ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΩΤΣΑΚΗΣ ΣΤΑΥΡΟΣ

Εφαρμογή Μεθόδου Ασαφούς Ανάλυσης Απόδοσης για Στοχαστικά Δίκτυα Ροής Εργασιών Petri

ΧΑΝΙΑ
ΟΚΤΩΒΡΗΣ 2011

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι εξελίξεις των τελευταίων χρόνων στη διοίκηση της σύγχρονης επιχείρησης έχουν οδηγήσει στην τάση να δίνεται έμφαση στις διαδικασίες που ικανοποιούν τις απαιτήσεις των πελατών (process-orientation or process thinking). Η οργάνωση των δραστηριοτήτων που συνεισφέρουν στην ικανοποίηση του πελάτη, δηλαδή των διαδικασιών μιας επιχείρησης είναι ιδιαίτερα σημαντική για την αποτελεσματικότητα μιας επιχείρησης. Η έννοια των επιχειρησιακών διαδικασιών (business process) έχει αποκτήσει ιδιαίτερη βαρύτητα τα τελευταία χρόνια αφού η παραδοσιακή καθετοποιημένη λειτουργία των οργανισμών (δημόσιων και ιδιωτικών) με τη λογική των διευθύνσεων και των τμημάτων έχει δημιουργήσει αρκετά προβλήματα στην επίτευξη της βελτίωσης της απόδοσης. Ο λόγος είναι ότι τα προϊόντα και οι προσφερόμενες υπηρεσίες προκύπτουν από εργασίες (ή καλύτερα δραστηριότητες), οι οποίες απαιτούν τη συνεργασία πολλών διαφορετικών οργανωτικών μονάδων. Σε αυτήν την περίπτωση, η βελτιστοποίηση της λειτουργίας μίας οργανωτικής μονάδας (διεύθυνσης ή τμήματος) σε καμία περίπτωση δεν εξασφαλίζει την ολική βελτιστοποίηση της επιχειρησιακής απόδοσης. Η λογική των διαδικασιών χρησιμοποιεί την οριζόντια οπτική θεώρησης ενός οργανισμού, δίνοντας έμφαση στις δραστηριότητες που υλοποιούνται από όλες τις οργανωτικές μονάδες προκειμένου να επιτευχθεί η εξυπηρέτηση των τελικών πελατών.

Η αυτοματοποίηση των διαδικασιών μπορεί να είναι συνολική ή μερική ανάλογα με τη φύση των εργασιών και γίνεται με τη χρήση κατάλληλων εργαλείων μοντελοποίησης και λογισμικών διαχείρισης (συστήματα διαχείρισης ροής εργασιών) που έχουν εξελιχθεί τα τελευταία 20 χρόνια. Κατά καιρούς, εκφράζονται διαφορετικές προσεγγίσεις που στηρίζονται στην έννοια των διαδικασιών, όπως για παράδειγμα η Αναδιοργάνωση Επιχειρησιακών Διαδικασιών (Business Process Reengineering ή BPR), η Μηχανική Επιχειρησιακών Διαδικασιών (Business Process Engineering ή BPE), η Βελτίωση των Διαδικασιών (Business Process Improvement ή BPI), η Βελτίωση της Απόδοσης (Business Performance Improvement ή BPI), ή η Συνεχής Βελτίωση Διαδικασιών (Continuous Process Improvement ή CPI). Οι προσεγγίσεις αυτές διαφοροποιούνται ως προς τη ριζικότητα των εισηγμένων αλλαγών, τα προτεινόμενα εργαλεία και τη μεθοδολογία υλοποίησης των έργων βελτίωσης.

Η ανάγκη για αυξημένη αποδοτικότητα των επιχειρησιακών λειτουργιών έχει καταστήσει απαραίτητη την αποδοτική ανάλυση απόδοσης των υφιστάμενων ή σχεδιαζόμενων διαδικασιών. Πολλές μέθοδοι ανάλυσης της απόδοσης έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια, λίγες όμως είναι γενικά αποδεκτές.

Ο λόγος είναι ότι στην πράξη, λόγω της πολυπλοκότητας του περιβάλλοντος των επιχειρήσεων, οι επιχειρησιακές διαδικασίες περιέχουν πληροφορίες που εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, προέρχονται από πολλές πηγές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι χρόνοι εκτέλεσης των εργασιών να είναι ευμετάβλητοι και συνεπώς οι εκτιμήσεις για τους χρόνους και οι παραδοσιακές μέθοδοι υπολογισμού της συνολικής απόδοσης των διαδικασιών να αποκλίνουν απ' την πραγματικότητα. Γενικά, όταν οι αποφάσεις παίρνονται σε σταθερό περιβάλλον, έχουν εγκυρότητα για ένα συγκεκριμένο (συνήθως μικρό) χρονικό διάστημα όπου οι συνθήκες δεν αλλάζουν, ενώ οι αποφάσεις σε περιβάλλον αβεβαιότητας συνήθως είναι τυχαίες. Συνεπώς, υπάρχει ανάγκη για μια ιδιαίτερη μεταχείριση της αβεβαιότητας της πραγματικότητας, Αντίστοιχα, υπάρχει ανάγκη και για συνεχή εφαρμογή των μοντέλων και μεθοδολογιών που αναπτύσσονται στη πραγματικότητα ώστε να κριθεί αν τα μοντέλα αυτά είναι πράγματι αξιόπιστα. Τις ανάγκες που περιγράφηκαν παραπάνω επιχειρεί να καλύψει η παρούσα διπλωματική.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η εφαρμογή της μεθοδολογίας ασαφούς ανάλυσης απόδοσης σε στοχαστικά δίκτυα ροής εργασιών Petri στα πλαίσια μιας εταιρείας πληροφορικής. Πιο συγκεκριμένα, αφού παρουσιαστεί το θεωρητικό υπόβαθρο που απαιτείται για την εφαρμογή αυτή, επιχειρείται η μοντελοποίηση της διαδικασίας πώλησης προϊόντων της εταιρείας. Σκοπός είναι η εκτίμηση του συνολικού μέσου χρόνου απόκρισης της διαδικασίας μέσω κατάλληλων μαθηματικών εργαλείων και κατάλληλου λογισμικού. Η εκτίμηση αυτή καθίσταται χρήσιμη για την περαιτέρω βελτίωση της διαδικασίας.

Στο 1ο Κεφάλαιο εξετάζονται ο ρόλος των επιχειρησιακών διαδικασιών στη σύγχρονη πραγματικότητα και καταδεικνύεται η ανάγκη για τη μοντελοποίηση και τον ανασχεδιασμό των σύγχρονων επιχειρησιακών διαδικασιών.

Στο 2ο Κεφάλαιο παρουσιάζεται η τεχνολογία της διαχείρισης ροής εργασιών (Work Flow Management –WFM), η οποία σύμφωνα με τελευταίες έρευνες χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο από τις επιχειρήσεις.

Στο 3ο Κεφάλαιο περιλαμβάνει τα θεωρητικά εργαλεία (δίκτυα Petri και δίκτυα ροής εργασιών) για τη μοντελοποίηση διαδικασιών, τα οποία είναι καλά θεμελιωμένα τόσο σε τυπικό μαθηματικό επίπεδο όσο και σε επίπεδο εφαρμογών – λογισμικού.

Η επιλογή των δικτύων Petri για την μοντελοποίηση και ανάλυση των διαδικασιών έγινε γιατί ο τρόπος αυτός μοντελοποίησης είναι ιδανικός για διαδικασίες με παράλληλες εργασίες, συγχρονισμούς και διαμοιραζόμενους πόρους και τελευταία η εφαρμογή τους είναι αρκετά διαδεδομένη για τη μοντελοποίηση επιχειρησιακών διαδικασιών. Αξιοσημείωτο είναι ότι τα δίκτυα Petri παρέχουν τη δυνατότητα επέκτασης της αρχικής δομής τους με ακόμα περισσότερα χαρακτηριστικά και δυνατότητες. Αυτή η δυνατότητα χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας ανάλυσης ροών εργασιών σε περιβάλλον αβεβαιότητας.

Στο 4ο Κεφάλαιο, παρουσιάζεται μία επέκταση των δικτύων ροής εργασιών με ασαφείς περιγραφές για τους χρόνους εκτέλεσης των εργασιών, για την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας της πραγματικότητας. Ειδικότερα, χρησιμοποιείται μια νέα προσέγγιση ασαφής στατιστικής, που είναι ένας συνδυασμός στατιστικής και ασαφούς θεώρησης για την εκτίμηση παραμέτρων στοχαστικών κατανομών από στατιστικά δεδομένα. Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία ενός υβριδικού δικτύου ροής εργασιών (ασαφούς λογικής και στατιστικής) όπου οι χρόνοι εκτέλεσης των εργασιών είναι ασαφείς εκτιμητές (fuzzy estimators).

Στο 5ο Κεφάλαιο παρουσιάζεται μια μελέτη περίπτωσης για τη μοντελοποίηση και ανάλυση μιας αυτοματοποιημένης επιχειρησιακής διαδικασίας για την πώληση προϊόντων της εταιρείας πληροφορικής Computec Systems.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1- Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ
1.1 Ορισμός επιχειρησιακής διαδικασίας…….....7
1.2 Ο ρόλος του μοντέλου…….....8
1.3 Ο ρόλος της πληροφορικής…….....8
1.4 Οφέλη επικέντρωσης στις διαδικασίες……..9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2- ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΡΟΗΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ
2.1 Εισαγωγή – Ορισμοί……10
2.2 Ιστορική προέλευση ροής εργασιών……10
2.3 Τύποι ροών εργασιών…….....11
2.3.1 Παραγωγικές ροές εργασιών……11
2.3.2 Διοικητικές ροές εργασιών …….....12
2.3.3 Ειδικού σκοπού ροές εργασιών …….....12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΡΟΗΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ
3.1 Εισαγωγή……..13
3.2 Βασικές Έννοιες Μοντέλων Ροής Εργασιών……...13
3.2.1 Εργασία, διαδικασία και κύκλος ζωής περιστατικού……..14
3.2.2 Δρομολόγηση περιστατικών…….....14
3.2.3 Αναπαράσταση ροής εργασιών……...16
3.3 Δίκτυα Petri……..17
3.3.1 Εισαγωγή…….....17
3.3.2 Ιστορική αναδρομή…….....18
3.3.3 Ορισμός δικτύων Petri…….....19
3.3.4 Ανάλυση ιδιοτήτων συμπεριφοράς δικτύων Petri……...21
3.3.5 Δίκτυα Petri με χρόνο…….. …...22
3.3.5.1 Αρχικά μοντέλα Petri με χρόνο…….....23
3.3.5.2 Στοχαστικά δίκτυα Petri…….....23
3.4 Σύνδεση δικτύων Petri με τη Ροή Εργασιών……26
3.4.1 Ορισμός δικτύων ροής εργασιών……26
3.4.2 Συμβολισμοί-παράδειγμα……27
3.4.3 Δομές δρομολόγησης και ανάλυση απόδοσης ροής εργασιών…….....31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΡΟΗΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ
4.1 Εισαγωγή……..35
4.2 Ασαφείς εκτιμητές…….....35
4.2.1 Μη ασυμπτωτικοί ασαφείς εκτιμητές……36
4.3 Μοντελοποίηση υβριδικών δικτύων σε ροή εργασιών……37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ
5.1 Η περίπτωση της Computec……....39
5.2 Περιγραφή παρεχόμενων υπηρεσιών……...40

5.2.1 Business Software……....40
5.2.1.1 Λύσεις Τυποποιημένου Λογισμικού……...40
5.2.1.2 Λύσεις Συστημάτων Διαχείρισης Πόρων.....40
5.2.1.3 Εγκατάσταση, Εκπαίδευση και Συμβουλευτικές Υπηρεσίες..41
5.2.1.4 Υποστήριξη……43
5.2.2 System Integration……...44
5.3 Μοντελοποίηση διαδικασίας με δίκτυα ροής εργασιών petri.....44
5.4 Ανάλυση απόδοσης ανασχεδιασμένης διαδικασίας……..46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ
6.1 Συζήτηση αποτελεσμάτων……59
6.2 Προτάσεις……61
6.3 Επίλογος……...62
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ…….....63

ΣΧΗΜΑΤΑ ΕΙΚΟΝΕΣ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1: Οι σημαντικότερες δομές δρομολόγησης……..15
Πίνακας 2: **:** Μετρήσεις χρόνου σε ημέρες για κάθε εργασία-καθήκον της διαδικασίας πώλησης προϊόντος……...46
Πίνακας 3: Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις του χρόνου κάθε εργασίας……48
Πίνακας 4: Αποτελέσματα κατασκευής μη ασυμπτωτικών ασαφών εκτιμητών για τους μέσους χρόνους εκτέλεσης των εργασιών……49
Πίνακας 5: Γραφικά αποτελέσματα κατασκευής μη ασυμπτωτικών ασαφών εκτιμητών για τους μέσους χρόνους εκτέλεσης των μεταβάσεων…….....51
Πίνακας 6: Μεθοδολογία απλοποίησης και υπολογισμός του χρόνου απόκρισης διαδικασίας……54
Σχήμα 3-1: Παράδειγμα αναπαράστασης ροής εργασιών……17
Σχήμα 3-2: Συστατικά στοιχεία δικτύων Petri…….. ..19
Σχήμα 3-3: Παράδειγμα μοντελοποίησης διαδικασίας με δίκτυο Petri...20
Σχήμα 3-4: Μία θέση με τρεις μάρκες……29
Σχήμα 3-5: Παράδειγμα στοχαστικού δικτύου petri……25
Σχήμα 3-6: Ενεργοποίηση-απενεργοποίηση μετάβασης όταν υπάρχει ανασταλτική θέση……25
Σχήμα 3-7: Παράδειγμα μοντελοποίησης ροής εργασιών που απαιτούνται για την παραγωγή μιας αρβύλας στρατιωτικού τύπου…….27
Σχήμα 3-8: Συμβολισμοί δομικών λίθων δικτύων ροής εργασιών….. ... 28
Σχήμα 3-9: Συμβολισμός διαφόρων τύπων πυροδοτήσεων……..30
Σχήμα 3-10: Σειριακή δομή δρομολόγησης δύο μεταβάσεων……31
Σχήμα 3-11: Παράλληλη δομή δρομολόγησης δύο μεταβάσεων…….. ..32
Σχήμα 3-12: Επιλεκτική δομή δρομολόγησης δύο μεταβάσεων……..33
Σχήμα 3-13: Επαναληπτική δομή δρομολόγησης δύο μεταβάσεων….. .34
Σχήμα 4-1: Ασαφής εκτιμητής της μέσης τιμής μ……36
Σχήμα 5-1: Δίκτυο petri εμπορικής διαδικασίας……..45
Σχήμα 5-2α: Πρώτη απλοποίηση αρχικού μοντέλου……...57
Σχήμα 5-2β: Δεύτερη απλοποίηση αρχικού μοντέλου……58
Σχήμα 5-2γ: Τρίτη απλοποίηση αρχικού μοντέλου……58
Σχήμα 5-2δ: Τέταρτη απλοποίηση αρχικού μοντέλου……....59
Σχήμα 5-2ε: Τελική απλοποίηση αρχικού μοντέλου……...59
Εικόνα 1: Εύρεση μέσης τιμής και τυπικής απόκλισης των δεδομένων της εργασίας t_9 με το πρόγραμμα Fuzzy Operations……..47
Εικόνα 2: Κατασκευή ασυμπτωτικών ασαφών εκτιμητών με το πρόγραμμα Fuzzy Operations……..52
Εικόνα 3: Πράξεις μεταξύ ασαφών αριθμών που αντιπροσωπεύουν το χρόνο εκτέλεσης κάθε εργασίας……...53

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1- Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ

1.1 Ορισμός επιχειρησιακής διαδικασίας

Διαδικασία είναι η λογική οργάνωση ανθρώπων, υλικών, ενέργειας, εξοπλισμού και πρωτοκόλλων σε δραστηριότητες εργασίας σχεδιασμένες να παράγουν ένα προδιαγεγραμμένο τελικό αποτέλεσμα. Μια Επιχειρησιακή Διαδικασία, σύμφωνα με το [4], είναι ένα σύνολο συσχετιζόμενων λογικά ενεργειών που εκτελούνται για να επιτευχθεί ένα ορισμένο επιχειρησιακό αποτέλεσμα. Οι διαδικασίες μπορούν να διακρίνονται σε διάφορους τύπους όπως:

- Διαδικασίες που παραδίδουν Προϊόντα & Υπηρεσίες
- Διαδικασίες με Εξωτερικούς Πελάτες
- Διαχειριστικές Διαδικασίες
- Διαδικασίες Υποστήριξης
- Βασισμένες στη γνώση διαδικασίες
- Λειτουργικές διαδικασίες

Σύμφωνα με το [5], οι διαδικασίες μπορεί να είναι *αυτόματες*, δηλαδή να εκτελούνται εξολοκλήρου από μηχανές / υπολογιστές, ή *ημι-αυτόματες* δηλαδή να εκτελούνται από μηχανές και ανθρώπους. Σε κάθε περίπτωση οι εμπλεκόμενοι που ονομάζονται "πόροι" (resources) της διαδικασίας έχουν συγκεκριμένες αρμοδιότητες - ρόλους (roles). Οι ρόλοι καθορίζουν ποιες εργασίες επιτρέπεται να εκτελεί κάθε εμπλεκόμενος και συνήθως ανήκουν σε μία ή περισσότερες ομάδες (groups). Η πιο συνηθισμένη διάκριση των ρόλων σε ομάδες είναι τα τμήματα της επιχείρησης.
Χαρακτηριστικό γνώρισμα των επιχειρησιακών διαδικασιών είναι ότι έχουν σαφώς καθορισμένη είσοδο και έξοδο. Σύμφωνα με τους M. Hammer και J. Champy στο [6], μια επιχειρησιακή διαδικασία ορίζεται ως "ένα σύνολο από δραστηριότητες που δέχονται μια είσοδο και δημιουργούν μία έξοδο που αποδίδει αξία στον πελάτη". Αυτό σημαίνει ότι οι επιχειρησιακές διαδικασίες δεν περιορίζονται σε ένα συγκεκριμένο τμήμα αλλά αφορούν στο σύνολο της επιχείρησης με σκοπό την ικανοποίηση τόσο των εσωτερικών όσο και των εξωτερικών πελατών.

1.2 Ο ρόλος του μοντέλου

Σκοπός κάθε μοντέλου είναι απεικονίσει την πραγματικότητα καλύτερα και να περιορίσει τα πιθανά λάθη. Το μοντέλο μιας επιχειρησιακής διαδικασίας έχει τη μορφή ενός γραφήματος που αποτελείται από κόμβους που αναπαριστούν τις διάφορες εργασίες, καθώς και άλλα στοιχεία – σύμβολα ανάλογα με τη γλώσσα μοντελοποίησης που χρησιμοποιείται (BPML, EPC, IDEF, δίκτυα Petri, κλπ.). Το μοντέλο αποτελεί την βάση της όλης προσπάθειας ανασχεδιασμού της διαδικασίας και χρησιμοποιείται για την επαλήθευση, ανάλυσης, προσομοίωση και μελέτη της απόδοσης της διαδικασίας κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής. Διάφορες γλώσσες μοντελοποίησης (modelling languages) έχουν αναπτυχθεί (BPML, EPC, IDEF, δίκτυα Petri κλπ.) για τους σκοπούς αυτούς, κάθε μία από τις οποίες παρέχει διαφορετικά χαρακτηριστικά και δυνατότητες. Λόγω όμως των σημαντικών διαφορών μεταξύ τους, έχει δημιουργηθεί τα τελευταία χρόνια η ανάγκη για μια ενιαία γλώσσα μοντελοποίησης με αυστηρή μαθηματική δομή και ισχυρές τεχνικές ανάλυσης. Αυτό αφενός θα εξασφαλίσει τη διαλειτουργικότητα μεταξύ των συστημάτων διαχείρισης διαδικασιών και αφετέρου θα βελτιώσει την επικοινωνία μεταξύ των μελετητών. Η γλώσσα μοντελοποίησης που καλύπτει σήμερα αυτή την ανάγκη είναι τα δίκτυα Petri. Στη συγκεκριμένη εργασία η μοντελοποίηση των διαδικασιών γίνεται με τα δίκτυα Petri. Οι βασικές έννοιες και τεχνικές των δικτύων Petri παρουσιάζονται στις υπο-ενότητες 3.3, 3.4.

1.3 Ο ρόλος της πληροφορικής

Τα παραδοσιακά πληροφοριακά συστήματα βασίζονται στην ελάττωση του κόστους και είναι σχεδιασμένα κυρίως για την υποστήριξη ατομικών εργασιών. Έχει επέλθει όμως μια αλλαγή απ' τις αυξανόμενες απαιτήσεις του ηλεκτρονικού εμπορίου, του τραπεζικού χώρου και της βιομηχανίας. Τα νέα πληροφοριακά συστήματα κατανεμημένης παράλληλης επεξεργασίας απαιτούν προχωρημένες δομές οργάνωσης και διαχείρισης. Πολλές επιχειρήσεις με πολύπλοκες διαδικασίες έχουν αναγνωρίσει την ανάγκη για μεθοδολογίες και εργαλεία υποστήριξης της ροής εργασιών. Τα συστήματα διαχείρισης ροής εργασιών (workflow management systems) είναι μια από τις ραγδαία εξελισσόμενες τεχνολογίες της πληροφοριακής τεχνολογίας που υπόσχεται να αλλάξει τον τρόπο με το οποίο οι επιχειρήσεις διεξάγουν τις καθημερινές τους λειτουργίες, προσφέροντας καλύτερο έλεγχο, παρακολούθηση, υποστήριξη και αυτοματοποίηση των επιχειρησιακών διαδικασιών. Συνεπώς, ο ρόλος της πληροφορικής είναι ιδιαίτερα σημαντικός καθώς:

- Επιτρέπει νέες διαδικασίες
- Διευκολύνει την διαχείριση του προγράμματος
- Επιτρέπει την ομαδική εργασία
- Διευκολύνει την ολοκλήρωση επιχειρήσεων

1.4 Οφέλη επικέντρωσης στις διαδικασίες

Οι προσπάθειες για οργανωσιακή αλλαγή μπορούν να διευκολυνθούν χρησιμοποιώντας διάφορες μεθόδους και εργαλεία για μοντελοποίηση των επιχειρησιακών διαδικασιών, έτσι ώστε οποιεσδήποτε αλλαγές στις διαδικασίες να μπορούν να ελεγχθούν πάνω στα μοντέλα πριν από την πραγματική υλοποίησή τους.

Τα κυριότερα οφέλη για τις επιχειρήσεις, όπως αναφέρονται στο [4], είναι:

- Βελτίωση της παραγωγικότητας - αποδοτικότητας μέσω της εξάλειψη περιττών σταδίων, μείωση των λαθών και γρηγορότερους χρόνους λειτουργίας.
- Μείωση λειτουργικών εξόδων. Το μοναδιαίο κόστος παραγωγής μειώνεται.
- Καλύτερος έλεγχος διαδικασιών, βελτιωμένη διαχείριση και πρόβλεψη του αποτελέσματος με τη χρήση τυποποιημένων μεθόδων και εργαλείων.
- Βελτίωση της εξυπηρέτησης των πελατών. Η συνέπεια στις διαδικασίες οδηγεί σε μεγαλύτερη προβλεψιμότητα των επιπέδων εξυπηρέτησης και βελτιωμένη επικοινωνία μεταξύ επιχείρησης και πελατών.
- Ευελιξία. Η απεικόνιση των υφιστάμενων διαδικασιών με δομημένο τρόπο επιτρέπει τον γρήγορο ανασχεδιασμό τους και την προσαρμογή στις νέες απαιτήσεις της αγοράς.
- Διαρκής βελτίωση των διαδικασιών: Η επικέντρωση της προσοχής στις διαδικασίες οδηγεί στον διαρκή εκσυγχρονισμό, την απλοποίησή τους, τη βελτίωση των συνθηκών εργασίας για τους εργαζόμενους και την υποστήριξη λήψης γρήγορων και αποδοτικών αποφάσεων από τη διοίκηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2- ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΡΟΗΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

2.1 Εισαγωγή – Ορισμοί

Σύμφωνα με τον Συνασπισμό Διαχείρισης Ροής Εργασιών (Workflow Management Coalition - WfMC), ένας μη κερδοσκοπικός διεθνής οργανισμός που ιδρύθηκε τον Αύγουστο του 1993, αποτελούμενος κυρίως από εταιρίες που χρησιμοποιούν ή προμηθεύουν συστήματα διαχείρισης ροής εργασιών, αναλυτές και πανεπιστημιακές/ερευνητικές ομάδες, η διαχείριση ροής εργασιών είναι :

"Η αυτοματοποίηση διαδικασιών ή ροών εργασιών εν όλω ή εν μέρει, όπου έγγραφα, πληροφορίες ή εργασίες μεταφέρονται από τον έναν συμμετέχοντα στον άλλο, σύμφωνα με προκαθορισμένους διαδικαστικούς κανόνες."

Αυτοματοποίηση διαδικασιών ή ροών εργασιών σημαίνει η υποστήριξη των επιχειρησιακών λειτουργιών μέσω προγραμμάτων λογισμικού, ώστε οι εργασίες να εκτελούνται με οργανωμένο και αποδοτικό τρόπο. Το έργο αυτό αναλαμβάνουν τα συστήματα διαχείρισης ροής εργασιών (workflow management systems).

Ύστερα από πολυετείς προσπάθειες του Συνασπισμού Διαχείρισης Ροής Εργασιών (WfMC) για την εξασφάλιση αποδοτικής επικοινωνίας μεταξύ όλων ενδιαφερομένων, έχει επιτευχθεί τελικά η τυποποίηση της διαχείρισης ροής εργασιών με τη δημοσίευση επίσημων ορισμών (Document TC00-1003 Issue 1.1) και ενιαίας ορολογίας (Glossary and Terminology WFMC-TC-1011).

Ένα σύστημα διαχείρισης ροής εργασιών ορίζεται από τον WfMC ως εξής:

"Ένα σύστημα για τον πλήρη ορισμό, διαχείριση και εκτέλεση ροών εργασιών μέσω της εκτέλεσης λογισμικού, όπου η σειρά εκτέλεσης των εργασιών καθορίζεται από την απεικόνιση της λογικής της ροής εργασιών σε ηλεκτρονική μορφή."

Βασικές λειτουργίες του συστήματος διαχείρισης ροής εργασιών είναι η ανάθεση εργασιών, η διαχείρισης, ο έλεγχος και η παρακολούθηση της πορείας εκτέλεσης μιας ροής εργασιών. Όντας ένα πληροφοριακό σύστημα, παρέχει τη δυνατότητα της χρήσης βάσεων δεδομένων για την καταγραφή της ιστορίας εκτέλεσης των εργασιών, τον μετέπειτα έλεγχο και την αξιολόγηση της απόδοσης με βάση τα συλλεχθέντα στοιχεία.

2.2 Ιστορική προέλευση ροής εργασιών

Σύμφωνα με το [4], η σύγχρονη διαχείριση ροής εργασιών έχει δημιουργηθεί περισσότερο σαν αποτέλεσμα της αέναης διαδικασίας δοκιμής-και-λάθους στις επιχειρήσεις, παρά σαν αποτέλεσμα της έρευνας για το πως η εργασία θα έπρεπε να υποστηριχθεί.

Ιστορικά, η έννοια της ροής εργασίας ξεκίνησε από το κίνημα για Αυτοματοποίηση του Γραφείου (Office Automation movement) τη δεκαετία του 1970, έχοντας σημαντική υποστήριξη από την ακαδημαϊκή κοινότητα. Η σημαντικότερη συνεισφορά των συστημάτων της περιόδου ήταν η αυτοματοποίηση της διακίνησης εγγράφων (paperless office) η οποία μπορούσε να μειώσει σημαντικά το χρόνο ολοκλήρωσης των εργασιών. Τη δεκαετία του 1980, άρχισε να χάνεται η σχετική τάση, πιθανόν επειδή οι ερευνητές άρχισαν να συνειδητοποιούν την πολυπλοκότητα του περιβάλλοντος εργασίας των επιχειρήσεων.
Πολλές καθημερινές εργασίες δεν ήταν τόσο εύκολο να τυποποιηθούν όσο φαίνονταν. Έτσι επινοήθηκε ο όρος "ροή εργασιών" και δημιουργήθηκαν τα πρώτα συστήματα διαχείρισης ροής εργασιών. Τα συστήματα αυτά σε αρχικό στάδιο ήταν αρκετά απλοποιημένα και επικεντρωμένα στη διαχείριση και δρομολόγηση εγγράφων, αλλά μπορούσαν να χειριστούν ευκολότερα πολύπλοκες διαδικασίες, λόγω του διαχωρισμού των κανόνων των διαδικασιών από τις εφαρμογές.
Από τη δεκαετία του 1990 και μέχρι σήμερα η αύξηση της δημοτικότητας της τεχνολογίας ροής εργασιών (workflow technology) έχει αυξηθεί δραματικά για τρεις λόγους σύμφωνα με το [4]:

- Η εξέλιξη στις τεχνολογίες δικτυακών υποδομών κατέστησε εφικτή την ανάπτυξη της ροής εργασιών από τεχνολογική άποψη
- Η οικονομική ύφεση στις αρχές της δεκαετίας του 1990, οδήγησε τους μάνατζερ στην αναζήτηση νέων τρόπων οργάνωσης και διαχείρισης
- Η επικέντρωση στις διαδικασίες υποστηρίχθηκε από προσπάθειες ανασχεδιασμού επιχειρησιακών διαδικασιών.

2.3 Τύποι ροών εργασιών

Οι ροές εργασιών διακρίνονται ανάλογα με την δομή, την ευελιξία, την πολυπλοκότητα και το σκοπό τους. Οι κυριότεροι τύποι ροής εργασιών, όπως αναφέρονται στο [5], είναι τρεις:

1. Παραγωγικές ροές εργασιών (Production workflows)
2. Διοικητικές ροές εργασιών (Administrative workflows)
3. Ειδικού σκοπού ροές εργασιών (Ad hoc workflows)

2.3.1 Παραγωγικές ροές εργασιών (Production Workflows)

Οι παραγωγικές ροές εργασιών αφορούν διαδικασίες με υψηλά δομημένες δραστηριότητες. Αυτό σημαίνει ότι η ακριβής δομή της αλληλουχίας των εργασιών είναι προβλέψιμη και οι χρήστες εκτελούν τις ίδιες εργασίες επαναλαμβανόμενα. Αφορούν διαδικασίες που είναι κρίσιμες για την επιχείρηση και η διαχείρισή τους πρέπει να γίνεται όπως η διαχείριση οποιουδήποτε κρίσιμου πόρου μέσα στην επιχείρηση.

Στοιχεία που τις χαρακτηρίζουν είναι η υψηλή διαθεσιμότητα (availability), η ευκολία αλλαγής κλίμακας (scalability), η αξιοπιστία (reliability) και η υψηλή απόδοση (high performance). Όπως το έθεσε το Rob Allen (External Relations Committee Chair for the WfMC) στο [9], "σκοπός των παραγωγικών ροών εργασιών είναι η αυτοματοποίηση όσο το δυνατόν περισσότερων εργασιών και η βελτιστοποίηση της παραγωγικότητας". Παραδείγματα παραγωγικών ροών εργασιών αποτελούν: οι διαδικασίες παραγγελίας, ανάπτυξης προϊόντων, η επεξεργασία αιτήσεων δανείων από τράπεζες και η διαχείριση απαιτήσεων αποζημίωσης από ασφαλιστικές εταιρίες.

2.3.2 Διοικητικές ροές εργασιών (Administrative Workflows)

Οι διοικητικές ροές εργασιών περιλαμβάνουν υψηλά δομημένες και επαναλαμβανόμενες αυτόματες ή ανθρώπινες. Αφορούν σχετικά απλές διαδικασίες που είναι μικρής προστιθέμενης αξίας για την επιχείρηση και εύκολο να οριστούν. Ο κύριος σκοπός τους είναι να αυτοματοποιούν τη δρομολόγηση εγγράφων και εργασιών μεταξύ των εμπλεκομένων χρηστών. Τυπικές διοικητικές ροές εργασιών είναι η πρόσληψη και εκπαίδευση προσωπικού και η διαχείριση ηλεκτρονικών λογαριασμών πελατών.

2.3.3 Ειδικού σκοπού ροές εργασιών (Ad hoc Workflows)

Οι ειδικού τύπου ροές εργασιών αφορούν ανθρώπινες ή αυτόματες διαδικασίες που αποτελούνται από μη δομημένες εργασίες. Η εκτέλεση της αλληλουχίας των εργασιών εξαρτάται από την κατάσταση που θα βρίσκεται εν ώρα λειτουργίας και συνεπώς η ακριβής δομή δεν είναι γνωστή στη φάση του σχεδιασμού. Το πλεονέκτημα των ροών εργασιών ειδικού σκοπού είναι ότι επιτρέπουν στους χρήστες να τροποποιούν εύκολα και γρήγορα τον ορισμό της διαδικασίας όταν το απαιτήσουν οι συνθήκες. Συνεπώς είναι ιδανικές για περιπτώσεις όπου απαιτείται αυξημένη ευελιξία ενώ η υψηλή απόδοση δεν αποτελεί προτεραιότητα. Παραδείγματα αποτελούν οι διαδικασίες τεκμηρίωσης και αξιολόγησης προϊόντων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΡΟΗΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

3.1 Εισαγωγή

Το μοντέλο ροής εργασιών είναι η απλοποιημένη αναπαράσταση μιας παρελθούσας, υφιστάμενης ή μελλοντικής επιχειρησιακής διαδικασίας για το σκοπό της λήψης αποφάσεων για βελτίωση ή ανασχεδιασμό της επιχειρησιακής διαδικασίας και μοντελοποιείται κατά τη φάση του σχεδιασμού.

Παρότι ο σκοπός της μοντελοποίησης μιας επιχειρησιακής διαδικασίας είναι να υποστηρίξει τη λήψη αποφάσεων, ένα μοντέλο ροής εργασιών έχει ευρύτερη σημασία.

Για παράδειγμα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξοικειώσει το προσωπικό (ιδιαίτερα το νέο προσωπικό) μιας επιχείρησης με τις καθημερινές λειτουργίες. Στο χώρο της Διαχείρισης Ροής Εργασιών, το μοντέλο της ροής εργασιών αποτελεί ένα συστατικό στοιχείο του πληροφοριακού συστήματος διαχείρισης ροής εργασιών που εφαρμόζει μια επιχείρηση.

Στην υποενότητα 3.2 παρουσιάζονται οι βασικές έννοιες για τη μοντελοποίηση ροής εργασιών μιας επιχειρησιακής διαδικασίας.

Στη συνέχεια, στην υποενότητα 3.3 παρουσιάζονται τα δίκτυα Petri τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως ως επίσημη και καθιερωμένη γλώσσα μοντελοποίησης για διάφορους επιστημονικούς τομείς και στην υποενότητα 3.4 περιγράφεται η εφαρμογή των δικτύων Petri στη διαχείριση ροής εργασιών. Έμφαση δίνεται στα δίκτυα Petri με χρόνο που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση της απόδοσης σε περιβάλλον αβεβαιότητας στο Κεφάλαιο 4 καθώς και στις ιδιότητες των Δικτύων Ροής Εργασιών. Σημαντικό μέρος αυτού του κεφαλαίου, περιλαμβάνει υπάρχουσες θεωρίες και τεχνικές μοντελοποίησης καθώς και έννοιες από τη γλώσσα μοντελοποίησης Petri nets που χρησιμοποιούνται στις επόμενες ενότητες.

3.2 Βασικές Έννοιες Μοντέλων Ροής Εργασιών

Οι βασικές έννοιες μοντελοποίησης ροής εργασιών που παρουσιάζονται σε αυτή την υποενότητα αφορούν οποιαδήποτε γλώσσα μοντελοποίησης. Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως στην εργασία αυτή χρησιμοποιείται ως γλώσσα μοντελοποίησης τα δίκτυα Petri. Η σύνδεση των δικτύων Petri με τη ροή εργασιών και τις βασικές έννοιες που παρουσιάζουμε στη συνέχεια γίνεται στην υποενότητα 3.4.

3.2.1 Εργασία, διαδικασία και κύκλος ζωής περιστατικού

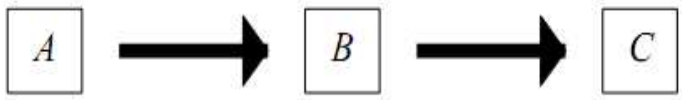
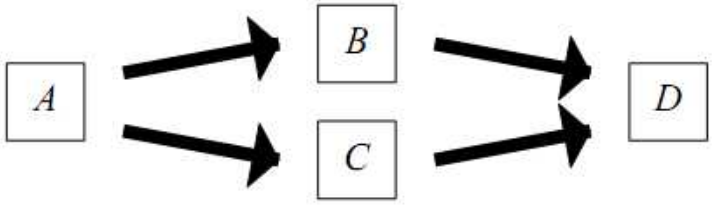
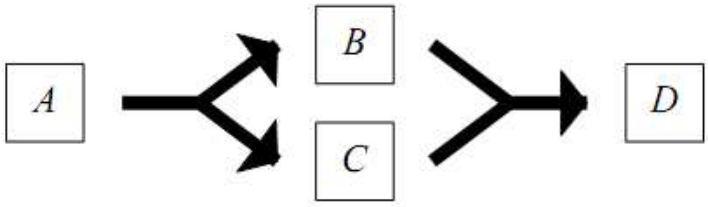
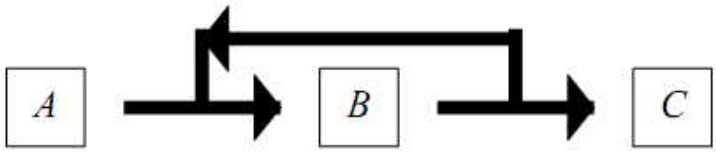
Όπως αναλύεται στο [4], ένα μοντέλο ροής εργασιών αποτελείται από έναν αριθμό από λογικά βήματα που ονομάζονται **εργασίες** (tasks) και αντιστοιχούν στις δραστηριότητες της επιχειρησιακής διαδικασίας που μοντελοποιείται. Μια εργασία μπορεί να είναι **ατομική** που σημαίνει ότι δεν μπορεί να διακριθεί περαιτέρω σε επιμέρους εργασίες ή **συνθετική** στην περίπτωση που αποτελεί μια υπο-διαδικασία που απεικονίζεται στο μοντέλο ως μια εργασία. Παρότι είναι δυνατή η κατασκευή μοντέλων μόνο με ατομικές εργασίες, η χρήση συνθετικών εργασιών διευκολύνει τη μοντελοποίηση πολύπλοκων διαδικασιών. Γενικά, είναι επιθυμητό να χρησιμοποιούνται απλές δομές που επιτρέπουν τη σύνθεση και αποσύνθεση κατά την μοντελοποίηση παρά πολύπλοκες δομές που είναι δύσκολο να ελεγχθούν. Ο κύριος σκοπός της ροής εργασιών είναι ο χειρισμός "**περιστατικών**" (cases). Παραδείγματα περιστατικών αποτελούν ένα έγγραφο, ένα προϊόν, μια παραγγελία, ένας πελάτης ή μια on-line αίτηση. Κάθε ροή εργασιών ξεκινά με την άφιξη ενός νέου περιστατικού στο σύστημα. Το χρονικό διάστημα από την άφιξη του περιστατικού στο σύστημα μέχρι την στιγμή της ολοκλήρωσης της επεξεργασίας του ονομάζεται **κύκλος ζωής περιστατικού**. Η επεξεργασία κάθε περιστατικού, στη διάρκεια του κύκλου ζωής του ακολουθεί μια **διαδικασία** (process), ένα σύνολο από κατάλληλα συνδεδεμένες και εργασίες. Φυσικά, πολλά περιστατικά μπορεί να εκτελέσουν την ίδια διαδικασία ή να ακολουθήσουν διαφορετικές διαδρομές.

3.2.2 Δρομολόγηση περιστατικών

Η δρομολόγηση περιστατικών (case) σε μια ροή εργασιών καθορίζεται από τις εργασίες που χρειάζεται να εκτελεστούν (και τη σειρά εκτέλεσής τους) για την ολοκλήρωση του κύκλου ζωής των περιστατικών. Κάθε μοντέλο ροής εργασιών αποτελείται από συγκεκριμένες δομές δρομολόγησης που αποτελούν τους δομικούς λίθους για την δημιουργία του μοντέλου. Οι δομές δρομολόγησης περιγράφονται παρακάτω και παρουσιάζονται σχηματικά στον Πίνακα 1, όπως ορίστηκαν από το Συνασπισμό Διαχείρισης Ροής Εργασιών (Workflow Management Coalition - WfMC). Πιο συγκεκριμένα έχουμε τέσσερις δομές δρομολόγησης, οι οποίες είναι οι εξής:

- Η σειριακή εκτέλεση εργασιών είναι η απλούστερη μορφή δρομολόγησης όπου δύο ή περισσότερες εργασίες διεξάγονται η μία μετά την άλλη έχοντας σαφή εξάρτηση μεταξύ τους, όπως για παράδειγμα οι εργασίες A, B και C της πρώτης γραμμής του πίνακα 1.

- Αν δύο ή περισσότερες εργασίες εκτελούνται ταυτόχρονα τότε έχουμε παράλληλη δρομολόγηση. Στην περίπτωση αυτή η εκτέλεση της μιας εργασίας δεν επηρεάζει τις άλλες και το τελικό αποτέλεσμα όλων των εργασιών είναι ανεξάρτητο της σειράς εκτέλεσής τους. Η ολοκλήρωση της παράλληλης δρομολόγησης απαιτεί συγχρονισμό των παράλληλων εργασιών. Για παράδειγμα οι εργασίες Β και C στη δεύτερη γραμμή του πίνακα 1 εκτελούνται ταυτόχρονα.
- Στην επιλεκτική δρομολόγηση γίνεται επιλογή της εκτέλεσης μιας από δύο ή περισσότερες εναλλακτικές εργασίες. Η επιλογή γίνεται με βάση συγκεκριμένα κριτήρια - ιδιότητες του περιστατικού (case). Για παράδειγμα στη τρίτη γραμμή του πίνακα 1, αφού εκτελεστεί η εργασία Α, γίνεται επιλογή της εκτέλεσης μιας από τις εργασίες Β ή C και μετά εκτελείται η εργασία D.
- Μερικές φορές είναι απαραίτητο μια εργασία να εκτελεστεί για περισσότερες από μια φορές ανά περιστατικό, όπως για παράδειγμα η επανάληψη ενός ελέγχου ώστε να διασφαλιστεί μεγαλύτερη ασφάλεια. Η περίπτωση αυτή ονομάζεται ως επαναληπτική δρομολόγηση και φαίνεται σχηματικά στη τέταρτη γραμμή του πίνακα 1. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, η εργασία Β χρειάζεται να εκτελεστεί για περισσότερες από μια φορές.

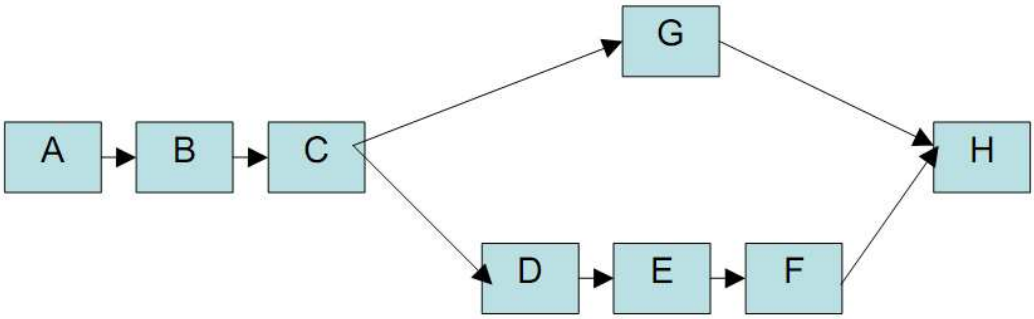
σειριακή δρομολόγηση	
παράλληλη δρομολόγηση	
επιλεκτική δρομολόγηση	
επαναληπτική δρομολόγηση	

Πίνακας 1: Οι σημαντικότερες δομές δρομολόγησης

Η ακριβής απεικόνιση των δομών δρομολόγησης σε μοντέλο ροής εργασίας εξαρτάται από την γλώσσα μοντελοποίησης (modelling language) που θα χρησιμοποιηθεί. Πολλά συστήματα διαχείρισης ροής εργασιών χρησιμοποιούν μια δική τους γλώσσα μοντελοποίησης (π.χ. Staffware, ARIS) και συνεπώς υπάρχουν διαφορές στην απεικόνιση των δομών δρομολόγησης που αναφέρθηκαν. Για το λόγο αυτό έχει προταθεί μια επίσημη ενιαία γλώσσα μοντελοποίησης για την τυποποίηση της δομής της ροής εργασιών με σκοπό να εξασφαλιστεί η διαλειτουργικότητα μεταξύ των συστημάτων διαχείρισης ροής εργασιών. Η γλώσσα μοντελοποίησης αυτή είναι τα Δίκτυα Petri.

3.2.3 Αναπαράσταση ροής εργασιών

Ο όρος "αναπαράσταση ροής εργασιών" (workflow enactment) έχει ειδική σημασία και διαφέρει από την έννοια της "μοντελοποίησης". Πρόκειται για τη βασική λειτουργία της μηχανής ροής εργασιών (workflow engine) του συστήματος διαχείρισης ροής εργασιών, που βασίζεται στο μοντέλο ροής εργασιών μιας επιχειρησιακής διαδικασίας.
"Αναπαράσταση ροής εργασιών" ονομάζεται η λειτουργία της ανάθεσης των εργασιών μιας επιχειρησιακής διαδικασίας από το πληροφοριακό σύστημα διαχείρισης ροής εργασιών προς τους χρήστες του συστήματος. Οι χρήστες του συστήματος ονομάζονται πόροι ροής εργασιών (workflow resources) και μπορεί να είναι είτε άνθρωποι είτε μηχανές. Σύμφωνα με το [5], η ανάθεση μιας εργασίας πραγματοποιείται με την εικονική τοποθέτηση μιας "ενεργοποιημένης εργασίας" (enabled work item) σε ένα "καλάθι εργασιών" (in-basket) του χρήστη που είναι επιφορτισμένος με την εκτέλεση της συγκεκριμένης εργασίας. Κατά αυτό τον τρόπο, ο χρήστης ειδοποιείται από το πληροφοριακό σύστημα για την ύπαρξη μιας "προς εκτέλεση εργασίας" που εμπίπτει στο ρόλο του. Η εκτέλεση μιας εργασίας ξεκινάει με πρωτοβουλία του χρήστη, με την επιλογή της αντίστοιχης ενεργοποιημένης εργασίας από το καλάθι εργασιών. Μετά την ολοκλήρωση της εκτέλεσης της εργασίας το πληροφοριακό σύστημα ειδοποιείται ώστε να προχωρήσει στο επόμενο στάδιο της διαδικασίας δηλαδή στην ανάθεση των εργασιών του έπονται της εργασίας που μόλις ολοκληρώθηκε. Η πράξη αυτή της επιλογής και ολοκλήρωσης μιας ενεργοποιημένης εργασίας ονομάζεται πυροδότηση (triggering). Στο σχήμα 3-1 παρακάτω απεικονίζεται ένα παράδειγμα αναπαράστασης ροής εργασιών. Στο παράδειγμα αυτό, οι εργασίες A,B,C γίνονται σε σειρά, κατόπιν οι G και D,E,F παράλληλα και τέλος η H.



Σχήμα 3-1: Παράδειγμα αναπαράστασης ροής εργασιών

3.3 Δίκτυα Petri

3.3.1 Εισαγωγή

Τα δίκτυα Petri είναι ένα ισχυρό μαθηματικό εργαλείο μοντελοποίησης και ανάλυσης διαδικασιών με πολλές εφαρμογές τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο. Η χρήση των δικτύων Petri είναι ιδανική για τη μελέτη συστημάτων που αποτελούνται από ασύγχρονες, παράλληλες, κατανεμημένες και/ή στοχαστικές διαδικασίες.

Στα πεδία εφαρμογής των δικτύων Petri περιλαμβάνονται μεταξύ άλλων η μοντελοποίηση και ανάλυση κατανεμημένων συστημάτων λογισμικού, συστημάτων ευέλικτης παραγωγής και βιομηχανικού ελέγχου, μελέτη και ανάλυση πρωτοκόλλων επικοινωνίας, αλγορίθμων παράλληλης επεξεργασίας, νευρωνικά δίκτυα, ψηφιακά φίλτρα, μοντέλα αποφάσεων και τελευταία στο χώρο του μάνατζμεντ στα συστήματα διαχείρισης ροής εργασιών. Οι σημαντικότεροι λόγοι για τους οποίους τα δίκτυα Petri είναι δημοφιλή, σύμφωνα με το [5], είναι:

α) Η ικανότητα αναπαράστασης ασύγχρονων διαδικασιών, χαρακτηριστικό το οποίο τα διαφοροποιεί από άλλες διαγραμματικές τεχνικές μοντελοποίησης όπως flowcharts, activity graphs, κλπ. που μπορούν να απεικονίσουν διαδικασίες αλλά προϋποθέτουν συγχρονισμό.

β) Έχουν αυστηρό μαθηματικό ορισμό, γεγονός που αποκλείει ασάφειες και διφορούμενες απόψεις ως προς την ερμηνεία της μοντελοποιημένης διαδικασίας.

γ) Με τα χρόνια έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές ανάλυσης που μπορούν χρησιμοποιηθούν για να επαληθεύσουν την εγκυρότητα του μοντέλου και να παράγουν μια εκτίμηση της απόδοση του σχεδιαζόμενου συστήματος.

δ) Εκτός από τον μαθηματικό ορισμό, μπορούν να απεικονιστούν και γραφικά. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι ακόμα και ένας μη ειδικός μπορεί εύκολα να κατανοήσει ένα μοντέλο μιας διαδικασίας μέσω της γραφικής αναπαράστασης που είναι ισοδύναμη με τη μαθηματική περιγραφή.

Επιπλέον, υπάρχουν λογισμικά σχεδίασης δικτύων Petri που βοηθούν το σχεδιαστή να μοντελοποιήσει και να αναλύσει οπτικά μια διαδικασία. Τα προγράμματα αυτά ακολουθούν συγκεκριμένες προδιαγραφές ώστε πολλές εργασίες όπως ο έλεγχος της εγκυρότητας του δικτύου να γίνονται αυτόματα.
Η ενότητα αυτή είναι αφιερωμένη στη μελέτη των βασικών εννοιών, ιδιοτήτων, ορισμών και τεχνικών ανάλυσης των δικτύων Petri που αποτέλεσαν τη βάση για την επέκταση των δικτύων Petri με ασαφείς χρονικές μεταβλητές, στην ανάπτυξη της προτεινόμενης μεθοδολογίας ανάλυσης απόδοσης σε περιβάλλον αβεβαιότητας που παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 4.

3.3.2 Ιστορική αναδρομή

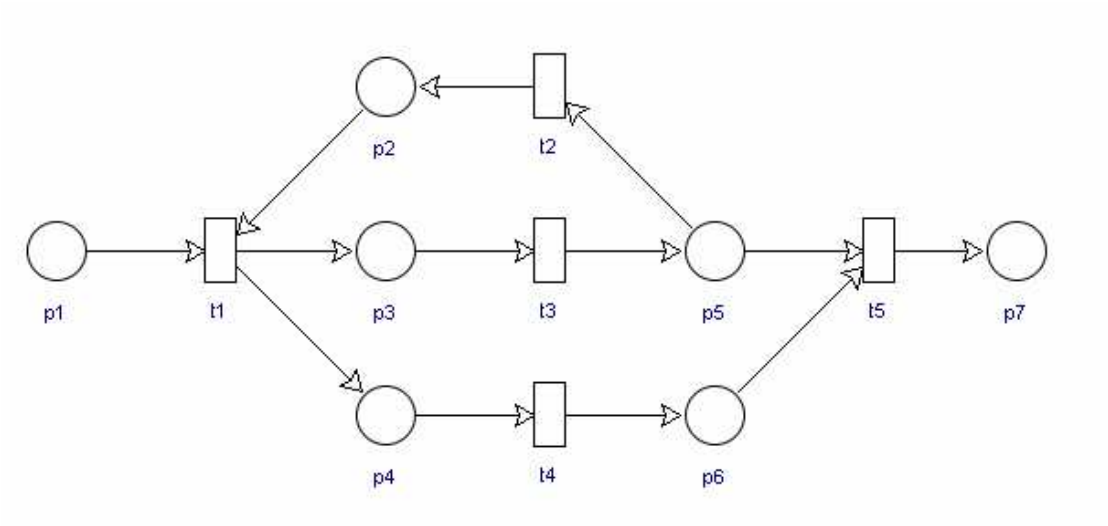
Η αρχική επινόηση της των δικτύων Petri, έγινε από τον Carl Adam Petri το 1962, στην διδακτορική του διατριβή στο Πανεπιστήμιο του Darmstadt στη Γερμανία, ως ένα εργαλείο για την μοντελοποίηση και ανάλυση ασύγχρονων και παράλληλων διαδικασιών, όπως αναφέρεται και στο [4]. Οι πρώτες έρευνες και εφαρμογές πάνω στα δίκτυα Petri βρίσκονται στις αναφορές κυρίως δύο ερευνητικών έργων στις Ηνωμένες Πολιτείες κατά τη δεκαετία του 1970:
(α) το έργο Information System Theory Project of Applied Data Reasearch και (β) το Project MAC Conference on Concurrent Systems and Parallel Computation. Από τα τέλη της δεκαετίας του 1970, το ενδιαφέρον για τα δίκτυα Petri αυξάνεται σημαντικά και στην Ευρώπη, με τη διοργάνωση ετησίων εργαστηρίων (workshops) και συνεδρίων ειδικά πάνω στα δίκτυα Petri. Τον Οκτώβριο του 1979, περίπου 135 ερευνητές κυρίως από Ευρωπαϊκές χώρες συγκεντρώθηκαν στο Αμβούργο της Γερμανίας για μια σειρά διαλέξεων διάρκειας δύο εβδομάδων πάνω στη Γενική Θεωρία Δικτύων των Διαδικασιών και Συστημάτων. Τα πρακτικά αυτών των διαλέξεων αποτέλεσαν την κύρια πηγή για έρευνα στον τομέα. Σύμφωνα και με το [12], το πρώτο επίσημο Ευρωπαϊκό Εργαστήριο για τις Εφαρμογές και τη Θεωρία των δικτύων Petri οργανώθηκε το 1980 στο Στρασβούργο στη Γαλλία. Από τότε κάθε χρόνο διεξάγονται εργαστήρια σε διαφορετικές τοποθεσίες στην Ευρώπη: το 1981 στο Bad Honnef στη Γερμανία, το 1982 στην Varenna στην Ιταλία, το 1983 στην Τουλούζη στη Γαλλία, το 1984 στο Aarhus στη Δανία, το 1985 στο Espoo στη Φινλανδία, το 1986 στην Οξφόρδη στην Αγγλία, το 1987 στη Σαραγόσα στην Ισπανία, το 1988 στη Βενετία στην Ιταλία, κλπ. Από από το 1985, ξεκίνησε μια άλλη σειρά διεθνών workshops, δίνοντας έμφαση στις επεκτάσεις των δικτύων Petri με χρόνο και σε μεθόδους ανάλυσης απόδοσης διαδικασιών.

Με τα χρόνια, το αρχικό μοντέλο που προτάθηκε από τον C. A. Petri έχει επεκταθεί από πολλούς συγγραφείς με την εισαγωγή νέων στοιχείων, παρέχοντας στα μοντέλα μεγαλύτερη εκφραστικότητα και επιτρέποντας την ανάλυση πολύπλοκων διαδικασιών.
Στη συνέχεια, αρχικά εξετάζεται αρχικά η δομή των κλασσικών δικτύων Petri όπως επινοήθηκε από τον ίδιο τον C.A. Petri και στη συνέχεια, δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στα δίκτυα Petri υψηλού επιπέδου με χρόνο γιατί αποτελούν τη βάση της μεθοδολογίας του Κεφαλαίου 4.

3.3.3 Ορισμός δικτύων Petri

Ένα δίκτυο Petri είναι ένας ειδικός τύπος γραφήματος που όπως κάθε γράφημα αποτελείται από δύο τύπους στοιχείων, κόμβους και ακμές. Σύμφωνα με τη θεωρία γραφημάτων, ένα γράφημα $G = (V, E, F)$ αποτελείται από ένα μη κενό σύνολο V που είναι το σύνολο των κόμβων, ένα μη κενό σύνολο E που είναι το σύνολο των ακμών του γραφήματος και μια απεικόνιση F από το σύνολο των κόμβων V στο σύνολο των ακμών E. Ειδικά για τα δίκτυα Petri, σύμφωνα με το [5], οι κόμβοι διακρίνονται σε δύο τύπους, σε θέσεις (places) και μεταβάσεις (transitions). Ο πρώτος τύπος παριστάνει μια συνθήκη, προϋπόθεση ή γεγονός και συμβολίζεται με έναν κύκλο ή έλλειψη, ενώ ο δεύτερος τύπος παριστάνει μια ενέργεια, εργασία ή δραστηριότητα, και συμβολίζεται με ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο. Οι ακμές στα δίκτυα Petri έχουν πάντα κατεύθυνση και ονομάζονται τόξα (arcs).
Τα δίκτυα Petri διαφέρουν από άλλα γραφήματα επειδή είναι αμφιμερή (bipartite). Αυτό σημαίνει ότι ένα τόξο μπορεί να συνδέσει είτε μια θέση (place) με κάποια μετάβαση (transition), είτε μια μετάβαση (transition) με κάποια θέση (place). Στο Σχήμα 3-2 απεικονίζονται τα συστατικά στοιχεία από τα οποία αποτελούνται τα δίκτυα Petri και στο Σχήμα 3-3 απεικονίζεται ένα παράδειγμα μιας διαδικασίας που έχει μοντελοποιηθεί με τη χρήση δικτύου Petri. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα παρατηρούμε ότι έχουμε 7 θέσεις και 5 μεταβάσεις.

Σχήμα 3-2: Συστατικά στοιχεία δικτύων Petri



Σχήμα 3-3: Παράδειγμα μοντελοποίησης διαδικασίας με δίκτυο Petri.

Σύμφωνα με τον Van der Alst στο [5], ένα δίκτυο Petri ορίζεται ως μια διατεταγμένη λίστα από πέντε στοιχεία, $PN = \langle P, T, F, M, W \rangle$ όπου:

$P=\{p_1,.....,p_n\}$ είναι το σύνολο των θέσεων
$T=\{t_1,.....,t_n\}$ είναι το σύνολο των μεταβάσεων $(P \cap T = \varnothing)$

F : είναι το σύνολο των τόξων, που συνδέουν θέσεις με μεταβάσεις ή μεταβάσεις με θέσεις, δηλαδή $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$

Επίσης, εισάγεται ένα επιπλέον στοιχείο στη δομή του μοντέλου, οι μάρκες ή ενδείγματα (tokens). Οι μάρκες είναι οντότητες που σχετίζονται μόνο με τις θέσεις και αναπαρίστανται γραφικά ως μικροί μαύροι κύκλοι μέσα στις θέσεις. Κάθε θέση μπορεί να έχει μηδέν, μία ή περισσότερες μάρκες. Η εισαγωγή των μαρκών είναι απαραίτητη γιατί καθιστά δυνατή την περιγραφή της κατάστασης του δικτύου, που ορίζεται ως η κατανομή των μαρκών στις θέσεις, και επιτρέπει την προσομοίωση της διαδικασίας που απεικονίζεται. Στο σχήμα 3-3 απεικονίζεται μία θέση με τρεις μάρκες.

Σχήμα 3-4: Μία θέση με τρεις μάρκες

3.3.4 Ανάλυση ιδιοτήτων συμπεριφοράς δικτύων Petri

Το επόμενο βήμα μετά από τη μοντελοποίηση μιας διαδικασίας με δίκτυο Petri είναι η ανάλυση του μοντέλου για να διαπιστωθεί αν υπάρχουν δομικά προβλήματα (structural problems) δηλαδή προβλήματα της τοπολογικής δομής του δικτύου Petri ή προβλήματα συμπεριφοράς (behavioral problems) δηλαδή προβλήματα δυναμικής φύσης που εξαρτώνται από την αρχική κατανομή των tokens στις θέσεις. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι σημαντικότερες ιδιότητες συμπεριφοράς των δικτύων Petri, σύμφωνα με τα [5] και [11]:

Προσεγγισιμότητα (Reachability)

Έστω ένα δίκτυο Petri $PN = \langle P, T, F \rangle$ που βρίσκεται σε κατάσταση M_1. Τότε ισχύουν οι ακόλουθοι συμβολισμοί:

$M_1 \xrightarrow{t} M_2$: Η μετάβαση t είναι ενεργοποιημένη στην κατάσταση M_1 και το αποτέλεσμα της πυροδότησης της μετάβασης t είναι η κατάσταση M_2 .

$M_1 \rightarrow M_2$: Υπάρχει μια μετάβαση t τέτοια ώστε $M_1 \xrightarrow{t} M_2$.

$M_1 \xrightarrow{6} M_n$: Υπάρχει μια ακολουθία πυροδοτούμενων μεταβάσεων $\sigma = t_1 t_2 t_3 \bullet\bullet\bullet t_{n-1}$ που οδηγεί από την κατάσταση M_1 στην Κατάσταση M_n μέσω ενός (πιθανώς κενού) συνόλου ενδιάμεσων καταστάσεων $M_2, \ldots, M_{n-1}$.

Η κατάσταση M_n λέγεται ότι είναι προσεγγίσιμη από την κατάσταση M_1 $(M_1 \xrightarrow{*} M_n)$ αν υπάρχει μια ακολουθία πυροδοτούμενων μεταβάσεων σ τέτοια ώστε $M_1 \xrightarrow{6} M_n$.

Το πρόβλημα προσεγγισιμότητας διατυπώνεται ως η επαλήθευση της

Έκφρασης $M_w \in R(N, M_0)$, όπου M_w είναι μια λανθασμένη κατάσταση και $R\ (N,M_0)$ είναι το σύνολο όλων των καταστάσεων που είναι προσεγγίσιμες από την αρχική κατάσταση 0 M και ονομάζεται σύνολο προσεγγισιμότητας (reachability set).

Περιορισιμότητα (Boundedness)

Ορισμός : Ένα δίκτυο Petri $\langle PN,M \rangle$ ονομάζεται περιορισμένο αν και μόνο αν για κάθε θέση υπάρχει ένας φυσικός αριθμός n τέτοιος ώστε για κάθε προσεγγίσιμη κατάσταση ο αριθμός των tokens να είναι μικρότερος από n .

Ειδικότερα, το δίκτυο ονομάζεται ασφαλές αν και μόνο αν ο μέγιστος αριθμός των tokens δεν ξεπερνάει τη μονάδα.

Αν ένα δίκτυο Petri $\langle PN,M \rangle$ είναι περιορισμένο για οποιαδήποτε αρχική κατάσταση τότε αυτό ονομάζεται δομικά περιορισμένο (structural bounded).

Ζωντάνια (Liveness)

Ορισμός : Ένα δίκτυο Petri $\langle PN,M \rangle$ ονομάζεται ζωντανό (live) αν και μόνο αν για κάθε προσεγγίσιμη κατάσταση M' και για κάθε μετάβαση t , υπάρχει μία κατάσταση M'' προσεγγίσιμη από την M' που να ενεργοποιεί την μετάβαση t .

Η ζωντάνια είναι σημαντική ιδιότητα για πολλά συστήματα, όμως στη πράξη είναι αρκετά δύσκολο να επαληθευτεί, κυρίως για μεγάλα συστήματα. Γι' αυτό έχουν οριστεί διάφορα επίπεδα ζωντάνιας ως εξής:

L0-live: Αν έστω και μία μετάβαση t δεν μπορεί ποτέ να πυροδοτηθεί.

L1-live: Αν κάθε μετάβαση t μπορεί να πυροδοτηθεί τουλάχιστον μία φορά.

L2-live: Αν κάθε μετάβαση t μπορεί να πυροδοτηθεί τουλάχιστον k φορές, όπου k είναι ένας θετικός ακέραιος αριθμός.

L3-live: Αν κάθε μετάβαση t εμφανίζεται άπειρες φορές σε κάποια πυροδοτούμενη ακολουθία.

L4-live (ή Live): Αν για οποιαδήποτε κατάσταση M το δίκτυο είναι L1-live.

Ένα δίκτυο Petri ονομάζεται δομικά ζωντανό (structural live) αν υπάρχει μια αρχική κατάσταση M_0 τέτοια ώστε το δίκτυο να είναι ζωντανό και ονομάζεται καλά-σχηματισμένο (well-formed) αν υπάρχει μία κατάσταση M τέτοια ώστε το δίκτυο να είναι ζωντανό και περιορισμένο.

3.3.5 Δίκτυα Petri με χρόνο

Τα δίκτυα Petri με χρόνο, επινοήθηκαν για να επιτρέψουν την ποσοτική ανάλυση, δηλαδή την ανάλυση της απόδοσης (performance analysis) των συστημάτων που μοντελοποιούνται με δίκτυα Petri. Ο χρόνος σκοπίμως δεν είχε συμπεριληφθεί στα κλασικά δίκτυα Petri από τον C.A. Petri, διότι οι χρονικοί περιορισμοί επηρεάσουν την πυροδότηση ορισμένων μεταβάσεων. Σύμφωνα με το [4], στις αρχές της δεκαετίας του 1970, έρευνες έδειξαν ότι η επέκταση της βασικής δομής των δικτύων Petri με χρόνο μπορεί να ωφελήσει πολλές πρακτικές εφαρμογές όπως η ανάλυση απόδοσης υπολογιστικών συστημάτων, συστημάτων παραγωγής και ο ανασχεδιασμός επιχειρησιακών διαδικασιών.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι σημαντικότερες κατηγορίες δικτύων Petri με χρόνο, ξεκινώντας από τα αρχικά μοντέλα με χρόνο της δεκαετίας του 1970 και συνεχίζοντας με την περιγραφή και τον ορισμό των στοχαστικών δικτύων Petri της δεκαετίας του 1980. Τα στοχαστικά δίκτυα Petri αποτελούν τη βάση της προτεινόμενης μεθοδολογίας ανάλυσης σε αβέβαιο περιβάλλον που παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 4.

3.3.5.1 Αρχικά μοντέλα Petri με χρόνο

Τα δύο αρχικά μοντέλα Petri με χρόνο αναπτύχθηκαν στις αρχές τις δεκαετίας του 1970 από τους Ramchandani και Merlin και αποτέλεσαν τη βάση για την έρευνα πάνω στην ανάλυση της απόδοσης των δικτύων Petri τα χρόνια που ακολούθησαν καθώς και για την ανάπτυξη όλων των νεότερων μοντέλων Petri με χρόνο.

Το μοντέλο του Ramchandani ή μοντέλο των σταθερών χρονικών διαρκειών εισήγαγε σταθερές χρονικές διάρκειες στις μεταβάσεις του δικτύου Petri, όπως παρουσιάζεται στο [7]. Αυτό είναι φυσικό διότι οι μεταβάσεις αναπαριστούν τις δραστηριότητες του συστήματος που μοντελοποιείται και οι δραστηριότητες απαιτούν κάποιο χρόνο για να ολοκληρωθούν. Αν και ορισμένοι συγγραφείς έχουν προτείνει ως πλεονεκτικότερη την εισαγωγή του χρόνου στις θέσεις, τα τόξα ή τα tokens, για συγκεκριμένα πεδία εφαρμογής, μέχρι σήμερα τα περισσότερα μοντέλα Petri με χρόνο συσχετίζουν το χρόνο με τις μεταβάσεις. Το μοντέλο του Merlin, εισήγαγε σταθερά χρονικά διαστήματα στις μεταβάσεις, δηλαδή κάθε μετάβαση σχετίζεται με δύο σταθερά χρονικά σημεία που δηλώνουν την εκκίνηση και τη ολοκλήρωση της πυροδότησης της μετάβασης αντίστοιχα. Το μοντέλο αυτό είναι πιο γενικό διότι η χρονική διάρκεια προκύπτει ως η διαφορά μεταξύ των δύο χρονικών σημείων και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μοντελοποίηση της αβεβαιότητας της πυροδότησης κάθε μετάβασης καθώς επίσης και για τον ευκολότερο χειρισμό χρονικών περιορισμών. Για παράδειγμα, ένας χρονικός περιορισμός προκύπτει όταν μια δραστηριότητα διαρκεί πάντα περισσότερο από 1 ώρα και λιγότερο από 2 ώρες.

3.3.5.2 Στοχαστικά δίκτυα Petri

Τα αρχικά μοντέλα Petri με χρόνο εισήγαγαν σταθερές χρονικές παραμέτρους στη βασική δομή των δικτύων Petri, παρέχοντας τη δυνατότητα σταθερής (ντετερμινιστικής) ποσοτικής ανάλυσης των δικτύων. Η εκτίμηση της απόδοσης των δικτύων Petri γίνονταν επί τη βάση σταθερών χρονικών εκτιμήσεων κατά τη φάση του σχεδιασμού του μοντέλου. Παρότι το μοντέλο του Merlin, μπορούσε να χειριστεί σε κάποιο βαθμό την αβεβαιότητα ως προς την πυροδότηση των μεταβάσεων, τα χρονικά διαστήματα που εισήγαγε ήταν σταθερά και συνεπώς δεν ενσωμάτωνε επαρκώς την αβεβαιότητα της πραγματικότητας μέσα στο μοντέλο.

Η λύση για την μοντελοποίηση προβλημάτων που παρουσιάζουν αβεβαιότητα, ήρθε στις αρχές της δεκαετίας του 1980, από τους Florin and Natkin (1982) και τους Marsan, Balbo και Conte (1983), όταν πρότειναν τα στοχαστικά δίκτυα Petri, εισάγοντας χρονικές καθυστερήσεις (delays) ως τυχαίες μεταβλητές στις μεταβάσεις των δικτύων Petri. Τα στοχαστικά δίκτυα Petri είναι μια πιθανοτική επέκταση των κλασσικών δικτύων Petri και παρέχουν τη δυνατότητα στοχαστικής ανάλυσης της απόδοσης πολύπλοκων συστημάτων σε περιβάλλον αβεβαιότητας.

Σύμφωνα με το [4], γενικά για τις τυχαίες μεταβλητές μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοσδήποτε τύπος κατανομής, όμως διάφορες τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί για την ανάλυσης της απόδοσης βασίζονται σε υπάρχουσες θεωρίες όπως οι ουρές αναμονής και η θεωρία των Μαρκοβιανών Αλυσίδων και συνεπώς περιορίζονται στη χρήση ενός συγκεκριμένου τύπου κατανομής. π.χ. έχει αποδειχτεί από τους Florin και Natkin ότι η ανάλυση με βάση Μαρκοβιανές Αλυσίδες απαιτεί εκθετική ή γεωμετρική κατανομή για τις χρονικές καθυστερήσεις. Τελευταία, καθαρά στατιστικές τεχνικές ανάλυσης απόδοσης για δίκτυα που πληρούν συγκεκριμένες ιδιότητες επιτρέπουν τη χρήση οποιασδήποτε κατανομής.

Στο [4] δίνεται ο παρακάτω ορισμός για το στοχαστικό δίκτυο Petri:

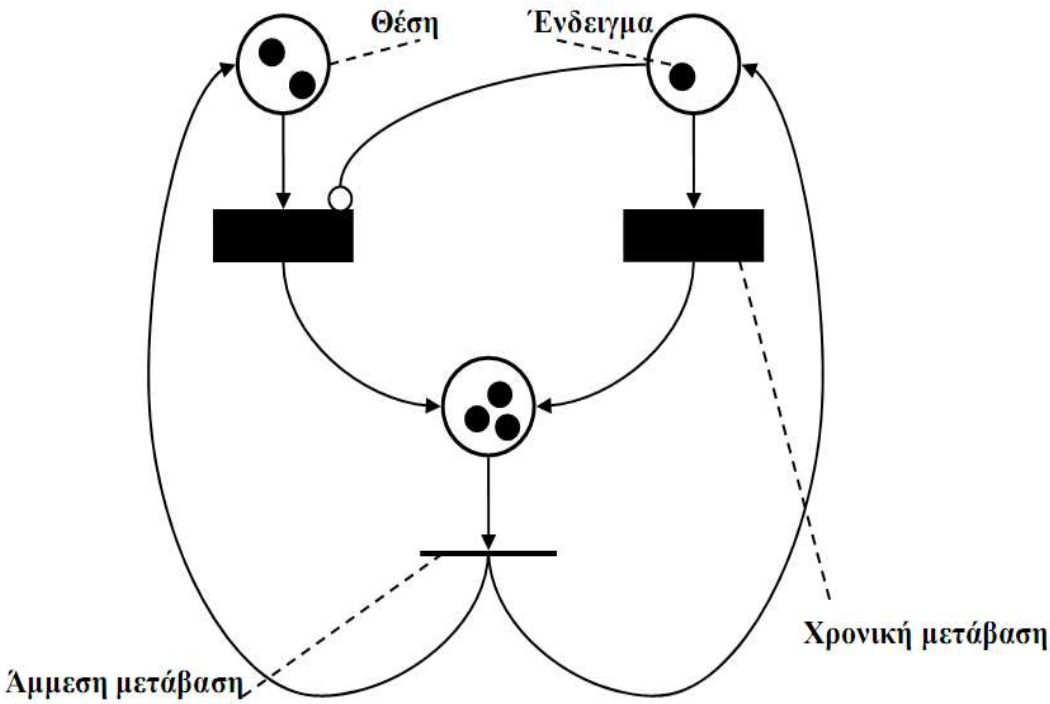
’’Ένα Στοχαστικό Δίκτυο Petri είναι μια διατεταγμένη λίστα πέντε στοιχείων $SPN \langle P,T,F,W,f \rangle$ όπου:

$\langle P,T,F \rangle$: είναι ένα δίκτυο Petri (σύμφωνα με τον κλασσικό ορισμό),

$W : F \rightarrow N^{+}$: είναι η συνάρτηση για την απεικόνιση βαρών στα τόξα,

$f : T \rightarrow (N \rightarrow [0,1])$: είναι η συνάρτηση για την απεικόνιση χρονικών καθυστερήσεων στις μεταβάσεις όπου για κάθε $t \in T, f_t$ είναι η συνάρτηση πιθανότητας που ορίζεται στο N’’.

Όσον αφορά τη γραφική αναπαράσταση των στοχαστικών δικτύων Petri, οι θέσεις δηλώνονται με κύκλους. Σύμφωνα με το [12], οι άμεσες μεταβάσεις στις οποίες δεν αντιστοιχεί κάποια καθυστέρηση πυροδότησης, με λεπτές μπάρες, ενώ οι χρονικές (timed) μεταβάσεις, στις οποίες υπάρχει καθυστέρηση πυροδότησης, με παχιές μπάρες. Οι κατευθυνόμενες ακμές συνδέουν κανονικές θέσεις εισόδου με μεταβάσεις και μεταβάσεις με θέσεις εξόδου. Ακμές οι οποίες στην άκρη τους δεν έχουν βέλος αλλά κύκλο συνδέουν ανασταλτικές (inhibitor) θέσεις εισόδου με μεταβάσεις και ο ρόλος τους είναι να αποτρέπουν τη μεταφορά των μαρκών (ενδειγμάτων) προς την εκάστοτε μετάβαση με την οποία συνδέονται. Τέλος τα ενδείγματα δηλώνονται με μαύρες βούλες. Στο σχήμα 3-5 φαίνεται ένα παράδειγμα στοχαστικού δικτύου petri.



Σχήμα 3-5: Παράδειγμα στοχαστικού δικτύου petri

Σύμφωνα με το [12], μία μετάβαση είναι ενεργή (enabled), όταν υπάρχει τουλάχιστον μία μάρκα (ένδειγμα) σε κάθε μία από τις κανονικές θέσεις εισόδου του και κανένα ένδειγμα στις ανασταλτικές θέσεις εισόδου του. Σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση η μετάβαση είναι ανενεργής (disabled). Στα παρακάτω σχήματα (σχήμα 3-6) βλέπουμε πότε είναι ενεργή μία μετάβαση όταν υπάρχει ανασταλτική θέση.

Σχήμα 3-6: Ενεργοποίηση-απενεργοποίηση μετάβασης όταν υπάρχει ανασταλτική θέση

Μία ενεργή μετάβαση πυροδοτείται, με αποτέλεσμα να μετακινούνται ενδείγματα από τις θέσεις εισόδου της στις θέσεις εξόδου της ανάλογα με το βάρος των αντίστοιχων ακμών που τις συνδέει. Μία άμεση μετάβαση πυροδοτείται αμέσως τη χρονική στιγμή που γίνεται ενεργή, ενώ μία χρονική μετάβαση μετά από ένα χρονικό διάστημα το οποίο συνήθως είναι τυχαίο.

3.4 Σύνδεση δικτύων Petri με τη Ροή Εργασιών

3.4.1 Ορισμός δικτύων ροής εργασιών

Ο ορισμός των δικτύων ροής εργασιών σύμφωνα με τον Van der Aalst στο [5] είναι ο εξής:

Ορισμός : Ένα δίκτυο Petri $PN = \langle P, T, F \rangle$ είναι δίκτυο ροής εργασιών αν και μόνο αν:

- Υπάρχουν δύο ειδικές θέσεις: i και o, όπου i είναι η αρχική θέση εισόδου (source place) του δικτύου δηλ. $\bullet i = \varnothing$ και o είναι η τελική θέση εξόδου (sink place) του δικτύου δηλ. $o\bullet = \varnothing$,

- Αν προστεθεί μια μετάβαση t^* στο σύνολο των μεταβάσεων και τα τόξα (o, t^*), (t^*, i), στο σύνολο των τόξων, τότε το δίκτυο που προκύπτει είναι ισχυρά συνδεδεμένο (strongly connected).

Η πρώτη προϋπόθεση εξασφαλίζει την αρχή και το τέλος της ροής εργασιών ή με άλλα λόγια ότι μετά την εκκίνηση της ροής εργασιών, η διαδοχική εκτέλεση των μεταβάσεων θα οδηγήσει σε μια στην επιθυμητή τελική κατάσταση. Η δεύτερη προϋπόθεση εξασφαλίζει ότι δεν υπάρχουν εκκρεμείς μεταβάσεις ή θέσεις (dangling transitions or places) οι οποίες δεν συνεισφέρουν στην επεξεργασία που πραγματοποιείται. Ένα δίκτυο ροής εργασιών είναι ισχυρά συνδεδεμένο (strongly connected) όταν για κάθε δύο κόμβους x, y του δικτύου (δηλ. θέση ή μετάβαση), υπάρχει μια διαδρομή που οδηγεί από το x στο y . Ως διαδρομή ορίζεται μια ακολουθία κόμβων $x_1, \ldots, x_\kappa$, *όπου* $(x_1, x_2) \ldots, (x_{k-1}, x_\kappa) \in$. Αν αυτό δεν συμβαίνει τότε το δίκτυο ονομάζεται ασθενώς συνδεδεμένο (ή απλά συνδεδεμένο).

Ακόμη, σύμφωνα με το [4], στοχαστικά δίκτυα Petri και δίκτυα ροής εργασιών μπορούν να συνδεθούν με τον ακόλουθο ορισμό:

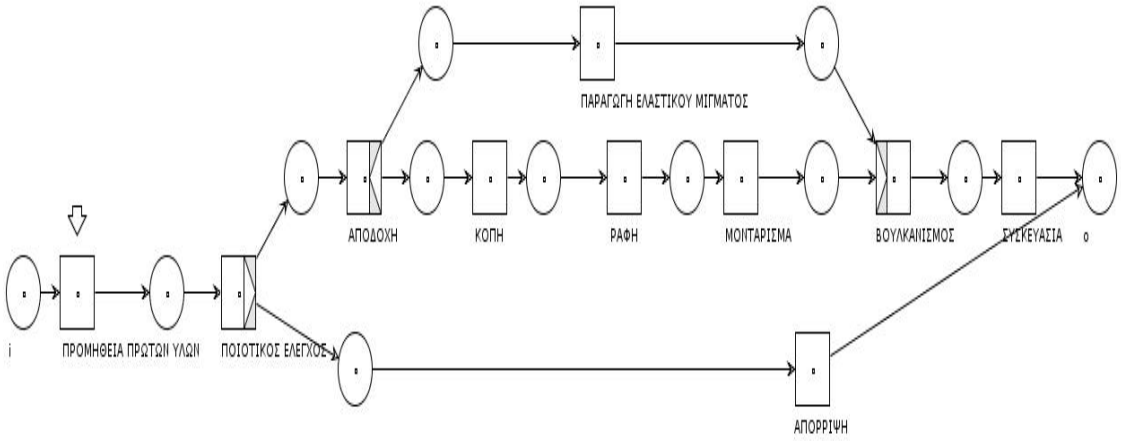
Ορισμός: Ένα στοχαστικό δίκτυο Petri $SPN = \langle P, T, F, f \rangle$ είναι στοχαστικό δίκτυο ροής εργασιών αν και μόνο αν:

- $\langle P, T, F \rangle$ είναι ένα δίκτυο ροής εργασιών (Ορισμός 1) και
- $f : T \rightarrow (N \rightarrow [0,1])$ είναι η συνάρτηση κατανομής πιθανότητας για την απεικόνιση χρονικών καθυστερήσεων στις μεταβάσεις.

3.4.2 Συμβολισμοί-παράδειγμα

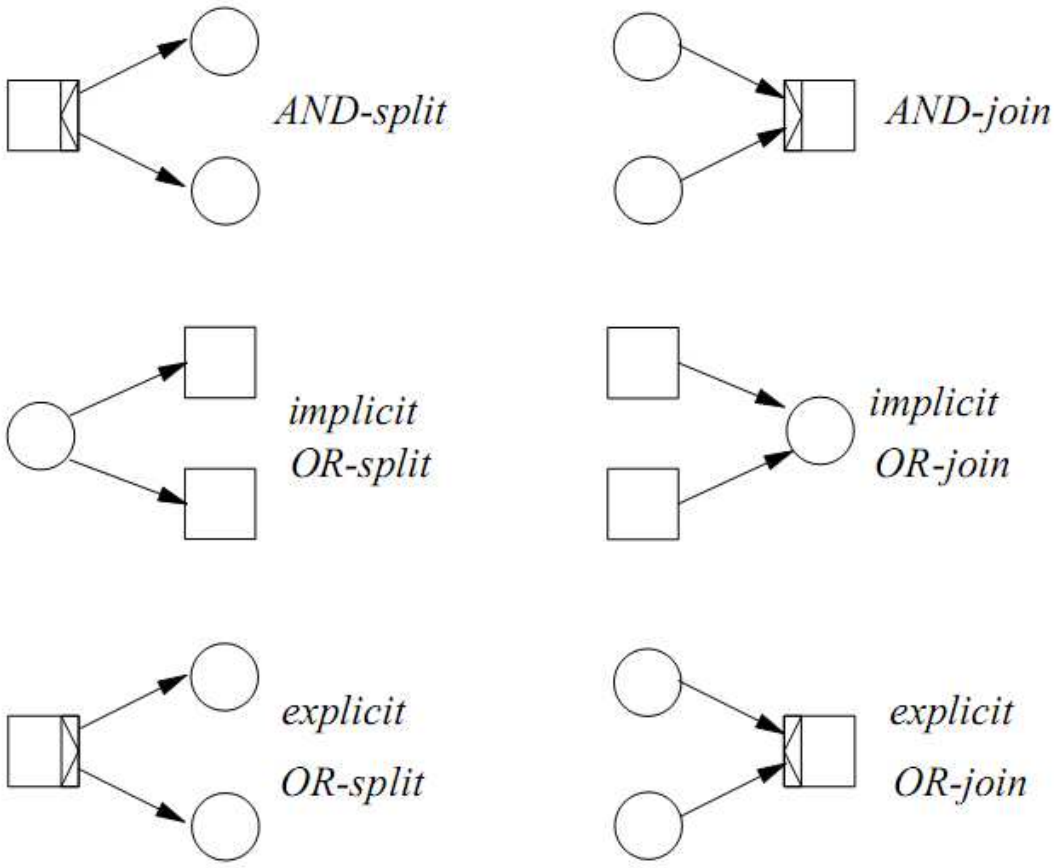
Ο πυρήνας της διαχείρισης ροής εργασιών είναι οι διαδικασίες (processes), οι οποίες ορίζουν τη σειρά εκτέλεσης των εργασιών που χρειάζεται να εκτελεστούν. Συνεπώς, οι ροές εργασιών μπορούν να μοντελοποιηθούν χρησιμοποιώντας τα δίκτυα Petri, όπου οι μεταβάσεις (transition) αναπαριστούν τις εργασίες και οι θέσεις (places) τις συνθήκες εκτέλεσης των εργασιών. Αυτό επιτυγχάνεται με μια επέκταση των δικτύων Petri που δημιουργήθηκε από τον Van der Aalst και ονομάζεται δίκτυα ροής εργασιών (workflow nets).

Για να εξηγήσουμε την ιδέα, θα εξετάσουμε ένα παράδειγμα ροής εργασιών που απαιτούνται για την παραγωγή μιας αρβύλας στρατιωτικού τύπου. Αρχικά, λαμβάνονται οι πρώτες ύλες και αμέσως υποβάλλονται σε ποιοτικό έλεγχο. Αν γίνουν δεκτές, ξεκινούν οι κατεργασίες για τη δημιουργία της σόλας και του δέρματος του παπουτσιού, οι οποίες συμβαίνουν παράλληλα. Όσον αφορά τη σόλα, απαιτείται η παραγωγή ενός ελαστικού μίγματος, ενώ για το δέρμα απαιτείται κοπή, ραφή και μοντάρισμα. Κατόπιν, εφόσον έχουν ολοκληρωθεί οι παραπάνω κατεργασίες γίνεται ο βουλκανισμός της σόλας, όπου ουσιαστικά σε συνθήκες πίεσης συγκολλούνται σόλα και δέρμα. Τέλος το προϊόν συσκευάζεται και είναι έτοιμο για παράδοση. Η διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω μπορεί να μοντελοποιηθεί με το παρακάτω δίκτυο ροής εργασιών.



Σχήμα 3-7: Παράδειγμα μοντελοποίησης ροής εργασιών που απαιτούνται για την παραγωγή μιας αρβύλας στρατιωτικού τύπου.

Για την δημιουργία του δικτύου ροής εργασιών του σχήματος 3-3 χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Woped στο οποίο χρησιμοποιούνται οι κατάλληλοι συμβολισμοί που αναφέρονται συχνά και ως δομικοί λίθοι (building blocks). Οι δομικοί λίθοι εισήχθησαν από τον Van der Aalst στο [5], όπως φαίνονται σχηματικά στο σχήμα 3-8 παρακάτω.



Σχήμα 3-8: Συμβολισμοί δομικών λίθων δικτύων ροής εργασιών

Πιο αναλυτικά, η λειτουργία και χρησιμότητα του κάθε δομικού λίθου περιγράφεται παρακάτω, όπως αναφέρεται και στο [4]:

- **AND split**
  Παραλληλισμός. Μια μετάβαση χωρίς θέσεις εισόδου αλλά με δύο ή περισσότερες θέσεις εξόδου.
- **AND join**
  Συγχρονισμός. Μια μετάβαση με δύο ή περισσότερες θέσεις εισόδου. Εμφανίζεται μετά από παράλληλες εργασίες.
- **Explicit OR split**
  Απόφαση - επιλογή μεταξύ δύο ή περισσότερων εναλλακτικών. Η ικανοποίηση μιας συνθήκης, οδηγεί στην εκτέλεση μίας από τις δύο ή περισσότερες μεταβάσεις εξόδου.

- **Explicit OR Join**
  Μία συνθήκη ικανοποιείται όταν εκτελεστεί οποιαδήποτε από τις μεταβάσεις εισόδου.
- **Implicit OR split**
  Απόφαση - επιλογή μεταξύ δύο ή περισσότερων εναλλακτικών. Η στιγμή της επιλογής είναι όσο το δυνατόν αργότερα.
- **Implicit OR Join**
  Μία συνθήκη ικανοποιείται όταν εκτελεστεί οποιαδήποτε από τις μεταβάσεις εισόδου.

Ακόμη, σύμφωνα με το [5], υπάρχουν τέσσερις πιθανές μορφές πυροδότησης που υποστηρίζονται από τα περισσότερα πληροφοριακά συστήματα διαχείρισης ροής εργασιών, όπως και από το λογισμικό μοντελοποίησης δικτύων Petri που χρησιμοποιήθηκε στη παρούσα εργασία:

1. *Αυτόματη πυροδότηση*: Η εργασία πυροδοτείται τη στιγμή που ενεργοποιείται χωρίς καμιά καθυστέρηση. Η περίπτωση αυτή αφορά αυτόματες εργασίες που εκτελούνται από μηχανές.
2. *Πυροδότηση από άνθρωπο*: Η ενεργοποιημένη εργασία πυροδοτείται από κάποιον εργαζόμενο ο οποίος επιλέγει την εργασία που θα εκτελέσει από το καλάθι εργασιών.
3. *Πυροδότηση χρόνου*: Η ενεργοποιημένη εργασία πυροδοτείται υποχρεωτικά ύστερα από ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα. Χρησιμοποιείται ως εναλλακτική λύση σε εργασίες που μπορεί να διαρκέσουν για ακαθόριστο χρονικό διάστημα, όπως για παράδειγμα η αναμονή λήψης μιας έγκρισης.
4. *Πυροδότηση μηνύματος*: Η ενεργοποιημένη εργασία πυροδοτείται από ένα εξωτερικό γεγονός όπως μια τηλεφωνική κλήση, ένα fax ή ένα email. Στην περίπτωση απαιτείται η ύπαρξη μιας μορφής επικοινωνίας του πληροφοριακού συστήματος διαχείρισης με την αντίστοιχη εφαρμογή που θα αποστείλει το μήνυμα.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται ο συμβολισμός της κάθε μορφής πυροδότησης για το λογισμικό μοντελοποίησης που χρησιμοποιείται.

Ο συμβολισμός που χρησιμοποιείται στο λογισμικό Woped για τις τέσσερις μορφές πυροδότησης φαίνεται στο σχήμα 3-9 παρακάτω.

Αυτόματη πυροδότηση	
Πυροδότηση από άνθρωπο	
Πυροδότηση χρόνου	
Πυροδότηση μηνύματος	

Σχήμα 3-9: Συμβολισμός διαφόρων τύπων πυροδοτήσεων

Εκτός από τη χρήση των δομικών λίθων, ο σχεδιαστής των δικτύων ροής εργασιών πρέπει να φροντίζει ώστε να ικανοποιούνται οι εξής προϋποθέσεις:

1. Η διαδικασία να ξεκινάει με μία θέση εισόδου [i] και τελειώνει σε μία θέση εξόδου [o].
2. Σε κάθε χρονική στιγμή, να είναι δυνατόν να φτάσουμε (μέσω διαδοχικών εκτελέσεων) στη τελική κατάσταση, δηλαδή στην κατάσταση όπου υπάρχει μόνο ένα token στη θέση εξόδου.
3. Όταν υπάρχει ένα token στη θέση εξόδου, να μην υπάρχουν tokens σε καμία άλλη θέση. Οι δύο πρώτες προϋποθέσεις, αφορούν στη στατική δομή του μοντέλου και εξασφαλίζονται από τον ορισμό τη δομής των δικτύων ροής εργασιών. Η τρίτη προϋπόθεση αφορά στη δυναμική του μοντέλου και αναφέρεται ως ιδιότητα αρτιότητας (soundness property). Ενώ ο έλεγχος των (1) και (2) μπορεί να γίνει εύκολα και με το μάτι, η ιδιότητα αρτιότητας είναι δύσκολο να εξασφαλιστεί οπτικά. Γι'αυτό, είναι καλύτερα να χρησιμοποιούνται ειδικά λογισμικά εργαλεία έχουν δημιουργηθεί για το σκοπό αυτό.

3.4.3 Δομές δρομολόγησης και ανάλυση απόδοσης ροής εργασιών

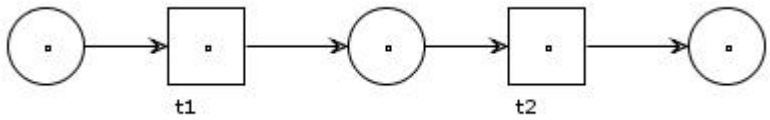
Με την έννοια δρομολόγηση δικτύων ροής εργασιών, αναφερόμαστε στην πορεία που ακολουθεί ένα token κατά την εκτέλεση της διαδικασίας (run-time execution). Υπάρχουν τέσσερις βασικές δομές δρομολόγησης οι οποίες καθορίζουν τη σειρά εκτέλεσης των μεταβάσεων και χρησιμοποιούνται για την ανάλυση της απόδοσης των δικτύων ροής εργασιών:

- Σειριακή δομή δρομολόγησης
- Παράλληλη δομή δρομολόγησης
- Επιλεκτική δομή δρομολόγησης
- Επαναληπτική δομή δρομολόγησης

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζεται η καθαρά στατιστική προσέγγιση για τον υπολογισμό των χρόνων απόκρισης των τεσσάρων δομών δρομολόγησης στα στοχαστικά δίκτυα ροής εργασιών, όπως παρουσιάστηκε στο [4].

Σειριακή δρομολόγηση

Η σειριακή δομή δρομολόγησης αποτελείται από δύο ή περισσότερες μεταβάσεις $t_1, t_2, \ldots, t_n$ που εκτελούνται σειριακά (Σχήμα 3-10).



Σχήμα 3-10: Σειριακή δομή δρομολόγησης δύο μεταβάσεων

Αν οι χρόνοι εκτέλεσης των μεταβάσεων t_i ($1 < i > N$) είναι συνεχείς τυχαίες μεταβλητές X_i , αμοιβαίως αποκλειόμενες, και ακολουθούν την εκθετική κατανομή με παράμετρο λ_i τότε ο χρόνος απόκρισης της σειριακής δομής μπορεί να θεωρηθεί επίσης μια τυχαία μεταβλητή Y , όπου $Y = X_1 + X_2 + \ldots + X_n$.

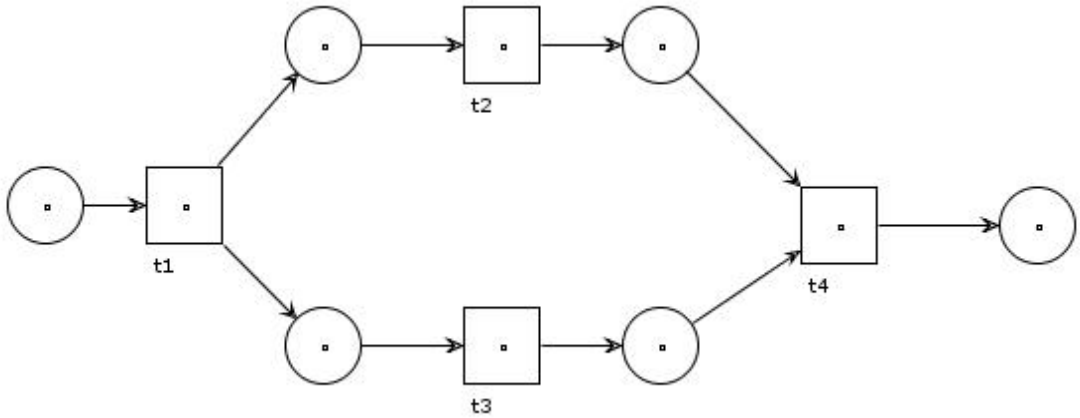
Επομένως, ο αναμενόμενος χρόνος απόκρισης της δομής είναι:

$$\frac{1}{\lambda} = E(Y) = E(X_1 + X_2 + \ldots + X_n) = E(X_1) + E(X_2) + \ldots + E(X_n) = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\lambda_i}$$

(3.1)

Παράλληλη δρομολόγηση

Η παράλληλη δομή δρομολόγησης αποτελείται από δύο ή περισσότερες μεταβάσεις που μπορούν να εκτελεστούν ταυτόχρονα ή με οποιαδήποτε σειρά (Σχήμα 3-11).



Σχήμα 3-11: Παράλληλη δομή δρομολόγησης δύο μεταβάσεων

Για την ανάλυση απόδοσης αυτού του τύπου της δομής, εισάγεται η έννοια των στατιστικών τάξης (order statistics).

Ορισμός (στατιστικά τάξης) Έστω $X_1, X_2,...,X_n$ είναι αμοιβαίως αποκλειόμενες, ομοιόμορφα κατανεμημένες συνεχείς τυχαίες μεταβλητές με συνάρτηση πιθανότητας F. Αν $Y_1, Y_2,...,Y_n$ είναι τυχαίες μεταβλητές που προκύπτουν από μεταθέσεις του συνόλου $X_1, X_2,...,X_n$ ταξινομημένες με αύξουσα σειρά,

$Y_1=min\{X_1, X_2,..., X_n\}$

$Y_n=max\{X_1, X_2,..., X_n\}$

και $Y_1<Y_2<....<Y_n$ *και με πιθανότητα μονάδα,*

τότε η τυχαία μεταβλητή Y_k καλείται στατιστικό k τάξης (kth-order statistic) και η τυχαία μεταβλητή n Y_n καλείται στατιστικό μέγιστης τάξης (largest order statistic).

Αν $X_1, X_2,....,X_n$ οι τυχαίες μεταβλητές των χρόνων εκτέλεσης των μεταβάσεων με συναρτήσεις κατανομής, *n* $F_1(x)$ $F_2(x),...$ $,F_n(x)$ αντίστοιχα, τότε το στατιστικό μέγιστης τάξης *n* Y_n έχει συνάρτηση κατανομής $F_Y(y)$:

$$F_Y(y) = P\{Y \le y\} = P\{X_1 \le y \wedge X_2 \le y \wedge .... \wedge X_n \le y\} = F_1(y)F_2(y)....F_n(y)$$

(1)

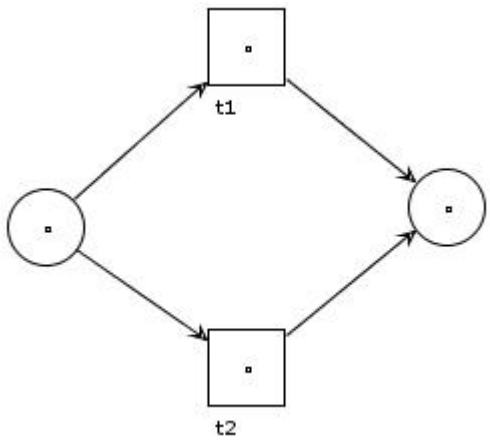
Αντικαθιστώντας τις συναρτήσεις εκθετικής κατανομής στην (1) και παίρνοντας την παράγωγο $F_Y'(y)$, προκύπτει ο αναλυτικός τύπος της $f_Y(y)$.

Επομένως, ο αναμενόμενος χρόνος απόκρισης *E(Y)* της παράλληλης δομής προκύπτει ως εξής:

$$\frac{1}{\lambda}=\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{\lambda_i}-\sum_{i=1}^{n-1}\sum_{j=i+1}^{n}\frac{1}{\lambda_i+\lambda_j}+\sum_{i=1}^{n-2}\sum_{j=i+1}^{n-1}\sum_{k=j+1}^{n}\frac{1}{\lambda_i+\lambda_j+\lambda_k}+....+(-1)^{n-1}\frac{1}{\sum_{i=1}^{n}\lambda_i}$$

<u>Επιλεκτική δρομολόγηση</u>

Η επιλεκτική δομή δρομολόγησης αποτελείται από δύο ή περισσότερες μεταβάσεις, αλλά σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, μόνο μια από αυτές μπορεί να εκτελεστεί (Σχήμα 3-12).



Σχήμα 3-12: Επιλεκτική δομή δρομολόγησης δύο μεταβάσεων

Αν X_1, X_2,…., X_n οι τυχαίες μεταβλητές των χρόνων εκτέλεσης των μεταβάσεων, με συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας $f_i(x))=\lambda_i e^{-\lambda_i x}$, τότε ο χρόνος απόκρισης της επιλεκτικής δομής μπορεί να θεωρηθεί επίσης μια τυχαία μεταβλητή *Y* με συνάρτηση κατανομής $F_Y(y)$ και συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας $f_Y(y)$. Εισάγουμε μια τυχαία μεταβλητή *C* που θα αποφασίζει για το ποιά από τις μεταβάσεις μπορεί να πυροδοτηθεί και ορίζουμε ως τιμή της τυχαίας μεταβλητής *C* την t_i με πιθανότητα a_i . Επομένως,

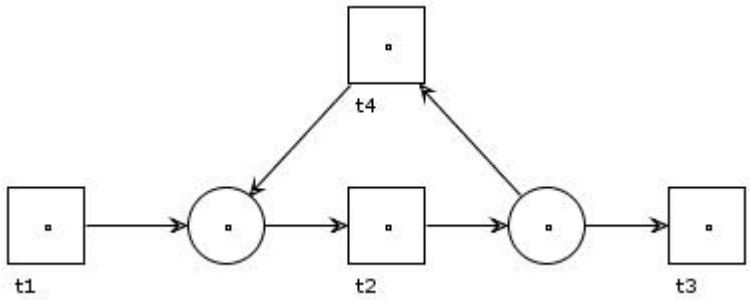
$$f_Y(y)=\sum_{i=1}^{n}P(C=t_i)f_i(y)=\sum_{i=1}^{n}a_i\lambda_i e^{-\lambda_i y}$$

Ο αναμενόμενος χρόνος απόκρισης της επιλεκτικής δομής δρομολόγησης προκύπτει ως:

$$\frac{1}{\lambda} = E(Y) = \int_0^\infty \sum_{i=1}^{n} a_i \lambda_i e^{-\lambda_i y} dy = \sum_{i=1}^{n} \frac{a_i}{\lambda_i} \qquad (3.2)$$

<u>Επαναληπτική δρομολόγηση</u>

Η επαναληπτική δομή δρομολόγησης αποτελείται από δύο μεταβάσεις t_1 και t_2 η εκτέλεση των οποίων μπορεί να επαναλαμβάνεται (Σχήμα 3-13).



Σχήμα 3-13: Επαναληπτική δομή δρομολόγησης δύο μεταβάσεων

Θεωρείται ότι η μετάβαση t_1 μπορεί να πυροδοτηθεί με πιθανότητα a και η μετάβαση t_2 με πιθανότητα $1-a$. Αν οι χρόνοι εκτέλεσης των μεταβάσεων ακολουθούν την εκθετική κατανομή με παραμέτρους λ_1 και λ_2 αντίστοιχα, τότε αποδεικνύεται ότι ο αναμενόμενος χρόνος απόκρισης της συγκεκριμένης δομής δρομολόγησης είναι:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{1-a}\left(\frac{a}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2}\right)$$

Με βάση του χρόνους απόκρισης των τεσσάρων δομών είναι δυνατόν να υπολογιστεί ο συνολικός χρόνος απόκρισης του δικτύου ροής εργασιών. Η ακριβής διαδικασία υπολογισμού του συνολικού χρόνου απόκρισης, παρουσιάζεται στο επόμενο κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΡΟΗΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ

4.1 Εισαγωγή

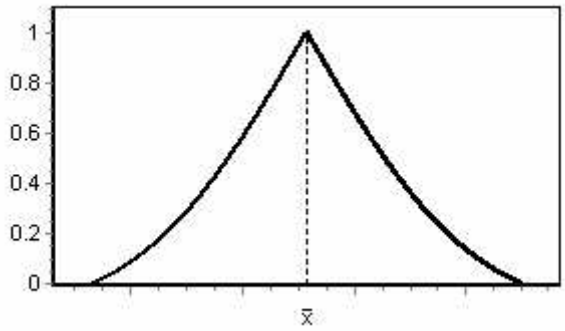
Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 2, η διαχείριση ροής εργασιών αποσκοπεί στην αυτοματοποίηση της ροής των εργασιών, κατά τρόπο ώστε η εκτέλεσή τους να γίνεται με οργανωμένο και αποδοτικό τρόπο από άποψη κόστους και χρόνου. Ο στόχος αυτός πραγματοποιείται με την εγκατάσταση και λειτουργία των συστημάτων διαχείρισης ροής εργασιών, για την πληροφοριακή υποστήριξη της καθημερινής λειτουργίας των επιχειρησιακών διαδικασιών.

Στο κεφάλαιο αυτό, αφού περιγραφούν οι ασαφείς και μη ασυμπτωτικοί ασαφείς εκτιμητές, παρουσιάζεται η μεθοδολογία ανάλυσης απόδοσης για ασαφή δεδομένα, που προτείνεται στο [4] και η οποία θα χρησιμοποιηθεί στη μελέτη περίπτωσης του Κεφαλαίου 5. Τα κυριότερα σημεία στα οποία η προτεινόμενη μεθοδολογία διαφοροποιείται από τις υπάρχουσες είναι ότι:

- Παρέχει αντικειμενική εκτίμηση των μέσων χρόνων εκτέλεσης εργασιών από στατιστικά (ιστορικά) δεδομένα.
- Είναι υβριδική μεθοδολογία, προτείνοντας μια αναλυτική προσέγγιση στην ανάλυση της απόδοσης με χρήση στατιστικών και ασαφών μεθόδων.
- Βασίζεται στα στοχαστικά δίκτυα ροής εργασιών, τα οποία επεκτείνει με ασαφείς εκτιμητές.
- Είναι αποδοτική από άποψη υπολογισμών και τα αποτελέσματα που παρέχει επαληθεύονται από τις παραδοσιακές μεθοδολογίες.
- Το παραγόμενο αποτέλεσμα περιέχει περισσότερη πληροφορία.
- Παρέχει πληροφόρηση στους εμπλεκόμενους χρήστες μέσω παρουσίασης δεικτών απόδοσης των εργασιών τους και του συστήματος.

4.2 Ασαφείς εκτιμητές

Η σημειακή προσέγγιση στην εκτίμηση στατιστικών παραμέτρων δεν μπορεί να αντιμετωπίσει την αβεβαιότητα. Παραδοσιακά, το πρόβλημα αυτό λύνεται χρησιμοποιώντας διαστήματα εμπιστοσύνης. Τελευταία, η ασαφής εκτίμηση είναι μια νέα προσέγγιση για την εκτίμηση παραμέτρων στατιστικών κατανομών, με σημαντικά πλεονεκτήματα. Αποτελεί γενίκευση των προηγούμενων προσεγγίσεων, προκύπτοντας από τη σύνδεση της θεωρίας εκτίμησης με διαστήματα εμπιστοσύνης με την θεωρία των ασαφών συνόλων. Σχήμα 4-1 απεικονίζεται η γενική μορφή του ασαφούς εκτιμητή της μέσης τιμής μ ενός δείγματος παρατηρήσεων.



Σχήμα 4-1:Ασαφής εκτιμητής της μέσης τιμής μ ενός δείγματος παρατηρήσεων.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι μη ασυμπτωτικοί ασαφείς εκτιμητές που θα χρησιμοποιηθούν στη μελέτη περίπτωσης του κεφαλαίου 5.

4.2.1 Μη ασυμπτωτικοί ασαφείς εκτιμητές

Σύμφωνα με το [4], η ασαφής εκτίμηση μπορεί να γίνει για οποιαδήποτε παράμετρο, οποιασδήποτε κατανομής. Στη συνέχεια, για το σκοπό της εφαρμογής στη διαχείρισης ροής εργασιών, παρουσιάζεται ο ορισμός τού μη ασυμπτωτικού ασαφούς εκτιμητή για τη μέση τιμή μ. Σκοπός, είναι η ανάλυση της απόδοσης των ροών εργασιών να γίνει με τη χρήση ασαφών εκτιμητών για το μέσο χρόνο εκτέλεσης κάθε εργασίας. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή θα θεωρήσουμε ότι έχουμε διαθέσιμα ή είμαστε σε θέση να συλλέξουμε αρκετά μεγάλα δείγματα για τους χρόνους εκτέλεσης κάθε εργασίας, ώστε τα αποτελέσματα που θα παρέχει η ασαφής εκτίμηση να είναι αξιόπιστα.

Έστω $X_1, X_2, \ldots, X_n$ ένα τυχαίο δείγμα και $x_1, x_2, \ldots, x_n$ τιμές αυτού του δείγματος. Θεωρούμε επίσης μια σταθερά . Αν το δείγμα είναι αρκετά μεγάλο, $\beta \in [0,1)$ τότε η αναλυτική μορφή του ασαφούς εκτιμητή για τη μέση τιμή μ σύμφωνα με το [4] είναι:

$$M(x) = \begin{cases} \frac{2}{1-\beta}\Phi\left(\frac{x-\bar{x}}{\sigma/\sqrt{n}}\right) + \frac{2-\beta}{1-\beta} & if \quad \bar{x} - \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\Phi^{-1}\left(1-\frac{\beta}{2}\right) \le x \le \bar{x} \\ \frac{2}{1-\beta}\Phi\left(\frac{\bar{x}-x}{\sigma/\sqrt{n}}\right) + \frac{2-\beta}{1-\beta} & if \quad \bar{x} \le x \le \bar{x} + \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\Phi^{-1}\left(1-\frac{\beta}{2}\right) \end{cases} \qquad (4.1)$$

όπου *M(x)* είναι ένας ασαφής αριθμός, η βάση του οποίου αντιστοιχεί ακριβώς στο 1-β διάστημα εμπιστοσύνης για το μ, και τα α-cuts του οποίου είναι τα κλειστά διαστήματα:

$$^{\alpha}\mathrm{M}=\left[\bar{x}-K_{g(a)}\frac{\sigma}{\sqrt{n}},\bar{x}+K_{g(a)}\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right] \qquad (4.2)$$

Όπου

$$g(a)=\left(\frac{1}{2}-\frac{\beta}{2}\right)\alpha+\frac{\beta}{2}, \qquad \left(g:[0,1]\rightarrow\left[\frac{\beta}{2},0.5\right]\right)$$

και $K_{g(a)}=\Phi^{-1}(1-g(a))$

Φ συμβολίζει την τυπική κανονική συνάρτηση κατανομής.

4.3 Μοντελοποίηση υβριδικών δικτύων σε ροή εργασιών

Σύμφωνα με την προτεινόμενη μεθοδολογία ανάλυσης απόδοσης που παρουσιάζεται στο [4], το μοντέλο που παράγεται από την ασαφοποίηση ενός ήδη γνωστού στοχαστικού δικτύου ροής εργασιών είναι ένα υβριδικό (ασαφούς λογικής και στατιστικής) δίκτυο ροής εργασιών που εκφράζει την αβεβαιότητα στους χρόνους εκτέλεσης των εργασιών και επιτρέπει τον υπολογισμό του ασαφούς χρόνου επίδοσης (fuzzy throughput time).

Αρχικά, συλλέγονται ιστορικά δεδομένα για τους χρόνους εκτέλεσης κάθε εργασίας. Τα στοιχεία αυτά παρέχονται συνήθως, από τα περισσότερα συστήματα διαχείρισης ροής εργασιών τα οποία κατά τη φάση λειτουργία τους αποθηκεύουν την ιστορία εκτέλεσης κάθε εργασίας σε βάση δεδομένων (execution logs). Στην αντίθετη περίπτωση απαιτείται η πειραματική εκτέλεση της διαδικασίας για έναν αριθμό περιπτώσεων, ώστε να συλλεχθούν τα απαραίτητα στοιχεία. Είναι γνωστό από την βιβλιογραφία, ότι τα στοχαστικά δίκτυα ροής εργασιών περιγράφουν καλύτερα τις παραγωγικές και διοικητικές ροές εργασιών και λιγότερα ικανοποιητικά τις ροές εργασιών ειδικού τύπου των οποίων η ακριβής δομή του μοντέλου δεν είναι γνωστή εκ των προτέρων. Αυτό συμβαίνει διότι μόνο όταν οι ροές εργασιών προσφέρονται για αυτοματοποίηση, όπως συμβαίνει με τις παραγωγικές και διοικητικές ροές εργασιών, οι εκθετικά κατανεμημένες χρονικές διαρκές που απαιτούν τα στοχαστικά δίκτυα, αποτελούν μια εύλογη παραδοχή.

Παρ' όλα αυτά, η προσέγγιση που παρουσιάζεται στο [4] ισχύει για οποιαδήποτε κατανομή (π.χ. κανονική, γεωμετρική, κλπ.). Για λόγους απλότητας, εξετάζεται μόνο η περίπτωση των στοχαστικών δικτύων ροής εργασιών (δηλαδή με εκθετικά κατανεμημένες χρονικές διάρκειες στις εργασίες) που άλλωστε αποτελούν και την πλειονότητα των μοντέλων στην βιβλιογραφία για την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας. Ως γνωστόν η εκθετική κατανομή έχει τη μορφή:

$f_x(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x}, 0 \le x \le \infty \\ 0, x < 0 \end{cases}$, όπου λ>0. Η αναμενόμενη τιμή είναι $E(X) = \frac{1}{\lambda}$ και η διακύμανση $Var(X) = \frac{1}{\lambda^2}$. Επομένως αν Χ είναι μια τυχαία μεταβλητή , $X_1, X_2, \ldots, X_n$ είναι ένα τυχαίο δείγμα εκθετικά κατανεμημένο και αν $x_1, x_2, \ldots, x_n$ είναι τιμές του δείγματος, τότε $\hat{\lambda} = \frac{1}{\bar{x}}$, όπου $\bar{x}$ είναι η μέση τιμή του δείγματος και $\hat{\lambda}$ είναι η εκτίμηση μέγιστης πιθανοφάνειας για το λ.

Σύμφωνα με το [4], μετά τη συλλογή όλων των δειγμάτων, κατασκευάζεται για κάθε δείγμα ο μη ασυμπτωτικός ασαφής εκτιμητής της παραμέτρου λ της αντίστοιχης εκθετικής κατανομής ως εξής:

Βήμα 1

Χρησιμοποιώντας την σχέση (4.2) παίρνουμε τα a-cuts της ασαφής αναμενόμενης τιμής:

$$^{a}E[X] = \left[\bar{x} - K_{g(a)} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \bar{x} + K_{g(a)} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right]$$

Βήμα 2

Υπολογίζεται η ασαφής παράμετρος λ:

$$\lambda = \frac{1}{\bar{x}}$$

Βήμα 3

Από το θεώρημα του Nguyen, προκύπτει η ασαφής αναπαράσταση του λ σε μορφή συνόλου:

$$\left[\lambda_{a,l}, \lambda_{a,r} \right] = \left[\frac{1}{E[X]_l}, \frac{1}{E[X]_r} \right] \Leftrightarrow \left[\lambda_{a,l}, \lambda_{a,r} \right] = \left[\frac{1}{\bar{x} + K_{g(a)} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}}, \frac{1}{\bar{x} - K_{g(a)} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \right]$$

Βήμα 4
Εφαρμόζοντας τα βήματα 1, 2 και 3 σε όλα τα δείγματα, παίρνουμε τις ασαφείς παραμέτρους λ για όλες τις εργασίες αντίστοιχα. Ως αποτέλεσμα προκύπτει ένα υβριδικό δίκτυο ροής εργασιών (ασαφούς λογικής και στατιστικής) που ορίζεται ως:
Μια διατεταγμένη λίστα πέντε στοιχείων P,T,F,W,M , όπου:
1. $P=p_1, p_2, \ldots, p_n$ είναι ένα πεπερασμένο μη κενό σύνολο από θέσεις,
2. $T = t_1, t_2, \ldots, t_n$ είναι ένα πεπερασμένο μη κενό σύνολο από μεταβάσεις,
3. $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ είναι ένα σύνολο από τόξα,
4. $W : F \rightarrow N$ είναι μια συνάρτηση για την απεικόνιση βαρών στα τόξα,
5. $M : T \rightarrow A$ είναι μια συνάρτηση για την απεικόνιση ασαφών εκτιμητών στις μεταβάσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

5.1 Η περίπτωση της Computec.

Το σημερινό παγκοσμιοποιημένο περιβάλλον της αγοράς, απαιτεί από τις επιχειρήσεις ευελιξία και αποδοτικότητα για την αντιμετώπιση του διεθνούς ανταγωνισμού και των προκλήσεων του τεχνολογικού εκσυγχρονισμού. Σταθερή επιδίωξη πολλών επιχειρήσεων είναι η συνεχής βελτίωση της ικανοποίησης των πελατών.
Ένας παράγοντας που έχει μεγάλη επιρροή στο βαθμό ικανοποίησης των πελατών είναι η απόδοση των επιχειρησιακών διαδικασιών και ιδιαίτερα εκείνων που περιέχουν συναλλαγές με τους πελάτες (π.χ. διαδικασίες εξυπηρέτησης πελατών, διαδικασία παραγγελίας προϊόντων). Η διαχείριση ροής εργασιών είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία, ιδανική για την μελέτη της απόδοσης των επιχειρησιακών διαδικασιών. Βασίζεται στην ιδέα ότι τα προβλήματα πρέπει να λύνονται σε επίπεδο διαδικασίας και όχι σε "τοπικό" επίπεδο όπως γίνονταν παραδοσιακά.

Στη συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης, εξετάζεται ο σχεδιασμός της διαδικασίας πώλησης τυποποιημένων προϊόντων τύπου hardware από την εταιρεία συστημάτων πληροφορικής Computec Systems. Η Computec Systems ιδρύθηκε το 1979 από ομάδα μηχανικών των τομέων της πληροφορικής και των επικοινωνιών. Από το 1994 η Computec Systems μετατρέπεται σε Ανώνυμη Εταιρία, και ταυτόχρονα επικεντρώνει το ενδιαφέρον της στην παροχή υπηρεσιών, τόσο σαν System Integrator, όσο και σαν σύμβουλος εμπορικολογιστικού λογισμικού σε επιχειρήσεις (business software):

- Business Software: αφορά την υλοποίηση εγκαταστάσεων τυποποιημένου εμπορικολογιστικού λογισμικού για μικρομεσαίες επιχειρήσεις και σημαντικών έργων για μεσαίες & μεγάλες επιχειρήσεις βασισμένων σε συστήματα διαχείρισης πόρων και υλοποίηση έργων logistics.

- System Integration: αφορά την υλοποίηση ολοκληρωμένων μηχανογραφικών λύσεων για μικρές, μεσαίες & μεγάλες επιχειρήσεις, από την προμήθεια του εξοπλισμού, μέχρι την εγκατάσταση και την συνεχή τεχνική υποστήριξη.

Οι υπηρεσίες της εταιρείας στους δύο παραπάνω τομείς περιγράφονται αναλυτικότερα στην επόμενη παράγραφο.

5.2 Περιγραφή παρεχόμενων υπηρεσιών

5.2.1 Business Software.

Από το 1983 η Computec Systems προωθεί, εγκαθιστά και υποστηρίζει τόσο τις σειρές τυποποιημένου λογισμικού , όσο και τις σειρές ολοκληρωμένων συστημάτων διαχείρισης πόρων, προσφέροντας έτσι στους πελάτες της προτάσεις στο χώρο του εμπορικολογιστικού λογισμικού. Στις παρακάτω παραγράφους παρατίθενται οι υπηρεσίες που προσφέρει η Computec Systems στις επιχειρήσεις, όσον αφορά τον τομέα του εμπορικολογιστικού λογισμικού.

5.2.1.1 Λύσεις Τυποποιημένου Λογισμικού

Στις παρεχόμενες υπηρεσίες εγκατάστασης εφαρμογών τυποποιημένου λογισμικού περιλαμβάνονται από την επιλογή του λογισμικού, την παραμετροποίηση - προσαρμογή του μέχρι και την εκπαίδευση των χρηστών. Τα θέματα των επιχειρήσεων που εξυπηρετεί η Computec Systems μπορούν να σχετίζονται με την λογιστική, τις πωλήσεις, τις αγορές και εισαγωγές, την μισθοδοσία μέχρι και την διαχείριση της παραγωγής τους.

5.2.1.2 Λύσεις Συστημάτων Διαχείρισης Πόρων

Η λειτουργία ενός συστήματος λογισμικού Διαχείρισης Πόρων αποσκοπεί στην ενοποίηση, συνδυασμό και αξιοποίηση των συνολικών διαδικασιών και πόρων της επιχείρησης, με αποτέλεσμα την βελτίωση της αποδοτικότητας και την διευκόλυνση της καθημερινής εργασίας των στελεχών κάθε ιεραρχικού επιπέδου μέσα στην οργάνωσή της.

Κάθε έργο εγκατάστασης ενός συστήματος διαχείρισης πόρων , σημαίνει πριν από όλα τον καθορισμό των στόχων της μηχανογράφησης και την πλήρη ανάλυση των αναγκών της επιχείρησης του πελάτη. Σε συνεργασία με τον πελάτη υλοποιούνται βήμα προς βήμα οι φάσεις του έργου, πάντα σε συνδυασμό με το χρονοδιάγραμμα που από κοινού με τον πελάτη έχει αποδεχθεί η εταιρεία και συνεχίζει να υποστηρίζει την εγκατάσταση με τον καλύτερο δυνατό τρόπο.
Η Computec Systems σχεδιάζει, υλοποιεί και παραδίδει έτοιμα προς χρήση ολοκληρωμένα συστήματα διαχείρισης πόρων καλύπτοντας εμπορικές και λογιστικές διαδικασίες, όπως η ανάλυση των απαιτήσεων, η υλοποίηση ειδικών εφαρμογών, η εκπαίδευση των στελεχών και χρηστών, η μεταφορά δεδομένων, το σύστημα reporting, η τεκμηρίωση της εγκατάστασης (operating manual), η παρακολούθηση καλής λειτουργίας (live run support), και η διαρκής υποστήριξη της εγκατάστασης.

5.2.1.3 Εγκατάσταση, Εκπαίδευση και Συμβουλευτικές Υπηρεσίες
Η εταιρεία αναλαμβάνει την εγκατάσταση, την παραμετροποίηση, την εκπαίδευση των χρηστών και την συνεχή υποστήριξη της εκάστοτε εφαρμογής. τόσο σε τεχνικό όσο και σε συμβουλευτικό επίπεδο. Στα πλαίσια του έργου της εγκατάστασης της μηχανογράφησής τους, πραγματοποιείται συζήτηση μαζί με τους πελάτες και τους υποδεικνύονται διάφορες μέθοδοι οργάνωσης για την καλύτερη εκμετάλλευση του νέου μηχανογραφικού συστήματος. Η μεθοδολογία - προσέγγιση που ακολουθείται για μια επιτυχημένη εγκατάσταση Business Software, προκύπτει τόσο από τις απαιτήσεις και το χρονοδιάγραμμα του έργου, όσο και από το πλήθος και την πολυπλοκότητα των διαδικασιών προς μηχανογράφηση. Σε κάθε περίπτωση οι βασικοί άξονες είναι οι ακόλουθοι:

- **Υπηρεσίες πριν την Πώληση**.
  Κάθε πελάτης είναι ξεχωριστός για την Computec Systems. Με κάθε υποψήφιο πελάτη μας, έμπειρα και υπεύθυνα στελέχη της Computec, συζητούν και αναλύουν την δομή της οργάνωσής του, τους στόχους του από την μηχανογράφηση, και εκτιμούν τις ιδιαιτερότητες του, τις ανάγκες του και το χρονοδιάγραμμα του έργου. Το αποτέλεσμα της εργασίας αυτής αποτελεί τον κορμό της προσφοράς της εταιρείας προς τον πελάτη και τον οδηγό για την σωστή εγκατάσταση της εφαρμογής.

- **Ανάλυση διαδικασιών, δεδομένων και απαιτήσεων**. Στην φάση αυτή μελετούνται με λεπτομέρεια όλες οι διαδικασίες της οργάνωσης του πελάτη, τα υπάρχοντα στοιχεία και τίθενται οι προδιαγραφές για κάθε ειδική εργασία και εφαρμογή. Όλα αυτά αποτυπώνονται σε ένα τεύχος "Ανάλυση Στοιχείων και Τεχνικές προδιαγραφές" το οποίο συναποδέχεται η εταιρεία με τον πελάτη.
- **Εγκατάσταση - Παραμετροποίηση**.
  Η εφαρμογή παραμετροποιείται σύμφωνα με το τεύχος "Ανάλυση των Τεχνικών Προδιαγραφών" εφαρμόζοντας τις πιο σύγχρονες μεθόδους project management και δοκιμασμένες τεχνικές implementation και setup. Η εφαρμογή εγκαθίσταται στο χώρο του πελάτη όταν ολοκληρωθεί ο βασικός κορμός της παραμετροποίησης και η εφαρμογή είναι έτοιμη για την εκπαίδευση των χρηστών.
- **Εκπαίδευση**.
  Η εκπαίδευση των στελεχών του πελάτη γίνεται πάντα στον χώρο του πελάτη, σε πραγματικές συνθήκες εργασίας και με πραγματικά δεδομένα. Ελέγχεται η παραμετροποίηση της εφαρμογής, γίνονται συμπληρώσεις και διορθώσεις και εκδίδονται δοκιμαστικά όλα τα στοιχεία και βιβλία που απαιτούνται από την νομοθεσία.
- **Μεταφορά δεδομένων**.
  Η μεταφορά δεδομένων μπορεί να είναι από μια απλή τεχνική εργασία έως ένα ολόκληρο project, ανάλογα με τις απαιτήσεις της εγκατάστασης. Με ιδιαίτερη προσοχή αναλύονται τα ιστορικά δεδομένα σε συνδυασμό με τις απαιτήσεις της παραμετροποίησης, ώστε ο πελάτης να έχει πάντα την καλύτερη λύση, τόσο από οικονομική όσο και από τεχνική άποψη
- **Παρακολούθηση καλής λειτουργίας**.
  Με την έναρξη λειτουργίας της μηχανογράφησης οι σύμβουλοι της Computec Systems εξακολουθούν να είναι κοντά στον πελάτη, για όσο χρόνο απαιτείται, ώστε και η μηχανογράφηση να λειτουργεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές που έχουν τεθεί και ο πελάτης να αισθάνεται ασφαλής και σίγουρος για τις καθημερινές εργασίες που εκτελεί.
- **Παράδοση - Παραλαβή του έργου**.
  Δουλεύοντας με την παραπάνω μεθοδολογία και σε στενή - καθημερινή συνεργασία με τον πελάτη, το έργο παραδίδεται πάντα σύμφωνα με το προκαθορισμένο χρονοδιάγραμμα ώστε τα θετικά αποτελέσματα να είναι άμεσα ορατά.

5.2.1.4 Υποστήριξη

Κάθε μηχανογράφηση χρειάζεται υποστήριξη από έμπειρα στελέχη για κάθε γενικότερο ή καθημερινό θέμα που προκύπτει. Η υποστήριξη παρέχεται με τους παρακάτω τρόπους:

- **Εξυπηρέτηση Ετήσιας Σύμβασης Υποστήριξης (Help Desk)**. Με την έναρξη της κανονικής λειτουργίας της εφαρμογής στην επιχείρηση, η Computec Systems εξυπηρετεί αυτόνομα την ετήσια σύμβαση υποστήριξης που συνάπτει ο πελάτης με τον κατασκευαστή της εφαρμογής. Στα γραφεία της Computec υπάρχουν ειδικοί τεχνικοί - σύμβουλοι, έτοιμοι να απαντήσουν σε κάθε ερώτησή του πελάτη και να τον καθοδηγήσουν για την καλύτερη χρήση του προγράμματος. Παράλληλα η Computec Systems φροντίζει ώστε κάθε πελάτης να έχει πάντα την τελευταία έκδοση (version) της εφαρμογής και να είναι τακτικά ενήμερος για κάθε αλλαγή-προσθήκη στην φορολογική νομοθεσία ή στην εφαρμογή που χρησιμοποιεί.
- **Υπηρεσίες βάσει Προαγοράς Ωρών**
  Συμπληρωματικά, για την κάλυψη καθημερινών και ειδικών απαιτήσεων, η Computec προσφέρει στους πελάτες της υπηρεσίες βάσει "Προαγοράς Ωρών Συμβούλου Business Software". Ο πελάτης προαγοράζει έναν συγκεκριμένο αριθμό ωρών και εξασφαλίζει προτεραιότητα στην εξυπηρέτησή του και τακτικές επισκέψεις τεχνικού της Computec στα γραφεία του. Ο πελάτης μπορεί να χρησιμοποιήσει τις ώρες αυτές για δημιουργία ειδικών αναφορών, συμπληρωματική παραμετροποίηση, ανάλυση και μεταφορά δεδομένων, έλεγχο της εγκατάστασής του, έλεγχο της βάσης δεδομένων, δημιουργία ειδικών εφαρμογών, κ.α.
- **Υπηρεσίες με προκαθορισμένη χρέωση**.
  Κάθε πελάτης έχει την δυνατότητα να λαμβάνει υπηρεσίες της Computec κατά περίπτωση, με ωριαία ή προκαθορισμένη χρέωση. Σε κάθε παρόμοια αίτηση, οι τεχνικοί της Computec θα ανταποκριθούν με γνώμονα την προτεραιότητα των πελατών και την φύση του προβλήματος.

5.2.2 System Integration

Ως System Integration εννοείται η λειτουργική ενσωμάτωση software-hardware από την εταιρεία, με σκοπό τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου συστήματος. Σαν System Integrator η εταιρεία συνεργάζεται με προμηθευτές Hardware, System Software, Office Automation Software και Business Software και τα έργα που αναλαμβάνει περιλαμβάνουν αντικείμενα όπως:

- Μελέτη Εγκατάστασης,
- Προδιαγραφές Εξοπλισμού
- Οργάνωση Τοπολογίας τοπικών (LAN) και απομακρισμένων δικτύων (WAN)
- Προμήθεια Εξοπλισμού (Hardware & Software)
- Εγκατάσταση
- Exchange, Mail και Web Servers
- Business Software
- Συστήματα Data Warehousing
- Επικοινωνία βάσεων δεδομένων

Εκτός από τις υπηρεσίες της Computec Systems που περιγράφηκαν στις παραγράφους 5.2.1 και 5.2.2, υπάρχει και το κομμάτι της απλής πώλησης προϊόντων τύπου hardware, το οποίο και συνιστά την καθαρά εμπορική δραστηριότητα της εταιρείας. Αυτό λοιπόν το κομμάτι θα μας απασχολήσει στη συνέχεια του κεφαλαίου. Αρχικά θα γίνει η μοντελοποίηση της εμπορικής διαδικασίας με δίκτυα Petri (5.3) , ενώ στη συνέχεια θα εφαρμοστεί η μεθοδολογία του $4^{ου}$ κεφαλαίου ώστε να αξιολογηθεί η απόδοση της εν λόγω διαδικασίας (5.4).

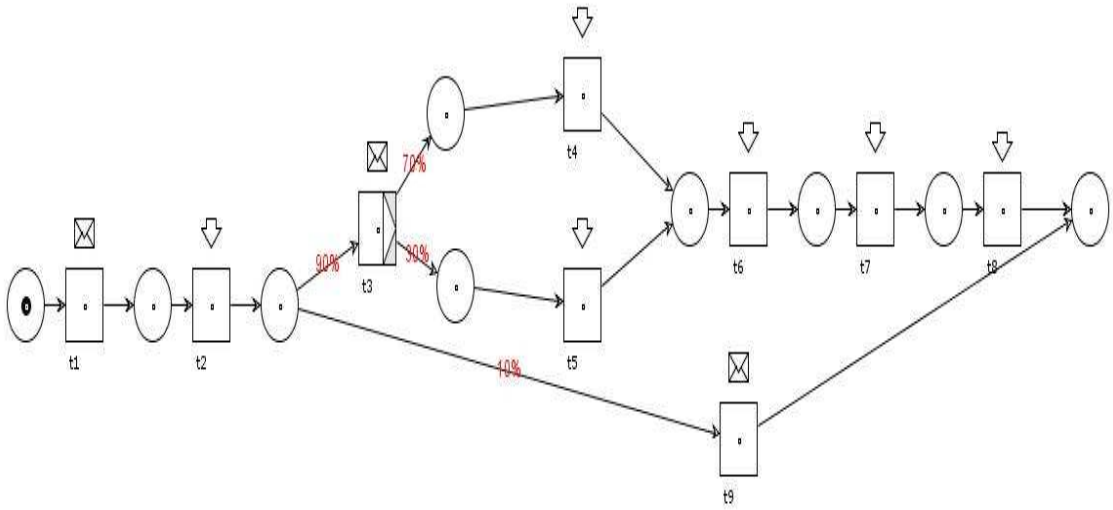
5.3 Μοντελοποίηση διαδικασίας πώλησης προϊόντων με δίκτυα ροής εργασιών petri.

Η διαδικασία πώλησης προϊόντων (hardware) που μελετάται περιλαμβάνει τα παρακάτω καθήκοντα-εργασίες:

- t_1: συνομιλία με τον πελάτη
- t_2: προετοιμασία προσφοράς
- t_3: καταχώρηση παραγγελίας
- t_4: αναζήτηση προϊόντος στην αποθήκη
- t_5: αναζήτηση προϊόντος από προμηθευτές

- t_6: παράδοση προϊόντος
- t_7: εγκατάσταση
- t_8: πληρωμή
- t_9: απενεργοποίηση προσφοράς

Ο τρόπος με τον οποίο οι παραπάνω εργασίες συνδέονται μεταξύ τους περιγράφεται παρακάτω:
Αρχικά γίνεται η συνομιλία με τον πελάτη (t_1) όπου καθορίζεται το είδος του προϊόντος που ζητείται. Αφού καθοριστεί για ποιο συγκεκριμένο προϊόν πρόκειται, προετοιμάζεται η προσφορά (t_2). Η προσφορά είναι ένα ηλεκτρονικό έγγραφο που συντάσσει η Computec Systems προκειμένου να ενημερώσει τον ενδιαφερόμενο πελάτη για το ποιο προϊόν του προτείνει και πόσο κοστίζουν η αγορά και η εγκατάσταση του ανάλογα και με τη τοποθεσία στην οποία θα διανεμηθεί το προϊόν. Επίσης, περιλαμβάνει μία λίστα με πλεονεκτήματα της προτεινόμενης λύσης, τους όρους πληρωμής, τους όρους της εγγύησης και την περίοδο ισχύος της προσφοράς. Η προσφορά αποστέλλεται με e-mail στον πελάτη. Αν ο πελάτης αποδεχτεί την προσφορά με γραπτή ή τηλεφωνική έγκριση, η παραγγελία καταχωρείται (t_3), ενώ αν η προσφορά δε γίνει δεκτή, η τελευταία απενεργοποιείται (t_9).
Στη συνέχεια, σε περίπτωση αποδοχής, αφού γίνει η καταχώρηση της παραγγελίας, πραγματοποιείται ένα από τα δύο εξής καθήκοντα: είτε λαμβάνεται το προϊόν από την αποθήκη (t_4) είτε η εταιρεία απευθύνεται στους προμηθευτές (t_5). Τέλος, γίνεται η παράδοση του προϊόντος (t_6), η εγκατάσταση (t_7) και η πληρωμή από τον πελάτη (t_8). Η μοντελοποίηση της παραπάνω διαδικασίας φαίνεται στο σχήμα 5-1.



Σχήμα 5-1. Δίκτυο petri εμπορικής διαδικασίας.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα θεωρείται ότι αρχικά, η πιθανότητα a αποδοχής της προσφοράς είναι 90% και ή πιθανότητα b να υπάρχει το προϊόν στην αποθήκη είναι 70%. Η αντιμετώπιση της ανάγκης για τη βελτίωση την ικανοποίησης των αναγκών των πελατών, γίνεται με την ελαχιστοποίηση του χρόνου απόκρισης της διαδικασίας, δηλαδή του χρόνου εξυπηρέτησης του πελάτη.

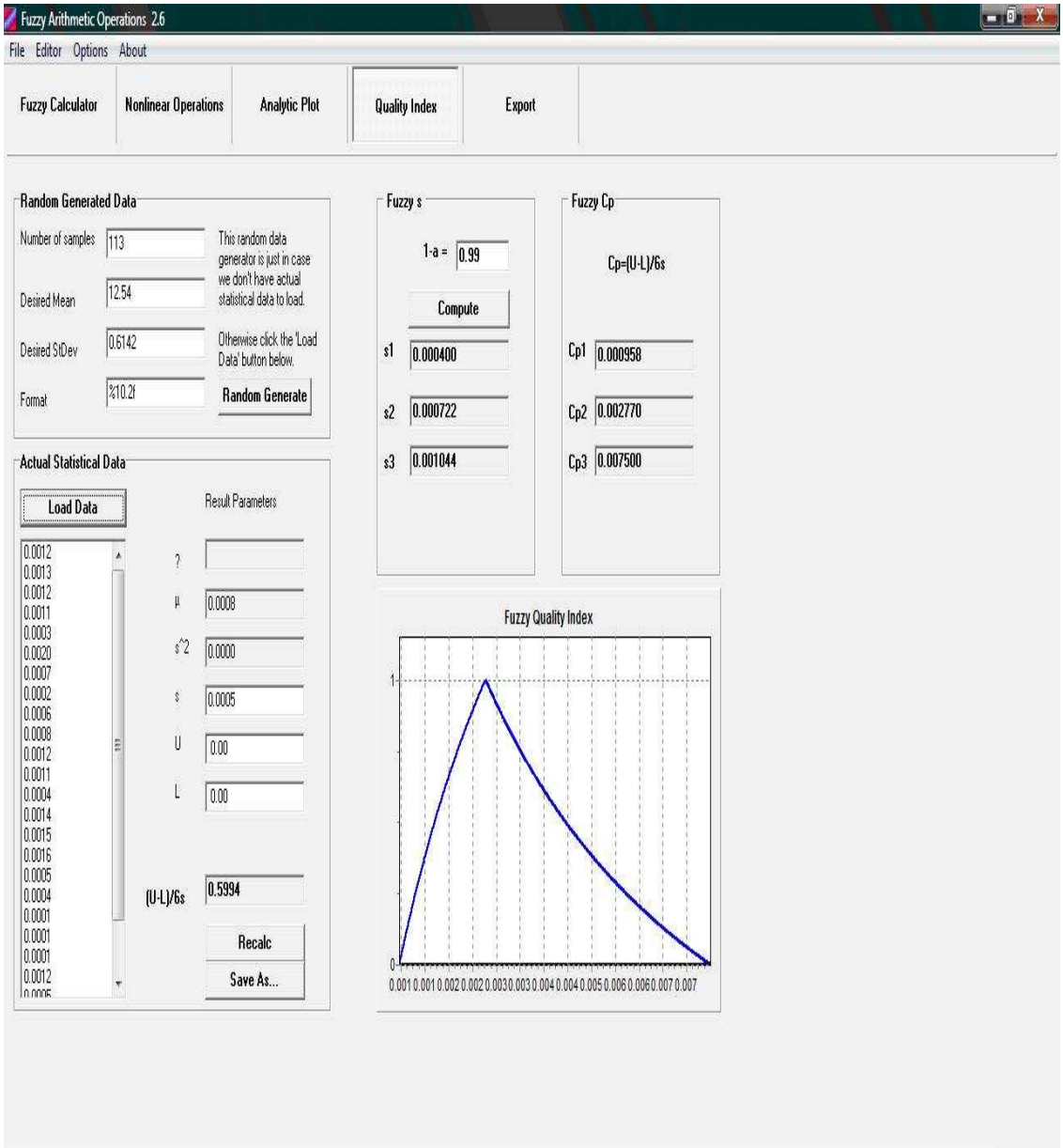
5.4 Ανάλυση απόδοσης διαδικασίας

Για την κατασκευή των μη ασυμπτωτικών ασαφών εκτιμητών του μέσου χρόνου εκτέλεσης κάθε εργασίας του σχήματος 5-1, χρειάζεται ένα δείγμα από πραγματικά στατιστικά δεδομένα χρόνων για κάθε εργασία. Πιο συγκεκριμένα το δείγμα που λήφθηκε για κάθε εργασία-καθήκον της εμπορικής διαδικασίας αποτελείται από 25 μετρήσεις χρόνου, οι οποίες εκφράζονται σε μέρες για λόγους ευκολίας χειρισμού των δεδομένων. Στον Πίνακα 2 φαίνονται οι μετρήσεις χρόνου που λήφθηκαν για κάθε εργασία (t_1 έως και t_9). Όλες οι τιμές είναι σε ημέρες.

t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9
0.0034	0.0201	0.0011	2.1701	2.9700	0.0500	0.0301	0.0011	0.0012
0.0045	0.0202	0.0013	1.6602	2.1900	0.0501	0.0301	0.0011	0.0013
0.0076	0.0201	0.0011	1.9303	2.5900	0.0301	0.0301	0.0011	0.0012
0.0032	0.0201	0.0017	1.8604	1.8300	0.0401	0.0301	0.0011	0.0011
0.0065	0.0203	0.0025	1.9305	2.5300	0.0501	0.0301	0.0011	0.0003
0.0043	0.0204	0.0028	1.9909	2.1400	0.0301	0.0302	0.0011	0.0020
0.0012	0.0201	0.0003	1.7308	1.1900	0.0402	0.0302	0.0011	0.0007
0.0034	0.0201	0.0005	1.5701	1.6103	0.0402	0.0602	0.0011	0.0002
0.0023	0.0601	0.0008	1.8901	1.7902	0.0403	0.0602	0.0009	0.0006
0.0089	0.0601	0.0008	1.9801	1.6901	0.0403	0.0600	0.0009	0.0008
0.0080	0.0605	0.0010	2.4501	2.1800	0.0603	0.0600	0.0009	0.0012
0.0054	0.0606	0.0013	1.6100	2.5800	0.0303	0.0600	0.0009	0.0011
0.0032	0.0607	0.0014	2.0200	1.9000	0.0504	0.0600	0.0009	0.0004
0.0034	0.0609	0.0012	1.3100	2.2800	0.0304	0.0600	0.0009	0.0014
0.0034	0.0601	0.0016	2.4100	1.9600	0.0405	0.0500	0.0009	0.0015
0.0034	0.0601	0.0014	2.0800	2.0800	0.0401	0.0500	0.0013	0.0016
0.0056	0.0401	0.0007	1.9400	1.7500	0.0301	0.0500	0.0013	0.0005
0.0065	0.0401	0.0003	2.6000	2.5008	0.0301	0.0500	0.0013	0.0004
0.0054	0.0401	0.0003	1.9903	2.8709	0.0401	0.0511	0.0013	0.0001
0.0034	0.0401	0.0006	2.0401	0.8207	0.0400	0.0555	0.0013	0.0001
0.0065	0.0401	0.0013	2.1502	1.1405	0.0500	0.0522	0.0013	0.0001
0.0040	0.0401	0.0012	2.3002	2.6601	0.0300	0.0501	0.0013	0.0012
0.0035	0.0401	0.0011	1.7302	1.8001	0.0500	0.0501	0.0013	0.0005
0.0036	0.0401	0.0011	2.1002	3.1301	0.0200	0.0501	0.0013	0.0005
0.0037	0.0401	0.0015	1.8202	2.0101	0.0400	0.0501	0.0013	0.0009

Πίνακας 2: Μετρήσεις χρόνου σε ημέρες για κάθε εργασία-καθήκον της διαδικασίας πώλησης προϊόντος.

Στον πίνακα 3 φαίνονται οι μέσες τιμές και οι τυπικές αποκλίσεις που προέκυψαν από τα παραπάνω δεδομένα για την κάθε εργασία. Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε από το πρόγραμμα Fuzzy Operations και στην εικόνα 1 φαίνεται η φάση εύρεσης της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης των δεδομένων χρόνου που συλλέχθηκαν για την απενεργοποίηση προσφοράς (t_9). Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για τις υπόλοιπες εργασίες.



Εικόνα 1: Εύρεση μέσης τιμής και τυπικής απόκλισης των δεδομένων της εργασίας t_9 με το πρόγραμμα Fuzzy Operations.

	μ	σ
t_1	0.0046	0.0019
t_2	0.0400	0.0163
t_3	0.0012	0.0006
t_4	1.9704	0.2902
t_5	2.0876	0.5712
t_6	0.0396	0.0093
t_7	0.0472	0.0117
t_8	0.0011	0.0005
t_9	0.0008	0.0005

Πίνακας 3: Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις του χρόνου κάθε εργασίας.

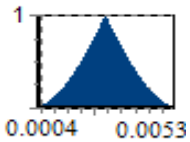
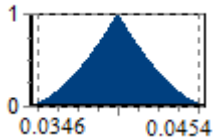
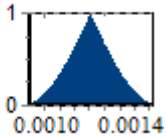
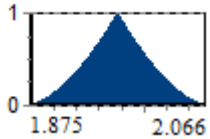
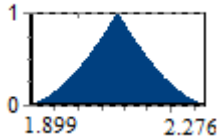
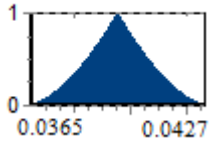
Στόχος της εταιρείας είναι ο συνολικός μέσος χρόνος εξυπηρέτησης να μην υπερβεί τις 2 ημέρες.

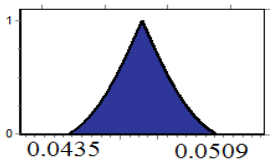
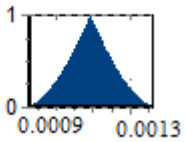
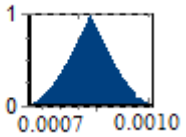
Σε πρώτη φάση, χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα Fuzzy Operations, κατασκευάζονται όλοι οι μη ασυμπτωτικοί ασαφείς εκτιμητές για τους μέσους χρόνους εκτέλεσης των εργασιών με διάστημα εμπιστοσύνης 0.90 και αποθηκεύονται σε αρχεία. Το πρόγραμμα κάνει αυτόματα τους υπολογισμούς, εφαρμόζοντας τις φόρμουλες που παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 4.2.1. Τα αριθμητικά αποτελέσματα της φάσης αυτής φαίνονται συνοπτικά στον Πίνακα 4. Στον Πίνακα 5 φαίνονται γραφικά οι ασυμπτωτικοί ασαφείς εκτιμητές που κατασκευάστηκαν για κάθε εργασία, χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα Fuzzy Operations.

	A-cuts	Αναλυτική μορφή
t_1	$\left[0.0046-K_{g(a)}\frac{0.0019}{\sqrt{25}},0.0046+K_{g(a)}\frac{0.0019}{\sqrt{25}}\right]$	$M(x)=\begin{cases}\frac{1.9}{0.9}-\frac{2}{0.9}\Phi\left(\frac{0.0046-x}{0.0004}\right) & if\ 0.0039\le x\le 0.0046\\ \frac{1.9}{0.9}-\frac{2}{0.9}\Phi\left(\frac{x-0.0046}{0.0004}\right) & if\ 0.0046\le x\le 0.0053\end{cases}$
t_2	$\left[0.0400-K_{g(a)}\frac{0.0163}{\sqrt{25}},0.0400+K_{g(a)}\frac{0.0163}{\sqrt{25}}\right]$	$M(x)=\begin{cases}\frac{1.9}{0.9}-\frac{2}{0.9}\Phi\left(\frac{0.0400-x}{0.0032}\right) & if\ 0.0347\le x\le 0.0400\\ \frac{1.9}{0.9}-\frac{2}{0.9}\Phi\left(\frac{x-0.0400}{0.0032}\right) & if\ 0.0400\le x\le 0.0453\end{cases}$
t_3	$\left[0.0012-K_{g(a)}\frac{0.0006}{\sqrt{25}},0.0012+K_{g(a)}\frac{0.0006}{\sqrt{25}}\right]$	$M(x)=\begin{cases}\frac{1.9}{0.9}-\frac{2}{0.9}\Phi\left(\frac{0.0012-x}{0.0001}\right) & if\ 0.0010\le x\le 0.0012\\ \frac{1.9}{0.9}-\frac{2}{0.9}\Phi\left(\frac{x-0.0012}{0.0001}\right) & if\ 0.0012\le x\le 0.0014\end{cases}$
t_4	$\left[1.9704-K_{g(a)}\frac{0.2902}{\sqrt{25}},1.9704+K_{g(a)}\frac{0.2902}{\sqrt{25}}\right]$	$M(x)=\begin{cases}\frac{1.9}{0.9}-\frac{2}{0.9}\Phi\left(\frac{1.9704-x}{0.0580}\right) & if\ 1.8750\le x\le 1.9704\\ \frac{1.9}{0.9}-\frac{2}{0.9}\Phi\left(\frac{x-1.9704}{0.0580}\right) & if\ 1.9704\le x\le 2.0658\end{cases}$
t_5	$\left[2.0876-K_{g(a)}\frac{0.5712}{\sqrt{25}},2.0876+K_{g(a)}\frac{0.5712}{\sqrt{25}}\right]$	$M(x)=\begin{cases}\frac{1.9}{0.9}-\frac{2}{0.9}\Phi\left(\frac{2.0876-x}{0.1142}\right) & if\ 1.8997\le x\le 2.0876\\ \frac{1.9}{0.9}-\frac{2}{0.9}\Phi\left(\frac{x-2.0876}{0.1142}\right) & if\ 2.0876\le x\le 2.2755\end{cases}$
t_6	$\left[0.0396-K_{g(a)}\frac{0.0093}{\sqrt{25}},0.0396+K_{g(a)}\frac{0.0093}{\sqrt{25}}\right]$	$M(x)=\begin{cases}\frac{1.9}{0.9}-\frac{2}{0.9}\Phi\left(\frac{0.0396-x}{0.0018}\right) & if\ 0.0366\le x\le 0.0396\\ \frac{1.9}{0.9}-\frac{2}{0.9}\Phi\left(\frac{x-0.0396}{0.0018}\right) & if\ 0.0396\le x\le 0.0426\end{cases}$
t_7	$\left[0.0472-K_{g(a)}\frac{0.0117}{\sqrt{25}},0.0472+K_{g(a)}\frac{0.0117}{\sqrt{25}}\right]$	$M(x)=\begin{cases}\frac{1.9}{0.9}-\frac{2}{0.9}\Phi\left(\frac{0.0472-x}{0.0023}\right) & if\ 0.0435\le x\le 0.0472\\ \frac{1.9}{0.9}-\frac{2}{0.9}\Phi\left(\frac{x-0.0472}{0.0023}\right) & if\ 0.0472\le x\le 0.0509\end{cases}$

t_8	$\left[0.0011-K_{g(a)}\frac{0.0005}{\sqrt{25}},0.0011+K_{g(a)}\frac{0.0005}{\sqrt{25}}\right]$	$M(x)=\begin{cases}\frac{1.9}{0.9}-\frac{2}{0.9}\Phi\left(\frac{0.0011-x}{0.0001}\right) & if\ 0.0009\le x\le 0.0011\\ \frac{1.9}{0.9}-\frac{2}{0.9}\Phi\left(\frac{x-0.0011}{0.0001}\right) & if\ 0.0011\le x\le 0.0013\end{cases}$
t_9	$\left[0.0008-K_{g(a)}\frac{0.0005}{\sqrt{25}},0.0008+K_{g(a)}\frac{0.0005}{\sqrt{25}}\right]$	$M(x)=\begin{cases}\frac{1.9}{0.9}-\frac{2}{0.9}\Phi\left(\frac{0.0008-x}{0.0001}\right) & if\ 0.0006\le x\le 0.0008\\ \frac{1.9}{0.9}-\frac{2}{0.9}\Phi\left(\frac{x-0.0008}{0.0001}\right) & if\ 0.0008\le x\le 0.0010\end{cases}$

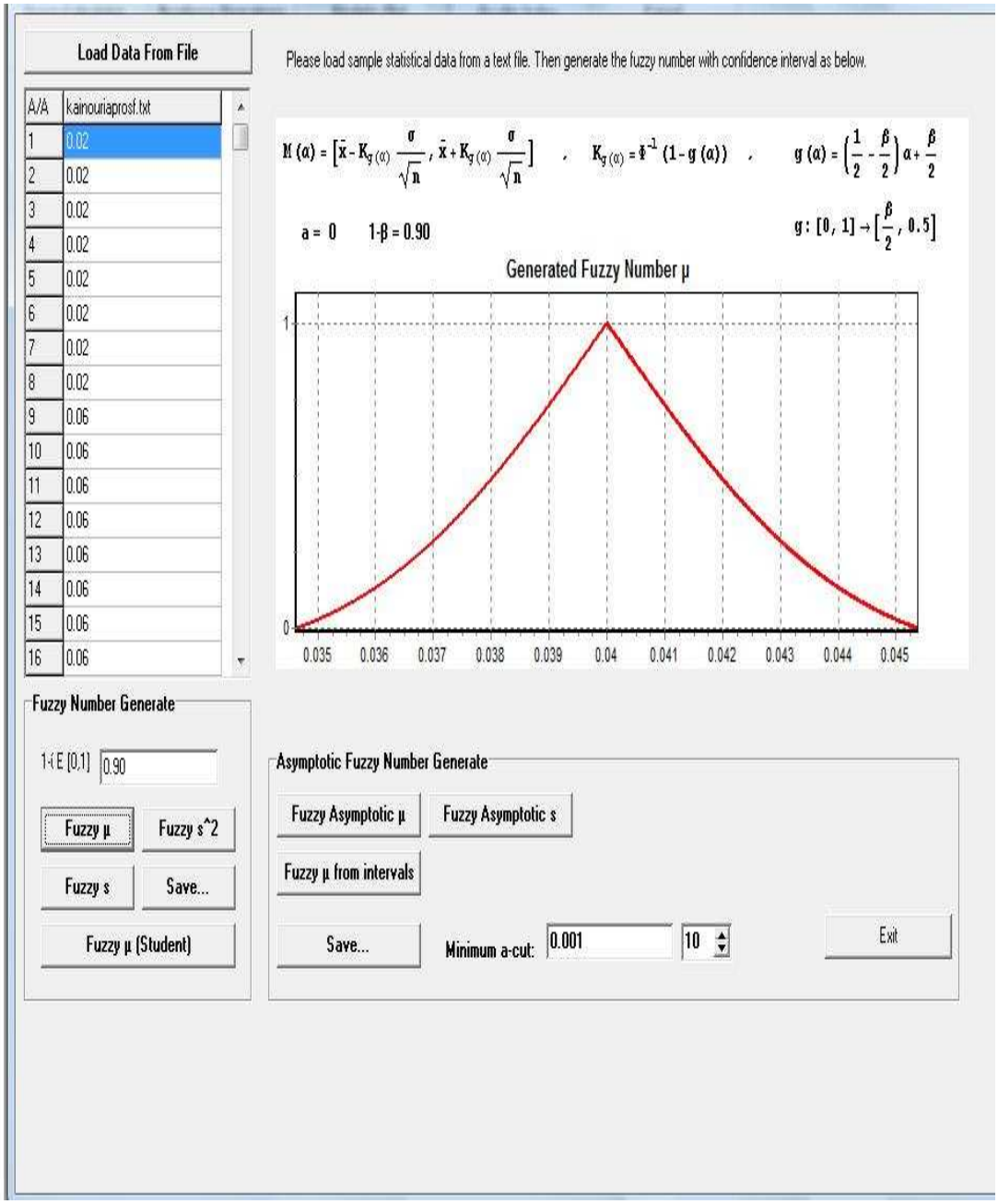
Πίνακας 4: Αποτελέσματα κατασκευής μη ασυμπτωτικών ασαφών εκτιμητών για τους μέσους χρόνους εκτέλεσης των εργασιών.

t_1	
t_2	
t_3	
t_4	
t_5	
t_6	

t_7	
t_8	
t_9	

Πίνακας 5: Γραφικά αποτελέσματα κατασκευής μη ασυμπτωτικών ασαφών εκτιμητών για τους μέσους χρόνους εκτέλεσης των εργασιών.

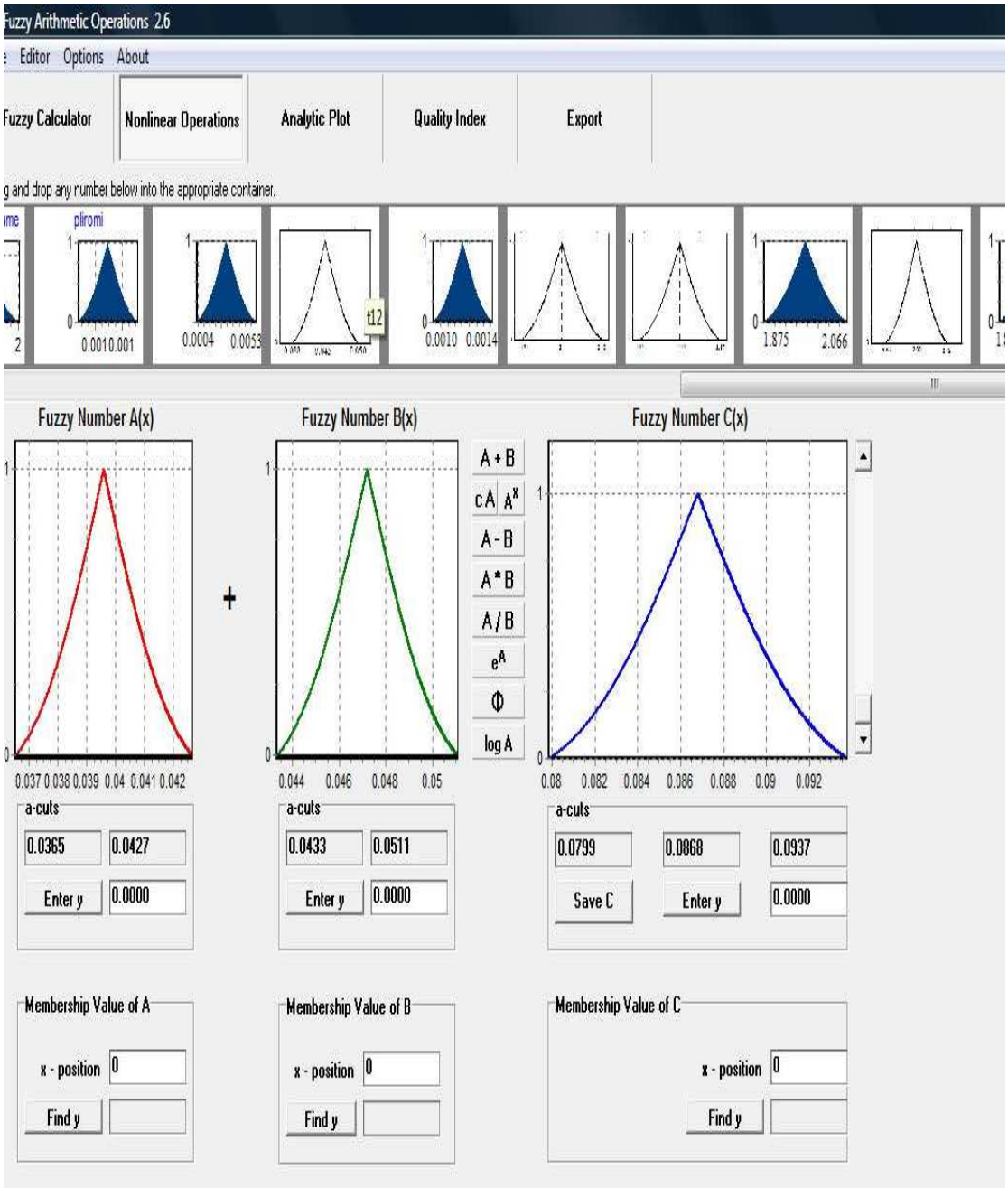
Ο πίνακας 4 συνιστά το πρώτο βήμα της ασαφούς προσέγγισης για τον υπολογισμό της απόδοσης της διαδικασίας. Η πρώτη στήλη περιέχει τις εργασίες, η δεύτερη στήλη περιέχει τα α-cuts και η τρίτη στήλη τις αναλυτικές μορφές των ασαφών αριθμών.
Για παράδειγμα, στη 2η σειρά του πίνακα 4 βρίσκεται η εργασία t_2 ($1^η$ στήλη) με την αντίστοιχη ασαφή περιγραφή του χρόνου εκτέλεσης ($2^η$ στήλη). Η αναλυτική ασαφής μορφή της 3ης στήλης είναι ένας εναλλακτικός τρόπος να υπολογιστεί ο ασαφής. Η εικόνα 2 δείχνει τη φάση κατασκευής ασυμπτωτικών ασαφών εκτιμητών με διάστημα εμπιστοσύνης 0.90 με το πρόγραμμα Fuzzy Operations.



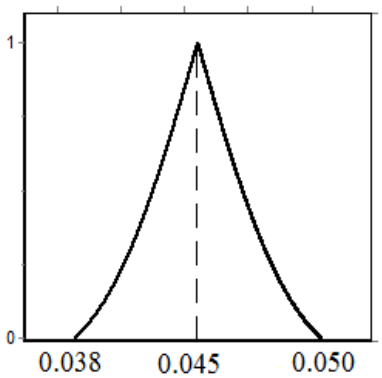
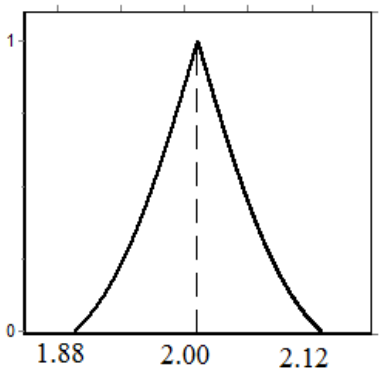
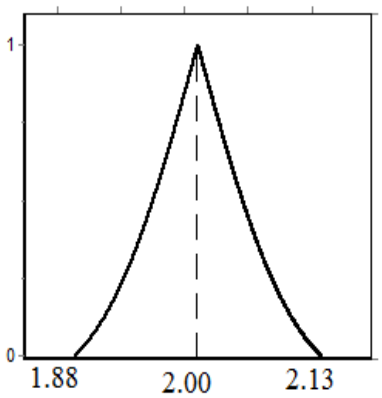
Εικόνα 2: Κατασκευή ασυμπτωτικών ασαφών εκτιμητών με το πρόγραμμα Fuzzy Operations

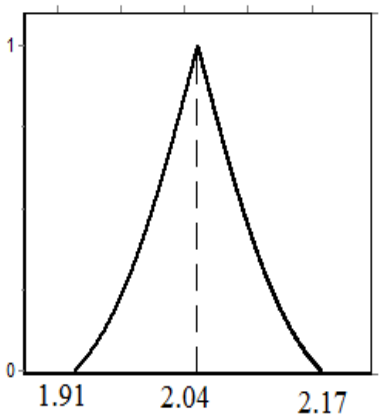
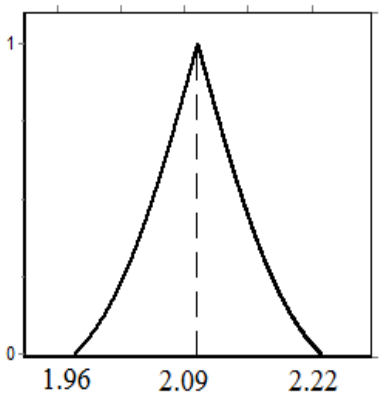
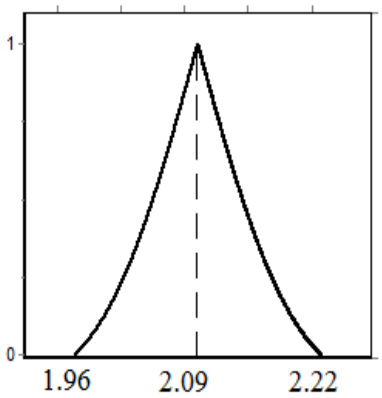
Το επόμενο βήμα είναι η εφαρμογή της μεθόδου απλοποίησης για τα υβριδικά δίκτυα ροής εργασιών που παρουσιάστηκε στην παράγραφο 4.3. Χρησιμοποιήθηκε και πάλι το πρόγραμμα Fuzzy Operations για τους υπολογισμούς των χρόνων απόκρισης των επιμέρους δομών δρομολόγησης: σειριακή και επιλεκτική δομή δρομολόγησης.

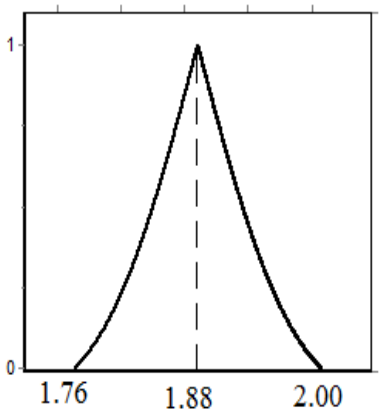
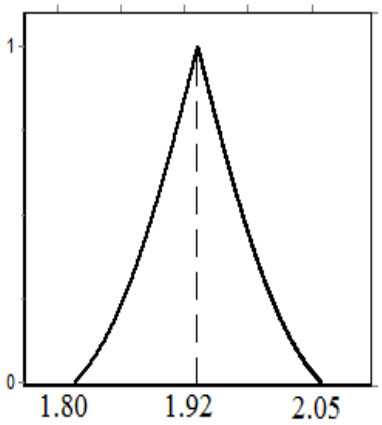
Ξεκινώντας από τις πιο εσωτερικές δομές δρομολόγησης της ανασχεδιασμένης διαδικασίας, υπολογίσθηκε για κάθε στάδιο ο ασαφής χρόνος απόκρισης της αντίστοιχης δομής. Στον Πίνακα 6 φαίνονται όλα τα στάδια από την εφαρμογή της μεθόδου απλοποίησης της ροής εργασιών. Επίσης, στην εικόνα 3 παρουσιάζεται η φάση των πράξεων μεταξύ των ασαφών αριθμών (που αντιπροσωπεύουν το χρόνο εκτέλεσης κάθε εργασίας) ώστε να υπολογιστούν οι νέοι ασαφείς αριθμοί για κάθε καινούρια συνθετική εργασία.



Εικόνα 3: Πράξεις μεταξύ ασαφών αριθμών που αντιπροσωπεύουν το χρόνο εκτέλεσης κάθε εργασίας.

	Ασαφής Προσέγγιση	Αναλυτική μορφή	Κλασσική Προσέγγιση
t_{12}		$M(x)=\begin{cases}\frac{1.9}{0.9}-\frac{2}{0.9}\Phi\left(\frac{0.045-x}{0.0036}\right) & if\ 0.038\le x\le 0.045\\ \frac{1.9}{0.9}-\frac{2}{0.9}\Phi\left(\frac{x-0.045}{0.0036}\right) & if\ 0.045\le x\le 0.050\end{cases}$	0.045
t_{45}		$M(x)=\begin{cases}\frac{1.9}{0.9}-\frac{2}{0.9}\Phi\left(\frac{2-x}{0.0749}\right) & if\ 1.88\le x\le 2.00\\ \frac{1.9}{0.9}-\frac{2}{0.9}\Phi\left(\frac{x-2}{0.0749}\right) & if\ 2.00\le x\le 2.12\end{cases}$	2.00
t_{345}		$M(x)=\begin{cases}\frac{1.9}{0.9}-\frac{2}{0.9}\Phi\left(\frac{2-x}{0.0750}\right) & if\ 1.88\le x\le 2.00\\ \frac{1.9}{0.9}-\frac{2}{0.9}\Phi\left(\frac{x-2}{0.0750}\right) & if\ 2.00\le x\le 2.13\end{cases}$	2.00

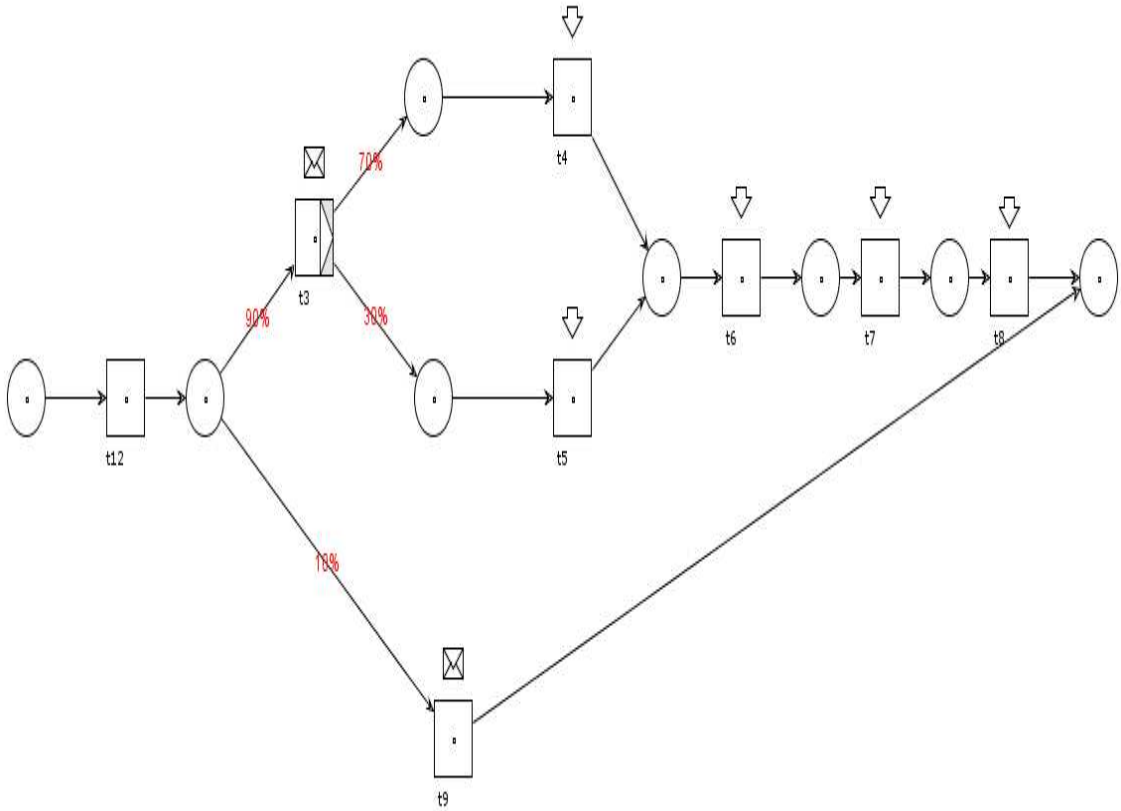
t_{3456}		$M(x)=\begin{cases}\frac{1.9}{0.9}-\frac{2}{0.9}\Phi\left(\frac{2.04-x}{0.0769}\right) & if\ 1.91\le x\le 2.04\\ \frac{1.9}{0.9}-\frac{2}{0.9}\Phi\left(\frac{x-2.04}{0.0769}\right) & if\ 2.04\le x\le 2.17\end{cases}$	2.04
t_{34567}		$M(x)=\begin{cases}\frac{1.9}{0.9}-\frac{2}{0.9}\Phi\left(\frac{2.09-x}{0.0792}\right) & if\ 1.96\le x\le 2.09\\ \frac{1.9}{0.9}-\frac{2}{0.9}\Phi\left(\frac{x-2.09}{0.0792}\right) & if\ 2.09\le x\le 2.22\end{cases}$	2.09
t_{345678}		$M(x)=\begin{cases}\frac{1.9}{0.9}-\frac{2}{0.9}\Phi\left(\frac{2.09-x}{0.0793}\right) & if\ 1.96\le x\le 2.09\\ \frac{1.9}{0.9}-\frac{2}{0.9}\Phi\left(\frac{x-2.09}{0.0793}\right) & if\ 2.09\le x\le 2.22\end{cases}$	2.09

$t_{3456789}$		$M(x)=\begin{cases}\frac{1.9}{0.9}-\frac{2}{0.9}\Phi\left(\frac{1.88-x}{0.0712}\right) & if\ 1.76\le x\le 1.88\\ \frac{1.9}{0.9}-\frac{2}{0.9}\Phi\left(\frac{x-1.88}{0.0712}\right) & if\ 1.88\le x\le 2.00\end{cases}$	1.88
$t_{123456789}$		$M(x)=\begin{cases}\frac{1.9}{0.9}-\frac{2}{0.9}\Phi\left(\frac{1.92-x}{0.0748}\right) & if\ 1.80\le x\le 1.92\\ \frac{1.9}{0.9}-\frac{2}{0.9}\Phi\left(\frac{x-1.92}{0.0748}\right) & if\ 1.92\le x\le 2.05\end{cases}$	1.92

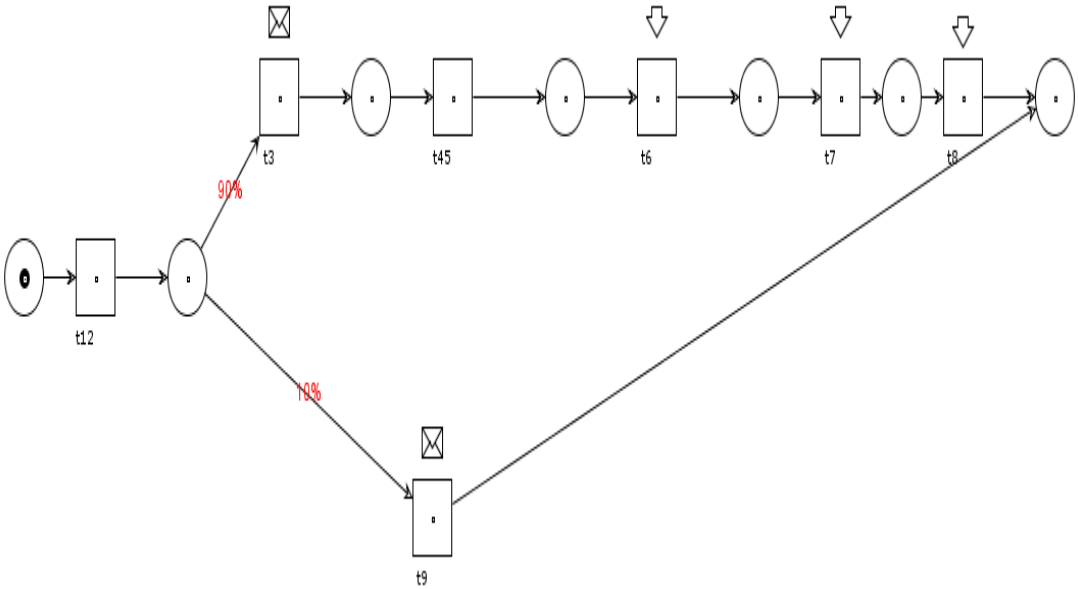
Πίνακας 6: Μεθοδολογία απλοποίησης και υπολογισμός του χρόνου απόκρισης διαδικασίας

Στην πρώτη στήλη του Πίνακα 6 περιέχονται οι συνθετικές εργασίες που παράγονται από την απλοποίηση, στη δεύτερη και τρίτη στήλη βρίσκεται το γραφικό και αριθμητικό αποτέλεσμα αντίστοιχα των υπολογισμών για κάθε στάδιο και στην τέταρτη στήλη, το αποτέλεσμα των υπολογισμών συγκρίνεται για επαλήθευση με το αντίστοιχο της κλασσικής προσέγγισης των στοχαστικών δικτύων ροής εργασιών. Να σημειωθεί ότι το αποτέλεσμα της κλασσικής προσέγγισης προκύπτει από τις σχέσεις 3.1 και 3.2 αναλόγως με τη δομή δρομολόγησης των καθηκόντων που συνυπολογίζονται κάθε φορά. Ο χρόνος απόκρισης της δομής του τελευταίου σταδίου της μεθόδου απλοποίησης, είναι ο χρόνος εκτέλεσης της συνθετικής εργασίας $t_{123456789}$ (τελευταία σειρά του Πίνακα 6) και ισοδυναμεί με το ζητούμενο αναμενόμενο χρόνο απόκρισης της διαδικασίας.

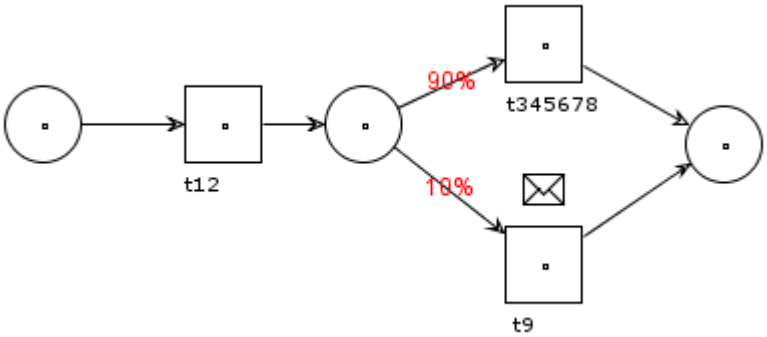
Τα διαδοχικά στάδια απλοποίησης της διαδικασίας μοντελοποιημένης με δίκτυα petri ροής εργασιών φαίνονται παρακάτω (σχήμα 5-2α – 5-2ε). Στη πρώτη απλοποίηση (σχήμα 5-2α), οι εργασίες t_1 και t_2, οι οποίες βρίσκονται σε σειρά συντίθενται δημιουργώντας τη συνθετική εργασία t_{12}. Στη δεύτερη απλοποίηση (σχήμα 5-2β), οι εργασίες t_4 και t_5 οι οποίες συνδέονται με επιλεκτική δρομολόγηση, συντίθενται στην συνθετική εργασία t_{45}. Στη τρίτη απλοποίηση (σχήμα 5-2γ), οι εργασίες t_3, t_6, t_7, t_8, και η συνθετική εργασία t_{45} της προηγούμενης απλοποίησης ενώνονται σε σειρά για να δημιουργήσουν την συνθετική εργασία t_{345678}. Στη συνέχεια (σχήμα 5-2δ), η συνθετική εργασία t_{345678} και η εργασία t_9 συγχωνεύονται σύμφωνα με τη δομή επιλογής που ανήκουν για να προκύψει η συνθετική εργασία $t_{3456789}$. Τέλος, στο σχήμα 5-2ε φαίνεται το αποτέλεσμα της συγχώνευσης των t_{12} και $t_{3456789}$ που απλοποιεί το αρχικό μας μοντέλο δημιουργώντας την τελική συνθετική εργασία $t_{123456789}$, η οποία ισοδυναμεί με το ζητούμενο αναμενόμενο χρόνο απόκρισης της διαδικασίας.



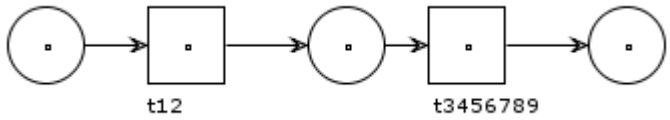
Σχήμα 5-2α: Πρώτη απλοποίηση αρχικού μοντέλου.



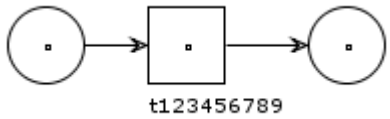
Σχήμα 5-2β: Δεύτερη απλοποίηση αρχικού μοντέλου.



Σχήμα 5-2γ: Τρίτη απλοποίηση αρχικού μοντέλου.



Σχήμα 5-2δ: Τέταρτη απλοποίηση αρχικού μοντέλου.



Σχήμα 5-2ε: Τελική απλοποίηση αρχικού μοντέλου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 Συζήτηση αποτελεσμάτων

Η Computec είχε θέσει ως στόχο την ολοκλήρωση της εξυπηρέτησης μέσα σε διάστημα 2 ημερών και ο χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση της διαδικασίας εκτιμήθηκε 1.92 μέρες. Άρα η εταιρεία βρίσκεται μέσα στους στόχους της. Μέσω της μοντελοποίησης της εμπορικής διαδικασίας που έγινε για την Computec Systems, η εταιρεία πλέον έχει τη δυνατότητα για καλύτερο έλεγχο της εν λόγω διαδικασίας, καθώς και για βελτιωμένη διαχείριση και εποπτεία του πως φτάνουν τα προϊόντα στον πελάτη από τη στιγμή της συνομιλίας μαζί του. Τα δίκτυα Petri που χρησιμοποιήθηκαν, έχουν αυστηρό μαθηματικό ορισμό, γεγονός που αποκλείει ασάφειες και διφορούμενες απόψεις ως προς την ερμηνεία της μοντελοποιημένης εμπορικής διαδικασίας.

Η ευκολία στο χειρισμό, η ικανότητα αναπαράστασης ασύγχρονων διαδικασιών και η υποστήριξη μοντελοποίησης της ροής εργασίας είναι κάποια από τα πλεονεκτήματα των δικτύων Petri που θα μπορούσαν να τα καταστήσουν χρήσιμα και για τη μοντελοποίηση των διαδικασιών παροχής υπηρεσιών της Computec Systems. Η απεικόνιση των υφιστάμενων διαδικασιών παροχής υπηρεσιών της Computec Systems με δομημένο τρόπο θα επιτρέψει τον γρήγορο ανασχεδιασμό τους και την προσαρμογή στις νέες απαιτήσεις της αγοράς πληροφορικής. Έτσι επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ευελιξία για την εταιρεία. Επίσης, η μοντελοποίηση που έγινε για την εμπορική διαδικασία της Computec Systems, προωθεί τη συνέπεια στις διαδικασίες, η οποία οδηγεί σε βελτιωμένη επικοινωνία μεταξύ επιχείρησης και πελατών. Όσον αφορά την ανάλυση απόδοσης μέσω ασαφών εκτιμητών που πραγματοποιήθηκε για την εταιρεία, συμπεραίνουμε ότι με τη χρήση τυποποιημένων μεθόδων και εργαλείων παρέχεται μία αξιόπιστη πρόβλεψη του αναμενόμενου χρόνου απόκρισης της εμπορικής διαδικασίας, από πραγματικά στατιστικά δεδομένα. Η αξιοπιστία της πρόβλεψης αυτής έγκειται στο γεγονός ότι σε κάθε διαδοχική απλοποίηση του αρχικού μοντέλου, η ασαφής προσέγγιση επαληθεύεται με το ακριβές αποτέλεσμα της κλασσικής. Χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία ασαφούς εκτίμησης που εφαρμόστηκε στο Κεφάλαιο 5, η Computec Systems μπορεί να ελέγχει συνεχώς πόσο διαρκεί η κάθε επιμέρους ή συνθετική εργασία της εμπορικής διαδικασίας, αλλά και το πώς συνδέονται οι εργασίες μεταξύ τους. Μπορεί για παράδειγμα να επιχειρήσει να αλλάξει τις δομές δρομολόγησης μεταξύ κάποιων εργασιών στο αντίστοιχο δίκτυο Petri της εμπορικής διαδικασίας, ή να εξαλείψει κάποιες εργασίες, ώστε να εξετάσει το χρόνο απόκρισης που προκύπτει με τη νέα διάταξη. Με αυτό τον τρόπο η εταιρεία μπορεί να στοχεύει σε όλο και μικρότερους χρόνους εξυπηρέτησης, αυξάνοντας έτσι την αποδοτικότητα της χωρίς να αναγκάζεται να πραγματοποιήσει αλλαγές στη πραγματική διαδικασία πώλησης προϊόντων, παρά μόνο στο αρχικό μοντέλο της διαδικασίας. Συνεπώς, μειώνεται το ρίσκο σημαντικών αποφάσεων που αφορούν τη δομή της εμπορικής διαδικασίας, πραγματοποιώντας αλλαγές μόνο στο κομμάτι της μοντελοποίησης και αξιολογώντας τα αποτελέσματα που προκύπτουν. Αν τα αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά, τότε μπορούν να ληφθούν αποφάσεις αλλαγών στη διαδικασία, γρηγορότερα, αποδοτικότερα και χωρίς ιδιαίτερο ρίσκο. Οι αλλαγές αυτές θα οδηγήσουν σε όλο και μικρότερους χρόνους εξυπηρέτησης, άρα και μεγαλύτερη ικανοποίηση από τους πελάτες.

Συνεπώς, η ανάγκη για αντιμετώπιση της αβεβαιότητας που διέπει το σημερινό παγκοσμιοποιημένο επιχειρηματικό περιβάλλον της Computec Systems καλύπτεται εύστοχα στη παρούσα εργασία από τη θεώρηση ασαφών εκτιμητών για την επεξεργασία στατιστικών δεδομένων για τους χρόνους εκτέλεσης των καθηκόντων της εμπορικής διαδικασίας. Από τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι η ανάλυση απόδοσης της εμπορικής διαδικασίας της Computec Systems που πραγματοποιήθηκε στη παρούσα εργασία, μπορεί να αποτελέσει την απαρχή για τη διαρκή βελτίωση όλων των διαδικασιών της εταιρείας και τον διαρκή εκσυγχρονισμό της.

6.2 Προτάσεις

Σε περίπτωση που η Computec Systems επιθυμεί να μειώσει περαιτέρω το χρόνο απόκρισης της εμπορικής της δραστηριότητας, θα μπορούσε να επικεντρωθεί στην ελαχιστοποίηση της διάρκειας των καθηκόντων που εμπεριέχουν δράση του ανθρώπινου δυναμικού. Τέτοια καθήκοντα στη συγκεκριμένη διαδικασία είναι τα εξής:

- t_1: συνομιλία με τον πελάτη
- t_2: προετοιμασία προσφοράς
- t_4: αναζήτηση προϊόντος στην αποθήκη
- t_5: αναζήτηση προϊόντος από προμηθευτές
- t_6: παράδοση προϊόντος
- t_7: εγκατάσταση
- t_8: πληρωμή

Για παράδειγμα, η συνομιλία με τον πελάτη θα μπορούσε να γίνεται από κάποιο πιο έμπειρο και ικανό στέλεχος, το οποίο είναι σε θέση να κατανοήσει τις ανάγκες του πελάτη άμεσα και να ενημερώσει τον πελάτη για αλλαγές στα προϊόντα ή για τις τιμές τους ώστε να καταλήξει μ' αυτόν σε κάποιο προϊόν σε περίπτωση που ο πελάτης δεν το έχει ήδη επιλέξει. Επίσης, η εταιρεία θα μπορούσε να κάνει αλλαγές στις συμφωνίες με τους προμηθευτές ώστε να προμηθεύεται τα προϊόντα που χρειάζεται σε λιγότερο από 2 μέρες, κάτι που θα βοηθούσε στη γρηγορότερη εξυπηρέτηση του πελάτη. Μία εναλλακτική θα ήταν να προμηθεύεται εκ των προτέρων μεγαλύτερες ποσότητες προϊόντων και να τα αποθηκεύει σε κατάλληλες αποθήκες που προστατεύουν τα προϊόντα. Η παραπάνω πρόταση βέβαια προϋποθέτει ότι η εταιρεία θα κατέχει μία στοιχειώδη πρόβλεψη για τη ζήτηση των επόμενων ημερών, με βάση την οποία θα οργανώνει τις παραγγελίες από τους προμηθευτές. Έτσι σε κάθε παραγγελία του εκάστοτε πελάτη δε θα χρειάζεται η παραγγελία σε προμηθευτές, αλλά η άμεση επικοινωνία με τις αποθήκες.
Τέλος, η πληρωμή θα μπορούσε να γίνεται ηλεκτρονικά ή μέσω τράπεζας ώστε να μη χάνεται χρόνος στη τιμολόγηση κατά την παράδοση του προϊόντος.

Πραγματοποιώντας αλλαγές, όπως αυτές που προτάθηκαν παραπάνω και συλλέγοντας νέα στατιστικά δεδομένα για τους χρόνους εκτέλεσης των καθηκόντων, ο ασαφής χρόνος απόκρισης της διαδικασίας μπορεί να μετράται και να βελτιώνεται συνεχώς.

6.3 Επίλογος.

Το αυξανόμενο ενδιαφέρον για τα δίκτυα ροής εργασίας και τις παραλλαγές τους έχει οδηγήσει σε εκτεταμένη χρήση μεθοδολογιών ανάλυσης απόδοσης. Η ανάγκη για ασαφή ανάλυση απόδοσης ολοένα και αυξάνεται για τους ακόλουθους λόγους:

- έλλειψη ασαφών εργαλείων ανάλυσης απόδοσης στη διαχείριση ροής εργασιών
- οι προηγούμενες προσεγγίσεις ανάλυσης απόδοσης σε αβεβαιότητα λάμβαναν υπ' όψη μόνο τους αναμενόμενους μέσους χρόνους εκτέλεσης των καθηκόντων για τον υπολογισμό του συνολικού χρόνου απόκρισης της ροής εργασίας.

Στη παρούσα εργασία εφαρμόστηκε μία επέκταση των στοχαστικών δικτύων ροής εργασιών Petri με ασαφείς εκτιμητές ώστε να υπολογιστεί ο ασαφής χρόνος απόκρισης της εμπορικής διαδικασίας της εταιρείας πληροφορικής Computec Systems. Χρησιμοποιήθηκαν ασαφείς εκτιμητές για τις διάρκειες των καθηκόντων της ροής εργασίας για τους ακόλουθους τρεις λόγους:

- για να ληφθεί υπ' όψη η αβεβαιότητα που χαρακτηρίζει τις πραγματικές καταστάσεις
- για την παροχή καλύτερης εκτίμησης της διάρκειας των καθηκόντων της ροής εργασίας, η οποία βασίζεται σε πραγματικά στατιστικά δεδομένα
- για να υπολογιστεί ο ασαφής χρόνος απόκρισης της διαδικασίας

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς παρέχει μία καλύτερη εκτίμηση των χρόνων εκτέλεσης των καθηκόντων η οποία δεν εξαρτάται μόνο από τη μέση διάρκεια των καθηκόντων αλλά και από τη διακύμανση των στατιστικών δεδομένων. Επίσης, διατηρεί την αποτελεσματικότητα και τον περιορισμένο υπολογιστικό φόρτο της κλασσικής προσέγγισης. Τέλος, οι σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση της απόδοσης παρέχουν ένα εύρωστο πλαίσιο υπολογισμού του ασαφούς χρόνου απόκρισης της διαδικασίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] A. H. Levis, “An Introduction to Petri Nets”, George Manson University, January 15, 2003.

[2] B. K. Papadopoulos, D. S. Sfiris, “Fuzzy Performance Evaluation of Workflow Stochastic Petri Nets by Means of Block Reduction”, 2009.

[3] W. Pedrycz and H. Camargo, “Fuzzy timed Petri nets, 2003.

[4] Δ.Σ. Σφυρής, “Διαχείριση Ροής Εργασιών και Στρατηγικός Ανασχεδιασμός σε ένα Αβέβαιο Περιβάλλον”, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Φεβρουάριος 2008.

[5] W.M.P van der Alst, “The Application of Petri Nets to Workflow Management”, Eindhoven University of Technology, 1998.

[6] M. Hammer and J. Champy, “*Reengineering the corporation: a manifesto for business revolution*”, 1st edn. HarperBusiness, New York, NY, 1993.

[7] C. Ramchandani, *Analysis of asynchronous concurrent systems by timed Petri nets,* Massachusetts Inst. Tech. Project MAC. Tech. Rep. 120, 1974.

[8] Χαράλαμπος Ι. Γκίκας, “Μηχανισμοί Πιστοποίησης και Εξουσιοδότησης για Ροές Επιστημονικών Εργασιών”, Πανεπιστήμιο Κρήτης, Μάρτιος 2004.

[9] Rob Allen, “Workflow: An Introduction” Open Image Systems Inc., United Kingdom, Chair of the WfMC External Relations Committee.

[10] A. H. Levis, “An Introduction to Petri Nets”, George Manson University, Jan 15, 2003.

[11] http://en.wikipedia.org/wiki/Petri_nets

[12] Κυρίτσης, Χαρίλαος, “Ασαφή δίκτυα Petri”, Πανεπιστήμιο Πατρών, 23-12-2008.