

Εικονική πραγματικότητα στη διδασκαλία φυσικής

Μ. Ν. Γαβαλά¹, Δ. Μ. Γαρυφαλλίδου¹, Γ. Σ. Ιωαννίδης¹,
Τ. Σ. Παπαθεοδώρου², Ε. Α. Στάθη², και Σ. Π. Χριστοδούλου²

¹ Εργαστήριο Θετικών Επιστημών, Π.Τ.Δ.Ε. Πανεπιστημίου Πατρών

² Εργαστήριο Πληροφοριακών Συστημάτων Υψηλών Επιδόσεων, Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής, Πανεπιστημίου Πατρών

Περίληψη: Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται ο σχεδιασμός και η χρήση απτικών συσκευών διασύνδεσης (haptic interfaces) δηλαδή συσκευών που προσθέτουν την αίσθηση της αφής σε συστήματα εικονικής πραγματικότητας όπως επίσης ο σχεδιασμός και η εκπαιδευτική δοκιμή εξειδικευμένου εκπαιδευτικού λογισμικού που χρησιμοποιεί το εξελιγμένο αυτό σύστημα εικονικής (ή υπερβατικής) πραγματικότητας (virtual reality). Δύο καινοτόμες συσκευές δημιουργήθηκαν στα πλαίσια του ευρωπαϊκού προγράμματος MUVII (στο οποίο συμμετείχαμε): Κατ' αρχήν ο καινοτόμος μηχανισμός δημιουργίας τεχνητής αφής Haptic-3D-Interface (H3DI) ο οποίος, εκτός από δυνάμεις και ροπές σε 3 διαστάσεις, προσδίδει και αίσθηση αφής στις άκρες των δακτύλων του χρήστη (tactile feedback). Επιπροσθέτως, η καινοτόμος πλατφόρμα στην οποία ενσωματώθηκε ο μηχανισμός (H3DI), η οποία ονομάστηκε Interactive Kiosk Demonstrator (IKD), δηλαδή το “κίωσι” επίδειξης που περιλάμβανε τόσο τρισδιάστατη εικόνα όσο και καινοτόμο τρισδιάστατο ψηφιακό ήχο, σε ένα ολοκληρωμένο σύνολο. Για τις συσκευές αυτές σχεδιάστηκαν και δημιουργήθηκαν νέα εξειδικευμένα αλληλεπιδραστικά προγράμματα εκπαιδευτικού λογισμικού. Ακολούθησε η εκπαιδευτική δοκιμή, του νέου εικονικού περιβάλλοντος. Η εκπαιδευτική δοκιμή της συσκευής (Interactive Kiosk Demonstrator) και του εκπαιδευτικού λογισμικού έγινε με 163 μαθητές, από τους οποίους 64 ήταν μαθητές δημοτικού σχολείου, 74 μαθητές γυμνασίου, και 25 μαθητές λυκείου από σχολεία της Αχαΐας τα οποία επιλέχθηκαν τυχαία. Το εκπαιδευτικό λογισμικό εφαρμογής που χρησιμοποιήθηκε κάθε ομάδα παιδιών επιλέχθηκε με βάση την ηλικία τους. Κατά τη διάρκεια της εκπαιδευτικής δοκιμής ακολουθήθηκε η καθιερωμένη διεθνής πρακτική για τις έρευνες στην εκπαίδευση. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται τμήμα των αποτελεσμάτων της εκπαιδευτικής αυτής δοκιμής. Παρουσιάζονται ακόμα κάποια ενδιαφέροντα συμπεράσματα σχετικά με τις αντιδράσεις των χρηστών σχετικά με τις απτικές συσκευές.

1. Εισαγωγή

Η επιστήμη και η τεχνολογία είναι κυρίαρχες στην καθημερινή μας ζωή και δραμαματίζουν ένα πολύ σημαντικό ρόλο στην σημερινή κουλτούρα.

Οι μαθητές πρέπει να μάθουν επιστήμες για πολλούς λόγους οι σημαντικότεροι από τους οποίους είναι:

- Η οικονομική ισχύς, η πρόοδος και η ευημερία των σύγχρονων κοινωνιών οφείλονται στην επιστήμη και στις εφαρμογές της, δηλαδή την τεχνολογία. Η επιστήμη είναι αυτή που βελτιώνει τις συνθήκες διαβίωσης μας και την ποιότητα της ζωής μας. Αν δεν ήταν η επιστήμη, οι ασθένειες θα θέρριζαν, οι πρώτες ύλες και τα παραγόμενα προϊόντα δεν θα επαρκούσαν για να ζεσταθούν, να ντυθούν και να φάνε όλοι οι

άνθρωποι, και γενικά η διαβίωσή μας θα ήταν πολύ πιο δύσκολη.

Σαν συνέπεια

- Η εκπαίδευση πρέπει να δώσει περισσότερη επιστημονική γνώση και να καταφέρει περισσότερους νέους να ασχοληθούν με την επιστήμη ώστε από αυτούς να αναδυθούν οι τεχνικοί και οι επιστήμονες του μέλλοντος ¹.

Παρόλα αυτά οι εκπαιδευτικοί φοβούνται την διδασκαλία της φυσικής, και αποφεύγουν συστηματικά την χρήση των σχολικών εργαστηρίων.

Η έρευνα έχει αποδείξει ότι η φυσική είναι το δυσκολότερο και περισσότερο απαιτητικό σε χρόνο μάθημα, και το αντικείμενο για το οποίο οι μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης εμφανίζουν το λιγότερο ενδιαφέρον. Έχει επίσης επιβεβαιωθεί κάτι που όλοι οι εν ενεργεία εκπαιδευτικοί γνωρίζουν: κάθε μαθητής έρχεται στο σχολείο με διαφορετικές γνώσεις, ενώ παράλληλα καθένας είναι προικισμένος με διαφορετικές ικανότητες και έχει διαφορετικά ενδιαφέροντα.

Παρόλο που όλοι οι μαθητές ακολουθούν τα στάδια γνωστικής ανάπτυξης που περιέγραψε ο Piaget, η ηλικία κατά την οποία εμφανίζεται καθένα από τα στάδια αυτά διαφέρει σημαντικά από μαθητή σε μαθητή. Για τον λόγο αυτό, η εξατομικευμένη διδασκαλία εξακολουθεί να θεωρείται ένα πολύ σημαντικό αίτημα στην εκπαίδευση. Επιπροσθέτως, νέα χαρακτηριστικά αποκτούν ιδιαίτερα σημασία στην εκπαίδευση σήμερα. Η απόκτηση της ικανότητας συνεργασίας με άλλους όπως και της τεχνικής της αυτοεκπαίδευσης κρίνονται απαραίτητες. Αυτές οι ικανότητες, δύσκολα αποκτώνται στις παραδοσιακές τάξεις, όπου όλοι οι μαθητές παρακολουθούν την ίδια ύλη, αυτή που ο δάσκαλος παραδίδει από την έδρα χρησιμοποιώντας ως κύριο εποπτικό μέσο τον πίνακα και την κιμωλία.

Η διδασκαλία με χρήση των τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών (ICT) εμφανίζει πολλά πλεονεκτήματα. Τα πλεονεκτήματα αυτά, που έχουν περιγράψει αναλυτικά οι Γαρυφαλλίδου και Ιωαννίδης^{2,3}, παραμένουν ανεπηρέαστα από τις τελευταίες αλλαγές των ICT (ή ίσως και να επιτείνονται). Σήμερα, ένας συνεχώς αυξανόμενος αριθμός σχολείων στην Ευρώπη έχουν ήδη (ή σύντομα θα έχουν) σύγχρονα εργαστήρια ηλεκτρονικών υπολογιστών, και γρήγορη (broadband) πρόσβαση στο διαδίκτυο (internet), και αυτό δημιουργεί νέες δυνατότητες και ευκαιρίες για τη διδασκαλία και τη μάθηση. Δάσκαλοι και μαθητές μπορούν να χρησιμοποιήσουν υλικό που βρίσκεται στο διαδίκτυο⁴ όπως αλληλεπιδραστικά περιβάλλοντα μάθησης και web-streaming media (τεχνολογίες ροής μέσων), καθώς και τις δυνατότητες που προσφέρει η τηλε-εκπαίδευση.

Εδώ πρέπει να τονίσουμε ότι οι όποιες έρευνες έγιναν πριν από μία δεκαετία, σήμερα θα πρέπει να θεωρηθούν ξεπερασμένες και αυτό επειδή οι σύγχρονοι υπολογιστές διαφέρουν σημαντικά από τους παλαιότερους. Οι παλιές αυτές έρευνες δεν είχαν εξετάσει τις επιπλέον ικανότητες των σύγχρονων υπολογιστών, όπως την υψηλότερη ανάλυση οθόνης, τους γρηγορότερους επεξεργαστές, την δυνατότητα προβολής βίντεο, ούτε την ταχύτητα σύνδεση στο internet (διαδίκτυο) και τις δυνατότητες για τηλε-εκπαίδευση και αυτοεκπαίδευση που αυτή προσφέρει. Ομοίως αγνοούν τις φθηνές απικτές συσκευές και τα streaming media (τεχνολογίες και μέσα ροής), πόσο μάλλον τις εκπαιδευτικές δυνατότητες που ανοίγονται μέσω του mobile learning (κινητή μάθηση).

2. Πλεονεκτήματα της διδασκαλίας με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή

Η χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή στην διδασκαλία της επιστήμης παρουσιάζει μια σειρά από πλεονεκτήματα, υπό την προϋπόθεση, βέβαια, ότι για τον σχεδιασμό και την υλοποίηση του εκπαιδευτικού λογισμικού, των ιστοσελίδων, και γενικότερα του κάθε εκπαιδευτικού περιβάλλοντος έχουν ακολουθηθεί κάποια πολύ συγκεκριμένα βήματα (ανεξάρτητα του εάν το εκπαιδευτικό υλικό παράγεται από πανεπιστήμιο ή εταιρεία). Αναφέρουμε με συντομία αυτά τα βήματα που περιγράφουν αναλυτικά οι Ιωαννίδης και άλλοι⁵ (2005).

a) Ο εκπαιδευτικός στόχος, καθώς και το περιεχόμενο που θα συμπεριληφθεί στο εκπαιδευτικό περιβάλλον μάθησης στηριζόμενο σε χρήση Η/Υ το οποίο σχεδιάζεται, πρέπει να καθορισθεί με σαφήνεια. Το περιβάλλον αυτό μπορεί να είναι εκπαιδευτικό λογισμικό, streaming medium, ιστοσελίδες κ.λ.π. ή οποιοσδήποτε συνδυασμός αυτών.

b) Στο δεύτερο βήμα συγκεντρώνεται κάθε πληροφορία σχετική με το γνωστικό αντικείμενο που θα διδαχτεί.

c) Στο τρίτο βήμα συνεργάζεται ο ειδικός στο αντικείμενο, με τον ειδικό στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, τον ειδικό στην διδακτική και τον χρήστη που θα χρησιμοποιήσει το παραγόμενο εκπαιδευτικό περιβάλλον, και αποφασίζουν από κοινού το τι θα περιληφθεί σε αυτό, την εμφάνιση που θα έχει το μέσο, αλλά και τη σειρά με την οποία θα παρουσιάζεται η ύλη, και τις υπερ-συνδέσεις που θα τοποθετηθούν (π.χ. πού χρειάζονται διευκρινήσεις, πού μπορεί να μπει επιπλέον θεωρία κ.λ.π.)

d) Ακολουθεί η υλοποίηση του εκπαιδευτικού περιβάλλοντος.

e) Έπεται η 1η εκπαιδευτική δοκιμή του περιβάλλοντος

f) Ακολουθεί η εκπαιδευτική αξιολόγηση του περιβάλλοντος από την ομάδα των ειδικών και αν χρειάζεται γίνονται κάποιες αλλαγές και βελτιώσεις.

g) Παράγεται το τελικό εκπαιδευτικό περιβάλλον.

Είναι προφανές ότι σε ένα τέτοιο εκπαιδευτικό περιβάλλον οι ορισμοί, τα κείμενα, τα video και οι προσομοιώσεις που χρησιμοποιούνται οφείλουν να είναι επιστημονικά ορθά. Είναι λογικό ο χρήστης να προχωράει από το ευκολότερο στο δυσκολότερο, ενώ hyperlinks (υπερ-συνδέσεις) σε συγκεκριμένους όρους να παρέχουν άμεση πρόσβαση στο “λεξικό” και έτσι ο χρήστης που δεν θυμάται ή που δεν γνωρίζει τον συγκεκριμένο όρο να μπορεί εύκολα και γρήγορα να τον ανακαλέσει.

Εκτός από την επιστημονική ορθότητα που ένα σωστά σχεδιασμένο εκπαιδευτικό περιβάλλον επιβάλλεται να έχει, η χρήση ενός τέτοιου περιβάλλοντος στη διδασκαλία και τη μάθηση συνοδεύεται από μια σειρά από πλεονεκτήματα σε σύγκριση με την παραδοσιακή διδασκαλία. Οι Ιωαννίδης και Γαρυφαλλίδου⁶ (2001) αναφέρουν ως σημαντικότερα τα παρακάτω:

a) Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για “εξατομικευμένη διδασκαλία”. Ο κάθε μαθητής (ή ομάδα μαθητών) μαθαίνει ακολουθώντας τον δικό του ρυθμό.

b) Η χρήση του επιτρέπει τη διαφοροποίηση ανάμεσα στο χρόνο που ένα αντικείμενο διδάσκεται και στον χρόνο που οι μαθητές το μελετούν.

c) Σε ένα τέτοιο περιβάλλον η επικοινωνία ανάμεσα στον “δάσκαλο υπολογιστή” και το μαθητή είναι άμεση και αμφίδρομη.

d) Επιτρέπει στο μαθητή να “αυτενεργήσει” ώστε να ανακαλύψει το αντικείμενο της μελέτης του.

e) Με τη χρήση της τηλεματικής παρέχει τη δυνατότητα διαφοροποίησης του τύπου όπου βρίσκεται ο διδάσκοντας και αυτού που βρίσκεται ο κάθε μαθητής.

f) Η τηλεματική δίνει ακόμα τη δυνατότητα σχηματισμού εξειδικευμένων διδακτικών ομάδων (τάξεων) ή ύπαρξη των οποίων θα ήταν για οικονομικούς ή φυσικούς λόγους αδύνατη.

g) Εξασφαλίζει ίσες ευκαιρίες σε όλους τους μαθητές αφού όλοι μπορούν να έχουν πρόσβαση στον καλύτερο δάσκαλο, στην οργανωμένη βιβλιοθήκη, στο πειραματικό εργαστήριο (προσομοιώσεις).

h) Επιτρέπει την προσομοίωση πειραμάτων που είναι πρακτικά δύσκολο, επικίνδυνο ή και φυσικώς αδύνατο να γίνουν στην τάξη. Για την επίτευξη υψηλότερου βαθμού ρεαλισμού σε τέτοιες προσομοιώσεις είναι τώρα δυνατή η δημιουργία προγραμμάτων εικονικής πραγματικότητας (virtual reality) με επιπρόσθετη χρήση αισθητήρων αφής (haptic interfaces). Ως τυπικό παράδειγμα ενός φυσικού μεγέθους που ευθύνεται για την αποτυχία αρκετών πειραμάτων στο σχολικό εργαστήριο αναφέρεται η τριβή. Οι υπολογιστές μπορούν εύκολα να εκτελέσουν εικονικά το πείραμα με ή χωρίς τριβή οποιασδήποτε μορφής. Άλλα παραδείγματα προσομοίωσης όπου η χρήση αισθητήρων αφής (haptic interfaces) κρίνεται ως εκπαιδευτικά επωφελής είναι η κίνηση των πλανητών γύρω από τον ήλιο και η πτώση αντικειμένων από αεροπλάνο. Παράμετροι όπως η επιτάχυνση της βαρύτητας, μπορούν εύκολα να αλλάξουν, και τα αποτελέσματα αυτής της αλλαγής μπορούν να μελετηθούν. Ομοίως, οι ενεργειακές μετατροπές που επιτελούνται από τις συσκευές ενός σπιτιού μπορούν να μελετηθούν στο περιβάλλον ενός εικονικού σπιτιού.

i) Τέλος στα παιδιά, και ιδιαίτερα στα μικρότερα αρέσει πολύ η ιδέα ότι χρησιμοποιούν υπολογιστή, ένα εργαλείο που ανήκει στον κόσμο των μεγάλων, ένα μηχάνημα που δεν χαλάει, που είναι υπομονετικό μαζί τους και δεν αρνείται να επαναλάβει ό,τι του ζητήσουν όσες φορές το ζητήσουν.

Η ομάδα του MUVII, στην οποία ανήκουμε, ακολούθησε τα βήματα που προαναφέραμε, τόσο στον σχεδιασμό και την υλοποίηση του Interactive Kiosk Demonstrator (IKD) (στο αλληλεπιδραστικό “κίόσκι” επίδειξης) όσο και στον σχεδιασμό και την υλοποίηση των εφαρμογών που το συνοδεύουν.

3. Απτική (haptic) ανάδραση με δύναμη ροπή και αφή για εκπαίδευση

Παραδοσιακά οι περισσότερες από τις καθημερινές μας εργασίες γίνονται με τη χρήση του ανθρώπινου χεριού. Οι υπολογιστές μπορεί να επέφεραν σημαντικές αλλαγές στις καθημερινές μας εργασίες αλλά η αλληλεπίδραση με αυτούς γίνεται ακόμα μέσω ενός πληκτρολογίου και ενός ποντικιού, οι οποίες είναι μονάδες εισαγωγής δεδομένων, αλλά δεν δίνουν στον χρήστη καμία πληροφορία σε σχέση με το “αντικείμενο” που χειρίζεται, είτε ομιλούμε για αντικείμενο εικονικής πραγματικότητας είτε όχι (λ.χ. “αντικείμενο-γράφημα” στην οθόνη). Η όποια διαδραστικότητα του υπολογιστή με το χρήστη γίνεται μέσω παραδοσιακών περιφερειακών μονάδων εξόδου δεδομένων, όπως η οθόνη. Στην είσοδο των δεδομένων από το πληκτρολόγιο ή το ποντίκι (όπου ο χρήστης χρησιμοποιεί το χέρι του), ο υπολογιστής αντιδρά με δεδομένα που στέλνονται στην οθόνη, ποτέ όμως στο ποντίκι ή το πληκτρολόγιο αφού

αυτά αδυνατούν να δημιουργήσουν απτική αντίδραση στο χέρι του χρήστη. Οι απτικές συσκευές δημιουργήθηκαν για να άρουν αυτό τον περιορισμό. Οι απτικές (haptic) συσκευές δημιουργούν μηχανικά σήματα που διεγείρουν τα κιναισθητικά και απτικά κανάλια επικοινωνίας, ενώ ο χρήστης έχει την αίσθηση ότι ενεργεί πάνω στα αντικείμενα.

Ένα περιβάλλον μάθησης το οποίο βασίζεται αποκλειστικά σε οπτικο-ακουστικά ερεθίσματα, όσο αλληλεπιδραστικό και να είναι, δεν είναι κατάλληλο για μαθητές που προσλαμβάνουν καλύτερα τα απτικά ερεθίσματα. Οι απτικές συσκευές είναι τα εργαλεία που θα βοηθήσουν αυτούς τους μαθητές (που προτιμάνε τα απτικά ερεθίσματα) να κατανοήσουν μαθηματικές έννοιες και φυσικά φαινόμενα.⁷

Όταν ο μαθητής χρησιμοποιεί απτικές συσκευές, λαμβάνει δύο ειδών ερεθίσματα, διακρινόμενα σε “κιναισθητικά” (kinesthetic) και απτικά (tactile perception). Τα “κιναισθητικά” (kinesthetic) ερεθίσματα αναφέρονται κυρίως στην (με επεξεργασία χωρίς χρήση οπτικής πληροφορίας) ικανότητα από τον ίδιο το χρήστη να αυτο-προσδιορίσει τη θέση του σώματός του όπως και την κίνησή του και το βάρος του, και οφείλονται είτε σε δυνάμεις σε 3 διαστάσεις που ενεργούν στο σώμα (και καταλήγουν σε μετακινήσεις μελών -λ.χ. χεριών-) είτε σε ροπές (πάλι σε όλες τις 3 διαστάσεις, οι οποίες όμως καταλήγουν σε στροφές των μελών ή όλου του σώματος). Τα απτικά ερεθίσματα (tactile perception) προέρχονται κυρίως -αν και όχι αποκλειστικά- από την αφή (δηλαδή αίσθηση πίεσης) τις άκρες των δακτύλων. Άλλωστε, έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι ενώ η όραση είναι η κυρίαρχη αίσθηση στην αντίληψη σχημάτων (μακρο-γεωμετρίας) των σωμάτων, η αφή υπερέχει στον προσδιορισμό της υψής τους (μικρο-γεωμετρία)^{8,9}

Τα απτικά ερεθίσματα είναι δυναμικά, δηλαδή αλλάζουν καθώς ο μαθητής χειρίζεται τα αντικείμενα, είτε αυτά είναι φυσικά είτε εικονικά (virtual). Καθώς αυτό συνεπάγεται την επιλογή του μαθητή να ασχοληθεί ενεργά με το αντικείμενο που εξετάζει, η ύπαρξη της αίσθησης της αφής αποτελεί ένα ισχυρό κίνητρο για τον μαθητή κατά την διάρκεια σχολικού επιστημονικού πειράματος (λ.χ. φυσικής), ενώ αυξάνει την προσοχή του¹⁰.

Παρότι η τεχνολογία που σχετίζεται με το αίσθημα της αφής υπάρχει για δεκαετίες, τα υπάρχοντα συστήματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εκπαιδευτική χρήση είναι ακόμα αρκετά ακριβά, πραγματικά πολύπλοκα, και η χρήση τους εστιάζεται όχι τόσο στην εκπαίδευση όσο στην επαγγελματική κατάρτιση, όπως λ.χ. σε επαγγελματικούς προσομοιωτές πτήσης σε συγκεκριμένο τύπο αεροσκάφους (με κόστος πολλαπλάσιο του ίδιου του αεροσκάφους), ή ακόμα για κατάρτιση ιατρών στην χρήση συγκεκριμένων μηχανημάτων όπως για εξ' αποστάσεως εγχείριση ή για λαπαροσκόπηση. Οι συγκεκριμένοι επαγγελματικοί προσομοιωτές στηρίζονται στην αρχή της απόλυτης μηχανικής αναπαράστασης της συσκευής που προσομοιώνεται, όπως και στην πραγματική κίνηση των μηχανικών τμημάτων που τις απαρτίζουν μέσω εξειδικευμένων σερβομηχανισμών. Από την κίνηση δε αυτή των χειριστηρίων των μοχλών ή ακόμα και του πατώματος όπου βρίσκεται ο εκπαιδευόμενος, προκύπτει η αίσθηση της αφής στον χρήστη (αλλά ως αντίδραση που παράγεται στο δάκτυλο από

την κίνηση των χειριστηρίων, ή στο όλο σώμα από την κλήση του καθίσματος (λόγω βαρύτητας) ή από την επιτάχυνση του δαπέδου του προσομοιωτή.

Διάφορες μελέτες έχουν γίνει με σκοπό να μελετηθεί η οπτικο-απτική διάσταση στην αποδοτικότητα της επαγγελματικής κατάρτισης σε συσχετισμό με την τεχνολογία τέτοιων συστημάτων. Οι αντίστοιχες έρευνες για θέματα εκπαίδευσης (σε αντιδιαστολή με την κατάρτιση), εκτός του ότι είναι σημαντικά πιο πολύπλοκες (λόγω του ότι εδώ εμπλέκεται και το θέμα της διδακτικής προσέγγισης), χρειάζεται να αναμείνουν την ανάπτυξη νέου τύπου απτικών συστημάτων κατάλληλων για την γενική εκπαίδευση. Τούτο διότι είναι προφανές ότι “παραδοσιακοί προσομοιωτές” του τύπου που περιγράφηκε δεν έχουν μέλλον στην γενική εκπαίδευση. Κατ’ αρχήν υπάρχει το θέμα του υπέρογκου κόστους. Καίτοι οι συσκευές αυτές ελέγχονται από συστοιχίες πανίσχυρων υπολογιστών (των οποίων το κόστος μειώνεται με την πάροδο του χρόνου), η ηλεκτρομηχανική φύση του interface (που επιπλέον ποικίλει με τον ακριβή τύπο της συσκευής που προσομοιώνει) παραμένει προς κατασκευή, κάτι που αυξάνει το συνολικό κόστος κατασκευής σε δυσθεώρητα επίπεδα. Μία προσπάθεια να χρησιμοποιηθούν στην γενική εκπαίδευση συσκευές προσομοίωσης βασισμένες στην παλαιά αυτή τεχνολογία, θα οδηγούσε π.χ. στην ανάπτυξη πολλών συγκεκριμένων ανεξάρτητων συσκευών η κάθε μία από τις οποίες να προσομοιώνει ένα μόνο πείραμα Φυσικής. Κάτι τέτοιο θα ήταν όχι μόνο οικονομικά ανέφικτο, αλλά επίσης εν πολλοίς εκπαιδευτικά ανεπιθύμητο, λόγω ακριβώς της φύσης της εκπαίδευσης σε αντιδιαστολή με την κατάρτιση. Τούτο καθότι εδώ δεν εξετάζεται η περίπτωση ενός εργαστηρίου βασισμένου σε μικροεπεξεργαστές (MBL, microprocessor based laboratory) όπου υπάρχουν φυσικά αντικείμενα που τα χειρίζεται ο μαθητής (με την συνεπαγόμενη απτική ανάδραση), και όπου μόνον η λήψη και επεξεργασία των δεδομένων γίνονται από μικροεπεξεργαστές, αλλά αντιθέτως μελετάται η περίπτωση προσομοίωσης που στερείται προσομοιωσιμότητας.

Είναι δύσκολο, λόγου χάριν, να φανταστούμε την προσομοίωση ενός σχολικού εργαστηρίου ηλεκτρισμού (όπου ο μαθητής έχει κάθε δυνατότητα να κάνει λάθος σύνδεση και να μάθει από τα λάθη του) από έναν προσομοιωτή παλαιού τύπου, ακριβώς λόγω της μειωμένης του ευελιξίας, που θα συνεπαγόταν την ελλιπή δυνατότητα προσομοίωσης του μαθητικού σφάλματος. Έτσι καταλήγουμε αναγκαστικά στην καθολική προσομοίωση μέσω λογισμικού, που ναι μεν είναι πλήρης και ευέλικτη πλην όμως υστερεί σε απτική ανάδραση, μετακινώντας και συνδέοντας τις διάφορες εικονικές συσκευές με το ποντίκι του Η/Υ. Η ευελιξία φέρνει όμως την δυσκολία. Αντί να έχουμε συγκεκριμένους μοχλούς και χειριστήρια (όπως στους παραδοσιακούς προσομοιωτές), καλούμαστε εδώ να προσομοιώσουμε την αίσθηση που προκαλεί κάθε αντικείμενο που αγγίζει ο χρήστης. Παρά την δυσκολία δημιουργίας τέτοιων μονάδων από ακριβώς πέτυχε η ερευνητική προσπάθεια MUVII, κατά την οποία δημιουργήθηκε αναδραστική μονάδα εισόδου-εξόδου δεδομένων, με την μοναδικότητα ότι εκτός από την χρήση δυνάμεων και ροπών στις 3 διαστάσεις (ήδη κάτι σπάνιο), δημιουργεί και απτικά (tactile) ερεθίσματα στα δάκτυλα του χρήστη. Δημιουργείται έτσι μία πλήρης απτική (haptic) αίσθηση, ενώ επιπροσθέτως, πρόκειται για μια συσκευή ειδικά σχεδιασμένη για εκπαιδευτική χρήση και συγκεκριμένα για δημιουργία εικονικού απτικού εργαστηρίου φυσικής.

4. Περιγραφή του προγράμματος MUVII

Οι βασικοί στόχοι του προγράμματος MUVII ήταν δύο: Κατ' αρχήν η ανάπτυξη δύο καινοτόμων συσκευών απτικής ανάδρασης όπως ο μηχανισμός δημιουργίας **τεχνητής αφής από την επιφάνεια των αντικειμένων** Haptic-3D-Interface (H3DI), εκτός της ανάδρασης από δύναμη και ροπή. Επιπροσθέτως, η καινοτόμος πλατφόρμα στην οποία ενσωματώθηκε ο μηχανισμός (H3DI) που ονομάστηκε Interactive Kiosk Demonstrator (IKD) δηλαδή το αλληλεπιδραστικό “κιόσκι” επίδειξης. Ο μηχανισμός αφής (haptic device) ενεργοποιεί τους αισθητήρες πίεσης που βρίσκονται στις απολήξεις των νεύρων στο χέρι του χρήστη προσδίδοντάς του, μέσω της νέας αίσθησης (tactile feedback), ένα επιπρόσθετο επίπεδο ρεαλισμού σχετικά με τη φύση των εικονικών αντικειμένων που αγγίζει ή μετακινεί. Ο χρήστης αισθάνεται (εκτός από την προαναφερθείσα πρωτόγνωρη αφή στις απολήξεις των δακτύλων του) επιπλέον ανάδραση υπό μορφή δύναμης και ροπής (force and torque feedback), που ασκούνται από το εικονικό αντικείμενο στο χέρι του, όταν (αντίστοιχα) προσπαθήσει να το μετακινήσει ή να το στρέψει. Εκτός από τα απτικά αυτά ερεθίσματα, ο χρήστης επίσης λαμβάνει στο αλληλεπιδραστικό αυτό περιβάλλον στερεοσκοπικά οπτικά ερεθίσματα (**3D-vision**), όπως και περίτεχνα χωρο-ακουστικά τοιαύτα (**3D-audio**). Το πανεπιστήμιο Πάτρας (HPCLab - εργαστήριο Πληροφοριακών Συστημάτων Υψηλών Επιδόσεων) σχεδίασε και ενοποίησε την πλατφόρμα IKD, και ανέπτυξε το τρισδιάστατο λογισμικό εφαρμογών.

Σε συνεργασία με το Εργαστήριο Θετικών Επιστημών του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του πανεπιστημίου Πατρών, εκπονήθηκαν οι τεχνικές προδιαγραφές της συσκευής H3DI, όπως και οι εκπαιδευτικές προδιαγραφές του καινοτόμου εκπαιδευτικού λογισμικού εφαρμογών που χρησιμοποιήθηκε στο “κιόσκι”. Ομοίως πραγματοποιήθηκε η τελική εκπαιδευτική δοκιμή της συνολικής πλατφόρμας (με το εκπαιδευτικό λογισμικό) σε μαθητές και δασκάλους. Οι άλλοι συνεργάτες του προγράμματος ήταν: Laval Mayenne Technopole (Γαλλία), CEA – Commissariat a l' Energie Atomique (Γαλλία), SINTEF – The Foundation for Scientific and Industrial Research at the Norwegian Institute of Technology (Νορβηγία), De Pinxi (Βέλγιο), Institut für Kommunikationsakustik – Ruhr University of Bochum (Γερμανία), ONDIM (Γαλλία), CompuTouch (Νορβηγία), CentrePIC (Ρωσία).

Η δυνατότητα χρήσης στην εκπαιδευτική διαδικασία ενός περιβάλλοντος με “ρεαλιστική τρισδιάστατη όραση, αφή, και ήχο”, όντως υπόσχεται πολλά. Ο σκοπός του MUVII IKD ήταν να αναπτύξει διάφορα νέα και καινοτόμα αλληλεπιδραστικά εκπαιδευτικά παραδείγματα, που να ενσωματώνουν χρηστικά καινοτομίες στο υλικό, όπως η αλληλεπίδραση του χρήστη μέσω τρισδιάστατης εικόνας (3D-vision) τρισδιάστατου ήχου (3D-audio) και πλήρους απτικής ανάδρασης με δύναμη, ροπή, και αφή σχετιζόμενη με τις εξωτερικές ιδιότητες των σωμάτων (***haptic -force, torque, and tactile-feedback***). Η διαδικασία που ακολουθήθηκε στο σχεδιασμό, την εφαρμογή και την εκπαιδευτική δοκιμή του IKD ήταν η εξής:

1. Συγκεντρώθηκαν οι αναλύσεις / επιθυμίες των χρηστών σε σχέση με την απτική συσκευή IKD, όπως και σε σχέση με τις εκπαιδευτικές εφαρμογές (σχεδιασμένες εκπαιδευτικά σύμφωνα με το εποικοδομητικό πρότυπο).

2. Καθορίστηκαν με λεπτομέρεια οι προδιαγραφές της συσκευής ΙΚΔ σε συσχετισμό με τους διαφόρους τεχνικούς περιορισμούς, έτσι ώστε να είναι τεχνικά υλοποιήσιμες. Ομοίως καθορίστηκαν οι τεχνικές προδιαγραφές των διαφόρων εκπαιδευτικών εφαρμογών όπως και της συνολικής πλατφόρμας (κίόσκι).
3. Σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε η συσκευή ΙΚΔ.
4. Σχεδιάστηκε η αρχιτεκτονική της υποστηρικτικής πλατφόρμας ΙΚΔ.
5. Σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε το λογισμικό εφαρμογών του ΙΚΔ.
6. Ενοποιήθηκε το υλικό και λογισμικό (που αποτελείτο από διάφορες μονάδες).
7. Πραγματοποιήθηκε η εκπαιδευτική δοκιμή.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εκπαιδευτικής δοκιμής που πραγματοποιήθηκε σε διάστημα ενός μηνός στην Ελλάδα, με ένα δείγμα 163 μαθητών καθώς και κάποιες παρατηρήσεις που έκαναν οι εκπαιδευτικοί τα μέρη των οποίων συμμετείχαν στην έρευνα.

5. Ανάλυση των εκπαιδευτικών αναγκών και των προτιμήσεων των χρηστών

Η ανάλυση των προτιμήσεων το χρηστών έδειξε ότι σε ό,τι αφορούσε στη συσκευή, οι χρήστες προτιμούσαν μια απτική συσκευή που θα μπορούσε να φορεθεί σαν γάντι αντί ενός joystick (χειριστηρίου). Μεταξύ των χαρακτηριστικών που οι περισσότεροι χρήστες θεώρησαν ως σημαντικά ήταν η δυνατότητα να πιάνουν και να χειρίζονται αντικείμενα στον εικονικό χώρο, καθώς και το να αισθάνονται τις δυνάμεις και την απτική ανάδραση σε όσο το δυνατόν περισσότερα δάχτυλα. Ανάλυση των εκπαιδευτικών αναγκών προσδιόρισε τη δυνατότητα να ερευνηθούν διάφορα τρισδιάστατα αντικείμενα για λήψη πληροφοριών σχετικά με το υλικό κατασκευής τους, τον τύπο της εξωτερικής τους επιφάνειας, το μέγεθος, τη μορφή τους, κ.λπ. Ο ρεαλισμός της τελικής προσομοίωσης κρίθηκε ότι αποτελεί ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό για την εκπαιδευτική χρήση της συσκευής από παιδιά. Έτσι δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση ώστε η κίνηση χεριών και δαχτύλων να είναι πιστή και ακριβής.

Λαμβάνοντας υπ' όψη τον εκπαιδευτικό ρόλο, κρίθηκε απαραίτητο η συσκευή να είναι εύκολη στην χρήση, έτσι ώστε να μπορούν να την χειριστούν άτομα χωρίς βαθιά γνώση των ηλεκτρονικών υπολογιστών ή της ρομποτικής ή της φυσικής. Άλλα σημαντικά ζητούμενα ήταν το όσο το δυνατόν χαμηλότερο βάρος της συσκευής έτσι ώστε ακόμα και παιδιά να μπορούν να το χειριστούν όπως και η κατά το δυνατόν μεγαλύτερη ελευθερία κινήσεων. Ήταν προτιμότερο να αποτελεί η συσκευή μια φυσική συνέχεια του χεριού των χρηστών, ώστε κινώντας ελεύθερα το χέρι να δρουν στο περιβάλλον της εκπαιδευτικής εφαρμογής.

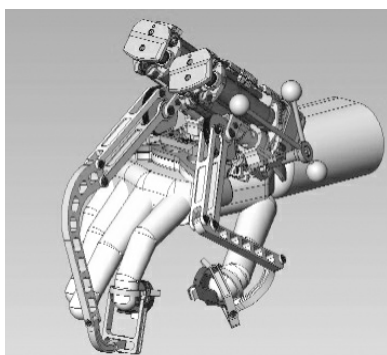
Όσον αφορά τα τρισδιάστατα ηχητικά χαρακτηριστικά, θεωρήθηκε ως εκπαιδευτικά ενδιαφέρουσα η δυνατότητα να μπορούν τα παιδιά να αντιληφθούν την κατεύθυνση, την απόσταση, και την ένταση του ήχου. Η δυνατότητα επικοινωνίας με τους άλλους χρήστες με τη χρήση ακουστικών “ανοιχτού” τύπου, συμβάλλει στην ανάπτυξη της ικανότητας για συνεργατική μάθηση μεταξύ των μαθητών όπως και των αντίστοιχων εκπαιδευτικών τεχνικών.

Η μορφή της συσκευής ΙΚΔ καθορίστηκε μετά από προσεκτική μελέτη των εκπαιδευτικών αναγκών και των προτιμήσεων των χρηστών, σε συνδυασμό με τους όποιους τεχνικούς περιορισμούς προερχομένους από την φύση της συσκευής. Με την έναρξη της εκπαιδευτικής ανάλυσης έγινε φανερό ότι εφαρμογές που έδιναν στους

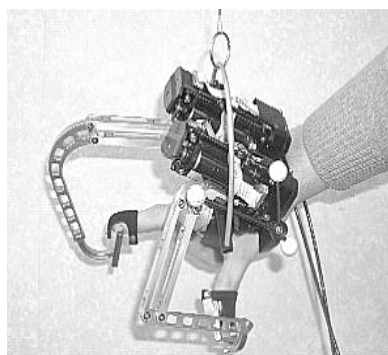
μαθητές την δυνατότητα να παρατηρούν και να εξετάζουν ελεύθερα ήταν πολύ πιο επωφελείς για αυτούς. Έτσι, ο σχεδιασμός αποσκοπούσε ακριβώς σε αυτό. Εκτιμήθηκε επίσης ότι το μεγαλύτερο εκπαιδευτικό πλεονέκτημα αποτελούσε η δυνατότητα προσομοίωσης επιστημονικών πειραμάτων που είναι επικίνδυνο ή δύσκολο να εκτελεστούν σε ένα σχολικό εργαστήριο, ή ακόμα και φύσει αδύνατο να εκτελεστούν οπουδήποτε⁴ (όπως λ.χ. υποθετικά πειράματα).

6. Το Πρωτότυπο του IKD Haptic 3D Interface (H3DI)

Ένα πρωτότυπο H3DI σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε από την ομάδα CEA, που ήταν συνεργάτης του προγράμματος. Αποτελείται από δύο ρομπότ 3-DoF που συνδέονται με το χέρι του χρήστη επιτρέποντας τις μετακινήσεις δαχτύλων χωρίς σοβαρούς περιορισμούς (ενώ το κλείσιμο των δαχτύλων γίνεται σε ένα άνοιγμα $\sim 20\text{mm}$, λόγω του μεγέθους των μηχανισμών τεχνητής αφής). Η μέγιστη δύναμη ανάδρασης (force feedback) σε κάθε δάχτυλο ορίστηκε στα 5N σε όλες τις κατευθύνσεις, ενώ το μέγεθος της συσκευής ήταν προσαρμόσιμο σε χέρια διαφόρων μεγεθών. Το χαρακτηριστικό



Εικόνα 1: IKD H3DI (CEA)

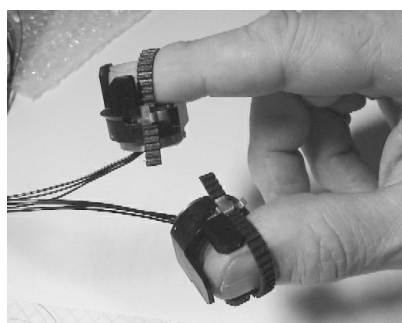


Εικόνα 2: IKD H3DI (CEA)

αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, αφού η συσκευή έπρεπε να χρησιμοποιείται από μαθητές σημαντικά διαφορετικών ηλικιών.



Εικόνα 3: Γεννήτρια ερεθισμάτων αφής (CompuTouch)



Εικόνα 4: Γεννήτριες ερεθισμάτων αφής (CompuTouch)

Στον δείκτη και τον αντίχειρα τοποθετήθηκαν δύο γεννήτριες ερεθισμάτων αφής (tactile motors) υψηλής τεχνολογίας, οι οποίες επέτρεπαν στους χρήστες να αισθάνονται τις επιφάνειες ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους. Αναπτύχθηκαν από την CompuTouch, και η καθεμία τους ζύγιζε μόνο 15gr, με διάμετρο 20mm, και ύψος 15mm. Αυτά ενσωματώθηκαν στο H3DI διατηρώντας τα άκρα των δακτύλων ελεύθερα για καλή αίσθηση απτικής ανάδρασης (tactile feedback), ενώ το μικρό τους βάρος άφηνε ανεπηρέαστη την δύναμη ανάδρασης (force feedback) στα δάχτυλα.

7. Οι καινοτομίες της σύνθετης πλατφόρμας IKD

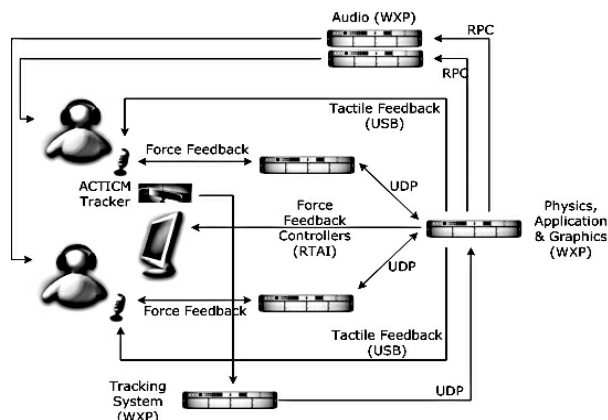
Το διαδραστικό περιβάλλον MUVII χρησιμοποίησε τρεις αισθήσεις για να αλληλεπιδράσει με το χρήστη: όραση (visual), αφή (haptic) και ήχο (aural). Για να επιτευχθεί η ποιοτικότερη εμπύθιση σε περιβάλλον εικονικής (ή υπερβατικής) πραγματικότητας, επελέγησαν οι καλύτερες και ρεαλιστικότερες λύσεις για την παραγωγή κάθε μίας από τις τρεις αισθήσεις, ενώ ιδιαίτερη σημασία δόθηκε στην (χωρο-χρονική και ποσοτική) σύνδεση των τριών αισθημάτων μεταξύ τους. Έτσι το MUVII παρέχει τρισδιάστατη εικόνα (3D vision), τρισδιάστατο ήχο (3D audio), και αφή η οποία δίνει στον χρήστη ανάδραση ως δύναμη, ως ροπή, και ως αίσθηση αφής στις άκρες των δακτύλων όταν αυτός αγγίζει ένα εικονικό αντικείμενο, ανάλογα με την υφή του αντικειμένου. Επιπροσθέτως το IKD του MUVII παρουσίασε νέα αλληλεπιδραστικά παραδείγματα (paradigms) με τα εικονικά αντικείμενα μέσω της χρήσης προηγμένων τεχνικών.

Οι καινοτομίες του IKD περιελάμβαναν:

- Την διασύνδεση των υψηλής ακρίβειας αισθημάτων από τις 3 αισθήσεις που προαναφέρθηκαν (3D-audio και 3D-graphics και full haptics), για τη δημιουργία ενός περιβάλλοντος που φαινόταν ρεαλιστικό σε όψη και σε αίσθηση, έτσι ώστε να είναι κατάλληλο για εκπαιδευτική και ελαφρά ψυχαγωγική χρήση.
- Τον σχεδιασμό και υλοποίησης μιας εξειδικευμένης απτικής συσκευής (βλέπε εικόνες 1 και 2) που προσδίδει ανάδραση με 3 βαθμούς ελευθερίας (3DoF) ως προς την δύναμη και την ροπή όπως επίσης και την αφή στα άκρα των δακτύλων ανάλογη με την υφή του εικονικού αντικειμένου που επεξεργάζεται ο χρήστης.
- Τον εξειδικευμένο σχεδιασμό της απτικής συσκευής ειδικά για εκπαιδευτική χρήση.
- Τον σχεδιασμό μιας καινοτόμου ευέλικτης, τμηματοποιημένης, και επεκτάσιμης αρχιτεκτονικής πλατφόρμας, ως υπόβαθρο του συνολικού συστήματος για το IKD του MUVII. Η αρχιτεκτονική αυτή μπορεί να υποστηρίξει την ταυτόχρονη χρήση δύο απικών συσκευών, επιτρέποντας ταυτόχρονη χρήση από πολλούς χρήστες (όπως δάσκαλος-μαθητής ή 2 μαθητές) ώστε να προάγει την συνεργασία μεταξύ μαθητών και να αυξήσει τις εκπαιδευτικές επιλογές.
- Την δυνατότητα καθορισμού της θέσης (στον χώρο), όπως και της κίνησης του κεφαλιού και του χεριού, για δύο χρήστες ταυτόχρονα.
- Ειδικά εξελιγμένο τρισδιάστατο ψηφιακό ήχο απίστευτης λεπτομέρειας: χρήση ακουστικών ανοικτού τύπου, καθορισμός θέσης και προσανατολισμού του κεφαλιού, και δημιουργία-σύνθεση τρισδιάστατης ηχητικής παρέμβασης για κάθε χρήση σε “πραγματικό χρόνο”, έτσι ώστε ο ήχος να προσαρμόζεται αυτόματα και στιγμιαία σε κάθε δράση του χρήστη.
- Καινοτόμες εκπαιδευτικές διαδραστικές μεταφορές (metaphors), όπως συνδυασμός οπτικών με απτικές ή ηχητικών με απτικές μεταφορές, με σκοπό την δημιουργία

ολοκληρωμένου εκπαιδευτικού περιβάλλοντος μάθησης, το οποίο ο χρήστης να προσλαμβάνει ως οικείο προς αυτόν.

- Υποστήριξη προηγμένων μεθόδων προγραμματισμού και συντήρησης λογισμικού μέσω της χρήσης γνωστών και εμπορικά διαθέσιμων εργαλείων όπως το *virtools*.
- Καινοτόμες εκπαιδευτικές εφαρμογές που επιδεικνύουν τις απτικές δυνατότητες της συσκευής IKD του MUVII, με σκοπό την εκμάθηση και ταχεία προσαρμογή του χρήστη στις ιδιότητες (και στον τρόπο χρήσης) της μονάδας δημιουργίας απτικών ερεθισμάτων H3DI. Επιτυγχάνεται έτσι γρηγορότερα και καλύτερα η προσαρμογή του μαθητή στην χρήση της καινοτόμου συσκευής, έτσι ώστε με την έναρξη χρήσης του εκπαιδευτικού λογισμικού με αίσθηση αφής να το χρησιμοποιεί άνετα, μεγιστοποιώντας τις εκπαιδευτικές ωφέλειες.



Εικόνα 5: Αρχιτεκτονική υλικού που απαρτίζει το IKD

Στην εικόνα 5 παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του υλικού (hardware) που απαρτίζει το IKD. Φαίνονται οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές κατηγορίας PC που ελέγχουν καθεμιά από τις αυτοτελείς μονάδες (modules) του IKD. Ομοίως διακρίνονται (διαγραμματικά) η ροή δεδομένων και οι δράσεις του δικτύου που συνδέει τους διάφορους H/Y τόσο με τα περιφερειακά όσο και μεταξύ τους.

8. Οι εκπαιδευτικές εφαρμογές

Η λέξη *haptics* (από την ελληνική λέξη άπτομαι) σημαίνει την εφαρμογή αίσθησης αφής. Η αίσθηση αυτή επιτυγχάνεται με τη χρήση ειδικών μονάδων εισόδου / εξόδου (joysticks, data gloves, κλπ) στους υπολογιστές, που οδηγούνται από ειδικά σχεδιασμένες εφαρμογές που ελέγχουν αυτές τις συσκευές. Οι εφαρμογές αυτές στέλνουν ανάδραση (feedback) στα δάχτυλα, το χέρι ή άλλα μέρη του σώματος του χρήστη. Η απτική ανάδραση (tactile feedback) μπορεί να συνδυαστεί με στεροσκοπική 3D οπτική παρουσίαση. Ο συνδυασμός αυτός προσφέρει μια μεγάλη ποικιλία εφαρμογών ξεκινώντας από τα εικονικά σχολικά εργαστήρια και φτάνοντας μέχρι την εκμάθηση οδήγησης αυτοκινήτου, την χειρουργική ή ακόμα την “οδήγηση” ενός διαστημοπλοίου.

Σε ένα τέτοιο περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας ο χρήστης μπορεί:

- να ερευνήσει διάφορα τριδιάστατα 3D αντικείμενα (απτική ανάδραση που περιγράφει το υλικό κατασκευής, το είδος της επιφάνειας, το μέγεθος, το σχήμα το βάρος κ.λ.π.)
- να αισθανθεί πλήρη απτική ανάδραση με δύναμη, ροπή και αφή (που προκαλείται από βάρος, ροπή κ.λ.π.
- να επιλέξει, σηλώσει, κρατήσει, μετακινήσει προσανατολίσει και αφήσει / τοποθετήσει αντικείμενα
- να ακούσει ήχους, που προσομοιάζουν τους ήχους που προκαλούνται από επιφάνειες που τρίβονται μεταξύ τους, ή από επιφάνειες που συγκρούονται κ.λ.π.

Οι απτικές συσκευές προσφέρουν παραπάνω δυνατότητες στην μάθηση. Όταν διδάσκονται διάφορες δεξιότητες σε μια παραδοσιακή τάξη, ο δάσκαλος επιδεικνύει με πραγματικά αντικείμενα τα οποία (ειδικότερα για μικρής ηλικίας μαθητές) ζητά από τον μαθητή να αγγίξει, όπως λ.χ. στην εκμάθηση κάποιου μουσικού οργάνου. Κατ'αντιστοιχία, ή απτική αναπαράσταση σε συστήματα εικονικής πραγματικότητας έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να επικοινωνεί όχι μόνο οπτικά αλλά και κατευθείαν μέσω του χειριού του μαθητή. Διαγράφεται έτσι η δυνατότητα προόδου στο περιβάλλον μάθησης πέρα από την κατάρτιση χρηστών με περιγραφικές μεθόδους. Υπάρχει πλέον η δυνατότητα ανάπτυξης νέων τακτικών χειρισμού των εικονικών αντικειμένων, έτσι ώστε να δίδεται μια πραγματική αίσθηση αφής και κίνησης, μέχρις ότου περατωθεί το σύνολο της πολύπλοκης χειροκίνητης διαδικασίας.

Τα κοινά εικονικά περιβάλλοντα (δηλαδή αυτά χωρίς απτική ανάδραση) συνήθως παρέχουν ένα φτηνότερο και ασφαλέστερο περιβάλλον εξάσκησης και εκμάθησης από το περιβάλλον του πραγματικού κόσμου που προσομοιάζουν. Η χρήση των εικονικών περιβαλλόντων και (ταυτοχρόνως) της απτικής ανάδρασης στην εκπαιδευτική διαδικασία μπορεί να βελτιώσει την ποιότητα της μάθησης, και (ίσως) να επηρεάσει και τον χρόνο που απαιτείται ώστε να επιτευχθεί η μάθηση. Η παρούσα μελέτη αποτελεί την πρώτη προσπάθεια διερεύνησης των προαναφερθέντων υποθέσεων.

(Α) Νευτώνεια Φυσική και πλανητικό σύστημα και (Β) εικονική συναρμολόγηση μοντέλου, οδοντωτοί τροχοί (το καθένα από αυτά με κατάσταση εκμάθησης, ανακεφαλαίωσης και εκπαίδευσης-διασκέδασης)

Από εκπαιδευτική άποψη, και οι 2 εφαρμογές βασίζονται στην εποικοδομητική θεωρία της μάθησης¹³ (constructivist theory), σύμφωνα με την οποία ο μαθητής είναι υπεύθυνος για την δική του μάθηση. Ο μαθητής για να μάθει πρέπει να χτίσει μόνος του την γνώση.

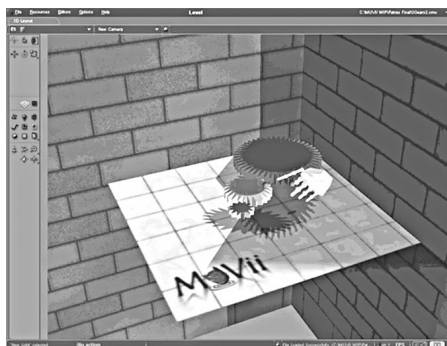
Όπως ήδη αναφέρθηκε, η διδασκαλία με χρήση υπολογιστή επιτρέπει στο μαθητή να μαθαίνει ακολουθώντας το δικό του ρυθμό⁴, ή ακόμα να αποφασίζει πόσο χρόνο θα ασχοληθεί με ένα θέμα σύμφωνα με τα δικά του ενδιαφέροντα. Στις εκπαιδευτικές εφαρμογές του ΜΥΠΗ ΙΚΔ, όταν το πρόγραμμα βρίσκεται στην κατάσταση “ενεργού χειρισμού” ο χρήστης μπορεί να αποφασίσει ποια αντικείμενα και με ποιο τρόπο θα τα χειριστεί. Έτσι ο χρήστης αλληλεπιδρά με τα αντικείμενα που επιλέγει, με τον τρόπο που αυτός αποφάσισε, και αισθάνεται την αντίδραση που προκαλούν οι δικές του ενέργειες. Αυτό κεντρίζει το ενδιαφέρον του, και αυξάνει την προσοχή του. Είναι ευρέως αποδεκτό ότι ο έλεγχος που εξασκεί ο χρήστης πάνω στα (εικονικά) αντικείμενα είναι

ένα σημαντικό και ενδιαφέρον χαρακτηριστικό του εκπαιδευτικού λογισμικού εικονικής πραγματικότητας. Υπάρχουν λόγοι να πιστεύουμε ότι το ποσοστό της γνώσης που τελικά κατακτάει ο μαθητής μετά από μια τέτοια δραστηριότητα είναι μεγαλύτερο από αυτό που θα κατακτούσε σε μια παραδοσιακή διδασκαλία όπου ο μαθητής ακούει παθητικά τον δάσκαλο να μιλάει.

Στην εφαρμογή «Νευτώνεια Φυσική και πλανητικό σύστημα» ο χρήστης αλληλεπιδραστικά (και εικονικά) περιηγείται στο πλανητικό σύστημα, ενώ παράλληλα συλλέγει πληροφορίες για οτιδήποτε κινεί το ενδιαφέρον του. Ο χρήστης δοκιμάζει τα αποτελέσματα των δυνάμεων που αναπτύσσονται όταν ένα σώμα επιταχύνει (π.χ. όταν προσπαθεί να το βγάλει από την τροχιά του), αλλά και τις βαρυτικές δυνάμεις που ασκούνται σε ένα αντικείμενο σε διαφορετικές αποστάσεις από τον ήλιο ή κάποιον άλλο πλανήτη. Φυσικά σε μια τέτοια περίπτωση ο χρήστης έχει υπέρ-δυνάμεις. Με την βοήθεια των απτικών συσκευών οι μαθητές μπορούν να αισθανθούν και σταδιακά να μάθουν τους νόμους της απλής μηχανικής, όπως αυτές εφαρμόζονται στο ηλιακό μας σύστημα (βλέπε εικόνα 6).



Εικόνας 6: Αίσθηση της βαρύτητας Πλανήτης: Ερμής. Διάμετρος: 4.878km



Εικόνα 7: οδοντωτοί τροχοί



Εικόνα 8: Νερόμυλος

Η εφαρμογή «εικονική συναρμολόγηση μοντέλου: οδοντωτοί τροχοί» προσφέρει κατ' αρχήν μια ιστορική αναδρομή στα γρανάζια και τους οδοντωτούς τροχούς. Στη συνέχεια ο χρήστης προσπαθεί να συναρμολογήσει εφαρμογές που χρησιμοποιούν οδοντωτούς τροχούς. Ο χρήστης αισθάνεται την επίδραση από παράγοντες όπως το βάρος, η τριβή,

η κίνηση, η περιστροφή κ.λ.π. Η εφαρμογή αυτή μπορεί ακόμα να χρησιμοποιηθεί για να καταλάβουν οι μαθητές την μετάδοση της κίνησης από το ένα μέρος μιας μηχανής σε ένα άλλο. Η εικόνα 7 εμφανίζει μια όψη από την εφαρμογή αυτή, ενώ η εικόνα 8 εμφανίζει μια οθόνη από την εφαρμογή του νερόμυλου.

9. Λήψη δεδομένων και ανάλυσή τους

Σύμφωνα με την εποικοδομητική θεωρία (constructivist theory), οι εκπαιδευτικοί διαδραματίζουν έναν υποβοηθητικό ρόλο στη διαδικασία της μάθησης. Οι ιδέες των μαθητών αντιπροσωπεύουν την πρώτη ύλη την οποία οι ίδιοι οι μαθητές καλούνται να αναδομήσουν. Επομένως, η αφετηρία για τη διαδικασία της μάθησης είναι ο προσδιορισμός των ιδεών των μαθητών, που επιτυγχάνεται συνήθως με τη χορήγηση ενός pre-test δηλαδή ενός ερωτηματολογίου ανίχνευσης προϋπάρχουσας γνώσης.

Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε, με μαθητές από τυχαία επιλεγμένα σχολεία. Οι δάσκαλοί τους ήταν πολύ συνεργάσιμοι και πέρασαν την γενικότερα θετική τους στάση στους μαθητές. Οι μαθητές αρχικά συμπλήρωσαν το pre-test. Στην συνέχεια οι μαθητές εισήλθαν στο χώρο που βρισκόταν η απτική συσκευή, σε ομάδες 4 ή 5 ατόμων.

Κάθε ομάδα μαθητών παρακολούθησε μια επίδειξη – εισαγωγή της λειτουργίας της απτικής συσκευής και κατόπιν ένας-ένας την χρησιμοποιούσαν. Τα υπόλοιπα μέλη της ομάδας παρατηρούσαν τον συμμαθητή τους που χρησιμοποιούσε την απτική συσκευή. Μόλις η μαθητική ομάδα ολοκλήρωνε τις απτικές εφαρμογές, συμπλήρωνε και ένα δεύτερο ερωτηματολόγιο post-test. Όλοι οι μαθητές χρησιμοποιούσαν την απτική συσκευή, αλλά οι εφαρμογές για κάθε ομάδα μαθητών ήταν διαφορετικές και επιλέχτηκαν κυρίως με βάση την ηλικία τους.

Το περιεχόμενο των εφαρμογών εκπαιδευτικού λογισμικού σχεδιάστηκε από πανεπιστημιακούς ειδικούς στην διδασκαλία του γνωστικού αντικείμενου, σε συνεργασία με εν ενεργεία εκπαιδευτικούς, και υλοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο Πατρών με την επίβλεψη πανεπιστημιακών ειδικών στον προγραμματισμό υπολογιστών. Η εκπαιδευτική δοκιμή σχεδιάστηκε με την επίβλεψη πανεπιστημιακών με εμπειρία στην εκπαιδευτική έρευνα και πραγματοποιήθηκε από ερευνητές και εκπαιδευτικούς. Εδώ πρέπει να επισημάνουμε ότι στην παρούσα έρευνα εξετάστηκε κυρίως η άποψη των μαθητών σε σχέση με τη συσκευή όπως και τη διδασκαλία με χρήση νέων τεχνολογιών. Έτσι, ο χρόνος κατά τον οποίο δόθηκε το δεύτερο ερωτηματολόγιο δεν θεωρείται κρίσιμος, αφού η άποψη σπουδαστών για τη συσκευή είναι απίθανο να αλλάξει πολύ με την πάροδο του χρόνου. Στην ουσία η παρούσα έρευνα αξιολογεί την διασύνδεση του εκπαιδευτικού λογισμικού με την απτική συσκευή, και την αλλαγή στη στάση των μαθητών απέναντι στην απτική συσκευή η οποία προέκυψε ως συνέπεια της επαφής τους με αυτήν.

Η εκπαιδευτική δοκιμή του IKD και του λογισμικού εφαρμογών πραγματοποιήθηκε με μαθητές που επιλέχτηκαν τυχαία. Οι μαθητές που συμμετείχαν στην εκπαιδευτική δοκιμή επισκέφτηκαν το χώρο του εργαστηρίου του πανεπιστημίου Πατρών (HPCLab) όπου είχε τοποθετηθεί η απτική συσκευή.

Στην παρούσα εκπαιδευτική δοκιμή συμμετείχαν **163** μαθητές, και πιο συγκεκριμένα: **64** μαθητές πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης,

74 μαθητές γυμνασίου και 25 μαθητές λυκείου.

Κάθε μελέτη (όπως και κάθε μέτρηση, ή κάθε αξιολόγηση) περιλαμβάνει διάφορα πειραματικά σφάλματα (experimental errors). Κάθε πειραματική μέτρηση που τελικά παρουσιάζεται ισχύει μόνο μέσα στα όρια των πειραματικών σφαλμάτων της συγκεκριμένης μέτρησης, τα οποία είναι, άρα, απολύτως απαραίτητο να υπολογίζονται και να παρουσιάζονται σε κάθε μελέτη. Τα πειραματικά αυτά σφάλματα αποτελούνται από τα συστηματικά (systematic errors), και από τα περισσότερο γνωστά στατιστικά (statistical errors), και οι τιμές τους είναι γενικά διαφορετικές για καθιεμιά μέτρηση και όχι ενιαίες για όλη την μελέτη.

Καμία πειραματική μέθοδος δεν μπορεί να αποφύγει τα συστηματικά σφάλματα. Παρεμπιπτόντως, τα συστηματικά σφάλματα δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να συγχέονται με το όποιο “εγγενές σφάλμα” ή και “εκτροπή” (διεθνώς γνωστό ως bias) που (αν υπάρχει και εφόσον διευκρινιστεί η τιμή του) μπορεί και πρέπει να αφαιρεθεί από την τιμή του τελικού αποτελέσματος της μέτρησης. Αντιθέτως, τα συστηματικά σφάλματα είναι πανταχού παρόντα. Πάντως στην παρούσα εργασία δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στην ελαχιστοποίηση τους. Στη συνέχεια έγινε προσπάθεια να σταθμισθεί το μέγεθός τους, που ορίστηκε στο 3,5%, μία τιμή που θεωρήθηκε σωστή και η οποία είναι συγκρίσιμη σε μέγεθος με όλα τα στατιστικά σφάλματα της έρευνας. Αυτό σημαίνει ότι στα συνολικά πειραματικά σφάλματα δεν κυριαρχούν ούτε τα στατιστικά ούτε τα συστηματικά σφάλματα, και αυτό γενικά ισχύει για κάθε ένα σημείο διαγράμματος που παρουσιάζεται.

Όλοι οι στατιστικοί υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν με ειδικά κατασκευασμένο λογισμικό, σε συνδυασμό με ένα υπολογιστικό και σχεδιαστικό πακέτο. Υπολογίστηκε η στατιστική διασπορά (variance) όπως και η τυπική απόκλιση σύμφωνα με τη διόρθωση κατά Bessel (Bessel-corrected standard deviation) και ο υπολογισμός επαναλήφθηκε ξεχωριστά για κάθε σημείο καθενός διαγράμματος. Το τελικό συνολικό σφάλμα υπολογίζεται (για κάθε σημείο) αθροίζοντας τα τετράγωνα των συστηματικών και των στατιστικών σφαλμάτων, και λαμβάνοντας την τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος αυτού. Αυτό γίνεται διότι τα δύο είδη σφαλμάτων (συστηματικό και στατιστικό) είναι εξ’ ορισμού ανεξάρτητα μεταξύ τους.

Έχει τονιστεί και αλλού ότι ραβδωτά διαγράμματα δεν πρέπει ποτέ να χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν αποτελέσματα πειραματικής έρευνας, ενώ είναι κατάλληλα μόνο για σύγκριση στοιχείων όταν η μέτρηση είναι αδιαμφισβήτητη ή με ελάχιστα περιθώρια σφάλματος (λ.χ. αριθμός πλοίων που ανήκουν σε διάφορες εφοπλιστικές εταιρείες σε συγκεκριμένη ημέρα). Το ίδιο ισχύει για τα όποια αριθμητικά ποσοστά που απλά παρουσιάζονται χωρίς ποσοτική ένδειξη πειραματικού σφάλματος, τα οποία επίσης ουσιαστικά σηματοδοτούν μια πλημμελή και επιφανειακή ποσοτική έρευνα, είτε αυτό γίνεται ακούσια (λόγω άγνοιας) είτε εκούσια (συχνά η περίπτωση δημοσιεύσεων σε MME), των οποίων τα όποια δυνητικά απατηλά “συμπεράσματα” χωρίς περαιτέρω επεξεργασία λίγο διαφέρουν από απλές εικασίες. Για τον λόγο αυτό, τα ακόλουθα δεδομένα παρουσιάζονται με την μορφή ιστογραμμάτων.

Οι ράβδοι σφαλμάτων (error bars) που εμφανίζονται σε κάθε σημείο κάθε ιστογράμματος αντιστοιχούν (αριθμητικά) σε μία συνολική τυπική απόκλιση (standard deviation) εκατέρωθεν του σημείου, όπως αυτή έχει υπολογισθεί λαμβάνοντας υπ_

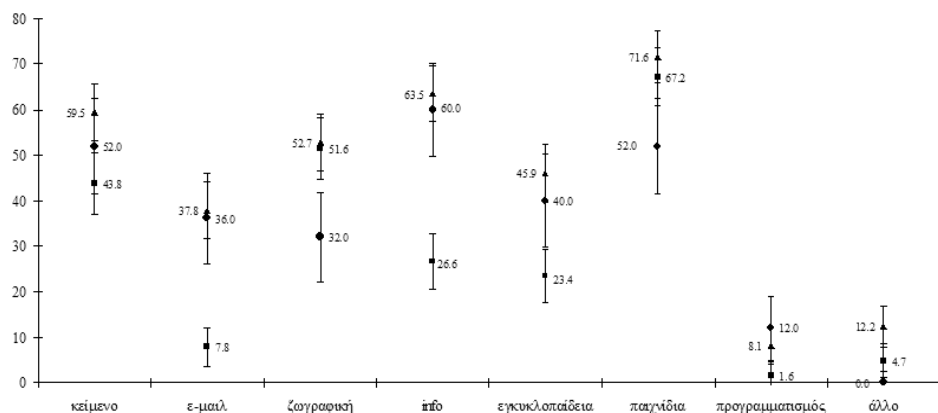
όψιν το συνολικό σφάλμα για το σημείο αυτό. Σε μερικές από τις ερωτήσεις που παρουσιάζονται οι μαθητές μπορούσαν να επιλέξουν περισσότερες από μία απαντήσεις. Για τον λόγο αυτό, είναι δυνατό το άθροισμα των ποσοστών σε αυτές τις ερωτήσεις να είναι μεγαλύτερο του 100. Τα **τετράγωνα** απεικονίζουν τις ιδέες των μαθητών των **δημοτικών** σχολείων, τα **τρίγωνα** αντιπροσωπεύουν τους μαθητές γυμνασίου, ενώ οι κύκλοι αντιπροσωπεύουν τους μαθητές λυκείου.

10. Pre-test: Ερωτήσεις που τέθηκαν στους μαθητές πριν χρησιμοποιήσουν το οπτικό σύστημα του MUVII

10.1. Pre-test: Έχεις χρησιμοποιήσει ηλεκτρονικό υπολογιστή στο σπίτι;

Φαίνεται ότι οι περισσότεροι γονείς αγοράζουν υπολογιστή στα παιδιά τους σε αρκετά μικρή ηλικία. Το 76,6% ($\pm 6,4\%$) των μαθητών δημοτικού, το 81,1% ($\pm 5,8\%$) των μαθητών γυμνασίου και το 72,0% ($\pm 9,8\%$) των μαθητών λυκείου απάντησαν ότι έχουν Η/Υ στο σπίτι τους.

10.2. Pre-test: Με τι είδους δραστηριότητες ασχολείσαι στον υπολογιστή του σπιτιού σου; (Μπορείς να επιλέξεις περισσότερες από μία επιλογές)

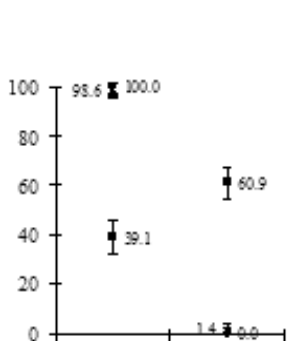


τετράγωνα = δημοτικά, τρίγωνα = γυμνάσια, κύκλοι = λύκεια

Οι περισσότεροι μαθητές (όλων των ηλικιών) χρησιμοποιούν τον υπολογιστή του σπιτιού τους για να γράφουν κείμενα, να παίξουν παιχνίδια και για να ζωγραφίσουν. Οι μεγαλύτεροι μαθητές χρησιμοποιούν τον υπολογιστή τους και για δραστηριότητες βασισμένες στο διαδίκτυο (αναζήτηση πληροφοριών, ηλεκτρονικό ταχυδρομείο και συνομιλία με άλλα άτομα). Τα ποσοστά των μαθητών που χρησιμοποιούν ηλεκτρονικές εγκυκλοπαίδειες αυξάνουν στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση (από περίπου 23,4% $\pm 5,9$ σε περίπου 40,0% $\pm 10,3$ - ή και περισσότερο για τα γυμνάσια). Αντίθετα τα μεγαλύτερα σε ηλικία παιδιά, χρησιμοποιούν λιγότερο εφαρμογές όπως η ζωγραφική. Πολύ λίγοι μαθητές έχουν χρησιμοποιήσει τον υπολογιστή του σπιτιού τους για προγραμματισμό (μόνο ένα 12,0% $\pm 7,1$ από τους μαθητές λυκείου). Παρατηρούμε ακόμα ότι η χρήση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου είναι ακόμα σχετικά σπάνια στην Ελλάδα. Γενικά η διείσδυση του internet (διαδικτύου) στα ελληνικά σπίτια είναι

ακόμα χαμηλή (η δεύτερη θέση από το τέλος στην ΕΕ-15 και από τις τελευταίες ακόμα και στην ΕΕ-25, ενώ στην διείσδυση υψηλής ταχύτητας διαδικτύου –broadband internet- η Ελλάς καταλαμβάνει την τελευταία θέση στην Ευρώπη).

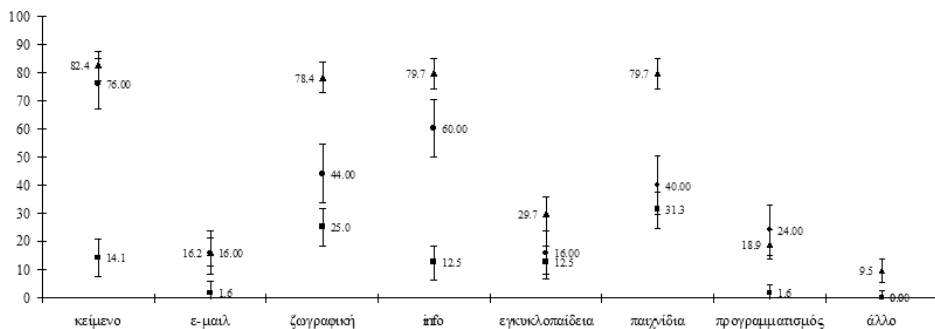
10.3. Pre-test: Έχετε υπολογιστές στο σχολείο;



Στο διάγραμμα εμφανίζεται σημαντική διαφορά μεταξύ των μαθητών δημοτικού και των μαθητών γυμνασίου και λυκείου, κάτι αναμενόμενο αφού σε όλα τα γυμνάσια και λύκεια υπάρχει πλέον εργαστήριο υπολογιστών, και το μάθημα υπολογιστών περιλαμβάνεται στο αναλυτικό πρόγραμμα σπουδών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Στα σχολεία πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης, η κατάσταση είναι πολύπλοκη. Σε μερικά σχολεία (ολοήμερα) οι υπολογιστές διδάσκονται το απόγευμα ως μέρος του εκτεταμένου προγράμματος σπουδών. Σε κάποια άλλα, ο σύλλογος γονέων προσλαμβάνει έναν

καθηγητή για να κάνει μαθήματα υπολογιστών στα παιδιά τους. Το πιο σημαντικό όμως είναι ότι δεν υπάρχει αναλυτικό πρόγραμμα για τα δημοτικά σχολεία, καθώς και το ότι παρόλο που το μάθημα των υπολογιστών θα μπορούσε να συνδεθεί με τα υπόλοιπα μαθήματα του αναλυτικού προγράμματος με πάρα πολλούς τρόπους, (π.χ. αναζήτηση στοιχείων για αρχαιολογικούς χώρους που διδάσκονται στην ιστορία από το site του υπουργείου πολιτισμού, αναζήτηση πληροφοριών για τη γεωγραφία, διδασκαλία έκθεσης με χρήση επεξεργαστή κειμένου, και πάρα πολλά άλλα) τελικά διδάσκεται αυτόνομα, αποκομμένο από τα υπόλοιπα μαθήματα.

10.4. Pre-test: Με τι είδους δραστηριότητες ασχολείσαι στον υπολογιστή του σχολείου σου; (Μπορείς να επιλέξεις περισσότερες από μία επιλογές)



τετράγωνα = δημοτικά, τριγωνα = γυμνάσια, κύκλοι = λύκεια

Οι περισσότεροι μαθητές γυμνασίου – λυκείου απάντησαν ότι χρησιμοποιούν το σχολικό υπολογιστή κυρίως για να γράψουν κείμενα. Τα μεγαλύτερα παιδιά χρησιμοποιούν αρκετά τον υπολογιστή για την αναζήτηση πληροφοριών στο internet (διάδίκτυο). Αξίζει να αναφερθεί και το υψηλό ποσοστό των μαθητών που παίζουν παιχνίδια στην ώρα του μαθήματος της πληροφορικής! Αυτά τα ποσοστά κυμαίνονται

από 31,3% \pm 6,4 για τα παιδιά σχολείων πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης ως σχεδόν 80% για το γυμνάσιο. Η χρήση εγκυκλοπαιδειών είναι ακόμα σπάνια στα σχολεία (ίσως γιατί οι καλές από αυτές δεν υπάρχουν στην ελληνική γλώσσα). Ελάχιστοι μαθητές έχουν ασχοληθεί με προγραμματισμό (δηλ. μόνο 24,0% \pm 9,0 του λυκείου που είναι και το μέγιστο από τα ποσοστά). Το σύνολο των μαθητών χρησιμοποιεί ελάχιστα το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο. Οι μαθητές γυμνασίου χρησιμοποιούν αρκετά και τη ζωγραφική (κάτι αναμενόμενο αφού αποτελεί μέρος της σχολικής ύλης!).

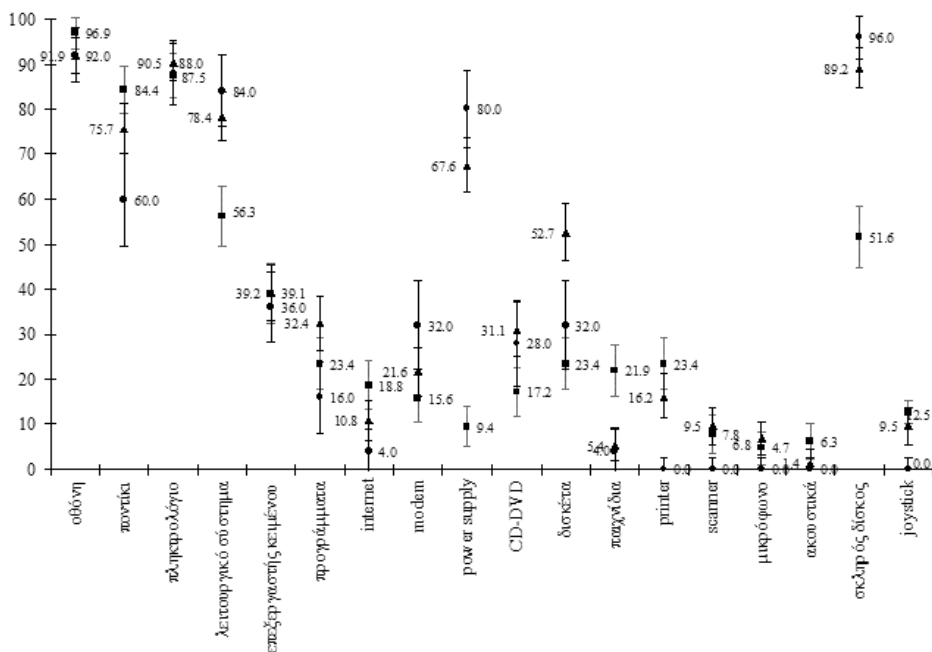
10.5. Pre-test: Pre-test: Μαθητές και σχέση τους με το internet

Βρέθηκε ότι όσο μικρότερη η ηλικία των μαθητών, τόσο σπανιότερα συνδέονται στο internet (διαδίκτυο) κάτι που ήταν αναμενόμενο.

Οι μαθητές χρησιμοποιούν το internet (διαδίκτυο) κυρίως για να αναζητήσουν τραγούδια και ring tones, ενώ οι μεγαλύτεροι το χρησιμοποιούν επίσης για να συνομιλήσουν είτε με φίλους είτε σε chat rooms. Οι μαθητές λυκείου δηλώνουν ότι χρησιμοποιούν το δίκτυο και για να βρουν πληροφορία.

10.6. Pre-test: Ποια από τα παρακάτω αντικείμενα είναι απολύτως απαραίτητα για τη λειτουργία ενός προσωπικού υπολογιστή;

Η ερώτηση αυτή τέθηκε για να ανιχνεύσει το επίπεδο κατανόησης των μαθητών σχετικά με τους υπολογιστές και τη λειτουργία τους.



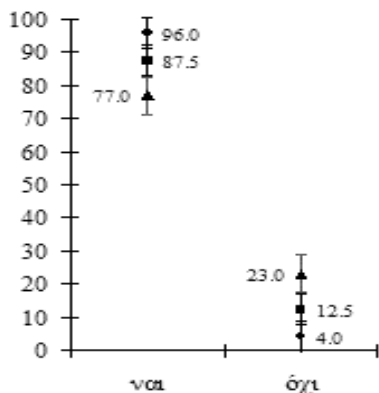
τετράγωνα = δημοτικά, τρίγωνα = γυμνάσια, κύκλοι = λύκεια

Τα αποτελέσματα είναι ενδιαφέροντα αλλά και αναμενόμενα. Οι μαθητές δημοτικού

προσδιορίζουν ως απαραίτητα στοιχεία για τη λειτουργία ενός Η/Υ αυτά που μπορούν να δουν (το λειτουργικό σύστημα είναι για αυτά ένα CD) αλλά δεν αναφέρουν την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, η οποία είναι απολύτως απαραίτητη. Οι μεγαλύτεροι μαθητές καταλαβαίνουν καλύτερα τη λειτουργία του υπολογιστή.

Μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το σχολικό εκπαιδευτικό σύστημα είναι στο σωστό δρόμο ώστε να κατανοήσουν οι μαθητές τη λειτουργία των υπολογιστών. Το αν τα δεδομένα που παρουσιάζονται είναι ικανοποιητικά αποτελεί ένα άλλο ερώτημα. Πάντα μπορούμε να τα πάμε καλύτερα.

10.7. Pre-test: Θα ήθελες να παρακολουθήσεις ειδικά μαθήματα πληροφορικής που θα εξηγούν λεπτομερώς τη λειτουργία του υπολογιστή;

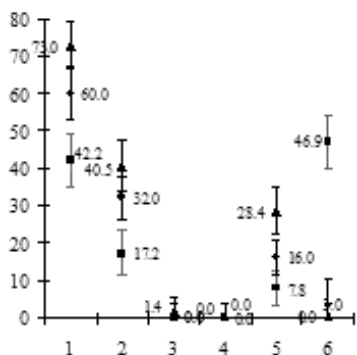


τετράγωνα = δημοτικά
 τρίγωνα = γυμνάσια
 κύκλοι = λύκεια

Παρατηρούμε ότι η πλειοψηφία των μαθητών, ακόμα και αυτών του λυκείου που έχουν ήδη παρακολουθήσει αντίστοιχα μαθήματα, επιθυμεί να παρακολουθήσει ένα ειδικό μάθημα για τη λειτουργία των υπολογιστών.

11. Post-test: ερωτήσεις που τέθηκαν στους μαθητές μετά την επαφή τους με το MUVII.

11.1. Post-test: Ποια είναι η γνώμη σου σχετικά με τη χρήση οπτικών συσκευών στην καθημερινή διδασκαλία μαθημάτων;



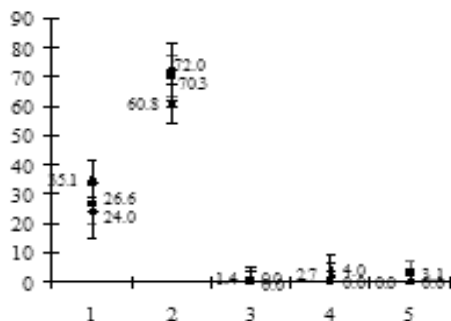
τετράγωνα = δημοτικά
 τρίγωνα = γυμνάσια
 κύκλοι = λύκεια

1. Ενδιαφέρον
2. Κάτι διαφορετικό
3. Βαρετό
4. Δε μπορούσα να καταλάβω τι έκανα
5. Αν σου άρεσε, περιέγραψε σύντομα το λόγο
6. Δεν απαντώ

Ένα μεγάλο ποσοστό από τους μεγαλύτερους σε ηλικία μαθητές, θεωρεί ότι η διδασκαλία με τη χρήση οπτικών συσκευών είναι ενδιαφέρουσα. Αντίθετα η πλειοψηφία των μικρότερων παιδιών προτίμησε να μην απαντήσει στην ερώτηση αυτή, κάτι ανα

μενόμενο αφού δεν είναι συνηθισμένοι να εκφέρουν την προσωπική τους γνώμη. Οι μαθητές γυμνασίου εμφανίζονται προθυμότεροι ως προς το να εξηγήσουν γιατί τους άρεσε. Πρέπει να τονιστεί εδώ ότι 0,0% ($\pm 3,5\%$) των μαθητών δημοτικού και λυκείου βρήκε τη διαδικασία βαρετή ή καθόλου ενδιαφέρουσα, ενώ στα γυμνάσια το ποσοστό ήταν 1,4% ($\pm 3,7\%$). Αν και ουσιαστικά όλοι οι μαθητές έχουν θετική άποψη για την εμπειρία τους, πολύ λίγοι αιτιολόγησαν το γιατί τους άρεσε.

11.2. Post-test: Πώς σου φάνηκε το περιεχόμενο της εκπαιδευτικής διαδικασίας;



τετράγωνα = δημοτικά,

τρίγωνα = γυμνάσια

κύκλοι = λύκεια

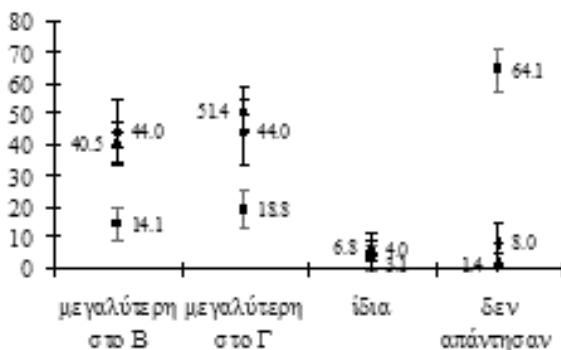
1. Ενδιαφέρον και σχετικό με το πρόγραμμα σπουδών
2. Ενδιαφέρον αλλά όχι τόσο σχετικό με το πρόγραμμα σπουδών
3. Βαρετό
4. Πολύ δύσκολο για εμένα
5. Δεν απαντώ

Οι περισσότεροι από τους μαθητές βρήκαν τις εκπαιδευτικές εφαρμογές ενδιαφέρουσες, αλλά μη σχετιζόμενες με το αναλυτικό πρόγραμμα. Το αναλυτικό πρόγραμμα διαμορφώθηκε πριν πολλά χρόνια, έτσι πολύ λίγα θέματα μπορούν να αποτελέσουν παραδείγματα για να υλοποιηθούν σε μια απτική συσκευή. Κρίνοντας λοιπόν τις εκπαιδευτικές εφαρμογές ως μη σχετιζόμενες με το αναλυτικό πρόγραμμα, οι μαθητές απλά επιβεβαιώνουν, την κοινή πλέον άποψη μεταξύ της εκπαιδευτικής κοινότητας, ότι το αναλυτικό πρόγραμμα βασίζεται σε κείμενα και σε απομνημόνευση και όχι στην ουσιαστική γνώση και την κατανόηση. Κατά κάποιο τρόπο, αυτό το σχόλιο των μαθητών αποτελεί φιλοφρόνηση για το ΜUVII. Η μη συσχέτιση με το αναλυτικό πρόγραμμα σημαίνει ότι το ΜUVII είναι πραγματικά ενδιαφέρον, και ότι εμβαθύνει στις έννοιες που διαπραγματεύεται. Κανένας μαθητής δεν βρήκε την νέα εκπαιδευτική διαδικασία βαρετή ή την διδασκαλία πολύ δύσκολη.

11.3. Post-test: Στην εφαρμογή με τα γρανάζια προσπάθησες να σταματήσεις τα γρανάζια χρησιμοποιώντας το δάχτυλό σου. Χρησιμοποίησες την ίδια ή διαφορετική δύναμη για κάθε ένα;

Το αποτέλεσμα σε αυτή την ερώτηση (στο διάγραμμα που ακολουθεί) δεν είναι ικανοποιητικό. Βλέπουμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των μαθητών του δημοτικού δεν απάντησε σε αυτήν την ερώτηση. Τα παιδιά του γυμνασίου και του λυκείου μοιράζονται. Οι μισοί από αυτούς επιλέγουν το μεγάλο γρανάζι και οι άλλοι μισοί το μικρό (κάτι που ήταν αναμενόμενο). Φαίνεται ότι πιστεύουν ότι η μια από τις δύο δυνάμεις πρέπει να είναι μικρότερη. Συμπεραίνουμε ότι χρειάζονταν περισσότερο χρόνο για

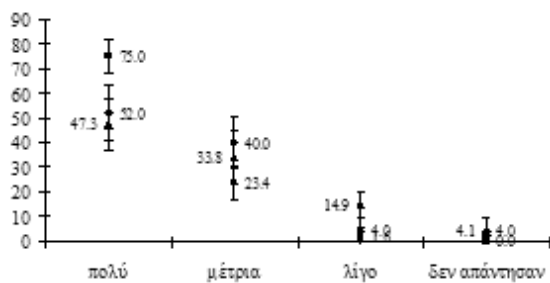
την άσκηση αυτή.



τετράγωνα = δημοτικά, τρίγωνα = γυμνάσια, κύκλοι = λύκεια

11.4. Post-test: πόσο ενδιαφέρουσες σου φάνηκαν οι εφαρμογές;

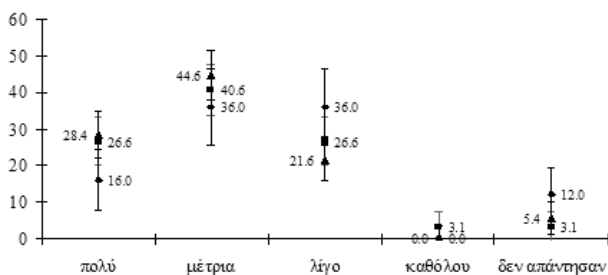
α) Πλανήτες



τετράγωνα = δημοτικά,
τρίγωνα = γυμνάσια,
κύκλοι = λύκεια

Η μεγάλη πλειοψηφία των παιδιών βρήκε την εφαρμογή αυτή πολύ ενδιαφέρουσα. Τα μικρότερα παιδιά, όπως αναμενόταν, ενθουσιάστηκαν περισσότερο σε σχέση με τα μεγαλύτερα.

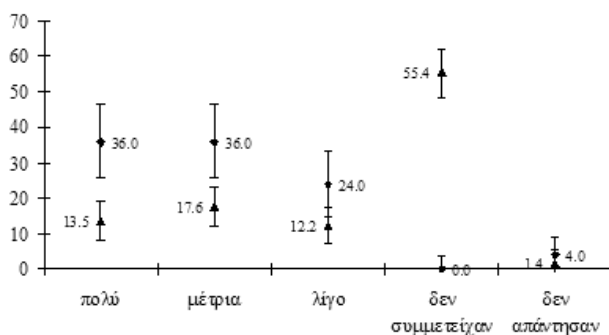
β) Γρανάζια



τετράγωνα = δημοτικά,
τρίγωνα = γυμνάσια,
κύκλοι = λύκεια

Τα περισσότερα παιδιά επέλεξαν το “μέτρια” όταν ρωτήθηκαν το πόσο ενδιαφέρουσα τους φάνηκε αυτή η εφαρμογή.

β) Ο νερόμυλος



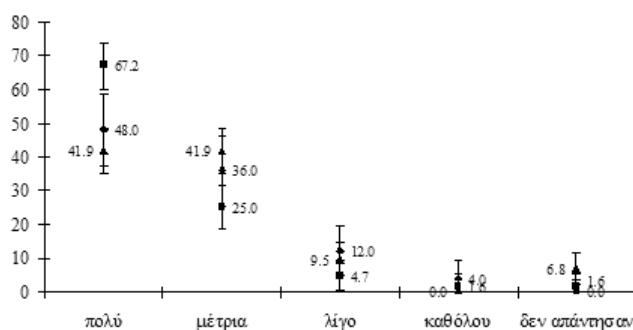
τρίγωνα = γυμνάσια,
κύκλοι = λύκεια

Οι μαθητές δημοτικού δεν παρακολούθησαν την εφαρμογή αυτή (και άρα δεν παρουσιάζονται αποτελέσματα για αυτούς στα διαγράμματα). Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι μόνο οι μαθητές λυκείου βρήκαν αυτή την εφαρμογή ενδιαφέρουσα. Αυτό δεν μας προκαλεί έκπληξη, καθώς αυτή η εφαρμογή χαρακτηρίστηκε από τους ερευνητές ως δύσκολη. Σχεδόν οι μισοί από τους μαθητές γυμνασίου δεν ασχολήθηκαν με αυτή την εφαρμογή. Αυτό οφείλεται στη δυσκολία της εφαρμογής, καθώς και στους χρονικούς περιορισμούς.

11.5. Post-test: Βαθμολόγησε το εκπαιδευτικό λογισμικό σύμφωνα με το πόσο κατανοητή ήταν κάθε εφαρμογή

α) Πλανήτες

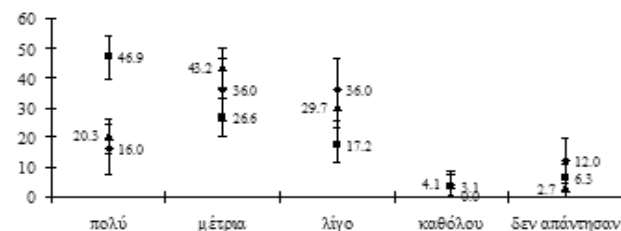
τετράγωνα = δημοτικά,



τρίγωνα = γυμνάσια,
κύκλοι = λύκεια

Οι περισσότεροι από τους μαθητές δημοτικού βρήκαν αυτή την εφαρμογή κατανοητή, ενώ ένα ποσοστό μικρότερο του 50% από τους μαθητές γυμνασίου και λυκείου συμφωνεί με αυτό.

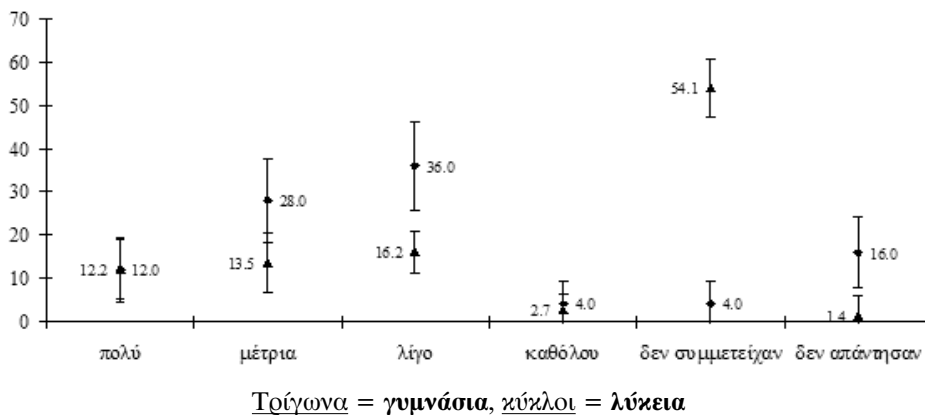
β) Γρανάζια



τετράγωνα = δημοτικά,
τρίγωνα = γυμνάσια,
κύκλοι = λύκεια

Τα παιδιά του δημοτικού ενθουσιάστηκαν περισσότερο με αυτή την εφαρμογή.

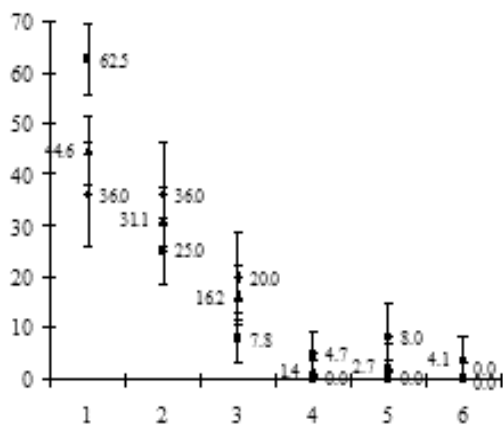
β) Νερόμυλος



Όπως ήδη αναφέρθηκε οι μαθητές δημοτικού δεν παρακολούθησαν την εφαρμογή αυτή. Έτσι στο διάγραμμα παρουσιάζονται μόνο οι απαντήσεις από τους μαθητές γυμνασίου και λυκείου.

Τα παιδιά του δημοτικού δεν βρήκαν ενδιαφέρουσα αυτή την εφαρμογή.

11.6. Post-test: Αντιμετώπισης προβλήματα / δυσκολίες με τον εξοπλισμό ή τα προγράμματα που χρησιμοποιήσαμε;

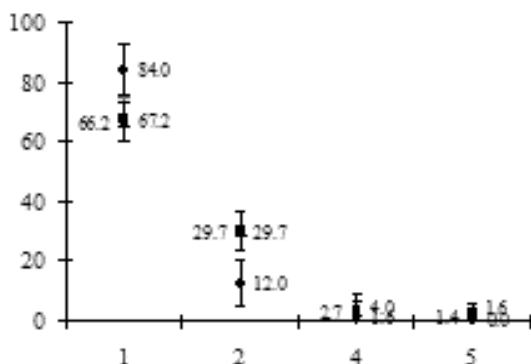


τετράγωνα = δημοτικά,
 τρίγωνα = γυμνάσια,
 κύκλοι = λύκεια

1. Δεν αντιμετώπισα καμία δυσκολία. Όλα δούλεψαν καλά
2. Αντιμετώπισα κάποιες δυσκολίες με τη συσκευή
- 3 Υπήρχαν κάποια τεχνικά προβλήματα που αφορούσαν στη συσκευή
4. Οι εφαρμογές ήταν πολύ δύσκολες και περίπλοκες
5. Οι εφαρμογές δε λειτούργησαν όπως αναμενόταν
6. Δεν απαντώ

Παρατηρούμε ότι οι μεγαλύτεροι μαθητές είναι πιο απαιτητικοί, αλλά παρ' όλα αυτά οι περισσότεροι μαθητές φαίνεται να μην αντιμετώπισαν δυσκολίες.

11.7. *Post-test: Θα ήθελες να χρησιμοποιήσεις ξανά αυτή τη συσκευή στη διάρκεια μαθημάτων;*



τετράγωνα = δημοτικά,

τρίγωνα = γυμνάσια,

κύκλοι = λύκεια

1. Ναι, σίγουρα θα συμμετείχα αν υπήρχε στο σχολείο
2. Ναι, σίγουρα θα συμμετείχα και εύχομαι να είχα τέτοιες συσκευές και στο σπίτι
3. Δεν είμαι σίγουρος
4. Σίγουρα όχι! Δε θα ήθελα να συμμετάσχω σε άλλο τέτοιο μάθημα

Η πλειοψηφία των μαθητών, 67,2% ($\pm 7,0\%$) για τους μαθητές δημοτικού, 66,2% ($\pm 6,6\%$) για τους μαθητές γυμνασίου και 84,0% ($\pm 8,3\%$) για τους μαθητές λυκείου, είναι πρόθυμοι να συμμετάσχουν ξανά σε μάθημα με χρήση μιας απτικής συσκευής, ενώ ένα καλό ποσοστό θα ήθελε να έχει μια τέτοια συσκευή διαθέσιμη για οικιακή χρήση. Πιστεύουμε ότι όλοι οι μαθητές θα ήθελαν μια τέτοια συσκευή στο σπίτι τους, αλλά κατανοούν ότι το μέγεθος της συσκευής είναι απαγορευτικό για οικιακή χρήση εξ αιτίας του περιορισμένου χώρου που υπάρχει στα περισσότερα σπίτια.

12. Αξιολόγηση της απτικής ανάδρασης

Οι εφαρμογές του IKD ενσωμάτωσαν τον μηχανισμό αφής Haptic-3D-Interface για να παρέχουν δύο τύπους ανάδρασης. Η ανάδραση πρώτου τύπου εμφανίζεται στα δάκτυλα του χρήστη όταν συγκρούεται με ένα τρισδιάστατο εικονικό αντικείμενο (δηλαδή γρήγορη κίνηση των γεννητριών ερεθισμάτων αφής (tactile motors) σε συνδυασμό με άσκηση δύναμης ή ροπής αντίστοιχα). Η ανάδραση δεύτερου τύπου παρέχει στο χέρι του χρήστη πληροφορίες για το είδος του υλικού που κρατά στο χέρι του (η οποία και υλοποιείται με κίνηση-δόνηση της γεννήτριας ερεθισμάτων αφής -tactile motor- με διαφορετικό τρόπο για διαφορετικά υλικά). Λόγω χρονικών περιορισμών στην φάση της ανάπτυξης, δεν αξιοποιήθηκαν όλες οι δυνατότητες της απτικής ανάδρασης (tactile feedback) σε όλες τις εφαρμογές. Στους διάφορους τύπους υλικών που εξομοιώθηκαν περιλαμβάνονται το ξύλο, το σίδηρο κ.λ.π. Η απτική ανάδραση (tactile feedback) των εικονικών συγκρούσεων ενσωματώθηκε και εξετάστηκε στην εφαρμογή “γρανάζια”.

Οι μαθητές χρησιμοποίησαν το εκπαιδευτικό λογισμικό αρχικά με απτική ανάδραση και ακολούθως χωρίς αυτήν. Αυτή η πρωτόγνωρη αίσθηση στα άκρα των δακτύλων τους, ενθουσίασε και ευχαρίστησε τους μαθητές οι οποίοι, όπως αναμέναμε, απόλαυσαν τις εφαρμογές περισσότερο όταν η ανάδραση (feedback) ήταν παρούσα. Εντούτοις, και δεδομένου ότι οι γεννήτριες ερεθισμάτων αφής (tactile motors) παρέχουν απλά μια “μεταφορά” (metaphor) για την αίσθηση της αφής, οι μαθητές ζήτησαν να βελτιωθεί ο τύπος και η ποικιλία των ερεθισμάτων προκειμένου να παρέ-

χουν ρεαλιστικότερα αισθήματα.

Το συμπέρασμα είναι ότι οι γεννήτριες ερεθισμάτων αφής (tactile motors) μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο ως “μεταφορά” (άλλωστε αυτός ήταν ο αρχικός σκοπός σχεδίασής τους), αν και η μεταφορά αυτή αποδείχθηκε εκπαιδευτικά σημαντική και συνάμα ευχάριστη. Ο χρήστης πρέπει, άρα, να περάσει μια περίοδο προσαρμογής στους διάφορους τρόπους με τους οποίους αντιδρά η γεννήτρια απτικών ερεθισμάτων, έτσι ώστε να μάθει πώς να εκλαμβάνει την κάθε μία. Αυτό το είδος ανάδρασης, που αποτελεί μια πλήρη καινοτομία για τις απτικές συσκευές, αναδεικνύεται ως σημαντικό πλεονέκτημα για τις νεώτερες απτικές συσκευές όπως το IKD, όπως τελικά και για εκπαιδευτικές εφαρμογές (όπως οι παρούσες) που υλοποιούνται με την χρήση τέτοιων συσκευών.

13. Συζήτηση και συμπεράσματα

Οι μαθητές ανταποκρίθηκαν αρκετά καλά στη χρήση της νέας απτικής συσκευής. Πιστεύουμε όμως ότι η συσκευή θα μπορούσε να έχει μια “πιο φιλική” εμφάνιση. Οι μαθητές ευχαριστήθηκαν κατά τη διάρκεια της εκπαιδευτικής δοκιμής, ενώ φαινόταν ακόμα και να το διασκεδάζουν. Οι περισσότεροι θα ήθελαν να χρησιμοποιήσουν ξανά τη συσκευή, και επίσης θα ήθελαν να δουν την απτική συσκευή να βελτιώνεται και να παρέχει ρεαλιστικότερη αίσθηση, αλλά επίσης να χρησιμοποιείται και σε περισσότερες (και πιο σύνθετες) εφαρμογές.

Η παρούσα εκπαιδευτική δοκιμή του λογισμικού και της συσκευής MUVII διήρκεσε περισσότερο από ένα μήνα, και επομένως ένας σημαντικός αριθμός μαθητών χρησιμοποίησε τη συσκευή. Φυσικά, παρουσιάστηκαν και κάποια τεχνικά προβλήματα που σχετίζονταν με το ότι το IKD χρησιμοποιείτο πολύ εντατικά (περισσότερο από 6 ώρες κάθε μέρα). Τα προβλήματα αυτά παρέμειναν μικρά και εν πολλοίς ασήμαντα, ενώ δεν προκάλεσαν μεγάλες καθυστερήσεις στην εκπαιδευτική δοκιμή.

Μερικές μικρές καθυστερήσεις ήταν αναπόφευκτες, αλλά οι μαθητές κατανοούσαν ότι αυτό ήταν αναμενόμενο και συμβαίνει σε οποιαδήποτε καινοτόμο τεχνολογία που δοκιμάζεται για πρώτη φορά. Αναφέρουμε χαρακτηριστικά ότι ούτε ένας μαθητής δεν εγκατέλειψε την αίθουσα εξαιτίας τεχνικών προβλημάτων.

Το πρώτο ενθαρρυντικό συμπέρασμα από την παρούσα έρευνα είναι ότι προηγμένη υπολογιστική τεχνολογία μπορεί να προσαρμοστεί με σχετική ευκολία ώστε να βοηθήσει στην διδασκαλία της επιστήμης (ίσως και άλλων γνωστικών αντικειμένων) ακόμη και σε μαθητές δημοτικού. Οι μαθητές φαίνεται να ανταποκρίνονται αρκετά καλά στη χρήση τόσο της οθόνης όσο και της απτικής συσκευής, και γενικά δεν αντιμετώπισαν δυσκολίες με το “κίβσοκι” του MUVII. Σήμερα τα παιδιά έχουν συνηθίσει να παίζουν ηλεκτρονικά παιχνίδια, να χειρίζονται κινητά τηλέφωνα και άλλες ηλεκτρονικές συσκευές και επομένως, προσαρμόζονται εύκολα στο χειρισμό συσκευών όπως η απτική συσκευή διασύνδεσης (haptic interface) του MUVII. Αυτό φαίνεται να ισχύει ακόμη και για παιδιά με μικρή προηγούμενη εμπειρία στη χρήση υπολογιστών.

Οι μαθητές του δημοτικού είχαν πολλές διαδικαστικού τύπου ερωτήσεις σχετικά με τα pre- και τα post-tests, δεδομένου ότι τα ερωτηματολόγια ήταν κάτι πρωτόγνωρο για αυτά. Φυσικά τους δόθηκαν όλες οι διευκρινήσεις. Παρατηρήθηκε επίσης ότι σε πολλές περιπτώσεις προσαπαθούσαν να συνεργαστούν μεταξύ τους σε μία προ-

σπάθεια να βρουν απάντηση σε ερωτήσεις στις οποίες συναντούσαν δυσκολίες. (Κάθε ερωτηματολόγιο θεωρείται από τα παιδιά ως βαθμολογούμενο τεστ, ακόμα και αν τους εξηγηθεί πως δεν ισχύει κάτι τέτοιο). Για τους μαθητές γυμνασίου η συμπλήρωση των ερωτηματολογίων ήταν ευκολότερη ενώ για τους μαθητές λυκείου ακόμα πιο εύκολη.

- Ένα μεγάλο ποσοστό των παιδιών βρήκε τη διδασκαλία με τη χρήση haptic interface (απτικών συσκευών διασύνδεσης) ενδιαφέροντα
- Οι περισσότεροι από τους μαθητές ενώ βρήκαν τις εφαρμογές να είναι ενδιαφέρουσες, παρατήρησαν ότι δεν είναι σχετικές με το αναλυτικό πρόγραμμα σπουδών
- Κανένας μαθητής δεν βρήκε την εκπαιδευτική δοκιμή βαρετή ή υπερβολικά δύσκολη
- Η μεγάλη πλειοψηφία των μαθητών έδειξε ενδιαφέρον όχι μόνο για τις εκπαιδευτικές εφαρμογές αλλά και για την συσκευή. Τα πιο μικρά παιδιά, που από τη φύση τους είναι πιο “ενθουσιώδη”, βρήκαν τις εφαρμογές πιο ενδιαφέρουσες από τους μεγαλύτερους μαθητές
- Η πλειοψηφία των σπουδαστών θα ήθελε να συμμετάσχει σε μελλοντικά μαθήματα με χρήση απτικών συσκευών διασύνδεσης (haptic interfaces), ενώ ένα αρκετά μεγάλο ποσοστό επιθυμεί επιπλέον μια τέτοια συσκευή να είναι διαθέσιμη στο σπίτι τους για προσωπική τους χρήση.

Όλοι οι μαθητές φαίνονταν ενθουσιασμένοι και χαρούμενοι μετά από τη δοκιμή. Ζήτησαν να μάθουν λεπτομέρειες όπως το κόστος της ή τον κατασκευαστή, αλλά και εάν θα διατεθούν τέτοιες συσκευές στην αγορά, ή αν θα υπάρξουν παιχνιδο-εφαρμογές. Παρατηρήθηκε ακόμα ότι τα κορίτσια μελετούσαν τις μετακινήσεις του χειριού τους προτού να τις εφαρμόσουν, και κατά συνέπεια, ο χειρισμός της απτικής συσκευής ήταν σταθερότερος. Τα αγόρια φάνηκαν πιο παρορμητικά και έκαναν τις κινήσεις γρήγορα (μερικές φορές σχεδόν αστεία). Τα ανωτέρω αποτελούν γενικές εκπαιδευτικές παρατηρήσεις που έγιναν από τους ερευνητές για το σύνολο των μαθητών. Πρέπει να αναφερθεί, ομοίως, ότι παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές στην ικανότητα χρήσης της συσκευής ανάμεσα σε μεμονωμένους μαθητές: μερικοί ήταν επιδεξιότεροι και προσαρμοστικότεροι από μερικούς άλλους.

Οι περισσότεροι μαθητές ανέφεραν ότι θα ήταν πιο ενδιαφέρον εάν υπήρχε απτική ανάδραση (tactile feedback) και στα πέντε δάχτυλα. Υποστήριξαν επίσης ότι θα ήθελαν περισσότερες εφαρμογές (π.χ. πρόσθετο εκπαιδευτικό λογισμικό ή παιχνίδια). Τέλος ανέφεραν ότι η εφαρμογή του “γαντιού” προς το χέρι του χρήστη χρειαζόταν βελτίωση ώστε να προσαρμόζεται καλύτερα στο μέγεθος της κάθε παλάμης. Πρέπει ακόμα να αναφερθεί ότι δύο παιδιά δημοτικού φοβήθηκαν όταν είδαν την απτική συσκευή, και αρχικά αρνήθηκαν να τη χρησιμοποιήσουν. Άλλαξαν όμως στάση αργότερα αφού είδαν τους συμμαθητές τους “εν δράση”, και ζήτησαν να την δοκιμάσουν. Αυτό το πρόβλημα σχετίζεται με την εμφάνιση, και μπορεί (και πρέπει) να λυθεί κάνοντας την απτική συσκευή ελκυστικότερη και καλύτερη τα μεταλλικά της στοιχεία.

Οι δάσκαλοι και καθηγητές των μαθητών που συμμετείχαν στην παρούσα έρευνα συμπλήρωσαν επίσης ένα ερωτηματολόγιο, και μίλησαν εκτεταμένα με τους ερευνητές για τις εντυπώσεις τους. Όλοι τους δήλωσαν πολύ ευχαριστημένοι από αυτήν την νέα εμπειρία (τόσο τη δική τους όσο και αυτή των μαθητών τους).

Συμπεράσματα: Παρά το γεγονός ότι η παρούσα έρευνα μπορεί να χαρακτηριστεί ως προκαταρκτική στο προηγμένο θέμα της εικονικής πραγματικότητας με χρήση απτικής ανάδρασης, φαίνεται να αποδεικνύει ότι η εισαγωγή των υπολογιστών (και της γενικότερης υψηλής τεχνολογίας που τους συνοδεύει) ως βοήθημα στη διδασκαλία είναι σήμερα η καλύτερη ευκαιρία για μια ουσιαστική εκπαιδευτική μεταρρύθμιση. Αυτή η σημαντική ευκαιρία δεν πρέπει να χαθεί, γιατί θα ωφελήσει την Ευρώπη και την ανθρωπότητα γενικότερα. Φυσικά, πριν οτιδήποτε άλλο, απαιτείται πολύ περισσότερη έρευνα στη χρήση της τεχνολογίας πληροφορικής και επικοινωνιών (ICT) στην διδασκαλία.

Επικεντρωνόμενοι ειδικά στο θέμα των προηγμένων απτικών συσκευών που προσφέρουν πλήρη απτική ανάδραση (δηλαδή δύναμη, ροπή, και αφή σχετιζόμενη με τις εξωτερικές ιδιότητες των σωμάτων - tactile feedback) πρέπει να αναφέρουμε ότι και εδώ απαιτείται περισσότερη έρευνα. Περαιτέρω έρευνα απαιτείται επίσης για την ανάπτυξη λογισμικού για αυτές, δηλαδή εφαρμογών που να είναι εκπαιδευτικά χρήσιμες και διδακτικά σωστές. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία είναι πολύ ενθαρρυντικά. Το πρόγραμμα MUVII αντιπροσωπεύει την πρώτη σοβαρή προσπάθεια να γίνει μια τέτοια (διδακτικά καθοδηγούμενη) ανάπτυξη εκπαιδευτικού λογισμικού που χρησιμοποιεί εικονική πραγματικότητα με χρήση προηγμένων καινοτομικών απτικών συσκευών ανάδρασης, και για τον λόγο αυτό, (υπενθυμίζοντας και το πλήθος των ερευνητικών ομάδων που απαρτίζουν όλη την συνεργασία MUVII), θεωρούμε τα παρόντα αποτελέσματα πραγματικά επιτυχή.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

¹ Solomon J., Teaching Science, Technology and Society Open University Press, (1993) p. 17

² Ioannidis G. S. and Garyfallidou D. M., A novel educational software to teach energy in its entirety was designed, developed, and tested: the first educational results, ICL International Conference Villach Austria, ISBN 3-89958-089-3, (2004)

³ Ioannidis G. S. and Garyfallidou D. M., Education using information and communication technology (ICT), and ICT education: categories methods and trends, In: Auer M. and Auer U. (Eds.) Proc. ICL2001 workshop: "Interactive Computer aided Learning, Experiences and visions", Villach, Austria, Kassel University Press, , ISBN 3-933146-67-4, (2001)

⁴ Ioannidis G. S., Garyfallidou D. M., & Spiliotopoulou-Papantoniou V.: Streaming Media in Education, and their impact in teaching and learning: Educational best practices and some first observations of their implementation, Published by Education Highway, ISBN 3 – 9500247 – 4 – 3, (First Edition, July 2005), also available at <http://estream.schule.at/>, κάτω από [products / events], με επιλογή στο πράσινο βιβλίο, κεφάλαιο 4

⁵ Όπως αναφορά 4, κεφάλαιο 5

⁶ Όπως αναφορά 3

⁷ Okamura A.M., Richard C. & Cutkosky M.R., Feeling is believing: Using a force-

feedback joystick to teach dynamic systems, ASEE Journal of Engineering Education, 92, 3 (Jul 2002), pp. 345-349

⁸ Sathian, K. , Zangaladze, A. , Hoffman, J. M. & Grafton, S. T., Feeling with the mind's eye, NeuroReport, 8, (1997), pp. 3877-3881

⁹ Itan, Y., Human motion perception mechanisms: A functional magnetic resonance imaging experiment applying Computational, Psychophysical and Physical methods, <http://www.homepages.ucl.ac.uk/~ucbpyit/Essay3PDF.pdf>

¹⁰ Nano-scale science education research group, College of education, NC state university, <http://ced.ncsu.edu/nanoscale/haptics.htm>

¹¹ Hayward V., Astley O.R., Cruz-Hernandez M., Grant D., Robles-de-la-Torre G., Haptic interfaces and devices, Sensor Review, Emerald Group Publishing Ltd., ISSN 0260-2288, Vol. 1, 1, pp. 16-29

¹² Bird M. and Gill G., Individual differences and technology attributes: An examination of educational technology considerations related to trade and industry training, Australian Journal of Educational Technology, 3, 2, (1987), pp. 108-118

¹³ Όπως αναφορά 4, κεφάλαιο 3

¹⁴ Ιωαννίδης Γ. Σ. και Γαρυφαλλίδου Δ. Μ., Εκπαιδευτικό λογισμικό πολυμέσα και Internet σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους, 1ο Διεθνές Συνέδριο Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών Λευκωσία, ISBN 9963-0-9062-1, (1999)