

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και
Θεωρία Ουρών**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΕΣ: ΓΚΛΕΚΑ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ

ΚΟΥΜΑΡΑΚΟΥ ΒΑΣΙΛΙΚΗ

ΜΑΧΑΙΡΑ ΑΦΡΟΔΙΤΗ

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΦΩΤΕΙΝΟΠΟΥΛΟΣ ΜΙΧΑΗΛ

ΠΑΤΡΑ, 2017

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

Πρόλογος

Στο σύγχρονο επιχειρηματικό περιβάλλον οι ρυθμοί ανάπτυξης της τεχνολογίας και της επιστήμης είναι ραγδαίοι. Οι αλλαγές είναι συνεχείς και σημαντικές και κάθε επιχείρηση, ανεξάρτητα από το μέγεθός της και τον κλάδο δραστηριότητας, οφείλει να παρακολουθεί και να ακολουθεί τις αλλαγές αυτές.

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας έχει βοηθήσει τις επιχειρήσεις στην προσπάθεια να παρακολουθήσει τις εξελίξεις, προσφέροντάς τους εφαρμογές, τεχνικές και εργαλεία, που μπορούν να προσεγγίσουν τα σύγχρονα επιχειρησιακά θέματα και να δώσουν λύση. Η εργασία αυτή έχει ως στόχο να περιγράψει και να αναλύσει την τεχνική της προσομοίωσης, η οποία αποτελεί ένα σύγχρονο εργαλείο για τις επιχειρήσεις. Επίσης αναλύονται και κάποιες θεωρίες στις οποίες βασίζεται η προσομοίωση, εστιάζοντας κυρίως στη θεωρία ουρών και αναμονής. Η προσέγγιση των συγκεκριμένων θεμάτων δε γίνεται μόνο σε θεωρητικό επίπεδο αλλά παρουσιάζονται και διάφορα προβλήματα καθώς και εφαρμόζεται μια τεχνική προσομοίωσης σε ουρές αναμονής με τη χρήση του λογισμικού EXTEND.

Περίληψη

Ο έλεγχος των εξελίξεων στην καθημερινότητα των επιχειρήσεων απαιτεί τη χρήση σύγχρονων τεχνικών και εργαλείων, ώστε οι επιχειρήσεις να αποφύγουν δυσάρεστες καταστάσεις και να προσαρμοστούν στις ανάγκες και τις συνθήκες μια απαιτητικής και δυναμικά μεταβαλλόμενης αγοράς.

Ένα από τα εργαλεία αυτά είναι η προσομοίωση, που είναι μια μεθοδολογία για την ανάλυση καταστάσεων κάτω από συνθήκες αβεβαιότητας. Στην ουσία αποτελεί τη διαδικασία κατασκευής ενός πειραματικού μοντέλου που θα μιμείται το πραγματικό σύστημα στις λειτουργίες που μας ενδιαφέρουν, και της διεξαγωγής πειραμάτων, με σκοπό είτε την κατανόηση της συμπεριφοράς του πραγματικού συστήματος είτε την εκτίμηση διάφορων στρατηγικών για τη διαχείρισή του,

Επίσης στην εργασία αυτή, εκτός από την προσομοίωση, αναλύεται και η θεωρία ουρών και η εφαρμογή τους σε επιχειρηματικές διαδικασίες. Οι ουρές αναμονής αποτελούν καθημερινό και συνηθισμένο φαινόμενο και εμφανίζονται σε συστήματα εξυπηρέτησης, στα οποία η ζήτηση για κάποια υπηρεσία δεν μπορεί να ικανοποιηθεί μερικές φορές άμεσα από τη δυναμικότητα του συστήματος που παρέχει την εξυπηρέτηση. Η γνώση των λειτουργικών χαρακτηριστικών των συστημάτων εξυπηρέτησης και των ουρών αναμονής μπορεί να οδηγήσει σε θεαματικές βελτιώσεις της απόδοσής τους.

Η συνδυαστική εφαρμογή της προσομοίωσης και της θεωρίας ουρών αναμονής αποτελούν και το αντικείμενο της εργασίας. Για αυτό ακολουθείται η εξής δομή:

- Στο κεφάλαιο 1 γίνεται ανάλυση της έννοιας προσομοίωση και παρουσιάζονται διάφορα μοντέλα και γλώσσες προσομοίωσης
- Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται η εφαρμογή της προσομοίωσης σε επιχειρηματικές διαδικασίες και τα στάδια ανάπτυξης ενός μοντέλου προσομοίωσης
- Στο κεφάλαιο 3 η προσομοίωση συνδέεται με τη θεωρία ουρών και πιο συγκεκριμένα αναλύονται τα συστήματα ουρών και η χρήση τους στη λήψη αποφάσεων
- Στο κεφάλαιο 4 αναλύονται παραδείγματα των θεωριών που παρουσιάστηκαν στα τρία πρώτα κεφάλαια

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

- Το κεφάλαιο 5 παρουσιάζει μια εφαρμογή προσομοίωσης με θεωρίες ουρών με τη χρήση του λογισμικού Extend. Η εφαρμογή αυτή γίνεται σε πραγματικό πρόβλημα.
- Η εργασία ολοκληρώνεται με το κεφάλαιο 6, όπου γίνεται σύνοψη της εργασίας και παρατίθενται τα συμπεράσματα που προκύπτουν τόσο από το θεωρητικό μέρος όσο και το πρακτικό.

Περιεχόμενα

| | |
|---|----|
| Πρόλογος..... | 3 |
| Περίληψη..... | 4 |
| Κεφάλαιο 1 Μοντέλο προσομοίωσης | 10 |
| 1.1 Εισαγωγή..... | 10 |
| 1.2 Μοντέλα προσομοίωσης | 13 |
| 1.3 Γλώσσες προσομοίωσης..... | 22 |
| 1.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της προσομοίωσης..... | 26 |
| Κεφάλαιο 2 Προσομοιώσεις Επιχειρηματικών Διαδικασιών | 29 |
| 2.1 Βασικά στοιχεία της προσομοίωσης στη Διοίκηση Επιχειρήσεων..... | 29 |
| 2.2 Στάδια ανάπτυξης μοντέλου προσομοίωσης..... | 34 |
| Κεφάλαιο 3..... | 47 |
| Θεωρία ουρών και προσομοίωση..... | 47 |
| 3.1 Βασικά στοιχεία πιθανοτήτων και κατανομές τυχαίων μεταβλητών..... | 47 |
| 3.2 Συστήματα ουρών και χαρακτηριστικά | 49 |
| 3.3 Μοντέλα Ουρών..... | 54 |
| 3.4 Ουρές και λήψη αποφάσεων | 60 |
| Κεφάλαιο 4..... | 62 |
| Παραδείγματα Προσομοίωσης και Θεωρίας Ουρών | 62 |
| 4.1. Προσομοίωση σε εταιρεία παραγωγής παπουτσιών | 62 |
| 4.2 Προσομοίωση σε εταιρεία ναύλωσης | 66 |
| 4.3 Προσομοίωση ουράς αναμονής σε θύρα διοδίων | 69 |
| 4.4 Προσομοίωση ουράς αναμονής σε συνεργείο αυτοκινήτων..... | 70 |
| 4.5 Προσομοίωση ουράς αναμονής σε τράπεζα | 72 |
| Κεφάλαιο 5..... | 78 |
| Προσομοίωση επιχειρησιακής διαδικασίας με χρήση του EXTEND..... | 78 |

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

| | |
|---|-----|
| 5.1 Σύντομη παρουσίαση του EXTEND..... | 78 |
| 5.2 Εγκατάσταση EXTEND..... | 82 |
| 5.3 Παράδειγμα προσομοίωσης σε Ιδιωτικό Εκπαιδευτικό Οργανισμό..... | 86 |
| Κεφάλαιο 6 Συμπεράσματα και βελτιώσεις της υλοποίησης..... | 101 |
| Βιβλιογραφία..... | 104 |

Πίνακας εικόνων

| | |
|--|----|
| Εικόνα 1. Ταξινόμηση συστημάτων (Panas & Pantounakis, 2013)..... | 14 |
| Εικόνα 2. Σύνθεση συστήματος (Ρουμελιώτης, 2001) | 15 |
| Εικόνα 3. Ταξινόμηση μοντέλων (Panas & Pantounakis, 2013) | 16 |
| Εικόνα 4. Τύποι μοντέλων (Ρουμελιώτης, 2001)..... | 16 |
| Εικόνα 5. Διαδικασία μοντελοποίησης (Panas & Pantounakis 2013) | 17 |
| Εικόνα 6. Μοντέλα προσομοίωσης..... | 18 |
| Εικόνα 7. Γενικό διάγραμμα MPX (Ρουμελιώτης, 2001)..... | 33 |
| Εικόνα 8. Διάγραμμα του προγράμματος ελέγχου προσομοίωσης γεγονότων (Ρουμελιώτης, 2001)..... | 36 |
| Εικόνα 9. Διάγραμμα του προγράμματος ελέγχου προσομοίωσης δραστηριοτήτων (Ρουμελιώτης, 2001) | 38 |
| Εικόνα 10. Σύμβολα διαγραμμάτων κύκλου δραστηριοτήτων (Ρουμελιώτης, 2001) | 39 |
| Εικόνα 11. Διάγραμμα κύκλου δραστηριοτήτων του μπαρ (Ρουμελιώτης, 2001) | 39 |
| Εικόνα 12. Διάγραμμα του προγράμματος ελέγχου προσομοίωσης διεργασιών (Ρουμελιώτης, 2001)..... | 40 |
| Εικόνα 13. Διάγραμμα ανάπτυξης μοντέλου προσομοίωσης του Winston (Γεωργίου κ.ά., 2015) | 43 |
| Εικόνα 14. Διαδικασία μελέτης προσομοίωσης σύμφωνα με τους Banks et al., 2005; Law, 2007 | 43 |
| Εικόνα 15. Διάκριση μαθηματικών μοντέλων (Νικολαΐδης, 2005)..... | 47 |
| Εικόνα 16. Σύστημα ουράς | 50 |
| Εικόνα 17. Περιβάλλον του EXTEND | 80 |
| Εικόνα 18. Αρχική οθόνη εγκατάστασης..... | 82 |
| Εικόνα 19. Εισαγωγή στοιχείων χρήστη και serial number..... | 83 |
| Εικόνα 20. Εισαγωγή Extend Suite number..... | 83 |
| Εικόνα 21. Μήνυμα για διαγνωστικό τεστ..... | 84 |
| Εικόνα 22. Αποτελέσματα του διαγνωστικού τεστ..... | 85 |
| Εικόνα 23. Είσοδος στο EXTEND | 86 |
| Εικόνα 24. Ενεργοποίηση Discrete Event..... | 90 |
| Εικόνα 25. Επιλογή Discrete Event | 91 |
| Εικόνα 26. Αντικείμενα βιβλιοθήκης DE | 92 |

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

| | |
|---|-----|
| Εικόνα 27. Δημιουργία Executive block..... | 93 |
| Εικόνα 28. Δημιουργία block αναμονής ουράς FIFO..... | 94 |
| Εικόνα 29. Εισαγωγή Activity Delay block..... | 94 |
| Εικόνα 30. Σύνδεση blocks | 95 |
| Εικόνα 31. Επιλογή Plot Discrete Event..... | 96 |
| Εικόνα 32. Επιλογή χρόνου προσομοίωσης και σύνδεση με γραφικές παραστάσεις..... | 97 |
| Εικόνα 33. Αποτελέσματα FIFO..... | 98 |
| Εικόνα 34. Διάγραμμα προσομοίωσης..... | 98 |
| Εικόνα 35. Αποτελέσματα FIFO με μέσο χρόνο εξυπηρέτησης 4 λεπτά | 99 |
| Εικόνα 36. Αποτελέσματα FIFO με συνολικό χρόνο προσομοίωσης 720 λεπτά | 100 |

Κεφάλαιο 1

Μοντέλο προσομοίωσης

1.1 Εισαγωγή

Η προσομοίωση έχει εξελιχθεί σε ένα από τα πιο ενδιαφέροντα και εν δυνάμει ικανά εργαλεία, διαθέσιμα για ανάλυση ιδιαίτερα σύνθετων και πολύπλοκων προγραμμάτων. Με τη βοήθεια των τεχνικών προσομοίωσης οι επιχειρησιακοί ερευνητές, οι αναλυτές και οι εξειδικευμένοι οικονομολόγοι αποκτούν μέσα για παρατήρηση και πειραματισμό, που από καιρό αποτελούν το βασικό χαρακτηριστικό της προσέγγισης των φυσικών επιστημόνων. Δημιουργώντας και εφαρμόζοντας ένα μοντέλο προσομοίωσης, δίνεται η δυνατότητα της παρατήρησης της δυναμικής συμπεριφοράς ενός συστήματος που βρίσκεται κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες, αλλά και ο έλεγχος του υπό εξέταση συστήματος. Δηλαδή η προσομοίωση παρέχει ένα εργαστήριο για ανάλυση προβλημάτων που δεν μπορούν να λυθούν με άλλα μέσα (Σφακιανάκης, 2001).

Οι τεχνικές προσομοίωσης μπορούν να έχουν ρόλο ως εξηγητικά εργαλεία προσδιορισμού ενός συστήματος ή προβλήματος, ως μέσα ανάλυσης για τον καθορισμό κριτικών στοιχείων, ως στοιχεία για τη σύνθεση λύσεων και φυσικά ως δεδομένα για την πρόγνωση και το σχεδιασμό μελλοντικών εξελίξεων. Η προσομοίωση έχει πάρα πολλές εφαρμογές, με πιο γνωστές τις εξής:

- την ανάλυση και σχεδίαση συστημάτων παραγωγής (βιομηχανία)
- τον έλεγχο αποθεμάτων
- τη μελέτη κυκλοφοριακών συστημάτων
- τη μελέτη συστημάτων εξυπηρέτησως πελατών (τράπεζες, νοσοκομεία)
- την αξιολόγηση αποφάσεων υπό αβεβαιότητα (π.χ. χρηματιστήριο και επενδύσεις ή στρατηγικές μάρκετινγκ)

Τι είναι όμως προσομοίωση; Υπάρχει κάποιος ορισμός για τον όρο αυτό; Οι Γεωργίου, Κωνσταντάρας και Καπάρης, στο βιβλίο τους «Τεχνικές Προσομοίωσης στη Διοικητική Επιστήμη» που κυκλοφόρησε το 2015, δίνουν τον παρακάτω ορισμό:

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

«Η προσομοίωση είναι μια τεχνική μοντελοποίησης η οποία μιμείται τη λειτουργία ενός πραγματικού συστήματος καθώς αυτό αναπτύσσεται μέσα στον χρόνο (ή με παράμετρο τον χρόνο).»

Δηλαδή ο όρος προσομοίωση (simulation) αναφέρεται στην τεχνική αναπαράστασης της λειτουργίας ενός πραγματικού συστήματος σε ένα μοντέλο, στο οποίο απεικονίζονται τα χαρακτηριστικά του πραγματικού συστήματος με σκοπό τη διεξαγωγή πειραμάτων προκειμένου είτε να γίνει κατανοητή η συμπεριφορά του, είτε για να προσδιοριστούν και να εκτιμηθούν οι στρατηγικές που χρησιμοποιεί. Εναλλακτικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι η **υπολογιστική προσομοίωση** είναι η μίμηση της λειτουργίας συστημάτων ή της εξέλιξης διαδικασιών μέσα στο χρόνο με τη βοήθεια υπολογιστή (Κουϊκόγλου, 2002). Αποτελεί μια ιδιαίτερα αποτελεσματική τεχνική για να δοκιμάζονται αλλαγές και εναλλακτικές λύσεις στη λειτουργία μιας επιχείρησης. Οι εναλλακτικές λύσεις δοκιμάζονται και ελέγχονται σε ένα «τεχνητό» περιβάλλον στον υπολογιστή, χωρίς να απαιτούνται δαπανηρές, πραγματικές δομές. Με τον τρόπο αυτό οι επιχειρήσεις οδηγούνται στις βέλτιστες αποφάσεις για διάφορα επιχειρησιακά θέματα.

Σύμφωνα με το Σφακιανάκη (2001), ο όρος προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε στη διοικητική και οικονομική επιστήμη, αλλά και σε άλλες κοινωνικές επιστήμες, παραπέμποντας στη λειτουργία ενός αριθμητικού μοντέλου που αναπαριστά τη διάρθρωση μιας δυναμικής διαδικασίας. Δίνοντας τις τιμές των αρχικών παραμέτρων και των εξωγενών μεταβλητών, η προσομοίωση εφαρμόζεται για να αναπαραστήσει τη συμπεριφορά μιας διαδικασίας. Ένα σύνολο μεταβλητών περιγράφει την κατάσταση ενός συστήματος σε ένα αρχικό χρονικό σημείο. Αυτές οι μεταβλητές χρησιμοποιούνται με τυχόν άλλες εξωγενείς εισροές, ώστε να παραχθεί η συμπεριφορά του συστήματος κατά τη διάρκεια ενός χρονικού διαστήματος. Το αποτέλεσμα είναι οι τιμές των μεταβλητών που περιγράφουν την κατάσταση ενός συστήματος στο τέλος του χρονικού διαστήματος. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι το πέρας του επιθυμητού χρονικού διαστήματος.

Στην επιχειρησιακή έρευνα η προσομοίωση περιλαμβάνει την κατασκευή ενός μοντέλου το οποίο είναι κυρίως μαθηματικό στη φύση του. Επομένως η προσομοίωση δεν είναι ουσιαστικά τίποτα λιγότερο ή περισσότερο από την τεχνική εκτέλεσης δειγματοληπτικών πειραμάτων πάνω στο μοντέλο του συστήματος. Τα πειράματα εφαρμόζονται στο μοντέλο και όχι στο πραγματικό

σύστημα, ακριβώς επειδή αν συνέβαινε η εφαρμογή στο σύστημα, η διαδικασία θα ήταν πολύ δύσκολη, χρονοβόρα και ιδιαίτερα δαπανηρή.

Η προσομοίωση έχει ως στόχο την πραγματική γνώση της επίδρασης που έχουν διάφορες αποφάσεις μια ενέργειες στη διαδικασία και τη μελέτη εναλλακτικών σεναρίων. Δηλαδή προσφέρει εκ των προτέρων γνώση όσον αφορά στη συμπεριφορά του συστήματος σε μια κατάσταση ή απόφαση καθώς και στα εναλλακτικά σενάρια. Δεν πρέπει να εφαρμόζεται η προσομοίωση σε περιπτώσεις που οι παραδοχές του μοντέλου είναι απλές και η εφαρμογή άλλων μεθόδων μπορούν να δώσουν ακριβή αποτελέσματα πολύ πιο γρήγορα. Η προσομοίωση συνιστάται για τη μελέτη πολύπλοκων συστημάτων, την εξέταση εναλλακτικών σεναρίων και την επαλήθευση αναλυτικών λύσεων.

Πριν γίνει η διάκριση της προσομοίωσης σε κατηγορίες και η ανάλυση των μοντέλων, θα πρέπει να γίνει ο προσδιορισμός των εννοιών που αποτελούν σημαντικούς παράγοντες για την προσομοίωση. Οι παρακάτω ορισμοί είναι σύμφωνα με τους Banks&Carson (1984), Ρουμελιώτη (2001) και Banks et al. (2005).

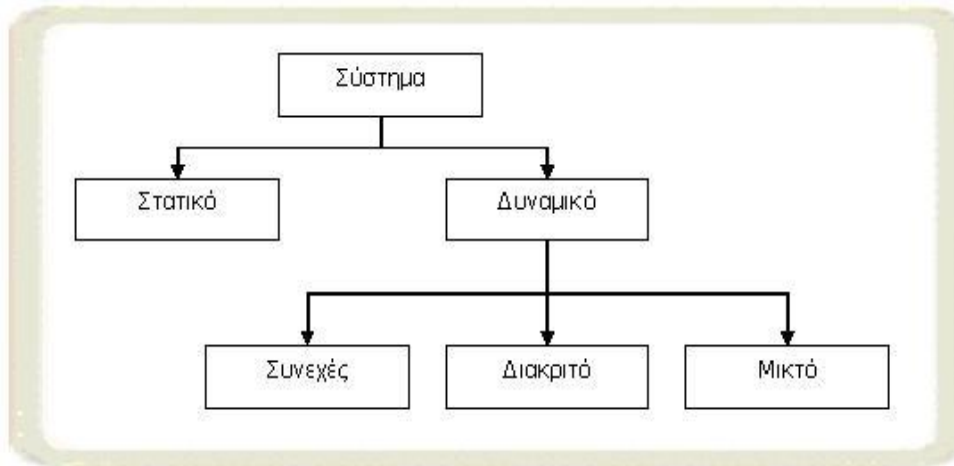
- **Σύστημα:** αποτελεί μια συλλογή οντοτήτων που αλληλεπιδρά στη διάρκεια του χρόνου για την επίτευξη ενός ή περισσότερων στόχων. Δηλαδή είναι ένα σύνολο από στοιχεία που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και τα οποία συνεργάζονται ή λειτουργούν συλλογικά για την επίτευξη κάποιου σκοπού. Κάθε σύστημα επηρεάζεται από αλλαγές που γίνονται έξω από αυτό. Αυτές οι αλλαγές συμβαίνουν στο περιβάλλον του συστήματος. Επειδή τα στοιχεία ενός συστήματος αλληλεπιδρούν μεταξύ τους προκύπτει ότι όλα τα συστήματα επηρεάζουν και επηρεάζονται από άλλα συστήματα υπό τη μορφή εξωτερικών επιδράσεων.
- **Μοντέλο:** αποτελεί μια αφηρημένη αναπαράσταση ενός συστήματος, το οποίο περιέχει είτε λογικές είτε μαθηματικές σχέσεις που περιγράφουν το σύστημα με όρους καταστάσεως οντοτήτων και των ιδιοτήτων τους, ομάδων, γεγονότων, δραστηριοτήτων και καθυστερήσεων.
- **Κατάσταση συστήματος:** είναι μια συλλογή μεταβλητών που περιέχουν κάθε απαραίτητη πληροφορία για να εκτελείται η περιγραφή του συστήματος σε κάθε χρονική στιγμή.
- **Γεγονός:** ένα στιγμιαίο περιστατικό που αλλάζει την κατάσταση του συστήματος.

- **Δραστηριότητα:** μια καθορισμένη ενέργεια της οποίας η χρονική διάρκεια είναι γνωστή στο ξεκίνημά της. Πολλές φορές ο όρος αυτός μπορεί να αναφέρεται αποκλειστικά στη χρονική διάρκεια της ενέργειας αυτής.
- **Καθυστέρηση:** αντιθέτως ο όρος καθυστέρηση αναφέρεται σε μία ακαθόριστη χρονική διάρκεια της οποίας η διάρκεια δεν είναι γνωστή μέχρι αυτή να τερματίσει.
- **Οντότητα:** κάθε αντικείμενο και συστατικό στο σύστημα που απαιτεί σαφή αναπαράσταση στο μοντέλο. Τα χαρακτηριστικά μιας δεδομένης οντότητας ονομάζονται **ιδιότητες**.
- **Ομάδα:** ο όρος αυτός αναφέρεται σε μια συλλογή συσχετιζόμενων, είτε μόνιμα είτε προσωρινά, οντοτήτων, που έχουν ταξινομηθεί και κατηγοριοποιηθεί με κάποιον λογικό τρόπο.

Όλοι οι παραπάνω όροι αποτελούν βασικά στοιχεία και παράγοντες στη διαδικασία μοντελοποίησης.

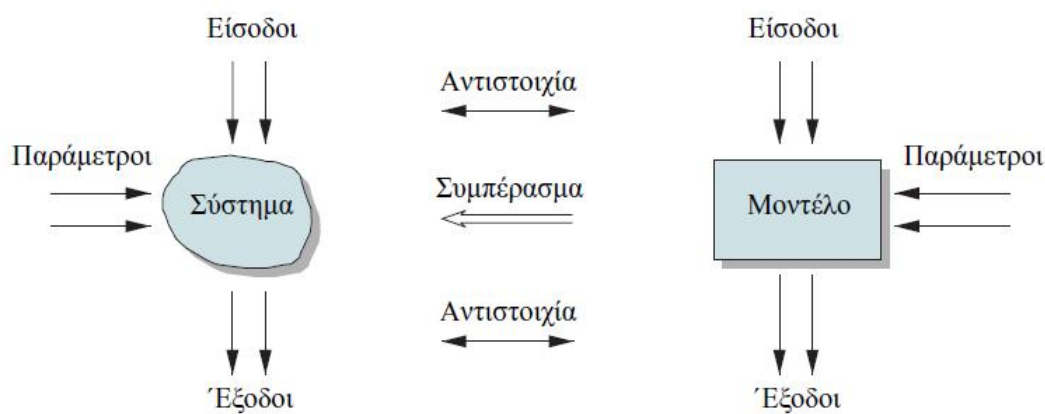
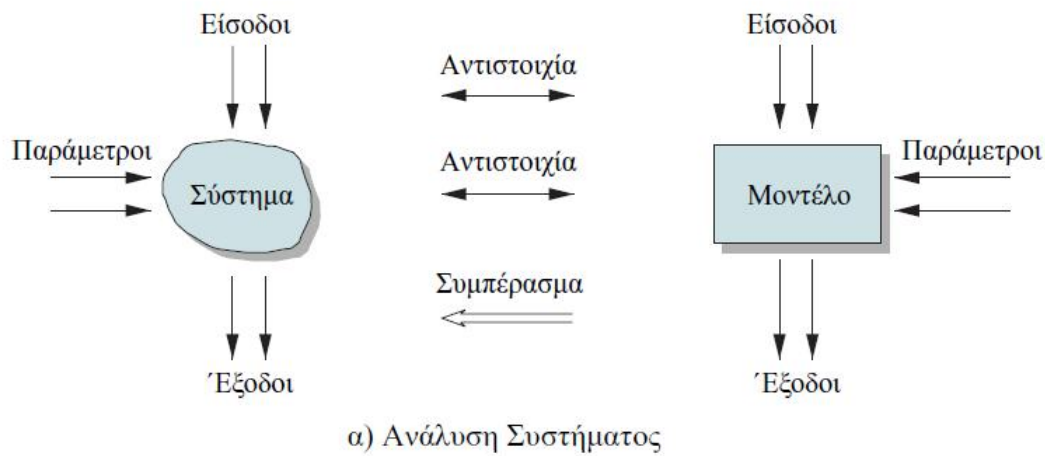
1.2 Μοντέλα προσομοίωσης

Τα συστήματα ταξινομούνται σε δύο κύριες κατηγορίες, στατικά και δυναμικά. Στα στατικά συστήματα η κατάσταση του συστήματος παραμένει σταθερή με το χρόνο ενώ στα δυναμικά συστήματα η κατάσταση μεταβάλλεται χρονικά. Η μεταβολή μπορεί να είναι μεταβατική ή σταθερή. Ένα δυναμικό σύστημα βρίσκεται σε σταθερή κατάσταση όταν οι αλλαγές στην κατάστασή του μέσα στο χρόνο συμβαίνουν σε ένα σχετικά σταθερό εύρος. Αντίθετα, η κατάσταση ενός συστήματος μπορεί να υποστεί μεταβατικές αλλαγές, όταν το σύστημα βρίσκεται σε μία μη τυπική κατάσταση. Γενικά, οι μεταβατικές καταστάσεις είναι χαρακτηριστικό των συνθηκών εκκίνησης ή τέλους ή συνθηκών που επιβάλλουν ριζοσπαστικές μεταβολές στο σύστημα (Panas & Pantounakis, 2013).



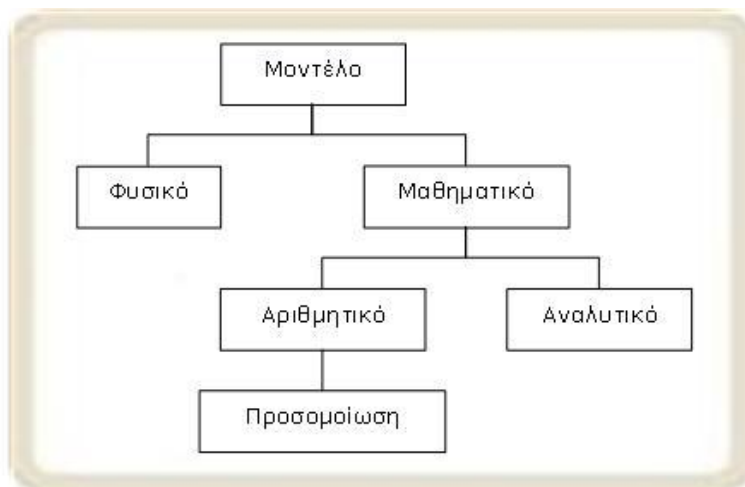
Εικόνα 1. Ταξινόμηση συστημάτων (Panas & Pantouvakis, 2013)

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

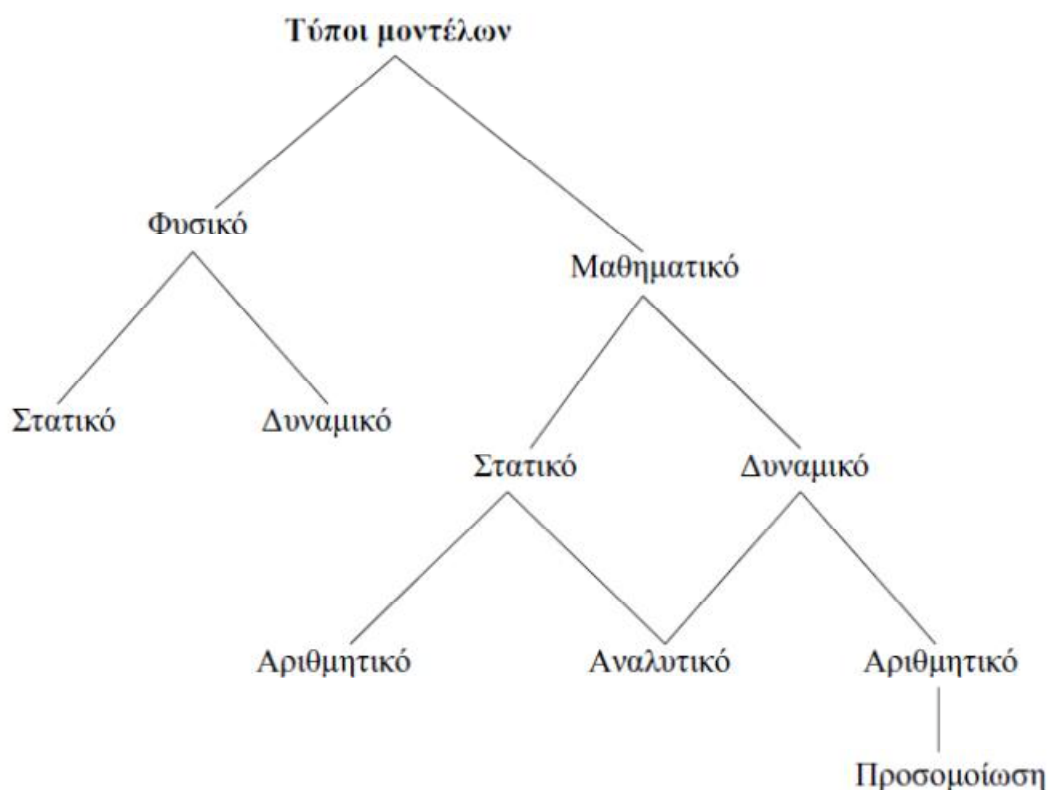


Εικόνα 2. Σύνθεση συστήματος (Ρουμελιώτης, 2001)

Για να είναι δυνατή η περιγραφή ή η ανάλυση του συστήματος θα πρέπει πρώτα το σύστημα να εκφραστεί με κάποιας μορφής αναπαράσταση. Η αναπαράσταση ενός συστήματος για τον σκοπό της μελέτης αυτού ονομάζεται **μοντέλο**. Τα μοντέλα, ανάλογα με τον τρόπο που αναλύονται και μελετώνται, ταξινομούνται σύμφωνα με την **Εικόνα 3**, ενώ στην **Εικόνα 4** η ταξινόμηση γίνεται σε περισσότερα επίπεδα.



Εικόνα 3. Ταξινόμηση μοντέλων (Panas & Pantounakis, 2013)

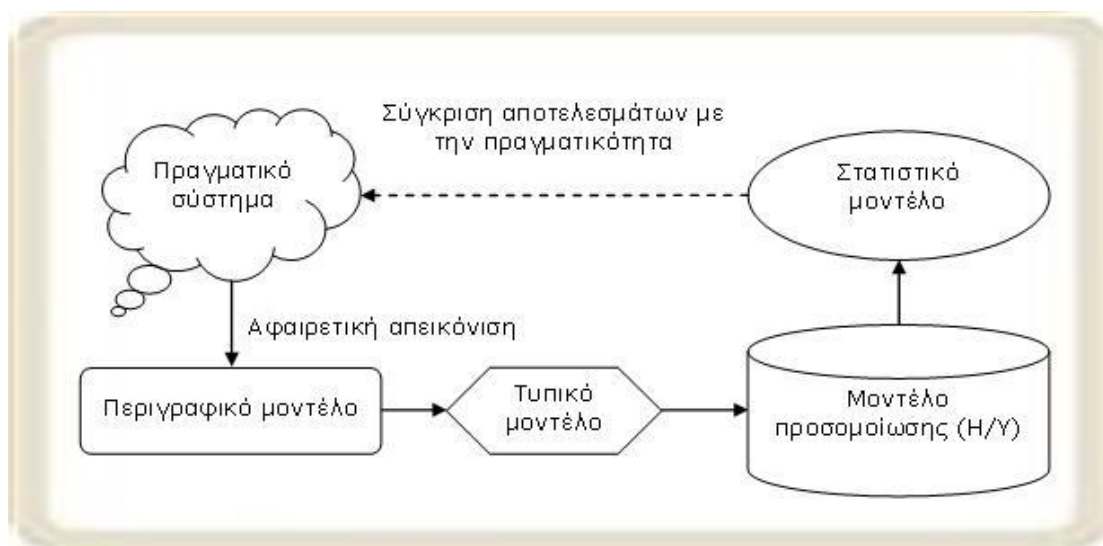


Εικόνα 4. Τύποι μοντέλων (Ρουμελιώτης, 2001)

Τα μοντέλα προσομοίωσης πριν την ανάπτυξη των υπολογιστών, μπορούσαν να αναπτυχθούν και να μελετηθούν με «πράξεις στο χέρι», όμως η πολυπλοκότητα των υπό μελέτη συστημάτων

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

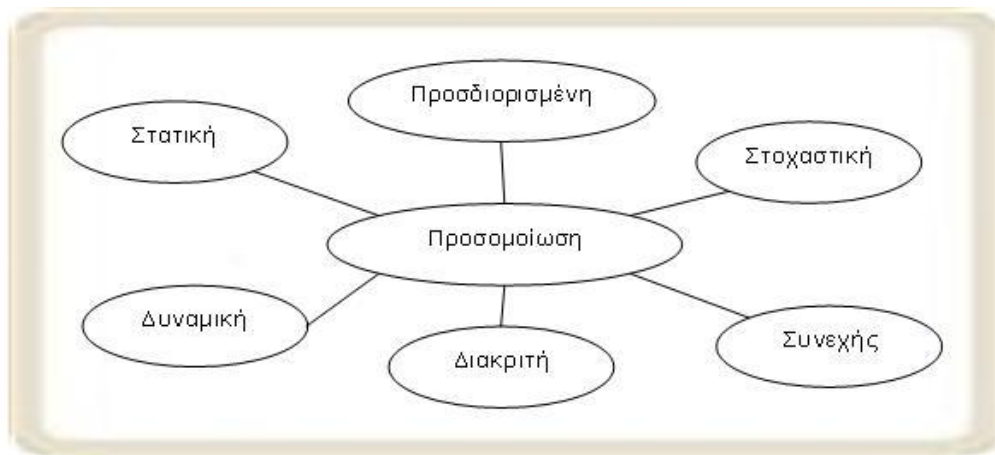
έχουν οδηγήσει στην σχεδόν αποκλειστική χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών για τη μοντελοποίηση και την εκτέλεση μελετών προσομοίωσης. Ένα μοντέλο προσομοίωσης είναι ένα λογισμικό που προσομοιώνει το υπό μελέτη σύστημα. Σε κάθε περίπτωση, τα μοντέλα προσομοίωσης απεικονίζουν πραγματικά συστήματα με αφαιρετικό ή απλοποιητικό τρόπο για να μειώσουν το κόστος της ανάλυσης (σε χρήματα και χρόνο) αλλά και για να επικεντρώσουν την προσοχή της μελέτης σε κρίσιμα μεγέθη του συστήματος. Για αυτό το λόγο η αξιολόγηση ενός μοντέλου προσομοίωσης πρέπει να γίνεται στη βάση της συμφωνίας των αποτελεσμάτων του με πραγματικές παρατηρήσεις του συστήματος και όχι σε σχέση με το πόσο λεπτομερής είναι η αναπαράσταση (Sanchez, 2007).



Εικόνα 5. Διαδικασία μοντελοποίησης (Panas & Pantouvakis 2013)

Η προσομοίωση με μοντέλα υποστηρίζει ότι είναι δυνατή η περιγραφή του συστήματος κατά τρόπο αποδεκτό για το υπολογιστικό σύστημα. Όπως αναφέρθηκε, το σύστημα αναπαρίσταται από ένα σύνολο μεταβλητών, των οποίων η τιμή προσδιορίζει μια μοναδική κατάσταση του συστήματος. Η κατάλληλη επεξεργασία των τιμών των μεταβλητών προσομοιώνει τη μετάβαση του συστήματος από μια κατάσταση σε μια άλλη. Τα μοντέλα προσομοίωσης αντιπροσωπεύουν μαθηματικά μοντέλα τα οποία θα πρέπει να επιλυθούν αριθμητικά, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του συστήματος που μελετάται. Τα μοντέλα προσομοίωσης, σύμφωνα με τους

Banks et al. (1998) και Law (2007) διακρίνονται σε κατηγορίες όπως απεικονίζεται στην **Εικόνα 6**.



Εικόνα 6. Μοντέλα προσομοίωσης

Η **στατική προσομοίωση** χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση συστημάτων, η κατάσταση των οποίων είναι ανεξάρτητη από τον χρόνο. Κλασικό παράδειγμα μοντέλου στατικής προσομοίωσης είναι τα μοντέλα **Monte Carlo**. Τα **δυναμικά μοντέλα** προσομοίωσης αντιθέτως είναι συστήματα που μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου. Αλλαγές στην κατάσταση ενός συστήματος μπορούν να εμφανιστούν συνεχώς τη διάρκεια του χρόνου ή σε διακριτές στιγμές. Τα **συνεχή** μοντέλα προσομοίωσης αναφέρονται σε μοντέλα που η κατάστασή τους μεταβάλλεται με το χρόνο. Συνήθως αυτά τα μοντέλα περιγράφονται με διαφορικές εξισώσεις που αντιπροσωπεύουν τους ρυθμούς μεταβολής των μεταβλητών του μοντέλου. Τα **διακριτά** μοντέλα προσομοίωσης περιγράφουν ένα σύστημα που εξελίσσεται με το χρόνο και η κατάστασή του αλλάζει σε συγκεκριμένα συμβάντα. Οι διακριτές στιγμές μπορούν να αναλυθούν ντετερμινιστικά ή στοχαστικά, κάτι που εξαρτάται από τη φύση των αποτελεσμάτων που δίνει το μοντέλο. Τα μοντέλα προσομοίωσης που δεν εμπεριέχουν τυχαίες μεταβλητές ονομάζονται **προσδιορισμένα**. Αυτά τα μοντέλα έχουν ένα γνωστό σύνολο δεδομένων ως είσοδο και σαν αποτέλεσμα παράγουν ένα μοναδικό σύνολο εξόδων. Τα συστήματα που εμπεριέχουν τουλάχιστον μία τυχαία μεταβλητή μοντελοποιούνται με **στοχαστικά** μοντέλα προσομοίωσης. Τα στοχαστικά μοντέλα προσομοίωσης παράγουν εξόδους που είναι τυχαίες και τα αποτελέσματα που προκύπτουν πρέπει να αντιμετωπιστούν ως προσεγγίσεις του υπό μελέτη συστήματος και όχι σαν μία ακριβής αναπαράσταση της συμπεριφοράς του. Πρέπει να σημειωθεί ότι ένα διακριτό μοντέλο προσομοίωσης δεν μοντελοποιεί πάντα ένα διακριτό σύστημα και το ίδιο ισχύει και για τα συνεχή μοντέλα προσομοίωσης (Banks, 2005). Μια

διακριτή προσομοίωση ονομάζεται **χρονολογική (time-oriented)** αν ο μηχανισμός που αναπαριστά τον προσομοιούμενο χρόνο αναθεωρείται σε τακτά χρονικά διαστήματα. Αν η αναθεώρηση γίνεται με την εμφάνιση κάποιων γεγονότων, η προσομοίωση λέγεται περιστασιακή (event-oriented). Οι περιστασιακές προσομοιώσεις είναι και πιθανολογικές και διακρίνονται σε ομοιόμορφης κατανομής γεγονότων ή μη ομοιόμορφης (Σφακιανάκης, 2001).

Εκτός από τα είδη μοντέλων της προσομοίωσης που προκύπτουν σύμφωνα με τη σχέση που έχουν με τα χαρακτηριστικά του συστήματος που προσομοιώνουν, διακρίνονται και άλλες κατηγορίες με γνώμονα άλλα κριτήρια (Panas & Pantounakis, 2013).

1. Με κριτήριο το εύρος εφαρμογής τους διακρίνονται σε **μοντέλα γενικού σκοπού** και **μοντέλα ειδικού σκοπού**. Τα μοντέλα γενικού σκοπού μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλές εφαρμογές και προσομοιώνουν συστήματα που δεν ανήκουν σε ένα μόνο τομέα, αλλά σε πολλούς τομείς (π.χ. διαχείριση ταμειακών ροών, θέματα μάρκετινγκ κτλ). Αντίθετα, τα μοντέλα ειδικού σκοπού επιδιώκουν τη μοντελοποίηση των διαδικασιών μίας συγκεκριμένης εφαρμογής (π.χ. έργα κατασκευαστικού τομέα) και όλη τους η αρχιτεκτονική είναι δομημένη για να εξυπηρετήσει καλύτερα αυτό το σκοπό. Να σημειωθεί ότι ο διαχωρισμός δεν είναι απόλυτος αφού υπάρχουν συστήματα που είναι γενικού σκοπού αλλά έχουν ειδικές δυνατότητες για συγκεκριμένες εφαρμογές.
2. Με κριτήριο τον τρόπο μοντελοποίησης διακρίνονται τα **αντικειμενοστραφή μοντέλα προσομοίωσης**, επειδή ενσωματώνουν τις αρχές του αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού. Στην αντικειμενοστραφή προσομοίωση το σύστημα μοντελοποιείται με τη χρήση αντικειμένων τα οποία αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, καθώς η προσομοίωση εξελίσσεται στον χρόνο. Τα αντικείμενα εμπεριέχουν δεδομένα που περιγράφουν την κατάστασή τους και αυτός ο τύπος προσομοίωσης περιλαμβάνει λειτουργίες των αντικειμενοστραφών γλωσσών προγραμματισμού, όπως κληρονομικότητα και πολυμορφισμός.
3. Με κριτήριο τα χαρακτηριστικά των υπολογιστικών συστημάτων που χρησιμοποιούνται, διακρίνονται η **παράλληλη** και η **κατανεμημένη** προσομοίωση. Η παράλληλη προσομοίωση αφορά στην εκτέλεση των μοντέλων της προσομοίωσης σε υπολογιστές που είναι συνδεδεμένοι ανά ζεύγη, με στόχο τη σημαντική μείωση του χρόνου εκτέλεσης, λόγω της χρήσης περισσότερων επεξεργαστών. Η κατανεμημένη προσομοίωση αφορά στη δημιουργία ενός γενικευμένου μοντέλου προσομοίωσης το

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

οποίο είναι σύνθεση ενός ή περισσοτέρων μοντέλων προσομοίωσης που «τρέχουν» σε υπολογιστές που είναι εγκατεστημένοι σε δίκτυο (Law, 2007).

Τέλος όσον αφορά στην πολυπλοκότητα των μοντέλων, τα χαρακτηριστικά τους είναι αυτά που την καθορίζουν. Τα απλά μοντέλα περιγράφονται συνήθως από μαθηματικές εξισώσεις και μπορούν να επιλυθούν αναλυτικά. Αντίθετα, τα πολύπλοκα μοντέλα δεν μπορούν συνήθως να περιγραφούν με μαθηματικές εξισώσεις και για αυτό επιλέγεται η λύση της προσομοίωσης. Ο Πίνακας 1.1 απεικονίζει σε αντιδιαστολή τα χαρακτηριστικά των απλών και των πολύπλοκων μοντέλων, με την υποσημείωση ότι τα χαρακτηριστικά αυτά είναι απλώς ενδεικτικά και δεν προσδιορίζουν τα μοντέλα κατά αποκλειστικότητα (Ρουμελιώτης, 2001).

| Μοντέλα Προσομοίωσης | |
|----------------------|-------------|
| Απλά | Πολύπλοκα |
| Στατικά | Δυναμικά |
| Γραμμικά | Μη γραμμικά |
| Προσδιοριστικά | Στοχαστικά |
| Συνεχή | Διακριτά |
| Σταθερής Κατάστασης | Μεταβατικά |
| Περίληπτικά | Λεπτομερή |

Πίνακας 1.1. Απλά και πολύπλοκα μοντέλα

Η πιο γνωστή τεχνική είναι η **Monte Carlo**, που προσδιορίζει κάθε αλγόριθμο προσομοίωσης που χρησιμοποιεί γεννήτριες τυχαίων αριθμών. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιήθηκε αρχικά σε προβλήματα μηδενικού κινδύνου. Οι τυχαίοι αριθμοί προκύπτουν ως ακολουθία (stream) από κάποιον μηχανισμό έτσι ώστε να είναι ανεξάρτητοι αλλά και ισοπίθανοι. Δηλαδή, ένας αριθμός είναι τυχαίος, όταν έχει παραχθεί από μια στοχαστική διαδικασία. Επομένως, μια γεννήτρια παράγει πραγματικά τυχαίους αριθμούς, αν δεν είναι δυνατόν να καθοριστεί με προσδιοριστικό τρόπο η παρατήρηση που θα δώσει σε κάθε επανάληψη. Οι πραγματικοί τυχαίοι αριθμοί παράγονται, λοιπόν, από φυσικές διαδικασίες, που αντιστοιχούν στην ομοιόμορφη κατανομή. (Γεωργίου, κ.ά, 2015).

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

Προκειμένου να γίνει περισσότερο κατανοητή η τεχνική Monte Carlo, παρουσιάζεται ένα πρόβλημα που αναλύει την άφιξη των πελατών σε ένα κατάστημα. Ο Πίνακας 1.2 απεικονίζει στις δύο πρώτες στήλες μια κατανομή πιθανοτήτων των χρονικών διαστημάτων μεταξύ των αφίξεων. Η τρίτη στήλη δίνει σύνολα διψήφιων αριθμών, τα οποία αντιστοιχίζονται σε κάθε διάστημα μεταξύ των αφίξεων. Π.χ. δέκα νούμερα (00-09) αντιστοιχίζονται στο χρονικό διάστημα άφιξης ενός λεπτού με πιθανότητα να συμβεί 10%, δηλαδή υπάρχει 10% πιθανότητα να έρθει ένας πελάτης και μέσα σε διάστημα ενός λεπτού να έρθει και δεύτερος πελάτης.

| Διάστημα μεταξύ αφίξεων σε λεπτά | Αντίστοιχη πιθανότητα | Αντίστοιχοι διψήφιοι αριθμοί |
|----------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| 1 | 0,10 | 00-09 |
| 2 | 0,25 | 10-34 |
| 3 | 0,40 | 35-74 |
| 4 | 0,20 | 75-94 |
| 5 | 0,05 | 95-99 |

Πίνακας 1.2. Κατανομή πιθανότητας διαστημάτων άφιξης

Στη συνέχεια παίρνουμε έναν τυχαίο διψήφιο αριθμό από έναν πίνακα τυχαίων αριθμών ομοιόμορφα κατανομημένων και χρησιμοποιούμε την τρίτη στήλη του πίνακα 1.2 για να επιλέξουμε ένα χρονικό διάστημα μεταξύ των αφίξεων. Αν ο τυχαίος αριθμός είναι το 53, τότε το χρονικό διάστημα που αντιστοιχεί είναι τα 3 λεπτά, αφού το 53 ανήκει στο διάστημα 35-74. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται και για τις επόμενες αφίξεις και υπολογίζονται οι χρόνοι άφιξης από το σημείο 0. Στον Πίνακα 1.3 φαίνονται οι τυχαίοι αριθμοί και οι αντίστοιχοι χρόνοι για την άφιξη 5 πελατών (δείγμα).

| Αριθμός δείγματος | Τυχαίοι αριθμοί | Διάστημα άφιξης σε λεπτά | Χρόνος άφιξης σε λεπτά |
|-------------------|-----------------|--------------------------|------------------------|
| 1 | 53 | 3 | 3 |
| 2 | 67 | 3 | 6 |
| 3 | 11 | 2 | 8 |
| 4 | 80 | 4 | 12 |
| 5 | 18 | 2 | 14 |

Πίνακας 1.3. Προσομοιωμένος χρόνος άφιξης πέντε πελατών

Ο πρώτος πελάτης (τυχαίος αριθμός 53) ήρθε μέσα σε 3 λεπτά από το χρονικό σημείο 0. Ο δεύτερος πελάτης (τυχαίος αριθμός 67) ήρθε μέσα στα επόμενα 3 λεπτά από την άφιξη του πρώτου πελάτη, άρα συνολικά 6 λεπτά από το χρονικό σημείο 0. Ο τρίτος πελάτης (τυχαίος αριθμός 11) ήρθε 2 λεπτά μετά το δεύτερο πελάτη, άρα ο χρόνος άφιξής του είναι 8 λεπτά. Ανάλογα με το μέγεθος του δείγματος επαναλαμβάνονται οι υπολογισμοί αυτοί για να ολοκληρωθεί η προσομοίωση.

1.3 Γλώσσες προσομοίωσης

Ένα αρκετά σημαντικό μέρος της δομής κάθε μοντέλου προσομοίωσης είναι κοινό για όλα τα μοντέλα. Αυτό το γεγονός έδωσε την ιδέα της ανάπτυξης ειδικών γλωσσών και πακέτων εξειδικευμένων για την προσομοίωση, που επιτρέπουν στο χρήστη να προσομοιώσει το μοντέλο του συστήματός του με μερικές απλές εντολές, μειώνοντας σε μεγάλο βαθμό το χρόνο που απαιτείται για τον προγραμματισμό ενός μοντέλου. Αυτό είναι πολύ σημαντικό γιατί επιτρέπει στον αναλυτή, που χρησιμοποιεί την προσομοίωση στη μελέτη του, να αφιερώσει περισσότερο χρόνο σε άλλες φάσεις της μελέτης, όπως είναι η ανάλυση των αποτελεσμάτων, η πιστοποίηση και επαλήθευση του μοντέλου κτλ. Εκτός όμως από τη βοήθεια στο στάδιο του προγραμματισμού, οι γλώσσες προσομοίωσης προσφέρουν δυνατότητες μοντελοποίησης με παραστατική καθοδήγηση στην ανάπτυξη του μοντέλου και βοήθεια στην τεκμηρίωση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων (Ρουμελιώτης, 2001). Βέβαια υπάρχουν και μειονεκτήματα, όπως είναι το υψηλό κόστος απόκτησης και συντήρησης, ο χρόνος διαδικασίας εκμάθησης μιας γλώσσας προσομοίωσης καθώς και οι απαιτήσεις σε υπολογιστικές μονάδες και ισχύ προκειμένου να «τρέξουν» σωστά.

Οι γλώσσες προσομοίωσης ταξινομούνται ανάλογα με τη στρατηγική που χρησιμοποιούν, παρόλο που οι περισσότερες στηρίζονται σε σύνθετες στρατηγικές χειρισμού. Οι πιο διαδεδομένες είναι οι εξής (Βελώνη, 2016):

1. **GASP:** είναι ένα πακέτο λογισμικού που παρέχει στο χρήστη μία συλλογή υπορουτίνων γραμμένες σε FORTRAN, οι οποίες εκτελούν τις βασικές λειτουργίες των διαφόρων γεγονότων, την αντικατάσταση ή μετακίνηση οντοτήτων και των χαρακτηριστικών τους μέσα σε ουρές, τη δημιουργία τυχαίων μεταβλητών από διαφορετικές κατανομές

πιθανοτήτων, τη συλλογή στατιστικών με τη βοήθεια μεταβλητών που βασίζονται στην παρατήρηση ή στον χρόνο και τη δημιουργία τυποποιημένων αναφορών. Οι βασικές ενέργειες του χρήστη επικεντρώνονται στη μεταγλώττιση του προγράμματος χρησιμοποιώντας κάποιον compiler της FORTRAN.

- 2. GPSS:** Η General-Purpose Simulation System αναπτύχθηκε στις αρχές του 1960 από την IBM και είναι μία γλώσσα προσομοίωσης προσανατολισμένη σε διεργασίες που είναι κατάλληλη για μοντελοποίηση συστημάτων ουρών. Χρησιμοποιεί ένα block διάγραμμα για την αναπαράσταση του συστήματος. Έχει πάνω από 40 βασικά block, κάθε ένα από τα οποία αναπαριστά μία τυπική διαδικασία του συστήματος. Μετά την κατασκευή του block διαγράμματος, ο χρήστης το μεταφράζει στο αντίστοιχο σύνολο εντολών της GPSS. Οι οντότητες ή πελάτες ονομάζονται συναλλαγές και οι ιδιότητές τους ονομάζονται παράμετροι.
- 3. SIMSCRIPT:** αποτελεί μία από τις πιο παλιές και πιο διαδεδομένες γλώσσες προσομοίωσης. Η τρέχουσα έκδοση της είναι η SIMSCRIPT II.5. Έχει δυνατότητες για την κατασκευή μοντέλων προσομοίωσης διακεκριμένων γεγονότων, συνεχών, ή συνδυασμού και των δύο. Υποστηρίζει ενσωματωμένες δυνατότητες γραφικών. Έχει ελεύθερο συντακτικό και περιλαμβάνει πολύ ισχυρές εντολές ελέγχου και σύγχρονες δομές δεδομένων, για αυτό και χρησιμοποιείται για την κατασκευή μεγάλων και πολύπλοκων μοντέλων.
- 4. MODSIM:** είναι μία αντικειμενοστραφής, γενικού σκοπού γλώσσα προσομοίωσης. Η σωστή δομή της γλώσσας και ο μεγάλος αριθμός της σε αντικείμενα βιβλιοθηκών, δίνουν τη δυνατότητα κατασκευής σύνθετων μοντέλων προσομοίωσης με αναλυτικές αναφορές και animation. Η γλώσσα είναι επεκτάσιμη και υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας νέων αντικειμένων, ενώ το μεγάλο της πλεονέκτημα είναι ότι έχει τη δυνατότητα διασύνδεσης με την C έτσι, ώστε υπάρχουσες βιβλιοθήκες κώδικα της C, να μπορούν να ενσωματωθούν στα προγράμματά της

- 5. SIMULA:** σκοπός της δημιουργίας της είναι η υποστήριξη της προσομοίωσης διαδικασιών του πραγματικού κόσμου, με τη δημιουργία υπολογιστικών μοντέλων πολύπλοκων διαδικασιών μεγάλης ακρίβειας. Η φιλοσοφία που στηρίχτηκε είναι αυτή του αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού, δηλαδή η περιγραφή των αντικειμένων από τα οποία αποτελείται ένα σύστημα, η μελέτη της συμπεριφοράς τους καθώς και του τρόπου με τον οποίο αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.

Οι γλώσσες που αναλύθηκαν παραπάνω συνοψίζονται στον Πίνακα 1.4 ως προς τα χαρακτηριστικά τους. Επίσης, όλες σχεδόν οι γλώσσες προσομοίωσης έχουν μια συγκεκριμένη βάση χαρακτηριστικών, που εμφανίζονται σε οποιαδήποτε γλώσσα και είναι (Ρουμελιώτης, 2001):

- Άποψη του κόσμου, δηλαδή προσανατολισμός σε γεγονότα, δραστηριότητες, ή διεργασίες
- Μηχανισμός ροής χρόνου
- Γεννήτρια τυχαίων αριθμών
- Γεννήτρια τυχαίων δειγμάτων που να ακολουθούν την κατανομή που προσδιορίζει ο χρήστης
- Ικανότητες συλλογής δεδομένων του μοντέλου
- Στοιχειώδη στατιστική ανάλυση των δεδομένων που έχουν συλλέξει
- Διαγνωστικά στοιχεία και βοήθεια στην ανίχνευση λαθών

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

| Όνομα γλώσσας | GASP | GPSS | SIMSCRIPT | MODSIM | SIMULA |
|-------------------------|--|--|---|-----------------------------|---------------------------------|
| Ερμηνεία ονόματος | General Activity Simulation Program | General Purpose Simulation Language | SIMulation SCRIPT | MODular SIMulation language | Καμία Συγκεκριμένη |
| Γλώσσα υλοποίησης | FORTTRAN ή PL/I | Assembly | Assembly, C | C++ | ALGOL |
| Υπολογιστικό σύστημα | Οποιοσδήποτε υπολογιστής που διαθέτει μεταγλωττιστή FORTRAN ή PL/I | PC, Macintosh, πολλές πλατφόρμες UNIX και πολλά μεγάλα συστήματα διαμοιρασμού χρόνου | PC, McIntosh, πολλές πλατφόρμες UNIX και πολλά μεγάλα συστήματα διαμοιρασμού χρόνου | PC, UNIX | Τα περισσότερα μεγάλα συστήματα |
| Μέθοδος προγραμματισμού | Εντολή | Μπλοκ | Εντολή | Εντολή | Εντολή |
| Άποψη του Κόσμου | Γεγονός | Διεργασία | Γεγονός ή Διεργασία | Γεγονός ή Διεργασία | Διεργασία |
| Διαχείριση μνήμης | Σταθερή | Δυναμική | Δυναμική | Δυναμική | Στατική |
| Τύπος γλώσσας | Μεταγλωττιστής | Διερμηνευτής | Μεταγλωττιστής | Παράγει C++ πηγαίο κώδικα | Μεταγλωττιστής |
| Κόστος | Χαμηλό | Μέσο | Υψηλό | Υψηλό | Σχετικά υψηλό |

Πίνακας 1.4. Συγκριτικά χαρακτηριστικά γλωσσών προσομοίωσης

Εκτός από τις γλώσσες προσομοίωσης υπάρχουν και άλλα εργαλεία λογισμικού εξειδικευμένα για προσομοίωση όπως πακέτα στηριζόμενα στα σχηματικά διαγράμματα, γεννήτριες διαλογικών προγραμμάτων, και συλλογές υποπρογραμμάτων. Προκειμένου να γίνει η επιλογή της κατάλληλης γλώσσας ή του κατάλληλου εργαλείου, ακολουθείται μια διαδικασία που αποτελείται από δύο επίπεδα. Στο πρώτο επιλέγεται η γλώσσα ή το εργαλείο που θα χρησιμοποιηθεί γενικότερα μέσα σε μια εταιρεία ή οργανισμό, ενώ στο δεύτερο επιλέγει ο αναλυτής ή το τμήμα που θα αναλάβει τη γλώσσα που θα χρειαστεί/ούν για τη μοντελοποίηση. Η επιλογή γίνεται με βάση τα εξής κριτήρια (Ρουμελιώτης, 2001, Σφακιανάκης, 2002, Γεωργίου κ.ά., 2015):

1. Συμβατότητα γλώσσας με τα υπολογιστικά συστήματα της εταιρείας

2. Δυνατότητα να αναπαριστά την κατάσταση του συστήματος όσο γίνεται πιο πιστά
3. Επεκτασιμότητα και updates
4. Κόστος απόκτησης, εγκατάστασης και συντήρησης
5. Υποστήριξη από τον κατασκευαστή
6. Τεκμηρίωση στη συλλογή δεδομένων
7. Να είναι κυρίως γενικού σκοπού. Οι ειδικού σκοπού επιλέγονται σε εξαιρετικές περιπτώσεις
8. Ευχέρεια διαχείρισης των τεχνικών δειγματοληψίας
9. Αποτελεσματικότητα του μεταφραστή (compiler)
10. Χαρακτηριστικά μορφών εμφάνισης
11. Αναφορές και διαγράμματα
12. Ευκολία χρήσης και εκμάθησης
13. Αποδοτικότητα σε χρόνο υπολογισμού
14. Απαιτήσεις σε μνήμη, ισχύ και αποθηκευτικές διατάξεις
15. Ικανότητες της γλώσσας στη μοντελοποίηση, την ανάλυση των αποτελεσμάτων, τα διαγνωστικά και τον έλεγχο λαθών

Φυσικά δεν υπάρχει γλώσσα που να πληροί όλα τα παραπάνω, όμως κατά τη διαδικασία επιλογής της γλώσσας, γίνεται η κατάλληλη μελέτη και επιλέγεται η γλώσσα εκείνη που έχει τα στοιχεία εκείνα που θα βοηθήσουν την εταιρεία ή τον οργανισμό να χρησιμοποιήσουν ώστε να γίνει σωστά και αποτελεσματικά η διαδικασία μοντελοποίησης. Πολλές φορές η διαδικασία που ακολουθείται ορίζει να μη γίνει τελικά η αγορά μιας εξειδικευμένης γλώσσας για τη μοντελοποίηση, αλλά η προσομοίωση να γίνει με κάποιες τεχνικές πιο γενικές, όπως δομές δεδομένων και διαγράμματα ροής, που μπορούν να προσφέρουν ικανοποιητικά αποτελέσματα σε απλές περιπτώσεις.

1.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της προσομοίωσης

Η προσομοίωση έχει εφαρμοστεί και εφαρμόζεται σε πάρα πολλές περιπτώσεις οργανισμών και επιχειρήσεων για τη μοντελοποίηση της λειτουργίας τους και τη μελέτη σεναρίων. Από τις αυτές

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

έχουν προκύψει σχετικές αξιολογήσεις, και παρακάτω παρουσιάζονται τα θετικά και αρνητικά στοιχεία που έχουν καταγραφεί. Αρχικά, όσον αφορά στα πλεονεκτήματα:

- Προσφέρει μεγάλο βαθμό ευελιξίας
- Επιτρέπει την εκτίμηση της απόδοσης ενός συστήματος και εντοπίζει κινδύνους και αστοχίες
- Η διαδικασία μοντελοποίησης με τα εργαλεία που διατίθενται απαιτεί λιγότερο χρόνο από άλλες παρόμοιες διαδικασίες
- Έχει μικρότερο κόστος από άλλες παρόμοιες μεθόδους
- Γίνεται εύκολα κατανοητή
- Εφαρμόζεται σε μη πραγματικό περιβάλλον, άρα δεν υπάρχει κίνδυνος
- Μπορεί να προσφέρει λύσεις σε πολύ σύνθετα προβλήματα
- Επιτρέπει την επανάληψη του συστήματος όσες φορές είναι αναγκαίο να γίνει
- Προσφέρει μηχανισμούς ελέγχου πολλών παραγόντων σε πραγματικό χρόνο.
- Προσφέρονται αναλυτικές αναφορές με ακριβή αποτελέσματα

Όσον αφορά στα μειονεκτήματα που έχει η προσομοίωση είναι:

- Βασίζεται σε τυχαίους αριθμούς και μια πιθανή μεροληψία μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένα αποτελέσματα
- Η προσομοίωση εξάγει εκτιμήσεις και απαιτείται η εκτέλεση ενός ανεξάρτητου μοντέλου αρκετές φορές με διαφορετικά στοιχεία εισόδου προκειμένου να υπάρχουν πιο ακριβή αποτελέσματα
- Γενικά συνίσταται για μελέτη καταστάσεων και εναλλακτικών σεναρίων και όχι για τον προσδιορισμό βέλτιστης λύσης σε ένα πρόβλημα
- Πολλές φορές επιλέγεται ενώ δεν είναι πάντα η πιο κατάλληλη μέθοδος
- Σε μερικές περιπτώσεις προκειμένου να εφαρμοστεί, απαιτείται η επένδυση σε λογισμικό αλλά και υπολογιστικά συστήματα, αυξάνοντας το κόστος
- Αν δεν υπάρχει εξειδικευμένο προσωπικό ή αν δε γίνει σωστή επιλογή της γλώσσας προσομοίωσης, η διαδικασία προσομοίωσης απαιτεί πολύ χρόνο

Άρα η προσομοίωση αποτελεί ένα σπουδαίο εργαλείο για οργανισμούς και επιχειρήσεις, όμως η χρήση της πρέπει να γίνεται έπειτα από τον κατάλληλο σχεδιασμό, με σωστό τρόπο και για

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

κατάλληλες περιπτώσεις, εξάγοντας αποτελέσματα που θα βοηθήσουν στον προσδιορισμό λύσεων και την πρόβλεψη ανεπιθύμητων καταστάσεων.

Κεφάλαιο 2

Προσομοιώσεις Επιχειρηματικών Διαδικασιών

2.1 Βασικά στοιχεία της προσομοίωσης στη Διοίκηση Επιχειρήσεων

Η προσομοίωση αποτελεί μια μεθοδολογία για την ανάλυση καταστάσεων κάτω κυρίως από συνθήκες αβεβαιότητας. Οι επιχειρήσεις συνήθως λειτουργούν σε αυτές τις συνθήκες και υπάρχουν πολλές περιπτώσεις που τα στελέχη που λαμβάνουν επιχειρηματικές αποφάσεις δεν έχουν αξιολογήσει σωστά το ρίσκο και τους κινδύνους στους οποίους μπορεί να τους μεταφέρει μια απόφαση.

Επίσης το επιχειρησιακό περιβάλλον είναι πλήρως δυναμικό και μεταβαλλόμενο και δεν υπάρχουν τα περιθώρια και η διάθεση χρόνου ώστε τα διοικητικά στελέχη να αποκτήσουν την ανάλογη πείρα σε παρόμοιες καταστάσεις. Πολλές αποφάσεις λαμβάνονται με βάση το προσωπικό ένστικτο, χωρίς να ακολουθείται συγκεκριμένη διαδικασία τεκμηρίωσης και ελέγχου, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ανεπιθύμητων καταστάσεων.

Οι διαδικασίες των επιχειρήσεων τείνουν να εξελίσσονται με το πέρασμα του χρόνου. Δεν είναι τυπικά ούτε σχεδιασμένες ούτε προγραμματισμένες, αλλά συνήθως δημιουργούνται τυχαία, καθώς εμφανίζονται νέες λειτουργικές απαιτήσεις. Ο τρόπος με τον οποίο οι επιχειρηματικές διαδικασίες εξελίσσονται καθορίζεται τις περισσότερες φορές από τα άτομα τα οποία συμμετέχουν στη διαδικασία. Η προσαρμογή των διαδικασιών στα υπάρχοντα δεδομένα και η εξέλιξή τους αποτελεί παράδειγμα ενδυνάμωσης για την επιχείρηση.

Οι τεχνικές προσομοίωσης παίζουν συνεχώς αυξανόμενο ρόλο σημασίας στην επίλυση των βιομηχανικών και εμπορικών προβλημάτων, με απώτερο σκοπό τη δημιουργία ενός μοντέλου επιχείρησης, το οποίο μπορεί να εξεταστεί και να γίνει πειραματισμός με αυτό μέσω της προσομοίωσης, προσφέροντας πολλά οφέλη στις επιχειρήσεις (Σφακιανάκης, 2001).

Η δημιουργία μοντέλων για προσομοίωση είναι μια πειραματική μεθοδολογία, η οποία έχει τους εξής στόχους (Ρουμελιώτης, 2001):

- i. τη μελέτη της συμπεριφοράς ενός συστήματος

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

- ii. τον έλεγχο υποθέσεων ή θεωριών για την παρατηρούμενη συμπεριφορά ενός συστήματος
- iii. την πρόβλεψη ή εκτίμηση της μελλοντικής συμπεριφοράς ενός συστήματος.

Η προσομοίωση εκτιμά τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των λειτουργιών της επιχείρησης και από τη στιγμή μάλιστα που το μοντέλο αντιπροσωπεύει τα εργαζόμενες μονάδες της επιχείρησης υπάρχει η δυνατότητα για ένταξη διαφορετικών μεταβλητών και αλλαγών γενικότερα, ώστε να εντοπιστούν γρήγορα οι επιδράσεις στις ισχύουσες εφαρμογές. Ουσιαστικά η προσομοίωση, δεν αποτελεί παρά ένα πειραματισμό με το μοντέλο, ο οποίος αντικαθιστά τον πειραματισμό με το σύστημα και εξυπηρετεί συγκεκριμένους σκοπούς (Ρουμελιώτης, 2001):

- **Εκτίμηση.** Γίνεται προσπάθεια να προσδιορισθεί πόσο καλό είναι το προτεινόμενο σύστημα, δηλαδή, πόσο καλά ανταποκρίνεται στη σχεδίασή του, όταν κριθεί με βάση συγκεκριμένα και προκαθορισμένα κριτήρια.
- **Σύγκριση.** Συγκρίνονται διαφορετικές σχεδιάσεις του προτεινομένου συστήματος ως προς την επίτευξη συγκεκριμένης λειτουργίας. Μπορούν επίσης να συγκριθούν μεταξύ τους διαφορετικές προτεινόμενες λειτουργίες του συστήματος.
- **Πρόβλεψη.** Γίνεται μια εκτίμηση της απόδοσης του συστήματος κάτω από τις προβλεπόμενες συνθήκες λειτουργίας.
- **Ανάλυση Ευαισθησίας.** Συστήματα τα οποία εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες ή συνθήκες δεν αντιδρούν με την ίδια ευαισθησία σε μεταβολές αυτών των παραγόντων ή συνθηκών. Καθορίζονται έτσι οι παράγοντες που επηρεάζουν περισσότερο τη λειτουργία του συστήματος.
- **Βελτιστοποίηση.** Καθορίζονται οι συνδυασμοί των παραμέτρων που οδηγούν στην καλύτερη δυνατή απόκριση του συστήματος.
- **Λειτουργικές σχέσεις.** Προσδιορίζονται οι λειτουργικές σχέσεις ανάμεσα στους σημαντικότερους παράγοντες ή συνθήκες που επηρεάζουν τη λειτουργία του συστήματος.

Η ανάπτυξη και η χρήση ενός μοντέλου προσομοίωσης έχει νόημα όταν προκύπτει ένα πρόβλημα προς επίλυση κατά τη λειτουργία ενός πραγματικού συστήματος. Για να χρησιμοποιήσει κανείς ένα μοντέλο, θα πρέπει να διατυπώσει με σαφήνεια το υπό μελέτη πρόβλημα και τους στόχους που τίθενται. Οι στόχοι αυτοί μπορεί να αφορούν τη **διερεύνηση**

του μηχανισμού λειτουργίας ενός συστήματος, τη σύγκριση εναλλακτικών σεναρίων λειτουργίας, την πρόβλεψη καταστάσεων και τους τρόπους αντιμετώπισής τους και φυσικά τον έλεγχο υποθέσεων, δηλαδή, την ανάλυση ευαισθησίας (Γεωργίου, κ.ά., 2015).

Ένα μοντέλο προσομοίωσης θα πρέπει να είναι αρκετά απλό, τόσο ώστε να μπορεί να κατασκευασθεί και να μελετηθεί, και συγχρόνως να είναι αρκετά πολύπλοκο, για να μπορεί να αντιπροσωπεύει όσο πιο πιστά γίνεται το σύστημα που πρόκειται να μελετηθεί. Η ισορροπία αυτή μπορεί να επιτευχθεί με προσεκτική ανάλυση του μοντέλου. Αν το μοντέλο που έχει κατασκευασθεί είναι απλό και κατανοητό, τότε μπορεί να εμπλουτισθεί. Αντίθετα, αν το μοντέλο είναι πολύπλοκο και δυσνόητο, μπορεί να απλοποιηθεί. Σε κάθε περίπτωση χρησιμοποιούνται οι εξής πέντε κανόνες εμπλουτισμού ή απλοποίησης του μοντέλου (Ρουμελιώτης, 2001):

- i. Αν το μοντέλο είναι απλό, ορισμένες σταθερές μετατρέπονται σε μεταβλητές ώστε να γίνει πολύπλοκο. Αντίθετα αν το μοντέλο είναι πολύπλοκο, ορισμένες μεταβλητές μετατρέπονται σε σταθερές.
- ii. Η εξάλειψη ή συνένωση μεταβλητών απλοποιεί το μοντέλο, ενώ αντίθετα η προσθήκη μεταβλητών το εμπλουτίζει.
- iii. Επειδή τα γραμμικά μοντέλα είναι γενικώς απλούστερα των μη γραμμικών, η παραδοχή γραμμικότητας του συστήματος απλοποιεί το μοντέλο, ενώ αντίθετα η παραδοχή μη γραμμικότητας το εμπλουτίζει.
- iv. Η προσθήκη ισχυρότερων υποθέσεων και περιορισμών απλοποιεί το μοντέλο.
- v. Τέλος, ο περιορισμός των ορίων του συστήματος οδηγεί σε απλούστερο μοντέλο, ενώ η επέκτασή τους οδηγεί σε πιο πολύπλοκο μοντέλο.

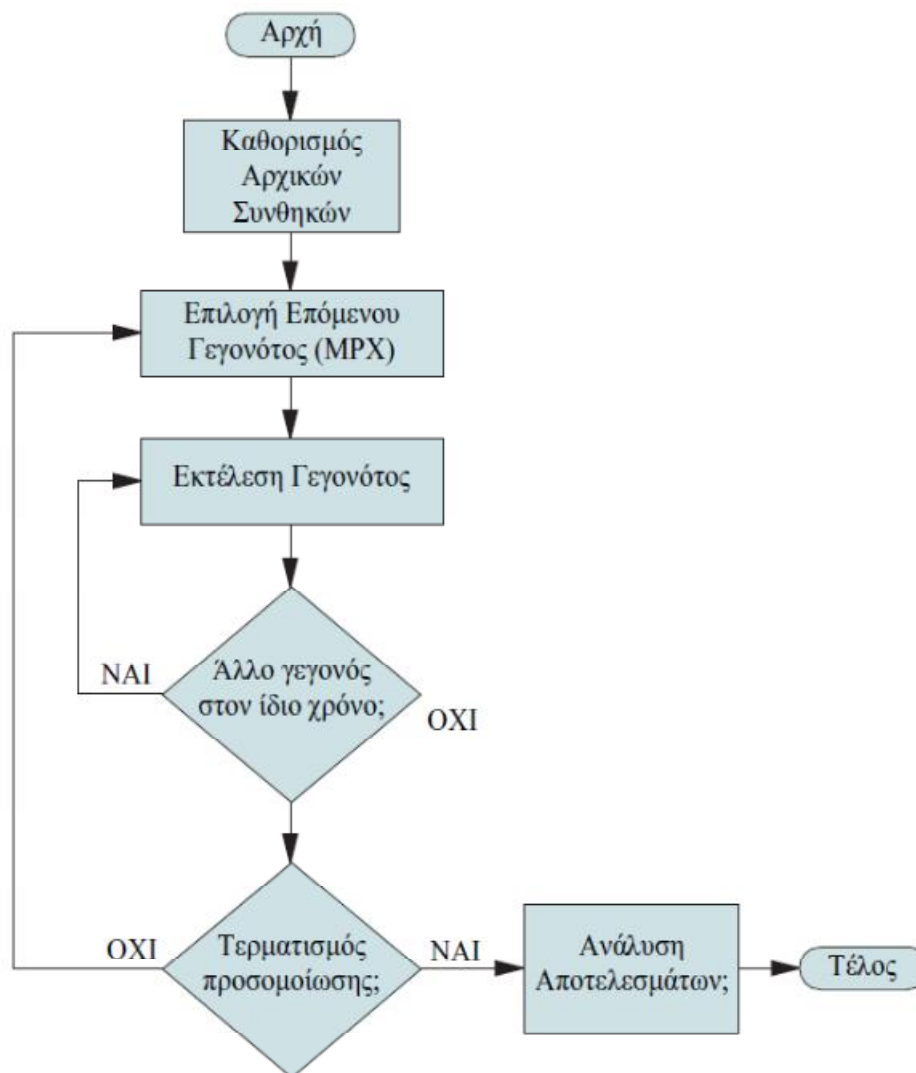
Κάθε προσέγγιση έχει ως στόχο να τελειοποιήσει την αποδοτικότητα της επιχείρησης και να τη βοηθήσει να λειτουργεί πιο έξυπνα. Τα πλεονεκτήματα από τη διαδικασία της προσομοίωσης είναι αρκετά και σημαντικά (Σφακιανάκης, 2001):

- Συμπύκνωση του χρόνου
- Ικανότητα για πειραματισμούς χωρίς τη χρήση του πραγματικού συστήματος
- Ευχέρεια για εξέταση περίπλοκων συστημάτων με αποτελεσματικές τεχνικές και ελέγχους

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

- Τα στελέχη μέσα από τη διαδικασία της προσομοίωσης ουσιαστικά παρακολουθούν ένα σύστημα εκπαίδευσης στη λήψη αποφάσεων

Ένα μοντέλο προσομοίωσης έχει ως στόχο όχι μόνο να αντιπροσωπεύει πιστά το σύστημα, αλλά και να βοηθά τόσο στην κατανόηση των λειτουργιών του συστήματος, όσο και στην ανάλυση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης. Πρέπει λοιπόν να είναι εύκολο στην κατανόηση και να προσανατολίζονται προς συγκεκριμένους στόχους. Επίσης θα πρέπει να έχει ο χρήστης τη δυνατότητα να μεταβάλλει ένα μοντέλο σύμφωνα με τις ανάγκες του αλλά και τις εξελίξεις της αγοράς. Δηλαδή τα μοντέλα πρέπει να έχουν υψηλό δείκτη προσαρμοστικότητας και εξέλιξης – επέκτασης. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται μηχανισμοί που καταγράφουν τη μεταβολή του συστήματος με την πάροδο του χρόνου. Το τμήμα της προσομοίωσης που ασχολείται με την παρέλευση του χρόνου ονομάζεται **Μηχανισμός Ροής Χρόνου MPX** και το γενικό του διάγραμμα φαίνεται στην Εικόνα 7.



Εικόνα 7. Γενικό διάγραμμα MPX (Ρουμελιώτης, 2001)

Ο Μηχανισμός Ροής Χρόνου αφενός αυξάνει τον προσομοιωμένο χρόνο και αφετέρου προσφέρει τον απαιτούμενο συγχρονισμό ανάμεσα στα υπόλοιπα τμήματα της προσομοίωσης, καθώς εμφανίζονται τα διάφορα γεγονότα. Υπάρχουν δύο βασικοί MPX (Ρουμελιώτης, 2001):

- **Μηχανισμός Επόμενου Γεγονότος.** Με τον μηχανισμό αυτό καθορίζεται η χρονική στιγμή κατά την οποία θα συμβεί το επόμενο γεγονός και το ρολόι της προσομοίωσης προχωρά σ' αυτή τη χρονική στιγμή προσπερνώντας όλο τον ενδιάμεσο χρόνο, κατά τον οποίο δεν συμβαίνει τίποτα. Η εφαρμογή της μεθόδου αυτής περιλαμβάνει την ύπαρξη ενός καταλόγου ή λίστας γεγονότων, όπου καταγράφονται τα γεγονότα που πρόκειται να συμβούν στο μέλλον.

- **Μηχανισμός Σταθερού Χρονικού Διαστήματος.** Σύμφωνα με το μηχανισμό αυτό ο χρόνος, δηλαδή το ρολόι της προσομοίωσης αυξάνει κατά ένα μικρό και σταθερό χρονικό διάστημα. Όλα τα γεγονότα που εμφανίζονται τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή, καθώς και όσα συνέβησαν κατά το διάστημα που μεσολάβησε από την προηγούμενη χρονική στιγμή μέχρι αυτή, θεωρούνται ότι συμβαίνουν κατά τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

Ο μηχανισμός ροής χρόνου του επόμενου γεγονότος χρησιμοποιείται κυρίως σε διακριτά συστήματα, ενώ ο μηχανισμός του σταθερού διαστήματος χρησιμοποιείται για την προσομοίωση συνεχών συστημάτων. Όπως προκύπτει η ανάπτυξη ενός μοντέλου προσομοίωσης είναι πολύπλοκη και έχει πολλά χαρακτηριστικά και για αυτό το λόγο πρέπει να ακολουθούνται συγκεκριμένα βήματα κατά τη διαδικασία ανάπτυξης ενός μοντέλου, όπου περιγράφονται αναλυτικά στην επόμενη ενότητα.

2.2 Στάδια ανάπτυξης μοντέλου προσομοίωσης

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η ανάπτυξη και η χρήση ενός μοντέλου προσομοίωσης προσπαθεί να αντιμετωπίσει και να βοηθήσει στην επίλυση ενός\ προβλήματος που προκύπτει και να μπορέσει να οδηγήσει την επιχείρηση στην επίτευξη των επιθυμητών στόχων. Η διαδικασία ανάπτυξης του μοντέλου ακολουθεί κάποιες φάσεις. Διάφοροι ερευνητές έχουν δώσει διαφορετικούς σκελετούς βημάτων και φάσεων για τη διαδικασία αυτή. Ο Ρουμελιώτης (2001) διακρίνει τρεις βασικές φάσεις:

α) την κατασκευή του μοντέλου προσομοίωσης

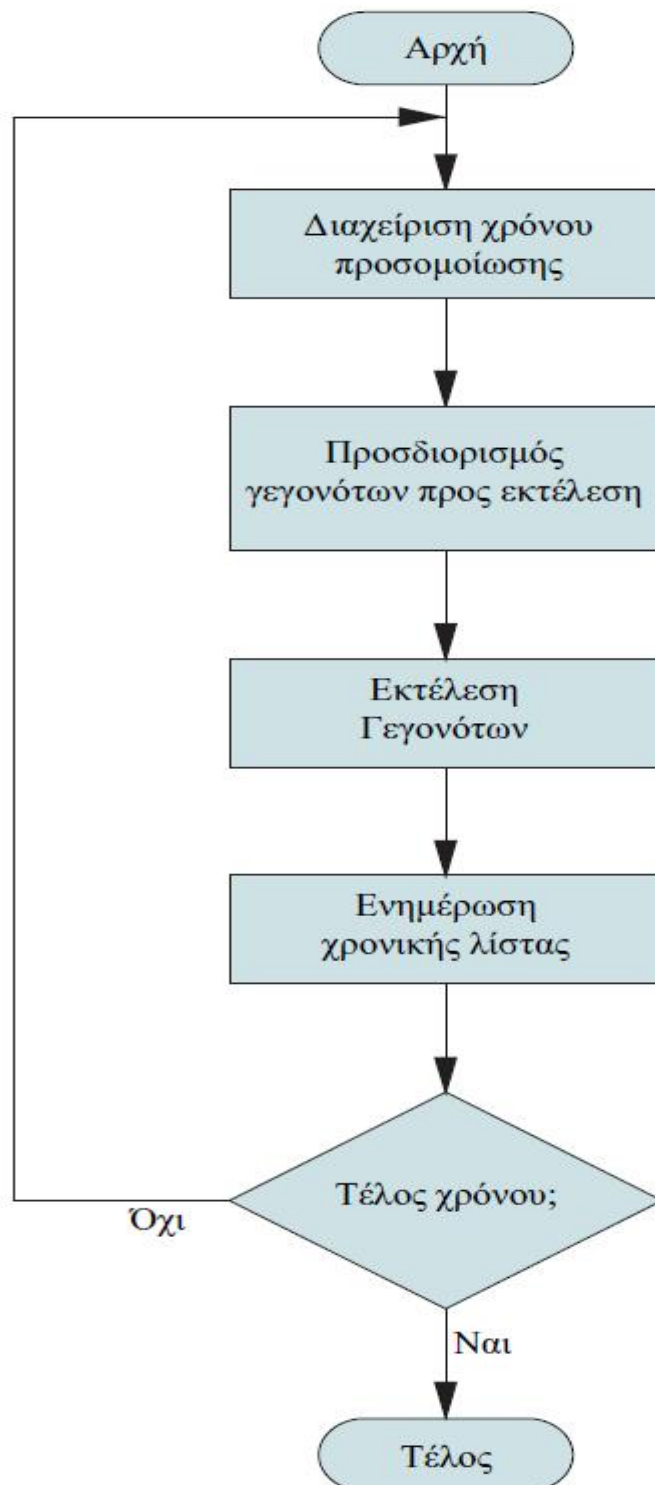
β) την εκτέλεση του μοντέλου

γ) την ανάλυση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης

Αντίστοιχες περίπου φάσεις διακρίνει και ο Σφακιανάκης (2001), με πρώτη την κατασκευή του μοντέλου, δεύτερη την ετοιμασία του προγράμματος προσομοίωσης και τρίτη την πιστοποίηση της εγκυρότητας του μοντέλου. Όμως οι φάσεις αυτές περιλαμβάνουν διαδικασίες και βήματα που μπορούν με τη σειρά τους να παρουσιαστούν και να αναλυθούν ως ξεχωριστές φάσεις στη

διαδικασία ανάπτυξης. Βέβαια να τονιστεί ότι η προσομοίωση ενός συστήματος μπορεί να αφορά τρία διαφορετικά στοιχεία:

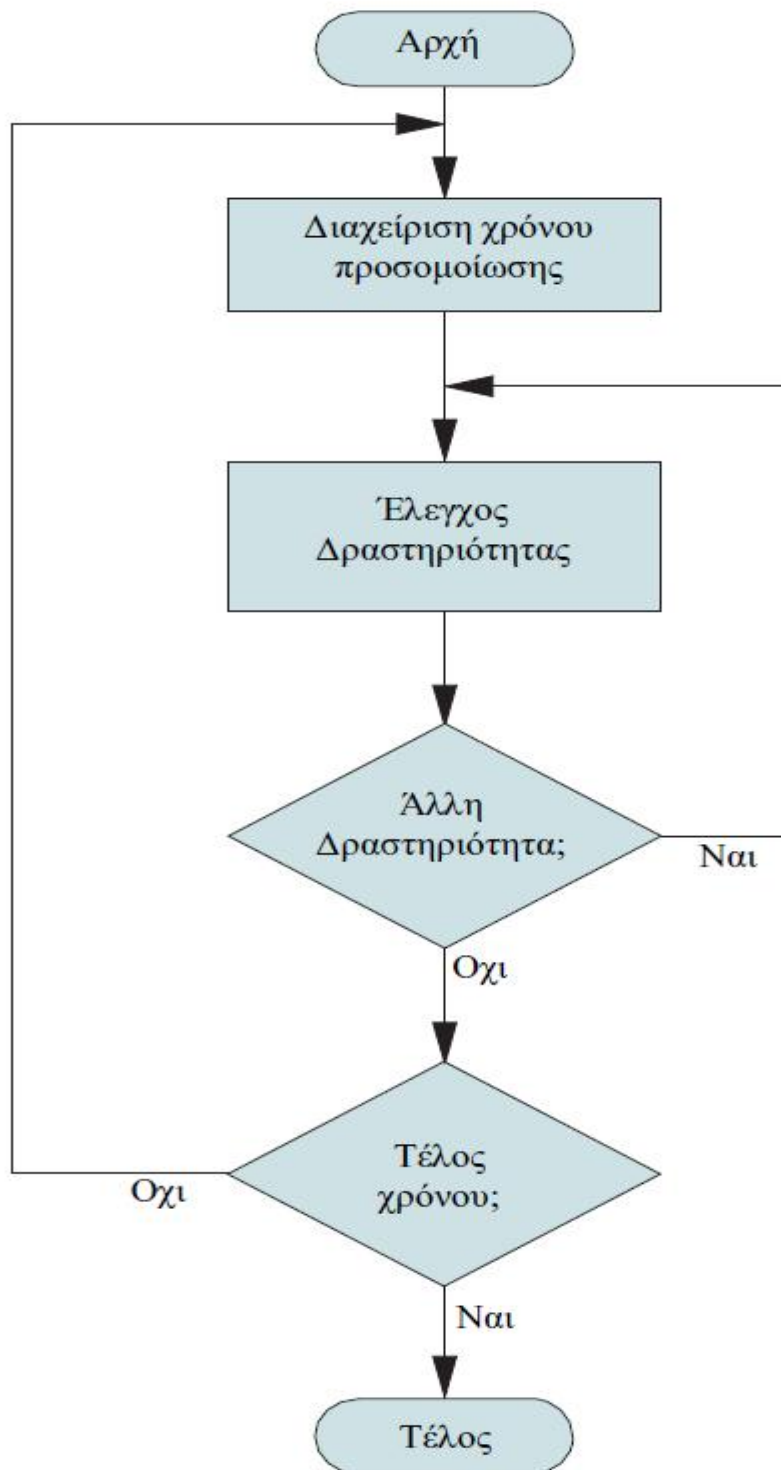
- i. **Προσομοίωση γεγονότων:** η μεθοδολογία αυτή αφορά τον ορισμό και τη χρονοδρομολόγηση των γεγονότων του μοντέλου. Τα γεγονότα χωρίζονται σε **ανεξάρτητα** (η εμφάνισή τους δε σχετίζεται με την εμφάνιση άλλων γεγονότων) και **εξαρτημένα** (εμφανίζονται εξαιτίας της εμφάνισης άλλων γεγονότων). Στην Εικόνα 8 φαίνεται το διάγραμμα του προγράμματος ελέγχου προσομοίωσης γεγονότων.



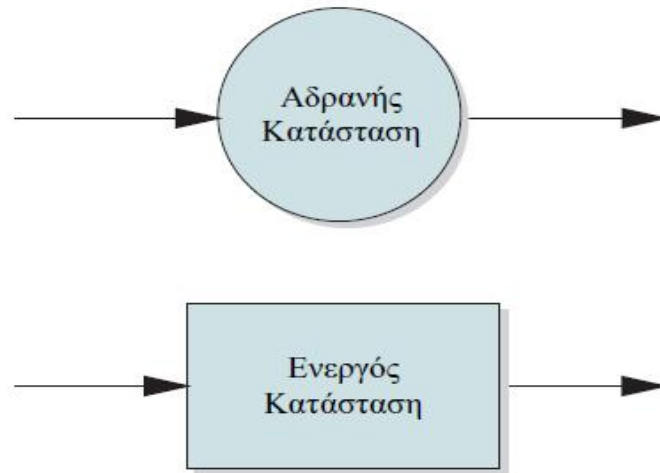
Εικόνα 8. Διάγραμμα του προγράμματος ελέγχου προσομοίωσης γεγονότων (Ρουμελιώτης, 2001)

- ii. **Προσομοίωση δραστηριοτήτων:** χρησιμοποιεί για τη μοντελοποίηση των αλληλεπιδράσεων ανάμεσα στις οντότητες μια μέθοδο που ονομάζεται **διαγράμματα κύκλου δραστηριοτήτων**, όπου συμβολίζονται δύο καταστάσεις, η **αδρανής** (αναμονή

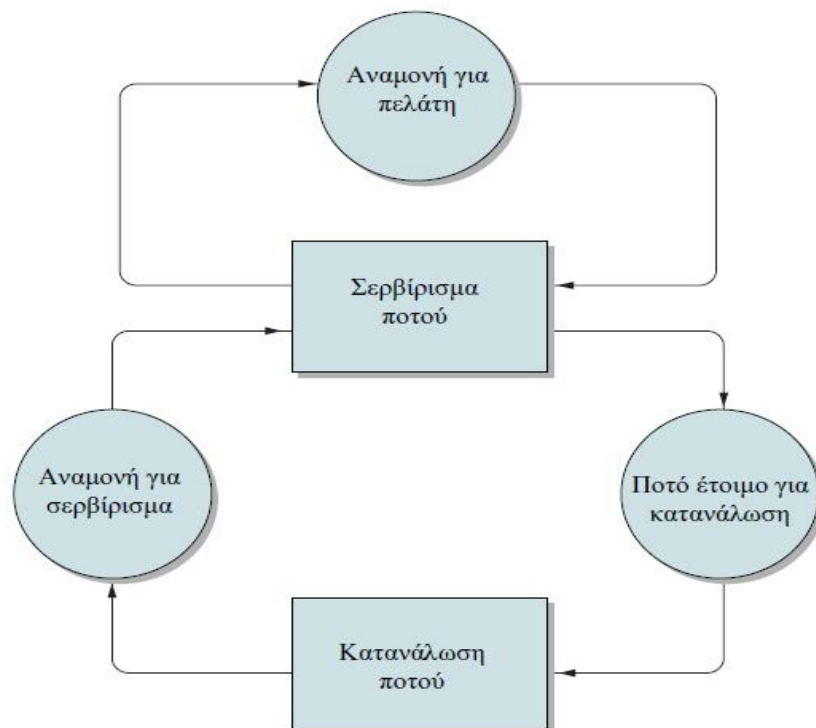
οντότητας μέχρι να συμβεί ένα γεγονός) και η **ενεργός** (αλληλεπίδραση της οντότητας με άλλες οντότητες). Η Εικόνα 9 δείχνει το διάγραμμα του προγράμματος ελέγχου προσομοίωσης δραστηριοτήτων, η Εικόνα 10 τα σύμβολα των διαγραμμάτων κύκλου δραστηριοτήτων και η Εικόνα 11 το διάγραμμα κύκλου δραστηριοτήτων σε ένα μπαρ, με το πάνω μέρος να αφορά τη δραστηριότητα του μπάρμαν και το κάτω μέρος του πελάτη, όπου το σερβίρισμα ποτού είναι το γεγονός που συνδέει τις δραστηριότητες των δύο οντοτήτων (Ρουμελιώτης, 2001). Σε αυτό το σημείο να τονιστεί ότι ο συνδυασμός των μεθόδων προσομοίωσης γεγονότων και δραστηριοτήτων οδήγησε στη δημιουργία της **μεθόδου των τριών φάσεων**, όπου οι δραστηριότητες διακρίνονται σε αυτές που ο χρόνος έναρξης μπορεί να προσδιοριστεί και να δρομολογηθεί η εκτέλεσή τους και σε αυτές που μπορεί είτε να συμβούν είτε όχι, ανάλογα με τις συνθήκες τη στιγμή του ελέγχου.



Εικόνα 9. Διάγραμμα του προγράμματος έλεγχου προσομοίωσης δραστηριοτήτων (Ρουμελιώτης, 2001)



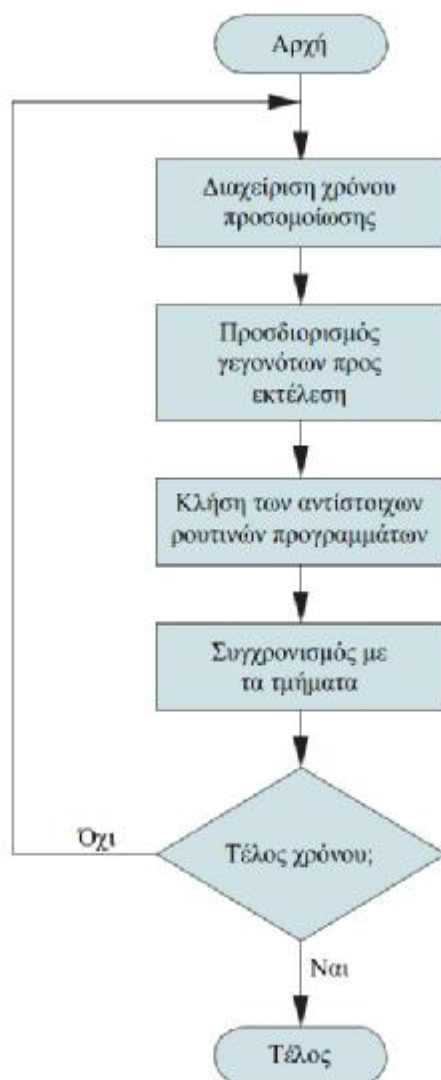
Εικόνα 10. Σύμβολα διαγραμμάτων κύκλου δραστηριοτήτων (Ρουμελιώτης, 2001)



Εικόνα 11. Διάγραμμα κύκλου δραστηριοτήτων του μπαρ (Ρουμελιώτης, 2001)

- iii. **Προσομοίωση διεργασιών:** αποτελεί μια τεχνική που βασίζεται στην εκτέλεση εργασιών που περιγράφουν την προσομοίωση ανεξάρτητων στοιχείων ενός μοντέλου. Κάθε στοιχείο έχει τη δική του χρονική λίστα γεγονότων, τα οποία εκτελούνται σε

χρονική σειρά. Στην Εικόνα 12 φαίνεται το διάγραμμα του προγράμματος ελέγχου προσομοίωσης διεργασιών.



Εικόνα 12. Διάγραμμα του προγράμματος ελέγχου προσομοίωσης διεργασιών (Ρουμελιώτης, 2001)

Αφού αναλύθηκαν οι μορφές προσομοίωσης σε ένα μοντέλο, ας γίνει μια εκτενής αναφορά και στις υπόλοιπες θεωρίες διάκρισης της διαδικασίας ανάπτυξης μοντέλων προσομοίωσης. Σύμφωνα με τους Γεωργίου κ.ά. (2015) ένας εύστοχος σκελετός των φάσεων ανάπτυξης ενός μοντέλου, σύμφωνα με το οποίο γίνεται και η υλοποίηση της παρούσας εργασίας, έχει προταθεί

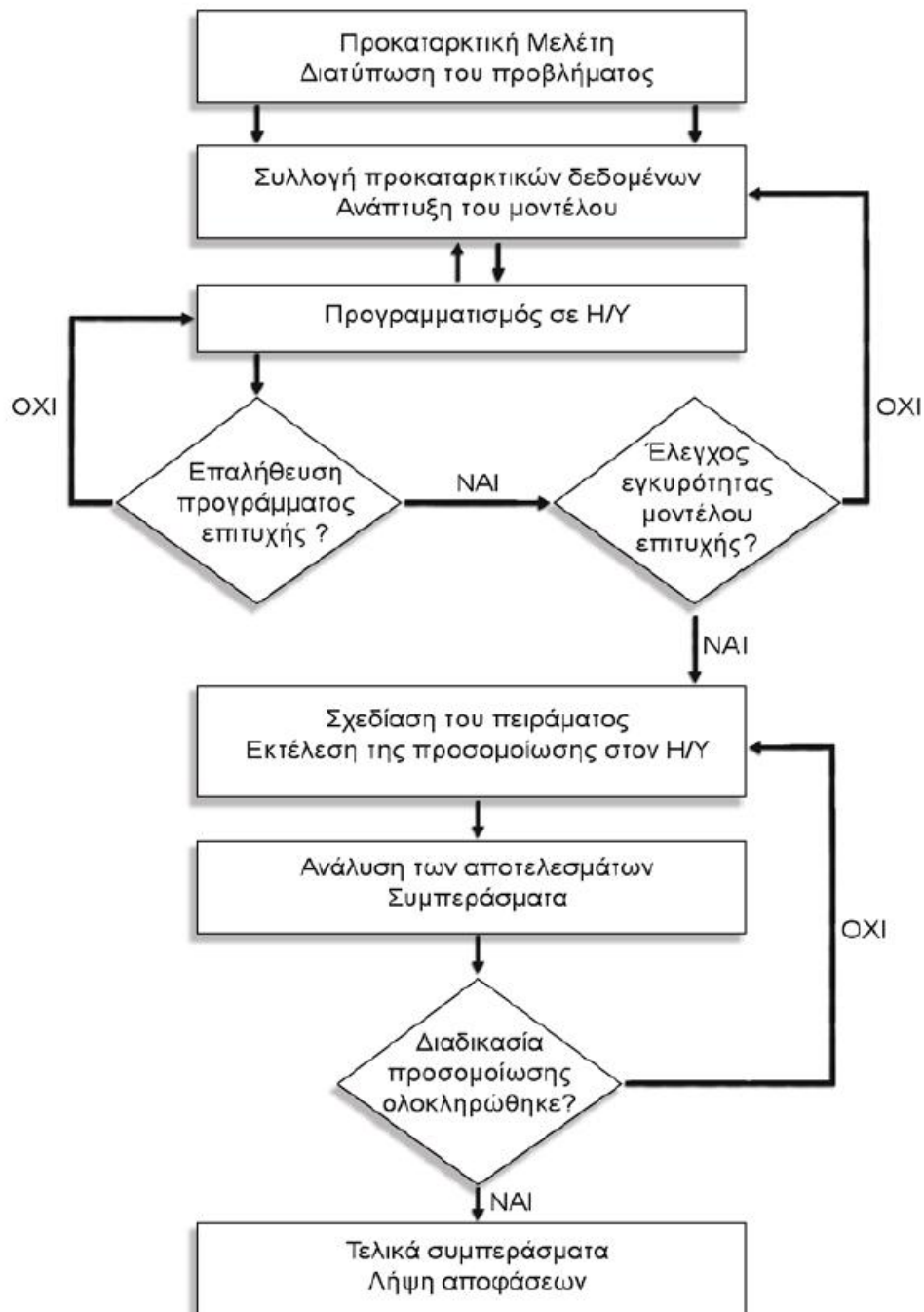
ήδη από τους Maisel & Gnugnoli (1972), Kelton et al. (1998), Shannon (1998) και Nubile et al. (2004) και είναι το εξής:

- i. **Προκαταρκτική μελέτη - ανάλυση (preliminary analysis)** του συστήματος με κυρίαρχο στόχο να απαντηθεί το σημαντικό ερώτημα αν τελικά είναι απαραίτητη η μοντελοποίηση με προσομοίωση.
- ii. **Διατύπωση και καθορισμός του προβλήματος (problem definition)**. Αναγνώριση των σημαντικών πτυχών του συστήματος που θέλουμε να μελετήσουμε και διατύπωση του στόχου.
- iii. **Συλλογή και ανάλυση προκαταρκτικών δεδομένων εισόδου (input data collection and analysis)** τα οποία αναλύονται σε σχέση με το πρόβλημα και τον στόχο που διατυπώθηκαν νωρίτερα και βοηθούν στην εκτίμηση των παραμέτρων εισόδου (π.χ. εκτίμηση κατανομής άφιξης πελατών, πιθανότητες δρομολόγησης οντοτήτων, κατανομές χρόνων εξυπηρέτησης κ.λπ.).
- iv. **Ανάπτυξη του εννοιολογικού μοντέλου (conceptual model development)**. Συχνά, αναπτύσσουμε ένα πρώτο σχήμα του μοντέλου με τη χρήση εργαλείων διαγραμματικής απεικόνισης. Εντοπίζουμε τα μέτρα απόδοσης (metrics) που μας ενδιαφέρει να εκτιμήσουμε από την ανάλυση και επιβεβαιώνουμε τη συνέπεια (consistency) ως προς τις παραδοχές, τις υποθέσεις και τα στοιχεία (details) που θα μπουν στο μοντέλο.
- v. **Προγραμματισμός**. Αναπαράσταση του μοντέλου στον υπολογιστή με κατάλληλο λογισμικό.
- vi. **Επαλήθευση του προγράμματος και επικύρωση του μοντέλου**. Απαντώνται τα θεμελιώδη ερωτήματα που οδηγούν στην πιστοποίηση του μοντέλου όπως για παράδειγμα αν λειτουργεί το πρόγραμμα σύμφωνα με το μοντέλο που αναπτύχθηκε στο τέταρτο στάδιο, αν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης συμφωνούν με τα δεδομένα ελέγχου ή με την εμπειρία που υπάρχει για το σύστημα ή αν το μοντέλο αποδίδει στην έξοδο αποτελέσματα τα οποία βρίσκονται σε συμφωνία με τα δεδομένα εισόδου

Στα παραπάνω έξι βήματα προστίθεται στο τέλος και η φάση εκτέλεσης της προσομοίωσης στον υπολογιστή για την εξαγωγή των τελικών αποτελεσμάτων. Η διαδικασία αυτή μπορεί να επαναλαμβάνεται αρκετές φορές, δηλαδή να εκτελείται η προσομοίωση στον υπολογιστή και να αναλύονται τα αποτελέσματα της κάθε επανάληψης. Με βάση το σκελετό αυτό ο Winston

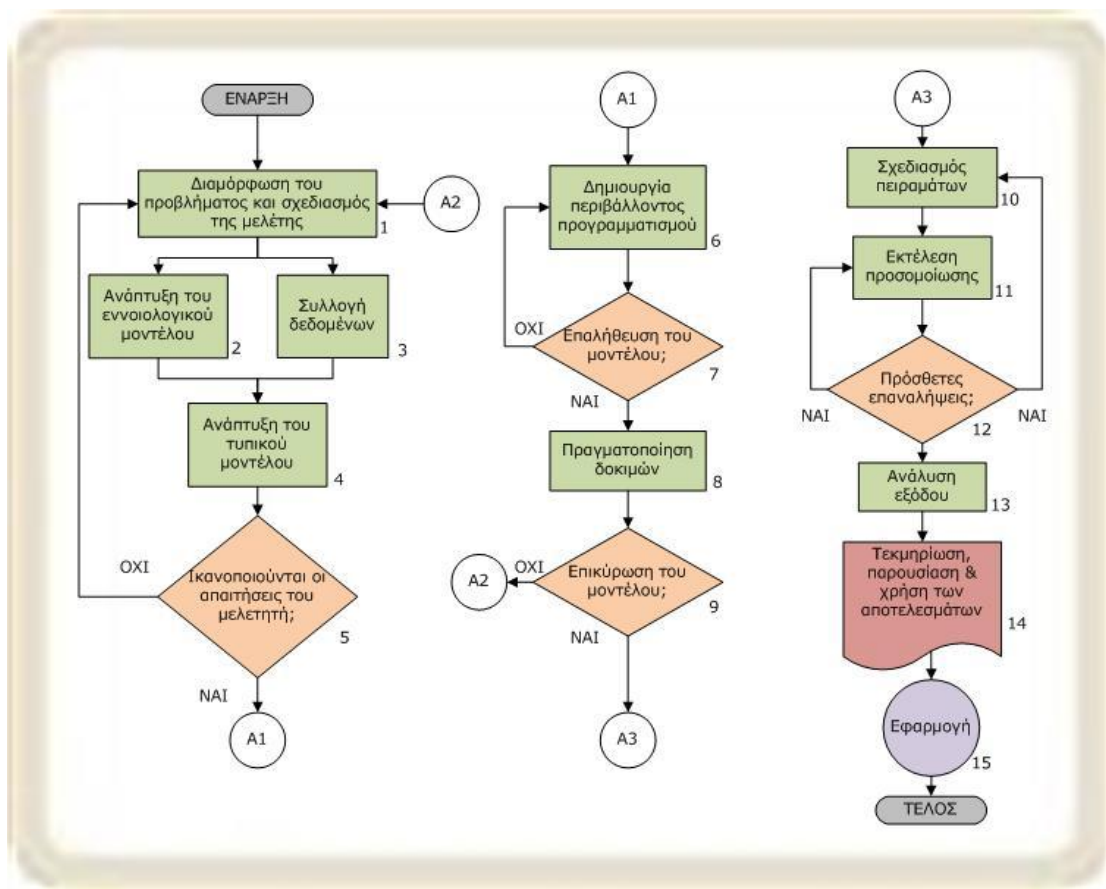
Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

(2002) προσπάθησε να αποδώσει σχηματικά το διάγραμμα ανάπτυξης του μοντέλου προσομοίωσης στη διοίκηση επιχειρήσεων, με βασική παράλειψη ότι δεν αποτυπώνεται η συνεχής ανατροφοδότηση και επανάληψη των βημάτων.



Εικόνα 13. Διάγραμμα ανάπτυξης μοντέλου προσομοίωσης του Winston (Γεωργίου κ.ά., 2015)

Τέλος ο Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ και ερευνητής σε θέματα προσομοίωσης σε τεχνικά έργα, Αντώνης Πάνας, παρουσιάζει ως ιδανική μελέτη προσομοίωσης την έκδοση που υποστηρίζεται από Banks et al. (2005) & Law (2007) με προσαρμογή στα κατασκευαστικά έργα, η οποία φαίνεται στην Εικόνα 14.



Εικόνα 14. Διαδικασία μελέτης προσομοίωσης σύμφωνα με τους Banks et al., 2005; Law, 2007

Σύμφωνα με το παραπάνω σχήμα τα στάδια της μοντελοποίησης είναι 14 και πιο συγκεκριμένα:

- 1. Διαμόρφωση του προβλήματος και σχεδιασμός της μελέτης:** Στο στάδιο αυτό γίνονται οι απαραίτητες συζητήσεις με τους τελικούς χρήστες και διαχειριστές του συστήματος για τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Καθορίζονται τα ζητούμενα και οι

στόχοι της μελέτης και αποφασίζεται εάν η προσομοίωση είναι η κατάλληλη μέθοδος ανάλυσης του προβλήματος. Καθορίζονται τα χαρακτηριστικά και οι λειτουργίες του μοντέλου καθώς και οι δείκτες αποδοτικότητας (benchmarks) για να αξιολογηθεί η ορθότητα της προσομοίωσης, ορίζεται ο χρονικός προγραμματισμός του έργου και καταγράφονται οι απαιτήσεις σε μέσα παραγωγής ενώ συνήθως σε αυτό το στάδιο επιλέγεται το λογισμικό που θα χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη του προγράμματος της προσομοίωσης.

2. **Ανάπτυξη του εννοιολογικού μοντέλου:** Ο αναλυτής σε αυτό το στάδιο πρέπει να επιλέξει το επίπεδο αφαιρετικότητας για να μοντελοποιήσει τα κυριότερα συστατικά στοιχεία του υπό μελέτη συστήματος και να ενσωματώσει στο μοντέλο τις βασικές παραδοχές των λειτουργιών του.
3. **Συλλογή δεδομένων:** Συλλέγονται οι πληροφορίες σχετικά με τη δομή και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του συστήματος, ενώ προσδιορίζονται, στο βαθμό που είναι αυτό δυνατό, οι βασικές παράμετροι του μοντέλου καθώς και οι κατάλληλες κατανομές των δεδομένων εισόδου.
4. **Ανάπτυξη του τυπικού μοντέλου:** Αποτελεί το στάδιο εκείνο όπου τα χαρακτηριστικά που επιλέχθηκαν για τη μοντελοποίηση υλοποιούνται με τον καθορισμό των κατάλληλων συστατικών στοιχείων (οντότητες, πόροι κτλ.).
5. **Ικανοποίηση των απαιτήσεων του πελάτη:** Στο στάδιο αυτό το έγγραφο των παραδοχών του συστήματος και η ορθότητά του επαληθεύεται από τους διευθυντές του συστήματος, αναλυτές και πελάτες, και σε περίπτωση που το μοντέλο κριθεί ανεπαρκές, η διαδικασία σχεδιασμού επαναλαμβάνεται διαμορφώνοντας από την αρχή το πρόβλημα και τον σχεδιασμό της μελέτης.
6. **Δημιουργία του περιβάλλοντος προγραμματισμού:** Έχοντας εξασφαλίσει ότι το μοντέλο θα δημιουργηθεί ικανοποιώντας τις απαιτήσεις της μελέτης, δημιουργείται το περιβάλλον που θα προγραμματιστεί το μοντέλο
7. **Επαλήθευση του μοντέλου:** Μετά την υλοποίηση του μοντέλου σε προγραμματιστικό περιβάλλον θα πρέπει να επαληθευτεί (verification) ότι η προσομοίωση λειτουργεί σωστά. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι πρέπει να γίνει αποσφαλμάτωση ή όπως είναι πιο γνωστό debugging. Εάν οι παράμετροι εισόδου και η λογική δομή του μοντέλου απεικονίζονται σωστά στο πρόγραμμα τότε η επαλήθευση έχει ολοκληρωθεί.

8. **Πραγματοποίηση δοκιμών:** Η πραγματοποίηση δοκιμαστικών εκτελέσεων συμβάλλει στη επικύρωση του μοντέλου στο επόμενο βήμα.
9. **Επικύρωση του μοντέλου:** Το μοντέλο επικυρώνεται (validation) εάν αναπαριστά ορθά το σύστημα που προσομοιώνεται. Απαιτούνται και κάποιες αναλύσεις ευαισθησίας για να προσδιοριστούν ποια χαρακτηριστικά επηρεάζουν περισσότερο την προσομοίωση και συνεπώς χρειάζονται παραπάνω προσοχή.
10. **Σχεδιασμός πειραμάτων:** Για τη μελέτη της προσομοίωσης θα πρέπει να προσδιοριστούν η συνολική χρονική διάρκεια της προσομοίωσης, η χρονική διάρκεια της μεταβατικής περιόδου και ο αριθμός των ανεξάρτητων εκτελέσεων (επαναλήψεων) της προσομοίωσης.
11. **Εκτέλεση της προσομοίωσης:** Η εκτέλεση της προσομοίωσης παράγει τα αποτελέσματα που είναι απαραίτητα για την ανάλυση εξόδου στο επόμενο στάδιο.
12. **Πρόσθετες επαναλήψεις:** Αφού ολοκληρωθεί ο προκαθορισμένος αριθμός ανεξάρτητων εκτελέσεων της προσομοίωσης, ο αναλυτής καθορίζει εάν θα πρέπει να γίνουν πρόσθετες επαναλήψεις και τον πειραματικό σχεδιασμό που θα ακολουθηθεί γι' αυτές.
13. **Ανάλυση εξόδου:** Η ανάλυση των δεδομένων της εξόδου της προσομοίωσης γίνεται αφενός για να προσδιοριστεί η αποδοτικότητα συγκεκριμένων διατάξεων του συστήματος και αφετέρου για να συγκριθούν οι διατάξεις μεταξύ τους.
14. **Τεκμηρίωση, παρουσίαση και χρήση των αποτελεσμάτων:** Το έγγραφο των παραδοχών του συστήματος, μαζί με το πρόγραμμα του H/Y και τα αποτελέσματα της μελέτης αποτελούν τα εξαγόμενα της τελευταίας φάσης της μελέτης προσομοίωσης. Η άρτια τεκμηρίωση του προγράμματος είναι πολύ σημαντική αφού εξασφαλίζει την ανεξάρτητη επιβεβαίωση της μελέτης. Εδώ αναλύεται η διαδικασία δημιουργίας και επικύρωσης του μοντέλου για να αποδειχτεί η αξιοπιστία του. Τα αποτελέσματα της μελέτης χρησιμοποιούνται στη λήψη αποφάσεων μόνο εάν είναι αξιόπιστα και επικυρωμένα. Πρέπει να σημειωθεί ότι η τεκμηρίωση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων δεν είναι υποχρεωτικό να γίνεται στο τέλος της προσομοίωσης, αλλά μπορεί να ξεκινήσει να γίνεται κατά τη διάρκεια των προηγούμενων σταδίων.

Από τα παραπάνω προκύπτει λοιπόν ότι η διαδικασία προσομοίωσης απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή, σωστή προετοιμασία, μελέτη και ανάλυση, σαφή καθορισμό στόχων και απαιτήσεων, επαναληπτικές διαδικασίες εκτέλεσης και ελέγχου, επαλήθευση, επικύρωση και αξιολόγηση των

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

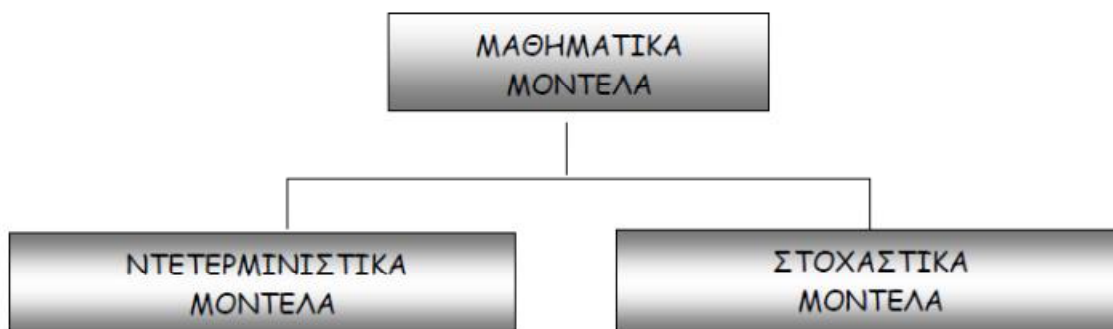
συμπερασμάτων και τέλος μια άρτια παρουσίαση της διαδικασίας, ώστε να χρησιμοποιηθούν σωστά τα αποτελέσματα στη λήψη αποφάσεων.

Κεφάλαιο 3

Θεωρία ουρών και προσομοίωση

3.1 Βασικά στοιχεία πιθανοτήτων και κατανομές τυχαίων μεταβλητών

Για τη μελέτη και ανάλυση φαινομένων και καταστάσεων συνήθως χρησιμοποιούνται **μαθηματικά μοντέλα** που τα ερμηνεύουν. Για να προσδιοριστεί η εγκυρότητα των μοντέλων αυτών, συγκρίνονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από αυτά με τις πραγματικές παρατηρήσεις. Τα μαθηματικά μοντέλα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Στα **ντετερμινιστικά μοντέλα**, όπου οι συνθήκες ενός πειράματος καθορίζουν πλήρως τα αποτελέσματα, και στα **στοχαστικά μοντέλα**, όπου οι συνθήκες ενός πειράματος τύχης καθορίζουν μόνο την πιθανοτική συμπεριφορά του αποτελέσματος.



Εικόνα 15. Διάκριση μαθηματικών μοντέλων (Νικολαΐδης, 2005)

Στον κόσμο των επιχειρήσεων χρησιμοποιούνται συχνά μαθηματικά μοντέλα για να ερμηνεύσουν καταστάσεις ή να τις προβλέψουν. Τα μοντέλα αυτά τροφοδοτούνται κυρίως με πραγματικά δεδομένα και μετρήσεις και εξάγουν πιθανές λύσεις και προβλέψεις. Η προσομοίωση που περιγράφηκε στα προηγούμενα κεφάλαια στηρίζεται σε μαθηματικά μοντέλα και σε θεωρίες πιθανοτήτων. Οι πιθανότητες αποτελούν ένα ιδιαίτερο και ξεχωριστό κεφάλαιο

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

στα μαθηματικά, με ευρεία εφαρμογή σε διάφορους επιχειρηματικούς αλλά και ερευνητικούς τομείς. Τα πιο βασικά στοιχεία των πιθανοτήτων, τα οποία χρησιμοποιούνται και στους μηχανισμούς προσομοίωσης, είναι τα εξής:

A. Σύνολα: αποτελεί μια συλλογή από αντικείμενα με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Συνήθως τα ονομάζουμε με κεφαλαία γράμματα, όπως A ή B. Μεταξύ δύο συνόλων A και B γίνονται πράξεις με πιο γνωστές την **ένωση** (που περιέχει στοιχεία που ανήκουν είτε στο A είτε στο B ή και στα δύο), την **τομή** (τα κοινά στοιχεία ανάμεσα στα δύο σύνολα) και τη **μερική διαφορά** (στοιχεία που ανήκουν στο ένα σύνολο αλλά όχι και στο άλλο).

B. Δειγματοχώρος: όλα τα δυνατά αποτελέσματα ενός πειράματος τύχης

Γ. Ενδεχόμενο: κάθε σύνολο που αποτελείται από ορισμένα δυνατά αποτελέσματα

Δ. Τυχαίες Μεταβλητές: συμβολίζονται με κεφαλαία γράμματα και μπορούν να πάρουν τιμές στο σύνολο των πραγματικών αριθμών και μπορεί να είναι είτε συνεχής είτε διακριτή.

Στην προσομοίωση απαιτείται η παραγωγή τυχαίων αριθμών που ακολουθούν συγκεκριμένες κατανομές και για αυτό χρησιμοποιούνται **γεννήτριες τυχαίων αριθμών**. Οι τυχαίες μεταβλητές έχουν κάποιες σημαντικές παραμέτρους και ακολουθούν κατανομές. Οι παράμετροι είναι οι εξής:

1. **Αναμενόμενη τιμή:** δίνει ένα μέτρο για το κέντρο της κατανομής της τυχαίας μεταβλητής
2. **Διακύμανση:** περιγράφει πόσο μακριά είναι οι τιμές μιας κατανομής από το μέσο όρο ή την αναμενόμενη τιμή
3. **Διασπορά:** δείχνει την κατανομή ενός μεγέθους γύρω από τη μέση τιμή του
4. **Τυπική απόκλιση:** προσπαθεί να προσδιορίσει τη μέση απόσταση κάθε τιμής από τη μέση τιμή
5. **Συμμεταβλητότητα:** είναι ο βαθμός της γραμμικής εξάρτησης μεταξύ δύο τυχαίων μεταβλητών

Όσον αφορά στις κατανομές, οι πιο διαδεδομένες είναι οι εξής:

1. **Ομοιόμορφη κατανομή:** είναι η πιο απλή μορφή και χρησιμοποιείται όταν είναι γνωστές τη μέγιστη και την ελάχιστη τιμή μιας τυχαίας μεταβλητής

2. **Εκθετική κατανομή:** χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις που είναι γνωστή η αναμενόμενη τιμή μιας τυχαίας μεταβλητής
3. **Γάμμα:** αποτελεί γενίκευση της εκθετικής και χρησιμοποιείται όταν είναι γνωστές η αναμενόμενη τιμή και η διασπορά
4. **Κανονική κατανομή:** χρησιμοποιείται όταν η τυχειότητα μιας μεταβλητής είναι άθροισμα πολλών ανεξάρτητων παραμέτρων
5. **Κατανομή Pareto:** χαρακτηρίζεται ως κατανομή με μεγάλη ουρά που σημαίνει ότι μια τυχαία μεταβλητή μπορεί να πάρει πολύ μεγάλες τιμές
6. **Διωνυμική κατανομή:** περιγράφει ένα τυχαίο πείραμα με δύο αποτελέσματα, επιτυχία ή αποτυχία, με πιθανότητα επιτυχίας p που επαναλαμβάνεται n φορές
7. **Κατανομή Poisson:** εκφράζει την πιθανότητα ενός δεδομένου αριθμού γεγονότων που συμβαίνουν σε ένα σταθερό χρονικό διάστημα, αν τα γεγονότα αυτά συμβαίνουν με ένα γνωστό μέσο ρυθμό. Για παράδειγμα, αν σε ένα σύστημα εξυπηρέτησης η διαδικασία αφίξεων ακολουθεί την κατανομή Poisson και καταφθάνουν κατά μέσο όρο 10 πελάτες ανά ώρα, ο μέσος ρυθμός αφίξεων είναι $\lambda=10$ άτομα/ώρα ανάμεσα σε δύο διαδοχικές αφίξεις και παρεμβάλλεται χρόνος που κατά μέσο όρο είναι ίσος με $1/\lambda$ δηλ. $1/10$ ώρες = 6 λεπτά
8. **Κατανομή Erlang:** χρησιμοποιείται συνήθως στα μοντέλα της θεωρίας ουρών ως μία επέκταση της εκθετικής κατανομής. Ένας εξυπηρετητής με κατανομή χρόνου Erlang(α, m) αντιπροσωπεύει μία σειρά από m εξυπηρετητές με εκθετική κατανομή χρόνου.

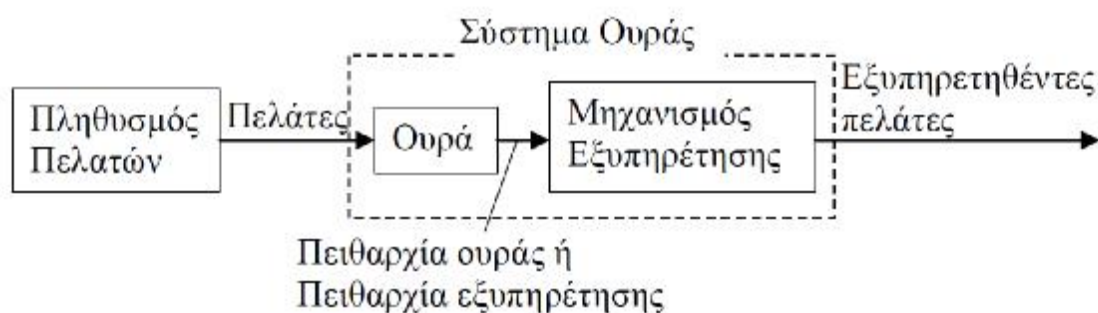
Τα παραπάνω αποτελούν πολύ βασικά στοιχεία για τις τυχαίες μεταβλητές και για τις διαδικασίες προσομοίωσης, αφού τα περισσότερα λογισμικά και συστήματα υπολογιστών στηρίζονται σε αυτές τις τεχνικές για την εκτέλεση προσομοιώσεων.

3.2 Συστήματα ουρών και χαρακτηριστικά

Οι ουρές αναμονής αποτελούν καθημερινό και συνηθισμένο φαινόμενο και εμφανίζονται κυρίως σε συστήματα εξυπηρέτησης, στα οποία η ζήτηση για κάποια υπηρεσία δεν μπορεί να ικανοποιηθεί άμεσα από το προσωπικό δυναμικό ενός οργανισμού ή μιας επιχείρησης. Η γνώση

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

των λειτουργικών χαρακτηριστικών των συστημάτων εξυπηρέτησης και των ουρών αναμονής μπορεί να οδηγήσει σε θεαματικές βελτιώσεις της απόδοσής τους. Η απόδοση του συστήματος αξιολογείται με βάση τις τιμές ορισμένων βασικών δεικτών (δείκτες απόδοσης – μέτρα λειτουργικότητας), όπως για παράδειγμα ο μέσος χρόνος αναμονής ενός πελάτη στην ουρά, ο συνολικός μέσος χρόνος παραμονής ενός πελάτη στο σύστημα, το μέσο πλήθος πελατών στην ουρά, το μέσο πλήθος πελατών στο σύστημα, το ποσοστό απασχόλησης της θέσης εξυπηρέτησης ή των θέσεων εξυπηρέτησης κλπ. Στόχος της μελέτης ενός συστήματος εξυπηρέτησης είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους λειτουργίας του υπό τον όρο ότι οι τιμές των δεικτών απόδοσης του συστήματος ικανοποιούν κάποιες ελάχιστες προδιαγραφές (Δάρας & Σύψας, 2003). Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα συστήματος ουράς φαίνεται στην Εικόνα 16.



Εικόνα 16. Σύστημα ουράς

Ένα σύστημα ουρών αποτελείται από έναν ή περισσότερους εξυπηρετητές οι οποίοι εξυπηρετούν πελάτες. Αν οι πελάτες που φθάνουν στο σύστημα βρίσκουν όλους τους εξυπηρετητές απασχολημένους, τότε μπαίνουν σε μία ή περισσότερες ουρές που βρίσκονται μπροστά από τους εξυπηρετητές, δηλαδή μπαίνουν σε ουρά αναμονής έως ότου επιλεγούν σύμφωνα με κάποια πειθαρχία ουράς. Από τη στιγμή που θα επιλεγεί, εξυπηρετείται για κάποιο χρονικό διάστημα και εξέρχεται του συστήματος, είτε ξαναμπαίνοντας στον πληθυσμό πελατών, είτε βαίνοντας γενικώς από το περιβάλλον του συστήματος.

Ένα σύστημα βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας, όταν η συμπεριφορά του δεν εξαρτάται από τις αρχικές συνθήκες που υπάρχουν κατά την έναρξη της λειτουργίας του. Δηλαδή, ένα σύστημα εξυπηρέτησης φτάνει σε κατάσταση ισορροπίας, όταν παρέλθει ένα εύλογο χρονικό διάστημα από την αρχική του κατάσταση, στη διάρκεια του οποίου εξαλείφεται η επίδραση των συνθηκών εκκίνησης. Η περίοδος που απαιτείται, ώστε το σύστημα να μην εξαρτάται από τις αρχικές

συνθήκες εκκίνησης και να συγκλίνει σε κατάσταση ισορροπίας, ονομάζεται **παροδική περίοδος**.

Τα χαρακτηριστικά των συστημάτων ουράς είναι τα εξής (Δάρας & Σύψας, 2003):

- 1. Η διαδικασία άφιξης των πελατών.** Οι πελάτες καταφθάνουν στο σύστημα είτε σύμφωνα με κάποια γνωστό και σταθερό ρυθμό ή αλλιώς, όπως στις περισσότερες περιπτώσεις, σε «τυχαίες» χρονικές στιγμές (π.χ. ασθενείς σε εφημερίες). Οι αφίξεις θεωρούνται τυχαίες όταν είναι ανεξάρτητες η μία από την άλλη (δεν επηρεάζεται μία άφιξη από κάποια προηγούμενη) και η χρονική στιγμή πραγματοποίησης τους δεν μπορεί να προβλεφθεί ακριβώς. Στην περίπτωση αυτή ο μέσος ρυθμός των αφίξεων χαρακτηρίζεται από το μέσο αριθμό αφίξεων ανά μονάδα του χρόνου (π.χ. πελάτες ανά ώρα). Οι αφίξεις μπορούν να χαρακτηριστούν είτε ως **κανονικές**, όπου οι πελάτες φτάνουν σε ίσα χρονικά διαστήματα, είτε ως **τυχαίες**, όπου οι αφίξεις των πελατών δε γίνονται σε ίσα χρονικά διαστήματα ή έχουμε συνεχή ροή πελατών ή άφιξη ανά ομάδες.
- 2. Πηγή Πελατών.** Ο πληθυσμός από τον οποίο προέρχονται οι αφίξεις των πελατών θεωρείται είτε άπειρος (πρακτικά πολύ μεγάλου μεγέθους) όπως αυτοκίνητα σε σταθμούς διόδων, ή πεπερασμένος όπως για παράδειγμα στην περίπτωση των μηχανών ενός εργοστασίου που αναμένουν επισκευή. Στα πιο πολλά προβλήματα ουρών αναμονής, ο πληθυσμός από τον οποίο προέρχονται οι πελάτες του συστήματος είναι άπειρος.
- 3. Διαδικασία Εξυπηρέτησης.** Προσδιορίζεται από τρία βασικά στοιχεία. Το πρώτο είναι ο **χρόνος εξυπηρέτησης**, δηλαδή ο χρόνος που απαιτείται για την εξυπηρέτηση του πελάτη. Για πολλές περιπτώσεις συστημάτων ουράς αναμονής, ο χρόνος εξυπηρέτησης ακολουθεί την εκθετική κατανομή, με μέση τιμή $1/\mu$. Για παράδειγμα, αν σε ένα ταμείο μίας τράπεζας ο ταμίας είναι σε θέση να εξυπηρετήσει κατά μέσο όρο 15 άτομα ανά ώρα, τότε λέμε ότι ο μέσος ρυθμός εξυπηρέτησης είναι το $\mu=15$ άτομα / ώρα και λογικά $1/\mu=1/15$ ώρες αποτελεί το μέσο χρόνο εξυπηρέτησης, δηλαδή 4 λεπτά. Ο χρόνος εξυπηρέτησης μπορεί να υπολογιστεί αν είναι γνωστή η διαδικασία με την οποία οι πελάτες που ήδη έχουν εξυπηρετηθεί, εγκαταλείπουν το σύστημα. Το δεύτερο στοιχείο είναι η **δυνατότητα εξυπηρέτησης**, δηλαδή ο μέγιστος αριθμός πελατών που μπορεί να εξυπηρετηθεί σε μια χρονική στιγμή από το σύστημα. Αν τα σημεία εξυπηρέτησης είναι k σε αριθμό, η δυνατότητα του συστήματος ισούται με k . Συνήθως ο αριθμός των

πελατών που εξυπηρετούνται είναι μικρότερος από την πλήρη δυνατότητα εξυπηρέτησης του συστήματος. Τέλος είναι δυνατόν να υπάρχουν συστήματα με απεριόριστη δυνατότητα εξυπηρέτησης (π.χ. διαβάτες που περνούν τη διασταύρωση όταν το φανάρι των πεζών είναι πράσινο). Τρίτο στοιχείο είναι η **διαθεσιμότητα εξυπηρέτησης**, δηλαδή το χρονικό διάστημα κατά το οποίο είναι δυνατή η εξυπηρέτηση. Πολλές φορές οι εξυπηρετητές εγκαταλείπουν τα σημεία εξυπηρέτησης, είτε το σύστημα είναι άδειο είτε με πελάτες.

- 4. Πειθαρχία της ουράς αναμονής.** Η ουρά σχηματίζεται από πελάτες που αναμένουν τη σειρά τους να εξυπηρετηθούν. Ο τρόπος με τον οποίο επιλέγεται ένας πελάτης που αναμένει στην ουρά για να εξυπηρετηθεί είναι ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά των συστημάτων ουρών αναμονής και ονομάζεται **πειθαρχία**. Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται είναι κυρίως οι εξής: α) **FIFO (First In First Out)**: Οι πελάτες εξυπηρετούνται με βάση τη σειρά προσέλευσης. β) **LIFO (Last In First Out)**: Οι πελάτες εξυπηρετούνται αντίστροφα με την σειρά προσέλευσης. γ) **SIRO (Service In Random Order)**: Οι πελάτες επιλέγονται τυχαία από τους αναμένοντες στην ουρά. δ) **Προτεραιότητα**: Οι πελάτες χωρίζονται σε κατηγορίες με διαφορετικές προτεραιότητες και επιλέγονται πρώτα οι πελάτες με την πιο υψηλή προτεραιότητα. Ένα παράδειγμα τέτοιας πειθαρχίας είναι το **SSTF (Shortest Service Time First)** όπου επιλέγονται πρώτοι οι πελάτες με τον ελάχιστο απαιτούμενο χρόνο εξυπηρέτησης.
- 5. Αριθμός Θέσεων εξυπηρέτησης.** Για τον πελάτη που αναμένει στην ουρά μπορεί να υπάρχουν περισσότερες από μία παράλληλες θέσεις εξυπηρέτησης. Στην περίπτωση αυτή ο πελάτης εξυπηρετείται από την πρώτη διαθέσιμη θέση εξυπηρέτησης. Επίσης, άλλες φορές για την πλήρη εξυπηρέτηση του πελάτη απαιτείται η διαδοχική προσέλευσή του σε περισσότερες από μία θέσεις εξυπηρέτησης, δηλαδή εξυπηρετείται σε διαδοχικές φάσεις, περίπτωση που εμφανίζεται πολύ συχνά στις δημόσιες υπηρεσίες.
- 6. Δυνατότητα συστήματος ουράς.** Δηλώνει το μεγαλύτερο αριθμό πελατών που μπορεί να δεχτεί το σύστημα. Συνήθως ο αριθμός αυτός είναι πεπερασμένος, λόγω του μικρού χώρου αναμονής
- 7. Φάσεις εξυπηρέτησης.** Ένα σύστημα ουράς μπορεί να έχει περισσότερες από μία φάσεις εξυπηρέτησης. Π.χ. σε μια γραμμή παραγωγής, το προϊόν περνά από διάφορα στάδια μέχρι να φτάσει στην τελική του μορφή.

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

Όσον αφορά στο συμβολισμό των συστημάτων ουράς, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά λειτουργίας ενός συστήματος ουράς αναμονής έχουμε και ένα διαφορετικό μοντέλο ανάλυσης του. Για τη διάκριση των μοντέλων ο **D. G. Kendall** πρότεινε έναν εύχρηστο συμβολισμό με πέντε σύμβολα, που έχει τη γενική μορφή «A/B/Γ/Δ/E», όπου τα σύμβολα παριστάνουν τα εξής:

A: θέση για το σύμβολο της κατανομής εισόδου πελατών.

B: θέση για το σύμβολο της κατανομής του χρόνου εξυπηρέτησης. Χρησιμοποιούνται τα ίδια σύμβολα με την περίπτωση A.

Γ: θέση για το πλήθος των παράλληλων θέσεων εξυπηρέτησης.

Δ: θέση για τη χωρητικότητα του συστήματος εξυπηρέτησης, όταν οι θέσεις στην ουρά αναμονής είναι περιορισμένες. Στη μορφή M/M/1/k το k είναι το πλήθος των θέσεων αναμονής μαζί με τις θέσεις εξυπηρέτησης.

E: θέση για το πλήθος των πελατών στην πηγή, όταν είναι πεπερασμένο.

Ο **Kendal** το 1953 πρότεινε τα τρία πρώτα σύμβολα και τα υπόλοιπα δύο προτάθηκαν από τον **A. Lee** το 1966. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η συμβολική παράσταση των ουρών.

| Χαρακτηριστικά | Σύμβολο | Ερμηνεία του συμβόλου |
|----------------------------------|-----------------------------|--|
| (A) Διαδικασία αφίξεων | M D E_k GI | Poisson Κανονική Κατανομή Erlang Γενική ανεξάρτητη |
| (B) Κατανομή χρόνου εξυπηρέτησης | M D E_k G | Εκθετική Κανονική Κατανομή Erlang Γενική |
| (Γ) Αριθμός σημείων εξυπηρέτησης | 1,2,3,...∞ | |
| (Δ) Φυσικοί περιορισμοί | 1,2,3,...∞ | |
| (E) Πειθαρχία ουράς | FIFO LIFO SIRO PRI | First In First Out Last In First Out Service In Random Order Priority |

| | | |
|--|----|----------------------|
| | GD | General Distribution |
|--|----|----------------------|

Πίνακας 3.1. Συμβολική παράσταση των ουρών

Σύμφωνα με τα παραπάνω, αν για παράδειγμα το σύστημα ουράς είναι της μορφής M/M/3/35/FIFO, αυτό σημαίνει ότι το σύστημα έχει διαδικασία αφίξεων Poisson, κατανομή χρόνου εξυπηρέτησης εκθετική, 3 παράλληλα σημεία εξυπηρέτησης, μπορεί να δεχθεί έως 35 πελάτες και εξυπηρετείται πρώτος εκείνος που φτάνει πρώτος στο σύστημα. Αν στη θέση των συμβόλων Δ/Ε έχουμε ∞/FIFO, τότε συνήθως παραλείπονται και χρησιμοποιούνται μόνο τα τρία πρώτα σύμβολα. Ο παραπάνω συμβολισμός δεν μπορεί να περιγράψει πιο σύνθετα συστήματα ουρών.

Τέλος όσον αφορά στα μέτρα λειτουργικότητας μιας ουράς, αυτά είναι:

- i. Ο μέσος χρόνος παραμονής ενός πελάτη στην ουρά
- ii. Ο μέσος αριθμός των πελατών στο σύστημα
- iii. Η μέση περίοδος απασχόλησης ενός εξυπηρετητή

Τα παραπάνω συνδέονται μεταξύ τους με το θεώρημα του Little, όπου αν σε ένα σύστημα ουράς το μέσο μήκος της ουράς είναι μεγάλο, τότε και ο μέσος χρόνος αναμονής αναμένεται να είναι μεγάλος. Η σχέση αυτή σε ένα σύστημα που βρίσκεται σε κατάσταση στατικής ισορροπίας, δηλαδή η πιθανότητα να έχει το σύστημα συγκεκριμένο αριθμό πελατών είναι ανεξάρτητο του χρόνου, τότε:

$$E(Q) = \lambda E(T) \quad (\text{Σχέση 1})$$

Όπου Q ο αριθμός πελατών στο σύστημα, T ο χρόνος παραμονής και λ ο πραγματικός αριθμός αφίξεων των πελατών (ρυθμός αυτών που εισέρχονται στο σύστημα).

3.3 Μοντέλα Ουρών

Μοντέλο M/M/1

Χρησιμοποιείται για την μελέτη ενός συστήματος ουρών αναμονής όπου ισχύουν τα εξής: Η διαδικασία αφίξεων των πελατών ακολουθεί την κατανομή Poisson με μέσο ρυθμό αφίξεων ίσο με λ ανά χρονική μονάδα. Η διαδικασία εξυπηρέτησης ακολουθεί κατανομή Poisson με μέσο πλήθος πελατών που εξυπηρετούνται ανά χρονική μονάδα ίσο με μ. Δηλαδή, ο χρόνος

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

εξυπηρέτησης ακολουθεί την εκθετική κατανομή με μέση τιμή $1/\mu$. Υπάρχει μία θέση εξυπηρέτησης. Το πλήθος των πελατών στην πηγή είναι άπειρο (πάρα πολύ μεγάλο), οι πελάτες εξυπηρετούνται με πειθαρχία FIFO, σχηματίζουν μια ουρά η οποία έχει άπειρη χωρητικότητα και δεν αποχωρούν όσο μεγάλη και εάν είναι η ουρά. Η θεμελιώδης σχέση που πρέπει να ισχύει για να μπορεί να υπάρξει κατάσταση ισορροπίας, είναι $\lambda < \mu$.

Μοντέλο M/M/s

Χρησιμοποιείται για τη μελέτη ενός συστήματος ουρών αναμονής όπου ισχύουν τα εξής: Η διαδικασία αφίξεων των πελατών ακολουθεί την κατανομή Poisson με μέσο όρο αφίξεων λ ανά χρονική μονάδα. Υπάρχουν περισσότερες από μία παράλληλες θέσεις εξυπηρέτησης ($s > 1$). Ο χρόνος εξυπηρέτησης σε κάθε θέση ακολουθεί την εκθετική κατανομή με μέσο πλήθος πελατών που εξυπηρετούνται σε κάθε θέση, μ ανά χρονική μονάδα. Το πλήθος των πελατών στην πηγή είναι πρακτικά άπειρο, οι πελάτες εξυπηρετούνται με βάση τη σειρά προσέλευσης (FIFO), σχηματίζουν μια ουρά η οποία έχει άπειρη χωρητικότητα και δεν αποχωρούν όσο μεγάλη και εάν είναι η ουρά και εξυπηρετούνται από την πρώτη διαθέσιμη μονάδα εξυπηρέτησης. Η θεμελιώδης σχέση που πρέπει να ισχύει για να μπορεί να υπάρξει κατάσταση ισορροπίας, είναι $\lambda < s\mu$.

Μοντέλο M/G/1

Χρησιμοποιείται για την μελέτη ενός συστήματος ουρών αναμονής όπου ισχύουν τα εξής: Η διαδικασία αφίξεων των πελατών ακολουθεί την κατανομή Poisson με μέσο όρο αφίξεων λ ανά χρονική μονάδα. Υπάρχει μία θέση εξυπηρέτησης. Ο χρόνος εξυπηρέτησης δεν ακολουθεί αναγκαστικά την εκθετική κατανομή αλλά οποιαδήποτε κατανομή με μέση τιμή ($1/\mu$) και διακύμανση σ^2 . Συνεπώς, γνωρίζουμε μόνο το μέσο πλήθος πελατών που εξυπηρετούνται που είναι μ ανά χρονική μονάδα. Το πλήθος των πελατών στην πηγή είναι πρακτικά άπειρο, οι πελάτες εξυπηρετούνται με πειθαρχία FIFO, σχηματίζουν μια ουρά η οποία έχει άπειρη χωρητικότητα και δεν αποχωρούν όσο μεγάλη και εάν είναι η ουρά. Η θεμελιώδης σχέση που πρέπει να ισχύει για να μπορεί να υπάρξει κατάσταση ισορροπίας, είναι $\lambda < \mu$. Για να υπολογίσουμε τους δείκτες απόδοσης, για το μοντέλο αυτό χρειάζεται να γνωρίζουμε εκτός από τη μέση τιμή $1/\mu$ και την διακύμανση σ^2 (ή την τυπική απόκλιση σ) της κατανομής του χρόνου εξυπηρέτησης.

Μοντέλο M/M/1/k

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

Χρησιμοποιείται για την μελέτη ενός συστήματος ουρών αναμονής όπου ισχύουν τα εξής: Η διαδικασία αφίξεων των πελατών ακολουθεί την κατανομή Poisson με μέσο ρυθμό αφίξεων λ ανά χρονική μονάδα. Υπάρχει μία θέση εξυπηρέτησης. Ο χρόνος εξυπηρέτησης ακολουθεί την εκθετική κατανομή με μέση τιμή $1/\mu$, δηλαδή το μέσο πλήθος πελατών που εξυπηρετούνται είναι μ ανά χρονική μονάδα (κατανομή Poisson). Το πλήθος των πελατών στην πηγή είναι πρακτικά άπειρο, οι πελάτες εξυπηρετούνται με βάση τη σειρά προσέλευσης (FIFO), σχηματίζουν μια ουρά η οποία έχει χωρητικότητα ίση με $k-1$, δηλαδή k πελάτες συνολικά στο σύστημα (ένας βρίσκεται στη θέση εξυπηρέτησης). Το σύστημα μπορεί να φθάσει σε κατάσταση ισορροπίας χωρίς να ισχύει $\lambda < \mu$. Διότι όταν γεμίσει η ουρά αναμονής απλώς δεν εισέρχονται άλλοι πελάτες.

Μοντέλο M/M/1/N

Χρησιμοποιείται για τη μελέτη ενός συστήματος ουρών αναμονής όπου ισχύουν τα εξής: Η διαδικασία αφίξεων των πελατών ακολουθεί την κατανομή Poisson με μέσο όρο αφίξεων λ ανά χρονική μονάδα. Υπάρχει μία θέση εξυπηρέτησης. Ο χρόνος εξυπηρέτησης ακολουθεί την εκθετική κατανομή με μέση τιμή $(1/\mu)$, δηλαδή το πλήθος πελατών που εξυπηρετούνται ακολουθεί την κατανομή Poisson με μέση τιμή μ πελάτες ανά χρονική μονάδα. Το πλήθος των πελατών στην πηγή είναι πεπερασμένο (ίσο με N), οι πελάτες εξυπηρετούνται με πειθαρχία FIFO και σχηματίζουν μια ουρά η οποία έχει άπειρη χωρητικότητα.

Μοντέλο M/D/1

Μία ειδική περίπτωση του μοντέλου M/G/1 είναι εκείνη, στην οποία η διακύμανση του χρόνου εξυπηρέτησης είναι μηδενική, δηλαδή $\sigma^2 = 0$. Ουσιαστικά, πρόκειται για την περίπτωση συστήματος με μία θέση, που εξυπηρετεί όλους τους πελάτες πάντα στον ίδιο προσδιοριστικό (σταθερό) χρόνο, ίσο με $1/\mu$. Δηλαδή, είναι ένα σύστημα με πρακτικά αμελητέα μεταβλητότητα στο χρόνο εξυπηρέτησης. Τέτοια συστήματα εμφανίζονται για παράδειγμα σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις, όπου μηχανές (σταθμοί επεξεργασίας) εκτελούν επαναλαμβανόμενες εργασίες σε συγκεκριμένο πάντα χρονικό διάστημα. Το σύστημα αυτό, με διαδικασία αφίξεων Poisson, μία θέση εξυπηρέτησης και σταθερό ίδιο για όλους τους πελάτες χρόνο εξυπηρέτησης, συμβολίζεται με M/D/1. Στην περίπτωση αυτή, αρκεί να αντικαταστήσουμε στη σχέση για το L_q που δίνεται για το μοντέλο M/G/1 το $\sigma^2 = 0$ και να υπολογίσουμε το L_q . Έτσι μετά την εκτέλεση των πράξεων παίρνουμε τη σχέση για το μέσο χρόνο αναμονής του μοντέλου M/D/1:

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

$$L_q = \frac{l^2}{2n(n-1)}, \text{ (Σχέση 2)}$$

και στη συνέχεια μπορούμε να βρούμε και τους υπόλοιπους βασικούς δείκτες απόδοσης, χρησιμοποιώντας τους γνωστούς τύπους με τους οποίους συνδέονται μεταξύ τους.

Οι μαθηματικές σχέσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό των μέτρων λειτουργικότητας των παραπάνω συστημάτων σε κατάσταση ισορροπίας, δίνονται για κάθε μοντέλο στους πίνακες που ακολουθούν. Αν υπολογίσει κανείς ένα ή δύο δείκτες (π.χ. το L_q ή/και το P_0) μπορεί να υπολογίσει και τους υπόλοιπους, αφού αυτοί συνδέονται μεταξύ τους.

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

| | M/M/1 | M/M/s |
|---|--|---|
| L_s : μέσο πλήθος πελατών που βρίσκονται σε κατάσταση εξυπηρέτησης | $L_s = \frac{l}{m}$ | $L_s = \frac{l}{m}$ |
| ρ : Βαθμός απασχόλησης του συστήματος εξυπηρέτησης | $r = \frac{l}{m}$ | $r = \frac{l}{sm}$ |
| L_q : μέσο πλήθος πελατών στην ουρά αναμονής | $L_q = \frac{l^2}{m(m-l)}$ | $L_q = \frac{(l/m)^s l m}{(s-1)!(sm-l)^2} \times P_0$ |
| L : μέσο πλήθος πελατών στο σύστημα συνολικά | $L = \frac{l}{m-l}$ ή $L = L_q + L_s = L_q + \frac{l}{m}$ | $L = L_q + L_s = L_q + \frac{l}{m}$ |
| W_q : μέσο χρόνος αναμονής ενός πελάτη στην ουρά | $W_q = \frac{l}{m(m-l)}$ ή $W_q = \frac{L_q}{l}$ | $W_q = \frac{L_q}{l}$ |
| W : μέσο χρόνος παραμονής ενός πελάτη στο σύστημα | $W = \frac{1}{m-l}$ ή $W = \frac{L}{l}$ ή $W = W_q + \frac{1}{m}$ | $W = \frac{L}{l}$ ή $W = W_q + \frac{1}{m}$ |
| P_0 : πιθανότητα να μην υπάρχει κανένας πελάτης στο σύστημα ή ισοδύναμα το ποσοστό του χρόνου που όλες οι θέσεις είναι αδρανείς | $P_0 = 1 - \frac{l}{m}$ | $P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{s-1} \frac{(l/m)^n}{n!} + \frac{(l/m)^s}{s!} \times \frac{sm}{sm-l}}$ |
| P_w : πιθανότητα ένας πελάτης που φθάνει στο σύστημα να χρειαστεί να περιμένει | $P_w = 1 - P_0$ | $P_w = \frac{1}{s!} \frac{(l/m)^s}{sm-l} P_0$ |

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

| | | |
|---|---|---|
| P_n : πιθανότητα να υπάρχουν n πελάτες στο σύστημα | $P_n = \frac{\lambda^n}{n!} \times P_0$ | $P_n = \begin{cases} \frac{1}{n!} \frac{\lambda^n}{m^n} \times P_0, & n \leq s \\ \frac{1}{s! s^{n-s}} \frac{\lambda^n}{m^n} \times P_0, & n > s \end{cases}$ |
| $P_{n>k}$: πιθανότητα να υπάρχουν περισσότεροι από k πελάτες στο σύστημα | $P_{n>k} = \frac{\lambda^{k+1}}{(k+1)!} \times P_0$ | $P_{n>k} = 1 - (P_0 + P_1 + \dots + P_k)$ |

Πίνακας 3.2. Μαθηματικές σχέσεις για τον υπολογισμό των μέτρων λειτουργικότητας (1)

| | M/G/1 | M/M/1/k | M/M/1/N |
|---|--|---|---|
| L_s : μέσο πλήθος πελατών που βρίσκονται στη διαδικασία εξυπηρέτησης | $L_s = \frac{\lambda}{m}$ | $L_s = \frac{\lambda}{m}$ | $L_s = \frac{\lambda}{m}$ |
| ρ : πιθανότητα η θέση να είναι απασχολημένη (βαθμός απασχόλησης της θέσης) | $\rho = \frac{\lambda}{m}$ | $\rho = \frac{\lambda}{m}$ | $\rho = \frac{\lambda}{m}$ |
| L_q : μέσο πλήθος πελατών στην ουρά αναμονής | $L_q = \frac{\lambda^2 s^2 + \frac{\lambda^2}{m^2}}{2\lambda - \frac{\lambda}{m}}$ | $L_q = L - \frac{\lambda(1 - P_k)}{m}$ $L_q = L - (1 - P_0)$ | $L_q = N - \frac{\lambda + m}{\lambda} (1 - P_0)$ |
| L : μέσο πλήθος πελατών στο σύστημα | $L = L_q + L_s = L_q + \frac{\lambda}{m}$ | $L = \frac{\lambda/m}{1 - \lambda/m} - \frac{(k+1) \frac{\lambda}{m}}{1 - \frac{\lambda}{m}^{k+1}} =$ $\frac{\rho}{1 - \rho} - \frac{(k+1)\rho^{k+1}}{1 - \rho^{k+1}}$ | $L = L_q + (1 - P_0)$ |
| W_q : μέσος χρόνος αναμονής ενός πελάτη στην ουρά | $W_q = \frac{L_q}{\lambda}$ | $W_q = \frac{L_q}{\lambda(1 - P_k)}$ ή $W_q = W - \frac{1}{m}$ | $W_q = \frac{L_q}{\lambda(N - L)}$ |

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

| | | | |
|--|--|---|---|
| W: μέσος χρόνος παραμονής ενός πελάτη στο σύστημα | $W = \frac{L}{l}$ ή $W = W_q + \frac{1}{m}$ | $W = \frac{L}{l(1 - P_k)}$ | $W = W_q + \frac{1}{m}$ |
| P_0 : η πιθανότητα να μην υπάρχει κανένας πελάτης στο σύστημα ή ισοδύναμα το ποσοστό του χρόνου που η μονάδα εξυπηρέτησης δεν απασχολείται | $P_0 = 1 - \frac{l}{m}$ | $P_0 = \frac{1 - l/m}{1 - (l/m)^{k+1}} = \frac{1 - r}{1 - r^{k+1}}$ | $P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^N \frac{M!}{(N-n)!} \frac{l^n}{m^n}}$ |
| P_w : η πιθανότητα ένας πελάτης που φθάνει στο σύστημα να χρειαστεί να περιμένει | $P_w = 1 - P_0$ | $P_w = 1 - P_0$ | $P_w = 1 - P_0$ |
| P_n : η πιθανότητα να υπάρχουν n πελάτες στο σύστημα | $P_n = \frac{l^n}{m^n} \times P_0$ | $P_n = (P_0) \frac{l^n}{m^n} = P_0 \times r^n$ όταν $n \leq k$ | $P_n = (P_0) \frac{l^n}{m^n} \frac{M!}{(N-n)!}$ για $n \leq N$ |
| $P_{n>k}$: η πιθανότητα να υπάρχουν περισσότεροι από k πελάτες στο σύστημα | $P_{n>k} = \frac{l^{k+1}}{m^{k+1}}$ | $P_{n>k} = 1 - (P_0 + P_1 + \dots + P_k)$ όταν το n είναι μικρότερο από τη χωρητικότητα του συστήματος και 0 όταν το n είναι μεγαλύτερο από τη χωρητικότητα του συστήματος | $P_{n>k} = 1 - (P_0 + P_1 + \dots + P_k)$ |

Πίνακας 3.3. Μαθηματικές σχέσεις για τον υπολογισμό των μέτρων λειτουργικότητας (2)

3.4 Ουρές και λήψη αποφάσεων

Τα συστήματα ουρών αναμονής και η ανάλυσή τους προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα στις επιχειρήσεις, βοηθώντας τα στελέχη να λάβουν σοβαρές αποφάσεις. Τα συστήματα ουρών μπορούν να λύσουν από πολύ εύκολα και απλά προβλήματα μέχρι να μελετήσουν διάφορες εκδοχές ενός συστήματος και να πάρουν τα στελέχη σημαντικές αποφάσεις για την επιχείρησή τους. Ακόμα μπορεί να εφαρμοστεί σχεδόν σε όλους τους τομείς και τις επιστήμες και να λύσουν προβλήματά τους με διάφορες τεχνικές και μαθηματικές μεθόδους. Η μεγαλύτερη

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

χρησιμότητά τους βρίσκεται στα συγκριτικά αποτελέσματα που προσφέρουν στην αντιμετώπιση ενός προβλήματος κάτω από διαφορετικά σενάρια. Λαμβάνοντας υπόψη και άλλους παράγοντες όπως κόστος βελτίωσης της εξυπηρέτησης με τεχνικά μέσα, κόστος πρόσθετων μονάδων εξυπηρέτησης κ.ά., μπορούν να ληφθούν αποφάσεις για το σενάριο που εξυπηρετεί καλύτερα τους σκοπούς ενός οργανισμού ή μιας επιχείρησης.

Βέβαια εκτός από πλεονεκτήματα, υπάρχουν και μειονεκτήματα, με βασικότερο, πως σε πολλές περιπτώσεις για να επιτευχθεί η μείωση του χρόνου αναμονής των πελατών σε μια ουρά αναμονής, τις περισσότερες φορές συνεπάγεται και αύξηση του κόστους. Για αυτό το λόγο απαιτείται ανάλυση των ουρών, γιατί μπορούν να προσφέρουν λύση στο πρόβλημα, χωρίς αύξηση του κόστους. Η προσπάθεια απλά για μείωση του χρόνου αναμονής, χωρίς να έχει γίνει ανάλυση της ουράς, μπορεί να οδηγήσει σε υψηλά κόστη. Επίσης οι εταιρείες, για να μπορέσουν να βρουν τα χαρακτηριστικά μιας ουράς αναμονής με μαθηματικά μοντέλα, θα πρέπει να έχει στο ανθρώπινο δυναμικό της άτομα με ειδικές γνώσεις στα μαθηματικά.

Κεφάλαιο 4

Παραδείγματα Προσομοίωσης και Θεωρίας Ουρών

4.1. Προσομοίωση σε εταιρεία παραγωγής παπουτσιών

Έστω μια μεγάλη εταιρεία παπουτσιών με διάφορες γραμμές παραγωγής, που συμβολίζεται ως A, δέχεται το 2009 μια πρόταση από ανταγωνιστή με όνομα B. Η πρόταση είναι η B να αποσυρθεί από τη μητροπολιτική περιοχή, αφήνοντας στην A την αποκλειστική διανομή παπουτσιών, αρκεί η A να απέσυρε τις διάφορες γραμμές παραγωγής, εκτός από τρεις ειδικές γραμμές. Οι δύο εταιρείες συμφώνησαν και εφαρμόστηκε το πλάνο της συμφωνίας από 1/1/2010. Το πρώτο εξάμηνο η εταιρεία A αύξησε σε μεγάλο βαθμό τις πωλήσεις της, που συγκριτικά με το πρώτο εξάμηνο του 2009 η αύξηση ανερχόταν σε επίπεδα 20-37%. Όμως είχαν αρχίσει παράπονα από τους πελάτες σχετικά με την ποιότητα των παπουτσιών και τον Ιούλιο ένας πελάτης έκανε μήνυση για ζημιά στο πόδι του λόγω της κακής κατασκευής των παπουτσιών της εταιρείας A. Το θέμα πήρε μεγάλη δημοσιότητα και άρχισαν τα έσοδα και οι πωλήσεις να μειώνονται. Το 2013 ένας αναλυτής ανέλαβε να εκτιμήσει τις συνολικές ζημιές. Τα έσοδα, τα έξοδα και τα κέρδη της εταιρείας αποτελούν τη βάση για την ανάπτυξη του μοντέλου. Στον Πίνακα 4.1 φαίνονται τα έσοδα, τα πάγια και μεταβλητά κόστη καθώς και τα έξοδα ενοικίου.

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

| Δεδομένα της Α σε χιλιάδες δολάρια | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
| Πωλήσεις | 382 | 680 | 1202 | 1318 | 1288 | 1400 | 800 | 103 | 287 | 811 |
| Κόστος αγαθών | 207 | 401 | 706 | 780 | 765 | 880 | 500 | 96 | 220 | 465 |
| Μεικτά κέρδη | 175 | 279 | 496 | 538 | 523 | 520 | 300 | 7 | 67 | 346 |
| Ενοίκια | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 |
| Μεταβλητά έξοδα | 28 | 51 | 79 | 88 | 96 | 103 | 53 | 9 | 22 | 58 |
| Πάγια έξοδα | 187 | 198 | 204 | 220 | 290 | 305 | 280 | 207 | 224 | 226 |
| Συνολικά έξοδα | 251 | 285 | 319 | 344 | 422 | 450 | 375 | 258 | 288 | 326 |
| Κέρδος | -76 | -6 | 177 | 194 | 101 | 70 | -75 | -251 | -221 | 20 |

Πίνακας 4.1. Δεδομένα της Α σε χιλιάδες δολάρια

Εκτιμώντας τα στοιχεία της αγοράς, το ιστορικό των πωλήσεων και άλλους παράγοντες, η σχέση για τις πωλήσεις στο n-οστό έτος είναι η εξής:

$$(\text{Πωλήσεις})_n = \min [(\text{πωλήσεις})_{n-1} * (1,1), (2500)]$$

Όπου το 1,1 προκύπτει από την εκτίμηση ότι η μέση ετήσια αύξηση των πωλήσεων είναι 10% και το 2500 (σε χιλιάδες δολάρια) είναι το μέγιστο συνολικό ποσό των πωλήσεων ανά έτος, που μπορεί να προκύψει χωρίς παράλληλη αύξηση σε πάγια κόστη ή άλλα μεγέθη.

Το μεικτό περιθώριο ορίζεται στο 55%, δηλαδή το προσδοκώμενο κόστος των αγαθών στο μοντέλο προσομοίωσης είναι το 45%, άρα

$$\text{Κόστος αγαθών}_n = (\text{πωλήσεις})_n * 0,45$$

Τα μεταβλητά κόστη κυμάνθηκαν στο 7% των πωλήσεων, άρα

$$\text{Μεταβλητό Κόστος}_n = (\text{πωλήσεις})_n * 0,07$$

Με βάση τα παραπάνω οι υπόλοιποι βασικοί τύποι είναι οι εξής:

$$(\text{Μεικτό κέρδος})_n = (\text{πωλήσεις})_n - (\text{κόστος των πωλήσεων})_n$$

$$(\text{Συνολικά έξοδα})_n = (\text{ενοίκια})_n + (\text{μεταβλητά κόστη})_n + (\text{σταθερά κόστη})_n$$

$$(\text{Αναμενόμενο κέρδος})_n = (\text{μεικτό περιθώριο})_n - (\text{συνολικά έξοδα})_n$$

$$(\text{Απώλειες})_n = (\text{αναμενόμενα κέρδη})_n - (\text{πραγματικά κέρδη})_n$$

$$(\text{Αθροιστικές απώλειες})_n = (\text{αθροιστικές απώλειες})_{n-1} + (\text{απώλειες})_n$$

Εκτός από τις απώλειες που πρέπει να εκτιμηθούν, πρέπει να υπολογιστεί και η μείωση στην αξία της επιχείρησης. Η μείωση αυτή, δεδομένου ότι ο παράγοντας κεφαλαιοποίησης εκτιμήθηκε στις 5 μονάδες, είναι:

$$(\text{Μείωση της αξίας})_{2013} = (\text{απώλεια})_{2013} * 5^2$$

Η συνολική απώλεια, συμπεριλαμβανομένης και της μείωσης της αξίας ισούται με:

$$(\text{Συνολική απώλεια})_{2013} = (\text{αθροιστική απώλεια})_{2013} + (\text{μείωση της αξίας})_{2013}$$

Στον Πίνακα 4.2 απεικονίζεται η εκτίμηση των απωλειών για την εταιρεία, βασισμένη σε ρυθμό ανάπτυξης 10%, για τα έτη 2009 έως 2013.

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

| Εκτίμηση των απωλειών για την εταιρεία, βασισμένη σε ρυθμό ανάπτυξης 10%, για τα έτη 2009 έως 2013 σε χιλιάδες δολάρια | | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
| Πωλήσεις | 1400 | 1540 | 1694 | 1863 | 2050 |
| Κόστος αγαθών | 880 | 693 | 762 | 839 | 922 |
| Μεικτά κέρδη | 520 | 847 | 932 | 1025 | 1127 |
| Ενοίκια | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 |
| Μεταβλητά έξοδα | 103 | 108 | 119 | 130 | 143 |
| Πάγια έξοδα | 305 | 280 | 207 | 224 | 226 |
| Συνολικά έξοδα | 450 | 430 | 368 | 396 | 411 |
| Αναμενόμενο κέρδος | 70 | 417 | 564 | 628 | 716 |
| Πραγματικό κέρδος | 70 | -75 | -251 | -221 | 20 |
| Απώλεια ανά έτος | | 492 | 815 | 849 | 696 |
| Αθροιστική απώλεια | | 492 | 1307 | 2157 | 2853 |
| Μείωση της αξίας | | | | | 3480 |
| Συνολική απώλεια | | | | | 6333 |

Πίνακας 4.2. Εκτίμηση των απωλειών για την εταιρεία, βασισμένη σε ρυθμό ανάπτυξης 10%, για τα έτη 2009 έως 2013 σε χιλιάδες δολάρια

Με βάση το μοντέλο οι αθροιστικές απώλειες ανέρχονται στα 2.853.000 δολάρια, η μείωση της αξίας σε 3.480.000 δολάρια, δηλαδή απώλεια ανά έτος επί του παράγοντα

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

κεφαλαιοποίησης ($696.000 \cdot 5$) και η συνολική απώλεια είναι το άθροισμά τους, δηλαδή $2.853.000 + 3.480.000 = 6.333.000$ δολάρια.

Το μοντέλο εκτιμήθηκε με 1000 επαναλήψεις και ο μέσος των 1000 τιμών που θα προκύψουν για τις συνολικές απώλειες θα είναι η προσδοκώμενη τιμή. Ο Πίνακας 4.3 παρουσιάζει τις συνολικές απώλειες του 2013, με βάση την προσομοίωση σε 1000 επαναλήψεις. Οι συνολικές απώλειες έχουν προσδοκώμενη τιμή 6.022.000 δολάρια (μέση τιμή των 1000 επαναλήψεων).

| Στατιστικά προσομοίωσης 1000 επαναλήψεων (σε χιλιάδες δολάρια) | |
|--|-------|
| Ελάχιστο | 3.504 |
| Μέγιστο | 8.531 |
| Μέσος | 6.022 |

Πίνακας 4.3. Συνολικές απώλειες για το 2013

4.2 Προσομοίωση σε εταιρεία ναύλωσης

Το δεύτερο παράδειγμα επικεντρώνεται στην εξέταση των βημάτων της διαδικασίας και του ελέγχου που γίνεται. Έστω λοιπόν ότι σε μια εταιρεία ναύλωσης οι ενέργειες προς ανάλυση είναι οι εξής:

1. Προετοιμασία δήλωσης εξαγωγών
2. Προετοιμασία ναυτιλιακών οδηγιών
3. Καθορισμός παραμέτρων για τις διαδικαστικές ενέργειες και έλεγχος ενέργειας 1, που οδηγεί σε διόρθωση σφαλμάτων που έγιναν στην ενέργεια 2
4. Εκτέλεση του προγράμματος προσομοίωσης και επεξεργασία της ενέργειας 3, που οδηγεί σε διόρθωση σφαλμάτων που έγιναν στην ενέργεια 2.

Οι παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη είναι ενσωματωμένες στο λογισμικό της παρουσίασης. Το λογισμικό αυτό θα δημιουργήσει αυτόματα εμπορικές συναλλαγές, σύμφωνα με το ιστορικό συναλλαγών της εταιρείας, ώστε να βγουν κάποια συμπεράσματα. Οι επαναλήψεις που εκτελέστηκαν είναι 100 και τα αποτελέσματα που προέκυψαν φαίνονται στον Πίνακα 4.5, ενώ ο Πίνακας 4.4 δείχνει τις παραμέτρους που εισήχθησαν.

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

| Παράμετροι | Εύρος |
|---|-------------------------|
| Ποσό συναλλαγής | 1.000 έως 10.000 |
| Ποσότητα παραγγελίας σε τόνους | 0,1 έως 4,0 |
| Απόσταση σε μίλια | $\mu=2.500, \sigma=500$ |
| Κόστος τόνος/μίλι σε δολάρια | 0,005 έως 0,50 |
| Μέσος ρυθμός σφαλμάτων της ενέργειας 1 | 5% |
| Αριθμός σφαλμάτων της ενέργειας 1 | $\mu=500, \sigma=75$ |
| Μέσος ρυθμός σφαλμάτων της ενέργειας 2 | 30% |
| Μέσος ρυθμός ανίχνευσης στο βήμα ελέγχου 1 | 60% |
| Κόστος του βήματος ελέγχου 1 | 1.000 |

Πίνακας 4.4. Παράμετροι συστήματος

| | |
|---|----------------|
| Μέσο Ποσό συναλλαγής | 5.782 δολάρια |
| Μέση Ποσότητα παραγγελίας σε τόνους | 1.833 τόνοι |
| Μέση Απόσταση σε μίλια | 2.506 μίλια |
| Μέσο Κόστος τόνος/μίλι σε δολάρια | 0,2533 δολάρια |
| Μέσο κόστος ναύλωσης | 1.052 δολάρια |
| Πραγματικός Αριθμός σφαλμάτων της ενέργειας 1 | 8% |
| Πραγματικός ρυθμός σφαλμάτων της ενέργειας 2 | 27% |
| Πραγματικός ρυθμός ανίχνευσης της ενέργειας 1 | 65% |
| Πραγματικός ρυθμός αποτυχίας της ενέργειας 1 | 35% |
| Αριθμός εντοπισμένων σφαλμάτων στην ενέργεια 2 | 18 |
| Αριθμός μη εντοπισμένων σφαλμάτων στην | 9 |

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

| | |
|------------|--|
| ενέργεια 2 | |
|------------|--|

Πίνακας 4.5. Αποτελέσματα προσομοίωσης

Στους επόμενους πίνακες φαίνονται οι κατανομές των σφαλμάτων στις ενέργειες 1 και 2. Ο Πίνακας 4.6 δείχνει ότι 8 σφάλματα της ενέργειας 1 έγιναν και κανένα δεν εντοπίστηκε, αφού η ενέργεια 3 εντοπίζει σφάλματα μόνο για την ενέργεια 2. Τα 8 σφάλματα προκάλεσαν συνολικό κόστος 3.673 δολάρια και το κόστος ανά σφάλμα ήταν 470,38.

| Κατηγορία | Αριθμός | Συνολικό ποσό | Μέσο ποσό |
|-------------------------------|----------------|----------------------|------------------|
| Σφάλματα που εντοπίστηκαν | 0 | 0 | 0 |
| Σφάλματα που δεν εντοπίστηκαν | 8 | 3.763 | 470,38 |
| Συνολικά σφάλματα | 8 | 3.763 | 470,38 |

Πίνακας 4.6. Κατανομή σφαλμάτων διαδικασίας 1

Ο Πίνακας 4.7 δείχνει ότι συνέβησαν 27 συνολικά σφάλματα στην ενέργεια 2. Τα σφάλματα αυτά προέκυψαν από τον εσφαλμένο υπολογισμό του κόστους ναύλωσης και μπορεί να είναι είτε θετικό είτε αρνητικό. Έχουμε 15 αρνητικά (εσφαλμένο κόστος ναύλωσης < πραγματικό κόστος) και 12 θετικά (εσφαλμένο κόστος ναύλωσης > πραγματικό κόστος). Ο έλεγχος εντόπισε και διόρθωσε 11 αρνητικά και 7 θετικά. Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.7 δεν εντοπίστηκαν 4 αρνητικά σφάλματα, δηλαδή η εταιρεία από το μη εντοπισμό τους έχει κόστος 3.115 δολάρια. Ο έλεγχος (σύμφωνα με Πίνακα 4.4) κοστίζει 1.000 δολάρια, ενώ εντοπίστηκαν αρνητικά σφάλματα συνολικής αξίας 11.990 δολαρίων, άρα η εταιρεία έχει όφελος 10.990 δολάρια. Επίσης θα μπορούσε η εταιρεία να εξετάσει να εκτελεί έλεγχο που να εντοπίζει σφάλματα και στην ενέργεια 1, αρκεί το κόστος του ελέγχου να είναι μικρότερο από το κόστος των σφαλμάτων αυτών, δηλαδή μικρότερο από 3.763 δολάρια.

| Κατηγορία | Αριθμός | Συνολικό ποσό (δολάρια) | Μέσο ποσό (δολάρια) |
|-------------------------|---------|----------------------------|------------------------|
| Εντοπισμένα σφάλματα | | | |
| Αρνητικά | 11 | 11.990 | 1.090 |
| Θετικά | 7 | 6.024 | 860,60 |
| Σύνολο | 18 | 5.967 | 331,50 |
| Μη εντοπισμένα | | | |
| Αρνητικά | 4 | 3.115 | 779 |
| Θετικά | 5 | 3.280,80 | 656 |
| Σύνολο | 9 | 165,80 | 18,42 |
| Συνολικά σφάλματα | | | |
| Αρνητικά | 15 | 15.105 | 1.007 |
| Θετικά | 12 | 9.304,80 | 775,40 |
| Σύνολο | 27 | 5.800,20 | 214,90 |

Πίνακας 4.7. Κατανομή σφαλμάτων διαδικασίας 2

4.3 Προσομοίωση ουράς αναμονής σε θύρα διόδων

Έστω ότι σε μια θύρα διόδων φτάνουν αυτοκίνητα σύμφωνα με μια ανέλιξη Poisson και μέση τιμή 90 ανά ώρα. Ο μέσος χρόνος για να περάσει τη θύρα ένα αυτοκίνητο είναι 38 δευτερόλεπτα. Οι οδηγοί παραπονιούνται ότι ο χρόνος αναμονής είναι μεγάλος. Η διοίκηση της εταιρείας που διαχειρίζεται τα διόδια είναι διατεθειμένη να εισάγει νέες αυτόματες συσκευές για να ρίξει το μέσο χρόνο εξυπηρέτησης στα 30 δευτερόλεπτα. Αυτό μπορεί να δικαιολογηθεί μόνο στην περίπτωση που, σύμφωνα με **το παλιό σύστημα**, ο αριθμός αυτών που περιμένουν ξεπερνά τους 5 και επιπλέον το ποσοστό του χρόνου μη-απασχόλησης στο **νέο σύστημα** δεν ξεπερνά το 10%. Μπορεί η νέα συσκευή να είναι δικαιολογημένη;

Επίλυση

Χωρίζουμε την ανάλυση σε Παλιό και Νέο σύστημα.

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

A. Παλιό σύστημα: Πρόκειται για σύστημα ουράς M/M/1 με $\lambda=90$ αφίξεις/ώρα, δηλαδή 1,5 αφίξεις/λεπτό και $1/\mu=38$ δευτερόλεπτα

Άρα $\mu=(1/38) * 60 = 1,58$ αναχωρήσεις/λεπτό

Ο αναμενόμενος αριθμός αυτοκινήτων που περιμένουν στην ουρά είναι:

$$L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} = 17,8 \text{ αυτοκίνητα}$$

B. Νέο σύστημα

Στο νέο σύστημα το $\lambda=1,5$ αφίξεις/λεπτό και $1/\mu=30$ δευτερόλεπτα

Άρα $\mu=(1/30) * 60= 2$ αναχωρήσεις/λεπτό

Το ποσοστό του χρόνου που η θύρα δεν εργάζεται:

$$P\{Q=0\} = p_0 = 1 - \rho = 1 - \lambda/\mu = 1 - 1,5/2 = 0,25, \text{ δηλαδή } 25\%.$$

Αφού ξεπερνά το 10% το ποσοστό που η θύρα δεν εργάζεται, τότε η νέα συσκευή δε δικαιολογείται.

4.4 Προσομοίωση ουράς αναμονής σε συνεργείο αυτοκινήτων

Σε ένα συνεργείο αυτοκινήτων έρχονται κατά μέσο όρο για επισκευή 2 αυτοκίνητα περίπου την ώρα, ενώ ο χρόνος που χρειάζεται ο μηχανικός για εξυπηρέτηση είναι 20 λεπτά περίπου για κάθε αυτοκίνητο. Για την βελτίωση του συστήματος υπάρχουν δύο σενάρια.

A) Να εξοπλιστεί το συνεργείο με ηλεκτρονικό έλεγχο έτσι ώστε ο χρόνος ελέγχου να μειωθεί σε 15 λεπτά περίπου.

B) Να μην γίνεται ηλεκτρονικός έλεγχος αλλά να προσληφθεί 2ος μηχανικός.

Πως επηρεάζονται

- Ο μέσος αριθμός αυτοκινήτων που βρίσκονται στην αναμονή (ουρά);

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

- Ο χρόνος αναμονής στην ουρά;
- Ο συνολικός χρόνος παραμονής στο συνεργείο;
- Η πιθανότητα να είναι απασχολημένο το συνεργείο;

Επίλυση

Ουσιαστικά ζητάμε τα μεγέθη:

1) L_q 2) W_q 3) W 4) $1 - P_0$

- Το γενικό μοντέλο είναι αρχικά M/M/1, με $\lambda=2$, $\mu=3$ (εφόσον χρειάζονται 20' για κάθε αυτοκίνητο)
- Στο σενάριο A το γενικό μοντέλο είναι M/M/1, με $\lambda=2$, $\mu=4$ (εφόσον χρειάζονται 15' για κάθε αυτοκίνητο)
- Στο σενάριο B το γενικό μοντέλο είναι M/M/2, με $\lambda=2$, $\mu=3$ (εφόσον έχουμε δύο μηχανικούς)

Σύμφωνα με το τυπολόγιο του πίνακα 3.2 για ουρές M/M/1 και M/M/s (με $s=2$) προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

| | ΑΡΧΙΚΑ | ΣΕΝΑΡΙΟ A | ΣΕΝΑΡΙΟ B |
|----------------------------------|---------------|------------------|------------------|
| L_q αυτοκίνητα σε αναμονή | 1,33 | 0,5 | 0,08 |
| W_q χρόνος αναμονής | 40 λεπτά | 15 λεπτά | 2,5 λεπτά |
| W συνολικός χρόνος παραμονής | 60 λεπτά | 30 λεπτά | 22,5 λεπτά |
| $1 - P_0$ πιθανότητα απασχόλησης | 67% | 50% | 50% |

Πίνακας 4.8. Αποτελέσματα για σενάρια A και B σε σχέση με την αρχική κατάσταση

Στο σενάριο A ο χρόνος εξυπηρέτησης μειώθηκε μόνο κατά 5 λεπτά και ο μέσος χρόνος παραμονής ενός αυτοκινήτου στο συνεργείο μειώθηκε κατά 30 λεπτά. Στο σενάριο B, ο μέσος χρόνος αναμονής μειώθηκε στα 2,5 λεπτά.

4.5 Προσομοίωση ουράς αναμονής σε τράπεζα

Μία τράπεζα λειτουργεί σύμφωνα με τον ακόλουθο τρόπο A: Τις ώρες αιχμής οι πελάτες οι οποίοι ζητούν εξυπηρέτηση από τα ταμεία (για οποιοδήποτε τύπου συναλλαγή), καταφθάνουν κατά μέσο όρο ένας κάθε 1,6 λεπτά με το χρόνο που παρεμβάλλεται ανάμεσα σε διαδοχικές αφίξεις να ακολουθεί την εκθετική κατανομή. Η τράπεζα τις ώρες αιχμής διατηρεί ανοικτά 5 ομοιόμορφα ταμεία με μία κοινή ουρά αναμονής και πειθαρχία FIFO. Από ανάλυση ιστορικών οικονομικών στοιχείων έχει εκτιμηθεί ότι όταν οι πελάτες βρίσκονται στο κατάστημα, είτε περιμένοντας είτε εξυπηρετούμενοι, προκαλείται ένα κόστος για την τράπεζα το οποίο ανέρχεται στα € την ώρα (ανά πελάτη). Ένα οποιοδήποτε από τα πέντε ομοιόμορφα ταμεία χρειάζεται κατά μέσο όρο 6 λεπτά για να ολοκληρώσει την εξυπηρέτηση ενός πελάτη, ακολουθώντας εκθετική κατανομή χρόνου εξυπηρέτησης. Το σχετικό (μεταβλητό) ωριαίο κόστος για την τράπεζα για τη διατήρηση ενός ανοικτού ταμείου ανέρχεται στα €45.

Η διοίκηση του καταστήματος διερευνά την εφαρμογή του ακόλουθου προτεινόμενου τρόπου λειτουργίας B: Δεν μπορεί να αλλάξει τίποτα σχετικά με τον τρόπο άφιξης των πελατών ο οποίος συνεχίζει να είναι κατά μέσο όρο ένας πελάτης ανά 1,6 λεπτά με εκθετική κατανομή. Όμως, προτείνεται να αλλάξει ο τρόπος λειτουργίας των ταμείων τις ώρες αιχμής ώστε να αφιερωθεί ένα από τα πέντε ταμεία αποκλειστικά για την εξυπηρέτηση των πελατών που θέλουν να πραγματοποιήσουν μόνο καταθέσεις. Το ταμείο αυτό θα έχει δική του ξεχωριστή ουρά αναμονής με πειθαρχία FIFO. Τα υπόλοιπα τέσσερα ταμεία θα συνεχίσουν να λειτουργούν όπως πριν με μία κοινή ουρά αναμονής, επίσης με πειθαρχία FIFO. Σημειώνεται, ότι από στοιχεία που υπάρχουν είναι γνωστό ότι το ποσοστό των προσερχόμενων πελατών που ανήκουν

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

στην κατηγορία εκείνη που θέλουν να πραγματοποιήσουν μόνο καταθέσεις ανέρχεται στο 25% του συνόλου των πελατών. Επίσης, ο μέσος χρόνος εξυπηρέτησης των πελατών της κατηγορίας αυτής είναι 3 λεπτά (εκθετική κατανομή χρόνου εξυπηρέτησης) ενώ ο μέσος χρόνος εξυπηρέτησης των υπολοίπων πελατών είναι 7 λεπτά (εκθετική κατανομή χρόνου εξυπηρέτησης). Το κόστος αναμονής – παραμονής πελάτη για την τράπεζα παραμένει το ίδιο όπως και στην περίπτωση Α ανεξάρτητα από την κατηγορία στην οποία ανήκει, δηλαδή ίσο με € ανά ώρα (ανά πελάτη). Το ίδιο όπως και πριν παραμένει το κόστος παροχής εξυπηρέτησης για οποιοδήποτε τύπο ταμείου δηλαδή €45 την ώρα.

Το ερώτημα που τίθεται και πρέπει να μελετηθεί είναι σε κατάσταση ισορροπίας, να πραγματοποιηθούν οι απαραίτητοι υπολογισμοί ώστε να γίνει επιλογή μεταξύ του τρέχοντος τρόπου λειτουργίας Α και του προτεινόμενου τρόπου Β, με βάση το συνολικό προσδοκώμενο λειτουργικό κόστος.

Επίλυση:

Γίνεται σύγκριση δύο συστημάτων εξυπηρέτησης έστω Α και Β. Η περίπτωση Α είναι η τρέχουσα κατάσταση και είναι ένα σύστημα Μ/Μ/5. Η περίπτωση Β είναι ένα σύστημα αποτελούμενο από δύο παράλληλα υποσυστήματα τα οποία λειτουργούν μαζί φυσικά, το πρώτο είναι τύπου Μ/Μ/4 και το δεύτερο τύπου Μ/Μ/1. Χρησιμοποιείται ως στοιχειώδη μονάδα μέτρησης του χρόνου η 1 ώρα ώστε να υπάρχει ομοιογένεια στα αποτελέσματα (κυρίως στον υπολογισμό του κόστους). **Οι προαπαιτούμενοι υπολογισμοί για την τρέχουσα κατάσταση Α είναι οι εξής:**

Οι πελάτες καταφθάνουν με διαδικασία Poisson με μέσο ρυθμό $\lambda = 37,5$ πελάτες/ώρα, αφού ο μέσος χρόνος που παρεμβάλλεται μεταξύ διαδοχικών αφίξεων ανέρχεται στα 1,6 λεπτά ($60/1,6 = 37,5$). Έχουμε πέντε ομοιόμορφα ταμεία, δηλαδή έχουν το καθένα ίδια κατανομή εξυπηρέτησης (Poisson) με μέσο ρυθμό έστω μ , ο οποίος για κάθε ταμείο είναι ίσος με 10 πελάτες /ώρα (αφού ο μέσος χρόνος εξυπηρέτησης είναι 6 λεπτά). Επειδή είναι $\lambda/\mu = 37,5/(5 \cdot 10) = 37,5/50 = 0,75 < 1$ υπάρχει σύγκλιση σε κατάσταση ισορροπίας και μπορούμε να προχωρήσουμε στους υπολογισμούς. Έτσι, για τον τρέχοντα τρόπο λειτουργίας Α, σε κατάσταση

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

ισορροπίας, χρησιμοποιώντας τους τύπους για το σύστημα M/M/s, για $\lambda = 37,5$, $\mu = 10$ και $s=5$, παίρνουμε τα ακόλουθα:

Πρώτα υπολογίζουμε την πιθανότητα P_0 που είναι απαραίτητη για τον υπολογισμό

του L_{qA} που θα ακολουθήσει. Είναι λοιπόν
$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{s-1} \frac{(l/m)^n}{n!} + \frac{(l/m)^s}{s!} \times \frac{sm}{sm-1}}$$

που δίνει για $s=5$

$$P_0 = \frac{1}{\frac{37,5^0}{0!} + \frac{37,5^1}{1!} + \frac{37,5^2}{2!} + \frac{37,5^3}{3!} + \frac{37,5^4}{4!} + \frac{37,5^5}{5!} \times \frac{5 \times 10}{5 \times 10 - 37,5}}$$

= = 0,018681 (δηλαδή περίπου 1,87%).

· Μέσο μήκος ουράς αναμονής:
$$L_{qA} = \frac{(l/m)^s l m}{(s-1)!(sm-1)^2} \times P_0 =$$

$$\frac{\frac{37,5^5}{5!} \times 37,5 \times 10}{(5-1)!(5 \times 10 - 37,5)^2} \times P_0 = 1,385367 \text{ πελάτες}$$

· Μέσο πλήθος πελατών στο σύστημα:
$$L_A = L_{qA} + \frac{l}{m} = 1,385367 + 37,5/10 = 5,135367 \text{ πελάτες.}$$

Οι προαπαιτούμενοι υπολογισμοί για τον προτεινόμενο τρόπο λειτουργίας B είναι οι εξής:

Καταρχάς, οι πελάτες όλων των κατηγοριών μαζί συνεχίζουν να καταφθάνουν με συνολικό μέσο ρυθμό $\lambda = 37,5$ πελάτες/ώρα. Όμως σύμφωνα με το σενάριο, το 25% από αυτούς είναι πελάτες μόνο καταθέσεων, άρα στην πραγματικότητα έχουμε διάσπαση του αρχικού μέσου ρυθμού άφιξης σε δύο κατευθύνσεις, εκείνη των

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

πελατών της κατηγορίας μόνο καταθέσεων, που είναι $\lambda_1 = \lambda \cdot 0,25 = 37,5 \cdot 0,25 = 9,375$ πελάτες την ώρα και εκείνη των πελατών των υπολοίπων κατηγοριών που είναι $\lambda_2 = \lambda \cdot 0,75 = 37,5 \cdot 0,75 = 28,125$ πελάτες την ώρα. Προφανώς $\lambda_1 + \lambda_2 = \lambda = 37,5$.

Έχουμε λοιπόν ένα σύστημα εξυπηρέτησης αποτελούμενο από δύο παράλληλα, ταυτόχρονα λειτουργούντα υποσυστήματα, με διαφορετική ουρά αναμονής το καθένα, αλλά με κοινή πηγή πελατών και κοινό συνολικό ρυθμό άφιξης $\lambda = 37,5$, με διάσπαση όμως σε δύο ουρές, κάθε μία εκ των οποίων έχει το δικό της ρυθμό άφιξης. Το πρώτο υποσύστημα είναι τύπου M/M/1 με $\lambda_1 = 9,375$ και $\mu_1 = 20$ (αφού απαιτούνται 3 λεπτά κατά μέσο όρο για κάθε πελάτη της κατηγορίας αυτής). Το δεύτερο υποσύστημα είναι M/M/4 με $\lambda_2 = 28,125$ και $\mu_2 = 60/7 = 8,571428$ πελάτες ανά ώρα, για κάθε ένα από τα τέσσερα ομοιόμορφα ταμεία του (αφού απαιτούνται 7 λεπτά κατά μέσο όρο για κάθε πελάτη της κατηγορίας αυτής). Στην πρώτη περίπτωση είναι $\lambda/\mu_1 = 9,375/20 < 1$ και στη δεύτερη περίπτωση είναι $\lambda/s\mu = 28,125/(4 \cdot 8,571428) = 28,125/34,285712 = 0,820312 < 1$. Συνεπώς, υπάρχει σύγκλιση σε κατάσταση ισορροπίας και στα δύο παράλληλα υποσυστήματα του B τρόπου λειτουργίας επομένως μπορούμε να συνεχίσουμε με τους υπολογισμούς. Τα δύο υποσυστήματα ας τα καλούμε εφεξής B1 και B2. Έτσι, για το υποσύστημα B1 σε κατάσταση ισορροπίας, χρησιμοποιώντας τους τύπους για το σύστημα M/M/1, για $\lambda_1 = 9,375$ και $\mu_1 = 20$, παίρνουμε τα ακόλουθα:

· Μέσο μήκος ουράς αναμονής υποσυστήματος B1: $L_{q1} = \frac{l_1^2}{\eta(\eta - l_1)} =$

$$\frac{(9,375)^2}{20(20 - 9,375)} = 0,413603 \text{ πελάτες.}$$

· Μέσο πλήθος πελατών, υποσύστημα B1: $L_1 = \frac{l_1}{\eta - l_1} = L_{q1} + \frac{l_1}{\eta} =$

$$0,413603 + \frac{9,375}{20} = 0,882353 \text{ πελάτες.}$$

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

Για το υποσύστημα B2 σε κατάσταση ισορροπίας, χρησιμοποιώντας τους τύπους για το σύστημα M/M/s, για s=4, λ₂ = 28,125 και μ₂ = 60/7 = 8,571428 παίρνουμε τα ακόλουθα:

- Πρώτα υπολογίζουμε το P₀ που είναι απαραίτητο για τον υπολογισμό του L_{q2} που θα ακολουθήσει. Είναι:

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{s-1} \frac{(l_2 / m_2)^n}{n!} + \frac{(l_2 / m_2)^s}{s!} \times \frac{sm_2}{sm_2 - l_2}}$$
 που δίνει:

$$P_0 = \frac{1}{\frac{28,125^0}{60/7 \cdot 0!} + \frac{28,125^1}{60/7 \cdot 1!} + \frac{28,125^2}{60/7 \cdot 2!} + \frac{28,125^3}{60/7 \cdot 3!} + \frac{28,125^4}{60/7 \cdot 4!} + \frac{4 \times (60/7)}{4 \times (60/7) - 28,125}}$$

$$= 0,023567.$$

Συνεπώς, το μέσο μήκος ουράς αναμονής στο υποσύστημα B2 είναι:

$$L_{q2} = \frac{\left(\frac{l_2}{m_2}\right)^s l_2 m_2}{(s-1)! (sm_2 - l_2)^2} \times P_0 = \frac{\frac{28,125^4}{60/7} \times 28,125 \times (60/7)}{(4-1)! (4 \times 60/7 - 28,125)^2} \times P_0 = 2,891954$$

πελάτες

- Μέσο πλήθος πελατών στο υποσύστημα B2: $L_2 = L_{q2} + \frac{l_2}{m_2} = 2,891954 + 28,125/(60/7) = 6,173203$ πελάτες.

Για τον υπολογισμό του συνολικού λειτουργικού κόστους για τον Α τρόπο λειτουργίας έχουμε:

$$c_w = \text{€} \text{ ανά ώρα, } c_s = \text{€}45 \text{ ανά ώρα, } L_A = 5,135367 \text{ και } s=5. \text{ Οπότε,}$$

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

$$TC_A = WC_A + SC_A = c_w \cdot L_A + c_s \cdot s, \text{ \acute{a}\rho\alpha } TC_A = 3 \cdot 5,135367 + 45 \cdot 5 = \text{€}240,4061 \text{ \acute{a}\nu\alpha \acute{\omega}\rho\alpha.}$$

Ενώ, για τον υπολογισμό του συνολικού λειτουργικού κόστους για τον B τρόπο λειτουργίας έχουμε:

- Για το υποσύστημα B1:

$$c_w = \text{€} \text{ \acute{a}\nu\alpha \acute{\omega}\rho\alpha, } c_s = \text{€}45 \text{ \acute{a}\nu\alpha \acute{\omega}\rho\alpha, } L_1 = 0,882353 \text{ και } s=1. \text{ Οπότε,}$$

$$TC_{B1} = WC_{B1} + SC_{B1} = c_w \cdot L_1 + c_s \cdot s, \text{ \acute{a}\rho\alpha } TC_{B1} = 3 \cdot 0,882353 + 45 \cdot 1 = \text{€}47,647059 \text{ \acute{a}\nu\alpha \acute{\omega}\rho\alpha.}$$

- Για το υποσύστημα B2:

$$c_w = \text{€} \text{ \acute{a}\nu\alpha \acute{\omega}\rho\alpha, } c_s = \text{€}45 \text{ \acute{a}\nu\alpha \acute{\omega}\rho\alpha, } L_2 = 6,173203 \text{ και } s=4. \text{ Οπότε,}$$

$$TC_{B2} = WC_{B2} + SC_{B2} = c_w \cdot L_2 + c_s \cdot s, \text{ \acute{a}\rho\alpha } TC_{B2} = 3 \cdot 6,173203 + 45 \cdot 4 = \text{€}198,519609 \text{ \acute{a}\nu\alpha \acute{\omega}\rho\alpha.}$$

Συνεπώς, το συνολικό αναμενόμενο λειτουργικό κόστος για τον B τρόπο είναι:

$$TC_{B1} + TC_{B2} = 47,647059 + 198,519609 = 246,166666$$

Άρα., με βάση το αναμενόμενο λειτουργικό κόστος, το κατάστημα παραμένει στον A τρόπο λειτουργίας, αφού το λειτουργικό κόστος του B είναι μεγαλύτερο από το μέσο κόστος του τρόπου A κατά €5,76 ανά ώρα.

Κεφάλαιο 5

Προσομοίωση επιχειρησιακής διαδικασίας με χρήση του EXTEND

5.1 Σύντομη παρουσίαση του EXTEND

Το **EXTEND** αποτελεί ένα δυναμικό εργαλείο προσομοίωσης. Χρησιμοποιώντας το μπορούν να δημιουργηθούν δυναμικά μοντέλα από ένα ευρύ φάσμα πραγματικών διαδικασιών «χτίζοντας» blocks, να ανακαλυφτούν διαδικασίες καθώς και οι συσχετίσεις μεταξύ τους. Επίσης επιτρέπει στον ερευνητή να αλλάξει στη συνέχεια τα δεδομένα για να φτάσει στη βέλτιστη λύση. Αναπτύσσεται από την εταιρεία ImagineThat Inc, από τα τέλη της δεκαετίας του '80 πρόκειται για ένα από τα πιο προσιτά και διαδεδομένα περιβάλλοντα προσομοίωσης, με ευρεία χρήση από ακαδημαϊκούς, ερευνητές και επαγγελματίες, με εφαρμογές σε στατικά, δυναμικά, στοχαστικά, προσδιοριστικά, συνεχή και διακριτά συστήματα.

Η πιο δημοφιλής και σταθερή έκδοση του Extend έως τώρα είναι η έκτη έκδοση και αυτή χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία για την υλοποίηση. Η πιο πρόσφατη έκδοση του περιβάλλοντος είναι η ένατη έκδοση η οποία έχει την εμπορική ονομασία ExtendSim και η οποία επέφερε αρκετές μεταβολές τόσο στη διαδραστικότητα όσο και στην οργάνωση του περιβάλλοντος και τη μορφή των αντικειμένων. Οι εκδόσεις που μεσολάβησαν ανάμεσα στην έκτη και την ένατη έκδοση, είχαν κυρίως μεταβατικό χαρακτήρα, αφού οι δημιουργοί του προγράμματος εισήγαν σταδιακά τις αλλαγές στο λογισμικό.

Στο περιβάλλον Extend, ένα μοντέλο αποτελείται από επιμέρους αντικείμενα τα οποία ονομάζονται «**blocks**». Καθένα από τα blocks εκτελεί μια λειτουργία η οποία σχετίζεται με μια ή και περισσότερες διαδικασίες του πραγματικού συστήματος. Η διασύνδεση των blocks μεταξύ τους πραγματοποιείται με γραμμές σύνδεσης, που λέγονται **αγωγοί**, μέσα από τις οποίες κινούνται οι **οντότητες**, που λέγονται είτε

entities είτε **items** στην ορολογία του Extend, καθώς και οι **τιμές (values)**. Η ροή των οντοτήτων και των τιμών ακολουθεί μια λογική σειρά, βάσει της οποίας εκτελείται το πρόγραμμα, συνήθως από την πάνω αριστερά μέχρι την κάτω δεξιά γωνία του φύλλου εργασίας. Η επιλογή, η διάταξη και η διασύνδεση των αντικειμένων θα πρέπει να αποσκοπούν στην κατασκευή ενός μοντέλου που αποτελεί μια επαρκώς ρεαλιστική αναπαράσταση του πραγματικού συστήματος και το οποίο δύναται να παράγει εκείνα τα δεδομένα τα οποία, μέσω της στατιστικής τους επεξεργασίας, μπορούν να υποστηρίξουν κατάλληλα τη διαδικασία λήψης των αποφάσεων. Κάθε block δέχεται και διατηρεί, μεταξύ άλλων, πληροφορίες που εισάγει ο ίδιος ο χρήστης (**input fields**) οι οποίες ρυθμίζουν τη δραστηριότητα ή τη διεργασία που μιμείται ή διεκπεραιώνει το block. Η προσθήκη και η διαγραφή blocks, η μεταβολή συνδέσεων και η αλλαγή δεδομένων και παραμέτρων στα blocks προκαλούν μεταβολές στη συμπεριφορά του μοντέλου και θα πρέπει οι αναλυτές να τα λαμβάνουν υπόψη κατά τη διαδικασία λήψης απόφασης. Τα πρότυπα των blocks βρίσκονται σε **βιβλιοθήκες (libraries)**, από τις οποίες ο χρήστης αντλεί εκείνα που χρειάζεται για την κατασκευή του προγράμματος.

Κατά τη διάρκεια μιας προσομοίωσης, τα blocks τα οποία συνθέτουν ένα μοντέλο του EXTEND κάνουν υπολογισμούς που, γενικά, εξαρτώνται από τις εισόδους τους. Αφού κάνουν τους υπολογισμούς τους, τα blocks τοποθετούν τα αποτελέσματα αυτών στις εξόδους τους έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τα άλλα blocks. Το πρώτο block κάνει τους υπολογισμούς πριν από όλα τα άλλα που εξαρτώνται από τα αποτελέσματά του. Αφού το block αυτό τελειώσει τους υπολογισμούς, τα άλλα θα πρέπει να κάνουν υπολογισμούς κατά τη σειρά και διεύθυνση των συνδέσεών τους.

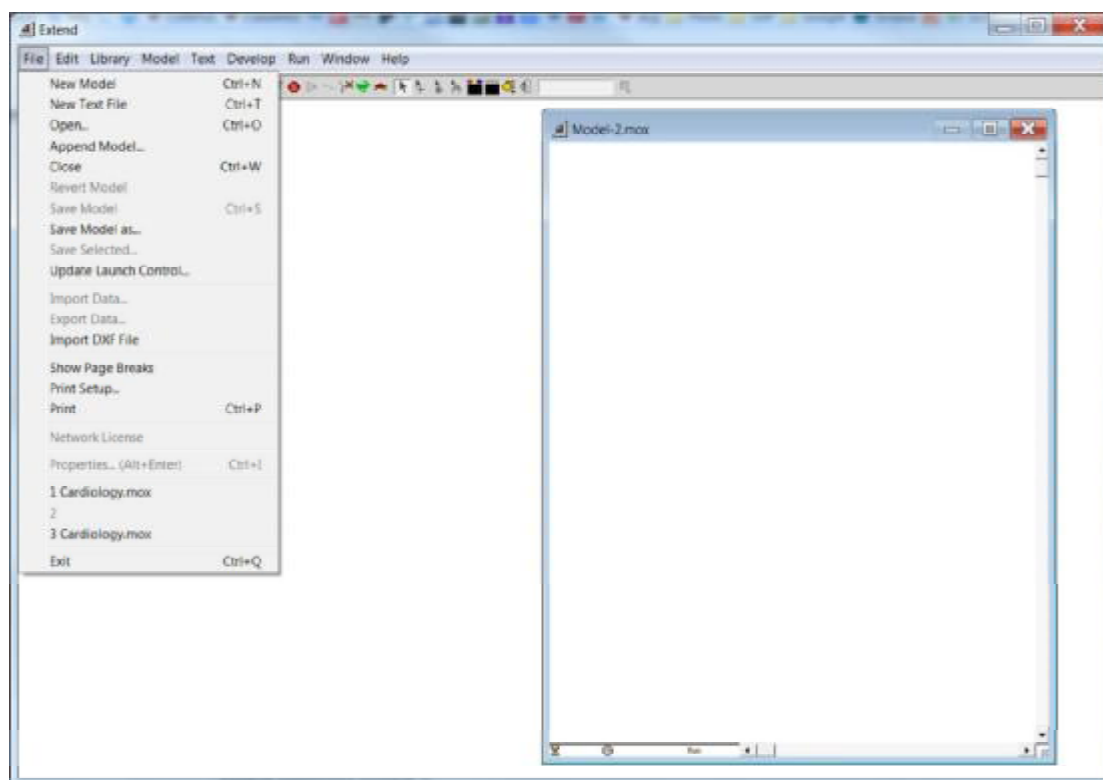
Οι κανόνες που το EXTEND χρησιμοποιεί για τη σειρά των υπολογισμών των blocks στα συνεχή μοντέλα είναι οι παρακάτω:

- Τα blocks που παράγουν εισόδους στην προσομοίωση τοποθετούνται πρώτα. Για παράδειγμα, τα Input Data ή Constant blocks με μόνο τις εξόδους τους συνδεδεμένες με τις εισόδους των άλλων blocks πρέπει να μουν πρώτα.

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

- Έπειτα, στο EXTEND ακολουθούν blocks τα οποία συνδέονται με τα πρώτα, με τη σειρά και κατεύθυνση των συνδέσεών τους.
- Τα μη συνδεδεμένα blocks και αυτά τα οποία έχουν μόνο εισόδους οι οποίες συνδέονται με εισόδους ακολουθούν τον κανόνα «**left to right**». Το block που βρίσκεται πιο αριστερά υπολογίζεται σαν πρώτο από το EXTEND, το αμέσως επόμενο αριστερά σαν δεύτερο κ.λ.π. Αν το μοντέλο κατευθύνεται δεξιά και στη συνέχεια γυρίζει κάπου αριστερά τότε συνεχίζουν να υπολογίζονται τα τοποθετημένα πιο αριστερά blocks.

Ανοίγοντας το πρόγραμμα του EXTEND γίνεται εισαγωγή στο περιβάλλον του. Μια τυπική οθόνη του προγράμματος φαίνεται στην Εικόνα 17.



Εικόνα 17. Περιβάλλον του EXTEND

Στην κορυφή του προγράμματος υπάρχει το βασικό μενού, το οποίο περιέχει τις βασικές επιλογές και λειτουργίες του προγράμματος.

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

- **File:** Εντολές δημιουργίας νέων φύλλων εργασίας, ανοίγματος υφιστάμενων αρχείων EXTEND, αποθήκευσης και εκτύπωσης καθώς και διαδικασίας εισαγωγής (import) δεδομένων από άλλα αρχεία του EXTEND.
- **Edit :** Εντολές αντιγραφής, αποκοπής, εύρεσης κ.λπ.
- **Library:** Εντολές χειρισμού των βιβλιοθηκών αντικειμένων.
- **Model:** Εντολές διαμόρφωσης του μοντέλου.
- **Text:** Εντολές διαμόρφωσης κειμένων που ενδεχομένως εισάγουμε στο μοντέλο.
- **Develop:** Εντολές που σχετίζονται με την ανάπτυξη νέων blocks και κώδικα.
- **Run:** Εντολές που σχετίζονται με τις παραμέτρους εκτέλεσης μιας προσομοίωσης, καθώς και με την έναρξη της εκτέλεσης κάτω από διάφορες συνθήκες. Επίσης, περιέχει εντολές που διευκολύνουν την ανάλυση ευαισθησίας, την παραγωγή αναφορών και την αποσφαλμάτωση (debugging).
- **Window:** Πρόσβαση σε πολλαπλά ανοιχτά παράθυρα.
- **Help:** Εύρεση πληροφοριών από το online εγχειρίδιο, πρόσβαση στις σελίδες υποστήριξης και αναβάθμισης του προγράμματος στο διαδίκτυο και πληροφορίες για την τρέχουσα έκδοση.

Εκτός του βασικού μενού, υπάρχει ακριβώς από κάτω η μπάρα εργαλείων, της οποίας οι επιλογές και τα κουμπιά διευκολύνουν το χρήστη στην εκτέλεση των πιο συνηθισμένων εντολών όπως είναι οι εντολές διαχείρισης αρχείων, ο καθορισμός του μεγέθους απεικόνισης του φύλλου εργασίας, η εκτέλεση, η παύση και η ταχύτητα εκτέλεσης ενός προγράμματος, τα χρώματα των σχημάτων, η εμφάνιση των συνδέσμων (connectors) κ.λπ. Το βασικό μενού και η μπάρα εργαλείων, όπως θα δούμε στη συνέχεια κατά την υλοποίηση, περιέχουν όλα όσα χρειάζεται ο χρήστης για να δημιουργήσει ένα μοντέλο σε EXTEND.

5.2 Εγκατάσταση EXTEND

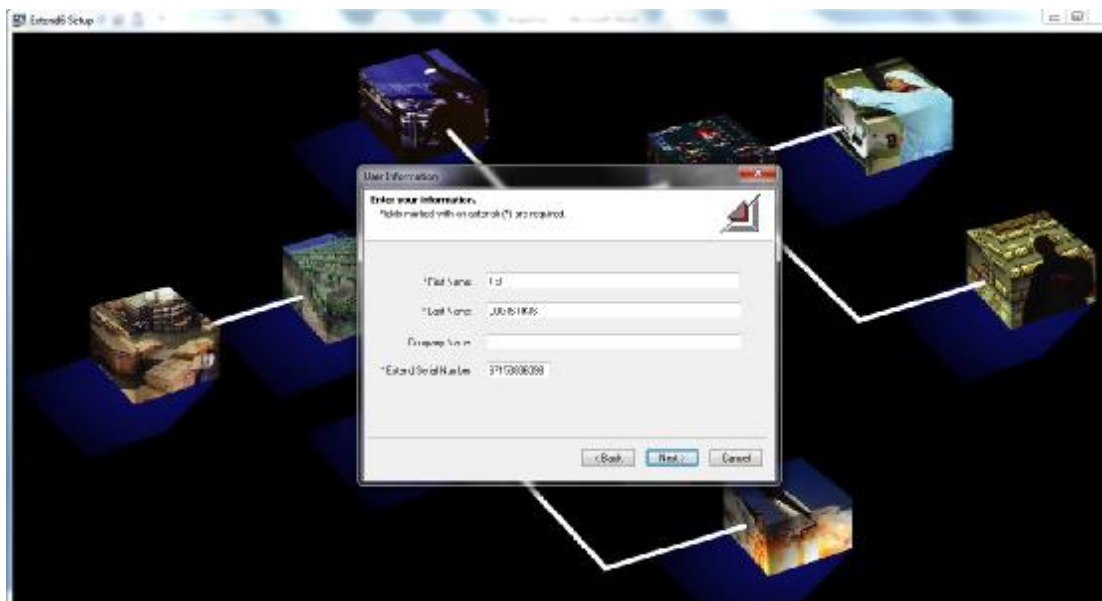
Στην ενότητα αυτή περιγράφονται τα βήματα εγκατάστασης του EXTEND σε λειτουργικό σύστημα Windows 7, 64-bit, έκδοση Home Premium. Στα αρχεία εγκατάστασης περιλαμβάνεται το αρχείο setup, στο οποίο κάνουμε διπλό κλικ για να ξεκινήσει η εγκατάσταση. Η πρώτη οθόνη που εμφανίζεται μας παρουσιάζει μια εικόνας προσομοίωσης και μας δίνει οδηγίες για την εγκατάσταση του προγράμματος.



Εικόνα 18. Αρχική οθόνη εγκατάστασης

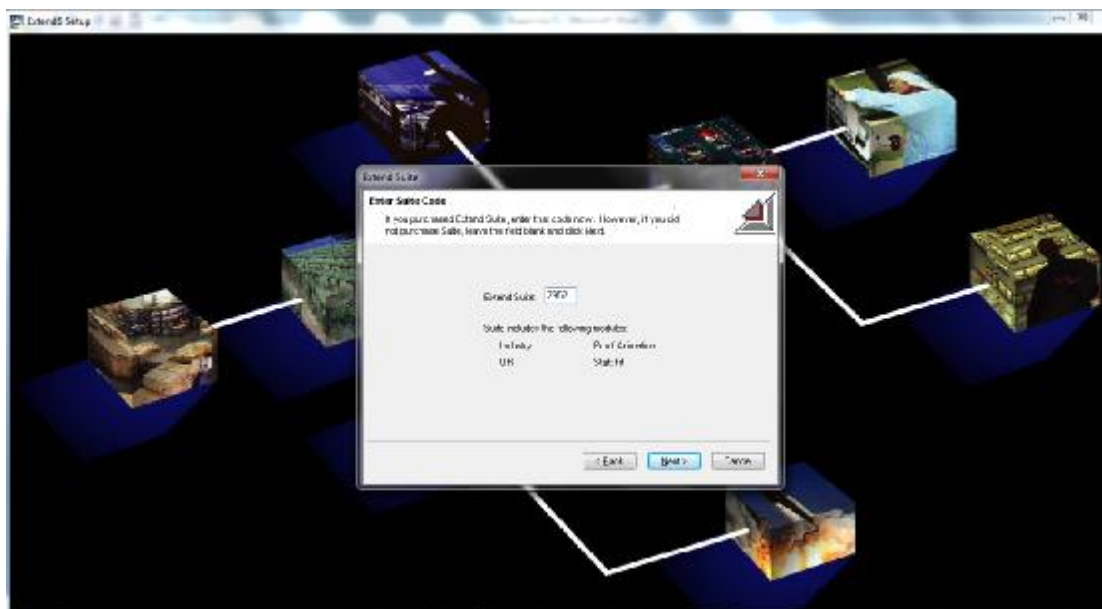
Συνεχίζουμε και μας βγάζει αναλυτικά τους όρους αδειας χρήσης του λογισμικού, τους οποίους αποδεχόμαστε και στο επόμενο βήμα μας ζητά να βάλουμε στοιχεία (Όν/μο και επωνυμία επιχείρησης), ενώ στο τελευταίο πεδίο ζητά να προσθέσουμε το serial number, το οποίο βρίσκεται στο αρχείο **EXTEND6 serial.txt** μαζί με τα αρχεία εγκατάστασης.

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών



Εικόνα 19. Εισαγωγή στοιχείων χρήστη και serial number

Αφού γίνεται επαλήθευση του serial number, θα πρέπει να εισαχθεί και το extend suite number, το οποίο αντιστοιχεί στο serial number που έχουμε εισάγει και βρίσκεται στο ίδιο αρχείο txt.



Εικόνα 20. Εισαγωγή Extend Suite number

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

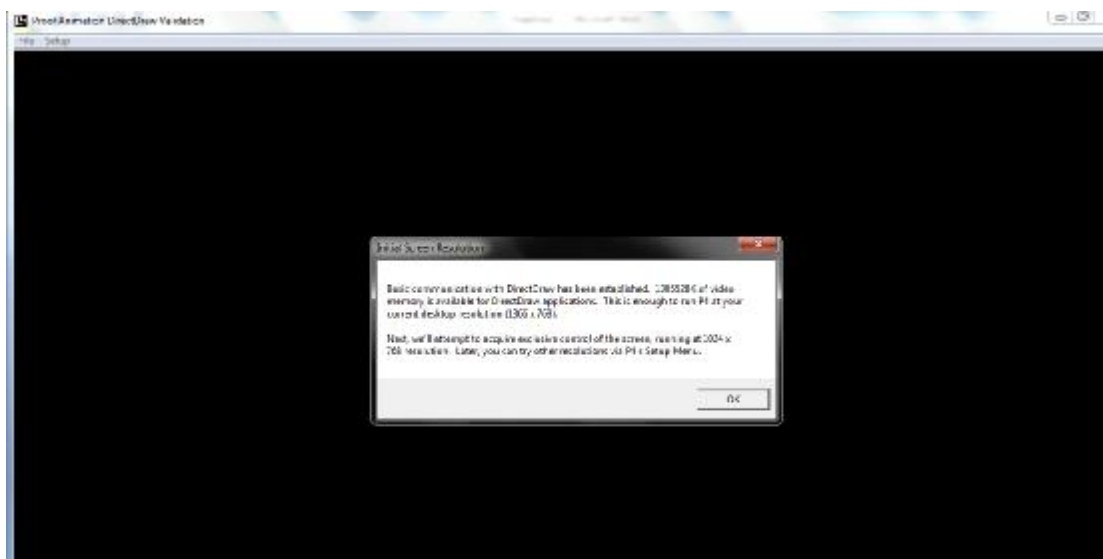
Στα επόμενα μηνύματα που βγαίνουν κατά την εγκατάσταση επιλέγουμε το κουμπί «Next» μέχρι να εμφανιστεί το μήνυμα για να τρέξουμε ένα διαγνωστικό τεστ ελέγχου, που θα εξασφαλίζει ότι το EXTEND θα τρέξει σωστά στον υπολογιστή μας.



Εικόνα 21. Μήνυμα για διαγνωστικό τεστ

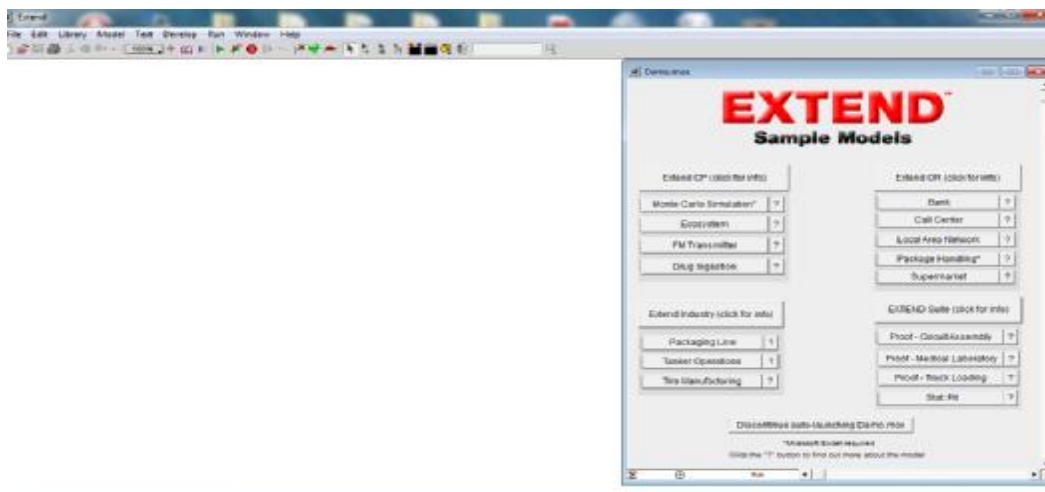
Επιλέγουμε να τρέξει το τεστ άμεσα, το οποίο θα εντοπίσει και θα εγκαταστήσει τα plugins που είναι απαραίτητα για να τρέξει το πρόγραμμα και θέτει και τις κατάλληλες ρυθμίσεις και ανάλυση στην οθόνη.

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών



Εικόνα 22. Αποτελέσματα του διαγνωστικού τεστ

Επίσης θα γίνουν εναλλαγές στην οθόνη σε full screen ανάμεσα σε μαύρο και κόκκινο. Είναι ο τελικός έλεγχος για να γίνουν οι βελτιστοποιημένες ρυθμίσεις σε οθόνη και κάρτα γραφικών. Μετά και από το τελευταίο στάδιο ελέγχου το σύστημα μας ζητά να κάνουμε επανεκκίνηση και στη συνέχεια είμαστε έτοιμοι να χρησιμοποιήσουμε το EXTEND. Κάνουμε διπλό κλικ και μπαίνουμε στο πρόγραμμα και είμαστε έτοιμοι να ξεκινήσουμε τη διαδικασία προσομοίωσης.



Εικόνα 23. Είσοδος στο EXTEND

5.3 Παράδειγμα προσομοίωσης σε Ιδιωτικό Εκπαιδευτικό Οργανισμό

Ως παράδειγμα για την προσομοίωση θα χρησιμοποιήσουμε τη λειτουργία ενός ιδιωτικού εκπαιδευτικού οργανισμού κατά τη διάρκεια των εγγραφών. Οι πελάτες προσέρχονται για να καταθέσουν το φάκελο με τα έγγρατά τους με τυχαίο τρόπο και το πλήθος των αφίξεων στη μονάδα του χρόνου ακολουθεί την κατανομή Poisson. Δηλαδή, κατά την προκαταρκτική μελέτη, αποδείχτηκε στατιστικά ότι τις ώρες αιχμής ο χρόνος μεταξύ δύο διαδοχικών αφίξεων ακολουθεί εκθετική κατανομή με μέση τιμή 4 λεπτά, δηλαδή, έχουμε μια διαδικασία αφίξεων Poisson με μέση τιμή 15 πελάτες ανά ώρα. Οι πελάτες προωθούνται σε μια ουρά αναμονής με πειθαρχία FIFO και στη συνέχεια, όταν έρθει η σειρά τους, εισέρχονται στο γραφείο των εγγραφών όπου ο χρόνος εξυπηρέτησης είναι ίδιος για όλους και ανέρχεται σε 6 λεπτά (θεωρούμε ότι η διαδικασία αυτή αφορά την κατάθεση του φακέλου των σπουδαστών, τον έλεγχο από τους υπαλλήλους και την εκτύπωση της αίτησης εγγραφών). Δηλαδή ξεκινάμε με ένα σύστημα αναμονής M/D/1, με μέσο ρυθμό άφιξης $\lambda=15$ πελάτες ανά ώρα και ρυθμό εξυπηρέτησης $\mu=10$ πελάτες ανά ώρα.

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

Προφανώς, όπως προαναφέρθηκε, για να φτάσουμε μέχρι εδώ έχει προηγηθεί προκαταρκτική μελέτη βάσει της οποίας και με την κατάλληλη επεξεργασία των δεδομένων εισόδου, έχουμε καταλήξει στα παραπάνω συμπεράσματα σχετικά με τις κατανομές άφιξης και εξυπηρέτησης. Το σύστημα είναι σχετικά πιο πολύπλοκο, όμως προσομοιώνουμε μία πιο απλή εκδοχή. Βασικές οντότητες είναι οι **πελάτες** και το **γραφείο εγγραφών**. Το στοχαστικό στοιχείο είναι, προς το παρόν, η διαδικασία άφιξης ενώ ο χρόνος στην εξυπηρέτηση είναι προσδιοριστικός. Η ενεργητική δραστηριότητα είναι η ολοκλήρωση της εγγραφής του πελάτη στο γραφείο εγγραφών, ενώ τα βασικά γεγονότα είναι η άφιξη και η αναχώρηση, δηλαδή η ολοκλήρωση της εξυπηρέτησης ενός πελάτη. Εφόσον υπάρχει κάποιος πελάτης στην ουρά αναμονής, η ολοκλήρωση εξυπηρέτησης σηματοδοτεί και την έναρξη της εξυπηρέτησης του επόμενου πελάτη, διαφορετικά το σύστημα μπαίνει σε αδράνεια.

Ο βασικός στόχος μας είναι να έχουμε σχετικά μικρούς χρόνους αναμονής και φυσικά μικρό μήκος στην ουρά αναμονής, καθώς και να εξυπηρετήσουμε περισσότερους πελάτες σε μια μέρα. Έστω ότι θέλουμε ο μέσος χρόνος αναμονής να μην ξεπερνά τα 30 λεπτά και να μπορέσουμε να εξυπηρετήσουμε σύνολο 210 εγγραφές σε δύο ημέρες. Οι μεταβλητές που επηρεάζουν αυτήν τη μέση τιμή είναι ο ρυθμός άφιξης (λ), ο ρυθμός εξυπηρέτησης (μ) και το γραφείο εξυπηρέτησης. Θεωρούμε ότι το γραφείο εξυπηρέτησης είναι ενιαίο και ότι ανεξάρτητα από τον ταυτόχρονο αριθμό υπαλλήλων σε αυτό η διαδικασία είναι συγκεκριμένη και δεν μπορεί το γραφείο να εξυπηρετήσει ταυτόχρονα περισσότερους του ενός πελάτες, λόγω του ότι πρέπει ο φάκελος κάθε υποψηφίου στο τέλος της διαδικασίας να δεχτεί σφραγίδες και πρωτόκολλα, που υπεύθυνο για αυτά είναι αποκλειστικά ένα άτομο, ενώ επίσης πρέπει να υπογραφεί και ο οικονομικός διακανονισμός για να εγκριθεί η εγγραφή. Η προσθήκη ατόμων μπορεί να βοηθήσει μόνο στα αρχικά βήματα της διαδικασίας που θα επιτρέψει να μειωθεί ο μέσος χρόνος αναμονής. Επίσης ο φάκελος κάθε υποψηφίου καθώς και ο οικονομικός διακανονισμός που υπογράφεται περιέχουν στοιχεία και έγγραφα που αποτελούν προσωπικά δεδομένα και δεν είναι δυνατή η ταυτόχρονη παρουσία δύο ή περισσότερων υποψηφίων στη διαδικασία αυτή. Θα εξετάσουμε εναλλακτική λύση το γραφείο να δουλέψει με επικαλυπτόμενα

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

ωράρια και περισσότερους υπαλλήλους, ώστε να λειτουργεί 12 ώρες και όχι 8 ώρες σε μια ημέρα. Αρχικά εξετάζουμε την περίπτωση κανονικού ωραρίου λειτουργίας, δηλαδή 8 ωρών και θα εξεταστεί στη συνέχεια η λειτουργία 12ώρου αλλά και η χρησιμοποίηση περισσότερων υπαλλήλων στον προκαταρκτικό έλεγχο του φακέλου, ώστε να μειωθεί ο μέσος χρόνος εξυπηρέτησης ανά άτομο.

Για την προσομοίωση διαδικασίας μέσω του EXTEND τα βήματα που ακολουθούμε συνήθως είναι τα εξής:

1. Ανοίγουμε ένα νέο, κενό φύλλο εργασίας.
2. Ανοίγουμε τις βιβλιοθήκες οι οποίες περιέχουν τα blocks που θα χρειαστούμε στο πρόγραμμα. Εννοείται ότι αυτό μπορεί να γίνει σε οποιοδήποτε στάδιο αν χρειαστεί να ανοίξουν επιπλέον βιβλιοθήκες. Συνήθως, στην προσομοίωση διακριτών γεγονότων χρειαζόμαστε τη βιβλιοθήκη **Discrete Event** και τη βιβλιοθήκη **Generic**. Επιπλέον, χρησιμοποιούμε συχνά τη βιβλιοθήκη **Plotter**.
3. Επιλέγουμε τα επιθυμητά blocks από τις βιβλιοθήκες, τα τοποθετούμε στο φύλλο εργασίας και τα συνδέουμε κατάλληλα με γραμμές σύνδεσης οντοτήτων και τιμών, χρησιμοποιώντας τους κατάλληλους συνδέσμους εισόδου ή εξόδου που βρίσκονται πάνω στα blocks. Συχνά, χρησιμοποιούμε συνδέσεις με ετικέτες για να αποφύγουμε την υπέρμετρη χρήση γραμμών σύνδεσης μέσα στο μοντέλο μας οι οποίες ενδεχομένως να το καθιστούν δύσχρηστο και δυσανάγνωστο. Προφανώς, αυτό είναι το πιο δημιουργικό αλλά και απαιτητικό τμήμα της διαδικασίας, αφού για να υλοποιηθεί πρέπει να γνωρίζουμε όσο γίνεται καλύτερα ποια blocks υλοποιούν ποιες λειτουργίες, ποιοι εναλλακτικοί τρόποι υλοποίησης υπάρχουν και ποια είναι τα αναμενόμενα αποτελέσματα.
4. Το πιθανότερο είναι ότι για κάθε block που εισάγεται στο μοντέλο μας, θα χρειαστεί να ανοίξουμε το παράθυρο διαλόγου κάνοντας διπλό κλικ πάνω στο block για να εισάγουμε τις κατάλληλες τιμές για τις παραμέτρους οι οποίες, με

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

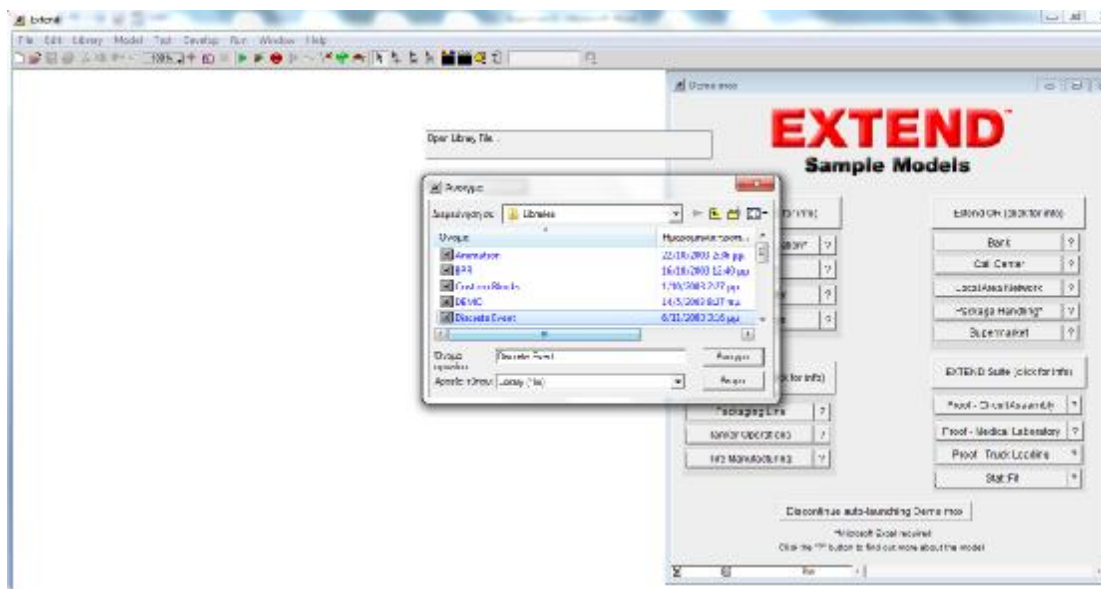
βάση τα δεδομένα που έχουμε συλλέξει ή τα πειράματα που θέλουμε να υλοποιήσουμε, καθορίζουν τον τρόπο λειτουργίας του.

5. Δημιουργούμε κλώνους (clones) πεδίων εισαγωγής (input) ή εξαγωγής στοιχείων (output) στο κυρίως τμήμα του φύλλου εργασίας για όσα πεδία πιστεύουμε ότι είναι χρήσιμο ή απαραίτητο. Με αυτόν τον τρόπο, μπορούμε να παρακολουθούμε την εξέλιξη τόσο των στοιχείων όσο και των δεικτών κατά την εκτέλεση της προσομοίωσης χωρίς να χρειάζεται να διατηρούμε ανοιχτά πολλαπλά παράθυρα διαλόγου.
6. Σε πολλές περιπτώσεις, είναι επιθυμητή η συγκέντρωση πληροφοριών εισόδου και εξόδου σε κάποιο άλλο μέσο (π.χ. Excel). Σ' αυτήν την περίπτωση, δίνεται η δυνατότητα δημιουργίας διεπαφών που εξυπηρετούν αυτόν τον σκοπό.
7. Κάποιες φορές, χρειάζεται να δημιουργήσουμε ιεραρχικά αντικείμενα, ώστε το ένα μοντέλο να μην καταλαμβάνει περισσότερο χώρο από μια οθόνη του υπολογιστή μας και να είναι σχετικά ευανάγνωστο και δομημένο.
8. Από το μενού **Run Simulation**→**Setup** καθορίζουμε τις γενικές παραμέτρους εκτέλεσης της προσομοίωσης. Αυτό αφορά πρωτίστως το ρολόι της προσομοίωσης, καθώς και τον χρόνο που θα τρέξει το πρόγραμμα, τις μονάδες μέτρησης του χρόνου, το πλήθος των επαναλήψεων, τις πιθανές ειδικές ρυθμίσεις των γεννητριών και των γεννητόρων κ.λπ.
9. Εκτελούμε την προσομοίωση, αφού έχουμε πρώτα προνοήσει για τις διαδικασίες επικύρωσης και επαλήθευσης, και πιστοποιήσει ότι το μοντέλο μας λειτουργεί με βάση το εννοιολογικό σχήμα και το υπό μελέτη σύστημα.
10. Παρατηρούμε τον τρόπο λειτουργίας, καθώς και τα γραφικά αποτελέσματα και συλλέγουμε τα δεδομένα εξόδου. Επεξεργαζόμαστε τα εν λόγω δεδομένα με στατιστικές μεθόδους για τον υπολογισμό διαστημάτων εμπιστοσύνης και με σκοπό τη διενέργεια περαιτέρω στατιστικών ελέγχων. Έτσι, αποκτούμε καλύτερη εικόνα για τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος, εντοπίζουμε προβληματικά σημεία που χρήζουν βελτίωσης, συγκρίνουμε εναλλακτικά σενάρια, διενεργούμε ανάλυση ευαισθησίας και κάνουμε προβλέψεις.

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

Δηλαδή, εξάγουμε πληροφορίες που μπορούν να βοηθήσουν στη διαδικασία λήψης των αποφάσεων.

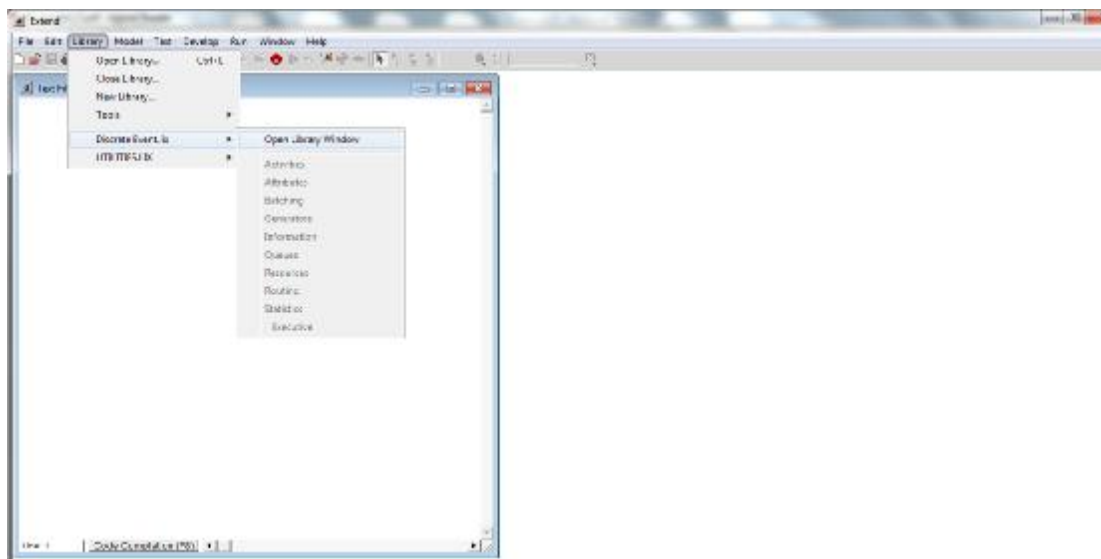
Συνεχίζοντας στο παράδειγμά μας, για να προσομοιώσουμε το σύστημα αυτό, αφού ενεργοποιήσουμε το περιβάλλον Extend, χρειαζόμαστε τη βασική βιβλιοθήκη προσομοίωσης διακριτών γεγονότων, δηλαδή, τη βιβλιοθήκη **Discrete Event (DE)**. Αφού, λοιπόν, ανοίξουμε ένα κενό φύλλο εργασίας, πηγαίνουμε στο μενού **Library**, πατάμε την επιλογή **Open Library**, εντοπίζουμε και ανοίγουμε τη βιβλιοθήκη Discrete Event.



Εικόνα 24. Ενεργοποίηση Discrete Event

Αν επιλέξουμε ξανά το μενού Library, η Discrete Event είναι ενεργοποιημένη και έτοιμη για χρήση.

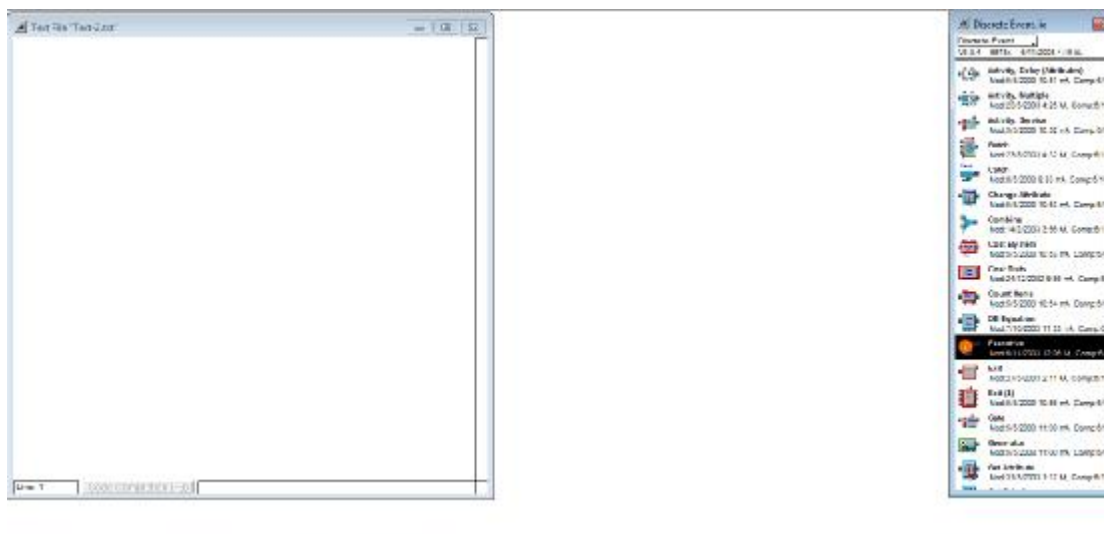
Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών



Εικόνα 25. Επιλογή Discrete Event

Στην ανάπτυξη της βιβλιοθήκης DE, παρατηρούμε ότι έχουμε αντικείμενα για όλες σχεδόν τις βασικές λειτουργίες, όπως **δραστηριότητες (activities)**, **ουρές (queues)**, **χρήση πόρων (resources)**, **δρομολόγηση (routing)**, αλλά και άλλες λειτουργίες όπως η **σύνθεση (batching)** και η **παροχή πληροφοριών (information)**. Το πιο σημαντικό block της συλλογής αυτής είναι το **Executive block** το οποίο ουσιαστικά είναι το ρολόι της προσομοίωσης, αυτό που οδηγεί την εκτέλεση του προγράμματος, διαμορφώνοντας παρασκηνιακά το ημερολόγιο των γεγονότων και τηρώντας τη διαδοχή των γεγονότων και δραστηριοτήτων με τρόπο **διαφανή (transparent)** για το χρήστη. Το **Executive block** είναι απολύτως απαραίτητο να βρίσκεται στην πάνω αριστερή γωνία του φύλλου εργασίας και δεν χρειάζεται να συνδέεται με κάποιο άλλο block.

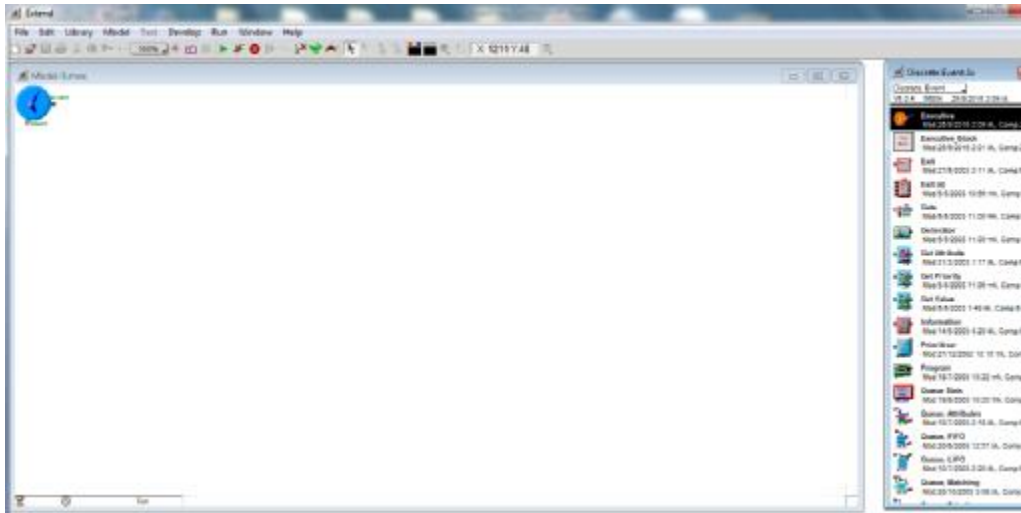
Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών



Εικόνα 26. Αντικείμενα βιβλιοθήκης DE

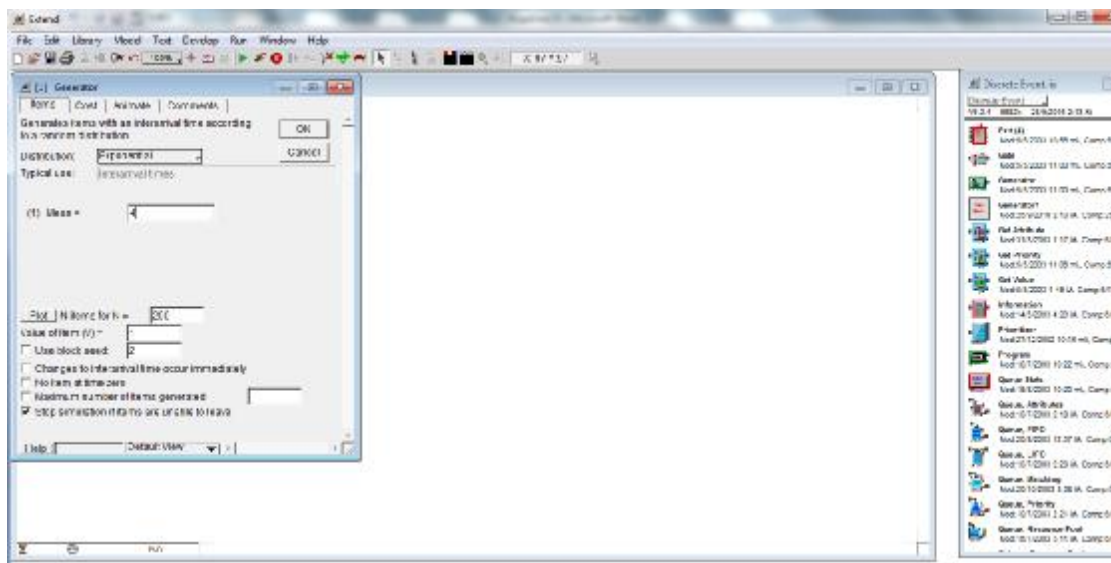
Για να υλοποιήσουμε το σύστημα που περιγράψαμε, χρειαζόμαστε το **Executive block**, μια **γεννήτρια (generator)** να παράγει πελάτες με διαδικασία **Poisson**, μια **ουρά αναμονής τύπου FIFO**, ένα **Activity block** που να παριστάνει το γραφείο εξυπηρέτησης και μια **έξοδο (exit)** για να πηγαίνουν οι πελάτες όταν ολοκληρώνεται η εξυπηρέτησή τους. Πατάμε **File** και μετά **New Model** ώστε να ξεκινήσουμε την κατασκευή ενός νέου μοντέλου. Επιλέγουμε τη δημιουργία ενός Executive block κάνοντας δεξί κλικ πάνω στην επιλογή Executive και επιλέγοντας **bulid new block**. Ένας πιο εύκολος τρόπος είναι κάνουμε τα είδη των blocks «drag n' drop» μέσα στο μοντέλο από την δεξιά μπάρα.

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών



Εικόνα 27. Δημιουργία Executive block

Αφού έχουμε τοποθετήσει στο μοντέλο το Executive block, προσθέτουμε μια γεννήτρια της οποίας το παράθυρο διαλόγου είναι ανοιχτό και έχουμε επιλέξει την εκθετική κατανομή με μέση τιμή ίση με 4 λεπτά (Mean=4).



Εικόνα 5.12. Δημιουργία generator block

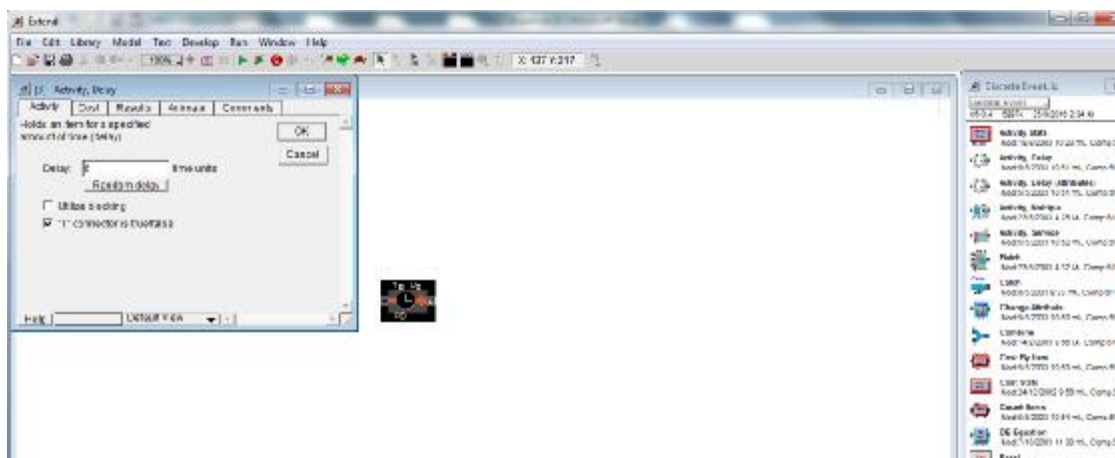
Αφού δημιουργήσαμε και το generator block, επιλέγουμε από τη δεξιά μπάρα την επιλογή Queue FIFO για να δημιουργηθεί μια ουρά αναμονής FIFO.

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών



Εικόνα 28. Δημιουργία block αναμονής ουράς FIFO

Η επόμενη κίνηση είναι η δημιουργία ενός Activity block που θα παριστάνει το γραφείο εξυπηρέτησης. Για τον σκοπό αυτό, επιλέγουμε ένα Activity delay block μέσω του οποίου ορίζουμε ως σταθερό χρόνο εξυπηρέτησης τις 6 χρονικές μονάδες.

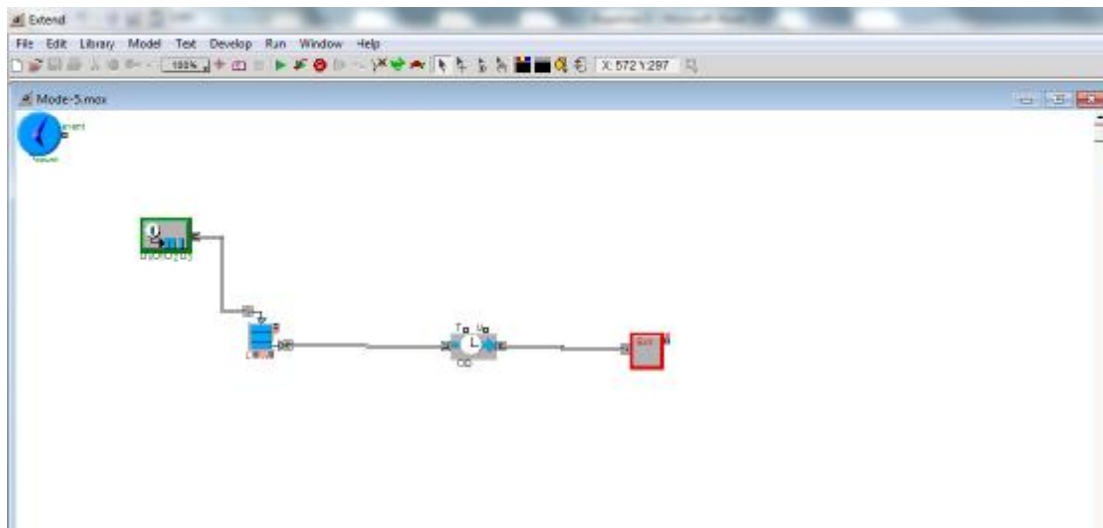


Εικόνα 29. Εισαγωγή Activity Delay block

Ολοκληρώνουμε την εισαγωγή των βασικών blocks με μια έξοδο προς το εξωτερικό περιβάλλον. Έπειτα, τα συνδέουμε μεταξύ τους με γραμμές σύνδεσης μέσω των συνδέσμων εισόδου και εξόδου που φέρουν τα διάφορα blocks (μικρά τετράγωνα δίπλα από τα blocks). Οι οντότητες ρέουν μέσα από τις γραμμές σύνδεσης, καθώς εξελίσσεται η προσομοίωση. Η γεννήτρια αναλαμβάνει την παραγωγή οντοτήτων,

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

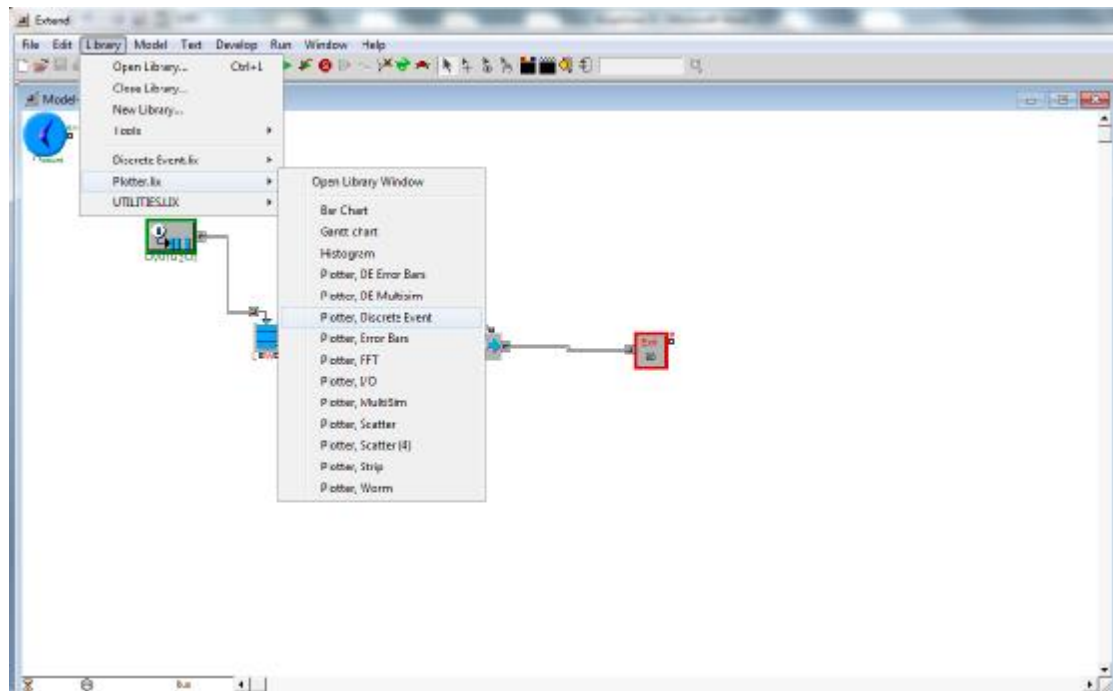
δηλαδή των πελατών, οι οποίες μπαίνουν στην ουρά αναμονής μετά την άφιξή τους και κατόπιν στην εξυπηρέτηση. Ο χρόνος προσομοίωσης που απαιτείται για να περάσει μια οντότητα μέσα από μια γραμμή σύνδεσης είναι μηδενικός.



Εικόνα 30. Σύνδεση blocks

Στη συνέχεια προχωράμε στην εκτέλεση του προγράμματος (προσομοίωσης), όπου κατά την ώρα της εκτέλεσής του, στο κάτω αριστερά μέρος του παραθύρου και εντός της μπάρας πληροφοριών υπάρχει το ρολόι το οποίο μετρά τον χρόνο της προσομοίωσης. Για να είναι ολοκληρωμένη η μορφή του μοντέλου, θα προσθέσουμε και ένα block το οποίο μπορεί να αναπαραστήσει γραφικά τη συμπεριφορά της ουράς αναμονής, καθώς και το σύνολο των οχημάτων που εξυπηρετήθηκαν. Τα αντικείμενα που υλοποιούν γραφικές παραστάσεις βρίσκονται στη βιβλιοθήκη **Plotter**. Την ανοίγουμε με την ίδια διαδικασία με τη Discrete Event και στη συνέχεια επιλέγουμε το block με τίτλο **Plotter Discrete Event** και το συνδέουμε με το σύνδεσμο εξόδου με τίτλο L της ουράς αναμονής και με τον σύνδεσμο εξόδου του συνολικού πλήθους του block Exit (με το σύμβολο #).

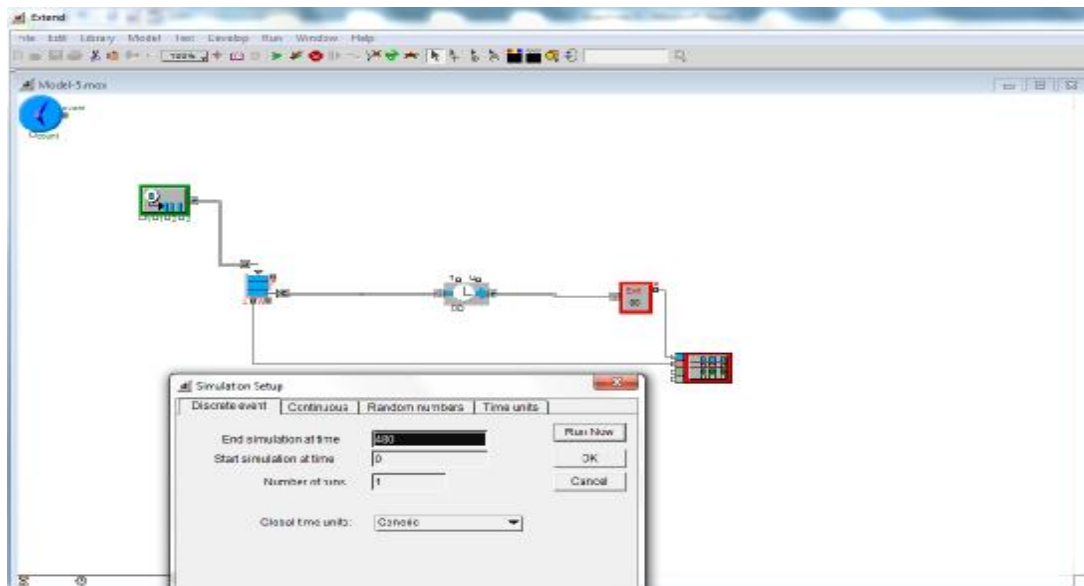
Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών



Εικόνα 31. Επιλογή Plot Discrete Event

Επιλέγοντας από το βασικό μενού **Run -> Simulation setup**, θέτουμε τη διάρκεια της προσομοίωσης να είναι 480 χρονικές μονάδες, δηλαδή 480 λεπτά που ισούνται με 8 ώρες, δηλαδή προσπαθούμε να προσομοιώσουμε τη διαδικασία στο χρονικό διάστημα που λειτουργεί καθημερινά το γραφείο εξυπηρέτησης εγγραφών.

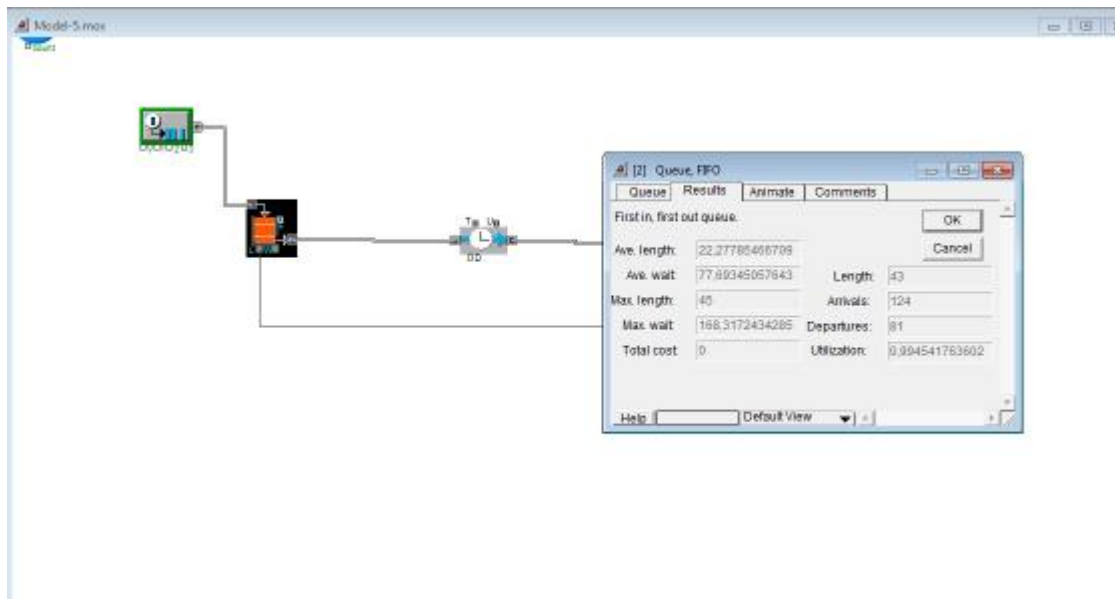
Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών



Εικόνα 32. Επιλογή χρόνου προσομοίωσης και σύνδεση με γραφικές παραστάσεις

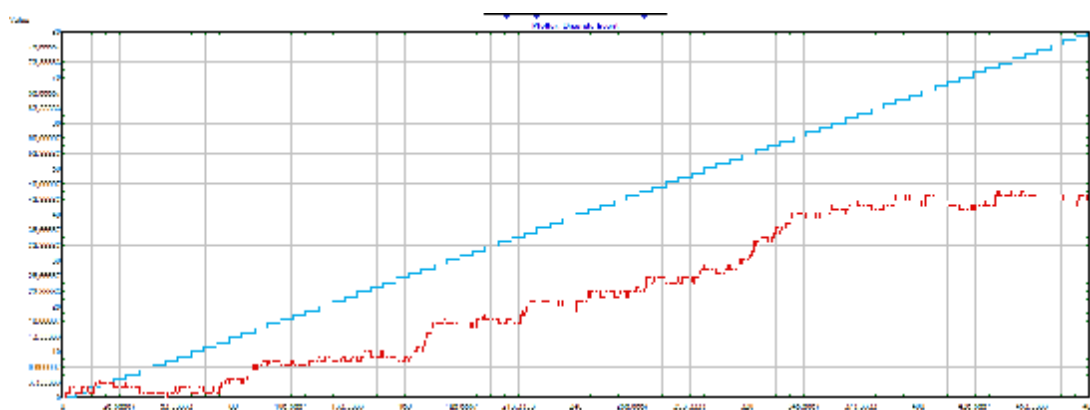
Επιλέγουμε **Run->Run Simulation** και παίρνουμε τα αποτελέσματα της υλοποίησης. Βλέπουμε τα αποτελέσματα ανά block. Το μέσο μήκος ουράς είναι 22,277 και με αντίστοιχο χρόνο αναμονής 77,69 λεπτά. Αναφέραμε προηγουμένως ότι ο επιθυμητός χρόνος αναμονής είναι 30 λεπτά. Το μέγιστο μήκος ουράς αναμονής είναι 45 πελάτες και ο μέγιστος μέσος χρόνος αναμονής είναι 168,31 λεπτά. Με τη λήξη της προσομοίωσης 43 άτομα δεν έχουν εξυπηρετηθεί.

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών



Εικόνα 33. Αποτελέσματα FIFO

Εξετάζοντας τα αποτελέσματα του Activity Delay block προκύπτει το utilization ότι είναι ίσον με 1, δηλαδή το γραφείο εξυπηρέτησης έχει βαθμό απασχόλησης 100%. Επίσης εξυπηρετήθηκαν 80 άτομα σε μια ημέρα, άρα δεν είναι εφικτός ο στόχος εξυπηρέτησης 210 πελατών σε δύο ημέρες. Φαίνεται η γραφική παράσταση στο επόμενο διάγραμμα.

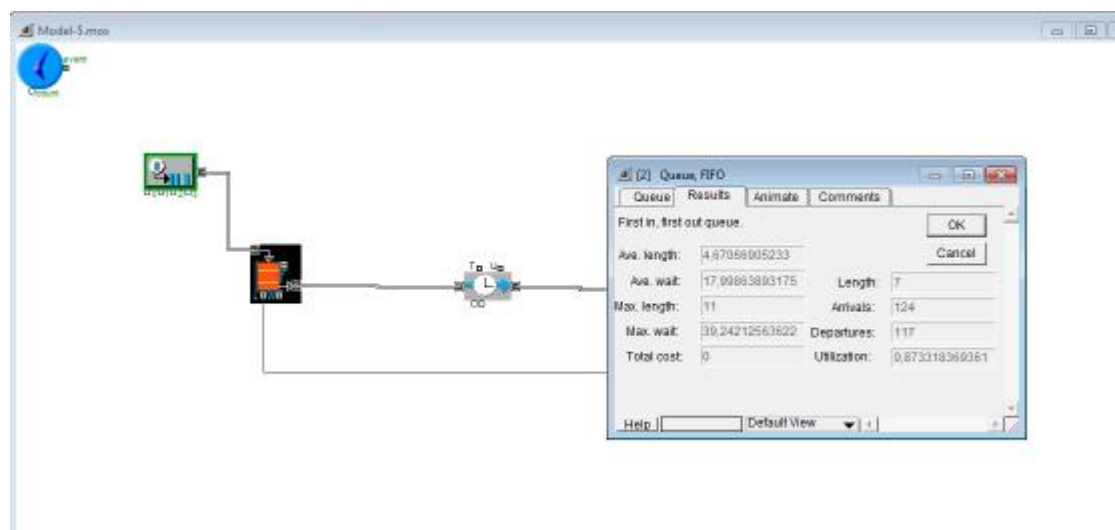


Εικόνα 34. Διάγραμμα προσομοίωσης

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

Με κόκκινο χρώμα παριστάνεται το μήκος της ουράς αναμονής, καθώς εκτελείται η προσομοίωση για 480 λεπτά. Παρατηρούμε ότι υπάρχει μια σαφής ανοδική τάση. Και επιβεβαιώνεται το γεγονός ότι έχουμε ένα σύστημα M/D/1 με μέσο ρυθμό άφιξης $\lambda=15$ πελάτες ανά ώρα (Poisson) και σταθερό ρυθμό εξυπηρέτησης $\mu=10$ πελάτες ανά ώρα. Το σύστημα αυτό δεν συγκλίνει σε κατάσταση ισορροπίας, αφού ο βαθμός απασχόλησης είναι μεγαλύτερος της μονάδας.

Έστω ότι προσθέτουμε υπαλλήλους και ο μέσος χρόνος εξυπηρέτησης γίνεται 4 λεπτά από 6 λεπτά, δηλαδή αλλάζουμε την αντίστοιχη τιμή στο Activity Delay block. Το μέσο μήκος ουράς γίνεται 4,67 και με αντίστοιχο χρόνο αναμονής 17,99 λεπτά, δηλαδή μικρότερο χρόνο από τον επιθυμητό χρόνο αναμονής που είναι 30 λεπτά. Το μέγιστο μήκος ουράς αναμονής είναι 11 πελάτες και ο μέγιστος μέσος χρόνος αναμονής είναι 39,24 λεπτά. Με τη λήξη της προσομοίωσης 7 άτομα δεν έχουν εξυπηρετηθεί, ενώ έχουν εξυπηρετηθεί 116 άτομα, άρα πιάνεται ο στόχος των 210 εξυπηρετούμενων πελατών σε δύο ημέρες.

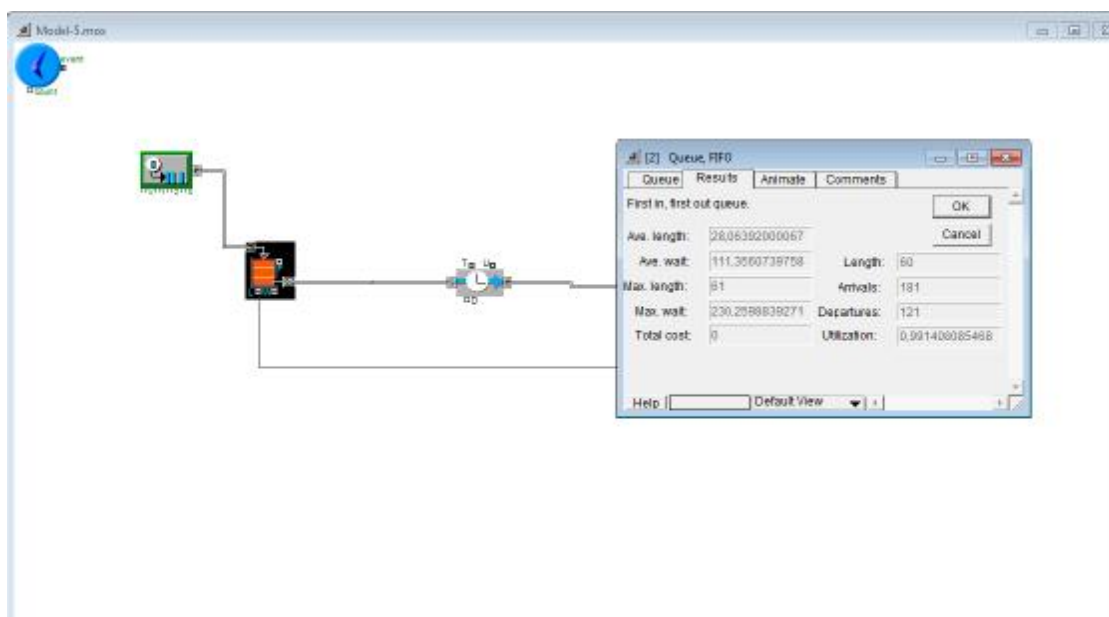


Εικόνα 35. Αποτελέσματα FIFO με μέσο χρόνο εξυπηρέτησης 4 λεπτά

Έστω ότι εξετάζουμε το ενδεχόμενο το γραφείο να λειτουργήσει για 12 ώρες, σύμφωνα με τον αρχικό μέσο ρυθμό εξυπηρέτησης ανά πελάτη, δηλαδή 6 λεπτά.

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

Ορίζουμε το χρόνο προσομοίωσης ίσο με 720 λεπτά. Εξυπηρετούνται 120 άτομα ανά ημέρα, άρα σε δύο ημέρες μπορούν να εξυπηρετηθούν και οι 210 υποψήφιοι. Κοιτάζοντας τα αντίστοιχα αποτελέσματα FIFO, το μέσο μήκος ουράς γίνεται 28,06 και με αντίστοιχο χρόνο αναμονής 111,35 λεπτά, δηλαδή πολύ μεγαλύτερο χρόνο από τον επιθυμητό χρόνο αναμονής που είναι 30 λεπτά. Το μέγιστο μήκος ουράς αναμονής είναι 61 πελάτες και ο μέγιστος μέσος χρόνος αναμονής είναι 230,25 λεπτά. Με τη λήξη της προσομοίωσης 60 άτομα δεν έχουν εξυπηρετηθεί.



Εικόνα 36. Αποτελέσματα FIFO με συνολικό χρόνο προσομοίωσης 720 λεπτά

Κεφάλαιο 6

Συμπεράσματα και βελτιώσεις της υλοποίησης

Η προσομοίωση αποτελεί ένα σημαντικότερο τομέα της επιχειρησιακής έρευνας με πάρα πολλές πρακτικές εφαρμογές σε μια ευρεία γκάμα πεδίων, όπως η πληροφορική, τα χρηματοοικονομικά, η ιατρική καθώς και άλλοι τομείς. Απαραίτητη προϋπόθεση για μια αποδοτική προσομοίωση, αποτελεί ο σχεδιασμός ενός μοντέλου το οποίο θα ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα. Αφού έχει εξασφαλισθεί η παραπάνω προϋπόθεση, τότε μπορεί να εφαρμοστεί και η προσομοίωση, η οποία διευκολύνεται σημαντικά καθώς έχουν αναπτυχθεί πολλές γλώσσες και πακέτα λογισμικού με αντικείμενο την ανάπτυξη και μελέτη μοντέλων συστημάτων προσομοίωσης συστημάτων.

Από τη στιγμή που θα έχει δημιουργηθεί ένα καλό μοντέλο προσομοίωσης για μια επιχείρηση, τότε θα αποτελεί ένα πολύ σημαντικό εργαλείο στα χέρια της διοίκησης, το οποίο θα μπορεί να καθορίζει αποφάσεις με στόχο πάντα την ομαλή και αποδοτική λειτουργία του όλου συστήματος προς εξυπηρέτηση των πελατών, γεγονός που μπορεί να επιφέρει τα ανάλογα επιθυμητά κέρδη, καθώς και να εντοπιστούν ή ακόμα και να προβλεφτούν αστοχίες σε διάφορες επιχειρησιακές διαδικασίες.

Για να είναι αποτελεσματική η προσομοίωση κάποιου μοντέλου και να παρέχει κάποια αποδεκτή λύση για το πραγματικό πρόβλημα που προσπαθεί να μοντελοποιήσει, θα πρέπει να συγκριθούν και να αναλυθούν έξοδοι πολλών διαδοχικών προσομοιώσεων. Δηλαδή θα πρέπει η προσομοίωση να εκτελείται σε πολλές επαναλήψεις και να αλλάζουν τα δεδομένα (input) ώστε να εξετάζονται εναλλακτικά σενάρια.

Μια ειδική περίπτωση συστημάτων προσομοίωσης είναι οι ουρές αναμονής. Τα συστήματα αυτά εξετάζουν περιπτώσεις όπου δημιουργούνται στις οντότητες προς εξυπηρέτηση μεγάλες ουρές. Πρακτικός στόχος είναι η βελτίωση του συστήματος, παραμετροποιώντας το με τον κατάλληλο τρόπο. Κάθε σύστημα έχει τα δικά του

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

δεδομένα και συνεπώς τους δικούς του στόχους. Για παράδειγμα σε ένα σύστημα μεγάλος αριθμός αφίξεων μπορεί να δημιουργήσει μεγάλες ουρές αναμονής και συνεπώς πολύ μεγάλο αριθμό αναμονής. Σε άλλα συστήματα μικρός αριθμός αφίξεων μπορεί να επιφέρει μη εκμετάλλευση της ισχύος των εξυπηρετητών.

Η παραμετροποίηση του συστήματος μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους. Για παράδειγμα στις αφίξεις μπορεί να γίνει αποκλεισμός κάποιων πελατών ή οι αφίξεις των πελατών να γίνονται με ραντεβού. Στην εξυπηρέτηση μπορεί να γίνει ελάττωση του χρόνου εξυπηρέτησης, αύξηση σημείων εξυπηρέτησης ή εκσυγχρονισμός εξυπηρετητών με νέες τεχνολογίες. Μια άλλη τεχνική είναι η βελτιστοποίηση της σειράς εξυπηρέτησης των πελατών.

Υπάρχουν διάφορα μοντέλα ουρών αναμονής τα οποία περιγράφονται με ειδικούς συμβολισμούς και τα μέτρα λειτουργικότητάς τους προσδιορίζονται με διαφορετικούς τύπους. Όταν εξετάζεται ένα σύστημα αναμονής θα πρέπει να προσδιορίζεται αρχικά το μοντέλο στο οποίο αντιστοιχεί και στη συνέχεια να γίνεται η ανάλυσή του.

Στην παρούσα εργασία έγινε η προσομοίωση ενός συστήματος εγγραφών σε ιδιωτικό εκπαιδευτικό οργανισμό. Για την υλοποίηση χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα EXTEND, που αποτελεί παγκοσμίως ένα από τα καλύτερα και πιο αξιόπιστα προγράμματα προσομοίωσης. Προκειμένου να γίνει σωστά η προσομοίωση, συγκεντρώσαμε τα γνωστά δεδομένα τα οποία εισάγαμε στο πρόγραμμα ως δεδομένα εισόδου και θέσαμε τους στόχους, ώστε να μπορέσουμε να ερμηνεύσουμε τα αποτελέσματα.

Οι στόχοι της συγκεκριμένης υλοποίησης ήταν οι εξής δύο: πρώτον να περιορίσουμε το μέσο χρόνο αναμονής σε λιγότερο από 30 λεπτά ανά πελάτη και κατά δεύτερον να μπορέσουμε να εξυπηρετήσουμε σε δύο ημέρες 210 πελάτες. Σύμφωνα με την αρχική κατάσταση, κανένας από τους δύο στόχους δεν ήταν εφικτός. Εξετάσαμε δύο εναλλακτικά σενάρια. Το πρώτο σενάριο αφορούσε στην προσθήκη υπαλλήλων στο γραφείο εξυπηρέτησης ώστε να μειωθεί ο μέσος χρόνος εξυπηρέτησης ανά πελάτη

Προσομοίωση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Θεωρία Ουρών

από τα 6 λεπτά στα 4 λεπτά. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να αυξηθεί ο αριθμός πελατών που εξυπηρετούνται σε μια ημέρα, να μειωθεί ο μέσος χρόνος σε λιγότερο από 30 λεπτά και δημιουργούνται μικρότερες ουρές αναμονής. Το δεύτερο σενάριο που μελετήθηκε ήταν η χρήση κυλιόμενου ωραρίου έτσι ώστε να λειτουργήσει 12 ώρες αντί για 8 ώρες το γραφείο εξυπηρέτησης, διατηρώντας το μέσο χρόνο εξυπηρέτησης στα 6 λεπτά. Τότε ο στόχος της εξυπηρέτησης των 210 πελατών σε δύο ημέρες γίνεται εφικτός, αλλά ο μέσος χρόνος αναμονής αυξάνεται πολύ περισσότερο από τον επιθυμητό στόχο.

Με μια γρήγορη ματιά το πρώτο εναλλακτικό σενάριο είναι το βέλτιστο. Όμως τα στοιχεία εισόδου που έχουμε είναι λίγα και δεν υπολογίζονται άλλα μεγέθη. Για παράδειγμα τη δυναμικότητα της επιχείρησης σε υπαλλήλους ή το κόστος που προκύπτει από κάθε εναλλακτικό σενάριο. Για αυτό το λόγο θα πρέπει η προσομοίωση να έχει πλήρη στοιχεία εισόδου, ώστε τα αποτελέσματα να είναι περισσότερο έγκυρα και ακριβή, και να προσφέρουν στην επιχείρηση πραγματικά αποτελέσματα, που θα τη βοηθήσουν να χαράξει στρατηγικές και πολιτικές για την επίτευξη των στόχων της.

Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

1. Banks, (2005). Discrete Event System Simulation, Book
2. Banks J., Carson J.S. (2001). Discrete-event system simulation. 3rd ed. Upper Saddle River: Prentice Hall.
3. Banks, J. (1998). Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applicationa and Practice. New York: Wiley
4. Kelton, D., Sadowski, R.P. & Sadowski, A.S. (1998). Simulation with Arena. Boston, Mass: McGraw Hill
5. Law, Averill, M., (2007). Simulation Modeling and Analysis. 4th edition
6. Maisel, H. & Gnugnoli, G. (1972). Simulation of Discrete Stochastic Systems. Chicago: Science Research Associates Inc.
7. Nubile, E., Ambrose, E. & Mackarel, A. (2004). Development of a procedure for manufacturing modeling and simulation. In Proceedings of the 21st International Manufacturing Conference, 1-3 September 2004. Limerick, Ireland
8. Panas, A., Pantouvakis, J., P., (2013). Research Methods for Construction Productivity Studies. In: Pasian, B.L. and Smit, J. (Eds.) Methods, designs and practices for research into project management (submitted).
9. Sanchez, S.,M., (2007). Work smarter, not harder: guidelines for designing simulation experiments. In ME Kuhl, NM Steiger, FB Armstrong and JA Joines ed. Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference, 9-12 December 2007 (pp. 84-94), Washington, USA.
10. Shannon, R. E. (1998). Introduction to the Art and Science of Simulation, In Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, 13-16 December 1998. Washington, USA

11. Winston, W.L. (2002). Operations Research. Applications and Algorithms 4th ed. Kent: PWS

Ελληνική βιβλιογραφία

1. Βελώνη, Α., (2016). Προσομοίωση στη Βιομηχανική Παραγωγή. Σημειώσεις Μαθήματος, Ανώνυμο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά
2. Γεωργίου, Α., Κωνσταντάρας, Ι., Καπάρης, Κ., (2015). Τεχνικές προσομοίωσης στη διοικητική επιστήμη. Έκδοση Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών
3. Δάρας, Τ., Σύψας, Π., (2003). Στοχαστικές ανελίξεις: Θεωρία και Εφαρμογές. Εκδόσεις Ζήτη
4. Κουϊκόγλου, Β., (2002). Προσομοίωση. Σημειώσεις μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης
5. Νικολαΐδης, Χρ., (2005). Στοιχεία Πιθανοτήτων και Θεωρίας Ουρών. Σημειώσεις μαθήματος, ΤΕΙ Λάρισας
6. Ρουμελιώτης, Μ., (2001). Μοντελοποίηση και Προσομοίωση. Τομός Α', Εκδόσεις Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο
7. Σφακιανάκης, Μ., (2001). Προσομοίωση και Εφαρμογές. Εκδόσεις Πατάκη