

# ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

## Διαχείριση Μνήμης Ερωτήσεις Επανάληψης

Υλικό από:  
Modern Operating Systems, A.S. Tanenbaum

Σύνθεση  
Κ.Γ. Μαργαρίτης, Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας

## ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Ένα υπολογιστικό σύστημα έχει αρκετό χώρο για να χωρέσει τέσσερα προγράμματα στην κύρια μνήμη του. Τα προγράμματα αυτά παραμένουν αδρανή αναμένοντας να ολοκληρωθεί Ε/Ε κατά το μισό χρονικό διάστημα. Ποιο ποσοστό του χρόνου της CPU σπαταλάται;
2. Στην Εικόνα 4-21 είδαμε ένα παράδειγμα παράλληλης εκτέλεσης εργασιών, οι οποίες ολοκληρώνονται ταχύτερα σε σχέση με τη σειριακή εκτέλεσή τους. Αν υποθέσουμε ότι δύο εργασίες εκτελούνται ταυτόχρονα, και κάθε μία χρειάζεται 10 λεπτά χρόνο CPU. Πόσο χρόνο θα χρειαστεί αυτή που θα τελειώσει τελευταία αν εκτελεστούν σειριακά; Πόσο χρόνο θα χρειαστεί η ίδια εργασία αν εκτελεστούν παράλληλα; Υποθέστε ότι η αναμονή λόγω Ε/Ε είναι 50%.
3. Ένα σύστημα εναλλαγής εξολείφει τις οπές με σύμπτυξη. Υποθέστε ότι υπάρχουν πολλές οπές και ότι έχουν κατανομηθεί με τυχαίο τρόπο, ότι υπάρχουν πολλά τμήματα δεδομένων, και ότι ο χρόνος που χρειάζεται για την εγγραφή μίας λέξης μνήμης των 32 bit είναι 10 nsec. Πόσος χρόνος χρειάζεται για να συμπιεστούν 128 MB; Για απλότητα, υποθέστε ότι η λέξη 0 είναι τμήμα οπής και ότι η λέξη που βρίσκεται στην κορυφή της μνήμης περιέχει έγκυρα δεδομένα.
4. Στο πρόβλημα αυτό θα συγκρίνετε τον αποθηκευτικό χώρο που χρειάζεται για να παρακολουθείται η ελεύθερη μνήμη στις περιπτώσεις όπου χρησιμοποιείται χάρτης ψηφίων (bitmap) με τις αντίστοιχες όπου χρησιμοποιείται συνδεδεμένη λίστα. Η μνήμη (που έχει μέγεθος 128 MB) κατανέμεται σε μονάδες των  $n$  byte. Όσο αφορά τη συνδεδεμένη λίστα, υποθέστε ότι η μνήμη αποτελείται από μια εναλλασσόμενη ακολουθία τμημάτων και οπών, τα οποία έχουν μέγεθος 64 KB. Υποθέστε επίσης ότι κάθε κόμβος στη συνδεδεμένη λίστα χρειάζεται μια διεύθυνση μνήμης των 32 bit, ένα πεδίο 16 bit για το μήκος, και ένα πεδίο 16 bit για τον επόμενο κόμβο. Πόσα byte αποθηκευτικός χώρος χρειάζονται στην κάθε περίπτωση; Ποια μέθοδος είναι καλύτερη;
5. Θεωρήστε ένα σύστημα εναλλαγής, στο οποίο η μνήμη περιέχει τα παρακάτω μεγέθη οπών κατά σειρά: 10 KB, 4 KB, 20 KB, 18 KB, 7 KB, 9 KB, 12 KB, και 15 KB. Ποια οπή θα χρησιμοποιηθεί αν γίνουν συνεχόμενες αιτήσεις τμημάτων με μέγεθος
  - (α) 12 KB
  - (β) 10 KB
  - (γ) 9 KB
 και χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος της πρώτης προσαρμογής; Επαναλάβετε την άσκηση για τους αλγόριθμους της βέλτιστης προσαρμογής, της χειρότερης προσαρμογής, και της επόμενης προσαρμογής.
6. Ποια είναι η διαφορά ανάμεσα στη φυσική και την εικονική διεύθυνση;
7. Για κάθε μία από τις παρακάτω δεκαδικές εικονικές διευθύνσεις, υπολογίστε τον αριθμό εικονικής σελίδας και τη σχετική διεύθυνση, όταν το μέγεθος σελίδας είναι 4 KB και όταν είναι 8 KB: 20000, 32768, 60000.
8. Χρησιμοποιώντας τον πίνακα σελίδων της Εικόνας 4-10, δώστε τη φυσική διεύθυνση που αντιστοιχεί σε κάθε μία από τις εξής εικονικές διευθύνσεις:
  - (α) 20
  - (β) 4100
  - (γ) 8300

9. Ο επεξεργαστής 8086 της Intel δεν υποστηρίζει εικονική μνήμη. Παρόλα αυτά, μερικές εταιρείες έχουν πουλήσει στο παρελθόν συστήματα που περιέχουν μια μη τροποποιημένη CPU 8086, και κάνουν σελιδοποίηση. Διατυπώστε μια τεκμηριωμένη υπόθεση για τον τρόπο με τον οποίο αυτό υλοποιήθηκε. (Υπόδειξη: Σκεφθείτε τη λογική τοποθέτηση της MMU.)
11. Αν μια εντολή χρειάζεται 10 nsec για να εκτελεστεί και ένα σφάλμα σελίδας χρειάζεται επιπλέον  $n$  nsec, βρείτε τη σχέση που δίνει τον πραγματικό μέσο χρόνο εκτέλεσης μιας εντολής, όταν προκύπτει ένα σφάλμα σελίδας κάθε  $k$  εντολές.
12. Μια μηχανή έχει χώρο διεύθυνσεων 32 bit και σελίδες μεγέθους 8 KB. Ο πίνακας σελίδων βρίσκεται εξολοκλήρου στο υλικό, και χρησιμοποιεί μία λέξη των 32 bit για κάθε καταχώριση. Όταν ξεκινά μια διεργασία, ο πίνακας σελίδων αντιγράφεται από τη μνήμη στο υλικό, με ρυθμό μία λέξη ανά 100 nsec. Αν κάθε διεργασία εκτελείται για 100 nsec (συμπεριλαμβάνεται και ο χρόνος που χρειάζεται για να φορτωθεί ο πίνακας σελίδων), ποιο ποσοστό του χρόνου της CPU αφιερώνεται στη φόρτωση των πινάκων σελίδων;
13. Ένας υπολογιστής με διεύθυνσεις των 32 bit χρησιμοποιεί έναν πίνακα σελίδων δύο επιπέδων. Οι εικονικές διευθύνσεις χωρίζονται σε ένα πεδίο 9 bit για τον πίνακα σελίδων του υψηλότερου επιπέδου, σε ένα πεδίο 11 bit για τον πίνακα σελίδων του δεύτερου επιπέδου, και στη σχετική διεύθυνση (offset). Πόσο μεγάλες είναι οι σελίδες και πόσες υπάρχουν στο χώρο διεύθυνσεων;
14. Ας υποθέσουμε ότι μια εικονική διεύθυνση 32 bit χωρίζεται σε τέσσερις πεδία,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , και  $\delta$ . Τα τρία πρώτα χρησιμοποιούνται για ένα σύστημα πίνακα σελίδων με τρία επίπεδα. Το τέταρτο πεδίο, το  $\delta$ , είναι η σχετική διεύθυνση. Εξαρτάται ο αριθμός σελίδων από τα μεγέθη και των τεσσάρων πεδίων; Αν όχι, ποια μεγέθη έχουν σημασία και ποια όχι;
15. Ένας υπολογιστής έχει εικονικές διευθύνσεις 32 bit και σελίδες μεγέθους 4 KB. Το πρόγραμμα και τα δεδομένα χωρούν μαζί στη χαμηλότερη σελίδα (0-4095). Η στοίβα χωράει στην υψηλότερη σελίδα. Πόσες καταχωρίσεις χρειάζονται να γίνουν στον πίνακα σελίδων αν χρησιμοποιείται παραδοσιακή (ενός επιπέδου) σελιδοποίηση; Πόσες καταχωρίσεις στον πίνακα σελίδων χρειάζονται αν χρησιμοποιείται σελιδοποίηση δύο επιπέδων, με 10 bit σε κάθε τμήμα;
16. Παρακάτω παρατίθεται μια λίστα παρακολούθησης εκτέλεσης (execution trace) ενός τμήματος προγράμματος για έναν υπολογιστή με σελίδες των 512 byte. Το πρόγραμμα είναι τοποθετημένο στη διεύθυνση 1020 και ο δείκτης της στοίβας του βρίσκεται στη διεύθυνση 8192 (η στοίβα μεγαλώνει προς το 0). Δώστε το αλφαριθμητικό αναφορών σε σελίδες που παράγεται από αυτό το πρόγραμμα. Κάθε εντολή καταλαμβάνει 4 byte (μία λέξη), ενώ στο αλφαριθμητικό αναφορών συνεπακολουθούν τόσο οι αναφορές σε εντολές όσο και οι αναφορές σε δεδομένα.

Φόρτωσε τη λέξη 6144 στον καταχωρητή 0

Τοποθέτησε (push) το περιεχόμενο του καταχωρητή 0 στη στοίβα

Κάλυψε μια διαδικασία που βρίσκεται στη διεύθυνση 5120, αποθηκεύοντας στη στοίβα τη διεύθυνση επιστροφής

Αφαίρεσε την άμεση σταθερά (immediate constant) 16 από το δείκτη της στοίβας

Σόγκρινε την πραγματική παράμετρο (actual parameter) με την άμεση σταθερά 4

Αν είναι ίσα πήγαινε στη διεύθυνση 5152

17. Ένας υπολογιστής, εκτελεί διεργασίες που έχουν 1024 σελίδες στο χώρο διευθύνσεών τους και διατηρεί τους πίνακες σελίδων του στη μνήμη. Η επιβάρυνση που απαιτείται για να διαβαστεί μια λίστα από τον πίνακα σελίδων είναι 5 nsec. Για να μειωθεί αυτή η επιβάρυνση, ο υπολογιστής διαθέτει μία TLB η οποία διατηρεί 32 ζευγάρια (εικονική σελίδα, φυσικό πλαίσιο σελίδας) και μπορεί να κάνει μία αναζήτηση σε 100 nsec. Ποιο ποσοστό επιτυχιών απαιτείται ώστε να μειωθεί η μέση επιβάρυνση σε 2 nsec;
18. Η TLB του VAX δεν περιέχει bit *A*. Γιατί;
19. Πώς μπορεί να υλοποιηθεί με υλικό η συσκευή συχετιστικής μνήμης που χρειάζεται στην TLB και ποιες είναι οι επιπτώσεις που έχει αυτή η σχεδίαση στην επεκτασιμότητα του συστήματος;
20. Μια μηχανή έχει εικονικές διευθύνσεις 48 bit και φυσικές διευθύνσεις 32 bit. Οι σελίδες έχουν μέγεθος 8 KB. Πόσες καταχωρίσεις απαιτούνται για τον πίνακα σελίδων;
21. Ένας υπολογιστής διαθέτει σελίδες μεγέθους 8 KB, κύρια μνήμη μεγέθους 256 KB, και χώρο εικονικών διευθύνσεων μεγέθους 64 GB. Χρησιμοποιεί αναστραμμένο πίνακα σελίδων για να υλοποιήσει την εικονική μνήμη. Πόσο μεγάλος πρέπει να είναι ο πίνακας κατακερματισμού (hash table) για να εξασφαλιστεί ότι η μέση αλυσίδα κατακερματισμού θα έχει μήκος μικρότερο από 1; Υποθέστε ότι το μέγεθος του πίνακα κατακερματισμού είναι δύναμη του 2.
22. Ένας φοιτητής σε μάθημα σχεδιασμού μεταγλωττιστών προτείνει στον καθηγητή να του αναθέσει την εξής μελέτη: να γράψει ένα μεταγλωττιστή που θα δημιουργεί μια λίστα από αναφορές σε σελίδες, η οποία με τη σειρά της θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υλοποιηθεί ο βέλτιστος αλγόριθμος αντικατάστασης σελίδας. Είναι αυτό δυνατόν; Γιατί ναι, ή γιατί όχι; Υπάρχει μέθοδος για να βελτιωθεί η σελιδοποίηση κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης;
23. Αν ο αλγόριθμος αντικατάστασης σελίδας FIFO χρησιμοποιηθεί με τέσσερα πλαίσια σελίδας και οκτώ σελίδες, πόσα σφάλματα σελίδας θα προκύψουν αν το αλφαριθμητικό αναφορών είναι 0172327103, με δεδομένο ότι τα τέσσερα πλαίσια είναι αρχικά άδεια; Επαναλάβετε το ίδιο πρόβλημα για τον αλγόριθμο LRU.
24. Θεωρήστε την ακολουθία σελίδων της Εικόνας 4-16(β). Υποθέστε ότι τα *A* για τις σελίδες από *B* έως *A* είναι 110111011, αντίστοιχα. Ποια σελίδα θα αφαιρεθεί ο αλγόριθμος δεύτερης ευκαιρίας;
25. Ένας μικρός υπολογιστής έχει τέσσερα πλαίσια σελίδας. Κατά τον πρώτο κύκλο ρολογιού τα bit *A* έχουν τις τιμές 0111 (η σελίδα 0 έχει την τιμή 0, ενώ οι υπόλοιπες 1). Στους επόμενους κύκλους ρολογιού, οι τιμές είναι 1011, 1010, 1101, 0010, 1010, 1100, και 0001. Αν χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος της γήρανσης με ένα μετρητή 8 bit, βρείτε τις τιμές των τεσσάρων μετρητών μετά τον τελευταίο κύκλο ρολογιού.
26. Υποθέστε ότι στην Εικόνα 4-21 ισχύει:  $\tau = 400$ . Ποια σελίδα θα αφαιρεθεί;
27. Στον αλγόριθμο WSClock της Εικόνας 4-22(γ), ο δείκτης δείχνει σε σελίδα με  $A = 0$ . Αν  $\tau = 400$ , θα αφαιρεθεί η συγκεκριμένη σελίδα; Τι θα γίνει αν  $\tau = 1000$ ;
28. Πόσος χρόνος χρειάζεται για να φορτωθεί ένα πρόγραμμα 64 KB από το δίσκο, με μέσο χρόνο προσπέλασης 10 nsec, χρόνο περιστροφής 10 msec, και τροχιές (tracks) με χωρητικότητα 32 KB, όταν:
- (α) οι σελίδες έχουν μέγεθος 2 KB;
- (β) οι σελίδες έχουν μέγεθος 4 KB;
- Οι σελίδες είναι κατανομημένες τυχαία σε όλο το δίσκο και ο αριθμός κυλίνδρων είναι τόσο μεγάλος που η πιθανότητα δύο σελίδες να βρίσκονται στον ίδιο κύλινδρο είναι αμελητέα.



29. Ένας υπολογιστής έχει τέσσερα κλαίσιμα σελίδας. Ο χρόνος φόρτωσης, ο χρόνος τελευταίας προπέλασης, και οι τιμές των  $A$  και  $T$  bit για κάθε σελίδα φαίνονται παρακάτω (οι χρονικές στιγμές είναι σε κύκλους ρολογιού):

Σελίδα	Φορτώθηκε	Τελευταία αναφορά	A	T
0	126	280	1	0
1	230	265	0	01
2	140	270	0	0
3	110	285	1	1

- (α) Ποια σελίδα θα αντικαταστήσει ο αλγόριθμος NRU;  
 (β) Ποια σελίδα θα αντικαταστήσει ο αλγόριθμος FIFO;  
 (γ) Ποια σελίδα θα αντικαταστήσει ο αλγόριθμος LRU;  
 (δ) Ποια σελίδα θα αντικαταστήσει ο αλγόριθμος της δεύτερης ευκαιρίας.
30. Ένα από τα πρώτα μηχανήματα χρονομερισμού, ο PDP-1, είχε μνήμη με 4K λέξεις των 18 bit. Διατηρούσε μία μόνο διεργασία στη μνήμη κάθε φορά. Όταν ο χρονοπρογραμματιστής αποφάσιζε να εκτελέσει μια άλλη διεργασία, η διεργασία που βρισκόταν στη μνήμη γράφονταν σε ένα τύμπανο σελιδοποίησης (paging drum), το οποίο χωρούσε 4K λέξεις των 18 bit στην επιφάνειά του. Το τύμπανο μπορούσε να αρχίσει να γράφει (ή να διαβάζει) από οποιαδήποτε λέξη του και όχι μόνον από τη 0. Γιατί νομίζετε ότι επιλέχθηκε αυτό το συγκεκριμένο τύμπανο;
31. Ένας υπολογιστής παρέχει σε κάθε διεργασία χώρο διευθύνσεων 65536 byte, ο οποίος διαιρείται σε σελίδες των 4096 byte. Ένα συγκεκριμένο πρόγραμμα έχει κώδικα μεγέθους 32768 byte, δεδομένα μεγέθους 16386 byte, και στοιβία μεγέθους 15870 byte. Θα μπορούσε το πρόγραμμα αυτό να χωρέσει στη μνήμη; Αν το μέγεθος της σελίδας ήταν 512 byte, θα χωρούσε. Θυμηθείτε ότι μια σελίδα δεν μπορεί να περιέχει κομμάτια από δύο διαφορετικά τμήματα.
32. Μπορεί μια σελίδα να βρσάκεται σε δύο λειτουργικά σύνολα την ίδια χρονική στιγμή; Εξηγήστε την απάντησή σας.
33. Αν μια σελίδα μοιράζεται ανάμεσα σε δύο διεργασίες, μπορεί να είναι μόνο για ανάγνωση (read-only) για τη μια διεργασία και να είναι ανένγνωση/εγγραφής (read-write) για την άλλη; Γιατί ναι, ή γιατί όχι;
34. Έχει παρατηρηθεί ότι ο αριθμός των εντολών που εκτελούνται ανάμεσα στα σφάλματα σελίδας είναι άμεσα ανάλογος με τον αριθμό των κλαίσιων σελίδας που έχουν παρεχωρηθεί στο πρόγραμμα. Αν η διαθέσιμη μνήμη διπλασιαστεί, το μέσο χρονικό διάστημα ανάμεσα στα σφάλματα σελίδας διπλασιάζεται επίσης. Υποθέστε ότι μια συνηθισμένη εντολή χρειάζεται 1 msec ενώ, αν προκύψει σφάλμα σελίδας χρειάζεται 2001 msec (δηλαδή, χρειάζονται 2 msec για το χειρισμό του σφάλματος). Αν ένα πρόγραμμα χρειάζεται 60 sec για να εκτελεστεί, στη διάρκεια των οποίων προκύπτουν 15000 σφάλματα σελίδας, πόσος χρόνος θα χρειαστεί για την εκτέλεσή του αν διπλασιαστεί η διαθέσιμη μνήμη;

35. Μια ομάδα από σχεδιαστές λειτουργικών συστημάτων για τη Frugal Computer Company (Εταιρεία Οικονομικών Υπολογιστών) αναζητά τρόπους για να μειώσει το ποσό της δευτερεύουσας μνήμης που χρειάζεται το νέο τους λειτουργικό σύστημα. Ο επικεφαλής της ομάδας έχει συστήσει να αποσπληθούν καθόλου με την αποθήκευση του κώδικα του προγράμματος στην περιοχή εναλλαγής, αλλά να τον σελιδοποιούν διαβάζοντάς τον απευθείας από το διαδίκτυο αρχείο, όπου χρειάζεται. Κάτω από ποιες συνθήκες, αν υπάρχουν, η ιδέα αυτή λειτουργεί σωστά όσο αφορά τον κώδικα του προγράμματος; Κάτω από ποιες συνθήκες, αν υπάρχουν, η ιδέα αυτή λειτουργεί σωστά για τα δεδομένα;
36. Μια εντολή σε γλώσσα μηχανής, που φορτώνει μια λέξη των 32 bit σε έναν κενταχωρητή, περιέχει τη διεύθυνση (32 bit) της λέξης που πρόκειται να φορτωθεί. Ποιος είναι ο μέγιστος αριθμός σεξιμάτων σελίδας που μπορεί να προκαλέσει η συγκεκριμένη εντολή;
37. Εξηγήστε τις διαφορές μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού κατατεμαχισμού. Ποια από τα δύο χρησιμοποιείται στα συστήματα σελιδοποίησης; Ποιο χρησιμοποιείται σε συστήματα που χρησιμοποιούν αμεγή κατάτμηση (pure segmentation);
38. Όταν χρησιμοποιείται ταυτόχρονα κατάτμηση και σελιδοποίηση, όπως στο MULTICS, πρέπει πρώτα να διαβαστεί ο περιγραφικός τμήματος και μετά ο περιγραφικός σελίδας. Αν υπάρχουν δύο επίπεδα αναζήτησης, δουλεύει η TLB με τον ίδιο τρόπο;
39. Σχεδιάστε ένα ιστόγραμμα και υπολογίστε τη μέση (mean) και την κεντρική (median) τιμή των μεγεθών των εκτελέσιμων διαδικτύων αρχείων σε κάποιον υπολογιστή που έχετε πρόσβαση. Αν το σύστημα βασίζεται στα Windows, εξετάστε όλα τα αρχεία με προεκτάσεις .exe και .dll. Αν το σύστημα βασίζεται στο UNIX, εξετάστε όλα τα εκτελέσιμα αρχεία στους καταλόγους /bin, /usr/bin, και /local/bin, τα οποία όμως δεν είναι σενάρια (scripts). Αν θέλετε, χρησιμοποιήστε το βοηθητικό πρόγραμμα *file* για να βρείτε όλα τα εκτελέσιμα αρχεία. Υπολογίστε το βέλτιστο μέγεθος σελίδας για το συγκεκριμένο υπολογιστή, παίρνοντας υπόψη σας μόνο τον κώδικα (όχι τα δεδομένα). Εξετάστε τον εσωτερικό κατατεμαχισμό και το μέγεθος του πίνακα σελίδων, κάνοντας λογικές υποθέσεις για το μέγεθος των καταχωρίσεων στον πίνακα σελίδων. Υποθέστε ότι όλα τα προγράμματα έχουν την ίδια συχνότητα εκτέλεσης, επομένως αντιμετωπίζονται ισότιμα.
40. Τα μικρά προγράμματα στο MS-DOS μπορούν να μεταγλωττιστούν ως αρχεία με προέκταση .COM. Τα αρχεία αυτά φορτώνονται πάντα στη διεύθυνση 0x100 σε ένα μόνο τμήμα της μνήμης, που χρησιμοποιείται για τον κώδικα, τα δεδομένα, και τη στοίβα. Οι εντολές που μεταφέρουν τον έλεγχο κατά την εκτέλεση, όπως οι JMP και CALL, ή προσπελάζουν στατικά δεδομένα από σταθερές διευθύνσεις, μεταγλωττίζουν τις διευθύνσεις στον αντικειμενικό κώδικα (object code). Γράψτε ένα πρόγραμμα που έχει τη δυνατότητα να επανατοποθετεί ένα τέτοιο αρχείο προγράμματος ώστε να ξεκινάει την εκτέλεσή του από οποιαδήποτε τυχαία διεύθυνση. Το πρόγραμμά σας θα πρέπει να ψάχνει στον κώδικα για να βρει αντικειμενικούς κώδικες για εντολές που αναφέρονται σε σταθερές διευθύνσεις της μνήμης, και στη συνέχεια να τροποποιεί τις διευθύνσεις αυτές ώστε να αναφέρονται σε διευθύνσεις της μνήμης που βρίσκονται μέσα στο επιτρεπόμενο εύρος (μετά την επανατοποθέτηση). Μπορείτε να βρείτε τους αντικειμενικούς κώδικες σε κάποιο βιβλίο συμβολικής γλώσσας προγραμματισμού. Ας σημειωθεί ότι το να γίνει τέτοια η εργασία αυτή, χωρίς πρόσθετες πληροφορίες, είναι αδύνατο, επειδή μερικές λέξεις δεδομένων μπορεί να έχουν τιμές οι οποίες μιμούνται τους αντικειμενικούς κώδικες που έχουν σχέση με εντολές.
41. Γράψτε ένα πρόγραμμα που προσομοιώνει ένα σύστημα σελιδοποίησης. Στην αρχή του προγράμματος, πρέπει να ζητείται από το χρήστη να εκλέξει αλγόριθμο αντικατάστασης σελίδας, μεταξύ των FIFO, LRU, και ενός ακόμη (τουλάχιστον). Σε κάθε κύκλο, διαβάστε τον αριθμό της σελίδας στην οποία γίνεται αναφορά από ένα αρχείο. Κατασκευάστε μια λίστα παρόμοια με την αντίστοιχη



της Εικόνας 4.25, μόνο που πρέπει να την περιστρέψετε κατά 90 μοίρες ώστε κάθε νέα αναφορά σε σελίδα να αυξάνει το μήκος του αρχείου εξόδου κατά μία γραμμή.

2. Γράψτε ένα πρόγραμμα που να μοντελοποιεί τον αλγόριθμο του αλφαριθμητικού απόστασης που περιγράψαμε στο κεφάλαιο. Η είσοδος αποτελείται από μια λίστα από αναφορές σε σελίδες (η οποία εσφαλείται σε ένα αρχείο), και τον αριθμό των διαθέσιμων πλαισίων σελίδας στη φυσική μνήμη. Αν είναι δυνατόν, χρησιμοποιήστε δεδομένα παρακολούθησης (trace data) από πραγματικά προγράμματα, αντί για τυχαίες αναφορές σε σελίδες. Το πρόγραμμα θα πρέπει να διατηρεί στοίβα σελίδων ανάλογη με αυτή της Εικόνας 4.25. Σε κάθε σφάλμα σελίδας, πρέπει να καλείται μια διαδικασία για να επιλέγει σελίδα προς αντικατάσταση. Όταν η εκτέλεση ολοκληρωθεί, το πρόγραμμα πρέπει να σχεδιάζει το αλφαριθμητικό απόστασης, ανάλογο με αυτό της Εικόνας 4.26. Εκτελέστε πολλές φορές το πρόγραμμα για διαφορετικά μεγέθη μνήμης και βγάλτε τα αντίστοιχα συμπεράσματα.