

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	2
1.ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ.....	5
1-1. ΠΡΑΚΤΟΡΕΣ & ΕΥΦΥΕΙΣ ΠΡΑΚΤΟΡΕΣ	5
1-2. ΔΟΜΗ ΕΥΦΥΩΝ ΠΡΑΚΤΟΡΩΝ.....	9
1-3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΠΡΑΚΤΟΡΩΝ (MAS - MULTIAGENT SYSTEMS)	11
2.ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΑΝΑΘΕΣΗΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΕ ΠΡΑΚΤΟΡΕΣ.....	15
2-1. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΑΝΑΘΕΣΗΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΕ ΠΡΑΚΤΟΡΕΣ	15
2-2. ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΝΑΘΕΣΗΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ	17
2-3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΘΕΣΗΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΕ ΠΡΑΚΤΟΡΕΣ	20
3.ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ: ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	34
3-1. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ (VRP).....	34
3-2. ΤΑ ΕΙΔΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	38
3-3. ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.....	40
3-4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΚΡΙΒΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	42
3-5. ΕΥΡΕΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ...	43
3-6. ΜΕΤΑ-ΕΥΡΕΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	45
3-7. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΗ ΧΡΗΣΗ ΕΥΦΥΩΝ ΠΡΑΚΤΟΡΩΝ.....	57
4.ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΘΕΣΗΣ ΚΑΘΗΚΟΝΤΩΝ ΣΕ ΕΥΦΥΕΙΣ ΠΡΑΚΤΟΡΕΣ	68
4-1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ-ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.....	68
4-2. ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ	70
4-3. ΤΟ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ	76
4-4. ΣΥΝΟΨΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ	83
4-5. ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ.....	87
4-6. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΕ 6 ΒΗΜΑΤΑ	87
4-7. Η ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ : ΕΝΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	92
4-8. ΜΙΑ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ	102
4-9. ΜΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΛΛΑΓΗΣ	103
4-10. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ 2 ΠΑΡΑΛΛΑΓΩΝ.....	105
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ.....	106
5-1. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ	106
5-2. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ	110
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	112

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο άνθρωπος ανέκαθεν χρησιμοποιούσε εργαλεία προκειμένου να επιλύσει τα προβλήματα επιβίωσης που αντιμετωπίζει αλλά και για να βελτιώσει την ποιότητα ζωής του. Δεν είναι τυχαίο άλλωστε πως ο ανθρώπινος πολιτισμός ξεκίνησε όταν ο άνθρωπος άρχισε να χρησιμοποιεί εργαλεία. Σε όλη την διάρκεια της ιστορίας του ο άνθρωπος ανέπτυξε αμέτρητα είδη εργαλείων από τα πιο απλά λίθινα εργαλεία μέχρι τους υπερσύγχρονους υπολογιστές και τα προγραμματιστικά πακέτα του σήμερα, καλύπτοντας όλο το φάσμα των δραστηριοτήτων του που τον βοήθησαν να εξοικονομήσει χρόνο, ενέργεια, χρήμα και βελτίωση της αποδοτικότητας στις παραγωγικές διαδικασίες. Όπως είναι φυσικό η εξέλιξη των εργαλείων αυξάνει τις απαιτήσεις του ανθρώπου από το περιβάλλον του καθώς τον καθιστά ικανό να προσεγγίσει την επίλυση νέων πιο πολύπλοκων προβλημάτων που απαιτούν ακόμα πιο προηγμένα εργαλεία για την επίλυση τους. Όπως χαρακτηριστικά αναφέρουν οι επιστήμονες της εξέλιξης, η ανθρώπινη νοημοσύνη εξελίσσεται ταυτόχρονα με τα εργαλεία που χρησιμοποιεί ο άνθρωπος. Έτσι η χρήση εργαλείων εκτός από αποτέλεσμα είναι και αιτία εξέλιξης της ανθρώπινης νοημοσύνης.

Σήμερα στην εποχή της παγκοσμιοποίησης ο άνθρωπος έχει να αντιμετωπίσει πολλά προβλήματα που καθιστούν απαραίτητη τη χρήση πολύ εξελιγμένων εργαλείων. Ο ανταγωνισμός στον επιχειρηματικό τομέα, οι γρήγοροι ρυθμοί ζωής, ο κατατρεγισμός των πληροφοριών, η ανάπτυξη της επιστήμης που οδήγησε στην συνειδητοποίηση της πολυπλοκότητας όλων των εκφάνσεων του ανθρώπινου περιβάλλοντος, αλλά και ο πολλαπλασιασμός των παραμέτρων που κάνουν πιο απροσδόκητη την τελική έκβαση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων σε όλους τους τομείς απαιτούν ολοένα και περισσότερο χρόνο και προσπάθεια εκ μέρους του ανθρώπου ώστε να καταφέρει να αντεπεξέρθεται με επιτυχία στις νέες αυτές προκλήσεις.

Για να αντιμετωπίσει τα καινούργια αυτά προβλήματα, ο άνθρωπος στράφηκε στην επιστήμη των ηλεκτρονικών υπολογιστών και της πληροφορικής. Έτσι ανέπτυξε εργαλεία που κατορθώνουν να πραγματοποιούν εξαιρετικά πολύπλοκους υπολογισμούς σε κλάσματα δευτερολέπτου και να επεξεργάζονται αναρίθμητα δεδομένα και πληροφορίες σε εξίσου σύντομο χρόνο.

Προχωρώντας όμως ένα βήμα πιο πέρα τα τελευταία χρόνια ο άνθρωπος ανέπτυξε μια εντελώς νέα μορφή εργαλείων. Με τις προσπάθειες ανάπτυξης της λεγόμενης τεχνητής νοημοσύνης (AI: Artificial Intelligence) δηλαδή της προσπάθειας να δημιουργηθούν μηχανές που επιλύουν προβλήματα που χρειάζονται ανθρώπινη νοημοσύνη για να επιλυθούν, ο άνθρωπος δημιούργησε εργαλεία που μπορούν να δράσουν αυτόματα χωρίς να υπάρχει ανάγκη δικής του επέμβασης. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό αν το συνδυάσει κανείς με τις καλύτερες αποδόσεις αυτών των εργαλείων και τις μεγαλύτερες ταχύτητες που προσφέρουν. Ένα από τα εργαλεία αυτά είναι οι ευφυείς πράκτορες: αυτοματοποιημένα προγράμματα που μπορούν να εκτελέσουν διάφορες λειτουργίες όπως την επίβλεψη συναλλαγών, την παροχή πληροφοριών κ.α. Τα προγράμματα αυτά μπορούν να συνεργάζονται μεταξύ τους βελτιώνοντας την απόδοσή τους αλλά και να λειτουργήσουν ανταγωνιστικά μέσα σε ένα σύστημα εξυπηρετώντας το καθένα τα συμφέροντα για τα οποία έχει προγραμματιστεί. Σήμερα οι ευφυείς πράκτορες χρησιμοποιούνται σε πληθώρα εφαρμογών όπως στο ηλεκτρονικό εμπόριο, στην επίλυση προβλημάτων απόφασης κ.α.

Όμως όπως αναφέρθηκε κάθε νέο εργαλείο καθιστά τον άνθρωπο ικανό να προσεγγίσει νέα προβλήματα τα οποία μάλιστα πολλές φορές συμβαδίζουν αναγκαστικά με τη χρήση του συγκεκριμένου εργαλείου. Έτσι και στα συστήματα των ευφύων πρακτόρων εμφανίζεται το πρόβλημα της ανάθεσης των εργασιών στους επιμέρους πράκτορες του συστήματος, το οποίο αποτελεί και το θέμα αυτής της εργασίας. Το πρόβλημα της ανάθεσης εργασιών (task allocation) με απλά λόγια είναι το πώς θα λαμβάνεται η απόφαση για το ποιες εργασίες θα εκτελέσει ο κάθε πράκτορας και γιατί θα τις εκτελέσει ο συγκεκριμένος πράκτορας και όχι ένας άλλος πράκτορας που ανήκει στο ίδιο σύστημα.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να παρουσιάσει μια μέθοδο ανάθεσης καθηκόντων σε πράκτορες οι οποίοι θα αναλαμβάνουν συγκεκριμένα καθήκοντα μέσα στο σύστημα.. Σύμφωνα με το σκεπτικό της μεθόδου για να θεωρηθεί ότι το σύστημα δουλεύει σωστά θα πρέπει να ικανοποιούνται κάποια κριτήρια τα οποία θέτονται από τον χρήστη. Τα κριτήρια αυτά εξαρτώνται από κάποια υπό-κριτήρια τα οποία επηρεάζονται από συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των πρακτόρων του συστήματος αλλά και από συγκεκριμένες απαιτήσεις των εργασιών του συστήματος. Η βαθμολόγηση ενός

συνδυασμού ανάθεσης πράκτορα-εργασίας γίνεται με τη βοήθεια μιας αντικειμενικής συνάρτησης η οποία εμπεριέχει τόσο την ανάγκη βέλτιστης ικανοποίησης των κριτηρίων του χρήστη αλλά και την ανάγκη για έγκαιρη εκτέλεση των εργασιών δηλαδή την εκτέλεση τους πριν τη λήξη της χρονικής προθεσμίας η οποία υπάρχει για την κάθε μία.

Η μορφή της συνάρτησης η πολυκριτήρια μέθοδος που χρησιμοποιείται και όλες οι υπόλοιπες σχετικές λεπτομέρειες αναλύονται διεξοδικά στο σχετικό κεφάλαιο της εργασίας που αφορά την παρουσίαση της μεθόδου. Επίσης για την καλύτερη παρουσίαση της μεθόδου παρουσιάζεται και μια εφαρμογή της σε ένα πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων (VRP-Vehicle Routing Problem) Το πρόβλημα αυτό αφορά την εύρεση του οικονομικότερου τρόπου ικανοποίησης παραγγελιών των πελατών μιας εταιρίας μέσα σε ένα δίκτυο διανομής, δεδομένου ότι η εταιρία έχει περιορισμένους πόρους (οχήματα διανομής, χρονικές προθεσμίες κ.α) και όπως θα φανεί και παρακάτω **μπορεί εύκολα να μετατραπεί σε ένα πρόβλημα ανάθεσης καθηκόντων σε πράκτορες.**

Η εργασία είναι χωρισμένη σε πέντε μέρη. Στο πρώτο μέρος δίνονται ορισμοί για τις βασικές έννοιες που θα χρησιμοποιούνται σε ολόκληρη την εργασία. Στο δεύτερο μέρος παρουσιάζεται αναλυτικά το πρόβλημα της ανάθεσης καθηκόντων σε ευφυείς πράκτορες και προηγούμενες μέθοδοι επίλυσης του ενώ στο τρίτο μέρος γίνεται αναφορά στο πρόβλημα της δρομολόγησης οχημάτων το οποίο θα αποτελέσει το παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου επιλογής των πρακτόρων με σκοπό τη λύση του. Στο τέταρτο μέρος παρουσιάζεται η μέθοδος επιλογής πρακτόρων που αναπτύσσεται στην εργασία και μια εφαρμογή της σε ένα πρόβλημα καθώς και τα αποτελέσματά της. Στο πέμπτο μέρος παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και οι μελλοντικές βελτιώσεις και κατευθύνσεις της μεθόδου. Στο τέλος της εργασίας περιλαμβάνεται και η σχετική βιβλιογραφία.

1.ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

1-1. ΠΡΑΚΤΟΡΕΣ & ΕΥΦΥΕΙΣ ΠΡΑΚΤΟΡΕΣ

Αν και η χρήση πρακτόρων σήμερα είναι αρκετά διαδεδομένη σε εφαρμογές όπως τα προγράμματα λογισμικού και το ηλεκτρονικό εμπόριο παραμένει ακόμα δύσκολο να οριστεί το τι ακριβώς είναι ένας πράκτορας (agent) . Η δυσκολία αυτή οφείλεται κατά κύριο λόγο στο ότι η έννοια «πράκτορας» χρησιμοποιείται γενικά για να ορίσει πολλά διαφορετικά αποτελέσματα επιστημονικής έρευνας και ανάπτυξης. Επίσης επειδή οι πράκτορες έχουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά με άλλα προγράμματα καθίσταται ακόμα πιο δύσκολο να βρεθεί μια διαχωριστική γραμμή ώστε να μπορεί να διακρίνει κανείς έναν πράκτορα από ένα απλό πρόγραμμα. Ως πράκτορες μπορεί να θεωρηθούν οντότητες που αντιλαμβάνονται το περιβάλλον τους μέσω αισθητήρων, αποθηκεύουν τις πληροφορίες για το περιβάλλον τους σε μια συσκευή μνήμης, διαμορφώνουν μια λογική για τις πληροφορίες που αποθήκευσαν, αποκτούν πεποιθήσεις, σκοπούς και προθέσεις και προσπαθούν να επιτύχουν τους σκοπούς τους ενεργώντας πάνω στο περιβάλλον τους. (Jacinto and Davila, 1997) Ένας πιο ακριβής ορισμός για τους πράκτορες είναι ότι είναι στοιχεία software ή hardware που είναι ικανά να λειτουργούν ειδικά για την εκτέλεση καθηκόντων που τους ανατέθηκαν από τον χρήστη τους. . (Guttman et Al ,1998)

Σημαντικό ρόλο στην λειτουργία ενός πράκτορα και ειδικότερα στην ικανότητα του να παίρνει τις κατάλληλες αποφάσεις κατέχει το είδος του περιβάλλοντος για το οποίο έχει κατασκευαστεί ο πράκτορας, Σύμφωνα με τους (Russel και Norvig,1995) τα κύρια είδη περιβάλλοντος είναι τα εξής:

• Προσβάσιμο ή Μη Προσβάσιμο

Ένα περιβάλλον είναι προσβάσιμο όταν οι πράκτορες που δραστηριοποιούνται σε αυτό μπορούν να έχουν απόλυτη και ακριβή πρόσβαση σε ενημερωμένες πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση του περιβάλλοντος. Τα περισσότερα διαλλακτικά, πολύπλοκα περιβάλλοντα είναι μη προσβάσιμα (π.χ. καθημερινό φυσικό περιβάλλον, Internet). Όσο πιο προσβάσιμο είναι ένα περιβάλλον, τόσο πιο εύκολο είναι να αναπτυχθούν πράκτορες που θα λειτουργήσουν σ' αυτό.

• Ντετερμινιστικό ή Μη Ντετερμινιστικό

Όπως έχει ήδη αναφερθεί ντετερμινιστικό είναι ένα περιβάλλον όπου κάθε κίνηση δράσης έχει μια μοναδική επίδραση σ' αυτό, δηλαδή δεν υπάρχει καμία ασάφεια για την κατάσταση του περιβάλλοντος μετά την εφαρμογή της κάθε κίνησης δράσης. Ο φυσικός κόσμος είναι ένα καθαρό παράδειγμα μη ντετερμινιστικού περιβάλλοντος. Όπως είναι αναμενόμενο τα μη ντετερμινιστικά περιβάλλοντα παρουσιάζουν περισσότερες δυσκολίες για τους σχεδιαστές πρακτόρων.

• Επεισοδιακό ή Μη Επεισοδιακό

Σε ένα επεισοδιακό περιβάλλον η επίδοση του πράκτορα εξαρτάται από μια σειρά διακριτών επεισοδίων, με καμία σύνδεση μεταξύ της επίδοσης ενός πράκτορα σε διαφορετικά σενάρια. Ένα παράδειγμα επεισοδιακού περιβάλλοντος θα μπορούσε να είναι ένα σύστημα ταξινόμησης ηλεκτρονικής αλληλογραφίας. Τα επεισοδιακά περιβάλλοντα είναι ευκολότερα για την ανάπτυξη πρακτόρων, που θα δρουν σε αυτά, γιατί ο κάθε πράκτορας θα έχει να επιλέξει πια δράση να εκπληρώσει με βάση το τρέχων επεισόδιο (δεν απαιτείται κρίση για τις επικοινωνίες μεταξύ του τρέχοντος και των μελλοντικών επεισοδίων).

• Στατικό ή Δυναμικό.

Στατικό περιβάλλον είναι αυτό που παραμένει σταθερό (χωρίς αλλαγές της κατάστασής του) όσο κανένας πράκτορας δεν δραστηριοποιείται. Ένα δυναμικό περιβάλλον έχει κι άλλες διαδικασίες να λειτουργούν σ' αυτό με αποτέλεσμα να αλλάζει ανεξάρτητα και πέρα απ' τον έλεγχο των πρακτόρων που δραστηριοποιούνται σ' αυτό. Ο φυσικός κόσμος είναι χαρακτηριστικά δυναμικό περιβάλλον.

• Διακριτό ή Συνεχές

Ένα περιβάλλον είναι διακριτό όταν υπάρχει πεπερασμένος, προκαθορισμένος αριθμός κινήσεων δράσης και αντιλήψεων για τους πράκτορες. Μια παρτίδα σκάκι είναι ένα παράδειγμα διακριτού περιβάλλοντος, ενώ η οδήγηση ενός ταξί είναι παράδειγμα συνεχούς.

Στην εργασία που παρουσιάζεται εδώ για την μοντελοποίηση του προβλήματος θα χρησιμοποιηθούν οι λεγόμενοι ευφυείς πράκτορες (intelligent agents). Οι πράκτορες αυτοί είναι αυτοματοποιημένες εφαρμογές λογισμικού οι οποίες μπορούν να εκτελέσουν κάποιες λειτουργίες σε διάφορους τομείς τις οποίες τους αναθέτει ο χρήστης τους. Ένα τυπικό παράδειγμα χρήσης ευφύων πρακτόρων είναι η πραγματοποίηση αυτοματοποιημένων ηλεκτρονικών συναλλαγών μεταξύ εταιριών μέσω του διαδικτύου. Οι ευφυείς πράκτορες συχνά ταυτίζονται με τα προγράμματα λογισμικού. Οι διαφορές ενός ευφυούς πράκτορα από τα κοινά προγράμματα λογισμικού είναι ότι ένας ευφυής πράκτορας έχει πιο προσωπικό χαρακτήρα, είναι ημιαυτόνομος, λειτουργεί συνεχώς ενώ μπορεί και να προσαρμόζεται σε αλλαγές του περιβάλλοντος του.

Όπως φαίνεται λοιπόν και από τα παραπάνω οι ευφυείς πράκτορες συνδέονται άμεσα με την έννοια της τεχνητής νοημοσύνης (AI artificial intelligence). Συγκεκριμένα οι 3 βασικές προϋποθέσεις που πρέπει να πληρεί ένας πράκτορας για να θεωρείται ευφυής είναι η αυτονομία, η δυνατότητα να μαθαίνει από το περιβάλλον του και η δυνατότητα συνεργασίας με άλλους πράκτορες (<http://www.engin.umd.umich.edu/CIS/course.des/cis479/projects/FISA.html>).

Η έννοια της αυτονομίας αφορά στο κατά πόσο πρέπει να επεμβαίνει στη λειτουργία του πράκτορα ο άνθρωπος. Όσο λιγότερο απαιτείται η ανθρώπινη παρουσία τόσο πιο αυτόνομος θεωρείται ο πράκτορας. Με την υψηλή αυτονομία ο πράκτορας διευκολύνει το χρήστη του καθώς μπορεί να αναλάβει καθημερινά καθήκοντα για λογαριασμό του χρήστη του χωρίς να χρειάζεται να απασχολείται ο ίδιος ο χρήστης με αυτά.

Η δυνατότητα συνεργασίας-επικοινωνίας μεταξύ πρακτόρων αλλά και μεταξύ πρακτόρων και ανθρώπων είναι απαραίτητη, ώστε να γίνεται αποτελεσματική χρήση των πρακτόρων. Για παράδειγμα η διαπραγμάτευση καθημερινών συναλλαγών μιας

επιχείρησης με προμηθευτές της απαιτεί να έχουν πράκτορες με δυνατότητα συνεργασίας-επικοινωνίας τόσο η επιχείρηση όσο και ο προμηθευτής. Διαφορετικά αν οι πράκτορες δεν είχαν αυτή τη δυνατότητα δεν θα μπορούσαν να κάνουν μεταξύ τους τις απαραίτητες διαπραγματεύσεις αφού δεν θα μπορούσε να καταλάβει ο ένας τις προτάσεις του άλλου. Το ίδιο ισχύει και για τη δυνατότητα συνεργασίας του πράκτορα με τον άνθρωπο. Επιπλέον με τη συνεργασία οι πράκτορες μπορούν να εκτελούν τμήματα μιας μεγάλης εργασίας και έτσι να την διεκπεραιώνουν πιο εύκολα και με μικρότερο υπολογιστικό κόστος από ότι θα απαιτούνταν για να πραγματοποιηθεί η εργασία αυτή απευθείας.

Η σημαντικότερη ίσως δυνατότητα ενός πράκτορα είναι **η δυνατότητα να μαθαίνει**. Γενικότερα για να θεωρηθεί κάτι ευφυές πρέπει να διαθέτει τη δυνατότητα μάθησης. Όσον αφορά τους πράκτορες η μάθηση έχει να κάνει με την απομνημόνευση της συμπεριφοράς άλλων οντοτήτων με τις οποίες συνεργάζεται ο πράκτορας και την απόδοση συγκεκριμένων εντολών που δείχνουν ότι ο εν λόγω πράκτορας λαμβάνει υπόψιν τον τρόπο σκέψης της άλλης οντότητας και στηρίζει σε αυτή την μεταξύ τους αλληλεπίδραση. Σαν παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε έναν πράκτορα που διαπραγματεύεται τιμές πώλησης κάποιων προϊόντων λαμβάνοντας προσφορές από κάποιον άλλον πράκτορα. Ένας ευφυής πράκτορας μπορεί να δίνει διαφορετικές προσφορές ανάλογα με τη γνώση που έχει για το αν ο άλλος πράκτορας με τον οποίο διαπραγματεύεται έχει την τάση να κάνει συγκρατημένες ή όχι προσφορές για την απόκτηση κάποιου προϊόντος. Με την ικανότητα της μάθησης δηλαδή ο πράκτορας μπορεί να δημιουργεί ξεχωριστά προφίλ για κάθε θέμα που τον απασχολεί και να αποθηκεύει σε αυτό πληροφορίες σχετικά με αυτό. Στην ικανότητα μάθησης περιλαμβάνεται επίσης η δυνατότητα κατάλληλης αντίδρασης στα εξωτερικά ερεθίσματα αλλά και η δυνατότητα καθορισμού και αναγνώρισης των στόχων που έχει ο πράκτορας. Αυτό εκτός του ότι κάνει πιο αποτελεσματικό τον πράκτορα βοηθάει και στην αποσυμφόρηση του συστήματος που χρησιμοποιεί ευφυείς πράκτορες από έναν μεγάλο όγκο πληροφοριών που θα έπρεπε να διαχειρίζεται.

1-2. ΔΟΜΗ ΕΥΦΥΩΝ ΠΡΑΚΤΟΡΩΝ

Για να κατανοήσει κανείς καλύτερα τον τρόπο με τον οποίο δουλεύει ένας ευφυής πράκτορας τις κύριες λειτουργίες του αλλά και τις βασικές έννοιες που τον αφορούν είναι απαραίτητο να περιγραφούν τα κύρια χαρακτηριστικά της δομής ενός τυπικού ευφυούς πράκτορα.

Ένας ευφυής πράκτορας αποτελείται από ένα πρόγραμμα τεχνητής νοημοσύνης το οποίο διευθύνει την μετατροπή των αντιλήψεων του πράκτορα σε ενέργειες. Εκτός από το πρόγραμμα ο πράκτορας χρειάζεται και μια υπολογιστική συσκευή για να μπορέσει να εφαρμοστεί το πρόγραμμα. Η συσκευή αυτή συνήθως ονομάζεται αρχιτεκτονική του πράκτορα και συνήθως είναι ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής αλλά μπορεί και να περιλαμβάνει και πιο εξειδικευμένα μηχανήματα όπως κάμερες επεξεργασίας εικόνας κ.α. ανάλογα πάντα με τον σκοπό που έχει ο πράκτορας. Η αρχιτεκτονική του πράκτορα είναι αυτή που μεταβιβάζει και κάνει κατανοητά αυτά που αντιλαμβάνεται ο πράκτορας στο πρόγραμμα. (Russell and Norvig,1995). Η αρχιτεκτονική κάνει επίσης το πρόγραμμα του πράκτορα να λειτουργήσει ενώ άλλη μια κύρια λειτουργία της είναι ότι διαθέτει τις επιλογές δράσης του πράκτορα στα τμήματα που χρησιμοποιεί ο πράκτορας για να επιδράσει στο περιβάλλον του. Είναι απαραίτητο το πρόγραμμα ενός ευφυούς πράκτορα να είναι συμβατό με την αρχιτεκτονική του ώστε να μπορεί να λειτουργήσει ο πράκτορας. Παρομοιάζοντας τον πράκτορα με ένα ανθρώπινο ον θα μπορούσε κανείς να πει ότι το πρόγραμμα τεχνητής νοημοσύνης είναι ο εγκέφαλος του πράκτορα, η υπολογιστική συσκευή το σώμα του ενώ η αρχιτεκτονική του είναι το νευρικό του σύστημα που μεταβιβάζει ερεθίσματα από το σώμα προς τον εγκέφαλο και αντίθετα.

Οι κυριότερες αρχιτεκτονικές που χρησιμοποιούνται σήμερα στην κατασκευή πρακτόρων είναι (<http://www.cs.uu.nl/docs/vakken/iag/IntellAgents.04.188-219.pdf>) :

1.Ορθολογικοί Πράκτορες (Rational Agents): η λήψη αποφάσεων δράσης γίνεται μέσω λογικής επαγωγής. Ο πράκτορας εξετάζει αν ισχύουν ορισμένες προϋποθέσεις για να καταλήξει σε ένα συμπέρασμα-ενέργεια.

2.Αντιδραστικοί πράκτορες (Reactive Agents): οι αποφάσεις λαμβάνονται μέσω απευθείας αντιστοιχίας από κατάσταση σε δράση. Οι κανόνες που ακολουθεί ο Πράκτορας εδώ είναι της μορφής AN..TOTE...

3.BDI Πράκτορες ή Πράκτορες βασισμένοι σε Πιστεύω – Επιθυμίες - Προθέσεις (Belief-Desire-Intention, BDI Agents): η λήψη αποφάσεων γίνεται με την διαχείριση ειδικών δομών που αναπαριστούν τα πιστεύω, τις επιθυμίες και τις προθέσεις του πράκτορα.

4. Διαστρωματομένη Αρχιτεκτονική (Layered Agents): η λήψη αποφάσεων γίνεται μέσω διαφορετικών επιπέδων λογισμικού, το κάθε ένα από τα οποία αποτελεί κρίση του περιβάλλοντος σε διαφορετικό επίπεδο αφαίρεσης.

Όσον αφορά τα βασικά μέρη ενός οποιουδήποτε ευφυούς πράκτορα, οι Dumas et Al (2002), αναφέρουν ότι κάθε πράκτορας αποτελείται από μια μνήμη που περιέχει τις εμπειρίες του πράκτορα από τη λειτουργία του παλαιότερα στην οποία αποθηκεύεται συνεχώς κάθε καινούργια εμπειρία που μπορεί να αποκομίσει ο πράκτορας από το περιβάλλον του. Ένας πράκτορας περιλαμβάνει επίσης ένα τμήμα επικοινωνίας που είναι υπεύθυνο για την επικοινωνία του με άλλους πράκτορες αλλά και την επικοινωνία του με τον χρήστη. Ένας πράκτορας έχει ακόμα ένα τμήμα λογικής το οποίο κωδικοποιεί τη διαδικασία με την οποία παίρνει τις αποφάσεις του να δράσει. Τέλος κάθε πράκτορας διαθέτει κι ένα τμήμα ελέγχου το οποίο συντονίζει τα υπόλοιπα μέρη του.

1-3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΠΡΑΚΤΟΡΩΝ (MAS - MultiAgent Systems)

Όπως φαίνεται από τον σκοπό και τον τρόπο λειτουργίας τους οι ευφυείς πράκτορες είναι κατά κύριο λόγο **κοινωνικά προγράμματα-οντότητες**. Συχνά πολλοί πράκτορες συνεργάζονται ή ανταγωνίζονται μέσα στο ίδιο πλαίσιο σχηματίζοντας ένα σύστημα πολλαπλών πρακτόρων. Ο συνδυασμός αυτός των πρακτόρων χρησιμοποιείται κυρίως για την διαχείριση πολύπλοκων καταστάσεων αν και δεν ενδείκνυται για κάθε είδους σύνθετο πρόβλημα. (Vlassis ,2003)

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά ενός συστήματος πολλαπλών πρακτόρων είναι ο τρόπος με το οποίο είναι σχεδιασμένοι οι πράκτορες του. Ένα σύστημα μπορεί να έχει πράκτορες με παρόμοιο σχεδιασμό τόσο στα λογισμικά όσο και στα μηχανικά τους μέρη, οι οποίοι είναι ικανοί για του ίδιου είδους εργασίες, ενώ σε ένα άλλο μπορεί να υπάρχουν διαφορετικά σχεδιασμένοι πράκτορες που είναι κατάλληλοι για διαφορετικού είδους εργασίες. Στην πρώτη περίπτωση το σύστημα ονομάζεται **ομογενές** ενώ στη δεύτερη **ετερογενές**.

Σημαντικό ρόλο σε ένα σύστημα πολλαπλών πρακτόρων παίζει και το περιβάλλον . Συνήθως το περιβάλλον μπορεί να είναι δυναμικό ή στατικό. Στην πρώτη περίπτωση συμβαίνουν συχνά αλλαγές στα δεδομένα τις οποίες πρέπει να λαμβάνουν υπόψιν τους οι πράκτορες του συστήματος ενώ στη δεύτερη τα δεδομένα δεν υπάρχει πιθανότητα να αλλάξουν. Γενικότερα το περιβάλλον στο οποίο δρα το σύστημα είναι σημαντικό χαρακτηριστικό καθώς πρέπει να είναι συμβατό με το περιβάλλον για το οποίο είναι κατάλληλος κάθε πράκτορας του συστήματος.

Λόγω της φύσης των συστημάτων πολλαπλών πρακτόρων σημαντικό ρόλο παίζουν επίσης ο έλεγχος, η επικοινωνία η αντίληψη και η γνώση του συστήματος. Επειδή δηλαδή ένα σύστημα πολλαπλών πρακτόρων αποτελείται από πολλούς μεμονωμένους πράκτορες υπάρχει καταρχάς ανάγκη να αναπτυχθούν κάποιοι μηχανισμοί συντονισμού ώστε να υπάρχει κάποιος τρόπος ελέγχου του συστήματος. Η ίδια λογική αφορά την αντίληψη του συστήματος αλλά και τις γνώσεις του σχετικά με το περιβάλλον του: Κάθε πράκτορας έχει τη δική του αντίληψη και τις δικές του πληροφορίες για το περιβάλλον του. Αυτά μπορεί να διαφέρουν αλλά και να είναι και ίδια με αυτά των υπολοίπων πρακτόρων του συστήματος. Είναι απαραίτητο λοιπόν σε

ένα σύστημα να αναπτύσσονται μηχανισμοί που συγκεντρώνουν τα παραπάνω μεμονωμένα χαρακτηριστικά ώστε να αναπτύσσεται η γενική αντίληψη και γνώσεις ολόκληρου του συστήματος.

Ιδιαίτερα σημαντικό χαρακτηριστικό σε ένα σύστημα πολλαπλών πρακτόρων αποτελεί και η επικοινωνία μεταξύ των πρακτόρων. Είτε δρουν σε συνεργασία είτε δρουν ανταγωνιστικά οι πράκτορες πρέπει να είναι σε θέση να επικοινωνούν μεταξύ τους ώστε να μπορούν να αποφασίσουν τις ενέργειες τους σύμφωνα με τις πληροφορίες που λαμβάνουν από τους υπόλοιπους πράκτορες τις οποίες θα χρησιμοποιήσουν για την επίτευξη των δικών τους σκοπών. Το θέμα της επικοινωνία συνδέεται άμεσα με την απόφαση του ποια πρωτόκολλα επικοινωνίας θα χρησιμοποιηθούν σε ένα σύστημα

Όπως και κάθε άλλη τεχνολογική εφαρμογή έτσι και τα συστήματα πολλαπλών πρακτόρων έχουν αναπτυχθεί γιατί προσφέρουν πολλά αξιόλογα πλεονεκτήματα στους χρήστες τους. Τα κύρια πλεονεκτήματα της χρήσης συστημάτων πολλαπλών πρακτόρων (<http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/usr/pstone/public/papers/97MAS-survey/node2.html>)

έχουν να κάνουν πρώτα από όλα με το ότι **σε αρκετά προβλήματα ενδείκνυται για την καλύτερη αντιμετώπιση τους η χρήση πρακτόρων**. Για παράδειγμα όταν μια ομάδα εταιριών χρειάζεται ένα αυτοματοποιημένο σύστημα που θα αναλαμβάνει τις καθημερινές τους συναλλαγές είναι απαραίτητο κάθε εταιρία να έχει το δικό της αυτόνομο πράκτορα που θα την αντιπροσωπεύει αφού κάθε εταιρία έχει διαφορετικούς στόχους και συμφέροντα από τις υπόλοιπες. Π.χ. μια εταιρία μπορεί να μη συμφωνεί με την προσφορά μιας άλλης κατά τη μεταξύ τους συναλλαγή την διαφωνία αυτή θα την εκφράσει ένας πράκτορας που έχει δημιουργηθεί για να αντιπροσωπεύει την ίδια και όχι για παράδειγμα ένα άλλο ουδέτερο πρόγραμμα που έχει δημιουργηθεί απλά για να επιβλέπει την διαδικασία.

Σημαντικό πλεονέκτημα των συστημάτων ευφυών πρακτόρων είναι επίσης το γεγονός ότι η ύπαρξη πολλών πρακτόρων σε ένα σύστημα ελαχιστοποιεί την πιθανότητα να «πέσει» το σύστημα δηλαδή να διακοπεί η λειτουργία του, κάτι που είναι εύκολο να συμβεί σε περίπτωση που το σύστημα εξαρτάται από έναν μόνο κεντρικό πράκτορα ή άλλο παρόμοιο πρόγραμμα. Όταν σε ένα σύστημα πολλαπλών πρακτόρων χαλάσει ένας πράκτορας δεν τίθεται ολόκληρο το σύστημα εκτός λειτουργίας και είναι πιο εύκολο αν επανέλθει το σύστημα στην αρχική του κατάσταση. Για παράδειγμα ας υποθέσουμε ότι

σε ένα σύστημα πρακτόρων που αντιπροσωπεύουν διάφορες εταιρίες οι οποίες κάνουν προσφορές για την παροχή μιας υπηρεσίας χαλάει ένας πράκτορας που αντιπροσωπεύει μια από αυτές τις εταιρίες. Το μόνο πρόβλημα που προκύπτει είναι ότι η εταιρία αυτή δεν θα συμμετάσχει στη διαδικασία μέχρι να επισκευαστεί ο πράκτορας. Οι υπόλοιποι πράκτορες θα συνέχιζαν κανονικά να διαπραγματεύονται μεταξύ τους τις προσφορές που θα έκαναν ο ένας στον άλλο. Αν όμως είχαμε για το ίδιο σύστημα έναν κεντρικό πράκτορα ο οποίος επεξεργάζονταν τις προσφορές που του αποστέλλανε οι διάφορες εταιρίες χωρίς τη χρήση άλλων πρακτόρων, τότε σε περίπτωση βλάβης αυτού του πράκτορα θα κατέρρεε όλο το σύστημα αφού δε θα ήταν δυνατό να γίνει η επεξεργασία και η αξιολόγηση της προσφοράς οποιασδήποτε εταιρίας.

Βέβαια από το παραπάνω παράδειγμα γίνεται σαφές ότι σημαντικό ρόλο παίζει και ο γενικότερος τρόπος οργάνωσης του συστήματος. Όταν ένα σύστημα είναι οργανωμένο έτσι ώστε να βασίζεται στη σωστή λειτουργία περισσότερων του ενός πρακτόρων τότε υπάρχουν περισσότερες πιθανότητες να καταρρεύσει καθώς όσο πιο πολλοί οι βασικοί πράκτορες τόσο πιο πιθανό το ενδεχόμενο ένας από αυτούς να πάθει βλάβη. Αν όμως το σύστημα ήταν οργανωμένο με τρόπο που να ορίζει ότι ένας πράκτορας θα παθαίνει βλάβη θα αντικαθίσταται αμέσως από κάποιον άλλο τότε ο μεγάλος αριθμός πρακτόρων θα εγγυούταν την αξιοπιστία του συστήματος καθώς θα ήταν πάλι αρκετά απίθανο να πάθει βλάβη ένας πράκτορας και ταυτοχρόνως και όλοι οι πράκτορες που θα μπορούσαν να τον αντικαταστήσουν.

Άλλο ένα πλεονέκτημα των συστημάτων πολλαπλών πρακτόρων είναι ότι **στα συστήματα αυτά υπάρχει δυνατότητα καταμερισμού των εργασιών** στους διάφορους πράκτορες. Με τον καταμερισμό των εργασιών και την παράλληλη επεξεργασία των δεδομένων εξοικονομείται χρόνος και γίνεται αποσυμφόρηση του συστήματος.

Πλεονέκτημα των συστημάτων αυτών είναι επίσης **η δυνατότητα κλιμάκωσης που έχει η δομή τους**. Σε περίπτωση που χρειάζεται η προσθήκη νέων δυνατοτήτων στο σύστημα χρειάζεται απλά να προστεθούν νέοι πράκτορες ενώ και οι διάφορες βελτιώσεις για κάθε τμήμα του συστήματος γίνονται τροποποιώντας τον πράκτορα που έχει αναλάβει το συγκεκριμένο μέρος του συστήματος. Γενικότερα ο προγραμματισμός και επαναπρογραμματισμός αυτών των συστημάτων είναι πιο εύκολος από ότι τα συστήματα που έχουν μια κεντρική μονάδα. Έτσι τα συστήματα πολλαπλών πρακτόρων

μπορούν να επιδιορθωθούν και να ανανεωθούν πιο εύκολα γεγονός που αυξάνει και την διάρκεια ζωής τους.

Τελευταίο αλλά όχι λιγότερο σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι με τα συστήματα αυτά δίνεται έμφαση στην κοινωνικότητα των πρακτόρων αφού μέσω των συστημάτων αυτών οι πράκτορες εργάζονται σε ομάδες. Το γεγονός αυτό είναι σημαντικό γιατί η κοινωνικότητα **βοηθάει την ανάπτυξη και την βελτίωση της τεχνητής νοημοσύνης των πρακτόρων** η οποία είναι επιθυμητό να αναπτυχθεί στο μέγιστο δυνατό. Η τεχνητή νοημοσύνη είναι η ικανότητα των μηχανών να προσομοιώνουν τον ανθρώπινο τρόπο σκέψης ώστε να μπορούν να επιλύουν προβλήματα για τα οποία απαιτείται ανθρώπινη νοημοσύνη, αντικαθιστώντας έτσι τον άνθρωπο σε διάφορα προβλήματα τα οποία αυτός για διάφορους λόγους δε θέλει ή ακόμα δεν μπορεί να επιλύσει. Η άποψη αυτή για την χρησιμότητα της κοινωνικότητας βασίζεται στη λεγόμενη κοινωνιοβιολογική θεωρία σύμφωνα με την οποία για να αναπτυχθεί νοημοσύνη χρειάζεται κοινωνικότητα αφού η νοημοσύνη θεωρείται ότι αναπτύσσεται μέσω της αντίδρασης σε κοινωνικά ερεθίσματα.

Αν και τα συστήματα πολλαπλών πρακτόρων παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα, σε πολλά από αυτά και ιδιαίτερα στα συστήματα που οι πράκτορες λειτουργούν ανταγωνιστικά μεταξύ τους παρουσιάζεται το πρόβλημα της ανάθεσης καθηκόντων στους πράκτορες το οποίο αποτελεί και το αντικείμενο έρευνας αυτής της εργασίας. Το πρόβλημα αυτό παρουσιάζεται αναλυτικά στο επόμενο μέρος της εργασίας.

2.ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΑΝΑΘΕΣΗΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΕ ΕΥΦΥΕΙΣ ΠΡΑΚΤΟΡΕΣ

2-1. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΑΝΑΘΕΣΗΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΕ ΠΡΑΚΤΟΡΕΣ (TASK ALLOCATION)

Παρ' όλη την ευελιξία και τις πολλαπλές δυνατότητες των ευφυών πρακτόρων, σε περίπτωση συστημάτων που περιλαμβάνουν πολλαπλούς πράκτορες συναντάται το πρόβλημα της **ανάθεσης των εργασιών σε πράκτορες (task allocation)**. Το πρόβλημα αυτό περιγράφεται ως εξής (Vidal, 2003): Σε ένα σύστημα με n πράκτορες κάθε πράκτορας διαθέτει ορισμένα χαρακτηριστικά που συνδέονται με την εκτέλεση ορισμένων καθηκόντων/εργασιών. Οι πράκτορες του συστήματος με τη βοήθεια **πρωτοκόλλων συντονισμού** διαπραγματεύονται τα διάφορα καθήκοντα που πρέπει να εκτελεστούν με σκοπό την μείωση του συνολικού κόστους εκτέλεσης των εργασιών, το οποίο προκύπτει από το άθροισμα των επιμέρους κοστών που πληρώνει ο κάθε πράκτορας όταν εκτελεί μια ενέργεια. Πιο συγκεκριμένα το πρόβλημα της ανάθεσης εργασιών σε πράκτορες απαντά στα ερωτήματα του **ποιος πράκτορας θα εκτελέσει μια εργασία και του γιατί να επιλεγθεί ο συγκεκριμένος πράκτορας και όχι κάποιος άλλος που ανήκει και αυτός στο σύνολο των διαθέσιμων πρακτόρων** ; Τα ερωτήματα αυτά γίνονται υπό τον περιορισμό ότι το σύστημα μας πρέπει να δουλεύει **βέλτιστα**, με την μεγαλύτερη δηλαδή δυνατή απόδοση αλλά και ταυτόχρονα την μικρότερη σπατάλη πόρων. Σε διαφορετική περίπτωση η πλειοψηφία των πιθανών τρόπων ανάθεσης των εργασιών θα μπορούσε να δώσει απάντηση σε αυτό το ερώτημα. Συχνά στη

βιβλιογραφία το πρόβλημα αυτό ονομάζεται και **πρόβλημα ανάθεσης πόρων (resource allocation)** (Chevalleyre et Al, 2005) καθώς έτσι τονίζεται το γεγονός ότι το πρόβλημα αποσκοπεί στον καταμερισμό των πόρων ή μέρους των πόρων που διαθέτει ο κάθε πράκτορας ή ομάδα πρακτόρων στην εκτέλεση συγκεκριμένων καθηκόντων που απαιτούνται από το σύστημα

Τα περισσότερα προβλήματα στα οποία χρησιμοποιούνται πολλοί πράκτορες είναι σε τελική ανάλυση προβλήματα κατανομής πόρων. Όταν κάθε πράκτορας έχει διαφορετικούς πόρους στη διάθεση του πρόβλημα της ανάθεσης καθηκόντων στους πράκτορες είναι πιο εύκολο να λυθεί. Ένας πιθανός τρόπος σκέψης θα ήταν να αναλάβει τις περισσότερες εργασίες ο πράκτορας που διαθέτει τους περισσότερους πόρους ή να αναλάβει τις εργασίες που απαιτούν τους περισσότερους πόρους οι οποίες ίσως και να μην μπορούν να εκτελεστούν από τους υπόλοιπους πράκτορες. Σε αρκετές περιπτώσεις όμως οι δυνατότητες των πρακτόρων είναι ίδιες και οι πράκτορες είναι ισότιμοι. Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι δύσκολο να επιλεγεί το ποιος πράκτορας θα κάνει ποια εργασία και γιατί. Η κατάσταση επιβαρύνεται πιο πολύ και λόγω της **εγωιστικής συμπεριφοράς των πρακτόρων**. Κάθε πράκτορας δηλαδή προσπαθεί να αναλάβει εργασίες που εξυπηρετούν τον ίδιο και όχι απαραίτητα ολόκληρο το σύστημα. Έτσι δεν επιτυγχάνεται ο σκοπός του συστήματος που είναι η βελτιστοποίηση της κατανομής των πόρων. Επομένως κύριο μέλημα των μεθόδων ανάθεσης καθηκόντων είναι **ο καταμερισμός των εργασιών σε πράκτορες να είναι βέλτιστος κατά Pareto (Pareto optimal)**, δηλαδή κάθε πράκτορας να χρησιμοποιεί τους πόρους του έτσι ώστε να επιτυγχάνει την βέλτιστη δυνατή ατομική του επίδοση χωρίς όμως να επηρεάζει προς το χειρότερο τις επιδόσεις των υπόλοιπων πρακτόρων του συστήματος. Η βελτιστοποίηση κατά Pareto είναι άμεσα συνυφασμένη με την αποτελεσματικότητα του συστήματος..

Υπάρχουν διάφορες **παραλλαγές στα δεδομένα του προβλήματος**. (Ματσατσίνης και Δελλιάς, 2003) Για παράδειγμα υπάρχει η δυνατότητα οι πράκτορες να μην διαθέτουν όλους τους πόρους σε ένα καθήκον αλλά να απασχολούνται με πολλά καθήκοντα ταυτόχρονα διαθέτοντας τους μέρη των πόρων τους. Επίσης οι πράκτορες μπορεί να μην έχουν τις ίδιες δυνατότητες σε πόρους ή να είναι ισότιμοι. Σε άλλη παραλλαγή οι πράκτορες δεν μπορούν να εκτελέσουν όλοι καθήκοντα του ίδιου είδους, οπότε είτε υπάρχουν πράκτορες διαφορετικών ειδών είτε δημιουργούνται πράκτορες

γενικής χρήσεως οι οποίοι πρέπει να αλλάζουν ρόλο όταν εκτελούν ένα συγκεκριμένο καθήκον. Επίσης την ανάθεση των καθηκόντων μπορεί να την ορίζει ένας κεντρικός πράκτορας ή χρησιμοποιώντας την κατάλληλη μεθοδολογία ανάθεσης όλοι οι πράκτορες του συστήματος να επικοινωνούν μεταξύ τους και ενημερώνοντας ο ένας τον άλλο για τις δυνατότητες του και τις απαιτήσεις του προβλήματος να καταλήγουν στην ανάθεση των καθηκόντων. Άλλες παραλλαγές περιλαμβάνουν χρονικούς περιορισμούς για την εκτέλεση κάποιων καθηκόντων ή το γεγονός ότι κάποια καθήκοντα προαπαιτούν την επίτευξη κάποιων άλλων υπάρχει δηλαδή μια σειρά διαδοχής των καθηκόντων.

2-2. ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΝΑΘΕΣΗΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Σύμφωνα με τη σχετική βιβλιογραφία (Chevaleyre et Al, 2005) τα σημεία στα οποία πρέπει να δίνεται έμφαση σε μια μέθοδο ανάθεσης καθηκόντων σε πράκτορες είναι τα εξής:

1. **Προτιμήσεις.** Πρέπει να ερευνηθεί το ποιες είναι οι καλύτερες γλώσσες αναπαράστασης για την έκφραση των προτιμήσεων των πρακτόρων όσον αφορά τα καθήκοντα που πιθανόν να εκτελέσουν. Πρέπει να δοθεί σημασία στην εκφραστική δυνατότητα τους, στην περιεκτικότητα τους και την καταλληλότητα τους με βάση μια επιχειρηματολογία
2. **Κοινωνικότητα.** Πρέπει να ερευνηθεί το ποια είναι τα κατάλληλα μέτρα που μπορούν να παρθούν όσον αφορά την κοινωνική συμπεριφορά των πρακτόρων, δηλαδή τις δυνατότητες επικοινωνίας και συνεργασίας τους, ώστε να εκτιμά την ποιότητα ενός τόπου ανάθεσης για μια συγκεκριμένη εφαρμογή. Πρέπει επίσης να διερευνηθεί υπό ποιες προϋποθέσεις μπορούμε να φτάσουμε σε μια βέλτιστη ανάθεση των καθηκόντων στους πράκτορες.
3. **Πολυπλοκότητα.** Στο θέμα αυτό πρέπει να διερευνηθεί το πόσο πολύπλοκο είναι να βρεθεί η βέλτιστη λύση στο πρόβλημα της ανάθεσης. Άλλα ζητήματα είναι η

πολυπλοκότητα των επιμέρους προβλημάτων απόφασης στο σύστημα αλλά και η πολυπλοκότητα της επικοινωνίας μεταξύ των πρακτόρων.

4. **Διαπραγματεύσεις.** Εδώ πρέπει να διερευνηθεί ποια είναι τα κατάλληλα πρωτόκολλα διαπραγμάτευσης αλλά και οι κατάλληλες στρατηγικές για τους πράκτορες που τα χρησιμοποιούν.
5. **Σχεδιασμός του αλγορίθμου.** Πρέπει να ερευνηθεί ο τρόπος με τον οποίο θα δημιουργηθεί ένας αποτελεσματικός αλγόριθμος για την ανάθεση πόρων.
6. **Σχεδιασμός του μηχανισμού.** Πρέπει να ερευνηθεί το πώς μπορούμε να δημιουργήσουμε μηχανισμούς διαπραγμάτευσης ώστε να δηλώνονται οι πραγματικές προτιμήσεις των πρακτόρων και να αποφεύγονται πλασματικές ή λανθασμένες εκτιμήσεις τους.
7. **Εφαρμογή.** Πρέπει να ερευνηθεί το ποιες είναι οι καλύτερες πρακτικές για την ανάπτυξη πρωτοτύπων των προγραμμάτων ανάθεσης αλλά και πλατφόρμων γενικής χρήσεως για τη γρήγορη ανάπτυξη των πρωτοτύπων.
8. **Προσομοίωση και πειραματισμός.** Πρέπει να γίνουν πειράματα και προσομοιώσεις ώστε να ερευνηθούν θεωρητικά αποτελέσματα σε πραγματικές εφαρμογές. Ακόμα πρέπει να διερευνηθεί το τι επίδραση έχουν θεωρητικά σενάρια που υποστηρίζουν ότι είναι αδύνατο να βρεθεί λύση σε συγκεκριμένα προβλήματα στο πρακτικό επίπεδο. Τέλος με την προσομοίωση και τον πειραματισμό βλέπουμε τον αντίκτυπο που έχουν θεωρητικά αποτελέσματα σχετικά με την υπολογιστική πολυπλοκότητα σε πραγματικό επίπεδο.
9. **Αλληλεπίδραση θεωρίας και εφαρμογών.** Πρέπει να ερευνηθούν ζητήματα όπως οι επιδράσεις των περιορισμών της πραγματικότητας στα θεωρητικά μοντέλα ανάθεσης πόρων αλλά και το πώς τα θεωρητικά αποτελέσματα μπορούν να δώσουν πληροφορίες που θα οδηγήσουν στην ανάπτυξη νέων εργαλείων.

Αναλύοντας περισσότερο το πρόβλημα της ανάθεσης καθηκόντων σε πράκτορες θα αναφερθούμε στις κύριες παραμέτρους και τα χαρακτηριστικά των μεθόδων αυτών.) Η λογική που ακολουθούν οι περισσότερες μέθοδοι με σκοπό την ανάθεση καθηκόντων σε πράκτορες στον κατάλληλο πράκτορα είναι η εξής (Vidal 2003) :

1. Αρχικά αναθέτονται σε κάθε πράκτορα οι πόροι που χρειάζεται να διατηρηθούν. Ο κάθε πράκτορας γίνεται υπεύθυνος για τη διαχείριση των συγκεκριμένων πόρων .
2. Στη συνέχεια σε κάθε πράκτορα αναθέτεται ένας στόχος που αποτελεί μέρος ολόκληρου του προβλήματος. Η επίτευξη αυτού του στόχου (π.χ. η εκτέλεση μιας ενέργειας) απαιτεί κατανάλωση πόρων.
3. Στο τρίτο βήμα κάθε πράκτορας έχει μεν τη δυνατότητα να κάνει τις ενέργειες εκείνες που θα μεγιστοποιήσουν την ολική του χρησιμότητα αλλά παράλληλα εισάγεται και ένας αλγόριθμος συντονισμού των επιμέρους πρακτόρων έτσι ώστε να επιτυγχάνεται και η βελτιστοποίηση της κατανομής των καθηκόντων για ολόκληρο το σύστημα.

Οι τρόποι με τους οποίους μπορεί να εκφραστεί η προτίμηση ενός πράκτορα έναντι ενός άλλου είναι (Chevaleyre et Al, 2005):

1. Η χρήση μιας **συνάρτησης εκτίμησης** σε μια κύρια σχέση $u : X \rightarrow \text{Val}$ όπου Val ένα σύνολο αριθμών, συνήθως το σύνολο των πραγματικών, u η συνάρτηση εκτίμησης και x η μεταβλητή που χρησιμοποιείται.
2. Το **δυναμικό σχήμα προτίμησης** δηλαδή ο διαχωρισμός του συνόλου των εναλλακτικών τρόπων ανάθεσης σε «καλούς» και «κακούς»
3. Η **ασαφής σχέση προτίμησης** της μορφής $\mu : X \times X \rightarrow [0,1]$ με $\mu(x,y)$ να ορίζεται ως ο βαθμός στον οποίο η εναλλακτική x προτιμάται από την y .
4. Μια **τακτική σχέση προτίμησης** η οποία εκφράζει απόλυτη σχέση προτίμησης δηλαδή x προτιμάται του y αν και μόνο αν $x > y$ και όχι αν $x \geq y$.

Σύμφωνα με τους ίδιους συγγραφείς κατά το σχεδιασμό μιας μεθόδου ανάθεσης καθηκόντων πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη σημασία στα **πρωτόκολλα επικοινωνίας** των πρακτόρων έτσι ώστε να ορίζεται το ποια μηνύματα είναι δυνατό να σταλθούν μεταξύ των πρακτόρων και το ποιες συμφωνίες μεταξύ των πρακτόρων είναι δυνατό να οριστούν. Σημαντικές είναι επίσης και οι **στρατηγικές** που θα πρέπει να αναπτυχθούν για τον κάθε πράκτορα καθώς αυτές καθορίζουν το πόσο καλά μπορεί

να εκμεταλλευτεί ο πράκτορας το πρωτόκολλο επικοινωνίας. Σημαντικό ρόλο έχουν και οι **αλγόριθμοι** που θα δημιουργηθούν καθώς αυτοί καθορίζουν το πώς θα αντιδράσουν οι πράκτορες στα υπολογιστικά προβλήματα που θα αντιμετωπίσουν όπως είναι π.χ. η αντίδραση τους σε μια πρόταση προς διαπραγμάτευση.

2-3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΘΕΣΗΣ ΚΑΘΗΚΟΝΤΩΝ ΣΕ ΠΡΑΚΤΟΡΕΣ

Οι Ματσατσίνης και Δελλιάς (2003) αναφέρουν τις κύριες μεθόδους που ακολουθούνται για την ανάθεση καθηκόντων σε πράκτορες. Η πρώτη από αυτές είναι το “Contract Net Protocol” (Smith ,1980) . Στη μέθοδο αυτή η ανάθεση καθηκόντων γίνεται κατόπιν διαπραγμάτευσης μεταξύ των πρακτόρων . Μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι η διαπραγμάτευση μπορεί να αποδειχθεί εξαιρετικά χρονοβόρα, κάτι που δεν είναι επιθυμητό ιδιαίτερα σε προβλήματα όπου υπάρχει και χρονική προθεσμία για την εκτέλεση των ενεργειών ενώ ένα ακόμα μειονέκτημα αποτελεί και το κόστος που συνεπάγεται η επικοινωνία μεταξύ των πρακτόρων προκειμένου να γίνουν οι διαπραγματεύσεις.

Η δεύτερη μέθοδος είναι αυτή των Rao και Sonneberg (1996) κατά την οποία επιλέγεται μια ομάδα πρακτόρων η οποία αποτελείται από πράκτορες που διαθέτουν ορισμένα χαρακτηριστικά που τους κάνουν κατάλληλους για την εκτέλεση ενός συγκεκριμένου καθήκοντος. Τα χαρακτηριστικά αυτά καθορίζονται βέβαια από τον χρήστη του συστήματος ο οποίος γνωρίζει τις δυνατότητες του κάθε πράκτορα που ανήκει σε αυτό. Έτσι αποκλείοντας ορισμένους πράκτορες με την διαδικασία αυτή μειώνεται ο αριθμός των πρακτόρων που θα διαπραγματευτούν με αποτέλεσμα τη μείωση τόσο του χρόνου των διαπραγματεύσεων όσο και του κόστους της επικοινωνίας των πρακτόρων.

Μια άλλη δημοφιλής μέθοδος ανάθεσης καθηκόντων σε πράκτορες είναι αυτή των Fujita και Lesser (1996). Η μέθοδος αυτή έχει διαφορετική φιλοσοφία από τις άλλες 2 μεθόδους καθώς δεν βασίζεται στη διαπραγμάτευση μεταξύ των υποψήφιων πρακτόρων αλλά στην ανάθεση των καθηκόντων στους πράκτορες από έναν κεντρικό πράκτορα-κυρίαρχο. Πιο συγκεκριμένα ο πράκτορας αυτός χωρίζει τον στόχο του

συστήματος σε μικρότερους στόχους τους οποίους αναθέτει σε πράκτορες με κριτήριο την ταχύτητα με την οποία αυτοί δύνανται να τους εκτελέσουν. Σε περίπτωση που κάποιοι υπό-στόχοι χρειάζονται την εκτέλεση άλλων υπό-στόχων με μια λογική σειρά την διαδικασία της εκτέλεσης όλων των υπό-στόχων που εξαρτάται ο ένας από τον άλλο την αναλαμβάνει ο ίδιος πράκτορας. Η σειρά με την οποία θα εκτελεστούν οι υπό-στόχοι καθορίζεται με τη χρήση ευρετικών αλγορίθμων. Ο κυρίαρχος πράκτορας έχει τη δυνατότητα να επιθεωρεί τακτικά την ανάθεση των καθηκόντων και αν χρειαστεί να κάνει τις απαιτούμενες αλλαγές. Με τη μέθοδο αυτή αποφεύγεται ολόκληρη η διαδικασία της διαπραγμάτευσης μεταξύ των πρακτόρων.

Αρκετά δημοφιλείς είναι και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούν την πολυκριτήρια ανάλυση για την επιλογή των πρακτόρων. Οι πράκτορες επιλέγονται με βάση τις επιδόσεις τους σε διάφορα κριτήρια όπως για παράδειγμα η κοινωνική τους συμπεριφορά (δηλαδή η επικοινωνία με άλλους πράκτορες) το πόσο οικονομικοί είναι, το πόσο ανταποκρίνονται στις χρονικές προθεσμίες κ.α. Με βάση αυτά τα κριτήρια δημιουργείται μια συνάρτηση προτίμησης σύμφωνα με την οποία επιλέγεται ο κάθε πράκτορας.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η μέθοδος της δημιουργίας **συνασπισμών πρακτόρων** (agent coalition). Κύρια ιδέα της μεθόδου αυτής είναι η δημιουργία ομάδων πρακτόρων που θα εκτελούν καθήκοντα προκειμένου να επιτευχθεί ένας αντικειμενικός στόχος. Μια τέτοια μέθοδος είναι αυτή των Shehory και Kraus (1998) και Η μέθοδος αρχικά βρίσκει όλους του πιθανούς συνδυασμούς πρακτόρων στο σύστημα θέτοντας βέβαια έναν περιορισμό σε ότι αφορά τον αριθμό των πρακτόρων που μπορεί να συμμετέχουν σε κάποια ομάδα. Ο περιορισμός αυτός προέρχεται από το γεγονός ότι όσο πιο μεγάλος ο αριθμός των πρακτόρων σε μια ομάδα τόσο μεγαλώνει και το κόστος επικοινωνίας μεταξύ των πρακτόρων. Στη συνέχεια υπολογίζεται η αξία κάθε ομάδας πρακτόρων που εξαρτάται από τους πόρους που της διατίθενται από τους πράκτορες που συμμετέχουν σε αυτή, τον αριθμό των πρακτόρων της και τη σειρά επεξεργασίας που έχουν τα καθήκοντα της. Η αξία αυτή υπολογίζεται σε σχέση με τη δυνατότητα εκτέλεσης κάθε καθήκοντος από τη συγκεκριμένη ομάδα πρακτόρων. Για το σκοπό αυτό για κάθε καθήκον που μπορεί να αναληφθεί από μια ομάδα πρακτόρων δημιουργείται μια συνάρτηση η οποία χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της αξίας του συνδυασμού των πρακτόρων όσον αφορά την εκτέλεση ενός συγκεκριμένου καθήκοντος. Ουσιαστικά

αυτές οι συναρτήσεις μετατρέπουν τους πόρους που διαθέτουν οι πράκτορες του συνασπισμού για την εκτέλεση του καθήκοντος σε αξία του συνασπισμού που μετριέται σε μονάδες κέρδους.

Στο επόμενο βήμα οι πράκτορες βρίσκουν τις ομάδες με τις μεγαλύτερες αξίες και το μικρότερο υπολογιστικό κόστος και ορίζεται η αναλογία κόστους προς αριθμό μελών ομάδας. Η αναλογία αυτή συμβολίζεται με w . Στη συνέχεια οι πράκτορες που ανήκουν στην ομάδα αυτή με το μικρότερο w σχηματίζουν την πρώτη ομάδα του συστήματος ενώ διαγράφονται από τη λίστα των υποψήφιων για το σχηματισμό ομάδων. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να αναληφθούν όλα τα καθήκοντα από ομάδες πρακτόρων. Η μέθοδος αυτή μπορεί και να χρησιμοποιηθεί και στην περίπτωση που οι πράκτορες διαθέτουν τους πόρους τους ή μέρος αυτών σε περισσότερες από μία ομάδες εκτός βέβαια αυτής στην οποία ανήκουν.

Οι Bredin et Al (2000), προτείνουν μια μεθοδολογία η οποία χρησιμοποιεί τη θεωρία παιγνίων. Συγκεκριμένα το σύστημα των πρακτόρων που συναγωνίζονται για την προτεραιότητα σε υπολογισμούς θεωρείται από τη μέθοδο σαν ένα παίγνιο με τους πράκτορες να λειτουργούν σαν παίκτες που «αγοράζουν» υπηρεσίες από έναν κεντρικό εξυπηρετητή. Η κεντρική ιδέα της μεθόδου είναι ότι οι πράκτορες κάνουν προσφορές για πόρους (στην προκειμένη περίπτωση για υπολογιστικό χρόνο) σε πράκτορες-διαχειριστές του συστήματος και ο χρόνος δίνεται στους πράκτορες που κάνουν τη μεγαλύτερη προσφορά σε σχέση με το συνολικό άθροισμα όλων των προσφορών. Οι πράκτορες αμείβονται ανάλογα με την προσφορά που κάνουν. Οι πράκτορες-διαχειριστές θέλουν να διαθέσουν τους πόρους τους και για αυτό σε περίπτωση που υπάρχει ένας μόνος πράκτορας το κάνουν δωρεάν. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το στοιχείο ότι **οι πράκτορες εδώ λειτουργούν ανταγωνιστικά** οπότε για να λάβουν τις υπηρεσίες που χρειάζονται για να εκτελέσουν μια εργασία θα πρέπει να κάνουν προσφορές, οι οποίες μεταφράζονται σε χρήματα.

Οι συμβολισμοί που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο είναι οι εξής: $\{q_k^i\}^k$ είναι η ακολουθία των καθηκόντων ενός πράκτορα i για μια δουλεία τύπου K . ($\bigvee \{q_k^i\}^k = 0$ τότε το καθήκον που έχει αναλάβει ο πράκτορας δεν απαιτεί την εκτέλεση μια υπηρεσίας τύπου K). Υπάρχουν επίσης παροχές υπηρεσιών που επιλέγονται από τους πράκτορες

για την εκτέλεση των υπηρεσιών και των οποίων η δυναμικότητα τους συμβολίζεται με c_k^1 . Η εξυπηρέτηση που λαμβάνει ο κάθε πράκτορας ορίζεται ως:

$$u_k^i = c_k^i \left(\frac{u_k^i}{u_k^i + \theta_k^{-i}} \right) \text{ όπου } u_k^i \text{ είναι τα χρήματα που προσφέρει ο πράκτορας σε κάθε}$$

δευτερόλεπτο, θ_k το σύνολο των προσφορών που δέχεται ο παροχέας από τους πράκτορες και $\theta_k^{-i} = \sum_{j \in J_K, j \neq i} u_k^j$. Ο χρόνος που κάνει ο κάθε πράκτορας για να

εκτελέσει ένα καθήκον με βάση το γεγονός ότι η εξυπηρέτηση είναι συνεχής ισούται με

$$t_k^i = \frac{q_k^i (u_k^i + \theta_k^{-i})}{c_k^i u_k^i} \text{ ενώ τα έξοδα του πράκτορα είναι } e_k^i = \frac{q_k^i (u_k^i + \theta_k^{-i})}{c_k^i} \quad \text{Η μέθοδος}$$

υποστηρίζει ότι το πρόβλημα για την ανάθεση των καθηκόντων μετατρέπεται σε πρόβλημα επιλογής των κατάλληλων προσφορών που πρέπει να κάνει ο κάθε πράκτορας για να αποκτήσει τη δυνατότητα να κάνει κάποιο καθήκον. Με βάση αυτή τη λογική το παραπάνω μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα πρόβλημα ελαχιστοποίησης του χρόνου που χρειάζεται ο κάθε πράκτορας για να εκτελέσει το καθήκον (για να εκτελέσει το καθήκον γρήγορα θα πρέπει να το αναλάβει όσο γρηγορότερα γίνεται και αυτό συνεπάγεται ότι θα πρέπει να κάνει όσο πιο λίγες προσφορές γίνεται) ενώ παράλληλα πρέπει να ισχύει και ο περιορισμός για τα διαθέσιμα χρήματα που έχει ο πράκτορας για να κάνει τις προσφορές του. (Δηλαδή τα χρήματα που δαπανώνται για προσφορές δεν πρέπει να υπερβαίνουν το συνολικό ποσό χρημάτων που διαθέτει ο πράκτορας).

Έτσι το πρόβλημα βελτιστοποίησης που προκύπτει είναι το εξής:

$$\min \sum_{k=1}^K t_k^i \text{ s.t. } \sum_{k=1}^K e_k^i \leq I$$

Η επίλυση του προβλήματος γίνεται με τη μέθοδο Lagrange και δίνει την ακόλουθη λύση που είναι το ποσό της πρώτης προσφοράς που πρέπει να κάνει ο κάθε πράκτορας.

$$u_1 = \frac{I - \sum_{k \neq 1} \frac{q_k}{c_k} \theta_k^{-i} - \frac{q_1}{c_1} \theta_1^{-i}}{\frac{q_1}{c_1} + \sum_{k \neq 1} \frac{q_k}{c_k} \sqrt{\frac{\theta_k^{-i}}{\theta_1^{-i}}}}$$

Στην γενικότερη περίπτωση όπου έχουμε πολλαπλούς πράκτορες η παραπάνω λύση με βάση τις εκτιμήσεις για το πόσο φορτωμένοι είναι οι παροχές υπηρεσιών, γίνεται

$$u_1^i = f_1(\theta_1^{-i}) := \frac{a^i - \beta^i \theta_1^{-i}}{\beta^i + \frac{\gamma^i}{\sqrt{\theta_1^{-i}}}}$$

$$\text{Όπου: } a^i = I - \sum_{k \neq 1} \frac{q_k^i}{c_k^i} \theta_k^{-i}, \beta^i = \frac{q_1^i}{c_1^i}, \gamma^i = \sum_{k \neq 1} \frac{q_k^i}{c_k^i} \sqrt{\theta_k^{-i}}$$

Για να έχουμε μια οριστική λύση θα πρέπει να φτάσουμε σε μια κατάσταση ισορροπίας Nash (Nash equilibrium) δηλαδή να μην υπάρχει δυνατότητα βελτίωσης για κανέναν πράκτορα σε περίπτωση που αλλάξει το μέγεθος της προσφοράς του (καθώς σε διαφορετική περίπτωση θα γίνονται αλλαγές προσφορών επ'αόριστον) Έτσι ο κάθε πράκτορας υποβάλλει στον παροχέα μια συνάρτηση με τη μορφή της λύσης που παρουσιάζεται παραπάνω που δείχνει το πώς θα εξελιχθούν οι προσφορές του και ο παροχέας βρίσκει τις καλύτερες προσφορές που μπορεί να κάνει ο κάθε πράκτορας.

Οι αλγόριθμοι οι οποίοι περιγράφουν την διαδικασία της μεθόδου είναι οι εξής: (ένας για την ανάθεση των πόρων από τον παροχέα και ένας για τη μετακίνηση των πρακτόρων σε νέα πεδία)

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ 1 : Ανάθεση καθηκόντων σε πράκτορες από παροχέα κ

- ΓΙΑ ΟΣΟ είναι αληθές ΚΑΝΕ
- $t :=$ χρόνος τελευταίας άφιξης ή αναχώρησης
- για όλους τους πράκτορες i ΚΑΝΕ
- αφαίρεσε $tg_i(\theta)$ από κάθε πράκτορα
- ΤΕΛΟΣ ΓΙΑ
- Πρόσθεσε νέο πράκτορα ή αφαίρεσε τον πράκτορα που αποχωρεί
- ΓΙΑ όλους τους πράκτορες ΚΑΝΕ
- Βρες πληροφορίες για κάθε πράκτορα για τα α, β, γ ώστε να φτιαχτεί το $g_i(\theta)$
- ΤΕΛΟΣ ΓΙΑ
- Ψάξε για $\theta = \sum_{i=1}^N g_i(\theta)$ στο $(0, \max_i(\alpha_i/\beta_i))$
- ΓΙΑ όλους τους πράκτορες κάνε
- $$v_k^i := c_k g_i(\theta) / \theta$$
- ΤΕΛΟΣ ΓΙΑ
- ΤΕΛΟΣ ΓΙΑ ΟΣΟ

Όπου $g(\theta)$ η συνάρτηση αντίδρασης του παροχέα στις προσφορές

Ο επόμενος αλγόριθμος περιγράφει την διαδικασία επιλογής νέου παροχέα από έναν πράκτορα αφού αυτός εκπληρώσει ένα καθήκον του

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ 2 : Επιλογή νέου παροχέα από πράκτορα

- $t_{min} = \infty$ επόμενος παροχέας = \emptyset
- ΓΙΑ όλους τους παροχείς που προσφέρουν υπηρεσίες KANE
- $t_k = [\text{διάρκεια μεταφοράς } k \text{ από τον τρέχοντα παροχέα}] +$
 $[c_k g(\theta_k^i) / \theta_k^i + g(\theta_{ik}^{\theta})]$
- AN $t_{min} > t_k$ TOTΕ
- $t_{min} = t_k$ επόμενος παροχέας = k
- ΤΕΛΟΣ AN
- ΤΕΛΟΣ ΓΙΑ
- ΕΠΕΣΤΡΕΨΕ ΕΠΟΜΕΝΟ ΠΑΡΟΧΕΑ

Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η μέθοδος ανάθεσης εργασιών των Guerrero και Oliver (2003). Η μέθοδος αυτή αφορά αυτόνομα robot τα οποία μπορούν εύκολα να χαρακτηριστούν πράκτορες. Τα robot αυτά έχουν να εκτελέσουν καθήκοντα συλλογής πόρων. Η διαδικασία με την οποία λειτουργεί το κάθε robot είναι η εξής:

Αρχικά κάθε robot ψάχνει να αναλάβει ένα καθήκον. Όταν αναλάβει ένα καθήκον αυτομάτως ορίζεται ως ηγέτης της ομάδας για το συγκεκριμένο καθήκον. Αν υπάρχουν άλλοι διεκδικητές για το καθήκον, τότε αφού τα οι υποψήφιοι εκτιμήσουν τις δυνατότητες τους το καθήκον το αναλαμβάνει ο ικανότερος. Με το που αναλαμβάνει ένα καθήκον ο ηγέτης πρέπει να υπολογίσει το πόσα robots ακόμη θα χρειαστούν για την εκτέλεση του καθήκοντος. Τον υπολογισμό αυτό τον κάνει βάσει της παρακάτω συνάρτησης.:

$$TH_g = \frac{priority * taskWorkLoad}{\sum_{1 \leq i \leq N} workCapacity_i} < TH$$

Όπου TH είναι ένα κατώφλι σύγκρισης, $workCapacity_i$ η ικανότητα εργασίας του i - robot, TaskWorkLoad ο χρόνος που χρειάζεται για την επίτευξη του καθήκοντος (υπολογίζεται από το robot-ηγέτη).

Για να δημιουργηθεί η ομάδα εργασίας ο ηγέτης επιλέγει robots με βάση την ικανότητα εργασίας τους. Ωστε και να ικανοποιείται η παραπάνω ανίσωση. Robots που κατά τη διάρκεια αυτής της διαπραγμάτευσης βρίσκουν μια άλλη εργασία φεύγουν από την διαδικασία επιλογής αλλά κατά τη διάρκεια της διαδικασίας μπορούν αν προσέλθουν και νέα robot που δεν βρήκαν εργασία κάπου άλλού. Αν δεν βρεθούν αρκετά robots για την πλήρωση της ομάδας τα robot- ηγέτες μπορούν να ανταλλάξουν robots που ανήκουν στις ομάδες τους. Η διαδικασία αυτή στηρίζεται πάλι στην ικανότητα εργασίας του κάθε robot αλλά και στην ενέργεια της κάθε ομάδας. Η ενέργεια είναι ένα μέτρο του αν μια ομάδα τείνει να δώσει ή έχει ανάγκη να λάβει robots. Το μέτρο της δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$E_g = \frac{\text{ΜέγεθοςΟμάδας}}{TH_g}$$

Τα robots επιλέγονται με βάση τόσο την ικανότητα εργασίας τους αλλά και την ενέργεια που θα έχει η ομάδα του αν τελικά το robot επιλεγθεί. Το γινόμενο αυτών των παραγόντων συμβολίζεται με B και φυσικά επιλέγονται τα robots με μεγαλύτερο B ως υποψήφια για αλλαγή ομάδας.

$$B = \text{workCapacity} * E_{g2}$$

Με αυτόν τον τρόπο επιλογής και ανταλλαγής robots οι ομάδες των robots στο σύστημα γίνονται πιο σταθερές και πιο παραγωγικές. Η μέθοδος αυτή έχει δοκιμαστεί πειραματικά με πολύ ενθαρρυντικά αποτελέσματα.

Οι Bramberger et Al (2005) παρουσίασαν μια μέθοδο ανάθεσης καθηκόντων η οποία εφαρμόζεται σε κάμερες παρακολούθησης. Η μέθοδος αυτή αποτελείται από 2 βήματα τα οποία υπάρχουν και στις περισσότερες μεθόδους ανάθεσης καθηκόντων. Στο πρώτο βήμα γίνεται ο καθορισμός όλων των πιθανών τρόπων ανάθεσης καθηκόντων. Για να γίνει αυτό χρησιμοποιείται ένα καταναμημένο πρόβλημα περιορισμών που αφορά τις κάμερες και τα καθήκοντα που αναλαμβάνουν. Ο συμβολισμός που χρησιμοποιείται είναι: $T_i = d$. Δηλαδή το καθήκον i αναλαμβάνεται από την κάμερα

d. Για να περιγραφεί ένας πιθανός τρόπος ανάθεσης των καθηκόντων χρησιμοποιούνται οι παρακάτω εξισώσεις:

$$1) A = \prod^R (m, n) = \{A_1, \dots, A_p\}; p=m^n$$

$$2) A_j = \{\alpha_1 \dots \alpha_n\}, \alpha_i \in D$$

$$3) R = \{CPU, MEM, DMA\}$$

$$4) C = \{ \forall A_j \in A : \forall d \in D : \forall r \in R : \forall \alpha_i \in A_j : \forall \alpha_i \in D : (\sum_i req(r, i) < avail(r, d)) \}$$

Στην πρώτη εξίσωση το σύνολο A συμβολίζει όλες τις τοποθετήσεις των m καμερών στα n καθήκοντα. Με D συμβολίζεται το σύνολο που περιέχει όλους τους δείκτες που αντιπροσωπεύουν τις κάμερες. Το $req(r, i)$ συμβολίζει τις απαιτήσεις από τον πόρο r για το καθήκον i ενώ το $avail(r, d)$ τη διαθεσιμότητα του πόρου r από την κάμερα d . Η εξίσωση 4 είναι ο περιορισμός που χρειάζεται για να βελτιστοποιηθεί η ανάθεση των καθηκόντων στις κάμερες-πράκτορες. Φυσικά τα παραπάνω εφαρμόζονται για την περίπτωση που την ανάθεση των καθηκόντων την κάνει κάποιος κεντρικός πράκτορας. Σε περίπτωση που η ανάθεση γίνει κατανεμημένα με βάση δηλαδή τις προτιμήσεις κάθε πράκτορα ή μέθοδος δρα ως εξής:

Το πεδίο D χωρίζεται σε υπό-πεδία D_1, \dots, D_m . Το σύνολο των καθηκόντων παραμένει το ίδιο ενώ τώρα οι περιορισμοί απλοποιούνται μερικώς και παίρνουν τη μορφή της παρακάτω εξίσωσης :

$$C = \{ \forall A_j \in A : \forall A_v^i \in A_j : \forall \alpha_j \in A_v^i \forall \alpha_i \in D : (\sum_i req(r, i) < avail(r, d)) \}$$

Όπου $A_v^i = \{\alpha_1 \dots \alpha_i\} \forall \alpha_n \in T$ είναι το σύνολο των πιθανών αναθέσεων v των καθηκόντων i .

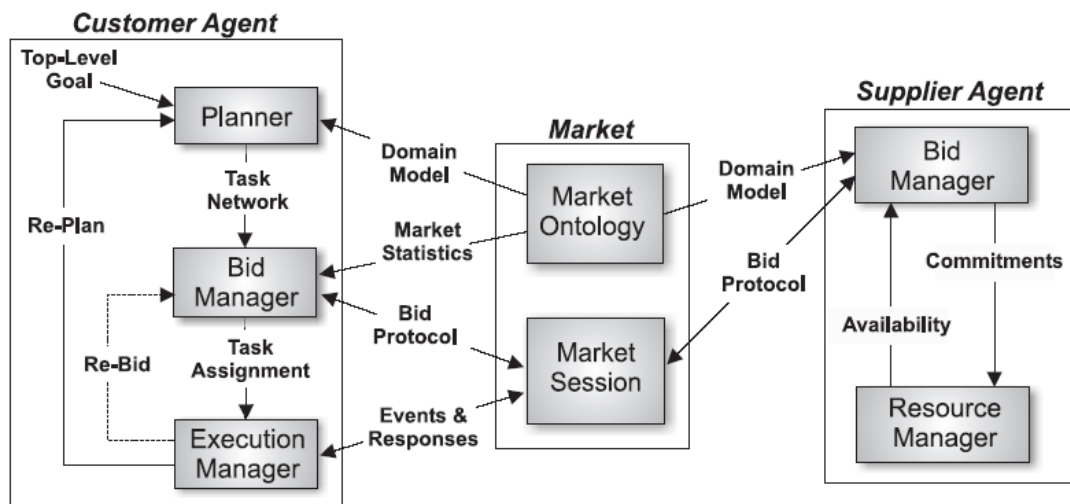
Στη συνέχεια γίνεται η ένωση των τμηματικών αναθέσεων ώστε να βρεθεί ένα σύνολο πιθανών αναθέσεων που υπακούει στους περιορισμούς και από το οποίο επιλέγεται τελικά η καλύτερη. Η επιλογή της καλύτερης ανάθεσης γίνεται με κριτήριο μια συνάρτηση κόστους η οποία εξαρτάται από τα κόστη πόρων, μεταφοράς δεδομένων, μεταφοράς καθηκόντων από τη μια κάμερα στην άλλη, κόστος προτεραιότητας καθηκόντων και το κόστος εκτέλεσης καθηκόντων με την καλύτερη δυνατή ποιότητα. Ο τύπος της συνάρτησης κόστους είναι ο εξής:

$$C_{total} = K_R * C_R + K_T * C_T + K_M * C_M + K_A * C_A + K_{qos} * C_{qos}$$

Οι Hoogendoorn et Al (2007) προτείνουν για την επίλυση προβλημάτων ανάθεσης εργασιών **με χρονικούς περιορισμούς** στον τομέα των logistics τη μέθοδο MAGNET. Το σύστημα MAGNET αποτελείται από έναν κεντρικό πράκτορα που αναθέτει τις εργασίες στους υπόλοιπους, τους πράκτορες-παροχείς οι οποίοι κάνουν προφορές για την ανάθεση της κάθε εργασίας και τον εξυπηρετητή του συστήματος που παρακολουθεί και καταγράφει τη διαδικασία.

Στο σύστημα ο κεντρικός πράκτορας καταγράφει τις διάφορες εργασίες, τη σειρά διαδοχής τους και το χρονικό παράθυρο στο οποίο πρέπει να έχουν εκτελεστεί. Στη συνέχεια οι πράκτορες-παροχείς κάνουν τις προσφορές τους για την κάθε εργασία οι οποίες περιλαμβάνουν τους πόρους που μπορεί να διαθέσει ο κάθε πράκτορας για κάθε εργασία. Οι προσφορές αυτές είναι που καθορίζουν τον προγραμματισμό για την ανάθεση των εργασιών που θα κάνει ο κεντρικός πράκτορας.

Η αρχιτεκτονική του συστήματος περιγράφεται με το παρακάτω σχήμα:



(Πηγή: M. Hoogendoorn, M.L. Ginni και C.M.Jonker : “Decentralized task allocation using magnet: an empirical evaluation in the logistics domain”, 2007)

Περίληπτικά η μέθοδος λειτουργεί ως εξής: Ο κάθε πράκτορας-παροχέας τηρεί ένα δικό του πρόγραμμα που καθορίζει πότε και πόσοι πόροι του είναι διαθέσιμοι. Στη συνέχεια λαμβάνοντας υπόψιν ενημερώσεις για τις χρονικές προθεσμίες έναρξης και λήξης κάθε εργασίας ο πράκτορας κάνει την προσφορά του για την κάθε εργασία. Οι πράκτορες παροχείς μπορούν να αναλάβουν μια εργασία όταν δεν υπάρχει καμιά άλλη στο πρόγραμμά τους ή όταν προλαβαίνουν να αναλάβουν και επιπρόσθετες εργασίες χωρίς να υπερβαίνουν την προθεσμία εκπλήρωσής τους. Στη συνέχεια ο κεντρικός πράκτορας αξιολογεί τις προσφορές των πρακτόρων και με κριτήριο το ποια έχει μικρότερο κόστος αναθέτει τις εργασίες στους κατάλληλους πράκτορες. Το κόστος εκφράζεται ως οι πόροι που διατίθενται ώστε να φτάσουμε στην τοποθεσία έναρξης της εργασίας να ολοκληρώσουμε την εργασία και να φτάσουμε στο σημείο λήξης της. Οι πράκτορες μπορούν να κάνουν τις προσφορές τους βασισμένοι σε στρατηγικές που επιθυμούν οι ίδιοι.

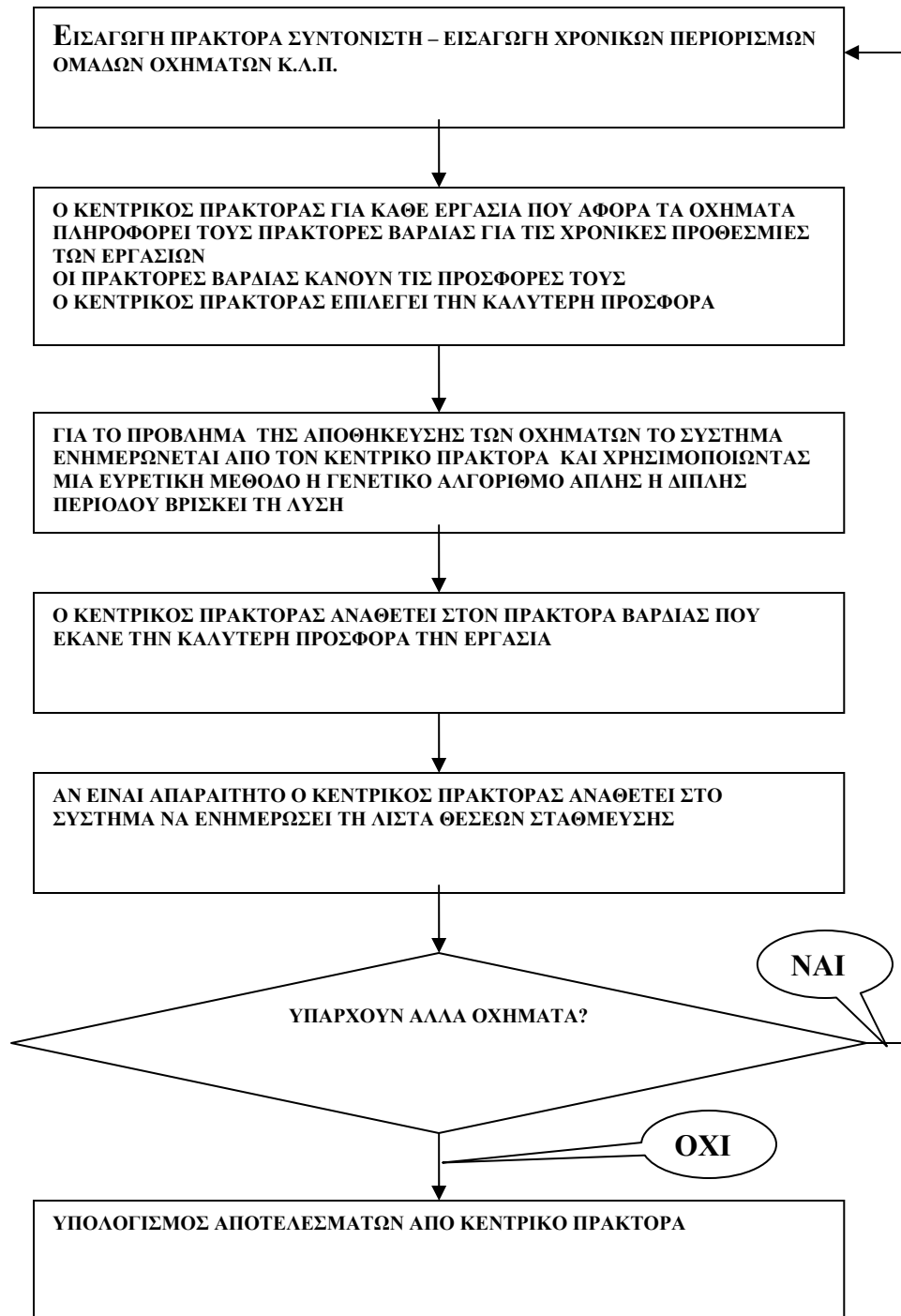
Στη μέθοδο αυτή οι πράκτορες δρουν ανταγωνιστικά μεταξύ τους. Περιορίζοντας τους πόρους τους και κάνοντας προσφορές που ανταποκρίνονται στην στρατηγική του πράκτορα δεν είναι σίγουρο ότι ολόκληρο το σύστημα θα λειτουργήσει καλύτερα.

Ουσιαστικά την κάθε εργασία δεν την κάνει ο καλύτερος πράκτορας αλλά ο πράκτορας που κάνει την καλύτερη προσφορά.

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι εκτός από τις προαναφερθείσες μεθόδους, οι οποίες έχουν δημιουργηθεί ειδικά για την επίλυση του προβλήματος ανάθεσης καθηκόντων σε ευφυείς πράκτορες, υπάρχουν και αρκετές μέθοδοι οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επίλυση προβλημάτων τα οποία μπορούν να λυθούν επίσης και με τη χρήση ευφύων πρακτόρων. Με τους κατάλληλους μετασχηματισμούς στα δεδομένα του προβλήματος, την αναπαράσταση δηλαδή των διαφόρων μεγεθών που εμπλέκονται στο πρόβλημα με ευφυείς πράκτορες, μία μέθοδος που χρησιμοποιείται για να επιλύσει ένα πρόβλημα μπορεί εύκολα να μετατραπεί και σε μέθοδο επίλυσης ενός προβλήματος ανάθεσης καθηκόντων σε πράκτορες.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου προβλήματος είναι το πρόβλημα της δρομολόγησης οχημάτων (vehicle routing problem) το οποίο αποτελεί και το παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου ανάθεσης καθηκόντων σε ευφυείς πράκτορες η οποία παρουσιάζεται σε αυτή την εργασία. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να επιλυθεί τόσο με ευφυείς πράκτορες όσο και με άλλες μεθόδους. Αναπαριστώντας μεγέθη του προβλήματος με ευφυείς πράκτορες το πρόβλημα μπορεί να μετατραπεί σε πρόβλημα ανάθεσης καθηκόντων σε πράκτορες. Έτσι μέθοδοι που επιλύουν αυτό το πρόβλημα μπορούν να θεωρηθούν ως μέθοδοι επίλυσης προβλημάτων με ευφυείς πράκτορες. Οι μέθοδοι αυτοί θα παρουσιάζονται στο τέταρτο μέρος της εργασίας όπου αναλύεται εκτενέστερα το πρόβλημα της δρομολόγησης οχημάτων.

Οι Fisher και Gehring (2002) **προτείνουν μια μέθοδο με χρονικούς περιορισμούς** στην οποία χρησιμοποιούνται 2 ομάδες πρακτόρων με την βοήθεια ενός πράκτορα συντονιστή. Το πρόβλημα στο οποίο αναφέρονται αφορά την διαχείριση οχημάτων τα οποία παραδίδονται σε ένα λιμάνι. Τα οχήματα πρέπει να ξεφορτωθούν από τα πλοία και να τοποθετηθούν σε κατάλληλους χώρους στάθμευσης. Κάθε διαδικασία έχει ένα συγκεκριμένο χρόνο που πρέπει να γίνει ενώ το σύστημα έχει χρονικές περιόδους λειτουργίας που αντιστοιχούν στις βάρδιες των υπαλλήλων που διαχειρίζονται τα οχήματα. Κάθε βάρδια του συστήματος θεωρείται ότι έχει έναν πράκτορα ο οποίος κάνει στον κεντρικό πράκτορα προσφορές προκειμένου να αναλάβει κάποια εργασία. Η μέθοδος λειτουργεί ως εξής:



Διάγραμμα 2-1 η μέθοδος των T. Fisher και H. Gehring

Η παρουσία των πρακτόρων βάρδιας κρίνεται απαραίτητη ώστε να μην επιφορτίζεται ο κεντρικός πράκτορας με το έργο του υπολογισμού των κατάλληλων προσφορών κάθε βάρδιας.

Η ευρετική μέθοδος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί χρησιμοποιεί σαν κριτήριο το πόσο επείγον είναι να γίνει μια εργασία και έτσι επιλέγεται το σε ποια αποθήκη θα μπει μια ομάδα οχημάτων. Αντί της μεθόδου αυτής μπορεί να χρησιμοποιηθούν γενετικοί αλγόριθμοι μονής και διπλής περιόδου. Η διαφορά μεταξύ των είναι ότι στον δεύτερο υπάρχει μια πολυδιάστατη λίστα προτεραιότητας των εργασιών ενώ στον πρώτο είναι μονοδιάστατη. Σύμφωνα με τους συγγραφείς οι γενετικοί αλγόριθμοι δίνουν καλύτερα αποτελέσματα στη μέθοδο αλλά έχουν υψηλότερο χρόνο υπολογισμών.

3.ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ: ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

3-1. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ (VRP)

Ένα από τα πιο γνωστά είδη προβλημάτων με χρονικά παράθυρα για τα οποία ενδείκνυται η χρήση ευφυών πρακτόρων είναι το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων. (VRP- Vehicle Routing Problem).

Το πρόβλημα αυτό έχει πολλές παραλλαγές η εργασία αυτή όμως ασχολείται με την επίλυση της πιο γνωστής του μορφής. Πιο συγκεκριμένα το πρόβλημα VRP αφορά έναν αριθμό οχημάτων που κυκλοφορούν σε ένα δίκτυο διανομής διανέμοντας το φορτίο τους σε διάφορους πελάτες. Στο κλασσικό πρόβλημα VRP τα οχήματα διανομής θεωρείται ότι έχουν τις ίδιες δυνατότητες (Thangiah et Al, 2001) Το δίκτυο διανομής αποτελείται από διάφορους πελάτες /τοποθεσίες οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους μέσω ενός οδικού δικτύου, το οποίο βέβαια δεν είναι μια ευθεία γραμμή αλλά προσφέρει τη δυνατότητα πολλαπλών διαδρομών σε όποιον κυκλοφορεί σε αυτό. Όπως είναι φυσικό υπάρχουν πολλές διαφορετικές διαδρομές που μπορεί να ακολουθήσει κανείς για να φτάσει από τον ένα πελάτη στον άλλο διαφορετικής απόστασης και χρονικής διάρκειας. Η ποσότητα του φορτίου που θα διανείμει το όχημα στον κάθε πελάτη είναι προκαθορισμένη με βάση την σχετική παραγγελία που έχει κάνει ο ίδιος ο πελάτης Κάθε παραγγελία έχει ένα συγκεκριμένο χρόνο στον οποίο ολοκληρώνεται ο οποίος, εκτός από τον χρόνο που χρειάζεται το όχημα για να φτάσει στον πελάτη, περιλαμβάνει και τον χρόνο που απαιτείται για να παραδοθεί το φορτίο (Dorer and Calisti, 2005).

Οι περιορισμοί του προβλήματος είναι ο χρόνος μέσα στον οποίο πρέπει να ικανοποιηθούν όλες οι παραγγελίες αλλά και το κόστος σε καύσιμα της διαδρομής που θα πραγματοποιήσουν τα οχήματα διανομής για να φτάσουν σε όλους τους πελάτες, το οποίο όπως και για το συνολικό χρόνο προφανώς επιθυμούμε να είναι το ελάχιστο δυνατό. Επίσης ο αριθμός των οχημάτων διανομής που θα χρησιμοποιηθούν πρέπει να είναι και αυτός όσο το δυνατόν μικρότερος. Τα οχήματα διανομής ξεκινάνε από ένα συγκεκριμένο σημείο μέσα στο δίκτυο, το οποίο συνήθως είναι προκαθορισμένο, καθώς πρακτικά ταυτίζεται με το μέρος στο οποίο βρίσκονται οι αποθηκευτικοί χώροι της επιχείρησης που διανέμει το φορτίο.

Όπως χαρακτηριστικά αναφέρει ο Rice (2004) η πολυπλοκότητα του προβλήματος αυξάνει ανάλογα με τον αριθμό των πελατών / σταθμών που περιλαμβάνονται στο δίκτυο διανομής. Συγκεκριμένα εάν N ο αριθμός των σταθμών στο δίκτυο τότε ο αριθμός των πιθανών διαφορετικών διαδρομών οι οποίες θα περνάνε από όλους τους σταθμούς είναι ίσος με $(N-1)!$ για την περίπτωση που τα οχήματα διανομής ξεκινάνε από συγκεκριμένο σημείο στο δίκτυο και $N!$ για την περίπτωση που τα οχήματα δεν ξεκινάνε από προκαθορισμένο σημείο. Οι παραπάνω υπολογισμοί ισχύουν μόνο για την περίπτωση που έχουμε ένα μόνο όχημα ενώ για περισσότερα οχήματα το πρόβλημα γίνεται ακόμα πιο πολύπλοκο. Παρατηρώντας τον παρακάτω πίνακα καταλαβαίνουμε καλύτερα το πόσο αυξάνει η πολυπλοκότητα του προβλήματος ανάλογα με τον αριθμό των σταθμών/ πελατών

Πίνακας 3.1 : Η αύξηση της πολυπλοκότητας του VRP σε σχέση με τον αριθμό των πελατών

ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΤΑΘΜΩΝ / ΠΕΛΑΤΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΙΘΑΝΩΝ ΔΙΑΔΡΟΜΩΝ
5	120
10	3.628.800
15	1.307.674.368.000
20	2.432.902,008.176.640.000
30	2.65e+32
40	8.16e+47

(Πηγή: Michael Rice: “Computational Intelligence Algorithms for Optimized Vehicle Routing”)

Αξίζει να αναφερθεί ότι το πρόβλημα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την μεταφορά επιβατών που βρίσκονται σε διαφορετικά μέρη από μια εταιρία που διαθέτει μεταφορικά μέσα (π.χ. μια αεροπορική εταιρία), οπότε στην περίπτωση αυτή η επίλυση του προβλήματος δίνει το καλύτερο δρομολόγιο που θα πρέπει να χρησιμοποιείται. Γενικότερα η επίλυση του προβλήματος αυτού βρίσκει εφαρμογές σε θέματα συγκοινωνιών, διανομής αγαθών αλλά και προγραμματισμού παραγωγής σε βιομηχανίες.

Όπως προαναφέρθηκε οι παραλλαγές του προβλήματος είναι πολλές. Οι συνηθέστερες από αυτές περιλαμβάνουν περιπτώσεις όπου κάθε παραγγελία γίνεται υπό μια συγκεκριμένη χρονική προθεσμία παράδοσης, περιπτώσεις όπου οι σταθμοί διανομής είναι περισσότεροι από έναν. Όσον αφορά τους σταθμούς διανομής ανάλογα με την περίπτωση αυτοί μπορεί να λειτουργούν είτε σε συνεργασία είτε ανταγωνιστικά όπου ο καθένας ασχολείται με την καλύτερη εξυπηρέτηση της περιοχής του δικτύου που του αντιστοιχεί, αδιαφορώντας για τις ενέργειες των άλλων. Σε άλλες παραλλαγές ο χρόνος παράδοσης του φορτίου μπορεί να μην συνυπολογίζεται στο χρόνο που κάνει το όχημα διανομής μέχρι να φτάσει στον πελάτη. Σε άλλες παραλλαγές τα οχήματα που χρησιμοποιούνται έχουν διαφορετικές χωρητικότητες ενώ σε άλλες περιπτώσεις κάθε

όχημα μπορεί να μεταφέρει ένα μόνο συγκεκριμένο είδος φορτίου. Σε πιο εξελιγμένες παραλλαγές πολλά από τα στοιχεία του προβλήματος είναι στοχαστικά (π.χ. η ζήτηση των πελατών) ενώ και ο χρόνος της διαδρομής συχνά θεωρείται ότι μεταβάλλεται ανάλογα με τη χρονική στιγμή που διανύεται η διαδρομή λόγω της κίνησης. Συχνά όταν μια παραγγελία δεν ικανοποιείται εγκαίρως υπάρχει περίπτωση να υπάρχει κάποια ποινή σε μονάδες κόστους για την εταιρία. Αυτό έχει σαν φυσικό ανάλογο το γεγονός ότι η εταιρία διανομής μπορεί να μην προλάβει να ικανοποιήσει κάποιες παραγγελίες οπότε και ζημιώνεται.(Rice, 2004) Όλες αυτές οι παραλλαγές καθώς και οι συνδυασμοί τους αποτελούν τις διάφορες άλλες μορφές που μπορεί να έχει το κύριο πρόβλημα το οποίο αποτελεί παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου που αναπτύσσεται σε αυτή την εργασία.

Είναι προφανές ότι η χρήση ευφύων πρακτόρων ενδείκνυται για την επίλυση αυτού του είδους προβλημάτων . Όπως θα δούμε και παρακάτω, στις μεθόδους που χρησιμοποιούν ευφυείς πράκτορες για την επίλυση του προβλήματος, οι πράκτορες μπορούν να αναλάβουν τον ρόλο των οχημάτων ή του υπεύθυνου διανομής. Οι εργασίες που αναλαμβάνουν οι πράκτορες είναι βέβαια η ικανοποίηση των παραγγελιών. Το ζητούμενο είναι να βρεθεί ποια οχήματα-πράκτορες θα εκτελέσουν την κάθε παραγγελία έτσι ώστε ο χρόνος εξυπηρέτησης να είναι εντός των χρονικών προθεσμιών ενώ και το κόστος να είναι το λιγότερο δυνατό. Ο τρόπος με τον οποίο θα γίνει η επίλυση του προβλήματος ποικίλλει. Π.χ. οι πράκτορες θα μπορούσαν να διαπραγματεύονται μεταξύ τους για την ανάληψη των παραγγελιών ή ένας κεντρικός πράκτορας να αναθέτει τις εργασίες στους υπόλοιπους με βάση κάποιο συγκεκριμένο σκεπτικό **Έτσι το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων αποτελεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα προβλήματος ανάθεσης εργασιών σε πράκτορες**. Πριν όμως προχωρήσουμε στην παρουσίαση της προτεινόμενης μεθοδολογίας για την ανάθεση των καθηκόντων σε πράκτορες κρίνουμε σκόπιμο να παρουσιάσουμε μεθοδολογίες που επιλύουν το VRP τόσο με τη χρήση ευφύων πρακτόρων όσο και με άλλα μέσα.

3-2. ΤΑ ΕΙΔΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Τα περισσότερα VRP στηρίζονται σε μεθόδους επίλυσης **του προβλήματος του περιπλανώμενου πωλητή** αφού η λύση του προβλήματος του περιπλανώμενου πωλητή δίνει την συντομότερη και αποδοτικότερη διαδρομή που μπορεί να ακολουθήσει ένα όχημα για δεδομένο αριθμό κόμβων. Υπάρχουν 3 κύριες μεθοδολογίες για την επίλυση του VRP. (<http://osiris.tuwien.ac.at/~wgarn/VehicleRouting/neo/algorithms/Algorithms.html>) Η πρώτη περιλαμβάνει τον υπολογισμό κάθε πιθανής λύσης με αποτέλεσμα να έχει μεγάλο υπολογιστικό φόρτο. Η μεθοδολογία αυτή είναι η λεγόμενη **ακριβής προσέγγιση**. Γενικότερα όμως, λόγω του μεγάλου υπολογιστικού φόρτου που απαιτείται για την επίλυση του προβλήματος VRP, οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την επίλυση του, προέρχονται συνήθως από τα άλλα 2 είδη δημοφιλών μεθοδολογιών επίλυσης του VRP. Αυτές οι μεθοδολογίες ονομάζονται **ευρετικές** (όπου γίνεται δηλαδή περιορισμένη αναζήτηση στο χώρο πιθανών λύσεων) και **μετά-ευρετικές** (η αναζήτηση γίνεται στις πιο πιθανές περιοχές εύρεσης λύσης του χώρου αναζήτησης και τα αποτελέσματα των μεθόδων αυτών είναι συνήθως καλύτερα από αυτά των ευρετικών μεθόδων).

Οι γνωστότερες μέθοδοι ακριβής προσέγγισης είναι ο αλγόριθμος **branch and bound** του Fischer (1981) και ο αλγόριθμος **branch and cut**. Οι ευρετικές μέθοδοι χωρίζονται στις **κατασκευαστικές** μεθόδους, στις οποίες φτιάχνεται σταδιακά μια πιθανή λύση αλλά δεν περιλαμβάνουν μια καθ'αυτού φάση βελτίωσης και στους **αλγορίθμους 2 φάσεων**, οι οποίοι αποτελούνται από μια φάση τοποθέτησης των διανυσμάτων σε πιθανές λύσεις και μια φάση κατασκευής του κανονικού δρομολόγιου. Στις κατασκευαστικές μεθόδους περιλαμβάνονται οι μέθοδοι: savings (Clarke and Wright, 1964), η μέθοδος των Thompson και Psaraftis (1993), η μέθοδος του Van breedam (1994), και η μέθοδος των Kinderwater and Savelsbergh (1997). Στους αλγορίθμους 2 φάσεων συμπεριλαμβάνονται 2 ομάδες μεθοδολογιών ανάλογα με το ποια φάση γίνεται πρώτη. Γνωστοί αλγόριθμοι είναι αυτοί των Fisher and Jaikumar (1981), The Petal Algorithm (Foster and Ryan, 1976), και The Sweep Algorithm (Gillet and Miller 1974).

Στις μετά-ευρετικές μεθόδους περιλαμβάνονται οι γενετικοί αλγόριθμοι, οι αλγόριθμοι μυρμηγκιών, οι αλγόριθμοι προγραμματισμού περιορισμών, οι αλγόριθμοι simulated annealing, ο αλγόριθμος tabu search, αλγόριθμος Granular Tabu, η διαδικασία προσαρμοζόμενης μνήμης και ο αλγόριθμος των Kelly and Xu (1999).

Οι περισσότερες από τις παραπάνω μεθόδους περιλαμβάνουν και την **χρήση ευφύων πρακτόρων**. Γενικότερα η χρήση των ευφύων πρακτόρων σε τέτοιου είδους προβλήματα έχει πολλά πλεονεκτήματα. Το πρώτο από αυτά είναι το ότι λόγω της πολυπλοκότητας των δικτύων είναι καλύτερα να επιλύεται το πρόβλημα από επιμέρους πράκτορες παρά να γίνεται προσπάθεια απευθείας επίλυσης του ή οποία απαιτεί μεγαλύτερο υπολογιστικό κόστος. Το δεύτερο πλεονέκτημα είναι ότι η τακτική της κατανομής του προβλήματος στους πράκτορες είναι εύκολο να επιτευχθεί αφού είναι γεγονός ότι σε ένα σύστημα μπορεί να προστεθεί καινούργιο λογισμικό χωρίς να υπάρχει ανησυχία για το πως θα επιδράσει στο υπόλοιπο σύστημα. Έτσι κάθε πράκτορας απλά προσπαθεί να επιτύχει τα δικά του συμφέροντα χωρίς να επηρεάζεται από το υπόλοιπο σύστημα. Το μειονέκτημα της χρήσης ευφύων πρακτόρων για τέτοια προβλήματα έγκειται ακριβώς στο ότι λόγω της «εγωιστικής» αυτής συμπεριφοράς του κάθε πράκτορα είναι δύσκολο να επιτευχθεί η βέλτιστη δυνατή λύση για ολόκληρο το σύστημα-δίκτυο.

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί επίσης ότι σε πολλές περιπτώσεις το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων μπορεί να θεωρηθεί ως ένα πρόβλημα ανάθεσης καθηκόντων σε πράκτορες με αποτέλεσμα οι μεθοδολογίες επίλυσης ενός VRP να μπορούν εύκολα να μετασχηματιστούν σε μεθοδολογίες επίλυσης προβλημάτων με ανάθεση καθηκόντων σε πράκτορες. Έτσι οι περισσότερες από τις παρακάτω μεθόδους και ειδικότερα αυτές που χρησιμοποιούν και ευφυείς πράκτορες μπορούν να θεωρηθούν ως μέθοδοι επίλυσης προβλημάτων ανάθεσης καθηκόντων σε πράκτορες. Στη συνέχεια δίνονται αντιπροσωπευτικά παραδείγματα μεθόδων από την κάθε κατηγορία.

3-3. ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Περιπλανώμενος πωλητής και η μέθοδος των κ κόμβων

Το πιο γνωστό VRP ονομάζεται πρόβλημα του περιπλανώμενου πωλητή. Η διατύπωση του βασικού προβλήματος του περιπλανώμενου πωλητή είναι η εξής (Kocjan,2001): «Δεδομένου ενός δικτύου με πεπερασμένο αριθμό κόμβων βρείτε μια διαδρομή με το μικρότερο μήκος όπου ως διαδρομή ορίζεται το να περάσει κανείς από τους κόμβους του δικτύου σε μια κλειστή πορεία και μόνο μια φορά από τον καθένα.»

Για την επίλυση του προβλήματος του περιπλανώμενου πωλητή ο Kocjan (2001), προτείνει τη μέθοδο των κ κόμβων. Στη μέθοδο αυτή γίνεται αντικατάσταση κ κόμβων μιας διαδρομής με άλλους κ κόμβους. Η διαδρομή ονομάζεται κ βέλτιστη όταν δεν είναι δυνατό να έχουμε μια διαδρομή μικρότερου μήκους με αντικατάσταση των κ κόμβων που ανήκουν σε αυτή. Οι συνηθέστεροι αριθμοί κόμβων που αντικαθίστανται είναι το 2 ή το 3.

Σε VRP με χρονικές προθεσμίες και κόστη διαδρομών η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται με βασικό κανόνα ότι αν το άθροισμα των κοστών των αποστάσεων του κάθε κόμβου που αντικαθίσταται από αυτόν που τον αντικαθιστά είναι μεγαλύτερο από το άθροισμα των κοστών των αποστάσεων μεταξύ των 2 παλιών και των 2 νέων κόμβων τότε η αντικατάσταση των 2 παλιών κόμβων μειώνει το κόστος. Πιο απλά εάν:

$$c_{i,i+1}+c_{j,j+1}>c_{i,j}+c_{i+1,j+1}$$

τότε έχουμε μείωση του κόστους. (Συμβολισμοί: c_{ij} κόστος απόστασης παλιών κόμβων, $i+1,j+1$ νέοι κόμβοι). Έτσι με βάση τον παραπάνω κανόνα μπορεί να εξεταστεί αν ικανοποιούνται οι δυο βασικοί στόχοι του προβλήματος αυτού δηλαδή αν μειώνεται ο χρόνος της διαδρομής από έναν κόμβο σε άλλο ή αν ολοκληρώνεται πιο σύντομα ολόκληρη η διαδρομή.

Πιο αναλυτικά η χρήση της μεθόδου των κ κόμβων στο πρόβλημα του περιπλανώμενου πωλητή με χρονικές προθεσμίες γίνεται ως εξής: Οι βασικές προϋποθέσεις για να είναι μια προτεινόμενη διαδρομή δυνατή αλλά και κερδοφόρα είναι να ελαχιστοποιείται τόσο ο συνολικός χρόνος κίνησης όσο και ο χρόνος εκτέλεσης της διαδρομής. Η ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου κίνησης εκφράζεται ως εξής:

$$\min \left\{ \sum_{i=1}^{N-1} t_{i,i+1} + t_{N,1} \right\}. \text{ Όπου } t_{i,i+1} \text{ ο χρόνος διαδρομής μεταξύ δύο σταθμών και } t_{N,1}$$

ο χρόνος της τελικής διαδρομής από την στάση N στην κορυφή από όπου ξεκινά νέα διαδρομή.

Έτσι η χρήση της μεθόδου των κ κόμβων μπορεί να είναι εφικτή μόνο εάν

$$t_{i,j} + t_{i+1,j+1} < t_{i,i+1} + t_{j,j+1}$$

Δηλαδή εάν μειωθεί ο χρόνος μιας διαδρομής και αν μια νέα διαδρομή είναι εφικτή. Το αν είναι εφικτή μια νέα διαδρομή εξετάζεται ως εξής: έστω $i < j < k$ οι στάσεις μιας διαδρομής D_i ο αργότερος δυνατός χρόνος αναχώρησης στο i , W_i ο χρόνος αναμονής i , $t_{i,j}$ μεταξύ των i και j και l_i ο νωρίτερος χρόνος αναχώρησης στο i . Τότε η νέα διαδρομή θα είναι εφικτή εάν:

$$i < k \leq j : D_k^{new} = D_i + t_{i,j} + \sum_{p=k+1}^j (W_p^{new} + t_{p-1,p}) \leq l_k$$

$$j < k \leq N : D_k^{new} = D_i + t_{i,j} + \sum_{p=i+2}^j (W_p^{new} + t_{p-1,p}) + W_{i+1}^{new} + t_{i+1,j+1} + \sum_{p=j+1}^{k-1} (W_p^{new} + t_{p,p+1}) \leq l_k$$

Η πρώτη από τις 2 εξισώσεις αναφέρει ότι ο νέος χρόνος αναχώρησης στο k , ο οποίος ισούται με το χρόνο αναχώρησης στο i συν τους χρόνους αναμονής ανάμεσα στα i και j συν τους χρόνους που απαιτείται για να διανυθούν οι διαδρομές ανάμεσά τους πρέπει να είναι μικρότερος ή ίσως με τον νωρίτερα χρόνο αναχώρησης στο k . Η δεύτερη εξίσωση είναι αντίστοιχη της πρώτης για την μέθοδο των κ κόμβων.

Η ελαχιστοποίηση του χρόνου ολοκλήρωσης της διαδρομής που είναι η δεύτερη βασική προϋπόθεση που πρέπει να εκφράσουμε ορίζεται με την παρακάτω ελαχιστοποίηση:

$$\min D_N + t_{N,1}$$

που σημαίνει ελαχιστοποίηση του χρόνου από την τελευταία στάση μέχρι την στάση από την οποία ξεκινάει μια νέα διαδρομή. Η προϋπόθεση αυτή απαιτεί να ελαχιστοποιηθεί και ο χρόνος άφιξης στο $j+1$.

$$A_{i+1}^{new} < A_{j+1}$$

Θα πρέπει επίσης :

$$j+1 \leq k \leq N : D_k > e_k$$

όπου e_k η νωρίτερη προθεσμία στην οποία πρέπει να εξυπηρετηθεί ο πελάτης στον σταθμό κ.

Ο τελευταίος περιορισμός δείχνει ότι πρέπει να είναι αδύνατη και η αντίστροφη πορεία της διαδρομής :

$$j < k \leq j : D_i + t_{i,j} + \sum_{p=k+1}^j (W_p^{new} + t_{p-1,p}) \leq l_k$$

3-4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΚΡΙΒΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Η μέθοδος κλάδου – κόμβου (Branch and bound)

Η μέθοδος αυτή παρουσιάστηκε από τον Fischer το 1994. Δεν είναι ευρετική ούτε μετά-ευρετική λύση αλλά εξετάζει όλες τις πιθανές λύσεις του προβλήματος. Για το λόγο αυτό δεν συνίσταται για προβλήματα με περισσότερους από 100 κόμβους.

Για να επιλύσει το πρόβλημα, η μέθοδος κλάδου-κόμβου διαιρεί το πρόβλημα σε υπό-προβλήματα και βρίσκει την καλύτερη λύση για το καθένα από αυτά. Στη συνέχεια συνδέοντας τα προβλήματα βρίσκουμε στο χώρο λύσεων S , λύσεις που δεν είναι αποδεκτές. Όταν η λύση που θα βρεθεί ανήκει στο S ή έχει ίδιο κόστος με μια που ανήκει στο S τότε η λύση αυτή είναι η βέλτιστη για ολόκληρο το δίκτυο.

Στη συνέχεια χωρίζουμε το χώρο πιθανών λύσεων S σε n υποσύνολα. Τα οποία ονομάζονται και «παιδιά του S » και τα τοποθετούμε στη σειρά υπό-προβλημάτων που αναμένεται να επιλυθούν. Η διαδικασία αυτή λέγεται **διακλάδωση** (Branching) Αν τώρα η νέα λύση είναι καλύτερη από την προηγούμενη τότε αυτή είναι η νέα βέλτιστη λύση του προβλήματος και συνεχίζουμε την επίλυση. Αν δεν υπάρχει λύση για το συγκεκριμένο υπό-πρόβλημα το απορρίπτουμε και συνεχίζουμε. Αν το κατώτερο όριο ορισμού ενός υπό-προβλήματος είναι ανώτερο από το άνω όριο ορισμού του συνολικού προβλήματος τότε πάλι απορρίπτουμε το υπό-πρόβλημα. Σε περίπτωση που δε γίνεται να απορρίψουμε ένα υπό-πρόβλημα τότε το διακλαδίζουμε σε μικρότερα που πρέπει επίσης να επιλυθούν.

Όταν λυθούν όλα τα υπό-προβλήματα τότε θα έχουμε βρει και την τελική βέλτιστη λύση του προβλήματος.

Με τη μέθοδο αυτή έχουν μέχρι στιγμής επιλυθεί και προβλήματα με 71 πελάτες. Παρόλα αυτά υπάρχουν και προβλήματα με μικρότερο αριθμό πελατών που δεν κατέστη δυνατό χρησιμοποιώντας αυτή τη μέθοδο.

3-5. ΕΥΡΕΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Ο ευρετικός αλγόριθμος των Clarke –Wright

Η πιο γνωστή ευρετική μέθοδος για την επίλυση προβλημάτων VRP είναι ο αλγόριθμος των Clarke-Wright (1964). Ο αλγόριθμος αυτός ξεκινάει υποθέτοντας ότι κάθε όχημα μπορεί να εξυπηρετήσει έναν μόνο πελάτη. Έτσι αρχικά ο αριθμός των οχημάτων είναι ίσος με τον αριθμό των πελατών. Στη συνέχεια υπολογίζεται η εξοικονόμηση απόστασης που θα υπάρξει αν με ένα όχημα εξυπηρετηθούν 2 πελάτες i και j . Ο τύπος που δίνει την απόσταση που εξοικονομείται είναι $s_{ij} = d_{oi} + d_{oj} - d_{ij}$ με d_{oi} την απόσταση του πελάτη i από την αρχική αποθήκη και d_{ij} την απόσταση μεταξύ των 2 πελατών. Κάθε ζεύγος πελατών που δίνει την μεγαλύτερη εξοικονόμηση από τα αλλά ενώνεται και έτσι τα οχήματα μειώνονται κάθε φορά κατά ένα και η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να μην μπορεί να ξαναγίνει περαιτέρω ένωση 2 πελατών. Ο αλγόριθμος αυτός βλέπει το πρόβλημα από το κέντρο του και δεν το επιλύει σε τμήματα όπως κάνουν οι περισσότερες τεχνικές επίλυσης που χρησιμοποιούν ευφυείς πράκτορες.

Οι αλγόριθμοι sweep και petal

Μια γνωστή ευρετική μέθοδος για την επίλυση του προβλήματος VRP είναι ο αλγόριθμος sweep (Foster et Al 1976). Ο αλγόριθμος sweep αποτελείται από 2 φάσεις. Στην πρώτη φάση γίνεται ομαδοποίηση των κόμβων-κορυφών του δικτύου σε πιθανά δρομολόγια. Οι ομάδες αυτές βρίσκονται σε ένα νοητό κύκλο γύρω από την αφετηρία του

οχήματος διανομής. Στη δεύτερη φάση για κάθε ομάδα κορυφών βρίσκουμε το δρομολόγιο με τη μέθοδο του περιπλανώμενου πωλητή.

Πολλές βελτιώσεις της παραπάνω μεθόδου περιλαμβάνουν μια φάση μετά-βελτιστοποίησης. Σε μια δημοφιλή παραλλαγή ορίζεται ότι κάθε κορυφή I αντιπροσωπεύεται από τις πολικές της συντεταγμένες (θ_i, ρ_i) όπου θ η γωνία και ρ το μήκος της ακτίνας του νοητού κύκλου. Στη συνέχεια για κάθε όχημα k που έχει μείνει αχρησιμοποίητο ξεκινάμε να αναθέτουμε προορισμούς –κορυφές που δεν έχουν ακόμα δρομολογηθεί με πρώτη αυτή που έχει τη μικρότερη γωνία ρ . Συνεχίζουμε να αναθέτουμε προορισμούς-κορυφές σε κάθε όχημα μέχρι να ικανοποιηθεί η χωρητικότητα του αλλά και να μην ξεπεραστεί το μέγιστο μήκος του δρομολόγιου. Στο τρίτο και τελευταίο βήμα λύνουμε το πρόβλημα του περιπλανώμενου πωλητή για κάθε όχημα χωριστά.

Μια γνωστή επέκταση του αλγόριθμου sweep είναι ο αλγόριθμος petal (Fisher et Al, 1981). Στον αλγόριθμο αυτό παράγονται διάφορα δρομολόγια που ονομάζονται πέταλα (από κει παίρνει και το όνομά του ο αλγόριθμος). Στη συνέχεια επιλύεται ένα έτοιμο πρόβλημα διαχωρισμού που έχει την παρακάτω μορφή.

$$\text{Min } \sum_{k \in S} d_k x_k$$

Με περιορισμούς :

$$\sum_{k \in S} a_{ik} x_k = 1 \quad (i = 1, \dots, n)$$

$$x_k = 0 \text{ ή } 1 \quad (k \in S)$$

Όπου S το σύνολο των δρομολόγιων, $x_k = 1$ αν το δρομολόγιο k ανήκει στη λύση a_{ik} , μια δυαδική παράμετρος, που είναι ίση με 1 αν η κορυφή I ανήκει στο δρομολόγιο k και d_k το κόστος του δρομολόγιου k .

3-6. ΜΕΤΑ-ΕΥΡΕΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Γενετικοί αλγόριθμοι

Για την επίλυση VRP χρησιμοποιούνται συχνά ευρετικές μέθοδοι σε συνδυασμό με γενετικούς αλγόριθμους. Οι γενετικοί αλγόριθμοι είναι μετά-ευρετικές μέθοδοι που στηρίζονται στην χρήση υπολογιστικών τεχνικών με βάση έννοιες δανεισμένες από τη βιολογία όπως η φυσική επιλογή, η μετάλλαξη και η αναπαραγωγή. Ένας γενετικός αλγόριθμος αποτελείται από 6 βήματα. Στο πρώτο έχουμε τη δημιουργία ενός πληθυσμού πιθανών λύσεων. Στο δεύτερο βήμα ελέγχουμε την επίδοση της κάθε λύσης στην αντικειμενική συνάρτηση αξίας (η οποία πρέπει είτε να μεγιστοποιηθεί είτε να ελαχιστοποιηθεί ανάλογα με το είδος του προβλήματος). Στο τρίτο βήμα επιλέγουμε τις καλύτερες λύσεις για να παράγουμε μια νέα βελτιωμένη ομάδα λύσεων εξασφαλίζοντας έτσι ότι μόνο οι καλύτερες λύσεις θα συμμετάσχουν στη διαδικασία. Στο τέταρτο βήμα δημιουργούμε νέες λύσεις οι οποίες διατηρούν τα χαρακτηριστικά των βέλτιστων λύσεων από τις οποίες και προήλθαν. Στο πέμπτο βήμα «μεταλλάσσουμε» τις λύσεις με σκοπό να διεκδικούμε το χώρο έρευνας μας. Στο έκτο βήμα ελέγχουμε το κατά πόσο οι λύσεις ταιριάζουν με την αντικειμενική συνάρτηση οπότε αν έχουμε φτάσει στο επιθυμητό σημείο σταματάμε αλλιώς επαναλαμβάνουμε από το βήμα 3. (<http://cs.felk.cvut.cz/~xobitko/ga/>)

Ο τρόπος λειτουργίας ενός γενετικού αλγόριθμου είναι ο εξής: Στους γενετικούς αλγόριθμους οι λύσεις (χρωμοσώματα) αναπαρίστανται συνήθως με το δυαδικό σύστημα. Ένα σημαντικό θέμα στη μέθοδο του γενετικού αλγόριθμου είναι το πρόβλημα της επιλογής, δηλαδή το με ποιο τρόπο θα επιλεγθούν οι αρχικές λύσεις από τις οποίες με διασταύρωση και μετάλλαξη θα προκύψουν οι βέλτιστες. Ένας τρόπος με τον οποίο μπορεί να γίνει αυτό είναι ανάλογα με το βαθμό καταλληλότητας της κάθε μεταβλητής για το πρόβλημα. Ουσιαστικά επιλέγεται τυχαία μια περιοχή μεταβλητών με κάποιο όριο καταλληλότητας οπότε όλες οι εναλλακτικές που βρίσκονται μέσα στο επιθυμητό όριο επιλέγονται αυτόματα ως αρχικές. Άλλος τρόπος είναι η σύγκριση των μελών μιας ομάδας K τυχαία επιλεγμένων εναλλακτικών μία προς μία μεταξύ τους σε μορφή τουρνουά. Αυτές που υπερτερούν στην σύγκριση επιλέγονται. Βέβαια με τη μέθοδο αυτή δεν επιλέγεται πάντοτε η καλύτερη λύση από το σύνολο.

Αφού επιλεγθούν οι λύσεις στη συνέχεια γίνεται η αναπαραγωγή τους που οδηγεί σε νέες καλύτερες λύσεις που διατηρούν χαρακτηριστικά γνώρισμα των προηγούμενων. Η αναπαραγωγή αναπαρίσταται ως η ανταλλαγή ενός ή 2 δυαδικών ψηφίων μεταξύ των αναπαραστάσεων των λύσεων που χαρακτηρίζονται ως «γονείς» (πρόκειται για 2 αρχικά επιλεγμένες λύσεις) Η ανταλλαγή των ψηφίων γίνεται με τον παρακάτω μηχανισμό:

Λύσεις-Γονείς

```

010010
110111

```

Λύσεις που προκύπτουν (απόγονοι)

```

010110
110011

```

Στη συνέχεια με βάση κάποια πιθανότητα μπορούν να συμβούν μεταλλάξεις στις λύσεις-απογόνους οι οποίες αναπαρίστανται με την αλλαγή ενός από τα δυαδικά τους ψηφία. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται υψηλή διαφοροποίηση στο χώρο των πιθανών λύσεων. Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να βρεθεί μια ικανοποιητική λύση.

Αλγόριθμοι συστήματος μυρμηγκιών

Για την επίλυση του VRP συχνά χρησιμοποιούνται οι αλγόριθμοι συστήματος μυρμηγκιών οι οποίοι προσομοιώνουν το πρόβλημα με την εύρεση της καλύτερης διαδρομής μεταξύ δύο ή περισσότερων μυρμηγκοφωλιών.

Οι Bullnheimer et Al, παρουσίασαν το 1997 ένα αντιπροσωπευτικό αλγόριθμο τέτοιου είδους που επικεντρώνεται σε 2 βασικά στοιχεία: Την κατασκευή των δρομολόγιων και την ανανέωση τους. (<http://neo.lcc.uma.es/radi-aeb/WebVRP/>) Ο αλγόριθμος ξεκινά με την υπόθεση ότι οι αριθμοί των μυρμηγκιών-οχημάτων σε κάθε μυρμηγκοφωλιά πρέπει να είναι ίσοι. Στη συνέχεια σε κάθε επανάληψη χρησιμοποιείται μια ευρετική μέθοδος , **η μέθοδος των 2 επιλογών (2 opt heuristic)**, η οποία είναι μια εξαντλητική μέθοδος που εξετάζει μία-μία όλες τις δυνατές μεταθέσεις από τη μια μυρμηγκοφωλιά στην άλλη. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για να γίνουν πιο σύντομα τα δρομολόγια των μυρμηγκιών. Στην αρχή κάθε επανάληψης για κάθε τοποθεσία v_i ορίζουμε και μια λίστα υποψηφίων πελατών η οποία εξαρτάται από την απόσταση τους από το συγκεκριμένο σημείο.

Στη συνέχεια τα μυρμήγκια που επισκέπτονται κάθε τοποθεσία κατασκευάζουν τα δικά τους δρομολόγια, επιλέγοντας ποιες τοποθεσίες πρέπει να επισκεφτούν μέχρι να

έχουν επισκεφτεί όλες τις τοποθεσίες. Για την επιλογή μιας τοποθεσίας από την οποία δεν έχουν περάσει ακόμα υπάρχουν δύο κριτήρια : Το πόσο καλή είναι αυτή η επιλογή, και το πόσο υποσχόμενη είναι , το δεύτερο κριτήριο ονομάζεται και ορατότητα της λύσης.

Το πρώτο κριτήριο για τη διαδρομή μεταξύ δυο τοποθεσιών συμβολίζεται ως t_{ij} ενώ το δεύτερο ως n_{ij} . Έτσι η πιθανότητα επιλογής της τοποθεσίας που θα επισκεφτούμε αμέσως μετά ισούται με $\sum [(t_i)^a [n_{ij}]^b) / (h \in \Omega [t_{ih}]^a [n_{ih}]^b)$

Όπου Ω ο δειγματικός χώρος των τοποθεσιών που είναι υποψήφιος για επίσκεψη.

Ενώ τα α, β είναι οι παράμετροι που καθορίζουν τη σχετική επιρροή των 2 κριτηρίων t_{ij} και n_{ij} .

Αλγόριθμος μυρμηγκιών ABC

Οι Kroon, and Rothkrantz (2003) χρησιμοποιούν τον αλγόριθμο μυρμηγκιών ABC (Ant Based Control) για την επίλυση προβλημάτων κυκλοφορίας σε ένα δίκτυο. Ο αλγόριθμος προσπαθεί να βρει την καλύτερη διαδρομή για κάθε όχημα σε ένα δίκτυο κυκλοφορίας. Κάθε όχημα θεωρείται ότι έχει ένα σύστημα GPS (Global Positioning System – σύστημα εντοπισμού) στο οποίο ο οδηγός εισάγει τη διεύθυνση στην οποία θέλει να πάει. Το σύστημα αυτό εκτός από την εύρεση της καλύτερης διαδρομής ενημερώνει το σύστημα δρομολόγησης και για το ποια είναι η τρέχουσα θέση του οχήματος.

Η λειτουργία του συστήματος είναι ως εξής: Όπως όταν τα μυρμήγκια κινούνται στη φύση αφήνουν πίσω του φερεμόνες που περιέχουν πληροφορίες για τη διαδρομή που ακολουθούν έτσι και εδώ το δίκτυο διατρέχεται από κινητούς πράκτορες οι οποίοι κινούμενοι από κόμβο σε κόμβο μεταβιβάζουν πληροφορίες για την κίνηση σε κάθε κλάδο του δικτύου με αποτέλεσμα σε κάθε κόμβο να δημιουργείται με βάση αυτές τις παρατηρήσεις ένας πίνακας πιθανοτήτων επιλογής της πιο συμφέρουσας διαδρομής. Κάθε φορά που ένας πράκτορας φτάνει σε έναν κόμβο αποκτά πρόσβαση στα δεδομένα του πίνακα τα οποία αλλάζουν με τον χρόνο και με βάση αυτά επιλέγει την επόμενη διαδρομή που θα ακολουθήσει. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται από κόμβο σε κόμβο μέχρι το όχημα-πράκτορας να φτάσει στον τελικό του προορισμό. Οι πράκτορες-οχήματα στέλνονται σε τυχαίους κόμβους προορισμούς ανά τακτά χρονικά διαστήματα Πρέπει να σημειωθεί ότι οι πίνακες πιθανοτήτων περιέχουν δεδομένα για την καλύτερη διαδρομή σε τοπικό επίπεδο και όχι με βάση ολόκληρο το δίκτυο ενώ κατά την εκκίνηση της μεθόδου οι πιθανότητες επιλογής μιας διαδρομής σε κάθε κόμβο είναι ίσες (θεωρείται ότι έχουν την

ίδια κίνηση) Επίσης τα δυναμικά δεδομένα που απαιτούνται για τη λειτουργία του συστήματος δηλαδή για την καταμέτρηση της κυκλοφορίας σε κάθε κόμβο κάθε στιγμή μπορούν να ληφθούν με την τοποθέτηση σε διάφορα σημεία του δικτύου ειδικών αισθητήρων.

Ο αλγόριθμος ABC που χρησιμοποιείται διατυπώνεται ως εξής:

Σε κανονικά χρονικά διαστήματα από κάθε κόμβο s , ένας προστινός πράκτορας δικτύων προωθείται με έναν τυχαίο προορισμό d : FSD. Αυτός ο πράκτορας έχει μια μνήμη που ενημερώνεται με τις νέες πληροφορίες σε κάθε κόμβο K που επισκέπτεται. Το προσδιοριστικό K του κόμβου που επισκέπτεται και του χρόνου που χρειάστηκε στον πράκτορα προστίθεται στη μνήμη. Αυτό οδηγεί σε έναν κατάλογο κόμβων και αντίστοιχων χρόνων ($K t_k$)-ζευγάρια στη μνήμη του πράκτορα. Σημειώστε ότι ο πράκτορας μπορεί να κινηθεί γρηγορότερα από ότι δείχνουν οι χρόνοι στο χρονοδιάγραμμα.

Κάθε διακινούμενος πράκτορας επιλέγει τη διαδρομή για τον επόμενο κόμβο με βάση τον πίνακα πιθανότητας. Οι πιθανότητες για τους κόμβους που έχει επισκεφτεί ήδη ο ίδιος ο πράκτορας φιλτράρεται εξαιρούνται από τον πίνακα για το συγκεκριμένο πράκτορα. Κατόπιν ένα αντίγραφο των υπόλοιπων πιθανοτήτων γίνεται για αυτό ο πράκτορας και αυτές οι πιθανότητες είναι κανονικοποιημένες στο 1. Μόνο ο εν λόγω πράκτορας χρησιμοποιεί αυτή η προσωρινή διανομή πιθανότητας για να επιλέξει έναν επόμενο κόμβο. Έτσι ο πίνακας πιθανότητας δεν ενημερώνεται ακόμα.

Εάν ένας πράκτορας δεν έχει καμία άλλη επιλογή από το να επιστρέψει σε κόμβο που έχει επισκεφτεί ήδη, ο εμφανιζόμενος κύκλος διαγράφεται από τη μνήμη του πράκτορα.

Όταν ο πράκτορας φτάνει στον κόμβο προορισμού d , ο πράκτορας FSD παράγει ένα αντίστροφο δρομολόγιο B_{ds} . Ο προστινός πράκτορας μεταφέρει όλη τη μνήμη του στον αντίστροφο πράκτορα και καταστρέφεται έπειτα. Ο αντίστροφος πράκτορας ταξιδεύει από τον κόμβο προορισμού στον κόμβο από όπου ξεκίνησε ο προηγούμενος πράκτορας s κατά μήκος δηλαδή της ίδιας πορείας με τον προηγούμενο πράκτορα, αλλά στην αντίθετη κατεύθυνση. Χρησιμοποιεί τη μνήμη του αντί των πινάκων πιθανότητας για να βρει τον δρόμο του.

Η μέθοδος των Leon Rothkrantz, Bogdan Tatomir

Στην μέθοδο αυτή που βασίζεται στον αλγόριθμο μυρμηγκιών επιλύεται το πρόβλημα της κυκλοφορίας οχημάτων σε ένα δίκτυο με την αποστολή δεδομένων για την κίνηση στο δίκτυο από κινητούς πράκτορες. Επιδίωξη του συστήματος αυτού είναι να λαμβάνουν έγκαιρα οι οδηγοί προειδοποιήσεις για προβλήματα στην κυκλοφορία με αποτέλεσμα να ομαλοποιείται η κίνηση. Το πρόγραμμα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τις κατάλληλες τροποποιήσεις και για την επίλυση του κλασικού VRP.

Η μέθοδος ενσωματώνεται στο σύστημα PITA (Personal Intelligent Travelling Assistant) το οποίο χρησιμοποιείται από μια συσκευή που παρέχεται στους οδηγούς ώστε να λαμβάνουν την πληροφόρηση που χρειάζονται ενώ οδηγούν. (Rothkrantz and Tatomir, 2004). Το PITA παρέχει συμβουλές για τις διαδρομές αλλά και για το μέσο συγκοινωνίας που είναι καλύτερο να χρησιμοποιήσει ένας ταξιδιώτης ενώ σημαντικό είναι και το χαρακτηριστικό ότι οι ίδιοι οι ταξιδιώτες μπορούν να παράσχουν πληροφορίες στο σύστημα.

Τα κύρια χαρακτηριστικά του PITA είναι:

Ο βοηθός ταξιδιού. Παρέχει πληροφορίες για το τη διαδρομή που πρέπει να ακολουθήσει ένας ταξιδιώτης οι οποίες συνήθως είναι αποθηκευμένες πριν καν ξεκινήσει η διαδρομή αλλά ανανεώνονται τακτικά με βάση τα δεδομένα της κυκλοφορίας που εισέρχονται στο σύστημα

Ο έξυπνος βοηθός. Κάνει εκτίμηση της διάρκειας της διαδρομής ενώ προτείνει εναλλακτικές διαδρομές σε περίπτωση που αντιληφθεί προβλήματα στην υπάρχουσα διαδρομή. Επίσης στο χρήστη διάφορους τρόπους επικοινωνίας όπως φωνητική, πληκτρολόγηση κ.α.

Ο προσωπικός βοηθός . Αναπαριστά το χρήστη στο υπόλοιπο σύστημα μαθαίνει τις συνήθειες του όσον αφορά τις διαδρομές και προσαρμόζεται σε αυτές.

Πληροφόρηση για καθυστέρηση ανάλογα με τη θέση του χρήστη. Το σύστημα μπορεί να εντοπίσει το χρήστη και να υπολογίσει την καθυστέρηση που υφίσταται.

Βελτιστοποίηση λήψης πληροφορίας. Ανάλογα με τα συστήματα επικοινωνίας που έχει ο χρήστης μεταβιβάζει τις πληροφορίες για τη θέση του χρήστη ώστε να εκτιμηθεί η συντομότερη διαδρομή.

Σχεδιασμός της ροής των ταξιδιωτών. Το σύστημα γνωρίζοντας το που βρίσκεται ο κάθε ταξιδιώτης μπορεί και προβλέπει το πως θα κατανέμεται η κίνηση τους στο δίκτυο.

Η μέθοδος δουλεύει ως εξής. Οι πράκτορες του δικτύου χωρίζονται σε «μπροστά» και «πίσω». Οι μπροστά πράκτορες επιλέγουν τυχαία διαδρομές και τις πραγματοποιούν στέλνοντας δεδομένα στους πίσω πράκτορες που αφορούν την διαδρομή που ολοκλήρωσαν. Οι πίσω πράκτορες επεξεργάζονται τα δεδομένα και βρίσκουν την πιο συμφέρουσα διαδρομή. Κάθε κόμβος του δικτύου υπολογίζει μια αξία η οποία είναι συνάρτηση ενός μέσου μεταφοράς, της τυπικής απόκλισης σ^2 για την καθυστέρηση σε όλους τους υπόλοιπους κόμβους του δικτύου και ένα παράθυρο παρατήρησης W όπου αποθηκεύεται ο τελευταίος καλύτερος χρόνος μεταβίβασης προς τον κόμβο. Ο αλγόριθμος που ακολουθείται είναι ο παρακάτω:

1. Οι κινητοί πράκτορες $F_{s \rightarrow d}$ αναχωρούν από κάθε κόμβο s του δικτύου σε τακτά χρονικά διαστήματα.
2. Όταν ένας πράκτορας φτάνει σε έναν κόμβο απομνημονεύει το χρόνο που έκανε για να φτάσει στο συγκεκριμένο κόμβο και τον αποθηκεύει στη μνήμη.
3. Όταν ο πράκτορας φτάνει σε έναν κόμβο διαλέγει τον επόμενο κόμβο που θα επισκεφτεί σύμφωνα με τις πιθανότητες που ισχύουν P_d για τον κάθε κόμβο.
4. Σε περίπτωση που ένας πράκτορας εκτελέσει έναν κύκλο και επιστρέψει σε αρχικό κόμβο αυτό δεν είναι επιθυμητό από το σύστημα οπότε η μνήμη του πράκτορα για τους κόμβους που ανήκουν στον κύκλο καταστρέφεται.
5. Όταν ο πράκτορας φτάνει στον τελικό του προορισμό d δημιουργείται ένας πράκτορας «πίσω» $B_{s \rightarrow d}$ στον οποίο αποθηκεύεται η μνήμη του πρώτου πράκτορα και ο πρώτος πράκτορας παύει να υφίσταται.
6. Ο πίσω πράκτορας ακολουθεί τη διαδρομή του μπροστά αλλά αντίστροφα χρησιμοποιώντας τη μνήμη του για να δει σε ποιον κόμβο θα πάει κάθε φορά.
7. Ο πίσω πράκτορας ανανεώνει τα δεδομένα δρομολόγησης και τα τοπικά στατιστικά για την κίνηση σε κάθε κόμβο που επισκέπτεται. Οι πιθανότητες για την επιλογή ενός γειτονικού κόμβου ανανεώνονται με μια αξία που εξαρτάται από το χρόνο για την μετάβαση από τον κόμβο στον τελικό προορισμό και το στοχαστικό μοντέλο κυκλοφορίας του κόμβου.
8. Όταν φτάσει στον προορισμό του ο πίσω πράκτορας παύει να υφίσταται.

Ο γενετικός αλγόριθμος των Francisco B. Pereira, Jorge Tavares, Penousal Machado και Ernesto Costa

Οι Pereira, Tavares, Machado και Costa (2002) παρουσιάζουν για την επίλυση του VRP την τεχνική GVR (Genetic Vehicle Representation) που βασίζεται σε γενετικό αλγόριθμο και μπορεί να εφαρμοστεί απευθείας σε προβλήματα VRP αφού είναι ειδικά σχεδιασμένη για τέτοια προβλήματα. Η συγκεκριμένη τεχνική χρησιμοποιείται για τη μορφή VRP που περιλαμβάνει μια κεντρική αποθήκη μόνο με οχήματα και τους πελάτες που πρέπει να εξυπηρετηθούν.

Κάθε «χρωμόσωμα» - λύση της μεθόδου ορίζεται από τις διαδρομές μεταξύ των πελατών που περιλαμβάνει η λύση αυτή π.χ. για δίκτυο με δέκα πελάτες ένα χρωμόσωμα-λύση μπορεί να παρασταθεί ως εξής:

Διαδρομή A : 3 2 7 Διαδρομή B : 4 9 1 10 Διαδρομή Γ: 8 6 5

Η παραπάνω λύση-χρωμόσωμα περιλαμβάνει 3 διαδρομές και απαιτεί 3 οχήματα για την πραγματοποίησή της. Σε περίπτωση που μια λύση περιλαμβάνει διαδρομές που εξαντλούν τη δυνατότητα (χωρητικότητα σε φορτίο ή καύσιμα) ενός οχήματος τότε οι διαδρομές αυτές διασπώνται σε μικρότερες και προστίθενται νέα οχήματα που θα αναλάβουν την εκτέλεση αυτών των νέων διαδρομών που προέκυψαν. Βέβαια όλες αυτές οι αλλαγές γίνονται πριν τον τελικό καθορισμό του χρωμοσώματος-λύσης έτσι ώστε να μην χρειάζεται να διορθώνουμε τη δομή των χρωμοσωμάτων κατά τη διαδικασία της επίλυσης και στην επίλυση να συμμετέχουν χρωμοσώματα που δεν έχουν τέτοια λάθη στις διαδρομές τους.

Στη συνέχεια για N λύσεις-χρωμοσώματα παράγονται N λύσεις-απόγονοι με την επίδραση «γενετικών» χειρισμών. Οι χειρισμοί αυτοί χωρίζονται σε **χειρισμούς διασταύρωσης** οι οποίοι στην ουσία αλλάζουν τη σειρά παραγγελιών σε ένα δρομολόγιο και τον αριθμό των παραγγελιών για κάθε όχημα, και σε **χειρισμούς μετάλλαξης** οι οποίοι αλλάζουν τον αριθμό των οχημάτων σε κάθε λύση προσθέτοντας ή αφαιρώντας δρομολόγια αλλά και αλλάζουν πελάτες από το ένα δρομολόγιο στο άλλο.

Πιο συγκεκριμένα με τον χειρισμό διασταύρωσης μια λύση παίρνει ένα μέρος από ένα δρομολόγιο που ανήκει σε κάποια άλλη και το τοποθετεί στα δικά της δρομολόγια σε

σχέση πάντα με τη γεωγραφική θέση των πελατών. Ο αλγόριθμος της διαδικασίας είναι ο εξής:

- Για κάθε λύση από το επιλεγμένο σύνολο s επανέλαβε:
- Διάλεξε τυχαία μια ακόμα λύση από το ίδιο σύνολο
- Από τα δρομολόγια που περιλαμβάνει η νέα λύση που διαλέχτηκε διάλεξε ένα υπό-δρομολόγιο (a_1, a_2, \dots, a_n)
- Διάλεξε έναν πελάτη C που δεν ανήκει στο υπό-δρομολόγιο και είναι ο πλησιέστερος στον a_1 .
- Τοποθέτησε το υπό-δρομολόγιο στην αρχική λύση έτσι ώστε ο C να είναι πάντα πριν τον a_1
- Από τα δρομολόγια που περιλάμβανε από την αρχή η πρώτη λύση αφαίρεσε όλους τους πελάτες που εμφανίζονται και στο υπό-δρομολόγιο που της προστέθηκε και έτσι προκύπτει η λύση-απόγονος D .

Για καλύτερη κατανόηση παραθέτουμε και το παρακάτω παράδειγμα:

Λύση 1	Λύση 2	Λύση-απόγονος των 1 και 2
Διαδρομές	Διαδρομές	Διαδρομές
1 4	3 2 7	4
2 9 3 8 7	4 9 1 10 → υπό-δρομολόγιο που επιλέχθηκε	2 3 8 7
10	8 6 5	6 9 1 10 5
6 5		

Οι λύσεις-απόγονοι που προέκυψαν μπορεί να υποστούν τους χειρισμούς μετάλλαξης. Υπάρχουν 4 είδη χειρισμών μετάλλαξης:

Ανταλλαγή. Ανταλλάζει τη θέση 2 πελατών που μπορεί να βρίσκονται στο ίδιο ή σε διαφορετικά δρομολόγια

Αντιστροφή. Διαλέγει ένα μέρος ενός δρομολογίου και αντιστρέφει τη σειρά επίσκεψης των πελατών.

Εισαγωγή. Επιλέγει έναν πελάτη και τον εισάγει τυχαία σε άλλο μέρος με πιθανότητα αντιστρόφως ανάλογη του αριθμού των οχημάτων που χρησιμοποιούνται στο δρομολόγιο από το οποίο επιλέγεται ο πελάτης.

Εκτόπιση. Επιλέγει ένα τμήμα από ένα δρομολόγιο και το βάζει σε άλλη θέση στο ίδιο ή σε διαφορετικό δρομολόγιο.

Παρατηρούμε ότι η ανταλλαγή και η μετατόπιση δεν αλλάζουν τον αριθμό δρομολογίων μιας λύσης αντίθετα η μετακίνηση και η εκτόπιση αλλάζουν τον αριθμό των οχημάτων μιας λύσης επομένως και των δρομολογίων της. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι όλοι αυτοί οι γενετικοί χειρισμοί έχουν δεδομένη πιθανότητα να εφαρμοστούν σε μια λύση-απόγονο.

Η μέθοδος προγραμματισμού περιορισμών

Οι Sjoland και Al (2000) χρησιμοποιούν για την επίλυση των VRP τη μέθοδο του προγραμματισμού περιορισμών (constraint programming). Συγκεκριμένα χρησιμοποιούν την μέθοδο αυτή για ένα παράδειγμα προγραμματισμού δρομολογίου εμπορικών τρένων σε καθημερινή χρονική βάση. Τα 2 κύρια προβλήματα που πρέπει να επιλυθούν στο συγκεκριμένο παράδειγμα είναι ο καθορισμός ενός προγράμματος για τα τρένα με καθορισμένη διάρκεια π.χ. περίοδοι όπου τα τρένα θα λειτουργούν με καθημερινά όμως διαλείμματα για ξεκούραση των οδηγών τους και η δυνατότητα προγραμματισμού του κάθε τρένου (ανάλογα με τις εντολές που δέχεται) χωρίς όμως να υπάρχει ένα αυστηρά προκαθορισμένο στατικό γενικό σχέδιο.

Η μέθοδος προγραμματισμού περιορισμών έχει σαν κύρια βάση μια ασαφή ομάδα στοιχείων η οποία ονομάζεται διάστημα περιορισμών. Τα διαστήματα αυτά δίνουν πληροφορίες για κάποια στοιχεία του προβλήματος όπως είναι π.χ. η ώρα αναχώρησης ενός τρένου. Όμως τα στοιχεία αυτά δεν είναι πάντα σαφώς καθορισμένα. Για παράδειγμα υπάρχει διαφορά στο να πει κανείς ότι ένα τρένο θα αναχωρήσει στις 5 και μισή ακριβώς από το να πει ότι το τρένο θα αναχωρήσει μεταξύ των 6 και των 7. Κάθε μια τέτοια ασαφής δήλωση στοιχείων θεωρείται από τη μέθοδο ως ένας υπολογισμός που θα πρέπει να γίνει αργότερα σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα άλλων υπολογισμών. Όσο πιο σαφώς γίνεται η περιγραφή των περιορισμών τόσο πιο εύκολο είναι να φτάσουμε σε μια ολοκληρωμένη λύση του προβλήματος. Κάθε πρόβλημα που επιλύεται με τη μέθοδο προγραμματισμού περιορισμών αποτελείται από 3 βασικά στοιχεία: Ένα πεπερασμένο

σύνολο μεταβλητών, ένα πεδίο τιμών που συνδέεται με κάθε μεταβλητή και περιορισμούς που περιορίζουν τις τιμές που μπορεί να πάρει η κάθε μεταβλητή.

Ένας τρόπος επίλυσης ενός προβλήματος με τη μέθοδο του προγραμματισμού περιορισμών είναι ο **περιορισμός των τιμών** των οποίων μπορεί να πάρει η κάθε μεταβλητή του προβλήματος, το σύνολο των τιμών αυτών για κάθε μεταβλητή ονομάζεται πεδίο της μεταβλητής.

Ο άλλος τρόπος που χρησιμοποιείται για την επίλυση ενός προβλήματος με τη χρήση της μεθόδου προγραμματισμού περιορισμών είναι η **αναζήτηση**. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για την αναζήτηση της ζητούμενης τιμής της μεταβλητής. Μια απλή στρατηγική είναι η επιλογή μιας τυχαίας τιμής της μεταβλητής και ο χαρακτηρισμός της ως μεταβλητή της χαμηλότερης δυνατής αξίας. Μια άλλη στρατηγική προτείνει την εύρεση μεταβλητών που έχουν την μεγαλύτερη πιθανότητα να αποτύχουν. Έτσι μειώνεται το υπολογιστικό κόστος. Το αν μια μεταβλητή έχει υψηλή πιθανότητα να αποτύχει καθορίζεται από το μέγεθος του πεδίου ορισμού της ενώ ένας άλλος τρόπος για να εξεταστεί η πιθανότητα αποτυχίας είναι να ελεγχθεί ποιες μεταβλητές έχουν τα μικρότερα πεδία τιμών και τους περισσότερους περιορισμούς.

Ένας απλός αλγόριθμος για τη μέθοδο προγραμματισμού περιορισμών που λειτουργεί ως στρατηγική αναζήτησης είναι ο ακόλουθος που προτείνεται από τον Kocjan (2001):

1. Επανέλαβε
2. Επέλεξε μια μεταβλητή
3. Επανέλαβε
4. Επέλεξε μια τιμή από το πεδίο τιμών αυτής της μεταβλητής. Εξέτασε αν ικανοποιεί τους περιορισμούς
5. Μέχρι να βρεθεί μια τιμή ή μέχρι να μην υπάρχουν άλλες τιμές που να μπορούν να εισαχθούν
6. Αν βρεθεί τιμή
7. Πήγαινε στο 1
8. Αλλιώς
9. Πήγαινε στην τελευταία μεταβλητή για την οποία δόθηκε τιμή και άλλαξε την τιμή της. Πήγαινε στο 2
10. Τέλος αν
11. Μέχρι να βρεθεί λύση ή να εξαντληθούν όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί

Συχνά η μέθοδος του προγραμματισμού περιορισμών χρησιμοποιείται με την τακτική των πεπερασμένων πεδίων όπου κάθε μεταβλητή του προβλήματος μπορεί να πάρει τιμές από ένα πεπερασμένο σύνολο. Έτσι η μέθοδος προγραμματισμού περιορισμών πλεονεκτεί έναντι παρόμοιων μεθόδων από την επιχειρησιακή έρευνα όπως ο γραμμικός προγραμματισμός, αφού με τον τρόπο αυτό καταφέρνει να δώσει ικανοποιητικές λύσεις ακόμα και όταν οι μεταβλητές αντιπροσωπεύουν μεγέθη με διαφορετική φυσική σημασία ή όταν η χαρακτηριστική συνάρτηση δεν μπορεί να προσδιοριστεί σαφώς.

Η μέθοδος Tabu Search

Η μέθοδος Tabu Search παρουσιάστηκε από τους Glover, και Laguna το 1986. Αποτελεί μια κύρια μετά-ευρετική μέθοδο επίλυσης VRP και έχει πολλές παραλλαγές που βασίζονται σε αυτή. Η εξερεύνηση του χώρου των πιθανών λύσεων γίνεται εδώ αναζητώντας σε κάθε επανάληψη από μια λύση s την καλύτερη λύση στο γειτονικό της χώρο $N(s)$. Επειδή σε αντίθεση με άλλες μεθόδους εδώ μια λύση μπορεί να θεωρηθεί ακατάλληλη από επανάληψη σε επανάληψη με αποτέλεσμα να υπάρχει κίνδυνος ανακύκλωσης στην επίλυση του προβλήματος κάποιες λύσεις που παρουσιάζουν χαρακτηριστικά υπαρχόντων λύσεων θεωρούνται απαγορευμένες (tabu) και προσωρινά

απορρίπτονται. Το χρονικό διάστημα για το οποίο θα παραμείνει απαγορευμένη μια τέτοια λύση ποικίλλει. Όταν παύει να θεωρείται απαγορευμένη μια λύση τότε λέγεται ότι ικανοποίησε το κριτήριο αναρρόφησης. Μια τέτοια περίπτωση συμβαίνει όταν η απαγορευμένη λύση είναι καλύτερη από όλες άλλες έχουν παρουσιαστεί. Αν και η μέθοδος αυτή παρεκκλίνει από την έρευνα ενός προκαθορισμένου μονοπατιού η απόκλιση αυτή και η επιλογή του νέου δεν γίνεται τυχαία. Η λογική της μεθόδου είναι ότι δε γίνεται να δεχτούμε μια νέα λύση αν αυτή δεν αποφεύγει μια διαδρομή που έχει ήδη ερευνηθεί. Έτσι εξασφαλίζεται ότι θα ερευνηθούν κι άλλες περιοχές του χώρου των πιθανών λύσεων και θα αποφευχθούν τα τοπικά ελάχιστα.

Η πρώτη λύση βρίσκεται με μια απλή ευρετική μέθοδο και στη συνέχεια γίνεται η διερεύνηση στο γειτονικό της χώρο. Ένας κοινός αλγόριθμος TS είναι ο εξής:

```

    Αρχική λύση () // S είναι η τρέχουσα λύση
    S = τοπική έρευνα(S) // Βεβαίωσε ότι ξεκινάμε σε τοπικό ελάχιστο
    B = S // B είναι η καλύτερη λύση
Καθώς δεν Περίπτωση διακοπής()κάνε
    κινήσεις = βαθμός κινήσεων(S)
    μετακινήθηκε = λάθος
    καθώς δεν μετακινήθηκε κάνε
        m = κύριες(κινήσεις)
        Αν δεν είναι απαγορευμένη(m) τότε
            Εκτέλεσε(m)
            μετακινήθηκε = αλήθεια
            Εισήγαγε την στην λίστα απαγορευμένων(m)
        Αν O(S) < O(B) then
            B = S
    Επέστρεψε τη B

```

Υπάρχουν 14 γνωστές παραλλαγές που βασίζονται σε αυτή τη μέθοδο.

Η μέθοδος της προσομοιωμένης αποσκλήρυνσης (simulated annealing)

Η μέθοδος της προσομοιωμένης αποσκλήρυνσης ονομάστηκε έτσι γιατί έχει σαν φυσικό αντίστοιχο τη διαδικασία κατά την οποία ένα στερεό θερμαίνεται και κρυσταλλώνει φυσικά ώστε να κρυσταλλωθεί η δομή του. Αποτελεί μια μετά-ευρετική μέθοδο.

(<http://neo.lcc.uma.es/radi-aeb/WebVRP/>)

Η νέα λύση που υπολογίζεται σε κάθε επανάληψη της αναζήτησης της λύσης, γίνεται αποδεκτή εάν $\Delta \leq 0$ όπου $\Delta = f(\chi) - f(x_i)$. (Όπου F η αντικειμενική συνάρτηση) Για να γίνει επιτρεπτό στην αναζήτηση να ξεφύγει από μια βέλτιστη αλλά τοπική λύση επιτρέπονται κινήσεις που αυξάνουν την αντικειμενική συνάρτηση με πιθανότητα $e^{-\Delta/T}$ με $\Delta > 0$ και T μια παράμετρο που ονομάζεται θερμοκρασία.

Συνοπτικά ο τρόπος που δουλεύει ο αλγόριθμος είναι ο εξής: Στην τ επανάληψη της διαδικασίας μια λύση χ επιλέγεται τυχαία στο $N(\chi_i)$. Αν $f(\chi) \leq f(x_i)$ τότε το χ_{i+1} τίθεται ίσο με το χ αλλιώς: $\chi_{i+1} = \chi$ με πιθανότητα p_i , ή $\chi_{i+1} = \chi_i$ με πιθανότητα $1 - p_i$. Όπου p_i είναι συνάρτηση του $f(\chi) - f(x_i)$ και του τ , συνήθως ίση με $e^{-\Delta/T}$.

Η μέθοδος σταματάει όταν η αξία της F για κάποιο χ δεν έχει μειωθεί κατά ένα συγκεκριμένο ποσοστό της αξίας που είχε στην προηγούμενη λύση. Σταματάει όταν ο αριθμός των αποδεκτών κινήσεων είναι λιγότερος από ένα συγκεκριμένο ποσοστό του T που η αριθμητική του αξία είναι ίση με τον αριθμό των επαναλήψεων για το T . Επίσης η μέθοδος σταματάει όταν έχει πραγματοποιηθεί συγκεκριμένος αριθμός επαναλήψεων για το T .

3-7. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΗ ΧΡΗΣΗ ΕΥΦΥΩΝ ΠΡΑΚΤΟΡΩΝ

Χρήση ευφύων πρακτόρων (intelligent agents) με ευρετικές μεθόδους

Οι Krogst et Al (2002), μοντελοποιούν το πρόβλημα με τη χρήση ευφύων πρακτόρων. Σύμφωνα με τη δική τους εκδοχή θεωρείται ότι υπάρχει ένας τακτικός πράκτορας που δίνει τις εντολές των πελατών σε πράκτορες-μεταφορείς που αποτελούν τη δεύτερη βαθμίδα πρακτόρων του προβλήματος. Οι πράκτορες της δεύτερης αυτής βαθμίδας αντιλαμβάνονται την ύπαρξη μόνο των εντολών που τους δίνονται ενώ ο τακτικός πράκτορας είναι υπεύθυνος για τη μετάδοση όλων των εντολών.

Οι εντολές που επεξεργάζεται ο κεντρικός πράκτορας περιλαμβάνουν όλα τα στοιχεία της παραγγελίας του πελάτη δηλαδή την ποσότητα, την χρονική προθεσμία παράδοσης, την ποινή που θα υπάρξει σε περίπτωση μη έγκαιρης παράδοσης και άλλα στοιχεία ανάλογα με το αν περιλαμβάνονται στην εκδοχή του προβλήματος. Κάθε εντολή περιγράφεται με τον παρακάτω τρόπο:

$$O = (f, s, T_s, w_s, d, T_d, w_d, p)$$

Όπου f μια μονάδα προϊόντος που φορτώνεται στο όχημα μεταφοράς, s η τοποθεσία του δικτύου d ο προορισμός όπου πρέπει να δοθεί το φορτίο, T_s η χρονική προθεσμία στην οποία πρέπει να γίνει η φόρτωση του προϊόντος, w_s και w_d οι χρόνοι φόρτωσης και εκφόρτωσης του συγκεκριμένου φορτίου T_d η χρονική προθεσμία παράδοσης του προϊόντος και p η ποινή που θα υπάρξει αν δεν εκπληρωθεί η παραγγελία.

Οι εντολές μεταφέρονται στους πράκτορες με μηνύματα ανάληψης εντολών

Αφού λάβει τις εντολές αυτές ο τακτικός πράκτορας, έχοντας γνώση της δομής του δικτύου διανομής, αποφασίζει σε ποιον πράκτορα-διανομέα θα στείλει την κάθε εντολή. Από την πλευρά τους οι πράκτορες-διανομείς αναμένεται να εκτελέσουν τις εντολές αυτές αλλά και να είναι σε θέση να ενημερώνουν τον τακτικό πράκτορα όταν οι εντολές δεν εκτελούνται με ακρίβεια (π.χ. καθυστερήσεις) ή δεν εκτελούνται καθόλου. Στο συγκεκριμένο μοντέλο οι πράκτορες- διανομείς μπορούν να λαμβάνουν πληροφορίες και για το περιβάλλον τους και να τις χρησιμοποιούν κατάλληλα. Αυτό έχει για παράδειγμα σαν φυσικό ανάλογο την δυνατότητα των οδηγών των οχημάτων να ενημερώνονται για την κίνηση στις διαδρομές από τις οποίες αναμένεται να περάσουν. Το μοντέλο αυτό περιλαμβάνει και την δυνατότητα αλλαγής των εντολών που δίνονται από τον τακτικό πράκτορα στους πράκτορες-διανομείς ανάλογα με τις συνθήκες.

Αναφερόμενοι στον τρόπο λειτουργίας του μοντέλου, ο τακτικός πράκτορας αποθηκεύει ζευγάρια τοποθεσιών φόρτωσης και παράδοσης φορτίου μαζί με τις χρονικές προθεσμίες στις οποίες θα πρέπει να έχει γίνει η κάθε μια από τις παραπάνω διαδικασίες. Κατόπιν υπολογίζεται η μέγιστη παραχώρηση που μπορεί να γίνει στην δεύτερη προθεσμία ώστε να έχουμε ταυτόχρονα εκπληρώσει και τις δύο διαδικασίες εγκαίρως. Για παράδειγμα αν πρέπει ένα όχημα να βρίσκεται στην πρώτη τοποθεσία σε χρόνο 1 και στη δεύτερη σε χρόνο 6 και η απόσταση τους είναι 3, τότε η μέγιστη παραχώρηση που μπορεί να γίνει θα είναι $6 - (1 + 3) = 2$. Η διαφορά αυτή είναι πολύ σημαντική όσον αφορά τον περιορισμό του χρόνου καθώς δείχνει το κατά πόσο εκμεταλλεύεται σωστά ο χρόνος. Όσο πιο μικρός ο μέσος όρος της τιμής του ελεύθερου αυτού περιθωρίου χρόνου μεταξύ

της εκπλήρωσης 2 διαδοχικών εντολών τόσο πιο αποτελεσματικό είναι το σχέδιο της διαχείρισης του δικτύου διανομής.

Χρήση συστημάτων πολλαπλών πρακτόρων (MAS)

Ο Su (2003) προτείνει για την επίλυση των VRP ένα μοντέλο πολλαπλών ευφυών πρακτόρων. Εδώ εκτός από τους πράκτορες διανομείς που είχαμε και στο προηγούμενο παράδειγμα, χρησιμοποιούνται και πράκτορες για την περιγραφή των σταθμών ανεφοδιασμού ενώ χρησιμοποιείται κι ένας πράκτορας που περιγράφει την αλληλεπίδραση με τους πελάτες καθώς και ένας πράκτορας για το σχεδιασμό του δρομολογίου με βάση τις παραγγελίες (scheduling agent).

Το σύστημα αποτελείται από 3 βάσεις δεδομένων που περιλαμβάνουν αντίστοιχα στοιχεία για τους πελάτες, τα οχήματα καθώς και κάποια συμπληρωματικά στοιχεία όπως ο χρόνος εκφόρτωσης, η χωρητικότητα και η τοποθεσία των αποθηκών. Όλοι οι πράκτορες του συστήματος συμβουλευούνται την κοινή αυτή βάση δεδομένων ώστε να πάρουν τις αποφάσεις που χρειάζεται. Έτσι όταν δίνεται μια παραγγελία από κάποιον πελάτη ο πράκτορας σχεδιασμού επικοινωνεί ταυτόχρονα με έναν πράκτορα-όχημα και με έναν πράκτορα αποθήκη οι οποίοι ελέγχουν στοιχεία της βάσης δεδομένων για να δουν αν υπάρχει διαθέσιμο όχημα και οδηγός που να μπορούν να ικανοποιήσουν την παραγγελία. Στη συνέχεια ο πράκτορας-οδηγός διαπραγματεύεται με τον πράκτορα σχεδιασμού για το πότε θα πρέπει ο οδηγός να εκτελέσει τη συγκεκριμένη παραγγελία. Η διαδικασία τελειώνει αφού ικανοποιηθούν όλες οι παραγγελίες. Το σύστημα έχει τη δυνατότητα να δίνει υψηλή προτεραιότητα σε κάποιες παραγγελίες ώστε αυτές να πρέπει να ικανοποιηθούν πρώτα.

Χρήση ευφυών πρακτόρων για την τμηματική λύση του προβλήματος

Οι Thangiah και Shmygelska (2001) προτείνουν για την επίλυση του προβλήματος μια αρχιτεκτονική πρακτόρων η οποία σε αντίθεση με τις προηγούμενες μεθόδους που αναφέραμε δεν βασίζεται σε έναν κεντρικό πράκτορα που δίνει τις εντολές στους υπόλοιπους αλλά στις ενέργειες των πρακτόρων-οδηγών ξεχωριστά.. Συγκεκριμένα το σύστημα αυτό λειτουργεί σαν μια δημοπρασία. Υπάρχει ένας κεντρικός πράκτορας που

μόνο ρόλο έχει τον συντονισμό της δημοπρασίας. Όταν δίνεται μια παραγγελία από έναν πελάτη ο πράκτορας συντονισμού ενημερώνει τους πράκτορες-οδηγούς. Στη συνέχεια ο κάθε πράκτορας οδηγός υπολογίζει την αύξηση στο κόστος του δρομολογίου του που θα έχει η ικανοποίηση της παραγγελίας από αυτόν. Αφού όλοι οι πράκτορες δηλώσουν την επιβάρυνση που θα έχουν επιλέγεται να ικανοποιήσει την παραγγελία ο πράκτορας που θα έχει την μικρότερη επιβάρυνση και η διαδικασία επαναλαμβάνεται και για τις επόμενες παραγγελίες

Κάθε πράκτορας του συστήματος χρησιμοποιεί πέντε διαφορετικές τάξεις: Η τάξη περιβάλλοντος περιέχει όλα τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για την επικοινωνία με άλλους πράκτορες όπως η θέση τους στο δίκτυο διανομής και τα χαρακτηριστικά τους. Η τάξη επικοινωνίας είναι υπεύθυνη για τον τρόπο με τον οποίο επικοινωνούν οι πράκτορες μεταξύ τους. Η τάξη ικανοτήτων δίνει τη δυνατότητα στον πράκτορα να μάθει είτε με προγραμματισμό του είτε από την εμπειρία του στο σύστημα. Η τάξη ταυτότητας δίνει πληροφορίες για τον κάθε πράκτορα όπως ο τύπος του και τα χαρακτηριστικά του έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η μοναδικότητα του κάθε πράκτορα. Η τάξη πελατών δίνει πληροφορίες για τον πελάτη ανάλογα με το είδος του πράκτορα.: Ο συντονιστής πράκτορας βλέπει σε αυτή την τάξη ποιων πελατών οι παραγγελίες δεν έχουν ακόμα ανατεθεί ενώ οι πράκτορες-οδηγοί βλέπουν στην τάξη αυτή ποιες παραγγελίες πρέπει να ικανοποιήσουν.

Οι κύριες λειτουργίες των 2 ειδών πρακτόρων που χρησιμοποιούνται από το σύστημα δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3.2 : Οι λειτουργίες που επιτελούν τα είδη πρακτόρων της μεθόδου των Sam R. Thangiah και Olena Shmygelska

ΣΥΝΤΟΝΙΣΤΙΚΟΣ ΠΡΑΚΤΟΡΑΣ	ΠΡΑΚΤΟΡΑΣ-ΟΔΗΓΟΣ
Διαβάζει τα δεδομένα των πελατών	Δέχεται πληροφορίες πελατών από πράκτορα συντονισμού
Στέλνει πληροφορίες πελατών στους πράκτορες-οδηγούς	Υπολογίζει το κόστος εισαγωγής της παραγγελίας του πελάτη στο δρομολόγιο του
Λαμβάνει τα κόστη που δηλώνουν οι πράκτορες –οδηγοί για κάθε πελάτη	Στέλνει το κόστος στον συντονιστή πράκτορα
Συγκρίνει τα κόστη και αναθέτει τον πελάτη στον πράκτορα-οδηγό που δήλωσε το μικρότερο κόστος	Δέχεται τον πελάτη αν του ανατεθεί
Δίνει τις τελικές διαδρομές για κάθε πράκτορα οδηγό	Δίνει τη λίστα με τους πελάτες που έχει αναλάβει

Η συγκεκριμένη στρατηγική που χρησιμοποιείται για την ανεύρεση στοιχείων από επιμέρους τμήματα ενός δικτύου ονομάζεται Distributed Omni-Search Strategy (DOSS). Ο προγραμματισμός του μοντέλου αυτού έγινε στην γλώσσα προγραμματισμού java ενώ για τον προγραμματισμό των πρακτόρων χρησιμοποιείται η πλατφόρμα voyager.

Η τεχνική των ομάδων πρακτόρων (agent coalition)

Οι Sandholm και Lesser (1995) προτείνουν για την επίλυση του VRP αλλά και άλλων ειδών προβλημάτων μια τεχνική συνεργασίας ευφυών πρακτόρων σε ομάδες. Βασικό πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι ότι με τη συνεργασία και το συντονισμό των ενεργειών τους οι ευφείς πράκτορες λειτουργούν καλύτερα και μειώνουν το κόστος που θα είχε η λειτουργία τους αν λειτουργούσαν μεμονωμένα. Επίσης σε αντίθεση με παρόμοιες τεχνικές για τη συνεργασία ευφυών πρακτόρων, η τεχνική αυτή ειδικεύεται σε προβλήματα όπου οι πράκτορες δεν μπορούν να θεωρηθούν λογικοί (rational) Δηλαδή προβλήματα όπου οι πράκτορες θα πρέπει να εξετάσουν όλες τις πιθανές λύσεις χωρίς να ληφθεί υπόψη το υπολογιστικό κόστος αυτού του εγχειρήματος. Σε δυναμικά προβλήματα

όπως το VRP που λόγω της φύσης του δεν μπορούν να λυθούν βέλτιστα στην πράξη είναι απαραίτητο να θεωρήσουμε ότι οι πράκτορες δεν είναι λογικοί και έτσι δεν θα ερευνήσουν το σύνολο των πιθανών λύσεων αλλά ένα υποσύνολο του χώρου των λύσεων που περιλαμβάνει πιθανές καλές λύσεις. Οι μη λογικοί πράκτορες θα δώσουν τη λύση με βάση και το υπολογιστικό κόστος που θα πρέπει να ξοδέψουν για αυτή.

Η τεχνική της δημιουργίας ομάδων πρακτόρων περιλαμβάνει 3 φάσεις. Στην πρώτη φάση έχουμε την δημιουργία της δομής των ομάδων των πρακτόρων. Για το VRP αυτό σημαίνει την δημιουργία ομάδων πρακτόρων που αντιπροσωπεύουν κέντρα διανομής τα οποία θα συνεργαστούν για να καλύψουν ορισμένες περιοχές του δικτύου. Στη δεύτερη φάση περιλαμβάνεται η επίλυση του προβλήματος βελτιστοποίησης του κόστους για κάθε ομάδα πρακτόρων χωριστά στο δίκτυο. Από αυτή τη φάση δηλαδή βλέπουμε ποιος είναι ο βέλτιστος τρόπος για την κάθε ομάδα πρακτόρων-κέντρων διανομής να εξυπηρετήσει την περιοχή του δικτύου που έχει αναλάβει. Στην τρίτη φάση διαιρείται το κόστος της κάθε ομάδας ανά πράκτορα ώστε να προκύπτει το κόστος ανά πράκτορα για την κάθε πιθανή ομάδα πρακτόρων που μπορεί να προκύψει. Κάθε πράκτορας συμμετέχει ε μια ομάδα ανάλογα με το ποσοστό του κόστους της ομάδας που του αντιστοιχεί. Η διαδικασία αυτή γίνεται για πολλές πιθανές ομάδες πρακτόρων μέχρι να βρεθεί ο καταλληλότερος διαχωρισμός των πρακτόρων σε ομάδες.

Η μέθοδος λαμβάνει υπόψη της και το υπολογιστικό κόστος ως εξής: Στις μεθόδους που χρησιμοποιούν λογικούς πράκτορες υποθέτουμε ότι S είναι μια ομάδα πρακτόρων και ότι το ελάχιστο κόστος λειτουργίας της ομάδας μόνης της και όχι σε συνεργασία με άλλους πράκτορες είναι C_S^R τότε ορίζεται και η χαρακτηριστική συνάρτηση $V_S^R = -C_S^R$ που δείχνει την αξία κάθε ομάδας πρακτόρων όπου το R δείχνει ότι οι πράκτορες συμπεριφέρονται λογικά. Όμως αυτό όπως αναφέρθηκε δε γίνεται να ισχύει για προβλήματα όπως το VRP. Έτσι εδώ η μέθοδος χρησιμοποιεί και ένα υπολογιστικό κόστος C_{comp} για κάθε ομάδα πρακτόρων το οποίο εξαρτάται από το μήκος των διαδρομών που θα περιλαμβάνουν τα δρομολόγια που προβλέπονται για κάθε ομάδα πρακτόρων. Συναρτήσεις της μορφής $c_s(r_s)$ χρησιμοποιούνται για να δείξουν πόσος χρόνος μπορεί να διατεθεί σε κάθε υπολογισμό που γίνεται από τις ομάδες πρακτόρων. Έτσι έχουμε ένα κόστος c (κόστος πεδίου) που μειώνεται όσο περισσότερο υπολογιστικό χρόνο αφιερώνουμε για την επίλυση του προβλήματος στο συγκεκριμένο σημείο του δικτύου αλλά και το κόστος υπολογιστικού χρόνου το οποίο αυξάνει όσο κάνουμε υπολογισμούς σε ένα συγκεκριμένο μέρος του δικτύου. Όσο περισσότερο χρόνο δηλαδή

αφιερώνουμε για την βελτιστοποίηση σε ένα συγκεκριμένο μέρος του δικτύου τόσο καλύτερη λύση επιτυγχάνουμε αλλά από την άλλη πλευρά έχουμε κόστος σε υπολογιστικό χρόνο. Έτσι η μέθοδος δίνει την τελική συνάρτηση αξίας συμπεριλαμβάνοντας και τα 2 αυτά κόστη ως εξής:

$$V_s = \min (c_s(r_s) + C_{\text{comp}} * r_s)$$

Η επίλυση του προβλήματος με βάση τη συνάρτηση αυτή εξαρτάται από 3 παράγοντες. Αυτοί είναι οι πόροι που διαθέτει το δίκτυο (φορτηγά, χωρητικότητα κάθε φορτηγού κλπ) η αρχιτεκτονική της εκτέλεσης στην οποία τρέχει ο αλγόριθμος επίλυσης καθώς με βάση αυτήν υπολογίζεται το υπολογιστικό κόστος και φυσικά από το είδος του αλγόριθμου επίλυσης που χρησιμοποιείται για το πρόβλημα. Στο σημείο αυτό πρέπει να επισημανθεί ότι η περιορισμένη λογική των πρακτόρων του προβλήματος δίνει τη πραγματικά βέλτιστη λύση μόνο αν ο αλγόριθμος επίλυσης είναι ολοκληρωμένος οπότε και για υπολογιστικό κόστος ίσο με το 0 η αξία κάθε ομάδας πρακτόρων συμπίπτει με την αξία που θα είχε η ίδια ομάδα αν οι πράκτορες ήταν λογικοί.

Η μέθοδος των R. Kohout και K. Erol

Οι Kohout και Erol (1999) ανέπτυξαν μια μέθοδο για την επίλυση VRP με χρονικά παράθυρα η οποία βασίζεται στον αλγόριθμο του Solomon.. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε συστήματα VRP που περιλαμβάνουν και ευφυείς πράκτορες . Η καινοτομία της σε σχέση με άλλες μεθόδους είναι ότι λαμβάνει υπόψιν της τον δυναμισμό του συστήματος και έτσι μπορεί να ανταποκριθεί στις διάφορες αλλαγές που συμβαίνουν κατά την παράδοση των παραγγελιών. Έτσι μπορεί να στέλνει μερικά αποτελέσματα κατά τη διάρκεια εφαρμογής της στο σύστημα και να τα εκτελεί. Η μέθοδος αυτή βοηθάει την εύρεση μερικών λύσεων στο πρόβλημα οι οποίες όμως βελτιώνονται με το χρόνο όπως αυτό γίνεται δυνατό. Το δίκτυο στο οποίο εφαρμόζεται αυτή η μέθοδος δεν περιλαμβάνει μια κεντρική αποθήκη διανομής αλλά πολλές που βρίσκονται μέσα. Η μέθοδος αναπτύχθηκε και δοκιμάστηκε για λογαριασμό αεροπορικής εταιρίας οπότε αποθήκες διανομής θεωρήθηκαν τα αεροδρόμια ενώ η μεταφορά στο δίκτυο αφορούσε τους επιβάτες της εταιρίας.

Ο αλγόριθμος του Solomon (1995), στον οποίο στηρίζεται η μέθοδος αυτή είναι ο εξής:

Έστω L οι πελάτες που δεν έχουν εισαχθεί ακόμα στο πρόγραμμα του δρομολογίου και R ένα νέο δρομολόγιο οχήματος.

Για όσο υπάρχουν πελάτες που δεν έχουν εισαχθεί στο δρομολόγιο KANE { Για κάθε μη εισαγμένο πελάτη C KANE για κάθε πιθανή θέση τοποθέτησης στο δρομολόγιο R KANE { AN το C μπορεί πιθανώς να τοποθετηθεί σε μια θέση της διαδρομής R TOTE { ΥΠΟΛΟΓΙΣΕ H = ευρυστική αξία του Solomon . AN το H είναι ελάχιστο TOTE { ΣΩΣΕ το H με την αντίστοιχη θέση στη διαδρομή. } } } ANAΘΕΣΕ στον πελάτη με το μικρότερο H την αντίστοιχη θέση στο R και αφαίρεσε τον από την λίστα L AN κανείς πελάτης δεν μπορεί πιθανά να εξυπηρετηθεί στο τρέχον πρόγραμμα τότε ξεκίνα μια νέα διαδρομή R. Σώσε την R. R είναι η νέα διαδρομή } }

Ο αλγόριθμος του Solomon ορίζει επίσης d_{ij} το χρόνο ταξιδιού μεταξύ των πελατών i και j και υπολογίζει το κόστος H εισαγωγής τους στο δρομολόγιο ως:

$$H = (d_{iu} + d_{uj} - \mu d_{ij}) + \Delta b_j$$
 όπου μ μια μη αρνητική παράμετρος, και Δb_j η αλλαγή στο χρόνο εξυπηρέτησης του πελάτη j.

Η μέθοδος των R. Kohout και K. Erol αναζητά και αυτή θέσεις για να εισάγει σημεία φόρτωσης και σημεία παράδοσης. Οι 2 κύριες διαφορές της με τον αλγόριθμο του Solomon είναι ότι φτιάχνει τις διαδρομές παράλληλα ενώ επιλέγει τους πελάτες με τη σειρά που έχουν εισαχθεί στο σύστημα. Ο αλγόριθμος του Solomon φτιάχνει μια –μια τις διαδρομές ενώ επιλέγει τους πελάτες με βάση το ποιος έχει το πιο φτηνό κόστος εισαγωγής.

Περίληπτικά ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται στη μέθοδο είναι ο εξής :

Δημιούργησε μια διαδρομή
Όσο παραμένουν πελάτες που δεν εισάχθηκαν στη διαδρομή KANE
Πάρε το κόστος εισαγωγής του επόμενου πελάτη για κάθε ενεργή διαδρομή.
ΑΝ ο πελάτης δεν μπορεί αν εισαχθεί σε καμιά διαδρομή TOTE
Ξεκίνα έναν νέο πράκτορα οχήματος
ΑΛΛΙΩΣ
Εισήγαγε τον πελάτη στο δρόμο με το μικρότερο κόστος.

Η διαμόρφωση του δικτύου και η οργάνωση του σε πράκτορες είναι η εξής: Δεν υπάρχει κάποιος κεντρικός πράκτορας διανομέας όπως συμβαίνει συνήθως αλλά πράκτορες-οχήματα και πράκτορες-πελάτες οι οποίοι μπορούν να αντιπροσωπεύουν και ομάδες πελατών οι οποίες υπόκεινται στους ίδιους περιορισμούς (προορισμό, χρόνο αναχώρησης κλπ) Ο διανομέας δρομολόγησης (routing server) έχει καθήκοντα επαλήθευσης καθώς και την δρομολόγηση από σημείο σε σημείο που απαιτείται κατά την διαδικασία της σχεδίασης των δρομολογίων. Οι πράκτορες πελάτες δημιουργούνται από το σύστημα κάθε φορά που ένας πελάτης δίνει τα στοιχεία του και ζητάει κάποια υπηρεσία. Ο πράκτορας που δημιουργείται εξασφαλίζει ότι ο πελάτης που αντιπροσωπεύει θα εξυπηρετηθεί. Με το που απαιτεί ένας πράκτορας-πελάτης να εξυπηρετηθεί, οι πράκτορες-οχήματα υπολογίζουν το κόστος με βάση το δικό τους πρόγραμμα και στέλνουν την καλύτερη τιμή που μπορούν να κάνουν. Ο πράκτορας πελάτης επιλέγει τη χαμηλότερη τιμή και μετά ο πράκτορας όχημα του στέλνει την επιβεβαίωση ότι θα τον μεταφέρει. Σε περίπτωση όμως που στο χρόνο αυτό κάτι αλλάξει και δεν μπορεί πλέον ο πράκτορας να εκτελέσει τη μεταφορά στην προηγούμενη τιμή ενημερώνει ξανά τον πελάτη για τη νέα του τιμή και η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να μπει ο πελάτης σε ένα όχημα

Η μέθοδος αυτή ξεπερνά τα προβλήματα που υπάρχουν με τις εντολές για την εισαγωγή πελατών. Επίσης οι πράκτορες δεν χρειάζεται αν είναι ενημερωμένοι για το τι κάνουν οι άλλοι πράκτορες του δικτύου. Συγκεκριμένα οι πράκτορες-οχήματα αντιλαμβάνονται τους πελάτες μόνο όταν αυτοί «παρουσιάζονται» ενώ δεν χρειάζεται να επικοινωνούν με άλλους πράκτορες οχήματα. Η στοχαστική ευρετική μέθοδος που παρέχει

τα παραπάνω πλεονεκτήματα είναι η εξής: Κάθε πράκτορας-όχημα έχει ένα διάλειμμα «αναπρογραμματισμού» που καθορίζεται στοχαστικά. Το διάλειμμα αυτό αποτελείται από μια βασική σταθερή χρονική περίοδο και μια τυχαία. Κάθε φορά που ενεργοποιείται ένας πράκτορας όχημα το διάλειμμα αυτό καθορίζεται και μετά παίρνει μια νέα τιμή όταν γίνεται αναπρογραμματισμός του πράκτορα, λειτουργώντας σαν χρονοδιακόπτης . Κατά τη διάρκεια του διαλείμματος ορίζεται ο ανώτερος αριθμός πελατών που μπορεί να επανατοποθετηθούν για τη διαδρομή αυτού του οχήματος , ο οποίος έχει σαν περιορισμό τον ολικό αριθμό των πελατών στο πρόγραμμα.

Στη συνέχεια επιλέγονται πελάτες οι οποίοι θα αναπρογραμματιστούν με κάποια πιθανότητα p η οποία τείνει στο μηδέν καθώς πλησιάζει ο νωρίτερος χρόνος παράδοσης για τον πελάτη. Η πιθανότητα αυτή ορίζεται από τον χρήστη του αλγόριθμου.

Η μέθοδος των Claus Dorer και Monique Calisti

Οι Dorer και Calisti (2005) λύνουν ένα κλασσικό πρόβλημα VRP με το σύστημα ευφών πρακτόρων LS/ATN (Living Systems –Adaptive Transportation Networks). Το πρόβλημα αναφέρεται στα logistics μιας επιχείρησης και αφορά την φόρτωση και την παράδοση προϊόντων σε ένα δίκτυο πελατών. Η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα για πραγματικά προβλήματα καθώς δίνει έμφαση σε πολλές λεπτομέρειες του προβλήματος.

Οι συγγραφείς δίνουν αναλυτικά τα χαρακτηριστικά κάθε παραγγελίας (προθεσμία, ποσότητα μεταφοράς, όγκος, βάρος, είδος παραγγελίας, τόπος παράδοσης, ειδικός εξοπλισμός που τυχόν απαιτείται για τη διαχείριση της παραγγελίας , χρόνος εκφόρτωσης, χρονική προθεσμία παράδοσης, χρόνος στον οποίο η παραγγελία γνωστοποιείται στο σύστημα και τύπος παραγγελίας) αλλά και για τα φορτηγά που κάνουν τις παραγγελίες (είδος, χωρητικότητα σε βάρος και όγκο, ειδικός εξοπλισμός , τοποθεσία εκκίνησης, χρόνος διαθεσιμότητας και προκαθορισμένο κόστος δρομολογίου (ταρίφα)). Έμφαση δίνεται και στους περιορισμούς οι οποίοι ανάλογα με τη σημαντικότητα τους, αν δηλαδή μπορούν αν αθετηθούν ως ένα σημείο ή όχι χωρίζονται σε σκληρούς και μαλακούς. Οι σκληροί αφορούν περιορισμούς φόρτωσης (χρονική σειρά φόρτωση-παράδοση, χωρητικότητα φορτηγού σε όγκο και βάρος, συμβατότητα τύπου παραγγελίας και τύπου φορτηγού, διαθεσιμότητα του απαραίτητου εξοπλισμού, κανονισμοί για φόρτωση επικίνδυνων υλικών) και περιορισμούς χρόνου (νωρίτερη και

αργότερη φόρτωση, νωρίτερη και αργότερη παράδοση, ώρες που είναι ανοιχτή η επιχείρηση για τους πελάτες, μέγιστη διάρκεια κάθε διαδρομής, χρόνος για την παραγγελία φορτηγού στο σημείο που πρέπει, κανονισμοί για τον χρόνο οδήγησης των οδηγών. Οι μαλακοί περιορισμοί αφορούν τους νωρίτερους χρόνους διανομής και φόρτωσης της παραγγελίας.

Η ιδιαιτερότητα αυτής της μεθόδου είναι ότι εδώ κάθε φορτηγό δεν αντιπροσωπεύει κι έναν πράκτορα αλλά αντίθετα το δίκτυο χωρίζεται σε περιοχές τις οποίες αντιπροσωπεύει ένας τοπικός πράκτορας της περιοχής (Agent region Manager). Οι εντολές ρυθμίζονται από έναν κεντρικό πράκτορα που τις διανέμει (Agent Distributor) ανάλογα με το που θα γίνει η φόρτωση τους. Βέβαια όσο περισσότερες οι περιοχές τόσο φθίνει η ποιότητα της λύσης καθώς για την κάθε περιοχή δεν λαμβάνονται υπόψιν τα φορτηγά των άλλων περιοχών. Το γεγονός αυτό όμως αντισταθμίζεται από την βελτιστοποίηση που γίνεται στις μεταφορές των παραγγελιών.

Το μεγάλο πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι δεν αναλύει τελείως το σύστημα σε πράκτορες φορτηγά με αποτέλεσμα να έχει λιγότερο υπολογιστικό κόστος από τις κλασσικές μεθόδους με πράκτορες. Το πλεονέκτημα όμως αυτό μετατρέπεται και σε μειονέκτημα καθώς ο χειρισμός κάθε περιοχής του δικτύου και όλου του δικτύου συνολικά διαφέρει.

4.ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΘΕΣΗΣ ΚΑΘΗΚΟΝΤΩΝ ΣΕ ΕΥΦΥΕΙΣ ΠΡΑΚΤΟΡΕΣ

4-1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ-ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Σε αυτό το μέρος της εργασίας παρουσιάζεται η προτεινόμενη μέθοδος για την επίλυση προβλημάτων ανάθεσης εργασιών σε πράκτορες. Πριν γίνει όμως αναλυτική αναφορά στη μέθοδο, στις παραδοχές της και τον τρόπο λειτουργίας της κρίνεται απαραίτητο να δοθεί επεξηγηματικά η ακριβής περιγραφή του είδους των προβλημάτων που επιλύει η μέθοδος.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η προτεινόμενη μέθοδος επικεντρώνεται σε προβλήματα ανάθεσης εργασιών από πράκτορες. Πιο συγκεκριμένα η **μέθοδος ασχολείται με προβλήματα ανάθεσης πρακτόρων στα οποία γίνεται χρήση χρονικών προθεσμιών (time windows)**. Στα προβλήματα αυτά έχουμε x εργασίες και y πράκτορες οι οποίοι πρέπει να εκτελέσουν τις εργασίες. Για να λυθεί το πρόβλημα θα πρέπει να γίνει η ανάθεση των εργασιών στους πράκτορες με τέτοιο τρόπο ώστε να ικανοποιείται ένα βασικό κριτήριο. Για να γίνει αντιληπτός ο βαθμός στον οποίο ικανοποιείται το ονομαζόμενο αυτό **ολικό** κριτήριο κάθε συνδυασμός ανάθεσης πράκτορα-εργασίας συγκεντρώνει μια βαθμολογία σε αυτό η οποία συγκρίνεται με τη βαθμολογία της ανάθεσης της ίδιας εργασίας σε άλλους πράκτορες. Κάθε πράκτορας θεωρείται ότι διαθέτει κάποια **χαρακτηριστικά** τα οποία σχετίζονται με την ικανοποίηση των γενικότερων κριτηρίων του συστήματος. Οι εργασίες αντίστοιχα διαθέτουν κάποιες **απαιτήσεις**, οι οποίες συνδέονται άμεσα με τα χαρακτηριστικά. Κάθε απαίτηση της εργασίας ικανοποιείται από συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του πράκτορα. Ομοίως με τα

χαρακτηριστικά των πρακτόρων οι απαιτήσεις των εργασιών συνδέονται και αυτές με τα γενικά κριτήρια του συστήματος. Έτσι δημιουργούνται σύνολα απαιτήσεων και χαρακτηριστικών που συνδέονται με τα γενικότερα κριτήρια. Τα γενικά κριτήρια του συστήματος είναι πιο πρακτικά μεγέθη εύκολα μετρήσιμα βάσει των επιδόσεων στα οποία υπολογίζεται η βαθμολογία του ολικού κριτηρίου. Τα υπό-κριτήρια πρέπει να τηρούν τις τρεις θεμελιώδεις συνθήκες που περιγράφει ο Roy (1985), δηλαδή τη **μονοτονία** (monotony), την **πληρότητα** (exhaustiveness), και το **μη-πλεονασμό** (non-pleonasm.) Με τη συνθήκη της μονοτονίας εξασφαλίζεται ότι όσο μεγαλύτερη ή μικρότερη βαθμολογία έχει ένα κριτήριο τόσο θετικό ή αρνητικό θα θεωρείται αυτό. Η πληρότητα σημαίνει ότι τα υπό-κριτήρια πρέπει να περιγράφουν σωστά το σύστημα και να καλύπτουν όλες τις παραμέτρους που πρέπει να ληφθούν υπόψη για τη βαθμολόγηση του. Ο μη πλεονασμός εξασφαλίζει ότι δεν θα υπάρχουν υπό κριτήρια που έχουν την ίδια έννοια αλλά και κριτήρια που δεν χρειάζεται να ληφθούν υπόψη.

Ο ορισμός των απαιτήσεων, των χαρακτηριστικών αλλά και των κριτηρίων και υπό-κριτηρίων είναι βέβαια θέμα του χρήστη και της φύσης του προβλήματος. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή που παρουσιάζεται χρησιμοποιείται ένα σύστημα κριτηρίων, χαρακτηριστικών και απαιτήσεων που μπορεί να εφαρμοστεί στις περισσότερες περιπτώσεις αλλά βέβαια **οι ορισμοί και τα ονόματα κριτηρίων, απαιτήσεων και χαρακτηριστικών μπορούν ανάλογα με την περίπτωση να αλλάξουν**. Οι ορισμοί όλων των στοιχείων του συστήματος για την συγκεκριμένη εφαρμογή δίνονται αναλυτικά στην παρουσίαση του τρόπου λειτουργίας της μεθόδου.

Η χρήση των χρονικών παραθύρων γίνεται για να εκφραστεί το γεγονός ότι για κάθε εργασία υπάρχει μια χρονική προθεσμία μέσα στην οποία η εργασία αυτή πρέπει να γίνει. Η προθεσμία αυτή ισούται με το χρονικό παράθυρο της εργασίας. Η χρήση των χρονικών παραθύρων εξασφαλίζει ότι το σύστημα δεν θα μπορεί να δουλεύει επ'αόριστον καθώς όλες οι εργασίες θα πρέπει να έχουν εκπληρωθεί μέσα σε συγκεκριμένο χρόνο. Επίσης η έννοια της χρονικής προθεσμίας έχει άμεση σχέση με πραγματικές συνθήκες καθώς όταν το πρόβλημα αφορά πραγματικές εργασίες αυτές πρέπει να έχουν κι ένα χρονικό όριο στο οποίο πρέπει να γίνουν. Για παράδειγμα μια παραγγελία ευπαθών προϊόντων θα πρέπει ικανοποιηθεί σε χρόνο που θα επιτρέπει την κατανάλωση τους αρκετά νωρίτερα από την ημερομηνία λήξης τους. Η ύπαρξη των **χρονικών περιορισμών με τη μορφή των χρονικών παραθύρων** σημαίνει επίσης ότι ένας πράκτορας δεν χρειάζεται να έχει μόνο τις απαραίτητες υπολογιστικές ή άλλης φύσεως δυνατότητες για

να θεωρηθεί κατάλληλος για να αναλάβει μια εργασία αλλά επιπλέον χρειάζεται να διαθέτει και την απαραίτητη ταχύτητα για την έγκαιρη εκτέλεση της εργασίας. Επιπλέον ο πράκτορας θα πρέπει να είναι διαθέσιμος τη στιγμή που χρειάζεται ώστε να αναλάβει μια εργασία έγκαιρα και να την διεκπεραιώσει πριν τελειώσει η προθεσμία της. Σε πολλές περιπτώσεις ένας πράκτορας που την τρέχουσα χρονική στιγμή δεν είναι διαθέσιμος μπορεί να προλαβαίνει να αναλάβει μια εργασία αργότερα μέσα στο χρόνο και να την εκπληρώνει καλύτερα από έναν πράκτορα που είναι άμεσα διαθέσιμος. Έτσι η χρήση των χρονικών περιορισμών που είναι άρρηκτα συνδεδεμένοι και με τον παράγοντα χρόνος αποδεικνύεται χρήσιμη για τον χειρισμό αυτών των περιπτώσεων. Η ύπαρξη χρονικών περιορισμών σημαίνει επίσης ότι οι αναθέσεις των πρακτόρων θα πρέπει να γίνουν έτσι ώστε να εκπληρωθούν αποτελεσματικά και έγκαιρα όλες οι εργασίες. Όλοι αυτοί οι επιπλέον περιορισμοί βοηθούν την καλύτερη επίλυση του προβλήματος καθώς οδηγούν προς την εύρεση μιας λύσης και όχι προς ένα αόριστο πρόβλημα. Από τα παραπάνω γίνεται προφανές ότι είναι απαραίτητη η χρήση των χρονικών παραθύρων για την καλύτερη και ρεαλιστικότερη παρουσίαση του προβλήματος.

Όσον αφορά το ζητούμενο του προβλήματος, **το πρόβλημα θέτει τα ερωτήματα του ποιοι πράκτορες θα αναλάβουν να εκτελέσουν ποιες εργασίες και του πώς θα γίνει αυτό ώστε το σύστημα να λειτουργήσει με την μεγαλύτερη δυνατή απόδοση και φυσικά να ικανοποιούνται και οι χρονικοί περιορισμοί.**

4-2. ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Για την εφαρμογή της μεθόδου στο συγκεκριμένο πρόβλημα πρέπει να γίνουν και κάποιες παραδοχές αλλά και να ισχύουν ορισμένες προϋποθέσεις. Αυτές αφορούν κυρίως τους μηχανισμούς με τους οποίους γίνονται οι διάφορες εργασίες αλλά και γενικότερες παρατηρήσεις πάνω στην φιλοσοφία της μεθόδου.

Χρονικές παραδοχές

Ο χρόνος στο σύστημα χωρίζεται σε χρονικές περιόδους ίσης διάρκειας. Κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου το σύστημα εργάζεται : οι πράκτορες εκτελούν τις εργασίες που τους έχουν ανατεθεί, κάποιοι από αυτούς στο χρόνο αυτό μπορεί να παρουσιάσουν βλάβη ενώ στον ίδιο χρόνο μπορεί και να εισέλθουν νέες εργασίες στο

σύστημα. Στο τέλος κάθε χρονικής περιόδου ο χρόνος σταματάει και το σύστημα εκτελεί οργανωτικές λειτουργίες όπως είναι η ανάθεση των νέων εργασιών στους διαθέσιμους πράκτορες ο έλεγχος για βλάβες πρακτόρων ο έλεγχος για διαθέσιμες εργασίες κ.α. Το σύστημα αρχικά ξεκινάει να λειτουργεί εφόσον έχει γίνει η ανάθεση όλων των υπαρχόντων εργασιών της πρώτης χρονικής περιόδου.

Παραδοχές για την εισαγωγή και προτεραιότητα εργασιών

Λόγω της δυναμικής φύσης του χρόνου του προγράμματος σε κάθε χρονική περίοδο του συστήματος είναι δυνατό να εισέλθουν νέες εργασίες. Οι εργασίες που εισέρχονται στην ίδια χρονική περίοδο θεωρείται **ότι εισέρχονται ταυτόχρονα**. Επομένως σε αυτή την περίπτωση ο μόνος τρόπος για να καθοριστεί ποια είναι η πιο επείγουσα εργασία είναι το χρονικό παράθυρο της ίδιας της εργασίας σε σχέση με τις υπόλοιπες. Όταν μια εργασία είναι πιο επείγουσα από τις υπόλοιπες διαθέσιμες εργασίες τότε αυτόματα αποκτά προτεραιότητα στο να ανατεθεί σε κάποιον πράκτορα. Οι εργασίες που είναι το ίδιο επείγουσες δίνονται προς ανάθεση με **τυχαία σειρά**.

Παραδοχές για την διαθεσιμότητα των πρακτόρων

Σημαντικό είναι να καθοριστεί το πότε ένας πράκτορας είναι διαθέσιμος να αναλάβει μια εργασία. Ένας πράκτορας είναι διαθέσιμος :

- Όταν δεν ασχολείται με μια εργασία (προφανές)
- Όταν βρίσκεται σε κατάσταση βλάβης αλλά έχει χρόνο επισκευής τέτοιο που του επιτρέπει να επισκευαστεί και να αποπερατώσει την ζητούμενη μια εργασία πριν να λήξει η προθεσμία της.
- Όταν ασχολείται ήδη με μια άλλη εργασία αλλά προλαβαίνει να την τελειώσει και να αποπερατώσει και την ζητούμενη εργασία πριν λήξει η προθεσμία της.

Οι δυο τελευταίες περιπτώσεις παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς φαινομενικά ένας πράκτορας που απασχολείται ήδη ή βρίσκεται σε κατάσταση βλάβης δεν θα μπορούσε να θεωρηθεί διαθέσιμος. Για να εξακριβωθεί εάν ένας πράκτορας είναι διαθέσιμος το σύστημα διαθέτει ένα **μηχανισμό ελέγχου διαθεσιμότητας** με τον οποίο πρέπει να λαμβάνει υπόψιν του ο χρήστης και για τον οποίο θα γίνει εκτενέστερη αναφορά στην παρουσίαση του προγράμματος.

Παραδοχές για την ανάθεση εργασίας

Κριτήριο ανάθεσης μια εργασίας σε έναν πράκτορα είναι ο συνδυασμός τους να συγκεντρώνει την υψηλότερη επίδοση σε σχέση με τους συνδυασμούς των υπολοίπων διαθέσιμων πρακτόρων **με την ίδια εργασία**. Στο σημείο αυτό πρέπει να επισημανθεί η περίπτωση που ο συνδυασμός ενός πράκτορα **με περισσότερες από μια εργασίες** δίνει μεγαλύτερη επίδοση από ότι οι αντίστοιχοι συνδυασμοί των υπολοίπων. Σε αυτή την περίπτωση πρέπει να αποφασιστεί ποια εργασία θα κάνει ο πράκτορας καθώς δεν μπορεί να αναλάβει και τις δύο ταυτόχρονα παρόλο που είναι ο καταλληλότερος για αυτές. Σε αυτή την περίπτωση η επιλογή γίνεται τυχαία. Έτσι όμως δεν μπορούμε να είμαστε σίγουροι ότι ο πράκτορας θα αναλάβει την εργασία για την οποία η επίδοση του είναι η μεγαλύτερη. Η ζημία αυτή όμως αντισταθμίζεται από το γεγονός ότι η εργασία που θα αναλάβει ο πράκτορας θα γίνει πιο αποτελεσματικά από ότι αν την αναλάμβανε ένας άλλος πράκτορας γεγονός που θα συνέβαινε αν ο αρχικός πράκτορας είχε αναλάβει την άλλη εργασία. Εξάλλου λόγω του ότι είναι φύσει αδύνατον ο πράκτορας να αναλάβει ταυτόχρονα περισσότερες από μια εργασίες η ζημία που προκύπτει από το γεγονός ότι όλες αυτές οι εργασίες δεν εκτελέστηκαν από τον πράκτορα που θα μπορούσε να τις εκτελέσει βέλτιστα είναι πλασματική.

Όταν ένας πράκτορας αναλάβει μια εργασία απασχολείται με αυτή μέχρι την ολοκλήρωσή της. Με την ανάθεση μιας εργασίας αλλάζει η κατάσταση διαθεσιμότητας του πράκτορα ενώ με την ολοκλήρωση της εργασίας ο πράκτορας αποκτά εμπειρία η οποία μεταφράζεται σε βελτίωση των χαρακτηριστικών του. Η βελτίωση αυτή βέβαια λαμβάνεται υπόψιν στην αμέσως επόμενη χρονική περίοδο λειτουργίας του συστήματος. Απαραίτητη παραδοχή που συμπληρώνει την προηγούμενη παραδοχή των μεταβολών των χαρακτηριστικών των πρακτόρων είναι ότι ακόμα και όταν αλλάζουν τα δεδομένα πράκτορες που έχουν αναλάβει ήδη κάποια εργασία δεν είναι δυνατό να την εγκαταλείψουν χωρίς να την έχουν ολοκληρώσει ακόμα κι αν μια άλλη εργασία είναι τώρα λόγω της αλλαγής των δεδομένων πιο επείγον να γίνει. **Γενικότερα σε καμιά περίπτωση δεν είναι δυνατό να εγκαταλείψει ένας πράκτορας μια εργασία που έχει αναλάβει ανολοκλήρωτη.**

Παραδοχές Περιβάλλοντος

Μια ακόμα παραδοχή είναι ότι το περιβάλλον του συστήματος είναι δυναμικό. Αυτό σημαίνει ότι γίνονται μεταβολές στα δεδομένα τις οποίες το σύστημα πρέπει να λαμβάνει υπόψιν. Το σύστημα λαμβάνει υπόψιν τις μεταβολές αυτές με την προϋπόθεση **ότι η ενημέρωση του συστήματος για τις μεταβολές γίνεται στο τέλος κάθε χρονικής περιόδου λειτουργίας του συστήματος.** Στο σημείο αυτό υπάρχει μια περίοδος οργάνωσης του συστήματος κατά την οποία ο χρόνος του συστήματος διακόπτεται. Πριν ξεκινήσει το νέο χρονικό παράθυρο το σύστημα υπολογίζει τις μεταβολές και κατανέμει πλέον τους πράκτορες στις εργασίες σύμφωνα με τα νέα δεδομένα. Οι μεταβολές αυτές περιλαμβάνουν αλλαγές στα δεδομένα π.χ. α) την ακύρωση μιας εργασίας ή την ανάγκη εκτέλεσης μιας νέας εργασίας κ.λ.π. β) την απόσυρση ενός πράκτορα λόγω κάποιας βλάβης και γ) αλλαγές που αφορούν τα χαρακτηριστικά των πρακτόρων. Το τρίτο αυτό είδος μεταβολής είναι πολύ σημαντικό καθώς λαμβάνει υπόψιν του μια βασική ιδιότητα των ευφυών πρακτόρων. Η ιδιότητα αυτή είναι η ικανότητα να μαθαίνουν από την αλληλεπίδραση με το περιβάλλον τους. **Έτσι στη μέθοδο ισχύει η παραδοχή ότι μαθαίνοντας ο πράκτορας γίνεται καλύτερος** και η βελτίωση αυτή αφορά την αύξηση των επιδόσεων των χαρακτηριστικών του. Έτσι γίνεται ξεκάθαρο ότι οι τεχνητές οντότητες στο σύστημα είναι όντως ευφυείς πράκτορες και όχι κάποιο άλλο απλό αυτοματοποιημένο πρόγραμμα. Η ιδιότητα της μάθησης παριστάνεται στη μέθοδο με την παρακάτω παραδοχή: Καταρχάς ένας πράκτορας βελτιώνει όλα τα χαρακτηριστικά που συνδέονται με τις εργασίες που κάνει. Ισχύει δηλαδή η λογική ότι βελτιώνονται μόνο τα χαρακτηριστικά τα οποία εξασκεί το οποίο είναι απόλυτα προφανές. Βέβαια στην περίπτωση της μεθόδου μας όλα τα χαρακτηριστικά του κάθε πράκτορα συνδέονται με τις εργασίες που αναλαμβάνει. Υπάρχει όμως η δυνατότητα ο χρήστης να ορίσει ότι κάποια χαρακτηριστικά δεν γίνεται να βελτιωθούν κυρίως χαρακτηριστικά που συνδέονται με τεχνικές προδιαγραφές.

Παραδοχές διαδικασίας βελτίωσης χαρακτηριστικών πράκτορα

Για να βελτιωθεί η επίδοση σε ένα χαρακτηριστικό ενός πράκτορα από ένα επίπεδο στο επόμενο είναι αυτονόητο πως ο πράκτορας πρέπει να εξασκήσει το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό. Η εξάσκηση σημαίνει πως ο πράκτορας θα πρέπει να αναλαμβάνει εργασίες που απαιτούν το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό. Ο αλγόριθμος που δίνει τον τρόπο με τον οποίο βελτιώνεται το χαρακτηριστικό είναι ο εξής: Ο πράκτορας «μετράει» τις εργασίες που έχει **εκτελέσει**. Έστω k το πλήθος τους. Κάθε φορά που αναλαμβάνει μία εργασία συγκρίνει αυτό το k με τον όρο $K * 1/s$ όπου K ένα ποσοστό του πλήθους των συνολικών εργασιών (ή το ίδιο το πλήθος των συνολικών εργασιών) και s το πλήθος των διαστημάτων βαθμολογίας του κάθε χαρακτηριστικού του . Έτσι για κάθε χαρακτηριστικό του πράκτορα

- Αν $k > K * 1/s$, το χαρακτηριστικό αλλάζει βαθμολογικό επίπεδο
- Αν $k \leq K * 1/s$, η βαθμολογία του χαρακτηριστικού παραμένει ως έχει.

Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι κάποια χαρακτηριστικά των πρακτόρων όπως για παράδειγμα τεχνικές δυνατότητες δεν γίνεται να βελτιωθούν καθώς αυτές συνδέονται με τον τρόπο κατασκευής και τις τεχνικές προδιαγραφές του πράκτορα και όχι με την νοημοσύνη του. Βέβαια όλα αυτά εξαρτώνται από τις παραδοχές της μεθόδου.: Π.χ. το μέγιστο φορτίο ενός φορτηγού φαίνεται να είναι σταθερό μέγεθος αλλά μπορεί να ισχυριστεί κάποιος ότι η εταιρία που έχει το φορτηγό αρχίζει και χρησιμοποιεί μικρότερες συσκευασίες για τα εμπορεύματα της ή τα φορτώνει με διαφορετικό τρόπο διάταξης στο φορτηγό και έτσι εξασφαλίζει χώρο.

Παραδοχές χαρακτηριστικών πρακτόρων και απαιτήσεων εργασιών

Ιδιαίτερη σημασία για την μέθοδο έχουν οι παραδοχές για τα χαρακτηριστικά των πρακτόρων τις απαιτήσεις των εργασιών και των κλιμάκων βαθμολόγησης τους. Σύμφωνα λοιπόν με την μέθοδο οι εργασίες έχουν διαφόρων ειδών **απαιτήσεις** ενώ οι πράκτορες έχουν ορισμένα **χαρακτηριστικά**. **Τα χαρακτηριστικά των πρακτόρων συνδέονται άμεσα με τις απαιτήσεις των εργασιών** για παράδειγμα ένας πράκτορας που είναι γρήγορος προτιμάται από μια εργασία που θέλει υψηλές ταχύτητες.

Στο σημείο αυτό πρέπει επίσης να αναφερθεί και η παραδοχή ότι τα χαρακτηριστικά των πρακτόρων και οι απαιτήσεις των εργασιών συνδυάζονται βάσει κάποιων γενικότερων κριτηρίων που αφορούν ολόκληρο το σύστημα. **Τα υπό-κριτήρια αυτά είναι το κόστος, η αποτελεσματικότητα και η ταχύτητα του συστήματος.** Τα κριτήρια αυτά εξαρτώνται τόσο από χαρακτηριστικά των πρακτόρων όσο και από απαιτήσεις των εργασιών και αποτελούν το μέσο αλλά και το λόγο για τον οποίο κάποια χαρακτηριστικά των πρακτόρων συνδέονται με κάποιες από τις απαιτήσεις των εργασιών. δεδομένα. Το ποια χαρακτηριστικά συνδέονται με το καθένα από αυτά θα αναφερθεί στην παρουσίαση του τρόπου λειτουργίας της μεθόδου. **Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί πως αν και τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά είναι επιλεγμένα έτσι ώστε να ανταποκρίνονται στην πλειοψηφία των προβλημάτων είναι προφανές ότι τα ονόματα τους αλλά και το τι αντιπροσωπεύουν μπορούν να αλλάξουν αν αυτό απαιτείται από την φύση κάποιων προβλημάτων.** Γενικότερα η μέθοδος είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να είναι ευέλικτη και να μπορεί να προσαρμοστεί στα περισσότερα είδη προβλημάτων.

Όλοι οι πράκτορες διαθέτουν τα ίδια χαρακτηριστικά. Αυτό που αλλάζει είναι οι επιδόσεις τους σε αυτά. Αν κάποιος πράκτορας έχει επίδοση 0 σε ένα χαρακτηριστικό αυτό δε σημαίνει πως ο πράκτορας δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μια εργασία που απαιτεί το χαρακτηριστικό αυτό. Η επίδοση 0 θα αθροιστεί με τις επιδόσεις στα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του πράκτορα που απαιτούνται από την εργασία έτσι ώστε να προσδιοριστεί η συνολική επίδοση του πράκτορα στην εκτέλεση της εργασίας. Γενικότερα η επίδοση μηδέν σε ένα χαρακτηριστικό σημαίνει πως το χαρακτηριστικό αυτό είναι οριακά αναπτυγμένο όχι όμως ότι δεν υπάρχει.

Παραδοχές στον τρόπο λειτουργίας

Μια ακόμα παραδοχή είναι **ότι δεν υπάρχει δυνατότητα συνεργασίας ομάδων πρακτόρων για την εκτέλεση εργασιών.** Στην περίπτωση που πράκτορες ή εργασίες έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά και μάλιστα στον ίδιο βαθμό αντιμετωπίζονται ως όμοιοι και δεν υπάρχει καμιά απολύτως διαφορά ως προς το πώς θα γίνει η χρήση τους από το σύστημα. Επίσης οι εργασίες δεν μπορούν να διαιρεθούν σε υπό-εργασίες.

Άλλη μια σημαντική παραδοχή είναι ότι **ο χρόνος που απαιτείται για την εκτέλεση μιας εργασίας είναι ίδιος για όλους τους πράκτορες.** Αυτή η παραδοχή γίνεται για 2 λόγους: Ο ένας είναι ότι πρέπει να φανεί ότι οι πράκτορες έχουν παρόμοιες δυνατότητες. Αν ένας πράκτορας τέλειωνε σε διπλάσιο π.χ. χρόνο μια εργασία από έναν

άλλο θα ήταν εκτός συναγωνισμού και η λύση του προβλήματος θα ήταν να χρησιμοποιηθούν πράκτορες παρόμοιοι με αυτόν. Ο άλλος λόγος είναι ότι η μέτρηση του χρόνου γίνεται σε χρονικές περιόδους και όχι σε ακριβή χρόνο. Έτσι 2 πράκτορες μπορεί να τελειώνουν την εργασία σε διαφορετικούς χρόνους αλλά η διαφορά αυτή να αντιστοιχεί π.χ. σε μισή χρονική περίοδο το οποίο όμως είναι ένα διάστημα που δε μπορεί να μετρηθεί από το σύστημα. Επιπλέον ο πράκτορας θα είναι πάντα ελεύθερος την επόμενη χρονική περίοδο από αυτήν που εκτέλεσε μια εργασία επομένως θεωρούμε ότι ανεξάρτητα από το αν ένας πράκτορας τελειώσει την εργασία σε μισή ή στα $\frac{3}{4}$ χρονικής περιόδου συστήματος, ο χρόνος εκτέλεσης της συγκεκριμένης εργασίας θα είναι 1 χρονική περίοδος για όλους τους πράκτορες. Επιπλέον ο χρόνος εκτέλεσης μιας εργασίας αποτελεί μια εκτίμηση και δεν μπορούμε να χρησιμοποιούμε τόσες εκτιμήσεις όσοι είναι και οι πράκτορες κυρίως για λόγους απλότητας. Μια **γενική εκτίμηση** για το χρόνο εκτέλεσης μιας εργασίας από οποιονδήποτε πράκτορα που ίσως θα είναι και λίγο υπερτιμημένη για κάποιους πράκτορες απαλλάσσει τον χρήστη και το σύστημα από την καταγραφή πολλών επιπλέον δεδομένων ενώ δεν είναι ποτέ σίγουρο ότι οι εκτιμήσεις που θα έχουν γίνει για την κάθε εργασία θα είναι όλες απόλυτα ακριβείς

4-3. ΤΟ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Στο μέρος αυτό παρουσιάζονται οι κύριες μαθηματικές έννοιες και συμβολισμοί που περιλαμβάνονται στην μεθοδολογία. Καταρχάς πρέπει να αναφερθεί ότι η μέθοδος ασχολείται με προβλήματα που περιλαμβάνουν ένα σύνολο πρακτόρων που πρέπει να εκτελέσουν ένα σύνολο εργασιών. Οι πράκτορες μπορεί να είναι περισσότεροι ή λιγότεροι από τις εργασίες. **Σκοπός της μεθόδου είναι να επιλέγει τον πράκτορα που είναι πιο κατάλληλος για την εκτέλεση κάθε εργασίας σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα.** Το ποιος πράκτορας είναι πιο κατάλληλος για να εκτελέσει την εργασία εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

α) Το αν ο πράκτορας είναι διαθέσιμος για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Δηλαδή αν δεν απασχολείται ήδη με την εκτέλεση κάποιας άλλης εργασίας. (Διαθεσιμότητα του πράκτορα)

β) Το αν ο πράκτορας σε συνδυασμό με αυτή την εργασία δίνει την βέλτιστη επίδοση για τα κριτήρια του συστήματος από ότι οι υπόλοιποι πράκτορες με την ίδια εργασία.

Η διαθεσιμότητα ενός πράκτορα ορίζεται στο σύστημα από τον ίδιο τον πράκτορα. Κάθε πράκτορας έχει μια τιμή t_s η οποία δείχνει σε πόσο χρόνο θα είναι διαθέσιμος ο πράκτορας. Αν δεν έχει αναλάβει κάποια εργασία τότε προφανώς ο χρόνος αυτός είναι ίσος με 0 ενώ όταν αναλαμβάνει κάποια εργασία ο χρόνος αυτός ισούται με το χρόνο εκτέλεσης της εργασίας.

Ο δεύτερος παράγοντας επαληθεύεται από όλους τους πράκτορες καθώς όλοι τους διαθέτουν κοινά χαρακτηριστικά. Αυτό που τους διαφοροποιεί είναι οι επιδόσεις τους σε αυτά. Με βάση τις επιδόσεις αυτές υπολογίζεται η αξία A_{ij} του συνδυασμού της ανάθεσης του πράκτορα i στην εργασία j

Εφόσον ο πράκτορας θεωρηθεί κατάλληλος να κάνει μια εργασία θα πρέπει να υπολογιστεί το πόσο καλά μπορεί να την κάνει ώστε να μπορεί να συγκριθεί η επίδοση του με αυτές των άλλων πρακτόρων και να γίνει δυνατή η επιλογή μεταξύ τους. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται μια παραλλαγή του συστήματος Agent Allocator (Ματσατσίνης και Δελιάς, 2003). Το Agent allocator μπορεί να βαθμολογήσει τις επιδόσεις των συνδυασμών ανάθεσης πρακτόρων σε εργασίες βάσει συναρτήσεων χρησιμοτήτων και ενός ολικού κριτηρίου επίδοσης που προκύπτει από την χρήση της μεθόδου UTA2.

Έχοντας σα δεδομένα το σύνολο των κριτηρίων απόφασης και τη διάταξη προτιμήσεων των εναλλακτικών από τον αποφασίζοντα, η UTA 2 προσπαθεί να αποδώσει τα βάρη των κριτηρίων που προσεγγίζουν καλύτερα τις προτιμήσεις του αποφασίζοντα σχηματίζοντας μία αθροιστική συνάρτηση με τη δομή που περιγράφεται παρακάτω. Η μέθοδος που ακολουθείται έχει αρκετά κοινά στοιχεία με τη συγγενική μέθοδο UTA :

Ορίζουμε :

Εναλλακτικές του προβλήματος: Συνδυασμοί πρακτόρων-εργασίας (ουσιαστικά συγκρίνονται οι αποδόσεις που θα έχει η ανάθεση κάθε διαθέσιμου πράκτορα στην προς εξέταση εργασία)

Κριτήρια του προβλήματος : Είναι τα λεγόμενα γενικά κριτήρια ή υπό-κριτήρια που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του ολικού κριτηρίου. Αντιπροσωπεύουν επιθυμητά χαρακτηριστικά του συστήματος που ποικίλλουν ανάλογα με την ιδιαίτερη φύση του κάθε προβλήματος. (π.χ. ταχύτητα)

A_i : το στοιχείο (ανάθεση) i στο διάνυσμα των προτιμήσεων των εναλλακτικών και η αριθμητική της βαθμολογία.

g_j : το στοιχείο (κριτήριο) j στο διάνυσμα των κριτηρίων.

$g_j(A_i)$: την επίδοση της εναλλακτικής A_i στο κριτήριο g_j

g_j^* : το χειρότερο επίπεδο στο κριτήριο g_j

g_j^* : το καλύτερο επίπεδο στο κριτήριο g_j

$u_j(g_j)$: μία αύξουσα συνάρτηση χρησιμότητας που αντιστοιχεί τις τιμές του g_j στο $[0, 1]$

p_j : τα ζητούμενα βάρη των κριτηρίων

$U(g)$: ολική συνάρτηση χρησιμότητας

Έτσι για ένα σύνολο n κριτηρίων θα έχουμε :

$$U(g) = \sum_{j=1}^n p_j u_j(g_j) \quad (1)$$

$$u_j(g_j^*) = 0 \quad (2)$$

$$u_j(g_j^*) = 1 \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n p_j = 1 \quad (4)$$

Έστω $A_R = \{ A_1, A_2, \dots, A_k \}$ το σύνολο των εναλλακτικών λύσεων που διέταξε ο αποφασίζων σε σειρά προτίμησης. Η εναλλακτική A_1 είναι στην κορυφή των προτιμήσεων

του αποφασίζοντα ενώ η A_k στο τέλος. Για κάθε συνεχόμενο ζεύγος εναλλακτικών η σειρά προτίμησης καταδεικνύει :

$$\begin{array}{lll} \text{Προτίμηση} & \text{αν} & A_j > A_{j+1} \\ & \text{ή} & \\ \text{Αδιαφορία} & \text{αν} & A_j \approx A_{j+1} \end{array}$$

Τα τέσσερα βήματα του αλγορίθμου που ακολουθεί η UTA II για τον προσδιορισμό των βαρών είναι :

- Έκφραση των συναρτήσεων ολικής χρησιμότητας των επιλεγμένων εναλλακτικών σύμφωνα με τη σχέση (1), με τους όρους δηλαδή των βαρών των κριτηρίων.

$$U[g(\Sigma_i)] = \sum_{j=1}^n p_j u_j [g_j(A_i)] \quad \forall i = 1, 2, \dots, k \quad (7)$$

Η συνάρτηση χρησιμότητας u σε ντετερμινιστικό περιβάλλον είναι μία αύξουσα συνάρτηση που αντιστοιχεί τις επιδόσεις των κριτηρίων αξιολόγησης στο διάστημα $[0,1]$. Αν υπάρχει *προτίμηση* μεταξύ δύο εναλλακτικών σε κάποιο κριτήριο g_i τότε $u(g_i(A_j)) > u(g_i(A_{j+1}))$, ενώ για την περίπτωση αδιαφορίας μεταξύ δύο εναλλακτικών η συνάρτηση χρησιμότητας εκφράζεται με την ισότητα $u(g_i(A_j)) = u(g_i(A_{j+1}))$.

Για την εκτίμηση των συναρτήσεων μερικών χρησιμοτήτων υπάρχουν διάφορες μέθοδοι. Ενδεικτικά αναφέρουμε τη μέθοδο χωρισμού μέσης αξίας (Keeney & Raifa, 1976), τη μέθοδο παραχώρησης (Oppenheimer, 1978) και τη μέθοδο MACBETH (Bana e Costa and Vasnick, 1994).

- Για κάθε εναλλακτική A_i εισάγουμε δύο σφάλματα σ_i^+ και σ_i^- και γράφουμε για κάθε ζεύγος συνεχόμενων στη διάταξη εναλλακτικών την αναλυτική έκφραση διαφοράς :

$$\Delta(A_i, A_{i+1}) = U[g(A_i)] - \sigma_i^+ + \sigma_i^- - [U[g(A_{i+1})] - \sigma_{i+1}^+ + \sigma_{i+1}^-] \quad (8)$$

- Λύση του γραμμικού πλέον προβλήματος :

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^k (\sigma_i^+ + \sigma_i^-) \quad (9)$$

Υπό τους περιορισμούς :

- i. $\Delta(A_i, A_{i+1}) \geq \delta$ εάν $A_i > A_{i+1}$
 $\Delta(A_i, A_{i+1}) = 0$ εάν $A_i \approx A_{i+1}$
- ii. $\sum_{j=1}^n p_j = 1$
- iii. $p_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n$
- iv. $\sigma_i^+ \geq 0, \sigma_i^- \geq 0, i = 1, 2, \dots, k$

όπου δ ένας πολύ μικρός θετικός αριθμός.

➤ Ανάλυση ευστάθειας . Ο αλγόριθμος ψάχνει και για άλλες βέλτιστες ή σχεδόν-βέλτιστες λύσεις του γραμμικού προβλήματος που περιγράφεται στο προηγούμενο βήμα. Στην περίπτωση λοιπόν που οι λύσεις που βρέθηκαν στο προηγούμενο βήμα της μεθόδου δεν είναι μοναδικές η UTA υπολογίζει τα μέσα βάρη από το σύνολο των βέλτιστων (ή σχεδόν-βέλτιστων) λύσεων που μεγιστοποιούν την αντικειμενική συνάρτηση $z_j = p_j \forall j = 1, \dots, n$ στο πολύεδρο που ορίζουν οι περιορισμοί i, ii, iii, iv και ο επιπλέον περιορισμός

$$v. \quad \sum_{i=1}^k (\sigma_i^+ + \sigma_i^-) \leq z^* + \varepsilon \quad , \quad \text{όπου } z^* \text{ η βέλτιστη λύση του γραμμικού}$$

προβλήματος του 3^{ου} βήματος και ε ένα πολύ μικρό ποσοστό του z^* .

Βέβαια όπως ήδη ειπώθηκε για να αποδώσει η μέθοδος UTA2 τα βάρη των κριτηρίων χρειάζεται αρχικά ο αποφασίζων να δώσει μια χαλαρή κατάταξη εναλλακτικών με βάση τη δικές του προτιμήσεις. Έτσι και στην προτεινόμενη μέθοδο αρχικά ο αποφασίζων καλείται να αναθέσει τις εργασίες στους πράκτορες να δει ποιος συνδυασμός πράκτορα-εργασίας έχει τις καλύτερες επιδόσεις (πάντα κατά τη γνώμη του αποφασίζοντα) σε όλα τα κριτήρια του συστήματος. Επιλέγοντας συνδυασμούς εργασίας-πράκτορα ο αποφασίζων δείχνει στο σύστημα το ποια από τα γενικά κριτήρια είναι σημαντικότερα από τα άλλα. Για παράδειγμα προτιμώντας ένα συνδυασμό που έχει υψηλότερη επίδοση σε ένα από τα κριτήρια και χαμηλότερη στα υπόλοιπα σε σχέση με έναν άλλο συνδυασμό, ο αποφασίζων δείχνει ότι για αυτόν το συγκεκριμένο κριτήριο είναι σημαντικότερο από τα υπόλοιπα αφού η επίδοση σε αυτό το κριτήριο και μόνο ήταν

αρκετή για να τον κάνει να προτιμήσει το συνδυασμό που ικανοποιούσε το κριτήριο αυτό περισσότερο από ότι οι υπόλοιποι.

Έχοντας σαν δεδομένο και την κατάταξη προτίμησης των συνδυασμών από το χρήστη η μέθοδος UTA2 μπορεί να υπολογίσει και το βάρος p του κάθε κριτηρίου δηλαδή το σε τι ποσοστό συμμετέχει το συγκεκριμένο κριτήριο στην επίδοση της αξιολόγησης του συστήματος. Προφανώς το άθροισμα των βαρών των γενικών κριτηρίων (υπό-κριτήρια) είναι ίσο με 1. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι ο υπολογισμός αυτός έχει νόημα να γίνει εφόσον ο ίδιος ο αποφασίζων δυσκολεύεται να αποδώσει από μόνος του τα βάρη σε κάθε κριτήριο.

Για την παρουσιαζόμενη μέθοδο τα αποτελέσματα της μεθόδου UTA2 πρέπει να εισαχθούν σε έναν τύπο που θα λαμβάνει υπόψιν τη δυναμικότητα του συστήματος ο οποίος εκφράζει το σύστημα θα μπορεί να αντιλαμβάνεται την έννοια της διαθεσιμότητας ενός πράκτορα την τρέχουσα χρονική στιγμή αλλά και τον χρόνο τον οποίο θέλει κάθε πράκτορας να τελειώσει την τρέχουσα εργασία. Παράλληλα το σύστημα πρέπει να λαμβάνει υπόψιν του και το χρονικό παράθυρο εκπλήρωσης της κάθε εργασίας. Με αυτό το σκεπτικό ορίζονται τα εξής:

Η επίδοση A_{gjmnt} ενός συνδυασμού ανάθεσης πράκτορα-εργασίας σε ένα κριτήριο προκύπτει από τον χρήστη ο οποίος βαθμολογεί όλους τους πιθανούς συνδυασμούς περιγραφικών βαθμολογιών χαρακτηριστικού πράκτορα-απαίτησης εργασίας. Για να έχουμε μια ολοκληρωμένη άποψη για την καταλληλότητα του πράκτορα πρέπει να υπολογιστεί και το πόσο γρήγορα θα είναι ξανά διαθέσιμος αλλά και ο χρόνος που απαιτεί για την εκτέλεση της εκάστοτε εργασίας. Τα μεγέθη αυτά εκφράζονται στον τύπο:

$$V_{(gj)mnt} = \frac{A_{(gj)mnt}}{EF_{mt}}$$

Όπου:

$V_{(gj)mnt}$ η επίδοση του συνδυασμού mn στο επιμέρους υπό κριτήριο $χ$ που δείχνει την εκτέλεση μιας εργασίας m από τον πράκτορα n τη χρονική στιγμή t . Η αναφορά στον χρόνο έχει σημασία καθώς εκφράζει τη δυναμικότητα του συστήματος: ο πράκτορας μπορεί να βελτιώσει τα χαρακτηριστικά του με την εμπειρία που θα αποκομίσει και έτσι στο μέλλον μπορεί να είναι πιο αποτελεσματικός για τη συγκεκριμένη εργασία. Επίσης ο

χρόνος είναι σημαντικός γιατί πρέπει να γίνεται γνωστό το αν ο πράκτορας είναι και διαθέσιμος τη συγκεκριμένη στιγμή ώστε να αναλάβει την εργασία.

EF_{mt} δείχνει το σε πόσο χρονικό διάστημα ο πράκτορας θα είναι ελεύθερος τη χρονική στιγμή t . Ο χρόνος μετράται σε χρονικές περιόδους συστήματος και παίρνει μόνο ακέραιες τιμές. Στο σημείο αυτό πρέπει να γίνει η εξής παρατήρηση: Όταν ο χρόνος αυτός είναι 0 δηλαδή ο πράκτορας είναι άμεσα διαθέσιμος τότε η ποσότητα που εκφράζει το κλάσμα απειρίζεται. Έτσι όμως δεν γίνεται να συγκριθούν οι αξίες των συνδυασμών για τις περιπτώσεις που οι πράκτορες είναι άμεσα διαθέσιμοι καθώς θα ισούνται όλες με άπειρο. Για το λόγο αυτό όταν ένας πράκτορας είναι άμεσα διαθέσιμος θεωρούμε ότι $EF_{mt}=1$ έτσι ώστε στον υπολογισμό του V να ληφθούν υπόψιν μόνο το $A_{(gj)mnt}$ και το τ_{mn} . Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι κάθε πράκτορας είναι άμεσα διαθέσιμος την επόμενη χρονική περίοδο από αυτήν στην οποία αποπεράτωσε την εργασία του.

T_{mn} είναι ο χρόνος εκτέλεσης της εργασίας n από τον πράκτορα m .

Υπολογίζοντας έτσι το $V_{(gj)mnt}$ του συνδυασμού για κάθε υπό-κριτήριο, η ολική αξία του συνδυασμού στα κριτήρια του συστήματος υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο

$$V_{ολικό} = \sum_1^j [V(g_j)mnt * p(g_j)]$$

P_{gj} : "Το βάρος του κριτηρίου j όπως έχει υπολογιστεί από τη μέθοδο UTA2

Παρατήρηση : Στον παραπάνω τύπο παρατηρούμε ότι ο παράγοντας χρόνος δεν λαμβάνεται πλέον υπόψιν. Αυτό συμβαίνει διότι η χρονική στιγμή στην οποία έχει γίνει ο υπολογισμός του V_{xij} έχει σημασία μόνο για τον υπολογισμό του V κάθε επιμέρους κριτηρίου. Αφού έχει υπολογίσει τις επιδόσεις στα επιμέρους κριτήρια για τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή το σύστημα δεν χρειάζεται πια να θυμάται το χρόνο για τον οποίο ισχύουν αυτές οι επιδόσεις καθώς η επίδοση στο ολικό κριτήριο προκύπτει από τον παραπάνω τύπο, στον οποίο η χρονική στιγμή για την οποία έγινε ο υπολογισμός των επιδόσεων των επιμέρους κριτηρίων δεν έχει άμεσο ρόλο. Αντίθετα στον τύπο για το V_{xijt} ο χρόνος πρέπει να ληφθεί υπόψιν καθώς υπάρχουν μεταβλητές που εξαρτώνται από την χρονική στιγμή στην οποία γίνεται η μέτρηση όπως π.χ. το EF_{it} .

Εφόσον οι πράκτορες μπορούν να αναλάβουν εργασίες και να αξιολογηθούν ως προς την αποτελεσματικότητα της εκτέλεσης των **απομένει να εκφραστεί μαθηματικά**

ο τρόπος με τον οποίο οι εργασίες δηλώνουν στο σύστημα το πόσο επείγουσες είναι δηλαδή δείχνουν τη χρονική προθεσμία εκτέλεσης τους. Το επείγον μιας εργασίας ορίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$Z_i = \frac{Mt_i}{TW_i}$$

Όπου Z_i το επείγον της εργασίας i , Mt_i μέσος χρόνος υλοποίησης της εργασίας (δηλαδή ο μέσος όρος των χρόνων υλοποίησης της εργασίας από όλους τους πράκτορες) και TW_i η χρονική προθεσμία εκτέλεσης της εργασίας.

Έχοντας ορίσει τους μαθηματικούς συμβολισμούς της μεθόδου στη συνέχεια παρατίθεται ο τρόπος λειτουργίας της μεθόδου βήμα προς βήμα.

4-4. ΣΥΝΟΨΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Περίληπτικά τα βήματα της μεθόδου μπορούν να περιγραφούν ως εξής:

1. Ορίζονται τα χαρακτηριστικά των πρακτόρων και οι απαιτήσεις των εργασιών
2. Ορίζονται τα επιμέρους κριτήρια Κάθε συνδυασμός πράκτορα εργασίας έχει διαφορετικές επιδόσεις στα κριτήρια αυτά. Ορίζεται το πώς επηρεάζουν την αξία ενός κριτηρίου τα χαρακτηριστικά των πρακτόρων και οι απαιτήσεις των εργασιών (θετικά ή αρνητικά) ώστε να μπορούμε να υπολογίσουμε σε πρώτο στάδιο την ποσότητα A_{gjmnt} Αυτό γίνεται βάσει λογικών σχέσεων που υπόκεινται στον τρόπο αντίληψης του χρήστη
3. Εισαγωγή πρακτόρων κι εργασιών στο σύστημα.
4. Στο βήμα αυτό γίνεται η βαθμολόγηση των συνδυασμών σε ότι αφορά τα κριτήρια. Όσον αφορά τον υπολογισμό της η βαθμολογία στο καθένα από τα επιμέρους κριτήρια δίνεται από τον τύπο

$$V_{(g)mnt} = \frac{A_{(g)mnt}}{EF_{mt}}$$

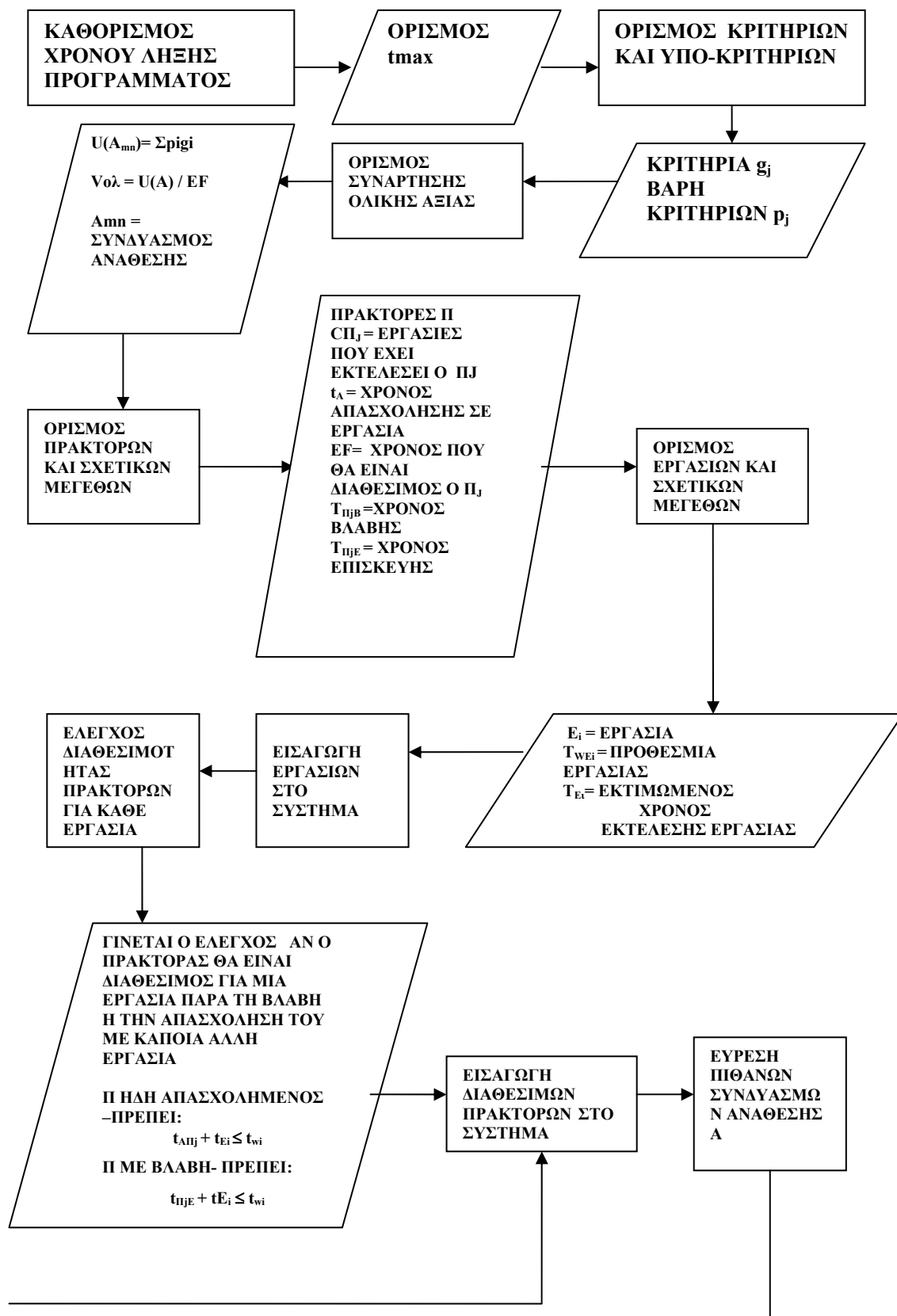
Με τον τύπο αυτό γίνεται αντιληπτό ότι δεν λαμβάνεται υπόψιν μόνο το Α αλλά και η διαθεσιμότητα και η ταχύτητα του πράκτορα

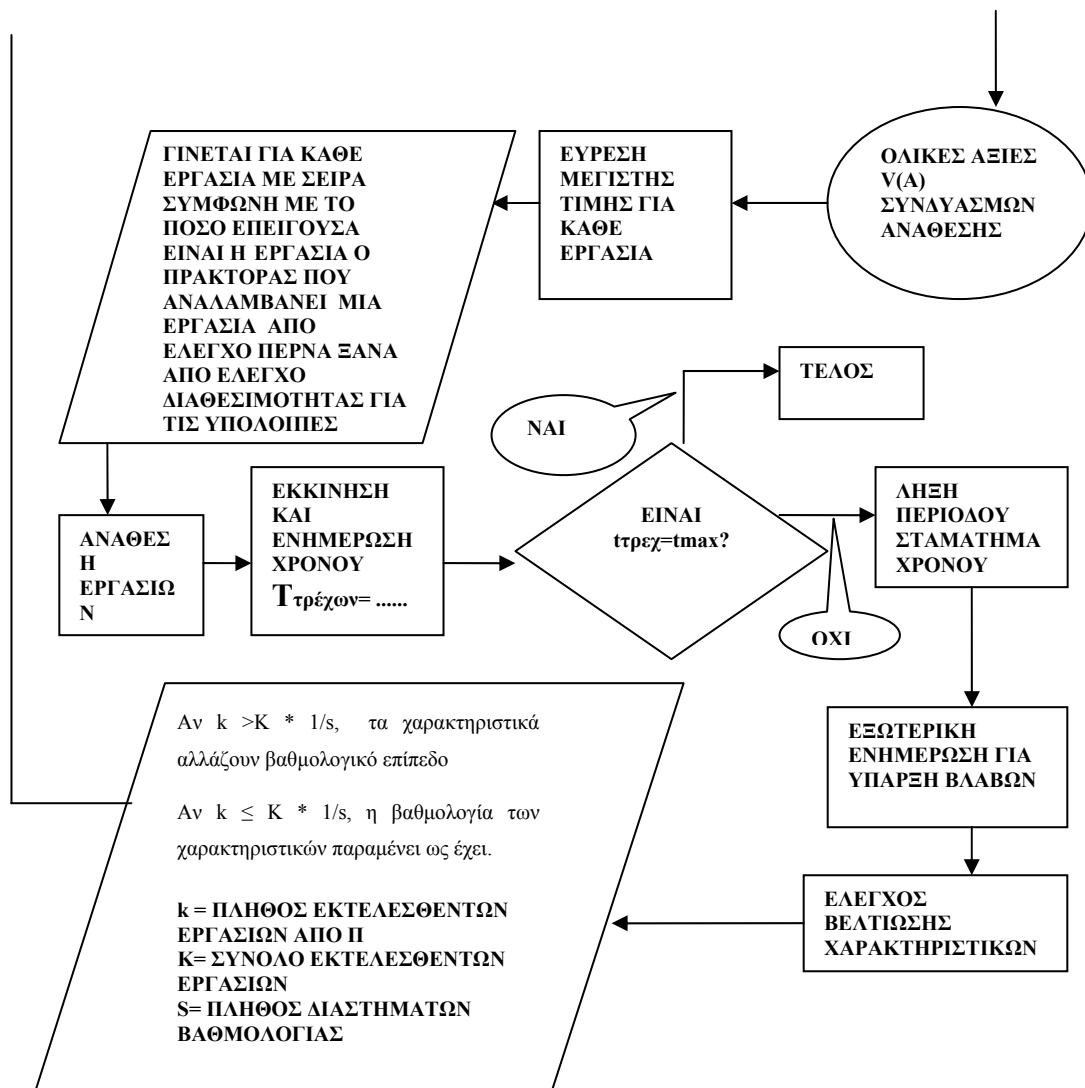
Στη συνέχεια ορίζουμε το ολικό κριτήριο, το οποίο βαθμολογεί την αξία της ανάθεσης μιας εργασίας Ε σε έναν πράκτορα Π. Η αξία του ολικού κριτηρίου μας δίνεται από τον τύπο:

$$V_{ολικό} = \sum_1^j [V(g_j)mnt * p(g_j)]$$

5. Ανάθεση των εργασιών. Το σύστημα έχοντας υπολογίσει τις επιδόσεις κάθε συνδυασμού ανάθεσης αναθέτει στις εργασίες στους κατάλληλους πράκτορες και πλέον περιμένει για την ολοκλήρωση των εργασιών αλλά και για ενδεχόμενα βλαβών ή εισαγωγής νέων εργασιών.

Συνοπτικά η μέθοδος μπορεί να περιγραφεί με το παρακάτω διάγραμμα:





Διάγραμμα 4-1 : Το διάγραμμα ροής της μεθόδου

4-5. ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Στο τμήμα αυτό της εργασίας γίνεται λεπτομερέστερα η παρουσίαση του τρόπου λειτουργίας της μεθόδου ώστε να γίνει πιο κατανοητός ο τρόπος με τον οποίο χρησιμοποιούνται οι παραδοχές της μεθόδου και το μαθηματικό της υπόβαθρο. Όπως αναφέρθηκε η μέθοδος που προτείνεται έχει στόχο την ανάθεση καθηκόντων-εργασιών σε μια ομάδα από ευφυείς πράκτορες, οι οποίοι είναι διαθέσιμοι στο σύστημα. Για καλύτερη κατανόηση ο τρόπος λειτουργίας της μεθόδου χωρίζεται σε 6 απλά βήματα.

4-6. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΕ 6 ΒΗΜΑΤΑ

1ο Βήμα : Καθορισμός και καταγραφή των χαρακτηριστικών των πρακτόρων των απαιτήσεων των εργασιών και των γενικών κριτηρίων του συστήματος.

Ο καθοριστικός παράγοντας που θα κρίνει το αν οι εργασίες έχουν κατανεμηθεί σωστά στους πράκτορες είναι η τελική βαθμολογία των συνδυασμών ανάθεσης πρακτόρων σε εργασίες. Η βαθμολογία αυτή αναλύεται αρχικά στην βαθμολογία που συγκεντρώνει ο συνδυασμός σε καθένα από τα επιθυμητά υπό-κριτήρια του συστήματος. Έτσι αρχικά ο χρήστης πρέπει να ορίσει το ποιες γενικές προϋποθέσεις θα πρέπει να πληρεί το σύστημα του. Για παράδειγμα ο χρήστης μπορεί να θέσει ως γενικά κριτήρια αξιολόγησης του συστήματος του την ταχύτητα, την σταθερότητα και το κόστος λειτουργίας του συστήματος. Αυτό σημαίνει πως για να θεωρείται ένας συνδυασμός πράκτορα-εργασίας κατάλληλος θα πρέπει να έχει υψηλότερη βαθμολογία από τους εναλλακτικούς του την τρέχουσα χρονική στιγμή (γιατί το σύστημα είναι δυναμικό) βαθμολογημένος με βάση τα ζητούμενα υπό-κριτήρια.

Ασφαλώς ο αριθμός και το είδος των γενικών κριτηρίων δεν είναι προκαθορισμένος αλλά αφήνεται στην κρίση του χρήστη να αποφασίσει ανάλογα με τις ανάγκες και τα δεδομένα του προβλήματος το ποια και πόσα θα είναι αυτά.

Η βαθμολογία σε καθένα από τα υπό-κριτήρια όπως ειπώθηκε και στο μαθηματικό υπόβαθρο της μεθόδου εξαρτάται με τη σειρά της από τη βαθμολόγηση του συνδυασμού των απαιτήσεων της εργασίας και των χαρακτηριστικών του πράκτορα που την αναλαμβάνει. Έτσι αν για παράδειγμα έχουμε θέσει ως γενικό κριτήριο την ταχύτητα τότε η βαθμολογία στην ταχύτητα θα εξαρτάται από το χαρακτηριστικό του πράκτορα

«ταχύτητα επεξεργασίας» αλλά και την απαίτηση «μέγεθος εργασίας» της εργασίας. Με αυτό το σκεπτικό ο συνδυασμός μικρό μέγεθος εργασίας - μέγιστη ταχύτητα επεξεργασίας που υποδηλώνει κάποιο πράκτορα που αναλαμβάνει μια εργασία, θα βαθμολογείται υψηλότερα από όλους τους άλλους όσον αφορά την ταχύτητα.

Εργαζόμενος έτσι σε αυτό το στάδιο ο χρήστης καλείται να κάνει τις εξής ενέργειες:

1. Να ορίσει τα γενικά κριτήρια βαθμολόγησης του συστήματος
2. Να ορίσει τα χαρακτηριστικά των πρακτόρων και τις απαιτήσεις των εργασιών
3. Να ορίσει το ποια χαρακτηριστικά και ποιες απαιτήσεις **συνδέονται** με το κάθε υπό-κριτήριο. Οι σχέσεις αυτές προκύπτουν με βάση την λογική σκέψη του αποφασίζοντα. Π.χ. είναι προφανές ότι η αξιοπιστία συνδυάζεται με τις υψηλές τεχνικές προδιαγραφές του πράκτορα.

2ο Βήμα: Βαθμολόγηση χαρακτηριστικών πρακτόρων και απαιτήσεων εργασιών και μοντελοποίηση των συνδυασμών τους.

Έχοντας καθορίσει τα κριτήρια, τα χαρακτηριστικά των πρακτόρων και τις απαιτήσεις των εργασιών στο στάδιο αυτό ο χρήστης καλείται να βαθμολογήσει αριθμητικά τις απαιτήσεις των εργασιών αλλά και τα χαρακτηριστικά των πρακτόρων. Λόγω του ότι τα δεδομένα αυτά είναι άμεσα ή και έμμεσα μετρήσιμα π.χ. η ταχύτητα ενός πράκτορα ή ο χρόνος εκτέλεσης μιας εργασίας ο χρήστης πρέπει να εισάγει κλίμακες βαθμολόγησης, κάθε μια από τις οποίες θα είναι για ένα μόνο χαρακτηριστικό η απαίτηση, στις οποίες θα χωρίζονται σε περιγραφικές κατηγορίες οι αριθμητικές επιδόσεις των πρακτόρων ή οι βαθμοί των απαιτήσεων των εργασιών αντίστοιχα. Η αριθμητική κλίμακα βαθμολόγησης είτε πρόκειται για χαρακτηριστικό πράκτορα είτε για απαίτηση θα είναι από το 0 έως το 1. 0 είναι η χειρότερη επίδοση ενώ 1 η καλύτερη. Στη συνέχεια ο χρήστης πρέπει να χωρίσει το διάστημα $[0,1]$ σε όσα υπό-διαστήματα κρίνει αυτός απαραίτητο και να δώσει μια περιγραφική αξιολόγηση στις βαθμολογίες που περιλαμβάνονται στο υπό-διάστημα αυτό. Π.χ. βαθμολογία από 0-0,3 μπορεί να χαρακτηριστεί κακή, από 0,3-0,6 μέτρια από 0,6-0,8 καλή και από 0,8-1 άριστη. Εδώ πρέπει να τονιστεί πως ο χρήστης θα πρέπει να καθορίσει προσεχτικά το αν ένα χαρακτηριστικό ή απαίτηση επηρεάζει

θετικά ή αρνητικά τα κριτήρια του συστήματος. Είναι δυνατόν ένα χαρακτηριστικό να είναι θετικό για ένα υπό-κριτήριο αλλά αρνητικό για ένα άλλο υπό-κριτήριο.

Ο χρήστης βαθμολογεί επίσης αριθμητικά όλους τους συνδυασμούς που μπορεί να προκύψουν από τις περιγραφικές βαθμολογίες απαιτήσεων και χαρακτηριστικών. Γενικότερα ο συνδυασμός υψηλών επιδόσεων με υψηλές απαιτήσεις βαθμολογείται καλύτερα σε σχέση με τους υπόλοιπους Έτσι ο χρήστης μπορεί να βρίσκει άμεσα το ποιος συνδυασμός συγκεντρώνει την υψηλότερη βαθμολογία σε κάθε χαρακτηριστικό πάντα σύμφωνα βέβαια με τις δικές του προτιμήσεις και παραδοχές.

3^ο Βήμα - Εισαγωγή εργασιών και πρακτόρων στο σύστημα

Σε αυτό το στάδιο αρχίζει ουσιαστικά η λειτουργία του συστήματος. Οι εργασίες εισάγονται στο σύστημα και τοποθετούνται σε μια σειρά προτεραιότητας ανάλογα με το πόσο επείγον είναι να εκτελεστεί η κάθε μία. Η κάθε εργασία ορίζεται σαν ένα διάνυσμα που περιλαμβάνει τις απαιτήσεις της εργασίας π.χ.: $E_i = \{a_2, a_4, a_5\}$.

Για κάθε εργασία επίσης πρέπει να αναφέρεται η χρονική της προθεσμία t_{wi} και ένας εκτιμώμενος χρόνος εκτέλεσης της t_{Ei} .

Όπως αναφέρθηκε και στο μαθηματικό υπόβαθρο της μεθόδου το επείγον μιας εργασίας καθορίζεται από τον τύπο $Z_i = \frac{Mt_i}{TW_i}$. Στην επόμενη χρονική περίοδο του συστήματος μπορούν να εισαχθούν και νέες εργασίες λόγω του ότι το εξεταζόμενο σύστημα είναι δυναμικό. Οπότε και σε αυτή την περίπτωση ακολουθούνται οι ίδιοι ακριβώς κανόνες.

Με τον ίδιο τρόπο καταγράφονται και οι πράκτορες του συστήματος ως διανύσματα των χαρακτηριστικών που διαθέτουν π.χ. $\Pi_1 = \{x_2, x_3\}$ Για κάθε πράκτορα πρέπει να καταγράφονται επίσης: ο αριθμός των εργασιών που έχει εκτελέσει CP_j και ο χρόνος t_{APj} στον οποίο ο πράκτορας θα παραμείνει απασχολημένος με την εκτέλεση κάποιας εργασίας. Σε περίπτωση που κάποιος πράκτορας πάθει βλάβη πρέπει να καταγραφεί επίσης ο χρόνος βλάβης και ο χρόνος που απομένει μέχρι να επισκευαστεί t_{ijb} και t_{ijE} αντίστοιχα.

. Όταν ένας πράκτορας είναι άμεσα διαθέσιμος η τιμή που δείχνει τότε είναι διαθέσιμος ισούται με το 1 για υπολογιστικούς λόγους όπως άλλωστε επισημάνθηκε και στο μαθηματικό υπόβαθρο της μεθόδου. Αρχικά προφανώς η τιμή είναι 1 για όλους τους

πράκτορες. Όπως έχει ήδη αναφερθεί είναι δυνατόν ένας πράκτορας να εκτελεί μια εργασία αλλά να θεωρείται διαθέσιμος και για μια άλλη εφόσον προλαβαίνει να τελειώσει αυτή με την οποία ασχολείται ήδη και να εκτελέσει και την ζητούμενη εργασία πριν λήξει το χρονικό της παράθυρο.

4^ο Βήμα - Βαθμολόγηση συνδυασμών λαμβανομένου υπόψιν και του επείγοντος κάθε εργασίας

Στο στάδιο αυτό ξεκινάει η πρώτη χρονική περίοδος λειτουργίας του συστήματος η οποία καταγράφεται και από το ίδιο το σύστημα. Ανάλογα με το πόσο επείγουσα είναι η κάθε εργασία υπάρχουν 2 περιπτώσεις:

1. Μία μόνο εργασία είναι πιο επείγουσα από τις υπόλοιπες
2. Δύο ή περισσότερες εργασίες είναι το ίδιο επείγουσες και πρέπει να γίνουν γρηγορότερα από τις υπόλοιπες.

Στην πρώτη περίπτωση το σύστημα εξετάζει όλους τους διαθέσιμους συνδυασμούς πρακτόρων-και πλέον επείγουσας εργασίας, μέχρι να βρει τον συνδυασμό που δίνει τη βέλτιστη βαθμολογία σύμφωνα με τους μαθηματικούς τύπους που αναφέρθηκαν, στα γενικά κριτήρια του συστήματος αλλά και στο ολικό κριτήριο του συστήματος.

Στην δεύτερη περίπτωση όπου έχουμε περισσότερες από μια εργασίες εξετάζονται όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί πρακτόρων και προς εκτέλεση εργασιών και σε κάθε πράκτορα ανατίθεται η εργασία με την οποία ο συνδυασμός δίνει τη μεγαλύτερη επίδοση στα υπό-κριτήρια από τους υπόλοιπους. Στην περίπτωση που ένας πράκτορας δίνει την ίδια επίδοση για 2 ή περισσότερες όμοια επείγουσες εργασίες αναλαμβάνει την εργασία που εισήχθηκε πρώτη στο σύστημα. Σε περίπτωση που οι εργασίες εισήχθηκαν ταυτόχρονα στο σύστημα η επιλογή γίνεται τυχαία βάσει του σκεπτικού που αναφέρθηκε στο μαθηματικό υπόβαθρο της μεθόδου.

Γενικότερα ισχύει και εδώ ο κανόνας ότι **κάθε εργασία πρέπει να ανατίθεται στον πράκτορα με τον οποίο ο συνδυασμός τους δίνει την υψηλότερη επίδοση εκτός**

κι αν αυτό εμποδίζει την βέλτιστη εκτέλεση μιας πιο επείγουσας εργασίας η μιας εργασίας που εισήλθε νωρίτερα στο σύστημα.

Έτσι εξασφαλίζεται ότι δεν θα υπάρχουν σημαντικές απώλειες για το σύστημα επειδή μια εργασία δεν εκτελέστηκε από τον πράκτορα που κανονικά θα έπρεπε να την είχε εκτελέσει.. Για την περίπτωση που 2 ή περισσότεροι πράκτορες δίνουν την ίδια βαθμολογία σε συνδυασμό με την εργασία που έχει άμεση προτεραιότητα η μέθοδος λειτουργεί με το ίδιο σκεπτικό: Βέβαια λόγω της διαφοροποίησης των πρακτόρων οι περιπτώσεις ισοβαθμίας είναι εξαιρετικά σπάνιες.

5^ο Βήμα - Ανάθεση εργασιών

Εφόσον το σύστημα έχει βαθμολογήσει τον κάθε συνδυασμό προχωράει στην ανάθεση των εργασιών στους κατάλληλους πράκτορες.

Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται για όσο επιθυμεί ο χρήστης και ουσιαστικά η μέθοδος επαναχρησιμοποιείται σε κάθε χρονική περίοδο του συστήματος ώστε να επιτυγχάνεται πάντα ο βέλτιστος τρόπος ανάθεσης των εργασιών σε πράκτορες.

6^ο Βήμα – Βοηθητικές εργασίες

Συχνά στο τέλος κάθε χρονικής περιόδου η μέθοδος απαιτεί να εκτελεστούν κάποιες βοηθητικές εργασίες. Η κυριότερη από αυτή είναι ο **έλεγχος διαθεσιμότητας**. Ο έλεγχος αυτός δείχνει αν κάποιος πράκτορας μπορεί να αναλάβει μια εργασία. Η συγκεκριμένη διαδικασία γίνεται όμως μόνο για πράκτορες που είναι ήδη απασχολημένοι με κάποια εργασία και για πράκτορες που βρίσκονται σε κατάσταση βλάβης. Αυτό είναι λογικό καθώς όσοι πράκτορες δεν έχουν κάποια άλλη απασχόληση είναι προφανώς άμεσα διαθέσιμοι για την εκτέλεση της εργασίας. Ο έλεγχος διαθεσιμότητας γίνεται για κάθε εργασία ξεχωριστά με τη χρήση ενός πίνακα που περιέχει τις εργασίες και τους πράκτορες για τους οποίους γίνεται ο έλεγχος.. Έτσι ελέγχεται το αν ο Π πράκτορας είναι διαθέσιμος για την Ε εργασία.

Ο υπολογισμός που γίνεται για να εξακριβωθεί αν ένας πράκτορας που βρίσκεται σε βλάβη είναι διαθέσιμος για μια εργασία είναι ο εξής: Πρέπει να υπολογιστεί αν ο

χρόνος που απομένει για να επισκευαστεί ο πράκτορας αθροιζόμενος με το χρόνο που απαιτείται για την εκτέλεση της ζητούμενης εργασίας είναι μικρότερος από τη χρονική προθεσμία της εργασίας. Πρέπει δηλαδή να ισχύει:

$$t_{\Pi E} + t_{Ei} \leq t_{wi}$$

Ο αντίστοιχος υπολογισμός που γίνεται για να εξεταστεί αν ένας πράκτορας που στην τρέχουσα χρονική στιγμή ασχολείται με μια άλλη εργασία είναι διαθέσιμος για την ανάθεση μιας άλλης εργασίας είναι ο εξής: Πρέπει να υπολογιστεί αν ο χρόνος που απομένει στον πράκτορα για να εκτελέσει την τρέχουσα εργασία (χρόνος απασχόλησης) αθροιζόμενος με τον χρόνο που χρειάζεται για την εκτέλεση της δεύτερης εργασίας είναι μικρότερος από την χρονική προθεσμία της δεύτερης εργασίας. Πρέπει δηλαδή:

$$t_{\Delta \Pi j} + t_{Ei} \leq t_{wi}$$

Άλλες βοηθητικές εργασίες είναι η καταγραφή του χρόνου βλάβης ενός πράκτορα, η βελτίωση των χαρακτηριστικών των πρακτόρων αν πληρούνται οι κατάλληλες προϋποθέσεις, η καταγραφή διαφόρων μεταβλητών που αφορούν τις εργασίες και τους πράκτορες π.χ. η ενημέρωση του αριθμού των εργασιών που έχει εκτελέσει ο κάθε πράκτορας κ.α. Πρέπει να σημειωθεί ότι στην ηλεκτρονική μορφή της μεθόδου τις περισσότερες από αυτές τις εργασίες τις εκτελεί ο ίδιος ο χρήστης χρησιμοποιώντας κάποιες έτοιμες φόρμες που του παρέχει το πρόγραμμα της μεθόδου. Όλες αυτές οι βοηθητικές εργασίες είναι απολύτως απαραίτητες για τη σωστή διεξαγωγή της μεθόδου.

4-7. Η ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ : ΕΝΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Για να κατανοηθεί καλύτερα ο τρόπος λειτουργίας της μεθόδου παραθέτουμε μια πλήρη εφαρμογή της που συνδέεται με προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων. Σύμφωνα με το παράδειγμα μια μεταφορική εταιρία διαθέτει 4 οχήματα μεταφορών με τα οποία αναλαμβάνει να εκπληρώσει παραγγελίες πελατών της μέσα σε ένα δίκτυο διανομής. Στην εταιρία οι παραγγελίες από τους πελάτες γίνονται τηλεφωνικά και σε ακαθόριστα χρονικά διαστήματα. Οι ποσότητες καθώς και τα είδη των προϊόντων διαφέρουν από παραγγελία σε παραγγελία. Επίσης για κάθε παραγγελία πρέπει να ακολουθηθεί ένα διαφορετικό δρομολόγιο για την εκπλήρωση της ενώ κάθε μια παραγγελία έχει και μια χρονική προθεσμία εκπλήρωσης πέρα από την οποία ο πελάτης δεν δέχεται την

παραγγελία. Τα χαρακτηριστικά των οχημάτων επίσης διαφέρουν μεταξύ τους. Για παράδειγμα ένα όχημα μπορεί να είναι σχεδιασμένο για να μεταφέρει επικίνδυνα υλικά, ένα άλλο μπορεί να έχει μεγαλύτερη χωρητικότητα κι ένα άλλο να αναπτύσσει μεγαλύτερες ταχύτητες. Ακόμα και όταν τα οχήματα είναι του ίδιου τύπου πάλι υπάρχουν στοιχεία που τα διαφοροποιούν όπως το τι τεχνική συντήρηση τους έχει γίνει το πόσο παλιά είναι κ.α. Επίσης το προσωπικό (μεταφορείς) που εργάζεται σε κάθε όχημα μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα χαρακτηριστικό του οχήματος το οποίο διαφέρει από όχημα σε όχημα.

Η εταιρία έχει θέσει κάποια κριτήρια τα οποία πρέπει να πληρούνται ικανοποιητικά όσον αφορά κάθε παραγγελία της. Αυτά είναι :

1.Το κόστος. Το κόστος εκτέλεσης μια παραγγελίας πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μειωμένο. Οι παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος είναι:

α) **η κατανάλωση καυσίμων του οχήματος σε σχέση με το μήκος του δρομολογίου της παραγγελίας.** Μεγάλα δρομολόγια σε συνδυασμό με μεγάλη κατανάλωση καυσίμου σημαίνει πολλά έξοδα για αγορά καυσίμων.

β) **το μέγεθος της παραγγελίας σε σχέση με το ωφέλιμο φορτίο που μπορεί να μεταφέρει το όχημα.** Όταν χρησιμοποιούνται μεγάλα οχήματα για μικρά φορτία αυτό σημαίνει ότι μεγάλες παραγγελίες μπορεί να καθυστερήσουν αφού τα μεγάλα οχήματα δεν θα είναι διαθέσιμα.

2.Η ταχύτητα. Αν και οι παραγγελίες έχουν συγκεκριμένες χρονικές προθεσμίες μέσα στις οποίες πρέπει να γίνουν οι υπεύθυνοι της εταιρίας θεωρούν ότι είναι καλό οι παραγγελίες να γίνονται όσο το δυνατόν γρηγορότερα. Αυτό γίνεται κυρίως για λόγους οργανωτικούς. Είναι καλό για την εταιρία τα οχήματα της να επιστρέφουν γρήγορα στη βάση τους και να μη μένουν για πολύ χρόνο εκτός αυτής καθώς έτσι μειώνεται ο κίνδυνος βλαβών, ατυχημάτων ενώ παράλληλα υπάρχει η δυνατότητα άμεσου τεχνικού ελέγχου συντήρησης και ανεφοδιασμού των οχημάτων που γυρίζουν νωρίτερα στη βάση τους και περιμένουν την επόμενη παραγγελία. Επίσης η ταχύτητα δεν περιορίζεται μόνο στην ταχύτητα μεταφοράς των εμπορευμάτων αλλά και στην ταχύτητα εκφόρτωσης τους από το προσωπικό του οχήματος. Όταν η ταχύτητα εκφόρτωσης είναι μεγάλη οι πελάτες

είναι πιο ευχαριστημένοι και αυτό δίνει αξία στο όνομα της εταιρίας. Με βάση τα παραπάνω τα υπο-κριτήρια που επηρεάζουν την ταχύτητα είναι:

α) **Η ταχύτητα του φορτηγού σε σχέση με το μήκος του δρομολογίου της παραγγελίας.** Η ποιότητα του οδικού δικτύου αλλά και το μήκος της απόστασης που πρέπει να καλυφθεί σε συνδυασμό με την μέγιστη ταχύτητα που μπορεί να αναπτύξει το κάθε όχημα επηρεάζει το κριτήριο της ταχύτητας. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι η μέγιστη ταχύτητα που μπορεί να αναπτύξει το όχημα μπορεί να εξαρτάται τόσο από τον τύπο, την τεχνική κατάσταση και την ηλικία του οχήματος όσο και από την ικανότητα του οδηγού του.

β) **Ο αριθμός των στάσεων σε σχέση με την ικανότητα του πληρώματος του οχήματος.** Οι στάσεις που θα κάνει το όχημα αντιστοιχούν σε παραδόσεις παραγγελιών. Είναι προφανές πως όσο συχνότερα σταματάει το όχημα ακόμα και αν το μήκος του δρομολογίου είναι μικρό τόσο περισσότερο καθυστερεί. Επιπλέον η ικανότητα και η εμπειρία του πληρώματος να εκφορτώσει γρήγορα την παραγγελία συντελεί και αυτή καθοριστικά στον παράγοντα της ταχύτητας.

3.Η αποτελεσματικότητα. Το κριτήριο της αποτελεσματικότητας εξασφαλίζει ότι η παραγγελία εκτός από οικονομικά και έγκαιρα θα γίνει και σωστά: Τα εμπορεύματα θα πρέπει να παραδίδονται σε καλή κατάσταση έχοντας υποστεί όσο το δυνατόν λιγότερες ζημιές κατά τη διάρκεια της διαδρομής. Το πλήρωμα του κάθε οχήματος θα πρέπει να φέρεται ευγενικά στον πελάτη που θα παραλάβει την παραγγελία ώστε να δώσει καλή εντύπωση για την εταιρία και γενικότερα να εκτελέσει την εργασία του επαγγελματικά. Έτσι οι παράγοντες που επηρεάζουν το κριτήριο της αποτελεσματικότητας είναι:

α) **Η ταχύτητα του οχήματος σε συνδυασμό με τον βαθμό ευθραυστότητας του φορτίου του.** Είναι προφανές ότι για μεγάλες ταχύτητες ο κίνδυνος εύθραυστα φορτία να υποστούν φθορές είναι μεγαλύτερος. Έτσι αυτός ο παράγοντας χρειάζεται να έχει μικρές τιμές.

β) **Η ικανότητα του πληρώματος σε σχέση με την ευθραυστότητα του φορτίου.** Ένα ανέμπειρο πλήρωμα μπορεί να προξενήσει μεγάλες ζημιές μεταφέροντας πρόχειρα ένα φορτίο που έχει υψηλή ευθραυστότητα. Όσο πιο εύθραυστο είναι ένα φορτίο τόσο καλύτερο είναι να προτιμάται αντίστοιχα έμπειρο πλήρωμα.

Έχοντας ορίσει τα παραπάνω ουσιαστικά έχουμε ορίσει τα κριτήρια του προβλήματος και τα υπό-κριτήρια που τα επηρεάζουν. Συμπληρώνουμε λοιπόν τις αντίστοιχες λίστες της μεθόδου στο EXCEL:

ΚΡΙΤΗΡΙΟ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ	ΚΟΣΤΟΣ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ
ΣΧΕΤΙΚΑ ΥΠΟ-ΚΡΙΤΗΡΙΑ	ταχύτητα φορτηγού	ωφέλιμο φορτίο	ικανότητα πληρώματος
	μήκος δρομολογίου	μέγεθος παραγγελίας	ευθραυστότητα φορτίου
	ικανότητα πληρώματος	κατανάλωση καυσίμου	ταχύτητα φορτηγού
	αριθμός στάσεων	μήκος δρομολογίου	ευθραυστότητα φορτίου

Για το κάθε κριτήριο χρειάζεται να γνωρίζουμε το πόσο σημαντικό είναι για τον αποφασίζοντα ώστε να ξέρουμε την αξία του στην συνάρτηση ολικής χρησιμότητας για το ολικό κριτήριο. Τα βάρη p των κριτηρίων μπορούν να δοθούν με την βοήθεια της μεθόδου UTA2 ή να τα απονείμει ο χρήστης όπως αυτός θεωρεί σωστά. Τα βάρη για τα κριτήρια μας εδώ, τα οποία και συμπληρώνουμε στο αντίστοιχο πεδίο της μεθόδου στο EXCEL είναι:

ΚΡΙΤΗΡΙΟ	ΒΑΡΟΣ
Ταχύτητα	0,4
Κόστος	0,35
Αποτελεσματικότητα	0.25

Επόμενο βήμα είναι ο καθορισμός των χαρακτηριστικών των οχημάτων και των απαιτήσεων των παραγγελιών. Οι πληροφορίες αυτές συμπληρώνονται στο φύλλο του EXCEL που εισάγονται τα γενικά δεδομένα:

**ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ
ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΩΝ**

μήκος
δρομολογίου
αριθμός στάσεων
μέγεθος
παραγγελίας
ευθραυστότητα
φορτίου

**ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
ΟΧΗΜΑΤΩΝ**

ταχύτητα φορτηγού
ικανότητα
πληρώματος
ωφέλιμο φορτίο
κατανάλωση καυσίμου

Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά διατίθενται σε διαφορετικούς βαθμούς από όλα τα οχήματα-πράκτορες ενώ αντίστοιχα όλες οι παραγγελίες-εργασίες έχουν όλες τις απαιτήσεις σε διαφορετικούς βαθμούς. Για τη βαθμολόγηση των υπό-κριτηρίων που προκύπτουν από τους συνδυασμούς των χαρακτηριστικών και των απαιτήσεων εργαζόμαστε ως εξής:

Για κάθε απαίτηση και χαρακτηριστικό θέτουμε μια περιγραφική κλίμακα βαθμολόγησης η οποία έχει κάποιο συγκεκριμένο αριθμό διαστημάτων βαθμολόγησης. Στην περίπτωση μας έχουμε 3 διαστήματα: μικρό, μέσο και μεγάλο. Ορίζεται ένα διάστημα που ανήκει στο $[0,1]$ το οποίο αντιστοιχεί σε καθέναν από τους 3 παραπάνω χαρακτηρισμούς. Ο αριθμός των διαστημάτων βαθμολόγησης καταγράφεται σε πίνακα στην ηλεκτρονική μορφή της μεθόδου. Στο παράδειγμα μας τα διαστήματα είναι ως εξής:

0-0,3	μικρό
0,31- 0,7	μέσο
0,71- 1	μεγάλο

Στη συνέχεια ο χρήστης περνάει στο φύλλο «βαθμολογίες» της μεθόδου τις βαθμολογίες όλων των πιθανών συνδυασμών χαρακτηριστικών και απαιτήσεων οι οποίοι σχηματίζουν υπό-κριτήρια. Οι συνδυασμοί αφορούν τόσο το είδος του χαρακτηριστικού και της απαίτησης όσο και τον βαθμό στον οποίο υπάρχει. Έτσι για παράδειγμα για το υπό κριτήριο ταχύτητα φορτηγού σε σχέση με μήκος δρομολογίου το οποίο επηρεάζει την ταχύτητα συμπληρώνεται ο παρακάτω πίνακας:

	μήκος δρομολογίου		
ταχύτητα φορτηγού	μεγάλο	μέσο	μικρό
μεγάλη	0.5	0.7	1
μέση	0.3	0.6	0.7
μικρή	0	0.4	0.5

Ο πίνακας αυτός ορίζει ότι για παράδειγμα αν η ταχύτητα του φορτηγού είναι σε βαθμολογικό διάστημα που χαρακτηρίζεται μεγάλη και το μήκος του δρομολογίου βρίσκεται σε βαθμολογικό διάστημα που χαρακτηρίζεται μέσο τότε η αριθμητική βαθμολογία του υπό-κριτηρίου είναι ίση με 0,7. Οι βαθμολογίες αυτές προκύπτουν από προσωπικές επιλογές του χρήστη. Η ίδια διεργασία γίνεται για όλα τα υπό-κριτήρια όπως φαίνεται στο CD που περιέχει την εφαρμογή.

Στην συνέχεια γίνεται η καταγραφή των οχημάτων τα οποία είναι στην ουσία οι πράκτορες του συστήματος και των επιδόσεων τους στα διάφορα χαρακτηριστικά τους. Συμπληρώνεται η αντίστοιχη φόρμα:

ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΙ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΕΣ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΕΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ	
	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ
	1	2	3	4
ΠΡΑΚΤΟΡΕΣ	ταχύτητα φορτηγού	ικανότητα πληρώματος	ωφέλιμο φορτίο	κατανάλωση καυσίμου
Π1	μεγάλη	μέση	μικρό	μέση
Π2	μέση	μέση	μέση	μέση
Π3	μικρή	μεγάλη	μεγάλο	μεγάλη
Π4	μεγάλη	μέση	μεγάλο	μικρή

Οι πράκτορες αυτοί οχήματα θα είναι οι μόνοι που θα υπάρχουν στο σύστημα καθώς δεν υπάρχει η περίπτωση η εταιρία να αγοράσει νέα οχήματα. Κάποιοι από αυτούς μπορεί να βγουν προσωρινά από τη λίστα των διαθέσιμων σε περίπτωση βλάβης ή ενασχόλησης με άλλη εργασία.

Εκτός από τα παραπάνω για κάθε πράκτορα καταγράφονται και τα παρακάτω στοιχεία τα οποία θα πρέπει να ενημερώνει ο χρήστης σε κάθε χρονική περίοδο του συστήματος. Η αντίστοιχη φόρμα είναι η εξής:

ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΕ ΣΠj	τΑΠj ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΑΣΧΟΛΗΣΗΣ	τΠjΒ ΧΡΟΝΟΣ ΒΛΑΒΗΣ	τΠjΕ ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ

Όπως φαίνεται στη φόρμα αυτή καταγράφονται οι εργασίες που έχει εκτελέσει ο πράκτορας, ο αριθμός των οποίων είναι απαραίτητος για να γίνει ο έλεγχος για το αν ο πράκτορας έχει βελτιωθεί, ο χρόνος απασχόλησης που δείχνει σε πόσο χρόνο ο πράκτορας τελειώνει τις εργασίες που του έχουν ανατεθεί, ο χρόνος βλάβης που δείχνει το πότε έπαθε βλάβη ο πράκτορας και ο χρόνος επισκευής που δείχνει σε πόσες χρονικές περιόδους ο πράκτορας θα έχει επισκευαστεί.

Ομοίως οι εργασίες-παραγγελίες και οι απαιτήσεις τους καταγράφονται σε αντίστοιχη φόρμα. Η μόνη διαφορά είναι ότι με το πέρας των χρονικών περιόδων του συστήματος **καινούργιες εργασίες θα εισέρχονται στο σύστημα ενώ αυτές που εκτελούνται θα φεύγουν από αυτό.** Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι τα στοιχεία για τις εργασίες συμπληρώνονται όταν αυτές μπουν στο σύστημα αλλά πριν να ξεκινήσει να μετρά ξανά ο χρόνος συστήματος δηλαδή η καταγραφή γίνεται στο χρονικό εκείνο στάδιο που γίνεται όλες οι βοηθητικές εργασίες .

	ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΕΣ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΕΣ	ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ	
ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΡΟΣ ΕΚΤΕΛΕΣΗ	ΑΠΑΙΤΗΣΗ 1	ΑΠΑΙΤΗΣΗ 2	ΑΠΑΙΤΗΣΗ 3	ΑΠΑΙΤΗΣΗ 4
	Μήκος δρομολογίου	Αριθμός στάσεων	Μέγεθος παραγγελίας	Εύθραστικότητα φορτίου
E1	μέσο	μικρός	μεγάλο	μικρή
E2	μεγάλο	μεγάλος	μέσο	μέση
E3	μέσο	μέσος	μικρό	μικρή
E4	μεγάλο	μέσος	μικρό	μέση

Καταγράφονται επίσης και κάποια συμπληρωματικά στοιχεία για τις εργασίες: η χρονική τους προθεσμία και ο χρόνος που απαιτείται για την εκτέλεση τους σε χρονικές περιόδους. Η αντίστοιχη φόρμα είναι η εξής:

ΠΡΟΘΕΣΜΙΑ	ΊΙΙ ΧΡΟΝΟΣ
twi	ΕΚΤΕΛΕΣΗ
1	1
3	1
1	1
2	1

Η φόρμα αυτή πρέπει να ενημερώνεται για κάθε νέα εργασία που εισέρχεται στο σύστημα.

Άλλα στοιχεία που καταγράφονται στο σύστημα είναι η τρέχουσα χρονική περίοδος, η περίοδος που θα τερματιστεί η λειτουργία του προγράμματος, το σύνολο των εργασιών που έχουν **εκτελεστεί** , το μήνυμα που ειδοποιεί για το αν πρέπει να γίνει λήξη του προγράμματος ή όχι και το μήνυμα που ειδοποιεί για το αν πρέπει να γίνει βελτίωση των χαρακτηριστικών κάποιου πράκτορα το οποίο αντιπροσωπεύει τη διαδικασία εκμάθησης του πράκτορα.

Έχοντας επιλέξει σαν χρόνο λήξης τις 4 χρονικές περιόδους ξεκινάμε την εφαρμογή. Την **1^η χρονική περίοδο** στο σύστημα εισέρχονται 4 εργασίες οι E1, E2, E3, E4. Στην αντίστοιχη φόρμα παραθέτονται όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί εργασιών-πρακτόρων ανά εργασία. Πρώτα δηλαδή δίνονται οι συνδυασμοί της E1 με όλους τους πράκτορες μετά της E2 κ.ο.κ. Ανατρέχοντας στο φύλλο «βαθμολογίες» ο χρήστης είναι σε θέση να συμπληρώσει την αριθμητική βαθμολογία του κάθε συνδυασμού στο κάθε υπό-κριτήριο. Στη συνέχεια υπολογίζει τις αντίστοιχες χρησιμότητες των κριτηρίων βρίσκοντας τον μέσο των βαθμολογιών των υπό-κριτηρίων που σχετίζονται με το κάθε κριτήριο. Για τον υπολογισμό του μέσου όρου χρησιμοποιείται η αντίστοιχη συνάρτηση AVERAGE του EXCEL. Έχοντας υπολογίσει τις αριθμητικές βαθμολογίες των κριτηρίων το σύστημα δίνει αυτόματα τις χρησιμότητες για το ολικό κριτήριο του κάθε συνδυασμού ανάθεσης χρησιμοποιώντας τον τύπο της ολικής χρησιμότητας της UTA2 και διαιρώντας τον αριθμό αυτό με τον χρόνο στον οποίο ο πράκτορας θα είναι διαθέσιμος. (Στην πρώτη χρονική περίοδο οι πράκτορες είναι άμεσα διαθέσιμοι όποτε ο χρόνος διαθεσιμότητας των πρακτόρων ισούται με 1 ώστε να μην απειριστεί το κλάσμα) . Σε κάθε εργασία αναζητείται ο πράκτορας που σε συνδυασμό μαζί της δίνει την μέγιστη ολική χρησιμότητα . Αρχικά αναζητείται η μέγιστη ολική χρησιμότητα για τις εργασίες που έχουν μικρότερη χρονική προθεσμία τις οποίες πρέπει να τις κατατάξει ο χρήστης. Η σειρά εξέτασης των εργασιών που είναι το ίδιο επείγουσες είναι τυχαία.

Κάθε πράκτορας που δίνει τη μέγιστη ολική χρησιμότητα για μια εργασία και επομένως την αναλαμβάνει δεν εξαιρείται αυτόματα από τη διαδικασία ελέγχου για τις υπόλοιπες. Αν ο συνδυασμός του και με κάποια άλλη εργασία δίνει τη μέγιστη ολική χρησιμότητα θα πρέπει να εξεταστεί αν ο πράκτορας θα είναι διαθέσιμος για να αναλάβει και την 2^η αυτή εργασία όταν θα έχει τελειώσει την πρώτη. **Προσοχή εδώ πρέπει να δοθεί στο σημείο ότι ο πράκτορας για τη 2^η εργασία έχει ένα νέο χρόνο διαθεσιμότητας: τον χρόνο υλοποίησης της εργασίας που έχει ήδη αναλάβει. Αρχικά λοιπόν υπολογίζεται η ολική αξία που δίνει ο πράκτορας σαν να είναι άμεσα διαθέσιμος. Στη συνέχεια ελέγχεται στο φύλλο «έλεγχος διαθεσιμότητας» αν θα είναι πράγματι διαθέσιμος και τέλος υπολογίζεται ποια θα είναι η ολική του αξία για τον νέο χρόνο διαθεσιμότητας. Αν η αξία αυτή συνεχίσει να είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη των συνδυασμών της ίδιας εργασίας με τους υπόλοιπους πράκτορες τότε ο πράκτορας θα αναλάβει και την δεύτερη εργασία.**

Στο παράδειγμα παρατηρούμε ότι ο πράκτορας Π1 συγκεντρώνει την υψηλότερη βαθμολογία σε συνδυασμό και με την εργασία E2 και με την E3 και με την E4. Όλες οι εργασίες όμως έχουν μηδενικό χρονικό περιθώριο πρέπει να γίνουν δηλαδή σε αυτή την χρονική περίοδο και έτσι στον έλεγχο διαθεσιμότητας που εξετάζεται αν ο πράκτορας προλαβαίνει να κάνει επιπλέον εργασίες εμφανίζεται το μήνυμα «όχι» για τον Π1 (ομοίως και για τους άλλους πράκτορες) Επομένως ο Π1 αναλαμβάνει την E2 η οποία ήταν πρώτη προς εξέταση ο Π2 την E3 και ο Π4 την E4 και ο Π3 την E1.

Στη δεύτερη χρονική περίοδο οι πράκτορες Π1 και Π3 έχουν πάθει βλάβη. Αυτό είναι μια εξωτερική πληροφορία που την καταγράφει ο χρήστης. Ο χρήστης καταγράφει επίσης τον χρόνο στον οποίο εκτιμάται ότι θα έχουν επισκευαστεί. Στο σύστημα εισέρχονται νέες εργασίες οι E5 E6 και E7. Ενώ οι E1,E2,E3,E4 που εκτελέστηκαν βγαίνουν από το σύστημα. Το σύστημα πραγματοποιώντας αυτόματα τον έλεγχο για το αν κάποιος πράκτορας πρέπει να βελτιωθεί ενημερώνει το χρήστη ότι κανένας από τους πράκτορες δεν έχει εκτελέσει αρκετό αριθμό εργασιών ώστε να θεωρηθεί ότι τα χαρακτηριστικά του αλλάζουν βαθμολογικό επίπεδο. Στη συνέχεια παρατηρούμε ότι ο Π3 δεν θα είναι ξανά διαθέσιμος αφού θα επισκευαστεί σε 3 χρονικές περιόδους ενώ το πρόγραμμα έχει οριστεί να λήξει στις επόμενες 2.Εργαζόμενοι όπως την πρώτη χρονική περίοδο βρίσκουμε τις ολικές χρησιμότητες για κάθε συνδυασμό συμπεριλαμβάνοντας και τον πράκτορα Π1 που σε μια χρονική περίοδο θα έχει επισκευαστεί.

Παρατηρούμε ότι ο πράκτορας Π2 σημειώνει υψηλότερη επίδοση από τους Π4 και Π1 στις εργασίες E6 και E7. Η E6 έχει μεγαλύτερο χρονικό περιθώριο να γίνει άρα θα αναλάβει σίγουρα την E7. Για την E6 τώρα εξετάζεται η επίδοση του Π2 για το νέο χρόνο διαθεσιμότητας του δηλαδή τον χρόνο που θέλει για να τελειώσει την E7. Η επίδοση είναι υψηλότερη από αυτή του Π4 ο οποίος πρέπει πρώτα να κάνει την E5 και από αυτή του Π1 ο οποίος πρέπει πρώτα να επισκευαστεί. Έχοντας ελέγξει αν όλοι οι πράκτορες θα είναι διαθέσιμοι για την E6 παρά το γεγονός ότι επισκευάζονται ή απασχολούνται με άλλη εργασία υπολογίζουμε την ολική αξία και βρίσκουμε ότι την εργασία E6 θα την αναλάβει και αυτή ο Π2 όταν τελειώσει την E7.

Στην **3^η χρονική περίοδο** δεν εισέρχονται νέες εργασίες στο σύστημα. Απομένει μόνο η ολοκλήρωση της εργασίας E6 από τον Π2.

Στην **4^η χρονική περίοδο** ενημερώνοντας τον αριθμό των εργασιών που εκτέλεσε ο Π2 και τον αριθμό των συνολικά εκτελεσθέντων εργασιών εμφανίζεται το μήνυμα «ΒΕΛΤΙΩΣΕ» για τον Π2. Αυτό σημαίνει πως τα χαρακτηριστικά του θα αυξηθούν κατά ένα περιγραφικό βαθμολογικό επίπεδο. Εδώ πρέπει να τονιστεί το ότι ο χρήστης μπορεί να έχει αποφασίσει ότι κάποια χαρακτηριστικά δεν γίνεται να βελτιωθούν π.χ. το μέγιστο φορτίο. Βέβαια αυτό εναπόκειται στην προσωπική γνώμη του αποφασίζοντα και σε περίπτωση που ισχύει τα χαρακτηριστικά του πράκτορα που δεν γίνεται να βελτιωθούν δεν βελτιώνονται μαζί με τα υπόλοιπα αλλά παραμένουν ως έχουν. Στη συνέχεια ενημερώνοντας το χρόνο του συστήματος ($t=4$) εμφανίζεται μήνυμα λήξης του προγράμματος και σταματάνε όλες οι διαδικασίες. Φυσικά οποιαδήποτε στιγμή ο χρήστης μπορεί να προσθέσει επιπλέον φύλλα EXCEL που θα αντιπροσωπεύουν νέες χρονικές περιόδους και να συνεχίσει από κει που σταμάτησε.

4-8. ΜΙΑ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Ενδιαφέρον παρουσιάζει μια εναλλακτική προσέγγιση της παραπάνω μεθόδου στην οποία δίνεται μεγαλύτερη έμφαση στην έγκαιρη εκτέλεση των εργασιών και στην ελαχιστοποίηση των εργασιών που δεν προλαβαίνει να εκτελέσει το σύστημα.

Στην παραλλαγή αυτή κάθε εργασία εκτελείται όταν έχει φτάσει στα όρια της προθεσμίας της **ακόμα και αν μπορούσε να έχει εκτελεστεί νωρίτερα**. Αυτό γίνεται διότι υπάρχει πάντα το ενδεχόμενο να εισέλθει μια εργασία στο σύστημα που πρέπει να γίνει άμεσα τη στιγμή που όλοι οι πράκτορες είναι απασχολημένοι. Σε αυτή την περίπτωση η εργασία που θα εισέλθει στο σύστημα δεν θα είναι δυνατό να εκτελεστεί έγκαιρα. Αυξάνοντας τον χρόνο που οι πράκτορες παραμένουν ανενεργοί στο σύστημα αυξάνεται η πιθανότητα κάθε εργασία που εισέρχεται στο σύστημα να βρει έναν ανενεργό πράκτορα και να εκτελεστεί από αυτόν.

Οι **παραδοχές** της παραλλαγής αυτής είναι ίδιες με αυτές της κύριας μεθόδου με τη διαφορά ότι για να είναι μια εργασία διαθέσιμη προς ανάθεση πρέπει να είναι στα όρια της χρονικής της προθεσμίας. Για να ελεγχθεί το παραπάνω για κάθε εργασία ορίζουμε ένα **νέο μέγεθος : $t_{ΑΠΕ}$ τον απόλυτο χρόνο εκτέλεσης** της κάθε εργασίας που ουσιαστικά είναι η χρονική περίοδος στην οποία λήγει η προθεσμία της εργασίας. Ο χρόνος αυτός υπολογίζεται από τον τύπο:

$$t_{ΑΠΕi} = t_{τρέχων} + t_{wi}$$

είναι δηλαδή το άθροισμα του τρέχοντα χρόνου και της προθεσμίας της εργασίας.

Επομένως αν :

$$t_{ΑΠΕ} - t_{Ei} = t_{τρέχων}$$

δηλαδή αν αφαιρέσουμε τον χρόνο εκτέλεσης μιας εργασίας από τον απόλυτο χρόνο εκτέλεσης της και το αποτέλεσμα είναι ο τρέχων χρόνος του συστήματος τότε η εργασία αυτή είναι επείγουσα και πρέπει να δοθεί προς ανάθεση.

Με την παραλλαγή αυτή βέβαια ο χρόνος διαθεσιμότητας του πράκτορα $t_{διαθi}$ δεν έχει πια σημασία καθώς κάθε πράκτορας πρέπει να είναι άμεσα διαθέσιμος αλλιώς η

εργασία θα χαθεί. Επομένως για να μπορεί να αναλάβει ένας πράκτορας μια εργασία θα πρέπει να είναι $t_{\text{διαθ}} = 1$. Έτσι πράκτορες που έχουν πάθει βλάβη ή έχουν αναλάβει μια εργασία αποκλείεται να αναλάβουν και μια δεύτερη της οποίας η εκτέλεση θα γίνει αφού θα έχουν τελειώσει την τρέχουσα εργασία τους. Έτσι η διαδικασία του ελέγχου διαθεσιμότητας αποκτά πλέον τυπικό χαρακτήρα.

4-9. ΜΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΛΛΑΓΗΣ

Για καλύτερη κατανόηση της παραλλαγής της μεθόδου παρουσιάζουμε ένα παράδειγμα εφαρμογής της το οποίο χρησιμοποιεί τους πράκτορες που χρησιμοποιήθηκαν και στο παράδειγμα της κύριας μεθόδου.

Τα καινούργια χαρακτηριστικά της εφαρμογής στο πρόγραμμα EXCEL είναι ο πίνακας που δείχνει αν μια εργασία είναι άμεσα επείγουσα όποτε και είναι προς ανάθεση και ο πίνακας που δίνει τον απόλυτο χρόνο εκτέλεσης μιας εργασίας.

Έχοντας επιλέξει σαν χρόνο λήξης τις 4 χρονικές περιόδους **ξεκινάμε την εφαρμογή**. Την **1^η χρονική περίοδο** στο σύστημα εισέρχονται 4 εργασίες οι E1, E2, E3, E4. Κατόπιν ελέγχου διαπιστώνεται ότι επείγον να γίνουν είναι οι 3 πρώτες. Στην αντίστοιχη φόρμα παραθέτονται όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί εργασιών-πρακτόρων ανά εργασία. Πρώτα δηλαδή δίνονται οι συνδυασμοί της E1 με όλους τους πράκτορες μετά της E2 κ.ο.κ. Ανατρέχοντας στο φύλλο «βαθμολογίες» ο χρήστης είναι σε θέση να συμπληρώσει την αριθμητική βαθμολογία του κάθε συνδυασμού στο κάθε υπό-κριτήριο. Στη συνέχεια υπολογίζει τις αντίστοιχες χρησιμότητες των κριτηρίων βρίσκοντας τον μέσο των βαθμολογιών των υπό-κριτηρίων που σχετίζονται με το κάθε κριτήριο. Για τον υπολογισμό του μέσου όρου χρησιμοποιείται η αντίστοιχη συνάρτηση AVERAGE του EXCEL. Έχοντας υπολογίσει τις αριθμητικές βαθμολογίες των κριτηρίων το σύστημα δίνει αυτόματα τις χρησιμότητες για το ολικό κριτήριο του κάθε συνδυασμού ανάθεσης χρησιμοποιώντας τον τύπο της ολικής χρησιμότητας της UTA2 και διαιρώντας τον αριθμό αυτό με τον χρόνο στον οποίο ο πράκτορας θα είναι διαθέσιμος. (Στην πρώτη χρονική περίοδο οι πράκτορες είναι άμεσα διαθέσιμοι όποτε ο χρόνος διαθεσιμότητας των πρακτόρων ισούται με 1 ώστε να μην απειριστεί το κλάσμα) . Σε κάθε εργασία αναζητείται ο πράκτορας που σε συνδυασμό μαζί της δίνει την μέγιστη ολική χρησιμότητα

. Αρχικά αναζητείται η μέγιστη ολική χρησιμότητα για τις εργασίες που έχουν μικρότερη χρονική προθεσμία τις οποίες πρέπει να τις κατατάξει ο χρήστης. Η σειρά εξέτασης των εργασιών που είναι το ίδιο επείγουσες είναι τυχαία.

Στο παράδειγμα παρατηρούμε ότι ο πράκτορας Π1 συγκεντρώνει την υψηλότερη βαθμολογία σε συνδυασμό και με την εργασία E2 και με την E3 και με την E4. Όλες οι εργασίες όμως έχουν μηδενικό χρονικό περιθώριο πρέπει να γίνουν δηλαδή σε αυτή την χρονική περίοδο και έτσι στον έλεγχο διαθεσιμότητας που εξετάζεται αν ο πράκτορας προλαβαίνει να κάνει επιπλέον εργασίες εμφανίζεται το μήνυμα «όχι» για τον Π1 (ομοίως και για τους άλλους πράκτορες) Επομένως ο Π1 αναλαμβάνει την E2 η οποία ήταν πρώτη προς εξέταση ο Π3 την E3 και ο Π4 την E1.

Στη δεύτερη χρονική περίοδο οι πράκτορες Π1 και Π3 έχουν πάθει βλάβη. Στην παραλλαγή αυτή αυτό σημαίνει αυτόματα πως οι πράκτορες αυτοί δεν μπορούν να αναλάβουν εργασίες μέχρι να επισκευαστούν αυτό φαίνεται άλλωστε και στον έλεγχο διαθεσιμότητας που εκτελεί ο χρήστης σε αυτούς. Όσον αφορά τις εργασίες στο σύστημα παραμένει η E4 ενώ εισέρχονται νέες εργασίες οι E5 E6 και E7. Τέλος οι E1,E2,E3, που εκτελέστηκαν βγαίνουν από το σύστημα. Το σύστημα πραγματοποιώντας αυτόματα τον έλεγχο για το αν κάποιος πράκτορας πρέπει να βελτιωθεί ενημερώνει το χρήστη ότι κανένας από τους πράκτορες δεν έχει εκτελέσει αρκετό αριθμό εργασιών ώστε να θεωρηθεί ότι τα χαρακτηριστικά του αλλάζουν βαθμολογικό επίπεδο. Οι πράκτορες με βλάβη δεν θα είναι διαθέσιμοι όπως διαπιστώνεται από τον έλεγχο διαθεσιμότητας. Οι E4 E6 είναι επείγουσες οπότε και ανατίθενται ενώ οι E5 E7 παραμένουν στο σύστημα.

Στην 3^η χρονική περίοδο ο Π1 έχει επισκευαστεί οπότε είναι ξανά διαθέσιμος ενώ εμφανίζεται μήνυμα βελτίωση για τον Π4. Έτσι όλα του τα χαρακτηριστικά βελτιώνονται κατά ένα στη βαθμολογική κλίμακα. Εδώ πρέπει να τονιστεί το ότι ο χρήστης μπορεί να έχει αποφασίσει ότι κάποια χαρακτηριστικά δεν γίνεται να βελτιωθούν π.χ. το μέγιστο φορτίο. Βέβαια αυτό εναπόκειται στην προσωπική γνώμη του αποφασίζοντα και σε περίπτωση που ισχύει τα χαρακτηριστικά του πράκτορα που δεν γίνεται να βελτιωθούν δεν βελτιώνονται μαζί με τα υπόλοιπα αλλά παραμένουν ως έχουν. Οι E5 E7 είναι πλέον επείγουσες και ανατίθενται ενώ η νέα εργασία E8 θα γίνει αργότερα.

Στην 4^η χρονική περίοδο ενημερώνοντας το χρόνο του συστήματος ($t=4$) εμφανίζεται μήνυμα λήξης του προγράμματος και σταματάνε όλες οι διαδικασίες. Απομένει βέβαια η ανάθεση της εργασίας E8. Φυσικά οποιαδήποτε στιγμή ο χρήστης

μπορεί να προσθέσει επιπλέον φύλλα EXCEL που θα αντιπροσωπεύουν νέες χρονικές περιόδους και να συνεχίσει από κει που σταμάτησε.

4-10. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ 2 ΠΑΡΑΛΛΑΓΩΝ

Αν και οι 2 παραλλαγές που περιγράψαμε είναι δύσκολο να συγκριθούν καθώς επικεντρώνονται σε διαφορετικές όψεις του προβλήματος παραλληλίζοντας τις 2 μεθόδους διαπιστώνουμε ότι:

- Εξυπηρετούν διαφορετικές ανάγκες του χρήστη: Η μια δίνει έμφαση στην έγκαιρη και βέλτιστη εκτέλεση των εργασιών ενώ η άλλη δίνει έμφαση στην εκτέλεση των περισσότερων δυνατών εργασιών .
- Στην δεύτερη παραλλαγή υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα να αναλάβει την εργασία ένας πράκτορας λιγότερο κατάλληλος για αυτή αφού δουλεύει αποκλειστικά με τους πράκτορες που είναι **άμεσα** διαθέσιμοι.
- Η δεύτερη παραλλαγή είναι πιο απλή και δεν περιλαμβάνει ενδεχόμενα που σε πολλές περιπτώσεις δεν είναι πιθανά όπως π.χ. η βλάβη ενός πράκτορα. Έτσι έχει μικρότερο υπολογιστικό κόστος.
- Με διάφορες τροποποιήσεις η δεύτερη παραλλαγή μπορεί να γίνει ακόμα πιο απλή π.χ. ο έλεγχος διαθεσιμότητας μπορεί να παραλειφθεί αφού οι πράκτορες με βλάβη και οι πράκτορες που εργάζονται μπορούν να θεωρηθούν αυτόματα μη διαθέσιμοι.
- Και στις δύο μεθόδους χρησιμοποιείται η ίδια συνάρτηση χρησιμότητας με τη διαφορά ότι στην πρώτη ο παρονομαστής μπορεί να είναι διάφορος του 1. έτσι όταν οι πράκτορες είναι άμεσα διαθέσιμοι οι 2 μέθοδοι υπάρχει ενδεχόμενο να δώσουν τα ίδια αποτελέσματα για μια ανάθεση.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ

5-1. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Έχοντας παρουσιάσει ολοκληρωμένα τόσο τη μέθοδο όσο και μια εφαρμογή της στο μέρος αυτό της εργασίας δίνεται μια κριτική των διαφόρων στοιχείων της μεθόδου καθώς και προτάσεις για πιθανές βελτιώσεις και προσθήκες.

Όσον αφορά την μέθοδο ένα σημαντικό γνώρισμα της είναι ότι είναι αρκετά **αναλυτική**. Υπάρχουν πολλές μεταβλητές, στοιχεία και δεδομένα για κάθε πράκτορα και εργασία τα οποία μάλιστα μπορεί να μεταβληθούν με την πάροδο του χρόνου. Αλλά σε αυτές προστίθενται και πολλές άλλες παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψιν. Η δυναμική φύση του χρόνου της μεθόδου κάνει πιο πολύπλοκη την κατάσταση. Παρόλα αυτά όμως η μέθοδος αναπτύσσεται με αρκετά αναλυτικό τρόπο. Για κάθε μεταβλητή δίνεται ο ακριβής ορισμός της ώστε ο χρήστης να μπορεί να κατανοήσει σε τι χρειάζεται η τιμή της και τι αντιπροσωπεύει. Η μεταφορά της διαδικασίας σε ηλεκτρονική μορφή γίνεται και αυτή αναλυτικά: ο χρήστης εκτελεί μια-μια όλες τις απαιτούμενες επαναλήψεις για την εύρεση των βέλτιστων τιμών των συνδυασμών εξαιρώντας έναν πράκτορα κάθε φορά. Κάθε αποτέλεσμα του προγράμματος εμπεριέχει στο κελί του EXCEL την αντίστοιχη συνάρτηση που δείχνει το πως προέκυψε στον χρήστη με αποτέλεσμα να είναι δυνατός ο έλεγχος για πιθανά λάθη κατά την καταγραφή των δεδομένων και των μεταξύ τους σχέσεων. Έτσι εργαζόμενος με μεθοδικότητα και προσοχή ο χρήστης μπορεί να αντεπεξέλθει σε πολύπλοκα προβλήματα με πολλές παραμέτρους και μεταβλητές αφού διαθέτει σαφή γνώση των μηχανισμών της μεθόδου ενώ παράλληλα είναι σε θέση να ελέγξει πιθανά λάθη.

Βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι μπορεί να ανταποκριθεί σε προβλήματα πολύπλοκα με μεγάλο αριθμό εργασιών και πρακτόρων για τα οποία άλλωστε αναπτύσσονται οι εφαρμογές αυτού του είδους. Αν και το πρόβλημα που παρουσιάστηκε στο παράδειγμα είναι σχετικά απλό τόσο για λόγους κατανόησης όσο και παρουσίασης, εύκολα μπορεί κανείς να επεκτείνει τη φόρμα που χρησιμοποιείται στο EXCEL ώστε να συμπεριλάβει πολύ περισσότερα δεδομένα.

Θετικό είναι επίσης το γεγονός ότι η μέθοδος βασίζεται και χρησιμοποιεί την μεθοδολογία της οικογένειας UTA. Η μεθοδολογία UTA2 είναι από τις πιο γνωστές μεθόδους πολυκριτήριας ανάλυσης με αποτέλεσμα να τεκμηριώνει επιστημονικά τα αποτελέσματα της μεθόδου κυρίως όσον αφορά τον τρόπο βαθμολόγησης των δεδομένων. Παράλληλα για τον λόγο αυτό η μέθοδος γίνεται πιο εύκολα κατανοητή από άτομα καταρτισμένα με την πολυκριτήρια ανάλυση και καθίσταται έτσι εύκολα αντικείμενο περαιτέρω έρευνας για τυχόν νέες παραλλαγές που μπορούν να προκύψουν από παραλλαγές της μεθοδολογίας UTA2.

Κύριο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι και η βασική της καινοτομία σε σχέση με παρόμοιες μεθόδους: Για την μέθοδο αυτή **ο παράγοντας χρόνος** έχει σημαντικό ρόλο. Έτσι ο χρόνος συνυπολογίζεται με τη μορφή της διαθεσιμότητας του πράκτορα στον τελικό τύπο που δίνει την ολική αξία μιας ανάθεσης εργασίας σε έναν πράκτορα. Η χρήση του χρόνου προσθέτει μεγαλύτερη συνάφεια στη μέθοδο με προβλήματα που συμβαίνουν στον πραγματικό χρόνο όπου για την επίλυση των προβλημάτων απαιτείται χρόνος ενώ υπάρχουν και χρονικές προθεσμίες για την εκτέλεση των εργασιών. Η μέθοδος έχει σκοπό και καταφέρνει τα προβλήματα να επιλύονται **βέλτιστα** αλλά και **έγκαιρα**. Παράλληλα η μέθοδος δουλεύει σε βάθος χρόνου και όχι μόνο στον τρέχοντα χρόνο. Ένας πράκτορας μπορεί να θεωρηθεί διαθέσιμος ακόμα και αν την τρέχουσα στιγμή εκτελεί μian άλλη εργασία και έτσι πιθανώς να αναλάβει και να εκτελέσει καλύτερα την εργασία από κάποιον άλλον που την τρέχουσα χρονική στιγμή δεν ήταν απασχολημένος αλλά όμως δεν θα μπορούσε να εκτελέσει το ίδιο ικανοποιητικά την ζητούμενη εργασία. Με τη χρήση των χρονικών περιόδων λαμβάνεται υπόψιν η δυναμική φύση των προβλημάτων και έτσι οι λύσεις που προσφέρει η μέθοδος είναι πιο ρεαλιστικές και ακριβείς αφού ανταποκρίνονται σε πραγματικές συνθήκες των προβλημάτων.

Σημαντικό στοιχείο της μεθόδου αποτελεί ακόμα το γεγονός ότι λαμβάνει υπόψιν της και ενδεχόμενα βλάβης των πρακτόρων γεγονός που μπορεί να συμβεί αφού ο πράκτορας είναι ή βασίζεται σε κάποιο τεχνικό μέσο το οποίο όπως όλα τα τεχνικά μέσα

είναι πάντα επιρρεπές σε βλάβες. Έτσι η μέθοδος καλύπτει περισσότερες περιπτώσεις και προσεγγίζει ακόμα πιο πολύ πραγματικά προβλήματα και ό, τι αυτά συνεπάγονται.

Η μέθοδος **δεν βασίζεται στην δυνατότητα διαπραγμάτευσης** μεταξύ πρακτόρων για την ανάθεση των εργασιών όπως συμβαίνει με τις περισσότερες μεθόδους που έχουν αναπτυχθεί αλλά δίνει τη δυνατότητα σε κάθε πράκτορα να εκτελέσει την εργασία στην οποία είναι καλύτερος και όχι αυτή για την οποία ο πράκτορας μπορεί απλά να διαθέσει περισσότερους πόρους. Επιπλέον με την αποφυγή της διαδικασίας διαπραγμάτευσης μεταξύ των πρακτόρων μειώνεται ο χρόνος που απαιτείται για την επίλυση του προβλήματος

Η ανάπτυξη της μεθόδου πάνω στο πρόγραμμα EXCEL αποτελεί ένα ακόμα πλεονέκτημα καθώς την κάνει πιο **εύχρηστη** καθώς οι περισσότεροι άνθρωποι που ασχολούνται με τη χρήση υπολογιστών σήμερα έχουν μια εξοικείωση με το πρόγραμμα αυτό, αλλά και της δίνει την δυνατότητα να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από οποιονδήποτε διαθέτει το πρόγραμμα αυτό, το οποίο σήμερα είναι ένα από τα πλέον διαδεδομένα στον κόσμο. Επιπλέον η χρήση του EXCEL καθιστά τη μέθοδο πιο εύκολα τροποποιήσιμη και **ευμετάβλητη** καθώς σε περίπτωση που χρειάζεται κάποια αλλαγή ο χρήστης απλά καλείται να δημιουργήσει μερικά νέα κελιά ή να τροποποιήσει συναρτήσεις ήδη υπαρχόντων κελιών.

Ένα ακόμα θετικό στοιχείο είναι ότι καταγράφοντας πολλά στοιχεία για τον κάθε πράκτορα και εργασία ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσει τα στοιχεία αυτά για στατιστικά ώστε να ενισχύσει τον τρόπο εργασίας του λαμβάνοντας περισσότερες πληροφορίες για τα δεδομένα του. Έτσι για παράδειγμα συσχετίζοντας τα στοιχεία μπορεί να κάνει διαπιστώσεις ότι οι πράκτορες που εκτελούν ένα συγκεκριμένο τύπο εργασίας παθαίνουν πιο συχνά βλάβη και αυτό ίσως να οφείλεται στον τύπο της εργασίας.

Ένα τελευταίο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι **μπορεί να προσαρμοστεί σε κάθε είδους πρόβλημα** καθώς δεν ορίζει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά για τους πράκτορες ή απαιτήσεις για τις εργασίες και γενικότερα δεν χρησιμοποιεί έννοιες που θα περιόριζαν το εύρος των εφαρμογών της. Αντίθετα ορίζει έννοιες που υπάρχουν σε κάθε πρόβλημα όπως ο χρόνος εκτέλεσης μιας εργασίας, επιδόσεις σε κριτήρια, βάρη κριτηρίων κ.α. Από το σημείο αυτό κι έπειτα ο κάθε αποφασίζων μπορεί να την προσαρμόσει στο πρόβλημα που αντιμετωπίζει και στον δικό του τρόπο σκέψης. Έτσι η μέθοδος παρέχει ελευθερία στον αποφασίζοντα και ταυτοποίηση με τις δικές του απόψεις για τη φύση και τις σχέσεις των δεδομένων επιλύοντας έτσι το πρόβλημα που

πραγματικά θέλει ο αποφασίζων και όχι κάποια άλλη συμβιβασμένη η παραποιημένη εκδοχή του.

Όσον αφορά τα **μειονεκτήματα** της μεθόδου το κυριότερο είναι ο μεγάλος όγκος δεδομένων που απαιτεί να εισαχθούν στην ηλεκτρονική της μορφή ώστε να εξάγει τα αποτελέσματα της. Σε πολύ μεγάλα προβλήματα η εισαγωγή των δεδομένων πιθανόν να κουράσει τον χρήστη και έτσι να προκύψουν λάθη ή μπορεί και να τον αποθαρρύνουν από την χρήση της μεθόδου.

Ένα ακόμα σημαντικό μειονέκτημα είναι το γεγονός ότι αρκετές βοηθητικές διεργασίες στην ηλεκτρονική της μορφή της μεθόδου όπως πχ ο έλεγχος διαθεσιμότητας πρέπει να γίνουν από τον ίδιο το χρήστη. Αν οι περισσότερες διεργασίες και έλεγχοι γινόταν πιο αυτοματοποιημένα θα μειώνονταν η επιρροή του ανθρώπινου παράγοντα, ο οποίος μπορεί να προκαλέσει λάθη αλλά και η όλη διεργασία θα απαιτούσε λιγότερο χρόνο και κόπο. Παράλληλα η ανάγκη αυτή για συνεχή συμμετοχή του χρήστη καθιστά πιο δύσκολη την επίλυση προβλημάτων για μεγάλο αριθμό χρονικών περιόδων.

Το τελευταίο μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι η μέτρηση του χρόνου δεν γίνεται απολύτως δυναμικά αλλά με χρονικές περιόδους. Έτσι υπάρχει πρόβλημα όταν π.χ. 2 εργασίες θεωρείται ότι εισέρχονται την ίδια στιγμή στο σύστημα και είναι το ίδιο επείγουσες καθώς στην περίπτωση που ο ίδιος πράκτορας εκτελεί βέλτιστα και τις 2 η επιλογή για την ανάθεση του πράκτορα γίνεται στην τύχη. Βέβαια οι περιπτώσεις αυτές είναι εξαιρετικά σπάνιες και όπως έχει ήδη αναφερθεί μακροπρόθεσμα οι ζημιές από εργασίες που δεν εκτελέστηκαν από τον βέλτιστο για αυτές πράκτορα εξισορροπούνται από τα κέρδη που αποφέρουν οι εργασίες που εκτελέστηκαν από πράκτορες που ήταν οι βέλτιστοι για αυτές και όχι από τους αμέσως επόμενους στην κατάταξη για αυτές. Επίσης η μέτρηση του χρόνου σε χρονικές περιόδους μειώνει σε ένα βαθμό και τον ρεαλισμό της μεθόδου.

Εξετάζοντας αντικειμενικά τη μέθοδο είναι φανερό πως τα πλεονεκτήματα της υπερτερούν των μειονεκτημάτων της και έτσι συνίσταται ανεπιφύλακτα για χρήση. Εξάλλου η συνεχής προσπάθεια βελτίωσης και εμπλουτισμού της μεθόδου αποτελεί μια πάγια ανάγκη όπως συμβαίνει με κάθε προϊόν επιστημονικής έρευνας.

5-2. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ

Οι βελτιώσεις και οι μελλοντικές προσθήκες που μπορούν να γίνουν με βάση την προτεινόμενη μέθοδο που αναπτύξαμε αφορούν κυρίως:

- α) Την εξάλειψη των μειονεκτημάτων της
- β) Την ανάπτυξη παραλλαγών της

Για την εξάλειψη των κύριων μειονεκτημάτων της που είναι ο μεγάλος όγκος δεδομένων προς εισαγωγή και οι μη αυτοματοποιημένες βοηθητικές διεργασίες, συνίσταται η χρήση ενός προγραμματιστικού μέσου που θα διαθέτει χαρακτηριστικά που θα επιτρέπουν την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων. Μια πιθανή κατεύθυνση είναι η χρήση λιστών όπου θα αποθηκεύονται οι μεταβλητές με τα χαρακτηριστικά τους και οι οποίες επικοινωνώντας με άλλα μέρη του προγράμματος π.χ. με βάσεις δεδομένων όπου θα καταγράφονται οι διάφορες παράμετροι και θα μπορούν να ενημερώνονται αυτόματα για τις διάφορες αλλαγές και να τις εκτελούν. Επίσης συνίσταται η χρήση ενός προγραμματιστικού μέσου που θα μπορεί να δουλεύει σε πραγματικό χρόνο καθιστώντας έτσι τη μέθοδο πιο δυναμική καθώς η μέτρηση του χρόνου θα γίνεται πιο ρεαλιστικά. Απαραίτητη προϋπόθεση για τις παραπάνω αλλαγές όμως είναι το προγραμματιστικό μέσο που θα χρησιμοποιηθεί να μην στερεί από τη μέθοδο τα πλεονεκτήματα που της παρέχει η χρήση του MS EXCEL.

Είναι δυνατή επίσης η ανάπτυξη πολλών παρόμοιων μεθόδων οι οποίες όμως θα βασίζονται σε διαφορετικές μεθοδολογίες της πολυκριτήριας ανάλυσης από την UTA2. Με παρόμοιο τρόπο οι συναρτήσεις τους και οι διεργασίες τους μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα πρόγραμμα όπως το MS EXCEL και έτσι να δημιουργηθούν διάφορες μεθοδολογίες εξειδικευμένες για διάφορα είδη προβλημάτων αλλά και είδη χρηστών. Προχωρώντας ένα βήμα πιο πέρα όλες αυτές οι μέθοδοι μπορούν να ενσωματωθούν σε μια ολοκληρωμένη εφαρμογή που θα επιτρέπει στο χρήστη να επιλύει ένα πρόβλημα ανάθεσης με βάση τη μέθοδο πολυκριτήριας ανάλυσης που ανταποκρίνεται στον δικό του ξεχωριστό τρόπο σκέψης.

Η παραλλαγή της μεθόδου που παρουσιάσαμε είναι αρκετά ενδιαφέρουσα δεδομένου ότι θα μπορούσε να αναπτυχθεί ένας συνδυασμός της με την κύρια μέθοδο όπου ένα μέρος των πρακτόρων που μένουν ανενεργοί θα έχουν την δυνατότητα να

εκτελέσουν εργασίες που δεν είναι άμεσα επείγουσες. Βέβαια θα πρέπει να υπολογιστεί ποιο είναι και γιατί το βέλτιστο ποσοστό των πρακτόρων του συστήματος που θα έχουν αυτή την δυνατότητα

Μια ακόμα σκέψη για μελλοντική επεξεργασία της μεθόδου είναι η δυνατότητα συνεργασίας μεταξύ των πρακτόρων του συστήματος. Μπορεί δηλαδή να χρησιμοποιηθεί και κάποιος μηχανισμός που θα ελέγχει τις επιδόσεις συνεργασιών πρακτόρων για συγκεκριμένες εργασίες. Βέβαια θα πρέπει να υπάρχει κάποιος περιορισμός ως προς τον αριθμό των πρακτόρων που θα μπορούν να συνεργαστούν ή τον αριθμό των δυνατών συνεργασιών ανά χρονική περίοδο ώστε να αποφευχθεί το μεγάλο υπολογιστικό κόστος υπολογισμού όλων των πιθανών συνεργασιών μεταξύ των πρακτόρων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Bana e Costa C.A., Vansnick J.C.: “ MACBETH – an interactive path towards the construction of cardinal value functions.”, International Transactions in Operational Research pp. 489-500, (1994)

Branberger M., Rinner B., Schwabach H. : “A Mobile Agent-based System for Dynamic Task Allocation in Clusters of Embedded Smart Cameras”, Institute for Technical Informatics, Graz University of Technology, Graz, Austria, (2005)

Bredin J., Rajiv T., Maheswaran, C., Agri I, Tamer B. , Kotz D., and Rus D.: “A game-theoretic formulation of multi-agent resource allocation”, Dartmouth College Department of Computer Science, (2000)

Bullnheimer B.,Hartl R. F., Strauss F.: “An improved ant algorithm for the vehicle routing problem”, Annals of operations research, volume 89,pp. 319-328, (1999)

Chevaleyre Y. et Al: “Issues in multi-agent resource allocation” , Agent link Technical group Forum in multiagent resource allocation,(2005)

Clarke G. and Wright J. : “Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points” , Operations Research, Vol 12, pp. 568-581 (1964)

Demeester P ,P. De Causmaecker, Lu Y. and Berghe G.V. : “Agent technology for time tabling”, Kaho saint-Lieven, Information technology, Belgium

Dorer C. and Calisti M. : “An adaptive solution to dynamic transport optimization”, Whitestein Technologies,(2005)

Dumas M., Governorib G., Arthur H.M. ter Hofstede, Phillipa O.: “A formal approach to negotiating agents development, Electronic Commerce Research and Applications 1, pp. 193–207, (2002)

Fischer M. and Jaikumar R. : “A generalized assignment heuristic for the vehicle routing problem.” Networks, pp. 109-124 (1981)

Fisher T. and Gehring H.: “Planning vehicle transshipment in a seaport automobile terminal using a multi-agent system , FernUniversität Hagen, European journal of operational research pp. 726-740, (2005)

Foster, B.A. and Ryan, D.M.: “An integer programming approach to the vehicle scheduling problem”, Operations Research Vol 27, 367–384, (1976)

Gillett, B.E. and Miller, L.R.: “ A heuristic algorithm for the vehicle dispatch problem, Operations Research “,Vol 22, pp. 240–349, (1974)

Glover F. ,Laguna M.: “Tabu search”, Kluwer academic publishers , (1986)

Guerrero J. and Gabriel O.: “Multi-Robot Task Allocation Method for Heterogeneous Tasks with Priorities”,Universitat de les Illes Balears, Mathematics and Computer Science Department,(2003)

Guttman R. H ., Moukas A.G. and Pattie Maes : “Agent Mediated Electronic Commerce: A Survey”, MIT Media Laboratory, Knowledge Engineering Review,(1998)

Hoogendoorn M., Gini M.L and Jonker C.M : “Decentralized task allocation using magnet: an empirical evaluation in the logistics domain”,MN Minneapolis pp. 319-328, (2007)

Jacinto A. D. Q.: “Agents in logic Programming”, Thesis, University of London, (1997)

Keeney R, Raiffa H.: “Decisions with multiple objectives : Preferences and value tradeoffs”, New York, Wiley and sons, (1976)

Kelly J.P., Xu J: “A set-partitioning-based heuristic for the vehicle routing problem”
INFORMS Journal on Computing, (1999)

Kindervater G., M. Savelsbergh: “Vehicle routing: handling edge exchanges, in Local Search in Combinatorial Optimizations”, pp. 337-360, (1997)

Kocjan W.: “Heuristic Methods for routing and scheduling”, SICS Technical Report, (2001)

Kohut R. and Kuthulan E. : “In-Time Agent-Based Vehicle Routing with a Stochastic Improvement Heuristic”, (1999)

Krogt R., Aronson L., Roos N., Witteveen C. and Zutt J. : “Tactical Planning using Heuristics”, In Proceedings of the 7th TRAIL Congress, (2002)

Kroon R. and Rothkrantz L.J.M. : “Dynamic vehicle routing using an ABC-algorithm”, Proceedings of the 15th Belgium-Netherlands conference on Artificial Intelligence pp.211-218, (2003)

Ματσατσίνης Ν. και Δελιάς Π. : “Agent Allocator: An agent based multi-criteria decision support system for Task Allocation”, university of Crete, HOLOMAS pp. 225-235, (2003)

Mouaddib A.I.: “Progressive negotiations for time constrained autonomous agents”. CRII and IUT de Lens, (2003)

Oppenheimer K.R.: “A Proxy Approach to Multi-Attribute Decision Making”, Management Science, Vol. 24, No. 6, pp. 675-689 (1978)

Pereira B.F., Tavares J., Penousal M. and Ernesto C.: “ GVR: a New Genetic Representation for the Vehicle Routing Problem”, in Proc. of the 13th Irish Conference on Artificial Intelligence and Cognitive Science (AICS 2002), Limerick, Ireland, pp. 95-102, (2002)

Rice M.: "Computational Intelligence Algorithms for Optimized Vehicle Routing Applications in Geographic Information Systems", Thesis, (2004)

Rothkrantz L. and Bogdan T.: "Personal Mobile Intelligent Travelling Assistance System", Delft university of Technology, Netherlands, (2004)

Roy B., Méthodologie multicritère d'Aide à la Décision, Economica, Paris, (1985)

Russell S. and Norvig P.: "Artificial Intelligence: A Modern Approach", Prentice-Hall, Inc. (1995)

Tidhar G., Rao S., Sonneberg E.: "Guided team selection, Proceedings ICMAS, Conference, (1996)

Sandholm T. W. and Lesser R.V. : "Coalition formation among bounded rational agents", computer science department of Massachusetts at Amherst, CMPSCI technical report, pp.71-95, (1995)

Shehory O. and Krauss S.: "Methods for task allocation via agent coalition formation", Elsevier Science, (1998)

Sjöland T., Aronsson M., Holmberg P., Kreuger P and Lindblom S.: "Heterogeneous Scheduling and rostering", Swedish Institute of computer science, (2000)

Smith R.G. : "The contact-net protocol : High level Communication and control in a distributed problem solver", IEEE transactions on computers, Vol C-29 No 12, (1980)

Solomon M. Yvan D., Desrosiers J., Gelinas E., "An Optimal Algorithm for the Traveling Salesman Problem with Time Windows", Operations Research, Vol. 43, pp. 367-371, (1995)

Su A.: "Modelling the efficiency of a transport network in a dynamic environment", CAITR, Civil and environmental engineering, university of Melbourne, (2003)

Thangiah R. S., Schmylgeska O. and Mennell W.: “ An agent architecture for vehicle routing problems”, Slippery Rock University, (2001)

Thompson, P.M., and Psaraftis, H.N.: “ Cyclic transfer algorithms routing and scheduling problems”, Operations Research, Vol 41, pp. 935–946, (1993)

Van Breedam A.: “An Analysis of the Behavior of Heuristics for the Vehicle Routing Problem for a Selection of Problems with Vehicle-Related, Customer-Related, and Time-Related Constraints”, Ph.D. Dissertation, University of Antwerp.(1994)

Vidal J.: “A Method for Solving Distributed Service Allocation Problems” ,Web Intelligence and agent systems : An international journey”, pp. 139-146, (2003)

Vlassis N. : “ A concise Introduction to multiagent systems and distributed AI”, University of Amsterdam, (2003)

<http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/usr/pstone/public/papers/97MAS-survey/node2.html>

<http://osiris.tuwien.ac.at/~wgarn/VehicleRouting/neo/algorithms/Algorithms.html>

<http://www.engin.umd.umich.edu/CIS/course.des/cis479/projects/FISA.html>

<http://www.cs.uu.nl/docs/vakken/iag/IntellAgents.04.188-219.pdf>

<http://ingenieur.kahosl.be/personeel/greet.vandenberghe/artikels/Jorbel16-1-2001.pdf>

<http://neo.lcc.uma.es/radi-aeb/WebVRP/>

<http://cs.felk.cvut.cz/~xobitko/ga/>