

ΕΝΟΤΗΤΑ 5

ΧΡΟΝΟΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ

Περιεχόμενα

1. Χρονοδρομολόγηση
2. Είδη χρονοδρομολόγησης
3. Στόχοι και κοιτήρια της χρονοδρομολόγησης
4. Ταξινόμηση αλγόριθμων χρονοδρομολόγησης
5. Χρονοδρομολόγηση με βάση τον χρόνο εισόδου
6. Χρονοδρομολόγηση εκ περιτροπής
7. Χρονοδρομολόγηση με βάση τον συνολικό χρόνο εκτέλεσης μίας διεργασίας
8. Χρονοδρομολόγηση με βάση τον υπολοιπόμενο χρόνο εκτέλεσης μίας διεργασίας
9. Χρονοδρομολόγηση με βάση τον χρόνο αναμονής για εκτέλεση μίας διεργασίας
10. Χρονοδρομολόγηση με πολλαπλές ουρές ανατροφοδότησης
11. Χρονοδρομολόγηση σε μερικά Λειτουργικά Συστήματα

1. Χρονοδρομολόγηση

- Με τον όρο *χρονοδρομολόγηση* ή *χρονοπρογραμματισμό* (scheduling) αναφερόμαστε στον αλγόριθμο που χρησιμοποιείται για να αποφασισθεί ποια από τις εργασίες ή διεργασίες που είναι έτοιμες για εκτέλεση θα δεσμεύσει την ΚΜΕ για να αρχίσει να εκτελείται. Το μέρος του Λ.Σ. που είναι υπεύθυνο για τη χρονοδρομολόγηση των διεργασιών λέγεται *χρονοπρογραμματιστής* ή *χρονοδρομολογητής* (scheduler).

2. Είδη χρονοδρομολόγησης

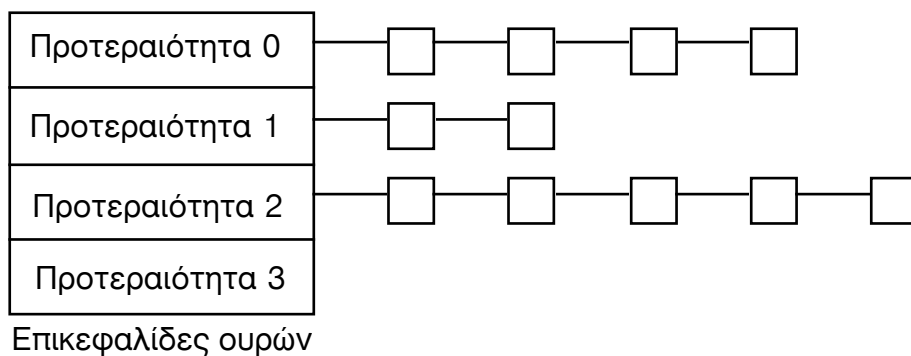
- *Μακροπρόθεσμη* (long-term) ή *υψηλού επιπέδου* (high-level) χρονοδρομολόγηση. Αποφασίζει για το ποιες εργασίες θα εισαχθούν στο σύστημα για εκτέλεση. Μόλις δημιουργηθεί μία εργασία, αποθηκεύεται στην περιφερειακή μνήμη μέχρις ότου ο χρονοδρομολογητής αποφασίσει να τη μεταφέρει στην κύρια μνήμη.
- *Μεσοπρόθεσμη* (medium-term) ή *ενδιάμεσου επιπέδου* (intermediate-level) χρονοδρομολόγηση. Αποφασίζει για το ποιες διεργασίες θα αποκτήσουν το δικαίωμα να συναγωνιστούν για την είσοδό τους στην ΚΜΕ. Αυτό επιτυγχάνεται με την εναλλαγή (swapping) διεργασιών από την περιφερειακή στην κύρια μνήμη και αντίστροφα.
- *Βραχυπρόθεσμη* (short-term) ή *χαμηλού επιπέδου* (short-level) χρονοδρομολόγηση. Αποφασίζει για το ποια διεργασία θα δεσμεύσει την ΚΜΕ. Το μέρος του χρονοπρογραμματιστή που είναι υπεύθυνο για τη βραχυπρόθεσμη χρονοδρομολόγηση λέγεται και *επιλογέας* ή *προωθητής* (dispatcher) και εκτελείται πιο συχνά από τα άλλα μέρη.
- Τα δύο πρώτα είδη χρονοδρομολόγησης ενδιαφέρονται κυρίως για τον βαθμό του πολυπρογραμματισμού που υποστηρίζει το σύστημα και για την όσο το δυνατόν καλύτερη διαχείριση των υπάρχοντων πόρων του συστήματος ενώ το τρίτο εστιάζει την προσοχή του κυρίως στην όσο το δυνατόν καλύτερη χρήση της ΚΜΕ. Αυτά που ακολουθούν ισχύουν σε γενικές γραμμές για όλα τα επίπεδα χρονοδρομολόγησης.

3. Στόχοι και κριτήρια της χρονοδρομολόγησης

- Ένας αλγόριθμος χρονοδρομολόγησης πρέπει να ικανοποιεί κάποιους στόχους (objectives). Οι στόχοι αυτοί σε μεγάλο βαθμό καθορίζουν και τα κριτήρια με βάση τα οποία ορίζεται τελικά ο ένας ή ο άλλος αλγόριθμος. Τα κριτήρια αυτά μπορούν να χωρισθούν σε δύο κατηγορίες.
 1. Προσανατολισμένα στον χρήστη (user oriented):
 - Χρόνος απόκρισης (response time). Ελαχιστοποίηση του χρόνου απόκρισης για διαλογικούς χρήστες (interactive users).
 - Κύκλος διεκπεραίωσης (turnaround). Ελαχιστοποίηση του χρόνου που οι χρήστες ενός συστήματος δέσμης (batch system) περιμένουν τη διεκπεραίωση των εργασιών τους.
 - Προθεσμίες (deadlines). Πρέπει να τηρούνται τυχόν προθεσμίες αποπεράτωσης της εκτέλεσης κάποιων διεργασιών.
 - Καθορισμένη συμπεριφορά (predictability). Ο χρόνος εκτέλεσης μίας εργασίας δεν πρέπει να εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το φόρτο εργασίας του συστήματος.
 2. Προσανατολισμένα στο σύστημα (system oriented):
 - Ρυθμός απόδοσης (throughput). Μεγιστοποίηση του αριθμού των εργασιών που επεξεργάζεται το σύστημα σε μία χρονική μονάδα (π.χ. ανά ώρα).
 - Δικαιοσύνη (fairness). Κάθε διεργασία πρέπει να λαμβάνει δίκαιο ποσοστό χρήσης της ΚΜΕ.
 - Αποδοτικότητα (efficiency). Η ΚΜΕ πρέπει να είναι απασχολημένη σε ποσοστό 100%.
 - Σεβασμός προτεραιοτήτων (priority enforcement) που έχουν οι εκτελούμενες διεργασίες.
 - Ισορροπία χρήσης των διαθέσιμων πόρων (resource balancing). Όλοι οι πόροι του συστήματος πρέπει να χρησιμοποιούνται επαρκώς.
 - Εργασίες που θέλουν να χρησιμοποιήσουν πόρους που κατά κανόνα υποχρησιμοποιούνται πρέπει να προτιμούνται.
- Μερικοί από τους ανωτέρω στόχους/κριτήρια είναι αντικρουόμενοι: π.χ. η ελαχιστοποίηση του χρόνου απόκρισης προϋποθέτει την αποφυγή εκτέλεσης εργασιών δέσμης τις ώρες που οι χρήστες κάνουν login.

4. Ταξινόμηση αλγόριθμων χρονοδρομολόγησης

- Η ταξινόμηση των αλγόριθμων χρονοδρομολόγησης γίνεται με βάση δύο χαρακτηριστικά: τη *στρατηγική αναστολής* (decision mode) της διεργασίας που ήδη εκτελείται και τη *συνάρτηση επιλογής* (selection function) της διεργασίας που θα επιλεγεί για εκτέλεση.
- Η ύπαρξη στρατηγικής αναστολής λέγεται και *χρονοδρομολόγηση προεκχώρησης* (preemptive scheduling) και δεν επιτρέπει τη δέσμευση της ΚΜΕ αποκλειστικά από μία διεργασία. Αντίθετα η ολοκλήρωση εκτέλεσης (run to completion) της διεργασίας πριν αποδεσμεύσει την ΚΜΕ λέγεται *χρονοδρομολόγηση μη προεκχώρησης* (non preemptive scheduling) και χρησιμοποιείται κυρίως σε συστήματα εργασιών δέσμης.
- Η συνάρτηση επιλογής βασίζεται σε κριτήρια όπως οι ανάγκες μίας διεργασίας σε πόρους, ο εκτιμημένος χρόνος εκτέλεσής της και η προτεραιότητά της (priority). Σε ένα σύστημα με προτεραιότητες ο χρονοδρομολογητής διαλέγει πάντα μία διεργασία από αυτές που έχουν μεγαλύτερη προτεραιότητα. Η αποφυγή του φαινομένου της παρατεταμένης στέρησης επιτυγχάνεται με τη δυναμική αλλαγή της προτεραιότητας των διεργασιών.



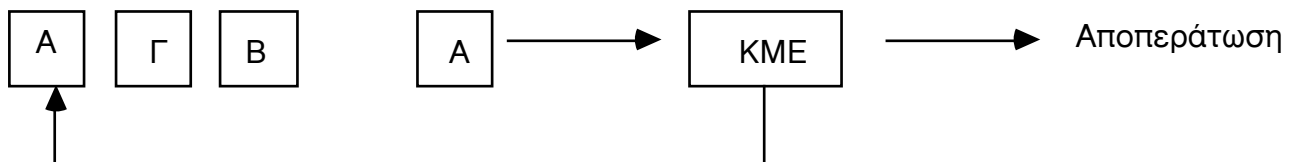
5. Χρονοδρομολόγηση με βάση τον χρόνο εισόδου (FCFS)

- Ο πιο απλός αλγόριθμος χρονοδρομολόγησης είναι αυτός που διαλέγει τη διεργασία εκείνη που δημιουργήθηκε πρώτη (first come first served).
- Ουσιαστικά δεν υπάρχει στρατηγική αναστολής γιατί η διεργασία που εκτελείται δεσμεύει την ΚΜΕ μέχρι την αποπεράτωση της εκτέλεσής της.
- Δείχνει προτίμηση σε διεργασίες που έχουν μεγάλο χρόνο εκτέλεσης και περιορισμένη χρήση Ε/Ε.
- Το κόστος (overhead) της εναλλαγής διεργασιών όμως είναι ελάχιστο.
- Δεν είναι ιδιαίτερα χρήσιμος τρόπος χρονοδρομολόγησης αν και σε συνδυασμό με προτεραιότητες γίνεται πιο αποτελεσματικός.
- Χρησιμοποιείται κυρίως σε συστήματα εργασιών δέσμης.



6. Χρονοδρομολόγηση εκ περιτροπής (RR)

- Οι διεργασίες εξυπηρετούνται εκ περιτροπής (round robin). Σε κάθε διεργασία εκχωρείται ένα χρονικό διάστημα που λέγεται *κβάντο χρόνου* (quantum, time-slice). Αν η διεργασία δεν έχει τερματίσει μέσα στα πλαίσια του κβάντου της, αναστέλλεται η εκτέλεσή της και η ΚΜΕ προεκχωρείται σε άλλη διεργασία.
- Προσοχή πρέπει να δίνεται στο πόσο μεγάλο θα είναι το κβάντο. Αν το κβάντο είναι μικρό, το κόστος εναλλαγής των διεργασιών θα είναι μεγάλο. Αν το κβάντο είναι μεγάλο, ο χρόνος απόκρισης θα είναι μεγάλος ακόμα και για σύντομες διεργασίες.
- Χρησιμοποιείται κυρίως σε συστήματα καταμερισμού χρόνου όπου παίζει κύριο λόγο ο χρόνος απόκρισης προς τους διαλογικούς χρήστες.
- Ευνοεί τις διεργασίες που χρησιμοποιούν κατ' εξοχήν την ΚΜΕ, σε βάρος όμως αυτών που χρησιμοποιούν περισσότερο συσκευές Ε/Ε. Αυτό συμβαίνει διότι στη δεύτερη περίπτωση μία διεργασία δεν θα μπορεί συνήθως να χρησιμοποιεί όλο το κβάντο της αφού αργά ή γρήγορα θα αναστέλλεται η εκτέλεσή της για εκτέλεση κάποιας πράξης Ε/Ε.
- Μία παραλλαγή του αλγόριθμου αυτού είναι οι διεργασίες που ολοκληρώνουν την εκτέλεση μίας εντολής Ε/Ε να έχουν προτεραιότητα για χρήση της ΚΜΕ έναντι των υπολοίπων που είναι έτοιμες για εκτέλεση. Αυτό μπορεί να υλοποιηθεί με τη χρήση μίας ουράς FCFS.



7. Χρονοδρομολόγηση με βάση τον συνολικό χρόνο εκτέλεσης μιας διεργασίας (SPN)

- Οι διεργασίες εξυπηρετούνται με βάση τον συνολικό χρόνο εκτέλεσής τους και συγκεκριμένα εκτελείται πρώτα η συντομότερη εργασία (shortest process next).
- Είναι παραλλαγή του πρώτου αλγόριθμου αλλά ευνοεί τις σύντομες διεργασίες. Και εδώ δεν υπάρχει αναστολή της εκτελούμενης διεργασίας.
- Μεγιστοποιεί τον ρυθμό απόδοσης και ελαχιστοποιεί το χρόνο απόκρισης για σύντομες διεργασίες αλλά δεν ευνοεί μεγάλες διεργασίες.
- Λόγω της έλλειψης αναστολής δεν είναι κατάλληλη για συστήματα καταμερισμού χρόνου. Επίσης, μπορεί να οδηγήσει σε φαινόμενα παρατεταμένης στέρησης αν στο σύστημα υπάρχουν πολλές σύντομες διεργασίες.
- Τέλος προϋποθέτει ότι ο χρόνος εκτέλεσης μιας διεργασίας είναι εκ των προτέρων γνωστός.

8. Χρονοδρομολόγηση με βάση τον υπολοιπόμενο χρόνο εκτέλεσης μιας διεργασίας (SRT)

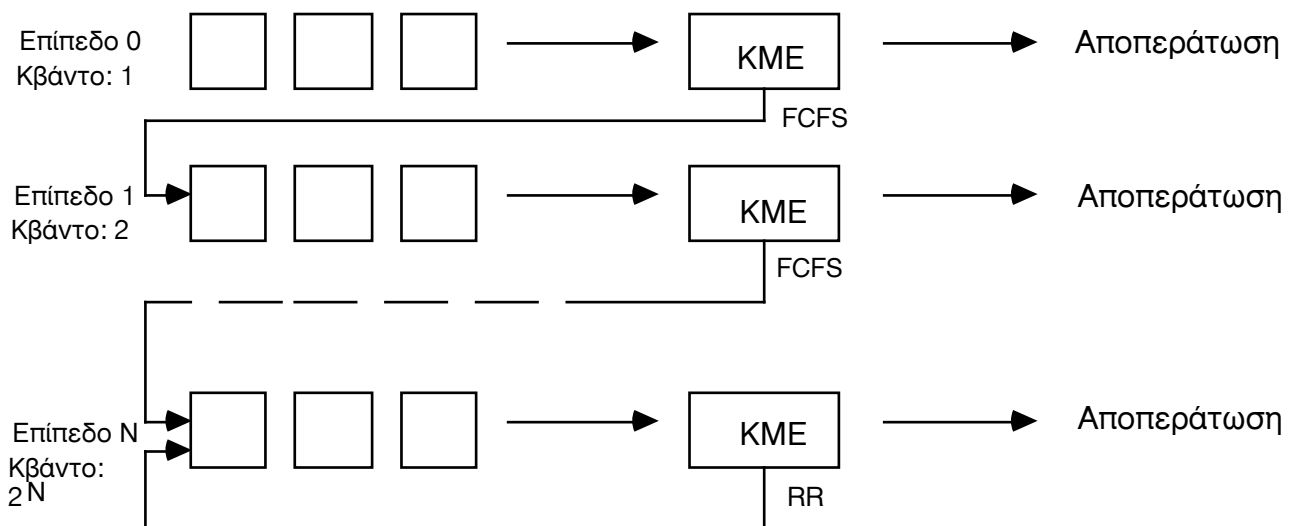
- Είναι παραλλαγή του προηγούμενου αλγόριθμου με δυνατότητα αναστολής. Ο χρονοδρομολογητής διαλέγει για εκτέλεση τη διεργασία εκείνη για την οποία εκτιμάται ότι έχει το λιγότερο υπολοιπόμενο χρόνο εκτέλεσης (shortest remaining time).
- Η άφιξη στην ουρά των διεργασιών που είναι έτοιμες για εκτέλεση μιας διεργασίας που ο υπολοιπόμενος χρόνος εκτέλεσής της είναι μικρότερος από αυτόν της διεργασίας που εκτελείται εκείνη τη στιγμή, οδηγεί σε αναστολή της εκτέλεσης της τελευταίας αυτής.

9. Χρονοδρομολόγηση με βάση τον χρόνο αναμονής για εκτέλεση μίας διεργασίας (HRRN)

- Είναι μία άλλη παραλλαγή του αλγόριθμου (SPN) όπου στη συνάρτηση επιλογής λαμβάνεται υπ' όψη εκτός του συνολικού χρόνου εκτέλεσης μίας διεργασίας και ο χρόνος που περιμένει να εκτελεσθεί.
- Οδηγεί στη δημιουργία προτεραιοτήτων μεταξύ των διεργασιών όπου ισχύει η συνθήκη:

$$\text{προτεραιότητα} = \frac{(\text{χρόνος αναμονής} + \text{χρόνος εκτέλεσης})}{\text{χρόνος εκτέλεσης}}$$
- Επιτυγχάνει την ικανοποιητική εξυπηρέτηση μεγάλων διεργασιών γιατί όσο αυξάνει ο χρόνος αναμονής τους αυξάνει ανάλογα και η προτεραιότητά τους.

10. Χρονοδρομολόγηση με πολλαπλές ουρές ανατροφοδότησης



10. Χρονοδρομολόγηση με πολλαπλές ουρές ανατροφοδότησης (συνέχεια)

- Ο αλγόριθμος αυτός δεν χρειάζεται εκτίμηση του χρόνου εκτέλεσης μίας διεργασίας όπως οι περισσότεροι από τους προηγούμενους. Μπορεί να θεωρηθεί σαν παραλλαγή του αλγόριθμου RR με προτεραιότητες.
- Αν μία διεργασία δεν ολοκληρωθεί μέσα στο χρονικό περιθώριο που καθορίζεται από το κβάντο, μεταφέρεται στην επόμενη ουρά χαμηλότερης προτεραιότητας. Όλες οι ουρές υλοποιούν τον αλγόριθμο FCFS εκτός της τελευταίας που κατ' ανάγκη χρησιμοποιεί τον RR.
- Επειδή για μεγάλες διεργασίες ο χρόνος διεκπεραίωσης τείνει να μεγαλώνει καθώς οι διεργασίες υποβιβάζονται σε επίπεδα χαμηλότερης προτεραιότητας και για αποφυγή δημιουργίας φαινομένων παρατεταμένης στέρησης, το κάθε επίπεδο X έχει μεγαλύτερο κβάντο από το προηγούμενό του $X-1$. Επιπλέον, αν μία διεργασία έχει παραμείνει σε κάποιο επίπεδο ένα ωρισμένο χρονικό διάστημα προβιβάζεται στο αμέσως υψηλότερο επίπεδο.

11. Χρονοδρομολόγηση σε μερικά Λ.Σ.

- Το Unix χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο των πολλαπλών ουρών με χρήση RR σε όλες τις ουρές. Το κβάντο χρόνου είναι 1 δευτερόλεπτο. Η προτεραιότητα μίας διεργασίας καθορίζεται από το είδος της και τη συμπεριφορά της στο παρελθόν.
- Το OS/2 χρησιμοποιεί παρόμοια μεθοδολογία αλλά ο χρήστης μπορεί να αλλάξει το κβάντο χρόνου.
- Το MVS διαχωρίζει μεταξύ των διεργασιών που δεν μπορούν να ανασταλούν και αυτών που μπορούν. Για τις πρώτες χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος FCFS και για τις δεύτερες ο αλγόριθμος των πολλαπλών ουρών με 256 επίπεδα προτεραιότητας. Μεταφορά μίας διεργασίας από ένα επίπεδο σε άλλο γίνεται με βάση κάποια κριτήρια αποδοτικότητας.