



ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Τομέας Φυσικής και Εφαρμοσμένων Μαθηματικών

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΘΕΩΡΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑΜΟΝΗΣ ΣΤΗ ΛΗΨΗ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της φοιτήτριας,
ΒΑΣΙΛΙΚΗΣ ΜΑΡΙΑΣ ΤΣΙΦΤΣΟΓΛΟΥ

Επιβλέπων: **ΧΡΗΣΤΟΣ Ι. ΣΧΟΙΝΑΣ**
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Δ.Π.Θ

Ξάνθη, 2014



ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Τομέας Φυσικής και Εφαρμοσμένων Μαθηματικών

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Χρήστος Σχοινάς, Καθηγητής
του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης
(Επιβλέπων Καθηγητής)

Ρήγας Αλέξανδρος, Καθηγητής
του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης

Αμαλία Μεϊμαρίδου-Κόκκου, Επίκουρη Καθηγήτρια
του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης

Ξάνθη 2014

*Αφιερώνεται
σε όσους φτάνουν εκεί που δεν μπορούν*

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου, κατ' αρχάς στον επιβλέποντα της διπλωματικής μου, τον Καθηγητή κ. Χρήστο Σχοινά, για την επιστημονική καθοδήγηση, τις πολύτιμες υποδείξεις και τη συνεχή βοήθειά του σε κάθε φάση της δημιουργίας της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Θέλω επίσης να εκφράσω την ευγνωμοσύνη στους γονείς μου για την ηθική και οικονομική συμπαράστασή τους καθώς βέβαια και για την υπομονή τους, γεγονός που επέτρεψε την επιτυχή διεκπεραίωση των σπουδών μου.

Επιπλέον, θέλω να ευχαριστήσω όλους τους φίλους μου και συμφοιτητές ιδιαίτερα τους Θανάση Ρίζο και Νίκο Χαραλάμπους, για τις ωραίες και δύσκολες στιγμές που περάσαμε, στιγμές που έχω κρατημένες στην καρδιά μου και που δύσκολα να ξαναζήσω στην υπόλοιπη ζωή μου. Τέλος, το πιο μεγάλο ευχαριστώ στον Νικόλα, που εκτός από την βοήθεια που μου παρείχε για την περάτωση της παρούσας διπλωματικής, τα τελευταία χρόνια, ήταν πάντα δίπλα μου σε ό,τι δυσκολία συνάντησα, να με εμψυχώνει και να με στηρίζει, μαθαίνοντας μου πώς πρέπει να μαχόμαστε για τα όνειρά μας.

Ξάνθη, Απρίλιος 2014

Τσιφτσόγλου Βασιλική

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο “Εφαρμογή Θεωρίας Συστημάτων Αναμονής στη Λήψη Βέλτιστων Αποφάσεων”, εξετάζει τη Θεωρία των Συστημάτων Αναμονής, τα οποία και αποτελούν επί μέρους κλάδο της Επιχειρησιακής Έρευνας, με σκοπό την επίλυση προβλημάτων σε δίκτυα υπολογιστών, σε βιομηχανικές γραμμές παραγωγής, στην παροχή υπηρεσιών κτλ.

Στο 1ο κεφάλαιο, γίνεται ιστορική αναδρομή της Επιχειρησιακής Έρευνας, ανάλυση των βασικών αρχών της και αναφορά στις εφαρμογές της. Γίνεται εισαγωγή στο Γραμμικό Προγραμματισμό και σε προβλήματα ελαχιστοποίησης κόστους, στα οποία εφαρμόζεται.

Στο επόμενο κεφάλαιο, αναπτύσσονται οι βασικές έννοιες της Θεωρίας των Συστημάτων Αναμονής, όπως οι διαδικασίες αφίξεων και εξυπηρέτησης, η πειθαρχία, η δυναμικότητα κ.ά. Παρατίθενται και αναλύονται τα κυριότερα μοντέλα της Θεωρίας, όπως τα μοντέλα $M/M/1$, $M/M/s$, $M/M/1/k$, $M/G/1$ η ουρά FIFO κ.ά.

Στο 3^ο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στην ανάλυση δέντρου που επιτρέπει την λήψη της βέλτιστης απόφασης. Παρουσιάζονται επιπλέον οι μεθοδολογίες που ακολουθούνται σε προβλήματα λήψης βέλτιστων αποφάσεων, όπως η μέθοδος PAF, η μέθοδος μέτρησης κόστους διαδικασιών και η μέθοδος κοστολόγησης κατά δραστηριότητα (ABC).

Στο τελευταίο κεφάλαιο, αρχικά αναφέρονται τα μοντέλα προσομοίωσης ουρών και τα βασικά χαρακτηριστικά τους. Στη συνέχεια γίνεται ανάπτυξη του μοντέλου ουράς $M/M/s$ σε περιβάλλοντα OSX Mavericks, Numbers και Microsoft Excel, το οποίο θα δίνει ως αποτέλεσμα το βέλτιστο αριθμό servers που θα χρειαστεί μια εταιρεία για δεδομένο ρυθμό αφίξεων και αναχωρήσεων πακέτων δεδομένων στο δίκτυο της. Η λήψη βέλτιστης απόφασης, γίνεται βάσει του ελάχιστου συνολικού κόστους που προκύπτει ως άθροισμα του κόστους εξυπηρέτησης και του κόστους αναμονής στην ουρά, αντίστοιχα.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Επιχειρησιακή Έρευνα, Θεωρία Συστημάτων Αναμονής, Μοντέλα Ουρών, Μοντέλο $M/M/1$, Μοντέλο $M/M/s$, Μοντέλο $M/M/1/k$, Μοντέλο $M/M\{Y\}/1$, Μοντέλο $M\{X\}/M/1$, Μοντέλο $M/G/1$, Ουρά FIFO, Κόμβος Απόφασης Λήψη Βέλτιστων Αποφάσεων, Μέθοδος PAF, Μέθοδος Μέτρησης Κόστους Διαδικασιών, Μέθοδος Κοστολόγησης Κατά Δραστηριότητα (ABC), Δείκτες Απόδοσης, Μοντέλα Προσομοίωσης, Δίκτυα Υπολογιστών, Βαθμός Απασχόλησης Server, Κόστος Εξυπηρέτησης, Κόστος Αναμονής, Συνολικό Κόστος, Βέλτιστος Αριθμός Server, Ευστάθεια Συστήματος

ABSTRACT

This thesis, with the title “The Application of Queuing Theory in Optimal Decision-Making”, examines the theory of queuing systems. The Queuing Systems compose a branch of the science of Operations Research and their objective is to provide solutions to problems in the field of computer networks, production lines, service provision etc.

In the 1st chapter, the historical evolution, the fundamental principles and applications of Operation Research are being examined. These are followed by an introduction to Linear Programming and to cost minimisation problems, where Linear Programming is being implemented.

In the next chapter, the fundamental principles of Queing Theory are being examined, such as, the arrivals and service processes, the discipline and the dynamics of a Queuing System etc. Moreover, the most essential models of the Theory are being presented and analysed, such as the M/M/1, M/M/s, M/M/1/k, M/G/1, FIFO, models etc.

In the 3rd chapter, the tree analysis, suitable for robust decision-making is being introduced. Furthermore, methodologies implemented in decision-making problems are being discussed such as the PAF method, the Process Cost Calculation Method Method and Activity Based Costing method (ABC).

In the last chapter, initially, simulation models and their basic characteristics are being presented. Furthermore, a M/M/s simulation model is being developed in an OSX Mavericks, Numbers and a Microsoft Excel enviroment respectively which suggest the optimal number of servers needed for a company with certain arrival and departure rates of data packets in its network. The optimal decision-making in the case is based upon the minimal total cost which is the sum of the service cost and the waiting cost in the queue, respectively.

KEY WORDS

Operations Research, Queuing Theory, Queue Models, Model M/M/1, Model M/M/s, Model M/M/1/k, Model M/M{Y}/1, Model M{X}/M/1, Model M/G/1, FIFO, Decision Node, Optimal Decision-Making, PAF Method, Process Cost Calculation Method Method, Activity Based Costing (ABC), Measures of Performance For Queuing Systems, Simulation Models, Computer Networks, Server Utilization, Service Cost, Waiting Cost, Total Cost, Optimal Number of Servers, System Stability

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες
Περίληψη
Λέξεις κλειδιά
Abstract
Key words
Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή

- 1.1 Βασικές Έννοιες της Επιχειρησιακής Έρευνας
 - 1.1.1 Ορισμός
 - 1.1.2 “Εργαλεία” της Επιχειρησιακής Έρευνας
 - 1.1.3 Επιχειρησιακή Έρευνα και Γραμμικός Προγραμματισμός
 - 1.1.4 Παράδειγμα Γραμμικού Προγραμματισμού
- 1.2 Μία ιστορική αναδρομή της Επιχειρησιακής Έρευνας
 - 1.2.1 Προϊστορία
 - 1.2.2 Η Επιχειρησιακή Έρευνα κατά τον Β΄ παγκόσμιο πόλεμο.
- 1.3 Τα “7 βήματα” ενός προβλήματος Επιχειρησιακής Έρευνας
 - 1.3.1 Παράδειγμα μελέτης ΕΕ
- 1.4 Κλάδοι και εφαρμογές της επιχειρησιακής έρευνας
 - 1.4.1 Συγκεκριμένες Εμπορικές Εφαρμογές της Επιχειρησιακής Έρευνας

Κεφάλαιο 2 - Συστήματα Αναμονής - Θεωρία και Εφαρμογές

- 2.1 Εισαγωγή στη Θεωρία Συστημάτων Αναμονής
- 2.2 Ορισμοί και Βασικές Έννοιες
 - 2.2.1 Συστήματα Αναμονής και Χαρακτηριστικά
 - 2.2.2 Προσδιορισμός Δυναμικότητας Συστημάτων Εξυπηρέτησης
- 2.3 Περιγραφή, Σχέσεις και Παραδείγματα των Συστημάτων M/M/1, M/M/1/K, M/M/S, και Υπολοίπων που Αναφέρονται Σχετικά

Κεφάλαιο 3 - Λήψη βέλτιστων αποφάσεων: Θεωρία και Εφαρμογές Συστημάτων Αναμονής

- 3.1 Εισαγωγή στη Θεωρία Λήψης Βέλτιστων Αποφάσεων
 - 3.1.1 Η Σημασία του Ορθολογισμού στη Λήψη Βέλτιστων Αποφάσεων
 - 3.1.2 Η μέθοδος PAF
 - 3.1.3 Μέθοδος Μέτρησης Κόστους Διαδικασιών
 - 3.1.4 Μέθοδος Κοστολόγησης Κατά Δραστηριότητα (ABC)
- 3.2 Ορισμοί – Βασικές Έννοιες Συστήματος Λήψης Βέλτιστων Αποφάσεων
- 3.3 Εφαρμογή Θεωρίας Συστημάτων Αναμονής στη Λήψη Βέλτιστων Αποφάσεων

Κεφάλαιο 4 - Προσομοίωση στη λήψη αποφάσεων

- 4.1 Προσομοίωση στη λήψη αποφάσεων
- 4.2 Μοντέλα προσομοίωσης
- 4.3 Ανάπτυξη λογισμικού για το μοντέλο συστήματος αναμονής M/M/s σε πακέτα δεδομένων που εξυπηρετούνται από servers δικτύου
 - 4.3.1 Εισαγωγή δεδομένων και υπολογισμοί
 - 4.3.2 Πιθανότητες
 - 4.3.3 Λήψη βέλτιστης απόφασης ως προς το αριθμό των servers
- 4.4 Συμπεράσματα

Ευρετήριο Εικόνων
Βιβλιογραφία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Βασικές Έννοιες της Επιχειρησιακής Έρευνας

Το να ορίσουμε οτιδήποτε ιδιαίτερος σημαντικό - όπως τα Μαθηματικά ή την Ελευθερία - είναι εξαιρετικά δύσκολο. Παρακάτω, δίνεται ένας επαρκής ορισμός της Επιχειρησιακής Έρευνας.

1.1.1 Ορισμός: “Η Επιχειρησιακή Έρευνα είναι ένας διεπιστημονικός κλάδος των εφαρμοσμένων μαθηματικών που κάνει χρήση μαθηματικών μοντέλων, στατιστικής και αλγορίθμων με στόχο την εύρεση βέλτιστων ή σχεδόν βέλτιστων λύσεων σε πολύπλοκα προβλήματα.”

Από μια πιο πρακτική σκοπιά, η Επιχειρησιακή Έρευνα μπορεί να θεωρηθεί ως μια τεχνική βελτιστοποίησης, δηλαδή μια τεχνική εύρεσης του μεγίστου και του ελαχίστου μιας αντικειμενικής συνάρτησης και, έως ένα βαθμό, μια μέθοδο ορισμού των ίδιων των αντικειμενικών συναρτήσεων. Ως οι πλέον χαρακτηριστικές συναρτήσεις, θεωρούνται οι παρακάτω:

1. Το κέρδος
2. Το κόστος
3. Η απόδοση μιας γραμμής παραγωγής
4. Το εύρος ζώνης (bandwidth)
5. Ο χρόνος αναμονής σε ουρά

Οι έννοιες “Επιχειρησιακή Έρευνα” (Operations Research) και “Επιστήμη της Διοίκησης” (Management Science), θεωρούνται συχνά, έννοιες συνώνυμες. Ωστόσο, η “Επιστήμη της Διοίκησης”, υποδηλώνει μια στενότερη σχέση με τον κλάδο της διοίκησης επιχειρήσεων (Business Management), ενώ η Επιχειρησιακή Έρευνα σχετίζεται περισσότερο με την βιομηχανική παραγωγή (Industrial Engineering).

1.1.2 “Εργαλεία” της Επιχειρησιακής Έρευνας

Μερικά από τα κύρια “εργαλεία” που χρησιμοποιούνται κατά κόρον από την επιστήμη της Επιχειρησιακής Έρευνας είναι τα εξής :

1. Θεωρία Πιθανοτήτων
2. Βελτιστοποίηση
3. Στατιστική
4. Θεωρία Συστημάτων Αναμονής
5. Θεωρία Παιγνίων
6. Θεωρία Γράφων
7. Ανάλυση Αποφάσεων
8. Προσομοίωση

1.1.3 Επιχειρησιακή Έρευνα και Γραμμικός Προγραμματισμός

Η πιο συνήθης τεχνική που εφαρμόζεται στην Επιχειρησιακή Έρευνα είναι ο Γραμμικός Προγραμματισμός (Linear Programming).

Παρατήρηση: Ο “προγραμματισμός” στον Γραμμικό Προγραμματισμό αντιστοιχεί στην “Βελτιστοποίηση”. Δεν σχετίζεται - τουλάχιστον ιστορικά - με τον προγραμματισμό υπολογιστών !

Ο Γραμμικός Προγραμματισμός θεωρείται η “αγαπημένη” τεχνική της Επιχειρησιακής Έρευνας καθώς είναι :

1. Απλός
2. Εύκολα κατανοητός
3. Χρηστικός

Ο χαρακτηρισμός “απλός” αναφέρεται στην ευχέρεια εφαρμογής του. Η δυνατότητα να επεξηγηθεί χωρίς ιδιαίτερες προκλήσεις, τον καθιστά “εύκολα κατανοητό” και τέλος είναι “χρηστικός” όπως ένας ελβετικός σουγιάς : “Τέλειος σχεδόν για τίποτα, αλλά πολύ καλός σχεδόν για τα πάντα.”

Δυστυχώς, σχεδόν κανένα πραγματικό πρόβλημα δεν είναι γραμμικό - εξού και το “τέλειος για τίποτα”. Ωστόσο, τα περισσότερα πραγματικά προβλήματα προσεγγίζουν, αρκετά, τα γραμμικά προβλήματα, καθιστώντας έτσι τον γραμμικό προγραμματισμό “πολύ καλό σχεδόν για τα πάντα”.

Παρακάτω παραθέτουμε ένα παράδειγμα γραμμικού προγραμματισμού όπου υπάρχουν περιορισμοί στους πόρους(εργατικό δυναμικό) όπου διαθέτει μια εταιρεία.

1.1.4 Παράδειγμα Γραμμικού Προγραμματισμού

Η εταιρεία Tela.Inc μπορεί να επενδύσει για παραγωγή 40.000 ευρώ κάνοντας χρήση 85 ωρών εργασίας. Για την κατασκευή μιας μονάδας προϊόντος #1 απαιτούνται 15 λεπτά εργασίας και για την κατασκευή μιας μονάδας προϊόντος #2 απαιτούνται 9 λεπτά εργασίας. Η παραγωγή μίας μονάδας προϊόντος #1 κοστίζει 40\$, ενώ η παραγωγή μίας μονάδας προϊόντος #2 κοστίζει 60\$. Το κέρδος από το προϊόν #1 είναι 30\$, ενώ από το προϊόν #2 60\$ (ανά μονάδα).

Η εταιρεία επιθυμεί την μεγιστοποίηση του κέρδους της. Πόσες μονάδες από το προϊόν #1 και πόσες από το προϊόν #2 θα πρέπει να κατασκευάσει; Ποιο είναι το μέγιστο κέρδος που θα μπορεί να έχει;

Καθώς η μεγιστοποίηση του κέρδους εξαρτάται από τον αριθμό των προϊόντων #1 και #2 οι μεταβλητές απόφασης θα είναι:

1. x_1 = μονάδες που παρήχθησαν από το προϊόν #1.
2. x_2 = μονάδες που παρήχθησαν από το προϊόν #2.

Μετατρέπουμε τις ώρες σε λεπτά και είναι:

$$85 \text{ ώρες} \times 60 \text{ λεπτά/ώρα} = 5.100 \text{ λεπτά}$$

Επιθυμούμε να μεγιστοποιήσουμε το κέρδος.

κέρδος: $30x_1 + 20x_2$

Το οποίο υπόκειται στους εξής περιορισμούς:

χρήματα : $40x_1 + 60x_2 \leq 40.000$

εργασία : $15x_1 + 9x_2 \leq 5.100$

Μη αρνητικότητα * : $x_1, x_2 \geq 0$

* Ο περιορισμός της μη αρνητικότητας: Αν και δεν υποδηλώνεται σαφώς από το πρόβλημα, ωστόσο αντιλαμβανόμαστε ότι πουλάμε προϊόντα, δεν τα αγοράζουμε.

Παρατηρήσεις:

1. Οι μεταβλητές x_1 και x_2 καλούνται μεταβλητές απόφασης.
2. Η συνάρτηση $30x_1 + 20x_2$ που πρέπει να μεγιστοποιηθεί, καλείται αντικειμενική συνάρτηση.

Αυτό που έχουμε τώρα, είναι ένα γραμμικό πρόβλημα (Linear Program) ή αλλιώς, ένα πρόγραμμα γραμμικής βελτιστοποίησης.

$$\max z = 30x_1 + 20x_2$$

$$x_1 = 0$$

$$x_2 = 566.667$$

$$z = 11,333.333$$

Εδώ δεν θα επεκταθούμε στον τρόπο επίλυσης, απλώς θα παρουσιάσουμε την λύση του προβλήματος. Θεωρείται λοιπόν βέλτιστο να μην παράγουμε καμία μονάδα από το προϊόν #1 και άρα χρησιμοποιούμε όλους τους πόρους μας για την παραγωγή του προϊόντος #2 που σημαίνει πως παράγουμε 566.667 μονάδες από το προϊόν #2. Το κέρδος μας λοιπόν θα είναι 11,333.333 ευρώ. Με άλλα λόγια η βέλτιστη λύση θα είναι :

1.2 Μια ιστορική αναδρομή της Επιχειρησιακής Έρευνας

Είναι σημαντικό να αναφερθούμε στα ιστορικά στοιχεία που συνετέλεσαν στην διαμόρφωση της επιστήμης.

1.2.1 Προϊστορία

Ο Charles Babbage (1791-1871), ο οποίος θεωρείται και από μεγάλο μέρος της επιστημονικής κοινότητας ως ο “πατέρας των υπολογιστών”, αναφέρεται συχνά και ως ο “πατέρας της Επιχειρησιακής Έρευνας”. Η έρευνα του σχετικά με το κόστος των μεταφορών και την ταξινόμηση της αλληλογραφίας, οδήγησαν στην ίδρυση του “Penny Post” στην Αγγλία, το 1840.

1.2.2 Η Επιχειρησιακή Έρευνα κατά τον Β΄ παγκόσμιο πόλεμο.

Το μοντέρνο πεδίο της Επιχειρησιακής Έρευνας εμφανίστηκε κατά την διάρκεια του Β΄ παγκοσμίου πολέμου. Επιστήμονες στο Ηνωμένο Βασίλειο, μεταξύ άλλων, οι Patrick Blackett, Cecil Gordon, C. H. Waddington, Owen Wansbrough-Jones και Frank Yates και στις ΗΠΑ ο George Dantzig, αναζήτησαν τρόπους με σκοπό την λήψη βέλτιστων αποφάσεων σε πεδία όπως η προμήθεια πολεμικών εφοδίων και τα προγράμματα εκπαίδευσης.

Παρακάτω αναφέρονται ορισμένα παραδείγματα εφαρμογών της Επιχειρησιακής Έρευνας κατά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο:

1. Η Βρετανία εισήγαγε ένα σύστημα νηοπομπής προκειμένου να μειώσει τις απώλειες κατά την φόρτωση των πλοίων, όμως, ενώ η αρχή να συνοδεύουν πολεμικά πλοία τα εμπορικά, ήταν γνωστή και αποδεκτή δεν ήταν εξίσου ξεκάθαρο, το εάν θα ήταν καλό η νηοπομπή να είναι μεγάλη ή μικρή σε μέγεθος. Μια νηοπομπή ταξιδεύει πρακτικά με την ταχύτητα του πιο αργού μέλους της, συνεπώς μικρότερες νηοπομπές θα μπορούσαν να ανιχνευθούν δυσκολότερα από τα γερμανικά πολεμικά. Από την άλλη πλευρά, μεγαλύτερες νηοπομπές θα μπορούσαν να επιτύχουν ένα πιο αποφασιστικό πλήγμα σε περίπτωση εισβολέα, λόγω του μεγαλύτερου αριθμού πολεμικών πλοίων σε αυτή. Στην ανάλυση της επιχειρησιακής έρευνας προκύπτει λοιπόν, πως οι απώλειες εξαρτώνται κυρίως από τον αριθμό των πολεμικών

πλοίων και όχι από το συνολικό μέγεθος της νηοπομπής. Κατ' επέκταση συμπεραίνεται ότι λίγες, αλλά μεγαλύτερες νηοπομπές είναι πιο ασφαλείς σε σύγκριση με περισσότερες και μικρότερες σε μέγεθος.

2. Στο πλαίσιο μιας άλλης μελέτης Επιχειρησιακής Έρευνας (ΕΕ), έγινε η ανάλυση μιας επιθεώρησης που διεξήχθη από την διοίκηση βομβαρδιστικών αεροσκαφών της RAF. Κατά την επιθεώρηση, η διοίκηση των βομβαρδιστικών, επιθεώρησε όλα τα βομβαρδιστικά που επέστρεψαν από αποστολές στην Γερμανία, κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης περιόδου. Καταγράφηκαν όλες οι ζημιές που προκλήθηκαν από τα αντιαεροπορικά συστήματα των Γερμανών και η τελική πρόταση που διατυπώθηκε ήταν η προσθήκη επιπλέον θωράκισης στα σημεία όπου είχαν υποστεί και τις σοβαρότερες βλάβες. Αντιθέτως, η ομάδα των ειδικών στην ΕΕ υποστήριξε μια τελείως διαφορετική άποψη. Η επιπλέον θωράκιση θα έπρεπε να τοποθετηθεί στα σημεία τα οποία δεν παρουσίασαν καμία ζημιά από τις βολές των Γερμανικών αντιαεροπορικών συστημάτων. Ο λόγος ήταν ότι τα σημεία αυτά ήταν και τα πιο ζωτικά για το αεροπλάνο. Και αυτό γιατί, θεωρώντας ότι η επισκόπηση λάμβανε υπόψιν της μόνο αεροπλάνα που επέστρεψαν από την Γερμανία, συμπεράναν πως όσα βομβαρδιστικά υπέφεραν σοβαρότερες βλάβες είχαν πέσει στο πεδίο της μάχης.

1.3 Τα “7 βήματα” ενός προβλήματος Επιχειρησιακής Έρευνας

Βήμα 1: Διαμόρφωση του προβλήματος. Ένας αναλυτής Επιχειρησιακής Έρευνας, αρχικά, καλείται να προσδιορίσει το πρόβλημα του συστήματος. Ο προσδιορισμός περιλαμβάνει:

- την αναγνώριση του αντικειμενικού στόχου του συστήματος
- την μελέτη των μερών του συστήματος

Τα βήματα αυτά είναι αναγκαία προκειμένου να επιλυθεί επιτυχώς το πρόβλημα.

Βήμα 2: Παρατήρηση του συστήματος. Στη συνέχεια, ο αναλυτής Επιχειρησιακής Έρευνας συλλέγει δεδομένα για τον υπολογισμό των τιμών των παραμέτρων, που επηρεάζουν το πρόβλημα του συστήματος. Οι υπολογισμοί χρησιμοποιούνται στην πορεία στην διαμόρφωση (βήμα 3) και στην αξιολόγηση (βήμα 4) του κατάλληλου μαθηματικού μοντέλου για την αντιμετώπιση του προβλήματος.

Βήμα 3: Διαμόρφωση μαθηματικού μοντέλου του προβλήματος. Ο αναλυτής Επιχειρησιακής Έρευνας αναπτύσσει μια ιδανική αναπαράσταση, ένα μαθηματικό μοντέλο, για το πρόβλημα που καλείται να αντιμετωπίσει.

Βήμα 4: Απόδειξη του μοντέλου και χρήση του στην πρόβλεψη. Ο αναλυτής Επιχειρησιακής Έρευνας επιδιώκει να αποδείξει, εάν το μαθηματικό μοντέλο που αναπτύχθηκε στο Βήμα 3 αποτελεί μια αρκετά ακριβή αναπαράσταση των πραγματικών συνθηκών. Η απόδειξη συνήθως περιλαμβάνει την παρατήρηση του συστήματος με σκοπό τον έλεγχο της ορθότητας των παραμέτρων. Σε περίπτωση που το μοντέλο δεν προσεγγίζει επαρκώς την πραγματικότητα, τότε ο αναλυτής Επιχειρησιακής Έρευνας επιστρέφει στα βήματα 2 ή 3.

Βήμα 5: Επιλογή του κατάλληλου εναλλακτικού σχεδίου. Δεδομένου του μοντέλου και των διαθέσιμων εναλλακτικών επιλογών, ο αναλυτής Επιχειρησιακής Έρευνας επιλέγει πλέον το βέλτιστο εναλλακτικό σχέδιο που ανταποκρίνεται στους στόχους του συστήματος. Σε αρκετές περιπτώσεις υπάρχουν πολλές καλές εναλλακτικές προτάσεις, όπου ο αναλυτής καλείται να τις παρουσιάσει όλες στους υπεύθυνους του οργανισμού και να λάβει περισσότερες συμβουλές ή και περιορισμούς.

Βήμα 6: Παρουσίαση αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων. Ο αναλυτής Επιχειρησιακής Έρευνας παρουσιάζει το μοντέλο και τις προτάσεις (από το βήμα 5) στους υπεύθυνους του εκάστοτε οργανισμού ή εταιρείας. Σε αυτό το σημείο, ο αναλυτής μπορεί να βρεθεί στην δυσάρεστη θέση όπου οι εργοδότες του δεν συμφωνούν με τις προτάσεις του. Αυτό μπορεί να προέρχεται είτε από μια αρχική λάθος παρουσίαση των προβλημάτων του οργανισμού, είτε από μια διαφωνία σχετικά με τις παραμέτρους του μαθηματικού μοντέλου. Ο αναλυτής, σε αυτή την περίπτωση, επιστρέφει στα βήματα 1,2 ή 3 ανάλογα με το σημείο στο οποίο βρίσκεται η διαφωνία.

Βήμα 7: Τελική εφαρμογή και αξιολόγηση της πρότασης. Τελικά, όταν η εταιρεία/οργανισμός αποδεχθεί την μελέτη, ο αναλυτής Επιχειρησιακής Έρευνας συνεπικουρεί στην υλοποίηση των προτάσεων. Το σύστημα θα πρέπει να ελέγχεται συνεχώς και να αναβαθμίζεται με δυναμικό τρόπο σύμφωνα με τις αλλαγές του περιβάλλοντος

1.3.1 Παράδειγμα μελέτης ΕΕ

Στο επόμενο παράδειγμα γίνεται η παρουσίαση των 7 βημάτων που αναλύθηκαν προηγουμένως, με στόχο την επίλυση ενός προβλήματος σε σύστημα αναμονής.

Σε μια τράπεζα, ο διευθυντής επιδιώκει να μειώσει τις δαπάνες για τους ταμίες της τράπεζας, διατηρώντας παράλληλα ένα ικανοποιητικό επίπεδο εξυπηρέτησης προς τους πελάτες.

Βήμα 1: Ο αναλυτής Επιχειρησιακής Έρευνας επιδιώκει να περιγράψει τους αντικειμενικούς στόχους της τράπεζας. Η ασαφής δήλωση του διευθυντή μπορεί να σημαίνει τα εξής :

1. Η τράπεζα επιθυμεί να ελαχιστοποιήσει το κόστος του εβδομαδιαίου μισθού που απαιτείται έτσι ώστε να διασφαλιστεί ότι ο κάθε πελάτης θα περιμένει στην ουρά το πολύ 3 λεπτά.
2. Η τράπεζα επιθυμεί να ελαχιστοποιήσει το κόστος του εβδομαδιαίου μισθού που απαιτείται έτσι ώστε να διασφαλιστεί ότι μόνο το 5% όλων των πελατών θα περιμένουν στην ουρά για περισσότερα από 3 λεπτά.

Ο αναλυτής Επιχειρησιακής Έρευνας οφείλει ωστόσο να αναγνωρίσει και εκείνες τις λειτουργίες της τράπεζας που επηρεάζουν την επιτυχία ή αποτυχία των αντικειμενικών της στόχων.

Π.χ. :

- Κατά μέσο όρο, πόσοι πελάτες φτάνουν στην τράπεζα μέσα σε μια ώρα ;
- Κατά μέσο όρο, πόσοι πελάτες μπορούν να εξυπηρετηθούν από ένα ταμείο μέσα σε μία ώρα ;

Βήμα 2: Ο αναλυτής Επιχειρησιακής Έρευνας παρατηρεί και υπολογίζει, μεταξύ άλλων, τις παρακάτω παραμέτρους:

- Κατά μέσο όρο, πόσοι πελάτες φτάνουν μέσα σε μία ώρα; Εξαρτάται μήπως ο ρυθμός άφιξης από την ώρα μέσα στην ημέρα;
- Κατά μέσο όρο, πόσοι πελάτες μπορούν να εξυπηρετηθούν από ένα ταμείο μέσα σε μια ώρα; Μήπως η ταχύτητα εξυπηρέτησης εξαρτάται από τον αριθμό των πελατών που περιμένουν στην ουρά ;

Βήμα 3: Ο αναλυτής Επιχειρησιακής Έρευνας αναπτύσσει ένα μαθηματικό μοντέλο. Θεωρώντας τα εξής :

- W_q = ο μέσος χρόνος αναμονής στην ουρά
- λ = ο μέσος αριθμός των πελατών που καταφθάνουν σε μία ώρα

- μ = ο μέσος αριθμός πελατών που μπορούν να εξυπηρετηθούν από ένα ταμείο σε μία ώρα.

Το μαθηματικό μοντέλο που συσχετίζει τις παραπάνω παραμέτρους είναι το εξής :

$$W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} \quad (1)$$

Βήμα 4: Ο αναλυτής επιχειρεί να αποδείξει ότι η (1) προσεγγίζει επαρκώς τις πραγματικές συνθήκες. Αυτό σημαίνει ότι ο αναλυτής Επιχειρησιακής Έρευνας θα υπολογίσει τις παραμέτρους W_q και μ στατιστικά και στη συνέχεια θα ελέγξει εάν η (1) είναι αληθής ή υπάρχει επαρκής προσέγγιση. Αν αυτό δεν ισχύει, τότε θα επιστρέψει στα βήματα 2 ή 3.

Βήμα 5: Ο αναλυτής Επιχειρησιακής Έρευνας θα βελτιστοποιήσει το μοντέλο που δημιούργησε. Αυτό σημαίνει την εύρεση του αριθμού των ταμείων που θα πρέπει να υπάρχουν ώστε το μ να αυξηθεί, ώστε να ελαχιστοποιηθεί η τιμή του W_q , δηλαδή στα 3 λεπτά.

Βήματα 6,7: Τα παραπάνω βήματα για προφανείς λόγους δεν παρουσιαστούν εδώ.

1.4 Κλάδοι και εφαρμογές της επιχειρησιακής έρευνας

Η Επιχειρησιακή Έρευνα και η επιστήμη της διοίκησης είναι αλληλένδετοι όροι που περιγράφουν το πεδίο εφαρμογής προηγμένων αναλυτικών τεχνικών για την λήψη βέλτιστων αποφάσεων και την επίλυση προβλημάτων. Μετά το πέρας του Β' παγκοσμίου πολέμου, η ανάπτυξη νέων αναλυτικών μεθόδων οδήγησαν στην ευρύτερη χρησιμοποίηση της Επιχειρησιακής Έρευνας σε κλάδους της βιομηχανίας και του εμπορίου.

Η επικράτηση της Επιχειρησιακής Έρευνας στις οικονομίες των αναπτυγμένων κρατών, αντικατοπτρίζει την αυξανόμενη πολυπλοκότητα διαχείρισης μεγάλων συστημάτων, οι οποίοι απαιτούν μια αποτελεσματική διαχείριση χρημάτων, υλικού, εξοπλισμού και εργατικού δυναμικού. Οι αναλυτές Επιχειρησιακής Έρευνας βοηθούν στην διαμόρφωση βέλτιστων μεθόδων συντονισμού αυτών των στοιχείων, εφαρμόζοντας αναλυτικές μεθόδους από τα μαθηματικά, την επιστήμη και την μηχανική. Επιλύουν προβλήματα με διαφορετικούς τρόπους και προτείνουν εναλλακτικές λύσεις. Σε γενικές γραμμές, η Επιχειρησιακή Έρευνα, διαπραγματεύεται διαφορετικά ζητήματα, όπως την στρατηγική, τον σχεδιασμό, την πρόβλεψη κ. διάθεση των πόρων, την μέτρηση της απόδοσης, την σχεδίαση των μονάδων και συστημάτων παραγωγής,

την μεταφορά και διανομή καθώς και την ανάλυση δεδομένων σε μεγάλες βάσεις δεδομένων.

Οι μεθοδολογίες της επιχειρησιακής έρευνας με επιτυχία έχουν εφαρμοστεί και διαρκώς εφαρμόζονται, στην επίλυση προβλημάτων στους παρακάτω κλάδους:

- Γεωργία και δασολογία
- Βιο πληροφορική
- Γραμμή παραγωγής στις βιομηχανίες
- Εκπαίδευση
- Περιστατικά έκτακτης ανάγκης και εκκένωσης περιοχών και διάσωσης.
- Ενέργεια
- Χρηματοοικονομικά, ασφάλιση και Risk Management
- Υγεία
- Διοίκηση και έλεγχος παραγωγής
- Συγκοινωνιακά συστήματα
- Μεταφορές
- Συντήρηση και αντικατάσταση βιομηχανικού εξοπλισμού
- Ναυτιλιακά
- Στρατιωτικά και εξοπλιστικά συστήματα
- Βιομηχανίες εξόρυξης πετρωμάτων
- Έλεγχος ποιότητας
- Περιβάλλον και βιώσιμη ανάπτυξη
- Τηλεπικοινωνίες και IT
- Δίκτυα

**ΚΛΑΔΟΙ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗΣ
ΕΡΕΥΝΑΣ**

Φυσικές Επιστήμες

Μαθηματικά

Επιστήμη των
Υπολογιστών

Κοινωνικές
Επιστήμες

Διοίκηση

Πολιτικές
Επιστήμες

Οικονομικά

**ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗ
ΕΡΕΥΝΑ**

**ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΘΕΩΡΙΕΣ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗΣ
ΕΡΕΥΝΑΣ**

Θεωρία Αποφάσεων

Θεωρία Ουρών

Προσομοίωση

Μαθηματικός
Προγραμματισμός

Θεωρία
Χρονοπρογραμματισμο

Θεωρία Δικτύων

Θεωρία Αξιοπιστίας

Θεωρία Παιγνίων

Στοχαστικές
Διαδικασίες

Πιθανότητες και
Στατιστική

1.4.1 Συγκεκριμένες Εμπορικές Εφαρμογές της Επιχειρησιακής Έρευνας

Παρακάτω παρουσιάζονται αδρομερώς ορισμένα επιτυχή παραδείγματα της Επιχειρησιακής Έρευνας σε πραγματικές καταστάσεις της βιομηχανίας και του κλάδου παροχής υπηρεσιών.

1. Σχεδιασμός και Οργάνωση παραγωγής στην Harris Semiconductor's.

Η θυγατρική Harris Semiconductor's της Harris Co, για χρόνια καταλάμβανε ένα μικρό κομμάτι της αγοράς της βιομηχανίας εξοπλισμού και αεράμυνας. Το 1988 ο εκσυγχρονισμός και η υιοθέτηση της γραμμής παραγωγής της General Electric οδήγησε, όχι μόνο στον τριπλασιασμό των λειτουργιών της Harris Semiconductor's, αλλά και τοποθέτησε την Harris Co σε νέες αγορές, όπως αυτή της αυτοκινητοβιομηχανίας και των τηλεπικοινωνιών. Η αυξανόμενη πολυπλοκότητα του νέου σχεδιασμού παραγωγής και η ανάγκη να παραμείνει η Harris Co ανταγωνιστική, απαιτούσε την υλοποίηση ενός νέου συστήματος.

Η εφαρμογή των αρχών της Επιχειρησιακής Έρευνας και η ανάπτυξη των κατάλληλων μαθηματικών μοντέλων, οδήγησαν στο σύστημα IMPReSS. Το IMPReSS ήταν ένα αυτόματο σύστημα οργάνωσης και εκτέλεσης της παραγωγής για ολόκληρο το δίκτυο των εργασιών της Harris Co. Ήταν ένας εκπληκτικός συνδυασμός τόσο ευριστικών κανόνων όσο και τεχνικών βελτιστοποίησης.

Η βασική ιδέα ήταν ο κατακερματισμός του συνολικού προβλήματος σε μικρότερα, διαχειρίσιμα προβλήματα με τη χρήση μαθηματικών μοντέλων του γραμμικού προγραμματισμού. Το τελικό σύστημα, αλληλεπιδρούσε με προηγμένες βάσεις δεδομένων επιτρέποντας την δυναμική απόκτηση πληροφοριών όσο αφορά στη διαθεσιμότητα υλικών. Σύμφωνα με υπολογισμούς της Harris Co, με το IMPReSS αυξήθηκαν οι on-time παραδόσεις από 75% σε 95% χωρίς επιπλέον απογραφή αποθεμάτων και η εταιρεία σημείωσε ετήσια κέρδη 40 εκατομμύρια δολάρια.

2. Το παράδειγμα του συστήματος OnStar της General Motors

Το OnStar της General Motors είναι ένα αμφίδρομο σύστημα επικοινωνίας αυτοκινήτου που παρέχει μια σειρά υπηρεσιών, βάσει συνδρομής, ενισχύοντας την ασφάλεια και την ψυχαγωγία κατά την οδήγηση. Το 1997, η General Motors ήλθε αντιμέτωπη με θεμελιώδεις στρατηγικές αποφάσεις που αφορούσαν τόσο το OnStar όσο και την ευρύτερη αγορά της τηλεματικής. Η General Motors έπρεπε να αποφασίσει αν το OnStar θα αποτελούσε δεδομένο χαρακτηριστικό ενός αυτοκινήτου ή μια επιπλέον υπηρεσία/παροχή. Η πολυπλοκότητα της διαδικασίας λήψης απόφασης αποτελούσε ένα μεγάλο πρόβλημα της General Motors όσο αφορά στα επόμενα βήματα της στις τεχνολογικές καινοτομίες και στους κύριους ανταγωνιστές της. Ο στρατηγικός σχεδιασμός της General Motors,

καθιστούσε αναγκαία τη χρήση μαθηματικών μοντέλων αβεβαιότητας με σκοπό την ανάπτυξη συστημάτων απόφασης.

Η ομάδα Επιχειρησιακής Έρευνας της General Motors / OnStar ανέπτυξε μια μέθοδο προσομοίωσης, προκειμένου να αξιολογήσει εναλλακτικές στρατηγικές. Χρησιμοποιήθηκε δυναμική μοντελοποίηση για να υπογραμμιστούν μερικές από τις κύριες αποφάσεις που έπρεπε να λάβει το 1997 η General Motors, όπως το εάν θα επιλεγεί ήπια ή επιθετική πολιτική marketing για το OnStar. Παράλληλα, χρησιμοποίησαν ένα ενσωματωμένο μοντέλο προσομοίωσης για την ανάλυση της, νέας τότε, βιομηχανίας της τηλεματικής, το οποίο λάμβανε υπόψιν τα εξής:

1. Απόκτηση μεριδίου στην αγορά
2. Επιλογές των καταναλωτών
3. Εξυπηρέτηση πελατών
4. Συμμαχίες και συγχωνεύσεις
5. Χρηματοοικονομικά
6. Συμπεριφορά προμηθευτών

Το 2001, το OnStar είχε συγκεντρώσει 2 εκατομμύρια συνδρομητές - το 80% της αγοράς της τηλεματικής - συνολικής εκτιμώμενης αξίας μεταξύ 4 και 10 δισεκατομμυρίων δολαρίων. Το OnStar project δημιούργησε την αρχή για ένα ευρύτερο επιχειρηματικό άνοιγμα της General Motors στον τομέα της παροχής υπηρεσιών, πράγμα που απέφερε τελικά στην εταιρεία δισεκατομμύρια δολάρια τα επόμενα χρόνια. Όμως ακόμα πιο σημαντικό από τις οικονομικές απολαβές για την General Motors, είναι το γεγονός πως το OnStar έσωσε ζωές που διαφορετικά θα είχαν χαθεί σε αυτοκινητικά δυστυχήματα.

3. Διάθεση στόλου στην Delta Airlines

Η αμερικανική Delta airlines εκτελεί περισσότερες από 2500 εγχώριες πτήσεις ημερησίως (δεδομένα του 1993) και χρησιμοποιεί περίπου 450 αεροσκάφη από 10 διαφορετικούς στόλους (Airbus 320, Airbus 321, Boeing 737, κλπ). Ο στόχος, ήταν η επιλογή κατάλληλου αεροσκάφους (σε μέγεθος, ανάλογα με την απόσταση που θα διανύεται) ώστε να μεγιστοποιούνται τα έσοδα από τις θέσεις. Η σκέψη είναι αρκετά απλή: Αν ένα αεροσκάφος είναι αρκετά μικρό σε μέγεθος, τότε η εταιρεία χάνει πιθανά έσοδα από τους επιβάτες που δεν μπόρεσαν να βρουν θέση, ενώ αν είναι αρκετά μεγάλο, τότε οι κενές θέσεις σημαίνουν αυτόματα απώλεια εσόδων από τα εισιτήρια (και παράλληλα επιπλέον έξοδα λειτουργίας ενός μεγαλύτερου αεροπλάνου). Δυστυχώς, η εξασφάλιση του “κατάλληλου αεροπλάνου” για την κάθε διαδρομή είναι αρκετά πολύπλοκη υπόθεση, καθώς υπάρχει μια σειρά ζητημάτων υλικοτεχνικής φύσης που

περιορίζουν την διαθεσιμότητα ενός αεροσκάφους σε διαφορετικές ώρες και τοποθεσίες.

Το πρόβλημα μοντελοποιείται με ένα πολύ μεγάλο γραμμικό πρόγραμμα πολλαπλών ακεραίων. Μια τυπική διαμόρφωση του προβλήματος μπορεί να οδηγήσει σε 60.000 μεταβλητές και 40.000 περιορισμούς. Ο ορίζοντας σχεδιασμού για το κάθε πρόβλημα είναι η μία ημέρα, με την υπόθεση πως το ίδιο χρονοδιάγραμμα επαναλαμβάνεται κάθε ημέρα. Ο αντικειμενικός στόχος του προβλήματος είναι η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους λειτουργίας (περιλαμβάνει τα κόστη πληρώματος, καύσιμου και τα τέλη απογείωσης-προσγείωσης) και του κόστους των χαμένων εσόδων από τους επιβάτες. Ορισμένοι περιορισμοί προέρχονται από την διατήρηση της ροής των αεροσκαφών από διαφορετικούς στόλους σε διαφορετικούς προορισμούς και σε διαφορετικές προγραμματισμένες ώρες απογείωσης και προσγείωσης. Επιπλέον, η διαθεσιμότητα του αεροσκάφους, του πληρώματος, οι απαιτήσεις για προγραμματισμένη συντήρηση και τυχόν ρυθμίσεις που υποβάλλονται από αεροδρόμια, αποτελούν επιπλέον περιορισμούς που θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν. Αν και η υλοποίηση ενός τέτοιου μοντέλου είναι αρκετά δύσκολη, άλλα, όχι αδύνατη, η ικανότητα απόδοσης βέλτιστης λύσης ήταν ανύπαρκτη για πολλά χρόνια. Με τη βοήθεια της Επιχειρησιακής Έρευνας αναπτύχθηκε το λεγόμενο σύστημα Coldstart που εφαρμόζει εξελιγμένες τεχνικές επίλυσης προβλημάτων ακέραίου και γραμμικού προγραμματισμού. Οι οικονομικές ωφέλειες ήταν φυσικά εντυπωσιακές. Για παράδειγμα, σύμφωνα με την Delta Airlines, εξοικονομούνταν 220.000\$/ημέρα στο χρονικό διάστημα 1 έως 31 Αυγούστου του 1993.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΜΟΝΗΣ - ΘΕΩΡΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

2.1 Εισαγωγή στη Θεωρία Συστημάτων Αναμονής

Αναφερόμενοι στην Θεωρία Συστημάτων Αναμονής ή διαφορετικά Θεωρία Ουρών Αναμονής (Queuing Theory), θα λέγαμε σχετικά πως με τον όρο Θεωρία Αναμονής ή Ουρές Αναμονής δηλώνεται ένα μαθηματικό πρότυπο το οποίο χρησιμοποιείται με σκοπό να μοντελοποιηθεί ένα σύστημα εισόδου και εξόδου των πελατών σε ένα συγκεκριμένο σημείο εξυπηρέτησης, με τυχαίο ρυθμό. Το πρότυπο αυτό διαφορετικά ονομάζεται και σύστημα εξυπηρέτησης πελατών. Στην πραγματικότητα βέβαια, δεν είναι παρά μια σειρά η οποία αποτελείται από στοιχεία που συνθέτουν την Θεωρία Συστημάτων Αναμονής.

Τα στοιχεία αυτά μπορεί να είναι άνθρωποι, οχήματα, προϊόντα, αντικείμενα, τηλεφωνικές κλήσεις και οι οποίοι βρίσκονται σε αναμονή προκειμένου να εξυπηρετηθούν σε ένα συγκεκριμένο σημείο εξυπηρέτησης. Η εξυπηρέτηση των στοιχείων αυτών ξεκινά από το πρώτο που βρίσκεται στην ουρά και καταλήγει στο τελευταίο. Στη τεχνολογία των υπολογιστών δε στις μέρες μας, η οριοθέτηση της ουράς αναμονής, αναφέρεται σε μια ομάδα αντικειμένων τα οποία πρόκειται να τεθούν σε διαδικασία επεξεργασίας.

Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί σχετικά πως η Θεωρία Συστημάτων Αναμονής, η οποία αναφέρεται στις ουρές αναμονής, έχει ως στόχο της την ποσοτική περιγραφή των παραπάνω συστημάτων αλλά και το καλύτερο σχεδιασμό τους. Τα ερωτήματα στα οποία προσφέρει σχετικές λύσεις, αφορούν προβλήματα όπως :

1. Πόσο χρόνο θα είναι στην αναμονή ο πελάτης;
2. Ποιο το μήκος της ουράς;
3. Πόσο θα μειωθεί κατά μέσο όρο η ουρά κατά μέσο όρο ακόμα αν ένα ακόμα σημείο εξυπηρέτησης προστεθεί σε αυτή;
4. Ποιος ο αριθμός των σημείων εξυπηρέτησης, ο οποίος πρέπει να υπάρχει έτσι ώστε το πλήθος των πελατών που έχουν χαθεί απέναντι στο σύνολο των εισερχόμενων να είναι μικρότερο από 5%;

2.2 Ορισμοί και Βασικές Έννοιες

Επιχειρώντας μια σχετική ιστορική αναδρομή στην Θεωρία Συστημάτων Αναμονής με τους σχετικούς ορισμούς και βασικές έννοιες, θα μπορούσε να σημειωθεί πως προκειμένου να αναπτυχθούν συγκεκριμένα μοντέλα πρόβλεψης τα οποία αφορούν τη συμπεριφορά των συστημάτων, θα πρέπει να οριοθετηθεί σχετικά ο στόχος που εξυπηρετούν. Έτσι, λοιπόν, αναφέρεται πως στόχος τους είναι να προσφέρουν μια εξυπηρέτηση για τυχαία μεγάλες απαιτήσεις ατόμων ή αντικειμένων. Είναι επομένως αναμενόμενο να εμφανισθεί ένα αρχικό πρόβλημα το οποίο αφορά τη κυκλοφοριακή συμφόρηση των τηλεφωνικών δικτύων. Το πρόβλημα αυτό ήταν και το πρώτο το οποίο και μελετήθηκε από το Δανό μαθηματικό Erland ο οποίος ήταν ο πρώτος ο οποίος δημοσίευσε το 1890 *the theory of Probabilities and Telephone Conversations*. Στα επόμενα έργα του διατύπωσε ότι το τηλεφωνικό δίκτυο χαρακτηρίζεται από :

1. Είσοδο Poisson, εκθετικούς χρόνους αναμονής, ποικίλα κανάλια
2. Είσοδο Poisson, σταθερούς χρόνους ομιλίας, κανάλι εξυπηρέτησης

Οι όποιες μετέπειτα εφαρμογές έγιναν, συνεχίστηκαν από τον ίδιο. Εκτός των συγκεκριμένων όμως, αναφέρεται επίσης ότι το 1927 ο Molina δημοσίευσε το έργο *Application of the theory of Probability to Telephone trucking problems* και μετά από ένα χρόνο ο Fry δημοσίευσε το σχετικό έργο του *Probability and its engineering users*. Η μελέτη αυτή είχε προεκτάσεις στη έρευνα του Erlang. Το 1930 ο Pollaczek εμφάνισε μια πρωτοποριακή δουλειά στην είσοδο Poisson, στην αυθαίρετη έξοδο και σε προβλήματα καναλιών μονών και πολλαπλών. Στη Ρωσία, την ίδια περίοδο οι Kosmogron και Khintchine έκαναν σχεδόν την ίδια εργασία. Στη Γαλλία, ο Crommelin και ο Palm στη Σουηδία. Η θεωρία για τις ουρές είχε μια όχι και τόσο γρήγορη ανάπτυξη μέχρι το 1950 αν και στο μέλλον αναπτύχθηκε ραγδαία. Ωστόσο, οι εφαρμογές αυτές για τις ουρές και τη Θεωρία Συστημάτων Αναμονής οι οποίες εμφανίζονται στη διεθνή βιβλιογραφία, είναι ποικίλες και αφορούν:

- τη θεωρία των πιθανοτήτων
- την Επιχειρησιακή Έρευνα
- την Επιστήμη της Διοίκησης και της Παραγωγής

Υπάρχουν ωστόσο και κάποια παραδείγματα τα οποία αναφέρονται σε :

- υπολογιστές και δίκτυα
- ροές κυκλοφορίας όπως οχήματα, αεροπλάνα
- σχεδιασμό όπως σε ασθενείς σε νοσοκομεία, εργασίες σε μηχανήματα
- σχεδιασμό υποδομών όπως σε τράπεζες, ταχυδρομεία, πάρκα ψυχαγωγίας

Αναφέρεται επίσης πως η μεταπολεμική επανάσταση της τεχνολογίας τη δεκαετία του 1950 σε ένα συνδυασμό με τη νέα άποψη που είχε ο κόσμος για την εφαρμοσμένη επιστήμη, «έπαιξαν» σημαντικό ρόλο στο να αναπτυχθεί η θεωρία των Συστημάτων Αναμονής. Οι όποιες δυσκολίες υπήρχαν σε αριθμητικές εκτιμήσεις, ξεπεράστηκαν από την ανάπτυξη δυνατών υπολογιστικών μηχανών. Επίσης και τα αναλυτικά μοντέλα βοήθησαν στη μελέτη των ουρών. Στη δεκαετία δε του 1960, η ανάπτυξη των Υπολογιστών και η εφαρμογή τους, βοήθησε σημαντικά στη θεωρία των ουρών. Σημαντική ήταν και η βοήθεια από τα δίκτυα επικοινωνίας μέσα από τους υπολογιστές. Δε ήταν τυχαίο ότι η θεωρία των Συστημάτων Αναμονής ήταν σε θέση να συμβαδίσει με την εξέλιξη που είχαν οι υπολογιστές και τα συστήματά τους αλλά και οι δορυφορικές επικοινωνίες, την επόμενη δεκαετία.

Αντίστοιχα, μέχρι το τέλος της δεκαετίας του 1980, η διεθνής βιβλιογραφία γύρω από τη θεωρία των Συστημάτων Αναμονής δεν έφερε και τόσο μεγάλη πρακτική σημασία αν και η θεωρία αυτή ήταν και ο λόγος για τον οποίο ξεκίνησε το συγκεκριμένο φαινόμενο ως ένα επιστημονικό πεδίο. Στις μέρες μας βέβαια υπάρχει μια πλούσια βιβλιογραφία η οποία εστιάζει στα προβλήματα των Συστημάτων Αναμονής, προτείνοντας τη χρήση μαθηματικών τεχνικών και μεθόδων.

Η υπολογιστική δύναμη προσφέρει σημαντική βοήθεια, αφού οι προσωπικοί υπολογιστές χρησιμοποιούνται ευρέως από τον καθένα στον υπολογισμό των Συστημάτων Αναμονής. Έτσι πλέον η Θεωρία των Συστημάτων Αναμονής κατέχει μια σημαντική ανάπτυξη σε πολλούς τομείς στη καθημερινή ζωή. Χρησιμοποιούνται πολλά αριθμητικά μοντέλα και τύποι καθώς και η άμεση χρήση τεχνικών οι οποίες αναφέρονται στη λήψη αποφάσεων και διαχείρισης στη Θεωρία των Συστημάτων Αναμονής.

Πρέπει να σημειωθεί δε ότι πολλά από τα προβλήματα δεν αναφέρονται στα μαθηματικά μοντέλα της Θεωρίας των Συστημάτων Αναμονής και γι' αυτό το λόγο και δίνεται έμφαση σε:

- μια πολύπλοκη μαθηματική ανάλυση
- λύσεις κατά προσέγγιση
- ανάλυση ευαισθησίας

Δεν πρέπει όμως για κανένα λόγο οι κλειστές φόρμες να περιορίζουν την ανάπτυξη πρακτικών της Θεωρίας των Συστημάτων Αναμονής. Βέβαια, η έννοια της αναμονής ως μια δυσάρεστη εμπειρία είναι γνωστή σε όλους και προκειμένου να εξυπηρετηθούν. Ακόμα και στις τεχνολογικά ανεπτυγμένες χώρες το φαινόμενο της ουράς υπάρχει ακόμα. Οι ουρές υπάρχουν στο δρόμο, στα διόδια, σε κέντρα εξυπηρέτησης τηλεφωνικά, Ταμεία, τράπεζες, ταχυδρομεία. Τα άτομα που περιμένουν στην ουρά είναι τα φυσικά πρόσωπα αν

περιμένουν σε ταχυδρομεία. Τα αεροπλάνα είναι το ίδιο στη περίπτωση του αεροδρομίου.

Η όλη εμπειρία της αναμονής δεν είναι ευχάριστη σε κανένα. Το ίδιο όμως συμβαίνει και με τους διαχειριστές συστημάτων στους οποίους δεν αρέσει αυτή η κατάσταση. Ειδικά, αν το λειτουργικό κόστος αυξάνεται από την αναμονή. Επομένως, κάποιος θα μπορούσε να ρωτήσει για πιο λόγο υπάρχει η αναμονή. Η απάντηση που δίνεται είναι απλή. Η ζήτηση για την εξυπηρέτηση είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή την οποία είναι σε θέση να δώσει η παρούσα υποδομή. Το γεγονός αυτό συμβαίνει για πολλούς λόγους. Είναι λοιπόν δυνατόν:

- να υπάρχει έλλειψη σε εξυπηρέτηση, όπως μονάδες, άνθρωποι, ή/και πόροι
- να μην είναι οικονομικά εφικτό για μια επιχείρησης να μπορεί να δώσει ένα καλό επίπεδο εξυπηρέτησης προκειμένου να μην υπάρχουν ουρές και να υπάρχει ένα χωρικό όριο ίδιο με το μέγεθος της εξυπηρέτησης

Προκειμένου λοιπόν να είναι γνωστό πόσα άτομα που θα εξυπηρετηθούν θα είναι και διαθέσιμα, θα πρέπει να απαντηθούν δυο βασικά ερωτήματα :

- ποιος ο χρόνος τον οποίο κάποιος πελάτης περιμένει στην ουρά
- πόσοι πελάτες περιμένουν στην ουρά

Τα παραπάνω αυτά ερωτήματα προσπαθούν να πάρουν απαντήσεις μέσα από τη θεωρία των Συστημάτων Αναμονής. Έτσι λοιπόν, η θεωρία αυτή χρησιμοποιεί ένα σύνολο από μαθηματικές εκφράσεις με σκοπό να λύσει τα προβλήματα αναμονής ατόμων ή αντικειμένων τα οποία δημιουργούνται καθημερινά.

Ένα σύστημα αναμονής μπορεί να μοντελοποιηθεί μέχρι και τη τελευταία λεπτομέρεια, μέσα από τη συγκεκριμένη θεωρία. Λαμβάνονται υπόψη τα όποια χαρακτηριστικά του και ερευνάται με ακρίβεια η λειτουργία του. Δεν είναι όμως αρκετή μόνο η υλοποίηση ενός τέτοιου μοντέλου αλλά θα πρέπει να μπορεί και να εφαρμοσθεί ανά πάσα στιγμή. Επομένως οι αποφάσεις για τα χαρακτηριστικά του, είναι σημαντικές και έχουν αντίκτυπο. Τα συστήματα θεωρίας Αναμονής που έχουν μεγάλη δυναμικότητα έχουν και μεγάλο κόστος ενώ τα συστήματα με μικρή δυναμικότητα έχουν αύξηση της ουράς κάτι το οποίο στο μέλλον δημιουργεί αύξηση κόστους. Αναζητάτε λοιπόν μια οικονομική ισορροπία σε κόστος εξυπηρέτησης και κόστους το οποίο δημιουργείται από την αναμονή.

Ωστόσο, για να υπάρχει ορθή λειτουργία ενός Συστήματος Αναμονής, είναι απαραίτητη προϋπόθεση η σωστή λειτουργία και πρακτική η οποία πρέπει να γίνεται από την αρχή, προκειμένου να υπάρχει και η αναμενόμενη επιτυχία

ενός προγράμματος διαχείρισης κινδύνων στα Συστήματα Αναμονής. Πρέπει να σημειωθεί ότι μπορεί να υποβαθμιστούν οι επιδόσεις κάποιου υποσυστήματος από έναν κακό έλεγχο ποιότητας αλλά σε καμία περίπτωση ένας κακός σχεδιασμός δεν μπορεί να βελτιωθεί από έναν καλό έλεγχο ποιότητας.

Έτσι λοιπόν, ένα εργαλείο το οποίο μπορεί να είναι πολύ χρήσιμο στους υπεύθυνους σε θέματα λήψης αποφάσεων μέσω της χρήσης της θεωρίας των Συστημάτων Αναμονής, αποτελεί και η αξιολόγηση κινδύνων. Με αυτό τον τρόπο μπορούν να σταθμίσουν όποιες εναλλακτικές δυνατότητες υπάρχουν έτσι ώστε οι επιλογές τους να είναι ενημερωμένες και σκόπιμες. Αποφεύγουν να είναι απομονωμένες και το βασικότερο όλων να μην έχουν επαναλήψεις και λάθη.

Βάση των ανωτέρω, θα λέγαμε πως η χρήση της θεωρίας των Συστημάτων Αναμονής, είναι γνωστή και ως δίκτυο ροής αποφάσεων, αλλά και ως διαγράμματα αποφάσεων. Αποτελούν ένα ισχυρό μέσο που βοηθά την αναπαράσταση και τη διευκόλυνση της διαδικασίας ανάλυσης προβλημάτων που περιλαμβάνουν συνεχείς και διαδοχικές αποφάσεις αλλά και κάποια αποτελέσματα τα οποία είναι μεταβλητά σε κάποιο χρονικό διάστημα. Στη πράξη είναι ιδιαίτερα χρήσιμα, αφού έχουν τη δυνατότητα και καθιστούν ικανή την εξέταση κάποιου προβλήματος το οποίο είναι πολύπλοκο και το μετατρέπουν σε μια σειρά από μικρότερα προβλήματα.

Πρέπει να σημειωθεί ότι είναι σκόπιμο να λαμβάνονται υπόψη και οι κίνδυνοι από τις μελλοντικές συνέπειες. Το σημαντικό είναι ότι η χρήση της θεωρίας των Συστημάτων Αναμονής λαμβάνεται και ως μια γραφική μέθοδος αναπαράσταση η οποία διαθέτει χρονολογική σειρά, εναλλακτικές δράσεις οι οποίες είναι διαθέσιμες για το άτομο που κάνει τη λήψη αποφάσεων και αποτελεσμάτων. Αποτελούνται από δυο σημαντικά στοιχεία μεταξύ άλλων, όπως:

- Κόμβοι απόφασης. Ο κόμβος αυτός συνήθως υποδηλώνεται από ένα τετράγωνο. Εκείνος που είναι υπεύθυνος για τη λήψη αποφάσεων επιλέγει μια διαδικασία ή εναλλακτική πορεία δράσης μέσα από κάποιες δυνατότητες. Ως ένας κλάδος αναπαριστάται η εναλλακτική πορεία δράσης ο οποίος ξεκινά από τη δεξιά πλευρά του τετραγώνου. Σε περίπτωση που υπάρχει και κάποιο κόστος αναφέρεται στο μήκος του κλάδου. Σε ανταπόδοση μπορεί να οδηγήσει ο κάθε εναλλακτικός κλάδος. Αλλά μπορεί να οδηγήσει και σε κάποιον άλλο κόμβο απόφασης ή σε κάποιο κόμβο τύχης.
- Κόμβοι τύχης. Υποδηλώνεται με ένα κύκλο. Η σημασία του είναι ότι κάποιο τυχαίο γεγονός αναμένεται στο συγκεκριμένο σημείο διαδικασίας. Αυτό σημαίνει ότι μια κατάσταση της φύσης θα συμβεί από ένα συγκεκριμένο αριθμό καταστάσεων της φύσης. Οι απεικονίσεις αυτών των καταστάσεων γίνονται στο δένδρο σαν κλάδοι στη δεξιά πλευρά του κόμβου της τύχης. Με τον ίδιο τρόπο αναγράφονται και οι αντίστοιχες πιθανότητες πάνω από

τους κλάδους. Κάποιες ανταποδόσεις μπορεί να ακολουθούν τις καταστάσεις της φύσης ή και κάποιοι άλλοι κόμβοι.

Αναφερόμενοι στην κατασκευή ενός συστήματος της Θεωρίας των Συστημάτων Αναμονής, θα λέγαμε πως όλες οι πιθανές εναλλακτικές δυνατότητες αναπαριστώνται ως κλάδοι από τους κόμβους απόφασης προς τα δεξιά. Αργότερα ένας κόμβος τύχης προστίθεται και ακόμα ένας άλλος ο οποίος συνδέεται με κάθε επόμενο συμβάν ή κάποια επόμενη απόφαση. Οποτεδήποτε προστίθεται ένας κόμβος τύχης από τα δεξιά του και οι καταστάσεις της φύσης που είναι οι κατάλληλες μα τις αντίστοιχες πιθανότητες. Η ανάπτυξη του δένδρου γίνεται μέσα από διακλαδώσεις από τα αριστερά προς τα δεξιά μέχρι να τελειώσουν οι τελικές ανταποδόσεις.

2.2.1 Συστήματα Αναμονής και χαρακτηριστικά

Οι ουρές αναμονής αποτελούν ένα καθημερινό συχνό φαινόμενο καθώς εμφανίζονται σε συστήματα εξυπηρέτησης, στα οποία η ζήτηση για κάποια υπηρεσία δεν μπορεί να ικανοποιηθεί μερικές φορές άμεσα από την υπάρχουσα δυναμική του συστήματος που παρέχει την εξυπηρέτηση. Και αυτό γιατί, τυχαίες διακυμάνσεις που εμφανίζονται τόσο στον ρυθμό προσέλευσης όσο και στον χρόνο εξυπηρέτησης του κάθε πελάτη από το σύστημα, δεν βοηθούν στην ικανοποιητική απόδοση του συστήματος. Η γνώση των λειτουργικών χαρακτηριστικών του συστήματος εξυπηρέτησης και των ουρών αναμονής μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές βελτιώσεις στην απόδοση του συστήματος. Η απόδοση του συστήματος αξιολογείται με βάση τις τιμές ορισμένων βασικών δεικτών όπως για παράδειγμα είναι 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 ή των θέσεων εξυπηρέτησης κλπ.

Στόχος της μελέτης ενός συστήματος εξυπηρέτησης: Η ελαχιστοποίηση του κόστους λειτουργίας του από την μία και η μεγιστοποίηση των δεικτών απόδοσης του συστήματος σύμφωνα με τις οριζόμενες προδιαγραφές που θέλουμε για τη λειτουργία του συστήματος.

Τα συστήματα αναμονής χαρακτηρίζονται από:

1. **Την πηγή των Πελατών:** Είναι ο πληθυσμός από τον οποίο προέρχονται οι αφίξεις των πελατών. θεωρείται είτε άπειρος, πρακτικά πολύ μεγάλου μεγέθους όπως π.χ. είναι οι πελάτες τραπεζών, αυτοκίνητα σε σταθμούς διόδων κλπ, ή πεπερασμένος, όπως για παράδειγμα τα αυτοκίνητα ενός συνεργείου που αναμένουν επισκευή. Στα πιο πολλά προβλήματα ουρών αναμονής, εκτός αν ειδικά αναφερθεί ότι αναφερόμαστε σε πεπερασμένο

πληθυσμό, θεωρούμε ότι ο πληθυσμός από τον οποίο προέρχονται οι πελάτες του συστήματος είναι άπειρος.

2. **Τις αφίξεις στο σύστημα:** Σε κάθε σύστημα ουράς αναμονής υπάρχουν "πελάτες" οι οποίοι προσέρχονται για εξυπηρέτηση. Με τον γενικό όρο "πελάτης" εννοούμε τα πρόσωπα, αντικείμενα ή συμβάντα που εισέρχονται στο σύστημα για εξυπηρέτηση. Οι αφίξεις σε ένα σύστημα ουράς αναμονής χαρακτηρίζονται από τα εξής βασικά χαρακτηριστικά:
3. **Την κατανομή των αφίξεων:** Οι "πελάτες" καταφθάνουν στο σύστημα είτε σύμφωνα με κάποιο γνωστό και σταθερό ρυθμό, π.χ. ακριβώς κάθε 15 λεπτά, είτε όπως συμβαίνει και στις περισσότερες περιπτώσεις, καταφθάνουν σε «τυχαίες» χρονικές στιγμές, π.χ. ασθενείς στην εφημερία ενός νοσοκομείου. Οι αφίξεις θεωρούνται τυχαίες όταν είναι ανεξάρτητες η μία από την άλλη, δηλαδή 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. Στην θεωρία ουρών αναμονής, η τυχαία μεταβλητή «αριθμός των αφίξεων ανά μονάδα χρόνου», μπορεί πολλές φορές να προσεγγισθεί από την κατανομή Poisson. Αν γίνει αυτό, τότε η μέση τιμή της Poisson αντιστοιχεί στη μέση τιμή των αφίξεων ανά μονάδα χρόνου, συμβολίζεται με λ και αποτελεί το μέσο ρυθμό αφίξεων στη μονάδα του χρόνου. Για παράδειγμα, αν σε ένα σύστημα εξυπηρέτησης η διαδικασία αφίξεων ακολουθεί την κατανομή Poisson και καταφθάνουν κατά μέσο όρο 10 πελάτες ανά ώρα, τότε $\lambda=10$ και αυτό αποτελεί τη μέση τιμή της κατανομής Poisson που χαρακτηρίζει τη διαδικασία αφίξεων.
4. **Το χρόνο εξυπηρέτησης:** Ο χρόνος που απαιτείται για την εξυπηρέτηση ενός πελάτη μπορεί να είναι σταθερός, π.χ. σε ένα αυτόματο πλυντήριο αυτοκινήτων, όπου απαιτούνται ακριβώς 10 λεπτά για κάθε όχημα ή όπως συμβαίνει και στα περισσότερα συστήματα ουρών αναμονής, να παρουσιάζει μεταβλητότητα που οφείλεται σε διάφορους παράγοντες. Για πολλές περιπτώσεις συστημάτων ουράς αναμονής, μπορεί να θεωρηθεί ότι 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 $1/\mu=1/15$ ώρες = 4 λεπτά.
5. **Τις θέσεις εξυπηρέτησης:** Για τον πελάτη που αναμένει σε κοινή ουρά μπορεί να υπάρχουν περισσότερες από μία παράλληλες θέσεις εξυπηρέτησης, π.χ. ταμεία στην τράπεζα και στην περίπτωση αυτή ο πελάτης εξυπηρετείται από την πρώτη διαθέσιμη θέση εξυπηρέτησης. Σε άλλες περιπτώσεις για την πλήρη εξυπηρέτηση του πελάτη απαιτείται η διαδοχική προσέλευσή του σε

περισσότερες από μία θέσεις εξυπηρέτησης, δηλαδή εξυπηρετείται σε διαδοχικές φάσεις όπως πρώτα στο ένα τμήμα, μετά στο άλλο, δηλαδή η εξυπηρέτησή του απαιτεί πολλά στάδια.

6. **Την λειτουργία της ουράς αναμονής:** Η ουρά σχηματίζεται από «πελάτες» που αναμένουν τη σειρά τους να εξυπηρετηθούν και 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:

1. **FIFO (First In First Out):** οι πελάτες εξυπηρετούνται με βάση τη σειρά προσέλευσης δηλαδή αυτός που ήρθε πρώτος εξυπηρετείται πρώτος.
2. **LIFO (Last In First Out):** οι πελάτες εξυπηρετούνται αντίστροφα με την σειρά προσέλευσης, αυτός που ήρθε τελευταίος εξυπηρετείται πρώτος.
3. **Τυχαία Επιλογή:** οι πελάτες επιλέγονται για εξυπηρέτηση τυχαία από τους αναμένοντες στην ουρά.
4. **Με προτεραιότητες:** οι πελάτες χωρίζονται σε κατηγορίες με διαφορετικές προτεραιότητες και επιλέγονται πρώτα οι πελάτες με την πιο υψηλή προτεραιότητα, π.χ. νοσοκομείο σε εφημερία που επιλέγονται κατά προτεραιότητα οι ασθενείς που έρχονται με το ασθενοφόρο ανεξάρτητα την σειρά αναμονής που υπάρχει ήδη στο θάλαμο αναμονής στο νοσοκομείο. Αλλά και ακόμα μεταξύ πελατών με την ίδια κλάση προτεραιότητας επιλέγεται αυτός έχει προτεραιότητα όπως π.χ. άτομα με ειδικές ανάγκες ή ηλικιωμένοι, κλπ.

7. **Την χωρητικότητα:** Η χωρητικότητα μιας ουράς αναμονής μπορεί να είναι άπειρη ή πεπερασμένη, ότι κάποιος προσέρχεται αφού έχουν καταληφθεί όλες οι θέσεις αναμονής και δεν μπορεί να εισέλθει στο σύστημα.

2.2.2 Τα γεγονότα σε ένα απλό σύστημα με μία ουρά:

Οι πελάτες έρχονται στο σύστημα και περιμένουν στην ουρά μέχρι να αρχίζει η εξυπηρέτησή τους και μόλις τελειώσει η εξυπηρέτησή τους, αποχωρούν από το σύστημα. Οπότε ορίζονται τα εξής ανεξάρτητα γεγονότα:

1. Άφιξη ενός πελάτη στην ουρά και
2. Τέλος εξυπηρέτησης ενός πελάτη

Το πρώτο γεγονός είναι ανεξάρτητο, γιατί θα συμβεί σε κάποια δεδομένη χρονική στιγμή, παρόλο που συχνά για τον υπολογισμό της χρονικής αυτής στιγμής, λαμβάνεται υπόψη ο χρόνος άφιξης του προηγούμενου πελάτη, ανάλογα με τον τρόπο υπολογισμού των αφίξεων, το γεγονός δεν παύει να είναι

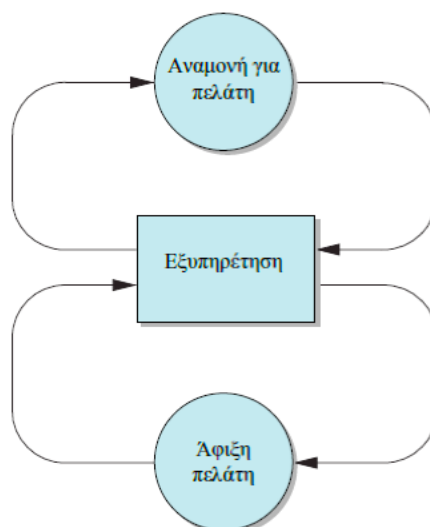
ανεξάρτητο. Αντίστοιχα, και το δεύτερο γεγονός είναι ανεξάρτητο επειδή θα συμβεί κάποια δεδομένη χρονική στιγμή. Η χρονική αυτή στιγμή μπορεί να υπολογίζεται από τον χρόνο έναρξης με δειγματοληψία από κάποια κατανομή, αλλά αυτό δεν αλλάζει τον ορισμό του γεγονότος ως ανεξάρτητου.

Σε σχέση με τα ανεξάρτητα γεγονότα, ορίζονται και δύο εξαρτημένα γεγονότα: Το πρώτο είναι το γεγονός της έναρξης εξυπηρέτησης ενός πελάτη και το γεγονός της αναχώρησης ενός πελάτη από το σύστημα. Το γεγονός της αναχώρησης από το σύστημα εξαρτάται από το γεγονός του τέλους εξυπηρέτησης επειδή μόλις τελειώσει η εξυπηρέτηση κάποιου πελάτη (ανεξάρτητο γεγονός), ο πελάτης αυτός φεύγει από το σύστημα (εξαρτημένο γεγονός). Αντίστοιχα, και η έναρξη εξυπηρέτησης είναι εξαρτημένο γεγονός γιατί εξαρτάται από άλλα γεγονότα ανάλογα με την κατάσταση του συστήματος. Διακρίνονται δηλαδή οι εξής δύο περιπτώσεις:

1. Τελειώνει η εξυπηρέτηση κάποιου πελάτη (ανεξάρτητο γεγονός) και υπάρχει πελάτης που περιμένει στην ουρά (κατάσταση του συστήματος). Στην περίπτωση αυτή συμβαίνει αμέσως το γεγονός της έναρξης εξυπηρέτησης, εξαρτώμενο από το γεγονός του τέλους εξυπηρέτησης.

2. Έρχεται κάποιος πελάτης στο σύστημα (ανεξάρτητο γεγονός) και δεν υπάρχει άλλος πελάτης στο σύστημα (κατάσταση του συστήματος). Στην περίπτωση αυτή συμβαίνει αμέσως το γεγονός της έναρξης εξυπηρέτησης εξαρτώμενο από το γεγονός της άφιξης του πελάτη.

Είναι φανερό, ότι τα ανεξάρτητα γεγονότα δρομολογούνται να συμβούν σε κάποια δεδομένη χρονική στιγμή και συμβαίνουν μόλις φθάσει η χρονική αυτή στιγμή, ενώ τα εξαρτημένα γεγονότα συμβαίνουν αμέσως μόλις συμβεί κάποιο άλλο γεγονός.



Εικόνα 2.1. Διάγραμμα κύκλου δραστηριοτήτων μίας απλής ουράς

2.2.3 Προσδιορισμός Δυναμικότητας Συστημάτων Εξυπηρέτησης

Τα συστήματα ανάλυσης αναμονής έχουν ως αντικειμενικό σκοπό να μπορέσουν να προσδιορίσουν τη δυναμικότητα ενός συστήματος. Με άλλα λόγια να είναι σε θέση να προσδιορίσουν το πλήθος των θέσεων εξυπηρέτησης για την οποία ολόκληρο το προσδοκώμενο μεταβλητό κόστος λειτουργίας του συστήματος μπορεί να ελαχιστοποιείται. Υπάρχουν δυο επιμέρους στοιχεία τα οποία απαρτίζουν και αποτελούν το κόστος μιας επιχείρησης, όπως :

- Το κόστος το οποίο προέρχεται από την αναμονή των πελατών
- Το κόστος δυναμικότητας το οποίο προέρχεται από την παροχή εξυπηρέτησης

Έχει αποδειχθεί επίσης ότι ο μέσος χρόνος που αφορά την παραμονή των πελατών στο σύστημα μειώνεται από τη στιγμή που η δυναμικότητα του συστήματος αυξάνεται με κάποιες επιπλέον θέσεις εξυπηρέτησης. Έτσι σαν αποτέλεσμα παρατηρείται ότι υπάρχει μείωση και στο κόστος το οποίο προέρχεται από την αναμονή των πελατών.

Από τη προσθήκη των θέσεων εξυπηρέτησης επίσης, έχει παρατηρηθεί ότι στην περίπτωση αυτή το κόστος που αφορά τη παροχή εξυπηρέτησης του συστήματος, αυξάνεται σταδιακά. Στην αντίθετη περίπτωση αν υπάρχει μείωση της δυναμικότητας του συστήματος, υπάρχει αύξηση στο κόστος παραμονής των πελατών. Η αιτία είναι ότι υπάρχει αύξηση από το χρόνο παραμονής των πελατών αυτών. Την ίδια στιγμή όμως σημειώνεται και μείωση του κόστους εξυπηρέτησης εξαιτίας του μικρού αριθμού θέσεων εξυπηρέτησης που υπάρχουν. Κάποιος θα μπορούσε να αναρωτηθεί για το με ποιό τρόπο θα ήταν δυνατό να υπάρξει κάποια ισορροπία ανάμεσα σε κόστος αναμονής πελατών και σε κόστος εξυπηρέτησης από την επιχείρηση. Φυσικά θα πρέπει να υπάρχει και ο απαραίτητος σχεδιασμός του συστήματος εξυπηρέτησης.

2.3 Περιγραφή, σχέσεις και παραδείγματα των συστημάτων M/M/1, M/M/1/k, M/M/S, και υπολοίπων που αναφέρονται σχετικά

Αναφερόμενοι σχετικά στα συστήματα M/M/1, M/M/1/K, M/M/S και λοιπά στοιχεία συστημάτων, θα λέγαμε πρώτιστα πως το M/M/1 διαχωρίζεται στο μοντέλο μιας μονάδας εξυπηρέτησης, σε εκείνο με περιορισμένο μήκος

ουράς, το μοντέλο με πεπερασμένο πλήθος αντικειμένων και τέλος το μοντέλο με c μονάδες εξυπηρέτησης. Πιο συγκεκριμένα λοιπόν, αναφέρονται τα εξής στοιχεία και χαρακτηριστικά.

1. Μοντέλο M/M/1 - μια μονάδα εξυπηρέτησης

Σε αυτό το μοντέλο αναμονής ισχύουν οι εξής προϋποθέσεις:

1. Η σειρά εξυπηρέτησης του μοντέλου είναι first-in, first-out (FIFO).
2. Κάθε αντικείμενο που φτάνει στην ουρά αναμένει να εξυπηρετηθεί (δεν εγκαταλείπει την ουρά).
3. Ο ρυθμός των αντικειμένων που εισέρχονται στο σύστημα ακολουθεί κατανομή Poisson και τα αντικείμενα προέρχονται από ένα άπειρο ή πολύ μεγάλο πλήθος.
4. Ο ρυθμός εξυπηρέτησης ακολουθεί εκθετική κατανομή.
5. Ο μέσος ρυθμός εξυπηρέτησης είναι μεγαλύτερος από το μέσο ρυθμό άφιξης.

Στο μοντέλο M/M/1 τα πάντα καθορίζονται από δύο παραμέτρους:

1. λ : ρυθμός αφίξεων (ο μέσος αριθμός αφίξεων ανά χρονική μονάδα)
2. μ : ρυθμός εξυπηρέτησης (ο μέσος αριθμός αντικειμένων που εξυπηρετούνται ανά χρονική μονάδα)

Πρέπει να προσθέσουμε πως οι παράμετροι λ και μ είναι ρυθμοί και εκφράζονται σε αντικείμενα ανά χρονική μονάδα, παραδείγματος χάριν :

1. πελάτες / ώρα
2. αντικείμενα / λεπτό
3. δεδομένα/sec

Όταν για παράδειγμα σε μια εφαρμογή μας δίνεται πως ο χρόνος εξυπηρέτησης είναι κατά μέσο ορό 10 λεπτά, ο ρυθμός εξυπηρέτησης δεν είναι $\mu=10$, αλλά $\mu=6$ αντικείμενα / ώρα, διότι σε μια ώρα εξυπηρετούνται 6 αντικείμενα.

Για το σκοπό μας, θα δώσουμε απευθείας τους τύπους που ισχύουν στο μοντέλο αυτό, χωρίς απόδειξη. Οι αποδείξεις χρησιμοποιούν επαγωγή, γεωμετρικές σειρές, υπολογισμό μέσης τιμής, παραγωγή και άλλα μαθηματικά εργαλεία και μπορούν να αναζητηθούν στη βιβλιογραφία της Θεωρίας Ουρών.

2. Το Μοντέλο M/M/1 - με περιορισμένο μήκος ουράς

Σε ορισμένα συστήματα αναμονής δεν μπορούμε να έχουμε απεριορίστο μήκος ουράς. Για παράδειγμα, σε ένα τηλεφωνικό κέντρο οι τηλεφωνικές κλήσεις, οι οποίες μπορούν να περιμένουν στην ουρά, είναι συγκεκριμένες, όσες είναι δηλαδή οι διαθέσιμες γραμμές αναμονής. Εάν λοιπόν υπάρχουν περιορισμένες θέσεις στην ουρά αναμονής είναι λογικό να επηρεάζονται παράγοντες όπως ο χρόνος εξυπηρέτησης, ο αριθμός αντικειμένων στην ουρά και γενικά τα αποτελέσματα του μοντέλου. Έστω ότι ο μέγιστος αριθμός αντικειμένων στο σύστημα είναι K και οι υπόλοιπες προϋποθέσεις του μοντέλου παραμένουν ίδιες με το βασικό μοντέλο M/M/1.

3. Το Μοντέλο M/M/1/k, με πεπερασμένο αριθμό πελατών

Σε ορισμένες περιπτώσεις οι πιθανοί πελάτες (αντικείμενα) που εισέρχονται στο σύστημα προέρχονται όχι από απεριορίστο πλήθος, αλλά από ένα περιορισμένο αριθμό πελατών (αντικειμένων). Για παράδειγμα, αν μιλάμε για έναν τεχνικό που επισκευάζει τους 20 υπολογιστές μιας υπηρεσίας, είναι λάθος να υποθέτουμε ότι τα αντικείμενα στην ουρά προέρχονται από άπειρο πλήθος. Δεν έχει νόημα, για παράδειγμα, να αναζητούμε το P_{30} , την πιθανότητα δηλαδή, να υπάρχουν 30 αντικείμενα στο σύστημα, εφόσον υπάρχουν μόνο 20 αντικείμενα.

Έστω ότι, ο συνολικός πληθυσμός των αντικειμένων που μπορεί να εισέλθουν στο σύστημα είναι k . Οι υπόλοιπες προϋποθέσεις του μοντέλου παραμένουν ίδιες, όπως και στο βασικό μοντέλο της ουράς M/M/1.

4. Το Μοντέλο M/M/s, με s μονάδες εξυπηρέτησης

Στα προηγούμενα μοντέλα είχαμε μόνο μια μονάδα εξυπηρέτησης. Παρόλα αυτά, σε αρκετές εφαρμογές, όπως για παράδειγμα σε μια τράπεζα, ενώ εξακολουθούμε να έχουμε μια ουρά αναμονής, τα αντικείμενα του συστήματος εξυπηρετούνται από περισσότερες μονάδες εξυπηρέτησης. Για το σκοπό αυτό εξετάζουμε το μοντέλο M/M/s. Στο μοντέλο αυτό ισχύουν οι εξής προϋποθέσεις:

1. Υπάρχει μόνο μία ουρά εξυπηρέτησης. Η σειρά εξυπηρέτησης είναι first-in, first-out (FIFO).
2. Κάθε αντικείμενο εξυπηρετείται από την πρώτη διαθέσιμη μονάδα εξυπηρέτησης.
3. Ο ρυθμός άφιξης των αντικειμένων ακολουθεί κατανομή Poisson
4. Ο ρυθμός εξυπηρέτησης ακολουθεί εκθετική κατανομή.
5. Τα αντικείμενα προέρχονται από ένα άπειρο ή πολύ μεγάλο πλήθος.

Στη περίπτωση αυτή, έχουμε τις εξής παραμέτρους:

λ: Ρυθμός αφίξεων (ο μέσος αριθμός αφίξεων ανά χρονική μονάδα)
μ: Ρυθμός εξυπηρέτησης (ο μέσος αριθμός αντικειμένων που εξυπηρετούνται ανά χρονική μονάδα και ανά μονάδα εξυπηρέτησης)
s: Αριθμός μονάδων εξυπηρέτησης

Σημειώνεται δε ότι ο μέσος ρυθμός εξυπηρέτησης για όλο το σύστημα είναι s επί μ και πρέπει να είναι μεγαλύτερος από το ρυθμό άφιξης.

5. Το μοντέλο $M/M/s/k$ με παράλληλες θέσεις εξυπηρέτησης

Τίθεται υπό εξέταση το μοντέλο $M/M/s/k$ με παράλληλες θέσεις εξυπηρέτησης. Στο μοντέλο αυτό αναφέρεται το k όπου είναι το όριο για ένα αριθμό πελατών, οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα και επιτρέπεται να είναι ανά πάσα στιγμή στο σύστημα. Το μοντέλο αυτό έχει την ίδια προσέγγιση με αυτή του μοντέλου $M/M/s$, εκτός από το στοιχείο του ότι ο αριθμός άφιξης είναι 0 όταν $n > k$. Υπάρχει βέβαια το σκεπτικό ότι μέχρι στιγμής, η ικανότητα αποθήκευσης για τη σειρά αναμονής, είναι άπειρη. Στη πραγματικότητα όμως, κάτι τέτοιο δεν είναι δυνατό και απαράδεκτο για το λόγο ότι οι πελάτες οι οποίοι βρίσκονται στην αναμονή, λογικά θα πρέπει να αποθηκευτούν σε ένα χώρο αναμονής. Ο χώρος αυτός αναμονής πρέπει να έχει μέγεθος το οποίο να είναι πεπερασμένο.

Απλώς, θα πρέπει να προσδιορισθεί το μέγεθος αυτό του χώρου αναμονής και ταυτόχρονα να η επίδραση που έχει ο περιορισμός αυτός στη λειτουργία σειράς αναμονής να αξιολογηθεί. Το άθροισμα των πιθανοτήτων που είναι 1 και που είναι και ο πιο συνηθισμένος όρος, θα δώσει το P_0 . Ισχύει ο ίδιος υπολογισμός με του $M/M/s$. Έτσι τώρα, οι δυο σειρές στον υπολογισμό είναι πεπερασμένες, αλλά και η ένταση της κυκλοφορίας δε χρειάζεται να είναι μικρότερη από 1. Πρέπει όμως στη περίπτωση του πεπερασμένου χρόνου αναμονής, ρυθμιστεί το παραπάνω αποτέλεσμα αφού ένα μέρος ρ_k των αφίξεων δεν εισέρχονται στο σύστημα αναμονής. Ο λόγος είναι ότι όταν φτάνουν στο σύστημα, δεν υπάρχει κάποιος άλλος χώρος αναμονής. Έτσι αυτό που συμβαίνει είναι ότι ο αριθμός των πραγματικών αφίξεων ο οποίος εισέρχεται στο σύστημα, ρυθμίζεται ανάλογα.

Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι οι αφίξεις Poisson, βλέπουν τους χρονικούς μέσους όρους και στη συνέχεια ο ενεργός ρυθμός άφιξης ο οποίος φαίνεται από τους εξυπηρετητές και που είναι $\lambda_{\text{eff}} = 1 - \rho_k$. Ως λ_{eff} , ονομάζεται κάθε προσαρμοσμένος ρυθμός εισόδου. Ο ορισμός λοιπόν του $\rho_{\text{eff}} = \lambda_{\text{eff}} / \mu$, προτείνεται από το παραπάνω και θα πρέπει να είναι μικρότερο από 1, κάτι που ισχύει για κάθε μοντέλο $M/M/s$.

Είναι εύκολο να ληφθούν οι αναμενόμενες τιμές για το χρόνο αναμονής, από το θεώρημα του Little. Ένα ακριβές μοντέλο από πραγματικά συστήματα,

αποτελεί το σύστημα $M/M/1/k$, σε σύγκριση με τα υπόλοιπα μοντέλα που αφορούν τον άπειρο χώρο αναμονής. Στο χώρο αυτό, ο πελάτης είναι σε θέση να εξυπηρετείται και το πολύ $k-1$ να είναι σε αναμονή. Τη στιγμή που οι πελάτες οι οποίοι έρχονται και βρίσκουν ήδη k πελάτες στο σύστημα, φεύγουν και χάνονται.

Η εξήγηση για κάτι τέτοιο είναι ότι για αυτό το μοντέλο, θα πρέπει να υπάρχει ένας περιορισμένος χώρος αναμονής. Ο χώρος αυτός θα χωράει το μεγαλύτερο αριθμό παλετών που είναι ο k και φυσικά δε θα έρθουν ποτέ στο σύστημα. Αν σε όποια άλλη περίπτωση δουν τόσους πολλούς πελάτες θα φύγουν και για να έχουν εξυπηρέτηση θα πάνε σε άλλο σύστημα. Ο λόγος είναι ότι σχεδόν ποτέ δεν είναι πρόθυμοι να περιμένουν για αρκετή ώρα.

6. Το μοντέλο $M/M\{Y\}1$ (Μαζική εξυπηρέτηση)

Υπάρχει περίπτωση, οι αφίξεις να εμφανίζονται σε μια θέση εξυπηρέτησης όπως μια συνηθισμένη διαδικασία Poisson και η εξυπηρέτηση να γίνεται με FCFS (First Come First Served). Στο χώρο αναμονής δεν υπάρχει κανένας περιορισμός και οι k πελάτες εξυπηρετούνται κάθε φορά. Η μόνη φορά που δεν εξυπηρετούνται είναι όταν είναι λιγότεροι από k στο σύστημα και είναι έτοιμοι για εξυπηρέτηση, αλλά όλες οι μονάδες είναι απασχολημένες (εξυπηρετούν).

Επίσης σε περίπτωση που υπάρχουν λιγότεροι από k πελάτες για εξυπηρέτηση, αμέσως εισάγονται οι νέες αφίξεις για εξυπηρέτηση, μέχρι ένα όριο k . Η εξυπηρέτηση γίνεται μαζί με άλλους. Ο χρόνος, ο οποίος απαιτείται για την εξυπηρέτηση κάθε ποσότητας δίνεται από μια κατανομημένη μεταβλητή χωρίς να λαμβάνεται υπόψη, αν η ποσότητα είναι ή όχι πλήρους μεγέθους k . το μοντέλο αυτό είναι γνωστό σαν $M/M[M]1$. Στο θέμα αυτό υπάρχει μια μικρή παραλλαγή, η οποία αφορά το μοντέλο, όπου το μέγεθος της ποσότητας προς εξυπηρέτηση είναι ακριβώς το k . Επίσης, αν ο αριθμός εξυπηρέτησης που είναι παρών και δεν είναι απασχολημένος, είναι λιγότερος από k θα πρέπει να περιμένει μέχρι να συγκεντρωθούν k .

7. Το μοντέλο $M[X]/M/1$ (Μαζική εισαγωγή)

Σε ότι αφορά την ανάπτυξη μοντέλων τα οποία αναφέρονται σε μεθόδους αναλυτικές συγκεκριμένα σε μακροβιανά προβλήματα τύπου μη γεννήσεων θανάτων, αναφέρονται τα παρακάτω εξής στοιχεία.

A. Μοντέλα Ουρών Αναμονής με μη Εθελοντικές Κατανομές

Τα ήδη αναφερόμενα πρότυπα θεωρίας γραμμών έχουν να κάνουν με τη διαδικασία γεννήσεων και θανάτων, πρέπει να υπάρχει μια εκθετική κατανομή σε ότι αφορά :

1. Το χρόνο ανάμεσα σε διαδοχικές αφίξεις
2. Το χρόνο εξυπηρέτησης

Υπάρχουν πολλές ιδιότητες για αυτή την κατανομή που αφορά τη θεωρία των γραμμών αναμονής. Αυτό που είναι όμως σημαντικό είναι ότι παρέχει μια προσέγγιση ικανοποιητική για κάποια μόνο είδη συστημάτων ουράς. Συγκεκριμένα, ο εκθετικός χρόνος και η υπόθεσή για διαδοχικές αφίξεις έχει το νόημα ότι οι αφίξεις είναι τυχαίες. Η προσέγγιση αυτή είναι ικανοποιητική και αφορά πολλές περιπτώσεις αλλά όχι τη περίπτωση στην οποία οι αφίξεις έχουν σχεδιαστεί ή έχουν ρυθμιστεί. Σημειώνεται ότι και η πραγματική κατανομή για το χρόνο εξυπηρέτησης πολλές φορές δε βρίσκεται και τόσο κοντά στη εκθετική μορφή. Ιδιαίτερα, είναι αναγκαίο να αναπτυχθούν και άλλα μοντέλα γραμμών αναμονής τα οποία κάνουν χρήση εναλλακτικών κατανομών.

B. Ουρές Αναμονής M/G/1

Έχει αναφερθεί ότι μέχρι αυτή τη στιγμή, τα μήκη των πακέτων έχουν κατανεμηθεί εκθετικά. Από μετρήσεις έχει φανεί ότι το παραπάνω δεν είναι και τόσο ακριβές. Στη πραγματικότητα, τα πακέτα μάλλον έχουν μια τάση να διαχωρίζονται σε:

1. Σε μικρότερα πακέτα ελέγχου και ηλεκτρονικού ταχυδρομείου
2. Σε μεγαλύτερα πακέτα τα οποία προκύπτουν από μεταφορές αρχείων

Έτσι λόγω των παραπάνω, είναι αναγκαίο να γίνει εξέταση γύρω από την επίδραση της κατανομής του μήκους των πακέτων πάνω στη συμπεριφορά των ουρών αναμονής. Αν θεωρηθεί και πάλι η ουρά αναμονής M/M/1 με τη διαφορά ότι η υπόθεση που ισχύει είναι οι διαδοχικοί χρόνοι μετάδοσης πακέτων S_n είναι ανεξάρτητοι και διαθέτουν κάποια ίδια κατανομή η οποία δε χρειάζεται να είναι αναγκαστικά και εκθετική. Η ονομασία του νέου αυτού συστήματος είναι ουρά αναμονής M/G/1. Στο συμβολισμό αυτό :

1. **M** είναι η διαδικασία αφίξεων η οποία είναι χωρίς μνήμη γεγονός που σημαίνει ότι οι χρόνοι είναι εκθετικά κατανεμημένοι ανάμεσα σε αφίξεις, άρα είναι Poisson
2. **G** σημαίνει ότι οι χρόνοι εξυπηρέτησης διαθέτουν μια γενική κατανομή
3. **1** είναι το Νούμερο το οποίο αναφέρεται σε ένα και μόνο επισκέπτη

Γ. Μια ουρά Αναμονής FIFO

Υπάρχει ένας καταχωρητής, ο οποίος είναι εξοπλισμένος με ένα πομπό. Αυτός ο πομπός διαθέτει ένα ρυθμό R bps για λειτουργία. Στη περίπτωση που τα πακέτα φθάνουν στον καταχωρητή και μεταξύ τους υπάρχουν μεγάλα διαστήματα τότε ο καταχωρητής θα είναι άδειος κάθε φορά που το κάθε πακέτο φθάνει σε αυτό. Στο γεγονός αυτό σημειώνεται ότι η καθυστέρηση η οποία υπάρχει σε κάθε πακέτο στον καταχωρητή ισούται με το χρόνο που χρειάζεται για τη μετάδοσή του. Ο χρόνος αυτός είναι ίσος με L/R δευτερόλεπτα.

Για παράδειγμα, αν $R = 1$ Mbps και το κάθε πακέτο αποτελείται από 1.000 bits ο χρόνος που χρειάζεται για τη μετάδοση του ενός πακέτου είναι ίσος με 1 ms. Αν οι χρόνοι άφιξης αυτών των πακέτων έχουν μια ίδια απόσταση ενός ms μεταξύ τους η καθυστέρηση τότε για το κάθε πακέτο στο καταχωρητή ισούται με 1 ms. Στη περίπτωση, αυτή το κάθε πακέτο αν ένα πακέτο φτάσει στο καταχωρητή τη χρονική στιγμή T το τελευταίο bit φεύγει από το καταχωρητή τη χρονική στιγμή $T + 1$ ms. Έτσι θεωρείται ότι κάποιο πακέτο φθάνει στιγμιαία στο καταχωρητή. Αλλά και πάλι για το ίδιο παράδειγμα μπορεί να ισχύει ότι ο χρόνος ανάμεσα σε διαδοχικές γραμμές είναι μικρότερος από 1 ms.

Έτσι, για παράδειγμα, το πρώτο πακέτο φθάνει τη χρονική στιγμή 0 και το δεύτερο τη χρονική στιγμή 0,4 ms. Αν πάλι ισχύει η υπόθεση ότι ο πομπός μεταδίδει τα πακέτα σύμφωνα με τη σειρά άφιξης στη περίπτωση αυτή το τελευταίο bit που ισχύει για το πρώτο πακέτο αποχωρεί από το καταχωρητή τη χρονική στιγμή 1 ms. Εκείνη ακριβώς τη στιγμή, το δεύτερο πακέτο είναι ήδη μέσα στο καταχωρητή και έχει αρχίσει η μετάδοσή του. Τη στιγμή 2 ms αποχωρεί το τελευταίο bit του δεύτερου πακέτου από το καταχωρητή. Αν λοιπόν το δεύτερο πακέτο έφθασε τη χρονική στιγμή 0,4 ms ο χρόνος παραμονής του είναι 1,6 ms μέσα στο καταχωρητή.

Το δεύτερο πακέτο περίμενε τη σειρά του για να μεταδοθεί από τη διάρκεια των πρώτων 0,6 ms από τη στιγμή άφιξης του μέχρι τη στιγμή μετάδοσής του. Η καθυστέρηση αυτή είναι η ουρά ή η καθυστέρηση αναμονής. Όλη η καθυστέρηση ενός πακέτου στο καταχωρητή προκειμένου να μεταδοθεί ισούται με το άθροισμα της καθυστέρησης αναμονής και του χρόνου μετάδοσής του. Αναφέρεται ότι ο χρόνος για τη μετάδοση ενός πακέτου εξαρτάται μόνο από το μήκος του και από το ρυθμό από τον οποίο μεταδίδεται. Για τη καθυστέρηση αναμονής ισχύει ότι εξαρτάται από τους χρόνους άφιξης των πακέτων μέσα στο καταχωρητή. Με λίγα λόγια η καθυστέρηση αναμονής εξαρτάται από το πόσο κίνηση υπάρχει και από το φορτίο το οποίο αντιμετωπίζει ο καταχωρητής.

Τέλος, σε πολλές δικτυακές ζεύξεις υπάρχουν απρόβλεπτοι χρόνοι άφιξης των πακέτων. Αλλά με τη μέτρηση των χρόνων αυτών σε κάποιες ζεύξεις είναι δυνατό να δημιουργηθούν μαθηματικά μοντέλα τα οποία αντιπροσωπεύουν τυπικές καταστάσεις . Στα μοντέλα αυτά αναφέρονται ακανόνιστες διακυμάνσεις χρόνων σε διαδοχικές αφίξεις. Τα ίδια μοντέλα χρησιμοποιούνται και για τα μήκη πακέτων. Έτσι σύμφωνα με αυτά τα μοντέλα τα στατιστικά χαρακτηριστικά των καθυστερήσεων αναμονής στην ουρά και οι συνολικές καθυστερήσεις σε καταχωρητές είναι δυνατό να υπολογισθούν με κάποιες τεχνικές από τη θεωρία των ουρών αναμονής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΛΗΨΗ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΘΕΩΡΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

3.1 Εισαγωγή στη Θεωρία Λήψης Βέλτιστων Αποφάσεων

Αναφερόμενοι στην θεωρία της λήψης βέλτιστων αποφάσεων, θα λέγαμε πως εκείνη επιτυγχάνεται μέσω της έννοιας της προσδοκώμενης καθαρής αξίας η οποία μπορεί να ληφθεί ως κριτήριο για την απόφαση, σε περίπτωση που τα αποτελέσματα μπορούν να εκφραστούν ως μονάδες χρησιμότητας στις επιχειρήσεις. Αλλά σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να είναι καλύτερο να χρησιμοποιηθεί η προσδοκώμενη χρησιμότητα ως κριτήριο για την λήψη βέλτιστων αποφάσεων. Ο υπεύθυνος για τη λήψη αποφάσεων ως εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιήσει το ισοδύναμο που έχει για τον κάθε κόμβο του τυχαίου αποτελέσματος και στη συνέχεια αυτό να το χρησιμοποιήσει σαν κριτήριο για την απόφαση.

Είναι εύκολο μέσω ενός συστήματος απόφασης να προσλάβει διαστάσεις οι οποίες να μην είναι διαχειρίσιμες και ο σχεδιασμός τους αρχίζει πολλές φορές μόνο αφού υπολογίσει τις πιο σημαντικές εναλλακτικές δυνατότητες που διαθέτει. Έτσι αποκτά μια αρχική ιδέα και κάποια εικόνα της όλης κατάστασης. Αργότερα θα υπολογισθούν και οι επόμενες εναλλακτικές δυνατότητες και τα δευτερεύοντα αποτελέσματα για την λήψη βέλτιστων αποφάσεων. Η δημιουργία ενός τέτοιου διαγράμματος που αφορά το πρόβλημα κάποια απόφασης στην λήψη βέλτιστων αποφάσεων είναι πολύ χρήσιμη και απαραίτητη προκειμένου να γίνει η ανάλυση. Οι βασικές απεικονίσεις ενός συστήματος για την λήψη βέλτιστων αποφάσεων είναι οι εξής:

1. Οι αρχικές και οι άμεσες εναλλακτικές δυνατότητες που ο υπεύθυνος θέλει να υπολογίσει για τη λήψη της απόφασης
2. Τα αποτελέσματα τα οποία είναι αβέβαια αλλά και όλες τις μελλοντικές δυνατότητες που ο υπεύθυνος θέλει να γνωρίζει.
3. Τα αβέβαια αποτελέσματα τα οποία μπορούν να επηρεάσουν τη λήψη μιας απόφασης και που ο υπεύθυνος θέλει να γνωρίζει.
4. Τα αποτελέσματα αυτά μπορεί να περιέχουν πληροφορίες οι οποίες να επηρεάσουν στο μέλλον κάποιες επιλογές του αλλά και τις συνέπειες των προηγούμενων επιλογών του και εναλλακτικών δυνατοτήτων.

Στο σημείο αυτό πρέπει να ειπωθεί ότι τόσο οι εναλλακτικές, όσο και τα αποτελέσματα σε κάθε κόμβο ανταπόδοσης είναι :

1. Αποκλειόμενα αμοιβαία και δε μπορεί να γίνει επιλογή παρά μόνο ενός
2. Εξαντλητικά συλλογικά που σημαίνει ότι αν υπάρξει ένα σημείο απόφασης ή κάποιος κόμβος ανταπόδοσης κάποια δράση πρέπει να γίνει

Θα πρέπει να σημειωθεί επίσης πως πολλές φορές προκειμένου να ληφθεί μια απόφαση επενδυτική σε έναν οργανισμό, είναι χρήσιμο να γίνεται μια έρευνα μεγαλύτερη και πιο αναλυτική για να υπάρξει καλύτερη δέσμευση. Έτσι γίνεται η συγκεντρωση περισσότερων πληροφοριών γύρω από θέματα τεχνολογίας, ενημέρωση της υπάρχουσας ανάλυσης ζήτησης της αγοράς αλλά και έρευνα γύρω από τα μελλοντικά λειτουργικά έξοδα κάποιων εναλλακτικών δυνατοτήτων. Στη συνέχεια, αφού συγκεντρωθούν οι πληροφορίες αυτές, η θεωρία λήψης βέλτιστων αποφάσεων δίνει τη δυνατότητα για να αλλάξουν οι εκτιμήσεις των πιθανοτήτων και ταυτόχρονα είναι ένα μέσο για να συγκεντρωθούν ακόμα πιο πολλές πληροφορίες.

Το πολύ σημαντικό πλεονέκτημα των σχετικών συστημάτων αποφάσεων είναι ότι προσφέρουν τη δυνατότητα εικόνας μιας λογικής σειράς από αλληλουχία αποφάσεων. Έτσι δίνεται μια σαφής αναπαράσταση που περιέχουν όλες τις πορείες των δράσεων αλλά και των δυνατών συνεπειών. Μέσα από τα δένδρα των αποφάσεων επίσης μπορεί κάποιον να δει και να μελετήσει ποιες θα είναι οι επιπτώσεις κάποιων αποφάσεων σε χρονικές περιόδους, αλλά και ποιοι είναι οι στόχοι της επιχείρησης. Τέλος, σε περίπτωση που υπολογισθούν τα κόστη, τα οφέλη και αξιολογηθούν οι πιθανότητες του κάθε αποτελέσματος, είναι δυνατόν να εμφανισθούν και οι κίνδυνοι αλλά και να αναλυθούν οι όποιες επιλογές.

Επίσης, είναι σημαντικό ότι η μεθοδολογία αυτή έχει και κάποιες αδυναμίες που είναι σημαντικές. Αρχικά, υπάρχει ένας περιορισμός των ικανοτήτων αναπαράστασης στη λήψη βέλτιστων αποφάσεων αφού μόνο κάποια μικρά στοιχεία και απλά μοντέλα μπορούν να δοθούν στο επίπεδο ανάλυσης όπου το δένδρο καθιστά πρακτικά. Αν και το πρόβλημα μπορεί να ξεπεραστεί σε κάποιο βαθμό, είναι δυνατόν το διάγραμμα να οδηγήσει σε απώλεια κάποιων πληροφοριών, που να είναι χρήσιμες. Οι υπολογιστικές δυνατότητες που έχουν τα δένδρα και αφορούν απλά προβλήματα, τα τελικά σημεία υπολογίζονται από την αρχή και γίνεται άμεσα η αξιολόγησή τους. Έτσι η διαδικασία αυτή της αναδίπλωσης είναι αποτελεσματική.

Αλλά το πρόβλημα που αφορά τη διαδικασία κίνησης προς τα εμπρός και ο κλασικός λογάριθμος που βασίζεται στο σύστημα λήψης βέλτιστων αποφάσεων, έχει κάποιο μειονέκτημα. Διανύεται δηλαδή κάποια διαδρομή στο δένδρο προκειμένου να επιλυθεί το πρόβλημα και να δημιουργηθεί όλο το φάσμα των αποτελεσμάτων. Με αυτό τον τρόπο εμφανίζεται η «κατάρρα των

πολλών διαστάσεων». Προκειμένου να μην υπάρξει αυτό το πρόβλημα περιορίζεται ο αριθμός των τυχαίων μεταβλητών που περιέχονται στο μοντέλο. Αλλά και από την άλλη πλευρά υπάρχει και ένα ισχυρό κίνητρο απλοποίησης του μοντέλου αξίας. Είναι πάντως γεγονός ότι η ιδιότητα απαρίθμησης των αλγορίθμων η οποία έχει τη βάση της στα δένδρα είναι δυνατό να μειωθεί δραστικά από τη στιγμή που γίνει αξιοποίηση των διαρθρωτικών ιδιοτήτων του προβλήματος.

Θα πρέπει να σημειωθεί επίσης πως η εκτίμηση του προβλήματος μέσω των σχετικών στην λήψη βέλτιστων αποφάσεων, δεν αφορά τίποτα παραπάνω από κάποιες σκέψεις που γίνονται γύρω από το τι πρέπει να γίνει, αν πρέπει να γίνει κάτι που αφορά τη λύση του προβλήματος. Σε αυτό το σημείο δίνονται απαντήσεις σε ερωτήσεις. Αρχικά του τι θα συμβεί αν δεν γίνει κάτι. Η απόφαση που θα παρθεί θα είναι σημαντική αφού θα αποδώσει και το μέγεθος όλης της προσπάθειας. Ερωτήματα όπως, αν αξίζει η όλη προσπάθεια που θα γίνει και πόσο κόπο πρέπει να καταβάλλει κάποιος για τη λύση του προβλήματος, είναι συνηθισμένα. Αντίστοιχα, θα πρέπει να σημειωθεί πως η συγκέντρωση των πληροφοριών, έγκειται σε ορισμένα σημαντικά στοιχεία και τα οποία θα πρέπει να υπάρχουν ως εξής.

1. Η μνήμη
2. Τα αρχεία
3. Οι φάκελοι
4. Τα στοιχεία από τρίτους και η ανάλυσή τους
5. Ποιες αποφάσεις οδήγησαν στο πρόβλημα
6. Ποιος είχε κέρδος
7. Ποιος έχει την ευθύνη
8. Ποιος θα βοηθήσει

Μερικές φορές, ακόμα και αν λυθεί το πρόβλημα, γίνεται επιστροφή σε κάποιο προηγούμενο στάδιο. Όλες οι αποφάσεις έχουν κάποιες επιπτώσεις στον άνθρωπο και αυτό μπορεί να σημαίνει απόλυση, εκπαίδευση ή/και αύξηση μισθού. Οι επιπτώσεις στο οργανωτικό σκέλος μπορεί να είναι αναδιοργάνωση της επιχείρησης ή και επαναπροσδιορισμός των καθηκόντων και εμπλουτισμός εργασίας. Το περιβάλλον στο οποίο γίνονται τα παραπάνω είναι συγκεκριμένο και φυσικά η κάθε απόφαση επηρεάζει τις ισορροπίες και τα συμφέροντα. Οι όποιες αλλαγές γίνονται λαμβάνονται με διαφορετικό τρόπο από τον κάθε ένα και από τη στιγμή που αλλάζουν οι παράμετροι, αλλάζουν και όλες οι υπόλοιπες που αφορούν τις επιπτώσεις.

3.1.1 Η Σημασία του Ορθολογισμού στη Λήψη Βέλτιστων Αποφάσεων

Ο ορθολογισμός δεν είναι πάντα ο καλύτερος τρόπος για να εξάγει κανείς συμπεράσματα. Συνήθως, ο ορθολογισμός περιορίζει το πνεύμα, με αποτέλεσμα να μην εντοπίζονται οι ευκαιρίες που παρουσιάζονται σε μία επιχείρηση, όπως και οι πλέον συμφέρουσες κατά περίπτωση επιλογές. Ο ορθολογισμός λειτουργεί μαθηματικά, με δεδομένα και ερωτήματα. Το εύρος όμως των δεδομένων συχνά είναι ιδιαίτερα περιορισμένο. Ο ορθολογισμός αποτελεί παράγωγο της νόησης. Για να οδηγήσει σε αντικειμενικά συμπεράσματα είναι απαραίτητη η εμπειρία, η συνολική θεώρηση και η ευαισθησία.

Στην εποχή μας πολλοί διευθυντές οργανισμών και επιχειρήσεων προσπαθούν απλά να δείχνουν ορθολογιστές. Χρησιμοποιούν διάφορα εργαλεία ορθολογισμού, όπως πλάνα, μελέτες, στατιστικές συγκρίσεις και μελετούν οικονομικά στοιχεία, προκειμένου να βγάλουν συμπεράσματα σχετικά με τη θέση και την πορεία του ξενοδοχείου, αλλά και να σχεδιάσουν την πορεία της επιχείρησης. Οι προσεγγίσεις αυτές δεν οδηγούν πάντα στα αναμενόμενα αποτελέσματα. Ο ορθολογισμός τους οδηγεί στο να δίνουν μάχες για μικροποσά, προσπαθώντας να μεγιστοποιήσουν τα έσοδα ή να ελαχιστοποιήσουν τα έξοδα, τη στιγμή που μία ευαισθητοποιημένη προσέγγιση της αγοράς, μπορεί να αποκαλύψει σημαντικά κενά στην ικανοποίηση των αναγκών σημαντικών πελατειακών ομάδων, που η κάλυψή τους μπορεί να οδηγήσει σε υψηλή κερδοφορία.

Αυτό συμβαίνει διότι το κάθε γεγονός μελετάται χωριστά, ενώ στην πραγματικότητα επηρεάζεται από ένα πλήθος κοινωνικών, ψυχολογικών, οικονομικών, τεχνολογικών και άλλων παραγόντων. Για το λόγο αυτό, οι διάφορες οικονομικές μελέτες και οι μαθηματικές προσεγγίσεις, έχουν εντελώς διαφορετικό νόημα για ένα έμπειρο υπάλληλο, από ότι για ένα μη έμπειρο αριστούχο απόφοιτο μεταπτυχιακού.

3.1.2 Η μέθοδος PAF (Prevention - Appraisal - Failure)

Ο Freigenbaum το 1974 πρότεινε ένα μοντέλο για την ανάλυση των στοιχείων κόστους ποιότητας, το οποίο είναι σχεδόν καθολικά αποδεκτό. Το μοντέλο βασίζεται στην υπόθεση πως τα κόστη παραγωγής που σχετίζονται με τις αλλαγές στην ποιότητα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στα εξής :

1. Κόστη πρόληψης
2. Κόστη αποτίμησης
3. Κόστη αποτυχίας

Κόστη πρόληψης: Πρόκειται για τα κόστη των δραστηριοτήτων που στόχο έχουν την αποφυγή ατελειών κατά τις διαδικασίες της ανάπτυξης, της παραγωγής, αποθήκευση και μεταφοράς του προϊόντος. Σχετίζονται με τις προδιαγραφές και την ποιότητα του τελικού προϊόντος πριν φτάσει στην τελική του μορφή. Αντιπροσωπεύουν αρχικές δαπάνες, οι οποίες θα πρέπει να ελαχιστοποιούν τα συνολικά κόστη με την εκτέλεση της παραγωγικής διαδικασίας σωστά από την πρώτη κιόλας φορά.

Κόστη αποτίμησης: Πρόκειται για τα κόστη επιθεώρησης και δοκιμής που διασφαλίζουν ότι τα τελικά προϊόντα, τα επιμέρους τμήματα τους και οι πρώτες ύλες συμμορφώνονται στις εκάστοτε απαιτήσεις ποιότητας. Σημειώνεται ότι στα κόστη αποτίμησης δεν περιλαμβάνονται κόστη που προκύπτουν από επανεργασία ή επανεπιθεώρηση που ακολουθούν έπειτα από πιθανές αποτυχίες.

Κόστη αποτυχίας: Αυτά χωρίζονται σε εσωτερικά και εξωτερικά. Τα εσωτερικά κόστη αποτυχίας προκύπτουν από κακή ποιότητα που ανακαλύπτεται πριν από την παράδοση και μεταφορά της ιδιοκτησίας του προϊόντος στον πελάτη και τα εξωτερικά κόστη αποτυχίας προκύπτουν από κακής ποιότητας προϊόντα, τα οποία όμως γίνονται αντιληπτά, αφού η ιδιοκτησία τους έχει μεταφερθεί στον πελάτη.

Το μοντέλο υποθέτει πως τα κόστη πρόληψης, αποτίμησης και αποτυχίας μπορούν να αναγνωριστούν να μετρηθούν και να ελεγχθούν, πράγμα που σημαίνει πως μπορούν να μεταβάλλονται ανάλογα με τις εκάστοτε διοικητικές αποφάσεις. Για το λόγο αυτό, λαμβάνονται υπόψιν μόνο τα μεταβλητά κόστη της παραγωγής. Τα πάγια κόστη (π.χ. αποσβέσεις) δεν συμπεριλαμβάνονται στη μέθοδο. Τα στοιχεία κόστους ποιότητας δεν είναι εύκολο να προσδιοριστούν με συνήθεις μελέτες και υπολογισμούς και συνήθως αναλύονται ακολουθώντας την αρχή Pareto: Λίγοι παράγοντες ευθύνονται για το μεγαλύτερο μέρος του συνολικού κόστους. Δηλαδή το μεγαλύτερο τμήμα του συνολικού κόστους προέρχεται από περιορισμένες προσπάθειες και “λίγα” έξοδα.

3.1.3 Η Μέθοδος Μέτρησης Κόστους Διαδικασιών

Η αναγνώριση των στοιχείων κόστους ποιότητας κατά την μέθοδο PAF είναι κάπως αυθαίρετη. Μπορεί να εστιάζεται σε κάποιες μόνο δραστηριότητες οι οποίες σχετίζονται με την ποιότητα και οι οποίες αφορούν σε ένα μεγάλο μέρος των συνολικών κοστών ποιότητας, όχι όμως σε όλες τις αλληλοσχετιζόμενες δραστηριότητες μιας διαδικασίας. Η μέθοδος **Μέτρησης του Κόστους Διαδικασιών**, αναγνωρίζει αυτή την αξία. Το κόστος μιας διαδικασίας προκύπτει από την πρόσθεση του κόστους συμμόρφωσης και μη – συμμόρφωσης.

Όπως έχουμε αναφέρει και πιο πάνω, το κόστος συμμόρφωσης είναι το πραγματικό κόστος μιας διαδικασίας να παρέχει προϊόντα – υπηρεσίες με συγκεκριμένα standards, από την πρώτη φορά και κάθε φορά. Το κόστος μη – συμμόρφωσης είναι το κόστος αποτυχίας εξαιτίας του ότι μια διαδικασία δεν λειτουργεί σύμφωνα με τις απαιτούμενες προδιαγραφές.

Η μέθοδος Μέτρησης του Κόστους Διαδικασιών στη λήψη βέλτιστων αποφάσεων, μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε διαδικασία μέσα σε μια επιχείρηση. Αρχικά θα αναγνωριστούν όλες οι δραστηριότητες και οι παράμετροι τους μέσα σε μια διαδικασία, δραστηριότητες οι οποίες θα παρακολουθηθούν μέσω της χρησιμοποίησης ενός διαγράμματος ροής της διαδικασίας. Κατόπιν, τα κόστη των δραστηριοτήτων θα κατηγοριοποιηθούν στα κόστη συμμόρφωσης και μη – συμμόρφωσης και το κόστος ποιότητας σε κάθε στάδιο θα υπολογιστεί ή θα εκτιμηθεί.

Τέλος , σημαντικές περιοχές βελτίωσης της διαδικασίας που αναγνωρίζονται θα βελτιωθούν μέσω της επένδυσης σε προληπτικές ενέργειες και επανασχεδιασμό της διαδικασίας προκειμένου να μειωθεί το κόστος μη – συμμόρφωσης ή το περιττό κόστος συμμόρφωσης. Από την μεριά τους, οι δημιουργοί της μεθόδου, Dale και Plunkett (1995) θεωρούν ότι αυτή η μέθοδος βοηθά στην επέκταση της ιδέας του κόστους ποιότητας σε όλες τις λειτουργίες μιας επιχείρησης καθώς και ότι παρακινεί τους ανθρώπους να αναλογιστούν τις διαδικασίες οι οποίες συμβαίνουν μέσα σε μια επιχείρηση με περισσότερες λεπτομέρειες.

3.1.4 Η Μέθοδος Κοστολόγησης Κατά Δραστηριότητα (ABC)

Το βασικό μειονέκτημα των παραδοσιακών συστημάτων κοστολόγησης στη λήψη βέλτιστων αποφάσεων είναι ο κατακερματισμός των γενικών εξόδων στα προϊόντα με τη χρήση κάποιας βάσης κατακερματισμού, όπως οι άμεσες ώρες εργασίας, τα άμεσα κόστη εργασίας, τα άμεσα κόστη πρώτων υλών, κ.α.. Δεν πρόκειται να διαστρεβλωθεί σημαντικά το κόστος ενός προϊόντος σε ένα συμβατικό κατασκευαστικό περιβάλλον, όπου τα γενικά έξοδα είναι μόνο ένα μικρό μέρος του κόστους του προϊόντος.

Σε ένα σύγχρονο, όμως περιβάλλον, όπου τα γενικά έξοδα αυξάνονται ραγδαία καθώς οι ερευνητές αυξάνουν το επίπεδο αυτοματισμού, η διαστρέβλωση του κόστους από τα παραδοσιακά συστήματα κοστολόγησης θα είναι σημαντική. Ο κύριος λόγος είναι ότι πολλά γενικά έξοδα ποικίλουν ανάλογα με την ποικιλία στους όγκους παραγωγής, ανάλογα με την ποικιλία των προϊόντων και ανάλογα με δραστηριότητες οι οποίες δεν σχετίζονται αποκλειστικά με τον όγκο παραγωγής. Για παράδειγμα, προϊόντα υψηλού όγκου παραγωγής καταναλώνουν περισσότερες εργατοώρες σε σχέση με προϊόντα χαμηλού όγκου παραγωγής, όμως τα προϊόντα υψηλού όγκου παραγωγής δεν

χρειάζεται απαραίτητα να έχουν περισσότερα σχεδιασμένα κόστη σε σχέση με τα χαμηλού όγκου προϊόντα. Το αποτέλεσμα είναι τα παραδοσιακά συστήματα κοστολόγησης να υπερκοστολογούν προϊόντα υψηλού όγκου και να υποκοστολογούν τα αντίστοιχα χαμηλού όγκου.

Έχοντας υπόψη τους τα παραπάνω, οι Cooper και Kaplan αναφερόμενοι στον Wen Hsien Tsai (1998) πρότειναν τη χρήση συστημάτων κοστολόγησης κατά δραστηριότητα στη λήψη βέλτιστων αποφάσεων (Activity Based Costing, ABC). Τα συστήματα κοστολόγησης κατά δραστηριότητα βασίζονται στην θεώρηση ότι τα προϊόντα καταναλώνουν δραστηριότητες, οι δραστηριότητες με την σειρά τους καταναλώνουν πόρους και οι πόροι καταναλώνουν κόστη. Η δομή ενός συστήματος ABC αποτελείται από δυο σημαντικά στάδια.

Στο πρώτο στάδιο, οι πόροι οι οποίοι δεν υπάγονται στις κατηγορίες των άμεσων κοστών, αποδίδονται στις δραστηριότητες τις οποίες υποστηρίζουν. Στο δεύτερο στάδιο, το κόστος κάθε δραστηριότητας αποδίδεται σε ένα προϊόν ανάλογα με ένα επιλεγμένο μέτρο κατακερματισμού (Tsai,1998). Με την σειρά του ο Turney (1996), όρισε το σύστημα κοστολόγησης κατά δραστηριότητα στη λήψη βέλτιστων αποφάσεων ως μια μέθοδος μέτρησης του κόστους και της επίδοσης των δραστηριοτήτων και των αντικειμένων κόστους. Αυτό το σύστημα κοστολόγησης αποδίδει αρχικά κόστη σε δραστηριότητες με βάση την χρήση πόρων που κάνουν και στην συνέχεια αποδίδει κόστη σε αντικείμενα κόστους ανάλογα με τη χρήση δραστηριοτήτων που κάνουν.

Ένα σύστημα κοστολόγησης κατά δραστηριότητα στη λήψη βέλτιστων αποφάσεων εστιάζεται στην ακριβή πληροφόρηση αναφορικά με το πραγματικό κόστος των προϊόντων, των υπηρεσιών, των διαδικασιών, των δραστηριοτήτων, των καναλιών διανομής, τις κατηγορίες των πελατών, τα συμβόλαια και τα ερευνητικά έργα. Το σύστημα ABC επιτρέπει την αναγνώριση προβλημάτων και την εύρεση ασφαλών λύσεων και ευκαιριών. Όλα τα παραπάνω, τα καταφέρνει με την παροχή λογιστικών και μη λογιστικών πληροφοριών σχετικά με δραστηριότητες και αντικείμενα κόστους.

Οι στόχοι ενός συστήματος ABC στη λήψη βέλτιστων αποφάσεων μπορούν να επιτευχθούν μέσω της διοίκησης των δραστηριοτήτων. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η κοστολόγηση κατά δραστηριότητα είναι μια διαδικασία συνεχούς και επίμονης βελτίωσης σε κάθε όψη της επιχείρησης. Αυτό σημαίνει μια συνεχή αναζήτηση ευκαιριών για βελτίωση και το οποίο με την σειρά του συνεπάγεται μια προσεκτική και μεθοδική μελέτη των δραστηριοτήτων.

3.2 Ορισμοί και Βασικές Έννοιες των Συστημάτων Λήψης Βέλτιστων Αποφάσεων

Η λήψη των βέλτιστων επιχειρηματικών αποφάσεων αναφέρεται ουσιαστικά σε μία από τις βασικές λειτουργίες της Διοίκησης. Η αντιμετώπιση ενός προβλήματος από τους υπευθύνους λήψης αποφάσεων και προκειμένου αυτές να χαρακτηρίζονται ως βέλτιστες, θα πρέπει να περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

1. Αναγνώριση και ο καθορισμός του προβλήματος
2. Καθορισμός αντικειμενικών σκοπών
3. Συγκέντρωση σχετικών δεδομένων-γεγονότων-πληροφοριών
4. Επεξεργασία-ανάλυση δεδομένων
5. Αναγνώριση και ανάλυση εναλλακτικών λύσεων
6. Υπολογισμός βέλτιστης λύσης - Λήψη απόφασης
7. Εφαρμογή της απόφασης
8. Εκτίμηση της πορείας του σχεδίου
9. Υπολογισμός οικονομικών αποτελεσμάτων-Εκτίμηση αυτών
10. Έλεγχος του σχεδίου παραγωγής
11. Επιτυγχάνεται ο στόχος; Αν ΝΑΙ τότε συνεχίζει, αν ΟΧΙ τότε επιστρέφει στο βήμα 5 και στο βήμα 3.

Ακολουθώντας τα παραπάνω βήματα είναι βέβαιο ότι η απόφαση που ελήφθη, βασίστηκε σε μία λογική σειρά και σε οργανωμένη σκέψη και πιθανότατα είναι η πιο ικανοποιητική απόφαση. Αυτό που προκύπτει βέβαια, είναι πως για να υπάρξουν οι βέλτιστες αποφάσεις για μια επιχείρηση, χρειάζεται η αποδοχή και η στήριξη όλης της επιχείρησης, και αυτό ίσως να είναι το πιο δύσκολο εγχείρημα, αφού πρέπει όλοι να δεχτούν ως αναντίρρηση την ανάγκη να εργαστούν μαζί (Διευθυντές, Προσωπικό και Προμηθευτές) με στόχο την σωστή λειτουργία ενός εσωτερικού συστήματος μιας και η χρήση του αφορά όλους. Τα Ανώτερα Στελέχη της Διοίκησης πρέπει να δουν και να αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις ενός συστήματος μέσα από το πλαίσιο των επιχειρηματικών αναγκών όλου του Οργανισμού και να είναι έτοιμα να αντιμετωπίσουν το σύνολο των προκλήσεων που θα εμφανιστούν.

Έτσι λοιπόν και η συνεργασία αναγκάζει την επιχείρηση στην ολότητά της να αποδεχτεί και να στηρίξει την αλλαγή στην φιλοσοφία, αλλά και να διατηρήσει τη δέσμευση γι' αυτή την αλλαγή. Έτσι η επιχείρηση ξέρει πλέον ότι χρειάζεται κοινή κατανόηση στις αναγκαίες λειτουργίες, η οποία προσδίδει ευθυγράμμιση όλων των ομάδων εργασίας σε ένα κοινό στόχο, γεγονός που θα επιτρέπει στην επιχείρηση την εφαρμογή του συστήματος σε ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο τοπίο. Η εκπαίδευση του προσωπικού είναι κάτι παραπάνω από απαραίτητη στην επιχείρηση ούτως ώστε να επεξηγηθούν οι λόγοι που επέβαλλαν την υιοθέτηση του, να επεξηγηθούν οι ωφέλειες τόσο για την

επιχείρηση όσο και για το ίδιο το προσωπικό και κυρίως για να το βοηθήσει να συμμετάσχει στην υλοποίηση του έργου. Το πλαίσιο στο οποίο εξετάζονται και ουσιαστικά αξιολογούνται και λαμβάνονται οι βέλτιστες αποφάσεις για την επιχείρηση, παρουσιάζεται σχετικά ως ακολούθως.

Είναι γεγονός ότι μετά από την εγκατάσταση του συστήματος αξιολόγησης και λήψης αποφάσεων, η επιχείρηση θα έχει αποκομίσει πολλά σημαντικά οφέλη όπως :

1. Βελτιστοποιούνται οι διαδικασίες της τεχνολογίας και του ανθρώπινου δυναμικού. Αποτελούν θέμα στρατηγικού προσανατολισμού οργάνωσης και μέτρησης της εταιρείας, βοηθώντας κυρίως το τμήμα Μάρκετινγκ να προσδιορίζει τα χαρακτηριστικά των πιο ποιοτικών (καλών) πελατών της εταιρείας, στοχεύοντας έτσι καλύτερα τις διαφημιστικές της εκστρατείες.

2. Μπορούν να αναλυθούν συμπεριφορές πελατών με πιο στοχευμένη επικοινωνία με τον πελάτη, βελτιώνοντας την σχέση της επιχείρησης με αυτούς και δημιουργώντας σχέσεις εμπιστοσύνης.

3. Γίνεται πιο εύκολος ο εντοπισμός ευκαιριών πώλησης, συμβάλλοντας έτσι στην αύξηση των εσόδων της επιχείρησης τόσο από υφιστάμενους πελάτες, μέσω «σταυροειδών πωλήσεων» τόσο και από νέους πελάτες καλύπτοντας κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο τις ανάγκες τους αφού οι πληροφορίες που τους αφορούν βρίσκονται πλέον συγκεντρωμένες, αυξάνοντας ταυτόχρονα τόσο το ποσοστό των ικανοποιημένων πελατών, όσο και την πιστότητα των πελατών στην τράπεζα.

4. Ενισχύεται η προσπάθεια μείωσης του κόστους της επιχείρησης λόγω της αύξησης κυρίως της παραγωγής, αλλά και της μείωσης των διαφημιστικών δαπανών. Δημιουργούνται κατευθυντήριες γραμμές για τους ανθρώπους των πωλήσεων αναλύοντας τα προϊόντα της επιχείρησης, τις ημερομηνίες του κύκλου εργασιών και ταιριάζουν επίσης τα δημογραφικά χαρακτηριστικά των πελατών στα προϊόντα.

5. Γενικά το σύστημα λήψης βέλτιστων αποφάσεων, θα βοηθήσει σημαντικά την επιχείρηση στο να προσαρμοστεί σε σημαντικές επιχειρησιακές αλλαγές, καθώς και σε πολύ μεγάλο βαθμό στην Πρόληψη Απωλειών από την πελατειακή της βάση. Με την εγκατάσταση του συστήματος η επιχείρηση δεν θα ακολουθεί απλά τον Ανταγωνισμό, αλλά έχοντας τη δυνατότητα να γνωρίζει τόσο τους πελάτες της όσο και τις ανάγκες τους, προσαρμόζει ανά πάσα στιγμή τα προϊόντα, την τιμολογιακή της πολιτική, στοχεύει καλύτερα την διαφήμιση της και χρησιμοποιεί αποδοτικότερα τα κανάλια διανομής της, δημιουργώντας έτσι τις τάσεις στον κλάδο της και κερδίζοντας την πιστότητα των πελατών της.

3.3 Εφαρμογή Θεωρίας Συστημάτων Αναμονής στη Λήψη Βέλτιστων Αποφάσεων

Αναφερόμενοι στην εφαρμογή του Συστήματος Αναμονής στη λήψη βέλτιστων αποφάσεων, θα λέγαμε πρωτίστως πως τα χαρακτηριστικά ενός συστήματος αναμονής στη σχετική διαδικασία, αναφέρεται στα εξής σημεία:

1. Κατανομή αφίξεων (arrival distribution)
2. Κατανομή χρόνου εξυπηρέτησης (service distribution)
3. Πλήθος σημείων εξυπηρέτησης
4. Πειθαρχία ουράς (service discipline)
5. Χωρητικότητα χώρου αναμονής
6. Μέγεθος πληθυσμού πελατών
7. Μέτρηση δυναμικότητας συστήματος αναμονής

Τα παραπάνω στοχεύουν στην επίτευξη των ακόλουθων στοιχείων

1. Πλήθος παράλληλων σταθμών εξυπηρέτησης της ζήτησης
2. Μέσος ρυθμός εξυπηρέτησης (εξυπηρετούμενοι πελάτες ανά μονάδα χρόνου)

Εκτός των γεγονότων αυτών όμως, ορίζονται και οι Δείκτες απόδοσης συστημάτων αναμονής με σκοπό την λήψη βέλτιστων αποφάσεων και οι οποίοι είναι οι εξής:

1. P_n : Η πιθανότητα να υπάρχουν n πελάτες στο σύστημα, που αναμένουν ή εξυπηρετούνται τη στιγμή t
2. P_0 : Η πιθανότητα να μην υπάρχει πελάτης στο σύστημα τη στιγμή t
3. L : Ο μέσος αριθμός πελατών στο σύστημα τη στιγμή t
4. L_q : Ο μέσος αριθμός πελατών στην ουρά τη στιγμή t
5. L_q' : Μέσο πλήθος πελατών στην ουρά, όταν αυτή δεν είναι κενή
6. L_s : Μέσο πλήθος πελατών στην εξυπηρέτηση
7. W : Ο μέσος χρόνος που αναμένεται να παραμείνει ένας πελάτης στο σύστημα (σε αναμονή και για την εξυπηρέτηση)
8. W_q : Ο μέσος χρόνος που αναμένεται να παραμείνει ένας πελάτης στην ουρά
9. ρ : ο βαθμός απασχόλησης του συστήματος (τάση συνωστισμού)

Θα πρέπει να σημειωθεί επίσης πως η οικονομική λειτουργία ενός συστήματος αναμονής και ταυτόχρονης λήψης αποφάσεων, μπορεί να επιτευχθεί ως συνάρτηση δυο ανταγωνιστικών παραγόντων:

1. του κόστους εξυπηρέτησης και
2. του κόστους αναμονής

Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί πως τα κριτήρια λήψης αποφάσεων για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας των συστημάτων αναμονής, αναφέρονται ως εξής:

1. Συμβατικά
2. Μέσος χρόνος αναμονής $W_q < h$ ώρες ή μέσος χρόνος παραμονής στο σύστημα $W < h$ ώρες
3. Μέση διάρκεια συνεχούς απασχόλησης των σταθμών εξυπηρέτησης $B < h$ ώρες
4. Μέση διάρκεια αργίας των σταθμών εξυπηρέτησης $I < h$ ώρες
5. Ποσοστό πελατών που χάνονται λόγω περιορισμένου χώρου αναμονής
6. Πιθανότητα να μην αναμείνει καθόλου ένας πελάτης
7. Μέσος αριθμός ατόμων στην ουρά (L_q)
8. Βαθμός χρησιμοποίησης των σταθμών εξυπηρέτησης
9. Μέγιστος αριθμός ατόμων στην ουρά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΤΗ ΛΗΨΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

4.1 Η προσομοίωση στη λήψη αποφάσεων

Η προσομοίωση αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο στη λήψη αποφάσεων και η αξία της είναι σημαντική για τη μοντελοποίηση μίας περίπτωσης πραγματικής μελέτης. Η βασική ιδέα της προσομοίωσης στηρίζεται στην κατασκευή ενός πειραματικού μοντέλου το οποίο μιμείται το πραγματικό σύστημα και τις υπό μελέτη λειτουργίες του. Η εφαρμογή διαφόρων πειραματισμών στο μοντέλο προσομοίωσης είναι χρήσιμη προκειμένου να αξιολογηθούν με διαφορετικά κριτήρια, διαφορετικές στρατηγικές και να επιλέγει η πιο κατάλληλη. Ένα μοντέλο προσομοίωσης είναι εξαιρετικά σημαντικό, καθώς μπορούμε να μελετήσουμε τη συμπεριφορά του συστήματος σε σύντομο χρονικό διάστημα και χωρίς την ανάγκη χρήσης των πειραματισμών στο ίδιο το πραγματικό σύστημα. Με αυτό τον τρόπο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μελέτη ακόμα και των πιο σύνθετων και περίπλοκων μοντέλων. Το ίδιο, δεν προτείνει τη στρατηγική που θα πρέπει να ακολουθηθεί, αλλά αξιολογεί τις εναλλακτικές ώστε να επιλεγεί η στρατηγική με την καλύτερη αναλογία κόστους και οφέλους.

Η δημιουργία μοντέλων για προσομοίωση είναι μια πειραματική μεθοδολογία, η οποία έχει ως στόχο:

1. τη μελέτη της συμπεριφοράς ενός συστήματος,
2. τον έλεγχο υποθέσεων ή θεωριών για την παρατηρούμενη συμπεριφορά ενός συστήματος, και
3. την πρόβλεψη ή εκτίμηση της μελλοντικής συμπεριφοράς ενός συστήματος.

Συνοψίζοντας, η προσομοίωση δεν αποτελεί παρά ένα “πειραματισμό” με το μοντέλο, ο οποίος αντικαθιστά τον πειραματισμό με το σύστημα. Η προσομοίωση μέσω των πειραμάτων εξυπηρετεί συγκεκριμένους σκοπούς σημαντικότεροι από τους οποίους είναι:

1. **Εκτίμηση.** Γίνεται προσπάθεια να προσδιορισθεί πόσο καλό είναι το προτεινόμενο σύστημα, δηλαδή, πόσο καλά ανταποκρίνεται στη σχεδιάσή του, όταν κριθεί με βάση συγκεκριμένα και προκαθορισμένα κριτήρια.
2. **Σύγκριση.** Συγκρίνονται διαφορετικές σχεδιάσεις του προτεινόμενου συστήματος ως προς την επίτευξη συγκεκριμένης λειτουργίας. Μπορούν επίσης να συγκριθούν μεταξύ τους διαφορετικές προτεινόμενες λειτουργίες του συστήματος.

3. **Πρόβλεψη.** Γίνεται μια εκτίμηση της απόδοσης του συστήματος κάτω από τις προβλεπόμενες συνθήκες λειτουργίας.
4. **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.
5. **Βελτιστοποίηση.** Καθορίζονται οι συνδυασμοί των παραμέτρων που οδηγούν στην καλύτερη δυνατή απόκριση του συστήματος.
6. **Λειτουργικές σχέσεις.** Προσδιορίζονται οι λειτουργικές σχέσεις ανάμεσα στους σημαντικότερους παράγοντες ή συνθήκες που επηρεάζουν τη λειτουργία του συστήματος.

Τα στάδια μιας τυπικής μελέτης προσομοίωσης είναι:

1. Ο αρχικός σχεδιασμός
2. Η μοντελοποίηση των δεδομένων
3. Η ανάπτυξη του μοντέλου με τη χρήση ενός λογισμικού Η/Υ
4. Η επικύρωση του μοντέλου χρησιμοποιώντας επίσημες μεθόδους και την εμπλοκή των στελεχών της εταιρείας
5. Ο καθορισμός των αρχικών συνθηκών και των συνθηκών σταθερής κατάστασης
6. Η υλοποίηση του πειραματισμού πάνω στο μοντέλο προσομοίωσης
7. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων

4.2 Μοντέλα Προσομοίωσης

Τα μοντέλα προσομοίωσης είναι κυρίως δυναμικά, μαθηματικά μοντέλα. Αυτό όμως που κυρίως χαρακτηρίζει τα μοντέλα προσομοίωσης είναι το γεγονός ότι τα μοντέλα αυτά δεν λύνονται, αλλά εκτελούνται καθώς χρησιμοποιούνται ηλεκτρονικά προγράμματα σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Σχεδόν όλα τα μοντέλα προσομοίωσης αποτελούνται από κάποιο συνδυασμό των παρακάτω στοιχείων:

1. Συστατικά
2. Μεταβλητές
3. Παραμέτρους
4. Λειτουργικές σχέσεις
5. Περιορισμούς
6. Συναρτήσεις κριτηρίων

Κάθε μοντέλο προσομοίωσης έχει τη μορφή μιας ερώτησης «αν ... τότε ...», δηλαδή, εάν δοθεί στο σύστημα μια συγκεκριμένη είσοδος με την ευρεία έννοια, που περιλαμβάνει και οποιαδήποτε στρατηγική, τότε η έξοδος μπορεί να καθορισθεί από το μοντέλο. Άρα, συμπεραίνουμε ότι η προσομοίωση δεν είναι

κάποια θεωρία, αλλά μια απλή μεθοδολογία επίλυσης προβλημάτων, από τις πολλές που υπάρχουν.

Τα ποιο γνωστά μοντέλα προσομοίωσης είναι η προσομοίωση γεγονότων διακριτού χρόνου Discrete-event simulation (DES). Το μοντέλο αυτό μοντελοποιεί διαδοχικά γεγονότα και παρουσιάζει τη χρήση πόρων και λίστες αναμονής (ουρές). Βασικά στοιχεία αποτελούν ο ορισμός και χρονοδρομολόγηση γεγονότων (αφίξεις-χρόνοι εξυπηρέτησης) και η προσαύξηση του χρόνου. Είναι χρήσιμο, καθώς επιτρέπει τον συντονισμό όλων των επιμέρους εργασιών που εκτελούνται στην προσομοίωση και δίνει τη δυνατότητα προσομοίωσης της λειτουργίας του πραγματικού συστήματος επί μεγάλο χρονικό διάστημα μέσα σε σύντομο πραγματικό χρόνο.

Βασικά στοιχεία ενός μοντέλου προσομοίωσης είναι:

1. Οντότητες (Entities) : Ως οντότητες εννοούνται τα αντικείμενα του συστήματος και οτιδήποτε δημιουργεί τις ουρές. Είναι τα αυθύπαρκτα στοιχεία του συστήματος τα οποία προσομοιώνονται και των οποίων η συμπεριφορά ορίζεται επακριβώς. Για παράδειγμα αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν ασθενείς σε ένα νοσοκομείο, αεροπλάνα σε ένα αεροδιάδρομο κ.ά. Το πρόγραμμα που υλοποιεί το μοντέλο προσομοίωσης στον ηλεκτρονικό υπολογιστή, διατηρεί πληροφορίες γύρω από την κατάσταση των οντοτήτων. Όταν συμβεί μία αλλαγή στην κατάσταση της οντότητας, τότε το πρόγραμμα καταγράφει αυτήν την αλλαγή. Η ολική κατάσταση του συστήματος είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης των οντοτήτων.

2. Δραστηριότητες (Activities): Οτιδήποτε εκτελούν οι οντότητες. Καθορίζουν ποιες δραστηριότητες ακολουθεί μια οντότητα, με ποια σειρά, για πόσο χρονικό διάστημα. Μια δραστηριότητα καταναλώνει χρόνο, δηλαδή διαρκεί για κάποιο προσομοιωμένο χρονικό διάστημα και περιορίζονται από ένα “αρχικό” και από ένα “τελικό” γεγονός. Π.χ. μία εξυπηρέτηση ενός πελάτη από έναν υπάλληλο χαρακτηρίζεται από το αρχικό γεγονός, την αρχή εξυπηρέτησης.

3. Γεγονότα (Events): για συγκεκριμένες χρονικές στιγμές όπως, η άφιξη, η έναρξη και η λήξη εξυπηρέτησης και η αποχώρηση. Ένα γεγονός αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη (διακριτή) χρονική στιγμή κατά την οποία η κατάσταση (η τιμή) μίας ή περισσότερων μεταβλητών αλλάζει, π.χ. η εργασία Α αρχίζει, η εργασία Β τελειώνει κλπ.

4. Ουρές (Queues): διακρίνονται σε πραγματικές ουρές, όπως οι ουρές σε μια τράπεζα και οι εικονικές ουρές, όπως η λίστα αναμονής σε νοσοκομείο.

5. Πόροι (Resources): Απαιτούνται από τις δραστηριότητες, όπως άνθρωποι, εξοπλισμός κ.α. Διακρίνονται σε αυτούς που μπορούν να κάνουν μόνο μια δραστηριότητα(dedicated), μπορούν να κάνουν πολλές δραστηριότητες αλλά μόνο μια κάθε χρονική στιγμή(floating) και σε αυτούς που μπορούν να κάνουν πολλές δραστηριότητες ταυτόχρονα (shared). Είναι αυθύπαρκτα στοιχεία του

συστήματος αλλά δεν μοντελοποιούνται μεμονωμένα. Οι πόροι έχουν περιορισμένη διαθεσιμότητα και πολλές φορές οι οντότητες χρειάζονται να τους χρησιμοποιήσουν και μετά να τους απελευθερώσουν. Στις περιπτώσεις αυτές, οι οντότητες ίσως χρειασθεί να αναμένουν να έρθει η σειρά τους για τη χρήση των πόρων. Για παράδειγμα, σε ένα σύστημα, πόροι θα μπορούσαν να είναι τα διαθέσιμα κουτιά ενός προϊόντος σε μια αποθήκη εμπορευμάτων, οι ταμίες σε μία τράπεζα, οι υπάλληλοι σε ένα γραφείο κ.λπ.. Οι πόροι μπορούν να θεωρηθούν και ως οι μόνιμες οντότητες του συστήματος.

6. Διαδικασίες (processes): Οι διαδικασίες περιέχουν διάφορα γεγονότα και δραστηριότητες και ουσιαστικά περιγράφουν όλο το ιστορικό μια οντότητας μέσα στο σύστημα που προσομοιώνεται. Π.χ. η διαδικασία ενός πλοίου μπορεί να περιλαμβάνει: α) αναχώρηση από λιμάνι 1^ο γεγονός, β) την άφιξη στο λιμάνι 2^ο γεγονός, γ) αποβίβαση επιβατών – αυτοκινήτων, 1^η δραστηριότητα, δ) επιβίβαση επιβατών – αυτοκινήτων 2^η δραστηριότητα, ε) αναχώρηση από λιμάνι 2^ο γεγονός κλπ.

4.3 Ανάπτυξη λογισμικού για το μοντέλο συστήματος αναμονής M/M/s σε πακέτα δεδομένων που εξυπηρετούνται από servers δικτύου

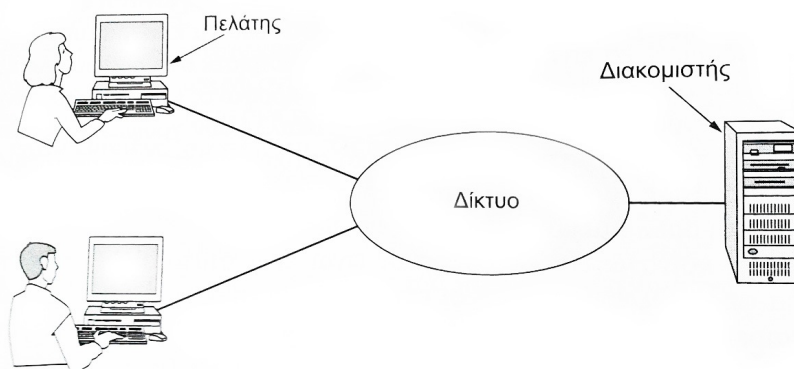
Προτού γίνει ανάλυση μια εφαρμογής συστήματος αναμονής σε ένα δίκτυο υπολογιστών, καλό θα ήταν να υπογραμμιστεί σε αυτό το σημείο η έννοια του δικτύου ως συστήματος που παρέχει υπηρεσίες σε πελάτες. Σε αυτό το σύστημα, οι πελάτες φτάνουν σε τυχαίους χρόνους για να εξυπηρετηθούν. Ως δίκτυο υπολογιστών (computer network), ορίζεται ένα σύνολο αυτόνομων υπολογιστών που είναι διασυνδεδεμένοι με μια κοινή τεχνολογία. Δύο υπολογιστές θεωρείται πως είναι διασυνδεδεμένοι, αν είναι σε θέση να ανταλλάσσουν πληροφορίες. Στο πλαίσιο των δικτύων υπολογιστών, οι πελάτες αντιπροσωπεύουν πακέτα, και η εξυπηρέτηση, την ανάθεση των πακέτων σε συνδέσμους επικοινωνίας (communication links). Για παράδειγμα, αν ένας σύνδεσμος(server) έχει bandwidth B bps (service rate), τότε ο χρόνος εξυπηρέτησης για το ένα πακέτο θα είναι L/B , όπου L είναι το μέγεθος του πακέτου σε bits.(περιλαμβανομένης της επικεφαλίδας). Επειδή ο αριθμός των servers, είναι συνήθως περιορισμένος, οι πελάτες του συστήματος συνήθως μοντελοποιούνται με τον σχηματισμό ουράς προς εξυπηρέτηση. Η θεωρία των συστημάτων αναμονής καθιστά εφικτή τη μελέτη ανάλογων συστημάτων.

Δίκτυο υπολογιστών και κοινόχρηστοι πόροι.

Πολλές εταιρείες έχουν σημαντικό πλήθος υπολογιστών. Για παράδειγμα, μια εταιρεία μπορεί να έχει ξεχωριστούς υπολογιστές για την παρακολούθηση της παραγωγής, τη διαχείριση των αποθηκών και την έκδοση της μισθοδοσίας. Αρχικά κάθε ένας από αυτούς τους υπολογιστές μπορεί να λειτουργούσε απομονωμένος από τους άλλους, αλλά σε κάποιο σημείο η διοίκηση μπορεί να

αποφάσισε να τους συνδέσει μεταξύ τους έτσι ώστε να είναι σε Θέση να συλλέγει και να συσχετίζει πληροφορίες για ολόκληρη την εταιρεία. Το ζητούμενο σε αυτήν την περίπτωση είναι η κοινοχρησία των πόρων (resource sharing) και ο στόχος είναι όλα τα προγράμματα, ο εξοπλισμός και ιδιαίτερα τα δεδομένα να είναι διαθέσιμα σε οποιοδήποτε δίκτυο, χωρίς να έχει σημασία η φυσική θέση του πόρου και του χρήστη. Ένα προφανές παράδειγμα είναι η κοινή χρήση ενός εκτυπωτή από μία ομάδα υπαλλήλων γραφείου. Παρόλα αυτά, η κοινοχρησία των πληροφοριών είναι πιθανότατα ακόμα πιο σημαντική από την κοινοχρησία φυσικών πόρων. Όλες οι εταιρείες μεγάλου ή μεσαίου μεγέθους, καθώς και πολλές μικρές εταιρείες, είναι ζωτικά εξαρτημένες από πληροφορίες που είναι σε υπολογιστές. Οι περισσότερες εταιρείες έχουν σε διαρκή σύνδεση επικοινωνίας (on-line) αρχεία πελατών, απογραφές αποθεμάτων, οικονομικές καταστάσεις, φορολογικά στοιχεία και πολλές πληροφορίες.

Σε πολύ απλούς όρους, μπορεί κανείς να φανταστεί ότι το πληροφοριακό σύστημα μιας εταιρείας αποτελείται από μία ή περισσότερες βάσεις δεδομένων και κάποιον αριθμό υπαλλήλων που πρέπει να έχουν εξ' αποστάσεως πρόσβαση σε αυτές. Στο μοντέλο αυτό τα δεδομένα αποθηκεύονται σε ισχυρούς υπολογιστές που ονομάζονται διακομιστές (servers). Αυτοί συχνά βρίσκονται τοποθετημένοι σε ένα κεντρικό σημείο, όπου συντηρούνται από τους διαχειριστές του συστήματος. Αντίθετα οι υπάλληλοι έχουν στα γραφεία τους απλούστερες μηχανές που ονομάζονται πελάτες (clients), με τις οποίες μπορούν να προσπελάσουν τα απομακρυσμένα δεδομένα έτσι ώστε για παράδειγμα, να τα συμπεριλάβουν σε ένα λογιστικό φύλλο που κατασκευάζουν. Οι μηχανές πελάτη και διακομιστή συνδέονται με ένα δίκτυο και η διάταξη αυτή ονομάζεται μοντέλο πελάτη-διακομιστή (client-server model). Το μοντέλο αυτό, χρησιμοποιείται ευρύτατα και είναι η βάση για τις περισσότερες χρήσεις των δικτύων.



Εικόνα 4.1 Ένα δίκτυο με 2 πελάτες και έναν διακομιστή

Το μοντέλο αυτό έχει εφαρμογή τόσο όταν ο πελάτης και ο διακομιστής είναι στο ίδιο κτίριο (ίδια εταιρεία), όσο και όταν είναι πολύ απομακρυσμένοι και στις περισσότερες περιπτώσεις, ο διακομιστής μπορεί να χειριστεί μεγάλο πλήθος πελατών.

Αν εξετάσουμε το μοντέλο πελάτη-διακομιστή πιο λεπτομερώς, θα δούμε ότι σε αυτό εμπλέκονται δύο διεργασίες, μία στη μηχανή του πελάτη και μία στη μηχανή του διακομιστή. Για να πραγματοποιηθεί η επικοινωνία, η διεργασία πελάτη στέλνει ένα μήνυμα μέσω του δικτύου στη διεργασία-διακομιστή. Στη συνέχεια, η διεργασία-πελάτη αναμένει ένα μήνυμα απάντησης. Όταν η διεργασία-διακομιστή λάβει την απάντηση, εκτελεί τη ζητούμενη εργασία ή αναζητεί τα επιθυμητά δεδομένα και επιστρέφει μια απάντηση.

Σε περίπτωση όπου η τρέχουσα ζήτηση για κάποια υπηρεσία (πολλαπλά αιτήματα πελατών σε διακομιστή) ξεπερνάει τη δυναμικότητα παροχής της, δημιουργούνται ουρές αναμονής. Ακόμη και στις περιπτώσεις όπου η δυναμικότητα του συστήματος φαινομενικά καλύπτει τις απαιτήσεις (ζήτηση), ουρές αναμονής τείνουν να διαμορφώνονται λόγω της μεταβλητότητας (στοχαστικότητας), που υπάρχει στις διαδικασίες άφιξης και εξυπηρέτησης πελατών. Στις ημέρες μας, λόγω της ανάγκης για διαχείριση μεγάλου όγκου πληροφοριών, στις μεγάλες εταιρείες, απαντώνται συχνά περισσότεροι από ένας διακομιστές, προκειμένου να ανταποκριθούν στο μεγάλο ρυθμό άφιξης αιτήσεων (λ) από τις μηχανές πελατών. Οι servers αυτοί μπορεί να βρίσκονται μέσα στην εταιρεία ή ακόμα να δίνεται η δυνατότητα ενοικίασης τους από εταιρείες παροχής cloud servers με κόστος ενοικίασης που ποικίλλει. Παραδείγματα τέτοιων εταιρειών είναι οι Amazon, Google cloud, Joyent, SoftLayer κλπ.

Παρακάτω μελετάται ένα πιθανό μοντέλο ουράς, M/M/s , που μπορεί να εμφανιστεί σε ένα εταιρικό δίκτυο και γίνεται έλεγχος ευστάθειας καθώς και με κριτήριο το ελάχιστο κόστος λαμβάνεται η απόφαση για τον ελάχιστο αριθμό server που χρειάζονται για την ομαλή εξυπηρέτηση ενός ορισμένου αριθμού αιτημάτων.

Σημείωση: Η έννοια του πακέτου δεδομένων (Kbit) ικανοποιεί τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής. Ανάλογα με την εφαρμογή το “πακέτο” αντιστοιχεί σε κλήσεις που φθάνουν σε ένα τηλεφωνικό κέντρο, αιτήσεις αεροσκαφών για απογείωση/προσγείωση από τον πύργο ελέγχου κτλ.

Για τους υπολογισμούς μας θα χρησιμοποιήσουμε το πρόγραμμα λογιστικών φύλλων *Numbers 3.2 σε περιβάλλον OS X Mavericks* και *Excel σε περιβάλλον Microsoft Office*. Τα προγράμματα αυτά δίνουν την δυνατότητα να αναπαραστήσουμε με ευκολία τις μαθηματικές εκφράσεις της θεωρίας των συστημάτων αναμονής και προσφέρουν ένα πλήθος από έτοιμες συναρτήσεις, οι οποίες διευκολύνουν τους υπολογισμούς και βοηθούν στην παραστατική απεικόνισή τους ώστε να είναι εύκολα κατανοητές και από τρίτους βοηθώντας στην γρήγορη και κατάλληλη λήψη απόφασης.

4.3.1 Εισαγωγή Δεδομένων και Υπολογισμοί

Εδώ δίνονται τα βασικά σύμβολα και ορισμοί που περιγράφουν ένα σύστημα αναμονής και λέγονται δείκτες απόδοσης ή λειτουργικοί δείκτες.

n: Πλήθος πελατών που βρίσκεται στο σύστημα κάποια χρονική στιγμή. Στην εφαρμογή ως πλήθος πελατών, θεωρείται το πλήθος των αιτημάτων από τους πελάτες στον διακομιστή που δίνεται σε πακέτα. (Kbits ή όποια μονάδα θέλει ο πελάτης να ορίσει)

s: Πλήθος των θέσεων εξυπηρέτησης του συστήματος. Είναι ο αριθμός των server που διαθέτει η εταιρεία η ενοικιάζει.

λ: Μέσος ρυθμός αφίξεων στην μονάδα του χρόνου. Είναι ο μέσος ρυθμός πακέτων (αιτήσεων) ανά μονάδα χρόνου. Στην εφαρμογή ορίζεται ως Kbit/hour.

μ: Μέσος ρυθμός εξυπηρέτησης στη μονάδα του χρόνου σε Kbit/hour.

Μοντέλο M/M/s			
Αριθμός πακέτων στο σύστημα n	Αριθμός Server s	Ρυθμός αφίξεων (πακέτα/ώρα) λ	Ρυθμός προώθησης (πακέτα/ώρα) μ
30	3	45	26

Εικόνα 4.2 Πλήθος πακέτων στο σύστημα (n), μέσος ρυθμός αφίξεων (λ), μέσος ρυθμός αναχωρήσεων (μ)

ρ : Βαθμός απασχόλησης των θέσεων εξυπηρέτησης. Λέγεται και server utilization.

Μοντέλο M/M/s				
Αριθμός πακέτων στο σύστημα n	Αριθμός Server s	Ρυθμός αφίξεων (πακέτα/ώρα) λ	Ρυθμός προώθησης (πακέτα/ώρα) μ	Βαθμός απασχόλησης Server $\rho = \lambda / (s \cdot \mu)$
30	3	45	26	0,576923076923077

Εικόνα 4.3: Server utilization (ρ)

L : Μέσο πλήθος πακέτων που βρίσκονται στο σύστημα.

$$L = L_q + L_s = L_q + \frac{\lambda}{\mu}$$

L_s : Μέσο πλήθος πακέτων που βρίσκονται στην εξυπηρέτηση (being served).

$$L_s = \lambda / \mu$$

L_q : Μέσο πλήθος πακέτων που βρίσκονται στην ουρά.

$$L_q = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^s \lambda \mu}{(s-1)!(s\mu - \lambda)^2} P_0$$

L_q' : Μέσο πλήθος πακέτων στην ουρά όταν αυτή δεν είναι κενή.

$$L_q' = \frac{n}{\lambda - \mu}$$

Μοντέλο M/M/s					
	Αριθμός πακέτων στο σύστημα n	Αριθμός Server s	Ρυθμός αφίξεων (πακέτα/ώρα) λ	Ρυθμός προώθησης (πακέτα/ώρα) μ	Βαθμός απασχόλησης Server $\rho=\lambda/(s*\mu)$
	30	3	45	26	0,576923076923077
Μέσο πλήθος πακέτων στο σύστημα L	Μέσο πλήθος πακέτων που βρίσκονται στην εξυπηρέτηση (being served) $L_s=\lambda/\mu$	Μέσο πλήθος πακέτων στην ουρά L_q	Μέσο πλήθος πακέτων στην ουρά όταν αυτή δεν είναι κενή L_q'		
2,174899257419	1,730769230769	0,44413002665	1,57894736842105		

Εικόνα 4.4: Πλήθος πακέτων στο σύστημα (L), Πλήθος πακέτων στην εξυπηρέτηση (L_s), Πλήθος πακέτων στην ουρά (L_q), Μέσο πλήθος πακέτων στην ουρά όταν αυτή δεν είναι κενή (L_q')

W : Μέσος χρόνος παραμονής πακέτου στο σύστημα.

W_q : Μέσος χρόνος παραμονής πακέτου στην ουρά.

Μοντέλο M/M/s					
	Αριθμός πακέτων στο σύστημα n	Αριθμός Server s	Ρυθμός αφίξεων (πακέτα/ώρα) λ	Ρυθμός προώθησης (πακέτα/ώρα) μ	Βαθμός απασχόλησης Server $\rho=\lambda/(s*\mu)$
	30	3	45	26	0,576923076923077
Μέσο πλήθος πακέτων στο σύστημα L	Μέσο πλήθος πακέτων που βρίσκονται στην εξυπηρέτηση (being served) $L_s=\lambda/\mu$	Μέσο πλήθος πακέτων στην ουρά L_q	Μέσο πλήθος πακέτων στην ουρά όταν αυτή δεν είναι κενή L_q'	Μέσος χρόνος παραμονής πακέτου στο σύστημα $W(\text{min})$	Μέσος χρόνος αναμονής πακέτου στην ουρά $W_q(\text{min})$
2,174899257419	1,730769230769	0,44413002665	1,57894736842105	2,89986567655929	0,592173368866985

Εικόνα 4.5 Μέσος χρόνος παραμονής πακέτου στο σύστημα (W), Μέσος χρόνος παραμονής πακέτου στην ουρά (W_q)

4.3.2 Πιθανότητες

P_n : Πιθανότητα να υπάρχουν n πακέτα στο σύστημα.

$$P_n = \begin{cases} \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n P_0, n \leq s \\ \frac{1}{s! s^{n-s}} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n P_0, n > s \end{cases}$$

P_0 : Η πιθανότητα όλοι οι servers να είναι αδρανείς.

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{s-1} \left[\frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} \right] + \frac{(\lambda/\mu)^s}{s!} \left(\frac{s\mu}{s\mu - \lambda} \right)}$$

P_w : Η πιθανότητα ένα πακέτο να περιμένει, όταν φτάσει στο σύστημα.

$$P_w = 1 - \sum_{n=0}^{s-1} P_n$$

n	s	P_0	P_w	P_n
0	1	0,328684774681194	0,671315225318806	0,328684774681194
1	2	0,209503148463803	0,395318570732801	0,275996654586005
2	3	0,159464733760803	0,15647531195645	0,238843258776351
3	4	0,140152529760556	0,12989785632965	0,0265774556268005
4	5	0,133173971414899	0,12103870445405	0,00885915187560016
5	6	0,130917490799392	0,11808565382885	0,00295305062520005
6	7	0,13028072411207	0,117101303620449	0,000984350208400018
7	8	0,130124235773451	0,116773186884316	0,000328116736133339
8	9	0,130090429574524	0,116663814638938	0,00010937224537778
9	10	0,130083930396136	0,116627357223812	0,0000364574151259266
10	11	0,130082805604261	0,116615204752104	0,0000121524717086422
11	12	0,130082628628289	0,116611153928201	0,00000405082390288073

Εικόνα 4.6 Πιθανότητες P_n, P_0, P_w

4.3.3 Λήψη απόφασης ως προς τον βέλτιστο αριθμό servers

Όπως έχει αναφερθεί και στο 1ο κεφάλαιο, στόχος της επιχειρησιακής έρευνας εξ' ορισμού, είναι η επίτευξη βέλτιστων λύσεων σε πολύπλοκα προβλήματα. Στην προκειμένη εφαρμογή αναζητείται ο βέλτιστος αριθμός server προκειμένου, αφενός να εξυπηρετούνται οι αιτήσεις όλων των πελατών χωρίς να δημιουργείται συμφόρηση στο δίκτυο, αφετέρου να ελαχιστοποιείται το κόστος. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται 3 κριτήρια τα οποία είναι:

1. Το κόστος εξυπηρέτησης $E(SC)$
2. Το κόστος αναμονής σε ουρές $E(WC)$
3. Το συνολικό κόστος $E(TC) = E(SC) + E(WC)$

Αν θεωρήσουμε πως ο κάθε διακομιστής έχει το ίδιο κόστος(π.χ. ενοικίασης), το κόστος εξυπηρέτησης ισούται με $E(SC)=C_s*s$, όπου το C_s είναι το οριακό κόστος ενός server στην μονάδα του χρόνου. Για τις ανάγκες της εφαρμογής λαμβάνεται ένα οριακό κόστος της τάξης των $C_s=0,17$ €/ώρα. Το κόστος αναμονής σε ουρές ισούται με $E(WC) = C_wL$, όπου C_w είναι το κόστος αναμονής ανά μονάδα χρόνου για κάθε πακέτο. Για τις ανάγκες της εφαρμογής έχει ληφθεί ως ικανοποιητική τιμή η $C_w=0,86$ €/ώρα. Μετά τον προσδιορισμό των C_s και C_w ο στόχος είναι η εύρεση της τιμής του s που να ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος $E(TC) = C_s*s + C_wL$. Όπως φαίνεται και από το παρακάτω διάγραμμα.

S	L	$E(SC)=C_s*s$	$E(WC)=C_w*L$	$E(TC)=E(SC)+E(WC)$
1	3,57449961506125	0,17	3,07406966895267	3,24406966895267
2	16,7158354817614	0,34	14,3756185143148	14,7156185143148
3	2,17489925741947	0,51	1,87041336138074	2,38041336138074
4	1,80122039794021	0,68	1,54904954222858	2,22904954222858
5	1,74472494117262	0,85	1,50046344940845	2,35046344940845
6	1,73355401355617	1,02	1,49085645165831	2,51085645165831
7	1,7312939978161	1,19	1,48891283812184	2,67891283812184
8	1,73086077935396	1,36	1,4885402702444	2,8485402702444
9	1,73078395862661	1,53	1,48847420441889	3,01847420441889
10	1,73077141934314	1,7	1,4884634206351	3,1884634206351
11	1,73076953223601	1,87	1,48846179772297	3,35846179772297

Εικόνα 4.7: Υπολογισμός κόστους για διαφορετικό πλήθος server (s)

Μοντέλο M/M/s					
	Αριθμός πακέτων στο σύστημα n	Αριθμός Servers s	Ρυθμός αφίξεων (πακέτα/ώρα) λ	Ρυθμός προώθησης (πακέτα/ώρα) μ	Βαθμός απασχόλησης Server $\rho=\lambda/(s*\mu)$
	30	3	45	26	0,576923076923077
Μέσο πλήθος πακέτων στο σύστημα L	Μέσο πλήθος πακέτων που βρίσκονται στην εξυπηρέτηση (being served) $L_s=\lambda/\mu$	Μέσο πλήθος πακέτων στην ουρά L_q	Μέσο πλήθος πακέτων στην ουρά όταν αυτή δεν είναι κενή L_q'	Μέσος χρόνος παραμονής πακέτου στο σύστημα $W(\min)$	Μέσος χρόνος αναμονής πακέτου στην ουρά $W_q(\min)$
2,174899257419	1,730769230769	0,44413002665	1,57894736842105	2,89986567655929	0,592173368866985
Πιθανότητες		Κόστη $C_s=0.17 \text{ €/ώρα}$ $C_w=0.86 \text{ €/ώρα}$			
Οι πιθανότητες όλοι οι servers να είναι αδρανείς P_0	Η πιθανότητα να είναι n servers απασχολημένοι P_n	Προσδοκώμενο κόστος εξυπηρέτησης ανά μονάδα χρόνου $E(SC)=C_s*s$	Προσδοκώμενο κόστος αναμονής ανά μονάδα χρόνου $E(WC)=C_w*L$	Προσδοκώμενο συνολικό κόστος ανά μονάδα χρόνου $E(TC)=E(SC)+E(WC)$	
0,159464733760	0,000000000000	0,51	1,87041336138074	2,38041336138074	

Εικόνα 4.8 Κόστος εξυπηρέτησης $E(SC)$, Κόστος αναμονής $E(WC)$, Συνολικό κόστος $E(TC)$

Τελικά υπολογίζεται ο βέλτιστος αριθμός server που θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί σε κάθε περίπτωση με σκοπό την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους. Επιπλέον υπολογίζεται και εάν το σύστημα είναι ευσταθές ή όχι ανάλογα με τα δεδομένα που πληκτρολογεί ο χρήστης. Παρακάτω παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα.

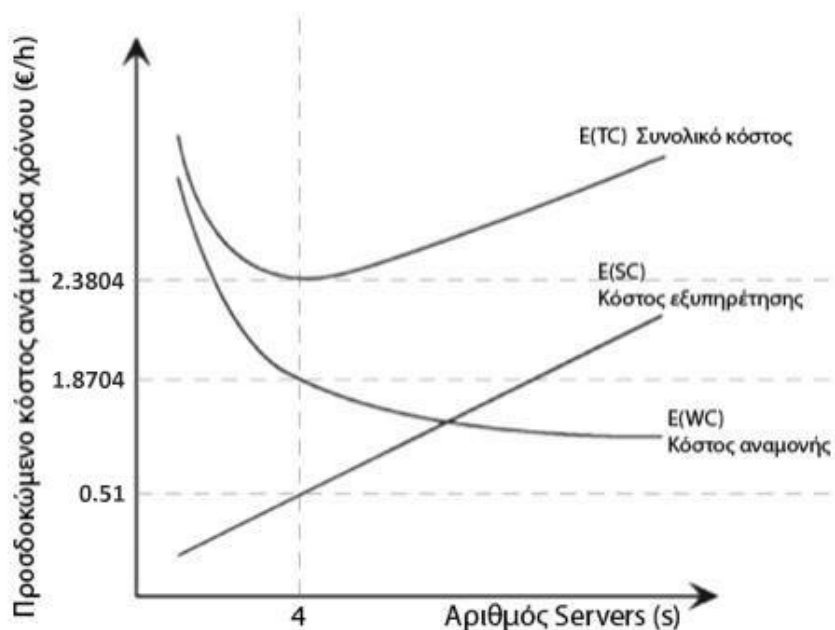
Κόστη $C_s=0.17 \text{ €/ώρα}$ $C_w=0.86 \text{ €/ώρα}$			Ευστάθεια	Βέλτιστος αριθμός server
Προσδοκώμενο κόστος εξυπηρέτησης ανά μονάδα χρόνου $E(SC)=C_s*s$	Προσδοκώμενο κόστος αναμονής ανά μονάδα χρόνου $E(WC)=C_w*L$	Προσδοκώμενο συνολικό κόστος ανά μονάδα χρόνου $E(TC)=E(SC)+E(WC)$		
0,51	1,87041336138074	2,38041336138074	stable	4

Εικόνα 4.9: Βέλτιστος αριθμός server, Ευστάθεια συστήματος

M/M/s	Performance Measures	Results
1	Packet arrival rate per hour (λ)	45
2	Service rate per server per hour (μ)	26
3	System utilization (ρ)	0,576923076923077
4	Average number of packets in the system (L)	2,17489925741947
5	Average number of packets being served (L_s)	1,73076923076923
6	Average number of packets in the queue (L_q)	0,444130026650239
7	Average number of packets in the queue when it is not empty (L_q')	1,57894736842105
8	Average time packet spends in the system (W)	2,89986567655929
9	Average time packet spends in the queue (W_q)	0,592173368866985
10	The probability that n packets are in the system (P_n)	0,0000000000000034852948479
11	The probability that all servers are idle (P_0)	0,159464733760803
12	The probability that arriving packet waits (P_w)	0,325695352876842
13	Optimal No of servers to be used	4

Εικόνα 4.10: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα - Δείκτες απόδοσης

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η σχέση ανάμεσα στα κόστη. Στο σημείο όπου η καμπύλη του συνολικού κόστους $E(TC)$ παρουσιάζει το ελάχιστο, είναι και το σημείο με τον βέλτιστο αριθμό server για την συγκεκριμένη εφαρμογή

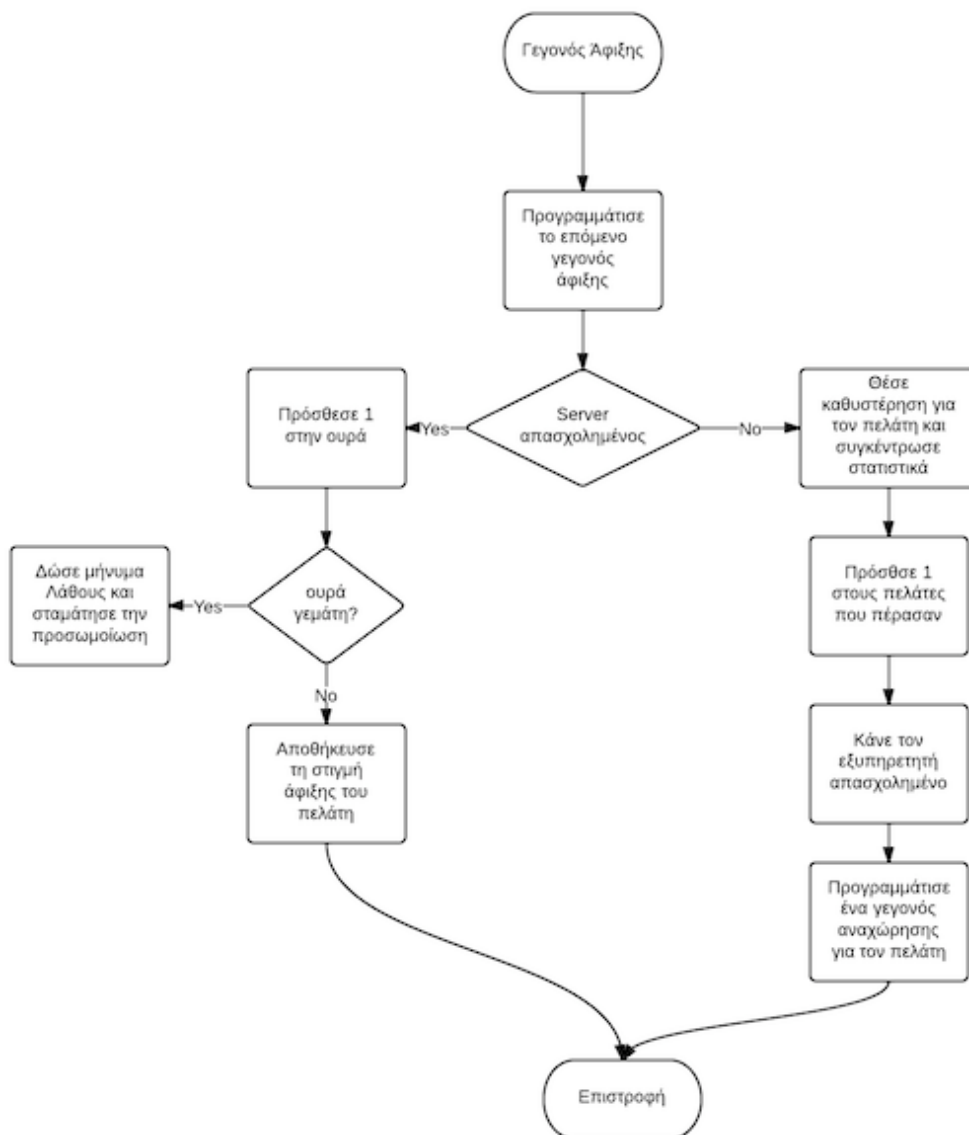


Εικόνα 4.11: Βέλτιστος Αριθμός server (s) και κόστη $E(TC)$, $E(SC)$, $E(WC)$

4.4 Συμπεράσματα

Σύμφωνα με το μοντέλο σειράς, το πρόγραμμα προσομοίωσης κατασκευάζεται κατά ενότητες (modules), ώστε να ξεκαθαρίζεται η λογική και οι αλληλεπιδράσεις των τμημάτων του προγράμματος. Οι πιο σημαντικές ενέργειες γίνονται στις ρουτίνες γεγονότων, τα οποία αριθμούμε ως εξής:

- Περιγραφή Γεγονότος
- Άφιξη Πελάτη στο Σύστημα
- Τύπος γεγονότος
- Αναχώρηση Πελάτη από το Σύστημα αφού ολοκλήρωσε την εξυπηρέτηση.



Εικόνα 4.12 Διάγραμμα ροής για το γεγονός άφιξης



Εικόνα 4.13: Διάγραμμα ροής για το γεγονός αναχώρησης

Ευρετήριο Εικόνων

- Εικόνα 2.1** Διάγραμμα κύκλου δραστηριοτήτων μίας απλής ουράς
- Εικόνα 4.1** Ένα δίκτυο με 2 πελάτες και έναν διακομιστή
- Εικόνα 4.2** Πλήθος πακέτων στο σύστημα (n), μέσος ρυθμός αφίξεων(λ), μέσος ρυθμός αναχωρήσεων (μ)
- Εικόνα 4.3** Server utilization (ρ)
- Εικόνα 4.4** Πλήθος πακέτων στο σύστημα (L), Πλήθος πακέτων στην εξυπηρέτηση (L_s), Πλήθος πακέτων στην ουρά (L_q), Μέσο πλήθος πακέτων στην ουρά όταν αυτή δεν είναι κενή(L_q')
- Εικόνα 4.5** Μέσος χρόνος παραμονής πακέτου στο σύστημα (W), Μέσος χρόνος παραμονής πακέτου στην ουρά(W_q)
- Εικόνα 4.6** Πιθανότητες P_n, P_0, P_w
- Εικόνα 4.7** Υπολογισμός κόστους για διαφορετικό πλήθος server (s)
- Εικόνα 4.8** Κόστος εξυπηρέτησης $E(SC)$, Κόστος αναμονής $E(WC)$, Συνολικό κόστος $E(TC)$
- Εικόνα 4.9** Βέλτιστος αριθμός server, Ευστάθεια συστήματος
- Εικόνα 4.10** Συγκεντρωτικά αποτελέσματα - Δείκτες απόδοσης
- Εικόνα 4.11** Βέλτιστος Αριθμός server (s) και κόστη $E(TC)$, $E(SC)$, $E(WC)$
- Εικόνα 4.12** Διάγραμμα ροής για το γεγονός άφιξης
- Εικόνα 4.13** Διάγραμμα ροής για το γεγονός αναχώρησης

Ελληνική Βιβλιογραφία

1. Σαπουντζή Κ., Τεχνικές Επιχειρησιακής Έρευνας, Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα, 1993
2. Μπάτης Νικόλαος , « Ποσοτικές Μέθοδοι » , Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πρόγραμμα Σπουδών Διοίκησης Επιχειρήσεων και Οργανισμών, Πάτρα 2004
3. Ρουμελιώτης Μάνος, «Μοντελοποίηση και Προσομοίωση» Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πρόγραμμα Σπουδών Πληροφορικής, Πάτρα 2001
4. Π.-Χ. Γ. Βασιλείου, Στοχαστικές Μέθοδοι στις Επιχειρησιακές Έρευνες, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 2000
5. Τρ. Δάρας, Π. Σύψας, Στοχαστικές Ανελίξεις, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 2003
6. Δ. Α. Ξηροκώστας, Επιχειρησιακή Έρευνα, Εφαρμοσμένη Θεωρία Αναμονής, Εκδόσεις Συμμετρία Αθήνα, 1991
7. Π. Α. Μηλιώτης, Επιχειρησιακή Έρευνα, μέθοδοι και προβολή, Εκδόσεις: Α. Σταμούλης, Αθήνα 1994
8. Γ. Πραστάκος, Διοικητική Επιστήμη, Εκδόσεις: Α. Σταμούλης, Αθήνα 2000
9. Π.-Χ. Γ. Βασιλείου, Γ. Τσακλίδης, Ν. Τσάντας, Ασκήσεις στην Επιχειρησιακή Έρευνα, Τόμος 2, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 1998

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

1. Havas G., Coset enumeration strategies. In Proceedings of the International Symposium on Symbolic and Algebraic Computation (ISSAC'91)
2. Josien, M., Βαγιάτης, Γ. (1995), Η επικοινωνία μέσα και έξω από τον εργασιακό χώρο.
3. Laudon, K.C. and Laudon J.P. (2007) Essentials of Business Information Systems, 7th ed., N.J., Pearson Prentice Hall
4. Moorhead, G and Griffin, R., (1995), Organizational behavior: managing people and organizations. Boston, Toronto: Houghton Mifflin company
5. Thornhill A, Lewis P, Milmore M, Saunders M (2000) 1st ed. "Managing Change" FT Prentice hall
6. Josep Is. – Caroline P., (2007) "Driving radical change" The McKinsey Quarterly
7. Buzen J, "Computational Algorithms for Closed Queueing Networks with Exponential Servers", Harvard University and Honeywell Information Systems, 1973
8. Josep Is. – Caroline P., (2007) "Driving radical change" The McKinsey Quarterly

Διαδίκτυο

1. http://www.metal.ntua.gr/uploads/3674/1209/book_part2.pdf
2. <http://chern.ie.nthu.edu.tw/ora/ora.htm>
3. <http://www.fao.org>
4. <http://web.mit.edu/orc/www/>
5. <http://www.statistics.du.se/essays/D07E.Nafees.pdf>
6. <http://ocw.nctu.edu.tw/upload/classbfs121001554684839.pdf>