

Μάθημα 7: Αλγόριθμοι Χρονοδρομολόγησης

7.1 Ορισμός – Στόχοι

Αλγόριθμο χρονοδρομολόγησης (scheduling algorithm) ονομάζουμε την μεθοδολογία την οποία χρησιμοποιεί ο κάθε χρονοδρομολογητής (βραχυχρόνιος, μεσοχρόνιος ή μακροχρόνιος) για να επιλέγει διεργασίες.

Ο αλγόριθμος αυτός περιγράφει με σαφήνεια τον τρόπο με τον οποίο ο χρονοδρομολογητής θα επιλέξει μια διεργασία για να την προωθήσει στην ΚΜΕ ή να την απομακρύνει από αυτή, πόσο χρόνο θα απασχολεί κάθε διεργασία την ΚΜΕ κλπ.

Οι παράμετροι που λαμβάνει υπόψη του ο αλγόριθμος είναι το πλήθος των διεργασιών, η διάρκεια που αναμένεται να έχουν οι εκρήξεις ΚΜΕ και Ε/Ε για τις διεργασίες αυτές, κλπ.

Οι βασικοί στόχοι ενός αλγορίθμου χρονοδρομολόγησης είναι δυο:

1. Η καλύτερη απόδοση του υπολογιστικού συστήματος.
2. Η ταχύτητα του ίδιου του αλγορίθμου στη λήψη αποφάσεων ώστε να προσθέτει την ελάχιστη επιβάρυνση στο σύστημα.

Ο δεύτερος στόχος είναι ιδιαίτερα σημαντικός για τον βραχυχρόνιο χρονοδρομολογητή, ο οποίος εκτελείται πολύ συχνά.

7.2 Κριτήρια αξιολόγησης - Κατηγορίες

Τα πιο συνηθισμένα κριτήρια αξιολόγησης είναι:

1. Ο **βαθμός χρησιμοποίησης της ΚΜΕ** (CPU utilization).

Πρόκειται για το ποσοστό του χρόνου που η ΚΜΕ είναι απασχολημένη. Αν το υπολογιστικό σύστημα λειτουργεί για χρονικό διάστημα $T_{ολ}$ και η ΚΜΕ έχει απασχοληθεί για χρόνο $T_{απ}$, ο βαθμός χρησιμοποίησής της είναι:

$$\beta_x = \frac{T_{απ}}{T_{ολ}}$$

2. Η **ρυθμαπόδοση** (throughput).

Είναι το πλήθος των εργασιών που ολοκληρώνονται στη μονάδα του χρόνου. Αν π.χ. μέσα σε μια ώρα ολοκληρωθούν 1800 εργασίες, τότε η ρυθμαπόδοση του συστήματος είναι 0,5 εργασίες/sec. Όσο πιο μεγάλη είναι η ρυθμαπόδοση, τόσο καλύτερη γίνεται η απόδοση του συστήματος.

$$\text{ρυθμαπόδοση} = \frac{\text{εργασίες}}{\text{χρόνος}}$$

3. Ο χρόνος ανακύκλωσης (turnaround time).

Είναι ο συνολικός χρόνος που απαιτείται για την πλήρη εκτέλεση μιας εργασίας, από τη στιγμή που αυτή υποβάλλεται στο σύστημα μέχρι τη στιγμή που ολοκληρώνεται. Αυτός ο χρόνος περιλαμβάνει την αρχική αναμονή της εργασίας μέχρι να επιλεγεί για φόρτωση στην κύρια μνήμη, το χρόνο εκτέλεσης στην ΚΜΕ, το χρόνο Ε/Ε και το χρόνο αναμονής σε διάφορες ουρές του συστήματος.

4. Ο χρόνος αναμονής (waiting time).

Πρόκειται για το χρόνο που πέρασε η διεργασία στη λίστα έτοιμων διεργασιών αναμένοντας την εκτέλεσή της. Ο χρόνος αναμονής είναι ένας «καλύτερος» δείκτης της καθυστέρησης που επιβάλλει το σύστημα σε μια διεργασία από το χρόνο ανακύκλωσης, γιατί ο δεύτερος περιέχει και το χρόνο που εκτελείται η διεργασία στην ΚΜΕ ή εκτελεί λειτουργίες Ε/Ε, ο οποίος είναι σταθερός για κάθε διεργασία και δεν εξαρτάται από το ΛΣ.

5. Ο χρόνος απόκρισης (response time).

Σε διαλογικά συστήματα ενδιαφέρει πολλές φορές ο χρόνος που απαιτείται μέχρι το σύστημα να δώσει την πρώτη έξοδο-απόκριση για μια διεργασία, που ονομάζεται χρόνος απόκρισης. Αυτός διαφέρει από το χρόνο ανακύκλωσης κατά το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την ολοκλήρωση της εξόδου μιας διεργασίας, και συνεπώς δεν εξαρτάται από την ταχύτητα της συσκευής εξόδου. Αν π.χ. μια διεργασία μετά το τέλος των υπολογισμών της εκτυπώνει τα αποτελέσματα, ο χρόνος απόκρισης μετρίεται μέχρι τη στιγμή που αρχίζει η εκτύπωση· ο χρόνος της εκτύπωσης δεν συνυπολογίζεται.

Οι κυριότερες κατηγορίες των αλγορίθμων χρονοδρομολόγησης είναι:

1. **Μη διακοπτοί** (non preemptive): Μια διεργασία που επιλέγεται να πάρει τον έλεγχο της ΚΜΕ τον διατηρεί μέχρι να ολοκληρωθεί.
2. **Διακοπτοί** (preemptive): Μια διεργασία μπορεί να διακοπεί από το ΛΣ όταν αυτή πάρει τον έλεγχο της ΚΜΕ.

7.3 Μη διακοπτοί αλγόριθμοι χρονοδρομολόγησης

Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται τρεις βασικές περιπτώσεις αλγορίθμων:

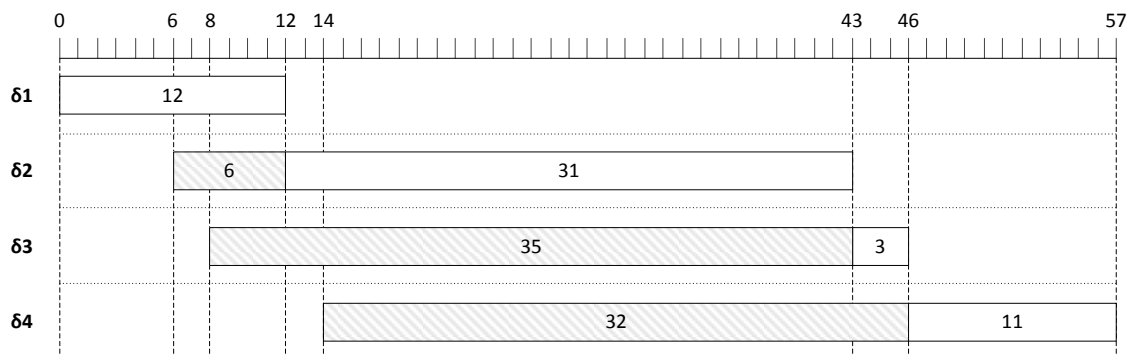
1. Εξυπηρέτηση με βάση τη σειρά άφιξης.
2. Εξυπηρέτηση με βάση τη διάρκεια.
3. Εξυπηρέτηση με βάση τον λόγο απόκρισης.

Θα εξετάσουμε τις περιπτώσεις αυτές μέσα από ένα παράδειγμα. Έστω 4 διεργασίες και οι χρόνοι τους:

Διεργασία	Άφιξη	Διάρκεια
δ1	0	12
δ2	6	31
δ3	8	3
δ4	14	11

1. Εξυπηρέτηση με βάση τη σειρά άφιξης (First Come First Served – FCFS)

Ο αλγόριθμος αυτός εξυπηρετεί τις διεργασίες που καταφθάνουν πρώτες χρονικά. Έτσι έχουμε:



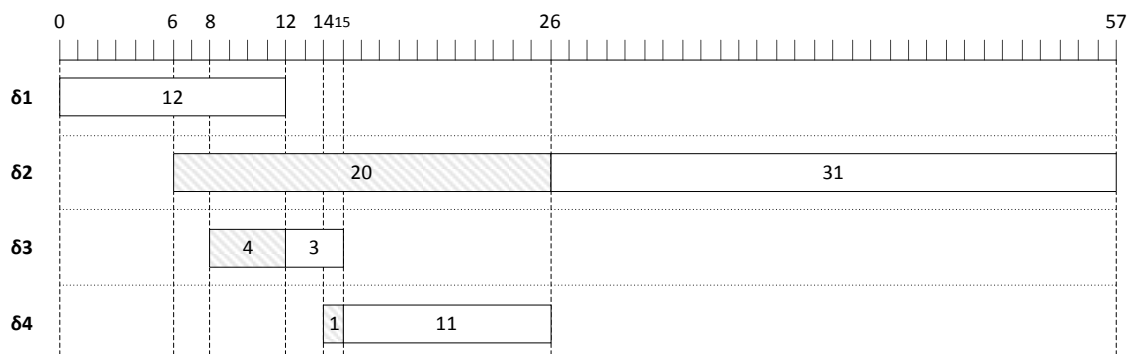
Ο μέσος χρόνος αναμονής είναι: $\frac{0+6+35+32}{4} = 18,25$ ενώ ο μέσος χρόνος απόκρισης: $\frac{12+37+38+43}{4} = 32,5$

Πλεονεκτήματα: Απλότητα

Μειονεκτήματα: Χαμηλές επιδόσεις

2. Εξυπηρέτηση με βάση τη διάρκεια (Shortest Job First - SJF)

Ο αλγόριθμος αυτός εξυπηρετεί πρώτα τις διεργασίες με τη μικρότερη διάρκεια. Συνεπώς:



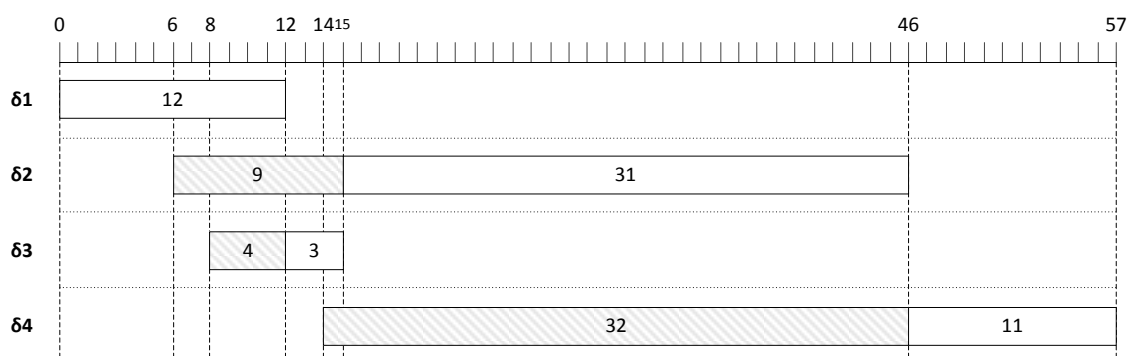
Ο μέσος χρόνος αναμονής είναι: $\frac{0+20+4+1}{4} = 6,25$ ενώ ο μέσος χρόνος απόκρισης: $\frac{12+51+7+12}{4} = 20,5$

3. Εξυπηρέτηση με βάση το λόγο απόκρισης (Highest Response Ratio First - HRF)

Ο αλγόριθμος αυτός εξυπηρετεί πρώτα τις διεργασίες με το μεγαλύτερο λόγο απόκρισης. Ο λόγος απόκρισης ορίζεται ως εξής:

$$\text{Λόγος Απόκρισης} = \frac{\text{Χρόνος Απόκρισης}}{\text{Χρόνος Εκτέλεσης}} = \frac{\text{Χρόνος Εκτέλεσης} + \text{Χρόνος Αναμονής}}{\text{Χρόνος Εκτέλεσης}} = 1 + \frac{\text{Χρόνος Αναμονής}}{\text{Χρόνος Εκτέλεσης}}$$

Ο λόγος απόκρισης υπολογίζεται κάθε φορά που πρέπει να επιλεγεί μια διεργασία και ανάλογα εκτελείται εκείνη με την μεγαλύτερη τιμή. Δηλαδή:



Παρατηρούμε ότι στο τέλος της διεργασίας δ1, κατά τη χρονική στιγμή 12, υπολογίστηκαν οι χρόνοι απόκρισης των δ2 και δ3 οι οποίοι βρέθηκαν: $\delta 2 = 1 + \frac{6}{31} = 1,19$ και $\delta 3 = 1 + \frac{4}{3} = 2,33$. Άρα, επιλέχθηκε η διεργασία δ3 για να εκτελεστεί μετά τη δ1.

Το ίδιο συνέβη και τη χρονική στιγμή 15, στο τελείωμα της δ3. Υπολογίστηκαν οι λόγοι απόκρισης των διεργασιών δ2 και δ4 και βρέθηκαν: $\delta 2 = 1 + \frac{9}{31} = 1,29$ και $\delta 4 = 1 + \frac{1}{11} = 1,09$. Οπότε, επιλέχθηκε η δ2 για να εκτελεστεί.

Ο μέσος χρόνος αναμονής είναι: $\frac{0+9+4+32}{4} = 11,25$ ενώ ο μέσος χρόνος απόκρισης: $\frac{12+40+7+43}{4} = 25,5$

Συνοπτικά, τα αποτελέσματα για τους τρεις αλγορίθμους φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

	Με βάση τη σειρά άφιξης (FCFS)	Με βάση τη διάρκεια (SJF)	Με βάση το λόγο απόκρισης (HRF)
Μέσος χρόνος αναμονής	18,25	6,25	11,25
Μέσος χρόνος απόκρισης	32,50	20,50	25,50

Για το συγκεκριμένο παράδειγμα, καλύτερος από τους τρεις είναι ο αλγόριθμος εξυπηρέτησης με βάση τη διάρκεια.

4. Εξυπηρέτηση με βάση την προτεραιότητα

Οι τρεις προηγούμενοι μη διακοπτοί αλγόριθμοι που περιγράφηκαν πριν αποτελούν ειδική περίπτωση ενός γενικότερου αλγορίθμου, ο οποίος δρομολογεί διεργασίες με βάση την **προτεραιότητά** (priority) τους.

Στον αλγόριθμο αυτό, σε κάθε διεργασία δίνεται μια αριθμητική τιμή, που είναι η προτεραιότητά της, και η διεργασία με τη μεγαλύτερη προτεραιότητα επιλέγεται κάθε φορά για εκτέλεση.

Όταν δύο ή περισσότερες διεργασίες έχουν την ίδια προτεραιότητα τότε επιλέγεται η παλαιότερη (σειρά άφιξης).

Ας δούμε πως εκφράζονται οι τρεις προηγούμενοι αλγόριθμοι με βάση την προτεραιότητα:

- Στην εξυπηρέτηση με βάση τη σειρά άφιξης, όλες οι διεργασίες έχουν την ίδια προτεραιότητα και επιλέγεται κάθε φορά για εκτέλεση η παλαιότερη.
- Στην εξυπηρέτηση με βάση τη διάρκεια, προτεραιότητα έχει η διεργασία με τη μικρότερη έκρηξη ΚΜΕ (χρόνος εκτέλεσης).
- Στην εξυπηρέτηση με βάση το λόγο απόκρισης, τη μεγαλύτερη προτεραιότητα έχει η διεργασία με το μεγαλύτερο λόγο απόκρισης.

Στις δύο πρώτες περιπτώσεις, η προτεραιότητα μιας διεργασίας καθορίζεται μια φορά κατά την είσοδό της στη λίστα έτοιμων διεργασιών και δεν αλλάζει ξανά (**στατική προτεραιότητα** - static priority).

Στην τρίτη περίπτωση, οι προτεραιότητες (δηλαδή οι λόγοι απόκρισης) των διεργασιών υπολογίζονται κάθε φορά που πρέπει να επιλεγεί μια διεργασία για εκτέλεση (**δυναμική προτεραιότητα** - dynamic priority).

Ένα πολύ ουσιαστικό πρόβλημα που μπορεί να προκύψει σε ορισμένους αλγορίθμους χρονοδρομολόγησης είναι ότι ενδεχομένως κάποιες διεργασίες με αρκετά μικρή προτεραιότητα μπορεί να αναμένουν την εκτέλεσή τους επ' αόριστο σε ένα υπερφορτωμένο σύστημα γιατί συνεχώς τις υπερπηδούν άλλες, υψηλότερης προτεραιότητας.

Τη λύση στο πρόβλημα αυτό δίνει η τεχνική της **γήρανσης** (aging), η οποία αυξάνει την προτεραιότητα μιας διεργασίας με την πάροδο του χρόνου, ώστε κάποια στιγμή να εκτελεστεί.

Αυτή την τεχνική εφαρμόζει ουσιαστικά η εξυπηρέτηση με βάση το λόγο απόκρισης: όσο περνά ο χρόνος και μια διεργασία δεν εκτελείται, ο λόγος απόκρισής της (άρα και η προτεραιότητά της) αυξάνει.

7.4 Διακοπτοί αλγόριθμοι χρονοδρομολόγησης

Στην κατηγορία αυτή έχουμε δύο περιπτώσεις:

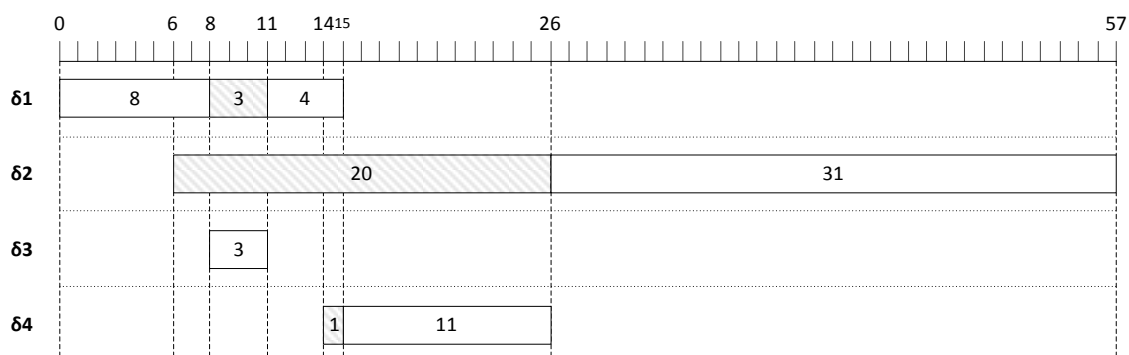
1. Διακοπτή εξυπηρέτηση με βάση τη διάρκεια.
2. Χρονοδρομολόγηση κυκλικής επαναφοράς.

Θα εξετάσουμε τις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιώντας το προηγούμενο παράδειγμα με τις 4 διεργασίες:

Διεργασία	Άφιξη	Διάρκεια
δ1	0	12
δ2	6	31
δ3	8	3
δ4	14	11

1. Διακοπή εξυπηρέτηση με βάση τη διάρκεια (Preemptive Shortest Job First)

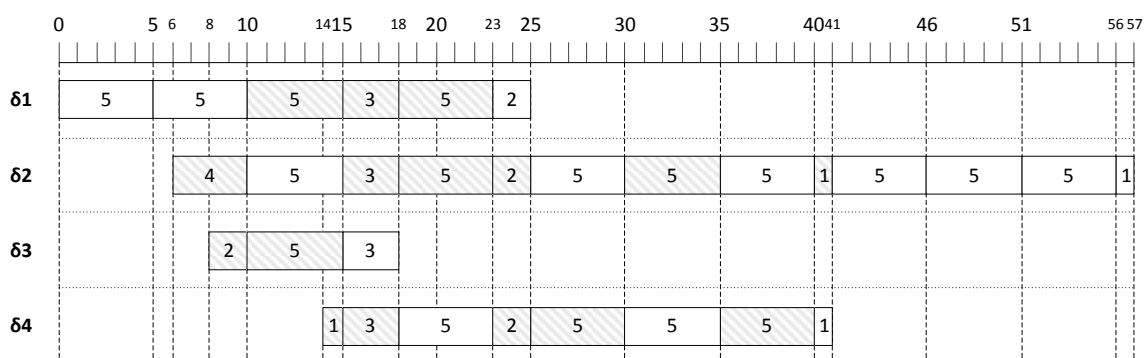
Στον αλγόριθμο αυτό εκτελείται κάθε διεργασία που εισέρχεται στη λίστα έτοιμων διεργασιών και έχει μικρότερη διάρκεια από τη διάρκεια της διεργασίας η οποία εκτελείται.



Ο μέσος χρόνος αναμονής είναι: $\frac{3+20+0+1}{4} = 6$ ενώ ο μέσος χρόνος απόκρισης: $\frac{15+51+3+12}{4} = 20,25$

2. Χρονοδρομολόγηση κυκλικής επαναφοράς (Round Robin)

Ένα μικρό ποσό χρόνου (κβάντο χρόνου) δίνεται κυκλικά σε κάθε διεργασία. Αν μια διεργασία τελειώσει την εκτέλεσή της προτού τελειώσει το κβάντο χρόνου τότε το Λ/Σ προχωρά στην επόμενη έτοιμη διεργασία. Στο παράδειγμά μας, αν το κβάντο χρόνου είναι 5 τότε έχουμε:



Ο μέσος χρόνος αναμονής είναι: $\frac{13+20+7+16}{4} = 14$ ενώ ο μέσος χρόνος απόκρισης: $\frac{25+51+10+27}{4} = 28,25$.

Η επίδοση ενός αλγορίθμου κυκλικής επαναφοράς επηρεάζεται σημαντικά από την επιλογή της διάρκειας του κβάντου χρόνου.

7.5 Ασκήσεις

1. Συμπλήρωσε τα κενά με τις λέξεις που λείπουν:

1. Το ποσοστό του χρόνου που η ΚΜΕ είναι απασχολημένη λέγεται της ΚΜΕ.
2. Ο συνολικός χρόνος που απαιτείται για την πλήρη εκτέλεση μίας εργασίας από την υποβολή της λέγεται
3. Το πλήθος των εργασιών που ολοκληρώνεται στην μονάδα του χρόνου λέγεται
4. Οι αλγόριθμοι χρονοδρομολόγησης μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τους και τους
5. Οι κυριότεροι μη διακοπτοί αλγόριθμοι χρονοδρομολόγησης είναι: 1) , 2)....., και 3)
6. Οι κυριότεροι διακοπτοί αλγόριθμοι χρονοδρομολόγησης είναι: 1) , 2).....

2. Οι ακόλουθες προτάσεις είναι σωστές ή λανθασμένες;

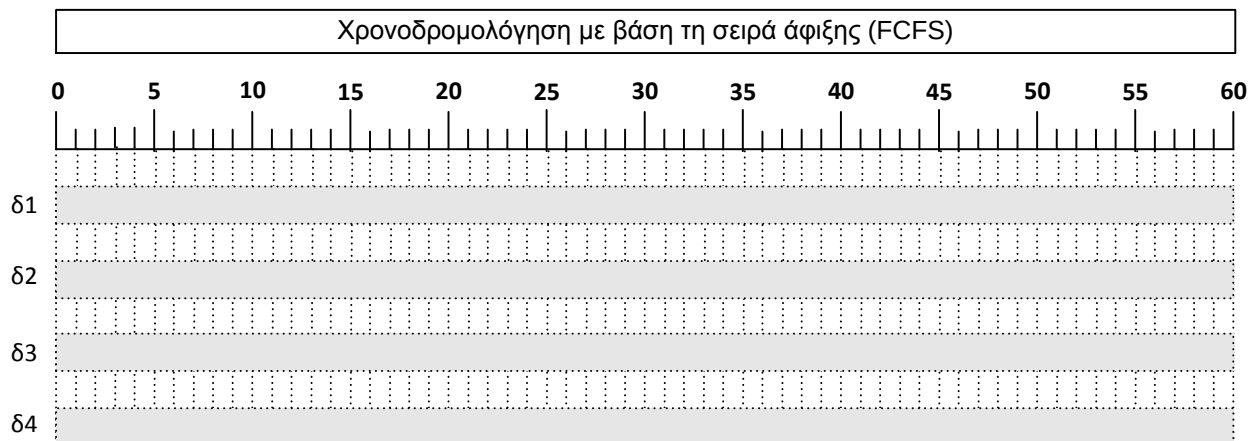
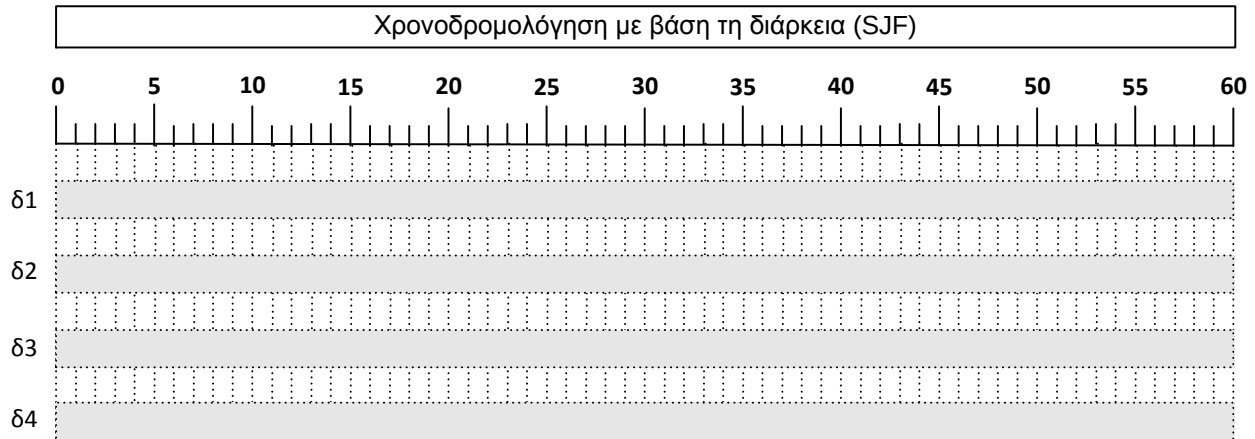
1. Το ποσοστό του χρόνου που η ΚΜΕ είναι απασχολημένη λέγεται ρυθμαπδόδοση.
☐ Σωστό ☐ Λάθος
2. Ο χρόνος που απαιτείται μέχρι το σύστημα να δώσει την πρώτη έξοδο για μια διεργασία λέγεται χρόνος ανακύκλωσης.
☐ Σωστό ☐ Λάθος
3. Η ταχύτητα της συσκευής εξόδου επηρεάζει τον χρόνο ανακύκλωσης.
☐ Σωστό ☐ Λάθος
4. Η ταχύτητα της συσκευής εξόδου επηρεάζει τον χρόνο απόκρισης.
☐ Σωστό ☐ Λάθος
5. Η επίδοση του αλγορίθμου «με βάση τη σειρά άφιξης» είναι πάντα χαμηλή, αν κριθεί με βάση το χρόνο ανακύκλωσης.
☐ Σωστό ☐ Λάθος
6. Ο καλύτερος μέσος χρόνος αναμονής επιτυγχάνεται με τον αλγόριθμο «εξυπηρέτηση με βάση τη διάρκεια».
☐ Σωστό ☐ Λάθος

3. Αντιστοίχισε τις λέξεις:

- | | |
|--|---|
| 1. Χρονοδρομολόγηση κυκλικής επαναφοράς | A. Κβάντο χρόνου |
| 2. Εξυπηρέτηση με βάση τη διάρκεια | B. Καλύτερος μέσος χρόνος αναμονής |
| 3. Εξυπηρέτηση με βάση την προτεραιότητα | Γ. 1 + (Χρόνος Αναμονής/Χρόνος Εκτέλεσης) |
| 4. Εξυπηρέτηση με βάση το λόγο απόκρισης | Δ. Ηλικίωση |

4. Σε ένα υπολογιστικό σύστημα εκτελούνται τέσσερις διεργασίες, οι οποίες περιγράφονται από τον παράπλευρο πίνακα. Συμπληρώστε το διάγραμμα χρονοδρομολόγησης των διεργασιών με τους μη διακοπτούς αλγορίθμους: α) Με βάση τη διάρκεια, β) Με βάση τη σειρά άφιξης, γ) Με βάση το λόγο απόκρισης. Από τα διαγράμματα υπολογίστε το μέσο χρόνο απόκρισης και το μέσο χρόνο αναμονής για τον καθένα από τους τρεις αλγορίθμους.

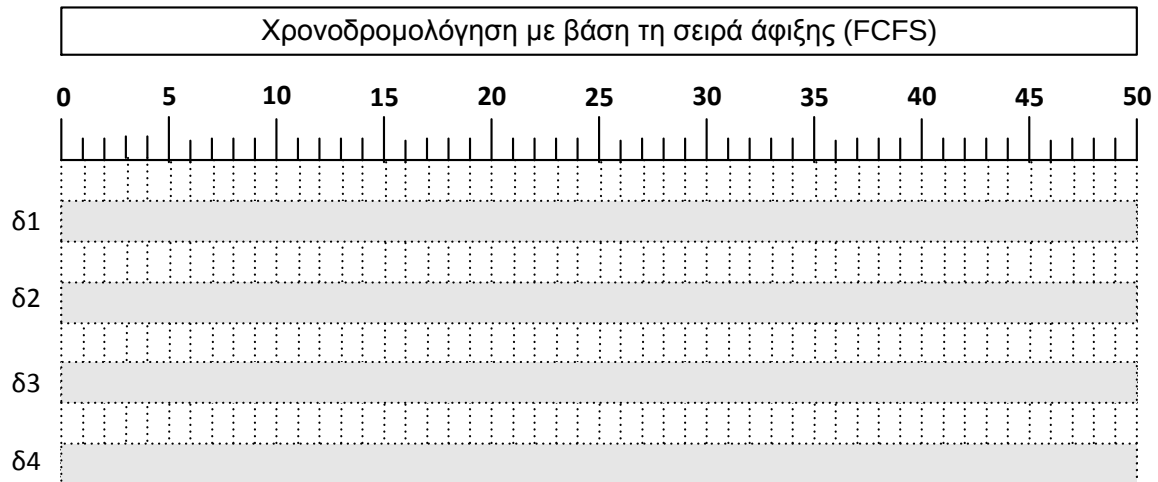
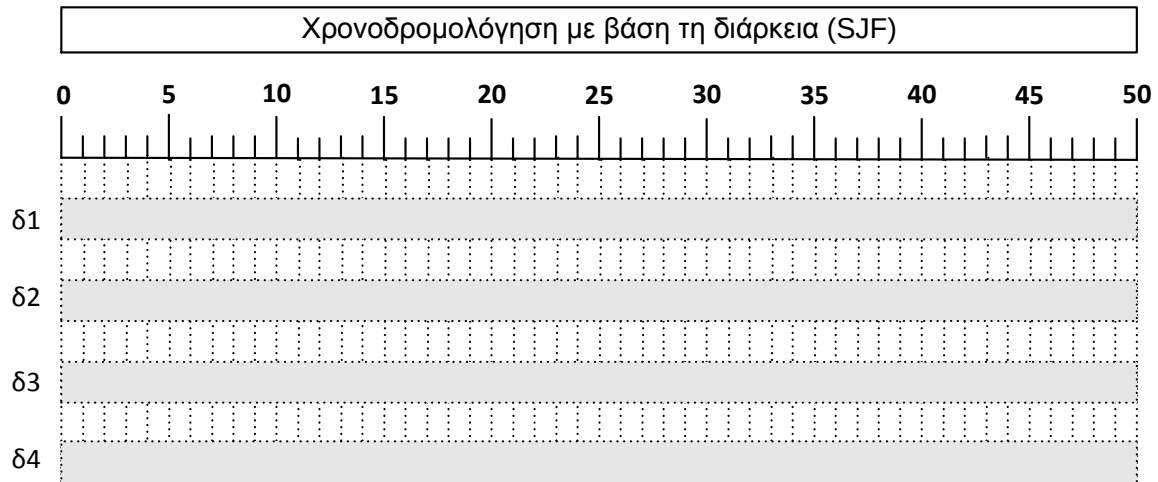
	Άφιξη	Διάρκεια
δ1	0	20
δ2	10	15
δ3	14	9
δ4	17	12



	SJF	FCFS	HRF
Μέσος χρόνος απόκρισης			
Μέσος χρόνος αναμονής			

5. Σε ένα υπολογιστικό σύστημα εκτελούνται τέσσερις διεργασίες, οι οποίες περιγράφονται από τον παράπλευρο πίνακα. Συμπληρώστε το διάγραμμα χρονοδρομολόγησης των διεργασιών με τους μη διακοπτούς αλγορίθμους: α) Με βάση τη διάρκεια, β) Με βάση τη σειρά άφιξης. Από τα διαγράμματα υπολογίστε το μέσο χρόνο απόκρισης και το μέσο χρόνο αναμονής για τον καθένα από τους αλγορίθμους.

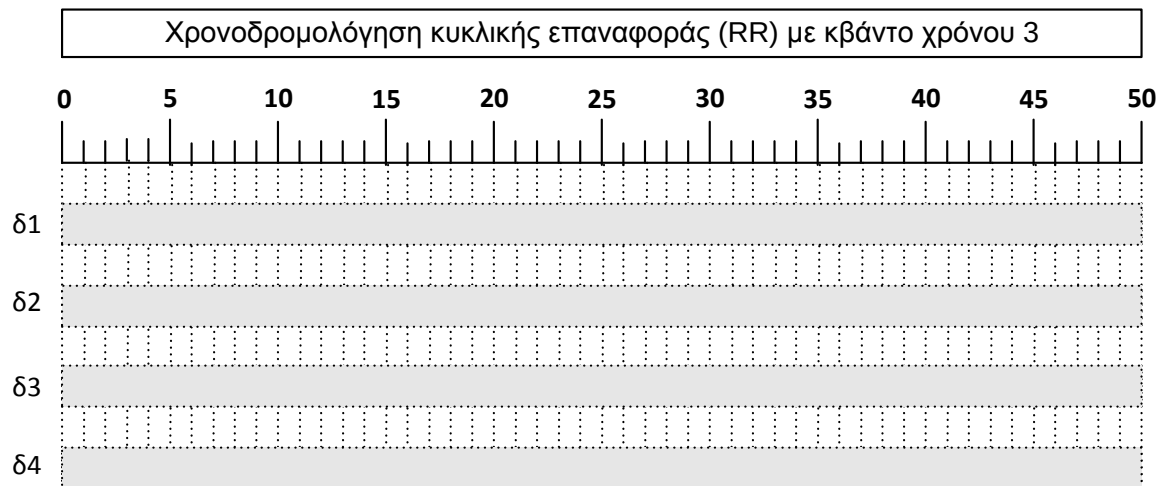
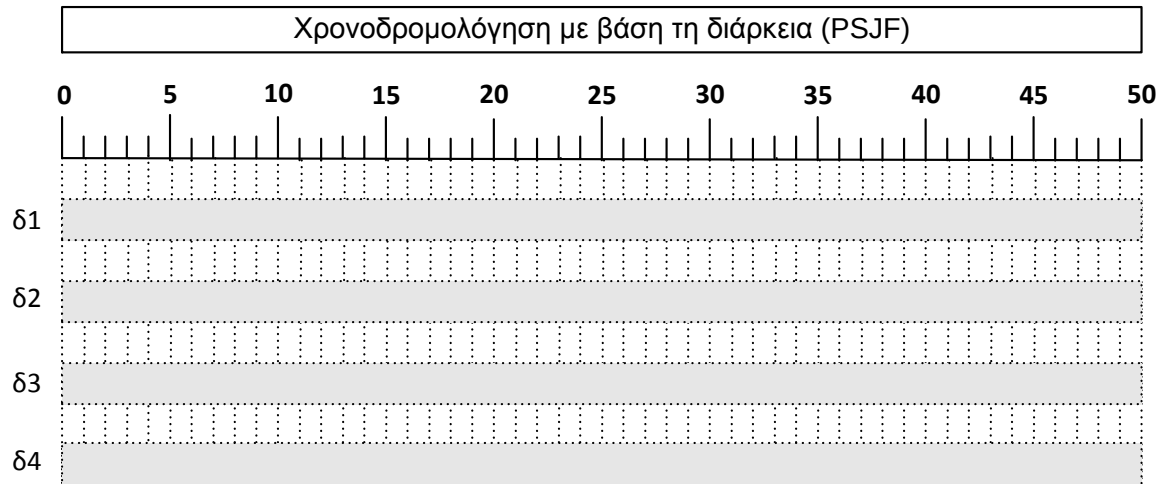
	Άφιξη	Διάρκεια
δ1	0	10
δ2	2	14
δ3	10	5
δ4	20	15



	SJF	FCFS
Μέσος χρόνος απόκρισης		
Μέσος χρόνος αναμονής		

6. Σε ένα υπολογιστικό σύστημα εκτελούνται τέσσερις διεργασίες, οι οποίες περιγράφονται από τον παράπλευρο πίνακα. Συμπληρώστε το διάγραμμα χρονοδρομολόγησης των διεργασιών με τους διακοπτούς αλγορίθμους: α) Με βάση τη διάρκεια, β) Κυκλικής επαναφοράς με κβάντο χρόνου 3. Από τα διαγράμματα υπολογίστε το μέσο χρόνο απόκρισης και το μέσο χρόνο αναμονής για τον καθένα από τους αλγορίθμους.

	Αφιξη	Διάρκεια
δ1	0	20
δ2	10	8
δ3	14	9
δ4	17	12



	PSJF	RR (3)
Μέσος χρόνος απόκρισης		
Μέσος χρόνος αναμονής		