

# Πλαίσιο Ανάπτυξης Δραστηριοτήτων και Διδακτικής Αξιοποίησης Εκπαιδευτικού Λογισμικού Προσομοίωσης

Κανίδης Ενώγγελος<sup>1</sup>, Γρηγοριάδου Μαρία<sup>2</sup>, Βοσνιάδου Στέλλα<sup>1</sup>, Γόγουλου Αγορίτσα<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Διεπανεπιστημιακό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στη Βασική και Εφαρμοσμένη Γνωστική Επιστήμη Πανεπιστήμιο Αθηνών. vkanidis@di.uoa.gr, svosniad@cc.uoa.gr

<sup>2</sup> Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, Πανεπιστήμιο Αθηνών  
gregor@di.uoa.gr, rgog@di.uoa.gr

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται ένα πλαίσιο ανάπτυξης δραστηριοτήτων και διδακτικής αξιοποίησης εκπαιδευτικού λογισμικού προσομοίωσης για τη διδασκαλία εννοιών που σχετίζονται με τη δομή και τη λειτουργία της κρυφής μνήμης. Για την ανάπτυξη του εκπαιδευτικού λογισμικού ελήφθησαν υπόψη οι αντιλήψεις των φοιτητών, η αξιολόγηση υπαρχόντων σχετικών προγραμμάτων, και οι εκπαιδευτικοί στόχοι του αντίστοιχου μαθήματος της κρυφής μνήμης. Το λογισμικό αξιοποιήθηκε στο σχεδιασμό εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων που βασίζονται σε σύγχρονες θεωρίες μάθησης και αποσκοπούν στην εννοιολογική αλλαγή των φοιτητών από το ερμηνευτικό πλαίσιο της κύρια μνήμης στο νέο ερμηνευτικό πλαίσιο της κρυφής μνήμης. Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης των εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων είναι ενθαρρυντικά όσον αφορά στην εκπαιδευτική διαδικασία που ακολουθήθηκε και στην ενίσχυση του μαθησιακού αποτελέσματος.

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** Εκπαιδευτικό λογισμικό, αντιλήψεις φοιτητών, εκπαιδευτικές δραστηριότητες

## I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα ενδιαφέρον, αλλά με αρκετές δυσκολίες, τμήμα της διδασκαλίας της πληροφορικής σχετίζεται με τη διδακτική των εννοιών που αφορούν εσωτερικές λειτουργίες των υπολογιστών. Το θέμα αυτό παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον όχι μόνο λόγω των επιδράσεων που μπορεί να έχει στη διδασκαλία των ίδιων των εννοιών αλλά και επειδή οι εκπαιδευόμενοι μπορούν να οικοδομήσουν αποτελεσματικά τη γνώση τους για τον τρόπο λειτουργίας των υπολογιστών γενικότερα μόνο όταν κατανοήσουν το χαμηλότερο επίπεδο λειτουργίας τους (Clements, 2000). Το κύριο πρόβλημα στη διδακτική αυτών των εννοιών εντοπίζεται στο ότι δεν είναι άμεσα παρατηρήσιμες από τους φοιτητές. Οι εσωτερικές λειτουργίες συνήθως παρουσιάζονται μέσα από στατικά σχήματα ή μέσα από την παρουσίαση διαδοχικών βημάτων των επιμέρους λειτουργιών τους. Τα βήματα αυτά μπορούν να συνοδεύονται από γραπτές ή προφορικές επεξηγήσεις. Επίσης θα πρέπει να σημειωθεί ότι η δυνατότητα εκτέλεσης σχετικών πειραμάτων είναι περιορισμένη (Das, 2000; Hyde, 2000) και υπάρχει έλλειψη κατάλληλων εργαλείων για τη διδασκαλία των συγκεκριμένων εννοιών (Cassel, 2000).

Στην παρούσα εργασία περιγράφεται το πλαίσιο ανάπτυξης εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων και διδακτικής αξιοποίησης του λογισμικού προσομοίωσης για τη διδασκαλία των εννοιών που

σχετίζονται με την κρυφή μνήμη των υπολογιστών. Η διδασκαλία των βασικών εννοιών που σχετίζονται με τη λειτουργία της κρυφής μνήμης περιλαμβάνει ένα μεγάλο αριθμό παραμέτρων που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και επηρεάζουν την επικοινωνία του επεξεργαστή με την κύρια μνήμη καθώς και τη γενική απόδοση του συστήματος. Η χρήση προγραμμάτων προσομοίωσης και η ανάπτυξη εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων διευκολύνει τη διεξαγωγή πειραμάτων και μπορεί να βοηθήσει τους φοιτητές να κατανοήσουν την οργάνωση και τη λειτουργία της κρυφής μνήμης (Grigoriadou, Kanidis 2003).

Το πλαίσιο για την ανάπτυξη των εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων και του λογισμικού προσομοίωσης που ακολουθήσαμε περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

- Καταγραφή των αντιλήψεων των εκπαιδευομένων
- Αξιολόγηση υπαρχόντων εκπαιδευτικών λογισμικών προσομοίωσης
- Σχεδίαση και υλοποίηση εκπαιδευτικού λογισμικού προσομοίωσης
- Ανάπτυξη εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων
- Πιλοτική αξιολόγηση του εκπαιδευτικού υλικού (λογισμικού και δραστηριοτήτων)

Ειδικότερα, στην ενότητα II περιγράφονται ορισμένα από τα αποτελέσματα της έρευνας, που πραγματοποιήσαμε, σχετικά με τις αντιλήψεις των φοιτητών που αφορούν στην οργάνωση και στη λειτουργία της κρυφής μνήμης. Στην ενότητα III αναφέρονται τα κριτήρια αναζήτησης και η αξιολόγηση έξι υπαρχόντων προγραμμάτων προσομοίωσης, οι λειτουργίες των οποίων ελήφθησαν υπόψη στο σχεδιασμό του προγράμματος προσομοίωσης της λειτουργίας της κρυφής μνήμης. Στη συνέχεια, στην ενότητα IV περιγράφεται η ανάπτυξη του προγράμματος προσομοίωσης της κρυφής μνήμης. Στην ενότητα V περιγράφεται το πλαίσιο σχεδίασης εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων που βασίζονται σε σύγχρονες θεωρίες μάθησης και αξιοποιούν το εκπαιδευτικό λογισμικό προσομοίωσης. Στην τελευταία ενότητα VI περιγράφονται τα αποτελέσματα της αξιολόγησης των εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων από μια πειραματική ομάδα φοιτητών.

## II. ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΤΩΝ ΦΟΙΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Είναι ευρύτερα αποδεκτό ότι οι δυσκολίες που διαπιστώνονται στους φοιτητές κατά την εκμάθηση ενός γνωστικού αντικείμενου έχουν άμεση σχέση, μεταξύ άλλων, με το γνωστικό υπόβαθρο τους, γεγονός που συμφωνεί με την άποψη ότι η μάθηση βασίζεται και επηρεάζεται από τις υπάρχουσες εννοιολογικές και γνωστικές δομές του σπουδαστή (Posner et al 1982; Vosniadou & Brewer, 1987). Η εκμάθηση νέων επιστημονικών εννοιών, σύμφωνα με τη θεωρία της συσσωρευτικής μάθησης, επιτυγχάνεται με την ενσυνείδητη, ενεργή και βαθμιαία συσσώρευση των νέων πληροφοριών πάνω στις υπάρχουσες γνωσιακές δομές (Sinatra, 2000). Υπάρχουν όμως περιπτώσεις που οι προϋπάρχουσες αντιλήψεις δεν είναι συμβατές με τις νέες έννοιες που πρέπει να αποκτηθούν (Vosniadou, 1994; 2002; Wichmann et. al. 2003). Οι εκπαιδευόμενοι στην προσπάθεια ενσωμάτωσης των νέων ασύμβατων εννοιών στις υπάρχουσες γνωσιακές δομές δημιουργούν μη επιστημονικά μοντέλα με παρανοήσεις και ερμηνευτικές αδυναμίες. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται η ενεργοποίηση μιας διαδικασίας μάθησης που είναι διαφορετική από τη διαδικασία της συσσωρευτικής μάθησης. Η διαδικασία αυτή θα πρέπει να προκαλέσει μια αναδιοργάνωση ή μια αντικατάσταση των δομών που προϋπάρχουν και του ερμηνευτικού πλαισίου που αποτελούν. Η διαδικασία μετάβασης από την προϋπάρχουσα γνωσιακή δομή σε μια άλλη, η οποία ενσωματώνει τις νέες έννοιες και ανταποκρίνεται στις τρέχουσες επιστημονικές απόψεις, αποτελεί το πρόβλημα της εννοιολογικής αλλαγής και είναι επίμονη, μακρόχρονη και αργή (Vosniadou S, Kollias V, 2003). Ένας λόγος που οι εκπαιδευόμενοι δύσκολα εγκαταλείπουν τις προϋπάρχουσες αντιλήψεις τους και το ερμηνευτικό πλαίσιο που αυτές υλοποιούν, είναι η επιτυχημένη χρησιμοποίησή τους στο παρελθόν για την επίλυση προβλημάτων και την κατανόηση καταστάσεων. Η ανάγκη αναδόμησης της υπάρχουσας γνωσιακής δομής διαχωρίζει την εννοιολογική αλλαγή από τους άλλους τρόπους μάθησης.

Η διδασκαλία για την επίτευξη εννοιολογικής αλλαγής απαιτεί μια οικοδομιστική προσέγγιση όπου οι εκπαιδευόμενοι έχουν ενεργητικό ρόλο στην αναδιοργάνωση των γνώσεων τους και ο καθηγητής τους βοηθά σε διαδικασίες αυτοελέγχου και ορισμού εκπαιδευτικών στόχων. Η δημιουργία εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων που έχουν νόημα για τους εκπαιδευόμενους, και απεικονίζουν πραγματικές καταστάσεις είναι μια ακόμα ευρέως αποδεκτή εκπαιδευτική αρχή (Vosniadou, 2002). Επίσης, επειδή η μάθηση είναι κυρίως μια κοινωνική δραστηριότητα, η συνεργασία δύο ή περισσότερων ατόμων στη διεξαγωγή ενός έργου είναι ένας σημαντικός παράγοντας μάθησης. (Bosniadou S, Kollias V, 2003).

Στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας στο Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών του Πανεπιστημίου Αθηνών έγινε μια προσπάθεια ανάπτυξης εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων με σκοπό την εννοιολογική αλλαγή σε έννοιες σχετικές με την οργάνωση και τη λειτουργία της κρυφής μνήμης. Το προϋπάρχον ερμηνευτικό πλαίσιο των φοιτητών προέρχεται από τις γνώσεις των τους σχετικά με την οργάνωση και τη λειτουργία της κύριας μνήμης και περιλαμβάνει τις παρακάτω έννοιες

1. Ο ρόλος της κύριας μνήμης είναι η αποθήκευση των προγραμμάτων που εκτελούνται από τον υπολογιστή.
2. Υπάρχουν ειδικές εντολές επικοινωνίας του επεξεργαστή με την κύρια μνήμη.
3. Ο προγραμματιστής σε γλώσσα Assembly χρησιμοποιεί την εντολή ανάγνωσης με προσδιορισμό μιας συγκεκριμένης διεύθυνσης της κύριας μνήμης και την εντολή εγγραφής με προσδιορισμό μιας διεύθυνσης της κύριας μνήμης και των δεδομένων που θα εγγραφούν σε αυτήν.
4. Οι λειτουργίες της κύριας μνήμης είναι η ανάγνωση και η εγγραφή
5. Η μεταφορά δεδομένων μεταξύ επεξεργαστή και κύριας μνήμης γίνεται κατά bytes ή κατά λέξεις.

Με τη χρήση του ανωτέρω ερμηνευτικού πλαισίου οι φοιτητές προσπαθούν να κατανοήσουν τις νέες έννοιες που σχετίζονται με την οργάνωση και τη λειτουργία της κρυφής μνήμης.

Οι νέες έννοιες είναι :

1. Ο σκοπός της κρυφής μνήμης είναι η αύξηση ταχύτητας της μεταφοράς δεδομένων μεταξύ κύριας μνήμης και επεξεργαστή χωρίς την αύξηση του κόστους.
2. Δεν υπάρχουν εντολές επικοινωνίας του επεξεργαστή με την κρυφή μνήμη. Η ενεργοποίηση της κρυφής μνήμης γίνεται μετά από μια εντολή ανάγνωσης/εγγραφής του επεξεργαστή από/προς μία διεύθυνση της κύριας μνήμης.
3. Ο προγραμματιστής σε γλώσσα Assembly δεν αναφέρεται σε διευθύνσεις κρυφής μνήμης. Οι διευθύνσεις της κύριας μνήμης αντιστοιχίζονται αυτόματα σε διευθύνσεις της κρυφής μνήμης ανάλογα με την οργάνωση της κρυφής μνήμης.
4. Οι λειτουργίες της κρυφής μνήμης είναι ο εντοπισμός, η ανάγνωση ή η εγγραφή σε περίπτωση επιτυχίας και η τοποθέτηση ή η αντικατάσταση σε περίπτωση αποτυχίας του εντοπισμού.
5. Η μεταφορά δεδομένων μεταξύ κρυφής μνήμης και επεξεργαστή γίνεται κατά bytes ή λέξεις ενώ η μεταφορά δεδομένων μεταξύ κύριας και κρυφής μνήμης γίνεται κατά μπλοκ (αξιοποίηση της αρχής τοπικότητας της αναφοράς).

### **Αντιλήψεις των φοιτητών για την οργάνωση και τη λειτουργία της κρυφής μνήμης**

Ένα μεγάλο πλήθος ερευνών για τον εντοπισμό των δυσκολιών που έχουν οι εκπαιδευόμενοι στην πληροφορική, αναφέρεται στην επίλυση προβλημάτων με τη χρήση γλωσσών προγραμματισμού (Brusilovsky et. al 1997; Σατρατζέμη, Δαγλιλέλης, Ευαγγελίδης, 2002) και σε μαθησιακές δυσκολίες σε βασικές προγραμματιστικές έννοιες/δομές (Du Boulay, 1989; Putnman et. al 1989; Pane & Myers, 1996, Τζιμογιάννης & Κόμης, 2000, Κόμης, 2001)(:).

Υπάρχει περιορισμένη βιβλιογραφία σχετικά με τις αντιλήψεις και τις δυσκολίες των εκπαιδευόμενων γύρω από έννοιες που αφορούν τις εσωτερικές λειτουργίες των υπολογιστών

(Γρηγοριάδου, Κανίδης, 2002; Βενάκης κ.α, 2002; Τζιμογιάννης, Κόμης, 2004). Προκειμένου να καταγραφούν και να αναλυθούν οι αντιλήψεις που έχουν οι φοιτητές στην οργάνωση και στη λειτουργία της κρυφής μνήμης, πραγματοποιήσαμε έρευνα με χρήση ερωτηματολογίων και συνεντεύξεων σε φοιτητές που παρακολουθούν το μάθημα "Αρχιτεκτονική Υπολογιστών Ι" το οποίο διδάσκεται στο Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών του Πανεπιστημίου Αθηνών κατά τη διάρκεια των ακαδημαϊκών ετών 2000-2001 και 2001-2002 (Grigoriadou, Kanidis, 2001;2003 ).

Οι αντιλήψεις των φοιτητών παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

*Πίνακας 1. Αντιλήψεις των φοιτητών σχετικά με την οργάνωση και τη λειτουργία της κρυφής μνήμης*

Αντιλήψεις φοιτητών	Παραδείγματα
1. Αντικατάσταση μιας λειτουργίας της κρυφής μνήμης : α) Με ένα μόνο τμήμα της ίδιας λειτουργίας β) Με μια άλλη λειτουργία γ) Με ένα τμήμα μιας άλλης λειτουργίας	α) Η λειτουργία εντοπισμού αντικαθίσταται από τις τεχνικές αντιστοίχισης διευθύνσεων β) Η λειτουργία τοποθέτησης αντικαθίσταται από τη λειτουργία εντοπισμού γ) Η λειτουργία τοποθέτησης αντικαθίσταται από τις τεχνικές αντιστοίχισης διευθύνσεων
2. Περιγραφή των λειτουργιών της κρυφής μνήμης με μη επιστημονικούς όρους προερχόμενους από την εμπειρία της καθημερινής ζωής	Η λειτουργία τοποθέτησης εκτελείται μόνο όταν η κρυφή μνήμη, ή το αντίστοιχο μπλοκ, είναι κενό ή η λειτουργία αντικατάστασης εκτελείται μόνο όταν η κρυφή μνήμη είναι πλήρης
3. Χρήση κυκλικών αναφορών στις οποίες οι ιδιότητες μιας κατάστασης των δεδομένων προσδιορίζονται από το όνομα της λειτουργίας	Εάν σε ένα μπλοκ της κρυφής μνήμης το ψηφίο <u>εγκυρότητας</u> έχει τεθεί, αυτό σημαίνει ότι τα δεδομένα του μπλοκ είναι <u>έγκυρα</u>
4. Εφαρμογή απλού μοντέλου κρυφής μνήμης αντί για το σύνθετο που απαιτείται από το πρόβλημα	Για τη λύση προβλημάτων χρησιμοποιείται το μοντέλο άμεσης αντιστοίχισης της κρυφής μνήμης αντί για το συνολοσυσχετιστικό ή το πλήρως συσχετιστικό μοντέλο κρυφής μνήμης που απαιτεί η λύση του προβλήματος
5. Δυσκολία κατανόησης της οργάνωσης της συνολοσυσχετιστικής μνήμης n-δρόμων	Ο αριθμός "n" των δρόμων αναφέρεται στο πλήθος των συνόλων που υπάρχουν στην κρυφή μνήμη και όχι στον αριθμό των μπλοκ που περιέχει ένα σύνολο όπως απαιτεί ο τύπος οργάνωσης της κρυφής μνήμης
6. Δυσκολία συσχέτισης της χρονικής ακολουθίας των βημάτων μιας λειτουργίας ή των λειτουργιών της κρυφής μνήμης	Έναρξη της λειτουργίας ανάγνωσης χωρίς να έχει προηγηθεί η λειτουργία εντοπισμού.
7α) Δυσκολία συνδυασμού της έναρξης μιας λειτουργίας της κρυφής μνήμης σε σχέση με την αιτία που την προκαλεί 7β) Δυσκολία καθορισμού των αλλαγών που προκαλεί η εκτέλεση μιας λειτουργίας στην κατάσταση της κρυφής μνήμης.	α) Μετά από μια αποτυχία της λειτουργίας εντοπισμού που οφείλεται στο πεδίο ετικέτας και ενώ το bit επικύρωσης είναι 1, εκτελείται η λειτουργία τοποθέτησης, ενώ οι συνθήκες που οδήγησαν σε αποτυχία απαιτούν την έναρξη της λειτουργίας αντικατάστασης. β) Μη ενημέρωση του πεδίου ετικέτας των μπλοκ της κρυφής μνήμης ιδιαίτερα στη λειτουργία αντικατάστασης.
8. Δυσκολία διαφοροποίησης των λειτουργιών της κρυφής μνήμης με τις εντολές ανάγνωσης και εγγραφής του επεξεργαστή σε μια θέση κύριας μνήμης	Κατά την εκτέλεση μιας εντολής εγγραφής του επεξεργαστή σε μια θέση της κύριας μνήμης και μετά από μια αποτυχία εντοπισμού εκτελείται η λειτουργία εγγραφής χωρίς να προηγείται η λειτουργία τοποθέτησης

### III ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΡΥΦΗΣ ΜΝΗΜΗΣ

Με σκοπό να καθορίσουμε τις σχεδιαστικές αρχές ενός προγράμματος προσομοίωσης της κρυφής μνήμης έγινε διερεύνηση και αξιολόγηση των υαρχόντων σχετικών προγραμμάτων. Διερευνήθηκαν προγράμματα τα οποία ικανοποιούσαν τα παρακάτω κριτήρια.:

- Το πρόγραμμα να είναι διαθέσιμο ή εκτελέσιμο μέσω Διαδικτύου
- Το πρόγραμμα να απευθύνεται στην τριτοβάθμια εκπαίδευση

Η διερεύνηση οδήγησε σε έξι προγράμματα που πληρούν τα συγκεκριμένα κριτήρια τα οποία αξιολογήθηκαν.

#### Προγράμματα εκτελέσιμα μέσω του Internet

1. Προγράμματα του Πανεπιστημίου της Αϊόβα ( 4 προγράμματα)  
([http://www.cs.iastate.edu/~prabhu/Tutorial/CACHE/bl\\_place\\_applet.html](http://www.cs.iastate.edu/~prabhu/Tutorial/CACHE/bl_place_applet.html))
2. Προγράμματα του Πανεπιστημίου της Μασαχουσέτης (3 προγράμματα)  
(<http://www.ecs.umass.edu/ece/koren/ece668/cache/frame0>)
3. Πρόγραμμα του Πανεπιστημίου Εδιμβούργου  
([http://www.dcs.ed.ac.uk/home/simjava/simjava-1.0/examples/app\\_cache/index.html](http://www.dcs.ed.ac.uk/home/simjava/simjava-1.0/examples/app_cache/index.html))

#### Αυτόνομα προγράμματα

Τα προγράμματα αυτά διατίθενται ελεύθερα μέσω Διαδικτύου αλλά ο χρήστης θα πρέπει να τα εγκαταστήσει στο δικό του υπολογιστή.

4. CACTI Cache Access, Cycle Time Information model  
(<http://research.compaq.com/wrl/people/jouppi/CACTI.html>)
5. Dinero (<http://www.cs.wisc.edu/~markhill/DineroIV/>)
6. Cache Simulator . (<http://www.ece.gatech.edu/research/labs/reveng/cachesim/>)

Τα προγράμματα αυτά μελετήθηκαν και αξιολογήθηκαν ως προς τις λειτουργίες που διαθέτουν καθώς και τη δυνατότητα παραμετροποίησης που προσφέρουν. Ενδεικτικά αναφέρεται η αξιολόγηση των προγραμμάτων του Πανεπιστημίου της Αϊόβα. Το Πανεπιστήμιο έχει αναπτύξει τέσσερα προγράμματα προσομοίωσης λειτουργιών της κρυφής μνήμης.

Πίνακας 2. Αξιολόγηση προγραμμάτων του Πανεπιστημίου της Αϊόβα

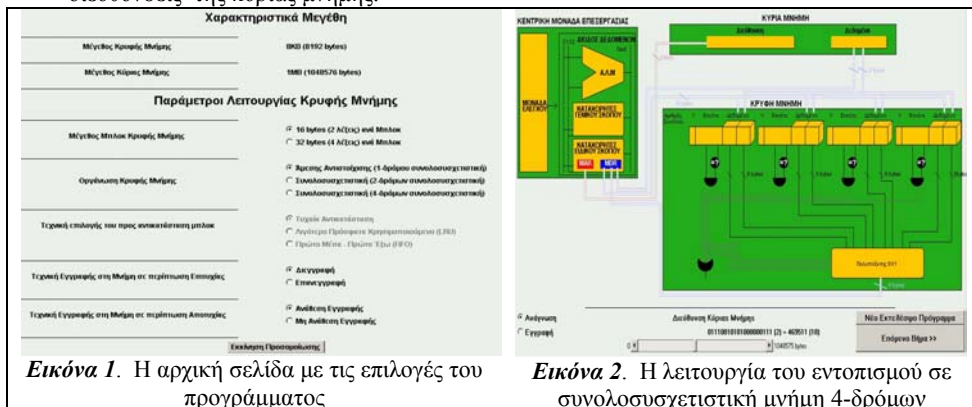
Πρόγραμμα	Παρατηρήσεις
Τεχνικές αντιστοίχισης διευθύνσεων.	Υποστηρίζει μόνο σταθερά μεγέθη κύριας και κρυφής μνήμης (32 και 8 μπλοκ αντίστοιχα).
Τμηματοποίησης μιας διεύθυνσης της κύριας μνήμης.	Δεν υπάρχει η δυνατότητα επιλογής μιας καθορισμένης διεύθυνσης της κύριας μνήμης.
Η αντιστοίχιση μιας σειράς διευθύνσεων στην κρυφή μνήμη καθώς και το αποτέλεσμα του εντοπισμού.	Μη δυνατότητα επιλογής του είδους της εντολής του επεξεργαστή (ανάγνωση/ εγγραφή) καθώς και συνολοσυσχετιστική οργάνωση της κρυφής μνήμης.
Την επικοινωνία μεταξύ Κ.Μ.Ε, κρυφής μνήμης, κύριας μνήμης.	Μη εμφάνιση της εσωτερικής δομής του επεξεργαστή και ιδιαίτερα της κύριας και κρυφής μνήμης (μπλοκ, σύνολα, bit εγκυρότητας κ.λπ) καθώς και τις αρτηρίες επικοινωνίας μεταξύ των μονάδων (αρτηρίες δεδομένων και διευθύνσεων).

### IV ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.

Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης των προαναφερθέντων καθώς και οι αντιλήψεις των σπουδαστών χρησιμοποιήθηκαν για τον εκπαιδευτικό σχεδιασμό και τη διεπαφή του εκπαιδευτικού λογισμικού προσομοίωσης της κρυφής μνήμης που αναπτύξαμε στο Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών του Πανεπιστημίου Αθηνών (<http://hermes.di.uoa.gr/simulation.html>) .

Η σχεδίαση του εκπαιδευτικού λογισμικού βασίστηκε στις ακόλουθες αρχές:

- Χρήση ρεαλιστικών μεγεθών κύριας και κρυφής μνήμης
- Οπτικοποίηση της εσωτερικής δομής της ΚΜΕ (Registers, ALU), της κρυφής μνήμης (μπλοκ, σύνολα, κυκλώματα εντοπισμού) και της κύριας μνήμης (διευθύνσεις, δεδομένα)
- Οπτικοποίηση λειτουργίας των αρτηριών επικοινωνίας μεταξύ των μονάδων
- Αναπαράσταση της φυσικής ροής των γεγονότων σε επίπεδο λειτουργιών αλλά και σε επίπεδο των βημάτων των λειτουργιών
- Λεπτομερή προσομοίωση, με χρήση πολλαπλών αναπαραστάσεων (κειμένου και εικόνας), των βημάτων εκτέλεσης των λειτουργιών
- Η παροχή δυνατότητας στο φοιτητή να επιλέξει: το είδος της εντολής που εκτελεί ο επεξεργαστής (ανάγνωση/ εγγραφή), το μέγεθος του μπλοκ της κρυφής μνήμης, την οργάνωση της κρυφής μνήμης, την πολιτική αντικατάστασης καθώς και καθορισμένες διευθύνσεις της κύριας μνήμης.



Εικόνα 1. Η αρχική σελίδα με τις επιλογές του προγράμματος

Εικόνα 2. Η λειτουργία του εντοπισμού σε συνολοσυσχετιστική μνήμη 4-δρόμων

Με την ενεργοποίηση του κουμπιού "Έναρξη προγράμματος" εμφανίζεται η πρώτη σελίδα του προγράμματος προσομοίωσης (Εικόνα 1) στην οποία ο φοιτητής μπορεί να επιλέξει:

- Τον τύπο οργάνωσης της κρυφής μνήμης (άμεσης αντιστοίχισης, συνολοσυσχετιστική 2 ή 4 δρόμων, πλήρως συσχετιστική)
- Το μέγεθος μπλοκ της κρυφής μνήμης (16B ή 32B).
- Την πολιτική αντικατάστασης (Τυχαία, Least Recently Used (LRU) ή First In First Out (FIFO)).
- Την πολιτική εγγραφής στην περίπτωση επιτυχίας (διεγγραφή, επανεγγραφή)
- Την πολιτική εγγραφής σε περίπτωση αποτυχίας (Ανάθεση εγγραφής, ανάθεση μη εγγραφής)

Επίσης ο φοιτητής μέσα από την κύρια σελίδα του προγράμματος (Εικόνα 2) έχει τη δυνατότητα να επιλέξει:

- Το είδος της εντολής που εκτελεί ο επεξεργαστής (ανάγνωση/εγγραφή)
- Μια καθορισμένη διεύθυνση της κύριας μνήμης μέσα από ένα σύνολο διευθύνσεων 1MB.
- Την έναρξη ενός νέου προγράμματος, το επόμενο βήμα της λειτουργίας ή τη διακοπή του τρέχοντος προγράμματος.

#### IV ΠΛΑΙΣΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ

Στο πλαίσιο αξιοποίησης του εκπαιδευτικού λογισμικού προσομοίωσης σχεδιάσαμε εκπαιδευτικές δραστηριότητες με σκοπό την πρόκληση εννοιολογικής αλλαγής. Ο σχεδιασμός των δραστηριοτήτων ακολουθεί τις ακόλουθες αρχές:

- Επίτευξη μαθησιακών στόχων που λαμβάνουν υπόψη τις δυσκολίες των φοιτητών.
- «Μαθαίνω Πράττοντας», αξιοποιώντας το εκπαιδευτικό λογισμικό προσομοίωσης της δομής και της λειτουργίας της κρυφής μνήμης και εμπλέκοντας τους εκπαιδευόμενους σε συνεργατικές δραστηριότητες ή και διερευνητικές δραστηριότητες, κ.λπ. με βάση τις σύγχρονες θεωρίες μάθησης.

Στη συνέχεια περιγράφεται το πλαίσιο σχεδίασης μιας ενδεικτικής δραστηριότητας, ενώ στο παράρτημα παρουσιάζεται το φύλλο εργασίας που καλούνται να εκπονήσουν οι φοιτητές.

### Πλαίσιο Σχεδίασης Δραστηριότητας

Ο σχεδιασμός της συγκεκριμένης δραστηριότητας ακολουθεί τις αρχές και το πλαίσιο σχεδιασμού δραστηριοτήτων που βασίζονται στις «Διερευνήσεις». Οι «Διερευνήσεις» (explorations) στηρίζονται στη θεωρία του εποικοδομητισμού, έχουν εφαρμοστεί σε θέματα του προγραμματισμού, και έχουν στόχο οι μαθητές να αναπτύξουν αποτελεσματικά νοητικά μοντέλα για τη λειτουργία του υπολογιστή και τις βασικές προγραμματιστικές έννοιες/δομές (Lischner, 2001). Μια «Διερεύνηση», όπως χρησιμοποιήθηκε σε θέματα προγραμματισμού, είναι ουσιαστικά μια δομημένη εργαστηριακή δραστηριότητα, στην οποία οι μαθητές καλούνται αρχικά να διαβάσουν ένα μικρό πρόγραμμα, να απαντήσουν σε ερωτήσεις σχετικές με τη λειτουργία και τα αποτελέσματα της εκτέλεσης των προγραμματιστικών δομών που χρησιμοποιούνται, να προβλέψουν τη «συμπεριφορά» του προγράμματος και τέλος να συγκρίνουν και να ελέγξουν τις απαντήσεις τους εκτελώντας το πρόγραμμα. Σε περίπτωση που οι προβλέψεις τους δεν ανταποκρίνονται στα πραγματικά αποτελέσματα, οι μαθητές καθοδηγούμενοι από ειδικά σχεδιασμένες ερωτήσεις/εργασίες καλούνται να εξηγήσουν/τεκμηριώσουν τις απαντήσεις τους. Οι ερωτήσεις/εργασίες μπορεί να έχουν τη μορφή προτεινόμενων ενεργειών που διευκολύνουν τους μαθητές να εντοπίσουν το λάθος τους, ώστε να μπορέσουν να το διορθώσουν.

Όπως προκύπτει από το πλαίσιο σχεδιασμού δραστηριοτήτων που βασίζεται στις «Διερευνήσεις», οι δραστηριότητες επιτρέπουν/υποστηρίζουν την ανάδειξη της υπάρχουσας αντίληψης και δίνουν τη δυνατότητα στους φοιτητές να ενεργοποιηθούν και μέσα από ένα πλαίσιο καθοδήγησης να οδηγηθούν στην επιθυμητή εννοιολογική αλλαγή. Βασιζόμενοι στις «Διερευνήσεις» και με γνώμονα να συνειδητοποιήσουν οι φοιτητές τις αντιλήψεις τους, σχεδιάσαμε τη δραστηριότητα η οποία αποσκοπεί στο να κατανοήσουν οι φοιτητές τη χρονική ακολουθία και την αιτιακή σχέση των λειτουργιών μιας συνολοσυσχετιστικής κρυφής μνήμης. Συγκεκριμένα, επιδιώκεται να επιτευχθούν οι ακόλουθοι μαθησιακοί στόχοι (όπως αυτοί έχουν καθοριστεί λαμβάνοντας υπόψη τις μαθησιακές δυσκολίες των φοιτητών): Οι φοιτητές να είναι σε θέση:

- να περιγράφουν τη δομή μιας συνολοσυσχετιστικής κρυφής μνήμης 2- δρόμων,
- να χρησιμοποιούν την τεχνική αντιστοίχισης διευθύνσεων της κύριας μνήμης σε συνολοσυσχετιστική μνήμη,
- να προβλέπουν τη χρονική ακολουθία των λειτουργιών και
- να καθορίζουν τις αλλαγές που επιφέρει η εκτέλεση μιας λειτουργίας στην κατάσταση της κρυφής μνήμης.

Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης δραστηριότητας, οι φοιτητές καλούνται να εργαστούν ατομικά και να σχεδιάσουν την κατάσταση της κρυφής μνήμης για μια σειρά αιτήσεων ανάγνωσης του επεξεργαστή από διευθύνσεις της κύριας μνήμης, αναφέροντας την ακολουθία των λειτουργιών της κρυφής μνήμης που θα εκτελεστούν σε κάθε αίτηση ανάγνωσης καθώς και το αποτέλεσμα κάθε λειτουργίας εντοπισμού καθώς και να σχεδιάσουν την κατάσταση της κρυφής μνήμης μετά το τέλος καθεμιάς από αυτές τις αιτήσεις. Στη συνέχεια, οι φοιτητές χρησιμοποιώντας το εκπαιδευτικό λογισμικό προσομοίωσης, εκτελούν τις ίδιες αιτήσεις, συγκρίνουν τα πραγματικά με τα προβλεπόμενα αποτελέσματα και αιτιολογούν τυχόν διαφορές. Ως πλαίσιο καθοδήγησης

δίνεται μία σειρά από ερωτήσεις που συμβάλλουν στην κατανόηση της οργάνωσης και της λειτουργίας της κρυφής μνήμης συνολοσυσχετιστικού τύπου 2- δρόμων.

## V. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι δραστηριότητες, που σχεδιάστηκαν, εφαρμόστηκαν σε φοιτητές του Τμήματος Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών το χειμερινό εξάμηνο του ακαδημαϊκού έτους 2003-2004. Αρχικά, οι φοιτητές εξετάστηκαν στο μάθημα μέσω γραπτών ερωτήσεων. Η ανάλυση των απαντήσεων των φοιτητών έδειξε ότι οι 20 από τους 64 φοιτητές έχουν ορισμένες από τις δυσκολίες που αναφέρονται στην ενότητα II όπως: δυσκολία συσχέτισης της χρονικής ακολουθίας των βημάτων μιας λειτουργίας ή των λειτουργιών της κρυφής μνήμης και δυσκολία καθορισμού των αλλαγών που προκαλεί η εκτέλεση μιας λειτουργίας στην κατάσταση της κρυφής μνήμης. Οι συγκεκριμένοι 20 φοιτητές αποτέλεσαν την πειραματική ομάδα εφαρμογής των εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων που σχεδιάσαμε. Μετά την πραγματοποίηση της δραστηριότητας οι φοιτητές της πειραματικής ομάδας εξετάστηκαν με συνεντεύξεις σε θέματα όμοια με τα αρχικά. Η ανάλυση των απαντήσεων των φοιτητών στις δραστηριότητες και στις συνεντεύξεις που ακολούθησαν έδειξαν ότι:

Το 92% των φοιτητών πρόβλεψε σωστά τη χρονική ακολουθία των λειτουργιών μετά από μια σειρά αιτήσεων του επεξεργαστή καθώς και το αποτέλεσμα της λειτουργίας εντοπισμού.

Το 85% των φοιτητών σχεδίασε σωστά την κατάσταση της κρυφής μνήμης μετά από την εκτέλεση κάθε αίτησης του επεξεργαστή.

Σύμφωνα με τις απαντήσεις των φοιτητών στη συνέντευξη που ακολούθησε, η χρήση του λογισμικού προσομοίωσης βοήθησε το 88% των φοιτητών, που δεν είχαν περιγράψει σωστά την ακολουθία των λειτουργιών, να αναγνωρίζουν και να διαφοροποιούν τη χρονική ακολουθία των εντολών ανάλογα με την εντολή του επεξεργαστή και την κατάσταση της κρυφής μνήμης.

Επίσης οι φοιτητές επισήμαναν ότι η διδακτική προσέγγιση που ακολουθήθηκε τους βοήθησε στην κατανόηση των λειτουργιών μιας συνολοσυσχετιστικής κρυφής μνήμης 2 δρόμων. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι ερωτήσεις του πλαισίου καθοδήγησης βοήθησαν τους φοιτητές στο να επισημάνουν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου τύπου κρυφής μνήμης.

Στα άμεσα μελλοντικά μας σχέδια περιλαμβάνεται η σχεδίαση περισσότερων εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων που να καλύπτουν όλες τις προαναφερθείσες μαθησιακές δυσκολίες και να αξιοποιούν τις σύγχρονες θεωρίες μάθησης καθώς και το εκπαιδευτικό λογισμικό προσομοίωσης που αναπτύξαμε.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Brusilovsky, P., Calabrese E. Hvorecky J. Kouchirenko A & Miller P., (1997), *Mimilanguages: a way to learn programming principles*, Education and Information Technologies, 2, 65-83.
- Cassel, Lillian (Boots), Deepak Kumar et. al., (to appear). "Distributed Expertise for Teaching Computer Organization and Architecture," ITiCSE Working Group Report July 2000.
- Clements A., "The Undergraduate Curriculum in Computer Architecture", Computer Architecture Education. Micro May/June 2000, pp 10-22
- Das Aresh, "Computer organization teaching - a create your own workbook approach", Conference Proceedings - IEEE, Southeastern, 2000, pp 193-196
- Du Boulay, B. (1989). Some difficulties of learning to program. In E. Soloway & J.C. Spohrer (Eds). *Studying the Novice Programmer*, 283-299, Hillsdale, NJ, Lawrence Erlbaum Associates.
- Grigoriadou M., Kanidis E., (2001) "Students Approaches to the Computer Cache Memory and their Exploitation in the Development of a Web-based Learning Environment", Proceedings of 8th Pan Hellenic Conference in Informatics, Cyprus, pp 472-481



- Grigoriadou M., Toulas M., Kanidis E., (2003). Design and Evaluation of a Cache Memory Simulation Program. Proceedings of the 3rd IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, Athens 2003, pp 170-174.
- Hyde Daniel.C, Teaching design in a computer architecture course, IEEE Micro, Volume 20, Issue 3 2000 pp 23-28
- Lischner, R. (2001), Explorations: Structured Labs for First-Time Programmers, *Proceedings of the ACM SIGCSE '01 Conference*, 154-158, Charlotte, USA.
- Pane, J. & Myers, B. (2000). The influence of the Psychology of Programming on a Language Design: Project Status Report, Proceedings of the 12th Annual Meeting of the Psychology of programmers Interest Group, 193-205, Edizioni Memoria, Italy.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227.
- Vosniadou, S., (1994), " Capturing and Modeling the process of Conceptual Change". *Lerning and Instruction*, 4, pp 45-69.
- Vosniadou , S., & Brewer, W.F. (1987). Theories of Knowledge Restructuring with Development". *Review of Educational Research*, 57, pp 51-67.
- Vosniadou Stella, (2003), Using Collaborative, Computer-Supported, Model Building to Promote Conceptual Cjange in Science, *Powerful Learning Environments: Unravelling Basic Components and Dimensions*, Chapter 11, Elsevier Science Ltd.
- Wichman , A., Gottdenker, J., Jonassen D., Milrad M., (2003). "Developing a framework for Conceptual Change within Scientific Inquiry", proceddings of th 3<sup>rd</sup> International Conference on Advantance learning Technologies (ICALT 03). Pp. 382-383.
- Βενάκης Π., Γιαννακόπουλος Γ., Πυρλή Μ., Κορδάκη Μ., (2002). Ένα Διαδικτυακό περιβάλλον Πολλαπλών Αναπαραστάσεων για τη μάθηση Εννοιών που Αφορούν στα Αρχεία και στα περιφερειακά Μέσα Αποθήκευσης. 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο με διεθνή συμμετοχή , Οι τεχνολογίες της Πληροφορίας και της επικοινωνίας στην Εκπαίδευση, Ρόδος , pp. 624-631.
- Βοσνιάδου Στέλλα, (1988), Γνωσιακή Ψυχολογία, Ψυχολογικές μελέτες και Δοκίμια, Εκδόσεις Gutenberg.
- Βοσνιάδου Στέλλα, (2002), Πως μαθαίνουν οι μαθητές, Εκδόσεις Gutenberg, Αθήνα.
- Γρηγοριάδου Μ. Γόγουλου Α. Γουλή Ε., (2002). Εναλλακτικές Διδακτικές Προσεγγίσεις σε εισαγωγικά Μαθήματα προγραμματισμού: προτάσεις Διδασκαλίας, , 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο με διεθνή συμμετοχή , Οι τεχνολογίες της Πληροφορίας και της επικοινωνίας στην Εκπαίδευση, Ρόδος , pp. 239-248
- Γρηγοριάδου Μ., Κανίδης Ε., (2002), Αντιλήψεις των μαθητών της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης σχετικά με την οργάνωση και τη λειτουργία της μνήμης των υπολογιστών., 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο "Οι Τεχνολογίες της Πληροφορίας και της Επικοινωνίας στην εκπαίδευση" . Ρόδος, pp. 249-258
- Κόμης Β. (2001). Μελέτη Βασικών Εννοιών του Προγραμματισμού στο πλαίσιο μιας Οικοδομιστικής Διδακτικής Προσέγγισης, *Themes in Education*, 2(2-3), 243-270.
- Σατρατζέμη Μ. Δαγδiléλης Β. Ευαγγελίδης Γ. (2002). Μια εναλλακτική προσέγγιση Διδασκαλίας του Προγραμματισμού στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση, 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο με διεθνή συμμετοχή , Οι τεχνολογίες της Πληροφορίας και της επικοινωνίας στην Εκπαίδευση, Ρόδος , pp. 289-298
- Τζιμογιάννης, Α. & Κόμης, Β. (2000). Η έννοια της μεταβλητής στον προγραμματισμό: Δυσκολίες και παρανοήσεις μαθητών του Ενιαίου Λυκείου. Στο Β. Κόμης (Επιμ.). Πρακτικά εισηγήσεων 2ου Πανελληνίου Συνεδρίου " Οι Τεχνολογίες της Πληροφορίας και της επικοινωνίας στην εκπαίδευση", 103-114, Πάτρα.
- Τζιμογιάννης, Α. & Κόμης, Β. (2004). Μελέτη αναπαραστάσεων μαθητών του Ενιαίου Λυκείου για τη ροή δεδομένων και το ρόλο των βασικών μονάδων του υπολογιστή. Πρακτικά

εισηγήσεων 2ης Πανελλήνια Διημερίδας με διαθήνη συμμετοχή με θέμα "Διδακτική της Πληροφορικής", 73-85, Βόλος

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

### **Φύλλο εργασίας 1**

Στο συγκεκριμένο φύλλο εργασίας, καλείστε να εργαστείτε ατομικά σε δύο υπο-δραστηριότητες. Αφού ολοκληρώσετε την 1<sup>η</sup> υπο-δραστηριότητα και καταγράψετε τα αποτελέσματα της, θα πρέπει να εκπονήσετε τη 2<sup>η</sup> υπο-δραστηριότητα με τη βοήθεια του εκπαιδευτικού λογισμικού προσομοίωσης λειτουργίας της κρυφής μνήμης. Στο πλαίσιο της 2<sup>ης</sup> υπο-δραστηριότητας θα πρέπει να λάβετε υπόψη τις ερωτήσεις που αναφέρονται.

### **Δραστηριότητα**

Θεωρήστε μια κρυφή μνήμη με μέγεθος 1 MB και μια κρυφή μνήμη με μέγεθος 8 KB. Η κρυφή μνήμη είναι συνολοσυσχετιστικού τύπου 2- δρόμων, με μέγεθος μπλοκ 32 bytes και μέγεθος λέξης 8 bytes. Η τεχνική αντικατάστασης σελίδων είναι η LRU.

Να υποθέσετε ότι γίνεται διαδοχικά μια σειρά αιτήσεων του επεξεργαστή για ανάγνωση προς την κύρια μνήμη από τις διευθύνσεις κύριας μνήμης 5, 31, 32, 72, 50, 63, 64, 8219.

### **1<sup>η</sup> υπο-δραστηριότητα**

Να αναφέρετε την ακολουθία των λειτουργιών της κρυφής μνήμης (Εντοπισμός, Τοποθέτηση, Αντικατάσταση, Ανάγνωση, Εγγραφή) που θα εκτελεστούν σε κάθε αίτηση του επεξεργαστή καθώς και το αποτέλεσμα κάθε εντοπισμού (επιτυχία /αποτυχία).

Να σχεδιάσετε την κατάσταση της κρυφής μνήμης μετά το τέλος καθεμιάς από αυτές τις αιτήσεις. Στη σχεδίαση να εμφανίζονται τα μπλοκ της κύριας μνήμης που υπάρχουν στην κρυφή μνήμη.

### **2<sup>η</sup> υπο-δραστηριότητα**

Να χρησιμοποιήσετε το λογισμικό προσομοίωσης που υπάρχει στη διεύθυνση <http://hermes.di.uoa.gr/simulation.html>, να εκτελέσετε τις διαδοχικές αιτήσεις του επεξεργαστή και να καταγράψετε την ακολουθία των λειτουργιών που εκτελούνται. Να συγκρίνετε την παραπάνω ακολουθία των λειτουργιών με τις απαντήσεις που εσείς δώσατε στην 1<sup>η</sup> υπο-δραστηριότητα και να αιτιολογήστε τυχόν διαφορές.

Στο πλαίσιο της 2<sup>ης</sup> υπο-δραστηριότητας μπορείτε να σκεφτείτε τις ακόλουθες ερωτήσεις προκειμένου να κατανοήσετε τη λειτουργία της κρυφής μνήμης και να εξηγήσετε τα αποτελέσματα της εκτέλεσης του λογισμικού προσομοίωσης. .

1. Ποια είναι η δομή ενός συνόλου της κρυφής μνήμης;
2. Κατά την τμηματοποίηση μιας διεύθυνσης της κύριας μνήμης πόσα bit απαιτούνται για τον καθορισμό του πεδίου μετατόπισης, της ετικέτας και του δείκτη;
3. Τι καθορίζει το πεδίο ετικέτας και τι το πεδίο δείκτη της διεύθυνσης της κύριας μνήμης;
4. Αν το αποτέλεσμα της λειτουργίας εντοπισμού είναι επιτυχία, θα ήταν πάλι επιτυχία, αν η κρυφή μνήμη ήταν άμεσης αντιστοίχισης;
5. Αν το αποτέλεσμα μιας αποτυχίας της λειτουργίας εντοπισμού προκαλεί την έναρξη της λειτουργίας τοποθέτησης, θα υπήρχε διαφοροποίηση της λειτουργίας στην περίπτωση που η κρυφή μνήμη ήταν άμεσης αντιστοίχισης;

Τι θα αλλάξει, αν οι δύο τελευταίες αναφορές του επεξεργαστή στις διευθύνσεις μνήμης 64 και 8219 είναι για εγγραφή και όχι για ανάγνωση.

