



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ
ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

**Βέλτιστος σχεδιασμός σειράς προϊόντων με χρήση
αλγορίθμων βελτιστοποίησης μελισσών**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αναστάσιος Ι. Νταής

Επιβλέπων: Τσαφαράκης Στέλιος

Αναπληρωτής Καθηγητής τμήματος Μ.Π.Δ. Πολυτεχνείου Κρήτης

Χανιά, Ιούνιος 2021

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πρωτίστως θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους με βοήθησαν, καθένας με τον τρόπο του, στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Ευχαριστώ τον Επιβλέποντα Καθηγητή κ. Τσαφάρáκη Στυλιανό για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα, καθώς και για την πρόθυμη συμμετοχή του με τις πολύ σημαντικές παρατηρήσεις του.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω βαθύτατα τον Διδάκτωρ Ζερβουδάκη Κωνσταντίνο, υπό την επίβλεψη του οποίου πραγματοποιήθηκε η παρούσα διπλωματική εργασία. Είχε καθ' όλη τη διάρκεια συντονιστικό ρόλο, καθώς βρισκόταν σε διαρκή επικοινωνία μαζί μου, παρέχοντας μου υλικό για μελέτη και δίνοντας πολύτιμες συμβουλές για την επίλυση όποιου προβλήματος παρουσιάστηκε. Θεωρώ τη συνεργασία μας άριστη.

Καταλήγοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα μέλη της οικογένειάς μου μέσω των οποίων μου δόθηκε η δυνατότητα να σπουδάσω μία αρκετά δύσκολη περίοδο, υποστηρίζοντάς με με τον οποιονδήποτε τρόπο και εμπνέοντάς με όλα αυτά τα χρόνια.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη	1
Abstract	2
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
1.1 Ορισμός του Προβλήματος	4
1.2 Στόχος της Εργασίας	6
1.2.1 Το πρόβλημα του βέλτιστου σχεδιασμού	6
1.2.2 Μία ιδέα βασισμένη σε σμήνος μελισσών για βέλτιστο σχεδιασμό σειράς προϊόντων	6
2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΕΙΣ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ	7
2.1 Ανάλυση συμπεριφοράς καταναλωτή	8
2.1.1 Μοντέλα συμπεριφοράς καταναλωτή	8
2.1.2 Παράγοντες που επιδρούν στη συμπεριφορά του καταναλωτή	9
2.1.3 Διαδικασία απόφασης καταναλωτή	11
2.1.4 Trade-off	14
2.2 Μέτρηση Καταναλωτικών Προτιμήσεων	15
2.2.1 Conjoint Analysis	15
2.2.2 Η εφαρμογή της μεθόδου	17
2.2.3 Η συλλογή των δεδομένων	18
2.2.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου	19
2.3 Μοντελοποίηση της Απόφασης	20
3 ΜΕΘΕΥΡΕΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΒΛΕΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ	23
3.1 Ευρετικοί και μεθευρετικοί αλγόριθμοι	23
3.2 Εξελικτικοί αλγόριθμοι	24
3.3 Αλγόριθμοι που βασίζονται στην ευφυΐα σμήνους	25
3.4 Αλγόριθμοι που έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν στο παρόν πρόβλημα 27	
3.4.1 Simulated annealing	27
3.4.2 Genetic Algorithm	27
3.4.3 Greedy heuristic	27
3.4.4 Product swapping heuristic	27
3.4.5 Dynamic programming heuristic	28
3.4.6 Beam search heuristic	28

3.4.7	Nested partitions heuristic.....	28
3.4.8	Divide and conquer heuristic	28
3.4.9	Coordinate ascent.....	29
3.4.10	Cuckoo search algorithm	29
3.4.11	Tabu Search	29
3.4.12	Fuzzy self-tuning differential evolution.....	29
3.4.13	Hybrid Firefly–Genetic Algorithm	29
3.5	Αλγόριθμοι που βασίζονται στην προσομοίωση της διαδικασίας ζευγαρώματος (HBMO,BBMO).....	30
3.5.1	Αλγόριθμος Βελτιστοποίησης Ζευγαρώματος Μελισσών (Honey Bees Mating Optimization (HBMO)).....	30
3.5.2	Αλγόριθμος Βελτιστοποίησης Ζευγαρώματος Μπάμπουρων (Bumble Bees Mating Optimization (BBMO))	38
3.6	Αλγόριθμοι που βασίζονται στην Προσομοίωση της Διαδικασίας εύρεσης τροφής (ABC).....	45
3.6.1	Αλγόριθμος Τεχνηκής Αποικίας Μελισσών (Artificial Bee Colony (ABC) Optimization Algorithm).....	47
4	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	51
4.1	ΤΟ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΜΟΝΤΕΛΟ.....	51
4.2	Η Περιγραφή του Μοντέλου.....	51
4.3	Εφαρμογή των αλγορίθμων στο πρόβλημα σχεδιασμού γραμμής προϊόντων 53	
4.4	Προσαρμογή παραμέτρων των αλγορίθμων	54
4.4.1	Παραμετροποίηση HBMO.....	54
4.4.2	Παραμετροποίηση BBMO.....	55
4.4.3	Παραμετροποίηση ABC	56
4.5	Υλοποίηση.....	56
4.5.1	5 τσάντες για πραγματικά δεδομένα	57
4.5.2	Δοκιμασία ευστάθειας(Robustness testing).....	57
4.5.3	Δεδομένα προσομοίωσης.....	57
5	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	59
5.1.1	5 τσάντες για πραγματικά δεδομένα (HBMO)	59
5.1.2	Δοκιμασία ευστάθειας(Robustness testing).....	60
5.1.3	Δεδομένα προσομοίωσης.....	60
5.2	Bumble Bees Mating Optimization.....	61

5.2.1	5 τσάντες για πραγματικά δεδομένα (BBMO).....	61
5.2.2	Δοκιμασία ευστάθειας(Robustness testing).....	62
5.2.3	Δεδομένα προσομοίωσης.....	62
5.3	Artificial Bee Colony	63
5.3.1	5 τσάντες για πραγματικά δεδομένα (ABC)	63
5.3.2	Δοκιμασία ευστάθειας(Robustness testing).....	63
5.3.3	Δεδομένα προσομοίωσης.....	64
6	ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	64
6.1	Άλλες προτεινόμενες Μεθοδολογίες.....	65
7	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	66

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μελέτη και η εφαρμογή τριών αλγορίθμων βελτιστοποίησης των μελισσών ώστε να αντιμετωπιστούν δύσκολα ως προς τον υπολογισμό προβλήματα και συγκεκριμένα εκείνο του βέλτιστου σχεδιασμού γραμμής προϊόντων. Σκοπός είναι ο σχεδιασμός μίας γραμμής προϊόντων, τα οποία θα συνδυάζονται με τέτοιο τρόπο, ώστε να εκπληρωθούν οι στόχοι που έχει θέσει η εταιρεία. Στην προκειμένη περίπτωση, στόχος είναι η επίτευξη του βέλτιστου κέρδους αυτής. Τα προϊόντα που θα σχεδιαστούν, αναλύονται στα χαρακτηριστικά τους και ο συνδυασμός αυτών με διάφορους τρόπους οδηγεί στην επίτευξη του βέλτιστου στόχου. Η κατηγορία του προβλήματος είναι NP – hard, διότι ο αριθμός των δυνατών συνδυασμών των χαρακτηριστικών των προϊόντων στην πραγματικότητα είναι τόσο μεγάλος, που καθιστά αδύνατο τον έλεγχο τους σε πολυωνυμικό χρόνο. Επομένως, χρησιμοποιήθηκαν ευρετικές και μεθευρετικές μέθοδοι οι οποίες προσεγγίζουν μία «ικανοποιητική» λύση, δίχως όμως να εγγυώνται για το ολικό πραγματικό βέλτιστο. Στο πρόβλημα θα εφαρμοστούν οι παρακάτω μεθευρετικοί αλγόριθμοι τοπικής έρευνας οι οποίοι θα παραμετροποιηθούν καταλλήλως:

- Αλγόριθμος Βελτιστοποίησης Ζευγαρώματος Μελισσών (Honey Bees Mating Optimization Algorithm (HBMO))
- Αλγόριθμος Βελτιστοποίησης Ζευγαρώματος Μπάμπουρων (Bumble Bees Mating Optimization Algorithm (BBMO))
- Αλγόριθμος Τεχνητής Αποικίας Μελισσών ((Artificial Bee Colony Optimization Algorithm(ABC))

Abstract

In this context, the study and application of three bee optimization algorithms take place, in order to deal with computationally difficult problems, referring to the optimal product line design. The purpose is to design a product line, the combination of which will meet some of the goals set by the company. In this case, the goal is to achieve its optimal profit. The products to be designed are analyzed in their characteristics, which are then combined in different ways to achieve goal optimization. The problem is classified as NP - hard , due to the fact that the possible combinations of product characteristics in the real world are so many that can't be controlled in polynomial time. As result, efforts were made to solve the problem, with heuristic and meta-heuristic methods which approach a "satisfactory" solution, without guaranteeing the maximum value. The following local search metaheuristic algorithms will be applied to the problem which will be properly configured:

- Honey Bees Mating Optimization Algorithm (HBMO)
- Bumble Bees Mating Optimization Algorithm (BBMO)
- Artificial Bee Colony Optimization Algorithm(ABC)

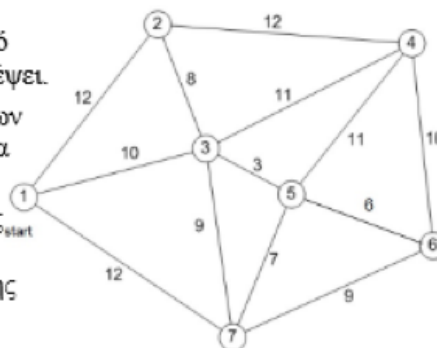
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όλοι οι άνθρωποι κάνουν χρήση, ακόμα και μηχανικά στην καθημερινή τους ζωή, την έννοια της βελτιστοποίησης. Από την επιλογή της πιο σύντομης διαδρομής για την άφιξη στον τελικό μας προορισμό, τον τρόπο διαχείρισης και διανομής διάφορων υλικών που έχουμε στην διάθεσή μας, έως την επίλυση πολύπλοκων ζητημάτων σε διάφορους επιστημονικούς τομείς. Πηγή έμπνευσης αρκετών μεθόδων βελτιστοποίησης προς τους επιστήμονες αποτέλεσε η ίδια η φύση αλλά και οι μηχανισμοί που υφίστανται σε εκείνη.

Σύμφωνα με τα Μαθηματικά και την Επιστήμη Υπολογιστών, η βελτιστοποίηση αφορά την εύρεση της βέλτιστης λύσης εντός ενός συνόλου εφικτών λύσεων σε ένα μαθηματικά ορισμένο πρόβλημα. Το πρόβλημα βελτιστοποίησης ξεκινά με το σχεδιασμό της αντικειμενικής συνάρτησης (objective function) ή αλλιώς συνάρτηση κόστους(cost function). Μία συνάρτηση δηλαδή που είναι σε θέση να μοντελοποιήσει τα αντικείμενα του προβλήματος, ενσωματώνοντας ταυτόχρονα διάφορους περιορισμούς και ως απόρροια εκτιμώντας την καταλληλότητα μίας λύσης[1]. Πρόκειται είτε για πρόβλημα ελαχιστοποίησης είτε μεγιστοποίησης, όπου η ελάχιστη ή η μέγιστη τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης αντίστοιχα, αντικατοπτρίζει τη βέλτιστη λύση. Σύμφωνα με το χρόνο επίλυσης των προβλημάτων βελτιστοποίησης, αυτά κατηγοριοποιούνται σε κλάσεις. Τα περισσότερα προβλήματα συνδυαστικής βελτιστοποίησης κατατάσσονται στην κλάση NP. Ως NP ορίζεται ο μη-ντετερμινιστικός πολυωνυμικός χρόνος (Nondeterministic Polynomial time). Ένα πρόβλημα ορίζεται ως NP-δύσκολο εάν οποιοδήποτε πρόβλημα στην κλάση NP μπορεί να μετατραπεί σε αυτό, δηλαδή όταν η επίλυσή του έχει το ίδιο επίπεδο δυσκολίας με όλα τα υπόλοιπα προβλήματα που ανήκουν στην κλάση NP, αν και στην πραγματικότητα μπορεί να είναι πιο δύσκολο. Δημοφιλή προβλήματα που μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε αυτήν την κλάση, θεωρούνται τα εξής: πλανόδιος πωλητής (TSP), πρόβλημα πελάτη (Clique problem), πρόβλημα ικανοποίησης Boolean (Boolean satisfiability problem - SAT) κ.α.

The Traveling Salesman Problem

- Ξεκινώντας από την πόλη 1, ο πωλητής πρέπει να περάσει από όλες τις πόλεις, προτού επιστρέψει.
- Η απόσταση μεταξύ των πόλεων αναγράφεται και θεωρείται ίδια ανεξάρτητα από τη φορά
- Μόνο οι ενώσεις του σχήματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν
- Ελαχιστοποίηση της απόστασης που πρέπει να διανύσει



Εικόνα 1: Παράδειγμα προβλήματος πωλητή.

Το γεγονός ότι οι σύγχρονες κοινωνίες αποτελούν δυναμικά συστήματα μεγάλης πολυπλοκότητας επιβάλλει στους οργανισμούς τη βελτιστοποίηση

πάσης φύσεως διαδικασίας. Η συμπεριφορά των υποκειμένων που ανήκουν σε αυτές είναι αδύνατο να περιγραφεί με απλούς ορθολογιστικούς κανόνες και θα πρέπει να προσεγγίζεται πολύπλευρα και από διαφορετικά αφετηριακά σημεία. Η τεχνολογία, μετά την είσοδό της στην παραγωγή, είναι εμφανές πως επηρεάζει και τη διοίκηση με τη χρήση πανίσχυρων υπολογιστικών συστημάτων, τα οποία παίρνουν το ρόλο ολοκληρωμένων συστημάτων λήψης αποφάσεων. Με αυτόν τον τρόπο, εμφανίζονται πολλών διαφορετικών τύπων προβλήματα όπου η χρήση της επιχειρησιακής έρευνας καθίσταται αναγκαία προκειμένου να βελτιστοποιηθούν επιχειρησιακές δραστηριότητες που αφορούν το μάρκετινγκ, τις πωλήσεις, τα logistics, την σωστή πρόβλεψη ζήτησης, τα χρηματοοικονομικά μέχρι και τη διοίκηση ανθρώπινων πόρων ή τον τρόπο διαχείρισης πελατών.

Τα στελέχη που ειδικεύονται στο μάρκετινγκ προσπαθούν να αναλύσουν και να δώσουν απαντήσεις σε ερωτήματα που αφορούν το βασικό παράγοντα, μέσω του οποίου διαμορφώνονται οι προτιμήσεις των καταναλωτών». Προκειμένου να παρθούν οι κατάλληλες αποφάσεις, θα πρέπει να υπάρχει σαφής αντίληψη των χαρακτηριστικών των εν δυνάμει πελατών, της φύσης των αναγκών που θα ικανοποιηθούν με τα προϊόντα-υπηρεσίες, αλλά και τα χαρακτηριστικά αυτών. Επομένως πρέπει να λάβουν χώρα σημαντικές ενέργειες όπως η τμηματοποίηση της αγοράς, η κατηγοριοποίηση-συσταδοποίηση του καταναλωτικού κοινού, ο προσδιορισμός των καταναλωτικών προτιμήσεων, που θα καθορίσουν το σχεδιασμό γραμμής προϊόντων, την τιμολόγηση και τη διανομή, σε σημεία πώλησης εύκολα προσπελάσιμα. Ταυτόχρονα, καταλυτικός παράγοντας θεωρείται η προώθηση των προϊόντων-υπηρεσιών, ώστε να γίνονται γρήγορα γνωστά και να διεγείρεται το ενδιαφέρον των τελικών καταναλωτών ή χρηστών. Θα πρέπει, δηλαδή, να διαμορφωθεί ένα ισορροπημένο «Μίγμα-Μάρκετινγκ».

Λόγω των οικονομικών, χρονικών, χωρικών, νομοθετικών περιορισμών του περιβάλλοντος, δημιουργούνται πολύπλοκα συστήματα με δισεκατομμύρια υποψήφιες λύσεις, ώστε να δοθούν από τα στελέχη ικανοποιητικές ή και βέλτιστες λύσεις σε ότι αφορά την αντιμετώπιση της έλλειψης των πόρων που μαστίζει το αβέβαιο οικονομικό περιβάλλον και το σύγχρονο επιχειρείν

Ο ανθρώπινος νους, δεν είναι ικανός να πραγματοποιήσει την ανάλυση και επίλυση τέτοιων συστημάτων, ενώ ταυτόχρονα η χρήση απλών μαθηματικών εμφανίζει σοβαρή ανεπάρκεια. Επομένως, εδώ θεωρείται απαραίτητη η ανάπτυξη ευρετικών και μεθευρετικών μεθόδων που θα εξελίσσουν τα σύγχρονα πληροφοριακά συστήματα στο σε ότι αφορά τις βέλτιστες λύσεις.

1.1 Ορισμός του Προβλήματος

Ο στόχος του προβλήματος του βέλτιστου σχεδιασμού γραμμής προϊόντων, είναι ο σχεδιασμός μίας σειράς προϊόντων, τα οποία εάν εισαχθούν στην αγορά, θα ικανοποιήσουν το βέλτιστο στόχο της εταιρείας, όπως εξασφάλιση μεγαλύτερου μεριδίου αγοράς, έσοδα, κέρδη κ.α. Γι' αυτό πρέπει να μοντελοποιηθούν οι προτιμήσεις των καταναλωτών, αλλά και της τελικής

επιλογής, λαμβάνοντας υπόψιν τα διάφορα χαρακτηριστικά του προϊόντος. Ως αποτέλεσμα, γίνεται η αναπαράσταση των χαρακτηριστικών κάθε προϊόντος. Αυτά μπορούν να πάρουν πολύ συγκεκριμένες διακριτές τιμές, τα επίπεδα.

Η αδυναμία των αλγορίθμων να προσδιορίσουν πως η λύση στο συγκεκριμένο πρόβλημα βέλτιστου σχεδιασμού γραμμής προϊόντων αποτελεί το ολικό βέλτιστο, κατατάσσει το πρόβλημα σε NP-δυσκολό. Έτσι καθίσταται αναγκαία η χρήση αλγορίθμων βελτιστοποίησης για την προσέγγιση του ολικού βέλτιστου.

Αρχικά πραγματοποιείται έρευνα αγοράς με τη χρήση ερωτηματολογίων που σκοπό έχει τη μέτρηση των καταναλωτικών αναγκών. Οι καταναλωτές καλούνται εδώ να αξιολογήσουν ορισμένα προϊόντα, τα οποία αναπαρίστανται από διαφορετικούς συνδυασμούς των επιπέδων των χαρακτηριστικών τους. Στη συνέχεια, εφαρμόζοντας την μέθοδο της conjoint analysis γίνεται η αντιστοιχία των επιπέδων των χαρακτηριστικών με τη μερική αξία (part worth) που προσδίδει στον καταναλωτή. Το άθροισμα των μερικών αξιών των επιπέδων του κάθε χαρακτηριστικού, αποτελεί τη συνολική αξία (utility) κάθε προϊόντος προς κάθε καταναλωτή.

Ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο θα γίνει η τελική απόφαση-επιλογή των καταναλωτών, οι μοντελοποιήσεις ποικίλλουν ως προς την προσομοίωση. Η απόφαση αυτή αποτελεί αναμφισβήτητα υποκειμενική διαδικασία, ενώ η έκφραση της μοντελοποίησης γίνεται με τη χρήση πιθανοτήτων.

Η επιλογή είναι μία υποκειμενική διαδικασία, και η μοντελοποίηση μπορεί να εκφράζεται μέσω πιθανοτήτων. Στο πρόβλημά μας είναι βασική η υπόθεση του μοντέλου της πρώτης επιλογής ή μέγιστης χρησιμότητας (first choice or maximum utility). Δηλαδή η επιλογή του καταναλωτή θα αντικατοπτρίζει εκείνη που του εξασφαλίζει τη μεγαλύτερη αξία, μη λαμβάνοντας υπόψιν την εμφάνιση των στοχαστικών παραμέτρων.

Βασικός στόχος είναι ο βέλτιστος σχεδιασμός μίας γραμμής παραγωγής πέντε σακιδίων, έχοντας ως ανταγωνιστές μία αντίστοιχη γραμμή τριών προϊόντων. Λαμβάνοντας και χρησιμοποιώντας λοιπόν τις προτιμήσεις από 324 καταναλωτές, πρέπει να επιτευχθεί ο στόχος της εταιρίας, που είναι το κέρδος.

Το συγκεκριμένο πρόβλημα απευθύνεται αρχικά στο βέλτιστο σχεδιασμό μίας γραμμής 5 σακιδίων, έναντι μίας σταθερής γραμμής 3 ανταγωνιστικών προϊόντων. Παίρνουμε τις προτιμήσεις 324 καταναλωτών και με βάση αυτές πρέπει να βελτιστοποιήσουμε το κέρδος της επιχείρησής.

Στην παρούσα μελέτη, θα εφαρμοστούν οι αλγόριθμοι HBMO, BBMO, ABC για την επίλυση του βέλτιστου σχεδιασμού γραμμής προϊόντων, χρησιμοποιώντας δεδομένα των οποίων η συλλογή και εφαρμογή προέρχεται από άλλους ευρετικούς αλγόριθμους με στόχο το άρθρο «Optimizing Product Line Designs: Efficient Methods and Comparisons» από τους Alexandre Belloni, Robert Freund, Matthew Selove και Duncan Simester το 2008[1]. Η παρούσα εργασία, έχει σκοπό να προτείνει μία εναλλακτική επίλυση του προβλήματος, βασιζόμενη στις προγενέστερες επιλύσεις και να γίνουν οι

απαραίτητες συγκρίσεις στην ποιότητα των αποτελεσμάτων, καθώς και στην αποδοτικότητα της επίλυσης.

1.2 Στόχος της Εργασίας

Στόχος της εργασίας, είναι η πλήρης κατανόηση του τρόπου αλληλεπίδρασης των προϊόντων της γραμμής καθώς και οι επιπτώσεις των ετερογενών καταναλωτών ως προς την ανταγωνιστική γραμμή. Ως αποτέλεσμα θα πραγματοποιηθεί η σύνθεση μίας ελκυστικής γραμμής προϊόντων, η οποία θα καταλάβει μεγαλύτερο μερίδιο της αγοράς. Επιπρόσθετα, θα αναλυθεί ο τρόπος με τον οποίο οι ευρετικοί και μεθευρετικοί αλγόριθμοι συνδυάζουν τα χαρακτηριστικά και τα επίπεδα των χαρακτηριστικών, ώστε να επιστρέψουν αποδεκτές ή βέλτιστες λύσεις. Για αυτό το λόγο θα χρησιμοποιηθούν οι HBMO, BBMO, ABC ως νέοι μέθοδοι επίλυσης του εν λόγω προβλήματος προκειμένου να βρεθούν ικανοποιητικές ή βέλτιστες λύσεις. Θα πραγματοποιηθεί έλεγχος που αφορά τη δυνατότητα εφαρμογής τους στο πρόβλημα, καθώς και η παρουσίαση μίας αντικειμενικής σύγκρισης με τις άλλες υλοποιήσεις. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως είναι αδύνατο όλοι οι αλγόριθμοι να είναι εξίσου αποδοτικοί σε ένα συγκεκριμένο-ορισμένο πρόβλημα. Αυτός είναι και ο λόγος που έχουν αναπτυχθεί τόσοι γενετικοί και εξελικτικοί αλγόριθμοι, προκειμένου να υλοποιείται ο κατάλληλος αλγόριθμος, ανάλογα με το πρόβλημα που πρέπει να βελτιστοποιηθεί.

1.2.1 Το πρόβλημα του βέλτιστου σχεδιασμού

Αρχικά η μοντελοποίηση του προβλήματος του βέλτιστου σχεδιασμού ενός προϊόντος πραγματοποιήθηκε από τον Zufryden το 1977. Ύστερα από μικρό διάστημα, οι Green και Krieger το 1985 εισήγαγαν το πρόβλημα του βέλτιστου σχεδιασμού γραμμής προϊόντων, το οποίο εξελίσσεται και ερευνάται ακόμη. Εμφανίστηκε το 1974 και από τότε εφαρμόζεται μία πληθώρα μεθόδων βελτιστοποίησης, με στόχο να προσδιοριστούν με τη μέγιστη ακρίβεια τα βέλτιστα, σε επιτρεπτό χρόνο. Πολλές μέθοδοι που υλοποιήθηκαν, ενσωματώθηκαν σε ευφυή συστήματα μάρκετινγκ προκειμένου να δωθούν ποιοτικές λύσεις σε αντίστοιχα προβλήματα.

1.2.2 Μία ιδέα βασισμένη σε σμήνος μελισσών για βέλτιστο σχεδιασμό σειράς προϊόντων

Τελευταία, όλο και περισσότεροι επιστήμονες ερευνούν θέματα που σχετίζονται με τη νοημοσύνη του σμήνους. Ο Bonabeau έχει ορίσει την νοημοσύνη του σμήνους ως την οποιαδήποτε ενέργεια για το σχεδιασμό αλγορίθμων ή κατανεμημένων μηχανών επίλυσης προβλημάτων, εμπνευσμένων από τη σύσταση και το χαρακτήρα των αποικιών κοινωνικών εντόμων και άλλων κοινωνιών ζώων. Οι τερμίτες και οι μέλισσες ήταν στο επίκεντρο μελέτης του Bonabeau και άλλων μελετητών, διότι αποτελούσαν κοινωνικά έντομα, των οποίων η συμπεριφορά θα αναλυθεί αργότερα εκτενώς για την υλοποίηση βέλτιστου σχεδιασμού γραμμής προϊόντων

2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΕΙΣ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ

- **Η έννοια της ικανοποίησης**

Τα διοικητικά στελέχη πολλών οργανισμών, θεωρούν πως ο βασικός παράγοντας και την εκπλήρωση των στόχων και τη μακροχρόνια αποτελεσματικότητα είναι η ικανοποίηση των πελατών. Είναι γνωστό πως εκφράζει το συναίσθημα ευχαρίστησης και πληρότητας, το οποίο αποτελεί απόρροια κάποιας ενέργειας. Σύμφωνα με τους Engel και Blackwell, ικανοποίηση θεωρείται μία διαδικασία αξιολόγησης, κατά την οποία εξετάζεται η πιθανότητα μίας συγκεκριμένης επιλογής να ταιριάζει με τις πεποιθήσεις και το προφίλ των πελατών.

Σύμφωνα με το μάρκετινγκ, βασικό πυλώνα δεν αποτελεί απλά η ικανοποίηση των πελατών, αλλά κυρίως η διατήρηση αυτής, αφού στην περίπτωση όπου το προϊόν παύει να ανταποκρίνεται στις ανάγκες και τις προσδοκίες του καταναλωτή, ο οργανισμός δέχεται τυχόν παράπονα. Στην αντίθετη περίπτωση, η πίστη και κατά συνέπεια η διατήρηση του μεριδίου της αγοράς, έχει ως αποτέλεσμα λιγότερη διαφήμιση. Ως εκ τούτου, οι οργανισμοί γνωρίζουν καλύτερα τους πελάτες και αυξάνουν τα επίπεδα ευχαρίστησής τους, εντοπίζοντας σημαντικές ευκαιρίες σε μία συγκεκριμένη αγορά. Επιπλέον, οι πολύ ικανοποιημένοι πελάτες έχουν λιγότερη συνείδηση των τιμών, επειδή είναι πιστοί στην επωνυμία και ως επακόλουθο πρόθυμοι όσον αφορά την αγορά ενός προϊόντος ή μίας υπηρεσίας με υψηλή τιμή. Επομένως, η πίστη-ικανοποίηση των πελατών, έχει άμεσο αντίκτυπο στο κέρδος

Η ικανοποίηση σύμφωνα με τον Mun Y Yi μπορεί να διακριθεί σε δύο διαφορετικούς τύπους, τη στιγμιαία και τη συσσωρευμένη.

Στιγμιαία ικανοποίηση θεωρείται η εμπειρία που αποκτάται από ένα μεμονωμένο γεγονός αναφορικά με μία υπηρεσία και ασκεί μεγάλη επιρροή στα συναισθήματα των καταναλωτών σχετικά με την αντιλαμβανόμενη ποιότητα για την υπηρεσία, την προσωπική εκτίμηση εκείνης και τελικά τη συνολική ευχαρίστησή τους.

Συσσωρευμένη ικανοποίηση θεωρείται η συνολική ικανοποίηση, η οποία δεν βασίζεται σε μία μόνο εμπειρία, αλλά σε μία αλυσίδα θετικών εμπειριών που δημιουργεί μία αθροιστική αίσθηση ικανοποίησης. Η αντιλαμβανόμενη αξία στο στάδιο πριν από την αγορά είναι βραχύβια. Ωστόσο μερικές φορές μετατρέπεται σε ικανοποίηση στο στάδιο μετά την αγορά. Αυτή η ικανοποίηση μετά την αγορά οδηγεί σε επαναγορές καθώς και σε μεγαλύτερη εμπιστοσύνη και αφοσίωση των. Αυτό δείχνει πως, η συσσωρευμένη ικανοποίηση συνιστά ισχυρότερο κριτήριο.

- **Η έννοια της Αξίας**

Ως αξία ορίζεται ο κανόνας, σύμφωνα με τον οποίο αποτιμάται η σημαντικότητα και χρησιμότητα ενός προϊόντος-υπηρεσίας. Συνήθως, αναφερόμαστε στην αξία που είναι σε θέση ο καταναλωτής να αντιληφθεί, καθώς και στις θυσίες που προτίθεται να κάνει προκειμένου να αποκτήσει ένα αγαθό [i].

- **Η έννοια της Ποιότητας**

Με στόχο ο πελάτης να ικανοποιηθεί μέσω του προϊόντος-υπηρεσίας, ποιότητα ορίζεται ως το σύνολο των πολύπλοκων χαρακτηριστικών των προϊόντων που αφορούν την προώθηση, την παραγωγή, το σχεδιασμό και τη συντήρηση.

Άξιο αναφοράς θεωρείται το ερώτημα, αν η ποιότητα είναι εκείνη που οδηγεί στην ικανοποίηση, ή αν η ποιότητα έχει ως αποτέλεσμα της εκείνη. Είναι γεγονός πως όσο καλύτερη η ποιότητα ενός προϊόντος-υπηρεσίας, τόσο μεγαλύτερη η ικανοποίηση που θα αισθανθεί και συνεπώς, τόσο καλύτερη η αξιολόγηση.

2.1 Ανάλυση συμπεριφοράς καταναλωτή

Τις τελευταίες δεκαετίες, διοικητικά στελέχη αλλά και επιστήμονες με βασικό αντικείμενο την παραγωγή, τις πωλήσεις και το μάρκετινγκ, ερευνούν την απάντηση στο βασικό ερώτημα: «Ποιο είναι το στοιχείο-χαρακτηριστικό που καθορίζει την τελική απόφαση του καταναλωτή» Οι καταναλωτές επηρεασμένοι από τη λογική αλλά και από τα συναισθήματα τους περιπλέκουν το παραπάνω ερώτημα. Επίσης, η διαδικασία επιλογής προϊόντων που ακολουθά ο πελάτης είναι ακαθόριστη πολλές φορές, με αποτέλεσμα την ποικιλομορφία τους (σαμπουάν, ρούχα, σπίτι, κατοικίδιο και στη δική μας περίπτωση σακίδιο).

Προκειμένου να γίνει κατανοητή η πολύπλοκη ανθρώπινη συμπεριφορά του καταναλωτή, γίνεται η χρήση μίας απλοποιημένης αφαιρετικής αναπαράστασης της πραγματικότητας, η οποία συνθέτει τη θεωρία της συμπεριφοράς του καταναλωτή. Τα μοντέλα συμπεριφοράς, που ποικίλουν σε προσανατολισμό και πολυπλοκότητα αναλύονται στις παρακάτω ενότητες.

2.1.1 Μοντέλα συμπεριφοράς καταναλωτή

Τα μοντέλα απόφασης αποτελούν μία από τις σημαντικότερες κατηγορίες του μάρκετινγκ, τα οποία αναφέρονται στον τρόπο συμπεριφοράς των καταναλωτών κατά τη διαδικασία επιλογής και αγοράς μίας υπηρεσίας σύμφωνα με τον κ. Ματσατσίνη και τον κ. Σίσκο σύμφωνα με μελέτες που πραγματοποιήθηκαν το 1995 και το 2002. Με σκοπό την αναπαράσταση των μεταβολών της συμπεριφοράς των καταναλωτών, αναπτύσσονται μοντέλα μάρκετινγκ, για τη βελτίωση λήψης αποφάσεων και γενικότερα την κατανόηση της καταναλωτικής συμπεριφοράς[viii].

Προκειμένου να γίνει κατανοητή η πολύπλοκη ανθρώπινη συμπεριφορά του καταναλωτή, γίνεται η χρήση μίας απλοποιημένης αφαιρετικής αναπαράστασης της πραγματικότητας, η οποία συνθέτει τη θεωρία της συμπεριφοράς του καταναλωτή. Τα μοντέλα συμπεριφοράς, ποικίλουν σε πολυπλοκότητα και προσανατολισμό.

Οι βασικές λειτουργίες σύμφωνα με τον Rothman των μοντέλων συμπεριφοράς είναι οι ακόλουθες:

- Αν επιλεγθεί ή κατασκευαστεί το μοντέλο προτού διεξαχθεί η απαραίτητη δημοσκόπηση, εξασφαλίζεται η συγκέντρωση όλων των απαραίτητων δεδομένων και κατά συνέπεια η αποφυγή εκπόνησης πολύπλοκων ερωτηματολογίων.
- Με τα μοντέλα αυτά, μπορούν οι απαντήσεις διαφόρων ερωτημάτων να συνδυαστούν με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλιστεί πως θα γίνουν μόνο οι σχετικές αναλύσεις και ως αποτέλεσμα, γίνεται απλούστευση των αποτελεσμάτων μίας δημοσκόπησης.
- Μειώνουν το κενό το οποίο παρουσιάζεται ανάμεσα στην αναφορά των αποτελεσμάτων της έρευνας αγοράς και τη λήψη της τελικής απόφασης μάρκετινγκ.

2.1.2 Παράγοντες που επιδρούν στη συμπεριφορά του καταναλωτή

Ο Kotler πρότεινε ένα διαφορετικό μοντέλο συμπεριφοράς το οποίο βασιζόταν στη σχέση παροχής κινήτρου-αντίδρασης. Τα κίνητρα, μάρκετινγκ και περιβάλλοντος, έχουν μεγάλη επίδραση στον πελάτη και ως αποτέλεσμα επηρεάζουν τις αποφάσεις του, που έχουν σχέση με την απόφαση αγοράς ενός προϊόντος, μίας συγκεκριμένης επωνυμίας, τη διάρκεια αναζήτησης κατά την αγορά και γενικότερα ολόκληρη τη διαδικασία. Κατά Kotler, το βασικό σε ό,τι αφορά τους αποφασίζοντες είναι η γνώση του τι μεσολαβεί ανάμεσα σε παροχή κινήτρων και απόφασης αγοράς. Ο ρόλος των χαρακτηριστικών των καταναλωτών είναι ιδιαίτερα σημαντικός στην διαμόρφωση της τελικής επιλογής, διότι σύμφωνα με αυτά αντιδρά στα εξωτερικά κίνητρα. Επομένως, είναι εμφανές πως η τελική απόφαση των καταναλωτών διαμορφώνεται με βάση τα χαρακτηριστικά τους [viii].

Οι παράγοντες που επιδρούν στη συμπεριφορά του καταναλωτή μπορεί να είναι:

1. Πολιτιστικοί, οι οποίοι αναφέρονται σε κουλτούρα, υποκουλτούρα και κοινωνικές τάξεις. Εδώ συμπεριλαμβάνονται πολιτιστικά «πιστεύω» και αξίες, καθώς και ο τρόπος διαβίωσης.
2. Κοινωνικοί, έχουν να κάνουν με ομάδες αναφοράς, οικογένεια, ρόλους και καταστάσεις (επιρροές από οικογένεια, φίλους, ηγέτες γνώμης κ.α.).
3. Προσωπικότητας, όπου κυρίαρχο ρόλο έχουν το επάγγελμα, οι οικονομικές περιστάσεις, το στυλ ζωής, η ηλικία και ο κύκλος ζωής και φυσικά η προσωπικότητα, και
4. οι ψυχολογικοί, που σχετίζονται με γνώσεις, αντιλήψεις, πεποιθήσεις, στάσεις και κίνητρα.

Άλλα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν είναι η ετικέτα (brand), η διαφήμιση της ετικέτας, η εμφάνιση, η συσκευασία, η τιμή, η φήμη του προϊόντος – υπηρεσία, η εγγύηση του κατασκευαστή κ.α.[viii].

Ακολουθούν οι πέντε τύποι αγοραστικής συμπεριφοράς των καταναλωτών κατά Kotler:

1. Εκείνος που προτείνει την αγορά ενός προϊόντος ή υπηρεσίας
2. Εκείνος που χρησιμοποιώντας ειδικές γνώσεις, επηρεάζει στην έκβαση

της απόφασης.

3. Εκείνος που αποφασίζει τελικά, για το αν θα πραγματοποιηθεί η αγορά, ποιο θα είναι το ακριβές προϊόν και τέλος ποια είναι η ημερομηνία, ο τρόπος και το μέρος αγοράς κ.λ.π.
4. Εκείνος που θα αγοράσει το προϊόν.
5. Τέλος, εκείνος που καταναλώνει το προϊόν-υπηρεσία. Όταν το προϊόν αυτό αγοραστεί ξανά, εκτιμάται εξ αρχής η χρησιμότητα του προϊόντος, προτού πραγματοποιηθεί νέα απόφαση αγοράς

Μπορούμε να διακρίνουμε τέσσερις τύπους συμπεριφοράς των καταναλωτών (πίνακας), ανάλογα με τη πολυπλοκότητα μίας απόφασης αγοράς και τη διαφοροποίηση που παρατηρείται ανάμεσα στα προϊόντα που μετέχουν στη διαδικασία αγοράς του ενός [viii].

	Μεγάλη Πολυπλοκότητα	Μικρή Πολυπλοκότητα
Σημαντική Διαφοροποίηση μεταξύ των προϊόντων	Σύνθετη αγοραστική συμπεριφορά	Αγοραστική συμπεριφορά αναζήτησης ποικιλίας
Μικρή Διαφοροποίηση μεταξύ των προϊόντων	Παραφωνίες που εξασθενίζουν την αγοραστική συμπεριφορά	Αγοραστική συμπεριφορά από συνήθεια

Πίνακας 1: Τύποι συμπεριφοράς καταναλωτή

Σύνθετη αγοραστική συμπεριφορά, παρουσιάζει ο καταναλωτής, όταν πρόκειται για αγορά ενός προϊόντος:

- που είναι ακριβό για εκείνον,
- που δεν το γνωρίζει αρκετά καλά, διότι δεν πρόκειται για κάποια συχνή αγορά (π.χ. σπίτι, αυτοκίνητο ...),
- που ελλοχεύει ρίσκο και κινδυνεύει να χάσει τα χρήματά του (π.χ. μετοχές κτλ)
- που δεν είναι ενημερωμένος σε θέματα που αφορούν την κατηγορία των υπηρεσιών και της διαφορετικότητάς τους (π.χ. έξυπνες τηλεοράσεις, καινοτόμες ηλεκτρικές συσκευές κ.α.).

Συχνό είναι το φαινόμενο όπου ο καταναλωτής στρέφεται συνεχόμενα σε διαφορετικές μάρκες ίδιου τύπου προϊόντων, χωρίς αυτό να σηματοδοτεί τη δυσαρέσκεία του ως προς το προϊόν (π.χ. γάλα, αναψυκτικά, αποσμητικά κ.α.).

Στην περίπτωση που ο καταναλωτής δεν διακρίνει κάποια σημαντική

διαφορά ανάμεσα στα χαρακτηριστικά των προϊόντων, τότε η απόφασή του περιπλέκεται. Αυτό, οδηγεί στην αβέβαιη αγορά ενός προϊόντος χρησιμοποιώντας ως στήριγμα μεμονωμένα κριτήρια (πχ προσφορές ,τιμή, λιγότερος χρόνος αναμονής. Ύστερα όμως αποκτάται εμπειρία λόγω της χρήσης του προϊόντος, και ο καταναλωτής είναι σε θέση να εξετάσει και να εκτιμήσει το προϊόν, ενώ ταυτόχρονα διαμορφώνει πλήρη εικόνα για εκείνο[viii].

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, στην περίπτωση όπου υπάρχει έλλειψη πολυπλοκότητας ή διαφοροποίησης των υπηρεσιών, τότε οι καταναλωτές προχωρούν σε αγορές από συνήθεια. Οι αγοραστές δεν χρειάζεται να απασχοληθούν με την αγορά προϊόντων αυτής της κατηγορίας, συγκεντρώνοντας πληροφορίες ή εκτιμώντας τα διάφορα προϊόντα με βάση κάποια κριτήρια, αφού γίνονται παθητικοί δέκτες πληροφόρησης που τους παρέχεται μέσω της διαφήμισης. Όταν συμβαίνει αυτό, οι αγοραστές εξετάζουν το ενδεχόμενο να είναι αναγκαία αυτή η αγορά, ενώ ταυτόχρονα η άποψή τους διαμορφώνεται διαμέσου παθητικής αποδοχής των παρεχόμενων προς αυτούς πληροφοριών και διαφημίσεων, προχωρώντας έτσι σε αγορά. Μερικές φορές ο καταναλωτής δεν προχωρά στην εκτίμηση της υπηρεσίας παρότι αποφασίζει να το αγοράσει. Σε αυτήν την περίπτωση, δεν υπάρχει σύνδεση μεταξύ καταναλωτή και οποιουδήποτε άλλου προϊόντος.

2.1.3 Διαδικασία απόφασης καταναλωτή

Αρχικά όταν ο καταναλωτής αναγνωρίσει την ύπαρξη κάποιας ανάγκης, τότε αρχίζει διαδικασία για αγορά και ύστερα γίνεται η αναγνώριση του προβλήματος. Η αναγνώριση αυτή συμβαίνει όταν έχει δημιουργηθεί κάποιο κίνητρο, ή υπάρχει κάποια πληροφορία μέσω εσωτερικών ή εξωτερικών πηγών (κυρίως μέσω διαφημίσεων).Τη στιγμή που ο καταναλωτής αναγνωρίζει το «πρόβλημα» αυτό, οδηγείται προς την αναζήτηση της λύσης του[viii].

2.1.3.1 Αναζήτηση πληροφοριών

Οι καταναλωτές αντιμετωπίζουν το συγκεκριμένο πρόβλημα πραγματοποιώντας επεξεργασία των διαθέσιμων πληροφοριών. Στην αρχή πραγματοποιείται αναζήτηση για προϋπάρχουσες πληροφορίες, απόψεις, στάσεις σε παραπλήσιους προβληματισμούς οι οποίοι έχουν αντιμετωπιστεί παλαιότερα. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει αρκετή πληροφόρηση, τότε στρέφεται προς την εξωτερική πληροφόρηση. Οι προηγούμενες αντιλήψεις– «πιστεύω» του όμως, μπορεί να μεταβληθούν από αυτήν την πληροφόρηση, χωρίς καν εκείνος να την έχει αναζητήσει. Ως εξωτερικές πηγές πληροφόρησης θεωρούνται: τα μέλη της συγγενικά πρόσωπα, ο κύκλος των φίλων, το σύνολο των διαφημίσεων, εταιρίες κ.α. Ο τύπος του προϊόντος του προϊόντος, ο χαρακτήρας του αγοραστή και καθώς και ο τρόπος με τον οποίο θα καταλήξει στην επιλογή του ο καταναλωτής, μπορούν να καθορίσουν και την επιροή από τις παραπάνω πηγές. Όλη αυτή τη γνώση την αποστηθίζει, αλλάζοντας έτσι τη στάση του και την άποψή του [viii].

2.1.3.2 Εκτίμηση των εναλλακτικών λύσεων:

Ο καταναλωτής στην αρχή διαλέγει την υπηρεσία συγκρίνοντάς την με τις υπόλοιπες στην αγορά. Αφού πρώτα ενημερωθεί, τα προϊόντα γίνονται αυτομάτως λιγότερα (awareness set). Αυτά εκτιμώνται με βάση τα αρχικά κριτήρια αγοράς του καταναλωτή και θα απορριφθούν εκείνα που δεν αποτελούν το σύνολο των υπό εκτίμηση προϊόντων (consideration set). Αφού λοιπόν συγκεντρωθούν οι πρόσθετες και χρήσιμες πληροφορίες, προκρίνονται ορισμένα, κάποιο από τα οποία θα αποτελέσει την οριστική επιλογή του. Μετά από αυτή τη διαδικασία, ο πελάτης βρίσκεται στο πιο σημαντικό σημείο, όπου γίνεται η επεξεργασία όλων των διαθέσιμων πληροφοριών και βαδίζει στο να αποφασίσει. Οι υπηρεσίες - προϊόντα που έχουν απομείνει, εκτιμώνται από τον πελάτη σύμφωνα με ορισμένα κριτήρια, που βασίζονται κυρίως στις γνώσεις του αλλά και τη λογική. Επομένως ο καταναλωτής θέλοντας το προϊόν να καλύπτει όσο το δυνατόν περισσότερο τις ανάγκες του, συγκεντρώνεται σε αυτά, δημιουργεί ένα σύνολο κριτηρίων.

Αν είναι γνωστή η σημαντικότητα των κριτηρίων, που δίνουν στα προϊόντα-υπηρεσίες οι καταναλωτές, τότε εμφανίζονται ομάδες καταναλωτών που χρήζουν σημαντικά ή όχι κάποια κριτήρια, με αποτέλεσμα η αγορά να υπόκειται διαχωρισμό (market segmentation). Αν ο καταναλωτής, δρα ανεπηρέαστος, αποδίδοντας την πραγματική αξία στο προϊόν, τότε πρόκειται για σημαντικά κριτήρια (Myers and Alpert, 1976). Βασικός στόχος των εταιρειών είναι να αναγνωρίσουν το πόσο σημαντικά είναι για τον καταναλωτή τα κριτήρια αυτά. Εκείνος με τη σειρά του αποδίδει σε κάθε κριτήριο μία χρησιμότητα (utility function), όπως θα αναλυθεί παρακάτω. Έτσι γίνεται η περιγραφή επιπέδου της προσδοκώμενης ικανοποίησης, η οποία σχετίζεται με κάθε υποδιαίρεση των κριτηρίων. Συνδυάζοντας τις εκτιμήσεις αυτών, που παρουσιάζουν τη μέγιστη χρησιμότητα σύμφωνα με τις επιλογές ενός καταναλωτή, τότε δημιουργείται το ιδανικό – κατάλληλο προϊόν για εκείνον. Επομένως η προσδοκώμενη χρησιμότητα των προϊόντων δεν μπορεί να ξεπερνά εκείνη που έχει αποδοθεί στο ιδανικό προϊόν. Κατά συνέπεια, εμφανίζεται η πολυκριτήρια λήψη αποφάσεων όπου ο καταναλωτής εκτιμά τα προϊόντα χρησιμοποιώντας συγκεκριμένα κριτήρια, τα οποία αντικατοπτρίζουν την προτίμησή του. (Green and Wind, McAlister, Saurais, Σίσκος, Ματσατσίνης)[viii].

2.1.3.3 Απόφαση αγοράς

Σε αυτό το σημείο ο καταναλωτής προχωρά από το σημείο εκδήλωσης ενδιαφέροντος προς το προϊόν, στην τελική απόφαση αγοράς του. Ακόμα και σε αυτή τη φάση, η οποία φαντάζει οριστική-τελειωτική, ο καταναλωτής μπορεί να επηρεαστεί από διάφορους αστάθμητους παράγοντες, όπως επίσης και η αντιμετώπιση του περιβάλλοντός του ως προς αυτήν την αγορά.

2.1.3.4 Συμπεριφορά καταναλωτή μετά την αγορά

Αφού αγοράσει το προϊόν ο καταναλωτής, το χρησιμοποιεί και αποκτά προσωπική άποψη και εμπειρία από αυτό. Επιπροσθέτως φέρνει σε αντιπαράθεση την ωφέλεια που λαμβάνει από το προϊόν με εκείνη που

προσδοκούσε ότι θα έχει προτού το αγοράσει. Επομένως καταλήγει στο συμπέρασμα για το αν είναι ευχαριστημένος από την αγορά του και σε τι βαθμό.

Οι επιρροές που δέχεται ο καταναλωτής χωρίζονται σε εξωτερικές και εσωτερικές. Η συμπεριφορά του λοιπόν προσεγγίζεται με τη βοήθεια της κοινωνιολογίας σε ό,τι αφορά την πρώτη και της ψυχολογίας στη δεύτερη αντιστοίχως. Το κάθε μοντέλο προσδίδει διαφορετικό βάρος στην επιρροή του εξωτερικού περιβάλλοντος και των εσωτερικών διεργασιών. Επομένως, προκειμένου να υπερκαλυφθούν οι διαφορετικές μορφές της καταναλωτικής συμπεριφοράς, κρίνεται αναγκαία η ύπαρξη πολλών μοντέλων. Τα μοντέλα καταναλωτικής συμπεριφοράς διαχωρίζονται σύμφωνα με τη διαδικασία απόφασης και σύμφωνα με την πολυπλοκότητα των αποφάσεων αγοράς κατά Lilien. Το γεγονός ότι μία απόφαση είναι πολύπλοκη, έχει άμεση επίδραση σε ολόκληρο το στάδιο της απόφασης και επηρεάζει τους παράγοντες που αφορούν τη στάση και τις συμπεριφορές τους. Στην αρχή ξεκινά η διαμόρφωση των αντιλήψεων των καταναλωτών ενώ αργότερα καθορίζεται η προτίμησή τους. Η διαμόρφωση της συμπεριφοράς γίνεται σύμφωνα με την προσωπική αντίληψη που διαθέτει ο καταναλωτής προς το προϊόν και όχι με τα χαρακτηριστικά που διαθέτει εκείνο. [viii][iii].

Οι Fishbein και Lancaster, παρότι ψυχολόγος και οικονομολόγος αντίστοιχα, θεωρούν και οι δύο πως ο καταναλωτής συνδέει το προϊόν με μία σειρά χαρακτηριστικών (attributes). Επομένως αντιστοιχίζεται σε κάθε τύπο προϊόντων ένα σύνολο από χαρακτηριστικά, που αποτελούν τη βάση αυτού και ο πελάτης προσδίδει στα χαρακτηριστικά μίας κατηγορίας προϊόντων, ξεχωριστή σημαντικότητα. Επομένως, καταναλωτές με παρόμοιες προτιμήσεις και συμπεριφορές θα μπορούσαν να διαχωρίσουν την αγορά σε διάφορα τμήματα (segmentation).

Οι Hauser και Urban, απέδειξαν ότι η θεωρία χρησιμοτήτων των Von Neumann-Morgenstern, ταιριάζει απόλυτα με τα περιγραφικά μοντέλα που σχετίζονται με τη λήψη των αποφάσεων των καταναλωτών. Σύμφωνα με εκείνα, η προτίμηση αλλά και η τελικές επιλογές πηγάζουν από την σύγκριση των υπηρεσιών της αγοράς σχετικά με ένα σύνολο κριτηρίων και ως αποτέλεσμα καθίσταται εφικτή η μοντελοποίηση της σχέσης τους έχοντας ως γνώμονα τη συνάρτηση χρησιμότητας των παραπάνω επιστημόνων. Κατά συνέπεια, θεωρείται πως η περιγραφική θεωρία χρησιμοτήτων είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί προκειμένου να μελετηθεί η καταναλωτική συμπεριφορά. Με βάση τη θεωρία της χρησιμότητας, μία υπηρεσία A είναι προτιμότερη έναντι μίας υπηρεσίας B και θα επιλεγεί από τον πελάτη, στην περίπτωση που η χρησιμότητα που περιμένει να διαθέτει το A είναι υψηλότερη από του B. B: $U(A) > U(B)$ [iii][viii].

Σύμφωνα με εκείνους, οι καταναλωτές αρχικά διαμορφώνουν τις προτιμήσεις τους. Με τη χρήση των μοντέλων αποδίδεται στους καταναλωτές μία συνάρτηση χρησιμότητας (utility function), μέσω της οποίας προσδιορίζεται η αναμενόμενη χρησιμότητα προς εκείνους, σε πιθανή αγορά του προϊόντος. Μέσω αυτής, γίνεται η περιγραφή της εκτίμησης των προϊόντων σχετικά με ένα πλήθος χαρακτηριστικών ή κριτηρίων, τα οποία διαθέτουν διάφορα επίπεδα. Οι καταναλωτές προσδίδουν βάρη σε αυτά, βάση

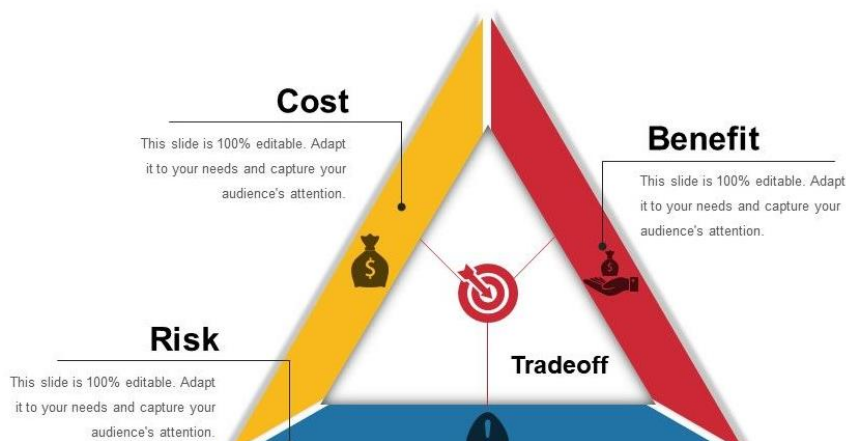
των οποίων κάνει την επιλογή. Τα βάρη αυτά αποτελούν ένδειξη της σχετικής σημαντικότητάς που τους έχει αποδώσει. Το να γνωρίζει κανείς τη διακύμανση της σημαντικότητας των κριτηρίων, θεωρείται πολύ χρήσιμο ώστε να αναπτυχθούν νέα προϊόντα. Αφού πραγματοποιηθούν κάποιες συγκρίσεις και εκτιμήσεις ενός πλήθους από προϊόντα, διαμορφώνεται η στάση του πελάτη, μέσω της έκφρασης των προτιμήσεών του. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί προδιατάσσοντας τα προϊόντα αυτά. Άρα λαμβάνοντας υπόψιν τις εκτιμήσεις αλλά και την προτίμηση του καταναλωτή σε πλήθος προϊόντων, γίνεται η προσπάθεια να υπολογιστεί το ενδεχόμενο αγοράς από τον καταναλωτή καθενός από αυτά, κάτι που επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας μοντέλα. Πραγματοποιώντας μία επέκταση του υπολογισμού αυτού σε ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα, μπορεί σε πρώτη φάση να γίνει ο υπολογισμός των πιθανοτήτων της αγοράς του κάθε προϊόντος, ενώ ταυτόχρονα και τα μερίδια αγοράς τους[iiii].

Σύμφωνα με τους Green and Krieger, η τελική επιλογή του προϊόντος από τον καταναλωτή, σχετίζεται άμεσα με την αντίληψη και την προτίμηση των επιμέρους χαρακτηριστικών του, συγκριτικά με τους ανταγωνιστές του, ενώ οι Moore and Winer θεωρούν πως εκείνη στηρίζεται αρχικά στην αντίληψη των χαρακτηριστικών του και έπειτα σε μηχανισμούς επιλογής αλλά και στην αγοραστική αξία του προϊόντος[viii].

2.1.4 Trade-off

Τα κριτήρια μεταξύ τους είναι ανταγωνιστικά. Δηλαδή η αύξηση ενός στοιχείου θα προκαλέσει τη μείωση ενός άλλου. Αυτό συμβαίνει διότι στην πραγματικότητα δεν υπάρχουν ουτοπικές λύσεις, που δεν θα έχουν δηλαδή κανένα ελάττωμα ή κόστος.

Όλες οι εναλλακτικές που εμφανίζουν ένα μεγάλο πλεονέκτημα σε ότι αφορά κάποια χαρακτηριστικά, θα υστερούν σε κάποια άλλα κριτήρια. Ο καταναλωτής προφανώς πρέπει να διαλέξει μία εναλλακτική και να απορρίψει το πλήθος των υπολοίπων. Με αυτόν τον τρόπο, αρνείται τη χρησιμότητα των εναλλακτικών που υπερίσχυαν σε ορισμένα κριτήρια (trade-off). Επίσης, πρέπει να επιλέξει τα κριτήρια που θεωρεί εκείνος σημαντικότερα, αλλά και αυτά που θεωρεί ασήμαντα, για τις ανάγκες της επιλογής που πρέπει να κάνει.



Εικόνα 2: Trade off ανάλυση

2.2 Μέτρηση Καταναλωτικών Προτιμήσεων

Μέσω της μελέτης της συμπεριφορά των καταναλωτών, τις προτιμήσεις και σε τελικό στάδιο τις επιλογές του, αναγνωρίζεται πως αυτή αποτελεί μία σημαντική φάση προκειμένου να εκπονηθεί ένας τεράστιος αριθμός από έρευνες σε όλους τους επιστημονικούς κλάδους. Η στρατηγική των εταιρειών βασίζεται σε μακροπρόθεσμα οφέλη. Κατά συνέπεια δεν είναι λογικό να βασίζονται μόνο στο ένστικτο ή στο μοτίβο των ανταγωνιστών.

Ορισμένα διοικητικά στελέχη που έχουν ως στόχο τους την ικανοποίηση των καταναλωτών, λαμβάνουν αποφάσεις κάνοντας δοκιμές στην αγορά. Οι αγοραστές καλούνται να απαντήσουν σε ερωτήματα που αφορούν τις αγοραστικές τους προτιμήσεις τα οποία εισάγονται στις δοκιμαστικές αγορές. Τα κόστη και ο χρόνος όμως τέτοιων ενεργειών είναι αρκετά μεγάλα, με αποτέλεσμα τέτοιες λύσεις να μην ενδείκνυνται, αν συνυπολογιστεί το γεγονός ότι οι έρευνες αυτές αφορούν τη διερεύνηση λίγων παραγόντων. Σε άλλες έρευνες, οι καταναλωτές ελέγχουν ποια είναι τα χαρακτηριστικά εκείνα που προτιμούν, αφού πρώτα τα κατατάξουν ανάλογα με τη μάρκα, την τιμή κ.α. Όλες αυτές οι προσεγγίσεις πρέπει να συνδυαστούν για την καλύτερη έκβαση του αποτελέσματος.

Η Conjoint Analysis ή αλλιώς Ανάλυση Συζυγιών (CA), η οποία θα αναλυθεί παρακάτω, θεωρείται ως η πιο διαδεδομένη τεχνική προκειμένου να μετρηθούν οι καταναλωτικές προτιμήσεις των προϊόντων και υπηρεσιών. Πλέον, η Conjoint Analysis έχει χρήση σε διάφορες κοινωνικές και εφαρμοσμένες επιστήμες (marketing), στη διαχείριση των προϊόντων αλλά και σε θέματα επιχειρησιακής έρευνας. Συνήθως γίνεται χρήση σε έρευνες όπου εξετάζεται η αποδοχή ενός καινοτόμου προϊόντος. Επίσης, μέσω αυτής εκτιμάται η επιρροή που έχει η διαφήμιση σχετικά με το σχεδιασμό του προϊόντος. Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως οι προτιμήσεις του καταναλωτή εκτιμώνται σε ατομικό, σε τμηματικό αλλά και σε συνολικό επίπεδο[viii].

2.2.1 Conjoint Analysis

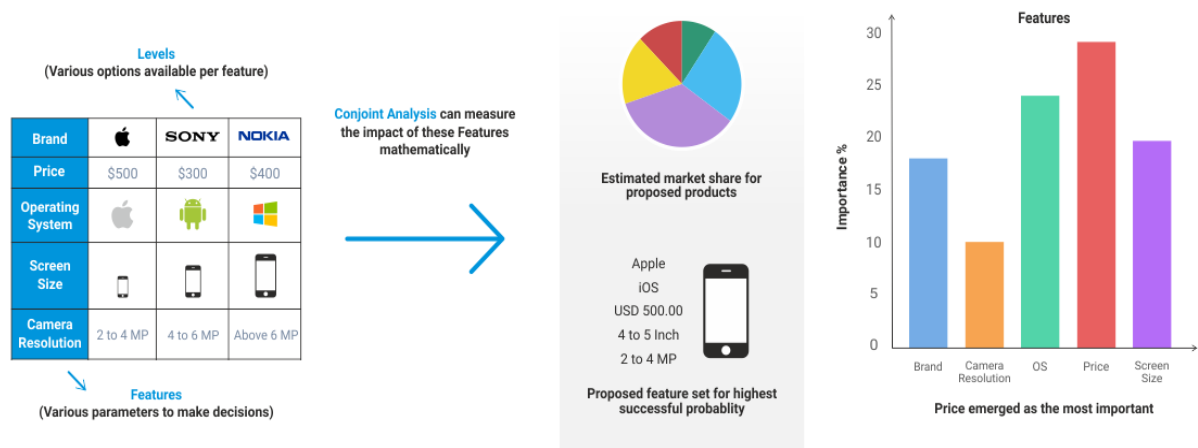
Η Conjoint analysis αποτελεί στατιστική μέθοδο, της οποίας οι απαρχές στηρίζονται στον κλάδο της ψυχολογίας και στηρίζεται στην εφαρμογή της θεωρίας που αναφέρεται στους ανθρώπους οι οποίοι καλούνται να αποφασίσουν. το αποτέλεσμα είναι μία συνισταμένη κάθε χαρακτηριστικού που έχει αξία για κάθε μέρος στη συγκεκριμένη επιλογή [22].

Το όνομα της προέρχεται από την αγγλική φράση CONsiders JOINTly, αφού η μέθοδος αυτή εφαρμόζει την εξέταση των επιδράσεων των χαρακτηριστικών του ατόμου ενός προϊόντος. Η συζυγής ανάλυση βασίζεται στο έργο του μαθηματικού Luce και του ψυχολόγου και στατιστικού Tukey και, ενώ η μέθοδος της διακριτής επιλογής προέρχεται από την οικονομετρία και στηρίζεται κυρίως στον McFadden.

Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο αυτή, γίνεται κατανοητός ο τρόπος με τον

οποίο οι καταναλωτές διαμορφώνουν τις προτιμήσεις τους σε ό,τι αφορά τα προϊόντα-υπηρεσίες. Βασικό στοιχείο της συζυγούς ανάλυσης θεωρείται το γεγονός ότι το προϊόν είναι δυνατό να αναλυθεί σε ένα πλήθος των σχετικών χαρακτηριστικών (attributes). Όπως έχει προαναφερθεί, το κάθε χαρακτηριστικό αναλύεται σε επίπεδα(levels) που έχουν σχέση με αυτό. Οι πτυχές ενός προϊόντος-υπηρεσίας προσδιορίζονται από αυτά τα χαρακτηριστικά.

Κάθε ένα από τα επίπεδα του κάθε χαρακτηριστικού έχει μία συγκεκριμένη χρησιμότητα(utility) την οποία ορίζει ο καταναλωτής. Αυτή η χρησιμότητα αποτελεί ποσοτική μεταβλητή η οποία ονομάζεται partworth και όπως έχει ήδη αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο προσδιορίζει την αξία (worth) του συγκεκριμένου αυτού μέρους (part) της υπηρεσίας ως προς τον πελάτη. Άρα, μέσω της μεθόδου εκτιμώνται οι μερικές αξίες και οι συναρτήσεις χρησιμότητας, μέσω των οποίων περιγράφονται οι χρησιμότητες των καταναλωτών, που αποδίδονται μέσω των επιπέδων του κάθε χαρακτηριστικού.



Εικόνα 3: Παράδειγμα τρόπου λειτουργίας της μεθόδου

Η Conjoint analysis είναι μία πολυμεταβλητή μέθοδος της οποίας η χρήση βρίσκεται κυρίως στο χώρο του μάρκετινγκ. Ορισμένοι από τους λόγους που χρησιμοποιείται είναι οι εξής:

1. Ο προσδιορισμός της σχετικής σημασίας των χαρακτηριστικών στη διαδικασία επιλογής από τους πελάτες
2. Η προσομοίωση της αγοράς, δηλαδή η εκτίμηση και πρόβλεψη των εμπορικών σημάτων που διαφέρουν σε ό,τι αφορά τα επίπεδα των χαρακτηριστικών τους
3. Η επιλογή της μάρκας με την υψηλότερη προτίμηση.
4. Η τμηματοποίηση της αγοράς σχετικά την ομοιότητα των προτιμήσεων για τα επίπεδα των χαρακτηριστικών και ο εντοπισμός αγοράς στην οποία ένα προϊόν εμφανίζει υψηλή αξία.

5. Ενέργειες που αφορούν το σχεδιασμό του βέλτιστου προϊόντος σε ένα καθορισμένο κομμάτι αγοράς [viii].

Η μέθοδος αναπτύσσεται ραγδαία και χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο μέχρι και σήμερα, καθώς καταλήγει σε χρήσιμα συμπεράσματα, τα οποία στην περίπτωση που παρουσιάζονται με τον σωστό τρόπο, δίνουν τη δυνατότητα στα διοικητικά στελέχη να πάρουν τις σωστές-κατάλληλες αποφάσεις, αφού όπως προαναφέρθηκε όχι μόνο καθορίζονται τα χαρακτηριστικά που θα πρέπει να κατέχει μία υπηρεσία-προϊόν το οποίο πρέπει να αναβαθμιστεί, αλλά και το πως αυτό θα πρέπει να τιμολογηθεί[22] [37].

2.2.2 Η εφαρμογή της μεθόδου

Προκειμένου να εφαρμοστεί η μέθοδος συζυγούς ανάλυσης, πρέπει να ακολουθηθούν πιστά τα παρακάτω βήματα[22].

- Προσδιορισμός του προς ανάλυση προβλήματος. Εδώ καθορίζονται τα χαρακτηριστικά (attributes), καθώς και τα επίπεδα (levels) που θα συμπεριλαμβάνει το κάθε γνώρισμα. Για παράδειγμα, μέγεθος, εμφάνιση, τιμή, λειτουργικότητα, φιλικότητα προς τον χρήστη.
- Ανάπτυξη του πρωτοκόλλου της μελέτης, της έρευνας και τα βοηθητικά μέσα, που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν. Βασικές επιλογές ώστε να παρουσιαστούν οι συνδυασμοί στους ερωτώμενους, είναι οι προφορικές ή εικονογραφημένες παρουσιάσεις και οι περιγραφές παραγράφων.
- Ανάπτυξη του ερωτηματολόγιου και δοκιμή των δραστηριοτήτων της έρευνας και της συγκέντρωσης στοιχείων. Ακολουθεί αξιολόγηση της διαδικασίας και αναθεώρηση σε περίπτωση που η προσέγγιση δεν είναι ικανοποιητική.
- Πραγματοποίηση συλλογής δεδομένων (ύστερα από επιλογή της μεθόδου συλλογής).
- Επεξεργασία των δεδομένων με σκοπό τη διεξαγωγή εκτιμήσεων για τη χρησιμότητα κάθε λειτουργίας ατομικά (part-worths).
- Συσχέτιση του πίνακα με τα αποτελέσματα των απαντήσεων των καταναλωτών με δεδομένα που προϋπάρχουν, έτσι ώστε να γίνει ο προσδιορισμός πιθανών τμημάτων της αγοράς που βασίζονται στις ομοιότητες των μερικών αξιών.
- Να αναπτυχθεί και να εφαρμοστεί το πρόγραμμα προσομοίωσης με τη χρήση ενός συνόλου διάφορων μορφών των προϊόντων, που εμφανίζουν εφικτές ανταγωνιστικές εναλλακτικές. Γίνεται εισαγωγή των προφίλ των προϊόντων στο πρόγραμμα προσομοίωσης μαζί με τους προηγούμενους υπολογισμούς για τις λειτουργίες χρησιμότητας.

Βασική προϋπόθεση της παραπάνω διαδικασίας είναι η δυνατότητα ανάλυσης

του προϊόντος, σε ένα σύνολο χαρακτηριστικών, όπου το κάθε ένα να λαμβάνει διάφορες τιμές. Πρέπει να προσδιοριστεί ο συνδυασμός χαρακτηριστικών μέσω των οποίων αντιπροσωπεύεται ένα προϊόν. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να αναπαρασταθούν μέσω οπτικών διαγραμμάτων, πρωτοτύπων ή απλών περιγραφών. Επιπροσθέτως, οι καταναλωτές θα πρέπει να είναι σε θέση να αντιλαμβάνονται την συνολική αξία η οποία προκύπτει από τα χαρακτηριστικά του προϊόντος και από την κατανάλωσή του. Να επιλέγουν δηλαδή το προϊόν-υπηρεσία που μεγιστοποιεί τη χρησιμότητα για αυτούς, προκειμένου να καλύψουν κάποια ανάγκη τους. Παράλληλα, τα επίπεδα των χαρακτηριστικών και οι συνδυασμοί τους πρέπει να ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα [22].

2.2.3 Η συλλογή των δεδομένων

Μέσω της συγκεκριμένης μελέτης πληρούνται όλα τα απαραίτητα κριτήρια που χρειάζονται προκειμένου να εφαρμοστεί η συζυγής ανάλυση και να διεξαχθούν οι μερικές αξίες των δυνητικών πελατών. Τα προς μελέτη σακίδια αποτελούνται από 9 χαρακτηριστικά με δύο διακριτά επίπεδα καθώς και το χαρακτηριστικό της τιμής που διαχωρίζεται σε 7 διακριτά επίπεδα. Τα χαρακτηριστικά είναι αποτελεσματικά κατά Pareto που σημαίνει πως αν μεταβληθεί κάποιο στοιχείο, δεν θα χειροτερεύσει η θέση άλλου. Η συνολική ποιότητα επηρεάζεται μόνο από τα χαρακτηριστικά, δηλαδή δεν δρουν συλλογικά ώστε το ένα να εμποδίζει την ύπαρξη του άλλου. Ταυτόχρονα, το γεγονός πως το προϊόν είναι ακυκλοφόρητο, σηματοδοτεί την έλλειψη εμπειρίας σε ότι αφορά τη χρήση του [viii].

Οι ερωτώντες θα πρέπει να ενεργήσουν ως εξής:

Τους γίνονται ερωτήσεις αυτοπροσδιορισμού όπου καλούνται να δηλώσουν σε κλίμακα 1 έως 4 τη σημαντικότητα όλων των χαρακτηριστικών.

Καλούνται να συγκρίνουν κατά ζεύγη σε 16 μεμονωμένες τσάντες που διαλέγονται στην τύχη, ανεξαρτήτως των προηγούμενων απαντήσεών του. Εδώ θα κληθεί να απαντήσει στο ενδεχόμενο επιλογής του ενός σακιδίου αντί του άλλου.

Οι ερωτώμενοι θα κληθούν να προσδιορίσουν την πιθανότητα αγοράς ενός από έξι συγκεκριμένα σακίδια.

Ο ερωτώμενος αξιολογεί την ικανοποίησή του σχετικά με την έρευνα. Στόχος εδώ είναι ο αποφορτισμός της μνήμης του σε ό,τι αφορά τα ζητήματα που έχει ήδη απαντήσει ώστε να μεταβεί στο παρακάτω βήμα που είναι η τελική απόφαση.

Στην τελική απόφαση, ο ερωτώμενος προσκομίζει 100\$ με την προϋπόθεση πως θα εισπραχθεί η διαφορά σε περίπτωση επιλογής φθηνότερου σακιδίου. Επιλέγουν ένα σακίδιο μεταξύ πέντε τυχαία προτεινόμενων, μέσω ενός πλήθους 16 αντιπροσωπευτικών σακιδίων.

Τα σακίδια έχουν επιλεγεί ανεξαρτήτως των προγενέστερων απαντήσεων. Προκειμένου να καταγραφεί η πλήρης προτεραιότητα που θα

δοθεί από τον ερωτώμενο, ζητείται να διαλέξει την δεύτερη επιλογή του, υποθέτοντας πως το πρώτο είχε εξαντληθεί. Μετά διαλέγει την τρίτη επιλογή, την τέταρτη κτλ.

Στην έρευνα συμμετείχαν πρωτοετείς φοιτητές χωρίς να είναι ιδιαίτερα πληροφορημένοι για το σκοπό της έρευνας. Αυτή πραγματοποιήθηκε σε μία διαδικτυακή πλατφόρμα, εμπεριέχοντας όλες τις απαραίτητες πληροφορίες. Συμπληρώθηκαν 330 ερωτηματολόγια και επεξεργάστηκαν από εξειδικευμένα λογισμικά. Ο τρόπος με τον οποίο υποβάλλονταν οι ερωτήσεις δεν επηρέαζε την τελική έκβαση του αποτελέσματος, ενώ οι ερωτήσεις ήταν σαφείς και ακριβείς [viii].

2.2.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Αρχικά, η συζυγής ανάλυση είναι ιδανική μέθοδος προκειμένου να μετρηθεί η αξία του ονόματος της μάρκας σχετικά με άλλες ανταγωνιστικές. Επίσης, πρέπει να μπορεί να λάβει πληροφορίες που σχετίζονται με τη δύναμη ή τη δημοτικότητα της επωνυμίας συγκριτικά με προκαθορισμένες τιμές προϊόντων και χαρακτηριστικών. Πιθανότατα να είναι ανεπαρκής η παρουσία ενός και μόνο ονόματος μάρκας στην περίπτωση που οι περισσότεροι καταναλωτές φαίνονται ευαισθητοποιημένοι ως προς την τιμή. Επομένως, πιθανότατα θα υπάρξει έντονη επιθυμία ως προς ένα σύνολο χαρακτηριστικών που θα αρκεί ώστε να αντισταθμιστεί η επένδυση που σχετίζεται με την αμεροληψία της μάρκας. Στη συζυγή ανάλυση, κρίνεται απαραίτητο να εκτιμηθεί ο τρόπος σύμφωνα με τον οποίο οι καταναλωτές πραγματοποιούν τέτοιου είδους αγορές ανάμεσα σε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, τιμές και ονομάτων μάρκας.

Παράλληλα παρουσιάζεται ιδιαίτερα χρήσιμη στην τμηματοποίηση της αγοράς(Market segmentation),καθώς αποτελεί την καλύτερη μέθοδο ώστε να μετρηθούν οι παροχές του προϊόντος, από τη σκοπιά των καταναλωτών. Αναγνωρίζοντας την αξία η οποία προσδίδεται από τους ανθρώπους σχετικά με τα προϊόντα σχεδιάζονται προγράμματα που αφορούν το μάρκετινγκ και θα συμβάλλουν στην ανάπτυξη της εταιρίας. Ακόμη βοηθά στην τροποποίηση των προυπαρχόντων προϊόντων και στην ανάπτυξη νέων, με γνώμονα τις απαντήσεις των δυνητικών πελατών.

Οι μάρκες που κατέχουν υψηλή θέση(high equity) σχετίζονται με υψηλότερες τιμές. Η Choice-based conjoint analysis μετρά αποτελεσματικά και με ακρίβεια την αμεροληψία της μάρκας. Αναπτύσσοντας την αρουσίαση διάφορων τροποποιήσεων των προϊόντων, ζητάται να επιλεγθεί από εκείνους το τελικό προϊόν. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία των τιμών ως προς τις μάρκες όσο διαρκεί η διαδικασία. Ανάλογα με το πόσες είναι οι φορές που ο ερωτώμενος επιλέγει την ίδια μάρκα, φανερώνει και την πιθανή ευαισθησία που παρουσιάζει για την τιμή της.

Επίσης παρουσιάζει ευκολία στον υπολογισμό των αλληλεπιδράσεων των χαρακτηριστικών, όπως για παράδειγμα brand-price. Εφαρμόζοντας τη μέθοδο της συζυγούς ανάλυσης, υπολογίζεται πιο εύκολα η αλληλεπίδραση των

χαρακτηριστικών, που αν τα συμπεριλάβουμε, δεν θα υπάρξει αύξηση της πολυπλοκότητας σχετικά με το σχεδιασμό της έρευνας. Κύρια χρήση τους βρίσκεται στη μέθοδο choice-based conjoint analysis. Επίσης η μεθοδολογία δεν κάνει υποθέσεις σε ότι αφορά τη φύση των σχέσεων μεταξύ των χαρακτηριστικών και της εξαρτημένης μεταβλητής. Αυτό είναι πολύ χρήσιμο όταν εξερευνώνται άγνωστες μεταβλητές ως πιθανές μεταβλητές πρόβλεψης.

Τέλος, άλλα πλεονεκτήματα περιλαμβάνουν την ικανότητά της να προσαρμόζει μετρικές ή μη μετρικές εξαρτώμενες μεταβλητές, ενώ οι ερωτώμενοι έχουν τη δυνατότητα να μην επιλέξουν καμία από τις επιλογές.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Είναι προφανές πως όλες οι μέθοδοι παρουσιάζουν κάποια μειονεκτήματα-αδυναμίες. Έτσι και η Conjoint analysis παρουσιάζει τους δικούς της περιορισμούς. Παρότι αποτελεί αναμφισβήτητα αρκετά σημαντικό εργαλείο, έχει θεωρηθεί ως ένα πολύπλοκο εργαλείο. Απαιτεί πλήρης κατανόηση της χρήσης της ενώ ταυτόχρονα ελλοχεύει ο κίνδυνος των ερωτηθέντων να καταφύγουν σε στρατηγικές απλούστευσης λόγω των πολλών επιλογών. Γνωρίζοντας πως προσπαθεί να εισχωρήσει στη σκέψη του καταναλωτή, κρίνεται αναγκαία η εφαρμογή του σε αρκετά μεγάλο αριθμό ατόμων. Πρέπει δηλαδή πολλοί ερωτώμενοι να εκφράσουν τη γνώμη τους και τελικά να επιλέξουν. Επιπροσθέτως, είναι συχνό το φαινόμενο, όπου οι καταναλωτές προχωρούν στην αγορά των προϊόντων βασισμένοι στα συναισθήματα. Έτσι, δεν επηρεάζονται από κανένα κριτήριο, παρά μόνο από την προσωπική τους εμπειρία και το ένστικτό τους. Ακόμη, ορισμένα χαρακτηριστικά λαμβάνουν ιδιαίτερη εκτίμηση. Άρα όταν ο καταναλωτής θεωρήσει κάποια επιλογή ως μη ελκυστική, υπάρχει πιθανότητα να αντισταθμίσει την απόφασή του αυτή λόγω ενός άλλου χαρακτηριστικού (χαμηλές τιμές). Συχνές όμως είναι και οι περιπτώσεις όπου ο αντισταθμιστικό παράγοντας δεν παίζει κανένα ρόλο. Για παράδειγμα, κάποιος που δεν κατέχει δίπλωμα οδήγησης, δεν δείχνει να ενδιαφέρεται για την τιμή μίας ακριβής. Επίσης, είναι πιθανό να επιλέξουν μία απάντηση χωρίς όμως να την υποστηρίζουν. Δηλαδή βλέποντας τις επιλογές, νιώθει πιεσμένος από τις συγκεκριμένες απαντήσεις που δίδονται ως επιλογές και ενώ καμία δεν τον εκφράζει απόλυτα, τελικά διαλέγει μία από αυτές. Άρα σε αυτές τις καταστάσεις, τα αποτελέσματα της μεθόδου, μπορούν να θεωρηθούν παραπλανητικά[22].

2.3 Μοντελοποίηση της Απόφασης

Η μοντελοποίηση των αποφάσεων αποτελεί τη διαδικασία σύμφωνα με την οποία γίνεται η προσομοίωση της συμπεριφοράς των καταναλωτών, οι οποίοι καλούνται να επιλέξουν μέσα από ένα σύνολο εναλλακτικών λύσεων. Αυτή πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο επιλογής (choice model).

Ο κανόνας επιλογής ή μοντέλο επιλογής είναι η υποκείμενη διαδικασία με την οποία ένας πελάτης ενσωματώνει πληροφορίες για να διαλέξει μία υπηρεσία μέσα από ένα πλήθος ανταγωνιστικών προϊόντων. Έχουν αναπτυχθεί διαφορετικοί κανόνες επιλογής με διαφορετικές παραδοχές και σκοπούς και

διαφέρουν στην υποκείμενη λογική δομή που τους οδηγεί (Manrai). Ο κανόνας επιλογής διαμορφώνει το πρότυπο αγορών του καταναλωτή συνδέοντας την προτίμηση με την επιλογή. Πρόκειται για ένα μαθηματικό μοντέλο που τροποποιεί τις χρησιμότητες του προϊόντος που κάποιος υπό εξέταση εκχωρεί στο σύνολο εναλλακτικών λύσεων, σε πιθανότητες επιλογής της κάθε εναλλακτικής[9]. Οι κανόνες επιλογής διαχωρίζονται σε ντετερμινιστικούς ή πιθανολογικούς.

Το μοντέλο πρώτης επιλογής (first choice) ή η μέγιστη χρησιμότητα είναι ένας ντετερμινιστικός κανόνας, ο οποίος προϋποθέτει ότι το άτομο θα διαλέγει κάθε φορά την υπηρεσία με την μεγαλύτερη χρησιμότητα. Σε αυτήν την περίπτωση, η πιθανότητα επιλογής της μεγαλύτερης σε χρησιμότητα λύσης, ισούται με 1. Αντίθετα οι άλλες εναλλακτικές έχουν μηδενική πιθανότητα. Οι πιθανολογικοί κανόνες από την άλλη πλευρά, υποθέτουν ότι όλες οι εναλλακτικές λύσεις λαμβάνουν πιθανότητα επιλογής ανάλογα με την αξία χρησιμότητάς τους[9].

Τα δημοφιλή μοντέλα πιθανών επιλογών είναι:

- τα Bradley-Terry-Luce:

$$P_{ij} = \frac{U_{ij}}{\sum_{j=1}^n U_{ij}}$$

- και το MultiNomial Logit McFadden,

$$P_{ij} = \frac{e^{U_{ij}}}{\sum_{j=1}^n e^{U_{ij}}}$$

όπου το P_{ij} είναι η πιθανότητα του καταναλωτή να επιλέξει το προϊόν j , το U_{ij} είναι η χρησιμότητα που εκχωρεί στο προϊόν j και το n είναι ο αριθμός των ανταγωνιστικών προϊόντων. Το πρώτο θεωρείται το πιο γνωστό μοντέλο σταθερής αξίας, σύμφωνα με τα οποία τα προϊόντα έχουν σταθερές αξίες και παρουσιάζουν τη στοχαστική φύση της ανθρώπινης συμπεριφοράς με τη χρήση ενός επίπεδου αβεβαιότητας στον κανόνα της απόφασης. Το δεύτερο θεωρείται το πιο γνωστό μοντέλο τυχαίας αξίας, τα οποία έχουν άλλη προσέγγιση σε σχέση με τα προηγούμενα. Εδώ υποθέτουμε ότι ο πελάτης διαλέγει κάθε φορά αυτό που του προσδίδει μεγαλύτερη αξία, η οποία εκφράζεται στοχαστικά και ντετερμινιστικά. Οι πρώτες προσεγγίσεις που εφαρμόστηκαν στο πρόβλημα χρησιμοποίησαν τον κανόνα μέγιστης χρησιμότητας, ο οποίος εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ευρέως σε εφαρμογές σχεδιασμού προϊόντων λόγω της απλής του μορφής. Ο κύριος περιορισμός του είναι ότι τείνει να υπερβάλλει σε ότι αφορά το μερίδιο των δημοφιλών εναλλακτικών λύσεων ενώ υποτιμά τις μη δημοφιλείς. Η χρήση της πρώτης επιλογής δεν έχει καταφέρει να τραβήξει την προσοχή στο συγκεκριμένο πρόβλημα, καθώς αυξάνουν την πολυπλοκότητα του αλγορίθμου (το πρόβλημα γίνεται μη γραμμικό), ενώ παράλληλα κρίνεται σημαντικό το γεγονός ότι το είδος του μοντέλου επιλογής που χρησιμοποιείται επηρεάζει τη διατύπωση του προβλήματος[12].

Όπως είναι γνωστό, η διαδικασία κατά την οποία ένας καταναλωτής διαλέγει ένα προϊόν, είναι εξαιρετικά σύνθετη, και αποτελείται από αρκετές τυχαιές, δηλαδή μη προβλέψιμες, παραμέτρους. Αυτό συμβαίνει διότι υπάρχει η πιθανότητα του καταναλωτή να μην επιλέγει κάθε φορά το προϊόν- υπηρεσία που εκείνος αντιλαμβάνεται ως καλύτερο, εξαιτίας αστάθμητων παραγόντων, όπως το υψηλό κόστος αναζήτησης, η σύγχυση, η μεγάλη ποικιλία κ.α. Στην περίπτωση αυτή, γίνεται εμφανής η σημαντικότητα των πιθανολογικών μοντέλων τα οποία:

- αντιστοιχούν σε κάθε προϊόν-υπηρεσία μία πιθανότητα η οποία σχετίζεται με την τιμή της αξίας του (utility), αντί να προσδίδουν όλη την πιθανότητα επιλογής σε ένα προϊόν.
- Γίνεται συνδυασμός όλων των αξιών και προσδίδεται κάποια πιθανότητα να επιλεγθεί μέχρι και το προϊόν που έχει τη μικρότερη αξία.

3 ΜΕΘΕΥΡΕΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΒΛΕΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

3.1 Ευρετικοί και μεθευρετικοί αλγόριθμοι

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα σύγχρονα προβλήματα επιχειρησιακής έρευνας, εμφανίζουν γιγάντιο αριθμό πιθανών λύσεων οι οποίες οφείλουν να ελεγχθούν και αξιολογηθούν σε σύντομο περιθώριο. Προκειμένου να βρεθεί η βέλτιστη λύση χρησιμοποιώντας ακέραιο είτε γραμμικό προγραμματισμό, πραγματοποιείται ένας τεράστιος αριθμός πράξεων. Επομένως καθίσταται απαραίτητη η χρήση προσεγγιστικών αλγορίθμων. Οι προσεγγιστικοί αλγόριθμοι είναι ικανοί να αναγνωρίσουν το ολικό μέγιστο αλλά ακόμη και αν αυτό δεν επιτευχθεί, εγγυώνται μία συγκεκριμένη απόδοση, χρησιμοποιώντας ορισμένες τεχνικές. Η πιο σημαντική κατηγορία των προσεγγιστικών αλγορίθμων θεωρείται εκείνη των ευρετικών αλγορίθμων, οι οποίοι με τη σειρά τους χωρίζονται σε κλασικούς ευρετικούς αλγορίθμους και σε μεταευρετικούς αλγορίθμους (αλγόριθμοι υπολογιστικής ευφυΐας). Οι πρώτοι αποτελούν έναν αποτελεσματικό αλγόριθμο χωρίς να είναι σίγουρο πως θα παράξει τις καλύτερες λύσεις στο πρόβλημα που χρήζει συνδυαστική βελτιστοποίηση [24].

Από την άλλη, ο όρος μεθευρετικός (metaheuristics) επινοήθηκε από τους Glover και Kochenberger προσπαθώντας να δώσει την περιγραφή μίας ανώτερης στρατηγικής, μέσω της τροποποίησης άλλων ευρετικών προκειμένου να παραχθούν λύσεις διαφορετικές από εκείνες που παράγονται κατά τη διαδικασία της έρευνας της βέλτιστης τοπικής συνθήκης. Στην ουσία, πρόκειται δηλαδή για αλγορίθμους που επιλύουν, συνδυάζοντας τις διαδικασίες των τοπικών αναζητήσεων και ανώτατη στρατηγική, ώστε να επιτευχθεί η αποφυγή των τοπικών ελαχίστων. Πολλοί μεθευρετικοί προχωρούν στην εφαρμογή κάποιας μορφής στοχαστικής βελτιστοποίησης, προκειμένου το αποτέλεσμα που βρέθηκε να σχετίζεται άμεσα με το πλήθος των τυχαίων μεταβλητών που έχουν δημιουργηθεί. Αρκετές φορές, δέχονται ως λύση μία μη εφικτή με σκοπό να προσπεράσει κάποιο πιθανό τοπικό ελάχιστο, με αποτέλεσμα η λύση που θα βρει να αποτελεί και την βέλτιστη στο πρόβλημα. Δηλαδή πραγματοποιεί αναζήτηση στο πεδίο των λύσεων χρησιμοποιώντας όμως λιγότερους περιορισμούς. Κάποια από τα θεμελιώδη τους γνωρίσματα είναι τα παρακάτω:

1. μπορούν να προσαρμοστούν
2. έχουν τη δυνατότητα να αλλάζουν τη μορφή τους
3. μοντελοποιούν κατά βάσει ένα φυσικό φαινόμενο

Γενικότερα, οι ευρετικοί και μεθευρετικοί αλγόριθμοι ελέγχουν ένα υποσύνολο του συνόλου των λύσεων και αναπτύσσουν ορισμένους κανόνες προκειμένου να επιλεχθούν οι βέλτιστες λύσεις και να αποκλειστούν οι χώροι που εμφανίζουν κακές λύσεις, όσον αφορά την ποιότητα.

Οι μεθευρετικοί αλγόριθμοι διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες οι

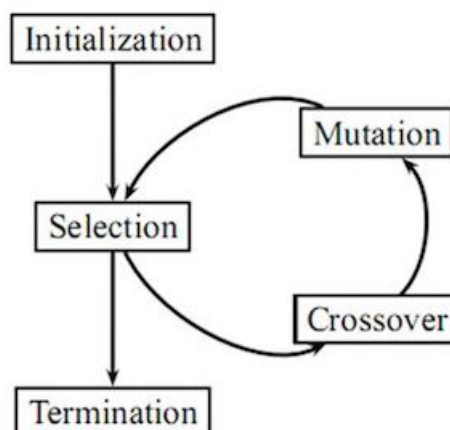
οποίες θα αναλυθούν παρακάτω. Πρόκειται για τους εξελικτικούς αλγόριθμους (evolutionary algorithms) και εκείνους που στηρίζονται σε ευφυΐα του σμήνους (swarm intelligence based algorithms)[38].

3.2 Εξελικτικοί αλγόριθμοι

Οι Εξελικτικοί αλγόριθμοι έχουν προέλευση από την επιστήμη της βιολογίας και αποτελούν τεχνικές αναζήτησης και βελτιστοποίησης και χρησιμοποιούν μηχανισμούς που είναι εμπνευσμένοι από τη φύση, όπως συλλογή, αναπαραγωγή, μετάλλαξη. Τα πιθανά αποτελέσματα για του προβλήματος βελτιστοποίησης παριστάνουν τα άτομα ενός πληθυσμού ενώ η συνάρτηση ευρωστίας είναι υπεύθυνη την ποιότητα των λύσεων. Ως συνάρτηση ευρωστίας ορίζεται η συνάρτηση η οποία αντιστοιχίζει στις τιμές μίας ή περισσότερων μεταβλητών του προβλήματος έναν πραγματικό αριθμό, ο οποίος διαισθητικά αντιπροσωπεύει το «κόστος» μίας υποψήφιας λύσης. Βασική τους χρήση γίνεται στα προβλήματα βελτιστοποίησης προκειμένου να βρεθούν καλύτερες λύσεις. Οι κύριες μεθοδολογίες των εξελικτικών αλγορίθμων είναι οι παρακάτω:

- οι Γενετικοί αλγόριθμοι, η χρήση των οποίων είναι συχνότερη
- ο Γενετικός Προγραμματισμός
- ο Εξελικτικός Προγραμματισμός
- η Εξελικτική Στρατηγική

Επιπροσθέτως περιέχουν 4 συνολικά βήματα, την αρχικοποίηση, την επιλογή, τους γενετικούς τελεστές και τον τερματισμό. Στηρίζονται στο θεώρημα του Δαρβίνου, όπου τα ισχυρότερα μέλη θα επιβιώσουν και θα πολλαπλασιαστούν, ενώ τα υπόλοιπα μέλη θα πεθάνουν και δεν θα συμβάλλουν στην ομάδα γονιδίων των επόμενων γενεών. Με τον ίδιο τρόπο δηλαδή που συμβαίνει και στη φύση.



Εικόνα 4: Τα βήματα των εξελικτικών αλγορίθμων.

3.3 Αλγόριθμοι που βασίζονται στην ευφυΐα σμήνους

Οι αλγόριθμοι που βασίζονται στην ευφυΐα του σμήνους έχουν εμπνευστεί από τη φύση. Η ευφυΐα αυτή είναι ένα υπολογιστικό πρότυπο εμπνευσμένο, πιο συγκεκριμένα, από την συμπεριφορά διαφόρων κοινωνικών οργανισμών όπως είναι τα μυρμήγκια, οι μέλισσες, οι τερμίτες, τα πουλιά κτλ. Κυριαρχεί δηλαδή η συλλογική συμπεριφορά μη κατανεμημένων, αυτό-οργανωμένων φυσικών ή τεχνικών σωμάτων [3]. Σε ένα σμήνος ή μία αγέλη, κάθε οντότητα λειτουργεί αυτόνομα, αλλά μεσώ αυτών των μεμονωμένων ενεργειών, προκύπτει μία συλλογική συμπεριφορά-αλληλεπίδραση, που σκοπό έχει την επίτευξη κοινών στόχων ως ένας «υπεροργανισμός». Με προσομοίωση αυτής της λειτουργίας, μπορούν να λυθούν δύσκολα υπολογιστικά προβλήματα. Επομένως οι αλγόριθμοι αυτοί αντιγράφουν τα βασικά στοιχεία που παροτρύνουν τις οντότητες να βρουν τη τροφή τους, το ταίρι τους, ή την σωστή τοποθεσία της φωλιάς, ώστε να βρουν τη βέλτιστη λύση στο πρόβλημα που έχουμε εισάγει.

Για παράδειγμα, οι επιστήμονες παρατήρησαν το γεγονός ότι οι μέλισσες εκτελούν πτήσεις, διανύοντας την ελάχιστη δυνατή απόσταση προκειμένου να ραξιδέψουν στα άνθη, τα οποία έχουν επισκεφτεί πιο πριν σε τυχαία σειρά, «λύνοντας» έτσι το γνωστό πρόβλημα του περιοδεύοντος πωλητή. Στο γρίφο αυτό, ένας άνθρωπος που θεωρείται πωλητής πρέπει να ανακαλύψει τον πιο έξυπνο τρόπο μετακίνησής του, ώστε να περάσει από όλους τους προορισμούς, στον ελάχιστο δυνατό χρόνο. Είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι οι μέλισσες λειτουργούν με αυτόν τον τρόπο καθημερινά, χρησιμοποιώντας έναν εγκέφαλο που είναι μικρότερος το κεφάλι μίας καρφίτσας. Σύμφωνα με τους ειδικούς, εκείνες επισκέπτονται ένα σύνολο από λουλούδια σε διαφορετικά μέρη εξοικονομώντας ταυτόχρονα ενέργεια για τις πτήσεις τους, υπολογίζοντας τις αποστάσεις έτσι ώστε να ταξιδεύουν πετώντας, όσο το δυνατόν λιγότερη ώρα.

Μέσω της χρήσης τεχνητών ανθών, που είχαν συνδεθεί σε Η/Υ, οι επιστήμονες απέδειξαν πως η πορεία τους δεν χαράζεται στην τύχη ανάλογα με τον τρόπο που τα επισκέφθηκαν. Αντίθετα πηγαίνουν από άνθος σε άνθος τηρώντας ένα προκαθορισμένο πλάνο, δίνοντας τους την δυνατότητα να πετάνε για μικρότερο διάστημα. Γίνεται ο εντοπισμός των θέσεων των ανθών και μετά πραγματοποιείται η επιστροφή τους σε αυτά, γνωρίζοντας πλέον την βέλτιστη διαδρομή, ώστε να εξοικονομώντας χρόνο, ποσότητα και ενέργεια. Παρά το γεγονός ότι διαθέτουν μικροσκοπικούς εγκεφάλους όπως προαναφέρθηκε, οι μέλισσες έχουν εντυπωσιακές ικανότητες. Οι επιστήμονες αδυνατώντας να κατανοήσουν την επίλυση ενός προβλήματος ανάλογο με του περιοδεύοντος πωλητή χωρίς τη χρήση κομπιούτερ, θεωρούν πως και ο άνθρωπος θα μπορούσε να επωφεληθεί από μία τέτοια έρευνα, όπως στην αλυσίδα τροφοδοσίας μίας επιχείρησης με φορτηγά τα οποία κινούνται σε ένα τεράστιο οδικό δίκτυο, ή στην βέλτιστη ρύθμιση της κυκλοφορίας σε οδικά δίκτυα αποφεύγοντας έτσι την κυκλοφοριακή συμφόρηση.

Παρατηρούμε δηλαδή πως παρόλο που αυτοί οι οργανισμοί ατομικά διαθέτουν σχετικά περιορισμένες ικανότητες, σαν σύνολο μπορούν να πραγματοποιήσουν αρκετά σύνθετες ενέργειες. Καταλήγουμε έτσι ότι τα

ευφυή αυτά συστήματα λειτουργούν σαν μία οντότητα, η οποία ανιχνεύει το άμεσο της περιβάλλον προκειμένου να διαλέξει τη βέλτιστη για το σύστημα ενέργεια. Χωρίς να παίρνουν οδηγίες από κάποιον η κάθε οντότητα λειτουργεί αυτόνομα και οδηγείται σε μία συλλογική συμπεριφορά[21].

Ένα σύστημα πρέπει να διαθέτει κάποια βασικά γνωρίσματα που αναλύονται παρακάτω, προκειμένου να θεωρηθεί πως χρησιμοποιεί τη νοημοσύνη ενός σμήνους.

- Αρχικά αποτελείται από μεγάλο πληθυσμό, συνεπώς πολλούς οργανισμούς-άτομα.
- Δεν είναι ανάγκη τα άτομα να είναι πανομοιότυπα, αλλά πρέπει αυτά να χαρακτηρίζονται από ομοιογένεια.
- Οι αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στα μέλη του συστήματος βασίζονται σε λιτούς κανόνες συμπεριφοράς που χρησιμοποιούν μόνο τις πληροφορίες που τα εκείνα ανταλλάζουν γρήγορα είτε μεταξύ τους είτε μέσω του περιβάλλοντος τους.
- Η συνολική συμπεριφορά του συστήματος απορρέει από τις αλληλεπιδράσεις των μεταξύ της μελών και με τα περιβάλλον τους (το σύστημα αυτόοργανώνεται).

Συχνά η συμπεριφορά των ατόμων/μελών του σμήνους μπορούν να περιγραφούν με πιθανολογικούς όρους. Όλα τα άτομα έχουν μία στοχαστική συμπεριφορά εξαρτώμενη από την λειτουργία του εκάστοτε περιβάλλοντος του. Λόγω των παραπάνω ιδιοτήτων είναι δυνατό να σχεδιάσουμε ένα ευφυές σύστημα που θα μπορεί να είναι επεκτάσιμο, παράλληλο και με ανοχή σφαλμάτων. Μία ευρέως γνωστή χρήση της νοημοσύνης σμήνους είναι η χαρτογράφηση των πλανητών από τη NASA.



Εικόνα 5: Συνεργασία σμήνους μελισσών

3.4 Αλγόριθμοι που έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν στο παρόν πρόβλημα

3.4.1 Simulated annealing

Ο αλγόριθμος προτάθηκε πρώτη φορά από τον Kirkpatrick και ύστερα από τον Cerny [35] και τον Stelios Tsafarakis [31]. Ανόπτηση (annealing) είναι η διεργασία ανακατανομής των ατόμων κατά τη διάρκεια της ψύξης ενός θερμοδυναμικού συστήματος. Όταν οι θερμοκρασίες είναι υψηλές, τα μόρια κινούνται προς όλες τις κατευθύνσεις, ενώ στην αντίθετη περίπτωση, η κινητικότητά τους μειώνεται. Το ολικό ελάχιστο της ενέργειας του συστήματος, βρίσκεται στο σημείο όπου μειώνεται αρκετά η θερμοκρασία, με αποτέλεσμα τη δημιουργία μίας τέλει κρυσταλλικής δομής. Στην περίπτωση της ξαφνικής μείωσης της θερμοκρασίας του συστήματος, τα μόρια θα ακινητοποιηθούν στις θέσεις τους αφήνοντας κενά και ατέλειες. Βασικό στοιχείο του Simulated annealing αποτελεί το γεγονός πως μπορεί να δεχθεί χειρότερης ποιότητας λύσεις έτσι ώστε να απεγκλωβιστεί η λύση από τυχόν τοπικά βέλτιστα. Η πιθανότητα αποδοχής των κακών λύσεων θεωρείται ανάλογη με τη θερμοκρασία. Αρχικά γίνεται πιο εύκολα η αποδοχή τους, αλλά κατά τη διάρκεια της ψύξης του υλικού και της προσέγγισης της βέλτιστης λύσης, τόσο μεγαλύτερη η πιθανότητα να δεχτεί καλύτερες.

3.4.2 Genetic Algorithm

Οι Γενετικοί αλγόριθμοι είναι εμπνευσμένοι από τη φύση. Αυτοί, όπως έχει προαναφερθεί ξεκινούν από ένα τυχαίο πληθυσμό λύσεων και στηρίζονται στη θεωρία του Δαρβίνου, όπου επιβιώνει ο καταλληλότερος, η αναπαραγωγή του οποίου θα προσφέρει πιθανότατα πιο καλούς απόγονους. Δημιουργούν μία τυχαία λύση αρχικού πληθυσμού όπου οι πιο καλές λύσεις επιβιώνουν και αναπαράγονται για να εμφανιστούν καινούριες. Στην περίπτωση που βρίσκονται λύσεις καλύτερες από τις ήδη υπάρχουσες, τότε οι παλαιότερες αντικαθίστανται με τις νέες και η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Το κριτήριο τερματισμού είναι εκείνο που θα σταματήσει τον αλγόριθμο[34][30].

3.4.3 Greedy heuristic

Ο ευρετικός πλεονεκτικός κατασκευαστικός αλγόριθμος εισήχθη στο πρόβλημα της βέλτιστης γραμμής παραγωγής από τον Green και τον Krieger [39]. Στην αρχή ο αλγόριθμος σχεδιάζει μία γραμμή προϊόντων από ένα και μοναδικό καλό προϊόν και προσθέτει κάθε φορά εκείνο που μεγιστοποιεί τα κέρδη της ημιτελούς λύσης. Αυτά διαλέγονται από ένα σύνολο αναφοράς, δηλαδή ένα προεπιλεγμένο υποσύνολο «καλών» προϊόντων. Η μέθοδος καταλήγει σε μία ικανοποιητική λύση, η οποία ενδεχομένως να μην αποτελεί τη βέλτιστη, αφού το τελικό αποτέλεσμα βασίζεται κυρίως στην επιλογή του πρώτου στοιχείου της λύσης, χωρίς να αποτελεί αυτό το βέλτιστο. Επίσης, τερματίζει όταν ολοκληρωθεί ο επιθυμητός αριθμός προϊόντων της γραμμής.

3.4.4 Product swapping heuristic

Ο Product Swapping Heuristic αποτελεί μία μέθοδο των Green και Krieger που αναπτύχθηκε το 1985. Η συγκεκριμένη μέθοδος στην αρχή πραγματοποιεί

την επιλογή μίας τυχαίας γραμμής παραγωγής και προχωρά στην αξιολόγηση των κερδών που παράγονται μέσω της λύσης. Ξεκινώντας, ο αλγόριθμος δημιουργεί μία τυχαία αρχική λύση πέντε προϊόντων και ελέγχεται αν η αλλαγή των προϊόντων με τα υπόλοιπα μπορούν να βελτιώσουν αποδώσουν μεγαλύτερα κέρδη. Εκείνα που τα βελτιώνουν, αντικαθιστούν το προυπάρχον προϊόν. Και σε αυτήν την περίπτωση, ο αλγόριθμος δίνει ικανοποιητικές λύσεις, χωρίς όμως να είναι κατ' ανάγκην οι βέλτιστες, αφού οι εναλλαγή ενός μόνο προϊόντος οδηγεί σε τοπικά βέλτιστα. Ο αλγόριθμος σταματά όταν σταματήσει να βελτιώνεται η λύση από τις εναλλαγές των προϊόντων.

3.4.5 Dynamic programming heuristic

Η ανάπτυξη της μεθόδου αυτής πραγματοποιήθηκε από τον Kohli και τον Krishnamurti το 1987[33]. Και αυτή η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε για να λυθεί το πρόβλημα του βέλτιστου σχεδιασμού γραμμής προϊόντων. Η διαδικασία ξεκινά με τη δημιουργία μίας γραμμής προϊόντων αξιολογώντας ένα μεμονωμένο χαρακτηριστικό. Σε κάθε επανάληψη, υλοποιείται μία καινούρια γραμμή παραγωγής με τον ίδιο ακριβώς τρόπο. Η διαδικασία τερματίζεται μετά το πέρας της δημιουργίας και αξιολογήσεων όλων των χαρακτηριστικών.

3.4.6 Beam search heuristic

Η ανάπτυξη του αλγορίθμου της δενδρικής αναζήτησης Beam Search πραγματοποιήθηκε από τον Nair. Αρχικά εφαρμόστηκε στην τεχνητή νοημοσύνη στην προσπάθεια αναγνώρισης σε φωνή και εικόνα. Ο ίδιος εφάρμοσε τον αλγόριθμο στο γνωστό πρόβλημα [31]. Η διαδικασία μοιάζει αρκετά με τον δυναμικό προγραμματισμό, με δύο βασικές διαφορές. Σε αντίθεση με εκείνον, εξετάζει ταυτόχρονα ένα γκρουπ χαρακτηριστικών και όχι μεμονωμένα. Παράλληλα δεν δημιουργείται όλη η γραμμή παραγωγής, αλλά λειτουργεί όπως ο αλγόριθμος απληστίας, προσθέτοντας τα προϊόντα με παρόμοιο τρόπο. Επιπλέον προτού μπει σε εφαρμογή ο αλγόριθμος, τυχαιοποιείται η σειρά παρουσίασης του κάθε χαρακτηριστικού με στόχο να τρέξει αρκετές γραμμές παραγωγής ώστε να βρεθεί η βέλτιστη.

3.4.7 Nested partitions heuristic

Την συγκεκριμένη μέθοδο την ανέπτυξε ο Shi [26]. Η διαδικασία ξεκινά χωρίζοντας τον χώρο των λύσεων σε διαφορετικές περιοχές με σκοπό να εκτιμηθεί η περιοχή της οποίας οι λύσεις, είναι πιθανότατα οι καλύτερες. Στη συνέχεια η πιο υποσχόμενη περιοχή χωρίζεται σε μικρότερες περιοχές όπου υλοποιούνται περισσότεροι έλεγχοι για καλύτερη λύση. Επίσης είναι δυνατό να εφαρμοστεί μία κίνηση κατά πίσω και επομένως να αξιολογηθεί πάλι η περιοχή[26].

3.4.8 Divide and conquer heuristic

Η μέθοδος αυτή έχει προταθεί από τους Green και Krieger το 1988. Η διαδικασία αυτής της μεθόδου ξεκινά με τη διαίρεση των γραμμών των προϊόντων σε ομάδες χαρακτηριστικών και με την έρευνα όλων των πιθανών συνδυασμών της κάθε ομάδας, ενώ κράτα τις άλλες ίδιες. Τερματίζει όταν πλέον έχει ολοκληρωθεί ο έλεγχος όλων των πιθανών συνδυασμών και δεν

επιτυγχάνει περεταίρω βελτίωση [1].

3.4.9 Coordinate ascent

Ο αλγόριθμος Coordinate Ascent υλοποιήθηκε από τον Green το 1989. Η διαδικασία ξεκινά με τον αλγόριθμο να επιλέγει και να αξιολογεί τυχαία μία γραμμή προϊόντων. Συνεχίζοντας, γίνεται επιλογή ενός τυχαίου χαρακτηριστικού και ακολουθεί ο έλεγχος της αλλαγής του επιπέδου της τιμής του επηρεάζει τη λύση. Στην περίπτωση που η λύση βελτιώθηκε, τότε η αλλαγή γίνεται δεκτή, αλλιώς απορριπτεί. Ο αλγόριθμος τερματίζει όταν δεν υπάρχει περαιτέρω βελτίωση της λύσης. Με την υλοποίηση διάφορων παραλλαγών του συγκεκριμένου αλγορίθμου είναι δυνατό να ελέγχει ταυτόχρονα την αλλαγή περισσότερων από ένα χαρακτηριστικών του προϊόντος [1].

3.4.10 Cuckoo search algorithm

Ο αλγόριθμος Cuckoo search βασίζεται στην αναπαραγωγή των κούκων. Εκείνοι που εμπνεύστηκαν τον αλγόριθμο, Xin-she Yang and Suash Deb [18] [ii], μελέτησαν τον τρόπο με τον οποίο αναπαράγονται οι κούκοι υλοποιώντας τον Cuckoo search. Αρχικά ο κάθε κούκος επιλέγει στην τύχη μία φωλιά, αφήνοντας σε αυτή ένα αυγό. Στη συνέχεια, εκείνες που θεωρούνται πως διαθέτουν τα πιο ποιοτικά αυγά, αποθηκεύονται. Τέλος τα αυγά των κούκων ανακαλύπτονται ώστε το ενδεχόμενο pa να βρίσκεται στο διάστημα $[0,1]$.

3.4.11 Tabu Search

Προτεινόμενη από τον Fred Glover και δημοσιευμένη λίγα χρόνια αργότερα, η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε στο πρόβλημα του βελτιστού σχεδιασμού γραμμής προϊόντων (αργότερα και από τους Μαρινάκη Μ. και Μπαλάρα Γ.) [5][iii]. Η απαγορευμένη έρευνα λοιπόν βασίζεται στο γεγονός ότι ο άνθρωπος στην προσπάθειά του να βρει λύσεις στα προβλήματά του, χρησιμοποιεί την εμπειρία του και τη μνήμη του. Αυτή τη διαδικασία ακριβώς αντιγραφειο συγκεκριμένος αλγόριθμος.

3.4.12 Fuzzy self-tuning differential evolution

Ο αρχικός αλγόριθμος διαφορικής εξέλιξης εισήχθη από τους Storn και Price [39] ως μία νέα ευρετική προσέγγιση για τη βελτιστοποίηση λειτουργιών με συνεχή διαστήματα. Ανήκει στην τάξη των εξελικτικών αλγορίθμων (EA) όπως ο γενετικός. Έχει εφαρμοστεί εκτενώς σε προβλήματα βελτιστοποίησης, επειδή ως στοχαστική μέθοδος άμεσης αναζήτησης, χειρίζεται σύνθετες αντικειμενικές λειτουργίες και είναι εύκολο να προγραμματιστεί, καθώς απαιτεί πολύ λίγες παραμέτρους. Υλοποιήθηκε πρόσφατα στο πρόβλημα βέλτιστου σχεδιασμού γραμμής προϊόντων από τους Τσαφαράκη Σ. και Ζερβουδάκη Κ. [36].

3.4.13 Hybrid Firefly–Genetic Algorithm

Ο αλγόριθμος Firefly (FA) αναπτύχθηκε το 2008 από τον Yang και

βασίζεται στο μοτίβο με το οποίο αναβοσβήνουν και γενικότερα συμπεριφέρονται οι πυγολαμπίδες. Χρησιμοποιείται για την επίλυση τόσο συνεχών όσο και διακριτών προβλημάτων βελτιστοποίησης. Πρόσφατη έρευνα αναφορικά με τη χρήση του στο πρόβλημα, πραγματοποίησαν οι Ζερβουδάκης Κ. , Τσαφαράκης Σ. ,και Σοφαντζή Π[37]. Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως τα αποτελέσματα της σύγκρισής του με GA και SA δείχνουν ότι η προτεινόμενη υβριδική μέθοδος είναι ανώτερη από άποψη ακρίβειας, αποτελεσματικότητας και ταχύτητας σύγκλισης.

3.5 Αλγόριθμοι που βασίζονται στην προσομοίωση της διαδικασίας ζευγαρώματος (HBMO,BBMO)

Όπως έχει προαναφερθεί, η μέλισσα είναι ένα κοινωνικό έντομο που συνεργάζεται σε ένα πολύ δομημένο κοινωνικό σύνολο προκειμένου να ολοκληρωθούν διάφορα είδη εργασιών. Πιο συγκεκριμένα, οι εργασίες αυτές αφορούν το χορό της μέλισσας μέσω της οποίας επικοινωνούν, την αναζήτηση τροφής, τη βασίλισσα, την ανάθεση καθηκόντων, τη συλλογική λήψη αποφάσεων, την επιλογή τοποθεσίας φωλιών, το ζευγάρωμα λουλουδιών, και την πλοήγηση οι οποίες έχουν προσελκύσει την προσοχή των ανθρώπων. Με βάση αυτά τα χαρακτηριστικά, πολλά μοντέλα έχουν αναπτυχθεί για έξυπνα συστήματα και έχουν εφαρμοστεί για την επίλυση προβλημάτων συνδυαστικής βελτιστοποίησης. Οι αλγόριθμοι που βασίζονται στη συμπεριφορά των μελισσών χωρίζονται κυρίως σε δύο κατηγορίες ανάλογα με συγκεκριμένες διαδικασίες που εκείνες πραγματοποιούν κατά τη διάρκεια της ζωής τους. Οι διαδικασίες αυτές αφορούν τη συμπεριφορά των μελισσών κατά τη διάρκεια της αναζήτησης τροφής (foraging behaviour) και τη συμπεριφορά τους κατά τη διάρκεια του ζευγαρώματος (mating behaviour). Από την άλλη μεριά, Οι πιο σημαντικοί αλγόριθμοι που βασίζονται στη διαδικασία Ζευγαρώματος των μελισσών είναι ο αλγόριθμος Βελτιστοποίησης Ζευγαρώματος Μελισσών (Honey Bees Mating Optimization (HBMO)) που έχει προταθεί από τον Abbass και ο αλγόριθμος Βελτιστοποίησης Μπάμπουρων (Bumble Bees Mating Optimization (BBMO)) που έχει προταθεί από τον Μαρινάκη και συνεργάτες του[38].

3.5.1 Αλγόριθμος Βελτιστοποίησης Ζευγαρώματος Μελισσών (Honey Bees Mating Optimization (HBMO))

Ο Αλγόριθμος Βελτιστοποίησης Ζευγαρώματος Μελισσών (Honey Bees Mating Optimization) έχει εμφανιστεί τα τελευταία χρόνια και στηρίζεται στην ευφυία κάποιου σμήνους προσομοιώνοντας τη διαδικασία ζευγαρώματος της βασίλισσας των μελισσών στην κυψέλη[7].

Η διαδικασία ζευγαρώματος της βασίλισσας ξεκινά τη στιγμή που η βασίλισσα πετάει μακριά από τη φωλιά πραγματοποιώντας δηλαδή πτήση, ενώ παράλληλα οι κηφήνες θα την ακολουθήσουν ώστε να ζευγαρώσουν πετώντας. Οι μέλισσες ως κοινωνικά έντομα, δουλεύουν μαζί και κατασκευάζουν φωλιές οι οποίες ονομάζονται κυψέλες και μπορούν να περιλάβουν έως και 20000 άτομα μέσα στο διάστημα ενός καλοκαιριού.

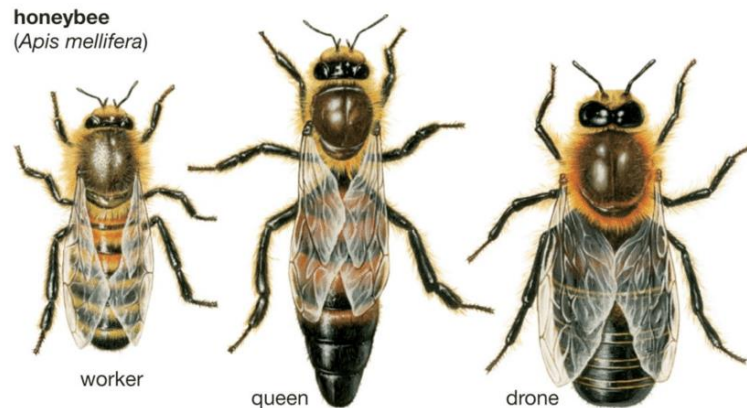
Η αποικία των μελισσών τις περισσότερες φορές απαρτίζεται από μία

βασίλισσα (queen), από κανέναν μέχρι αρκετές χιλιάδες κηφήνες (drones), ανάλογα με την περίοδο και από 10000 - 60000 εργάτριες (workers). Η ύπαρξη μίας και μόνον βασίλισσας είναι καθοριστικός παράγοντας για την κυψέλη (hive) η οποία έχει ως κύριο στόχο να γεννά αυγά. Το προσδόκιμο ζωής της βασίλισσας είναι πέντε με έξι έτη, ενώ στο διάστημα αυτό είναι ικανή να γεννά μέχρι και 1500 αυγά την ημέρα. Είναι η μοναδική στην κυψέλη που τρέφεται με βασιλικό πολτό (royal jelly) και μόνο, στον οποίον οφείλουν το μεγάλο μέγεθος, τη γονιμότητα και τη μακροβιότητά τους. Ως αποτέλεσμα αυτής της διαφορετικής διατροφής, οι βασίλισσες διαθέτουν κατά 2/3 μεγαλύτερη διάπλαση και ζουν για αρκετά μεγαλύτερο διάστημα συγκριτικά με οποιαδήποτε άλλη μέλισσα στην κυψέλη. Ταυτόχρονα, ενώ τα καθημερινά παραγόμενα αυγά έχουν μέγεθος ανάλογο με περίπου 3 φορές του όγκου τους[38].

Ο βασικός σκοπός της ύπαρξης του κηφήνα στην κυψέλη είναι η γονιμοποίηση της βασίλισσας. Το προσδόκιμο ζωής τους δεν ξεπερνά τους 6 μήνες. Αρχικά οι κηφήνες δεν διαθέτουν κεντρί, ούτε είναι ικανοί να συλλέξουν γύρη και να παράξουν μέλι λόγω της έλλειψης των αντίστοιχων οργάνων. Το βασικό μέλημα του κηφήνα είναι να γονιμοποιηθεί η βασίλισσα. Σε διάστημα μίας μελισσοκομικής χρονιάς, η κυψέλη μπορεί να διαθέτει μέχρι και 2000 κηφήνες. Επίσης η ύπαρξή τους συμβάλλει στο να ρυθμιστεί η θερμοκρασία στη φωλιά. Ακόμη κατά την περίοδο έντονης νεκταροέκκρισης, οι κηφήνες χρησιμοποιούνται και ως προσωρινές αποθήκες από νέκταρ. Έως την τέταρτη ημέρα της ζωής τους τρέφονται μέσω των εργατριών. Αργότερα το αναλαμβάνουν μόνοι τους, καταναλώνοντας διάφορες τροφές που έχουν αποθηκευτεί στο παρελθόν. Ύστερα από 4 ημέρες ξεκινά να πετά έξω από την κυψέλη. Και περίπου σε αυτό το διάστημα έχει τη δυνατότητα να αναπαραχθεί. Όμως όσο χειμωνιάζει, τόσο το υπόλοιπο μελίτσι διώχνει τους κηφήνες, ενώ προκειμένου να τους θανατώσουν σταματούν να τους παρέχουν προμήθειες. Η κίνηση αυτή αποδεικνύει το πνεύμα για οικονομία που δημιουργείται στην κοινωνία των μελισσών[38][vii].

Για την ομαλή λειτουργία της κυψέλης, απαραίτητη είναι και η ύπαρξη της εργάτριας, αφού εκείνη ασχολείται με όλες τις δουλειές. Στην πραγματικότητα προστατεύουν την κυψέλη και παρότι θηλυκού γένους, δεν μπορούν να γονιμοποιήσουν. Τα πρώτα χρόνια παραμένουν στη φωλιά και ασχολούνται με τα κατασκευαστικά αυτής και με εργασίες που αφορούν τα νεογνά και την παροχή φροντίδας αυτών. Οι γηραιότερες τροφοδοτούν τη φωλιά με νερό, γύρη και γενικά ό,τι άλλο χρειαστεί, κάνοντας επιδρομές εκτός αυτής. Εκείνες που γεννιούνται στις αρχές της σεζόν ζουν περίπου 50 ημέρες, σε αντίθεση με εκείνες που γεννιούνται το φθινόπωρο, ζουν περίπου 80.

Επομένως, στον αλγόριθμο βελτιστοποίησης ζευγαρώματος μελισσών υπάρχουν τριών ειδών μέλισσες στην αποικία, οι βασίλισσες, οι εργάτριες και οι κηφήνες, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 6: Η διαφορά μεγέθους μεταξύ εργάτριας βασίλισσας και κηφήνα.

Η διαδικασία κατά την οποία ζευγαρώνει η βασίλισσα λαμβάνει χώρα εκτός της κυψέλης και γίνεται στον αέρα. Ο χορός σηματοδοτεί το ξεκίνημα της πτήσης που κάνει η βασίλισσα, η οποία μόλις ξεκινήσει να πετά, ακολουθείται από τους κηφήνες προκειμένου να ζευγαρώσουν μαζί της και την καταδιώκουν. Το τέλος της γονιμοποίησης σηματοδοτεί ο θάνατος του κηφήνα ενώ η βασίλισσα είναι αντιληπτό πλέον πως έχει ζευγαρώσει. Εκείνη έχει την ικανότητα να ζευγαρώνει αρκετές φορές, σε αντίθεση με τους κηφήνες που μπορούν μία και μοναδική. Το σπέρμα των διαφορετικών κηφήνων το αποθηκεύει στη σπερματοθήκη της και έτσι δημιουργείται το dna της αποικίας. Ένα μίγμα του σπέρματος που είναι αποθηκευμένο στη σπερματοθήκη της βασίλισσας από το σύνολο των κηφήνων, χρησιμοποιείται από εκείνη για να γονιμοποιηθούν τα αυγά [38][vii].

Έτσι θεωρείται πως επρόκειτο για απλά ένα γενετικό αλγόριθμο με τη χρήση ενός πολύ ισχυρού υπεργονέα (τη βασίλισσα). Όμως δεν αποτελεί έναν απλό γενετικός, διότι διαφέρει σε δύο βασικά στοιχεία. Η κίνηση της βασίλισσας είναι ακαθόριστη, ενώ η ταχύτητα και η ενέργεια που διαθέτει, είναι αυτή που καθορίζει το ζευγάρι με τον κηφήνα. Στην περίπτωση που η βασίλισσα ζευγαρώνει με κάποιον κηφήνα και δεν δημιουργείται απευθείας κάποιο νεογνό, ο γονότυπος θα αποθηκευτεί στη σπερματοθήκη που διαθέτει. Ο μόνος τρόπος να δημιουργηθεί το νεογνό, είναι όταν η πτήση έχει τελειώσει. Η δεύτερη διαφοροποίηση είναι ότι το νεογνό προκύπτει σε μεγάλο βαθμό από τον κηφήνα, καθώς αποκτά αρκετά στοιχεία από αυτούς [7].

Παρακάτω περιγράφεται αναλυτικά ο αλγόριθμος. Η πρώτη ενέργεια είναι η επιλογή του πληθυσμού των μελισσών που συνθέτουν την κυψέλη. Τις περισσότερες φορές, οι αρχικές λύσεις διαλέγονται τυχαία, όπως και στους υπόλοιπους γενετικούς αλγορίθμους. Το πολυτιμότερο μέλος του αρχικού πληθυσμού αποτελεί η βασίλισσα και όλα τα υπόλοιπα μέλη είναι οι κηφήνες. Όταν οι εργάτριες δεν έχουν συμμετοχή σε πτήσεις όπου ζευγαρώνει η βασίλισσα, χρησιμοποιούνται ως μέθοδοι τοπικής αναζήτησης που θα επεξηγηθεί παρακάτω. Ο γονότυπος των μελισσών αποτελεί μία συγκεκριμένη λύση στο πρόβλημα, η οποία αναπαρίσταται από ένα n-διαστάσεων διάνυσμα

x_{ij} στο χώρο λύσεων όπου $i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, n$ (N είναι το μέγεθος του πληθυσμού, n είναι ο αριθμός των διαστάσεων), και η απόδοσή της καταμετράται μέσω μίας προκαθορισμένης συνάρτησης ποιότητας (fitness function - $f(x_{ij})$)[38].

Προτού το ξεκίνημα των πτήσεων για το ζευγάρωμα, ο χρήστης καλείται να ορίσει τον αριθμό που θα προσδιορίζει το μέγεθος της σπερματοθήκης της βασίλισσας. Εκείνος προσδιορίζει το μέγιστο αριθμό ζευγαρωμάτων που μπορεί να κάνει η βασίλισσα σε μία μόνο πτήση ζευγαρώματος. Όταν ζευγαρώνει η βασίλισσα με κάποιον από τους κηφήνες ο γονότυπος εκείνου εκχωρείται στη σπερματοθήκη έως ότου να συμπληρωθεί, όπου τερματίζει και η διαδικασία της πτήσης. Οι επόμενοι παράμετροι που πρέπει να καθορίσει είναι ο αριθμός των βασιλισσών και εκείνος των απογόνων που γεννιούνται από το σύνολο των βασιλισσών. Σε αρκετές εφαρμογές έχουν χρησιμοποιηθεί περισσότερες βασίλισσες, κάτι που δεν ανταποκρίνεται στη φύση, αφού κάθε φωλιά διαθέτει μόνο μια. Με αυτόν τον τρόπο, για αλγοριθμικούς λόγους μας επιτρέπεται η χρήση περισσότερων βασιλισσών, αν και η κατάλληλη επιλογή είναι εκείνη που ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα. Ο αριθμός των νεογνών μπορεί να ξεπερνά το μέγεθος της σπερματοθήκης ή να είναι μικρότερο ή και να ισούται με αυτή. Η πρώτη περίπτωση συμβαίνει διότι το νεογνό όπως προαναφέρθηκε, λαμβάνει γονότυπο από πολλούς κηφήνες, το dna των οποίων βρίσκεται στη σπερματοθήκη.

Αργότερα όταν ξεκινήσει η πτήση για το ζευγάρωμα δημιουργείται ένα σύνολο μεταβάσεων στο χώρο λύσεων, με τη βασίλισσα να κινείται από τη μία κατάσταση στην άλλη συγκεκριμένη ταχύτητα και ζευγαρώνει με κάποια πιθανότητα με τον κηφήνα που βρίσκεται στη συγκεκριμένη κατάσταση. Στην αρχή, η βασίλισσα ξεκινάει με προκαθορισμένη ενέργεια και όταν αυτή εξαντληθεί, γυρίζει στη φωλιά. Η τιμή της κυμαίνεται από το μηδέν, μέχρι το μέγιστη τιμή της σπερματοθήκης. Το πόσο πιθανό είναι να προκύψει ζευγάρωμα μεταξύ κηφήνα και βασίλισσας το καθορίζει ο ακόλουθος τύπος:

$$Prob(D) = e^{\left[\frac{-\Delta(f)}{Speed(t)}\right]}$$

όπου το $Prob(D)$ αποτελεί την πιθανότητα πρόσθεσης σπέρματος από τον κηφήνα D στη σπερματοθήκη της βασίλισσας (δηλαδή είναι η πιθανότητα να ζευγαρώσει η βασίλισσα με τον κηφήνα που συναντήθηκαν κατά τη των πτήσεων), $\Delta(f)$ είναι η διαφορά στην τιμή της συνάρτησης ποιότητας της βασίλισσας και του κηφήνα D και $Speed(t)$ θεωρείται η ταχύτητά της τη χρονική στιγμή t . Η πιθανότητα του ζευγαρώματος είναι υψηλή όσο η βασίλισσα είναι κοντά στο ξεκίνημα των πτήσεων ή όταν η συνάρτηση ποιότητας του κηφήνα είναι περίπου τόσο καλή όσο της βασίλισσας, τότε η πιθανότητα να πραγματοποιηθεί ζευγάρωμα είναι μεγαλύτερη [7]. Καθώς εκείνη μεταβαίνει από μέρος σε μέρος, η ταχύτητά της και η ενέργειά της ελαττώνονται βάσει των παρακάτω τύπων:

$$Speed(t + 1) = \alpha \times Speed(t)$$

$$energy(t + 1) = energy(t) - step$$

όπου το α αποτελεί ένα παράγοντα στο διάστημα (0,1) που φανερώνει τη μείωση της ταχύτητας σε κάθε μετάβαση. Στην περίπτωση υψηλών τιμών του α , πραγματοποιείται αργή μείωση της ταχύτητας, ενώ στην αντίθετη περίπτωση, η ταχύτητα υπόκειται γρήγορη μείωση. Μέσω του $step$, φανερώνεται το πόσο ελαττώνεται σε κάθε μετάβαση η ενέργεια. Συμβαίνει σε διάφορες υλοποιήσεις του αλγορίθμου αντί αυτής της εξίσωσης, να χρησιμοποιείται ένας τύπο της παρακάτω μορφής ώστε η μείωση της ταχύτητας και της ενέργειας να είναι ανάλογες:

$$energy(t + 1) = \alpha \times energy(t)$$

Στην αρχή, γίνεται αρχικοποίηση της ταχύτητας και της ενέργειας της βασίλισσας με τυχαίο τρόπο. Ένας αριθμός από πτήσεις ζευγαρώματος πραγματοποιείται. Η βασίλισσα ξεκινά με υψηλή ταχύτητα με αποτέλεσμα να κάνει αρκετά μεγάλες μετακινήσεις στο χώρο. Όμως όσο η ενέργειά της πέφτει, η ταχύτητά της ελαττώνεται, κάτι που συντελεί στη μείωση των δυνατοτήτων ως προς την αναζήτηση. Ο γονότυπος του κηφήνα που είναι αποθηκευμένος στη σπερματοθήκη της βασίλισσας διασταυρώνεται με αυτόν της βασίλισσας χρησιμοποιώντας οποιοδήποτε τελεστή διασταύρωσης που έχει την ικανότητα να μπορεί να χρησιμοποιήσει παραπάνω από δύο γονείς. Έχουν προταθεί αρκετοί διαφορετικοί τελεστές διασταύρωσης από κλασικούς τελεστές έως και αρκετά πιο σύνθετους[38][7].

Ένας τελεστής διασταύρωσης για τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης ζευγαρώματος μελισσών που έχει προταθεί είναι και ο ακόλουθος. Έστω ότι ο γονότυπος ενός κηφήνα είναι:

$$D1 \mid 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1$$

Μαρκάρονται με κάποιο τυχαίο τρόπο κάποια στοιχεία (στην επόμενη εικόνα συμβολίζονται με m τα μαρκαρισμένα και με u τα μη μαρκαρισμένα)

$$D1 \mid u \ u \ m \ u \ m \ m \ m \ u \ u \ m$$

Έστω ότι η λύση της βασίλισσας είναι η ακόλουθη:

$$Q \mid 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0$$

Διαγράφουμε τα στοιχεία του κηφήνα που είναι μαρκαρισμένα

και στη θέση τους τοποθετούνται τα αντίστοιχα στοιχεία της βασίλισσας.

$$D1 \mid 1 \ 0 \ - \ 0 \ - \ - \ - \ 0 \ 0 \ -$$

Οπότε ο απόγονος είναι ο ακόλουθος:

$$B1 \mid 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0$$

Με στόχο να χρησιμοποιηθεί καλύτερα το γεγονός ότι κάθε μία βασίλισσα μπορεί να αποκτήσει γονότυπο από παραπάνω από ένα κηφήνες για τη δημιουργία του κάθε απογόνου, έχει προταθεί ένας τελεστής διασταύρωσης που βασίζεται σε μία προσαρμοστική μνήμη[38].

Αρχικά τα κοινά χαρακτηριστικά της βασίλισσας και των κηφήνων κληρονομούνται σε κάποιο απόγονο. Στη συνέχεια χρησιμοποιείται η προσαρμοστική μνήμη. Η προσαρμοστική μνήμη προτάθηκε από τους Rochat και Taillard ως μέρος ενός αλγορίθμου περιορισμένης αναζήτησης για την επίλυση ενός προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων. Κάθε φορά που βρίσκεται μία καλή λύση η προσαρμοστική μνήμη ενημερώνεται. Στην αρχή, φυσικά, η προσαρμοστική μνήμη είναι άδεια. Για να εισέλθει μία λύση στην προσαρμοστική μνήμη μία από τις τρεις ακόλουθες συνθήκες θα πρέπει να ισχύει:

1. Η υποψήφια για την προσαρμοστική μνήμη είναι μία προηγούμενη βασίλισσα (καλύτερη λύση) και η τιμή της αντικειμενικής της συνάρτησης είναι το πολύ 10% χειρότερη από την τρέχουσα βέλτιστη λύση.
2. Η υποψήφια για την προσαρμοστική μνήμη είναι μέλος του πληθυσμού (όχι η βασίλισσα) και η τιμή της αντικειμενικής της συνάρτησης είναι το πολύ 10% χειρότερη από την τρέχουσα λύση.
3. Μία ακολουθία από τιμές στο διάνυσμα λύσεων της βασίλισσας και των κηφήνων είναι ίδιες.

Τα σημεία επιλέγονται τυχαία είτε από την προσαρμοστική μνήμη, είτε από τους κηφήνες που ο γονότυπός τους έχει επιλεγεί για τη σπερματοθήκη της βασίλισσας, είτε από τη βασίλισσα. Έτσι, πρέπει να οριστούν δύο παράμετροι που ελέγχουν τον τελεστή διασταύρωσης ($Cr1$ και $Cr2$). Αυτοί οι αριθμοί ελέγχουν την αναλογία των σημείων που θα επιλεγούν από την προσαρμοστική μνήμη, από τους κηφήνες και από τη βασίλισσα. Εάν υπάρχουν κοινά σημεία στην προσαρμοστική μνήμη σε όλους τους κηφήνες και τη βασίλισσα τότε αυτά κληρονομούνται στο νεογνό, αλλιώς οι τιμές των $Cr1$ και $Cr2$ συγκρίνονται με το εξαγόμενο μίας γεννήτριας τυχαίων αριθμών $rand_i(0,1)$. Εάν ο τυχαίος αριθμός είναι μικρότερος ή ίσος από το $Cr1$ το αντίστοιχο στοιχείο επιλέγεται από τη βασίλισσα, εάν ο τυχαίος αριθμός είναι μεταξύ των $Cr1$ και $Cr2$ τότε επιλέγεται με τυχαίο τρόπο από μία από τις εκλεκτές λύσεις που αποτελούν την προσαρμοστική μνήμη, αλλιώς επιλέγεται τυχαία από τις λύσεις των κηφήνων[7]. Έτσι, αν με $b_{ij}(t)$ συμβολίσουμε τη λύση του απογόνου i (t είναι ο αριθμός της επανάληψης και j είναι η διάσταση του προβλήματος ($j = 1; \dots; n$), η λύση της βασίλισσας συμβολίζεται με $qj(t)$, οι λύσεις από την προσαρμοστική μνήμη συμβολίζονται με $ad_{ij}(t)$ και οι λύσεις των κηφήνων συμβολίζονται με $dkj(t)$ τότε έχουμε:

$$b_{ij}(t) = \begin{cases} q_j(t), & \text{εάν } rand_i(0, 1) \leq Cr_1 \\ ad_{ij}(t), & \text{εάν } Cr_1 < rand_i(0, 1) \leq Cr_2 \\ dk_j(t), & \text{αλλιώς.} \end{cases}$$

Σε κάθε επανάληψη η προσαρμοστική μνήμη ενημερώνεται βάσει της

καλύτερης λύσης, οπότε κάποιες λύσεις που ανήκαν στην προσαρμοστική μνήμη διαγράφονται αν δεν πληρούν πλέον μία από τις τρεις προϋποθέσεις που περιγράψαμε προηγούμενα[38][7].

Ο ρόλος των εργατριών περιορίζεται σε μία απλή διαδικασία τοπικής αναζήτησης, που στην ουσία παίζει το ρόλο του ταΐσματος των νεογνών με βασιλικό πολτό με στόχο να βρεθεί μία καλύτερη βασίλισσα. Για αυτό το λόγο οι εργάτριες δεν είναι ξεχωριστά μέλη του πληθυσμού αλλά χρησιμοποιούνται ως διαδικασίες τοπικής αναζήτησης με στόχο να βελτιωθούν οι λύσεις που βρέθηκαν από τη διαδικασία ζευγαρώματος της βασίλισσας.

Θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μία μόνο τοπική αναζήτηση για κάθε απόγονο. Αν όμως γίνει στην πραγματικότητα αυτό, τότε δεν θα εκμεταλλευτούμε το γεγονός ότι κάθε εργάτρια διαθέτει ξεχωριστές ιδιότητες που καθιστά την επιλογή μίας εργάτριας πολύ σημαντική για τη βελτίωση της λύσης του νεογνού. Οι διαφορετικές ικανότητες των εργατριών αντιστοιχούν σε διαφορετικές διαδικασίες τοπικής αναζήτησης, ανάλογα με το πρόβλημα που επιλύουμε. Επομένως, ξεκινώντας ο αλγόριθμος, θα πρέπει να έχει ήδη καθοριστεί το σύνολο των διαδικασιών τοπικής αναζήτησης και να έχουν αντιστοιχιστεί όλες οι εργάτριες σε μία διαδικασία τοπικής αναζήτησης ή σε περισσότερες διαδικασίες τοπικής αναζήτησης. Η επιλογή από το νεογνό για το ποια εργάτρια θα το θρέψει, δηλαδή ποια μέθοδος τοπικής αναζήτησης θα εφαρμοστεί μπορεί να γίνει με τυχαίο τρόπο ή με μία πιο συγκεκριμένη διαδικασία. Για παράδειγμα ο καλύτερος νεογνός να λάβει τροφή μέσω της ισχυρότερης εργάτριας (αποτελεσματικότερη διαδικασία τοπικής αναζήτησης) [29][7].

Ένας άλλος τρόπος που έχει προταθεί για τη διαδικασία τροφής των νεογνών, ο οποίος είναι κατάλληλος μόνο για προβλήματα συνεχούς βελτιστοποίησης, είναι ο ακόλουθος. Ο κάθε απόγονος j επιλέγεται να τραφεί αν ένας τυχαίος αριθμός Rj είναι μικρότερος από ένα προκαθορισμένο δείκτη Pc . Ο τύπος που δίνει τη διαδικασία τροφής είναι:

$$b_{ij}(t) = q_j(t) \pm \beta(d_{kj} - q_j(t))$$

Επίσης, υπάρχει μία διαδικασία βελτίωσης της τιμής του κάθε απογόνου σύμφωνα με την οποία αν ένας τυχαίος αριθμός Ri είναι μικρότερος από έναν προκαθορισμένο δείκτη Pm τότε εφαρμόζεται μία διαδικασία μετάλλαξης σε κάθε απόγονο:

$$b_{ij}(t) = b_{ij}(t) \pm (\delta + \epsilon) \times b_{ij}(t)$$

όπου οι τιμές του ϵ ανήκουν στο διάστημα $(0,1)$ και είναι προκαθορισμένες ενώ οι τιμές των β, δ που ανήκουν στο διάστημα $(0,1)$ επιλέγονται τυχαία για κάθε απόγονο σε κάθε επανάληψη.

Αν από τις διαδικασίες που περιγράφηκαν ως τώρα βρεθεί ένα νεογνό που έχει καλύτερη λύση από τη βασίλισσα, τότε την αντικαθιστά και η τρέχουσα βασίλισσα φεύγει από την κυψέλη. Όλοι οι υπόλοιποι νεογνοί θα

είναι οι κηφήνες στην επόμενη πτήση ζευγαρώματος της νέας βασίλισσας. Ο πληθυσμός των κηφήνων είναι αμετάβλητος διότι όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, στην περίπτωση που ο κηφήνας επιλεγεί για ζευγάρωμα με τη βασίλισσα σε μία πτήση ζευγαρώματος, απευθείας θανατώνεται και επομένως διαγράφεται από το υπόλοιπο σύνολο. Στην περίπτωση που ο αριθμός των απογόνων είναι ξεπερνά σε αριθμό τους κηφήνες που έχουν διαγραφεί σε μία πτήση ζευγαρώματος, τότε θα επιλεγεί ίδιος αριθμός κηφήνων για την επόμενη πτήση με τον αρχικό πληθυσμό. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένας αλγόριθμος υπό μορφή ψευδοκώδικα της μεθόδου[29].

Αλγόριθμος Βελτιστοποίηση Ζευγαρώματος Μελισσών

Αρχικοποίηση

Δημιουργία αρχικού πληθυσμού

Επιλογή βέλτιστου μέλους του πληθυσμού για βασίλισσα

Επιλογή μέγιστου αριθμού από πτήσεις ζευγαρώματος (M)

do while $i \leq M$

 Αρχικοποίηση της σπερματοθήκης, της ενέργειας

 και της ταχύτητας της βασίλισσας

 Επιλογή α και $step$

do while $energy > 0$ και $spermatheca$ δεν είναι γεμάτη

 Επιλογή ενός κηφήνα

if γίνει το ζευγάρωμα με τον κηφήνα **then**

Πρόσθεσε το σπέρμα του κηφήνα στη σπερματοθήκη

Διαγραφή του κηφήνα από τον πληθυσμό

endif

$Speed(t + 1) = \alpha \times Speed(t)$

$energy(t + 1) = energy(t) - step$

enddo

do $j = 1; Size\ of\ spermatheca$

 Επιλογή μίας ποσότητας σπέρματος από τη σπερματοθήκη

 Δημιουργία ενός νεογνού με τη χρήση τελεστή διασταύρωσης

 Επιλογή μίας εργάτριας

```

    Βελτίωση της λύσης του νεογνού με τη χρήση της εργάτριας
    if η λύση του νεογνού είναι καλύτερη
    από τη βασίλισσα then
        Αντικατέστησε τη βασίλισσα με το νεογνό
        Διαγραφή της παλιάς βασίλισσας από τον πληθυσμό
    else
        Πρόσθεσε το νεογνό στον πληθυσμό με τους κηφήνες
    endif
enddo
enddo

```

Επιστροφή Βασίλισσας (Εύρεση Βέλτιστης Λύσης).

3.5.2 Αλγόριθμος Βελτιστοποίησης Ζευγαρώματος Μπάμπουρων (Bumble Bees Mating Optimization (BBMO))

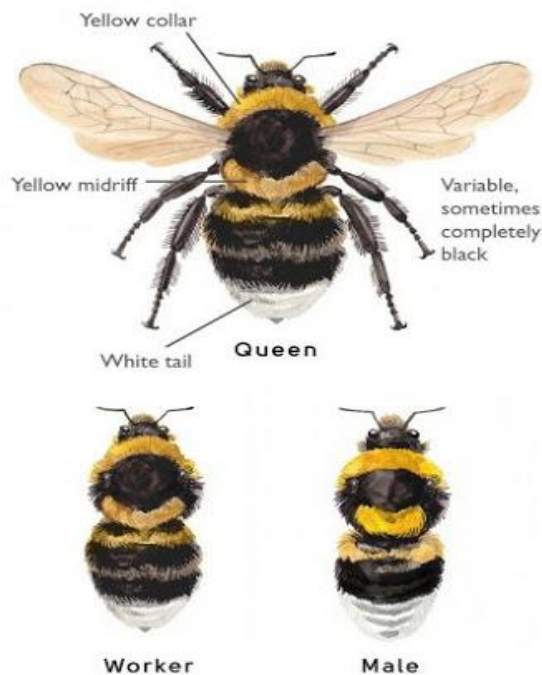
Τα τελευταία χρόνια παρουσιάστηκε ένας αλγόριθμος που βασίζεται στη συμπεριφορά των μπάμπουρων κατά τη διαδικασία του ζευγαρώματος. Ο αλγόριθμος ονομάζεται Αλγόριθμος Βελτιστοποίησης ζευγαρώματος Μπάμπουρων (Bumble Bees Mating Optimization) και προσομοιώνει τη διαδικασία ζευγαρώματος της βασίλισσας των μπάμπουρων στην κυψέλη. Από τότε που προτάθηκε έχει εφαρμοστεί σε πάρα πολλές εφαρμογές. Οι μπάμπουρες, όπως και οι μέλισσες είναι κοινωνικά έντομα με σκοπό τη δημιουργία αποικιών που αποτελούνται από τη βασίλισσα (queen), πολλές εργάτριες (workers(females)) και τους κηφήνες (drones (males)).

Το μόνο μέλος που καταφέρνει να επιβιώσει στη φωλιά πάνω από ένα χρόνο είναι η βασίλισσα, αφού περνά τους χειμερινούς μήνες σε χειμερία νάρκη σε χώρο με προστασία. Όταν οι βασίλισσες ξυπνήσουν από τη χειμερία νάρκη αναλαμβάνουν τη συλλογή γύρης και νέκταρ και στη συνέχεια βρίσκουν το κατάλληλο μέρος για να προετοιμάσουν την φωλιά όπου θα αποθηκεύσουν τροφή, ενώ παράλληλα δημιουργούν τα κελιά στα οποία θα γεννήσουν τα αυγά τους. Η βασίλισσα μπορεί να γεννήσει γονιμοποιημένα και μη-γονιμοποιημένα αυγά. Τα πρώτα κατέχουν χρωμοσώματα από τη βασίλισσα και από ένα ή περισσότερους κηφήνες, οι οποίοι την είχαν γονιμοποιήσει στο παρελθόν, και παράγουν τις εργάτριες. Τα μη-γονιμοποιημένα έχουν χρωμοσώματα εξολοκλήρου της βασίλισσας και παράγουν τους κηφήνες. Αφού δημιουργηθούν οι πρώτες εργάτριες, η βασίλισσα δεν σταματά να ψάχνει τροφή και παραμένει στην κυψέλη απλά γεννώντας νές αυγά. Ένα μέρος των εργατριών είναι εκείνο που θα αναλάβει την αναζήτηση των τροφών εκτός της κυψέλης και κάποιες άλλες παραμένουν στην κυψέλη προκειμένου να αναθρέψουν τα νεογνά [38][iii].

Οι εργάτριες έχουν την ικανότητα παραγωγής απλοειδών αυγών χωρίς τη διαδικασία γονιμοποίησης τη χρονική στιγμή που η βασίλισσα θα πάψει να παράγει με γρήγορο ρυθμό. Από αυτά τα αυγά μπορούν να προέλθουν μόνο κηφήνες. Όταν οι κηφήνες εγκαταλείψουν την κυψέλη, αναδεικνύονται οι καινούριες βασίλισσες από τα αυγά που έχει γεννήσει η προηγούμενη. Όταν οι κηφήνες και οι νέες βασίλισσες φύγουν από την κυψέλη, η αποικία ξεκινά να εκφυλίζεται. Η παλιά βασίλισσα σταματάει να γεννάει αυγά και αρχίζει να γίνεται αδύναμη λόγω των γηρατειών. Οι εργάτριες εξακολουθούν να ψάχνουν για τροφή αλλά όχι για ολόκληρη την κυψέλη. Μακριά από την κυψέλη οι νέες βασίλισσες και οι κηφήνες αναζητούν νέκταρ και γύρη και περνούν τις νύχτες σε λουλούδια ή σε τρύπες. Η βασίλισσα ζευγαρώνει με κάποιον ή κάποιους κηφήνες, το σπέρμα αποθηκεύεται στην σπερματοθήκη και η βασίλισσα αναζητά ένα μέρος για να ξεχειμωνιάσει [viii].

Στους μπάμπουρες υπάρχουν τρία διαφορετικά είδη διαδικασιών ζευγαρώματος:

- Στην πρώτη διαδικασία ένας κηφήνας κάθεται σε κάποιο ψηλό σημείο παρατηρώντας το χώρο, αναμένοντας τη βασίλισσα να περάσει από κάποιο κοντινό σημείο ώστε να ξεκινήσει το κυνηγητό που αποσκοπεί στο ζευγάρωμα.
- Η δεύτερη συμπεριφορά είναι όταν ο κηφήνας δημιουργεί ένα μονοπάτι που έχει ορισμένη οσμή το οποίο είναι μαρκαρισμένο με μία φερομόνη ώστε να έλκει τη βασίλισσα στο δικό του χώρο, αφήνοντας το στίγμα του.
- Η τρίτη συμπεριφορά είναι όταν ο κηφήνας αναμένει εκτός της κυψέλης τη βασίλισσα να φύγει για να την ακολουθήσει.



Εικόνα 7: Η διαφορά μεγέθους μεταξύ εργάτριας βασίλισσας και κηφήνα.

Στον αλγόριθμο βελτιστοποίησης ζευγαρώματος μπάμπουρων υπάρχουν τριών ειδών μπάμπουρες στην αποικία, οι βασίλισσες, οι εργάτριες και οι κηφήνες, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

Αρχικά, ένας αριθμός μπάμπουρων επιλέγεται με τυχαιότητα. Κάθε μπάμπουρας αντιπροσωπεύει μία λύση του προβλήματος. Άρα το σύνολο των μπάμπουρων είναι το σύνολο των λύσεων που αναζητάται. Έστω ότι με n συμβολίζουμε το συνολικό αριθμό των μεταβλητών. Οι μπάμπουρες αναπαρίστανται με διανύσματα μεγέθους n . Σύμφωνα με τον Ι.Μαρινάκης και συνεργάτες, ανάλογα με το πρόβλημα που έχει επιλυθεί, οι μπάμπουρες παίρνουν και αντίστοιχες αρχικές τιμές. Για παράδειγμα, στην περίπτωση ύπαρξης συνεχών τιμών στο πρόβλημα, εντός του διαστήματος $(0,1)$ τότε οι αρχικές τιμές των λύσεων είναι τυχαίες τιμές σε αυτό το διάστημα. Αν έχουμε ένα πρόβλημα, για παράδειγμα επιλογής χαρακτηριστικών όπου το 1 αντικατοπτρίζει την επιλογή του χαρακτηριστικού, ενώ το 0 την αντίθετη περίπτωση, τότε οι μπάμπουρες παίρνουν ακέραιες τιμές 0 ή 1 [6]. Αντίθετα στην περίπτωση δρομολόγησης όπου μία λύση παρουσιάζεται με μία διαδρομή τότε η κάθε μία λύση αναπαρίσταται με τη διαδρομή που αντιστοιχεί στη λύση [38].

Συνεχίζοντας, γίνεται ο υπολογισμός της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης του κάθε μπάμπουρα και ο καλύτερος μπάμπουρας παίρνει τη θέση της βασίλισσας. Στη φάση αρχικοποίησης του αλγορίθμου όλοι οι άλλοι μπάμπουρες γίνονται κηφήνες. Ακολουθεί η επιλογή των κηφηνών από τη βασίλισσα που θα χρησιμοποιήσει για να ζευγαρώσει με τη δεύτερη συμπεριφορά που περιγράφηκε παραπάνω, που υποθέτει ότι οι καλύτεροι κηφήνες αφήνουν περισσότερη φερομόνη στο μονοπάτι τους και ότι η βασίλισσα επιλέγει τα πιο ελπιδοφόρα μονοπάτια. Ένας απλός τρόπος να πραγματοποιηθεί η διαδικασία είναι ταξινομώντας τις τιμές των

αντικειμενικών συναρτήσεων από όλους τους κηφήνες. Κάθε φορά που η βασίλισσα ζευγαρώνει με κάποιον κηφήνα, ο γονότυπος του κηφήνα αποθηκεύεται στη σπερματοθήκη της μέχρι να επιτευχθεί ένας μέγιστος αριθμός από ζευγαρώματα (ο μέγιστος αριθμός από ζευγαρώματα είναι μία μεταβλητή που καθορίζεται από τον χρήστη). Συνεχίζοντας, η βασίλισσα αναζητά την εύρεση ενός μέρους για να πέσει σε χειμερία νάρκη και τον επόμενο χρόνο (ο ένας χρόνος αντιστοιχεί σε μία επανάληψη) να βρει ένα μέρος ώστε να κατασκευάσει τη φωλιά της και να ξεκινήσει να γεννά αυγά [38][viii].

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, τρία είναι τα είδη μπαμπούρων που η βασίλισσα γεννά: νέες βασίλισσες, εργάτριες και κηφήνες. Τα πρώτα δύο είδη δημιουργούνται διασταυρώνοντας το γονότυπο της βασίλισσας με το γονότυπο των κηφήνων χρησιμοποιώντας έναν οποιοδήποτε τελεστή διασταύρωσης. Προκειμένου να εκμεταλλευτεί η δυνατότητα της βασίλισσας να δημιουργεί μία λύση με τη χρήση στοιχείων πολλών κηφήνων, συνήθως γίνεται η χρήση του ακόλουθου τελεστή διασταύρωσης, όπου τα σημεία επιλέγονται στην τύχη από τη βασίλισσα και τυχαία από ένα από τους κηφήνες. Έτσι, πρέπει να οριστεί μία παράμετρος που ελέγχει τον τελεστή διασταύρωσης ($Cr1$) που καθορίζει την αναλογία των σημείων που θα επιλεγούν από τους κηφήνες και από τη βασίλισσα. Η τιμή του $Cr1$ συγκρίνεται με το εξαγόμενο μίας γεννήτριας τυχαίων αριθμών, $rand_i(0,1)$. Εάν ο τυχαίος αριθμός είναι μικρότερος ή ίσος από το $Cr1$ το αντίστοιχο στοιχείο επιλέγεται από τη βασίλισσα, αλλιώς επιλέγεται τυχαία από τις λύσεις των κηφήνων. Έτσι, αν με $b_{ij}(t)$ συμβολίσουμε τη λύση του απογόνου i (t είναι ο αριθμός της επανάληψης και j είναι η διάσταση του προβλήματος ($j=1, \dots, n$)), η λύση της βασίλισσας συμβολίζεται με $qj(t)$ και οι λύσεις των κηφήνων συμβολίζονται με $dkj(t)$ τότε έχουμε:

$$b_{ij}(t) = \begin{cases} q_j(t), & \text{εάν } rand_i(0,1) \leq Cr1 \\ dk_j(t), & \text{αλλιώς.} \end{cases}$$

Οι ισχυρότεροι απόγονοι επιλέγονται για νέες βασίλισσες και οι υπόλοιπες γίνονται εργάτριες. Οι νέες βασίλισσες θα πρέπει να είναι ίσες με το μέγιστο αριθμό των βασιλισσών (παράμετρος του αλγορίθμου). Στην αρχή οι νέες βασίλισσες τρέφονται μόνο μέσω των παλιών βασιλισσών και μετά και από τις εργάτριες. Όσο προχωράει η διαδικασία της τροφής τρέφονται όλο και περισσότερο από τις εργάτριες και σχεδόν καθόλου από τις βασίλισσες[29][6].

Αυτή η διαδικασία εφαρμόζεται στην προσπάθεια να προσομοιωθεί η πραγματική συμπεριφορά στη φύση των μπάμπουρων σύμφωνα με την οποία, η τροφή τους προκύπτει από τη βασίλισσα, ενώ αργότερα τρέφονται και από τους δύο μέχρι να αρχίσει η βασίλισσα να γίνεται αδύναμη ώστε να αδυνατεί να προσφέρει σε τροφή. Όλη αυτή η διαδικασία πραγματοποιείται με την παρακάτω εξίσωση η οποία λειτουργεί ως φάση τοπικής αναζήτησης όπου κάθε νέα βασίλισσα επιλέγει ποιος θα τη θρέψει.

$$nq_{ij} = nq_{ij} + (b_{max} - \frac{(b_{max} - b_{min}) * lsi}{lsi_{max}}) * (nq_{ij} - q_j) +$$

$$\frac{1}{M} * \sum_{k=1}^M (b_{min} - \frac{(b_{min} - b_{max}) * lsi}{lsi_{max}}) * (nq_{ij} - w_{kj})$$

όπου με nq_{ij} συμβολίζεται η λύση της νέας βασίλισσας i , q_j είναι η λύση της παλιάς βασίλισσας, w_{kj} είναι η λύση των εργατριών, M είναι ο αριθμός των εργατριών που κάθε νέα βασίλισσα επιλέγει να τη θρέψουν και είναι διαφορετικός για κάθε βασίλισσα, b_{max} και b_{min} είναι δύο παράμετροι που οι τιμές τους βρίσκονται στο διάστημα (0,1) και καθορίζουν αν η νέα βασίλισσα τραφεί από την παλιά βασίλισσα, από τις εργάτριες ή και από τις δύο, lsi είναι η τρέχουσα επανάληψη της τοπικής αναζήτησης και lsi_{max} είναι ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων τοπικής αναζήτησης [viii].

Αρχικά, οι καινούριες βασίλισσες τρέφονται μέσω της παλιάς βασίλισσας αλλά καθώς αυξάνονται οι επαναλήψεις της τοπικής αναζήτησης, μόνο οι εργάτριες τρέφουν τις καινούριες βασίλισσες. Η κατάλληλη επιλογή των τιμών b_{max} και b_{min} ελέγχει τη διαδικασία τροφής. Για την επίτευξη της διαδικασίας κρίνεται ναγκαία η επιλογή για το b_{max} μίας μεγάλης τιμής και για το b_{min} μίας τιμής σχεδόν ίσης με το 0. Συνεχίζοντας, οι νέες βασίλισσες εγκαταλείπουν[6].

Η παραγωγή των κηφηνών προκύπτει μέσω της μετάλλαξης του γονότυπου της παλιάς βασίλισσας ή μέσω της μετάλλαξης του γονότυπου των εργατριών. Ανάλογα με το πρόβλημα χρησιμοποιείται διαφορετικός τελεστής μετάλλαξης. Για συνεχή προβλήματα ή για δυαδικά προβλήματα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μία τυχαία αλλαγή σε κάποιο ή κάποια από τα στοιχεία του διανύσματος. Όμως, αν επρόκειτο για ένα πιο δύσκολο πρόβλημα, όπως για παράδειγμα το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων στη θέση της μετάλλαξης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μία διαδικασία τοπικής αναζήτησης. Ο αριθμός των κηφηνών ανά αποικία υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\text{number of drones per colony} = \frac{\text{total number of drones}}{\text{number of queens}}$$

Οι κηφίνες, στη συνέχεια, φεύγουν από την κυψέλη και αναζητούν νέες βασίλισσες για να ζευγαρώσουν. Όταν οι κηφίνες πραγματοποιούν πτήση μακριά από τη φωλιά κινούνται σε σχηματισμό σμήνους με στόχο να βρουν το βέλτιστο μέρος, ώστε να βρεθούν από τις νέες βασίλισσες σύμφωνα με τα μαρκαρισμένα μονοπάτια τους. Η κίνηση των κηφηνών μακριά από την

$$d_{ij} = d_{ij} + \alpha * (d_{kj} - d_{ij})$$

κυψέλη υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

όπου τα d_{ij} , d_{kj} και d_{lj} είναι οι λύσεις των κηφηνών i , k , l αντίστοιχα και α είναι μία παράμετρος που καθορίζει το ποσοστό που ο κηφήνας i επηρεάζεται από τους κηφίνες k και l . Η νέα βασίλισσα επιλέγει τους κηφίνες με τη διαδικασία που περιγράφηκε προηγουμένως. Στην επόμενη επανάληψη, οι καλύτερα

γονιμοποιημένες βασίλισσες επιβιώνουν και όλα τα υπόλοιπα μέλη του πληθυσμού πεθαίνουν. Οι κύριες διαφορές ανάμεσα στον αλγόριθμο βελτιστοποίησης ζευγαρώματος μελισσών και στον αλγόριθμο βελτιστοποίησης ζευγαρώματος μπάμπουρων είναι οι ακόλουθες[38][6][viii].

- Στον αλγόριθμο βελτιστοποίησης ζευγαρώματος μπάμπουρων οι εργάτριες είναι διαφορετικές λύσεις ενώ στον αλγόριθμο βελτιστοποίησης ζευγαρώματος μελισσών είναι φάσεις τοπικής αναζήτησης. Αυτό βοηθάει την ικανότητα του αλγορίθμου βελτιστοποίησης ζευγαρώματος μπάμπουρων για αναζήτηση σε διαφορετικά σημεία του χώρου αναζήτησης.
- Στον αλγόριθμο βελτιστοποίησης ζευγαρώματος μπάμπουρων μετά τη φάση του ζευγαρώματος της βασίλισσας παράγονται τρία διαφορετικά είδη μπάμπουρων, οι νέες βασίλισσες και οι εργάτριες (με τη χρήση ενός τελεστή διασταύρωσης) και οι κηφήνες (με τη χρήση ενός τελεστή μετάλλαξης). Από την άλλη, στον αλγόριθμο βελτιστοποίησης ζευγαρώματος μελισσών μετά τη φάση του ζευγαρώματος με τη βασίλισσα δύο είδη μελισσών παράγονται, η βασίλισσα και οι κηφήνες (και οι δύο με τη χρήση ενός τελεστή διασταύρωσης). Ο τελεστής μετάλλαξης στον αλγόριθμο βελτιστοποίησης ζευγαρώματος μπάμπουρων βοηθάει στο να παραχθούν τελείως διαφορετικές λύσεις.
- Στον αλγόριθμο βελτιστοποίησης ζευγαρώματος μπάμπουρων οι καλύτεροι από τους απόγονους είναι οι νέες βασίλισσες και όλοι οι άλλοι απόγονοι είναι οι εργάτριες ενώ στον αλγόριθμο βελτιστοποίησης ζευγαρώματος μελισσών ο καλύτερος από τους απογόνους είναι η πιθανή νέα βασίλισσα και όλοι οι υπόλοιποι απόγονοι είναι οι κηφήνες.
- Στον αλγόριθμο βελτιστοποίησης ζευγαρώματος μπάμπουρων οι κηφήνες παράγονται από μετάλλαξη της βασίλισσας και από μετάλλαξη των ισχυρότερων εργατριών. Στον αλγόριθμο βελτιστοποίησης ζευγαρώματος μελισσών οι κηφήνες παράγονται από διασταύρωση των κηφήνων με τη βασίλισσα.
- Στον αλγόριθμο βελτιστοποίησης ζευγαρώματος μπάμπουρων πετούν μακριά από την κυψέλη πράγμα που επηρεάζει θετικά τη λύση τους.
- Στον αλγόριθμο βελτιστοποίησης ζευγαρώματος μπάμπουρων η διαδικασία ταΐσματος περιγράφεται από μία εξίσωση ενώ στον αλγόριθμο βελτιστοποίησης ζευγαρώματος μελισσών η διαδικασία ταΐσματος είναι μία διαδικασία τοπικής αναζήτησης που εφαρμόζεται χωριστά σε κάθε απόγονο[29].

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένας ψευδοκώδικας της μεθόδου [v].

Αλγόριθμος Βελτιστοποίηση Ζευγαρώματος Μπάμπουρων

Καθορισμός των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται στην κύρια φάση

Καθορισμός του μέγιστου αριθμού επαναλήψεων

Καθορισμός του μέγιστου αριθμού ζευγαρωμάτων

Καθορισμός του μέγιστου αριθμού βασιλισσών

Αρχικοποίηση

Δημιουργία του αρχικού πληθυσμού μπάμπουρων

Υπολογισμός της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης

για κάθε μπάμπουρα

Επιλογή του καλύτερου μπάμπουρα για βασίλισσα

Επιλογή των υπόλοιπων μπάμπουρων για κηφήνες

Ταξινόμηση των κηφώνων με βάση την τιμή της αντικειμενικής

τους συνάρτησης

Επιλογή των κηφώνων που θα χρησιμοποιηθούν για ζευγάρι

με τη βασίλισσα

Αποθήκευση του γονότυπου των κηφώνων στη σπερματοθήκη

της βασίλισσας

Κύρια φάση

do while μέχρι να φθάσει ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων

Δημιουργία των απογόνων με ένα τελεστή διασταύρωσης

Υπολογισμός της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης

για κάθε απόγονο

Ταξινόμηση των απογόνων με βάση την τιμή της αντικειμενικής

τους συνάρτησης

Επιλογή των καλύτερων απογόνων ως νέες βασίλισσες

Επιλογή των υπόλοιπων απογόνων ως εργάτριες

Ταΐσμα της νέας βασίλισσας από τις παλιές βασίλισσες και

από τις εργάτριες

Δημιουργία ενός ποσοστού κηφώνων από μετάλλαξη των
γονότυπων των παλιών βασιλισσών

Δημιουργία των υπόλοιπων κηφώνων από μετάλλαξη των
γονότυπων των εργατριών

Υπολογισμός της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης
για κάθε κηφήνα

Υπολογισμός της κατεύθυνσης κίνησης των κηφώνων μακριά
από την κυψέλη

Ταξινόμηση των κηφώνων με βάση την τιμή της αντικειμενικής
τους συνάρτησης

do while μέχρι να φθάσει ο μέγιστος αριθμός
ζευγαρωμάτων για κάθε βασίλισσα

Επιλογή των κηφώνων που θα χρησιμοποιηθούν για
ζευγάρωμα με την κάθε νέα βασίλισσα

Αποθήκευση του γονότυπου των κηφώνων στη
σπερματοθήκη της κάθε νέας βασίλισσας

enddo

Επιβίωση των νέων βασιλισσών για την επόμενη επανάληψη

Θάνατος όλων των μελών (εργατριών-κηφώνων) του πληθυσμού

Enddo

επιστροφή της καλύτερης βασίλισσας (καλύτερη λύση)

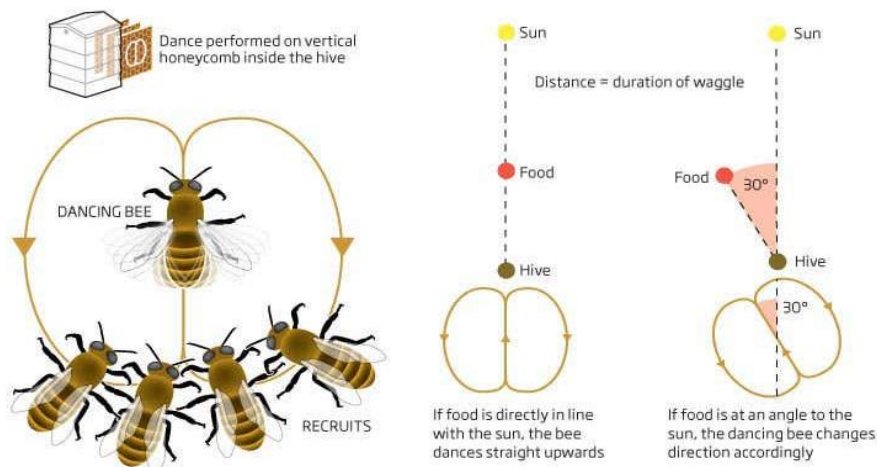
3.6 Αλγόριθμοι που βασίζονται στην Προσομοίωση της Διαδικασίας εύρεσης τροφής (ABC)

Οι πιο σημαντικές προσεγγίσεις που βασίζονται στη συμπεριφορά των μελισσών κατά τη διάρκεια της αναζήτησης τροφής είναι ο αλγόριθμος Τεχνητής Αποικίας Μελισσών (Artificial Bee Colony (ABC)) που έχει προταθεί από τους Karaboga και Basturk, ο αλγόριθμος των Εικονικών Μελισσών (Virtual Bee Algorithm (VBA)) που έχει προταθεί από τον Yang, ο αλγόριθμος Βελτιστοποίησης Αποικίας Μελισσών (Bee Colony Optimization(BCO)) που έχει προταθεί από τους Teodorovic και Dell’Orco ,

ο αλγόριθμος της Κυψέλης Μελισσών (BeeHive) που έχει προταθεί από τον Wedde και άλλους συνεργάτες του, ο αλγόριθμος Βελτιστοποίησης Σμήνους Μελισσών (Bee Swarm Optimization (BSO)) που έχει προταθεί από τον Drias και άλλους συνεργάτες του και ο αλγόριθμος Μελισσών (Bees Algorithm (BA)) που έχει προταθεί από τον Pham και άλλους συνεργάτες του.

Στην προηγούμενη παράγραφο αναφέρθηκε πως λειτουργεί μία διαδικασία ζευγαρώματος δύο διαφορετικών ειδών μελισσών. Σε αυτή την παράγραφο θα περιγραφεί η διαδικασία εύρεσης τροφής. Όπως ειπώθηκε και προηγούμενα, υπάρχουν αρκετοί αλγόριθμοι που έχουν προσομοιώσει αυτή τη διαδικασία. Η διαδικασία όπως αυτή πραγματοποιείται στη φύση, έχει ως εξής: Οι μέλισσες φεύγουν από την κυψέλη προς αναζήτηση τροφής. Όταν βρουν την τροφή, συνήθως, δεν μπορούν να τη συλλέξουν μόνες τους και να τη μεταφέρουν στην κυψέλη για αυτό επιστρέφουν και προσπαθούν αφού ξεφορτώσουν το νέκταρ που μετέφεραν μαζί τους, να ενημερώσουν τις υπόλοιπες μέλισσες για την πηγή τροφής που βρήκαν. Η ενημέρωση γίνεται με την πραγματοποίηση ειδικών κινήσεων, που οι επιστήμονες έχουν δώσει την ονομασία χορός, μέσα στην κερήθρα με στόχο να μοιραστούν πληροφορίες για την πηγή τροφής. Οι πληροφορίες περιλαμβάνουν το πόσο πλούσια πηγή τροφής είναι, ποια είναι η κατεύθυνσή της και ποια η απόστασή της από την κυψέλη. Ο βασικός στόχος που γίνεται αυτή η διαδικασία είναι για να στρατολογήσουν όσο το δυνατό περισσότερες μέλισσες για να τις ακολουθήσουν στην πηγή τροφής. Καθώς χορεύουν οι άλλες μέλισσες τις ακουμπούν με τις κεραίες τους και έτσι μαθαίνουν το άρωμα και τη γεύση της πηγής τροφής που έχει ανακαλυφθεί. Η κάθε μέλισσα χορεύει σε όσο το δυνατό περισσότερα σημεία της κυψέλης με στόχο να πείσει όσο το δυνατό περισσότερες μέλισσες να την ακολουθήσουν[29][38].

Οι επιστημονικές μελέτες που έχουν γίνει για το χορό της μέλισσας έχουν δείξει ότι όταν οι μέλισσες πραγματοποιούν το χορό η κατεύθυνση που έχουν δείχνει την κατεύθυνση της πηγής τροφής σε σχέση με τη θέση του ήλιου, η ένταση των κινήσεων δείχνει πόσο μακριά είναι η πηγή τροφής και η διάρκεια του χορού δείχνει την ποσότητα της τροφής που περιλαμβάνει η πηγή τροφής. Αν κάποια μέλισσα μείνει αρκετή ώρα μέσα στην κυψέλη προσαρμόζει ελαφρά τη γωνία με την οποία κάνει το χορό.



Εικόνα 8: Ο χορός της μέλισσας.

3.6.1 Αλγόριθμος Τεχνητής Αποικίας Μελισσών (Artificial Bee Colony (ABC) Optimization Algorithm)

Ο αλγόριθμος τεχνητής αποικίας μελισσών κυρίως εφαρμόζεται σε προβλήματα συνεχούς βελτιστοποίησης και προσομοιώνει τη διαδικασία του χορού των μελισσών (waggled dance) που ένα σμήνος από μέλισσες πραγματοποιεί κατά τη διαδικασία αναζήτησης τροφής.

Στον αλγόριθμο υπάρχουν τρία υποσύνολα από μέλισσες, οι εξερευνήτριες (the employed bees), οι θεατές μέλισσες (the onlookers bees) και οι ανιχνεύτριες (the scout bees). Οι πρώτες είναι μέλισσες που βρίσκουν την πηγή τροφής (πιθανή λύση του προβλήματος) από ένα προκαθορισμένο σύνολο από πιθανές πηγές τροφής και μοιράζονται αυτή την πληροφορία (χορός μελισσών) με τις άλλες μέλισσες στην κυψέλη. Όσον αφορά τις ανιχνεύτριες, είναι μέλισσες που περιμένουν στην κυψέλη και με βάση την πληροφορία που παίρνουν από τις εργάτριες, αναζητούν μία καλύτερη πηγή τροφής στη γειτονιά που βρίσκεται εκείνη που τους υπέδειξαν οι εργάτριες. Τελικά, οι ανιχνευτές εξερευνούν την πιθανότητα η πηγή της τροφής τους να έχει τελειώσει και ψάχνουν τυχαία στο χώρο λύσεων μία νέες πηγές τροφών [29][8][v].

Ο αλγόριθμος της τεχνητής αποικίας μελισσών είναι ο πιο γνωστός αλγόριθμος που βασίζεται στη συμπεριφορά των μελισσών κατά τη διάρκεια της αναζήτησης τροφής και έχει εφαρμοστεί σε πολλές μελέτες. Αρχικά ένα σύνολο από πηγές τροφής (πιθανές λύσεις) επιλέγονται τυχαία από τις εξερευνήτριες μέλισσες και η διαθέσιμη ποσότητα νέκταρ τους υπολογίζεται (τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης).

Στη συνέχεια η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης υπολογίζεται και σε κάθε μία πηγή τροφής αντιστοιχίζεται μία εξερευνήτρια μέλισσα. Οι εξερευνήτριες μέλισσες γυρίζουν στη φωλιά και χορεύουν με ένα συγκεκριμένο τρόπο, έτσι ώστε να ενημερωθούν οι θεατές και οι υπόλοιπες μέλισσες, σε ποια σημεία βρίσκονται οι πηγές τροφής[viii][v].

Στον αλγόριθμο προτείνεται οι εξερευνήτριες και οι θεατές μέλισσες να είναι ίδιες σε αριθμό, χωρίς αυτό να είναι απαραίτητο και εξαρτάται από το πρόβλημα που χρειάζεται να επιλυθεί. Στη συνέχεια, οι θεατές μέλισσες επιλέγουν την πηγή τροφής που θα επισκεφθούν βασιζόμενες στην πληροφορία που λαμβάνουν για το νέκταρ της κάθε πηγής από τη διαδικασία του χορού της μέλισσας. Η πιθανότητα επιλογής μίας πηγής τροφής δίνεται από τον τύπο :

$$p_i = \frac{f_i}{\sum_{n=1}^N f_n}$$

όπου το f_i είναι η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης για κάθε πηγή τροφής. Στη συνέχεια, οι εξερευνήτριες και οι θεατές μέλισσες τοποθετούνται στις επιλεγμένες πηγές, αντιστοιχίζοντας στην κάθε πηγή τροφής μία μέλισσα. Για να παραχθεί μία καινούρια πηγή τροφής χρησιμοποιείται η ακόλουθη εξίσωση :

$$x'_{ij} = x_{ij} + rand2(x_{ij} - x_{kj})$$

όπου το x'_{ij} είναι η υποψήφια πηγή τροφής και το k είναι μία διαφορετική πηγή τροφής από την i και το $rand2$ είναι ένας τυχαίος αριθμός στο διάστημα (0,1). Αν είχαμε πρόβλημα συνδυαστικής βελτιστοποίησης τότε η λύση θα πρέπει να μετατραπεί στη λύση y'_{ij} 0 με τη χρήση των δύο παραπάνω εξισώσεων.

Εν συνεχεία γίνεται ο υπολογισμός της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης για κάθε πηγή τροφών. Στην περίπτωση που εμφανίζεται μία πηγή τροφής μέσω των θεατών μελισσών με τις κινήσεις τοπικής αναζήτησης μία καλύτερη πηγή τροφής τότε η πηγή τροφής αντικαθίσταται στην μνήμη των μελισσών από την καλύτερή της. Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι αν υπάρχουν πολλές μέλισσες σε μία πηγή τροφής τότε από τις κινήσεις τοπικής αναζήτησης που κάνει καθεμία από αυτές, η συγκεκριμένη πηγή τροφής έχει πολύ μεγαλύτερες ικανότητες αναζήτησης σε διαφορετικά σημεία του χώρου λύσεων. Με άλλα λόγια, η συνάρτηση ποιότητας της συγκεκριμένης πηγής τροφής έχει καλύτερη τιμή[8][v].

Επιπροσθέτως, όλες οι μέλισσες γυρίζουν πάλι στη φωλιά, ξεκινώντας έτσι τη διαδικασία του χορού από την αρχή. Εάν για ένα αριθμό επαναλήψεων η λύση δεν μπορεί να βελτιωθεί, τότε αυτή η πηγή τροφής θεωρείται ότι έχει εξαντληθεί και μία ανιχνεύτρια μέλισσα τοποθετείται σε μία καινούρια τυχαία θέση μέσα στο χώρο λύσεων (μία καινούρια πηγή τροφής), ώστε να βρίσκεται μέσα σε κάποιο προκαθορισμένο πεδίο τιμών η καινούρια τυχαία θέση (με σκοπό την πιο γρήγορη εμφάνιση καλύτερης λύσης. Αυτή μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο:

$$x'_{ij} = x_{min,j} + rand3(x_{max,j} - x_{min,j})$$

όπου τα $x_{min,j}$ και $x_{max,j}$ είναι η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή που μπορεί να πάρει μία μεταβλητή στο πεδίο τιμών και $rand3$ ένας τυχαίος αριθμός στο διάστημα (0,1). Βασικό χαρακτηριστικό του αλγορίθμου αποτελεί το γεγονός ότι η μέλισσα δεν θεωρείται λύση όπως συνέβαινε σε άλλους αλγόριθμους που έχουν μελετηθεί ως τώρα. Οι μέλισσες είναι διαδικασίες που εφαρμόζονται σε κάποια λύση (πηγή τροφής) με στόχο να την βελτιώσουν. Έτσι, αν σε κάποια πηγή τροφής εμφανιστεί ότι θα ακολουθήσουν δέκα μέλισσες την εξερευνήτρια που βρήκε την πηγή τροφής τότε σημαίνει πως θα γίνει εφαρμογή δέκα προσπαθειών ώστε να ευρεθεί νέα πηγή τροφής χρησιμοποιώντας την παραπάνω εξίσωση. Έτσι, ένα βασικό σημείο που πρέπει να προσεχθεί στον αλγόριθμο είναι το πλήθος των πηγών τροφής να είναι

μεγαλύτερο από το σύνολο των εξερευνητριών ώστε να μπορούν να τοποθετηθούν πάνω στις πηγές τροφής χωρίς να περισσέψει κάποια μέλισσα[29].

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένας αλγόριθμος με μορφή ψευδοκώδικα της μεθόδου.

Αλγόριθμος Τεχνητή Αποικία Μελισσών

Καθορισμός των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται στην κύρια φάση

Καθορισμός του μέγιστου αριθμού επαναλήψεων

Καθορισμός του αριθμού των πηγών τροφής

Καθορισμός του αριθμού των εξερευνητριών μελισσών

Καθορισμός του αριθμού των θεατών μελισσών

Αρχικοποίηση

Δημιουργία του αρχικού πληθυσμού από πηγές τροφής

Τυχαία επιλογή μίας πηγής τροφής από μία εξερευνήτρια

Υπολογισμός της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης

για κάθε πηγή τροφής

Κύρια Φάση

do while ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων δεν έχει επιτευχθεί

Επιστροφή της εξερευνήτριας στην κυψέλη

Επιλογή της πηγής τροφής από τη θεατή μέλισσα βάσει

της Εξίσωσης (7.14)

Τοποθέτησε τις θεατές μέλισσες και τις εξερευνήτριες

στην επιλεγμένη πηγή τροφής

Δημιουργία μίας καινούριας πηγής τροφής με τη χρήση

Υπολογισμός της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης

για κάθε νέα πηγή τροφής

if μία καλύτερη πηγή τροφής βρεθεί **then**

Αντικατέστησε την παλιά πηγή τροφής

endif

```
if για ένα αριθμό επαναλήψεων μία λύση δεν έχει βελτιωθεί then  
    Τοποθέτησε μία ανιχνεύτρια μέλισσα σε μία καινούρια  
        τυχαία θέση  
endif  
  
    Διατήρησε τη βέλτιστη λύση από κάθε πηγή τροφής  
enddo  
  
Επιστροφή της καλύτερης πηγής τροφής (καλύτερη λύση)
```

4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

4.1 ΤΟ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Σε αυτή την ενότητα περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο οι μέθοδοι των HBMO, BBMO και ABC όπως έχουν ήδη περιγραφεί, επιλύουν το πρόβλημα βέλτιστου σχεδιασμού γραμμής προϊόντων. Παράλληλα δοκιμάζεται η ευαισθησία των αποτελεσμάτων των αλγορίθμων από τα σφάλματα που αφορούν τις μετρήσεις των καταναλωτικών προτιμήσεων, αλλά και η δυνατότητα γενίκευσης του μοντέλου, αλλάζοντας το μέγεθος του προβλήματος.

4.2 Η Περιγραφή του Μοντέλου

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην περιγραφή του προβλήματος, στόχος είναι η βελτιστοποίηση των κερδών μίας γραμμής που αποτελείται από πέντε σακίδια και πρόκειται να εισαχθεί στην αγορά, έναντι τριών ήδη γνωστών ανταγωνιστικών σακιδίων.

Έπειτα από έρευνα αγοράς γνωρίζουμε τις προτιμήσεις των καταναλωτών πάνω στα δέκα χαρακτηριστικά που διέπουν το κάθε σακίδιο, καθώς και το κόστος του κάθε χαρακτηριστικού. Το πρώτο χαρακτηριστικό είναι η τιμή που παίρνει εφτά επίπεδα, αντίθετα με τα υπόλοιπα εννέα που λαμβάνουν τιμές ναι ή όχι (υπάρχει / δεν υπάρχει).

Αξίζει να σημειωθεί πως με βάση τον αριθμό των χαρακτηριστικών και των επιπέδων ο συνολικός αριθμός προϊόντων είναι 3584 και μπορούν να δημιουργηθούν $4,9 \times 10^{15}$ διαφορετικές γραμμές 5 σακιδίων. Είναι προφανές πως λόγω του τεράστιου αυτού όγκου, το πρόβλημα γίνεται αρκετά πολύπλοκο και δυσεπίλυτο.

Για κάθε ένα από τα 3584 προϊόντα, το κέρδος της πώλησης από ένα σακίδιο είναι ίσο της τιμής πώλησης του, αφαιρώντας το κόστος από τα χαρακτηριστικά από τα οποία αποτελείται και 35\$ που είναι το σταθερό κόστος. Ακόμη, υπολογίζεται η συνολική χρησιμότητα των προϊόντων, για όλους τους συμμετέχοντες [iii].

Για κάθε έναν από τους 324 καταναλωτές, γίνεται εντοπισμός του προτιμώμενου προϊόντος και της δικής μας γραμμής, αλλά και της ανταγωνιστικής. Μπορούμε έπειτα να συγκρίνουμε τις δύο αντίστοιχες χρησιμότητες και να καταλήξουμε στην τελική επιλογή του καταναλωτή (μοντέλο πρώτης επιλογής / maximum utility). Τέλος, αθροίζουμε το κέρδος από τις πωλήσεις του κάθε σακιδίου και υπολογίζουμε το κέρδος της γραμμής προϊόντων. Το κέρδος αποτελεί ουσιαστικά και την αξιολόγηση της λύσης.

Παράλληλα, γνωρίζουμε την οριακή μερική χρησιμότητα του κάθε χαρακτηριστικού, του κάθε καταναλωτή που θα μεταβάλλει η πρόσθεση ή η αφαίρεση κάποιων χαρακτηριστικών. Σχετικά με την τιμή, η οριακή μερική χρησιμότητα εκφράζει τη μεταβολή χρησιμότητας που θα επέλθει για κάθε διαδοχική αύξηση κατά 5\$ (συνήθως η αύξηση της τιμής προκαλεί

δυσαρέσκεια άρα μείωση της μερικής χρησιμότητας). Για τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά, γνωρίζουμε το επιπλέον κόστος που επιφέρει στην εταιρία η προσθήκη του χαρακτηριστικού. Το σταθερό κόστος (δηλαδή χωρίς κανένα επιπλέον χαρακτηριστικό) κατασκευής του σακιδίου, είναι 35\$[iii].

Ένα βασικό χαρακτηριστικό των σακιδίων αποτελεί η τιμή η οποία αποτελείται από 7 επίπεδα (70\$ 75\$ 80\$ 85\$ 90\$ 95\$ 100\$) και άλλα 9 χαρακτηριστικά (θήκη, λογότυπο, ενισχυμένος πάτος και άλλα) με διαθέσιμες απαντήσεις ναι και όχι.

Χαρακτηριστικό	Αυξανόμενο οριακό κόστος	Μέση μερική αξία
Αύξηση τιμής 5\$	-5.00	-7.6
Μεγάλο μέγεθος	3.50	17.9
Εναλλακτικό χρώμα	0.00	-36.0
Λογότυπο	2.00	9.0
Χερούλι	3.50	37.7
Θήκη gadget	3.00	5.2
Θήκη κινητού	3.00	5.5
Θήκη πλέγματος	2.00	9.7
Ενισχυμένη θήκη	3.50	18.2
Ενισχυμένος πάτος	4.50	24.4

Πίνακας 2:Χαρακτηριστικά προϊόντων

Όπως προαναφέρθηκε η εργασία έχει στηριχθεί στη δημοσίευση των Alexandre Belloni, Robert Freund, Matthew Selove και Duncan Simester [1]. Έγινε χρήση των μεθόδων και των πινάκων της συγκεκριμένης δημοσίευσής, με σκοπό να υπολογισθεί η αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματός μας, όπως θα εξηγηθεί στη συνέχεια. Η υλοποίηση, χρησιμοποιεί έξυπνες μεθόδους , προ υπολογίζει και αποθηκεύει σε πίνακες χορισμένα μεγέθη ώστε να αποφευχθούν οι πολύπλοκοι επαναλαμβανόμενοι υπολογισμοί κατά τη διάρκεια της επίλυσης[iii].

Πιο αναλυτικά:

- Η μέθοδος *load_data* προσδίδει δεδομένα στους παρακάτω 3 πίνακες
- ❖ Τον πίνακα *profits* (1 x 10) με το οριακό κόστος από την προσθήκη του κάθε χαρακτηριστικού όπως έχουμε ήδη περιγράψει. Όπως είναι λογικό, μόνο η τιμή έχει θετική τιμή profit αφού μόνο αυτή προσδίδει έσοδα.

- ❖ Τον πίνακα *worths* (324×10) όπου αποθηκεύονται οι μερικές αξίες κάθε χαρακτηριστικού του προϊόντος για κάθε έναν από τους καταναλωτές,
- ❖ Τον πίνακα *bags* (1×3584) όπου εκχωρείται το σύνολο των προϊόντων έχοντας τη μορφή διανύσματος δέκα χαρακτηριστικών. Με αυτόν τον τρόπο, κάθε προϊόν αναπαρίσταται από τη θέση που έχει στον πίνακα *bags*.
- Ο πίνακας *bag_profits* (3584×1) όπου υπολογίζονται και αποθηκεύονται τα οριακά κέρδη κάθε τσάντας.
- Ο πίνακας *coop_bags* (1×3) όπου είναι αποθηκευμένα τα προϊόντα από τον ανταγωνιστή.
- Υπολογίζεται ο πίνακας *bag_worths* (3584×324) όπου αποθηκεύουμε την χρησιμότητα για κάθε προϊόν για κάθε έναν από τους καταναλωτές (324×3584).
- Υπολογίζεται ο πίνακας *base_util* (1×324) όπου διατηρεί τη χρησιμότητα του προτιμότερου προϊόντος της ανταγωνιστικής γραμμής για τον κάθε καταναλωτή.
- Υπολογίζεται ο πίνακας *util* (1×324) όπου διατηρεί τη χρησιμότητα του προτιμότερου προϊόντος από τη δική μας γραμμή για κάθε καταναλωτή.
- Για κάθε καταναλωτή ελέγχεται αν $util > base_util$ και καταγράφονται στον πίνακα *getone*.
- Υπολογίζεται το κέρδος της γραμμής μας.

4.3 Εφαρμογή των αλγορίθμων στο πρόβλημα σχεδιασμού γραμμής προϊόντων

Για να σχεδιάσουμε μία σειρά προϊόντων με πέντε τσάντες που μεγιστοποιεί τα προβλεπόμενα κέρδη, εφαρμόζουμε τους αλγορίθμους HBMO, BBMO, ABC στο σύνολο δεδομένων από την προαναφερθείσα μελέτη[1]. Ένα από τα πιο κρίσιμα ζητήματα κατά την ανάπτυξη των αλγορίθμων αυτών, είναι η αναπαράσταση λύσης. Αυτό συμβαίνει διότι λειτουργούν σε συνεχή διαστήματα, ενώ η εφαρμογή μας αποτελείται από ένα διακριτό πεδίο ορισμού λύσεων, καθώς όλα τα χαρακτηριστικά έχουν περιορισμένο αριθμό διακριτών επιπέδων. Ως εκ τούτου, πρέπει να εφαρμοστεί ένας κανόνας που μετατρέπει το πραγματικό διάνυσμα που παράγεται από τον αλγόριθμο, σε διακριτό, που απαιτείται από το πρόβλημα. Υπάρχουν δύο τρόποι παρουσίασης μίας λύσης, μία δυαδική αναπαράσταση και μία ακέραιη. Στη δυαδική αναπαράσταση, το στοιχείο κάθε διανύσματος αντιπροσωπεύει το επίπεδο ενός χαρακτηριστικού. Εδώ γίνεται αναζήτηση για το ποιες είναι οι 5 τσάντες που πρέπει να παραχθούν, όπου η κάθε τσάντα έχει 10 χαρακτηριστικά. Δημιουργείται ένα διάνυσμα 50 τιμών, όπου οι πρώτες 10 τιμές είναι τα χαρακτηριστικά της πρώτης τσάντας που θα παραχθεί, οι

επόμενες 10 είναι της δεύτερης και αντίστοιχα οι υπόλοιπες. Πιο συγκεκριμένα, η κάθε λύση αποθηκεύεται ως ένας πίνακας δύο διαστάσεων δέκα στηλών εντός ενός πίνακα τριών διαστάσεων. Οπού η τιμή αντιπροσωπεύεται μέσω της πρώτης στήλης, με τιμές από μηδέν έως έξι ενώ οι υπόλοιπες εννέα στήλες αποτελούν τα χαρακτηριστικά των σακιδίων με περιθώριο των τιμών μηδέν ή ένα (Κωδικοποίηση 5×10).

Στην ακέραια αναπαράσταση, κάθε στοιχείο αντιστοιχεί σε ένα χαρακτηριστικό και η τιμή του αντιπροσωπεύει το επίπεδο του χαρακτηριστικού. Όσο για τις διακριτές τιμές, βρίσκουμε απευθείας ποιες 5 από τις 3584 τσάντες οδηγούν στη βέλτιστη λύση (οπότε έχουμε ένα διάλυμα 5 χαρακτηριστικών). Στην περίπτωση αυτή οι λύσεις αποθηκεύονται σε πίνακες δύο διαστάσεων όπου οι λύσεις αντιστοιχίζονται με αριθμούς τσαντών από το 1 έως το 3584 (Κωδικοποίηση 1×5).

Για την αντιμετώπιση του ζητήματος των συνεχών διαστημάτων, χρησιμοποιήθηκαν εντολές στρογγυλοποίησης, εξασφαλίζοντας πως οι τιμές θα παραμείνουν εντός των ορίων που επιτρέπει το πρόβλημα. Για παράδειγμα, στην δυαδική αναπαράσταση, η πιθανή λύση: [2.1033 0 0.32 2.1140 0 0.5577 2.1201 1.22 0.01 -0.20] τροποποιείται σε [2 0 0 1 0 1 1 1 0 0]. Αντίστοιχα, η διακριτή αναπαράσταση, της οποίας τα περιθώρια στρογγυλοποίησης είναι μεγαλύτερα, υλοποιήθηκε με τον ίδιο τρόπο.

Χρησιμοποιώντας το σχήμα δυαδικής αναπαράστασης, το μήκος κάθε διανύσματος (συνολικός αριθμός επιπέδων χαρακτηριστικών) είναι 10.

Για παράδειγμα, όπως φαίνεται στον Πίνακα 2, μία μεγάλη κόκκινη τσάντα, με τιμή 80 \$, με λογότυπο και λαβή, θα αναπαρίσταται ως: [2 1 1 1 1 0 0 0 0 0]

Price(€)	Μεγάλο μέγεθος	Κόκκινο χρώμα	Λογότυπο	Χερούλι	Θήκη gadget	Θήκη κινητού	Θήκη πλέγματος	Ενισχυμένη θήκη	Ενισχυμένος πάτος
2	1	1	1	1	0	0	0	0	0

Εικόνα 9: Παράδειγμα τσάντας

4.4 Προσαρμογή παραμέτρων των αλγορίθμων

Προκειμένου να επιλεγθούν οι κατάλληλες παράμετροι, γίνεται επιλογή τυχαίων συνδυασμών. Ο κάθε συνδυασμός τρέχει 10 φορές, μέχρι οι αξιολογήσεις να φτάσουν τις 100.000. Τέλος επιλέγεται ο συνδυασμός που βρίσκει τη βέλτιστη λύση.

4.4.1 Παραμετροποίηση HBMO

Οι παράμετροι του HBMO είναι οι παρακάτω:

- N, ο πληθυσμός
- S, το μέγεθος της σπερματοθήκης

- M, πτήσεις βασίλισσας
- Epsilon, τελεστής μετάλλαξης.

Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένες δοκιμές και η βέλτιστη λύση:

N	Parameters HBMO			Average Earnings	Average as % of Optimal	Best Solution	Best as % of Optimal
	S	M	Epsilon				
50	15	50	0.35	11.507	94,1191%	12.095	98,9285%
50	75	225	0.35	11.610	94,9616%	11.892	97,2681%
50	10	250	0.55	11.302	92,4423%	11.895	97,2927%
50	25	300	0.75	11.275	92,2215%	11.908	97,3990%
75	20	300	0,5	11.666	95,4196%	12.105	99,0103%
80	20	125	0.55	11.378	93,0640%	11.864	97,0391%
140	10	200	0,7	11.423	93,4320%	12.110	99,0512%
150	35	75	0.55	11.245	91,9761%	11.889	97,2436%
150	40	175	0.85	11.155	91,2400%	11.902	97,3499%
250	30	200	0,25	11.438	93,5547%	12.114	99,0839%
550	20	75	0.55	11.451	93,6611%	11.802	96,5320%
550	200	350	0.70	11.304	92,4587%	12.090	98,8876%
550	20	75	0.85	11.262	92,1152%	11.744	96,0576%
1000	45	170	0,6	11.479	93,8901%	12.189	99,6974%
1500	50	220	0,6	11.471	93,8246%	12.012	98,2496%
1550	20	75	0.85	11.158	91,2645%	11.742	96,0412%

Πίνακας 3:Παραμετροποίηση HBMO

4.4.2 Παραμετροποίηση BBMO

Οι παράμετροι του BBMO είναι οι παρακάτω:

- N, ο πληθυσμός
- max_iter, χρόνος χειμέριας νάρκης
- max_zeug, μέγιστος αριθμός από ζευγάρωματα
- max_q, μέγιστος αριθμός βασιλισσών
- Cr1, τελεστής διασταύρωσης.

Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένες δοκιμές και η βέλτιστη λύση:

N	Parameters BBMO				Average Earnings	Average as % of Optimal	Best Solution	Best as % of Optimal
	max_iter	max_zeug	max_q	Cr1				
175	50	25	55	0.5	12027	98,3723%	12224	99,9836%
200	100	25	55	0.6	11922	97,5135%	12226	100,0000%
350	25	30	20	0.7	11.555	94,5117%	12.105	99,0103%
400	60	40	15	0.6	11.965	97,8652%	12226	100,0000%
400	80	50	60	0.45	11840	96,8428%	12105	99,0103%
500	100	12	30	0.2	11.800	96,5156%	12.112	99,0676%
500	70	15	30	0.2	11509	94,1354%	12014	98,2660%
600	50	15	20	0.4	11.959	97,8161%	12.226	100,0000%
750	80	25	20	0.6	11837	96,8183%	12224	99,9836%
800	40	15	40	0.85	11.940	97,6607%	12.226	100,0000%
1000	200	15	30	0.2	12.002	98,1678%	12.224	99,9836%
1250	30	20	20	0.5	12.003	98,1760%	12.226	100,0000%
1500	40	15	40	0.55	12.070	98,7240%	12.226	100,0000%
1500	100	20	40	0.80	12034	98,4296%	12226	100,0000%
1750	50	25	55	0.5	12055	98,6013%	12226	100,0000%

Πίνακας 4:Παραμετροποίηση BBMO

4.4.3 Παραμετροποίηση ABC

Οι παράμετροι του ABC είναι οι παρακάτω:

- max_iter, χρόνος χειμέριας νάρκης
- ne, μέγιστος αριθμός εξερευνητριών μελισσών
- nf, πηγές τροφής.

Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένες δοκιμές και η βέλτιστη λύση:

Ne	Parameters ABC		Average Earnings	Average as % of Optimal	Best Solution	Best as % of Optimal
	max_iter	Nf				
2	150	10	11.200	91,6080%	11.698	95,6813%
3	500	6	11.214	91,7226%	12.082	98,8222%
4	500	6	11.170	91,3627%	11.561	94,5608%
5	300	10	11.222	91,7880%	11.750	96,1067%
5	400	25	11.404	93,2766%	11.961	97,8325%
3	500	6	11.095	90,7492%	11.780	96,3520%
3	150	15	11.102	90,8065%	11.540	94,3890%
5	500	10	11.275	92,2215%	12.076	98,7731%
4	200	7	11.133	91,0600%	11.621	95,0515%
4	180	15	10.743	87,8701%	11.245	91,9761%
4	190	20	11.015	90,0949%	11.859	96,9982%
4	350	12	10.921	89,3260%	11.757	96,1639%
5	225	8	10.910	89,2361%	11.297	92,4014%
9	700	30	11.105	90,8310%	11.463	93,7592%
3	600	6	11.254	92,0497%	11.466	93,7837%

Πίνακας 5:Παραμετροποίηση ABC

4.5 Υλοποίηση

Οι αλγόριθμοι HBMO, BBMO, ABC υλοποιήθηκαν με δύο μορφές, όπου ο τρόπος επεξεργασίας και αποθήκευσης των δεδομένων διαφέρει. Αυτό συνέβη προκειμένου να προκύψει μία σύγκριση των αποτελεσμάτων και να

βρεθεί ο βέλτιστος τρόπος υλοποίησης (Οι κωδικοποιήσεις που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο).

4.5.1 5 τσάντες για πραγματικά δεδομένα

Στον Πίνακα 7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του HBMO με δεδομένα πέντε τσαντών, ενώ παράλληλα συγκρίνεται με εκείνα των αλγορίθμων της δημοσίευσης των Belloni και Freund[1]. Η χρήση ίδιου αριθμού αξιολογήσεων της αντικειμενικής συνάρτησης ήταν αναγκαία, ώστε να μπορέσουν να συγκριθούν. Ο κάθε αλγόριθμος έτρεξε δέκα φορές και παρουσιάζονται παρακάτω με τη βέλτιστη λύση αλλά και το μέσο όρο των λύσεων. Τα αποτελέσματα των BBMO και ABC παρουσιάζονται στους Πίνακες 9 και Πίνακας 12 αντίστοιχα [iii].

4.5.2 Δοκιμασία ευστάθειας(Robustness testing)

Σύμφωνα με την αρχική υπόθεση, οι μερικές αξίες που αποδίδουν σε κάθε προϊόν οι καταναλωτές είναι σωστές. Γνωρίζοντας πως αυτό δεν συμβαίνει στα προβλήματα, οφείλουμε να υπολογίσουμε το σφάλμα που θα υπάρξει λόγω του προσδιορισμού των μερικών αξιών. Άρα πρέπει να μετρηθεί η απόκλιση του δείγματος από τις πραγματικές προτιμήσεις. Σε αυτό το πρόβλημα θα υλοποιηθεί ένα δείγμα σύγχυσης το οποίο διαταράσσει το δείγμα με τις καταναλωτικές προτιμήσεις που χρησιμοποιήθηκε στις προηγούμενες μεθόδους. Κατά την υλοποίηση της συγκεκριμένης μεθόδου, υποθέτουμε την ύπαρξη σφάλματος στο δείγμα που ισούται με ε_{ij} [iiv]. Ισχύει ότι,

$$u'_{ij} = u_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

όπου:

1. u_{ij} είναι πραγματική προτίμηση του καταναλωτή i για το χαρακτηριστικό j ,
2. ε_{ij} σφάλμα μέτρησης, το οποίο είναι μία ανεξάρτητη μεταβλητή που ακολουθεί την κανονική κατανομή.
3. u'_{ij} είναι η νέα προτίμηση του καταναλωτή με το σφάλμα εκτίμησης.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται των HBMO BBMO και ABC παρουσιάζονται αντίστοιχα στους Πίνακες 7, Πίνακας 10, Πίνακας 13.

4.5.3 Δεδομένα προσομοίωσης

Στο στάδιο αυτό θα επιλυθεί το πρόβλημα βέλτιστου σχεδιασμού γραμμής προϊόντων με τη χρήση προσομοιωμένων δεδομένων. Αντίθετα με τον τρόπο επίλυσης μέχρι αυτό το σημείο, τα προβλήματα, όπου τα δεδομένα που χρησιμοποιούνταν ήταν αποτέλεσμα πραγματικής έρευνας χρησιμοποιώντας ερωτηματολόγια, τώρα θα επιλυθεί για διαφορετικά μεγέθη. Για την ακρίβεια υπάρχουν 4 μεγέθη τα οποία θα αλλάζουν και δημιουργούνται 12 διαφορετικά

σετ δεδομένων[1], τα οποία είναι:

Αριθμός τσαντών με επιλογές 3 ή 4

Αριθμός καταναλωτών με επιλογές 50 ή 100

Επίπεδα χαρακτηριστικών με επιλογές 2,3,5 ή 8

Χαρακτηριστικά προϊόντων με επιλογές 3,5 ή 7

Πιο αναλυτικά παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα

Αριθμός τσαντών	Αριθμός καταναλωτών	Επίπεδα χαρακτηριστικών	Χαρακτηριστικά προϊόντων
4	50	5	3
4	100	5	3
4	50	3	5
4	100	3	5
4	50	2	7
4	100	2	7
3	50	8	3
3	100	8	3
3	50	5	5
3	100	5	5
3	50	3	7
3	100	3	7

Πίνακας 6: Δεδομένα Προσομοίωσης

Αφού τρέξουμε τους αλγορίθμους λαμβάνοντας υπόψιν τα νέα δεδομένα προσομοίωσης, καταγράφοντας τους μέσους όρους και τις καλύτερες λύσεις. Σε αυτή τη περίπτωση υλοποιήθηκε αποκλειστικά η δυαδική έκδοση του HBMO διότι ο διακριτός εμφάνιζε αρκετά χειρότερα αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα των HBMO BBMO και ABC παρουσιάζονται αντίστοιχα στους Πίνακας 8, Πίνακας 11 και Πίνακας 14.

5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1.1 5 τσάντες για πραγματικά δεδομένα (HBMO)

Αλγόριθμοι	Καλύτερη λύση	Ποσοστό καλύτερης λύσης	Μέσο κέρδος	Ποσοστό καλύτερης λύσης MO
HBMO(discrete)	12041	98,49	11729	95,93
HBMO(binary)	12105	99,01	11666	95,42
Coordinate ascent(one-opt)	12224	99,98	11735	95,99
Coordinate ascent(two-opt)	12021	98,32	11874	97,12
Coordinate ascent(three-opt)	12224	99,99	12088	98,87
Genetic	12226	100,00	12088	98,87
Divide and conquer	12212	99,89	12153	99,40
Greedy heuristic	12035	98,44	12035	98,44
Simulated annealing	12226	100,00	12220	99,95
Product swapping	12224	99,98	12218	99,93
DP heuristic	11882	97,19	11498	94,05
Beam search	12035	98,44	11528	94,29
Nested partitions	12035	98,44	11781	96,36

Πίνακας 7: Αποτελέσματα για Πραγματικά Δεδομένα

Τα αποτελέσματα του δυαδικού αλγορίθμου είναι εμφανώς καλύτερα από εκείνα του διακριτού ως προς την καλύτερη λύση, ενώ το αντίστροφο ισχύει για τον μέσο όρο των κερδών. Ακόμη φαίνεται ότι τα αποτελέσματα αυτά απέχουν συγκριτικά με εκείνα του γενετικού και του simulated annealing, οι οποίοι εξειδικεύονται σε τέτοια προβλήματα. Παρόλα αυτά, προσεγγίζει αρκετά την βέλτιστη λύση (99,01%) με αρκετά μεγάλο ποσοστό μέσης λύσης (95.42%). Ο HBMO έχει αρκετά καλύτερη προσέγγιση της λύσης, συγκριτικά με τους περισσότερους αλγόριθμους.

5.1.2 Δοκιμασία ευστάθειας(Robustness testing)

Αλγόριθμοι	Καλύτερη λύση	Ποσοστό καλύτερης λύσης %	Μέσο κέρδος	Ποσοστό καλύτερης λύσης Μ.Ο.
HBMO(discrete)	11429	93,48	11031	90,23
HBMO(binary)	11207	91,67	10992	89,91
Coordinate ascent(one-opt)	10955	89,60	10792	88,27
Coordinate ascent(two-opt)	11560	94,55	11318	92,57
Coordinate ascent(three-opt)	11780	96,35	11624	95,07
Genetic	11812	96,61	11747	96,08
Divide and conquer	11784	96,38	11759	76,2
Greedy heuristic	11232	91,86	11232	91,86
Simulated annealing	11849	96,91	11836	96,81
Product swapping	11780	96,35	11761	96,19
DP heuristic	11551	94,47	11218	91,17
Beam search	11418	93,39	10875	88,94
Nested partitions	11232	91,86	10740	87,84

Πίνακας 7:Αποτελέσματα με σφάλμα

Παρατηρούμε ότι ο διακριτός αλγόριθμος HBMO βγάζει καλύτερα αποτελέσματα από το δυαδικό ως προς την καλύτερη λύση, ενώ είναι ο πέμπτος καλύτερος στη λίστα.

5.1.3 Δεδομένα προσομοίωσης

Αλγόριθμοι	Μέσο ποσοστό καλύτερης λύση	Συχνότητα εύρεσης >95% της καλύτερης λύσης
HBMO	96.87	94.93
Coordinate ascent(one-opt)	94,63	67,57
Coordinate ascent(two-opt)	96,00	88,39
Coordinate ascent(three-opt)	96,39	91,52
Genetic	99,83	100,00
Divide and conquer	97,29	93,21
Greedy heuristic	95,85	91,32
Simulated annealing	100,00	100,00
Product swapping	97,43	92,95
DP heuristic	95,38	88,83
Beam search	98,52	95,22
Nested partitions	93,70	58,30

Πίνακας 8:Αποτελέσματα με Δεδομένα Προσομοίωσης

Παρατηρούμε ότι ο HBMO δίνει αρκετά καλά αποτελέσματα συγκριτικά με τους υπόλοιπους αλγόριθμους, αλλά δεν φτάνει την αποτελεσματικότητα των SA και GA.

5.2 Bumble Bees Mating Optimization

5.2.1 5 τσάντες για πραγματικά δεδομένα (BBMO)

Αλγόριθμοι	Καλύτερη λύση	Ποσοστό καλύτερης λύσης	Μέσο κέρδος	Ποσοστό καλύτερης λύσης MO
BBMO(discrete)	12209	99,86	12018	98,30
BBMO(binary)	12226	100,00	12073	98,75
Coordinate ascent(one-opt)	12224	99,98	11735	95,99
Coordinate ascent(two-opt)	12021	98,32	11874	97,12
Coordinate ascent(three-opt)	12224	99,99	12088	98,87
Genetic	12226	100,00	12088	98,87
Divide and conquer	12212	99,89	12153	99,40
Greedy heuristic	12035	98,44	12035	98,44
Simulated annealing	12226	100,00	12220	99,95
Product swapping	12224	99,98	12218	99,93
DP heuristic	11882	97,19	11498	94,05
Beam search	12035	98,44	11528	94,29
Nested partitions	12035	98,44	11781	96,36

Πίνακας 9: Αποτελέσματα για Πραγματικά Δεδομένα

Παρατηρούμε ότι ο δυαδικός αλγόριθμος BBMO παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα από εκείνα του διακριτού. Επιπρόσθετα, είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι προσεγγίζει κατά πολύ τον γενετικό και τον Simulated annealing, που όπως προαναφέρθηκε, θεωρούνται οι καλύτεροι στο είδος τους. Η βέλτιστη λύση επιτεύχθηκε και συγκεκριμένα με υψηλό ποσοστό μέσης λύσης (98.75%). Αν εξαιρεθούν ο simulated anneal και ο genetic, ο BBMO εμφανίζει την καλύτερη προσέγγιση από όλους τους υπόλοιπους αλγορίθμους με τους οποίους γίνεται η σύγκριση [iii].

5.2.2 Δοκιμασία ευστάθειας(Robustness testing)

Αλγόριθμοι	Καλύτερη λύση	Ποσοστό καλύτερης λύσης %	Μέσο κέρδος	Ποσοστό καλύτερης λύσης Μ.Ο.
BBMO(discrete)	11447	93,63	11021	90,14
BBMO(binary)	11802	96,53	11520	94,23
Coordinate ascent(one-opt)	10955	89,60	10792	88,27
Coordinate ascent(two-opt)	11560	94,55	11318	92,57
Coordinate ascent(three-opt)	11780	96,35	11624	95,07
Genetic	11812	96,61	11747	96,08
Divide and conquer	11784	96,38	11759	76,2
Greedy heuristic	11232	91,86	11232	91,86
Simulated annealing	11849	96,91	11836	96,81
Product swapping	11780	96,35	11761	96,19
DP heuristic	11551	94,47	11218	91,17
Beam search	11418	93,39	10875	88,94
Nested partitions	11232	91,86	10740	87,84

Πίνακας 10:Αποτελέσματα με σφάλμα

Παρατηρούμε ότι ο δυαδικός αλγόριθμος BBMO είναι πιο αποτελεσματικός από το διακριτό, με λύση πολύ κοντά στη βέλτιστη μεταξύ των συγκρινόμενων.

5.2.3 Δεδομένα προσομοίωσης

Αλγόριθμοι	Μέσο ποσοστό καλύτερης λύση	Συχνότητα εύρεσης >95% της καλύτερης λύσης
BBMO	98,27	95,02
Coordinate ascent(one-opt)	94,63	67,57
Coordinate ascent(two-opt)	96,00	88,39
Coordinate ascent(three-opt)	96,39	91,52
Genetic	99,83	100,00
Divide and conquer	97,29	93,21
Greedy heuristic	95,85	91,32
Simulated annealing	100,00	100,00
Product swapping	97,43	92,95
DP heuristic	95,38	88,83
Beam search	98,52	95,22
Nested partitions	93,70	58,30

Πίνακας 11:Αποτελέσματα με Δεδομένα Προσομοίωσης

Παρατηρούμε ότι ο BBMO βγάζει πολύ καλά αποτελέσματα, αρκετά κοντά σε εκείνα των SA και GA.

5.3 Artificial Bee Colony

5.3.1 5 τσάντες για πραγματικά δεδομένα (ABC)

Αλγόριθμοι	Καλύτερη λύση	Ποσοστό καλύτερης λύσης	Μέσο κέρδος	Ποσοστό καλύτερης λύσης MO
ABC(discrete)	11229	91,85	10682	87,37
ABC(binary)	11961	97,83	11404	93,28
Coordinate ascent(one-opt)	12224	99,98	11735	95,99
Coordinate ascent(two-opt)	12021	98,32	11874	97,12
Coordinate ascent(three-opt)	12224	99,99	12088	98,87
Genetic	12226	100,00	12088	98,87
Divide and conquer	12212	99,89	12153	99,40
Greedy heuristic	12035	98,44	12035	98,44
Simulated annealing	12226	100,00	12220	99,95
Product swapping	12224	99,98	12218	99,93
DP heuristic	11882	97,19	11498	94,05
Beam search	12035	98,44	11528	94,29
Nested partitions	12035	98,44	11781	96,36

Πίνακας 12:Αποτελέσματα για Πραγματικά Δεδομένα

Είναι εμφανές ότι ο δυαδικός αλγόριθμος ABC είναι αρκετά πιο αποτελεσματικός του διακριτού. Παρόλα αυτά δεν πλησιάζει τους BBMO και HBMO. Όμως ο δυαδικός φτάνει κόντα τη βέλτιστη λύση σε υψηλό ποσοστό (97,83%) και έχει μεγάλο ποσοστό μέσης λύσης (93.28%).

5.3.2 Δοκιμασία ευστάθειας(Robustness testing)

Αλγόριθμοι	Καλύτερη λύση	Ποσοστό καλύτερης λύσης %	Μέσο κέρδος	Ποσοστό καλύτερης λύσης M.O.
ABC(discrete)	11201	91,62	10400	85,06
ABC(binary)	11292	92,36	10928	89,38
Coordinate ascent(one-opt)	10955	89,60	10792	88,27
Coordinate ascent(two-opt)	11560	94,55	11318	92,57
Coordinate ascent(three-opt)	11780	96,35	11624	95,07
Genetic	11812	96,61	11747	96,08
Divide and conquer	11784	96,38	11759	76,2
Greedy heuristic	11232	91,86	11232	91,86
Simulated annealing	11849	96,91	11836	96,81
Product swapping	11780	96,35	11761	96,19
DP heuristic	11551	94,47	11218	91,17
Beam search	11418	93,39	10875	88,94
Nested partitions	11232	91,86	10740	87,84

Πίνακας 13:Αποτελέσματα με σφάλμα

Παρατηρούμε ότι ο δυαδικός αλγόριθμος ABC βγάζει λίγο καλύτερα αποτελέσματα από το διακριτό. Καταφέρνει να ξεπεράσει τους NP, GH και

One Opt.

5.3.3 Δεδομένα προσομοίωσης

Αλγόριθμοι	Μέσο ποσοστό καλύτερης λύση	Συχνότητα εύρεσης >95% της καλύτερης λύσης
ABC	93,12	76,09
Coordinate ascent(one-opt)	94,63	67,57
Coordinate ascent(two-opt)	96,00	88,39
Coordinate ascent(three-opt)	96,39	91,52
Genetic	99,83	100,00
Divide and conquer	97,29	93,21
Greedy heuristic	95,85	91,32
Simulated annealing	100,00	100,00
Product swapping	97,43	92,95
DP heuristic	95,38	88,83
Beam search	98,52	95,22
Nested partitions	93,70	58,30

Πίνακας 14: Αποτελέσματα με Δεδομένα Προσομοίωσης

Παρατηρούμε ότι ο ABC μπορεί να συγκριθεί με τους υπόλοιπους αλγόριθμους, αλλά χωρίς να καταφέρνει να τους ξεπεράσει.

6 ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε πλήρης έλεγχος της αποτελεσματικότητας τριών μεθευρετικών αλγορίθμων στο πρόβλημα βελτιστοποίησης μίας γραμμής παραγωγής 5 σακιδίων. Είναι η πρώτη φορά στη βιβλιογραφία που εφαρμόστηκαν οι τρεις αυτοί αλγόριθμοι σε αυτό το συγκεκριμένο πρόβλημα. Ο βαθμός προσέγγισης των αποτελεσμάτων στη βέλτιστη λύση είναι αρκετά υψηλός και με τις δύο κωδικοποιήσεις, ειδικά στην περίπτωση του BBMO παρουσιάστηκαν τα καλύτερα αποτελέσματα.

Παρατηρούμε ότι για τις δυαδικές τιμές, όλοι οι αλγόριθμοι βρίσκουν τουλάχιστον 98,83% της βέλτιστης λύσης. Στην υλοποίηση με διακριτές τιμές, παρατηρούμε επίσης εξαιρετική προσέγγιση αυτής, με ποσοστό 98,49%. Παρόλα αυτά, υπάρχει μεγάλη διαφορά στους χρόνους που χρειάζονται οι αλγόριθμοι για την εξαγωγή αποτελέσματος, με τη δυαδική υλοποίηση να είναι έξι φορές πιο γρήγορη (34,6''). Όλοι οι αλγόριθμοι καταφέρνουν να βρουν μία καλύτερη λύση χρησιμοποιώντας την κωδικοποίηση 1x5. Συνολικά, ο καλύτερος αλγόριθμος ήταν ο BBMO με λύση που οδηγεί σε κέρδος 12226/12209€, μετά ο HBMO με κέρδος 12105/12041€ και τέλος ο ABC με κέρδος 12082/11229€, το οποίο είναι χαμηλότερο από τους άλλους. Είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι η τσάντα 3072 έχει βρεθεί ως λύση του προβλήματος από όλους τους αλγορίθμους και με τους δύο τρόπους κωδικοποίησης (και τις έξι φορές).

Παρόλα αυτά οι αλγόριθμοι στην παρούσα μορφή τους δε κατάφεραν να

ξεπεράσουν σε αποτελεσματικότατά τον genetic algorithm και τον Simulated annealing που αποδίδουν ιδανικά σε τέτοιους είδους προβλήματα, για αυτό αλώστε είναι και οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι σε αυτή τη κατηγορία προβλημάτων.

6.1 Άλλες προτεινόμενες Μεθοδολογίες

Ο αλγόριθμος Dolphin echolocation (DE), που αναφέρεται στον ηχοεντοπισμό που χρησιμοποιούν τα δελφίνια, θα αποτελούσε μία ενδιαφέρουσα προσθήκη στη λίστα αλγορίθμων που έχουν χρησιμοποιηθεί στο συγκεκριμένο πρόβλημα. Υλοποιήθηκε από τους A.Kaveh και N.Farhoudi το 2013. Αυτή η μέθοδος μιμείται στρατηγικές που χρησιμοποιούνται από τα δελφίνια για τη διαδικασία κυνηγιού τους. Τα δελφίνια παράγουν ένα είδος φωνής που ονομάζεται sonar για τον εντοπισμό του στόχου. Εκείνο λοιπόν, κατά τη διάρκεια του κυνηγιού αλλάζει το σόναρ για να τροποποιήσει τον στόχο και τη θέση του. Θυμίζει τον αλγόριθμο των νυχτερίδων που έχει εφαρμοστεί σε αυτό το πρόβλημα[33], αλλά ο τρόπος αναζήτησης διαφέρει τελείως. Αξίζει να σημειωθεί πως το «σύστημα» sonar των νυχτερίδων έχει εμβέλεια μέχρι 4 μέτρα, σε αντίθεση με εκείνο των δελφινιών που μπορεί να ξεπεράσει μέχρι και τα 100.

7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Belloni, Alexandre, et al. "Optimizing product line designs: Efficient methods and comparisons." *Management Science* 54.9 (2008): 1544-1552.
- [2] Chiang, Wen-Chyuan. "The application of a tabu search metaheuristic to the assembly line balancing problem." *Annals of Operations Research* 77 (1998): 209-227.
- [3] Fister, Iztok, et al. "A comprehensive review of firefly algorithms." *Swarm and Evolutionary Computation* 13 (2013): 34-46.
- [4] Hansen, Pierre, and Nenad Mladenović. "Variable neighborhood search: Principles and applications." *European journal of operational research* 130.3 (2001): 449-467.
- [5] Marinaki, Magdalene, et al. "A comparison of several nearest neighbor classifier metrics using Tabu Search algorithm for the feature selection problem." *Optimization Letters* 2.3 (2008): 299-308.
- [6] Marinakis, Yannis, Magdalene Marinaki, and Nikolaos Matsatsinis. "A hybrid bumble bees mating optimization-grasp algorithm for clustering." *International Conference on Hybrid Artificial Intelligence Systems*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2009.
- [7] Marinakis, Yannis, Magdalene Marinaki, and Nikolaos Matsatsinis. "Honey bees mating optimization for the location routing problem." *2008 IEEE International Engineering Management Conference*. IEEE, 2008.
- [8] Marinakis, Yannis, Magdalene Marinaki, and Nikolaos Matsatsinis. "A hybrid discrete artificial bee colony-GRASP algorithm for clustering." *2009 International Conference on Computers & Industrial Engineering*. IEEE, 2009.
- [9] Nair, Suresh K., Lakshman S. Thakur, and Kuang-Wei Wen. "Near optimal solutions for product line design and selection: Beam search heuristics." *Management Science* 41.5 (1995): 767-785.
- [10] Rayward-Smith, Victor John, et al. *Modern heuristic search methods*. Wiley, 1996.
- [11] Ribeiro, Celso C., and Pierre Hansen, eds. *Essays and surveys in metaheuristics*. Vol. 15. Springer Science & Business Media, 2012.
- [12] Tsafarakis, Stelios, and Nikolaos Matsatsinis. "Designing optimal products: Algorithms and systems." *Marketing Intelligent Systems Using Soft Computing*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010. 295-336.
- [13] Tsafarakis, Stelios, et al. "A probabilistic choice model for the product line design problem." *2008 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*. IEEE, 2008.
- [14] Tsafarakis, Stelios, et al. "Hybrid particle swarm optimization with mutation for optimizing industrial product lines: An application to a mixed solution space considering both discrete and continuous design variables." *Industrial Marketing Management* 42.4 (2013): 496-506.
- [15] Tsafarakis, Stelios, Pavlos Delias, and Nikolaos Matsatsinis. "A service-oriented approach for the optimal product/service design business process." *International Journal of Information Systems in the Service Sector (IJISSS)* 5.1 (2013): 68-81.

- [16] Tsafarakis, Stelios, et al. "Fuzzy self-tuning differential evolution for optimal product line design." *European Journal of Operational Research* 287.3 (2020): 1161-1169.
- [17] Tsafarakis, Stelios, Yannis Marinakis, and Nikolaos Matsatsinis. "Particle swarm optimization for optimal product line design." *International Journal of Research in Marketing* 28.1 (2011): 13-22.
- [18] Yang, Xin-She, and Suash Deb. "Engineering optimisation by cuckoo search." *International Journal of Mathematical Modelling and Numerical Optimisation* 1.4 (2010): 330-343.
- [19] Βουτσαδάκης, Βασίλειος. "Νοήμονες μέθοδοι εμπνευσμένες από τον φυσικό κόσμο για την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης από τον χώρο οικονομίας και διοίκησης." (2017).
- [20] Γκουντή, Ανθούλα Αντωνίου. *Εξελικτικοί αλγόριθμοι: Ο αλγόριθμος της Διαφορικής Εξέλιξης*. No. GRI-2014-13070. Aristotle University of Thessaloniki, 2014.
- [21] Παληοθόδωρος, Ιωάννης Γ. *Ο αλγόριθμος των μελισσών και οι εφαρμογές του*. MS thesis. 2012.
- [22] Παπά, Κλειώ Βρυώνη. *Conjoint Analysis: Εφαρμογή στα κινητά τηλέφωνα smartphones*. No. GRI-2017-19523. Aristotle University of Thessaloniki, 2017.
- [23] Ρουσσέτη, Μαγδαληνή, et al. "Αξιολόγηση της ικανοποίησης πελατών: Εφαρμογή σε δημοτικά προγράμματα «Άθλησης για όλους»." *Διοίκηση Αθλητισμού και Αναψυχής* 2.2 (2005): 29-38.
- [24] Στυλιανός, Αντώνιος. *Μελέτη προβλήματος βέλτιστης φόρτωσης εμπορευματοκιβωτίων*. MS thesis. Πανεπιστήμιο Πειραιώς, 2014.
- [25] Τσαπέρα, Χρυσάνθη. *Θεωρία και συμπεριφορά καταναλωτή: μία διερεύνηση απέναντι στη διαφήμιση & στο ηλεκτρονικό εμπόριο. Δικαιώματα & προστασία του καταναλωτή*. Diss. 2007.
- [26] Shi, Leyuan, and Sigurdur Olafsson. "Nested partitions method for global optimization." *Operations research* 48.3 (2000): 390-407.
- [27] Kohli, Rajeev, and Ramesh Krishnamurti. "A heuristic approach to product design." *Management Science* (1987): 1523-1533.
- [28] Whitley, Darrell. "A genetic algorithm tutorial." *Statistics and computing* 4.2 (1994): 65-85.
- [29] Van Laarhoven, Peter JM, and Emile HL Aarts. "Simulated annealing." *Simulated annealing: Theory and applications*. Springer, Dordrecht, 1987. 7-15.
- [30] Steiner, Winfried, and Harald Hruschka. "Genetic algorithms for product design: How well do they really work?." *International Journal of Market Research* 45.2 (2003): 1-13.
- [31] Tsafarakis, Stelios. "Redesigning product lines in a period of economic crisis: a hybrid simulated annealing algorithm with crossover." *Annals of Operations Research* 247.2 (2016): 617-633.
- [32] Green, Paul E., and Abba M. Krieger. "Recent contributions to optimal product positioning and buyer segmentation." *European Journal of Operational Research* 41.2 (1989): 127-141.

- [33] Janson, Stefan, and Martin Middendorf. "A hierarchical particle swarm optimizer and its adaptive variant." *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)* 35.6 (2005): 1272-1282.
- [34] Slaa, E. Judith, and William OH Hughes. "Local enhancement, local inhibition, eavesdropping, and the parasitism of social insect communication." *Food exploitation by social insects. Ecological, behavioral, and theoretical approaches. CRC, Boca Raton* (2009): 147-164.
- [35] Kaveh, A., and N. Farhoudi. "A new optimization method: Dolphin echolocation." *Advances in Engineering Software* 59 (2013): 53-70.
- [36] Tsafarakis, Stelios, et al. "Fuzzy self-tuning differential evolution for optimal product line design." *European Journal of Operational Research* 287.3 (2020): 1161-1169.
- [37] Zervoudakis, Konstantinos, Stelios Tsafarakis, and Sovatzidi Paraskevi-Panagiota. "A New Hybrid Firefly–Genetic Algorithm for the Optimal Product Line Design Problem." *International Conference on Learning and Intelligent Optimization*. Springer, Cham, 2019.
- [38] Mohammed, Awsan M., and Salih O. Duffuaa. "A tabu search based algorithm for the optimal design of multi-objective multi-product supply chain networks." *Expert Systems with Applications* 140 (2020): 112808.
- [39] Storn, R., Price, K. Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for global Optimization over Continuous Spaces. *Journal of Global Optimization* 11, 341–359 (1997).

Υπόλοιπη χρήσιμη βιβλιογραφία:

- [i] Ανδρέας Μαραγκουδάκης, "Εφαρμογή του αλγορίθμου βελτιστοποίησης αποικίας μελισσών σε προβλήματα δρομολόγησης", Μεταπτυχιακή Διατριβή, Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, Ελλάδα, 2013.
- [ii] Γεώργιος Μπαλαράς, "Εφαρμογή του αλγορίθμου Tabu Search για την επίλυση του προβλήματος βέλτιστου σχεδιασμού γραμμής προϊόντων", Μεταπτυχιακή Διατριβή, Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, Ελλάδα, 2016.
- [iii] Θεοδώρα Πικούλη, "Μεθοδολογία επίλυσης προβλημάτων χρονοπρογραμματισμού εργασιών με στοχαστικό χρόνο άφιξης ή εξυπηρέτησης", Μεταπτυχιακή Διατριβή, Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, Ελλάδα, 2016.
- [v] Ιωάννης Μαρινάκης, Μαγδαληνή Μαρινάκη, Νικόλαος Φ. Ματσατσίνης, Κωνσταντίνος Ζοπουνίδης, "Μεθευρετικοί και εξελικτικοί αλγόριθμοι σε προβλήματα διοικητικής επιστήμης", Κλειδάριθμος, 2011.
- [vi] Ιωάννης Φραγκογιάννης, "Βέλτιστος σχεδιασμός γραμμής προϊόντων με χρήση αλγορίθμων εμπνευσμένων από τη φύση", Μεταπτυχιακή Διατριβή, Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, Ελλάδα, 2018.
- [vii] Νικόλαος Βαλαβάνης, "Μέτρηση και ανάλυση καταναλωτικών προτιμήσεων με χρήση διαδικτυακής Choice Based Conjoint Analysis: η περίπτωση των Smartphone", Διπλωματική Εργασία, Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, Ελλάδα, 2015.

[viii] Νικόλαος Φ. Μασσατσίνης, "Ανάλυση Συμπεριφοράς Καταναλωτών", σεμινάριο Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2012.