



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ : ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗ
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΕΝΤΡΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΤΥΠΟΥ

Νικόλαος Δ. Λιάκουρης

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : Δρ. ΗΛΙΑΣ ΚΟΣΜΑΤΟΠΟΥΛΟΣ

Χανιά 2006

Στους γονείς μου
Δημήτρη, Μυρτώ
και την αδερφή μου
Νάντια.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ολοκληρώνοντας τη διπλωματική μου εργασία, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Ηλία Κοσματούπουλο για την άρτια καθοδήγηση και την βοήθεια που μου παρείχε.

Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον φίλο μου Πέτρο Ξανθόπουλο για τις πολύτιμες συμβουλές του στα θέματα προγραμματισμού και τη βοήθεια που μου παρείχε στην εκμάθηση του λογισμικού που χρησιμοποίησα.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την υποστήριξη της καθ' όλη τη διάρκεια της φοιτητικής μου ζωής.

Πίνακας Περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
2. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	8
2.1 Δίκτυα αναμονής (Queuing Networks)	8
2.1.1 Περιγραφή.....	8
2.1.2 Μέτρα απόδοσης και συμβολισμοί.....	9
2.1.3 Υπολογισμός μεγεθών	11
2.1.4 Εκθετική κατανομή.....	11
3. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....	14
3.1.Γεννήτριες τυχαίων αριθμών και συναρτήσεις.....	14
3.1.1 Χρονικοί παράγοντες και γεννήτριες τυχαίων αριθμών	14
3.1.2 Συναρτήσεις	16
3.2 Σειριακό μοντέλο	17
3.2.1 Περιγραφή.....	17
3.2.2 Διάγραμμα ροής σειριακού μοντέλου.....	18
3.2.3 Αλγόριθμος σειριακού μοντέλου	19
3.2.4 Αποτελέσματα σειριακού μοντέλου	21
3.3 Μοντέλο ουρών	27
3.3.1 Περιγραφή.....	27
3.3.2 Διάγραμμα ροής μοντέλου ουρών	28
3.3.3 Αλγόριθμος μοντέλου ουρών.....	29
3.3.4 Αποτελέσματα μοντέλου ουρών	31
3.4 Μοντέλο εναλλακτικών διαδρομών.....	39
3.4.1 Περιγραφή.....	39
3.4.2 Διάγραμμα ροής μοντέλου εναλλακτικών διαδρομών	40
3.4.3 Αλγόριθμος μοντέλου εναλλακτικών διαδρομών.....	41
3.4.4 Αποτελέσματα μοντέλου εναλλακτικών διαδρομών	43
3.5 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα.....	49
3.5.1 Σειριακό μοντέλο	49
3.5.2 Μοντέλο ουρών	50
3.5.3 Μοντέλο εναλλακτικών διαδρομών.....	51
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	53
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	57
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	58

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο « Ανάπτυξη μοντέλων προσομοίωσης για τη λειτουργία κέντρων διανομής τύπου », παρουσιάζονται τρία μοντέλα, τα οποία περιγράφουν τη διαδικασία λειτουργίας στα κέντρα διανομής ημερησίου τύπου και ως κύριο στόχο έχουν τη βελτιστοποίηση του χρόνου. Ταυτόχρονα όμως αναδεικνύουν και άλλους παράγοντες, οι οποίοι επηρεάζουν την εύρυθμη λειτουργία του συστήματος. Το σύστημα λειτουργίας ενός κέντρου διανομής προσεγγίζεται σαν ένα δίκτυο αναμονής και γίνεται αναφορά στο αντίστοιχο μαθηματικό υπόβαθρο, ενώ η ανάπτυξη προγραμματιστικού κώδικα έγινε στο MATLAB. Ορισμένα από τα στοιχεία, που χρησιμοποιούνται, ελήφθησαν από τις υπάρχουσες εταιρίες διανομής τύπου στην Ελλάδα.

Η διπλωματική εργασία εκτείνεται σε τέσσερα κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία εισαγωγή στη γενική λειτουργία των κέντρων. Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται το μαθηματικό υπόβαθρο των δικτύων αναμονής με την παρουσίαση μαθηματικών τύπων και γενικά των παραμέτρων ενός συστήματος εξυπηρέτησης πελατών.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται τα τρία προτεινόμενα μοντέλα με τη βοήθεια αλγορίθμων - διαγραμμάτων ροής και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν. Περιγράφονται επίσης οι γεννήτριες τυχαίων αριθμών, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των διάφορων χρόνων και παρουσιάζονται χρήσιμα διαγράμματα για την κατανόηση του συστήματος που εξετάζεται.

Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο αναφέρονται τα συμπεράσματα και ορισμένες επεκτάσεις του συγκεκριμένου συστήματος.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα κέντρα διανομής ημερησίου τύπου αποτελούν σύγχρονα συστήματα διακίνησης έντυπου υλικού. Η διαδικασία λειτουργίας τους είναι αρκετά πολύπλοκη και χωρίζεται σε επιμέρους τμήματα.

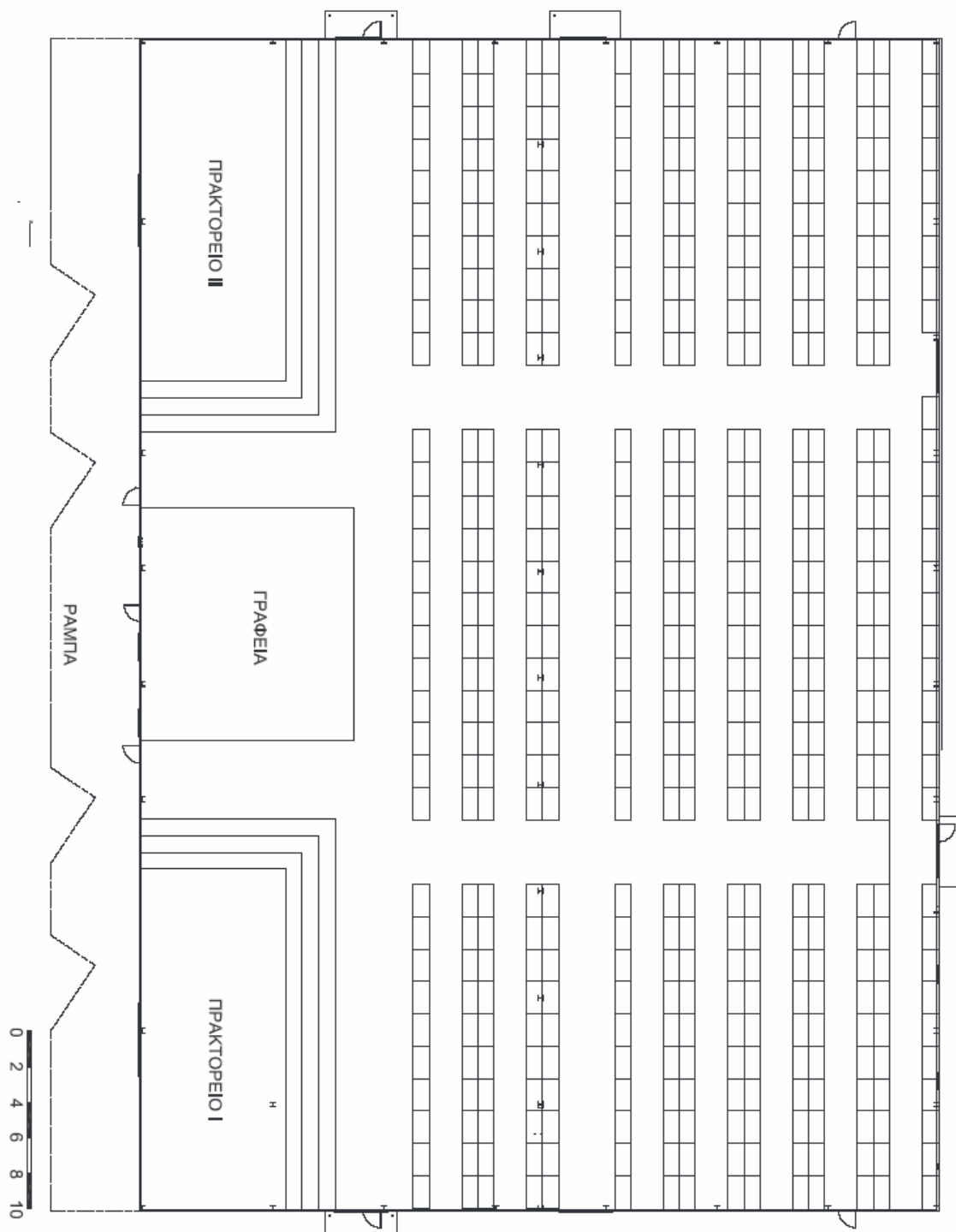
Το πρώτο σκέλος αφορά τη μεταφορά του έντυπου υλικού από τα τυπογραφεία στα επιμέρους κέντρα διανομής, τα οποία υπάρχουν σε προεπιλεγμένες περιοχές. Το δεύτερο σκέλος, το οποίο εξετάζεται στην παρούσα διπλωματική εργασία, έχει να κάνει με την εξυπηρέτηση των διανομέων, που σπεύδουν στα κέντρα διανομής ώστε να παραλάβουν και να διαχωρίσουν το υλικό τους ανάλογα με τα σημεία παράδοσης που έχουν αναλάβει. Για λόγους κόστους, οι υπάρχουσες εταιρίες διανομής συστεγάζουν τα πρακτορεία τους στα εν λόγω κέντρα. Δημιουργείται επομένως ένα σύστημα εξυπηρέτησης πελατών (διανομέων), το οποίο μπορεί να προσεγγιστεί σαν ένα δίκτυο αναμονής. Επίσης, τα κέντρα διανομής τύπου εκτελούν και άλλες εργασίες, όπως λόγου χάρη η διαχείριση των επιστρεφόμενων εντύπων.

Οι ανάγκες της διακίνησης του ημερησίου τύπου πιέζουν στην κατεύθυνση της βελτιστοποίησης της λειτουργίας των κέντρων διανομής. Τα τρία προτεινόμενα μοντέλα, που παρουσιάζονται στα επόμενα κεφάλαια, έχουν ως στόχο να δημιουργήσουν τις συνθήκες ώστε η εξυπηρέτηση των διανομέων να τυποποιηθεί και να βελτιστοποιηθεί. Περιγράφοντας σε γενικές γραμμές το σύστημα που εξετάζεται αναφέρονται τα εξής:

- N : πλήθος πελατών – διανομέων
- 2 πρακτορεία, άρα 2 σταθμοί εξυπηρέτησης
- Χώρος επεξεργασίας του υλικού που λαμβάνεται

Σε ένα κέντρο διανομής τύπου, το πλήθος N των διανομέων πρέπει να εξυπηρετηθεί αρχικά και από τα δύο πρακτορεία. Στη συνέχεια ο κάθε ένας καταχωρείται σε μία από τις θέσεις επεξεργασίας του υλικού, το οποίο έχει παραλάβει και το διαχωρίζει ανάλογα με τα σημεία παράδοσης. Προσομοιώνοντας το παραπάνω σύστημα με τα τρία μοντέλα και χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα μαθηματικά εργαλεία προκύπτουν τα μεγέθη, τα οποία αξιολογούν τη λειτουργία του κέντρου. Για την πραγματοποίηση των προσομοιώσεων αναπτύχθηκε κατάλληλος κώδικας στο MATLAB. Παρακάτω,

παρουσιάζεται σχηματικά η διάταξη των πρακτορείων και των θέσεων επεξεργασίας σε ένα κέντρο διανομής τύπου:



Εικόνα 1.1: Κέντρο διανομής τύπου

2. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1 Δίκτυα αναμονής (*Queuing Networks*)

Η θεωρία αναμονής (*Queuing theory*) εξετάζει τα φαινόμενα, που παρατηρούνται σε ουρές, οι οποίες σχηματίζονται οποτεδήποτε φθάνουν πελάτες σε ένα σταθμό εξυπηρέτησης. Στην περίπτωση που ο πελάτης φθάνοντας βρίσκει όλους τους εξυπηρετούντες απασχολημένους, θα πρέπει να περιμένει σε κάποια ουρά μέχρι να ελευθερωθεί ένας από αυτούς. Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιείται εισαγωγή στις βασικές έννοιες των δικτύων αναμονής. Αναφέρονται τα μέτρα των επιδόσεων και της ικανότητας ενός δικτύου αναμονής, δηλαδή τα ζητούμενα μεγέθη σε ένα πρόβλημα. Επίσης, περιγράφεται ο τρόπος συμβολισμού των διαφόρων δικτύων και προσδιορίζονται συνηθισμένοι τρόποι για την εξυπηρέτηση πελατών. Τέλος παρουσιάζεται η εκθετική συνάρτηση, την οποία κανείς συναντά αρκετά συχνά στα συγκεκριμένα συστήματα.

2.1.1 Περιγραφή

Τα δίκτυα αναμονής αποτελούν μία κατηγορία μοντέλων, τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως για την περιγραφή συστημάτων παραγωγής, δικτύων υπολογιστών και τηλεπικοινωνίας, κυκλοφοριακών συστημάτων και συστημάτων εξυπηρέτησης πελατών. Ένα δίκτυο αναμονής αποτελείται από τους εξυπηρετούντες, το σύστημα αφίξεως πελατών, ένα σταθμό συγκέντρωσης που λειτουργεί ως έξοδος και τον κυκλοφοριακό χάρτη των πελατών μέσα στο σύστημα.

- Οι χρόνοι εξυπηρέτησης των πελατών είναι τυχαίες μεταβλητές με γνωστές κατανομές.
- Πριν από τους εξυπηρετούντες υπάρχει ένα σημείο αναμονής με πεπερασμένη ή άπειρη χωρητικότητα.
- Το σύστημα αφίξεων τροφοδοτεί με πελάτες τους εξυπηρετούντες με καθορισμένο ρυθμό. Η άφιξη αποτελεί τυχαία μεταβλητή, η οποία ακολουθεί την εκθετική ή κάποια άλλη γνωστή κατανομή.
- Ο σταθμός συγκέντρωσης για την έξοδο από το σύστημα έχει άπειρη χωρητικότητα.
- Το δίκτυο κυκλοφορίας των πελατών καθορίζεται από το εκάστοτε πρόβλημα.

2.1.2 Μέτρα απόδοσης και συμβολισμοί

Για την αξιολόγηση ενός δικτύου αναμονής υπάρχουν τρία κριτήρια:

1. Μέσοι ρυθμοί εξόδου των πελατών από τους εξυπηρετούντες.
2. Μέσο πλήθος των πελατών στις ουρές.
3. Μέσοι χρόνοι αναμονής για την εξυπηρέτηση.

Στα συστήματα εξυπηρέτησης πελατών το πιο σημαντικό κριτήριο είναι το τρίτο, το οποίο εκφράζει τη μέση καθυστέρηση ενός πελάτη, στην προσπάθειά του να εξυπηρετηθεί από το σύστημα. Σε κάθε δίκτυο αναμονής, όλοι οι πελάτες που έχουν φθάσει στο σύστημα αναχωρούν τη χρονική στιγμή **TSIM**, η οποία εκφράζει και το τέλος της προσομοίωσης.

Τα σχετικά απλά συστήματα, τα οποία χαρακτηρίζονται από μία εξυπηρέτηση ανά πελάτη, παρουσιάζονται ως εξής : A / B / m / K / M

- ✓ **A: Διαδικασία αφίξεων.** M (εκθετική), E_k (Erlang-k), H_k (υπερ-εκθετική τάξης k), D (σταθερή), G (γενική), GI (γενική ανεξάρτητη).
- ✓ **B: Κατανομή χρόνου εξυπηρέτησης.** Ισχύουν τα παραπάνω σύμβολα για τις κατανομές.
- ✓ **m: Αριθμός σταθμών εξυπηρέτησης.**
- ✓ **K: Χωρητικότητα της ουράς.**
- ✓ **M: Μέγεθος πληθυσμού.**

Για την πλήρη περιγραφή ενός συστήματος αναμονής θα πρέπει να γίνεται γνωστός ο τρόπος εξυπηρέτησης για τον κάθε πελάτη. Στην συνέχεια παραθέτονται μερικοί από τους πιο συνηθισμένους τρόπους εξυπηρέτησης:

- **FIFO (First In First Out) ή FCFS (First Come First Served):** Οι πελάτες εξυπηρετούνται σύμφωνα με την σειρά άφιξής τους.
- **LIFO (Last In First Out) ή LCFS (Last Come First Served):** Κάθε φορά εξυπηρετείται ο πελάτης με τον πιο πρόσφατο χρόνο άφιξης.
- **FIRO (First In Random Out):** Ισχύει τυχαία σειρά εξυπηρέτησης των πελατών.

- **Χρονοδρομολόγηση με προτεραιότητες (Priority Scheduling):** Οι πελάτες χωρίζονται σε κατηγορίες με διαφορετικές προτεραιότητες. Διακρίνουμε δύο γενικούς τύπους προτεραιοτήτων:
 1. **Απλή προτεραιότητα ή προτεραιότητα χωρίς διακοπή (non-preemptive):** μετά το τέλος εξυπηρέτησης επιλέγεται για την επόμενη εξυπηρέτηση ο πελάτης με την υψηλότερη προτεραιότητα (μεταξύ πελατών με ίση προτεραιότητα ακολουθείται ο κανόνας FCFS).
 2. **Απόλυτη προτεραιότητα ή προτεραιότητα με διακοπή (preemptive):** όταν ένας πελάτης που φθάνει στο σύστημα βρίσκει ένα πελάτη με χαμηλότερη προτεραιότητα να εξυπηρετείται, το διακόπτει και αρχίζει η δική του εξυπηρέτηση.
- **(R-R) Round Robin:** Είναι ένας από τους πιο διαδεδομένους αλγόριθμους χρονοδρομολόγησης για συστήματα καταμερισμού χρόνου (time-sharing). Οι πελάτες εξυπηρετούνται σε διάταξη FCFS εφόσον ο χρόνος εξυπηρέτησής τους δεν ξεπερνά ένα σταθερό χρονικό διάστημα. Όταν ο χρόνος εξυπηρέτησής τους φθάσει το διάστημα αυτό, ο πελάτης διακόπτεται και τοποθετείται στο τέλος της ουράς.

2.1.3 Υπολογισμός μεγεθών

Ο μέσος χρόνος αναμονής στο σύστημα ορίζεται ως εξής:

$$W = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{\text{αναμονής}}(i)$$

όπου n ο αριθμός των πελατών στο σύστημα.

Ο μέσος χρόνος αναμονής στην ουρά δίνεται από τον εξής τύπο:

$$W_q = W - \bar{T}_{\text{εξυπηρέτησης}}$$

Επίσης, ο μέσος αριθμός πελατών στο σύστημα ορίζεται:

$$N = \frac{1}{TSIM} \int_0^{TSIM} L(t) dt$$

Η ποσότητα N ακολουθεί το νόμο του Little, ο οποίος ισχύει στα αναμονητικά συστήματα:

$$N = \bar{\lambda} \cdot W$$

2.1.4 Εκθετική κατανομή

Πολύ συχνά στη θεωρία αναμονής χρησιμοποιείται η εκθετική κατανομή. Μια τυχαία μεταβλητή X λέμε ότι ακολουθεί εκθετική συνάρτηση με παράμετρο λ , $\lambda > 0$, όταν έχει συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας:

$$\lambda \cdot e^{-\lambda x}$$

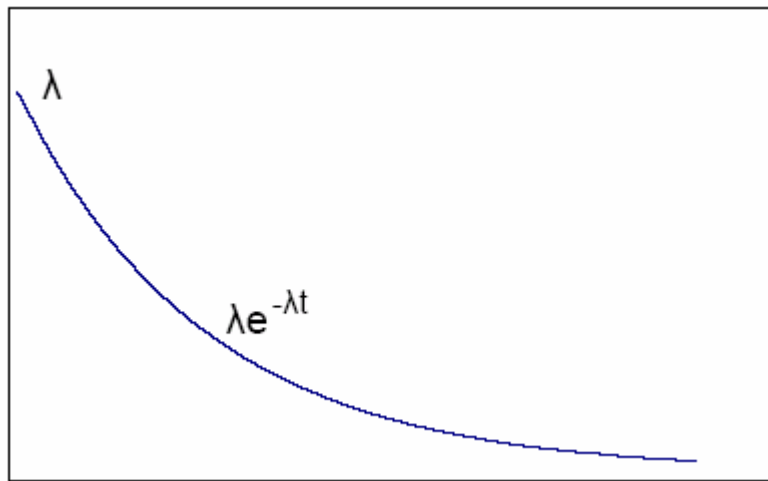
ή ισοδύναμα αν η συνάρτηση κατανομής της είναι:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(y) dy = 1 - e^{-\lambda x}, x \geq 0$$

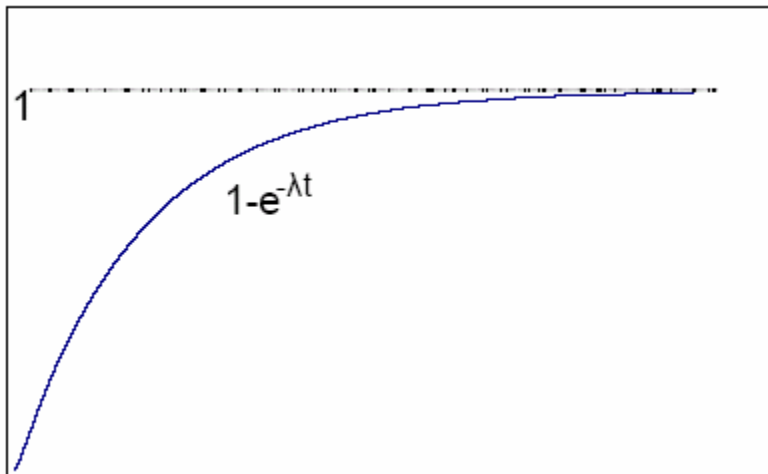
Η γεννήτρια συνάρτηση ροπών της εκθετικής συνάρτησης είναι:

$$E[e^{tx}] = \int_0^{\infty} e^{tx} \lambda e^{-\lambda x} dx = \frac{\lambda}{\lambda - t}$$

Από αυτή προκύπτουν εύκολα οι ροπές της τυχαίας μεταβλητής X : μέση τιμή $1/\lambda$ και διασπορά $1/\lambda^2$. Στα σχήματα, τα οποία ακολουθούν παρουσιάζονται γραφικά η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας και η συνάρτηση κατανομής πιθανότητας:

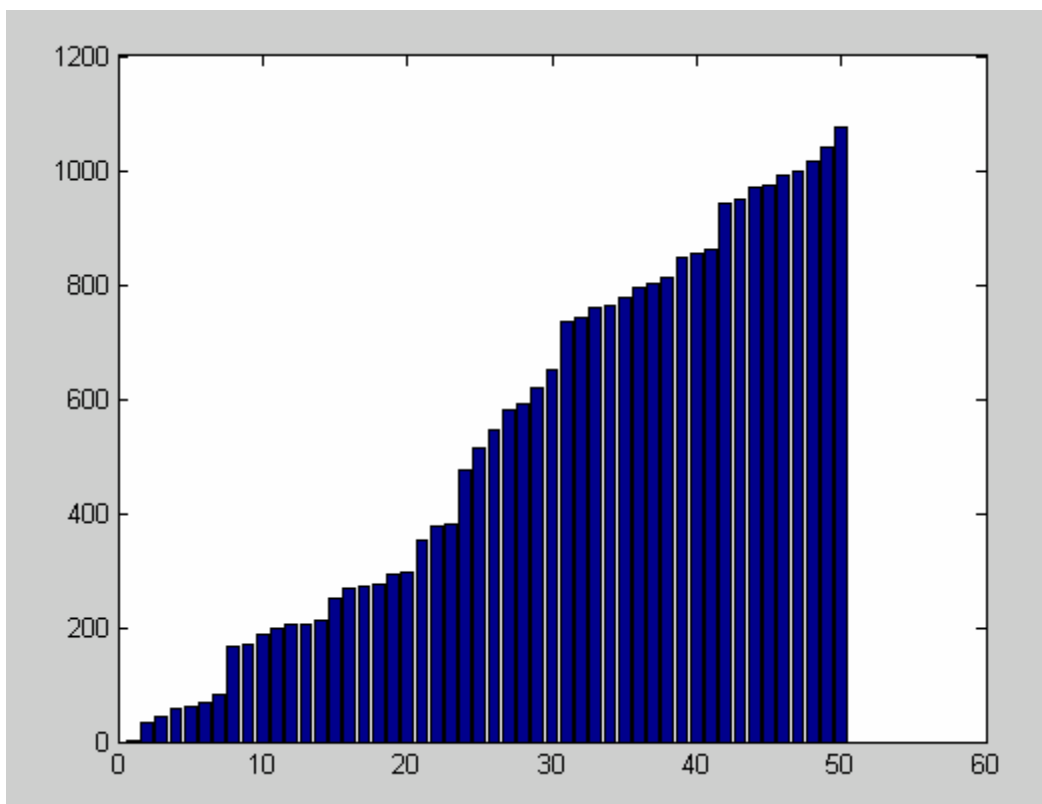


Εικόνα 2.1: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας



Εικόνα 2.2: Συνάρτηση κατανομής πιθανότητας

Όπως προαναφέρθηκε, οι αφίξεις ακολουθούν την εκθετική κατανομή με δεδομένο ρυθμό λ . Στο παρακάτω γράφημα απεικονίζονται οι αφίξεις για ένα σύστημα εξυπηρέτησης με πενήντα πελάτες.



Εικόνα 2.3: Αφίξεις πελατών

Η διαδικασία $(T - T')$ που παρουσιάζεται είναι εκθετική και χρονικά μεταβαλλόμενη. Αν η $N(T)$ φανερώνει το πλήθος των αφίξεων μέχρι τη στιγμή T , τότε η $N(T)$ είναι μία χρονικά μεταβαλλόμενη διαδικασία Poisson.

3. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

3.1. Γεννήτριες τυχαίων αριθμών και συναρτήσεις

3.1.1 Χρονικοί παράγοντες και γεννήτριες τυχαίων αριθμών

Για να ξεκινήσει η προσομοίωση δηλώνεται αρχικά αριθμός N, ο οποίος συμβολίζει τους διανομείς που περιμένουν να εξυπηρετηθούν. Οι χρόνοι άφιξης παράγονται από γεννήτρια τυχαίων αριθμών, η οποία ακολουθεί την εκθετική κατανομή:

$$T_{\text{άφιξης}} = t + \text{round} \left(\text{random} (' \exp' , \lambda) \right) + 1$$

Το λ εκφράζει το ρυθμό των αφίξεων και δηλώνεται από τον χρήστη.

Οι χρόνοι εξυπηρέτησης σε κάθε πρακτορείο προκύπτουν σύμφωνα με την εξής συνάρτηση τυχαίων αριθμών:

$$T_{\text{εξυπ}} = \text{round} \left(A \cdot \text{rand} \right) + L$$

Το L εκφράζει έναν πάγιο χρόνο εξυπηρέτησης και ισούται με 100s, ενώ το A=200s πολλαπλασιάζεται με την γεννήτρια τυχαίων αριθμών ($U \sim 0,1$), παράγοντας χρόνους από 0 έως 200s.

Σε κάθε πρακτορείο απασχολούνται πέντε εξυπηρετούντες. Όταν υπάρχει άφιξη χωρίς να έχει αδειάσει κάποια θέση εξυπηρέτησης, τότε υπολογίζεται ο χρόνος αναμονής. Αναλυτικότερα, ο πελάτης που αφίχθη στον χρόνο t θα εξυπηρετηθεί τη χρονική στιγμή $t + W_q$, η οποία θα αντιστοιχεί στην αναχώρηση του πρώτου από τους πέντε διανομείς που βρίσκονται ήδη στο πρακτορείο. Αφού ο πελάτης εξυπηρετηθεί και από τα δύο πρακτορεία σύμφωνα με το κυκλοφοριακό μοντέλο που του προτείνεται, πρέπει να καταλάβει μία θέση επεξεργασίας.

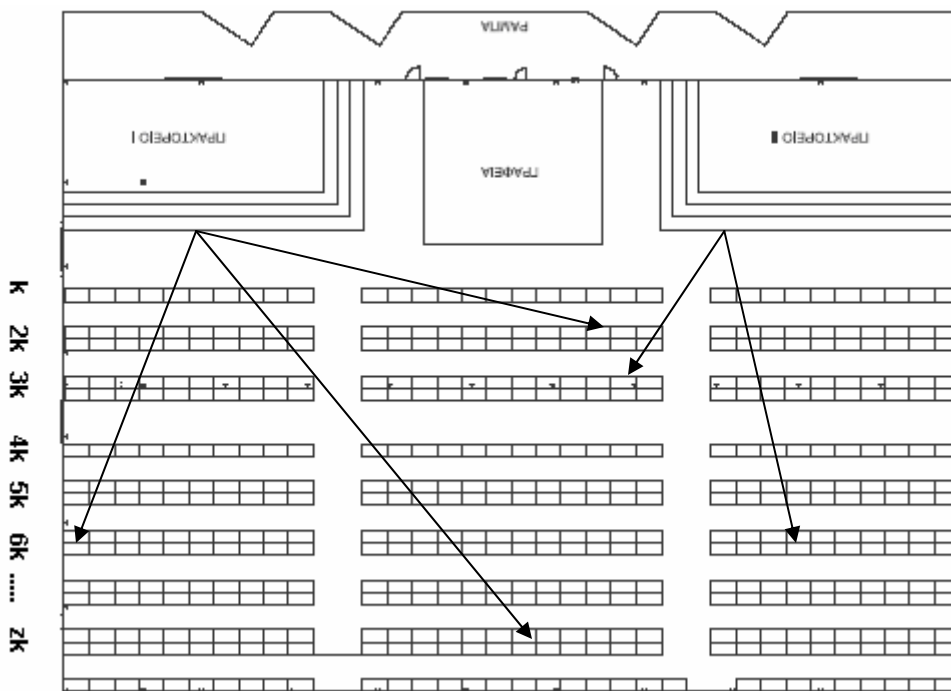
Η καταχώριση στις θέσεις επεξεργασίας γίνεται με δύο τρόπους. Πιο συγκεκριμένα, το πρώτο σενάριο προβλέπει σειριακή καταχώριση, δηλαδή ο πελάτης που αναχωρεί από τα πρακτορεία καταλαμβάνει την κοντινότερη θέση:

$$T_{\text{καταχ}} = t + L + A \cdot \text{rand} + \left(\text{floor} \left(i / 11 \right) + 1 \right) \cdot k$$

Σύμφωνα με το δεύτερο σενάριο, η επιλογή της θέσης που καταχωρείται ο εκάστοτε διανομέας δεν εξαρτάται από το χρόνο αναχώρησης του από τα πρακτορεία. Προκύπτει από γεννήτρια τυχαίων αριθμών και μπορεί να είναι οποιαδήποτε κενή θέση υπάρχει τη δεδομένη χρονική στιγμή:

$$T_{καταχ} = t + L + A \cdot rand + (floor (randperm (N) . / 11) + 1) \cdot k$$

Επομένως, εκτός από το χρονικό κόστος της αναμονής στα πρακτορεία, ο κάθε εξυπηρετούμενος χάνει ή κερδίζει χρόνο σε σχέση με τη περιοχή, στην οποία τελικά θα καταχωρηθεί. Το t εκφράζει τον τρέχων χρόνο, το L έναν πάγιο χρόνο ίσο με 500s, το A πολλαπλασιάζεται με την γεννήτρια τυχαίων αριθμών ($U \sim 0,1$), παράγοντας χρόνους από 0 έως 200s, ενώ το k αφορά τον χρόνο που καθορίζεται σύμφωνα με τη θέση, την οποία θα λάβει ο πελάτης. Πιο συγκεκριμένα, δηλώνοντας τον αριθμό των διανομέων, δημιουργούνται $N/10$ σειρές με δέκα θέσεις καταχώρησης η κάθε μία. Αν ο αριθμός της σειράς που λαμβάνει ο διανομέας i είναι ο z , τότε η καθυστέρησή του θα έχει την τιμή zk με $k = 10s$. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η παραπάνω διαδικασία:



Εικόνα 3.1: Σενάριο τυχαίας καταχώρησης

3.1.2 Συναρτήσεις

Για την εξαγωγή των χρόνων, που παρουσιάστηκαν, χρησιμοποιούνται έτοιμες συναρτήσεις του MATLAB, οι οποίες αναλύονται παρακάτω:

- **Συνάρτηση rand:** Παράγει τυχαίους αριθμούς στο διάστημα (0,1) και πολλαπλασιαζόμενη με τους κατάλληλους παράγοντες εξάγει τους διάφορους χρόνους.
- **Συνάρτηση round:** Στρογγυλοποιεί τους δεκαδικούς αριθμούς στον κοντινότερο ακέραιο.
- **Συνάρτηση floor:** Στρογγυλοποιεί προς τα κάτω τους δεκαδικούς αριθμούς στον κοντινότερο ακέραιο.

Παράδειγμα: $a = [-1.9, -0.2, 3.4, 5.6, 7.0, 2.4+3.6i]$

$a =$

Columns 1 through 4

-1.9000 -0.2000 3.4000 5.6000

Columns 5 through 6

7.0 2.4000 + 3.6000i

$\text{floor}(a)$

$\text{ans} =$

Columns 1 through 4

-2.0000 -1.0000 3.0000 5.0000

Columns 5 through 6

7.0 2.0000 + 3.0000i

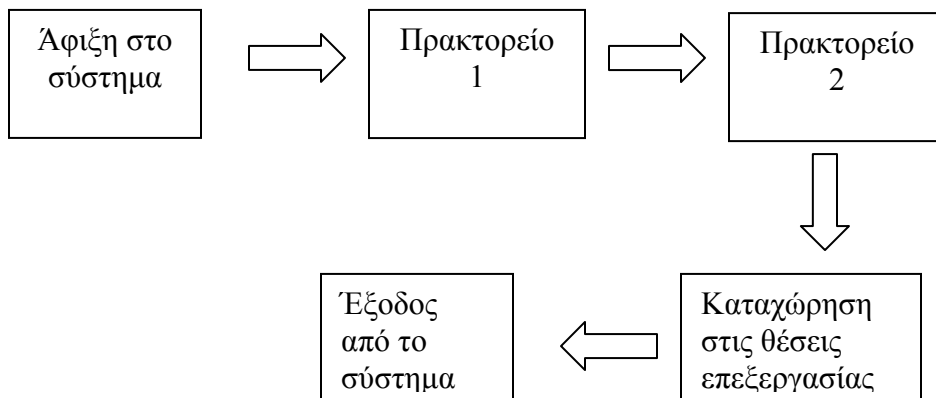
- **Συνάρτηση randperm:** Καταχωρεί τυχαία τους αριθμούς ενός εύρους τιμών 1 έως N.

Παράδειγμα: Η $\text{randperm}(6)$ επιστρέφει το εξής διάνυσμα $[3 \ 2 \ 6 \ 4 \ 1 \ 5]$.

3.2 Σειριακό μοντέλο

3.2.1 Περιγραφή

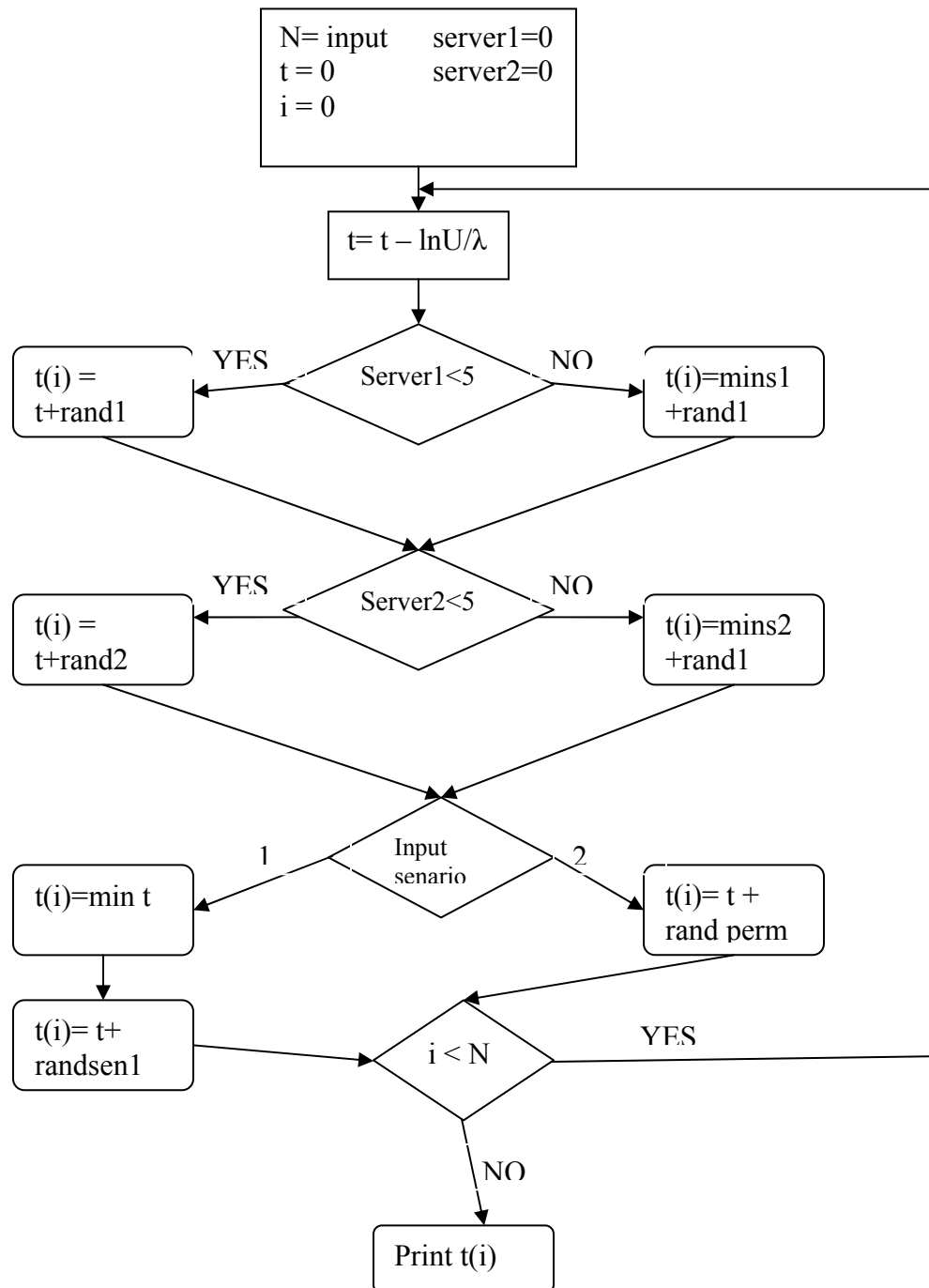
Το σειριακό μοντέλο εκφράζει την πιο απλή διαδικασία σε ένα δίκτυο αναμονής. Η σειρά με την οποία θα εξυπηρετηθεί ένας πελάτης εξαρτάται αποκλειστικά από το χρόνο άφιξής του. Σε ένα κέντρο διανομής τύπου ο κάθε διανομέας θα περιμένει να εξυπηρετηθεί αρχικά στο πρακτορείο 1, έπειτα στο πρακτορείο 2 και εν τέλει να καταχωρηθεί σε μία από τις θέσεις επεξεργασίας, έτσι ώστε να διαχωρίσει το υλικό του σύμφωνα με τα σημεία παράδοσης. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η διαδικασία:



Εικόνα 3.2: Σειριακό μοντέλο

Τέσσερα είναι τα σημεία απόφασης στο σειριακό μοντέλο. Τα πρώτα δύο αφορούν τις θέσεις των εξυπηρετούντων. Αν δεν υπάρχει κενή θέση υπολογίζεται ο χρόνος αναμονής του κάθε διανομέα έξω από το εκάστοτε πρακτορείο, αλλιώς η διαδικασία εξυπηρέτησής του εξελίσσεται ομαλά. Στη συνέχεια επιλέγεται το σενάριο καταχώρισης και ελέγχεται το πλήθος των πελατών, έτσι ώστε στην περίπτωση που εξυπηρετήθηκαν όλοι να ολοκληρωθεί η προσομοίωση.

3.2.2 Διάγραμμα ροής σειριακού μοντέλου



Εικόνα3.3: Διάγραμμα ροής σειριακού μοντέλου

3.2.3 Αλγόριθμος σειριακού μοντέλου

Ως γεγονότα στο σύστημα θεωρούνται: (α) οι αφίξεις των διανομέων στο κέντρο, (β) οι αναχωρήσεις από το 1^ο πρακτορείο, (γ) οι αναχωρήσεις από το 2^ο πρακτορείο και (δ) η έξοδος από το σύστημα.

Ορίζονται τα μεγέθη:

- N : πλήθος πελατών στο σύστημα
- t : τρέχων χρόνος
- T_0 : χρόνος άφιξης στο κέντρο διανομής
- T_1 : χρόνος αναχώρησης από το πρακτορείο 1
- T_2 : χρόνος αναχώρησης από το πρακτορείο 2
- T_3 : χρόνος εξόδου από το σύστημα

A. Αρχικοποίηση

$N=INPUT$; $T=0$; $T_0=0$; $T_1=\infty$; $T_2=\infty$; $T_3=\infty$; $I=0$; $J=0$; $SERVER_{1,2}=0$;

B. Εύρεση επόμενου γεγονότος

```
IF (I < N)
    IF (J = 0, 1, 2, 3)
         $T_J = t$ ;
         $\gamma = J$ ;
    ELSE
        GO TO Δ
END IF
```

Γ. Ενημέρωση μεταβλητών

```
FOR I = 1 TO N
    IF ( $\gamma = 0$ )
         $T_0 = T - \text{LN}U/\lambda$ 
    ELSEIF ( $\gamma = 1$ )
        IF ( $SERVER_1 < 5$ )
```

```

        T1 = T + RAND 1;
    ELSE
        T1 = MIN(SERVER_1) + RAND 1;
    END IF
ELSEIF(γ==2)
    IF(SERVER_2<5)
        T2 = T + RAND2;
    ELSE
        T2 = MIN(SERVER_2) + RAND2;
    END IF
ELSE
    IF(SENARIO==1)
        T3 = T + RAND(SEN_1);
    ELSE
        T3 = T + RAND(SEN_2);
    END IF
END IF
GO TO B

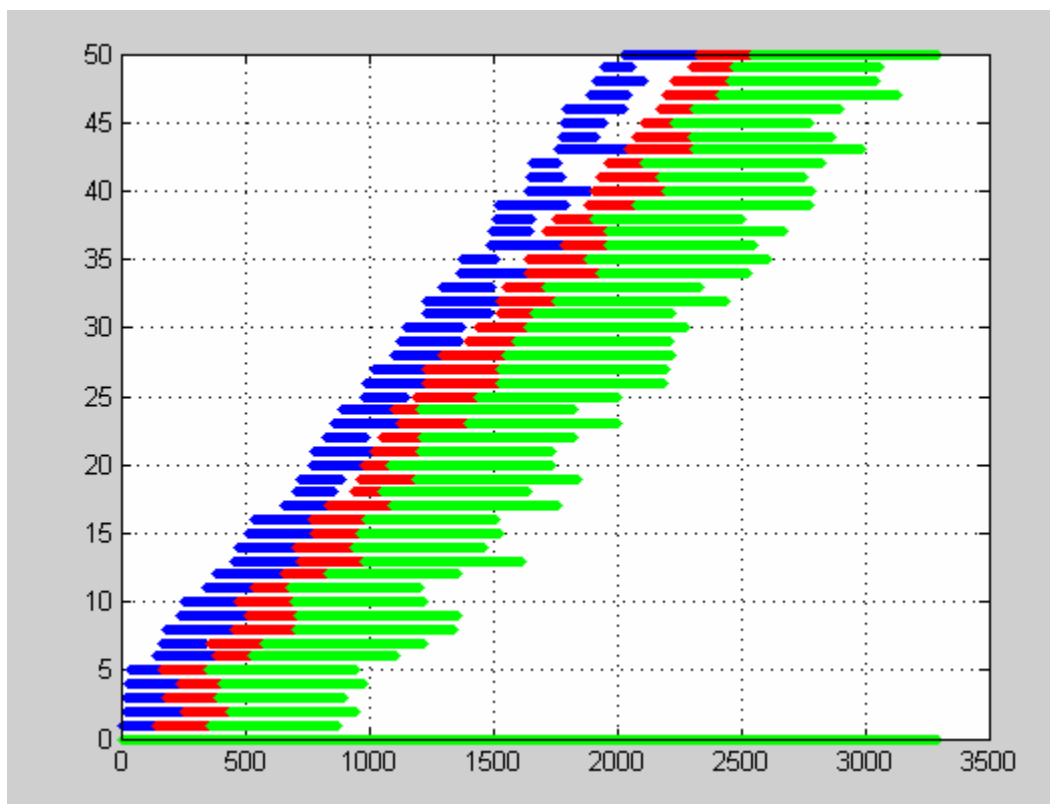
```

Δ. Αποτελέσματα

```
PRINT T(i);
```

3.2.4 Αποτελέσματα σειριακού μοντέλου

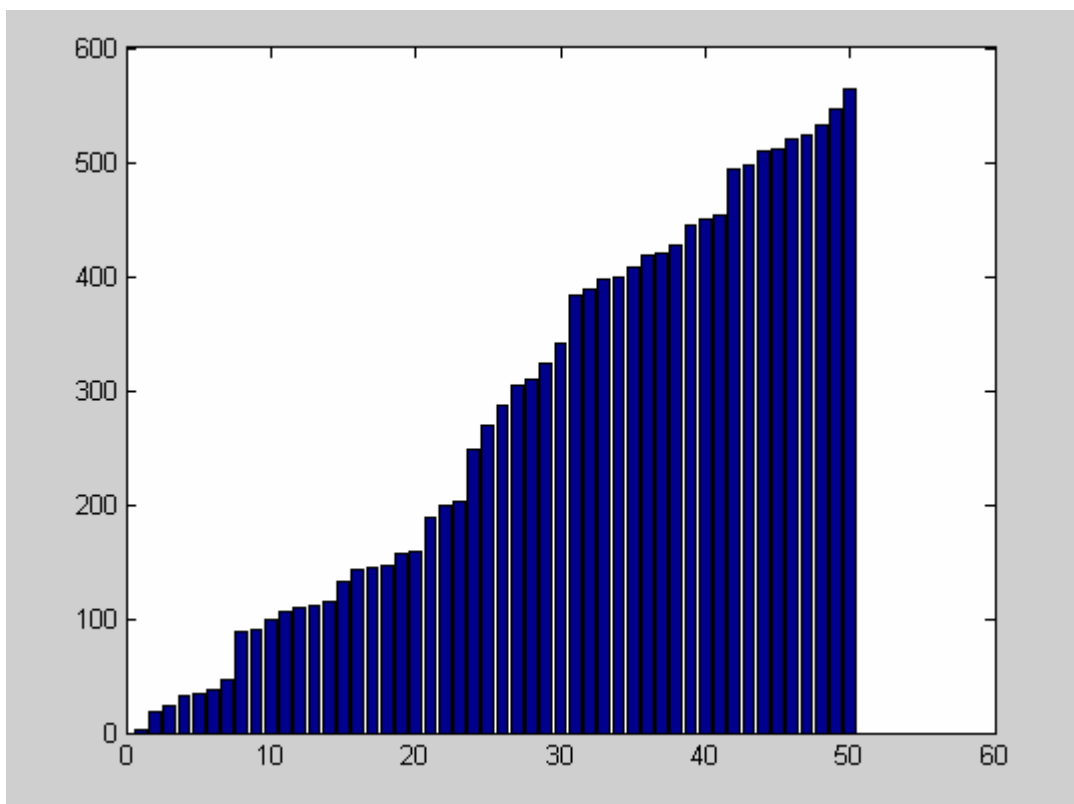
Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων αναπτύχθηκε κώδικας προγραμματισμού στο MATLAB. Τα αποτελέσματα, τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω αφορούν δείγμα πενήντα διανομέων, που εξυπηρετούνται από το σύστημα με την εφαρμογή του σειριακού μοντέλου. Ο ρυθμός αφίξεων στη συγκεκριμένη προσομοίωση είναι $\lambda=10$, ενώ οι χρονικές παράμετροι καθορίστηκαν βάση στοιχείων τα οποία ελήφθησαν από την εταιρία διανομής ημερησίου τύπου. Το επόμενο γράφημα παρουσιάζει το χρόνο αναμονής στο σύστημα για κάθε πελάτη:



Εικόνα3.5: Διάγραμμα χρόνων αναμονής στο σύστημα

- Χρόνος εξυπηρέτησης στο πρακτορείο 1
- Χρόνος εξυπηρέτησης στο πρακτορείο 2
- Χρόνος καταχώρησης στις θέσεις επεξεργασίας

Από το παραπάνω διάγραμμα γίνεται αντιληπτό πως οι αφίξεις ακολουθούν την εκθετική κατανομή, κάτι που επιβεβαιώνεται παρατηρώντας και το γράφημα των αφίξεων για όλους τους πελάτες :



Εικόνα3.6: Διάγραμμα χρόνων άφιξης

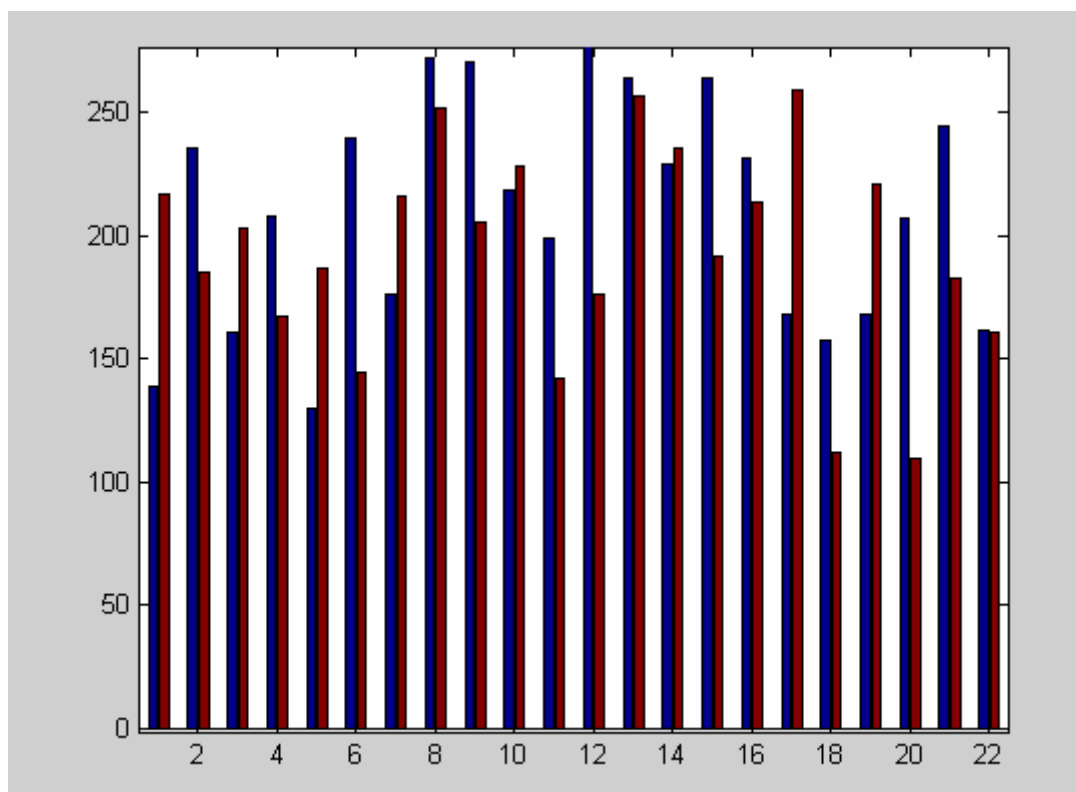
Στην περίπτωση που εξετάζεται, ισχύει για τη συνάρτηση τυχαίων αριθμών το εξής:

$$T_{\text{αφίξης}} = t + \text{round}(\text{random}(' \exp', 10)) + 1$$

Ένα ακόμα ενδιαφέρον διάγραμμα, είναι αυτό που παρουσιάζει την τυχαιότητα των χρόνων εξυπηρέτησης στα δύο πρακτορεία για τον κάθε διανομέα. Παρά το ότι οι συναρτήσεις είναι πανομοιότυπες, η πιθανότητα να λάβει ένας πελάτης τον ίδιο χρόνο εξυπηρέτησης και στα δύο πρακτορεία είναι απειροελάχιστη.

$$T_{\text{εξυπ}} = \text{round}(200 \cdot \text{rand}) + 100$$

Στο γράφημα παρουσιάζονται οι χρόνοι εξυπηρέτησης για τους 22 πρώτους διανομείς:



Εικόνα3.6: Διάγραμμα χρόνων εξυπηρέτησης στο κάθε πρακτορείο

Στους πίνακες που ακολουθούν, παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την προσομοίωση. Ειδικότερα, φαίνονται οι χρόνοι της άφιξης, της εισόδου και εξόδου από το κάθε πρακτορείο, της καταχώρησης στις θέσεις επεξεργασίας και οι αναμονές που προκύπτουν για κάθε ένα διανομέα. Η καταχώρηση εδώ υπολογίστηκε με βάση το σενάριο 1. Η δεύτερη στήλη του πίνακα υποδεικνύει την κατεύθυνση, την οποία ακολουθεί ο πελάτης στο σύστημα. Στο σειριακό μοντέλο όμως η κυκλοφοριακή επιλογή είναι μοναδική και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν διαφοροποιήσεις μεταξύ των διανομένων. Η χρησιμότητά της θα φανεί στην ανάλυση των δύο επόμενων μοντέλων. Η τελευταία στήλη αναφέρεται στο χρόνο επεξεργασίας του υλικού, που λαμβάνει από τα πρακτορεία ο διανομέας και το οποίο πρέπει να ταξινομήσει σύμφωνα με τα σημεία παράδοσης που έχει αναλάβει.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Αριθμός Πελάτη	Κατάσταση	Χρόνος Άφιξης	Εξυπηρ(1)	Εξυπηρ(2)	Είσοδος(1)	Έξοδος(1)	Είσοδος(2)	Έξοδος(2)	Αναμ(1)	Αναμ(2)	Καταχ	Χρόνος Προετοιμασίας
1	0	2	139	217	2	141	141	358	0	0	876.78	518.78
2	0	18	236	185	18	254	254	439	0	0	951.57	512.57
3	0	24	161	203	24	185	185	388	0	0	903.44	515.44
4	0	32	208	167	32	240	240	407	0	0	979.54	572.54
5	0	34	130	187	34	164	164	351	0	0	951.28	600.28
6	0	38	240	145	141	381	381	526	103	0	1112.8	586.79
7	0	47	176	216	164	340	358	574	117	18	1220.6	646.62
8	0	88	272	252	185	457	457	709	97	0	1341.5	632.48
9	0	91	271	206	240	511	511	717	149	0	1358.7	641.71
10	0	100	219	228	254	473	473	701	154	0	1218.1	517.07
11	0	106	199	142	340	539	539	681	234	0	1209.6	528.57
12	0	109	280	176	381	661	661	837	272	0	1360.2	523.15
13	0	111	264	257	457	721	721	978	346	0	1615.4	637.38
14	0	115	229	236	473	702	702	938	358	0	1461.3	523.27
15	0	133	264	192	511	775	775	967	378	0	1525	558.01
16	0	143	232	214	539	771	771	985	396	0	1516.5	531.52
17	0	145	168	259	661	829	837	1096	516	8	1759.5	663.53
18	0	147	158	112	702	860	938	1050	555	78	1643.5	593.51
19	0	157	168	221	721	889	967	1188	564	78	1846.5	658.53
20	0	159	207	110	771	978	978	1088	612	0	1734.3	646.29
21	0	188	245	183	775	1020	1020	1203	587	0	1739.8	536.82
22	0	199	162	161	829	991	1050	1211	630	59	1829.4	618.37
23	0	202	268	275	860	1128	1128	1403	658	0	2003.7	600.65
24	0	249	214	103	889	1103	1103	1206	640	0	1826.9	620.87
25	0	270	174	254	978	1152	1188	1442	708	36	2002.7	560.72

Πίνακας 3.1: Αποτελέσματα σειριακού μοντέλου

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Αριθμός Πελάτη	Κατάσταση	Χρόνος Άφιξης	Εξυπηρ(1)	Εξυπηρ(2)	Είσοδος(1)	Έξοδος(1)	Είσοδος(2)	Έξοδος(2)	Αναμ(1)	Αναμ(2)	Καταχ	Χρόνος Προετοιμασίας
26	0	287	241	294	991	1232	1232	1526	704	0	2191.1	665.13
27	0	304	209	298	1020	1229	1229	1527	716	0	2196.8	669.84
28	0	310	189	258	1103	1292	1292	1550	793	0	2225.5	675.50
29	0	324	239	188	1128	1367	1403	1591	804	36	2216.7	625.68
30	0	341	224	200	1152	1376	1442	1642	811	66	2283	640.97
31	0	384	259	143	1229	1488	1526	1669	845	38	2223.2	554.21
32	0	388	291	229	1232	1523	1527	1756	844	4	2439.2	683.18
33	0	397	205	164	1292	1497	1550	1714	895	53	2334.2	620.15
34	0	399	276	292	1367	1643	1643	1935	968	0	2526	590.95
35	0	408	135	245	1376	1511	1642	1887	968	131	2605.6	718.57
36	0	418	296	182	1488	1784	1784	1966	1070	0	2552.5	586.47
37	0	421	154	249	1497	1651	1714	1963	1076	63	2676.1	713.12
38	0	428	150	154	1511	1661	1756	1910	1083	95	2504.6	594.62
39	0	445	275	188	1523	1798	1887	2075	1078	89	2776	700.97
40	0	450	247	287	1643	1890	1910	2197	1193	20	2784.9	587.86
41	0	453	127	237	1651	1778	1935	2172	1198	157	2758.4	586.38
42	0	493	102	143	1661	1763	1963	2106	1168	200	2827.7	721.68
43	0	498	279	268	1763	2042	2042	2310	1265	0	2988.2	678.16
44	0	509	140	226	1778	1918	2075	2301	1269	157	2866.7	565.68
45	0	512	160	127	1784	1944	2106	2233	1272	162	2783	549.95
46	0	520	232	141	1798	2030	2172	2313	1278	142	2901.2	588.18
47	0	524	157	221	1890	2047	2197	2418	1366	150	3136.8	718.77
48	0	533	194	226	1918	2112	2233	2459	1385	121	3043.8	584.78
49	0	546	113	174	1944	2057	2301	2475	1398	244	3059.2	584.16
50	0	564	298	215	2030	2328	2328	2543	1466	0	3291.9	748.86

Πίνακας 3.1: Αποτελέσματα σειριακού μοντέλου

Από τα παραπάνω στοιχεία εξάγονται οι μέσες τιμές, οι οποίες καθορίζουν την απόδοση του συγκεκριμένου δικτύου αναμονής.

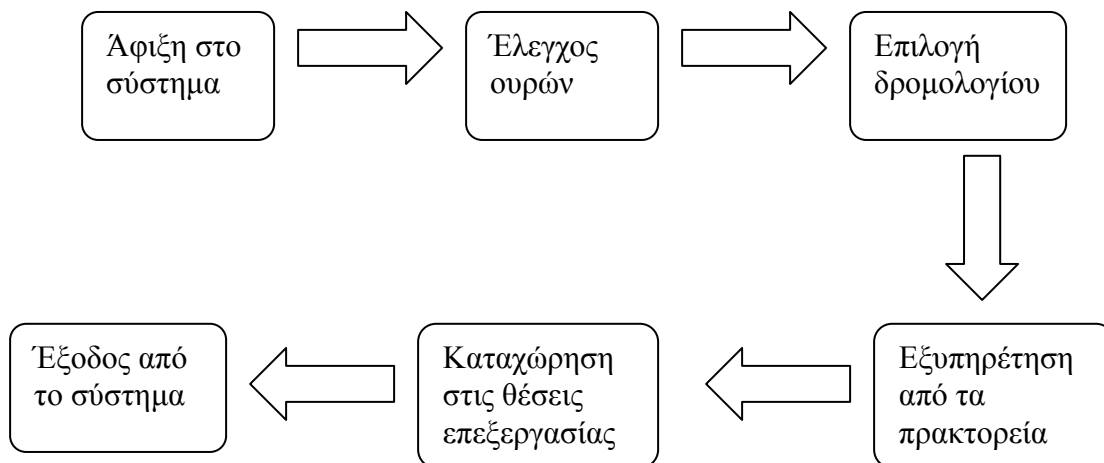
<i>Μέσος χρόνος αναμονής στο σύστημα (W)</i>	2043.61
<i>Μέσος χρόνος εξυπηρέτησης(1)</i>	209.52
<i>Μέσος χρόνος εξυπηρέτησης(2)</i>	205
<i>Μέσος χρόνος αναμονής στην ουρά_1 (Wq)</i>	699.74
<i>Μέσος χρόνος αναμονής στην ουρά_2 (Wq)</i>	44.1

Πίνακας 3.2: Μέσοι χρόνοι

3.3 Μοντέλο ουρών

3.3.1 Περιγραφή

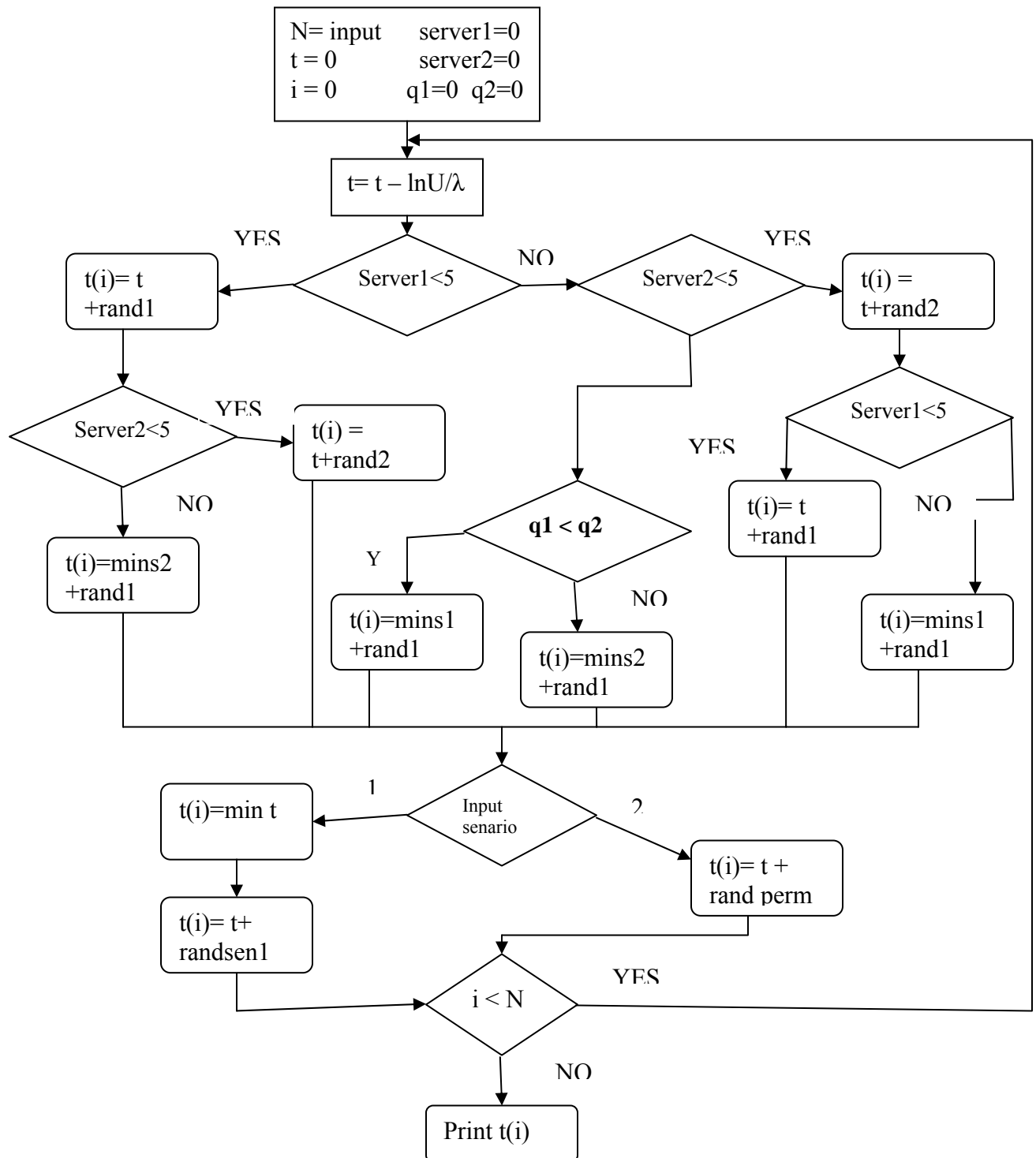
Το μοντέλο των ουρών αποτελεί μία πιο πολύπλοκη διαδικασία από το σειριακό. Ανάλογα με τους χρόνους άφιξης των πελατών, δημιουργούνται δύο ουρές έξω από τα δύο πρακτορεία. Ο κάθε διανομέας θα επιλέξει να ξεκινήσει την εξυπηρέτησή του από το πρακτορείο, το οποίο την ώρα που έφθασε στο σύστημα, παρουσιάζει τη μικρότερη ουρά. Στην περίπτωση που οι χώροι αναμονής έξω από τα πρακτορεία έχουν το ίδιο πλήθος ατόμων, τότε ο πελάτης καλείται να επιλέξει το πρώτο πρακτορείο. Ακολουθώντας το δρομολόγιο που του αναλογεί, ο διανομέας καταχωρείται έπειτα στις θέσεις επεξεργασίας, για να ξεχωρίσει το υλικό του σύμφωνα με τα σημεία παράδοσης.



Εικόνα 3.7: Μοντέλο ουρών

Το πρώτο σημείο απόφασης, όπως προαναφέρθηκε, είναι η επιλογή του πρακτορείου σύμφωνα με το πλήθος των ουρών. Ο διανομέας περιμένει στο κάθε πρακτορείο, αν δεν υπάρχει κενή θέση και αφού εξυπηρετηθεί και από τα δύο καταχωρείται στις θέσεις επεξεργασίας, σύμφωνα πάντα με το προεπιλεγμένο σενάριο. Με τις κατάλληλες γεννήτριες τυχαίων αριθμών υπολογίζονται οι χρόνοι αναμονής και εξυπηρέτησης, όπως και ο χρόνος προετοιμασίας. Τέλος, ελέγχεται το πλήθος των πελατών, έτσι ώστε αν έχουν εξυπηρετηθεί όλοι από το σύστημα να περατωθεί η προσομοίωση.

3.3.2 Διάγραμμα ροής μοντέλου ουρών



Εικόνα 3.8: Διάγραμμα ροής μοντέλου ουρών

3.3.3 Αλγόριθμος μοντέλου ουρών

Ως γεγονότα στο σύστημα θεωρούνται: (α) οι αφίξεις των διανομέων στο κέντρο, (β) οι αναχωρήσεις από το 1^ο πρακτορείο, (γ) οι αναχωρήσεις από το 2^ο πρακτορείο και (δ) η έξοδος από το σύστημα.

Ορίζονται τα μεγέθη:

- N : πλήθος πελατών στο σύστημα
- t : τρέχων χρόνος
- T_0 : χρόνος άφιξης στο κέντρο διανομής
- T_1 : χρόνος αναχώρησης από το πρακτορείο 1
- T_2 : χρόνος αναχώρησης από το πρακτορείο 2
- T_3 : χρόνος εξόδου από το σύστημα
- Q_1 : ουρά πελατών έξω από το πρώτο πρακτορείο
- Q_2 : ουρά πελατών έξω από το δεύτερο πρακτορείο

A. Αρχικοποίηση

$N=INPUT$; $T=0$; $T_0=0$; $T_1=\infty$; $T_2=\infty$; $T_3=\infty$; $Q_1=0$; $Q_2=0$; $I=0$; $J=0$;
 $SERVER_{1,2}=0$;

B. Εύρεση επόμενου γεγονότος

```
IF (I<N)
    IF (J=0,1,2,3)
         $T_J = T$ ;
         $\gamma = J$ ;
    ELSE
        GO TO Δ
END IF
```

Γ. Ενημέρωση μεταβλητών

```
FOR I=1 TO N
    IF ( $\gamma=0$ )
         $T_0 = T - LN U / \lambda$ ;
        IF ( $Q_1 \leq Q_2$ )
             $Q_1 = Q_1 + 1$ ;
```

```

ELSE
    Q2=Q2+1;

ELSEIF (γ==1)
    IF(SERVER_1<5)
        T1 =T+RAND1;
    ELSE
        T1 = MIN(SERVER_1)+RAND1;
    END IF
    Q1=Q1-1;
ELSEIF(γ==2)
    IF(SERVER_2<5)
        T2 =T+RAND2;
    ELSE
        T2 = MIN(SERVER_2)+RAND2;
    END IF
    Q2=Q2-1;
ELSE
    IF(SENARIO==1)
        T3 = T+RAND(SEN_1);
    ELSE
        T3 = T+RAND(SEN_2);
    END IF
END IF
GO TO B

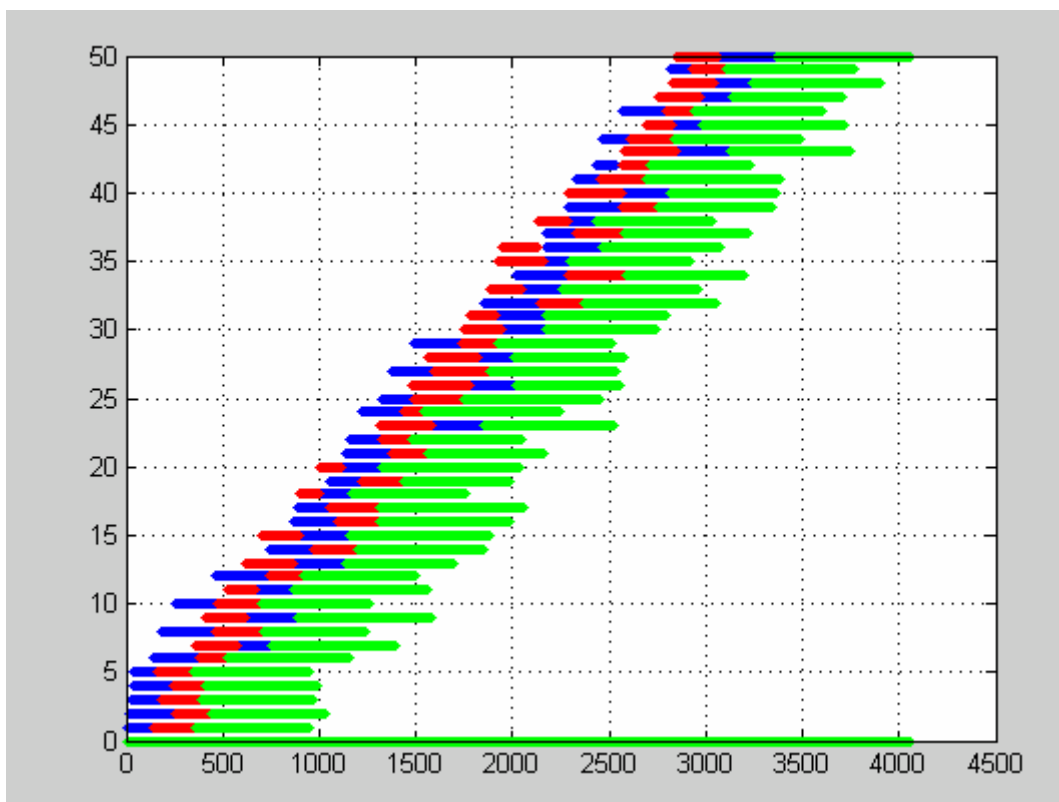
```

Δ. Αποτελέσματα

```
PRINT T(i);
```

3.3.4 Αποτελέσματα μοντέλου ουρών

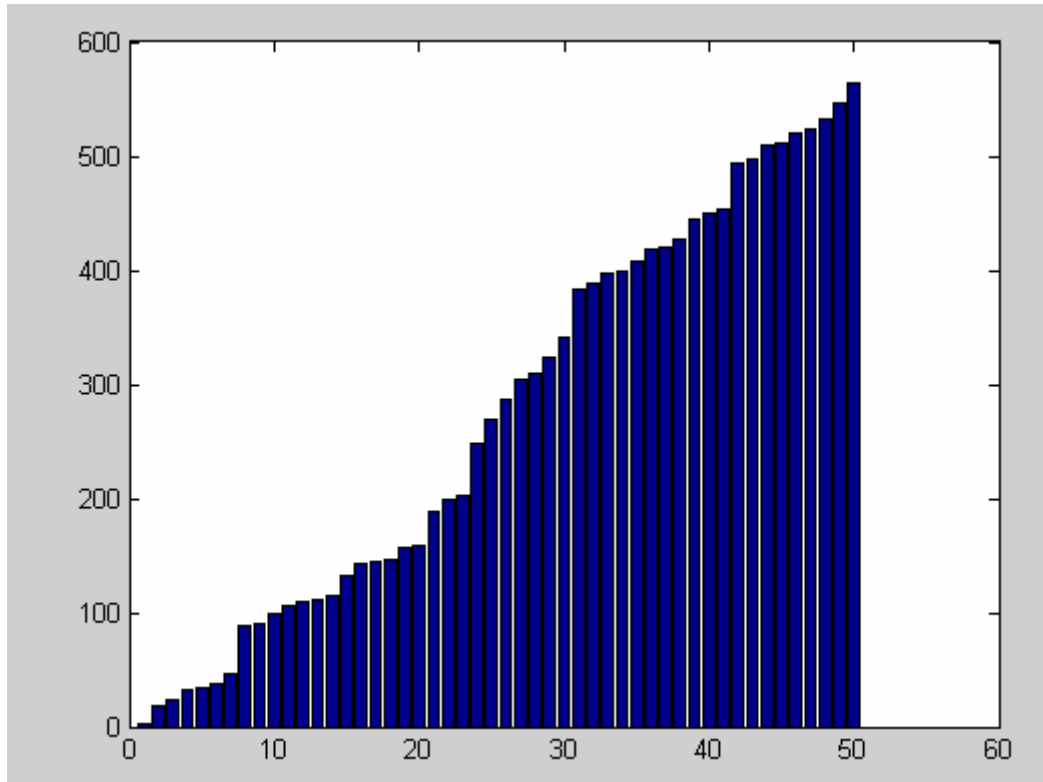
Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων αναπτύχθηκε κατάλληλος προγραμματιστικός κώδικας στο MATLAB. Τα αποτελέσματα αφορούν δείγμα πενήντα διανομένων, που εξυπηρετούνται από το σύστημα με την εφαρμογή του μοντέλου ουρών. Ο ρυθμός αφίξεων στη συγκεκριμένη προσομοίωση είναι $\lambda=10$, ενώ οι χρονικές παράμετροι καθορίστηκαν βάση στοιχείων τα οποία ελήφθησαν από την εταιρία διανομής ημερησίου τύπου. Το επόμενο γράφημα παρουσιάζει το χρόνο αναμονής στο σύστημα για κάθε πελάτη:



Εικόνα3.9: Διάγραμμα χρόνων αναμονής στο σύστημα

- Χρόνος εξυπηρέτησης στο πρακτορείο 1
- Χρόνος εξυπηρέτησης στο πρακτορείο 2
- Χρόνος καταχώρησης στις θέσεις επεξεργασίας

Από το παραπάνω διάγραμμα γίνεται αντιληπτό πως οι αφίξεις ακολουθούν την εκθετική κατανομή, κάτι που επιβεβαιώνεται παρατηρώντας και το γράφημα των αφίξεων για όλους τους πελάτες :



Εικόνα3.10: Διάγραμμα χρόνων άφιξης

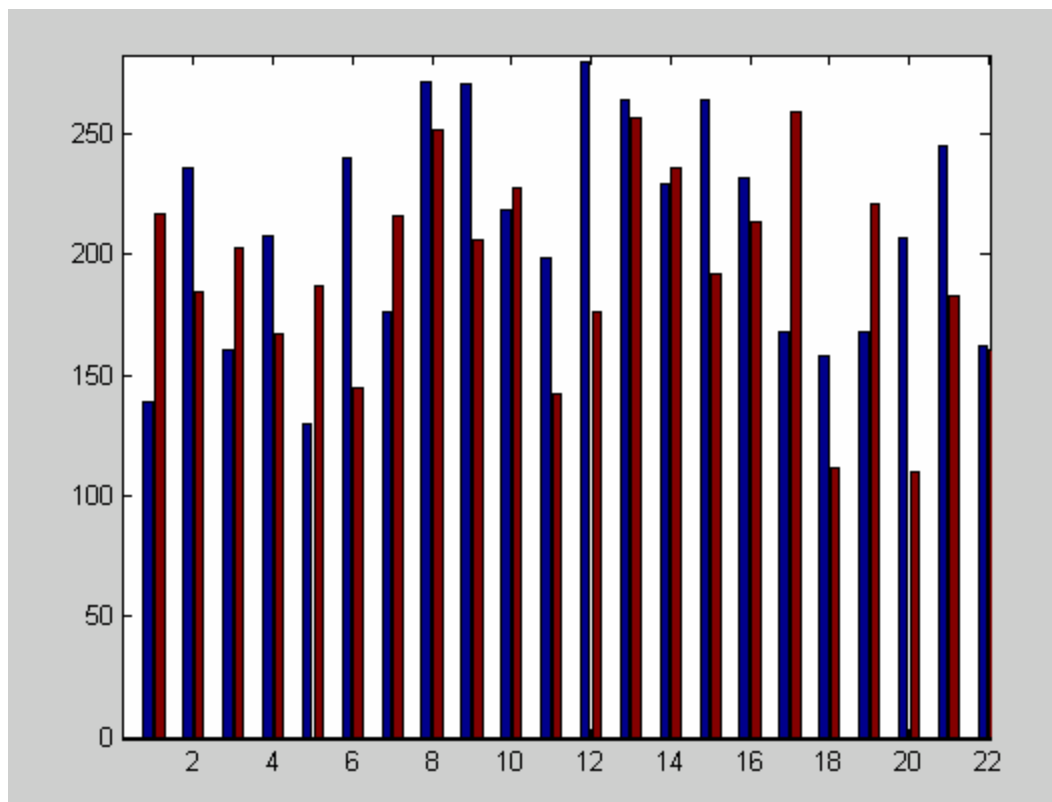
Στην περίπτωση που εξετάζεται, ισχύει για τη συνάρτηση τυχαίων αριθμών το εξής:

$$T_{\text{άφιξης}} = t + \text{round} \left(\text{random} (' \text{exp}' , 10) \right) + 1$$

Ένα ακόμα ενδιαφέρον διάγραμμα, είναι αυτό που παρουσιάζει την τυχαιότητα των χρόνων εξυπηρέτησης στα δύο πρακτορεία για τον κάθε διανομέα. Παρά το ότι οι συναρτήσεις είναι πανομοιότυπες, η πιθανότητα να λάβει ένας πελάτης τον ίδιο χρόνο εξυπηρέτησης και στα δύο πρακτορεία είναι απειροελάχιστη.

$$T_{\text{εξυπ}} = \text{round} \left(200 \cdot \text{rand} \right) + 100$$

Στο γράφημα παρουσιάζονται οι χρόνοι εξυπηρέτησης για τους 22 πρώτους διανομείς:



Εικόνα3.11: Διάγραμμα χρόνων εξυπηρέτησης στο κάθε πρακτορείο

Στους πίνακες που ακολουθούν, παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την προσομοίωση. Ειδικότερα, φαίνονται οι χρόνοι της άφιξης, της εισόδου και εξόδου από το κάθε πρακτορείο, της καταχώρησης στις θέσεις επεξεργασίας και οι αναμονές που προκύπτουν για κάθε ένα διανομέα. Η καταχώρηση εδώ υπολογίστηκε με βάση το σενάριο 2. Η δεύτερη στήλη του πίνακα υποδεικνύει την κατεύθυνση, την οποία ακολουθεί ο πελάτης στο σύστημα. Ο δείκτης 1 αφορά τους πελάτες, που εξυπηρετήθηκαν πρώτα από το 2^ο πρακτορείο για να καταλήξουν έπειτα στο 1^ο, ενώ ο δείκτης 2 το αντίθετο. Η τελευταία στήλη αναφέρεται στο χρόνο επεξεργασίας του υλικού, που λαμβάνει από τα πρακτορεία ο διανομέας και το οποίο πρέπει να ταξινομήσει σύμφωνα με τα σημεία παράδοσης που έχει αναλάβει.

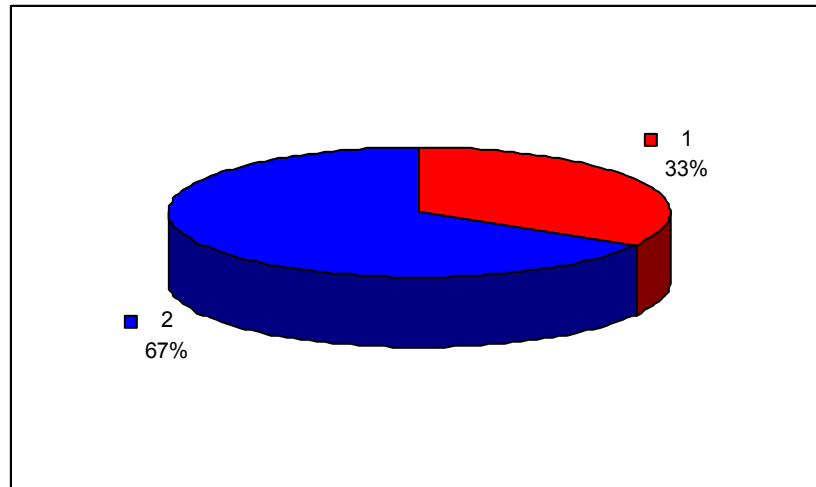
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Αριθμός Πελάτη	Κατάσταση	Χρόνος Αφίξης	Εξυπηρ(1)	Εξυπηρ(2)	Είσοδος(1)	Έξοδος(1)	Είσοδος(2)	Έξοδος(2)	Αναμ(1)	Αναμ(2)	Καταχ	Χρόνος Προετοιμασίας
1	2	2	139	217	2	141	141	358	0	0	946.01	588.01
2	2	18	236	185	18	254	254	439	0	0	1027.65	588.65
3	2	24	161	203	24	185	185	388	0	0	970.84	582.84
4	2	32	208	167	32	240	240	407	0	0	990.02	583.02
5	2	34	130	187	34	164	164	351	0	0	948.96	597.96
6	2	38	240	145	141	381	381	526	103	0	1154.31	628.31
7	1	47	176	216	574	750	358	574	0	311	1391.72	641.72
8	2	88	272	252	185	457	457	709	97	0	1236.63	527.63
9	1	91	271	206	613	884	407	613	0	316	1580.85	696.85
10	2	100	219	228	254	473	473	701	154	0	1264.95	563.95
11	1	106	199	142	668	867	526	668	0	420	1560.97	693.97
12	2	109	280	176	457	737	737	913	348	0	1495.89	582.89
13	1	111	264	257	870	1134	613	870	0	502	1696.06	562.06
14	2	115	229	236	737	966	966	1202	622	0	1851.17	649.17
15	1	133	264	192	893	1157	701	893	0	568	1881.57	724.57
16	2	143	232	214	867	1099	1099	1313	724	0	1985.99	672.99
17	2	145	168	259	884	1052	1052	1311	739	0	2054.38	743.38
18	1	147	158	112	1005	1163	893	1005	0	746	1760.58	597.58
19	2	157	168	221	1052	1220	1220	1441	895	0	1982.99	541.99
20	1	159	207	110	1115	1322	1005	1115	0	846	2036.08	714.08
21	2	188	245	183	1134	1379	1379	1562	946	0	2158.03	596.03
22	2	199	162	161	1157	1319	1319	1480	958	0	2047.40	567.40
23	1	202	268	275	1586	1854	1311	1586	0	1109	2520.98	666.98
24	2	249	214	103	1220	1434	1434	1537	971	0	2240.75	703.75
25	2	270	174	254	1319	1493	1493	1747	1049	0	2455.06	708.06

Πίνακας 3.3: Αποτελέσματα μοντέλου ουρών

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Αριθμός	Κατάσταση	Χρόνος	Εξυπηρ(1)	Εξυπηρ(2)	Είσοδος (1)	Έξοδος(1)	Είσοδος(2)	Έξοδος(2)	Αναμ(1)	Αναμ(2)	Καταχ	Χρόνος
Πελάτη		Άφιξης										Προετοιμασίας
26	1	287	241	294	1774	2015	1480	1774	0	1193	2556.12	541.12
27	2	304	209	298	1379	1588	1588	1886	1075	0	2533.46	647.46
28	1	310	189	258	1820	2009	1562	1820	0	1252	2572.21	563.21
29	2	324	239	188	1493	1732	1732	1920	1169	0	2519.22	599.22
30	1	341	224	200	1947	2171	1747	1947	0	1406	2739.22	568.22
31	1	384	259	143	1917	2176	1774	1917	0	1390	2790.49	614.49
32	2	388	291	229	1854	2145	2145	2374	1466	0	3057.19	683.19
33	1	397	205	164	2050	2255	1886	2050	0	1489	2956.20	701.20
34	2	399	276	292	2015	2291	2291	2583	1616	0	3195.44	612.44
35	1	408	135	245	2165	2300	1920	2165	0	1512	2918.05	618.05
36	1	418	296	182	2171	2467	1947	2129	42	1529	3078.47	611.47
37	2	421	154	249	2176	2330	2330	2579	1755	0	3219.14	640.14
38	1	428	150	154	2283	2433	2129	2283	0	1701	3035.15	602.15
39	2	445	275	188	2291	2566	2566	2754	1846	0	3343.48	589.48
40	1	450	247	287	2570	2817	2283	2570	0	1833	3366.83	549.83
41	2	453	127	237	2330	2457	2457	2694	1877	0	3384.32	690.32
42	2	493	102	143	2433	2535	2570	2713	1940	35	3234.12	521.12
43	1	498	279	268	2847	3126	2579	2847	0	2081	3746.01	620.01
44	2	509	140	226	2467	2607	2607	2833	1958	0	3491.64	658.64
45	1	512	160	127	2821	2981	2694	2821	0	2182	3717.60	736.60
46	2	520	232	141	2566	2798	2798	2939	2046	0	3599.02	660.02
47	1	524	157	221	2975	3132	2754	2975	0	2230	3711.76	579.76
48	1	533	194	226	3047	3241	2821	3047	0	2288	3906.04	665.04
49	2	546	113	174	2817	2930	2930	3104	2271	0	3764.53	660.53
50	1	564	298	215	3062	3360	2847	3062	0	2283	4056.67	696.67

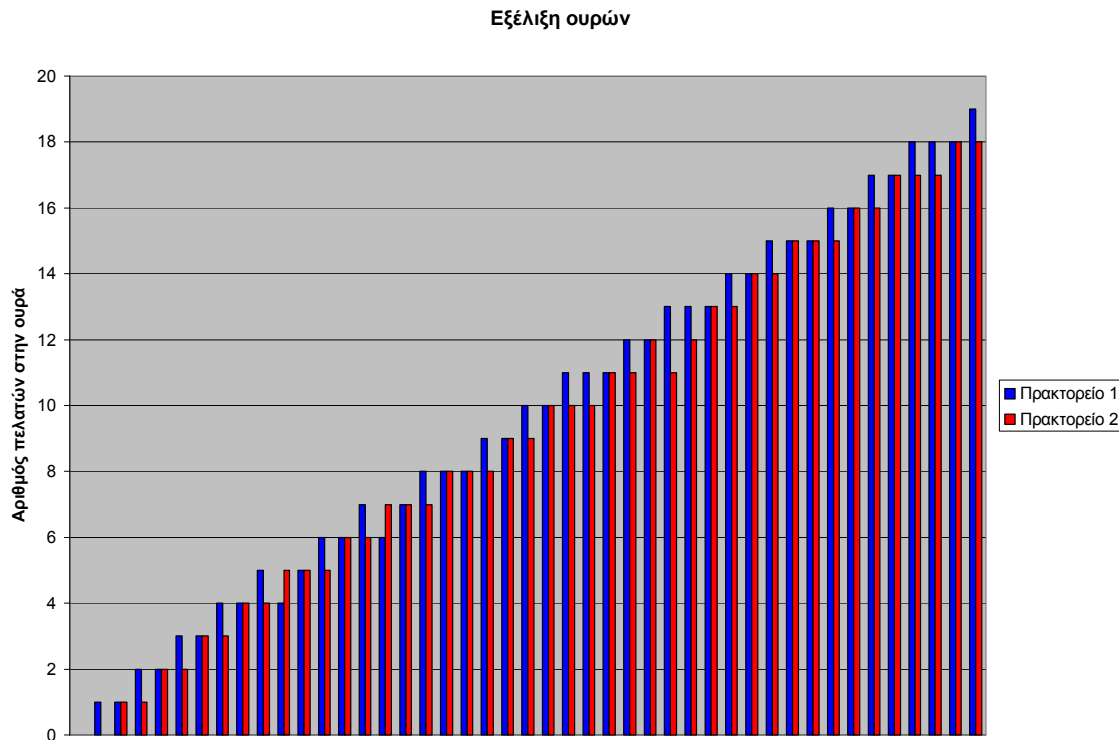
Πίνακας 3.3: Αποτελέσματα μοντέλου ουρών

Στο γράφημα που ακολουθεί παρουσιάζεται το δρομολόγιο, το οποίο ακολουθήθηκε σε σχέση με το πλήθος των πελατών:



Εικόνα 3.12: Δρομολόγιο εξυπηρέτησης σε σχέση με το πλήθος πελατών

- Διανομές που καταλήγουν στο πρακτορείο 1
- Διανομές που καταλήγουν στο πρακτορείο 2



Εικόνα 3.13: Εξέλιξη ουρών

Η μεγάλη διαφορά στα παραπάνω ποσοστά έγκειται στο γεγονός πως στην περίπτωση ισότητας των ουρών έξω από το κάθε πρακτορείο, ο διανομέας επιλέγει αναγκαστικά να εξυπηρετηθεί στο πρώτο. Η συνθήκη αυτή χρησιμοποιήθηκε αυθαίρετα και δεν επηρεάζει το μοντέλο, διότι όπως παρουσιάζεται και στο γράφημα 3.12, η διαδικασία τείνει να εξισορροπήσει τις ουρές που δημιουργούνται έξω από τα πρακτορεία. Στην προσομοίωση επιλέχθηκε το 2^ο σενάριο καταχώρησης στις θέσεις επεξεργασίας. Ο πίνακας που ακολουθεί αφορά στην τυχαία κατανομή των διανομέων στις διάφορες θέσεις και δείχνει τη λειτουργία της συνάρτησης `randperm(N)`, η οποία αναλύθηκε στο 2^ο κεφάλαιο.

Τελικός χρόνος	Αριθμός	Τελικός	Θέση Καταχώρισης		Τελικός χρόνος	Αριθμός	Τελικός	Θέση Καταχώρισης
εξυπηρέτησης	πελάτη	χρόνος	<code>randperm(50)</code>		εξυπηρέτησης	πελάτη	χρόνος	<code>randperm(50)</code>
351	5	948.96	5		1886	27	2533.5	6
358	1	946.01	12		1920	29	2519.2	23
388	3	970.84	13		2009	28	2572.2	32
407	4	990.02	3		2015	26	2556.1	1
439	2	1027.6	9		2171	30	2739.2	22
526	6	1154.3	2		2176	31	2790.5	29
701	10	1264.9	43		2255	33	2956.2	30
709	8	1236.6	16		2300	35	2918	15
750	7	1391.7	44		2374	32	3057.2	11
867	11	1561	21		2433	38	3035.2	10
884	9	1580.8	8		2467	36	3078.5	18
913	12	1495.9	31		2579	37	3219.1	45
1134	13	1696.1	25		2583	34	3195.4	26
1157	15	1881.6	49		2694	41	3384.3	7
1163	18	1760.6	48		2713	42	3234.1	20
1202	14	1851.2	14		2754	39	3343.5	27
1311	17	2054.4	46		2817	40	3366.8	33
1313	16	1986	41		2833	44	3491.6	19
1322	20	2036.1	38		2939	46	3599	28
1441	19	1983	42		2981	45	3717.6	39
1480	22	2047.4	36		3104	49	3764.5	47
1537	24	2240.8	35		3126	43	3746	37
1562	21	2158	4		3132	47	3711.8	34
1747	25	2455.1	24		3241	48	3906	40
1854	23	2521	17		3360	50	4056.7	50

Πίνακας 3.4: Εφαρμογή σεναρίου τυχαίας καταχώρησης στις θέσεις επεξεργασίας

Από τα παραπάνω στοιχεία εξάγονται οι μέσες τιμές, οι οποίες καθορίζουν την απόδοση του συγκεκριμένου δικτύου αναμονής.

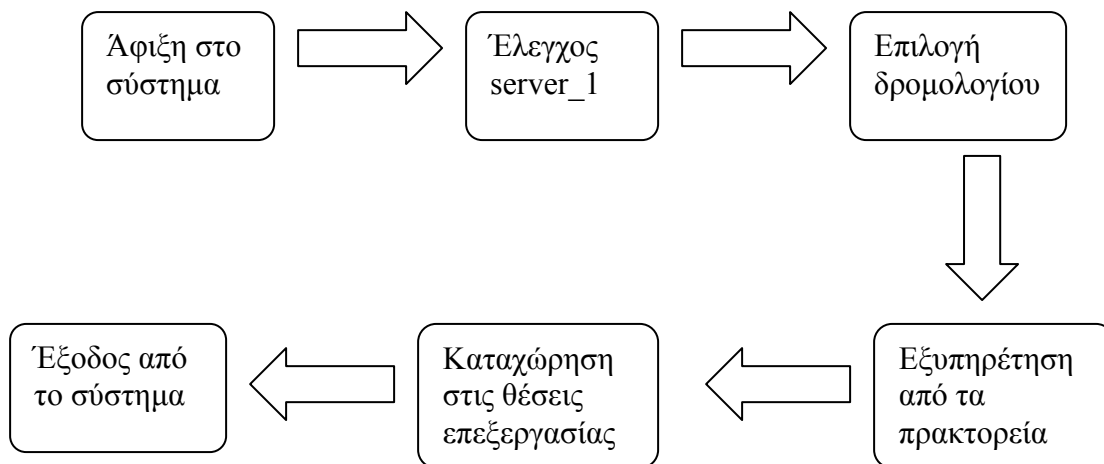
Μέσος χρόνος αναμονης στο σύστημα (W)	2434.64
Μέσος χρόνος εξυπηρέτησης(1)	209.52
Μέσος χρόνος εξυπηρέτησης(2)	205
Μέσος χρόνος αναμονης στην ουρά_1 (Wq)	533.34
Μέσος χρόνος αναμονης στην ουρά_2 (Wq)	584.44

Πίνακας 3.5: Μέσοι χρόνοι

3.4 Μοντέλο εναλλακτικών διαδρομών

3.4.1 Περιγραφή

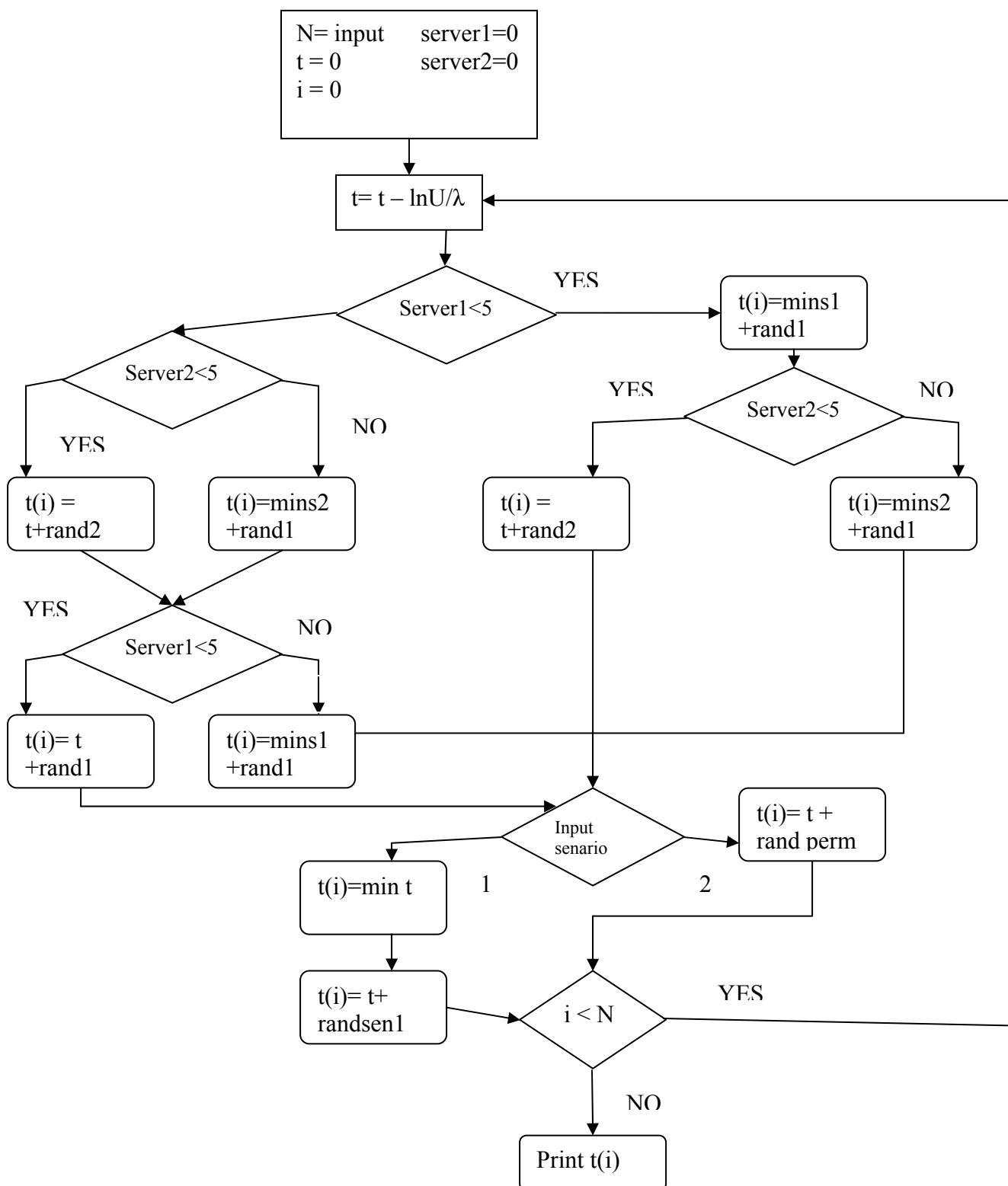
Το μοντέλο εναλλακτικών διαδρομών αποτελεί στην ουσία μία επέκταση του σειριακού μοντέλου. Η συγκεκριμένη διαδικασία επιτρέπει στον κάθε διανομέα να διατρέχει σειριακά το σύστημα που εξετάζεται με κατεύθυνση είτε από το πρώτο πρακτορείο στο δεύτερο είτε αντίθετα. Ένας διανομέας, μετά την άφιξη του στο σύστημα, ελέγχει το διάνυσμα εξυπηρετούντων στο πρακτορείο. Αν υπάρχει κενή θέση ακολουθεί τη διαδρομή $1 \rightarrow 2$, ενώ αντίθετα αν δεν μπορεί να εξυπηρετηθεί απευθείας προχωρά στο πρακτορείο 2 και ακολουθεί αναγκαστικά την πορεία $2 \rightarrow 1$. Μετά την εξυπηρέτησή του σύμφωνα με το δρομολόγιο, το οποίο του συστήθηκε, καταχωρείται στις θέσεις επεξεργασίας, για να διαχωρίσει το υλικό του έχοντας ως γνώμονα τα σημεία παράδοσης που του αντιστοιχούν.



Εικόνα 3.14: Μοντέλο εναλλακτικών διαδρομών

Το πρώτο σημείο απόφασης, όπως προαναφέρθηκε, είναι ο έλεγχος του διανύσματος των εξυπηρετούντων. Ο διανομέας περιμένει στο κάθε πρακτορείο, αν δεν υπάρχει κενή θέση και αφού εξυπηρετηθεί και από τα δύο καταχωρείται στις θέσεις επεξεργασίας, σύμφωνα πάντα με το προεπιλεγμένο σενάριο. Με τις κατάλληλες γεννήτριες τυχαίων αριθμών υπολογίζονται οι χρόνοι αναμονής και εξυπηρέτησης, όπως και ο χρόνος προετοιμασίας. Τέλος, ελέγχεται το πλήθος των πελατών, έτσι ώστε αν έχουν εξυπηρετηθεί όλοι από το σύστημα να περατωθεί η προσομοίωση.

3.4.2 Διάγραμμα ροής μοντέλου εναλλακτικών διαδρομών



Εικόνα 3.15: Διάγραμμα ροής μοντέλου εναλλακτικών διαδρομών

3.4.3 Αλγόριθμος μοντέλου εναλλακτικών διαδρομών

Ως γεγονότα στο σύστημα θεωρούνται: (α) οι αφίξεις των διανομέων στο κέντρο, (β) οι αναχωρήσεις από το 1^ο πρακτορείο, (γ) οι αναχωρήσεις από το 2^ο πρακτορείο και (δ) η έξοδος από το σύστημα.

Ορίζονται τα μεγέθη:

- N : πλήθος πελατών στο σύστημα
- t : τρέχων χρόνος
- T_0 : χρόνος άφιξης στο κέντρο διανομής
- T_1 : χρόνος αναχώρησης από το πρακτορείο 1
- T_2 : χρόνος αναχώρησης από το πρακτορείο 2
- T_3 : χρόνος εξόδου από το σύστημα

A. Αρχικοποίηση

$N=INPUT$; $T=0$; $T_0=0$; $T_1=\infty$; $T_2=\infty$; $T_3=\infty$; $I=0$; $J=0$; $SERVER_{1,2}=0$;

B. Εύρεση επόμενου γεγονότος

```
IF (I < N)
    IF (J = 0, 1, 2, 3)
         $T_J = t$ ;
         $\gamma = J$ ;
    ELSE
        GO TO Δ
END IF
```

Γ. Ενημέρωση μεταβλητών

```
FOR I = 1 TO N
    IF ( $\gamma = 0$ )
         $T_0 = T - \text{LN}U/\lambda$ 
    ELSEIF ( $\gamma = 1$ )
        IF ( $SERVER_1 < 5$ )
             $T_1 = T + \text{RAND}1$ ;
```

```

ELSE
    (γ==2)
        IF(SERVER_2<5)
            T2 =T+RAND2;
        ELSE
            T2 = MIN(SERVER_2)+RAND2;
        END IF
    (γ==1)
        IF(SERVER_1<5)
            T1 =T+RAND1;
        ELSE
            T1 = MIN(SERVER_1)+RAND1;
        END IF
    END IF

ELSE
    IF(SENARIO==1)
        T3 = T+RAND(SEN_1);
    ELSE
        T3 = T+RAND(SEN_2);
    END IF
END IF

GO TO B

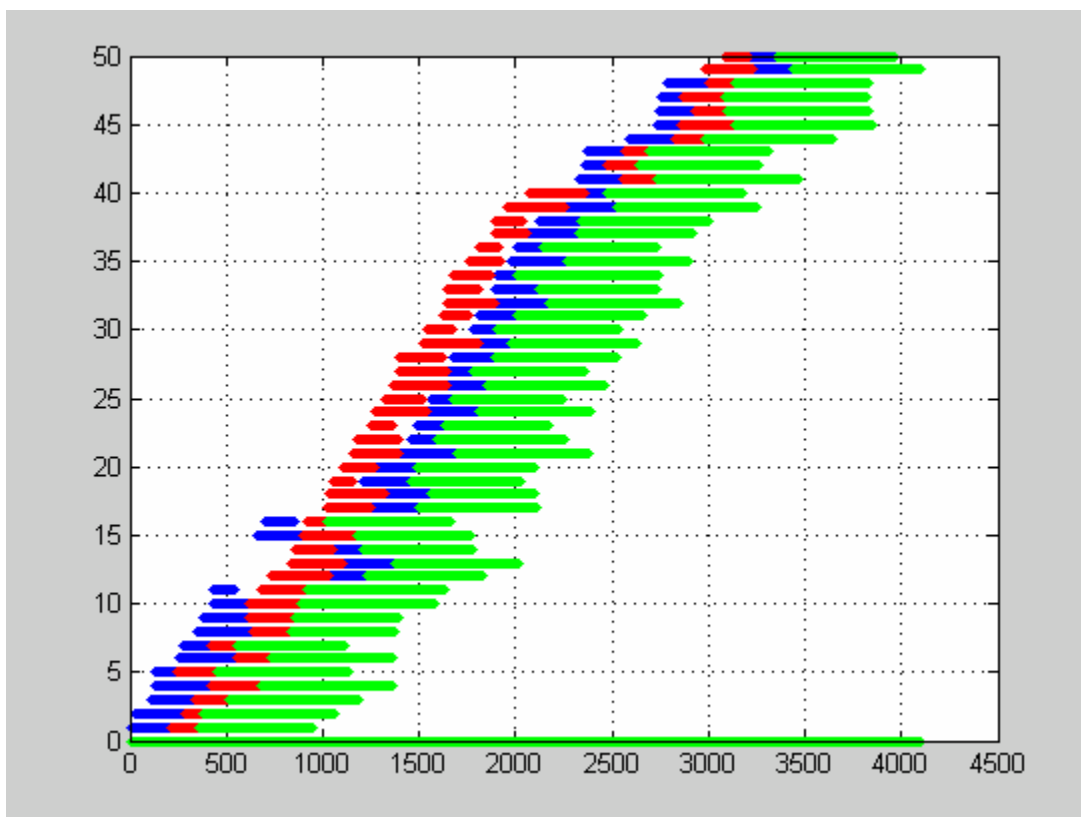
```

Δ. Αποτελέσματα

PRINT T(i);

3.4.4 Αποτελέσματα μοντέλου εναλλακτικών διαδρομών

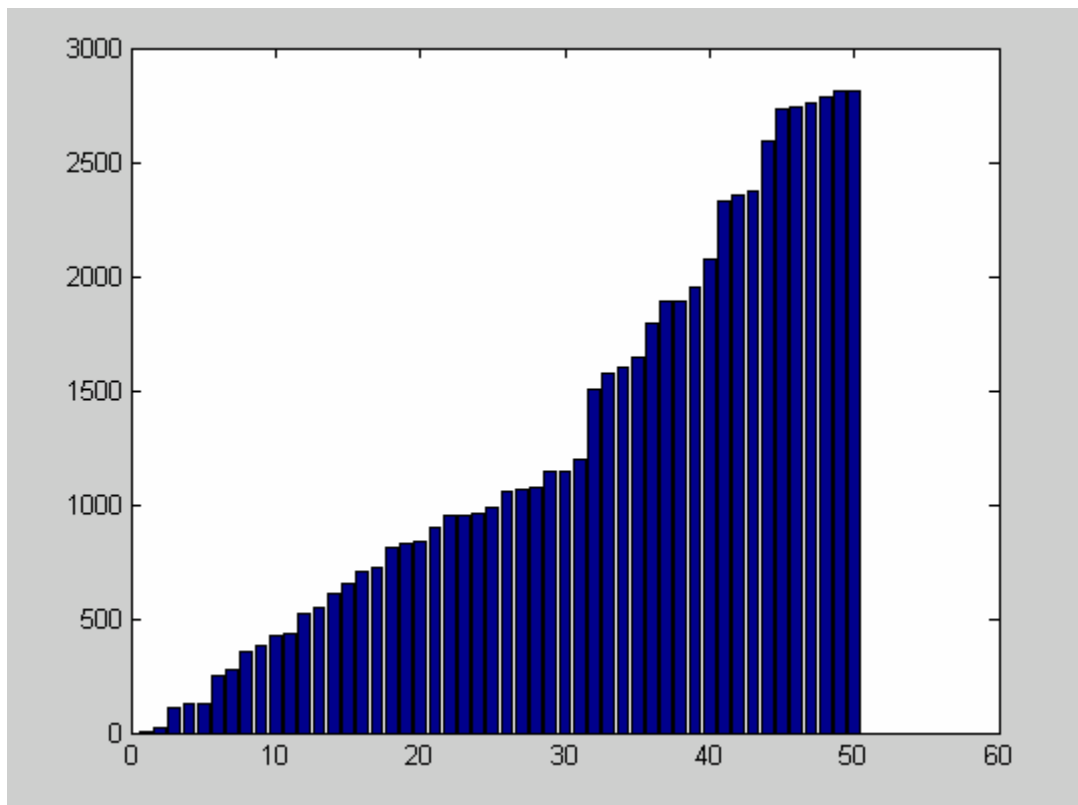
Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων αναπτύχθηκε κώδικας προγραμματισμού στο MATLAB. Τα αποτελέσματα, τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω αφορούν δείγμα πενήντα διανομέων, που εξυπηρετούνται από το σύστημα με την εφαρμογή του μοντέλου εναλλακτικών διαδρομών. Ο ρυθμός αφίξεων στη συγκεκριμένη προσομοίωση είναι $\lambda=60$, ενώ οι χρονικές παράμετροι καθορίστηκαν βάση στοιχείων τα οποία ελήφθησαν από την εταιρία διανομής ημερησίου τύπου. Το επόμενο γράφημα παρουσιάζει το χρόνο αναμονής στο σύστημα για κάθε πελάτη:



Εικόνα 3.16: Χρόνοι αναμονής στο σύστημα

- Χρόνος εξυπηρέτησης στο πρακτορείο 1
- Χρόνος εξυπηρέτησης στο πρακτορείο 2
- Χρόνος καταχώρησης στις θέσεις επεξεργασίας

Από το παραπάνω διάγραμμα γίνεται αντιληπτό πως οι αφίξεις ακολουθούν την εκθετική κατανομή, κάτι που επιβεβαιώνεται παρατηρώντας και το γράφημα των αφίξεων για όλους τους πελάτες :



Εικόνα 3.17: Διάγραμμα χρόνων άφιξης

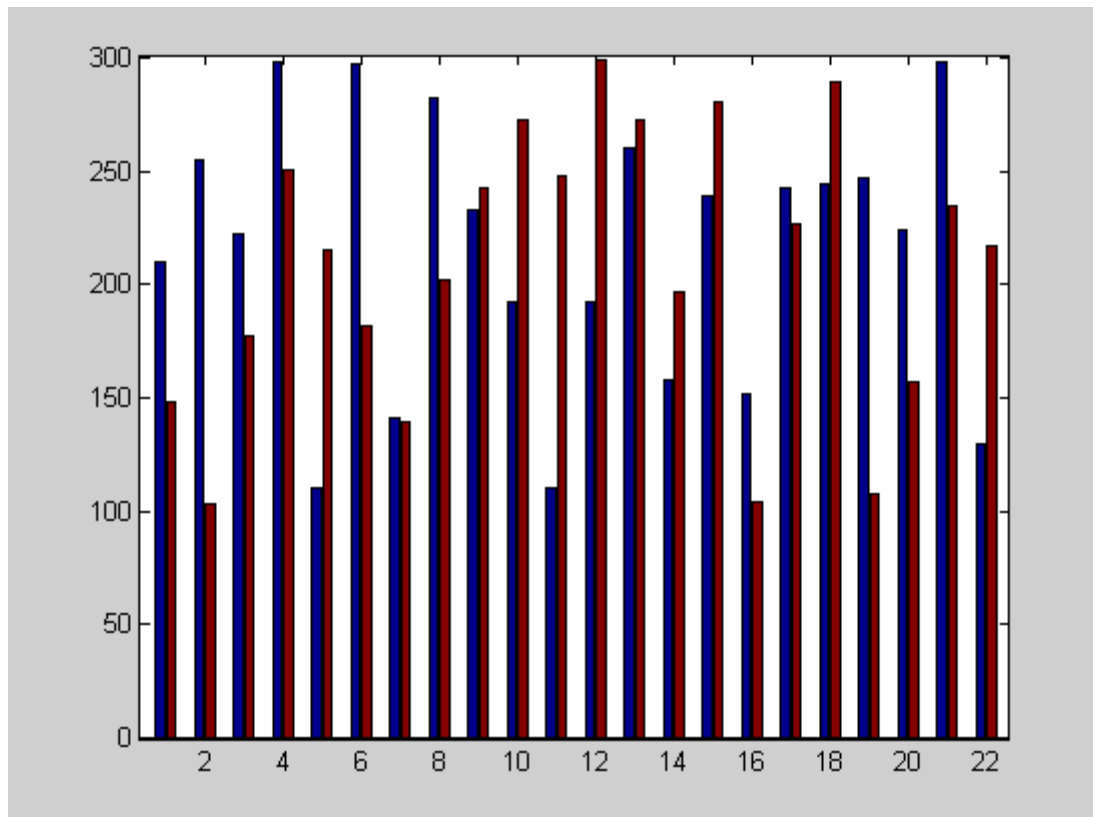
Στην περίπτωση που εξετάζεται, ισχύει για τη συνάρτηση τυχαίων αριθμών το εξής:

$$T_{\text{αφίξης}} = t + \text{round}(\text{random}(' \exp', 60)) + 1$$

Ένα ακόμα ενδιαφέρον διάγραμμα, είναι αυτό που παρουσιάζει την τυχαιότητα των χρόνων εξυπηρέτησης στα δύο πρακτορεία για τον κάθε διανομέα. Παρά το ότι οι συναρτήσεις είναι πανομοιότυπες, η πιθανότητα να λάβει ένας πελάτης τον ίδιο χρόνο εξυπηρέτησης και στα δύο πρακτορεία είναι απειροελάχιστη.

$$T_{\text{εξυπ}} = \text{round}(200 \cdot \text{rand}) + 100$$

Στο γράφημα παρουσιάζονται οι χρόνοι εξυπηρέτησης για τους 22 πρώτους διανομείς:



Εικόνα3.18: Διάγραμμα χρόνων εξυπηρέτησης στο κάθε πρακτορείο

Στους πίνακες που ακολουθούν, παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την προσομοίωση. Ειδικότερα, φαίνονται οι χρόνοι της άφιξης, της εισόδου και εξόδου από το κάθε πρακτορείο, της καταχώρησης στις θέσεις επεξεργασίας και οι αναμονές που προκύπτουν για κάθε ένα διανομέα. Η καταχώρηση εδώ υπολογίστηκε με βάση το σενάριο 1. Η δεύτερη στήλη του πίνακα υποδεικνύει την κατεύθυνση, την οποία ακολουθεί ο πελάτης στο σύστημα. Ο δείκτης 1 αφορά τους πελάτες, που εξυπηρετήθηκαν πρώτα από το 2^ο πρακτορείο για να καταλήξουν έπειτα στο 1^ο, ενώ ο δείκτης 2 το αντίθετο. Η τελευταία στήλη αναφέρεται στο χρόνο επεξεργασίας του υλικού, που λαμβάνει από τα πρακτορεία ο διανομέας και το οποίο πρέπει να ταξινομήσει σύμφωνα με τα σημεία παράδοσης που έχει αναλάβει.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13.00
Αριθμός Πελάτη	Κατάσταση	Χρόνος Αφίξης	Εξυπηρ(1)	Εξυπηρ(2)	Είσοδος(1)	Έξοδος(1)	Είσοδος(2)	Έξοδος(2)	Αναμ(1)	Αναμ(2)	Καταχ	Χρόνος Προετοιμασίας
1	2	2	210	148	2	212	212	360	0	0	946.75	586.75
2	2	25	255	103	25	280	280	383	0	0	1065.5	682.47
3	2	111	222	177	111	333	333	510	0	0	1183.9	673.87
4	2	125	298	251	125	423	423	674	0	0	1363.5	689.52
5	2	130	110	215	130	240	240	455	0	0	1136.4	681.42
6	2	254	297	182	254	551	551	733	0	0	1363.8	630.82
7	2	278	141	139	278	419	419	558	0	0	1117.1	559.14
8	2	352	282	202	352	634	634	836	0	0	1373.9	537.95
9	2	379	233	243	379	612	612	855	0	0	1397.3	542.26
10	2	426	192	273	426	618	618	891	0	0	1577.6	686.63
11	2	432	110	248	432	542	674	922	0	132	1637.7	715.72
12	1	518	192	299	1032	1224	733	1032	0	215	1833.9	609.95
13	1	544	260	273	1109	1369	836	1109	0	292	2017.6	648.62
14	1	611	158	197	1052	1210	855	1052	0	244	1776.3	566.28
15	2	656	239	281	656	895	895	1176	0	0	1768.4	592.36
16	2	702	152	104	702	854	922	1026	0	68	1666.3	640.26
17	1	724	243	227	1253	1496	1026	1253	0	302	2115.5	619.49
18	1	811	244	289	1321	1565	1032	1321	0	221	2100	534.99
19	1	832	247	108	1210	1457	1052	1160	50	220	2026	569.04
20	1	842	224	157	1266	1490	1109	1266	0	267	2103.6	613.60
21	1	896	298	235	1395	1693	1160	1395	0	264	2378.4	685.44
22	1	948	130	217	1457	1587	1176	1393	64	228	2260.3	673.32
23	1	952	141	113	1490	1631	1253	1366	124	301	2170.1	539.07
24	1	961	264	276	1542	1806	1266	1542	0	305	2386.4	580.36
25	1	984	112	198	1565	1677	1321	1519	46	337	2240	563.02

Πίνακας 3.6: Αποτελέσματα μοντέλου εναλλακτικών διαδρομών

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13.00
Αριθμός	Κατάσταση	Χρόνος	Εξυπηρ(1)	Εξυπηρ(2)	Είσοδος (1)	Έξοδος(1)	Είσοδος(2)	Έξοδος(2)	Αναμ(1)	Αναμ(2)	Καταχ	Χρόνος
Πελάτη		Αφίξης										Προετοιμασίας
26	1	1056	208	278	1644	1852	1366	1644	0	310	2461.3	609.30
27	1	1068	138	252	1645	1783	1393	1645	0	325	2354.7	571.67
28	1	1071	220	231	1677	1897	1395	1626	51	324	2523.1	626.14
29	1	1144	158	294	1813	1971	1519	1813	0	375	2626	654.96
30	1	1145	118	134	1783	1901	1542	1676	107	397	2532.9	631.86
31	1	1195	201	127	1806	2007	1626	1753	53	431	2662.1	655.11
32	1	1501	277	251	1895	2172	1644	1895	0	143	2847.6	675.62
33	1	1576	223	163	1897	2120	1645	1808	89	69	2731.8	611.84
34	1	1599	109	193	1901	2010	1676	1869	32	77	2738.2	728.23
35	1	1642	290	168	1971	2261	1753	1921	50	111	2902.8	641.75
36	1	1792	134	102	2007	2141	1808	1910	97	16	2736.2	595.20
37	1	1891	265	167	2058	2323	1891	2058	0	0	2918.4	595.37
38	1	1893	222	149	2120	2342	1893	2042	78	0	2997.8	655.77
39	1	1954	269	299	2253	2522	1954	2253	0	0	3250.3	728.29
40	1	2073	123	281	2354	2477	2073	2354	0	0	3181.6	704.57
41	2	2327	230	170	2327	2557	2557	2727	0	0	3466.2	739.24
42	2	2355	123	156	2355	2478	2478	2634	0	0	3262.9	628.86
43	2	2374	195	119	2374	2569	2569	2688	0	0	3312.6	624.65
44	2	2592	237	148	2592	2829	2829	2977	0	0	3649.8	672.82
45	2	2730	127	280	2730	2857	2857	3137	0	0	3850	713.00
46	2	2738	193	165	2738	2931	2931	3096	0	0	3828.4	732.42
47	2	2755	114	215	2755	2869	2869	3084	0	0	3822.8	738.81
48	2	2788	216	137	2788	3004	3004	3141	0	0	3828.9	687.93
49	1	2812	213	248	3225	3438	2977	3225	0	165	4099.6	661.64
50	1	2815	151	122	3206	3357	3084	3206	0	269	3968.7	611.73

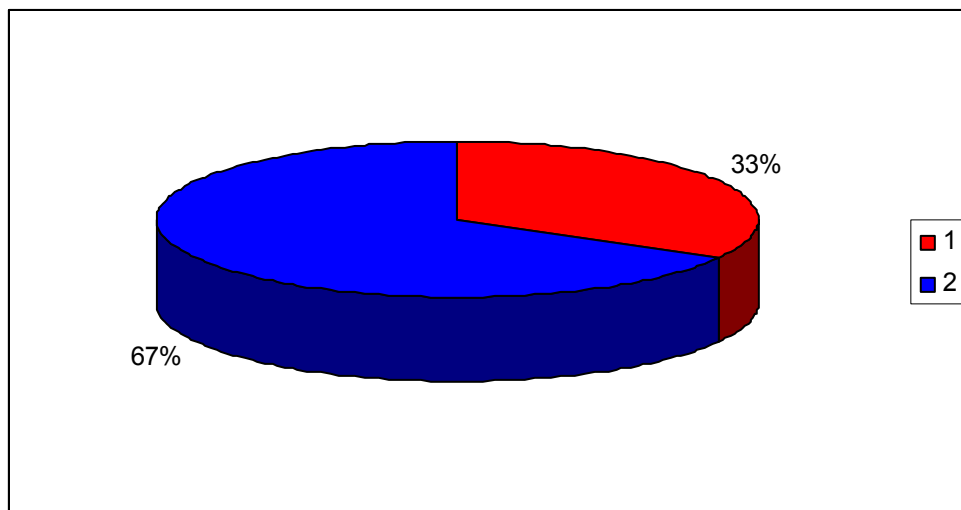
Πίνακας 3.6: Αποτελέσματα μοντέλου εναλλακτικών διαδρομών

Από τα παραπάνω στοιχεία εξάγονται οι μέσες τιμές, οι οποίες καθορίζουν την απόδοση του συγκεκριμένου δικτύου αναμονής.

Μέσος χρόνος αναμονής στο σύστημα (W)	2431.22
Μέσος χρόνος εξυπηρέτησης(1)	200.16
Μέσος χρόνος εξυπηρέτησης(2)	200.08
Μέσος χρόνος αναμονής στην ουρά_1 (Wq)	16.82
Μέσος χρόνος αναμονής στην ουρά_2 (Wq)	128.16

Πίνακας 3.7: Μέσοι χρόνοι

Ενδιαφέρον και σε αυτό το μοντέλο είναι το διάγραμμα επιλογής δρομολογίου σε σχέση με το πλήθος των διανομέων:



Εικόνα3.19: Δρομολόγιο εξυπηρέτησης σε σχέση με το πλήθος πελατών

- Διανομείς που καταλήγουν στο πρακτορείο 1
- Διανομείς που καταλήγουν στο πρακτορείο 2

3.5 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

Στις προηγούμενες παραγράφους αναλύθηκαν τα τρία προτεινόμενα μοντέλα και εξήχθησαν αποτελέσματα για ένα σχετικά μικρό πλήθος διανομέων, έτσι ώστε να γίνεται εύκολα αντιληπτή η λειτουργία τους. Στις ενότητες, που ακολουθούν, παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα και οι μέσες τιμές των μεγεθών, για ένα πιο ρεαλιστικό πλήθος πελατών στο σύστημα. Ειδικότερα, εξετάζεται η λειτουργία του συστήματος για 150 διανομείς. Οι τιμές του ρυθμού αφίξεων είναι ίδιες με αυτές που χρησιμοποιήθηκαν στα προηγούμενα παραδείγματα, ενώ υπολογίζεται και ο μέσος χρόνος προετοιμασίας του κάθε διανομέα στις θέσεις επεξεργασίας. Αξιοσημείωτος είναι, επίσης, ο μέσος αριθμός πελατών στο σύστημα, ο οποίος καθορίστηκε με βάση το νόμο του Little που παρουσιάστηκε στο δεύτερο κεφάλαιο.

3.5.1 Σειριακό μοντέλο

Εκτελώντας πέντε προσομοιώσεις για το σειριακό μοντέλο, με χρήση του πρώτου σεναρίου καταχώρησης στις θέσεις επεξεργασίας, προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα:

	<i>Μέση τιμή</i>	<i>SIM 1</i>	<i>SIM 2</i>	<i>SIM 3</i>	<i>SIM 4</i>	<i>SIM 5</i>
<i>προσομοιώσεων</i>						
<i>Μέσος χρόνος αναμονής στο σύστημα (W)</i>	4116.89	4017.40	4126.85	4176.36	4170.34	4093.48
<i>Μέσος χρόνος εξυπηρέτησης(1)</i>	202.24	197.90	198.59	204.09	210.77	199.86
<i>Μέσος χρόνος εξυπηρέτησης(2)</i>	201.20	203.82	198.15	200.56	202.63	200.85
<i>Μέσος χρόνος αναμονής στην ουρά_1 (Wq)</i>	2130.96	1985.05	2048.53	2189.56	2237.48	2194.16
<i>Μέσος χρόνος αναμονής στην ουρά_2 (Wq)</i>	115.61	187.89	116.95	108.54	57.73	106.96
<i>Μέσος χρόνος προετοιμασίας</i>	665.70	668.13	666.52	661.39	666.58	665.88
<i>Μέσος αριθμός πελατών στο σύστημα</i>	85.67	85.79	85.91	86.30	84.21	86.12

Πίνακας 3.8: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα σειριακού μοντέλου (σενάριο 1)

Χρησιμοποιώντας το ίδιο μοντέλο και εφαρμόζοντας το δεύτερο σενάριο καταχώρησης στις θέσεις επεξεργασίας, προέκυψαν οι παρακάτω τιμές:

	Μέση τιμή	SIM 1	SIM 2	SIM 3	SIM 4	SIM 5
προσομοιώσεων						
Μέσος χρόνος αναμονής στο σύστημα (W)	4128.44	4128.82	4271.36	4123.69	4015.14	4103.17
Μέσος χρόνος εξυπηρέτησης(1)	197.60	196.35	197.49	202.73	192.15	199.30
Μέσος χρόνος εξυπηρέτησης(2)	201.82	200.01	209.35	203.66	198.58	197.52
Μέσος χρόνος αναμονής στην ουρά_1 (Wq)	2088.84	2151.41	2158.82	2147.67	2028.19	1958.12
Μέσος χρόνος αναμονής στην ουρά_2 (Wq)	166.69	146.17	246.51	130.75	199.89	110.11
Μέσος χρόνος προετοιμασίας	667.07	666.53	671.45	661.18	665.24	670.95
Μέσος αριθμός πελατών στο σύστημα	86	86	86	87	85	86

Πίνακας 3.9: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα σειριακού μοντέλου (σενάριο 2)

3.5.2 Μοντέλο ουρών

Εκτελώντας πέντε προσομοιώσεις για το μοντέλο ουρών, με χρήση του πρώτου σεναρίου καταχώρησης στις θέσεις επεξεργασίας, προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα:

	Μέση τιμή	SIM 1	SIM 2	SIM 3	SIM 4	SIM 5
προσομοιώσεων						
Μέσος χρόνος αναμονής στο σύστημα (W)	5462.78	5575.24	5421.27	5509.85	5386.70	5420.85
Μέσος χρόνος εξυπηρέτησης(1)	198.44	203.28	201.34	199.63	188.49	199.46
Μέσος χρόνος εξυπηρέτησης(2)	200.74	202.24	208.39	196.91	199.25	196.89
Μέσος χρόνος αναμονής στην ουρά_1 (Wq)	1800.71	1736.55	1744.77	1871.02	1842.14	1809.04
Μέσος χρόνος αναμονής στην ουρά_2 (Wq)	1787.17	1822.91	1786.73	1837.29	1782.03	1706.85
Μέσος χρόνος προετοιμασίας	677.50	682.93	670.49	678.46	673.30	682.34
Μέσος αριθμός πελατών στο σύστημα	82	81	79	83	83	82

Πίνακας 3.10: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μοντέλου ουρών (σενάριο 1)

Χρησιμοποιώντας το ίδιο μοντέλο και εφαρμόζοντας το δεύτερο σενάριο καταχώρησης στις θέσεις επεξεργασίας, προέκυψαν οι παρακάτω τιμές:

	Μέση τιμή	SIM 1	SIM 2	SIM 3	SIM 4	SIM 5
προσομοιώσεων						
Μέσος χρόνος αναμονής στο σύστημα (W)	5405.69	5367.21	5368.06	5365.31	5476.28	5451.59
Μέσος χρόνος εξυπηρέτησης(1)	198.75	197.90	198.15	192.13	209.22	196.35
Μέσος χρόνος εξυπηρέτησης(2)	200.41	203.82	197.55	200.83	199.86	200.01
Μέσος χρόνος αναμονής στην ουρά_1 (Wq)	1780.53	1793.10	1737.77	1719.33	1814.06	1838.39
Μέσος χρόνος αναμονής στην ουρά_2 (Wq)	1730.91	1729.45	1725.29	1687.87	1729.99	1781.97
Μέσος χρόνος προετοιμασίας	673.91	673.20	678.23	676.75	670.65	670.71
Μέσος αριθμός πελατών στο σύστημα	82	81	83	83	81	82

Πίνακας 3.11: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μοντέλου ουρών (σενάριο 2)

3.5.3 Μοντέλο εναλλακτικών διαδρομών

Εκτελώντας πέντε προσομοιώσεις για το μοντέλο εναλλακτικών διαδρομών, με χρήση του πρώτου σεναρίου καταχώρησης στις θέσεις επεξεργασίας, προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα:

	Μέση τιμή	SIM 1	SIM 2	SIM 3	SIM 4	SIM 5
προσομοιώσεων						
Μέσος χρόνος αναμονής στο σύστημα (W)	5609.54	5481.69	5545.60	5359.74	5757.97	5902.69
Μέσος χρόνος εξυπηρέτησης(1)	198.85	197.49	200.31	191.70	207.21	197.52
Μέσος χρόνος εξυπηρέτησης(2)	202.46	209.35	202.73	203.41	196.82	199.99
Μέσος χρόνος αναμονής στην ουρά_1 (Wq)	18.64	13.50	32.41	15.59	20.69	10.99
Μέσος χρόνος αναμονής στην ουρά_2 (Wq)	68.66	67.81	73.97	108.83	41.47	51.22
Μέσος χρόνος προετοιμασίας	668.30	669.30	672.51	661.34	668.09	670.28
Μέσος αριθμός πελατών στο σύστημα	84	87	85	84	80	84

Πίνακας 3.12: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μοντέλου εναλλακτικών διαδρομών (σενάριο 1)

Χρησιμοποιώντας το ίδιο μοντέλο και εφαρμόζοντας το δεύτερο σενάριο καταχώρησης στις θέσεις επεξεργασίας, προέκυψαν οι παρακάτω τιμές:

	<i>Μέση τιμή</i>	<i>SIM 1</i>	<i>SIM 2</i>	<i>SIM 3</i>	<i>SIM 4</i>	<i>SIM 5</i>
προσομοιώσεων						
<i>Μέσος χρόνος αναμονής στο σύστημα (W)</i>	6009.47	6354.15	6354.15	5580.56	6262.33	5496.15
<i>Μέσος χρόνος εξυπηρέτησης(1)</i>	202.06	203.28	203.28	204.29	202.01	197.42
<i>Μέσος χρόνος εξυπηρέτησης(2)</i>	204.13	202.24	202.24	208.71	199.46	207.99
<i>Μέσος χρόνος αναμονής στην ουρά_1 (Wq)</i>	22.54	31.92	31.92	12.75	14.56	21.55
<i>Μέσος χρόνος αναμονής στην ουρά_2 (Wq)</i>	67.70	70.86	70.86	52.75	47.13	96.91
<i>Μέσος χρόνος προετοιμασίας</i>	672.58	673.08	673.08	669.29	677.60	669.83
<i>Μέσος αριθμός πελατών στο σύστημα</i>	85	90	87	81	82	86

Πίνακας 3.13: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μοντέλου εναλλακτικών διαδρομών (σενάριο 2)

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διπλωματική εργασία είχε ως θέμα την ανάπτυξη μοντέλων προσομοίωσης, για μία πιο ορθολογική και τυποποιημένη διαδικασία λειτουργίας των πρακτορείων διανομής ημερησίου τύπου. Το πρόβλημα, που εξετάστηκε, αφορά την εξυπηρέτηση των διανομέων καθώς και την προετοιμασία τους, έτσι ώστε να μεταφέρουν τελικά το υλικό τους στα διάφορα σημεία παράδοσης, τα οποία έχουν αναλάβει. Οι διάφοροι χρόνοι, που παρουσιάστηκαν στο τρίτο κεφάλαιο, ελήφθησαν προσεγγιστικά σύμφωνα με τον τελικό χρόνο που απαιτείται, ώστε να διεκπεραιωθεί σωστά η συγκεκριμένη εργασία. Στόχος της διπλωματικής εργασίας δεν ήταν η σύγκριση των μοντέλων, που αναλύθηκαν παραπάνω, αλλά η κατανόηση των μεγεθών που τα επηρεάζουν. Το κάθε ένα από τα μοντέλα αυτά θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε κάποιο πρακτορείο διανομής τύπου σύμφωνα με τις υποκειμενικές του ανάγκες, όπως είναι ο χρόνος περάτωσης της εξυπηρέτησης, ο χώρος στον οποίο εκτείνεται το κέντρο διανομής και το πλήθος των διανομέων που απασχολεί.

Το σειριακό μοντέλο εμφανίζει μικρό χρόνο αναμονής στο σύστημα για τους διανομείς. Επειδή όμως το δρομολόγιο εξυπηρέτησης πραγματοποιείται σε μία κατεύθυνση, παρουσιάζεται σχετικά μεγάλος χρόνος αναμονής έξω από το πρώτο πρακτορείο. Ο παράγοντας της μεγάλης καθυστέρησης στην ουρά 1 δεν επηρεάζει μόνο το χρόνο. Αντίθετα, σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί παρενοχλήσει τη συνολική λειτουργία ενός κέντρου διανομής, δεδομένου ότι λαμβάνουν χώρα και άλλες εργασίες εκτός από αυτή που περιγράφεται. Ο συνωστισμός λόγω αναμονής έξω από το πρακτορείο δημιουργεί για παράδειγμα πρόβλημα στο σύστημα φόρτωσης – εκφόρτωσης. Ο μικρός χώρος έκτασης του κέντρου διανομής μπορεί να αποτελέσει έναν ακόμα ανασταλτικό παράγοντα στην περίπτωση των μεγάλων ουρών αναμονής, δεδομένου πως η ουρά που σχηματίζεται αντιστοιχεί στο 70% περίπου του πλήθους των πελατών. Ο ρυθμός άφιξης πελατών στο σύστημα είναι υπεύθυνος για τη δημιουργία των ουρών. Όταν οι αφίξεις συμβαίνουν σε μικρά χρονικά διαστήματα αναμεταξύ τους, τότε το σειριακό μοντέλο εμφανίζει μεγάλη ουρά αναμονής. Αντίθετα λειτουργεί ομαλά για μεγάλες τιμές του λ , αφού αδειάζουν οι θέσεις εξυπηρέτησης και δεν παρουσιάζεται μεγάλη αναμονή. Ο μέσος αριθμός πελατών στο σύστημα είναι ρεαλιστικός και κυμαίνεται λίγο πιο πάνω από το 50% για την περιγραφή του συστήματος των 150 διανομέων, όπως παρουσιάζεται στην ενότητα 3.5 .

Το μοντέλο ουρών εμφανίζει μεγαλύτερο χρόνο αναμονής στο σύστημα σε σχέση με το σειριακό μοντέλο. Αυτό συμβαίνει λόγω της εξισορρόπησης των ουρών έξω από τα δύο πρακτορεία. Το προτέρημα του εν λόγω μοντέλου έγκειται στο μέσο χρόνο αναμονής στην ουρά, που είναι και το σημαντικότερο κριτήριο αξιολόγησης στα συστήματα εξυπηρέτησης πελατών. Παρακολουθώντας τα αποτελέσματα στο κεφάλαιο 3, παρατηρεί κανείς ότι ο μέσος χρόνος αναμονής στην ουρά για το σύνολο των προσομοιώσεων είναι σχετικά μειωμένος. Άλλο ένα στοιχείο το οποίο αφορά τους διανομείς είναι η αναμονή μόνο σε ένα πρακτορείο, κάτι που δεν παρατηρήθηκε στα άλλα δύο μοντέλα. Πιο συγκεκριμένα, με την εφαρμογή του μοντέλου ουρών οι διανομείς στην συντριπτική τους πλειοψηφία αναμένουν κάποιο χρόνο στην ουρά του πρακτορείου, που αρχικά επέλεξαν να εξυπηρετηθούν, ενώ έπειτα συνεχίζουν την διαδρομή τους στο σύστημα σχεδόν χωρίς καμία καθυστέρηση. Η εξισορρόπηση των ουρών αναμονής στα δύο πρακτορεία συντελεί επίσης στην ορθολογική διαχείριση του χώρου σε ένα κέντρο διανομής τύπου, αφού αποφεύγεται η δημιουργία συνωστισμού. Ο ρυθμός αφίξεων επηρεάζει πολύ το συγκεκριμένο μοντέλο, που στηρίζεται στη δημιουργία ουρών. Πιο αναλυτικά, καθώς ο λ μειώνεται, οι αφίξεις αυξάνονται για μία χρονική περίοδο και δεν προλαβαίνουν να αδειάζουν οι θέσεις των εξυπηρετούντων, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ουρών. Στο σημείο αυτό αρχίζει να λειτουργεί η συνθήκη $Q_1 \leq Q_2$, η οποία κατευθύνει τον διανομέα στη μικρότερη ουρά. Για μεγάλες τιμές του λ το διάνυσμα **server_1 [5]** των εξυπηρετούντων στο πρώτο πρακτορείο εμφανίζει συχνά μία τουλάχιστον κενή θέση ανάμεσα σε δύο αφίξεις, με αποτέλεσμα το σύστημα να μην δημιουργεί ουρές. Το γεγονός αυτό ωθεί το μοντέλο στη σειριακή εξυπηρέτηση των πελατών. Ο μέσος αριθμός πελατών στο σύστημα είναι ρεαλιστικός και κυμαίνεται λίγο πιο πάνω από το 50%, για την περιγραφή του συστήματος των 150 διανομέων, όπως παρουσιάζεται στην ενότητα 3.5.

Η λειτουργία του μοντέλου εναλλακτικών διαδρομών στηρίζεται στην τελευταία υπόθεση, που έγινε για τον ρυθμό αφίξεων. Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3, το εν λόγω μοντέλο αποτελεί επέκταση του σειριακού με δρομολόγηση και προς τις δύο κατευθύνσεις, όσον αφορά τα πρακτορεία. Για μεγάλες τιμές του λ προλαβαίνουν να δημιουργηθούν κενές θέσεις στα διανύσματα εξυπηρετούντων (**server_1 [5]**, **server_2 [5]**) των δύο πρακτορείων, με αποτέλεσμα ο διανομέας να έχει τη δυνατότητα να διατρέξει το σύστημα είτε στην κατεύθυνση $1 \rightarrow 2$, είτε στην κατεύθυνση $2 \rightarrow 1$. Η πορεία, την οποία τελικά ακολουθεί, εξαρτάται από τις συνθήκες που επικρατούν στα διανύσματα εξυπηρετούντων τη χρονική στιγμή της άφιξής του. Τα διαστήματα ανάμεσα

στις αφίξεις είναι όμως υπεύθυνα και για την μεγάλη τιμή του μέσου χρόνου αναμονής στο σύστημα. Αντίθετα, μέσος χρόνος αναμονής στην ουρά μειώνεται σημαντικά, για τους λόγους που αναλύθηκαν. Παρ' αυτά, δεν θεωρείται και τόσο ρεαλιστικός, αφού προϋποθέτει μικρό ρυθμό αφίξεων. Σε αντιδιαστολή με τα παραπάνω, όταν το λ έχει μικρές τιμές, οι πέντε πρώτοι διανομείς εξυπηρετούνται αρχικά στο πρώτο και έπειτα στο δεύτερο πρακτορείο, ενώ οι υπόλοιποι κατευθύνονται σειριακά από το δεύτερο προς το πρώτο. Όσον αφορά το μέσο αριθμό πελατών στο σύστημα, αυτός είναι ρεαλιστικός και κυμαίνεται λίγο πιο πάνω από το 50%, για την περιγραφή του συστήματος των 150 διανομένων και για $\lambda=60$, όπως παρουσιάζεται στην ενότητα 3.5 .

Εξετάζοντας τα σενάρια καταχώρησης στις θέσεις επεξεργασίας με βάση το μέσο χρόνο προετοιμασίας τα συμπεράσματα μπορεί να μην είναι και τόσο ασφαλή. Αν όμως επικεντρωθεί κανείς στη λειτουργία τους, τότε μπορεί να εξάγει χρήσιμες πληροφορίες. Το πρώτο σενάριο επιβάλλει σειριακή καταχώριση με μοναδικό γνώμονα το τέλος της εξυπηρέτησης και από τα δύο πρακτορεία. Ο διανομέας που θα τελειώσει την παραλαβή του υλικού του πιο γρήγορα, θα κερδίσει επιπλέον χρόνο, αφού θα καταχωρηθεί στην κοντινότερη σε αυτόν θέση τη δεδομένη χρονική στιγμή, επιβαρύνοντας κάποιον άλλο, ο οποίος μπορεί να αφίχθη νωρίτερα στο σύστημα. Το συγκεκριμένο φαινόμενο είναι δυνατόν να επηρεάσει το μέσο χρόνο παραμονής στο σύστημα. Η λειτουργία του συγκεκριμένου σεναρίου προτείνει ίσως μία πιο ορθολογική διαχείριση των πελατών, οι οποίοι περατώνουν την εξυπηρέτησή τους νωρίτερα.

Το δεύτερο σενάριο καταχωρεί τυχαία τους διανομείς, χωρίς να λαμβάνει υπ' όψη κανένα χρονικό σημείο, όπως είναι η άφιξη ή το τέλος της εξυπηρέτησης. Η χρονική επιβάρυνση του διανομέα στο χώρο προετοιμασίας είναι τελείως τυχαία και εξάγεται μόνο από τον αριθμό της θέσης στην οποία εν τέλει θα καταχωρηθεί. Η συμβολή του συγκεκριμένου τρόπου καταχώρησης στο μέσο χρόνο αναμονής στο σύστημα εξαρτάται επίσης από την τυχαιότητα ανάθεσης των θέσεων, αφού μερικές φορές τον επιβαρύνει και άλλες φορές τον μειώνει.

Αξίζει να αναφερθεί πως για την επιλογή ενός μοντέλου λειτουργίας πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη και άλλοι παράγοντες πέραν του τελικού χρόνου, όπως αναλύθηκε παραπάνω. Πρέπει δηλαδή να αξιολογούνται και οι υποκειμενικές συνθήκες που επικρατούν στο εκάστοτε κέντρο διανομής, από άποψη χώρου σε σχέση με το πλήθος των διανομένων που πρέπει να εξυπηρετηθεί.

Τέλος, αναφέρονται και διάφορες επεκτάσεις του συγκεκριμένου θέματος, όπως η σύνδεσή του με το πρόβλημα φόρτωσης – εκφόρτωσης, τη διαχείριση του επιστρεφόμενου υλικού και την δρομολόγηση των διανομέων στα σημεία παράδοσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Βασίλης Σ. Κουικόγλου, “ Προσομοίωση ”, σημειώσεις μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά 2002.

[2] Βασίλης Μάγκλαρης, “ Συστήματα αναμονής ”, Εργαστήριο διαχείρισης και βέλτιστου σχεδιασμού δικτύων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

[3] Ιωάννης Φίλης, “ CAM ”, σημειώσεις μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά 2002.

[4] Jean Walrand, “ Δίκτυα επικοινωνιών ”, 2^η έκδοση, παράρτημα Β, Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα 2003.

[5] <http://www.argos.gr>

[6] <http://www.europi.gr>

[7] <http://www.netmode.ece.ntua.gr>

[8] <http://www.telecom.tuc.gr>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Προγραμματιστικός κώδικας στο MATLAB

Κώδικας σειριακού μοντέλου

```
clear all
clc
close all

%----- SIRIAKO MONTELO -----

%Dilwsi pelatwn
N = input('Enter the number of clients our system is going to
serve::');

clients=zeros(N,12);
clients(:,1)=1:N;

%Proorismos: (1-2)_
clients(:,2)=0;

%1 gia ekthetikes afikseis
lambda=10;

%Ypologosmos afiksewn
summary=0;
for i=1:N
    clients(i,3)=summary+round(random('exp', lambda))+1;
    summary=clients(i,3);
end

%Ypologismos eksipiretisis se kathe praktoreio
clients(:,4) = round (200.*rand(1,N))+100;
clients(:,5) = round (200.*rand(1,N))+100;

sc1=5;
sc2=5;

%Dianisma eksipiretountwn (ews 5 se kathe praktoreio)
server_clients_1=-ones(1,sc1);
server_clients_2=-ones(1,sc2);

for i=1:N

    if(clients(i,3)>=min(server_clients_1))

        clients(i,6)=clients(i,3);
        clients(i,7)=clients(i,3)+clients(i,4);
```

```

        tmp=find(min(server_clients_1)==server_clients_1);
        server_clients_1(tmp(1,1))=clients(i,7);

    else
        clients(i,6)=min(server_clients_1);
        clients(i,7)=clients(i,6)+clients(i,4);
        tmp=find(min(server_clients_1)==server_clients_1);
        server_clients_1(tmp(1,1))=clients(i,7);
        clients(i,10)=clients(i,6)-clients(i,3);
    end

    if (clients(i,7)>=min(server_clients_2))

        clients(i,8)=clients(i,7);
        clients(i,9)=clients(i,8)+clients(i,5);
        tmp=find(min(server_clients_2)==server_clients_2);
        server_clients_2(tmp(1,1))=clients(i,9);

    else
        clients(i,8)=min(server_clients_2);
        clients(i,9)=clients(i,8)+clients(i,5);
        tmp=find(min(server_clients_2)==server_clients_2);
        server_clients_2(tmp(1,1))=clients(i,9);
        clients(i,11)=clients(i,8)-clients(i,7);
    end
end

%clients(i,6)= Xronos eisodou sto 1o praktoreio
%clients(i,7)= Xronos eksodou apo to 1o praktoreio
%clients(i,8)= Xronos eisodou sto 2o praktoreio
%clients(i,9)= Xronos eksodou apo to 2o praktoreio
%clients(i,10)= Anamoni sto 1o praktoreio
%clients(i,11)= Anamoni sto 2o praktoreio

%epilogi senariou kataxwrisis stis thesis
scen=input('Dwse to scenario kataxwrisis:');

L=500;
A=200;
kapa=10;

%Elegxoume tous xronous gia na kratisoume ton max
tmp=[];

    tmp_2=[clients(:,7) clients(:,9)];
    tmp_2=tmp_2';

    tmp(1,:)=max(tmp_2);

    tmp(2,:)=clients(:,1);

%antistixisi symfwna me ton arithmo eisagwgis tou pelati sto systema

```

```

        tmp=tmp';
        tmp=sortrows(tmp,1);

switch(scen)
    case(1)

        for i=1:N

            tmp(i,3)=tmp(i,1)+L+A*rand+(floor(i./11)+1)*kapa;
        end

    case(2)
        tmp(:,4)=randperm(N)';

        for i=1:N

            tmp(i,3)=tmp(i,1)+L+A*rand+(floor(tmp(i,4)./11)+1)*kapa;
        end
    otherwise
        fprintf('Select 1 or 2\n\n\n');

end

for i=1:N
    clients(tmp(i,2),12)=tmp(i,3);
end

for i=1:N
    clients(i,13)=clients(i,12)-max([clients(i,7) clients(i,9)]);
end

%clients(i,12)= Xronos eksodou apo to systima
%clients(i,13)= Xronos epeksergasias

%-----Ploting-----
----
h=clients(:,12);
h=h';
x=1:max(h);
for i=1:N
    first(i,:)= i*(clients(i,6)<=x) & (clients(i,7)>=x);
    second(i,:)=i*(clients(i,8)<=x) & (clients(i,9)>=x);
    third(i,:)=i*(max([clients(i,7) clients(i,9)])<=x) &
    (clients(i,12)>=x);
end
double(first);
double(second);
double(third);

```

```

for i=1:N
    stem(x,i*first(i,:),'.','LineStyle','none')
    hold on
end

for i=1:N
    stem(x,i*second(i,:), 'r','.','LineStyle','none')
    hold on
end

for i=1:N
    stem(x,i*third(i,:), 'g','.','LineStyle','none')
    hold on
end

grid on

%----- METAFORA SE ARXEO XLS -----

xlswrite('siriako.xls', clients, 'clients', 'B1');

```

Κώδικας μοντέλου ουρών

```
clear all
clc
close all

%----- MONTELO OURWN -----

%Dilwsi pelatwn
N = input('Enter the number of clients our system is going to
serve::');

clients=zeros(N,11);
clients(:,1)=1:N;

%Proorismos: (1-2)-(2-1)
clients(:,2)=0;

%l gia ekthetikes afikseis
lambda=10;

%Ypologosmos afiksewn
summary=0;
for i=1:N
    clients(i,3)=summary+round(random('exp', lambda))+1;
    summary=clients(i,3);
end

%Ypologismos eksipiretisis se kathe praktoreio
clients(:,4) = round (200.*rand(1,N))+100;
clients(:,5) = round (200.*rand(1,N))+100;

sc1=5;
sc2=5;

%Dianisma eksipiretountwn (ews 5 se kathe praktoreio)
server_clients_1=-ones(1,sc1);
server_clients_2=-ones(1,sc2);

%Dianysma ypologismou tis ouras se kathe praktoreio
queue_1=zeros(2,N);
queue_2=zeros(2,N);

%oures
q_1=0;
q_2=0;

for i=1:N
```

```

if(clients(i,3)>=min(server_clients_1))

    clients(i,6)=clients(i,3);
    clients(i,7)=clients(i,3)+clients(i,4);
    tmp=find(min(server_clients_1)==server_clients_1);
    server_clients_1(tmp(1,1))=clients(i,7);
    clients(i,2)=2;

elseif(clients(i,3)>=min(server_clients_2))

    clients(i,8)=clients(i,3);
    clients(i,9)=clients(i,3)+clients(i,5);
    tmp=find(min(server_clients_2)==server_clients_2);
    server_clients_2(tmp(1,1))=clients(i,9);
    clients(i,2)=1;
else
    q_1=0;
    q_2=0;

    for counter=1:length(queue_1)
        if( (queue_1(1,counter)<=clients(i,3)) &
            (queue_1(2,counter)>=clients(i,3)) )
            q_1=q_1+1;
        end

        if( (queue_2(1,counter)<=clients(i,3))
            &(queue_2(2,counter)>=clients(i,3)) )
            q_2=q_2+1;
        end
    end
    fprintf('queue is: %d %d \n',q_1,q_2);

    if (q_1<=q_2)

        clients(i,6)=min(server_clients_1);
        clients(i,7)=clients(i,6)+clients(i,4);
        tmp=find(min(server_clients_1)==server_clients_1);
        server_clients_1(tmp(1,1))=clients(i,7);
        queue_1(1,i)=clients(i,3);
        queue_1(2,i)=clients(i,6);
        clients(i,10)=clients(i,6)-clients(i,3);
        clients(i,2)=2;
    else
        clients(i,8)=min(server_clients_2);
        clients(i,9)=clients(i,8)+clients(i,5);
        tmp=find(min(server_clients_2)==server_clients_2);
        server_clients_2(tmp(1,1))=clients(i,9);
        queue_2(1,i)=clients(i,3);
        queue_2(2,i)=clients(i,8);
        clients(i,11)=clients(i,8)-clients(i,3);
        clients(i,2)=1;
    end
end
if(clients(i,2)==2)

```

```

        if(clients(i,7)>=min(server_clients_2))

            clients(i,8)=clients(i,7);
            clients(i,9)=clients(i,8)+clients(i,5);
            tmp=find(min(server_clients_2)==server_clients_2);
            server_clients_2(tmp(1,1))=clients(i,9);
        else
            clients(i,8)=min(server_clients_2);
            clients(i,9)=clients(i,8)+clients(i,5);
            tmp=find(min(server_clients_2)==server_clients_2);
            server_clients_2(tmp(1,1))=clients(i,9);
            queue_2(1,i)=clients(i,7);
            queue_2(2,i)=clients(i,8);
            clients(i,11)=clients(i,8)-clients(i,7);
        end
    else
        if(clients(i,9)>=min(server_clients_1))

            clients(i,6)=clients(i,9);
            clients(i,7)=clients(i,6)+clients(i,4);
            tmp=find(min(server_clients_1)==server_clients_1);
            server_clients_1(tmp(1,1))=clients(i,7);
        else
            clients(i,6)=min(server_clients_1);
            clients(i,7)=clients(i,6)+clients(i,4);
            tmp=find(min(server_clients_1)==server_clients_1);
            server_clients_1(tmp(1,1))=clients(i,7);
            queue_1(1,i)=clients(i,9);
            queue_1(2,i)=clients(i,6);
            clients(i,10)=clients(i,6)-clients(i,9);
        end
    end
end

%clients(i,6)= Xronos eisodou sto 1o praktoreio
%clients(i,7)= Xronos eksodou apo to 1o praktoreio
%clients(i,8)= Xronos eisodou sto 2o praktoreio
%clients(i,9)= Xronos eksodou apo to 2o praktoreio
%clients(i,10)= Anamoni sto 1o praktoreio
%clients(i,11)= Anamoni sto 2o praktoreio

%epilogi senariou kataxwrisis stis thesis
scen=input('Dwse to senario kataxwrisis:');

L=500;
A=200;
kapa=10;
%Elegxoume tous xronous gia na kratisoume ton max
tmp=[];

```



```

tmp_2=[clients(:,7) clients(:,9)];
tmp_2=tmp_2';

tmp(1,:)=max(tmp_2);

tmp(2,:)=clients(:,1);
%antistixisi symfwna me ton arithmo eisagwgis tou pelati sto
systema
tmp=tmp';
tmp=sortrows(tmp,1);

switch(scen)
case(1)

for i=1:N

tmp(i,3)=tmp(i,1)+L+A*rand+(floor(i./11)+1)*kapa;
end

case(2)
tmp(:,4)=randperm(N)';

for i=1:N

tmp(i,3)=tmp(i,1)+L+A*rand+(floor(tmp(i,4)./11)+1)*kapa;
end
otherwise
fprintf('Select 1 or 2\n\n\n');

end

for i=1:N
clients(tmp(i,2),12)=tmp(i,3);
end

for i=1:N
clients(i,13)=clients(i,12)-max([clients(i,7) clients(i,9)]);
end

%-----Ploting-----

h=clients(:,12);
h=h';
x=1:max(h);
for i=1:N
first(i,:)= i*(clients(i,6)<=x) & (clients(i,7)>=x);
second(i,:)=i*(clients(i,8)<=x) & (clients(i,9)>=x);

```

```

        third(i,:)=i*(max([clients(i,7) clients(i,9)])<=x) &
        (clients(i,12)>=x);
    end
    double(first);
    double(second);
    double(third);

    for i=1:N
        stem(x,i*first(i,:),'.','LineStyle','none')
        hold on
    end

    for i=1:N
        stem(x,i*second(i,:), 'r','.','LineStyle','none')
        hold on
    end

    for i=1:N
        stem(x,i*third(i,:), 'g','.','LineStyle','none')
        hold on
    end

    grid on

    %-----EXCEL-----

    xlswrite('oures.xls', clients, 'clients', 'B1');

```

Κώδικας μοντέλου εναλλακτικών διαδρομών

```
clear all
clc
close all
%----- ENALLAKTIKO MONTELO -----
-----

%Dilwsi pelatwn
N = input('Enter the number of clients our system is going to
serve::');

clients=zeros(N,11);
clients(:,1)=1:N;

%Proorismos: (1-2)-(2-1)
clients(:,2)=0;

%1 gia ekthetikes afikseis
lambda=60;

%Ypologosmos afiksewn
summary=0;
for i=1:N
    clients(i,3)=summary+round(random('exp', lambda))+1;
    summary=clients(i,3);
end

%Ypologismos eksipiretisis se kathe praktoreio
clients(:,4) = round (200.*rand(1,N))+100;
clients(:,5) = round (200.*rand(1,N))+100;

sc1=5;
sc2=5;

%Dianisma eksipiretountwn (ews 5 se kathe praktoreio)
server_clients_1=-ones(1,sc1);
server_clients_2=-ones(1,sc2);

for i=1:N

    if(clients(i,3)>=min(server_clients_1))

        clients(i,6)=clients(i,3);
        clients(i,7)=clients(i,3)+clients(i,4);
        tmp=find(min(server_clients_1)==server_clients_1);
        server_clients_1(tmp(1,1))=clients(i,7);
        clients(i,2)=2;
```

```

if clients(i,7)>=min(server_clients_2)

    clients(i,8)=clients(i,7);
    clients(i,9)=clients(i,8)+clients(i,5);
    tmp=find(min(server_clients_2)==server_clients_2);
    server_clients_2(tmp(1,1))=clients(i,9);
else
    clients(i,8)=min(server_clients_2);
    clients(i,9)=clients(i,8)+clients(i,5);
    tmp=find(min(server_clients_2)==server_clients_2);
    server_clients_2(tmp(1,1))=clients(i,9);
    clients(i,11)=clients(i,8)-clients(i,7);
end
else
if clients(i,3)>=min(server_clients_2)

    clients(i,8)=clients(i,3);
    clients(i,9)=clients(i,8)+clients(i,5);
    tmp=find(min(server_clients_2)==server_clients_2);
    server_clients_2(tmp(1,1))=clients(i,9);
    clients(i,2)=1;
else
    clients(i,8)=min(server_clients_2);
    clients(i,9)=clients(i,8)+clients(i,5);
    tmp=find(min(server_clients_2)==server_clients_2);
    server_clients_2(tmp(1,1))=clients(i,9);
    clients(i,11)=clients(i,8)-clients(i,3);
    clients(i,2)=1;
end

if clients(i,9)>=min(server_clients_1)

    clients(i,6)=clients(i,9);
    clients(i,7)= clients(i,6)+ clients(i,4);
    tmp=find(min(server_clients_1)==server_clients_1);
    server_clients_1(tmp(1,1))=clients(i,7);
else
    clients(i,6)=min(server_clients_1);
    clients(i,7)=clients(i,6)+clients(i,4);
    tmp=find(min(server_clients_1)==server_clients_1);
    server_clients_1(tmp(1,1))=clients(i,7);
    clients(i,10)=clients(i,6)-clients(i,9);
end

end

end

%clients(i,6)= Xronos eisodou sto 1o praktoreio
%clients(i,7)= Xronos eksodou apo to 1o praktoreio
%clients(i,8)= Xronos eisodou sto 2o praktoreio
%clients(i,9)= Xronos eksodou apo to 2o praktoreio
%clients(i,10)= Anamoni sto 1o praktoreio
%clients(i,11)= Anamoni sto 2o praktoreio

```

```

%epilogi senariou kataxwrisis stis thesis
scen=input('Dwse to senario kataxwrisis:');

L=500;
A=200;
kapa=10;

%Elegxoume tous xronous gia na kratisoume ton max
tmp=[];

    tmp_2=[clients(:,7) clients(:,9)];
    tmp_2=tmp_2';

    tmp(1,:)=max(tmp_2);

    tmp(2,:)=clients(:,1);
    %antistixisi symfwna me ton arithmo eisagwgis tou pelati sto
systema
    tmp=tmp';
    tmp=sortrows(tmp,1);

switch(scen)
    case(1)

        for i=1:N

            tmp(i,3)=tmp(i,1)+L+A*rand+(floor(i./11)+1)*kapa;
        end

    case(2)
        tmp(:,4)=randperm(N)';

        for i=1:N

            tmp(i,3)=tmp(i,1)+L+A*rand+(floor(tmp(i,4)./11)+1)*kapa;
        end
    otherwise
        fprintf('Select 1 or 2\n\n\n');

end

for i=1:N
    clients(tmp(i,2),12)=tmp(i,3);
end

for i=1:N
    clients(i,13)=clients(i,12)-max([clients(i,7) clients(i,9)]);
end

%clients(i,12)= Xronos eksodou apo to systema

```

```

%clients(i,13)= Xronos epeksergasias

%-----Ploting-----
----

h=clients(:,12);
h=h';
x=1:max(h);
for i=1:N
    first(i,:)= i*(clients(i,6)<=x) & (clients(i,7)>=x);
    second(i,:)=i*(clients(i,8)<=x) & (clients(i,9)>=x);
    third(i,:)=i*(max([clients(i,7) clients(i,9)])<=x) &
(cclients(i,12)>=x);
end
double(first);
double(second);
double(third);

for i=1:N
    stem(x,i*first(i,:),'.','LineStyle','none')
    hold on
end

for i=1:N
    stem(x,i*second(i,:), 'r','.','LineStyle','none')
    hold on
end

for i=1:N
    stem(x,i*third(i,:), 'g','.','LineStyle','none')
    hold on
end

grid on

%----- METAFORA SE ARXEIO XLS -----
----

xlswrite('enallaktiko.xls', clients, 'clients', 'B1');

```