμένη απάντηση $2^3 * 2^{-4} = 2^7$, τότε το συγκεκριμένο σφάλμα μπορεί να οφείλεται είτε στο γεγονός ότι ο μαθητής είναι απρόσεκτος, είτε στην πιο σοβαρή αιτία ότι ο μαθητής έχει την εντύπωση ότι πρέπει να αφαιρεί τους εκθέτες στον πολλαπλασιασμό δύο δυνάμεων. Σε τέτοιες περιπτώσεις, το σύστημα λαμβάνει υπ' όψη το ιστορικό του συγκεκριμένου μαθητή για να επιλέξει μία από τις πιθανές αιτίες. Για παράδειγμα, αν στο μοντέλο μακράς διάρκειας του προαναφερόμενου μαθητή έχει καταγραφεί ότι κάνει συχνά λάθη απροσεξίας, ενώ δεν αφαιρεί τους εκθέτες στον πολλαπλασιασμό δυνάμεων, τότε το σύστημα θα υποθέσει ότι το λάθος του μαθητή οφείλεται στην απροσεξία του.

- **Περιβάλλον Παιχνιδιού:** Σε αυτό το περιβάλλον, ο μαθητής προσπαθεί να λύσει ασκήσεις σχετικές με τις αλγεβρικές δυνάμεις ώστε να αποκαλύψει μία εικόνα.
- **Περιβάλλον Κατασκευής Ασκήσεων Πολλαπλών Επιλογών:** Το περιβάλλον αυτό είναι υπεύθυνο για τη δυναμική κατασκευή ασκήσεων πολλαπλών επιλογών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από κάποιο δάσκαλο για την κατασκευή ενός τεστ. Συγκεκριμένα, ο δάσκαλος επιλέγει τον τύπο της άσκησης που θέλει να δημιουργήσει και στη συνέχεια, το σύστημα παράγει την ερώτηση χρησιμοποιώντας τυχαία παραγόμενους αριθμούς ως βάσεις και εκθέτες. Επιπλέον, το σύστημα παρουσιάζει στο δάσκαλο ένα σύνολο λανθασμένων απαντήσεων από τις οποίες καλείται ο δάσκαλος να διαλέξει ποιες θα χρησιμοποιηθούν ως εναλλακτικές απαντήσεις στην ερώτηση πολλαπλών επιλογών. Οι λανθασμένες απαντήσεις προκύπτουν χρησιμοποιώντας τη γνώση του συστήματος που αφορά στα πλέον συνηθισμένα λάθη των μαθητών.

Δ.- Αξιολόγηση Συστήματος

Όπως τονίζεται από τους Barker et al. (2002), παρόλο που είναι ιδιαίτερα δύσκολο, έχει εξαιρετικά μεγάλη σημασία να αξιολογούνται τα περίπλοκα πακέτα λογισμικού, όπως τα Ευφυή Διδακτικά Συστήματα, στο σύνολό τους. Επιπλέον, η αξιολόγηση των Ευφυών Διδακτικών Συστημάτων σε πραγματικές συνθήκες διδασκαλίας χρησιμοποιώντας πραγματικούς μαθητές οδηγεί σε πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα σε σύγκριση με αξιολογήσεις που πραγματοποιούνται χρησιμοποιώντας προσομοίωση μαθητών (Mitrovic et al. 2002).

Η αξιολόγηση του EasyMath έγινε σε δύο στάδια της ανάπτυξης του συστήματος. Αρχικά, μετά την κατασκευή ενός πρώτου πρωτοτύπου συστήματος, 4 εκπαιδευτικοί που διδάσκουν σε γυμνάσιο αξιολόγησαν το υποσύστημα μοντελοποίησης χρηστών και συγκεκριμένα την εμπειρογνωμοσύνη που χρησιμοποιείται κατά την διάγνωση λαθών του μαθητή. Επιπλέον, μαθητές και εκπαιδευτικοί κλήθηκαν να αξιολογήσουν την πρώτη τελική έκδοση του συστήματος όσον αφορά στη λειτουργικότητα και στην εκπαιδευτική αξία του EasyMath.

Δ1.-Αξιολόγηση Αρχικού Πρωτοτύπου. Όπως τονίζουν οι Dix et al. (1993) για να ελαχιστοποιηθεί το κόστος από λάθη στο σχεδιασμό ενός λογισμικού πακέτου, υπάρχει ανάγκη αξιολόγησης του σχεδιασμού του συστήματος πριν ολοκληρωθεί η υλοποίηση αυτού. Συγκεκριμένα, για την περίπτωση των Ευφυών Διδακτικών Συστημάτων είναι ιδιαίτερα μεγάλης σημασίας η αξιολόγηση της ορθότητας του γνωστικού πεδίου και του υποσυστήματος μοντελοποίησης μαθητών, πριν την ενσωμάτωσή τους στο τελικό σύστημα (Mark and Greer 1993).

Κατά συνέπεια, 4 εκπαιδευτικοί κλήθηκαν να αξιολογήσουν το σχεδιασμό του EasyMath, μετά την υλοποίηση ενός αρχικού πρωτοτύπου. Για την αξιολόγηση του συστήματος σε αυτή τη φάση χρησιμοποιήθηκε η στρατηγική της επιθεώρησης από κάποιον ειδικό (Expert review validation strategy), σύμφωνα με την οποία ένας ή περισσότεροι ειδικοί του αντικειμένου που διδάσκεται από το εκπαιδευτικό σύστημα παρατηρεί ολόκληρο το σύστημα, τμήματα αυτού και τη συμπεριφορά τους, ώστε να προσδιορίσει τυχόν ατέλειες (Arruabarrena et al. 2002). Στην περίπτωση του EasyMath, οι ειδικοί κλήθηκαν να επιθεωρήσουν το υποσύστημα διάγνωσης λαθών. Συγκεκριμένα, στους 4 εκπαιδευτικούς δόθηκε ένα ερωτηματολόγιο, το οποίο περιείχε ασκήσεις σχετικές με τις αλγεβρικές δυνάμεις, οι οποίες είχαν απαντηθεί λανθασμένα. Οι λανθασμένες απαντήσεις κατασκευάστηκαν χρησιμοποιώντας τη βιβλιοθήκη των πιο συνηθισμένων λαθών των μαθητών. Σε κάθε ερώτηση του ερωτηματολογίου, ο κάθε εκπαιδευτικός κλήθηκε να εξηγήσει την αιτία της κάθε λανθασμένης απάντησης. Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης έδειξαν ότι το EasyMath είχε ικανοποιητική διαγνωστική ικανότητα. Μία πιο λεπτομερής περιγραφή των αποτελεσμάτων παρουσιάζεται στο (Virvou and Tsigira 2000b).

Δ2.-Αξιολόγηση Πρώτης Τελικής Έκδοσης του EasyMath. Η συμμετοχή εκπαιδευτικών και μαθητών κατά την αξιολόγηση της πρώτης έκδοσης του EasyMath θεωρήθηκε πολύ σημαντική. Γι' αυτό, 10 δάσκαλοι και 120 μαθητές κλήθηκαν να αξιολογήσουν την πρώτη ολοκληρωμένη έκδοση του συστήματος ως προς την εκπαιδευτική του αξία. Τόσο οι εκπαιδευτικοί όσο και οι μαθητές που κλήθηκαν να αξιολογήσουν την πρώτη

τελική έκδοση του συστήματος ήταν διαφορετικοί από αυτούς που συμμετείχαν στη φάση της εμπειρικής μελέτης. Οι εκπαιδευτικοί κλήθηκαν να χρησιμοποιήσουν το EasyMath προσομοιώνοντας έναν μέσο μαθητή και στη συνέχεια κλήθηκαν να αξιολογήσουν το σύστημα ως προς την εκπαιδευτική του αξία. Συγκεκριμένα, οι καθηγητές αφού χρησιμοποίησαν το σύστημα κλήθηκαν να απαντήσουν σε ένα ερωτηματολόγιο. Το ερωτηματολόγιο κατασκευάστηκε σύμφωνα με μία μέθοδο αξιολόγησης που βασίζεται σε ένα σύνολο ευριστικών κανόνων (Squires and Preece 1999). Η μέθοδος αυτή στοχεύει στην αξιολόγηση τόσο της διδακτικής αξίας όσο και της χρησιμοποίησιμότητας (usability) ενός εκπαιδευτικού λογισμικού σε πραγματικές συνθήκες. Ένα μέρος του ερωτηματολογίου καθώς και οι απαντήσεις των καθηγητών σε κάθε μία από τις ερωτήσεις παρουσιάζεται στον Πίνακα 1. Στην πρώτη στήλη του πίνακα παρουσιάζεται η ερώτηση που τέθηκε, ενώ στις επόμενες τρεις στήλες εμφανίζονται αντίστοιχα τα ποσοστά των καθηγητών που έδωσαν θετικές, αρνητικές ή δεν έδωσαν καθόλου απαντήσεις. Όπως φαίνεται στον πίνακα, ενώ οι καθηγητές έδειξαν να είναι σε μεγάλο βαθμό ικανοποιημένοι από τη λειτουργικότητα του συστήματος, φάνηκε να θεωρούν ανεπαρκή τον τρόπο που το EasyMath προσαρμόζεται στις ανάγκες του εκάστοτε μαθητή. Σύμφωνα με την αιτιολόγηση που έδωσαν γι' αυτή τους την απάντηση βγήκε το συμπέρασμα ότι ενώ το σύστημα προσαρμόζει τις ασκήσεις που παρουσιάζει στο γνωστικό επίπεδο των μαθητών, δεν υπάρχει κάποιος μη περιοριστικός τρόπος για να βοηθά το σύστημα τον μαθητή, όταν αυτός μελετά τη θεωρία. Συγκεκριμένα, οι καθηγητές δεν έμειναν ικανοποιημένοι από τη λειτουργία του συστήματος να προτείνει την πλέον κατάλληλη θεματική ενότητα προς μελέτη. Θα προτιμούσαν να υπάρχει κάποιος τρόπος να ειδοποιούνται οι μαθητές σχετικά με το ποιες ενότητες είναι προτεινόμενες και στη συνέχεια να επιλέγουν κάποια μεταξύ αυτών.

Ερώτηση	Ναι	Όχι	Δεν Απαντώ
Πιστεύετε ότι το σύστημα αναγνωρίζει σε ικανοποιητικό βαθμό την αιτία των σφαλμάτων των μαθητών;	82%	11%	7%
Πιστεύετε ότι ο τρόπος που αλληλεπιδρούσατε με το σύστημα σας περιόριζε στην παροχή των απαντήσεών σας;	74%	24%	2%
Σας ικανοποίησε ο τρόπος που καταγράφονταν η επίδοση και η πρόοδος του μαθητή, καθώς και ο τρόπος που αυτά τα στοιχεία χρησιμοποιούνται από το σύστημα;	78%	19%	3%
Ήταν εύκολο να μάθετε να χρησιμοποιείτε το EasyMath;	88%	5%	7%
Θεωρείτε πως είναι εύκολο να «κοροϊδέψουν» κάποιος το σύστημα;	15%	84%	1%
Το σύστημα διεπαφής του EasyMath πιστεύετε πως ήταν κατανοητό και τραβούσε το ενδιαφέρον του χρήστη;	97%	3%	0%
Πιστεύετε ότι το σύστημα προσαρμόζεται ικανοποιητικά στις ανάγκες του εκάστοτε μαθητή;	50%	48%	2%

Πίνακας 1: Αξιολόγηση της πρώτης τελικής έκδοσης του EasyMath από τους καθηγητές.

Όπως τονίζεται από τους Jones et al. (1999), είναι πολύ σημαντικό να γίνει εκτενής παρακολούθηση του τρόπου που οι μαθητές χρησιμοποιούν ένα εκπαιδευτικό πακέτο λογισμικού για να βγει κάποιο συμπέρασμα σχετικά με την αποδοτικότητα ή τα προβλήματα που μπορεί αυτό να έχει. Στη φάση της αξιολόγησης του συστήματος από τους μαθητές, αρχικά σε αυτούς παρουσιάστηκε το EasyMath και στη συνέχεια κλήθηκαν να το χρησιμοποιήσουν για μία ώρα. Στη συνέχεια, τους δόθηκε ένα ερωτηματολόγιο για να συμπληρώσουν. Το ερωτηματολόγιο που δόθηκε στους μαθητές ήταν το ίδιο με αυτό που δόθηκε και στους εκπαιδευτικούς. Τα αποτελέσματα από την αξιολόγηση του συστήματος από τους μαθητές ήταν πιο ικανοποιητικά από τα αποτελέσματα της αξιολόγησης από τους καθηγητές, κάτι που ήταν αναμενόμενο μιας και οι μαθητές έδειξαν πολύ μεγάλο ενθουσιασμό για το πολυμεσικό σύστημα διεπαφής του EasyMath.

Ε.-Συμπεράσματα και Μελλοντικές Επεκτάσεις

Στην εργασία αυτή περιγράφηκε ένα Ευφρές Διδακτικό Σύστημα για τη διδασκαλία των αλγεβρικών δυνάμεων. Δεδομένων των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την αξιολόγηση, το EasyMath φάνηκε να ικανοποιεί τους τελικούς του χρήστες (μαθητές και καθηγητές) σε ικανοποιητικό βαθμό. Συγκεκριμένα, το πολυμεσικό σύστημα διεπαφής φάνηκε να προσελκύει το ενδιαφέρον των μαθητών. Επιπλέον, οι καθηγητές έκριναν θετικά τη διαγνωστική ικανότητα του EasyMath. Παρόλα αυτά, όμως, η αξιολόγηση έδειξε επίσης ότι το σύστημα επιδέχεται αρκετές διορθώσεις. Για παράδειγμα, οι καθηγητές έκριναν ότι θα έπρεπε το EasyMath να έχει περισσότερες δυνατότητες προσαρμογής της διδασκαλίας του στο επίπεδο του μαθητή.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την αξιολόγηση του συστήματος θα χρησιμοποιηθούν ως βάση για την κατασκευή μίας νέας έκδοσης του EasyMath, η οποία θα διατίθεται μέσω του παγκοσμίου ιστού. Συγκεκριμένα για να βελτιώσουμε την προσαρμοστικότητα του συστήματος στις ανάγκες του εκάστοτε μαθητή, σκοπεύουμε να κάνουμε χρήση τεχνικών των προσαρμοστικών υπερμέσων (adaptive hypermedia) ώστε να παρέχει το σύστημα προσαρμοστική υποστήριξη κατά την πλοήγηση (adaptive navigation support) του μαθητή στο υπερκείμενο της θεωρίας. Στην τρέχουσα έκδοση του εκπαιδευτικού συστήματος, το μοντέλο του μαθητή διατηρεί στοιχεία τα οποία σχετίζονται μόνο με το γνωστικό επίπεδο του μαθητή στον διδασκόμενο τομέα. Στο

μέλλον σκοπεύουμε να επεκτείνουμε το υποσύστημα μοντελοποίησης μαθητών ώστε να μπορεί να εξάγει κάποια συμπεράσματα σχετικά με τον μαθησιακό τύπο του εκάστοτε μαθητή.

Αναφορές

- Alexandris, N., Virvou, M. and Moundridou, M. (1998). A Multimedia Tool for Teaching Geometry at Schools. *Proceedings of ED-MEDIA, ED-TELECOM 98, World Conference on Education Multimedia and Educational Telecommunications*. Vol. 2, pp. 1595-1597, Charlottesville, VA: AACE.
- Arruabarrena, R., López-Cuadrado, J., Gutiérrez, J. and Vadillo, J. (2002). On Evaluating Adaptive Systems for Education. In De Bra, P., Brusilovsky, P. and Conejo, R. (Eds.) *Proceedings of AH2002, Lecture Notes on Computer Science*, Vol. 2347, pp. 363-367, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Barker, T., Jones, S., Britton, C. and Messer, D. (2002). The Use of Co-operative Student Model of Learner Characteristics to Configure a Multimedia Application. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, Vol. 12, Issue 2/3, pp. 207-241.
- Boyle, T. (1997). *Design for Multimedia Learning*. London, New York: Prentice Hall.
- Dix, A., Finlay, J., Abowd, G. and Beale, R. (1993). *Human-Computer Interaction*, NY: Prentice-Hall.
- Hoppe, U. (1994). Deductive error diagnosis and inductive error generalization for intelligent tutoring systems. *Journal of Artificial Intelligence in Education*, Vol. 5, Issue 1, pp. 27-49.
- Johnson, L. and O'Neill-Jones, P. (1999). Innovative Mathematical Learning Environments-Using Multimedia to Solve Real World Problems. In Bullinger, H.J. and Ziegler, J. (Eds.) *Human-Computer Interaction: Communication, Cooperation, and Application Design, Proceedings of the 8th International Conference on Human-Computer Interaction - HCI International '99*, Vol. 2, pp. 677-681, Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Jones, A., Scanlon, E., Tosunoglu, C., Morris, E., Ross, S., Butcher, P. and Greenberg, J. (1999). Contexts for Evaluating Educational Software. *Interacting with Computers*, Vol. 11, Issue 5, pp. 499-516.
- Mark, M. A., and Greer, J. E. (1993). Evaluation Methodologies for Intelligent Tutoring Systems. *Journal of Artificial Intelligence in Education*, Vol. 4, pp. 129-153.
- Mitrovic, A., Martin, B. and Mayo, M. (2002). Using Evaluation to Shape ITS Design: Results and Experiences with SQL-Tutor. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, Vol. 12, Issue 2/3, pp. 243-274.
- Nwana, H. (1991). User modelling and user adapted interaction in an intelligent tutoring system. *User Modeling and User Adapted Interaction*, Vol. 1, Issue 1, pp. 1-32.
- Rickel, J.W. (1989). Intelligent Computer-Aided Instruction: a Survey Organized around System Components. *IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics*, Vol. 19, Issue 1, pp. 40-57.
- Sison, R., Numao, M. and Shimura, M. (1998). Discovering error classes from discrepancies in novice behaviors via multistrategy conceptual clustering. *User Modeling and User Adapted Interaction*, Vol. 8, Issue 1/2, pp. 103-129.
- Sison, R., Numao, M. and Shimura, M. (2000). Multistrategy discovery and detection of novice programmer errors. *Machine Learning*, Vol. 38, pp. 157-180.
- Sleeman, D. (1987). PIXIE: a shell for developing intelligent tutoring systems. In Lawer, R. and Yazdani, M. (Eds) *Artificial Intelligence in Education*. New Jersey: Ablex.
- Squires, D. and Preece, J. (1999). Predicting Quality in Educational Software: Evaluating for learning, usability and the synergy between them. *Interacting with Computers*, Vol. 11, Issue 5, pp. 467-483.
- Virvou, M. and Tsiriga, V. (1999). EasyMath: A Multimedia Tutoring System for Algebra. In Collis, B. & Oliver, R. (Eds.) *Proceedings of ED-MEDIA 99, World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications*, Vol. 2, pp. 933-938, Charlottesville, VA: AACE.
- Virvou, M. and Tsiriga, V. (2000a). Involving Effectively Teachers and Students in the Life Cycle of an Intelligent Tutoring System. *Educational Technology and Society*, Vol. 3, Issue 3, pp. 511-521.
- Virvou, M. and Tsiriga V. (2000b). Evaluation throughout the Life Cycle of a Multimedia Tutoring System. In *Proceedings of ED-MEDIA 2000, World Conference on Education Multimedia and Educational Telecommunications*, pp. 1505-1506, Charlottesville, VA: AACE.
- Virvou, M. and Tsiriga, V. (2001). Web Passive Voice Tutor: an Intelligent Computer Assisted Language Learning System over the WWW. In Okamoto, T., Hartley, R., Kinshuk, and Klus, J. (Eds.) *IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies: Issues, Achievements and Challenges*, pp. 131-134, Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press.
- Wenger, E. (1987). *Artificial Intelligence and Tutoring Systems*. Los Altos, CA: Morgan Kaufmann.
- Woolf, B. and Hall, W. (1995). Multimedia Pedagogues: Interactive Multimedia Systems for Teaching and Learning. *IEEE Computer*, Vol. 28, No. 5, pp. 74-80.