

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΜΠΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ ΚΑΙ LOGISTICS

Multi Agents Decision Support Systems και Εφαρμογές στην Εφοδιαστική Αλυσίδα

ΧΡΗΣΤΟΥ ΗΛΙΑΝΑ

1/3/2023

Επιβλέπων Καθηγητής: Αθανάσιος Ζηλιασκόπουλος

Περίληψη

Η παρούσα εργασία αναφέρεται στην αξιοποίηση συστημάτων πολλαπλών Βοηθών (Multi Agent Systems) με σκοπό την διευκόλυνση λήψης αποφάσεων στην εφοδιαστική αλυσίδα. Η εισαγωγή τεχνικών προερχόμενων από την επιστήμη της Τεχνητής Νοημοσύνης, όπως τα Multi Agent Systems (MAS), αλλά και μία σειρά από άλλα βοηθητικά εργαλεία όπως οι δομές Case Based Reasoning (CBR), τα οποία χρησιμοποιούνται συνδυαστικά, απελευθερώνουν ποικίλες δυνατότητες ως προς την αξιοποίηση της πληθώρας των διαθέσιμων δεδομένων για την επίλυση ενός προβλήματος, αλλά και την βελτιστοποίηση της ακολουθούμενης στρατηγικής στον κλάδο των Logistics και του Supply Chain. Η εργασία εστιάζει στον σχολιασμό της αρχιτεκτονικής και της λειτουργικότητας MASs, στην ανάδειξη των εργαλείων και των τεχνικών που χρησιμοποιούνται καθώς και στην επιλογή τους κατάλληλου συστήματος ανάλογα με την δομή και της απαιτήσεις της εφοδιαστικής αλυσίδας την οποία επιθυμούμε να υποστηρίξουμε.

Abstract

This work refers to the utilization of Multi Agent Systems in order to facilitate decision-making in the supply chain. The introduction of techniques derived from the science of Artificial Intelligence, such as Multi Agent Systems (MAS), but also a number of other auxiliary tools such as Case Based Reasoning (CBR) structures, which are used in combination, release a variety of possibilities, in terms of reclaiming the abundance of available data to solve a problem, but also to optimize the strategy followed in the Logistics and Supply Chain industry. The work focuses on presenting the MAS architecture and functionality, highlighting the tools and techniques used as well as selecting the appropriate system depending on the structure and requirements of the supply chain we wish to support.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	4
2. Παρουσίαση βιβλιογραφίας.....	6
2.1 Επιστημονικό υπόβαθρο και γενικά χαρακτηριστικά των MASs.....	6
2.2 Μηχανισμός Case Based Reasoning και Multi Agent Systems.....	8
2.2.1 Βασικά χαρακτηριστικά CBR.....	8
2.2.2 Βασικές λειτουργίες CRR.....	9
2.2.3 CBR σημασιολογικής αναπαράστασης.....	11
2.3 Εφαρμογές MAS στη βιβλιογραφία.....	12
3. Αρχιτεκτονική Multi Agent Decision Support Systems – Εργαλεία και Λειτουργικότητα....	15
3.1 Μοντέλο MAS με χρήση Knowledge Discovery in Data (KDD).....	15
3.2 Εφαρμογή MAS για picking με μηχανισμό CBR.....	18
3.3 MAS με CBR σημασιολογικής αναπαράστασης σε μοντέλο για εφοδιαστική αλυσίδα.....	20
3.4 MAS με CBR σημασιολογικής αναπαράστασης σε μοντέλο για εφοδιαστική αλυσίδα – Μοντέλο πολλαπλών στρωμάτων.....	24
3.5 MAS διαχείρισης πολλαπλών αιτημάτων για την εύρεση προμηθευτή.....	33
3.6 MADSS διαπραγμάτευσης για την επιλογή προμηθευτή από εμπορική εταιρία & πελάτες.....	40
3.7 MADDS με μηχανισμό CBR για την διαχείριση ρίσκου στην εφοδιαστική αλυσίδα.....	46
4. Συμπεράσματα – Συζήτηση για την εφαρμογή MADSSs	50
4.1 Σχολιασμός MASs – Συμπεράσματα.....	50
4.2 Πρόταση Εφαρμογής σε μεταφορές αστικού δικτύου.....	52

1. Εισαγωγή

Ο στρατηγικός σχεδιασμός των εφοδιαστικών αλυσίδων, η ελαχιστοποίηση του κόστους και η ταυτόχρονη μεγαλύτερη δυνατή αύξηση των κερδών είναι ζητήματα που απασχολούν διαχρονικά την έρευνα. Ο αντίκτυπος των γενικότερων κοινωνικο-οικονομικών αλλαγών και εξελίξεων στις αλυσίδες εφοδιασμού έγινε ιδιαίτερα αντιληπτός τα τελευταία χρόνια, εν όψη της πανδημίας και του πολέμου. Έγινε με άλλα λόγια, ευρέως αντιληπτή η σημασία της ροής εφοδιασμού και τα ολέθρια αποτελέσματα που ενδέχεται να φέρει η αναταραχή της στην οικονομία.

Στο άρθρο του, στο περιοδικό Harvard Business Review με τίτλο «Παγκόσμιες αλυσίδες εφοδιασμού στην μετά πανδημίας εποχή», ο Willy C. Shih [29], σχολιάζει το γεγονός και εστιάζει στα βήματα που οφείλουν να ακολουθούν τα στελέχη της εφοδιαστικής αλυσίδας προκειμένου να ανταποκρίνονται στις προκλήσεις των καιρών αυξάνοντας την ανταγωνιστικότητα της αλυσίδας που διευθύνουν. Μεταξύ των προτάσεων είναι και η ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών, ώστε να αυξάνεται η ικανότητα να βελτιστοποιούνται καίριες διαδικασίες (όπως η εύρεση ανταγωνιστικών προμηθευτών) και να επιλύονται έγκαιρα προβλήματα χωρίς να επιβαρύνουν σημαντικά τη ροή των διαδικασιών και την κερδοφορία. Η τεχνητή νοημοσύνη είναι σε θέση να προσφέρει μια σειρά από τεχνικές και καινοτομίες, οι οποίες μπορούν να εφαρμοστούν και σε ζητήματα σχετικά με την αλυσίδα εφοδιασμού προσφέροντας ευελιξία, μεγαλύτερο βαθμό αυτοματοποίησης και υποστήριξη στην λήψη αποφάσεων για την βελτιστοποίηση διαδικασιών, την αποφυγή ρίσκου κ.α. Άλλο ένα στοιχείο, το οποίο επιβάλλει την εισαγωγή και αξιοποίηση τέτοιων τεχνολογιών είναι η πληθώρα δεδομένων που βρίσκουμε διαθέσιμα.

Τα MAS είναι συστήματα που έχουν χρησιμοποιηθεί για τους παραπάνω σκοπούς σε πολλούς κλάδους, μεταξύ αυτών και του Supply Chain. Είναι σε θέση να επεξεργάζονται και να αξιοποιούν μεγάλο όγκο δεδομένων, με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων και τη λήψη αποφάσεων. Η διαδικασία αυτή μπορεί να λειτουργήσει προς όφελος μίας επιχείρησης και επιπλέον να αυξήσει τον βαθμό και την ποιότητα συνεργασίας περισσότερων επιχειρήσεων, οι οποίες συμμετέχουν στην ίδια εφοδιαστική αλυσίδα[25].

Η παρούσα εργασία οργανώνεται ως εξής: Παρουσίαση της βιβλιογραφίας και των βασικών χαρακτηριστικών των MAS, αναλυτική παρουσίαση αρχιτεκτονικής και

λειτουργίας MAS στην εφοδιαστική αλυσίδα καθώς και εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις δυνατότητες που προκύπτουν.

2. Παρουσίαση Βιβλιογραφίας

2.1 Επιστημονικό υπόβαθρο και γενικά χαρακτηριστικά των MASs

Τα MASs σχετίζονται με αυτό που αποκαλούμε κατανεμημένη τεχνητή νοημοσύνη (Distributed Artificial Intelligence, DAI) [1]. Η γενικότερη ιδέα αφορά την προσπάθεια επίλυσης σύνθετων προβλημάτων, με την ανάθεση τμημάτων του προβλήματος στους λεγόμενους Βοηθούς (Agents). Ο πυρήνας της ιδέας είναι η αποσυγκεντροποίηση της επεξεργασίας των δεδομένων για την εύρεση μίας λύσης. Βασικό εργαλείο της διαδικασίας είναι οι Agents, οι οποίοι αναλαμβάνουν ένα τμήμα του προβλήματος και σε συνεργασία με τους υπόλοιπους, καταλήγουν σε μία λύση - πρόταση. Η δυνατότητα αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον ενισχύει την ευφυία των agents και το αντίστροφο[2]. Όσο πλουσιότερο είναι το περιβάλλον από το οποίο αντλούν δεδομένα οι Agents τόσο πιο αξιόπιστοι είναι. Σε ένα MAS συμβαίνει συχνά στο περιβάλλον ενός Agent να ανήκει ένας άλλος Agent. Το περιβάλλον του MA συστήματος θεωρείται το άθροισμα των περιβαλλόντων όλων των Agents[2].

Οι Manuel Herrera, Marco Pérez-Hernández, Ajith Kumar Parlikad and Joaquín Izquierdo στο άρθρο τους με τίτλο Multi-Agent Systems and Complex Networks: Review and Applications in Systems Engineering [3], προσπαθούν να καταγράψουν τις βασικές ιδιότητες των agents όπως παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία. Οι ιδιότητες αυτές σχετίζονται με το περιβάλλον των Agents, με τις ικανότητες- λειτουργίες τους, καθώς και με την συμπεριφορά τους. Με τον όρο Situatedness (Κατάσταση) ορίζεται η ύπαρξη του Agent σε ένα περιβάλλον όπως το περιγράψαμε παραπάνω ενώ με τον όρο Mobility (Κινητικότητα) ορίζεται η ικανότητα του να μπορεί να λειτουργεί σε διαφορετικά συστήματα [3].

Ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δώσουμε στην δυνατότητα των Agents προσλαμβάνουν δεδομένα από το περιβάλλον τους, να λειτουργούν σαν αυτόνομες οντότητες μέσα στο σύστημα για την επεξεργασία δεδομένων, να επικοινωνούν τα αποτελέσματα της επεξεργασίας τους και τέλος να προσαρμόζονται και να εξελίσσονται αξιοποιώντας την πείρα που συσσωρεύουν. Οι ιδιότητες των Agents διακρίνονται σε θεμελιώδεις και προαιρετικές [2]. Οι ιδιότητες που αναφέραμε παραπάνω είναι στην πλειοψηφία τους θεμελιώδεις, με εξαίρεση την κινητικότητα και την προσαρμοστικότητα. Με βάση με συμπεριφορά που θέλουμε να έχει ο Agent προκύπτουν και άλλες ιδιότητες με

προαιρετικό χαρακτήρα. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η λήψη αποφάσεων μπορεί να είναι μία τέτοια ιδιότητα όπως επίσης και η κατάσταση σχεδίου δράσης [4].

Η ικανότητα των Agents να λειτουργούν έξυπνα, να επεξεργάζονται πληθώρα δεδομένων και να συνεργάζονται άρτια στα πλαίσια ενός συστήματος είναι ένα ευρύ πεδίο έρευνας με έντονη δραστηριότητα. Ιδιαίτερη είναι η προσπάθεια που γίνεται, ώστε οι Agents να είναι σε θέση να αυτοβελτιώνονται με την εφαρμογή μεθόδων μάθησης. Ερωτήματα όπως το πως θα μπορούσε να αξιοποιηθεί η μηχανική μάθηση ώστε οι Agents να διαμορφώνουν μια μορφή επικοινωνίας και να συμμορφώνουν την λειτουργία τους με συγκεκριμένες πολιτικές και στόχους, είναι αυξημένου ενδιαφέροντος και μελέτης [31].

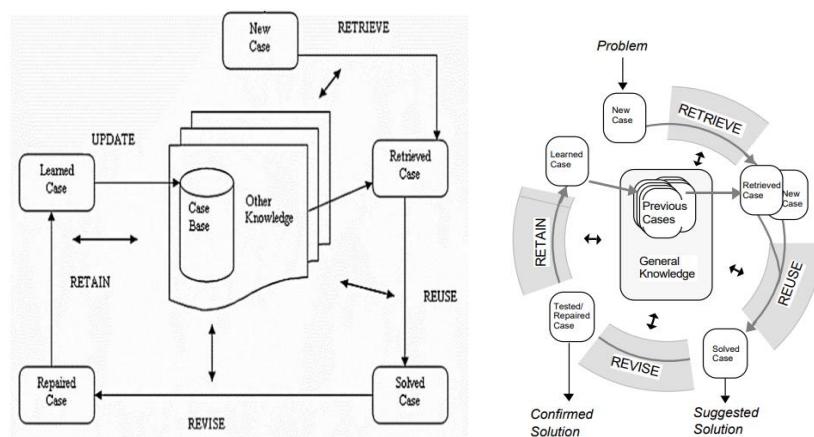
Υπάρχουν δύο βασικά πρότυπα δόμησης ενός συστήματος με Βοηθούς. Η επιλογή τους γίνεται με βάση το πρόβλημα που επιδιώκουμε να λύσουμε. Η πρώτη μορφή δόμησης, συνήθως απαντάται σε MAS τα οποία δομούνται από έναν οργανισμό προκειμένου να εξυπηρετήσει ή να βελτιώσει μία διαδικασία. Σε αυτά τα συστήματα, κάθε Agent αναλαμβάνει ένα καθήκον και όλοι μαζί επιλύουν ένα πρόβλημα. Για παράδειγμα, ένας Agent ο οποίος απαντάται σε διάφορα μοντέλα τέτοιου τύπου, είναι ο Coordination Agent, ο οποίος αναλαμβάνει συνήθως να συντονίζει την διαδικασία και να ενημερώνει το χρήστη για τα αποτελέσματα [5],[7] [17]. Άλλο ένα είδος Βοηθών που απαντώνται συχνά είναι οι Agents, οι οποίοι αλληλοεπιδρούν με την βάση δεδομένων (Data Base Agents) [5], [8] ώστε να παρέχουν στο σύστημα όλα τα απαραίτητα δεδομένα για την επίλυση του προβλήματος.

Η δεύτερη περίπτωση συνήθως αφορά μία αλυσίδα εφοδιασμού. Κάθε βοηθός αναπαριστά έναν κρίκο της αλυσίδας. Για παράδειγμα, ένας εξ αυτών μπορεί να αναπαριστά μία μεταφορική εταιρία και κάποιος άλλος μία εταιρία μεταποίησης [13][10]. Ο κάθε Agent, σε αυτή την περίπτωση, έχει πρόσβαση στα δεδομένα του οργανισμού στον οποίο ανήκει, έχει γνώση των στόχων και της πολιτικής του οργανισμού και εργάζεται για την ικανοποίηση αυτών. Την ίδια στιγμή, στο βαθμό που επιλέγεται, είναι πιθανό να έχει πρόσβασή και σε δεδομένα άλλων οργανισμών, οι οποίοι συμμετέχουν στο σύστημα και να μοιράζεται αντίστοιχα δεδομένα με τους υπόλοιπους. Είναι επίσης, δυνατό, πέραν από τους «προσωπικούς» του στόχους, ένας Agent να μπορεί να προσπαθεί να εξυπηρετήσει κοινούς στόχους της εφοδιαστικής αλυσίδας[10].

2.2 Μηχανισμός Case Based Reasoning και Multi Agent Systems

2.2.1 Βασικά χαρακτηριστικά CBR

Ένα MAS σε αλληλεπίδραση με έναν μηχανισμό Case Based Reasoning (CBR) είναι μία τεχνική κατασκευής, με αρκετές εφαρμογές στην βιβλιογραφία σε διάφορους τομείς, μεταξύ αυτών και η εφοδιαστική αλυσίδα. Ο CBR είναι μηχανισμός τεχνητής νοημοσύνης, ο οποίος βασίζεται σε προηγούμενη πείρα επίλυσης προβλημάτων για να δώσει λύση στο νέο πρόβλημα που προκύπτει κάθε φορά. Οι Schank και Abelson συνέλαβαν τον CBR στα τέλη της δεκαετίας του 70, ενώ αργότερα έβαλαν τις βάσεις για τη δημιουργία ενός τέτοιου συστήματος [26], [27]. Ο μηχανισμός, ουσιαστικά, μιμείται την ικανότητα του ανθρώπου να αξιοποιεί τεχνικές επίλυσης παλαιότερων προβλημάτων, ώστε να προσεγγίζει και να επιλύει νέα προβλήματα με κοινά χαρακτηριστικά[25]. Ο μηχανισμός διατηρεί στην «μνήμη» του μία σειρά από περιπτώσεις-cases, οι οποίες επιλύθηκαν στο παρελθόν και έχουν κάποιες συγκεκριμένες παραμέτρους σαν προβλήματα. Το νέο, προς επίλυση πρόβλημα, συγκρίνεται με τα προηγούμενα, εντοπίζεται το πρόβλημα εκείνο, το οποίο έχει τις περισσότερες ομοιότητες, από το αρχείο του μηχανισμού και γίνεται απόπειρα να εφαρμοστεί η υπάρχουσα λύση στο τρέχον πρόβλημα. Πρόκειται για μία σύνθετη διαδικασία, αρκεί να σκεφτούμε πως μία μη ακριβής περιγραφή ενός προβλήματος εύκολα οδηγεί σε μία λάθος αξιοποίηση παλιότερης περίπτωσης και μία μη επαρκή λύση [19].



Εικόνα 1: Αναπαράσταση λειτουργίας μηχανισμού CBR

2.2.2 Βασικές λειτουργίες CBR

Όλοι οι CBR μηχανισμοί παρά τις διαφοροποιήσεις που ενδέχεται να έχουν ακολουθούν κάποια βασικά βήματα προκειμένου να συμβάλλουν στην επίλυση ενός νέου προβλήματος.

-Ανάκτηση: Η διαδικασία κατά την οποία εντοπίζεται παλαιότερη περίπτωση/ περιπτώσεις με πολλά κοινά στοιχεία με το τρέχον πρόβλημα [9]. Ο βαθμός ομοιότητας δίνεται από την παρακάτω σχέση

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n w_i * sim(f)}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad [8].$$

Όπου W_i είναι το βάρος (weight), κάποιου χαρακτηριστικού και $sim(f)$ είναι η συνάρτηση ομοιότητας μεταξύ της παλαιάς και της περίπτωσης [8],[11]. Η ομοιότητα μπορεί να προκύπτει με βάση τα χαρακτηριστικά του προβλήματος, τα δεδομένα και ζητούμενα μεγέθη αλλά και τη δομή του προβλήματος[21].

-Ανακύκλωση: Σε αυτό το βήμα γίνεται προσπάθεια να χρησιμοποιηθεί μία παλαιότερη λύση για την επίλυση του προβλήματος. Ενδέχεται να μεσολαβεί στο βήμα αυτό ανθρώπινη παρέμβαση, ωστόσο τα πιο εξελιγμένα συστήματα είναι αυτοματοποιημένα [9]. Για την επίλυση του νέου προβλήματος χρησιμοποιείται ο ίδιος αλγόριθμος ή τεχνική που ακολουθήθηκε στο case με μεγάλο βαθμό ομοιότητας[25]. Φυσικά, ειδικά στην περίπτωση κατά την οποία μεσολαβεί χρήστης, υπάρχει η δυνατότητα να γίνουν τροποποιήσεις στη μέθοδο που προτείνεται, προκειμένου η λύση του νέου προβλήματος να είναι αξιόπιστη.

- Αναθεώρηση: Σε αυτό το βήμα αξιολογείται η προτεινόμενη λύση. Πραγματοποιείται δηλαδή, μίας μορφής επαλήθευση, με τη βοήθεια του χρήστη[8]. Σε περίπτωση που αυτή δεν είναι αποδεκτή, το σύστημα προσπαθεί εκ νέου να βρει μία λύση αξιοποιώντας τις παλαιότερες περιπτώσεις που έχουν διακριθεί, κάνοντας εάν χρειαστεί μικρές τροποποιήσεις.

-Διατήρηση: Η νέα λύση αποθηκεύεται από το CBR ώστε να μπορεί να ανακτηθεί εάν προκύψει ξανά κάποιο παρόμοιο πρόβλημα. Είναι μία διαδικασία μάθησης η οποία εμπλουτίζει την βιβλιοθήκη του μηχανισμού CBR [8]. Η αξιοπιστία του συστήματος

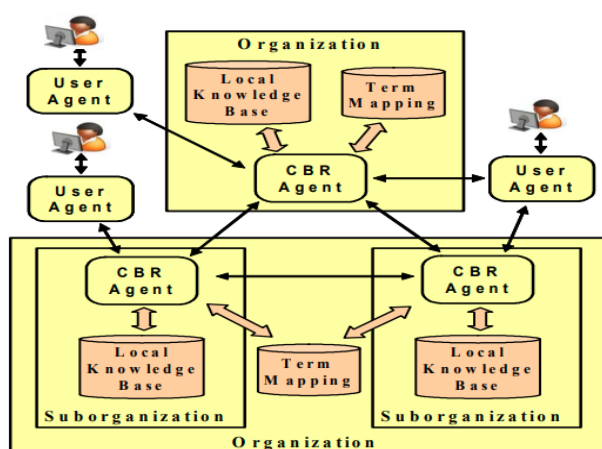
μεγαλώνει όσο αποθηκεύονται νέες υποθέσεις. Αντίστοιχα, η ανάγκη ανθρώπινης παρέμβασης μειώνεται όσο ο μηχανισμός λειτουργεί επιλύοντας νέες υποθέσεις.

Τα βήματα απεικονίζονται στην εικόνα 1 [9],[11]. Για την κατασκευή ενός τέτοιου αρχείου λύσεων στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιείται η πείρα στελεχών που αντιμετωπίζουν και επιλύουν καθημερινά προβλήματα τα οποία προκύπτουν στη ροή της δουλειάς. Στο [8] προκειμένου να δομηθεί ένα σύστημα ικανό να σχεδιάζει την διαδικασία του picking σε μία αποθήκη, καταγράφηκαν μία σειρά από λύσεις που είχαν εφαρμοστεί στο παρελθόν.

Η τεχνική CBR έχει αρκετά μειονεκτήματα τα οποία αναφέρονται συστηματικά στην βιβλιογραφία. Η αξιοπιστία των λύσεων που προτείνει, η ανακρίβεια που χαρακτηρίζει τις λύσεις, το κατά πόσο είναι βέλτιστες είναι μερικά από αυτά. Ο συνδυασμός του CBR με τα MAS φαίνεται να αμβλύνουν αυτά τα προβλήματα [20]. Για το λόγο αυτό, η αρχιτεκτονική των παρακάτω συστημάτων αποτελείται από συνδυασμό MAS και CBR.

Υπάρχουν δύο βασικά μοντέλα. Το πιο σύνηθες είναι ένα σύστημα MA το οποίο επικοινωνεί με ένα CBR μηχανισμό. Εναλλακτικά, και πιο σπάνια συναντάμε έναν CBR μηχανισμό, σε περισσότερους από έναν Agents του συστήματος [8].

Ένα πρότυπο μοντέλο MAS με μηχανισμό CBR επιδιώκουν να καταγράψουν οι J.L. Garrido et al, στο άρθρο τους με τίτλο: Using a CBR approach based on ontologies for recommendation and reuse of knowledge sharing in decision making [25]. Το μοντέλο τους απεικονίζεται στην εικόνα 2 [25].



Εικόνα 2: Αρχιτεκτονική πρότυπου CBR

Το σύστημα αφορά δύο οργανισμούς - εταιρίες, με τον έναν εξ αυτών, να οργανώνεται σε δύο τμήματα. Οι Agents που χρησιμοποιούνται είναι δύο ειδών: οι Agent Χρήστη και οι Agent CBR. Οι πρώτοι δέχονται εντολές, αναλαμβάνουν την επικοινωνία στο σύστημα, το συντονισμό και φροντίζουν για την εύρυθμη λειτουργία. Οι δεύτεροι δρουν με σκοπό να επιλύσουν το πρόβλημα που ανατέθηκε από τους χρήστες, έχοντας άμεση αλληλεπίδραση με τις βάσεις δεδομένων. Η επικοινωνία των Agents είναι αναπόσπαστο χαρακτηριστικό του συστήματος, το ίδιο και η ικανότητά τους να λειτουργούν αυτόνομα[25].

2.2.3 CBR σημασιολογικής αναπαράστασης

Τα πρώτα μοντέλα CBR, σε αντίθεση με τα πιο εξελιγμένα, περιορίζονταν σε μία αντιστοιχία χαρακτηριστικών του νέου προβλήματος με τις αποθηκευμένες στη μνήμη παλαιότερες περιπτώσεις. Τα χαρακτηριστικά αυτά δεν μπορούσαν να περικλείουν πολλές πληροφορίες, με αποτέλεσμα συχνά το πρόβλημα να μην περιγράφεται επαρκώς και η αντιστοίχιση να μην οδηγεί σε μία αξιόπιστη λύση. Τα εξελιγμένα μοντέλα, τα οποία επιτρέπουν μία πιο λεπτομερή και ολοκληρωμένη περιγραφή του προβλήματος στον χρήστη, ενώ παράλληλα διαθέτουν και μία πιο καταρτισμένη και λεπτομερή συλλογή παλαιότερων περιπτώσεων, είναι τα **CBR σημασιολογικής αναπαράστασης** [20]. Τέτοιου είδους μοντέλα χρησιμοποιούνται σε αρκετά ΜΑ συστήματα που θα συζητήσουμε παρακάτω, ακριβώς επειδή τα συστήματα καλούνται να αποτυπώσουν σύνθετα μοντέλα και να προσφέρουν λύσεις σε ποικιλία προβλημάτων, με πληθώρα δεδομένων προς αξιοποίηση.

Το κύριο χαρακτηριστικό των αυτών των μοντέλων είναι οι «οντολογίες» που περιέχουν. Πρόκειται για δομές οι οποίες επιτρέπουν την κατηγοριοποίηση των δεδομένων στα οποία έχουν πρόσβαση, με βάση το περιεχόμενό τους. Η κατηγοριοποίηση είναι δυνατή λόγω της ικανότητας των δομών να «αντιλαμβάνονται» έννοιες [22]. Η ικανότητα των ontologies να «εννοιοποιούν» τη γνώση που υπάρχει ώστε να χρησιμοποιηθεί εκ νέου έχει προσδώσει τεράστια δυναμική στους μηχανισμούς CBR, ειδικά όταν συνδυάζονται με την χρήση ΜΑ, ώστε να είναι δυνατή η αποτύπωση σύνθετων προβλημάτων[25]. Τελικά, η φύση του προβλήματος, η πολυπλοκότητα και οι παράγοντες που επηρεάζουν, επιβάλλουν την μορφή του μηχανισμού που θα επιλέξουμε ώστε η λύση να είναι αξιόπιστη.

Σύμφωνα με ένα άλλο ορισμό, οι οντολογίες είναι μία απόπειρα εννοιολόγησης όρων και των μεταξύ τους σχέσεων σε μία δομή [24], ενώ στο [28] αναφέρεται πως οι ontologies είναι ένα σύνολο από οντότητες, συσχετισμούς, περιστατικά, συναρτήσεις και αξιώματα τα οποία επιτρέπουν την κοινή και συλλογική κατανόηση μεταξύ συστημάτων και ανθρώπων. Με αυτόν τον τρόπο εύκολα προσπερνάμε τις δυσκολίες που ανακύπτουν από το γεγονός ότι τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την επίλυση ενός προβλήματος, δεν προέρχονται από την ίδια πηγή. Επίσης, διευκολύνεται η διαδικασία της ανάκτησης, εφόσον η ικανότητα εύρεσης του βαθμού ομοιότητας μεταξύ των υποθέσεων εστιάζει με περισσότερη ευκολία σε ποιοτικά χαρακτηριστικά.

2.3 Εφαρμογές MAS στη βιβλιογραφία

Τα MA συστήματα έχουν επιλεγεί από διάφορους ερευνητές προκειμένου να δημιουργήσουν μοντέλα τα οποία θα διευκολύνουν τη λήψη αποφάσεων και θα βελτιστοποιήσουν διαδικασίες. Οι J. Dhiviya Rose, S. Christalin Nelson και Rohit Kaushik χρησιμοποίησαν ένα τέτοιο σύστημα ώστε να επιλέγουν δωρητές πλάσματος για να καλύψουν την εκτεταμένη ανάγκη στην περίοδο της πανδημίας [30]. Το σύστημα επιδιώκει να ταιριάζει τον κάθε ασθενή με έναν δότη ανάλογα με την τοποθεσία και τις ιδιαίτερες ανάγκες του, αξιοποιώντας δεδομένα από το νοσοκομείο, την τράπεζα αίματος, και τους δότες.

Οι Xiaoyan Jiang et al, στο άρθρο τους, με τίτλο «A Decision Method for Construction Safety Risk Management Based on Ontology and Improved CBR: Example of a Subway Project»[24], αναπτύσσουν ένα μοντέλο με σκοπό να περιορίσουν το ρίσκο στον κλάδο των κατασκευών με τη χρήση CBR με ενσωματωμένες οντολογίες.

Στο πεδίο του Supply Chain με έντονο ανθρωπιστικό αποτύπωμα οι Maria Drakaki και Hacer Güner Gören χρησιμοποίησαν ένα MAS σαν μοχλό λήψης αποφάσεων σχετικά με την φιλοξενία των προσφύγων. Παίρνοντας υπόψη παράγοντες όπως την παροχή νερού και ηλεκτρισμού, την πρόσβαση σε φορείς περίθαλψης, εκπαίδευσης κ.α. επιδίωξαν να προτείνουν τις κατάλληλες τοποθεσίες για την στέγαση των προσφύγων[32].

Στην παρούσα εργασία θα εστιάσουμε σε ενδιαφέρουσες εργασίες ως προς τον σκοπό που υπηρετούν, την αρχιτεκτονική και τις τεχνολογίες που ενσωματώνουν. Στον πίνακα 1 αναφέρονται αναλυτικά τα μοντέλα που θα σχολιάσουμε.

A/A	Εργασία	Στόχος	Τεχνολογία – Μέθοδος
1	New Multi-agent Architecture of Visual Intelligent Decision Support Systems Application in the medical field [5]	Λήψη αποφάσεων για τους ασθενείς των Μονάδων Εντατικής θεραπείας, οι οποίοι έχουν μολυνθεί	Knowledge Discovery in Data
2	Design of a Case-Based Multi-Agent Wave Picking Decision Support System for Handling E-Commerce Shipments [8]	Οργάνωση του picking σε μία επιχείρηση E-commerce	Μηχανισμός CBR
3	MACE-SCM: A multi-agent and case-based reasoning collaboration mechanism for supply chain management under supply and demand uncertainties [10]	Υποστήριξη συνεργασίας μεταξύ μιας εμπορικής εταιρίας, ενός παραγωγού και ενός προμηθευτή	CBR σημασιολογικής αναπαράστασης

4	An Ontology and Multi-Agent Based Decision Support Framework for Prefabricated Component Supply Chain [13]	Αύξηση του βαθμού συντονισμού όλων των κρίκων της αλυσίδας εφοδιασμού με σκοπό την βέλτιστη λήψη αποφάσεων και την ανάθεση καθηκόντων	CBR σημασιολογικής αναπαράστασης – Multi Layer System
5	A multi-agent system for autonomous supply chain configuration [14]	Διαχείριση πολλαπλών αιτημάτων ανάθεσης εργασιών σε εικονικό community προσφοράς και ζήτησης	Αλγόριθμος Ανάθεσης με βάση την ομοιότητα αιτήματος - προσφοράς
6	Advanced supplier selection: A hybrid multi-agent negotiation protocol supporting supply chain dyadic collaboration [15]	Διευκόλυνση της διαπραγμάτευσης εμπορικής εταιρίας με τον προμηθευτή με ενεργή συμμετοχή του πελάτη	Αλγόριθμος διαπραγμάτευσης – Layers
7	A Multi Agent based framework for Supply Chain risk management [17]	Διαχείριση Ρίσκου στην Εφοδιαστική Αλυσίδα	Μηχανισμός CBR

Πίνακας 1: Παρουσίαση εργασιών MADSSs

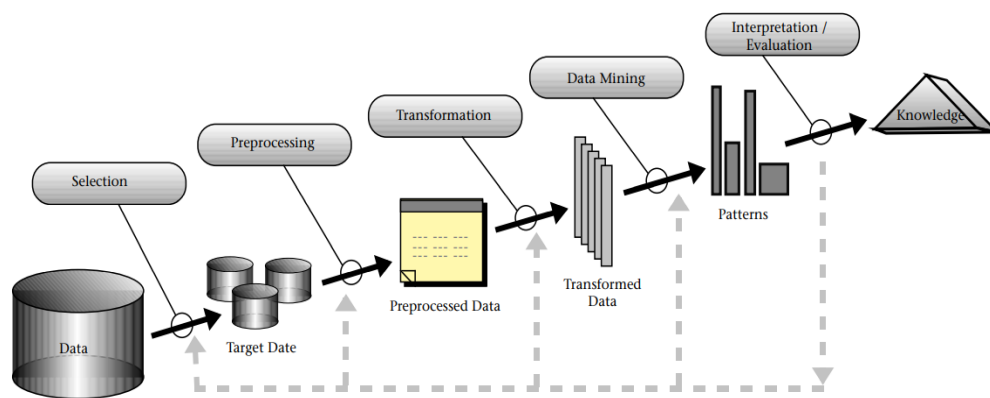
3. Αρχιτεκτονική Multi Agent Decision Support Systems – Εργαλεία και Λειτουργικότητα

Προκειμένου να κατανοήσουμε καλύτερα τη δομή των Συστημάτων Πολλαπλών Βοηθών με σκοπό τη λήψη αποφάσεων, (Multi Agent Decision Support Systems MADSS) τον ρόλο των Agents και τον τρόπο με τον οποίο λαμβάνονται οι αποφάσεις θα παραθέσουμε κάποια παραδείγματα αρχιτεκτονικής τέτοιων συστημάτων καθώς και των εργαλείων – μεθόδων που χρησιμοποιούνται κάθε φορά. Μέσα από τα μοντέλα που επιλέχθηκαν να αναλυθούν παρακάτω, αναδεικνύονται διάφοροι τρόποι δόμησης ενός MAS ανάλογα με τον σκοπό που επιθυμεί να υπηρετήσει κάθε οργανισμός.

3.1 Μοντέλο MAS με χρήση Knowledge Discovery in Data (KDD).

Στο παρόν μοντέλο αξιοποιείται η μέθοδος Knowledge Discovery in Data (KDD – ανακάλυψη γνώσης από δεδομένα), μία διαδικασία ανάλυσης δεδομένων. Στο [5] κατασκευάζεται ένα τέτοιο μοντέλο με σκοπό την λήψη αποφάσεων για τους ασθενείς των Μονάδων Εντατικής Θεραπείας, οι οποίοι έχουν μολυνθεί.

Με βάση τον τρόπο λειτουργίας της μεθόδου KDD, αρχικά, τα δεδομένα προετοιμάζονται για επεξεργασία, με τις απαραίτητες τροποποιήσεις και καθαρισμό. Στη συνέχεια, συσχετίζονται με γνώση που προϋπάρχει και έχει προκύψει από επεξεργασία αντίστοιχων δεδομένων, σε άλλο χρόνο. Σημαντικό βήμα της διαδικασίας αυτής είναι και το «data mining» (DM), η εξαγωγή δηλαδή μοτίβων από μεγάλο όγκο δεδομένων με τη χρήση αλγορίθμων [6]. Ανάλογα με το ερώτημα που θέλουμε να απαντήσουμε και τα δεδομένα που διαθέτουμε, επιλέγουμε την μέθοδο DM. Για παράδειγμα όταν επιθυμούμε να κάνουμε κάποια πρόβλεψη, ενδείκνυται η μέθοδος της Παλινδρόμησης (Regression). Στην περίπτωση που μας ενδιαφέρει να ομαδοποιήσουμε δεδομένα κατάλληλη είναι η μέθοδος της Ομαδοποίησης (Clustering), ενώ όταν επιθυμούμε να εντοπίσουμε πως συσχετίζονται τα διαθέσιμα δεδομένα προτείνεται η την μέθοδο Συσχέτισης - Association κ.α [7].



Εικόνα 3: Αναπαράσταση KNN MADSS

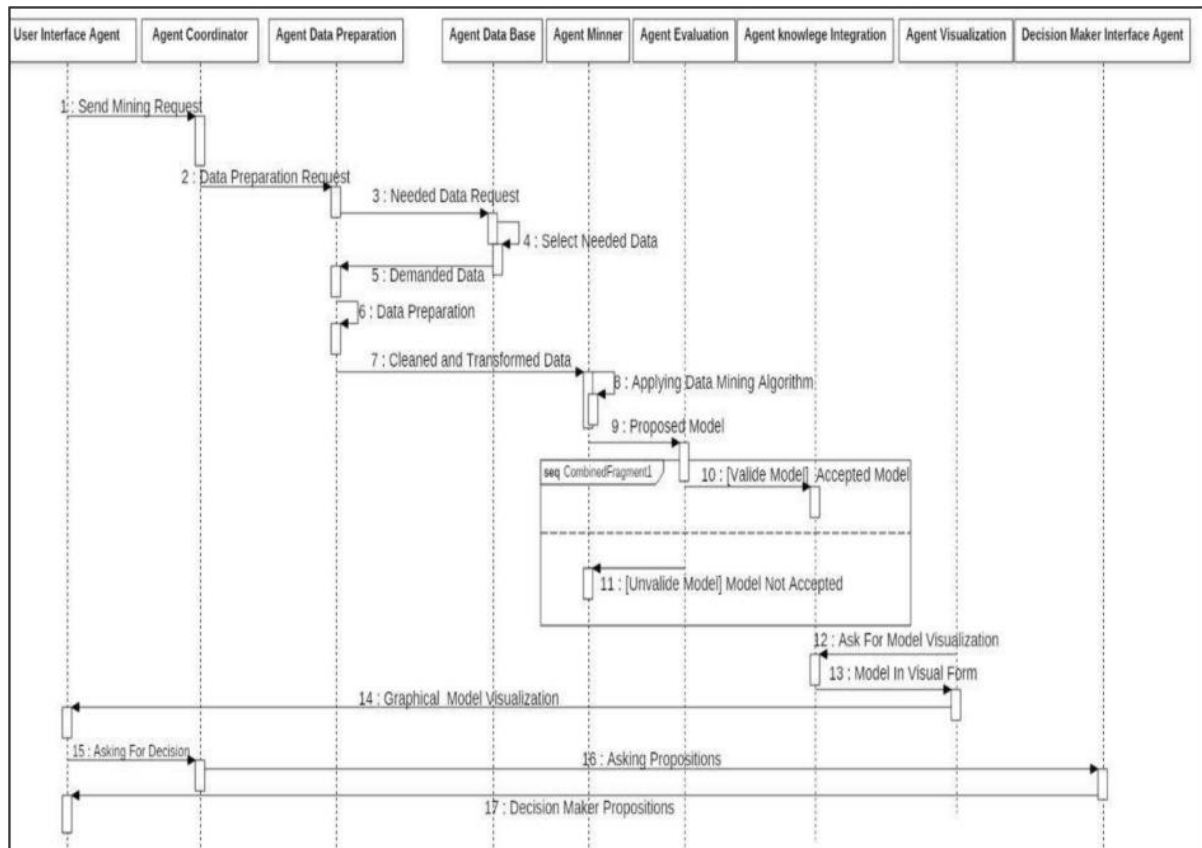
Στο σύστημα που αναπτύχθηκε κάθε βήμα της διαδικασίας ανακάλυψης γνώσης περιέχει έναν agent. Στο σχήμα ? απεικονίζεται η ροή των διαδικασιών.

Αναλυτικότερα στο σύστημα εντοπίζονται οι εξής Agents:

- **Coordinator agent (Agent Συντονισμού):** Αναλαμβάνει το συντονισμό των Agents που λειτουργούν στο σύστημα
- **User Interface Agent (Agent Αλληλεπίδρασης με τον χρήστη):** Αναλαμβάνει την επικοινωνία του χρήστη με το σύστημα.
- **Agent Data Preparation (Agent προετοιμασίας δεδομένων):** Αναλαμβάνει την προετοιμασία των δεδομένων για το DM.
- **Data Mining Agent (Agent εξαγωγής μοτίβων):** Αναλαμβάνει το Data Mining
- **Database Agent (Agent Βάσης Δεδομένων):** Επιλέγει τα δεδομένα που είναι απαραίτητα για το προς επίλυση πρόβλημα.
- **Knowledge Integration Agent (Agent Ενσωμάτωσης Γνώσης):** Επεξεργάζεται τα δεδομένα και καταλήγει σε προτεινόμενη λύση
- **Evaluation Agent (Agents Αξιολόγησης):** Αξιολογεί την προτεινόμενη λύση.
- **Visualization Agent (Agent Οπτικοποίησης της επεξεργασίας):** Εργάζεται για την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων

-Decision Maker Interface Agent (Agent Οπτικοποίησης της προτεινόμενης λύσης) : Εργάζεται για την οπτικοποίηση της προτεινόμενης λύσης.

Στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 4), παρουσιάζεται η διαδικασία.



Εικόνα 4: Ροή λειτουργιών MADSS με χρήση KNN

Περιγραφή της διαδικασίας:

Ο **User Interface Agent** δέχεται το αίτημα του χρήστη, οδηγίες για το είδος DM που χρειάζεται να πραγματοποιηθεί καθώς μια σειρά από απαραίτητες οδηγίες ανάλογα με το πρόβλημα προς επίλυση. Σε αυτή τη φάση ενδέχεται να παρέχονται και κάποια από τα απαραίτητα δεδομένα για την επίλυση του προβλήματος. Στη συνέχεια, ο **Coordinator agent**, αρμόδιος για την εύρυθμη ροή διαδικασιών στο σύστημα, στέλνει αίτημα στον **Agent Data Preparation** προκειμένου να προετοιμάζει τα δεδομένα για την διαδικασία DM, η οποία ακολουθεί. Ο **Agent Data Preparation** δεν διαθέτει όλα τα απαραίτητα δεδομένα ώστε να τα προετοιμάσει. Ένα μέρος των δεδομένων πρέπει να αντληθεί από τη βάση δεδομένων με την βοήθεια του **Data Base Agent**, ο οποίος

μετά από αίτημα παραχωρεί όλα τα απαραίτητα δεδομένα στον **Data Preparation Agent**. Εκεί, τα δεδομένα καθαρίζονται και μετατρέπονται σε κατάλληλη μορφή για την διαδικασία DM η οποία ακολουθεί.

Τα «καθαρά» δεδομένα μεταφέρονται στον **DM Agent**, όπου με τη χρήση αλγορίθμου προκύπτουν μοτίβα, τα οποία συσχετίζονται με τα προϋπάρχοντα μοτίβα από τη βάση δεδομένων. Κάποιοι από τους αλγόριθμους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι ο Dynamic Bayesian, decision trees ή κάποιο νευρωνικό δίκτυο [5]. Μετά την ολοκλήρωση του DM, το αποτέλεσμα αξιολογείται από τον Evaluation Agent. Εφόσον το αποτέλεσμα πάρει καλή αξιολόγηση, ο **Knowledge integration Agent** φροντίζει να αποθηκευτεί στη βάση δεδομένων. Τέλος, ο **Visualization Agent**, συμβάλει στην απεικόνιση της επεξεργασίας με γραφήματα ώστε να είναι εύκολα αξιοποιήσιμα και κατανοητά από τον χρήστη ενώ ο **Decision Maker Interface Agent**, παρέχει την λύση στον **User Interface Agent**, για την αξιοποίηση από τον χρήστη.

3.2 Εφαρμογή MAS για picking με μηχανισμό CBR

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αρχιτεκτονικής ενός τέτοιου συστήματος συναντάμε στο [8]. Το πρόβλημα αφορά την οργάνωση του picking σε μία επιχείρηση E-commerce, με πολλές παραγγελίες αποτελούμενες από λίγα αντικείμενα διαφορετικού είδους .

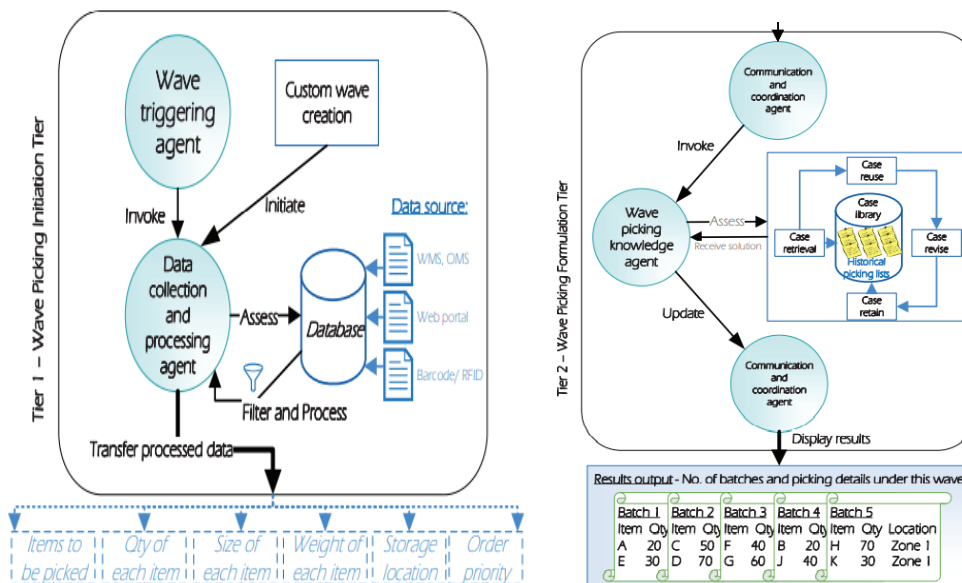
Για τη δόμηση του παρακάτω μοντέλου χρειάστηκαν τέσσερις Βοηθοί (Εικόνα 5).

- **Wave Triggering Agent:** Βοηθός δημιουργίας κύματος. Αναλαμβάνει να εκκινεί την διαδικασία με βάση τον αριθμό των ανοιχτών παραγγελιών.
- **Data Collection and processing Agent (DCPA):** Βοηθός Βάσης δεδομένων και επεξεργασίας. Αναλαμβάνει να αντλήσει όλα τα απαραίτητα δεδομένα για τις παραγγελίες που πρέπει να ικανοποιηθούν.
- **Communication and Coordination Agent (CCA):** Βοηθός επικοινωνίας και Συντονισμού. Αναλαμβάνει να συντονίζει τις διαδικασίες στο μοντέλο και να παρουσιάζει τα αποτελέσματα στον χρήστη.

- **Wave Picking Knowledge Agent:** Βοηθός Γνώσης και κατάστρωσης Picking. Υπεύθυνος για την δημιουργία της προτεινόμενης λύσης σε συνεργασία με τον CBR μηχανισμό.

Το σύστημα χωρίζεται σε δύο τμήματα. Το πρώτο είναι το τμήμα εκκίνησης του Κύματος Picking (Wave Picking Initiation Tier) και αποτελείται από δύο Agents. Ο Wave Triggering Agent, καταμετρά τον αριθμό των παραγγελιών, οι οποίες εκκρεμούν στο σύστημα, τον χρόνο αναμονής τους, και τις ομαδοποιεί με βάση το περιεχόμενό τους. Στη συνέχεια, εφόσον υπάρχουν αρκετές παραγγελίες, ενεργοποιείται ο Data Collection and processing Agent (DCPA) ο οποίος συγκεντρώνει και καταχωρεί πληροφορίες για τις παραγγελίες. Οι πληροφορίες αφορούν τον αριθμό και την ποσότητα του κάθε είδους ανά παραγγελία, την θέση τους στην αποθήκη, το βάρος του κάθε είδους κ.α [8]. Για να επιτύχει τα παραπάνω, ο DCPA συνεργάζεται με το σύστημα WMS και άλλες πηγές όπως φαίνεται στην εικόνα 5 [8]. Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας του DCPA, θα αποτελέσουν και τα δεδομένα που θα χρησιμοποιήσει ο **CBR** ώστε να βρει παρόμοιες περιπτώσεις στο δεύτερο τμήμα του.

Στο δεύτερο τμήμα, το οποίο αναλαμβάνει την δημιουργία του κύματος συλλογής συστήματος (Wave Picking Formulation Tier), λειτουργούν άλλοι δύο Agents. Ο Communication and Coordination Agent (CCA) συντονίζει τις λειτουργίες του τμήματος και επικοινωνεί τα αποτελέσματα με τον χρήστη του συστήματος. Ο Wave Picking Knowledge Agent (WPKA), αλληλοεπιδρά με τον CBR μηχανισμό ώστε να μεταφέρει σε αυτόν τα δεδομένα, τα οποία έχει παραλάβει από το πρώτο τμήμα του συστήματος. Ο WPKA σε συνεργασία με τον μηχανισμό CBR, αποτελούν τον πυρήνα του μοντέλου καθώς η συνεργασία τους θα οδηγήσει στην εξαγωγή της προτεινόμενης λύσης. Ο μηχανισμός CBR θα εντοπίσει αντίστοιχη περίπτωση που έχει αρχειοθετηθεί και στην συνέχεια ο WPKA θα προσαρμόσει την παλαιότερη μέθοδο στα δεδομένα που έχει παραλάβει, με σκοπό η λύση να προσαρμοστεί ακριβώς στο αίτημα του χρήστη. Τέλος, τα αποτελέσματα επιστρέφουν στον CCA ώστε να προβληθούν στον χρήστη και η νέα λύση αποθηκεύεται στον CBR μηχανισμό για μελλοντική χρήση.



Εικόνα 5: Αναπαράσταση Agents και μηχανισμού CBR

3.3 MAS με CBR σημασιολογικής αναπαράστασης σε μοντέλο για εφοδιαστική αλυσίδα

Ο συνδυασμός του CBR με τα MAS έχει χρησιμοποιηθεί και για να εξυπηρετήσει πιο σύνθετα συστήματα όπως για παράδειγμα την συνεργασία μεταξύ μιας εμπορικής εταιρίας, ενός παραγωγού και ενός προμηθευτή πρώτων υλών [10]. Η εμπορική εταιρία απευθύνεται στον παραγωγό ώστε να μπορεί να εξυπηρετεί τις παραγγελίες της και χτίζει απόθεμα. Αντίστοιχα, ο παραγωγός απευθύνεται στον προμηθευτή που ώστε να εξασφαλίσει τα απαραίτητα για την παραγωγή υλικά.

Ο κάθε κρίκος αυτής της αλυσίδας έχει τους δικούς του στόχους. Για παράδειγμα η εμπορική εταιρία έχει στόχο να μεγιστοποιήσει τα έσοδά της μειώνοντας ταυτόχρονα το κόστος αποθήκευσης ώστε να έχει το μεγαλύτερο δυνατό κέρδος. Στόχος της είναι επίσης να εξυπηρετεί μέσα σε ένα εύλογο χρονικό διάστημα τους πελάτες της. Οι παραπάνω στόχοι μπορούν να εκφραστούν από μία αντικειμενική συνάρτηση μεγιστοποίησης κέρδους, διαφορετική για κάθε κρίκο της αλυσίδας.

Κάθε κρίκος της αλυσίδας μπορεί να αναπαρασταθεί με ένα Agent, μία δομή που αντλεί ενδοεταίρικο δεδομένα και στηρίζει την λήψη κρίσιμων αποφάσεων για τον οργανισμό στον οποίο ανήκει [10]. Στην περίπτωση που οι κρίκοι συνάψουν μία

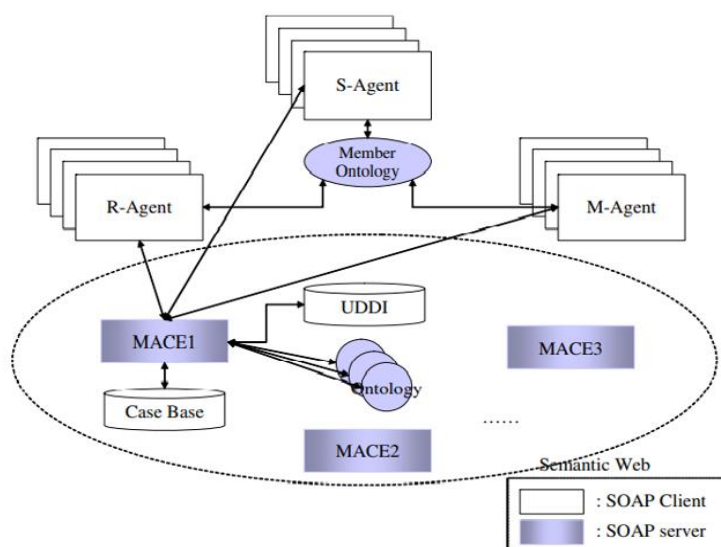
στρατηγική συνεργασία, υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας ενός ευρύτερου και πιο σύνθετου συστήματος στο οποίο οι Agents θα συνεργάζονται μεταξύ τους, ανταλλάσσοντας δεδομένα.

Παράλληλα, χρησιμοποιώντας έναν μηχανισμό CBR, οι Agents μπορούν να ανατρέχουν στην ήδη υπάρχουσα εμπειρία, για την λήψη κοινών αποφάσεων, συμβατών με τα ζητούμενα όλων των κρίκων. Η επικοινωνία μεταξύ των Agents είναι εφικτή, στο βαθμό που έχει συμφωνηθεί μεταξύ των εταιριών. Το γεγονός αυτό προσδίδει στο σύστημα ευελιξία χωρίς όμως να αποτρέπει τη αυτόνομη δράση του κάθε Agent προς το συμφέρον την εταιρίας του.

Στην εικόνα ?, το οποίο αφορά το [10] ξεχωρίζουμε τόσο του εν δυνάμει αυτόνομους Agents. Κάθε Agent αντιπροσωπεύει έναν οργανισμό – εταιρία. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα εφοδιαστικής αλυσίδας οι Agents είναι οι παρακάτω:

- R-Agent: Agent Εμπορικής εταιρίας (Retailer Agent)
- S-Agent: Agent Προμηθευτή (Supplier Agent)
- M-Agent: Agent Εμπορικής εταιρίας (Manufacturer Agent)

Το CBR-MACE έχει πρόσβαση σε μια οντολογία (Ontology) η οποία επιτρέπει την επικοινωνία με ανταλλαγή σημασιολογικών πληροφοριών (semantic information).



Εικόνα 6: Σύστημα MA για αναπαράσταση αλυσίδας με CBR

Ο αλγόριθμος του συστήματος σκοπό έχει να ικανοποιεί δύο ειδών στόχους. Τους επιμέρους στόχους κάθε κρίκου αλλά και κάποιον κοινό στο της εφοδιαστικής αλυσίδας ο οποίος θα μπορούμε να σχετίζεται για παράδειγμα με τον χρόνο απόδοσής της. Υπάρχει ευελιξία στην ιεράρχηση των στόχων. Είναι δυνατό να ιεραρχηθούν οι επιμέρους στόχοι, με πιθανότητα να μην υλοποιηθεί ο κοινός στόχος ή να τεθεί σε προτεραιότητα ο κεντρικός στόχος με κίνδυνο να μην υλοποιηθεί κάποιος από τους επιμέρους [10]. Ωστόσο, το σύστημα επιμένει στην ταυτόχρονη υλοποίηση όλων των στόχων.

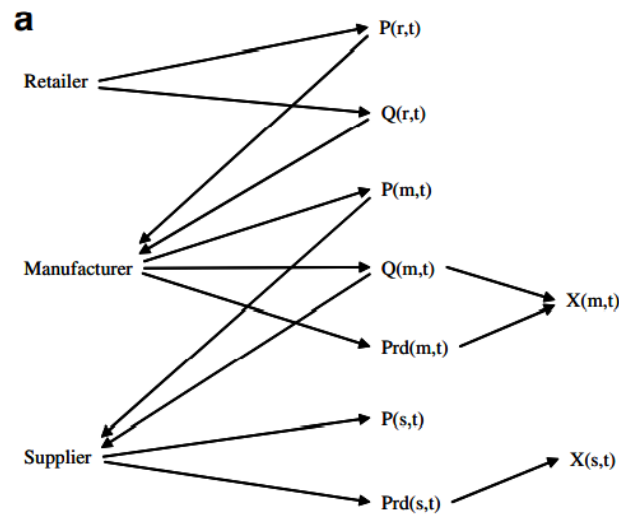
Ο αλγόριθμος που περιγράφει τη διαδικασία επίλυσης αφού αρχικοποιήσει τους Agents όπως αναφέρθηκαν, χρησιμοποιεί το CBR ώστε να εντοπίσει μία αντίστοιχη περίπτωση. Στην συνέχεια εξετάζει το πρόβλημα με βάση τους στόχους ενός κρίκου, για παράδειγμα της εμπορικής εταιρίας με τη βοήθεια του αντίστοιχου Agent (R-Agent), προσπαθώντας να βελτιστοποιήσει το αποτέλεσμα. Έπειτα, προχωράει στον παραγωγό ψάχνοντας την δική του βέλτιστη λύση κρατώντας σαν δεδομένα τα αποτελέσματα της προηγούμενης βελτιστοποίησης και τέλος συνεχίζει με τον προμηθευτή κρατώντας σαν δεδομένα τα αποτελέσματα των προηγούμενων βελτιστοποιήσεων.

Στη συνέχεια, επαναλαμβάνει την διαδικασία ξεκινώντας από τον προμηθευτή προς την εμπορική εταιρία. Εντοπίζει τα βέλτιστα αποτελέσματα για τον παραγωγό με την βοήθεια του M-Agent και δεδομένη την βέλτιστη λύση του προμηθευτή. Βρίσκει τα βέλτιστα αποτελέσματα για την εταιρία με τη βοήθεια του R-Agent, και δεδομένη την βέλτιστη λύση του παραγωγού και του προμηθευτή.

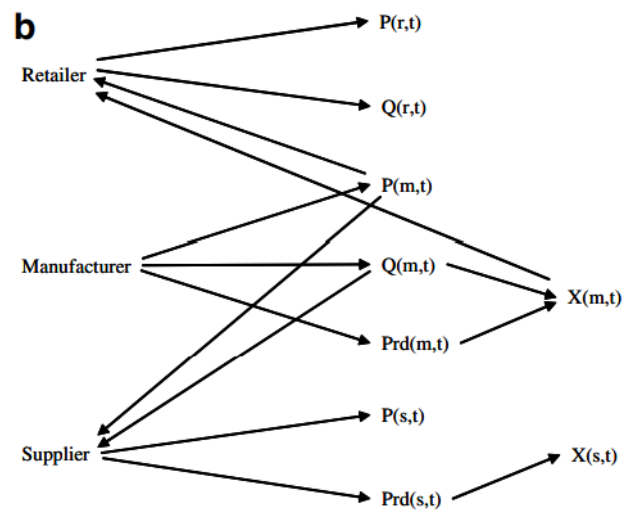
Σε περίπτωση που το αποτέλεσμα είναι μέσα στο πλαίσιο των στόχων και των τριών κρίκων η επεξεργασία σταματάει και οι χρήστες παραλαμβάνουν την προτεινόμενη λύση. Διαφορετικά πραγματοποιούνται τροποποιήσεις με παραμέτρους όπως η τιμή πώλησης, η ποσότητα παραγγελίας ή και παραγωγής, μέχρι να βρεθεί μια κοινώς αποδεκτή λύση. Αν κάποιος από τους κρίκους δεν ικανοποιήσει τους στόχους του, το σύστημα θα εκκινήσει την διαδικασία βελτιστοποίησης με αφετηρία αυτόν. Ωστόσο, αν δεν υπάρχει κάποια λύση που να είναι αποδεκτή από όλα τα μέρη, θα εξεταστεί η αλλαγή κάποιου κρίκου[10].

Η διαδικασία βελτιστοποίησης παρουσιάζεται παρακάτω με εκκίνηση την εμπορική εταιρία, τον παραγωγό και τον προμηθευτή αντίστοιχα [10]. Από τα αποτελέσματα της

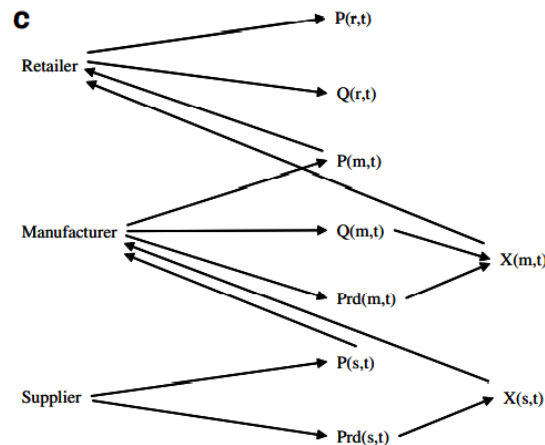
μελέτης φάνηκε πως η αποτελεσματικότητά του συστήματος ενισχύεται στον βαθμό που οι κρίκοι ανταλλάσσουν μεταξύ τους πληροφορίες.



Εικόνα 7: Βελτιστοποίηση με εκκίνηση την εμπορική εταιρία. P : τιμή πώλησης, Q : ποσότητα πώλησης, Prd : Ποσότητα παραγωγής, X : Ποσότητα πώλησης, r : Εμπορική εταιρία, m : Παραγωγός, s : Προμηθευτής, t : χρόνος.



Εικόνα 8: Βελτιστοποίηση με εκκίνηση τον παραγωγό. P : τιμή πώλησης, Q : ποσότητα πώλησης, Prd : Ποσότητα παραγωγής, X : Ποσότητα πώλησης, r : Εμπορική εταιρία, m : Παραγωγός, s : Προμηθευτής, t : χρόνος.



Εικόνα 9: Βελτιστοποίηση με εκκίνηση τον προμηθευτή. P : τιμή πώλησης, Q : ποσότητα πώλησης, Prd : Ποσότητα παραγωγής, X : Ποσότητα πώλησης, r : Εμπορική εταιρία, m : Παραγωγός, s : Προμηθευτής, t : χρόνος.

3.4 MAS με CBR σημασιολογικής αναπαράστασης σε μοντέλο για εφοδιαστική αλυσίδα – Μοντέλο πολλαπλών στρωμάτων

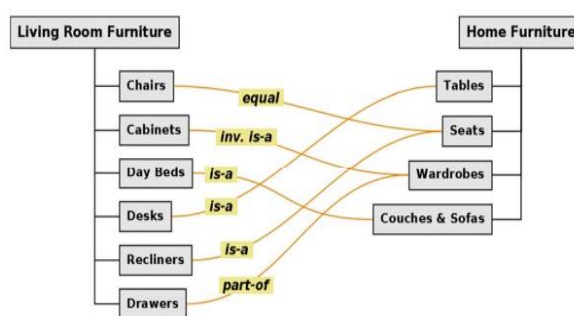
Στην ίδια λογική δόμησης, με προσπάθεια να εμπλακούν πολλοί κρίκοι της εφοδιαστικής αλυσίδας, κινείται και το μοντέλο των Juan Du, Hengqing Jing και & Kim-Kwang Raymond Choo στην εργασία τους με τίτλο «An Ontology and Multi-Agent Based Decision Support Framework for Prefabricated Component Supply Chain» [13]. Φαίνεται ότι και σε αυτή την περίπτωση κύρια αφορμή της ενασχόλησης με την κατασκευή ενός τέτοιου μοντέλου στάθηκε η σημασία της μεταφοράς πληροφορίας μεταξύ των εμπλεκόμενων στην εφοδιαστική αλυσίδα. Όπως αναφέρουν ο μη βέλτιστος συντονισμός και η ελλιπής μετάδοση πληροφοριών μπορούν να αυξήσουν δραματικά το κόστος μιας αλυσίδας εφοδιασμού.

Το μοντέλο τους εστιάζει στην υλοποίηση δύο κύριων στόχων. Την δημιουργία μίας δομής ασφαλούς ανταλλαγής πληροφοριών προερχόμενων από πολλές διαφορετικές πηγές και την αύξηση του βαθμού συντονισμού όλων των κρίκων της αλυσίδας εφοδιασμού με σκοπό την βέλτιστη λήψη αποφάσεων. Δεν πρόκειται λοιπόν, για ένα συγκεντροποιημένο μοντέλο αλλά για μία προσπάθεια αξιοποίησης του συστήματος προς όφελος όλων των συμμετεχόντων οι οποίοι συμβάλουν καθοριστικά στην απόδοση του μοντέλου με την προσφορά πληροφορίας.

Το μοντέλο παρουσιάζει μία σύνθετη δομή η οποία εξυπηρετεί την επεξεργασία ανομοιογενών πληροφοριών από πολλές διαφορετικές πηγές. Ωστόσο, εμείς θα εστιάσουμε κυρίως στον σχολιασμό της χρήσης των Agents και τις λειτουργίες τους. Διαθέτει τρία μέρη: την Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων (Ontology Layer), το στρώμα αλληλεπίδρασης (Interaction Layer) και τον προσομοιωτή με την χρήση MAS (Agent Simulation Layer) [13]. Η εφοδιαστική αλυσίδα αναφοράς σχετίζεται με προκατασκευασμένα εξαρτήματα.

Η συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων γίνεται από το πρώτο τμήμα του συστήματος (**Ontology Layer**) και συμβαίνει σε δύο στάδια. Το πρώτο στάδιο αφορά την συλλογή των δεδομένων από τους εμπλεκόμενους με την καταχώρηση τους ανά κρίκο σε μία ξεχωριστή ομάδα – ontology. Εκεί η πληροφορίες κατηγοριοποιούνται ώστε να είναι χρήσιμες για την εξαγωγή ποιοτικών συμπερασμάτων όταν αργότερα θα χρησιμοποιηθούν για την περιγραφή ενός μεγαλύτερου συστήματος αποτελούμενου από όλους τους κρίκους της εφοδιαστικής αλυσίδας. Πιο αναλυτικά, γίνεται προσπάθεια να εντοπιστούν σημασιολογικές ομοιότητες μεταξύ εννοιών που αποδίδονται από τα δεδομένα, σε μία διαδικασία που ονομάζεται χαρτογράφηση (mapping).

Παρακάτω παρατίθεται ένα απλοποιημένο παράδειγμα για την διαδικασία Mapping [12]. Υπάρχουν δύο ομάδες, οι οποίες εμπεριέχουν έννοιες. Θα μπορούσαμε να το παρομοιάσουμε με δεδομένα από δύο διαφορετικές εταιρίες. Κατά την διαδικασία του mapping, γίνεται προσπάθεια να εντοπιστούν οι σχέσεις μεταξύ των εννοιών των δύο ομάδων. Για παράδειγμα η έννοια – κατηγορία chairs (καρέκλες), παρουσιάζεται να είναι ισοδύναμη με την λέξη seats (καθίσματα), ενώ η λέξη drawer (ντουλάπι), φαίνεται να είναι υποσύνολο την έννοιας- κατηγορίας wardrobe (ντουλάπα).

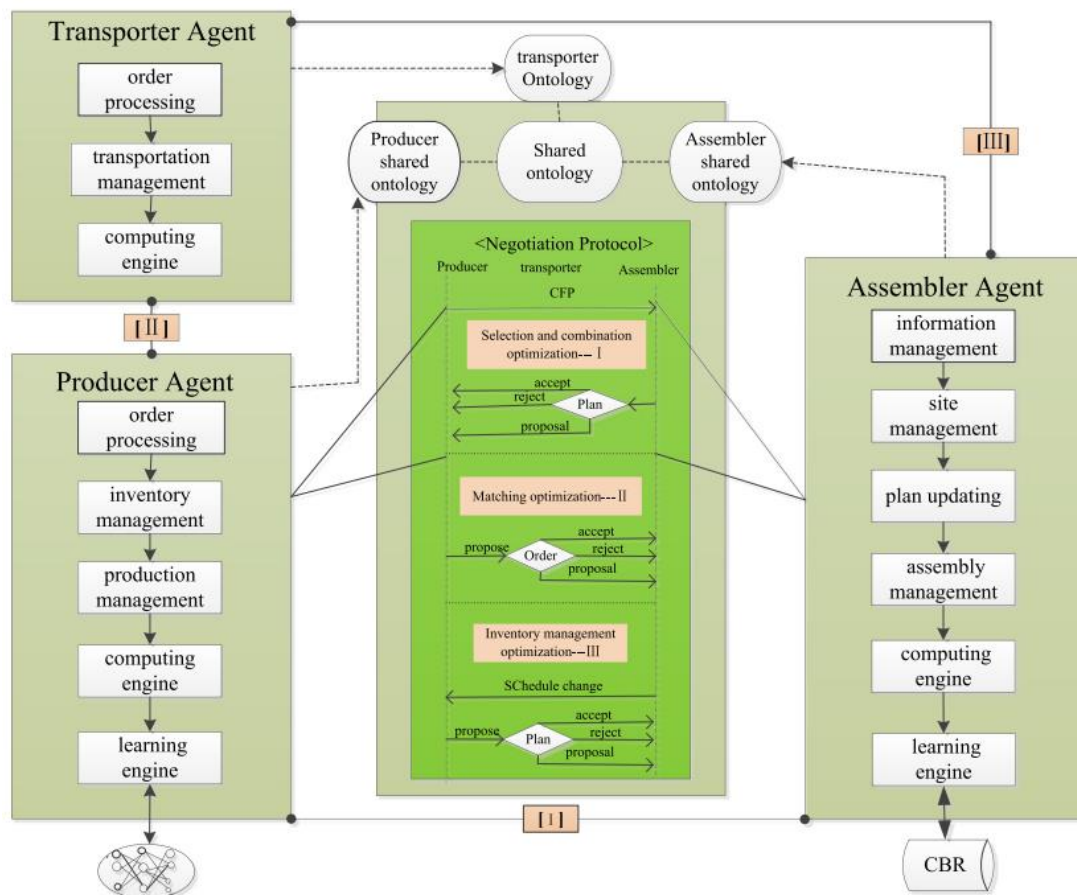


Εικόνα 10: Παράδειγμα Mapping

Μετά την επιμέρους χαρτογράφηση στις ομάδες των κρίκων κατασκευάζεται μία οικουμενική ομάδα (global ontology), η οποία περιέχει όλα τα επιμέρους δεδομένα και αποτυπώνει τις σχέσεις μεταξύ των κρίκων - επιμέρους ομάδων οι οποίες περιγράφονται από τον διαχειριστή του συστήματος [13]. Ενδεικτικά, κάποια από τα δεδομένα και τις πληροφορίες που εντοπίζονται, για την παραγωγική μονάδα και την μεταφορική εταιρία είναι κατασκευαστικές πληροφορίες των εμπορευμάτων όπως διαστάσεις συσκευασίες, τροποποιήσεις στους κωδικούς των μοντέλων, δεδομένα από το σύστημα ERP του κατασκευαστή με πληροφορίες για τους προμηθευτές, τα υλικά, τα πλάνα παραγωγής, το απόθεμα, πληροφορίες για την διαθεσιμότητα φορτηγών και άλλων μέσων μετακίνησης, χρόνου αποστολής, πληροφορίες σχετικά με την πολιτική των εταιριών ως προς την αντιμετώπιση ατυχημάτων κ.α [13]. Είναι φανερό πως υπάρχει πλούτος δεδομένων και μεγάλη ανάγκη να τροποποιηθούν αυτά με τρόπο ώστε να είναι αξιοποιήσιμα για την επίλυση του συγκεκριμένου κάθε φορά προβλήματος που τίθεται από τον χρήστη με βάση τις ανάγκες.

Το δεύτερο μέρος του συστήματος, το **Interaction Layer**, εστιάζει στην καταγραφή του προβλήματος από τον χρήστη και την διαμεσολάβηση μεταξύ του Global Ontology και του Agent Simulation Layer (ASL). Αυτό το Layer, καταγράφει τους στόχους, τους περιορισμούς που προκύπτουν από κάθε κρίκο και αντλεί δεδομένα από το πρώτο Layer με βάση τα ζητούμενα και την φύση του προβλήματος. Ανάλογα με το πρόβλημα που τίθεται τα δεδομένα που χρειάζονται για την επίλυσή του αλλάζουν. Επίσης, οι κρίκοι της εφοδιαστικής αλυσίδας που εμπλέκονται σε μία διαδικασία δεν είναι πάντα το ίδιο το πρόβλημα θα καθορίσει και τους Agents που θα ενεργοποιηθούν αργότερα στο επίπεδο της προσομοίωσης με βάση την εντολή που θα δοθεί από το Interaction Layer.

Στη συνέχεια περνάμε στο **Agent Simulation Layer (ASL)** το οποίο αναπαρίσταται από το παρακάτω οργανόγραμμα[13]. Το Layer αυτό, έχοντας λάβει όλα τα απαραίτητα δεδομένα επιχειρεί να προσφέρει μία λύση μέσα από διαδικασία προσομοίωσης. Κάθε κρίκος της αλυσίδας που εμπεριέχεται στο πρόβλημα αναπαρίσταται με έναν agent όπως στο [10]. Κάθε Agent έχει αυτόνομους στόχους και περιορισμούς, ξεχωριστές διαδικασίες και πολιτικές λειτουργίας.



Εικόνα 11: Δομή Multi Layer - MADSS

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα ζητούμενο είναι η έγκαιρη τροφοδοσία της εταιρίας μεταποίησης από τον παραγωγό. Η αλυσίδα που σχηματίζεται και καλείται να δώσει λύση στο πρόβλημα αποτελείται από την μονάδα παραγωγής εξαρτημάτων, την εταιρία μεταποίησης και την μεταφορική εταιρία που μεσολαβεί μεταξύ τους. Η βελτιστοποίηση της παραπάνω διαδικασίας προϋποθέτει τον πολύ καλό συντονισμό μεταξύ των κρίκων. Οι παράγοντες που επηρεάζουν το σύστημα και πρέπει να ληφθούν υπόψιν είναι πολλοί. Για παράδειγμα, τα διάφορα είδη εξαρτημάτων και η ζήτησή τους, τα πλάνα και οι χρόνοι παραγωγής της μονάδας, η διαθεσιμότητα του μεταφορέα, οι χρόνοι μεταφοράς, η χωρητικότητα φορτίου ανά δρομολόγιο, το κόστος παραγωγής εξαρτημάτων, μεταφοράς κ.α. [13]. Επίσης, ρόλο παίζουν και εξωτερικοί παράγοντες πχ η απότομη αύξηση της ζήτησης κάποιου προϊόντος κ.α. Το μοντέλο ιδανικά πρέπει να είναι σε θέση να συνυπολογίζει όλα τα παραπάνω και πολλά περισσότερα με βάση την λειτουργία κάθε κρίκου, την δομή και την πολιτική του [13].

Το μοντέλο των Agent, όπου ο κάθε ένας προσομοιώνει με έναν τρόπο ένα κρίκο της αλυσίδας και εργάζεται με βάση την ικανοποίηση του κεντρικού στόχου παίρνοντας

όμως υπόψιν και προσωπικές παραμέτρους, επιλέγεται και σε αυτή την περίπτωση. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα συναντάμε τους παρακάτω Agents:

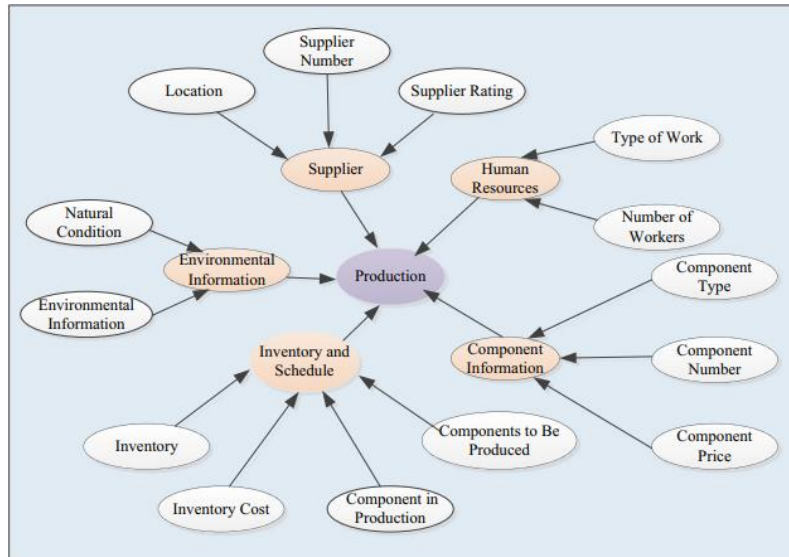
- Agent Παραγωγού (Production Agent)
- Agent Μεταφορών (Transport Agent)
- Agent Εμπορικής Εταιρίας (Retailer Agent)
- Agent Λογιστικής (Accounting Agent)

Η αυτονομία που διέπει την δομή των Agents στα πλαίσια του συστήματος διευκολύνει την καλύτερη παρακολούθηση όλων των επιμέρους περιορισμών των κρίκων. Ο ρόλος τους περιγράφεται αναλυτικά παρακάτω.

Χαρακτηριστικά των Agents:

Ο **agent του παραγωγού** επεξεργάζεται την παραγγελία, όπως την λαμβάνει από το Interaction Layer, ελέγχει εάν είναι σε θέση να την ικανοποιήσει με βάση το απόθεμα και σε περίπτωση που δεν μπορεί εκκινεί την διαδικασία παραγωγής. Φυσικά, υπάρχει και η περίπτωση μία εταιρία να ενδιαφέρεται να διατηρεί ένα ελάχιστο απόθεμα μόνιμα στην αποθήκη άρα και ο προγραμματισμός παραγωγής μεταβάλλεται ανάλογα. Στο επόμενο βήμα γίνεται ένας προϋπολογισμός κόστους με βάση την προσομοίωση και στην συνέχεια χρησιμοποιείται ένα νευρωνικό δίκτυο, ένας μηχανισμός CBR ή κάποιος άλλος μηχανισμός για να βρεθεί η βέλτιστη λύση για την παραγωγική μονάδα[13].

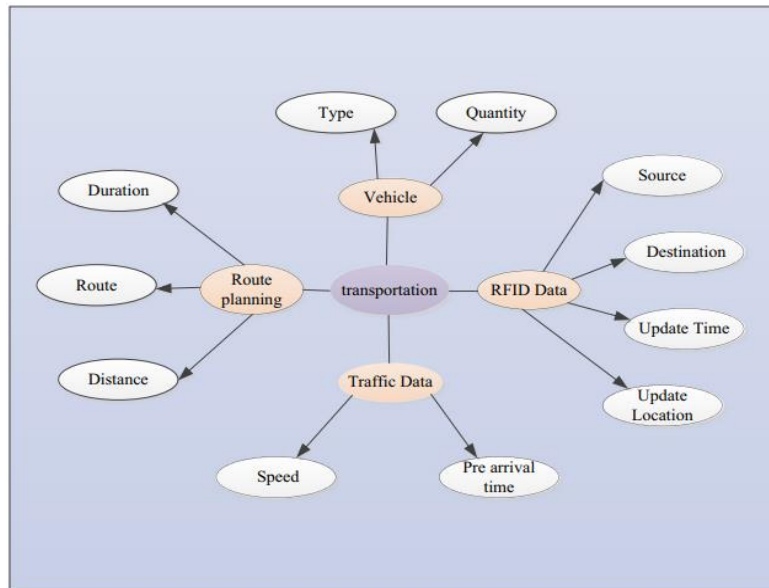
Στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 12, [13]), φαίνονται τα δεδομένα που έχουν ήδη συγκεντρωθεί στην οντολογία η οποία αφορά τον παραγωγό. Παρατηρούμε πως τελικά, το εύρος της αλυσίδας είναι πολύ μεγαλύτερο. Η μονάδα παραγωγής προκειμένου να λειτουργήσει για την επίτευξη του στόχου τροφοδοσίας της μονάδας συναρμολόγησης οφείλει να συνυπολογίζει την διαθεσιμότητα των προμηθευτών της, το κόστος προμήθειας κλπ. Επίσης, συνυπολογίζεται το ανθρώπινο δυναμικό, οι καιρικές συνθήκες και στοιχεία αποθέματος.



Εικόνα 12: Οντολογία Παραγωγού

Ο **Transport Agent** εμπεριέχει 3 λειτουργίες. Αρχικά την αποδοχή της ανάθεσης φόρτωσης, κατά την οποία λαμβάνει ένα επιτρεπτό χρονικό πλαίσιο για την μεταφορά, τις ποσότητες και άλλες εξειδικευμένες οδηγίες. Στην συνέχεια, όπως φαίνεται στην εικόνα 11 [13], ακολουθεί η λειτουργία transportation management, όπου προσομοιώνεται η μεταφορά με βάση τα παραπάνω στοιχεία αλλά και άλλες παραμέτρους που αφορούν την μεταφορική εταιρία και τέλος υπολογίζεται το κόστος της υπηρεσίας στην λειτουργία Computing Engine.

Το παρακάτω σχήμα μας βοηθά να καταλάβουμε όλες τις παραμέτρους που λαμβάνει υπόψιν η μεταφορική εταιρία. Μεταξύ αυτών, είναι δεδομένα δρομολόγησης όπως το δίκτυο, οι αποστάσεις, η διάρκεια της διαδρομής, δεδομένα που αφορούν τα φορτηγά αλλά και δεδομένα που βοηθούν στον συνυπολογισμό εξωτερικών παραγόντων όπως η κίνηση στους δρόμους.

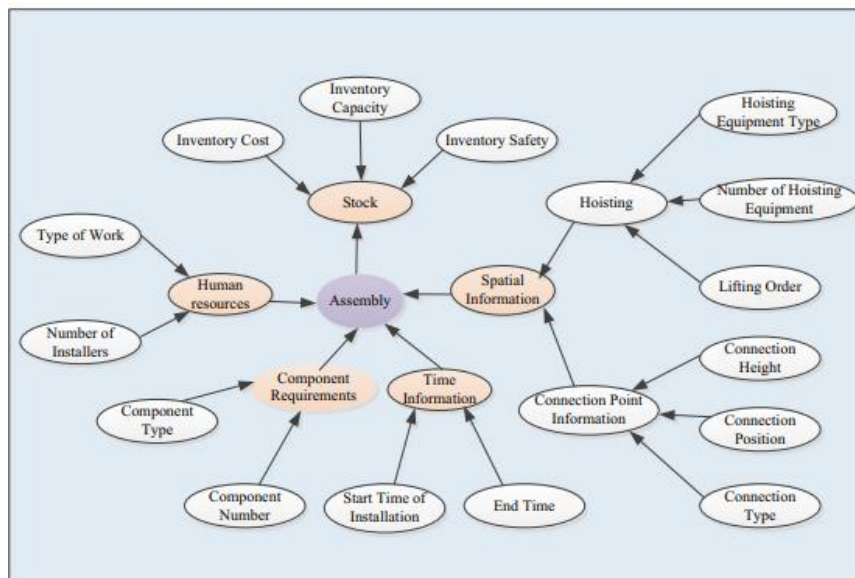


Εικόνα 13: Οντολογία Μεταφορικής Εταιρείας

Τέλος, συναντούμε τον **Agent της εταιρίας μεταποίησης**. Είναι μοναδικός στο σύστημα σε αντίθεση με τους υπόλοιπους Agents για τους οποίους δίνεται η δυνατότητα να υπάρχει ποικιλία. Είναι για παράδειγμα δυνατό το σύστημα να τρέχει την βελτιστοποίηση για διαφορετικές μεταφορικές εταιρίες και να επιλέγει εκείνη που συμβάλει στα καλύτερα αποτελέσματα. Η ιδιότητα αυτή αποτυπώνεται στην Εικόνα 14 [13]. Ο Agent μπαίνει σε λειτουργία, αφού έχουν ήδη ολοκληρωθεί οι επεξεργασίες από τους άλλους δύο καθώς τα αποτελέσματα της επεξεργασίας του προμηθευτή και της μεταφορικής εταιρίας είναι δεδομένα εισόδου για τον Agent της εταιρίας συναρμολόγησης.

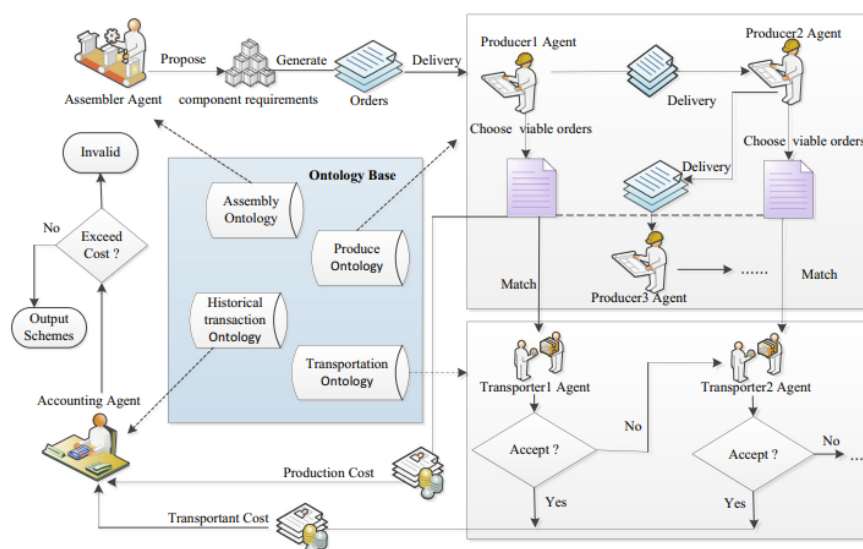
Διαθέτει έξι βασικές λειτουργίες (Εικόνα 11 [13]). Κατά την πρώτη λειτουργία, διαχείρισης πληροφορίας (information management), ο Agent λαμβάνει όλα τα δεδομένα τόσο από τις δομές Ontology μέσω του Interaction Layer όσο και από τους άλλους Agents. Στην εικόνα 13 [13], παρατίθενται τα βασικότερα στοιχεία προερχόμενα από την οντολογία της εταιρίας συναρμολόγησης με βασικά αυτά του αποθέματος, του ανθρώπινου δυναμικού και των χαρακτηριστικών των προϊόντων. Η επόμενη λειτουργία (site management) ελέγχει το απόθεμα και τα πλάνα συναρμολόγησης. Αν το απόθεμα δεν καλύπτει τη ζήτηση ή πέφτει κάτω από το επιτρεπτό όριο με βάση την πολιτική της εταιρίας ενημερώνεται η παραγωγή και ενεργοποιείται η επόμενη λειτουργία ώστε να ενημερωθούν αντίστοιχα τα πλάνα παραγωγής (plan updating). Έπειτα, ξεκινάει η προσομοίωση με την ενεργοποίηση της

λειτουργίας διαχείρισης συναρμολόγησης (Assembly Management). Τέλος , στο τελευταίο στάδιο (computing Engine) υπολογίζεται το τελικό κόστος[13].



Εικόνα 13: Οντολογία Εταιρίας Μεταποίησης

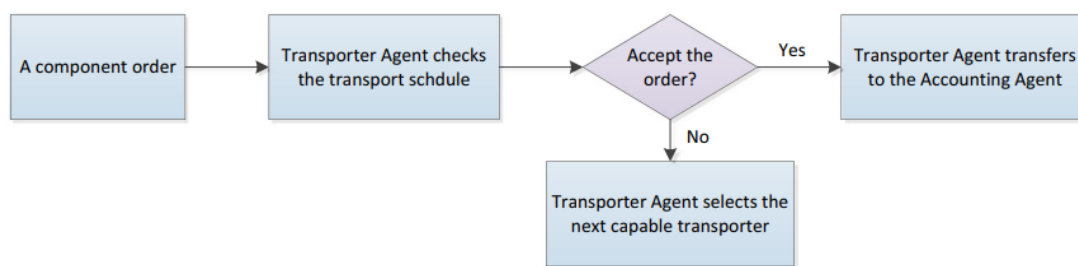
Η εικόνα 14 [13] μας προσφέρει μία σφαιρική εικόνα της διαδικασίας και περιλαμβάνει έναν μοναδικό Assembly Agent, δύο Producer Agents και δύο Transport Agents. Η δομή αυτή δίνει την δυνατότητα στην εταιρία μεταποίησης να επιλέξει τον πιο ανταγωνιστικό συνεργάτη. Ταυτόχρονα, είναι δυνατό κάποιος Agent να απορρίψει την ανάθεση από την εταιρία μεταποίησης.



Εικόνα 14: Ροή εργασιών MADSS

Για την υποστήριξη του υπολογισμού του τελικού κόστους του συστήματος, παρεμβάλλεται ένας ακόμα Agent, ο οποίος δεν προσομοιώνει κάποιο κρίκο της αλυσίδας, ο **Βοηθός Υπολογισμών** (Accounting Agent).

Παρακάτω, φαίνεται μία απόπειρα ανάθεσης της εταιρίας μεταποίησης για μεταφορά. Παρατηρούμε ότι σε περίπτωση που η μεταφορική δεν κάνει αποδεκτή την ανάθεση το σύστημα επιλέγει να αναθέσει στον επόμενο συνεργάτη. Εφόσον η ανάθεση προσχωρήσει, το κόστος της υπηρεσίας όπως υπολογίστηκε από την λειτουργία computing Engine του Transport Agent γνωστοποιείται στον Accounting Agent ώστε να συνυπολογιστεί στο συνολικό κόστος. Εάν το τελικό κόστος είναι μέσα στα επιτρεπτά πλαίσια οι κρίκοι λαμβάνουν επιβεβαίωση και αναλυτικό πλάνο με βάση τα καθήκοντά τους.



Εικόνα 15: Παράδειγμα ανάθεσης μεταφοράς

Σημαντικό επίσης, είναι να αναφέρουμε την πρόβλεψη που έχει το σύστημα για τον συνυπολογισμό καθυστερήσεων. Συγκεκριμένα κατά την διαδικασία της προσομοίωσης στους Agents συνυπολογίζονται καθυστερήσεις στην παραγωγή λόγω βλαβών, συντήρησης, ατυχημάτων με πιθανότητα 8% [13]. Το ποσοστό είναι δυναμικό και προέρχεται από τα δεδομένα που βρίσκονται στην οντολογία του παραγωγού. Επίσης, συνυπολογίζονται καθυστερήσεις που σχετίζονται με λάθη στις προμήθειες και ενδέχεται να επηρεάσουν και το τελικό κόστος της παραγωγής. Η πιθανότητα που χαρακτηρίζει ένα παραγωγό αγγίζει το 10%[13]. Τα νούμερα ωστόσο, διαφέρουν για κάθε παραγωγό. Αντίστοιχα, όσο αφορά την μεταφορική εταιρία λαμβάνονται υπόψιν καθυστερήσεις που ενδέχεται να οφείλονται σε αστάθμητους παράγοντες όπως βλάβες στα οχήματα, ατυχήματα κλπ.

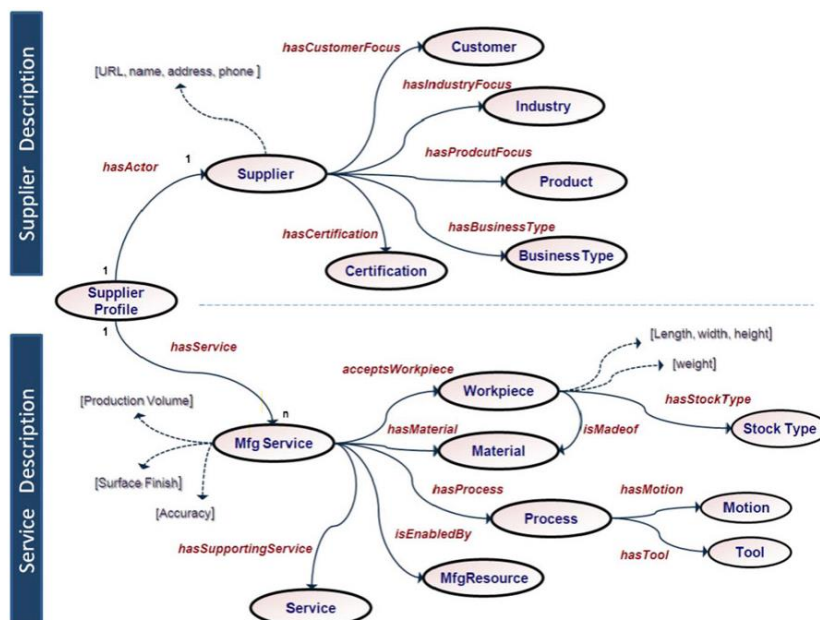
3.5 MAS διαχείρισης πολλαπλών αιτημάτων για την εύρεση προμηθευτή

Μια πολύ ολοκληρωμένη προσπάθεια ανάδειξης της δομής και λειτουργίας ενός MA συστήματος για την βοήθεια λήψης αποφάσεων στην εφοδιαστική αλυσίδα έκαναν οι Farhad Ameri και & Christian McArthur στην εργασία τους με τίτλο «A multi-agent system for autonomous supply chain configuration» [14]. Ιδιαίτερο βάρος δίνεται στον αλγόριθμο αλλά και στα τεχνικά μέσα που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία του μοντέλου.

Το μοντέλο αυτό εστιάζει στην επιλογή του κατάλληλου συνεργάτη από μία επιχείρηση με βάση τα χαρακτηριστικά του, για την διεκπεραίωση μίας εργασίας. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως η εφαρμογή δίνει περισσότερη έμφαση στην παρουσίαση των διαθέσιμων επιλογών του κάθε κρίκου με βάση της ανάγκες του, χωρίς να καταλήγει απαραίτητα στην βέλτιστη λύση. Για την εξυπηρέτηση αυτού του σκοπού το σύστημα περιλαμβάνει μία ψηφιακή αγορά (Digital Manufacturing Market - DMM). Σε αυτή την αγορά, υπάρχουν με την μορφή Agents κρίκοι οι οποίοι αναζητούν και προσφέρουν υπηρεσίες και προϊόντα. Τα χαρακτηριστικά τους όπως η δυναμική τους, οι διαθεσιμότητά τους κ.α. ενυπάρχουν σε ontologies όπως και στο [13]. Το κλειδί για την δημιουργία των ontologies είναι η επεξεργασία των δεδομένων από διαφορετικές πηγές, η κατηγοριοποίησή τους με βάση τη σημασιολογία των μεγεθών - εννοιών που περιγράφουν ώστε να είναι κατανοητά από το σύστημα και να μπορούν να αξιοποιηθούν για την εξαγωγή λύσεων. Η κεντρική δομή – Ontology η οποία εμπεριέχει όλα τα δεδομένα ονομάζεται Manufacturing Service Description Language (MSDL) [14].

Τα δεδομένα τα οποία ενυπάρχουν σε έναν Agent που επιδιώκει να αναθέσει ένα αίτημα σε ένα προμηθευτή συνθέτουν το αίτημα προσφοράς ενώ τα δεδομένα που ενυπάρχουν σε έναν Agent – προμηθευτή συνθέτουν το προφίλ του προμηθευτή (Supplier Profile) Η εικόνα 16 [14] αποτυπώνει ένα Supplier Profile. Το προφίλ περιλαμβάνει πληροφορίες για τον προμηθευτή και για τις υπηρεσίες – προϊόντα που προσφέρει. Στην πρώτη κατηγορία μπορούν να περιλαμβάνονται το δίκτυο πελατών του, το είδος της βιομηχανίας ή εταιρίας, τα προϊόντα ή/και οι υπηρεσίες που προσφέρει, οι πιστοποιήσεις που διαθέτει κ.α [14]. Στη δεύτερη κατηγορία καταγράφονται τα υλικά που χρησιμοποιεί στην παραγωγή, η διαθεσιμότητά του με

βάση τη δυναμική της παραγωγής και το απόθεμα, οι διαδικασίες – τεχνικές που ακολουθεί η προέλευση των υλικών του κ.α. [14].



Εικόνα 16: Προφίλ προμηθευτή – Supplier Profile

Κατά την έναρξη μίας αναζήτησης ένα κρίκος γνωστοποιεί μία ζήτηση με σκοπό να εντοπίσει κάποιον προμηθευτή ο οποίος είναι σε θέση να την ικανοποιήσει. Ο αλγόριθμος που εφαρμόζεται καλείται να συνταιριάζει την ζήτηση με την προσφορά. Εντοπίζει δηλαδή, το βαθμό συμφωνίας του αιτήματος (Request for Quote- RFQ) και τα προφίλ των προμηθευτών (Supplier Profile).

Αντίστοιχα με την δομή του προφίλ του προμηθευτή, η οποία αναλύεται σε διάφορα χαρακτηριστικά, το RFQ απαρτίζεται από διάφορες πληροφορίες. Για παράδειγμα, η ζητούμενη ποσότητα, τα υλικά παρασκευής, πιστοποιήσεις που πρέπει να φέρει το προϊόν, επιθυμητές ημερομηνίες παράδοσης κ.α. [14]. Κατά τη δημιουργία του RFQ ο χρήστης καταγράφει μια σειρά από τέτοιους περιορισμούς και λεπτομέρειες αποδίδοντας σε κάθε ένα χαρακτηριστικό μία βαρύτητα (weight) την οποία λαμβάνει υπόψιν ο αλγόριθμος ώστε να εντοπίσει τον προμηθευτή που ικανοποιεί βέλτιστα το αίτημα[14].

Οι παρακάτω σχέσεις ορίζουν τον βαθμό ομοιότητας του αιτήματος (Q) και Supplier Profile.

$$Sim(Q, SP) = w_{actor}Sim_{actor} + w_{service}Sim_{service}$$

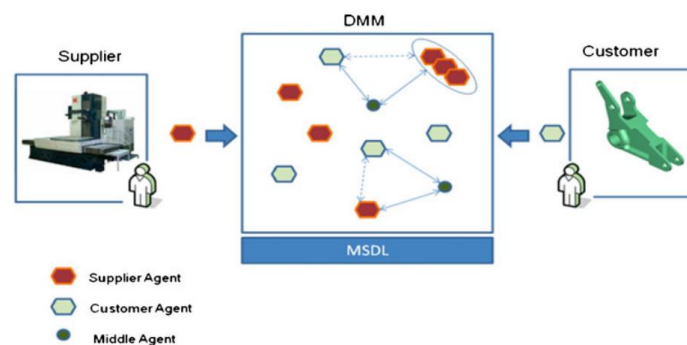
Το Simactor αφορά τις ομοιότητες ως προς τα γενικά χαρακτηριστικά του προμηθευτή δηλαδή το είδος της βιομηχανίας (Sim ind), τα προϊόντα που παράγει (Sim prod) και τις πιστοποιήσεις του (Sim cert). Η βαρύτητα που αποδίδεται στο βαθμό ομοιότητας των χαρακτηριστικών αυτών δίνεται από το weight Wactor [13].

$$Sim_{actor}(Q, SP) = w_{ind}Sim_{ind} + w_{prod}Sim_{prod} + w_{cert}Sim_{cert}$$

Το Simservice αφορά τις ομοιότητες ως προς τις ακολουθούμενες διαδικασίες (Sim proc), τα υλικά (Sim mat), τις ζητούμενες υπηρεσίες (Sim SuppSvc), το όγκο της παραγγελίας (Sim Vol) και την ζητούμενη ακρίβεια (Sim Prec) [14].

$$Sim_{Service}(Q, SP) = w_{proc}Sim_{proc} + w_{mat}Sim_{mat} + w_{SuppSvc}Sim_{SuppSvc} + w_{vol}Sim_{vol} + w_{prec}Sim_{prec}$$

Στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 27 [14]) παρουσιάζονται τρεις τύποι Agent, του προμηθευτή (Supplier Agent), της εταιρίας η οποία εκφράζει τη ζήτηση (Customer Agent) και των ενδιάμεσων Agents (Middle Agents) οι οποίοι αναλαμβάνουν να δημιουργήσουν ζευγάρια. Agents οι οποίοι αναπαριστούν προσφορά και ζήτηση έχουν μεγαλύτερο βαθμό αυτονομίας από ότι οι ενδιάμεσοι καθώς οι πρώτοι αντιπροσωπεύουν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε πελάτη ή προμηθευτή [14].



Εικόνα 17: Agents του συστήματος

Αναλυτικότερα στο σύστημα εντοπίζονται [14]:

-Supplier Agents: Αντιπροσωπεύουν τον προμηθευτή

-RFQ (Request for Quote) Agent: Αντιπροσωπεύουν τους πελάτες

- MSDL (Manufacturing Service Description Language) search engine agent: Η MSDL είναι η γλώσσα, στην οποία δομούνται τα ontologies. Ο MSDL Service Engine Agent εντοπίζει σημασιολογικές ομοιότητες στα δεδομένα πελατών και προμηθευτών και επιστρέφει μία λίστα με τους προμηθευτές που ικανοποιούν το RFQ. Η λίστα είναι κατά σειρά φθίνουσας ομοιότητας όπως αυτή ορίστηκε παραπάνω.

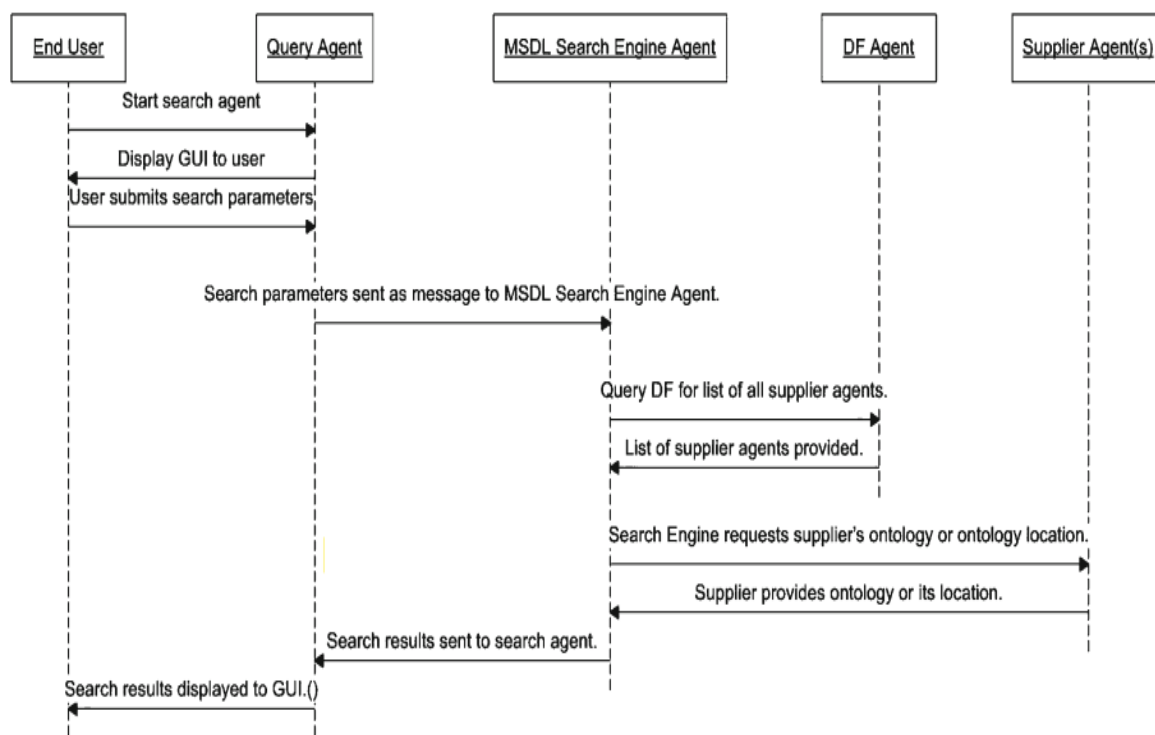
- Supply chain agent: Είναι αρμόδιος για την συνένωση προμηθευτών ώστε να ικανοποιηθεί κάποιο RFQ ή την εξέταση του συνόλου των ανοιχτών RFQs του συστήματος και την προσπάθεια ικανοποίησης τους μέσω μίας ή περισσότερων εφοδιαστικών αλυσίδων. Το σύστημα έχει την δυνατότητα να ομαδοποιεί προμηθευτές παρέχοντας λύση σε κάποιο σύνθετο αίτημα ή συνδυάζοντας παράγωγη προϊόντος και παροχή υπηρεσίας (πχ συσκευασία, μεταφορά κ.α). Έτσι, στο σύστημα σχηματίζονται μικρές εφοδιαστικές αλυσίδες. Κάθε οντότητα είναι (προσφορά ή ζήτηση) είναι δυνατόν να συμμετέχει σε παραπάνω από μία αλυσίδες [14].

-Query agent: Παρέχει στον χρήστη την δυνατότητα να δημιουργήσει κάποιο RQF. Δημιουργεί το περιβάλλον, ώστε να καταχωρηθούν όλες οι απαραίτητες πληροφορίες. Μετά την ολοκλήρωση, το αίτημα αποστέλλεται στον MSDL Service Engine Agent.

-Agent management system: Ελέγχει το σύστημα ως προς τη λειτουργία του, καταγράφει τον αριθμό των ανοιχτών αιτημάτων και διαθέσιμων προμηθευτών, τον μέσο χρόνο ικανοποίησης αιτήματος. Είναι δυνατό να ειδοποιεί τους χρήστες για πιθανά κενά στα δεδομένα τους ή άλλα ζητήματα.

-DF Agent: Παρέχει υποστήριξη στη διαδικασία καταγραφής των διαθέσιμων προμηθευτών.

Διακρίνουμε δύο τύπου διαδικασίες στο σύστημα. Η πρώτη είναι η απλή διαδικασία κατά την οποία ένα αίτημα ζήτησης ικανοποιείται από έναν προμηθευτή. Η διαδικασία αποτυπώνεται στην εικόνα 18[14].

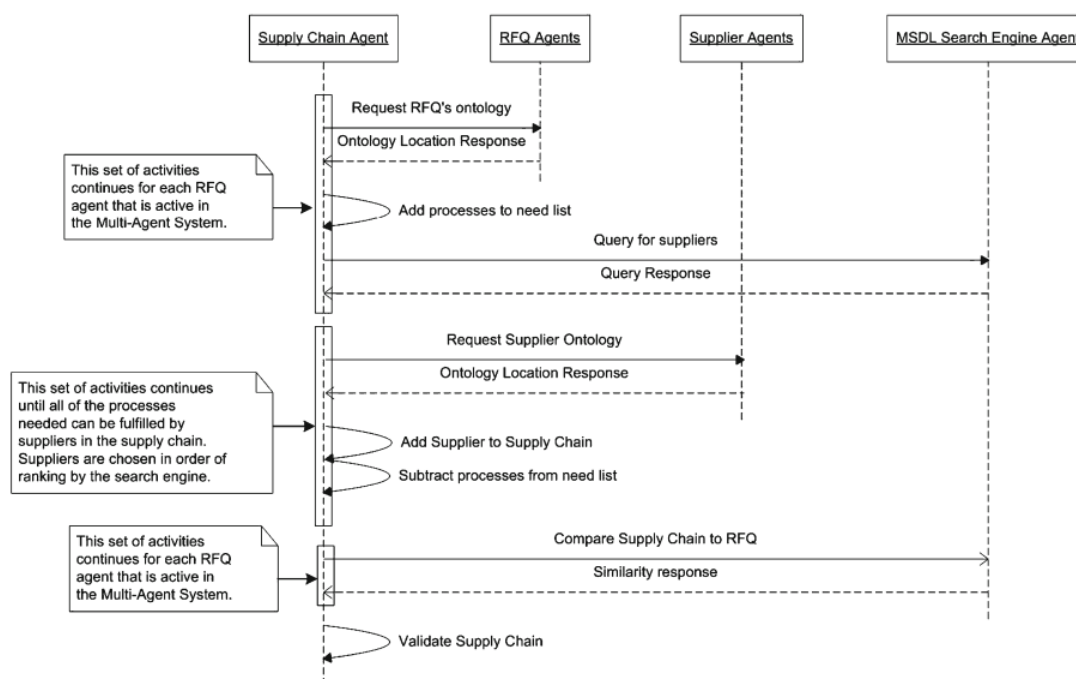


Εικόνα 18: Ροή εντολών στο σύστημα για ένα αίτημα

Σε πρώτο στάδιο ο χρήστης καταγράφει το αίτημα του με τη βοήθεια του Query agent. Δίνει πληροφορίες σχετικά με τα προϊόντα ή/και υπηρεσίες που χρειάζεται αλλά και τον τύπο του προμηθευτή που επιθυμεί. Στην συνέχεια το αίτημα αποστέλλεται στον MSDL search engine agent ο οποίος παραλαμβάνει από τον DF Agent μία λίστα με όλους τους ενεργούς προμηθευτές του συστήματος. Στη συνέχεια, ο SE Agent, αιτείται πρόσβασης στα supplier profiles, όπου υπάρχουν καταγεγραμμένες όλες οι πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά, τις διαδικασίες παραγωγής και τις προσφερόμενες υπηρεσίες των προμηθευτών. Τεχνικά, αιτείται πρόσβαση στα ontology locations. Εφόσον το αίτημα ικανοποιηθεί από τους Supplier Agents, ο SE Agent έχει πρόσβαση σε όλες τις πληροφορίες σχετικά με τους διαθέσιμους προμηθευτές. Στη συνέχεια οι προμηθευτές ταξινομούνται με φθίνουσα σειρά ομοιότητας, σε σχέση με τις προδιαγραφές του αιτήματος. Ο Query agent παραλαμβάνει τα αποτελέσματα και τα επικοινωνεί στον χρήστη.

Η δεύτερη διαδικασία είναι πιο σύνθετη και αφορά την κοινή δράση περισσότερων του ενός προμηθευτών για την ικανοποίηση ενός RFQ αλλά και κατάστρωση ενός κοινού

σχεδίου για την ικανοποίηση όλων των αιτημάτων RFQ, τα οποία εκκρεμούν στο σύστημα, με μία ή περισσότερες αλυσίδες. Η διαδικασία αποτυπώνεται στην εικόνα 19 [14].



Εικόνα 19: Ροή εντολών για τη διαχείριση πολλαπλών αιτημάτων

Αρχικά, ο SC Agent συλλέγει όλες τις πληροφορίες από τους RFQ Agents σχετικά με τα αιτήματα σε εκκρεμότητα. Λαμβάνει πληροφορίες για τις διαδικασίες που χρειάζονται για την ολοκλήρωση καθενός αιτήματος, το επιθυμητό είδος της βιομηχανίας-εταιρίας προμηθευτή κ.α. Με τεχνικούς όρους ο agent ζητάει πρόσβαση στην RFQ ontology. Αφού επεξεργαστεί κατάλληλα τις πληροφορίες, ο SC Agent τις αποστέλλει στον MSDL Service Engine Agent. Εκεί καταστρώνεται μια λίστα προμηθευτών σε θέση να ικανοποιήσουν τα αιτήματα. Η λίστα έχει τη μορφή πίνακα όπως περιγράφεται παρακάτω [14]. Το μέγεθος S_{ij} αποτυπώνει την ομοιότητα του αιτήματος I με τον προμηθευτή j . Η παρακάτω σχέση αποτυπώνει την συμβατότητα που παρουσιάζει ένας προμηθευτής για τα ανοιχτά αιτήματα.

$$Sim = \begin{bmatrix} S_{11} & \cdots & S_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{n1} & \cdots & S_{nm} \end{bmatrix}$$

Σχέση ? : Similarity Table

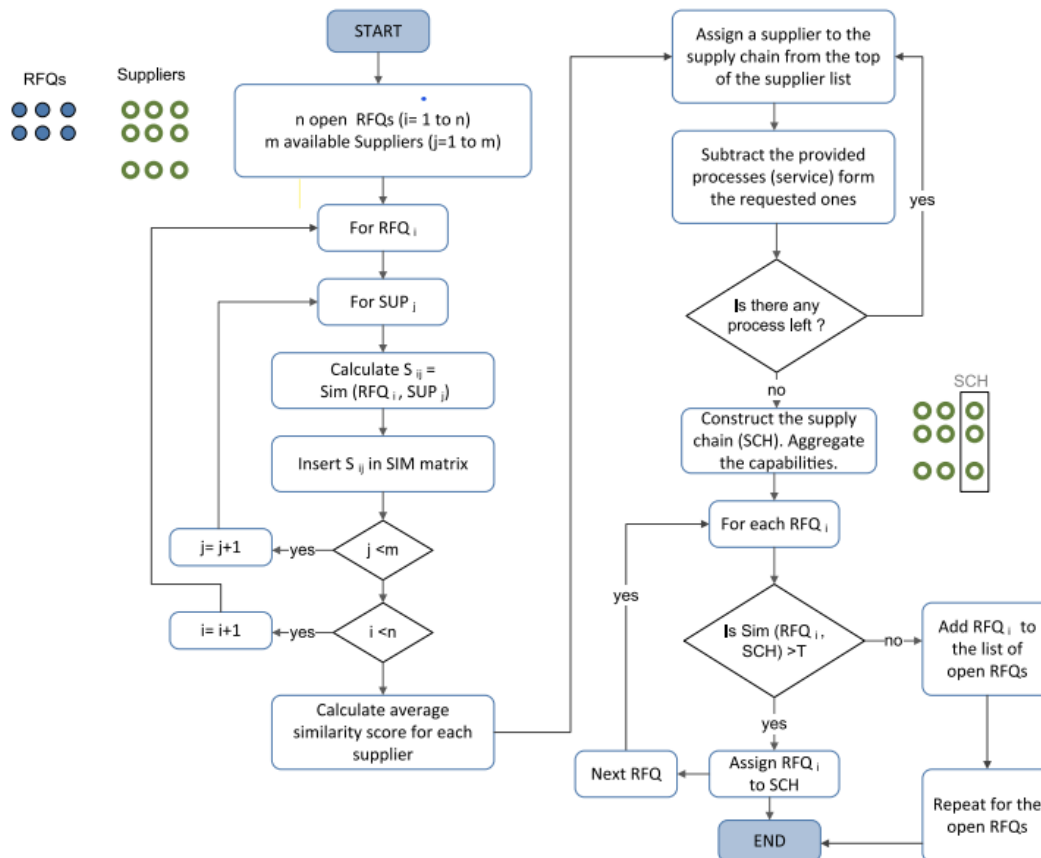
$$S_j^{SUP} = \sum_{i=1}^n S_{ij} / n$$

Σχέση ? : Συμβατότητα προμηθευτή

Μετά από αυτή την αξιολόγηση όλων των προμηθευτών για όλα τα αιτήματα ξεκινάει η ανάθεση κάθε αιτήματος στον προμηθευτή με την μεγαλύτερη συμβατότητα. Εάν ένα αίτημα δεν μπορεί να ικανοποιηθεί από έναν προμηθευτή στο σύνολό του, το σύστημα το «σπάει» το αρχικό αίτημα σε μικρότερες διαδικασίες και αναθέτει την επίλυσή τους σε περισσότερους από έναν προμηθευτές ανάλογα με την αξιολόγηση που έχουν για κάθε μία διαδικασία. Στην περίπτωση που περισσότερα από ένα RFQs περιλαμβάνουν μία όμοια διαδικασία και τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο j προμηθευτής την ικανοποιεί καλύτερα σε σχέση με τους υπόλοιπους, η διαδικασία ανατίθεται στον j ο οποίος γίνεται κρίκος μίας SC. Η διαδικασία αφαιρείται από την λίστα των RFQs η οποία περιλαμβάνει το σύνολο των επιθυμητών διαδικασιών για την ικανοποίηση ενός πελάτη[14].

Αφού δημιουργηθούν οι αλυσίδες για κάθε αίτημα, το αποτέλεσμα επιστρέφει στον MSDL search engine agent ώστε να υπολογίσει τον βαθμό ομοιότητας της προτεινόμενης λύσης (αλυσίδας) με το αίτημα του πελάτη. Εάν η ομοιότητα ξεπερνάει έναν βαθμό (στο σύστημα ορίζεται το 70%) τότε η ανάθεση προχωράει [14]. Διαφορετικά το RFQ αφαιρείται από την αλυσίδα και γίνεται προσπάθεια να ενταχθεί σε μία νέα.

Η διαδικασία προχωράει μέχρι όλα τα αιτήματα να ανατεθούν. Στο σχήμα περιγράφει τη διαδικασία για πολλά αιτήματα.



Εικόνα 20: Αλγόριθμος συστήματος MA

3.6 MADSSs διαπραγμάτευσης για την επιλογή προμηθευτή από εμπορική εταιρία & πελάτες

Την σωστή επιλογή προμηθευτή επιλέγουν να εξυπηρετήσουν με ένα MADSS και οι Maryam Nejmaa , Firdaous Zairb, Abdelghani Cherkaouia και Mohamed Fourka στο άρθρο τους με τίτλο Advanced supplier selection: A hybrid multi-agent negotiation protocol supporting supply chain dyadic collaboration[15]. Διάλογος για τη βέλτιστη επιλογή αναδεικνύεται η συνεργασία, η ανταλλαγή πληροφοριών και ο συντονισμός των μελών της εφοδιαστικής αλυσίδας, προκειμένου να καταλήξουν σε ένα κοινό πλάνο επικερδές για όλους.

Η εφοδιαστική αλυσίδα που επιλέγεται αφορά μία εμπορική εταιρία, τους πελάτες της εταιρίας και τους προμηθευτές της. Η πρόταση είναι να θεωρήσουμε την εταιρία και τους πελάτες της μία δυάδα η οποία σαν μία οντότητα θα διαπραγματεύεται με τον προμηθευτή για την ικανοποίηση των στόχων της. Κρίνεται πως η διαπραγμάτευση σαν δυάδα και όχι μεμονωμένα της εταιρίας με τον προμηθευτή, μπορεί να φέρει

καλύτερα αποτελέσματα στην περίπτωση ειδικά, όπου ο καθιερωμένος τρόπος διαπραγμάτευσης εταιρίας-προμηθευτών δεν ικανοποιεί τον πελάτη.

Και για αυτό το σύστημα κρίθηκε ότι η ικανότητα των ΜΑ να λειτουργούν αυτόνομα αλλά συνάμα να συνεργάζονται, να μοιράζονται πληροφορίες και δεδομένα εξυπηρετεί τη δομή του μοντέλου. Το σύστημα οργανώνεται στα παρακάτω τρία επίπεδα [15] .

→ **Agent Layer:** Αποτελείται από τους Agents, οι οποίοι συγκροτούν την αλυσίδα και άλλους οι οποίοι αναλαμβάνουν διαδικασίες επεξεργασίας δεδομένων

→ **Techniques layer:** Συγκεντρώνει τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται από τους Agents για την επίλυση προβλημάτων

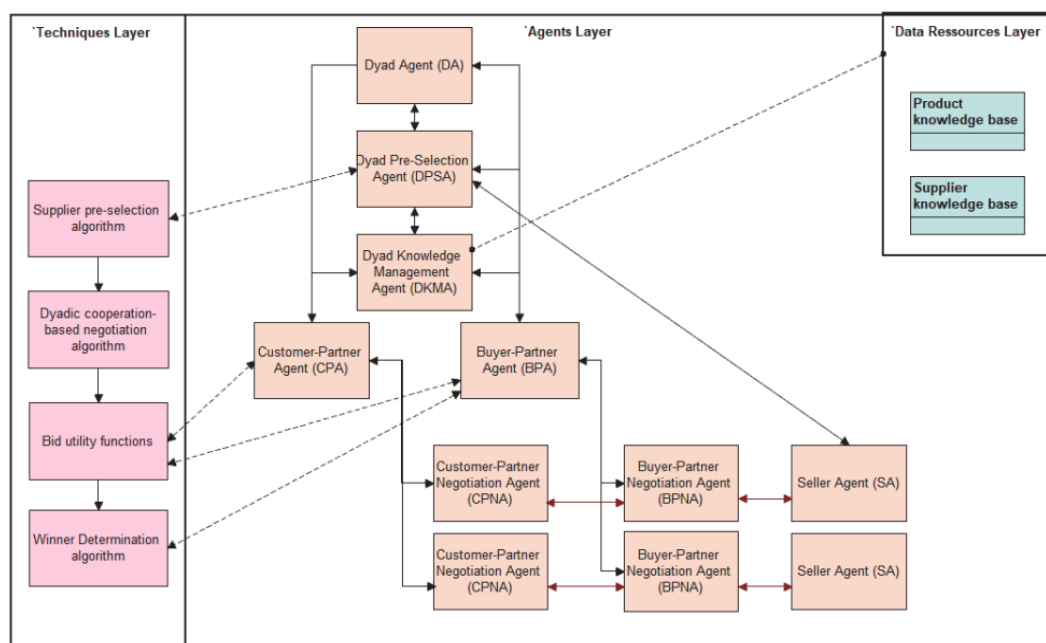
→ **Data-resources layer:** Περιέχει τις βάσεις δεδομένων που χρησιμοποιούνται από τους Agents

Η διαδικασία της διαπραγμάτευσης χωρίζεται επίσης σε τρία στάδια: Την συγκέντρωση όλων των προμηθευτών, την διαπραγμάτευση για την εξασφάλιση ώστε να ξεχωρίσουν οι πιο ανταγωνιστικές προσφορές και η τελική επιλογή [15]. Στην εργασία δίνεται έμφαση στο στάδιο της διαπραγμάτευσης μεταξύ του προμηθευτή και της ομάδας πελάτη-εμπορικής εταιρίας.

Παρακάτω αναφέρονται οι Agents και ο ρόλος τους στο μοντέλο[15]:

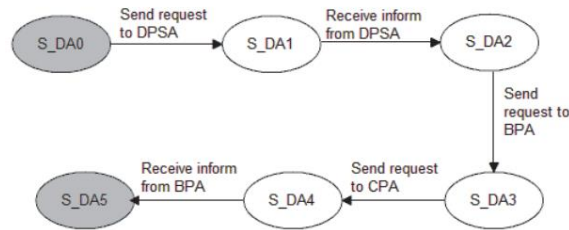
- **Dyad Agent:** (DA- Agent δυάδας εμπορικής εταιρίας και πελάτη της)
- **Dyad Pre-Selection Agent:** (DPSA- Agent προεπιλογής δυάδας)
- **Dyad Knowledge management Agent:** (DKMA-Agent διαχείρισης πληροφοριών της δυάδας)
- **Buyer Partner Agent:** (BPA- Agent της Εμπορικής εταιρίας)
- **Byer Partner Negotiation Agent:** (BPNA- Agent διαπραγμάτευσης της εμπορικής εταιρίας)
- **Customer Partner Agent:** (CPA- Agent του πελάτη)
- **Costumer Partner Negotiation Agent:** (CPNA- Agent διαπραγμάτευσης του πελάτη)
- **Seller Agent:** (SA- Agent προμηθευτή)

Η λειτουργία των Agents στο μοντέλο θα γίνει αντιληπτή μέσα από την περιγραφή της διαδικασίας επιλογής.



Εικόνα 21: Agents του συστήματος – Αρχιτεκτονική Layers

Στο σχήμα 1 [15] απεικονίζεται η λειτουργία του DA Agent. Βασικός στόχος του DA Agent είναι ο καθορισμός της ζήτησης. Σε πρώτο βήμα ο DA Agent αποστέλλει ένα αίτημα στον DPSA Agent (Agent προεπιλογής дуάδας). Σκοπός είναι να λάβει ένα πλαίσιο διαπραγμάτευσης των εμπλεκόμενων καθώς οι όροι ενδέχεται να διαφέρουν για κάθε πελάτη της εμπορικής εταιρίας [15]. Ο DPSA επιστρέφει στον DA τις σχετικές πληροφορίες και στη συνέχεια ο DA αποστέλλει αίτημα στον Agent της εμπορικής εταιρίας (BPA). Ο BPA συνεργαζόμενος με τον BPNA (Agent διαπραγμάτευσης της εμπορικής εταιρίας), ο οποίος εκπροσωπεί τους διαπραγματευτικούς όρους της εμπορικής εταιρίας για κάθε προμηθευτή, δημιουργεί υποθετικά σενάρια για την περίπτωση αγοράς από κάθε διαθέσιμο προμηθευτή. Μέσα από αυτή τη διαδικασία αναδεικνύονται εκείνοι οι προμηθευτές που μπορούν να ικανοποιήσουν τη ζήτηση και απορρίπτονται όσοι δεν είναι σε θέση, ή οι προδιαγραφές τους δεν είναι συμβατές με τις απαιτήσεις του πελάτη. Η ίδια διαδικασία συμβαίνει από μεριάς του πελάτη. Στην διαδικασία για λογαριασμό του πελάτη συμμετέχουν οι Agents : CPA- Agent του πελάτη και CPNA- Agent διαπραγμάτευσης του πελάτη. Οι Agents BPNA και CPNA είναι σε στενή συνεργασία για την διεκπεραίωση της διαπραγμάτευσης.

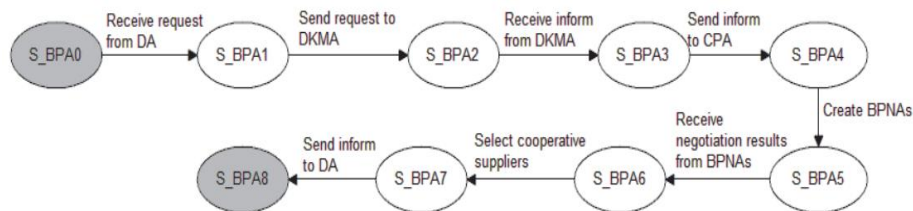


Σχήμα 1: Εντολές DA Agent

Παρακάτω θα εξετάσουμε πιο σφαιρικά τις εντολές που λαμβάνουν και στέλνουν οι Agent της εμπορικής εταιρίας, του πελάτη και του προμηθευτή.

- BPA

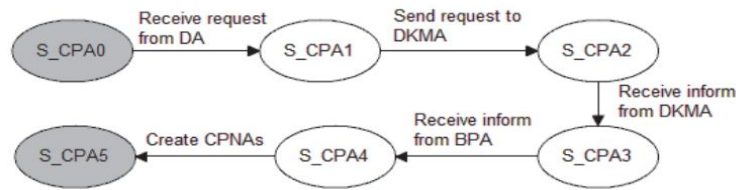
Λαμβάνει εντολή από το DA ώστε να ξεκινήσουν οι υπολογισμοί για κάθε προμηθευτή. Προϋπόθεση για αυτό είναι ο Agent να λάβει γνώση για τα ζητούμενα προϊόντα, τις ποσότητες κλπ. Οι πληροφορίες αυτές παρέχονται από τον DKMA (Agent διαχείρισης πληροφοριών της δυνάδας). Ο BPA εργάζεται για κάθε προμηθευτή ξεχωριστά σε συνεργασία με τον BPNA (Agent διαπραγμάτευσης της εμπορικής εταιρίας) και επιδιώκει να διακρίνει εκείνους τους προμηθευτές, οι οποίοι είναι σε θέση να ικανοποιήσουν τον πελάτη. Τα αποτελέσματα αυτής της επεξεργασίας αποστέλλονται στον CPA (Agent του πελάτη). Τα αποτελέσματα αποστέλλονται και στον DA (Agent Δυνάδας).



Σχήμα 2: Εντολές BPA Agent

- CPA

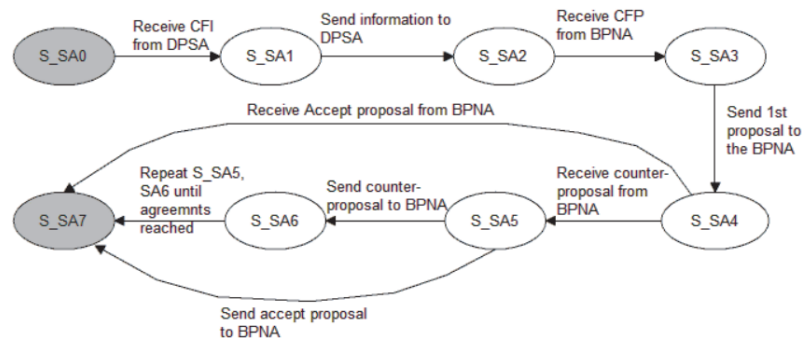
Ο CPA σε συνεργασία με τον CPNA (Agent διαπραγμάτευσης του πελάτη) έχει σαν στόχο να υπολογίσει για κάθε προμηθευτή ξεχωριστά ένα υποθετικό πλάνο συνεργασίας. Για να το κάνει αυτό ενημερώνεται από τον BPA για τους διαθέσιμους προμηθευτές και από DKMA (Agent διαχείρισης πληροφοριών της δυνάδας) για τα προϊόντα ζήτησης.



Σχήμα 3: Εντολές CPA Agent

- SA

Ο SA (Agent του προμηθευτή) δέχεται μία εντολή ενεργοποίησης από τον DPSA (Agent προεπιλογής дуάδας) ώστε να εξεταστεί εάν μπορεί να ικανοποιήσει τη ζήτηση και άρα θα συμμετάσχει σε διαπραγμάτευση. Εφόσον εγκριθεί, Δέχεται αίτημα από τον BPNA (Agent διαπραγμάτευσης της εμπορικής εταιρίας), ώστε να αποστείλει την προσφορά του για την δεδομένη ζήτηση. Στη συνέχεια ακολουθεί μία αντιπρόταση από τον BPNA, εάν η προσφορά δεν ικανοποιεί τις ανάγκες της εμπορικής εταιρίας και του πελάτη της και η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να κλείσει η συμφωνία. Η αλληλουχία των εντολών απεικονίζεται στο σχήμα 4. Η διαδικασία αυτή συμβαίνει για όλους τους προμηθευτές οι οποίοι είναι σε θέση να ικανοποιήσουν την ζήτηση.

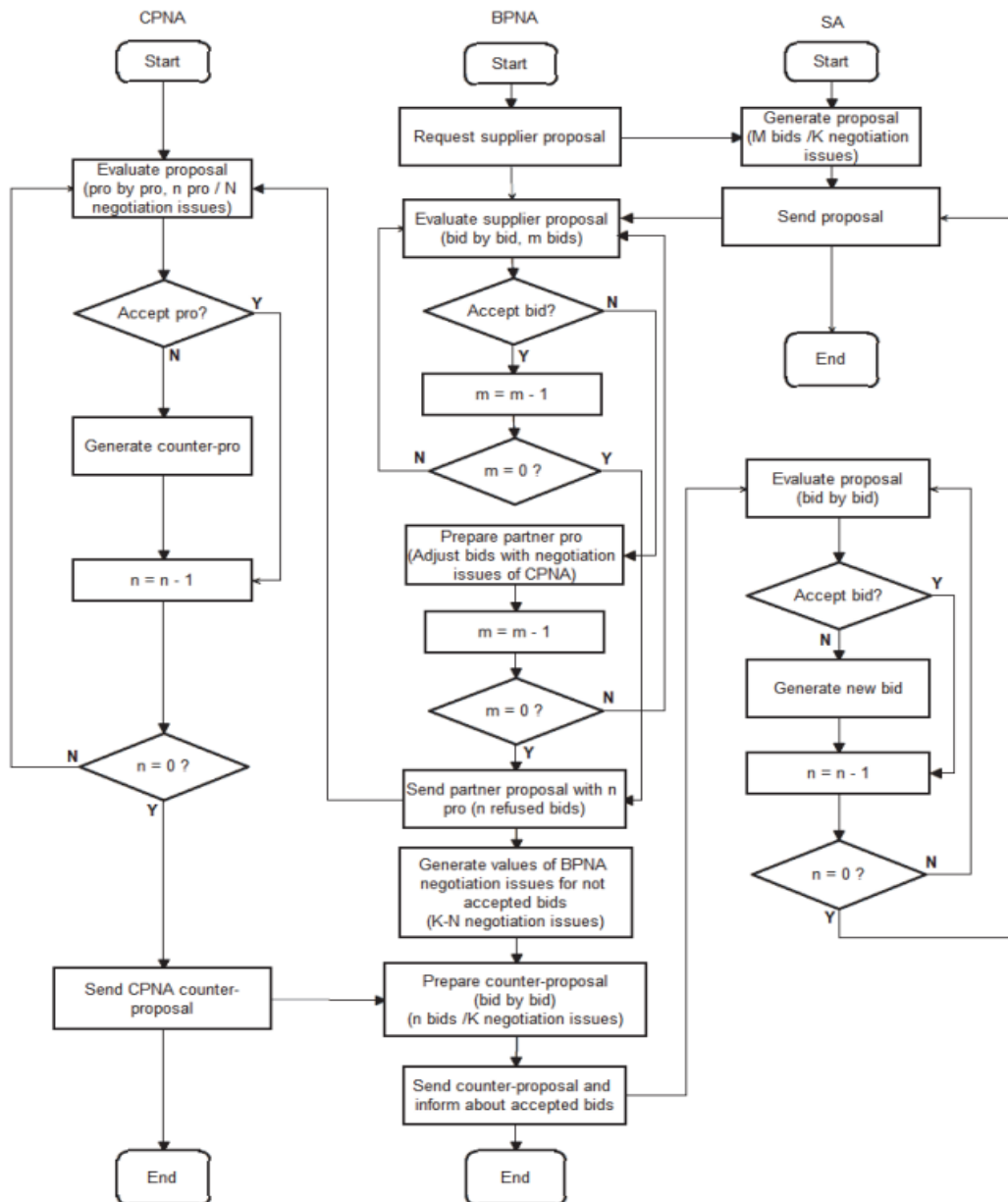


Σχήμα 4: Εντολές SA

Περιγραφή Διαδικασίας Διαπραγμάτευσης:

Στην διαδικασία της διαπραγμάτευσης συμμετέχουν όλοι οι κρίκοι. Η εμπορική εταιρία σε συνεργασία με τον πελάτη και φυσικά ο προμηθευτής. Στο πρώτο στάδιο ο προμηθευτής στέλνει μία προσφορά στον BPNA. Εάν η προσφορά είναι στα πλαίσια των απαιτήσεων του πελάτη και της εταιρίας, γίνεται δεκτή. Διαφορετικά ο BPNA

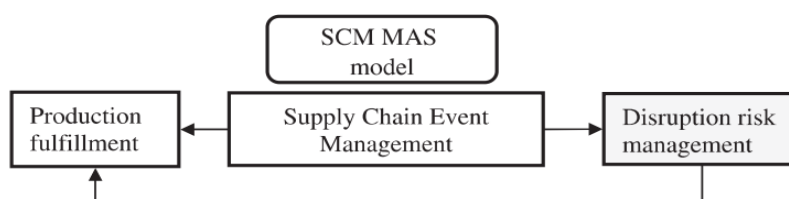
κατασκευάζει μία αντιπρόταση την οποία προωθεί στον πελάτη, και τον CPNA. Η αντιπρόταση εξετάζεται από τον πελάτη και τροποποιείται σε περίπτωση που δεν συμφωνεί με τις απαιτήσεις του. Το αποτέλεσμα επιστρέφεται στον BPNA και προωθείται στον Supplier Agent. Εάν η τελική αντιπρόταση γίνει δεκτή, ολοκληρώνεται η διαδικασία, διαφορετικά μπορεί να ακολουθήσει νέος κύκλος. Στην εικόνα παρουσιάζονται αναλυτικά η διαδικασία.



Εικόνα 22: Αλγόριθμος συστήματος MA

3.7 MADDS με μηχανισμό CBR για την διαχείριση ρίσκου στην εφοδιαστική αλυσίδα.

Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει και το μοντέλο των Μιχάλη Γιαννάκη και Μιχάλη Λούη [17]. Το μοντέλο τους περιγράφεται σαν μία «κοινωνία από Agents», η οποία συνεργάζεται για να υποστηρίξει τη λήψη αποφάσεων στην εφοδιαστική αλυσίδα. Η γενική δομή του μοντέλου απεικονίζεται στην εικόνα 24 [17].



Εικόνα 23: Δομή συστήματος

Το πρώτο τμήμα (Διεκπεραίωση Παραγωγής) αφορά την ολοκλήρωση μίας παραγγελίας. Σχετίζεται με την παραγωγή των προϊόντων και την μεταφορά τους. Η διεκπεραίωση της παραγγελίας αφορά την μονάδα παραγωγής αλλά και τρίτους συνεργάτες οι οποίοι αναλαμβάνουν διάφορα καθήκοντα (πχ: μεταφορά). Το δεύτερο τμήμα (διοίκηση γεγονότων εφοδιαστικής αλυσίδας) στόχο έχει τον έλεγχο της διαδικασίας για την εκπλήρωση κάθε παραγγελίας. Το τελευταίο τμήμα (Διαχείριση ρίσκου διακοπής της διαδικασίας), στόχο έχει τον συντονισμό των Agents ώστε να αποφευχθεί πιθανή διακοπή της διαδικασίας. Η εργασία εστιάζει στο risk management, δηλαδή στο τελευταίο τμήμα. Οι Agents που συμμετέχουν στο σύστημα διαχείρισης ρίσκου διακοπής της διαδικασίας αναφέρονται παρακάτω (Εικόνα 25 [17]).

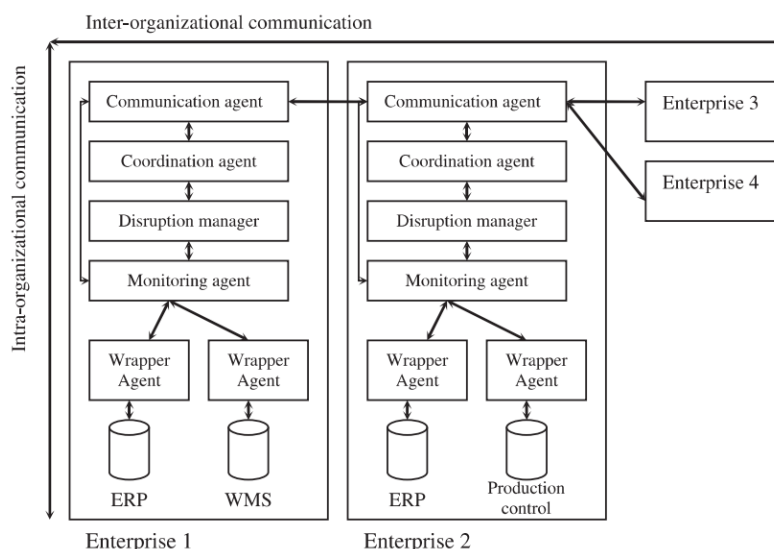
-Agent επικοινωνίας: Υποστηρίζει την επικοινωνία των Agents του συστήματος.

-Agent Συντονισμού: Υποστηρίζει τον συντονισμό των Agents στα πλαίσια ενός οργανισμού (εταιρίας).

-Agent Ελέγχου: Ελέγχει τις διαδικασίες και προειδοποιεί όταν κάτι φαίνεται να μην πηγαίνει σύμφωνα με τον σχεδιασμό.

-Agent ενσωμάτωσης: Υποστηρίζει την άντληση πληροφορίας από συστήματα όπως ένα ERP ή ένα WMS και φροντίζει για την διάθεσή τους προς αξιοποίηση σε έναν Agent.

-Agent Διαχείρισης Διακοπής: Είναι ο Agent ο οποίος διαχειρίζεται μία κατάσταση διακοπής μίας διαδικασίας. Περιλαμβάνει ένα software επίλυσης προβλημάτων, το οποίο προτείνει διάφορες ενέργειες, έναν μηχανισμό προσομοίωσης ώστε να εκτιμάται η απόδοση κάθε προτεινόμενης λύσης και ένα μηχανισμό μάθησης ο οποίος αποθηκεύει τις εύστοχες λύσεις με σκοπό της αξιοποίησή τους στο μέλλον.



Εικόνα 25: Αρχιτεκτονική συστήματος MA διαχείρισης ρίσκου - Agents

Περιγραφή ροής του τμήματος διαχείρισης ρίσκου διακοπής της διαδικασίας:

Ο Agent συντονισμού ενεργοποιείται μετά την επιβεβαίωση μίας παραγγελίας από έναν πελάτη. Με εντολή του Agent Συντονισμού δημιουργείται και ένας Agent Ελέγχου ώστε να ελέγχει στην σωστή και έγκαιρη διεκπεραίωση της διαδικασίας. Στη συνέχεια, δημιουργείται ένας Agent Διαχείρισης Διακοπής ώστε να προτείνει λύσεις και πλάνα διαχείρισης εάν χρειαστεί. Σε περίπτωση που η αλυσίδα μας αποτελείται από έναν προμηθευτή, μία μονάδα παραγωγής και μία μεταφορική εταιρία θα δημιουργηθεί ένας Agent συντονισμού, ελέγχου και για κάθε έναν κρίκο[17].

Αφού δημιουργηθούν όλοι οι παραπάνω Agents για μία παραγγελία, ξεκινάει η συλλογή δεδομένων που την αφορούν (πχ: ποσότητες, χρόνοι παραγωγής, αποστολής, παράδοσης, προϊόντα, διαθεσιμότητες κ.α.). Οι πληροφορίες αυτές είναι απαραίτητες ώστε να ελέγχεται η διαδικασία. Ο Agent Διαχείρισης Διακοπής ενεργοποιείται με εντολή του Agent Ελέγχου όταν η διαδικασία **κινδυνεύει να διακοπεί ή να καθυστερήσει σημαντικά**. Ο Agent ελέγχου, χρησιμοποιεί KPIs (key performance indicators- δείκτες απόδοσης) ώστε να είναι σε θέση να εντοπίζει καθυστερήσεις και

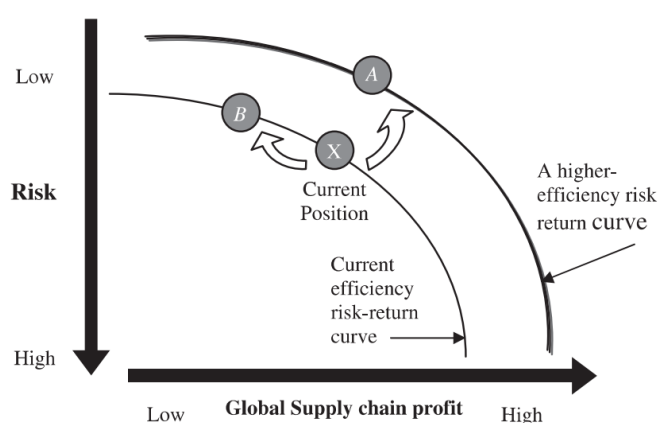
δυσλειτουργίες. Σαν πιθανές αιτίες αναφέρονται κάποια βλάβη, απεργία, πρόβλημα με τον βιομηχανικό εξοπλισμό [17].

Μετά τον εντοπισμό μίας καθυστέρησης ή ένδειξης που σχετίζεται με κάποια καθυστέρηση (παράγοντες ρίσκου [17]), ο Agent ελέγχου σε μία συνολική εκτίμηση της κατάστασης ώστε να είναι σε θέση να σχεδιάζει και να προτείνει ορισμένες ενέργειες. Συγκεκριμένα, γίνεται εκτίμηση της βαρύτητας που έχει μία κατάσταση, της αιτίας, και της πιθανότητας να οδηγηθεί το σύστημα σε μία καθυστέρηση [17]. Σκοπός της παραπάνω εκτίμησης είναι η συλλογή όλων των απαραίτητων στοιχείων, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν αργότερα για την δημιουργία μίας προσομοίωσης η οποία θα προτείνει ενέργειες ώστε να αποφευχθούν προβλήματα. Για την διαδικασία της προσομοίωσης θα χρησιμοποιηθεί ένας μηχανισμός CBR ώστε να αξιοποιηθούν παλαιότερες ανάλογες περιπτώσεις για την εξαγωγή ενός πλάνου επίλυσης.

Παρακάτω παρατίθεται η μέθοδος υπολογισμού του οικονομικού αντίκτυπου μία κατάστασης η οποία ενέχει ρίσκο.

$$\text{Expected costs} = y + P(y)L(y)$$

όπου expected cost ή αλλιώς y^* το βέλτιστο κόστος αντιμετώπισης μίας κατάστασης ρίσκου, y , το ποσό που απαιτείται για να μειωθεί σημαντικά το ρίσκο εμφάνισης μίας κατάστασης, $P(y)$, η πιθανότητα οι ενδείξεις να επιβεβαιωθούν, και $L(y)$, το κόστος της αντιμετώπισης της κατάστασης αφού εμφανιστεί σαν συνάρτηση του y [17].



Εικόνα 25: Διάγραμμα ρίσκου και κερδών SC

Μετά την παραπάνω διαδικασία εκτίμησης του ρίσκου ο Agent συντονισμού ειδοποιεί τον Agent Διαχείρισης Διακοπής. Του παρέχει όλες τις πληροφορίες σχετικά με την

κατάσταση που ενέχει ρίσκο όπως αυτές εκτιμήθηκαν από τον ο Agent ελέγχου. Ο Agent Διαχείρισης Διακοπής χρησιμοποιεί τον CBR μηχανισμό ώστε να ανασύρει σενάρια με όμοια χαρακτηριστικά και να προτείνει τρόπους αντιμετώπισης οι οποίοι μειώνουν το ρίσκο ή το μοιράζουν σε περισσότερους από έναν κρίκους της αλυσίδας [17]. Οι προτάσεις μεταφέρονται στον προσομοιωτή ώστε να χρησιμοποιηθούν στην προσπάθεια βελτιστοποίησης. Όπως βλέπουμε και στην εικόνα 25 [17], σκοπός της βελτιστοποίησης είναι η μείωση του ρίσκου και η ταυτόχρονη αύξησή του κέρδους για όλη την αλυσίδα. Η βέλτιστη λύση φαίνεται να είναι η Α. Η θέση Β είναι καλύτερη, σχέση με την υπάρχουσα θέση Χ, ως προς το ρίσκο, ωστόσο, αποφέρει λιγότερα κέρδη. Στο υπάρχον μοντέλο, η θέση Β θα ήταν η προτεινόμενη εάν η θέση Α δεν ήταν εφικτή, καθώς η σταθερότητα της αλυσίδας αυξάνεται[17]. Η τελική απόφαση σε κάθε περίπτωση θα γίνει από τους συνεργάτες. Μετά την βελτιστοποίηση ο Agent συντονισμού αναλαμβάνει να ενημερώσει όλους τους συνεργάτες για τις προτεινόμενες ενέργειες.

4. Συμπεράσματα – Προτάσεις

4.1 Σχολιασμός MASs – Συμπεράσματα

Παραθέσαμε μία σειρά από συστήματα, τα οποία ξεχωρίζουν για τη δομή τους, την τεχνολογία και τα μέσα που ενσωματώνουν. Πρόκειται για συστήματα με δυνατότητα εφαρμογής στην εφοδιαστική αλυσίδα, τόσο στον κλάδο των μεταφορών όσο και στην διαχείριση αποθέματος, την προμήθεια κ.α. Παρακάτω θα προσπαθήσουμε να κάνουμε έναν σχολιασμό ως προς την δομή, την χρηστικότητα των συστημάτων αλλά και ως προς τους Agents που χρησιμοποιήθηκαν.

Παρατηρούμε ότι τα συστήματα διαφέρουν ανάλογα με το σύστημα του επιθυμούν να εξυπηρετήσουν. Για παράδειγμα στο σύστημα 1 (Πίνακας 1) , το MAS στοχεύει να εξυπηρετήσει μία μονάδα – επιχείρηση – οργανισμό, βελτιστοποιώντας μία διαδικασία. Αντίστοιχα, στο σύστημα 2 [8] (Πίνακας 1), φαίνεται μία προσπάθεια από μία εμπορική εταιρία να βελτιστοποιήσει την διαδικασία του picking. Αντίστοιχα, στο [17], ένα σύστημα προσπαθεί να περιορίσει το ρίσκο σε μία επιχείρηση. Σε αυτού του είδους τα συστήματα, σπουδαίο ρόλο παίζει η ροή πληροφορίας στο εσωτερικό οργανισμό, γεγονός που είναι εύκολα υλοποιήσιμο ειδικά με την αξιοποίηση συστημάτων ERP και WMS [8].

Οι δομές τέτοιων συστημάτων, είναι αρκετά περιορισμένες, και οι Agents οι οποίοι συναντάμε έχουν μικρό αριθμό καθηκόντων, με άλλα λόγια υπάρχει έντονος καταμερισμός ενεργειών, από διαφορετικούς Agents, η υλοποίηση των οποίων οδηγεί στο επιθυμητό αποτέλεσμα – συμπέρασμα. Για παράδειγμα στο [8] (2, Πίνακας 1), λειτουργούν τέσσερις Agents προκειμένου να καταλήγουν στο καλύτερο δυνατό κύμα picking. Οι εργασίες που καταμερίζονται στους Agents, αφορούν την καταμέτρηση των ανοιχτών παραγγελιών, την συνεργασία με το WMS, ώστε να υπάρχουν όλα τα απαραίτητα δεδομένα για τις παραγγελίες, ο συντονισμός της διαδικασίας μαζί με την αλληλεπίδραση με τον χρήστη και τέλος, η μηχανή δημιουργίας του κύματος η οποία ουσιαστικά επιλύει το πρόβλημα με χρήση CBR μηχανισμού. Αντίστοιχα, στο [17] (7, Πίνακας 1), λειτουργούν πέντε Agents, και κάθε ένας από αυτούς εκπληρώνει μία συγκεκριμένη λειτουργία.

Ωστόσο, κάποια από τα παραπάνω συστήματα, αφορούν την εξυπηρέτηση μεγαλύτερων συστημάτων, όπως μίας εφοδιαστικής αλυσίδας [10], [13], [14]. Ένα

MAS, όταν στήνεται για να εξυπηρετήσει ένα άθροισμα οργανισμών, περιέχει έναν Agent κάθε οργανισμό που συμμετέχει στο σύστημα. Για παράδειγμα στο [13], στην προσπάθεια εξυπηρέτησης μίας εφοδιαστικής αλυσίδας αποτελούμενης από έναν προμηθευτή - παραγωγό, μία εμπορική εταιρία και μία εταιρία μεταφορών, υπάρχουν αντίστοιχα οι Producer Agent, Assembly Agent, Transport Agent. Το ίδιο συμβαίνει και στο [10] με τους Retailer Agent, Supplier Agent και Manufacturer Agent. Στις περιπτώσεις αυτές ο καταμερισμός δεν είναι το ίδιο έντονος.

Ο κάθε Agent έχει πρόσβαση στα δεδομένα του οργανισμού του, έχει καθορισμένους τους στόχους της επιχείρησης ως προς το κέρδος, τους χρόνους κ.α. και επίσης έχει υπόψιν περιορισμούς. Για παράδειγμα στο [13], ο Agent του παραγωγού, παίρνει υπόψιν τις προμήθειες και το ανθρώπινο δυναμικό που διαθέτει ώστε να γνωρίζει την δυναμική της μονάδας του. Αντίστοιχα στο [10], ο Agent της εμπορικής εταιρίας αποσκοπεί μεταξύ άλλων στον περιορισμό των αποθεμάτων ώστε να το κόστος αποθήκευσης να είναι περιορισμένο χωρίς αυτό να εμποδίζει την ικανοποίηση των πελατών.

Ταυτόχρονα, οι Agent σε αυτές τις περιπτώσεις αναλαμβάνουν να επεξεργάζονται τα δεδομένα αυτά και όσα προσλαμβάνουν από τους υπόλοιπους Agents ώστε να καταλήξουν σε μία πρόταση που εξυπηρετεί τα συμφέροντά τους. Για παράδειγμα στο [13] οι Agents, με τη χρήση νευρωνικού δικτύου, ή CBR μηχανισμού και υπολογιστικών συστημάτων, πραγματοποιούν προσομοιώσεις και βελτιστοποιήσεις ώστε να καταλήξουν σε μία συμφέρουσα λύση.

Για αυτά τα συστήματα, τα οποία επιδιώκουν να προσομοιώσουν ολόκληρη αλυσίδα, η διαχείριση της πληροφορίας είναι ιδιαίτερα απαιτητική, καθώς ο όγκος είναι μεγάλος και η προέλευση δεν είναι κοινή. Σε αυτού του είδους τα συστήματα, συχνά είδαμε να χρησιμοποιούνται οντολογίες ώστε να υποστηρίζεται η κοινή αξιοποίηση της πληροφορίας από όλους τους Agents. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η διαδικασία αυτή επηρεάζει και την αρχιτεκτονική των συστημάτων. Για παράδειγμα στο [13], το σύστημα οργανώνεται σε layers, ένα εκ των οποίων αφορά τη επεξεργασία των πληροφοριών, οι οποίες προέρχονται από διαφορετικές πηγές για την δημιουργία μιας «οικουμενικής οντολογίας».

4.2 Πρόταση Εφαρμογής σε μεταφορές αστικού δικτύου

Τα συστήματα που παραθέσαμε έχουν κατασκευαστεί για να εξυπηρετήσουν διαδικασίες τη εφοδιαστικής αλυσίδας. Παρακάτω θα κάνουμε μία προσπάθεια να μοντελοποιήσουμε την δομή ενός MAS ώστε να εξυπηρετεί τη λήψη αποφάσεων σε μεταφορές εντός του αστικού ιστού, χρησιμοποιώντας σαν βάση το άρθρο των Nilesch Anand, Ron van Duin και Lori Tavasszy, με τίτλο «Ontology-based multi-agent system for urban freight transportation» [33]. Επίσης, θα βασιστούμε στις λειτουργίες και τα χαρακτηριστικά, τα οποία αναδείξαμε μέσα από τα υπόλοιπα συστήματα.

Οι αστικές μεταφορές είναι ένα κλάδος με συνεχή ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια. Το ενδιαφέρον εταιριών για την βελτιστοποίηση των υπηρεσιών αστικών μεταφορών είναι μεγάλο όπως αυξανόμενες είναι και οι απαιτήσεις των καταναλωτών ως προς την μεταφορά των αγαθών τους [34]. Σαν κεντρικά ζητήματα στη βιβλιογραφία ξεχωρίζουν, ο χρόνος παράδοσης, η παρακολούθηση της εξέλιξης της παραγγελίας, η ευέλικτη διανομή και συνεννόηση για τον χρόνο παράδοσης, η τακτική ενημέρωση, το ενεργειακό αποτύπωμα της μεταφοράς κ.α [33].

Αντίστοιχα, οι εταιρίες Logistics και οι εταιρίες οι οποίες αγοράζουν τις υπηρεσίες τους, εστιάζουν σε δικούς τους στόχους. Στο συγκεκριμένο χωρίο, θα εξετάσουμε αρχικά την σχέση εμπορικής εταιρίας και εταιρίας παροχής υπηρεσιών Logistics, ώστε να καταλήξουμε σε ένα προτεινόμενο μοντέλο, το οποίο θα υποστηρίζει την λήψη αποφάσεων. Στη συνέχεια θα προτείνουμε ένα μοντέλο που θα εστιάζει στην παράδοση των παραγγελιών στους πελάτες. Θα εστιάσουμε στην χρήση Agents και τις λειτουργίες που αυτοί πρέπει να επιτελούν ώστε να υποστηρίζεται η διαδικασία. Το επίκεντρο του μοντέλου μας θα είναι η εταιρία μεταφορών.

Σε πρώτο στάδιο η μεταφορική εταιρία λαμβάνει μία αίτηση από κάποιον πελάτη που ενδιαφέρεται να αναθέσει μία φόρτωση. Ο πελάτης είναι υποχρεωμένος, να παραθέσει μία σειρά από στοιχεία για το φορτίου που επιθυμεί να μεταφέρει προκειμένου η προσφορά που θα λάβει από την μεταφορική εταιρία να είναι αξιόπιστη [34]. Οι πληροφορίες αφορούν τον όγκο του φορτίου, το βάρος, τον επιθυμητό χρόνο παράδοσης, την τοποθεσία, την επιθυμητή ώρα παράδοσης και άλλες ιδιαίτερες πληροφορίες εάν χρειάζονται (πχ ανάγκη ψύξης, εύθραυστο φορτίο κ.α.) [33].

Οι πληροφορίες αυτές πρέπει να αξιοποιηθούν από την εταιρία μεταφορών. Σε πρώτο στάδιο, πρέπει να ελέγξει την διαθεσιμότητά της. Να ελέγξει ότι έχει η μπορεί να μισθώσει τα μέσα μεταφοράς των προϊόντων και το απαραίτητο εργατικό δυναμικό. Στη συνέχεια, εφόσον είναι σε θέση να αναλάβει τη φόρτωση θα πρέπει να την κοστολογήσει, και να παρουσιάσει στον πελάτη μία προσφορά παροχής της υπηρεσίας λαμβάνοντας υπόψιν το κέρδος που επιθυμεί να έχει [33], [34].

Εφόσον η προσφορά γίνει δεκτή, η εταιρία οφείλει δρομολογήσει την διαδικασία με βάση τα στοιχεία που έχει λάβει από τον πελάτη[33], [34]. Στην περίπτωση που τα δρομολόγια αφορούν περισσότερους παραλήπτες το πρόβλημα γίνεται πιο σύνθετο και θα ήταν απαραίτητη η χρήση αλγορίθμου για την βέλτιστη ομαδοποίηση των παραγγελιών προς αποστολή και για την εύρεση της βέλτιστης διαδρομής. Το σενάριο είναι αρκετά πιο απλό αν υποθέσουμε ότι οι φορτώσεις είναι full truck ανάθεσης, δηλαδή μία ανάθεση που καλύπτει τον όγκο ενός μέσου και το δρομολόγιο αφορά έναν παραλήπτη.

Οι παραπάνω διαδικασίες θα μπορούσαν να υποστηριχτούν από ένα MA σύστημα. Παρακάτω θα κάνουμε μία προσπάθεια να αναφερθούμε σε μία σειρά από Agents οι οποίοι στα πλαίσια ενός συστήματος θα μπορούσαν να υποστηρίξουν την μεταφορική εταιρία. Για λόγους απλοποίησης, θα υποθέσουμε ότι παραλήπτες των αγαθών είναι εταιρίες και όχι πρόσωπα. Το σύστημά μας περιγράφει την ανάθεση φόρτωση από μία εταιρία – παραγωγό σε μία μεταφορική εταιρία για την παράδοση σε μία εμπορική εταιρία. Για το πρώτο στάδιο της διαδικασίας μέχρι και τη προσφορά της μεταφορικής εταιρίας στον πελάτη, θα βασιστούμε στο [8].

Για την εύρυθμη λειτουργία του συστήματος θα ήταν απαραίτητος ένας **Agent Συντονισμού** [8],[17]. Ένας τέτοιος Agent είναι χρήσιμος για τη διασφάλιση της σωστής ροής των εντολών και την αλληλουχία των ενεργειών μεταξύ των Agents. Επίσης, εξασφαλίζει την επικοινωνία των αποτελεσμάτων στον χρήστη.

Θα ήταν χρήσιμος ένας **Agent Δεδομένων**, ο οποίος θα συγκρατούσε τις πληροφορίες για τις ανοιχτές παραγγελίες, καθώς και άλλα δεδομένα τα οποία αφορούν την εταιρία, τον στόλο, τις ενεργές – τρέχουσες αναθέσεις κ.α. Ο Agent πρέπει να επικοινωνεί με κάποιο λογισμικό το οποίο καταγράφει τις ανοιχτές παραγγελίες, συνήθως ένα ERP σύστημα.

Στη συνέχεια, ένας **Agent ελέγχου διαθεσιμότητας** θα πρέπει να ελέγχει την διαθεσιμότητα της εταιρίας να καλύψει την ζήτηση. Ο Agent θα πρέπει να έχει γνώση του συνολικού προγράμματος μεταφορών της εταιρίας ώστε να βάσει την δυναμική σε φορτηγά και σε ανθρώπινο δυναμικό απαντάει καταφατικά ή αρνητικά. Για τον λόγο αυτό ο Agent θα πρέπει να επικοινωνεί με τον Agent Δεδομένων. Σε περίπτωση που η απάντηση είναι καταφατική το σύστημα προχωράει στο επόμενο βήμα. Σε διαφορετική περίπτωση θα μπορούσε να γνωστοποιεί το έλλειμα το οποίο καθιστά ανέφικτη την αποδοχή της ανάθεσης, ώστε ο χρήστης να διαχειριστεί την κατάσταση απορρίπτοντας την ανάθεση ή με άλλες ενέργειες (πχ υπενοικίαση στόλου).

Στη συνέχεια, θα χρειαστούμε έναν **Agent Υπολογισμού Κόστους (Accounting Agent [13])**, ο οποίος θα υπολογίσει το κόστος της μεταφοράς με τα δεδομένα που λαμβάνει από τον Agent Δεδομένων. Ο υπολογισμός θα πρέπει να λαμβάνει υπόψιν όλες τις παραμέτρους που αναφέραμε (όγκος, βάρος, χρόνοι κλπ) καθώς το κόστος των καυσίμων, κόστος συντήρησης, εργατικά κ.α. Θα είχε ενδιαφέρον να υπάρχει η δυνατότητα υπολογισμού του κόστους και για την περίπτωση υπενοικίασης, εφόσον το επιθυμεί ο χρήστης και με την προϋπόθεση να διαθέτει πληροφορίες σχετικά με το κόστος υπενοικίασης.

Στην συνέχεια, εφόσον η ανάθεση γίνει αποδεκτή, το σύστημα μπορεί να προχωρήσει στην έκδοση πλάνου φόρτωσης με την βοήθεια ενός **Agent οργάνωσης πλάνου φόρτωσης**. Η διαδικασία αυτή θα μπορούσε να πραγματοποιείται αμέσως μετά την έγκριση της ανάθεσης ή σε δεύτερο χρόνο ειδικά εάν η επιθυμητή ημερομηνία απέχει. Στην περίπτωση που η ανάθεση είναι full truck delivery, δεν θα χρειαστεί ιδιαίτερη προσπάθεια. Ωστόσο, εάν η ανάθεση δεν καλύπτει ολόκληρη τη χωρητικότητα του φορτηγού το σύστημα πρέπει να επιλέξει τον καλύτερο δυνατό συνδυασμό φορτώσεων με σκοπό, την ελαχιστοποίηση του κόστους και παίρνοντας υπόψιν, τους επιθυμητούς χρόνους παράδοσης, το σημείο παράδοσης, το συνολικό πρόγραμμα δρομολογίων της εταιρίας και την διαθεσιμότητα. Για τον λόγο αυτό, θα ήταν χρήσιμο να χρησιμοποιηθεί ένα CBR σύστημα. Στο σύστημα αυτό θα υπάρχουν καταγεγραμμένες περιπτώσεις πλάνων μεικτών φορτώσεων (LCL), με όλες τις σχετικές παραμέτρους. Με βάση τα παλαιότερα πλάνα θα μπορούσαν να γίνουν προτάσεις πλάνου φόρτωσης για την συγκεκριμένη παραγγελία σε συνδυασμό με άλλες ανοιχτές παραγγελίες.

Τέλος, για την έκδοση του δρομολογίου, θα αξιοποιούσαμε άλλον έναν **Agent οργάνωσης δρομολογίων**. Ο Agent θα χρησιμοποιεί κάποιον αλγόριθμο επίλυσης του TSP και θα καταλήγει σε ένα πλάνο το οποίο και θα προβάλλεται στον χρήστη.

5. Βιβλιογραφία

1. (Distributed artificial intelligence- Research Noted in Artificial Intelligence- Michael N. Huhns).
2. (Adaptation and Learning in Multi-Agent Systems: Some Remarks and a Bibliography Gerhard Weir³).
3. Multi-Agent Systems and Complex Networks: Review and Applications in Systems Engineering, Manuel Herrera, Marco Pérez-Hernández, Ajith Kumar Parlikad and Joaquín Izquierdo, 2020
4. (Multi-agent system to support decision-making process in design for recycling, Ewa Dostatni, Jacek Diakun, Damian Grajewski, Radosław Wichniarek, Anna Karwasz, Published online: 12 August 2016).
5. New Multi-agent Architecture of Visual Intelligent Decision Support Systems Application in the medical field (Hamdi Ellouzi¹, Hela Ltifi^{1,2} and Mounir Ben Ayed¹ IREsearch Groups on Intelligent Machines National School of Engineers (ENIS), University of Sfax, BP 1173, Sfax, 3038, Tunisia² University of Kairouan, Faculty of sciences and techniques of Sidi Bouzid) 2016
6. (From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases, Usama Fayyad, Gregory Piatetsky-Shapiro, and Padhraic Smyth, AI Magazine Volume 17 Number 3 (1996))
7. (Data Mining: Task, Tools, Techniques and Applications, S.D.Gheware¹, A.S.Kejkar², S.M.Tondare³ Lecturer, Computer Technology, V.A.P.M.Almala, Latur, India¹ Lecturer, Electronics and Telecommunication, V.A.P.M.Almala, Latur, India² Assistant Professor, Electronics and Telecommunication, Sandipani Technical Campus F.E., Latur, India, International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering Vol. 3, Issue 10, October 2014)
8. Design of a Case-Based Multi-Agent Wave Picking Decision Support System for Handling E-Commerce Shipments
9. A Survey of Multi-agent Systems and Case-Based Reasoning Integration (Mohammed Ahmed Jubair, Salama A. Mostafa, Aida Mustapha, Hanayanti Hafit. 2018 International Symposium of Agent, Multi-Agent Systems and Robotics (ISAMSR))

10. MACE-SCM: A multi-agent and case-based reasoning collaboration mechanism for supply chain management under supply and demand uncertainties (Ohbyung Kwon a , Ghi Paul Im b,*, Kun Chang Lee, Expert Systems with Applications 33 (2007) 690–705)
11. Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches (Agnar Aamodt, Agnar Aamodt, Published in: AI Communications, Vol. 7 Nr. 1, March 1994)
12. Semantic ontology mappings How to determine and use them (Erhard Rahm, Patrick Arnold, Salvatore Raunich, Dublin Business School, 2014)
13. An Ontology and Multi-Agent Based Decision Support Framework for Prefabricated Component Supply Chain(Juan Du, Hengqing Jing, Kim-Kwang Raymond Choo, Vijayan Sugumaran, Daniel Castro-Lacouture, Springer Nature 2019)
14. A multi-agent system for autonomous supply chain configuration (Farhad Ameri & Christian McArthur, Int J Adv Manuf Technol, Springer-Verlag London Limited (2013)
15. Advanced supplier selection: A hybrid multi-agent negotiation protocol supporting supply chain dyadic collaboration, Maryam Nejmaa , Firdaous Zairb, Abdelghani Cherkaouia and Mohamed Fourkab, 2019)
16. A multi-agent based decision – making approach for field service delivery of IPS (Rui Zhou,Yaoguang Hu, Shasha Xiao, Jingqian Wen, Beijing Institute of Technology,No.5 Zhongguancun South Street, Beijing, 100081, China, 2016)
17. A Multi Agent based framework for Supply Chain risk management (Michalis Giannakis, Michalis Louis, University of Warwick, 2010)
18. Vehicle Sharing Services Optimization Based on Multi-Agent Approach (Karama Jeribi, Hinda Mejri, Hayfa Zgaya, Slim Hammadi, Laboratoire d'Automatique, Proceedings of the 18th World Congress The International Federation of Automatic Control Milano (Italy) August 28 - September 2, 2011)
19. Qualitative case-based reasoning and learning(Thiago Pedro Donadon Homem, Paulo Eduardo Santos, Anna Helena Reali Costa, Reinaldo Augusto da Costa Bianchi, Ramon Lopez de Mantaras, Artificial Intelligence
20. Case Based Reasoning: Case Representation Methodologies(Shaker H. El-Sappagh, Mohammed Elmogy, International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 6, No. 11, 2015)

21. Retrieval, reuse, revision and retention in case-based reasoning (RAMON LOPEZ DE MANTARAS, DAVID MCSHERRY, DEREK BRIDGE, The Knowledge Engineering Review, Vol. 20:3, 215–240, 2006)
22. ,R. Benjamins, R. Studer, D. Fensel, —Knowledge engineering: Principles and methods, Data and Knowledge Engineering, volume 25,1998.
23. A Decision Method for Construction Safety Risk Management Based on Ontology and Improved CBR: Example of a Subway Project (Xiaoyan Jiang, Sai Wang, Jie Wang, Sainan Lyu, Martin Skitmore, *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2020**)
24. Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing, (Gruber, T.R. *International Journal of Human-Computer Studies*, Volume 43,1995)
25. Using a CBR approach based on ontologies for recommendation and reuse of knowledge sharing in decision making (J.L. Garrido, M.V. Hurtado, M. Noguera, J.M. Zurita, Eighth International Conference on Hybrid Intelligent Systems, Published by EET,2008)
26. R. Schank, R. Abelson, Script, Plans, Goals and Understanding, Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1977.
27. A Theory of Learning in Computers and People (R. Schank, Dynamic Memory:, Cambridge University Press, New York, 1982)
28. Towards the Semantic Web, OntologyDriven Knowledge Management (J. Davies:, John Wiley & Sons, 2002)
29. Global Supply Chains in a post- Pandemic Word (Willy C. Shih, Harvard Business Review, October 2020)
30. Expert Decision Support System for Donor Identification Using Multi-Agent System (J. Dhiviya Rose, S. Christalin Nelson και Rohit Kaushik, 2021 5th International Conference on Information Systems and Computer Networks, 2021)
31. Learning to Communicate with Deep Multi-Agent Reinforcement Learning (Jakob N. Foerster, Yannis M. Assael, Nando de Freitas, Shimon Whiteson, University of Oxford, United Kingdom, Advances in Neural Information Processing Systems 29 2016)

32. An intelligent multi-agent based decision support system for refugee settlement siting (Maria Drakaki, Hacer Güner Gören, Panagiotis Tzionas, International of Disaster of Disaster Risk deduction, October, 2018)
33. Ontology-based multi-agent system for urban freight transportation (Nilesh Anand, Ron van Duin, Lori Tavasszy, International Journal of Urban Sciences, 2014)
34. Research in urban logistics: a systematic literature review (Alexandra Lagorio, Roberto Pinto, Ruggero Golini, International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 46 No. 10, 2016)
35. A blockchain-based evaluation approach for customer delivery satisfaction insustainable urban logistics (Zonggui Tian, Ray Y. Zhong, Ali Vatankhah Barenji, Zhi Li, Yiming Rong, INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH, 2021, VOL. 59)