



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΣΕ ΕΥΦΥΕΙΣ ΠΡΑΚΤΟΡΕΣ
ΜΕ ΣΥΝΑΙΣΘΗΜΑΤΑ, ΔΙΑΘΕΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΤΗΤΑ**

Διπλωματική Εργασία

Θώδης Βασίλης

Επιβλέπουσα: Δασκαλοπούλου Ασπασία

Σεπτέμβριος 2022



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

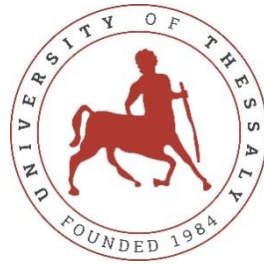
**Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΣΕ ΕΥΦΥΕΙΣ ΠΡΑΚΤΟΡΕΣ
ΜΕ ΣΥΝΑΙΣΘΗΜΑΤΑ, ΔΙΑΘΕΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΤΗΤΑ**

Διπλωματική Εργασία

Θώδης Βασίλης

Επιβλέπουσα: Δασκαλοπούλου Ασπασία

Σεπτέμβριος 2022



UNIVERSITY OF THESSALY

SCHOOL OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING

**THE DECISION MAKING PROCESS OF INTELLIGENT AGENTS
WITH INTEGRATED EMOTIONS, MOOD AND PERSONALITY**

Diploma Thesis

Vasilis Thodis

Supervisor: Aspassia Daskalopulu

September 2022

Εγκρίνεται από την Επιτροπή Εξέτασης:

Επιβλέπουσα

Ασπασία Δασκαλοπούλου

Επίκουρος Καθηγήτρια, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και
Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος

Μπαργιώτας Δημήτριος

Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών
Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος

Τσομπανοπούλου Παναγιώτα

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και
Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ρητά ότι η παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας, αποτελούν αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλουν οποιασδήποτε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχουν έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή/και πηγές άλλων συγγραφέων αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Δηλώνω επίσης ότι τα αποτελέσματα της εργασίας δεν έχουν χρησιμοποιηθεί για την απόκτηση άλλου πτυχίου. Αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες που δύναται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής.

Ο Δηλών

Θώδης Βασίλης

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας, ευχαριστώ την επιβλέπουσα καθηγήτρια Ασπασία Δασκαλοπούλου για τη συμβολή της στην ολοκλήρωση της, καθώς και τους καθηγητές και μέλη της επιτροπής Δημήτρη Μπαργιώτα και Παναγιώτα Τσομπανοπούλου. Τέλος, ευχαριστώ τους κοντινούς μου ανθρώπους για την στήριξή τους σε όλα τα επίπεδα, στήριξη που ξεπερνά κατά πολύ τα όρια αυτής της εργασίας.

Διπλωματική Εργασία

Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΣΕ ΕΥΦΥΕΙΣ ΠΡΑΚΤΟΡΕΣ ΜΕ ΣΥΝΑΙΣΘΗΜΑΤΑ, ΔΙΑΘΕΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΤΗΤΑ

Θώδης Βασίλης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μοντελοποίηση με βάση τους πράκτορες (*Agent –Based Modeling*) είναι μια μέθοδος υπολογιστικής μοντελοποίησης φαινομένων ως δυναμικά συστήματα πρακτόρων. Η μέθοδος αυτή βρίσκει εφαρμογή, μεταξύ άλλων, στην έρευνα στις ανθρωπιστικές και στις κοινωνικές επιστήμες και γενικότερα σε επιστήμες που μελετούν ανθρώπινα φαινόμενα. Σε αυτές τις περιπτώσεις η συμπεριφορά των πρακτόρων χρειάζεται να προσεγγίζει αυτή των ανθρώπων. Φυσικά, η ανθρώπινη συμπεριφορά είναι πολυδιάστατη.

Η εργασία αυτή μελετάει τις διαστάσεις των συναισθημάτων, της διάθεσης και της προσωπικότητας στην επιλογή δράσεων, καθώς και στον τρόπο που αυτοί οι παράγοντες μοντελοποιούνται σε τεχνητούς πράκτορες.

Για τους σκοπούς της σύνοψης όσων αναπτύσσονται σε αυτή την εργασία, αλλά και της πρακτικής επίδειξης των δυνατοτήτων που προσφέρει η μοντελοποίηση με βάση τους πράκτορες, δημιουργούνται προσομοιώσεις του επαναλαμβανόμενου διλήμματος του φυλακισμένου. Σε αυτό το πλαίσιο μοντελοποιούνται ορθολογικοί αλλά και «συναισθηματικοί» πράκτορες, οι οποίοι μαθαίνουν μια συγκεκριμένη στρατηγική στο περιβάλλον τους. Τέλος, μελετώνται οι σχετικές διαφορές μεταξύ των συμπεριφορών τους στα πλαίσια της προσομοίωσης.

Diploma Thesis

**THE DECISION MAKING PROCESS OF INTELLIGENT AGENTS
WITH INTEGRATED EMOTIONS, MOOD AND PERSONALITY**

Vasilis Thodis

ABSTRACT

Agent-Based Modeling is a method of computational modeling of phenomena as dynamic systems of agents. This method finds application, among others, in research in the humanities and social sciences and in general in sciences that study human phenomena. In these cases the behavior of agents needs to approximate that of humans. Of course, human behavior is multidimensional.

This work studies the dimensions of emotions, mood and personality in action selection, as well as the way these factors are modeled in artificial agents.

For the purposes of summarizing the ideas in this work and of practically demonstrating the strengths of agent-based modeling, simulations of the iterated prisoner's dilemma are created. In this context, rational as well as "emotional" agents are modeled, that learn a specific strategy in their environment. Finally, the relative differences in their behavior are studied within the context of the simulation.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	xi
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	xiii
ABSTRACT	xv
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	xvi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	xix
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	xxi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	xxiii
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ	xxv
Κεφάλαιο 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Μοντελοποίηση με βάση τους πράκτορες	1
1.2 Οφέλη της χρήσης της ABM.....	2
1.3 Ανάπτυξη θεωριών για τις ανθρώπινες ομάδες	3
1.4 Προκλήσεις και πιθανά προβλήματα των πρακτορικών μοντελοποιήσεων.....	6
1.5 Αντικείμενο διπλωματικής εργασίας	6
1.5.1 Συνεισφορά.....	7
1.6 Οργάνωση εργασίας.....	7
Κεφάλαιο 2 ΣΥΝΑΙΣΘΗΜΑΤΑ, ΔΙΑΘΕΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ	9
2.1 Πώς ορίζεται το συναίσθημα και η διάθεση;	9
2.2 Θεωρίες συναισθημάτων	10
2.2.1 Θεωρίες Αξιολόγησης	11
2.3 Περιγραφικά μοντέλα συναισθημάτων	13
2.4 Συναισθήματα και λήψη αποφάσεων	14
2.4.1 Άμεση επιρροή του συναισθήματος στη λήψη αποφάσεων.	16

2.4.2 Συμπτωματικές συναισθηματικές καταστάσεις κατά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων.....	16
2.4.3 Συναισθηματική επιρροή και συναισθήματα ως αποτέλεσμα των αποφάσεων	17
2.4.4 Συναισθήματα και διαπροσωπικές αποφάσεις.....	18
2.5 Προσωπικότητα.....	19
2.5.1 Το μοντέλο προσωπικότητας O.C.E.A.N.	19
2.5.2 Μοντέλο O.C.E.A.N. και λήψη αποφάσεων.....	20
2.6 Μοντέλα συναισθημάτων και διάθεσης	22
2.6.1 Το μοντέλο συναισθημάτων των Ortony, Clore, και Collins.....	22
2.6.2 Το κυκλικό μοντέλο συναισθηματικής επιρροής (Circumplex model of Affect)	26
2.6.3 Το μοντέλο ευχαρίστησης, διέγερσης και κυριαρχίας (Pleasure, arousal, dominance model) ...	28
Κεφάλαιο 3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΣΥΝΑΙΣΘΗΜΑΤΩΝ	33
3.1 Ο κύκλος λειτουργίας ενός CME	34
3.2 Στάδια ανάπτυξης από την σκοπιά της ανάπτυξης λογισμικού	36
3.3 Αυτόνομα και ενοποιημένα υπολογιστικά μοντέλα.....	37
3.4 Cathexis.....	39
3.5 ALMA	40
3.6 Open Affective Agent Architecture	42
3.7 FAtiMA Modular	44
Κεφάλαιο 4 ΤΟ ΔΙΛΗΜΜΑ ΤΟΥ ΦΥΛΑΚΙΣΜΕΝΟΥ.....	47
4.1 Το δίλημμα του φυλακισμένου και η εξέλιξη της συνεργασίας	48
4.2 Τα συναισθήματα βοηθούν στην επίλυση του διλήμματος του φυλακισμένου	50
Κεφάλαιο 5 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΑΚΤΟΡΩΝ ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΤΟΥ	
ΕΠΑΝΑΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΟΥ ΔΙΛΗΜΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΦΥΛΑΚΙΣΜΕΝΟΥ	53
5.1 Βασικοί συμβολισμοί μεταβλητών και συναρτήσεων	53
5.2 Βασική αρχιτεκτονική των ορθολογικών πρακτόρων.....	55
5.3 Πράκτορας Ρανιον1.....	56
5.3.1 Μάθηση του ορθολογικού πράκτορα	56
5.4 «Συναισθηματικός» πράκτορας Ρανιον2	57
5.4.1 Οι βασικές σχεδιαστικές υποθέσεις και ο κύκλος λειτουργίας.....	57
5.4.2 Η μνήμη του πράκτορα.....	60

5.4.3 Συνάρτηση αντίληψης απολαβών και προδιαθέσεις για δράσεις	60
5.4.4 Η αξιολόγηση των καταστάσεων του πράκτορα	62
5.4.5 Η παραγωγή συναισθημάτων του πράκτορα	63
5.4.6 Ενημέρωση της διάθεσης	67
5.4.7 Μάθηση και επιλογή δράσεων.....	67
Κεφάλαιο 6 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ.....	69
6.1 Η αρχιτεκτονική των πρακτόρων.....	69
6.2 Η αρχιτεκτονική του περιβάλλοντος της προσομοίωσης.....	70
6.3 Έλεγχος του μοντέλου συναισθημάτων των πρακτόρων – Προσομοίωση 1.....	71
6.3.1 Αποτελέσματα Ρανιον1	72
6.3.2 Αποτελέσματα για τον Πράκτορα 1(Συνεργατικός και παραχωρητικός)	73
6.3.3 Αποτελέσματα για τον Πράκτορα 2(Συνεργατικός και μη παραχωρητικός)	73
6.3.4 Αποτελέσματα για Πράκτορα 3(Μη συνεργατικός και παραχωρητικός)	74
6.3.5 Αποτελέσματα για Πράκτορα 4(Μη συνεργατικός και μη παραχωρητικός)	75
6.3.6 Αποτελέσματα για Πράκτορα 5(Ουδέτερος και παραχωρητικός).....	76
6.3.7 Αποτελέσματα για Πράκτορα 6(Ουδέτερος και μη παραχωρητικός).....	77
6.4 Εξέταση του ποσοστού συνεργασίας των πρακτόρων σε πολύ-πρακτορικό περιβάλλον	78
6.5 Αποτελέσματα προσομοίωσης 2	79
6.5.1 Πράκτορες εναντίον TFT bots	79
6.5.2 Πράκτορες εναντίον RTFT bots	80
6.5.3 Πράκτορες εναντίον Random bots	81
6.6 Σχόλια για την δεύτερη προσομοίωση	83
Κεφάλαιο 7 ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	85
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	87

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Η κληρονομικότητες των κλάσεων των πρακτόρων	70
---	----

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Ιεραρχική αναπαράσταση του μοντέλου συναισθημάτων των Ortony, Clore και Collins [7]	25
Εικόνα 2: Οι προδιαγραφές των συναισθηματικών τύπων του μοντέλου O.C.C. [27]	26
Εικόνα 3: Το κυκλικό μοντέλο συναισθηματικής επιρροής [7]	27
Εικόνα 4: Η αρχιτεκτονική του Cathexis [35]	40
Εικόνα 5: Ο κύκλος λειτουργίας της O3A [37]	43
Εικόνα 6: Η αρχιτεκτονική FAtiMA Core [38]	45
Εικόνα 7: Οι συναισθηματικές καταστάσεις του Πράκτορα 1.....	73
Εικόνα 8: Οι συναισθηματικές καταστάσεις του Πράκτορα 2.....	74
Εικόνα 9: Οι συναισθηματικές καταστάσεις του Πράκτορα 3.....	75
Εικόνα 10: Οι συναισθηματικές καταστάσεις του Πράκτορα 4.....	76
Εικόνα 11: Οι συναισθηματικές καταστάσεις του Πράκτορα 5.....	77
Εικόνα 12: Οι συναισθηματικές καταστάσεις του Πράκτορα 6.....	78

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Τύποι διαθέσεων στο χώρο του P.A.D.....	29
Πίνακας 2: Τα συναισθήματα του O.C.C. προσαρμοσμένα στις διαστάσεις του P.A.D. ...	30
Πίνακας 3: Οι απολαβές σε ένα γενικευμένο δίλημμα φυλακισμένου	48
Πίνακας 4: Ο πίνακας των δυνατών απολαβών του παιχνιδιού	71
Πίνακας 5: Ο παραχωρητικός (P1) πράκτορας εναντίον των TFT bots (σε σύγκριση με τον Pavlov1)	80
Πίνακας 6: Ο μη παραχωρητικός (P2) πράκτορας εναντίον των TFT bots (σε σύγκριση με τον Pavlov1).....	80
Πίνακας 7: Ο παραχωρητικός (P1) πράκτορας εναντίον των RTFT bots (σε σύγκριση με τον Pavlov1)	81
Πίνακας 8: Ο μη παραχωρητικός (P2) πράκτορας εναντίον των RTFT bots (σε σύγκριση με τον Pavlov1).....	81
Πίνακας 9: Ο παραχωρητικός(P1) πράκτορας εναντίον των Random bots (σε σύγκριση με τον Pavlov1).....	82
Πίνακας 10: Ο μη παραχωρητικός(P2) πράκτορας εναντίον των Random bots (σε σύγκριση με τον Pavlov1).....	82

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ABM μοντελοποίηση με βάση τους πράκτορες

ABMS προσομοιώσεις που βασίζονται στην ABM

OCC το μοντέλο συναισθημάτων των Ortony, Clore, και Collins

P.A.D. το μοντέλο ευχαρίστησης, διέγερσης και κυριαρχίας (Pleasure, arousal, dominance model)

O3A Open Affective Agent Architecture

CME υπολογιστικό μοντέλο συναισθημάτων

Κεφάλαιο 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Μοντελοποίηση με βάση τους πράκτορες

Η μοντελοποίηση με βάση τους πράκτορες είναι μια μέθοδος υπολογιστικής μοντελοποίησης φαινομένων ως δυναμικά πολύ-πρακτορικά συστήματα [1]. Οι προσομοιώσεις που βασίζονται σε τέτοιου είδους μοντέλα- θα αναφέρονται ως ABMS από εδώ και ύστερα- χρησιμοποιούνται για την μελέτη των επαναλαμβανόμενων αλληλεπιδράσεων πρακτόρων σε βάθος χρόνου, καθώς και των δυναμικών που δημιουργούνται από αυτές. Οι επιστήμες της πολυπλοκότητας, των συστημάτων και των δυναμικών τους, των υπολογιστών, των κοινωνικών επιστημών είναι μερικές από αυτές που σχετίζονται με αυτού του τύπου τις προσομοιώσεις. Αναπόφευκτα λοιπόν τα θεωρητικά θεμέλια και η φιλοσοφία τους, όσο και οι τεχνικές μοντελοποίησης που χρησιμοποιούν αντλούνται από τα προαναφερθέντα πεδία. Αυτού του είδους οι προσομοιώσεις σχετίζονται επίσης και με τους τομείς των πολύ-πρακτορικών συστημάτων και της ρομποτικής από τον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης, καθώς και της Τεχνητής Ζωής. Αλλά οι ABMS δεν αφορούν μόνο την κατανόηση και την ανάπτυξη τεχνητών πρακτόρων. Συνήθως χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση και τη μελέτη της ανθρώπινης κοινωνικής και οργανωτικής συμπεριφοράς αλλά και της ατομικής λήψης αποφάσεων.

Όπως μας πληροφορούν οι συγγραφείς της [2], κάποιες από τις εφαρμογές της τεχνικής αυτής είναι η ανάπτυξη και η δοκιμή θεωριών οργανωτικής ψυχολογίας, καθώς και η έρευνα των δυναμικών των ανθρώπινων ομάδων. Για παράδειγμα μερικές μοντελοποιήσεις που αφορούν τις δυναμικές των ομάδων περιλαμβάνουν το σχηματισμός συνεργατικών ομάδων και την κατανεμημένη κοινωνική γνωστική λειτουργία. Άλλες εφαρμογές περιλαμβάνουν τη μελέτη κοινωνικών, οικονομικών ή πολιτικών φαινομένων [3]. Εξαιτίας των παραπάνω, γίνεται εμφανής η ανάγκη για όσο το δυνατόν πιστότερες αναπαραστάσεις των σχετικών με τη προσομοίωση ανθρώπινων συμπεριφορών, κοινωνικών αλληλεπιδράσεων, ομαδικών συμπεριφορών κτλ, ώστε τα αποτελέσματα των μελετών να είναι πιο αξιόπιστα.

Τα βασικά δομικά στοιχεία ενός μοντέλου σε αυτή την τεχνική μπορούν να γίνουν κατανοητά μέσω του θεωρητικού πλαισίου της *Μπανιέρας του Κόλμαν*, που

αναπτύχθηκε για την εξήγηση κοινωνικών φαινομένων και κάνει εφικτή την κατανόηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ μικροσκοπικών και μακροσκοπικών δομών [3]. Σύμφωνα με αυτό, τα δομικά στοιχεία ενός μοντέλου λοιπόν είναι :

1. Η κοινωνική δομή/περιβάλλον κάθε πράκτορα.
2. Ο μηχανισμός περιγραφής της επίδρασης της κοινωνικής δομής-περιβάλλοντος στον πράκτορα σε μικροσκοπική κλίμακα.
3. Οι πράκτορες με τις αντιλήψεις τους και την ικανότητα τους για λήψη αποφάσεων.
4. Ένας μηχανισμό που υποδεικνύει πως οι πράκτορες επιλέγουν τις πράξεις τους
5. Οι επιλεγόμενες πράξεις.
6. Ένας μηχανισμός που περιγράφει πως οι ατομικές δράσεις επηρεάζουν το περιβάλλον των πρακτόρων.
7. Το προκύπτον περιβάλλον από τις δράσεις των πρακτόρων.

1.2 Οφέλη της χρήσης της ABM

Σε αυτό το σημείο αναφερόμαστε στα πιθανά πλεονεκτήματα της ABM, αντλώντας από την [1].

Αρχικά, ένα πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι η καταγραφή αναδυόμενων φαινομένων, στην οποία παρατηρείται δυσκολία λόγω της τάσης που αυτά έχουν να αντιβαίνουν στη διαίσθηση. Αυτό συμβαίνει επειδή, παρόλο που αυτά τα φαινόμενα είναι προϊόντα των επιμέρους αλληλεπιδράσεων των στοιχείων ενός συστήματος, ταυτόχρονα, σαν σύνολο, είναι κάτι παραπάνω από το απλό άθροισμα τους. Στην [1] δίνεται ως παράδειγμα αναδυόμενου φαινομένου το αποτέλεσμα ενός απλού παιχνιδιού μεταξύ 10-40 ατόμων. Στο παιχνίδι αυτό ζητείται από κάθε συμμετέχοντα να επιλέξει δύο άτομα τυχαία, το άτομο A και το άτομο B. Στη συνέχεια, ζητείται να κινούνται στην αίθουσα με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να διατηρούν συνεχώς το A μεταξύ του εαυτού τους και του B. Έτσι το άτομο A θα ενεργεί ως «προστάτης» έναντι του B. Στη συνέχεια, παρατηρείτε πως όλοι οι συμμετέχοντες αρχίζουν, με βάση αυτές τις οδηγίες, να κινούνται με έναν φαινομενικά τυχαίο τρόπο στην αίθουσα μέχρι που σύντομα αρχίζουν να αναρωτιούνται γιατί κάνουν ότι κάνουν. Όταν γίνει αυτό αντιληπτό, δίνεται η οδηγία σε κάθε συμμετέχοντα να αλλάξει θέση

ώστε να παραμείνει μεταξύ των συμμετεχόντων A και B που έχει επιλέξει, ενεργώντας ο ίδιος τώρα ως «προστάτης». Το αποτέλεσμα αυτής της οδηγίας είναι πως όλοι οι συμμετέχοντες στο δωμάτιο στριμώχνονται ξαφνικά, σαν σε κόμπο, στο κέντρο του δωματίου. Αυτό το παράδειγμα δείχνει πως οι απλοί κανόνες ατομικής συμπεριφοράς μπορούν να οδηγήσουν σε συνεκτική ομαδική συμπεριφορά, που δεν μπορεί να προβλεφθεί ικανοποιητικά από τη διαίσθησή μας. Αυτό ισχύει ακόμα περισσότερο καθώς το επίπεδο πολυπλοκότητας αυξάνεται.

Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό πως η περιγραφή συστημάτων που αποτελείται από ενεργές οντότητες είναι πιο φυσική μέσω της πρακτορικής μοντελοποίησης καθώς περιγράφεται το σύστημα από την οπτική των διαδοχικών αλληλεπιδράσεων των επιμέρους στοιχείων του.

Τέλος, ένα ακόμη πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι η ευελιξία της. Αυτή μπορεί να παρατηρηθεί σε πολλές διαστάσεις. Μερικές από αυτές είναι:

1. Η ευκολία στην προσαρμογή του πληθυσμού των πρακτόρων ανάλογα με τις ανάγκες της μελέτης.

2. Η δυνατότητα δοκιμής και προσαρμογής της πολυπλοκότητας των πρακτόρων σε πτυχές όπως η συμπεριφορά, ο βαθμός ορθολογικότητας, η ικανότητα μάθησης και εξέλιξης και τους κανόνες αλληλεπιδράσεων τους

3. Η δυνατότητα προσέγγισης διαφορετικών επιπέδων περιγραφής του συστήματος, καθώς και μελέτης διαφορετικών επιπέδων της συμπεριφοράς των πρακτόρων (ατομικές, ομαδικές) ενός μοντέλου. Ιδιαίτερα όταν το κατάλληλο επίπεδο περιγραφής ή πολυπλοκότητας δεν είναι γνωστό εκ των προτέρων, η ABM παρέχει δυνατότητες πειραματισμού για την εύρεσή του.

1.3 Ανάπτυξη θεωριών για τις ανθρώπινες ομάδες

Σε αυτό το σημείο στρέφουμε την προσοχή μας στις δυνατότητες που παρέχει η χρήση των πολύ-πρακτορικών μοντέλων για την ανάπτυξη θεωριών για τις ανθρώπινες ομάδες.

Όπως αναφέρεται στην [4], οι βασικές προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι ερευνητές των δυναμικών των ομάδων, οι οποίες όπως προκύπτει είναι

αντιμετωπίσιμες από την πρακτορική μοντελοποίηση και τις προσομοιώσεις που τη χρησιμοποιούν, είναι οι εξής:

1. Οι δυναμικές των ομάδων περιλαμβάνουν πολλαπλά επίπεδα οργάνωσης. Αυτά είναι το *ατομικό* - με διεργασίες όπως η αντίληψη, η συμπεριφορά και η γνωστική ικανότητα να επηρεάζουν τον τρόπο που αλληλεπιδρούν τα άτομα σε κοινωνικό πλαίσιο, δημιουργώντας αναδυόμενες συλλογικές συμπεριφορές, νόρμες και θεσμούς-, το *συλλογικό* και το *δομικό/καταστατικό*, τα οποία αναφέρονται στο πλαίσιο στο οποίο δρουν τα άτομα και στις συμπεριφορές και κοινωνικές νόρμες που περιορίζουν τις ατομικές και συλλογικές διεργασίες.

2. Η μελέτη δυναμικών διεργασιών παρουσία ανατροφοδοτήσεων, τόσο μεταξύ επιπέδων οργάνωσης, όσο και εντός κάθε επιπέδου.

3. Η μοντελοποίηση συστημάτων με μνήμη, ένα χαρακτηριστικό που έχουν και οι κοινωνικές ομάδες. Ως μνήμη ορίζεται η εξάρτηση τωρινών καταστάσεων από προηγούμενες. Η δυσκολία στη μελέτη των δυναμικών των ανθρώπινων ομάδων λαμβάνοντας υπόψη και τη μνήμη, έγκειται κυρίως στο γεγονός ότι πολλές ομαδικές διεργασίες είναι αλληλοεξαρτώμενες χρονικά. Με άλλα λόγια, μια παρελθοντική κατάσταση δεσμεύει μια μεταγενέστερη.

Η βασική αξία ενός μοντέλου, όπως και ενός οποιουδήποτε εργαστηριακού πειράματος, έγκειται στην δυνατότητα του να λειτουργήσει ως αναλογία στην οποία λογίζονται τα βασικά μέρη μιας υπόθεσης [4]. Εξ ορισμού λοιπόν δεν μιλάμε για μια απόλυτα πιστή αναπαράσταση της πραγματικότητας. Ωστόσο, όπως αναφέρεται από του αρθρογράφους, η σύγκριση ενός μοντέλου με δεδομένα από άλλες πηγές, π.χ., άλλα εργαστηριακά πειράματα και έρευνες, κρίνεται χρήσιμη. Οι όροι μιας υπόθεσης μπορούν να διευκρινιστούν από τα μοντέλα καθώς και να παραχθούν εναλλακτικές λύσεις για τον έλεγχο μηδενικής υπόθεσης, να αποσαφηνιστούν οι οριακές συνθήκες, καθώς και να υποδειχθούν μελλοντικά ερευνητικά ερωτήματα που πιθανώς να προκύψουν από την αδυναμία αναπαράστασης των εμπειρικών αποτελεσμάτων.

Οι βάσεις μιας θεωρίας για φαινόμενα ενδιαφέροντος μπορούν να ελεγχθούν μέσω της σύγκρισης των δεδομένων που παράγονται από μοντέλα που βασίζονται στις αντίστοιχες θεωρίες με δεδομένα που αντλούμε από πηγές στον πραγματικό κόσμο [4]. Είτε η σύγκλιση, είτε η απόκλιση τους μπορεί να είναι διδακτική. Στην

πρώτη περίπτωση, αν τα παραγόμενα δεδομένα της μοντελοποιημένης θεωρίας συγκλίνουν με αυτά άλλων πηγών, προκύπτει μια πολύ-τροπική συγκλίνουσα επικύρωση της θεωρίας. Στην αντίθετη περίπτωση, είναι πιθανό η θεωρία να είναι λανθασμένη ή το μοντέλο να είναι σχεδιασμένο με τρόπο που η θεωρία δεν αναπαρίσταται σωστά. Μια τέτοια περίπτωση μπορεί να λειτουργήσει ευεργετικά, επεκτείνοντας πιθανώς τη θεωρία ή ακόμα και να την θεμελιώσει.

Η μεταφορά μιας θεωρίας σε τυπικό μοντέλο συχνά επιβάλλει μια ακρίβεια που οι λεκτικές διατυπώσεις υπολείπονται [4]. Ο ερευνητής έτσι, στην προσπάθεια να μοντελοποιήσει τη θεωρία, κλίνεται να καλύψει θεωρητικά κενά και ασάφειες της. Σε αυτή τη διαδικασία τυχόν απροσδιοριστίες στη λεκτική διατύπωση της μπορεί τελικά να αναδειχθούν ως καθοριστικοί παράγοντες ή οριακές συνθήκες και έτσι να θεμελιώσουν περεταίρω τη θεωρία.

Οι αποκλίσεις των παραγόμενων δεδομένων από μοντέλα με δεδομένα άλλων πηγών μπορούν επίσης να έχουν διάφορα αίτια [4]. Για παράδειγμα, όπως αναφέρθηκε, τα δεδομένα από το μοντέλο μπορεί να αντανακλούν αναδυόμενες ιδιότητες δυναμικών διαδικασιών που δεν αποτυπώνονται σε άλλες ερευνητικές μεθόδους. Ομοίως, οι αιτιώδεις βρόγχοι των δυναμικών των ομάδων παρουσιάζονται μόνο μέσω της αυτό-τροφοδότησης των διεργασιών αυτών.

Τα μοντέλα επίσης δεν έχουν τον περιορισμό στον χρόνο που έχουν άλλες μεθοδολογίες για διάφορους πρακτικούς λόγους. Έτσι μπορούν να αποτυπώσουν δυναμικές των ομάδων που παρουσιάζονται σε βάθος χρόνου, κάτι στο οποίο άλλες μεθοδολογίες, λόγω των χρονικών περιορισμών τους, υστερούν [4]. Έτσι, τα δεδομένα ενός μοντέλου δεν χρειάζεται να είναι συμβατά με τα δεδομένα που λαμβάνονται με λιγότερο λεπτομερή τρόπο, αλλά αντίθετα μπορεί να αντιπροσωπεύουν αποτελέσματα που είναι πέρα από το πεδίο των δεδομένων που συλλέγονται ή δημιουργούνται από άλλες ερευνητικές προσεγγίσεις.

Τέλος, ο αρθρογράφος αναφέρεται στη σχέση μεταξύ ατομικής και συλλογικής συμπεριφοράς, η οποία όπως μας πληροφορεί, δεν είναι αντιληπτή διαισθητικά. Τα ABMs έχουν δείξει πως λόγω της συμβολής της δομικής οργάνωσης, της ανατροφοδότησης και της μνήμης του συστήματος στις διαδικασίες σε επίπεδο ομάδας, οι προβλέψεις αποτελεσμάτων σε μεγάλη κλίμακα δεν αντλούνται άμεσα από κανόνες ατομικής συμπεριφοράς. Με απλά λόγια, όπως αναφέρθηκε νωρίτερα,

οι δυναμικές ενός συστήματος είναι πιο σύνθετες από ένα απλό άθροισμα των επιμέρους στοιχείων τους. Ένα από τα πλεονεκτήματα των πολύ-πρακτορικών μοντέλων λοιπόν, είναι η δυνατότητα άμεσης ενσωμάτωσης αυτών των ιδιοτήτων των πολύπλοκων κοινωνικών συστημάτων, δημιουργώντας τη δυνατότητα για απροσδόκητα αποτελέσματα χωρίς την πλήρη γνώση των αρχικών συνθηκών.

1.4 Προκλήσεις και πιθανά προβλήματα των πρακτορικών μοντελοποιήσεων

Η τεχνική αυτή βέβαια ενέχει και πιθανά προβλήματα όπως αναλύεται στην [1]. Αρχικά όπως και με άλλες τεχνικές μοντελοποίησης, για να ικανοποιήσουν το σκοπό του στα μοντέλα πρέπει να σχεδιαστούν με επαρκή περιγραφική λεπτομέρεια. Επίσης τα ABMs παρουσιάζουν υψηλές υπολογιστικές απαιτήσεις όταν μοντελοποιούν μεγάλα συστήματα, καθώς απαιτούν την μοντελοποίηση της συμπεριφοράς κάθε δομικού στοιχείου του συστήματος. Τέλος, προβλήματα προκύπτουν και από την φύση των συστημάτων που καλούνται να προσομοιάσουν τα μοντέλα. Το βασικότερο πρόβλημα είναι ο ανθρώπινος παράγοντας που συνήθως εμπλέκεται στα συστήματα αυτά, όπως οι παράλογες συμπεριφορές, οι υποκειμενικές επιλογές και γενικότερα η περίπλοκη ψυχολογία του ανθρώπου.

1.5 Αντικείμενο διπλωματικής εργασίας

Στη συνέχεια της εργασίας λοιπόν, επικεντρωνόμαστε στο ζήτημα του ανθρώπινου παράγοντα, πιο συγκεκριμένα στα συναισθήματα, τη διάθεση και την προσωπικότητα και στο ρόλο που αυτά παίζουν στη λήψη αποφάσεων. Αρχικά θα μελετηθούν σε θεωρητικό επίπεδο οι έννοιες αυτές, καθώς και ο τρόπος που μοντελοποιούνται σε υπολογιστικούς πράκτορες. Έτσι θα αναδειχθούν τρόποι με τους οποίους προσεγγίζεται το ζήτημα της προσομοίωσης αυτών των πτυχών της ανθρώπινης συμπεριφοράς σε υπολογιστικούς πράκτορες, με σκοπό τη ενίσχυση των δυνατοτήτων που προσφέρει η ABM σχετικά με την έρευνα ανθρώπινων φαινομένων και την κατανόηση της ανθρώπινης συμπεριφοράς.

1.5.1 Συνεισφορά

Για τον παραπάνω λόγο στα πλαίσια της εργασίας επικεντρωνόμαστε στα εξής:

1. Θεωρητική μελέτη των συναισθημάτων, της διάθεσης και της προσωπικότητας, καθώς και τον ρόλο τους στην επιλογή δράσεων .
2. Θεωρητική μελέτη του τρόπου που μοντελοποιούνται οι έννοιες αυτές σε υπολογιστικούς πράκτορες.
3. Μελέτη του διλήμματος του φυλακισμένου, ως ενδεικτικού πλαισίου για τη μελέτη της ανθρώπινης συνεργασίας.
4. Πρακτική μοντελοποίηση του θεωρητικού υπόβαθρου της εργασίας σε υπολογιστικούς πράκτορες, που δρουν στα πλαίσια του επαναλαμβανόμενου διλήμματος του φυλακισμένου.
5. Έλεγχος της συμπεριφοράς των πρακτόρων στα πλαίσια υπολογιστικών προσομοιώσεων του επαναλαμβανόμενου διλήμματος του φυλακισμένου.

1.6 Οργάνωση εργασίας

Στο Κεφάλαιο 2 μελετώνται σε θεωρητικό επίπεδο οι έννοιες των ανθρώπινων συναισθημάτων, της διάθεσης και της προσωπικότητας. Στόχος είναι η κατανόηση των εννοιών αυτών, καθώς και των θεωρητικών μοντέλων που χρησιμοποιούνται για την μελέτη τους. Τα μοντέλα που παρουσιάζονται επιλέγονται με γνώμονα τις δυνατότητες υπολογιστικής μοντελοποίησης τους, αλλά και την αποδοχή που φαίνεται πως έχουν στη βιβλιογραφία της μοντελοποίησης πρακτόρων.

Στο Κεφάλαιο 3 αναφερόμαστε θεωρητικά στα υπολογιστικά μοντέλα των ανθρώπινων συναισθηματικών λειτουργιών, τα οποία ενσωματώνονται σε τεχνητούς πράκτορες, προκειμένου να προσομοιάσουν τις έννοιες που αναλύθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Στο Κεφάλαιο 4 αναφερόμαστε στο δίλημμα του φυλακισμένου και στον τρόπο που χρησιμοποιείται για τη μελέτη του φαινομένου της συνεργασίας μεταξύ πρακτόρων. Με την ολοκλήρωση αυτού του κεφαλαίου, ολοκληρώνεται το θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας.

Έτσι, στο Κεφάλαιο 5 ξεκινάει η πρακτική εφαρμογή του θεωρητικού υπόβαθρου στη μοντελοποίηση πρακτόρων. Μοντελοποιούμε αρχικά έναν απλό ορθολογικό

πράκτορα με δυνατότητα μάθησης για το επαναλαμβανόμενο δίλημμα του φυλακισμένου. Ύστερα η αρχιτεκτονική του επεκτείνεται με ένα υπολογιστικό μοντέλο συναισθημάτων που δημιουργούμε στα πλαίσια του περιβάλλοντος του, το οποίο συνδυάζει στοιχεία συναισθημάτων, διάθεσης και προσωπικότητας. Έτσι προκύπτει ένα μοντέλο πράκτορα με «συναισθηματικές» λειτουργίες, στα πρότυπα των μοντέλων του θεωρητικού υπόβαθρου αυτής της εργασίας.

Στο Κεφάλαιο 6 λοιπόν δημιουργούμε δύο κατάλληλες υπολογιστικές προσομοιώσεις του επαναλαμβανόμενου διλήμματος του φυλακισμένου, με σκοπό να ελέγξουμε και να συγκρίνουμε τα μοντέλα του προηγούμενου κεφαλαίου. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων σχολιάζονται εντός του κεφαλαίου.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 7 συνοψίζουμε τα πορίσματα της παρούσας εργασίας.

Κεφάλαιο 2 ΣΥΝΑΙΣΘΗΜΑΤΑ, ΔΙΑΘΕΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ

2.1 Πώς ορίζεται το συναίσθημα και η διάθεση;

Στις επιστήμες που μελετούν τα συναισθήματα δεν υπάρχει κάποιος καθολικός, κοινά αποδεκτός ορισμός τους [5]. Έτσι, αναφέρουμε μερικούς ενδεικτικούς ορισμούς. Τα συναισθήματα λοιπόν προσεγγίζονται ως «προσαρμοστική απόκριση του σώματος μας», ως «οργανωμένες αντιδράσεις ψυχοφυσιολογικού τύπου σχετικές με νέες πληροφορίες για τις τρέχουσες σχέσεις μας με το περιβάλλον μας», «λειτουργίες συσχετισμού με το περιβάλλον μας, καταστάσεις ετοιμότητας για πράξη ή απραξία», είτε τέλος ως ένα σύνολο αισθημάτων, ψυχολογικών αλλαγών, παρορμήσεων για δράση και συμπεριφορών, που σκοπό έχουν την πραγματοποίηση στόχων που συνδέονται σε μια αλυσίδα γεγονότων που έχουν ως αφετηρία ένα ερέθισμα [6].

Ένας μερικός λειτουργικός ορισμός ¹ που έχει ως σκοπό τη διευκόλυνση της διεπιστημονικής μελέτης των θεωριών του συναίσθηματος, δίνεται στην [5] από τη σκοπιά της φιλοσοφίας και της ψυχολογίας. Έτσι σύμφωνα με αυτόν τον ορισμό το x αποτελεί συναίσθημα μόνο αν:

1. Έχει *επεισοδιακό* χαρακτήρα
2. Παρουσιάζει της λειτουργία της *σκοπιμότητας*
3. Περιλαμβάνει *σωματικές, αισθητές αλλαγές*
4. Περιλαμβάνει ένα *αντιληπτικό ή πνευματικό επεισόδιο γ* που έχει την λειτουργία της σκοπιμότητας με τη σειρά του
5. Η σκοπιμότητα του προέρχεται από τη σκοπιμότητα του γ
6. Τροφοδοτείται από τουλάχιστον μία αξιολογική κρίση (appraisal)
7. Καθοδηγείται από τουλάχιστον μία αξιολογική κρίση (appraisal)

¹ ορισμός που επιλέγεται για ένα συγκεκριμένο σκοπό και μπορεί να μην συμμορφώνεται πλήρως με καθιερωμένους ορισμούς

Πέρα από τα συναισθήματα, παρατηρούμε πως στη βιβλιογραφία υπάρχει έλλειψη σαφούς ορισμού και για τη διάθεση [7]. Συνήθως εξαρτάται ο ορισμός από την ερμηνεία του εκάστοτε συγγραφέα.

Για τη συνέχεια της εργασίας, με σκοπό να υπάρχει συνεκτικότητα, θα χρησιμοποιηθούν, σύμφωνα και με τις [8], [9], [10] οι εξής ορισμοί:

1. *Συναισθηματική κατάσταση/επιρροή (affect)*: γενικότερος όρος που μπορεί να περιλαμβάνει διαφόρων ειδών συναισθηματικά συμπλέγματα (διαθέσεις, διακριτά συναισθήματα και χαρακτηριστικά σχετιζόμενα με διακριτά συναισθήματα) που επηρεάζουν συμπεριφορές και δράσεις.

2. *Σθένος(valence)*: η θετική ή αρνητική εκτίμηση μια συναισθηματικής κατάστασης-επιρροής.

3. *Διέγερση(arousal)*: πόσο ενεργό είναι ένα συναίσθημα.

4. *Συναισθήματα(emotions)*: εδώ χρησιμοποιούμε τον όρο για να περιγράψουμε διακριτά συναισθήματα. Ορίζονται ως πολύπλευρες, βιολογικές, ταυτόχρονες αντιδράσεις (βιωματικές, γνωστικές, συμπεριφορικές, εκφραστικές) που αφορούν συμβάντα που σχετίζονται με την επιβίωση.

5. *Διάθεση(mood)*: διάχυτο συναίσθημα που επιμένει μέσα στη διάρκεια της ημέρας χωρίς αναγκαία κάποιο συγκεκριμένο ερέθισμα. Μπορεί να είναι προϊόν μιας διαδικασίας λήψης απόφασης ή και να είναι τελείως συμπτωματική.

6. *Γνωστική διαδικασία(cognitive process)*: οποιαδήποτε από τις νοητικές λειτουργίες που θεωρείται ότι εμπλέκονται στην απόκτηση, αποθήκευση, ερμηνεία, χειρισμό, μετασχηματισμό και χρήση της γνώσης.

2.2 Θεωρίες συναισθημάτων

Πέρα από τη δυσκολία στον ορισμό του συναισθήματος, παρατηρείται και ποικιλία στις θεωρίες που προσπαθούν να ερμηνεύσουν την διαδικασία δημιουργίας ή πρόκλησης των συναισθημάτων. Οι βασικές ομαδοποιήσεις αυτών, όπως παρουσιάζονται στην [11], είναι οι εξής:

1. *Οι Φυσιολογικές θεωρίες*, σύμφωνα με τις οποίες οι αποκρίσεις του ανθρώπινου σώματος είναι υπεύθυνες για τα συναισθήματα. Οι βασικές θεωρίες σε αυτή την κατηγορία είναι των James-Lange [12] και Cannon-Bard [13]. Η πρώτη

θεωρία διατυπώνει πως η εμπειρία των συναισθημάτων προκύπτει ως αποτέλεσμα φυσιολογικών αντιδράσεων σε κάποιο ερέθισμα και πως η εμπειρία των συναισθημάτων γίνεται αντιληπτή ως τέτοια λόγω της σωματικής αντίδρασης του ατόμου στο ερέθισμα. Για παράδειγμα «νιώθω φόβο επειδή τρέμω». Ο Cannon άσκησε κριτική στην θεωρία αυτή και υποστήριξε στον αντίποδα της πως οι φυσιολογικές και ψυχολογικές αντιδράσεις συμβαίνουν ταυτόχρονα, χωρίς να εξαρτώνται η μία από την άλλη.

2. Οι *Νευρολογικές θεωρίες*, σύμφωνα με τις οποίες οι συναισθηματικές αντιδράσεις τροφοδοτούνται από δράσεις του εγκεφάλου.

3. *Γνωστικές θεωρίες (Θεωρίες αξιολόγησης)*, οι οποίες στηρίζουν πως οι σκέψεις και άλλες νοητικές δραστηριότητες παίζουν σημαντικό ρόλο στη δημιουργία συναισθημάτων.

Στη συνέχεια επικεντρωνόμαστε στις Θεωρίες Αξιολόγησης, καθώς στα πλαίσια της εργασίας αυτής είναι αυτές που μας αφορούν.

2.2.1 Θεωρίες Αξιολόγησης

Αυτού του τύπου οι θεωρίες ορίζουν την τελική συναισθηματική εμπειρία του ατόμου ως το προϊόν ενός συνόλου διεργασιών που επεξεργάζεται ένα ερέθισμα [14]. Η συναισθηματική εμπειρία επηρεάζεται τόσο από το σύνολο αυτών των διεργασιών, όσο και ξεχωριστά από την καθεμία. Ως προς τη σειρά που αυτές οι διεργασίες λαμβάνουν χώρα, υπάρχουν διαφορετικές απόψεις μεταξύ των θεωρητικών που ασχολούνται με το ζήτημα αυτό.

Ενδεικτικά λοιπόν, στην αρχή λαμβάνει χώρα το γνωστικό μέρος των διεργασιών αυτών (*στάδιο αξιολόγησης του ερεθίσματος*). Η αξιολόγηση, η οποία είναι μια κατά κύριο λόγο ασυνείδητη/αυτόματη διαδικασία, γίνεται με βάση ένα σύνολο μεταβλητών/παραμέτρων (όπως για παράδειγμα η ευχαρίστηση, η υποβοήθηση ενός στόχου, το πόσο αναπάντεχη είναι η εμφάνιση του ερεθίσματος κ.λπ.) οι οποίες, ανάλογα με τη θεωρία που προτείνεται από τον εκάστοτε ερευνητή, μπορεί να παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις μεταξύ τους [15]. Οι μεταβλητές αυτές παίζουν τον ρόλο των μετρικών, μέσω των οποίων μπορούμε να αντλήσουμε πληροφορίες για τη σχέση του πράκτορα και του περιβάλλοντός του. Οι διεργασίες αξιολόγησης

καθορίζουν το ποια ερεθίσματα καταλήγουν, καθώς και ποια δεν καταλήγουν, να προκαλέσουν κάποιο συναίσθημα, ποιο συναίσθημα παράγεται κάθε φορά και την ένταση του συναισθήματος αυτού [14]. Στη συνέχεια, η αξιολόγηση του ερεθίσματος προκαλεί την τάση για συγκεκριμένες δράσεις. Αυτές μπορεί για παράδειγμα να είναι αντιδράσεις φυσιολογικού τύπου (π.χ., σωματικές) που υποστηρίζουν και προετοιμάζουν την εμφάνιση συγκεκριμένων συμπεριφορών. Η συνειδητή κατηγοριοποίηση του συναισθήματος από το άτομο σε κάποια συγκεκριμένη κλάση και η συνειδητή απόδοση του σε κάποια συγκεκριμένη αιτία, γίνεται στο τέλος του συναισθητικού επεισοδίου.

Μια αξιοσημείωτη εκδοχή της θεωρίας αξιολόγησης αναλύεται στην [16]. Αυτή η θεωρία υποστηρίζει πως η επεξεργασία του ερεθίσματος γίνεται σε συγκεκριμένα στάδια, με συγκεκριμένη σειρά. Στο πρώτο στάδιο λοιπόν (*στάδιο συνάφειας*) λαμβάνονται υπόψη μεταβλητές όπως ο βαθμός εξοικείωσης του πράκτορα με το ερέθισμα, η εγγενής ευχαρίστηση που του προκαλεί και η σχέση που έχει με τους στόχους του. Σύμφωνα με αυτές το ερέθισμα αξιολογείται, τόσο με βάση τη συνάφεια του με τον πράκτορα, όσο και με τον τρόπο που επηρεάζει την κοινωνική του ομάδα. Έπειτα, οι επιπτώσεις του ερεθίσματος, καθώς και ο τρόπος που επηρεάζει την ευημερία και τους στόχους του πράκτορα (*στάδιο των επιπτώσεων*) αναλύονται με βάση τις μεταβλητές της σχέσης αιτιότητας πράκτορα/κινήτρου, την πιθανότητα μιας έκβασης, την απόκλιση από τις προσδοκίες, την ευνοϊκότητα και τον κατεπείγοντα χαρακτήρα. Ύστερα αξιολογείται το πόσο καλά ο πράκτορας μπορεί να αντιμετωπίσει το ερέθισμα και να προσαρμοστεί στις συνέπειές του. Στο στάδιο αυτό (*στάδιο αντιμετώπισης*) λαμβάνονται υπόψη παράμετροι όπως ο έλεγχος, η δύναμη και η προσαρμοστικότητα. Τέλος, ακολουθεί το *στάδιο της κανονιστικής σημασίας*, όπου η αξιολόγηση του ερεθίσματος γίνεται με βάση την αντίληψη του πράκτορα για τους κοινωνικούς κανόνες, δηλαδή με βάση μεταβλητές σχετικές με εσωτερικά και εξωτερικά πρότυπα.

Στην [17] προτείνεται μια επέκταση της Θεωρίας Αξιολόγησης. Στο πρώτο στάδιο της αξιολόγησης αυτής της θεωρίας (*πρωτοβάθμια αξιολόγηση*), ένα γεγονός αξιολογείται ως θετικό/αρνητικό. Έτσι δημιουργούνται οι κατάλληλες συναισθηματικές συμπεριφορές. Ύστερα, έπεται η δευτεροβάθμια αξιολόγηση, η οποία, σε μια δεδομένη κατάσταση, έχει σαν αποτέλεσμα την κατανόηση του ρόλου

του ατόμου σε αυτή. Έτσι το άτομο αντιμετωπίζει τις συνέπειες της κατάστασης αυτής και προκύπτει μια συναισθηματική κατάσταση. Τέλος, λαμβάνεται μια απόφαση σε σχέση με την δράση που πρέπει να ακολουθήσει το άτομο για να επιτευχθούν οι προσδοκώμενοι στόχοι. Το στάδιο αυτό αναφέρεται ως *στάδιο επαναξιολόγησης*.

Οι θεωρίες αξιολόγησης είναι μια από τις πιο εφαρμοσμένες στο σχεδιασμό συστημάτων που ενσωματώνουν συναισθηματικούς μηχανισμούς, καθώς η οργάνωση της διαδικασίας δημιουργίας του συναισθήματος αναλύεται σε συγκεκριμένες φάσεις, παρέχοντας έτσι μια γενική εικόνα του φαινομένου, καθώς και των παραμέτρων που σχετίζονται με την πρόκλησή του. Γίνεται εμφανές πως τα παραπάνω είναι πολύ βοηθητικά όταν πρόκειται για την υπολογιστική μοντελοποίηση του φαινομένου των συναισθημάτων, όπου η περιγραφική λεπτομέρεια είναι απαραίτητη.

2.3 Περιγραφικά μοντέλα συναισθημάτων

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες μοντέλων για το σκοπό της περιγραφής των συναισθημάτων: τα κατηγορικά μοντέλα (Categorical Models) και τα διαστατικά μοντέλα (Dimensional Models) [11].

Στα κατηγορικά μοντέλα οι διάφορες κλάσεις συναισθημάτων κατηγοριοποιούνται με τη βοήθεια κατάλληλων λέξεων. Πιο συγκεκριμένα οι έξι βασικές κλάσεις διακριτών συναισθημάτων που χρησιμοποιούνται ευρύτερα σε αυτή την περίπτωση είναι ο *θυμός*, *αηδία*, *φόβος*, *χαρά*, *λύπη* και *έκπληξη*. Η κατηγοριοποίηση αυτή προέρχεται από τη [18], και είναι και η πιο ευρέως αποδεκτή για αυτό το ζήτημα. Τα βασικά συναισθήματα θεωρούνται πως είναι έμφυτα και ενστικτώδη. Η παράλληλη πρόκληση βασικών συναισθημάτων οδηγεί στη δημιουργία πιο περίπλοκων φαινομένων, που αναγνωρίζονται ως δευτερεύοντα συναισθήματα. Περιπτώσεις αυτής της κατηγορίας συναισθημάτων είναι η αμηχανία, η ενσυναίσθηση, η ενοχή, η ντροπή και η υπερηφάνεια. Σε αντίθεση με τα πρωτογενή συναισθήματα, τα δευτερογενή προκύπτουν από μεγαλύτερη γνωστική επεξεργασία. Στην προσέγγιση των κατηγορικών μοντέλων συναισθημάτων, κάθε συναίσθημα έχει το δικό του σύνολο χαρακτηριστικών που εκφράζουν τις καταστάσεις που το εγείρουν ή τις πιθανές αντιδράσεις που το συνοδεύουν.

Στην περίπτωση των διαστατικών μοντέλων, οι συναισθηματικές επιδράσεις εκφράζονται σε διαστατική μορφή. Οι συναισθηματικές καταστάσεις του μοντέλου συσχετίζονται μεταξύ τους σε ένα κοινό σύνολο διαστάσεων, συνήθως είτε στο δισδιάστατο (σθένος και διέγερση), είτε στο τρισδιάστατο (σθένος, διέγερση και ισχύς) χώρο. Έτσι κάθε συναίσθημα είναι και ένα σημείο στο χώρο.

Η χρονική διάρκεια των συναισθημάτων αποτελεί επίσης μια σημαντική διάστασή τους. Όπως αναφέρεται στην [6], συναισθηματικές καταστάσεις που διαρκούν περισσότερο από μερικούς μήνες γίνονται αντιληπτά ως χαρακτηριστικά της προσωπικότητας ή συναισθηματικές διαταραχές. Τα συναισθήματα λοιπόν με βάση τη χρονική τους διάρκεια μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως :

1. *Αυτόνομες αλλαγές*: σύντομες σωματικές συναισθηματικές καταστάσεις, εξαρτώμενες από συγκεκριμένη ερέθισμα, χωρίς αναγνώριση της κατάστασης, του αντικειμένου ή γεγονότος.
2. *Εκφράσεις*: σύντομες αντιδράσεις που σχετίζονται με αντικείμενα. Βασίζονται στην θεωρία της Γνωστικής Αξιολόγησης.
3. *«Κλασσικά» συναισθήματα*: πιο μακροπρόθεσμα σε διάρκεια σε σχέση με τα παραπάνω, συνειδητά, ρητά.
4. *Διάθεση*.
5. *Συναισθηματικές διαταραχές*.
6. *Χαρακτηριστικά της προσωπικότητας*: παραδείγματος χάρη ντροπαλότητα ή ο νευρωτισμός.

Η συμβολή των διαστατικών μοντέλων στο σχεδιασμό συναισθηματικών πρακτόρων έγκειται στο γεγονός ότι παρέχουν ένα πλαίσιο αναπαράστασης των συναισθημάτων από δομικής σκοπιάς.

2.4 Συναισθήματα και λήψη αποφάσεων

Η καθημερινή μας ζωή δεν αφήνει περιθώρια αμφισβήτησης του ρόλου του συναισθήματος στη λήψη αποφάσεων. Η σημασία του ήταν εμφανής στο νομπελίστα Herbert Simon ο οποίος είχε εισαγάγει την ιδέα της *οριοθετημένης ορθολογικότητας*, διατυπώνοντας πως η κατανόηση του ρόλου του στην ανθρώπινη λογική είναι κομβική σημασίας για την ολοκλήρωση των θεωριών σχετικά με αυτή [8]. Ιδιαίτερο

ενδιαφέρον σχετικά με το ρόλο των συναισθημάτων στην ορθολογική ανθρώπινη συμπεριφορά έχουν επίσης τα ευρήματα των μελετών του Damasio [19] και του Bechara [20] σε ασθενείς με δυσλειτουργία στην περιοχή του εγκεφάλου που ονομάζουμε κοιλιακό προμετωπιαίο φλοιό. Η περιοχή αυτή είναι υπεύθυνη για την συσχέτιση συναισθημάτων με γνωστικές λειτουργίες. Σύμφωνα με αυτά τα ευρήματα, η ικανότητα των ασθενών για βέλτιστες αποφάσεις μειώθηκε λόγω της ζημιάς που υπέστησαν στην περιοχή αυτή του εγκεφάλου. Για παράδειγμα, σε παιχνίδια με πραγματικά χρήματα, οι ασθενείς αυτοί παρουσίασαν επαναλαμβανόμενα ριψοκίνδυνες συμπεριφορές, με αποφάσεις που τους οδηγούσαν στα όρια της χρεοκοπίας. Αυτό συνέβαινε παρά την επίγνωση που είχαν σχετικά με το γεγονός ότι οι αποφάσεις τους δεν ήταν οι βέλτιστες πιθανές. Διαπιστώθηκε πως η συμπεριφορά αυτή οφείλεται στην έλλειψη συναισθηματικών ερεθισμάτων που, στην περίπτωση ενός υγιούς ανθρώπου, θα προσέδιδαν το φόβο του ρίσκου κατά τη διαδικασία λήψης των αποφάσεων.

Στη συνέχεια ακολουθεί μια σύντομη αναφορά στους τρόπους που τα συναισθήματα επηρεάζουν τις ανθρώπινες αποφάσεις. Σκοπός είναι να σκιαγραφηθούν μερικές βασικές θεματικές, όχι να τις εξαντλήσουμε, καθώς κάτι τέτοιο ξεφεύγει κατά πολύ από τα πλαίσια αυτής της εργασίας. Για το λόγο αυτό, η κατηγοριοποίηση της επιρροής των συναισθημάτων με βάση διαφορετικές χρονικές στιγμές - πριν, κατά τη διάρκεια, και μετά- σε σχέση με την απόφαση, καθώς επίσης και ο διαχωρισμός μεταξύ των συναισθηματικών καταστάσεων που λαμβάνουν χώρα σε κάθε μια από αυτές τις χρονικές στιγμές, κρίνεται χρήσιμη για τη μελέτη του φαινομένου αυτού, αλλά και για το σχεδιασμό ενός υπολογιστικού μοντέλου συναισθημάτων. Συγκεκριμένα οι συναισθηματικές καταστάσεις μπορούν να χωριστούν σε *άμεσα προκαλούμενες* από τη διαδικασία λήψης αποφάσεων και σε *συμπτωματικές* (π.χ., διάθεση). Η επίδραση της προσωπικότητας σε όλα τα παραπάνω είναι επίσης σημαντική και θα αναλυθεί σε επόμενη υποενότητα. Επίσης, θα μιλήσουμε για τη διαπροσωπική επίδραση των συναισθημάτων. Έτσι τελικά παρέχεται ένα θεωρητικό πλαίσιο κατανόησης των παραπάνω φαινομένων και των αλληλεπιδράσεών τους, που είναι βοηθητικό για το σχεδιασμό τυχόν μοντέλων πρακτόρων που στον κύκλο λειτουργίας τους συμπεριλαμβάνουν συναισθηματικές λειτουργίες.

2.4.1 Άμεση επιρροή του συναισθήματος στη λήψη αποφάσεων.

Σε αυτό το σημείο εστιάζουμε στο πως οι συναισθηματικές καταστάσεις που προκαλούνται άμεσα από την διαδικασία λήψης αποφάσεων επηρεάζουν την ίδια τη διαδικασία.

Όπως αναφέρεται στην [8], σε γενικές γραμμές αυτού του τύπου οι συναισθηματικές καταστάσεις μπορούν να παίξουν είτε *βοηθητικό/καθοδηγητικό ρόλο*, γεγονός που φαίνεται να στηρίζεται και από τα ευρήματα στη [19], είτε να λειτουργήσουν ως *προκαταλήψεις* (bias), π.χ., κάποιος επιλέγει να οδηγήσει αντί να ταξιδέψει με αεροπλάνο λόγω του φόβου του για τα εναέρια μέσα μεταφοράς, ενώ τα ποσοστά θανάτων από αυτοκινητιστικά ατυχήματα είναι υψηλότερα σε σχέση με αυτά των εναέριων μέσων. Για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με την επίδραση συγκεκριμένων διακριτών συναισθημάτων στη διαδικασία λήψης αποφάσεων, ο αναγνώστης παραπέμπεται στη [9], όπου ερευνάται αναλυτικότερα το ζήτημα αυτό, μέσω μια πιο διεξοδικής ανασκόπησης σε δημοσιευμένες μελέτες στο χώρο της ψυχολογίας.

2.4.2 Συμπτωματικές συναισθηματικές καταστάσεις κατά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων

Μια σειρά ερευνών που αναφέρονται στην [8] αποδεικνύουν ότι συναισθήματα «μεταφέρονται» από μια κατάσταση σε μια άλλη και επηρεάζουν έτσι τη διαδικασία λήψης αποφάσεων σε καταστάσεις που το συναίσθημα που βιώνεται δεν έχει καμία σχέση με αυτές. Η επιρροή αυτή είναι συνήθως πέρα από το συνειδητό έλεγχο του ατόμου.

Στην [9] αναλύεται η επίδραση της διάθεσης, από την οποία προκύπτουν οι εξής χρήσιμες θεματικές για αυτή την εργασία:

1. Η διάθεση καθορίζει την προσδοκία για μελλοντικά γεγονότα τα οποία κρίνονται ως συναφή με αυτή.

2. Σε διάθεση διέγερσης η αναζήτηση κινδύνου είναι πιο πιθανή, σε διάθεση δυσφορίας είναι πιο πιθανή η προθυμία για προστασία από πιθανή βλάβη και σε διάθεση ευχαρίστησης είναι η αναζήτηση κέρδους. Επίσης αναλόγως τη διάθεση (θετική/ αρνητική) επηρεάζεται η αντίληψη των στρατηγικών επιλογών και της ανάληψης ρίσκου.

3. Το πλαίσιο, στο οποίο λαμβάνει χώρα μια απόφαση, παίζει σημαντικό ρόλο στην επίδραση της διάθεσης στη διαδικασία [21]. Ο τρόπος επεξεργασίας της πληροφορίας που επιλέγει ο φορέας της λήψης μιας απόφασης, που εξαρτάται από ανεξάρτητες μεταβλητές χαρακτηριστικές του καθήκοντος λήψης αποφάσεων και των περιστασιακών συνθηκών, παίζει σημαντικό ρόλο στο βαθμό στον οποίο οι διαθέσεις καθοδηγούν μια απόφαση [22]. Σε επίπεδα χαμηλής συνάφειας της διάθεσης και χαμηλής έγχυσης² παρατηρείται είτε επεξεργασία άμεσης πρόσβασης, είτε παρακινημένη επεξεργασία. Η *επεξεργασία άμεσης πρόσβασης* περιλαμβάνει την επανάληψη μιας απόκρισης που έχει δοθεί στο παρελθόν σε μια παρόμοια κατάσταση, ενώ η *παρακινημένη επεξεργασία* περιλαμβάνει στρατηγικές αναζήτησης με άμεσο στόχο την απόκτηση νέων πληροφοριών. Αντιθέτως σε υψηλά επίπεδα των δύο προαναφερθέντων παραγόντων προκύπτουν *ευρετικές μέθοδοι επεξεργασίας*. Η υπόθεση για την ευρετική επεξεργασία είναι πως η συναισθηματική επεξεργασία είναι πέραν της αντίληψης του ατόμου, το οποίο απλώς κατανοεί τις συναισθηματικές του αντιδράσεις καθώς συμβαίνουν. Έτσι, η συναισθηματική εμπειρία παρέχει στους ανθρώπους πληροφορίες για τον εαυτό τους, συμπεριλαμβανομένων των τάσεων και των άρρητων κρίσεων τους.

Στη συνέχεια, στην [9] γίνεται αναφορά στην επίδραση των διακριτών συμπτωματικών συναισθημάτων στην ίδια τη διαδικασία, δηλαδή στην επίδραση συναισθημάτων που δεν έχουν άμεση σχέση με τη διαδικασία λήψης μιας απόφασης τη στιγμή που διαδραματίζεται. Για παράδειγμα, ο φόβος για την έκβαση ενός μελλοντικού γεγονότος την ώρα που καλείται κάποιος να αποφασίσει για ένα άλλο εντελώς ασυσχέτιστο γεγονός. Ο αναγνώστης παραπέμπεται στην [9] λοιπόν, για μια ανάλυση της επίδρασης των ξεχωριστών κλάσεων συμπτωματικών συναισθημάτων μέσω της παρουσίασης ερευνών στο χώρο της ψυχολογίας.

2.4.3 Συναισθηματική επιρροή και συναισθήματα ως αποτέλεσμα των αποφάσεων

Προφανώς οι αποφάσεις έχουν συναισθηματικό αντίκτυπο στους ανθρώπους [9]. Για παράδειγμα, σύμφωνα με μια σειρά ερευνών που αναφέρονται στην [9], τα

² όταν η διάθεση στην οποία βρίσκεται το άτομο (πχ σε ευχάριστη διάθεση) δεν είναι συνεπής σε σημαντικό βαθμό με την ευρύτερη εμπειρία που βιώνει εκείνη τη στιγμή (πχ μια δυσάρεστη εμπειρία), αλλά ταυτόχρονα η κρίση του δεν επηρεάζεται σημαντικά από τη διάθεσή του (χαμηλή έγχυση)

θετικά συναισθήματα σηματοδοτούν τον εφησυχασμό. Σε αντίθετη περίπτωση, όπως υποστηρίζουν οι ερευνητές, η περεταίρω, λεπτομερής εξέταση μιας κατάστασης σηματοδοτείται από τα αρνητικά συναισθήματα.

Αναφέρεται επίσης πως, με βάση την παραδοχή πως οι άνθρωποι θέλουν να είναι συνεπείς, οι σκέψεις των ανθρώπων σχετικά με τις αποφάσεις τους επηρεάζουν την συναισθηματική τους κατάσταση καθώς και τα αποτελέσματα της λήψης αποφάσεων.

Τέλος, οι άνθρωποι τείνουν να αλλάζουν μια καλή απόφαση για μια υποδεέστερη, λόγω συναισθημάτων που σχετίζονται με την κακή έκβαση μια προηγούμενης καλής απόφασης.

2.4.4 Συναισθήματα και διαπροσωπικές αποφάσεις

Τα συναισθήματα μπορούν να γίνουν αντιληπτά και ως συστήματα επικοινωνίας που παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τα κίνητρα των άλλων ανθρώπων [8]. Έτσι λειτουργούν ως καθοδηγητικοί και συντονιστικοί παράγοντες των κοινωνικών αλληλεπιδράσεων, οδηγώντας τελικά στην διατήρηση υγιών και παραγωγικών κοινωνικών σχέσεων. Έτσι η λύση προβλημάτων δέσμευσης που πηγάζουν από μικτά κίνητρα, γίνεται εφικτή λόγω αυτής της φύσης των συναισθημάτων. Για παράδειγμα η επιλογή μια συνεργατικής ή επικοινωνιακής στρατηγικής, εξαρτάται από τις πεποιθήσεις του ατόμου σχετικά με τις προθέσεις των άλλων, πληροφορίες συχνά προερχόμενες από τα συναισθήματα του.

Τέλος, η έρευνα οδηγεί στο συμπέρασμα ότι τα συναισθήματα μπορεί να εξυπηρετούν τουλάχιστον τρεις λειτουργίες διαπροσωπικής λήψης αποφάσεων:

1. βοηθάνε τα άτομα να κατανοήσουν τα συναισθήματα, τις πεποιθήσεις και τις προθέσεις του άλλου,
2. παρέχουν κίνητρα ή επιβάλλουν ποινές στη συμπεριφορά των άλλων και
3. προκαλούν συμπληρωματικά, αμοιβαία ή κοινά συναισθήματα σε άλλους[8].

2.5 Προσωπικότητα

Η προσωπικότητα γενικότερα ορίζεται ως ένα ατομικά μοναδικό και σχετικά σταθερό μοτίβο συμπεριφοράς, σκέψεων και συναισθημάτων. Το μοντέλο O.C.E.A.N. [23] είναι ένα μοντέλο το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως στη μελέτη της προσωπικότητας στο χώρο της ψυχολογίας, καθώς και σε υπολογιστικές μοντελοποιήσεις της. Στη συνέχεια λοιπόν, αντλώντας από τις [23] και [24] παρουσιάζουμε το μοντέλο O.C.E.A.N..

2.5.1 Το μοντέλο προσωπικότητας O.C.E.A.N.

Στο μοντέλο αυτό, η προσωπικότητα μελετάται ως συνάρτηση τριάντα ιδιοτήτων/τάσεων του ατόμου. Ως χαρακτηριστικά της προσωπικότητας ορίζονται οι πέντε ομάδες/κλάσεις στις οποίες ομαδοποιούνται αυτές οι ιδιότητες. Στα χαρακτηριστικά αυτά της προσωπικότητας αποδίδονται αριθμητικές τιμές. Η τιμή κάθε κλάσης της προσωπικότητας καθορίζεται από τις τιμές των επιμέρους ιδιοτήτων της. Το κάθε ένα ακρωνύμιο του μοντέλου αναφέρεται σε μία από τις κλάσεις. Έτσι έχουμε:

1. *Openness to experience (προθυμία για νέες εμπειρίες)*: αυτό το χαρακτηριστικό αναφέρεται στη τάση κάποιου για διανοητικές ασχολίες, ενδιαφέρον για τις τέχνες, συναισθηματική επίγνωση, φιλελεύθερες απόψεις και ποικιλία ενδιαφερόντων. Αναφέρεται επίσης και στο βαθμό στον οποίο το άτομο ακολουθεί τα ενδιαφέροντά του. Τέλος, αναφέρεται στην τάση του ατόμου για δημιουργικότητα.

2. *Conscientiousness (συνειδητότητα)*: αναφέρεται στην τάση του ατόμου για υψηλούς στόχους, την επίτευξη αυτών, και στην τάση για συμπεριφορά με γνώμονα την ηθική και το καθήκον.

3. *Extroversion (εξωστρέφεια)*: αναφέρεται στην τάση του ατόμου για κοινωνικότητα, στην τάση να βιώνει θετικές συναισθηματικές καταστάσεις, καθώς και στον αριθμό των σχέσεων με τις οποίες κάποιος νιώθει άνετα. Οι McCrae and Costa [23] προτιμούν να μιλάν για ένα φάσμα μεταξύ εξωστρέφεια και εσωστρέφεια.

4. *Agreeableness (παραχωρητικότητα)*: αναφέρεται στην τάση του ατόμου για παραχωρήσεις και για τη διευκόλυνση των άλλων.

5. *Neuroticism* (νευρωτισμός): αναφέρεται στην τάση του ατόμου να βιώνει αρνητικά συναισθήματα. Κυρίως αναφέρεται στον αριθμό και την ένταση ενός ερεθίσματος που απαιτείται για την πρόκληση ενός συναισθήματος.

Για τον προσδιορισμό της τιμής κάθε ιδιότητας της κάθε κλάσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικές κλίμακες βαθμονόμησης (π.χ., χαμηλό- μέτριο-υψηλό ή πολύ χαμηλό-χαμηλό-μέτριο-υψηλό-πολύ υψηλό). Η τιμή της κάθε κλάσης καθορίζεται από τις επιμέρους τιμές των χαρακτηριστικών πτυχών της. Όταν και οι έξι πτυχές είναι χαμηλές/μέτριες/υψηλές, τότε και η κλάση αυτή χαρακτηρίζεται ως χαμηλή/μέτρια/ υψηλή. Σε περίπτωση ανομοιομορφίας, τότε η κυρίαρχη τιμή χαρακτηρίζει και την κλάση αυτή. Σε κάθε επίπεδο της κάθε πτυχής είναι δυνατό να αντιστοιχιστεί και ένας τύπος προσωπικότητας. Για παράδειγμα σε υψηλά επίπεδα του δείκτη *openness to experience* το άτομο χαρακτηρίζεται από έντονη φαντασία, υψηλό ενδιαφέρον για τις τέχνες, υψηλή εκτίμηση για όλα τα συναισθήματα, προτιμάει ποικιλία δραστηριοτήτων, έχει έντονη διανοητική περιέργεια και είναι ανοικτό σε νέες αξίες και στην επαναξιολόγηση παλιών.

2.5.2 Μοντέλο O.C.E.A.N. και λήψη αποφάσεων

Σημαντικό χαρακτηριστικό του μοντέλου για τυχόν μοντελοποιήσεις πρακτόρων είναι η προβλεπτική ικανότητα που προσφέρει ως προς τη λήψη αποφάσεων και τον τρόπο που αυτή διεκπεραιώνεται από ένα άτομο. Πέρα των όσων αναφέρθηκαν ήδη, ενδεικτικές μελέτες που αναφέρονται στην ικανότητα αυτή είναι και οι [25], [26].

Οι ορισμοί του *τρόπου προσέγγισης των αποφάσεων* [25], συγκλίνουν στο ότι πρόκειται για το σύννηθες μοτίβο συμπεριφοράς του ατόμου όταν καλείται να λάβει μια απόφαση, το οποίο περιλαμβάνει την προσέγγιση, τις δράσεις και τις αντιδράσεις του.

Στη βιβλιογραφία περιγράφονται οι εξής τρόποι προσέγγισης των αποφάσεων:

1. Ορθολογικός, ο οποίος χαρακτηρίζεται από λογικές, αιτιολογημένες και δομημένες προσεγγίσεις.
2. Διαισθητικός, που χαρακτηρίζεται από προσεγγίσεις βασισμένες σε προαισθήματα, συναισθήματα, εντυπώσεις, ένστικτα σε σχέση με τη ροή της διαθέσιμης πληροφορίας.

3. Εξαρτημένος, που χαρακτηρίζεται από την αναζήτηση εξωτερικών συμβουλών και καθοδήγησης.

4. Αυθόρμητος, που χαρακτηρίζεται από την ταχύτητα της απόφασης, που με τη σειρά της βασίζεται στην επιθυμία για τη γρηγορότερη δυνατή λήψη της από το άτομο.

5. Αναβλητικός, που χαρακτηρίζεται από τάση για αποφυγή λήψης αποφάσεων όσο πιο συχνά είναι εφικτό.

Κάθε άνθρωπος χρησιμοποιεί, σε συνάρτηση με τα χαρακτηριστικά της προσωπικότητάς του, μια μίξη των παραπάνω τρόπων προσέγγισης, αλλά λόγω της εξάρτησής τους από τις κλάσεις της προσωπικότητας, ένας από αυτούς τείνει να είναι κυρίαρχος. Μια ενδεικτική, αλλά κατατοπιστική, συσχέτιση των κλάσεων και των τρόπων προσέγγισης των αποφάσεων γίνεται στην [26]. Τα αποτελέσματά της, τα οποία υποστηρίζονται και από έναν αριθμό μελετών που παρατίθενται στο άρθρο, είναι τα εξής:

1. Η εξωστρέφεια παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τον ορθολογικό και διαισθητικό τρόπο, ενώ συσχετίζονται αρνητικά με τον αναβλητικό. Ταυτόχρονα η κλάση αυτή της προσωπικότητας φαίνεται να έχει θετική επίδραση στον εξαρτημένο και τον αυθόρμητο τρόπο προσέγγισης.

2. Η προθυμία για νέες εμπειρίες παρουσίασε παρόμοια συμπεριφορά με την εξωστρέφεια.

3. Ο νευρωτισμός παρουσίασε θετική συσχέτιση με το εξαρτημένο και αυθόρμητο στυλ αποφάσεων και είχε αρνητική επίδραση στον ορθολογικό τρόπο προσέγγισης και θετική στους διαισθητικό, αναβλητικό και αυθόρμητο.

4. Η συνειδητότητα συσχετίστηκε θετικά με τον ορθολογικό και τον διαισθητικό τρόπο προσέγγισης και αρνητικά με τον αναβλητικό και τον αυθόρμητο. Η επίδρασή της ήταν θετική για τον ορθολογικό τρόπο και αρνητική για τον αναβλητικό.

5. Η παραχωρητικότητα συσχετίστηκε θετικά με τον ορθολογικό τρόπο προσέγγισης, τον διαισθητικό και τον εξαρτημένο. Αρνητική συσχέτιση με τον αυθόρμητο.

Λόγω λοιπόν της αποδοχής του παραπάνω μοντέλου, της δυνατότητας που παρέχει για τη μοντελοποίηση μιας μεγάλης ποικιλίας προσωπικοτήτων, αλλά και της

ικανότητάς του να προβλέψει συμπεριφορές, γίνεται εμφανής η χρησιμότητα της ενσωμάτωσης του σε μια πρακτορική μοντελοποίηση που σκοπό έχει την προσομοίωση της ανθρώπινης συμπεριφοράς. Επίσης καθώς είναι αποδεκτό και ευρέως μελετημένο στην επιστημονική κοινότητα της ψυχολογίας, παρέχει επαρκή θεωρητική αιτιολογία για την επιλογή του. Έτσι μπορεί να δικαιολογηθεί ο χαρακτηρισμός *μοντελοποίηση προσωπικότητας* σε μια αρχιτεκτονική πρακτόρων που για αυτό το σκοπό χρησιμοποιεί ως βάση το O.C.E.A.N.

2.6 Μοντέλα συναισθημάτων και διάθεσης

Στη συνέχεια αναλύονται μερικά από τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό τεχνητών συναισθημάτων και διάθεσης σε πράκτορες. Αυτά είναι τα:

1. Το μοντέλο συναισθημάτων των Ortony, Clore, και Collins (θα αναφέρεται ως O.C.C. για συντομία),
2. Το κυκλικό μοντέλο συναισθηματικής επιρροής (Circumplex model of Affect)
3. Το μοντέλο ευχαρίστησης, διέγερσης και κυριαρχίας (Pleasure, arousal, dominance model) .

2.6.1 Το μοντέλο συναισθημάτων των Ortony, Clore, και Collins

Το μοντέλο αυτό, όπως παρουσιάζεται στην [3] και [27] (Εικόνα 1) είναι ένα ιεραρχικό μοντέλο είκοσι-δύο συναισθημάτων που αναλύονται σε δύο άξονες. Ο πρώτος άξονας είναι αυτός της *αξιολόγησης (appraisal)*, αναλύονται δηλαδή οι συνθήκες υπό τις οποίες προκαλούνται τα συναισθήματα. Ο δεύτερος άξονας είναι αυτός της *διέγερσης*, που αναφέρεται στην ένταση των συναισθημάτων. Σύμφωνα με το μοντέλο, τα συναισθήματα προκύπτουν ως αποτέλεσμα φορτισμένων αντιδράσεων σε ένα ερέθισμα, το οποίο μπορεί να είναι είτε η συνέπεια κάποιου γεγονότος, είτε η δράση ενός άλλου πράκτορα, είτε κάποια πτυχή ενός αντικειμένου.

Στο μοντέλο αυτό χρησιμοποιούνται κατάλληλες λέξεις (π.χ., «φόβος») για την περιγραφή κάθε βασικής συναισθηματικής κλάσης- δηλαδή ενός ξεχωριστού είδους συναισθημάτων που μπορεί να βιωθεί σε διάφορες, διακριτές, μορφές με διαφορετικές εντάσεις. Κάθε βασική κλάση περιλαμβάνει λέξεις που περιγράφουν τις

διάφορες διαβαθμίσεις του βασικού τύπου συναισθήματος. Έτσι για παράδειγμα η κλάση του «φόβου» περιλαμβάνει τις λέξεις «ανησυχία» και «τρόμος», καθώς αποτελούν διαβαθμίσεις του βασικού συναισθήματος του φόβου.

Η κρίση των ερεθισμάτων ενός πράκτορα γίνεται με βάση τους στόχους του, τα πρότυπά του και τις στάσεις του απέναντι στα πράγματα. Οι συνέπειες των γεγονότων συγκεκριμένα αξιολογούνται με βάση το πόσο *επιθυμητές* είναι, δηλαδή σε συνάρτηση με το αν υποστηρίζουν ή υπονομεύουν τους στόχους και τις προτιμήσεις του. Τα *πρότυπα* χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των πράξεων του σε συνάρτηση με νόρμες (κοινωνικές, ηθικές, συμπεριφοράς κ.λπ.). Τέλος η εμφάνιση ενός αντικειμένου αξιολογείται σε σχέση με το πόσο θελκτικό είναι, με βάση τη συμβατότητα των γνωρισμάτων του με τις προτιμήσεις του και τις στάσεις του απέναντι στα πράγματα.

Οι φορτισμένες αντιδράσεις μπορούν να χωριστούν σε δύο ευρύτερες κατηγορίες: *δυσαρέσκεια/ ευχαρίστηση*. Η *πιθανότητα (potential)* αυτές οι αντιδράσεις να βιωθούν ως συναισθήματα εξαρτάται από το πόσο έντονες είναι και από το ερέθισμα που τις προκαλεί. Οι συνθήκες πρόκλησης των συναισθημάτων του μοντέλου φαίνονται στην Εικόνα 2. Όταν η αριθμητική τιμή της μεταβλητή της *πιθανότητας* ξεπεράσει μια άλλη αριθμητική τιμή, που λειτουργεί ως *συναισθηματικό κατώφλι (threshold)*, το οποίο είναι συγκεκριμένο σε κάθε κατάσταση και προσδιορίζεται διαφορετικά για κάθε συναίσθημα, τότε οι αντιδράσεις βιώνονται ως συναισθήματα. Η τιμή της έντασης λοιπόν του συναισθήματος προκύπτει ως η διαφορά της τιμής της *πιθανότητας* από την τιμή του *κατωφλίου*, όταν αυτή η διαφορά είναι θετική. Η τιμή της *δυνατότητας εμφάνισης* του συναισθήματος υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη το βάρος κάθε μεταβλητής που επηρεάζει την *ένταση*. Η τιμή της μεταβλητής ανήκει στο σύνολο $\{-1, 0, +1\}$. Επίσης υπάρχει η μεταβλητή του *βάρους*, η οποία διαφέρει μεταξύ συναισθηματικών κλάσεων, ακόμα και συναισθηματικών λέξεων της ίδιας κλάσης. Δυστυχώς δεν προσδιορίζεται ο τρόπος με τον οποίο αντιστοιχίζεται η μεταβλητή αυτή σε κάθε ένα συναισθηματικό τύπο.

Η μεταβλητή που επηρεάζει την ένταση όλων των συναισθημάτων είναι η *επιθυμητότητα (desirability)*, η οποία υπολογίζεται σε συνάρτηση με τους στόχους του ατόμου.

Αν οι συνέπειες ενός γεγονότος (δεν) προωθούν τους στόχους, τότε το γεγονός χαρακτηρίζεται ως επιθυμητό (ανεπιθύμητο). Ο *βαθμός της επιθυμητότητας* ενός γεγονότος εξαρτάται άμεσα από το πόσο σημαντικός είναι ο στόχος για το άτομο και κατά πόσο το γεγονός που αξιολογείται φαίνεται να έχει θετικές ή αρνητικές συνέπειες για αυτό. Άλλες καθολικές μεταβλητές που επηρεάζουν τη ένταση όλων των συναισθημάτων είναι:

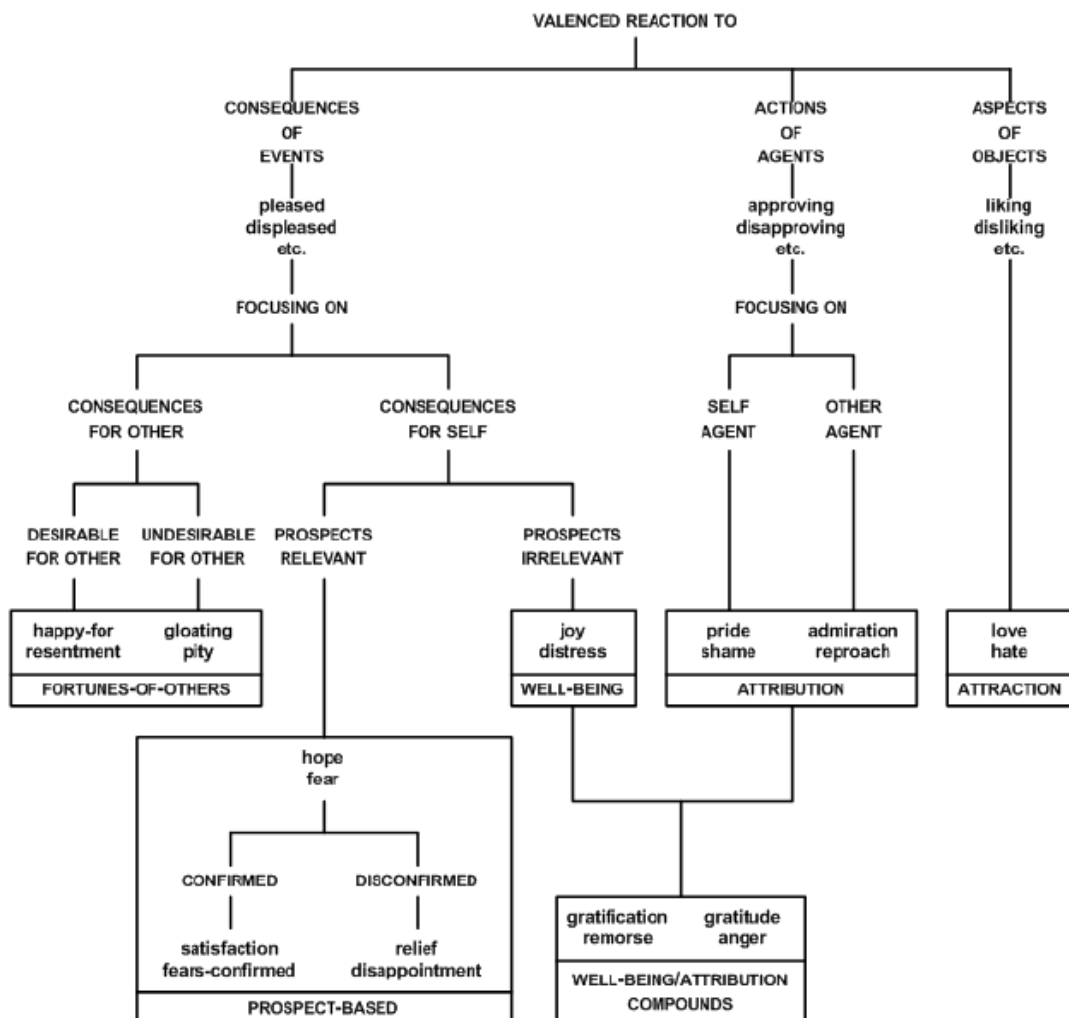
1. ο βαθμός που το άτομο που βιώνει το γεγονός το αντιλαμβάνεται ως πραγματικό (*sense of reality*),
2. η εγγύτητα του γεγονότος (*proximity*), η οποία χρησιμοποιείται για να περιγράψει την τάση των συναισθημάτων να είναι πιο έντονα (ασθενέστερα) όταν είναι χρονικά ή χωρικά κοντά (μακριά),
3. η πιθανότητα ενός γεγονότος να μην συμβεί (*unexpected*)
4. η διέγερση (*arousal*).

Άλλες μη καθολικές μεταβλητές, που συσχετίζονται με ειδικές συνθήκες και συναισθήματα που προκύπτουν σε αυτές, που επηρεάζουν την ένταση είναι:

1. Η πιθανότητα (*likelihood*) που το άτομο αποδίδει στη πραγματοποίηση ενός γεγονότος
2. Η προσπάθεια (*effort*) που έχει καταβάλει το άτομο για ένα στόχο
3. Ο βαθμός πραγματοποίησης (*realization*) ενός γεγονότος, π.χ., ένας μαθητής ο οποίος περίμενε ότι θα έγραφε 10 και πήρε 3 θα βιώσει πιο έντονα αρνητικά συναισθήματα σε σχέση με κάποιον που περίμενε 10 και πήρε 8.
4. Ο βαθμός που οι συνέπειες ενός γεγονότος γίνονται αντιληπτές ως επιθυμητές ή μη (*desirability*)
5. Ο βαθμός στον οποίο ένα άλλο άτομο είναι συμπαθές (*liking*).
6. Η αντίληψη του βαθμού δικαιοσύνης σχετικά με τις συνέπειες ενός γεγονότος σε ένα άλλο άτομο (*deservingness*).

Το όφελος από τη χρήση αυτού του μοντέλου για το σχεδιασμό πρακτόρων, είναι η συσχέτιση της πρόκλησης των συναισθημάτων με τους στόχους και τις αξίες του πράκτορα. Έτσι το μοντέλο αυτό μπορεί να υλοποιηθεί με απλούς

προγραμματιστικούς κανόνες που λαμβάνουν υπόψη το περιβάλλον του πράκτορα και τον τρόπο που αυτός αλληλεπιδρά με αυτό. Αυτός ο συσχετισμός πράκτορα-περιβάλλοντος μπορεί υπό συνθήκες να χρησιμοποιηθεί επίσης, με κατάλληλη τεκμηρίωση βέβαια από την βιβλιογραφία, για την πρόβλεψη/μοντελοποίηση της επιλογής των δράσεων του πράκτορα στο μοντέλο σε συνάρτηση με τα συναισθήματα του. Επιπλέον μια υλοποίηση που χρησιμοποιεί το μοντέλο αυτό, έχει τη θεωρητική βάση από την ψυχολογία, ώστε ο χαρακτηρισμός *προσομοίωση συναισθημάτων* να μπορεί να στηριχθεί επαρκώς.



Εικόνα 1: Ιεραρχική αναπαράσταση του μοντέλου συναισθημάτων των Ortony, Clore και Collins [7]

<i>Emotion</i>	<i>Specification</i>
<i>joy</i>	pleased about the desirable consequences of an actual event
<i>distress</i>	displeased about the undesirable consequences of an actual event
<i>happy-for</i>	pleased about the consequences of an actual event presumed to have desirable consequences for someone else who one cares about
<i>sorry-for</i>	displeased about the consequences of an actual event presumed to have undesirable consequences for someone else who one cares about
<i>resentment</i>	displeased about the consequences of an actual event presumed to have desirable consequences for someone else who one does not like
<i>gloating</i>	pleased about the consequences of an actual event presumed to have undesirable consequences for someone else who one does not like
<i>hope</i>	pleased about the prospective desirable consequences of an unconfirmed event
<i>fear</i>	displeased about the prospective undesirable consequences of an unconfirmed event
<i>satisfaction</i>	pleased about the confirmation of an event with prospective desirable consequences
<i>fears-confirmed</i>	displeased about the confirmation of an event with prospective undesirable consequences
<i>relief</i>	pleased about the disconfirmation of an event with prospective undesirable consequences
<i>disappointment</i>	displeased about the disconfirmation of an event with prospective desirable consequences
<i>pride</i>	approving of one's own praiseworthy action
<i>self-reproach</i>	disapproving of one's own blameworthy action
<i>appreciation</i>	approving of someone else's praiseworthy action
<i>reproach</i>	disapproving of someone else's blameworthy action
<i>gratitude</i>	approving of someone else's praiseworthy action <i>and</i> being pleased about the desirable consequences of the resulting event
<i>anger</i>	disapproving of someone else's blameworthy action <i>and</i> being displeased about the undesirable consequences of the resulting event
<i>gratification</i>	approving of one's own praiseworthy action <i>and</i> being pleased about the desirable consequences of the resulting event
<i>remorse</i>	disapproving of one's own blameworthy action <i>and</i> being displeased about the undesirable consequences of the resulting event

Εικόνα 2: Οι προδιαγραφές των συναισθηματικών τύπων του μοντέλου O.C.C. [27]

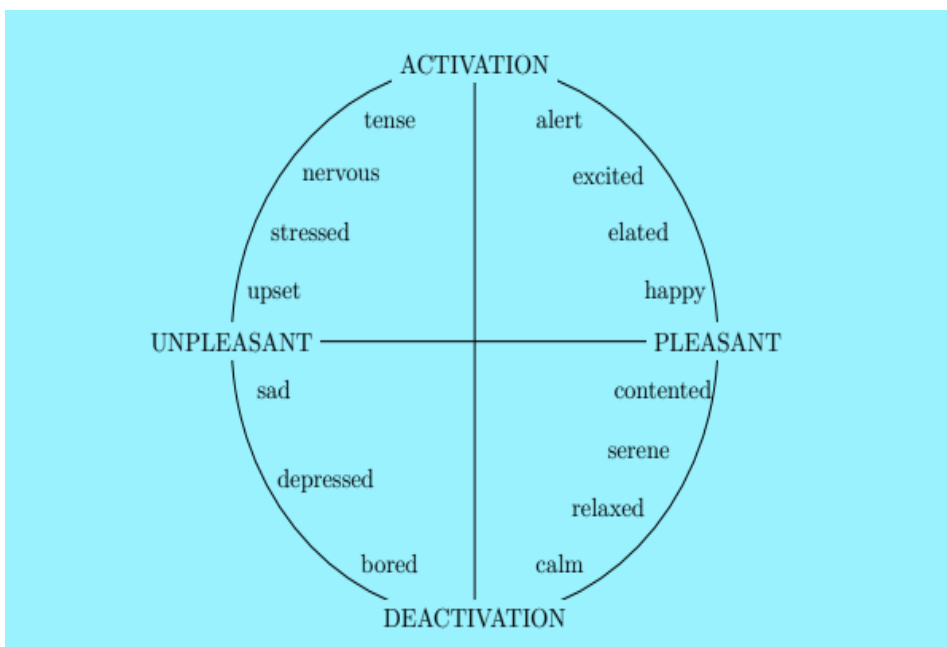
2.6.2 Το κυκλικό μοντέλο συναισθηματικής επιρροής (Circumplex model of Affect)

Το μοντέλο αυτό, που παρουσιάζεται στην Εικόνα 3, χρησιμοποιεί μια διαστατική θεωρία συναισθημάτων που βασίζεται στο σθένος και τη διέγερση [7]. Το μοντέλο προέκυψε από ένα πείραμα όπου, έχοντας ως αναφορά εικοσιοκτώ διαφορετικές λέξεις για τα συναισθήματα, οι άνθρωποι καλούνταν να τοποθετήσουν κάθε συναίσθημα σε κατάλληλη θέση. Οι δημιουργοί του μοντέλου παρατήρησαν πως

λόγω των διαφορών στο σθένος που οι άνθρωποι από φύσης παρουσιάζουν, αλλά και των φυσικών αλλαγών στο χρόνο, διάφορα συναισθήματα ήταν επικαλυπτόμενα στο μοντέλο αυτό.

Το μοντέλο αυτό κρίνεται στην [7] ως πιο δύσκολο στη μοντελοποίηση από το O.C.C. για αρκετούς λόγους. Αρχικά δεν εξηγείται πώς τα συναισθήματα του ατόμου επηρεάζουν τους στόχους και αντίστροφα. Επίσης τα συναισθήματα δεν συσχετίζονται με την επίδραση του περιβάλλοντος του ατόμου. Έτσι η επικύρωση μιας μοντελοποίησης με τη χρήση αυτού του μοντέλου θα απαιτούσε επιπλέον ψυχολογική έρευνα ως προς το θεωρητικό υπόβαθρο. Τέλος, τα επικαλυπτόμενα συναισθήματα, όσο και οι ορισμοί τους, παρουσιάζουν μια ασάφεια που δυσκολεύει τη ντετερμινιστική πρόβλεψη των εγειρόμενων συναισθημάτων σε συγκεκριμένες καταστάσεις.

Η άποψη του συγγραφέα είναι σε γενικές γραμμές εύστοχη. Παρόλα αυτά, ως προς το πρόβλημα της επικάλυψης, η ενσωμάτωση ασαφούς λογικής για τη διαβάθμιση των συναισθημάτων, θα μπορούσε να προσφέρει τη λύση .



Εικόνα 3: Το κυκλικό μοντέλο συναισθηματικής επιρροής [7]

2.6.3 Το μοντέλο ευχαρίστησης, διέγερσης και κυριαρχίας (Pleasure, arousal, dominance model)

Πρόκειται για ένα διαστατικό μοντέλο τριών διαστάσεων (P,A,D) = (ευχαρίστηση, διέγερση, κυριαρχία). Οι πρώτες δύο διαστάσεις είναι όμοιες με αυτές από το κυκλικό μοντέλο συναισθηματικής επιρροής (circumplex model of affect), ενώ η επιπλέον διάσταση της κυριαρχίας μετράει αν ένα συναίσθημα είναι κυρίαρχο. Πιο συγκεκριμένα η τιμή της ευχαρίστησης (*pleasure*) διακρίνει τις συναισθηματικές καταστάσεις μεταξύ ευχάριστων και δυσάρεστων (π.χ., ενθουσιασμός, χαλάρωση, έρωτας και ηρεμία έναντι σκληρότητας, εξευτελισμού, αδιαφορίας και βαρεμάρας) [28]. Η τιμή της διέγερσης (*arousal*) μετράει πόσο ένα ερέθισμα διεγείρει νοητικά και σωματικά ένα άτομο (π.χ., ύπνος, έλλειψη δραστηριότητας, βαρεμάρα και χαλάρωση έναντι εγρήγορσης, σωματικής έντασης, κοπιαστικής άσκησης και συγκέντρωσης στον υψηλότερο βαθμό). Τέλος, η τιμή της κυριαρχίας (*dominance*) μετράει πόσο κυρίαρχο ή υποταγμένο νιώθει ένα άτομο σε σχέση με τις συνθήκες, τα άτομα, τα γεγονότα κ.λπ. που επηρεάζουν τη ζωή του. Για παράδειγμα η τιμή της μεταβλητής αυτής διαχωρίζει συναισθήματα όπως θυμός, χαλάρωση, δύναμη και θράσος έναντι άγχους, φόβου, μοναξιάς.

Η διάθεση στο P.A.D. , όπως και τα συναισθήματα, αναπαρίσταται ως ένα σημείο στον τρισδιάστατο χώρο. Οι άξονες του μοντέλου είναι οι **+P-P**, **+A-A**, **+D-D**. Η διάθεση εδώ γίνεται αντιληπτή ως η μέση συναισθηματική κατάσταση ενός ατόμου για μια χρονική περίοδο. Ο Πίνακας 1 περιέχει τις δυνατές διαθέσεις που προκύπτουν εντός του μοντέλου σε συνάρτηση με τις διαστάσεις του. Επίσης η συσχέτιση που γίνεται μεταξύ των διαστάσεων του μοντέλου P.A.D. και βενός αριθμού συναισθημάτων, μεταξύ αυτών και αυτά που περιγράφονται στο O.C.C. (Πίνακας 2), είναι αρκετά χρήσιμη για μια μοντελοποίηση, καθώς έτσι παρέχεται ένας τρόπος προσομοίωσης των αλλαγών της διάθεσης ενός ατόμου [29]. Για παράδειγμα, θα μπορούσε η νέα διάθεση ενός πράκτορα να μοντελοποιηθεί ως το μέσο διάνυσμα που προκύπτει από τα συναισθήματα που έχει ένας πράκτορας μετά από ένα γεγονός στο περιβάλλον του.

Η δυνατότητα ανάλυσης χαρακτηριστικών της προσωπικότητας μέσω του μοντέλου αυτού γίνεται επίσης εφικτή, στηριζόμενη στη λογική ότι η ιδιοσυγκρασία ενός ανθρώπου μπορεί να γίνει αντιληπτή ως τα επαναλαμβανόμενα μοτίβα

συμπεριφοράς ή/και οι μέσοι όροι των καταστάσεων ευχαρίστησης, διέγερσης και κυριαρχίας, σε επαναλαμβανόμενες καταστάσεις στο βάθος της ζωής του [28]. Σε αυτό το μοντέλο επίσης αποσαφηνίζεται, μεταξύ άλλων, και ο τρόπος αλληλεπίδρασής του με το O.C.E.A.N. [30]. Έτσι εντός του μοντέλου P.A.D., τα χαρακτηριστικά της προσωπικότητας του O.C.E.A.N, λογίζονται ως η default διάθεση του ατόμου. Στο μοντέλο αυτό ισχύει ότι $P, A, D \in [-1.0, 1.0]$. Έτσι έστω ότι συμβολίζουμε την προσωπικότητα ενός ατόμου ως $P = (O, C, E, A, N)$, $O, C, E, A, N \in [-1.0, 1.0]$ και την προσωπικότητά P μετά την μετατροπή της στο χώρο του P.A.D. ως $M_0 = (P_0, A_0, D_0)$. Για τα P_0, A_0, D_0 θα ισχύει:

$$P_0 = 0.21 * E + 0.59 * A + 0.19 * N$$

$$A_0 = 0.15 * O + 0.30 * A - 0.57 * N$$

$$D_0 = 0.25 * O + 0.17 * C + 0.60 * E - 0.32 * A$$

Η δυσκολία ενσωμάτωσης σε ένα υπολογιστικό μοντέλο του P.A.D. είναι όμοια με αυτή που παρουσιάζει το κυκλικό μοντέλο συναισθηματικής επιρροής (circumplex model of affect), καθώς προκύπτουν ακριβώς τα ίδια ζητήματα παρά την παρουσία της επιπλέον διάστασης [7]. Παρόλα αυτά, όπως θα γίνει αντιληπτό και σε επόμενο κεφάλαιο, πολλές μοντελοποιήσεις συναισθημάτων σε ευφυής πράκτορες χρησιμοποιούν αυτό το μοντέλο για την υλοποίηση των λειτουργιών της διάθεσης, καθώς παρέχονται αναλυτικά οι τρόποι που μπορεί να αλληλεπιδράσει τόσο με τα συναισθήματα του μοντέλου O.C.C., όσο και τα χαρακτηριστικά της προσωπικότητας του O.C.E.A.N..

Πίνακας 1: Τύποι διαθέσεων στο χώρο του P.A.D.

Θέση στο τρισδιάστατο χώρο	Τύπος διάθεσης
+P+A+D	Exuberant
-P-A-D	Bored
+P+A-D	Dependent
-P-A+D	Disdainful
+P-A+D	Relaxed
-P+A-D	Anxious

+P-A-D

Docile

-P+A+D

Hostile

Πίνακας 2: Τα συναισθήματα του O.C.C. προσαρμοσμένα στις διαστάσεις του P.A.D.

Συναισθήματα	P	A	D	Τύπος διάθεσης
Admiration	0.5	0.3	-0.2	Dependent
Anger	-0.51	0.59	0.25	Hostile
Disliking	-0.4	0.2	0.1	Hostile
Disappointment	-0.3	0.1	-0.4	Hostile
Distress	-0.4	-0.2	-0.5	Bored
Fear	-0.64	0.60	-0.43	Anxious
FearsConfirmed	-0.5	-0.3	-0.7	Bored
Gloating	0.3	-0.3	-0.1	Docile
Gratification	0.6	0.5	0.4	Exuberant
Gratitude	0.4	0.2	-0.3	Dependent
Joy	0.4	0.2	0.1	Exuberant
Liking	0.40	0.16	-0.24	Dependent
Love	0.3	0.1	0.2	Exuberant
Pity	-0.4	-0.2	-0.5	Bored
Pride	0.4	0.3	0.3	Exuberant
Hate	-0.6	0.6	0.3	Hostile
Hope	0.2	0.2	-0.1	Dependent
Remorse	-0.3	0.1	-0.6	Anxious
Relief	0.2	-0.3	0.4	Relaxed
Reproach	-0.3	-0.1	-0.4	Disdainful
Resentment	-0.2	-0.3	-0.2	Bored
Satisfaction	0.3	-0.2	0.4	Relaxed

Shame	-0.3	0.1	-0.6	Anxious
HappyFor	0.4	0.2	0.2	Exuberant

Κεφάλαιο 3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΣΥΝΑΙΣΘΗΜΑΤΩΝ

Τα υπολογιστικά μοντέλα συναισθημάτων (CMEs) είναι συστήματα λογισμικού που, μέσω της εφαρμογής υπολογιστικών μηχανισμών αξιολόγησης συναισθηματικών ερεθισμάτων, προσπαθούν να αναπαράγουν ορισμένες πτυχές του φαινομένου των συναισθημάτων [31].

Οι εφαρμογές των CMEs μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση το επιστημονικό πεδίο εφαρμογής τους [15], [32]. Έτσι οι βασικοί τομείς στους οποίους χρησιμοποιούνται αυτά τα μοντέλα είναι:

1. η ψυχολογία, η οποία τα χρησιμοποιεί προκειμένου να ερευνήσει τη φύση των συναισθημάτων,
2. η τεχνητή νοημοσύνη και η ρομποτική, καθώς και
3. η αλληλεπίδραση ανθρώπου-μηχανής.

Τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούνται από τους παραπάνω τομείς με διαφορετικούς τρόπους. Στην ψυχολογία, τα μοντέλα αυτά μπορούν να βοηθήσουν σε κάθε βήμα της ανάπτυξης θεωριών των ανθρώπινων συναισθημάτων, τη δημιουργία και την τυποποίηση, αλλά και την βελτίωση, την αξιολόγηση και την ολοκλήρωση τους. Επίσης στην ψυχολογία, τα CMEs έχουν και πειραματική χρήση, καθώς βοηθούν την διενέργεια πειραμάτων που έχουν ως σκοπό την αξιολόγηση συναισθηματικών αντιδράσεων. Εδώ τα CMEs είναι χρήσιμα καθώς καθιστούν εφικτό να χρησιμοποιούνται τεχνητά συστήματα-υποκείμενα, αντί για ανθρώπινα. Στην τεχνητή νοημοσύνη και τη ρομποτική, τα μοντέλα αυτά βοηθούν στην ανάπτυξη πιο ευφυών και ευέλικτων κοινωνικών πρακτόρων. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της ενσωμάτωσής τους σε γνωσιακές αρχιτεκτονικές πρακτόρων. Τέλος, ο τομέας της αλληλεπίδρασης ανθρώπου-μηχανής επωφελείται από τα μοντέλα αυτά, καθώς με τη χρήση τους είναι εφικτή η βελτίωση της επικοινωνίας των ανθρώπινων χρηστών με το υπολογιστικό σύστημα. Αυτό συμβαίνει καθώς οι πράκτορες, μέσω της χρήσης των μοντέλων αυτών, μπορούν και έχουν συναισθηματικές εκδηλώσεις, όπως εκφράσεις προσώπου, στάση σώματος, να αποδίδουν με καλύτερο τρόπο τα πιστεύω τους, τις

επιθυμίες τους και τις προθέσεις τους, καθώς και τις συναισθηματικές τους καταστάσεις.

Προφανώς λοιπόν η αξιολόγηση τέτοιων μοντέλων, γίνεται με βάση το πλαίσιο εφαρμογής τους και τους στόχους που προαναφέρθηκαν. Έτσι τα κριτήρια αξιολόγησης είναι:

1. η μίμηση των δυναμικών των ανθρώπινων συναισθημάτων στην ψυχολογία,
2. η επιτυχία στην επεξεργασία συναισθηματικών δεδομένων και η ρύθμιση γνωστικών λειτουργιών του πράκτορα για την τεχνητή νοημοσύνη και τη ρομποτική,
3. η επίτευξη αποτελεσματικών, βέλτιστων και ευχάριστων αλληλεπιδράσεων ανθρώπου-μηχανής μέσω της επίδειξης και ερμηνείας συναισθηματικών ενδείξεων για την αλληλεπίδραση ανθρώπου-μηχανής.

Τέλος, πέρα από τις εξειδικευμένες χρήσεις τους στον κάθε έναν από τους παραπάνω επιστημονικούς τομείς, από όσα ήδη αναφέρθηκαν γίνεται εμφανές πως τα CMEs παρουσιάζουν διεπιστημονικό ενδιαφέρον και έχουν τη δυνατότητα να συμβάλουν στην συνδιαλλαγή μεταξύ ψυχολόγων και επιστημόνων υπολογιστών, έχοντας θετική επίδραση και στους δύο αυτούς τομείς [33].

3.1 Ο κύκλος λειτουργίας ενός CME

Τα υπολογιστικά μοντέλα συναισθημάτων μπορούν να γίνουν κατανοητά ως στοιχεία που μετατρέπουν ερεθίσματα σε συναισθηματική πληροφορία. Η πληροφορία αυτή τροφοδοτεί και τροποποιεί την συναισθηματική κατάσταση του πράκτορα, τις συναισθηματικές αντιδράσεις του, καθώς επίσης προκαλεί και μια σειρά αλλαγών σε συναισθηματικές και γνωστικές λειτουργίες του.

Πιο λεπτομερώς λοιπόν, τα στάδια του κύκλου λειτουργίας των υπολογιστικών μοντέλων συναισθημάτων, σύμφωνα και με τις [34] και [15], είναι:

1. *Συναισθηματική αξιολόγηση του ερεθίσματος:* σε αυτό το στάδιο το ερέθισμα αναγνωρίζεται και ερμηνεύεται. Βασικό ρόλο εδώ παίζει η *διεργασία αναγνώρισης* που αντιστοιχίζει στα στοιχεία του περιβάλλοντος του πράκτορα κάποια αριθμητική τιμή, η οποία στη συνέχεια χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί ο βαθμός σημαντικότητας ενός ερεθίσματος για τον πράκτορα. Ο βαθμός σημαντικότητας εξαρτάται από μια σειρά παραμέτρων όπως για παράδειγμα η κατάσταση κατά την

οποία γίνεται αντιληπτό ένα ερέθισμα, η εσωτερική κατάσταση του πράκτορα, οι προηγούμενες εμπειρίες του με αντίστοιχα ερεθίσματα κ.λπ.. Έτσι στο τέλος αυτού του σταδίου, παράγεται ως έξοδος η αξιολόγηση του ερεθίσματος με βάση τη συναισθηματική τιμή που έχει αποδοθεί στο ερέθισμα.

2. *Πρόκληση συναισθημάτων*: εδώ καθορίζεται η συναισθηματική κατάσταση του πράκτορα με βάση τις πληροφορίες του προηγούμενου σταδίου. Μια σειρά από συναισθηματικές και γνωστικές λειτουργίες, όπως οι προηγούμενες συναισθηματικές καταστάσεις του πράκτορα, η προσωπικότητα, οι μακροπρόθεσμοι και βραχυπρόθεσμοι στόχοι και τα πιστεύω του, αποτελούν την είσοδο της κεντρικής διεργασίας αυτού του σταδίου. Λαμβάνοντας λοιπόν ως είσοδο τις παραπάνω παραμέτρους, η διεργασία αυτή παράγει ως έξοδο το κατάλληλο συναίσθημα. Οι είσοδοι αυτοί χρειάζεται να έχουν επαρκείς εσωτερικές αναπαραστάσεις στον πράκτορα. Επίσης ο τρόπος που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους πρέπει να είναι καθορισμένος. Συνήθως σε αυτό το στάδιο τα διαστατικά μοντέλα συναισθημάτων λαμβάνονται υπόψη καθώς παρέχουν ένα επαρκές πλαίσιο για την διάκριση των συναισθημάτων με βάση την αξιολόγηση του περιβάλλοντος του πράκτορα.

3. *Δημιουργία συναισθηματικά παρακινούμενων αντιδράσεων*: ο κύριος στόχος σε αυτό το στάδιο είναι η μοντελοποίηση της συναισθηματικής επιρροής στην γνωστική επεξεργασία, που ελέγχει τη συμπεριφορά του πράκτορα. Όλοι οι τύποι συμπεριφορών του πράκτορα επηρεάζονται από την τρέχουσα συναισθηματική του κατάσταση. Έτσι η ενημερωμένη συναισθηματική κατάσταση του πράκτορα διαμορφώνει τη γνωστική επεξεργασία που έπειτα καθορίζει τη συμπεριφορά του πράκτορα. Διαδικασίες όπως η αντίληψη, η προσοχή και η λήψη αποφάσεων είναι μεταξύ των διαδικασιών που επηρεάζονται από τις συναισθηματικές καταστάσεις του πράκτορα. Έτσι, οι εσωτερικοί μηχανισμοί τους λειτουργούν με βάση τόσο γνωστικά όσο και συναισθηματικά δεδομένα. Ανάλογα με το είδος των συναισθημάτων που βιώνει ο πράκτορας, αλλά και το επίπεδο τους, οι αντιδράσεις που μπορούν να αναπτυχθούν είναι είτε αυτόματες, είτε πιο εκούσιες. Ενώ οι αντανακλαστικές ή γρήγορες αντιδράσεις προκαλούνται από έντονα συναισθηματικά ερεθίσματα, οι πιο εκούσιες αντιδράσεις προκαλούνται από ερεθίσματα που πυροδοτούν συναισθήματα με σχετικά μέτρια ένταση. Για να προσδιοριστεί η καταλληλότητα μιας συμπεριφοράς στο πλαίσιο δράσης του πράκτορα, η συναισθηματική συμπεριφορά του αξιολογείται

από τον ίδιο. Η αξιολόγηση μπορεί να πραγματοποιηθεί πριν ή μετά την εκτέλεση της συμπεριφοράς. Σε κάθε περίπτωση, εάν τα αποτελέσματα αυτής της αξιολόγησης δεν είναι επιθυμητά, η συμπεριφορά του πράκτορα και συναισθηματική κατάστασή του πρέπει να ρυθμιστεί ανάλογα. Οι ιεραρχικές θεωρίες συναισθημάτων μπορεί να είναι χρήσιμες σε αυτό το στάδιο καθώς παρέχουν εξηγήσεις για το πώς συγκεκριμένα συναισθήματα προκαλούν συγκεκριμένα μοτίβα συμπεριφοράς.

3.2 Στάδια ανάπτυξης από την σκοπιά της ανάπτυξης λογισμικού

Παρόλο που στη βιβλιογραφία παρατηρείται μια έλλειψη επίσημων μεθοδολογιών για το σχεδιασμό τέτοιων μοντέλων, υπάρχουν κάποια στάδια ανάπτυξης τα οποία εμφανίζονται ως κοινά. Στην [31] ενδεικτικά, αναλύονται αυτά τα στάδια από την σκοπιά της ανάπτυξης λογισμικού.

Αρχικά λοιπόν, όπως μας πληροφορεί η [31], γίνεται μια ανάλυση των λειτουργικών και μη λειτουργικών απαιτήσεων (π.χ., δυνατότητα συντήρησης, απόδοση) του μοντέλου. Οι λειτουργικές απαιτήσεις προσδιορίζονται με βάση την εκάστοτε θεωρία συναισθημάτων που υλοποιείται- η Θεωρία Γνωστικής Αξιολόγησης είναι η πιο συχνά μοντελοποιούμενη [6]- και το πλαίσιο εφαρμογής του μοντέλου. Επίσης ο σκοπός που εξυπηρετεί το μοντέλο καθορίζει το βαθμό κατανόησης των συναισθηματικών θεωριών που απαιτείται από τον σχεδιαστή του λογισμικού, αλλά και τις πτυχές της θεωρίας που θα μοντελοποιηθούν.

Στη συνέχεια ακολουθεί το στάδιο του σχεδιασμού, όπου αφού προσδιοριστούν οι απαιτήσεις του μοντέλου, καθορίζεται η αρχιτεκτονική του μοντέλου, η οποία είναι μια αφαιρετική προσέγγιση υψηλού επιπέδου ως προς τον τρόπο που οι λειτουργικές και μη λειτουργικές απαιτήσεις μεταφράζονται σε στοιχεία του συστήματος και στον τύπο των δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν. Τα συστατικά στοιχεία του συστήματος, ο κύκλος λειτουργίας του, η ροή των δεδομένων, οι υπολογιστικές τεχνικές που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν και οι ιδιαιτερότητες της θεωρίας συναισθημάτων που θα χρησιμοποιηθεί είναι μεταξύ των βασικών παραμέτρων που πρέπει να αποσαφηνιστούν. Για τα CMEs συγκεκριμένα, καθορίζεται η γενική κατανομή των στοιχείων τους (π.χ., το στοιχείο που παρέχει τη λειτουργία της διάθεσης, το στοιχείο που παρέχει τις λειτουργίες της προσωπικότητας κ.λπ.), οι

λειτουργίες τους, οι μεταξύ τους σχέσεις, οι εισοδοί και οι έξοδοί τους. Σε αυτό το στάδιο λαμβάνονται επίσης υπόψη τα γνωστικά στοιχεία του πράκτορα τα οποία αλληλεπιδρούν με το συναισθηματικό μοντέλο. Έπειτα σχεδιάζονται τα στοιχεία του μοντέλου και συγκεκριμενοποιείται η αρχιτεκτονική του σε σχέση με την εσωτερική λειτουργία του. Έτσι αρχιτεκτονική καταλήγει σε μια αλγοριθμική αναπαράσταση.

Τα τελευταία τρία στάδια είναι η υλοποίηση σε κάποια γλώσσα προγραμματισμού, ο έλεγχος και η επαλήθευση του μοντέλου και η συντήρηση του συστήματος. Για τον έλεγχο και την επαλήθευση του μοντέλου συνήθως χρησιμοποιείται η τεχνική της υπόθεσης εργασίας (test case) μέσω κάποιας προσομοίωσης. Για την συντήρηση η βιβλιογραφία είναι περιορισμένη, καθώς οι προσπάθειες είναι εστιασμένες στην δημιουργία καινοτόμων προσεγγίσεων στα μοντέλα αυτά και λιγότερο στη σταδιακή αλλαγή των ήδη υπαρχόντων.

3.3 Αυτόνομα και ενοποιημένα υπολογιστικά μοντέλα

Στους τομείς της τεχνητής νοημοσύνης και του affective computing υπάρχουν κατά κύριο λόγο δύο είδη αρχιτεκτονικών που συνθέτουν γνωστικές και συναισθηματικές διεργασίες [15]. Η πρώτη είναι αυτό των αυτόνομων συναισθηματικών μοντέλων, στοιχείων δηλαδή που υλοποιούνται ανεξάρτητα από διεργασίες όπως αντίληψη, μνήμη κ.λπ. και έπειτα συμπεριλαμβάνονται ως επεκτάσεις σε ήδη υπάρχοντα γνωστικά πλαίσια ανάπτυξης πρακτόρων ή σε αρχιτεκτονικές που έχουν σκοπό να παρέχουν την ικανότητα επεξεργασία συναισθηματικών δεδομένων. Ο δεύτερος τύπος αρχιτεκτονικής είναι αυτός των ενοποιημένων μοντέλων, τα οποία συμπεριλαμβάνουν στον κύκλο λειτουργίας τους και άλλες διεργασίες του πράκτορα πέρα των συναισθηματικών, ή είναι σχεδιασμένα και υλοποιημένα εξ ολοκλήρου μέσα σε ένα συγκεκριμένο πλαίσιο υλοποίησης. Αυτού του είδους οι αρχιτεκτονικές αντλούν από θεωρίες που υποστηρίζουν πως τα συναισθήματα προέρχονται από την λειτουργία πολλαπλών εγκεφαλικών λειτουργιών.

Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα και των δύο αρχιτεκτονικών ποικίλουν. Επεκτείνοντας τις γνωστικές αρχιτεκτονικές πρακτόρων με τα αυτόνομα μοντέλα, αξιοποιούνται ήδη ελεγμένα και υλοποιημένα στοιχεία σε υπάρχουσες αρχιτεκτονικές πρακτόρων. Επίσης με αυτό τον τρόπο γίνεται δυνατή η γρήγορη και

εύκολη επέκταση επιπλέον διεργασιών. Τα αυτόνομα μοντέλα που επεκτείνουν τις ήδη υπάρχουσες αρχιτεκτονικές, δέχονται ανεπεξέργαστα δεδομένα από τα υπόλοιπα στοιχεία του πράκτορα και επιστρέφουν δεδομένα συναισθηματικής επεξεργασίας, που με τη σειρά τους χρησιμοποιούνται ως είσοδοι για τα άλλα στοιχεία του συστήματος. Υπάρχουν βέβαια και μειονεκτήματα στην ενσωμάτωσης μοντέλων που αναπτύσσονται με αυτό τον τρόπο σε γνωστικές αρχιτεκτονικές. Οι αρχιτεκτονικές γνωστικών πρακτόρων αποτελούνται από ετερογενή στοιχεία που απαιτούν διαφορετικού τύπου συναισθηματικών δεδομένων για να λειτουργήσουν κατάλληλα. Τα αυτόνομα μοντέλα είναι πιθανό να μην μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες αυτές επαρκώς.

Η ανάπτυξη ενοποιημένων CMEs ακολουθεί έναν πιο φυσικό σχεδιασμό, προσπαθώντας να προσομοιώσει τον τρόπο με τον οποίο τα συναισθήματα προκύπτουν στον ανθρώπινο εγκέφαλο. Έτσι αυτά τα μοντέλα προκύπτουν από τη συνισταμένη λειτουργία πολλαπλών μηχανισμών (π.χ., μνήμη και αντίληψη) και δεν αναπτύσσονται σαν επεκτάσεις υπάρχοντων αρχιτεκτονικών. Εξαιτίας αυτού όμως γίνονται περίπλοκα στην υλοποίηση και είναι πιο επιρρεπή σε σφάλματα. Επίσης είναι πιο πιθανό να κληρονομήσουν τα μειονεκτήματα των θεωριών στις οποίες βασίζονται. Παρόλα αυτά πολλά πλεονεκτήματα γίνονται δυνατά με τη χρήση τέτοιων μοντέλων. Για παράδειγμα, αντλώντας πληροφορίες για το σχεδιασμό τους από τον τρόπο που οι γνωστικές και συναισθηματικές διεργασίες του εγκεφάλου αλληλεπιδρούν, διευκολύνουν την ενσωμάτωση διεργασιών για την προσωπικότητα, τη διάθεση και την αντίληψη, χωρίς να υπάρχει αλλαγή στον τρόπο που υλοποιούνται οι υπόλοιποι μηχανισμοί. Αυτού του είδους τα μοντέλα μπορούν πιθανώς να εφαρμοστούν σε πειραματικά πλαίσια, όπου μελετάται ο ανθρώπινος εγκέφαλος σε υγιή υποκείμενα ή σε υποκείμενα με γνωστικά και συναισθηματικά προβλήματα.

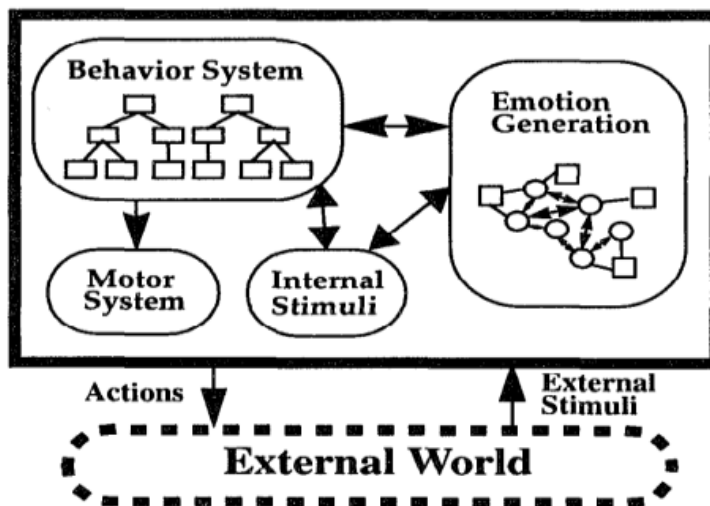
Στην επόμενη ενότητα, με σκοπό να γίνουν πιο κατανοητές οι παραπάνω σχεδιαστικές αρχές, γίνεται αναφορά σε μια σειρά αρχιτεκτονικών που υλοποιούν τις συναισθηματικές λειτουργίες με διαφορετικούς τρόπους.

3.4 Cathexis

Το μοντέλο Cathexis [35] είναι ένα καταναμημένο μοντέλο για τη δημιουργία τεχνητών συναισθηματικών καταστάσεων που επηρεάζουν τη συμπεριφορά αυτόνομων πρακτόρων. Στην Εικόνα 4 φαίνεται η αρχιτεκτονική του. Το Cathexis αποτελείται από πέντε υποσυστήματα, που είναι υπεύθυνα για τις ακόλουθες λειτουργίες του πράκτορα: αντίληψη, δράσεις, συμπεριφορά, συναισθήματα και κίνητρα. Το σύστημα που είναι υπεύθυνο για την αντίληψη του πράκτορα συμβάλλει στη λήψη και την επεξεργασία αισθητήριων πληροφοριών, που τα στοιχεία της συμπεριφοράς και των συναισθημάτων δέχονται έπειτα ως εισόδους. Τα κίνητρα του πράκτορα, τα οποία υλοποιούνται στο στοιχείο των κινήτρων, χρησιμοποιούνται ώστε να πολώνονται οι πράξεις του. Το σύστημα παραγωγής των συναισθημάτων υλοποιεί μια ανάμειξη συναισθηματικών θεωριών (θεωρία αξιολόγησης, εξελικτική και σωματική θεωρία) και αναπαριστά τα βασικά συναισθήματα (θυμό, φόβο, λύπη, ευχαρίστηση, αγδία και έκπληξη), που προκύπτουν ως αντιδράσεις σε διάφορα ερεθίσματα του περιβάλλοντος του πράκτορα, καθώς και συνδυασμούς αυτών. Κάθε στοιχείο του συστήματος παραγωγής συναισθημάτων (αναφέρονται ως “*proto-specialist*” agents) αναπαριστά μια διαφορετική κλάση συναισθημάτων. Τα ερεθίσματα γίνονται αντιληπτά από κάθε στοιχείο, με τη χρήση μιας ομάδας αισθητήρων (Νευρωνικοί, Αισθητοκινητικοί, Προτρεπτικοί και Γνωστικοί), ώστε υπό τις κατάλληλες συνθήκες να παράγεται το κατάλληλο συναίσθημα. Η είσοδος των αισθητήρων επηρεάζει την ένταση του συναισθήματος που αναπαριστά το στοιχείο του συστήματος στο οποίο ανήκουν. Τα στοιχεία αυτά λειτουργούν παράλληλα, ανανεώνοντας διαρκώς την τιμή της έντασης των συναισθημάτων που αναπαριστούν. Σε κάθε τέτοιο στοιχείο υπάρχουν δύο μεταβλητές που παίζουν ρόλο κατωφλίου. Η πρώτη είναι η α , που ελέγχει την ενεργοποίηση της συναισθηματικής κλάσης του στοιχείου όταν η ένταση ξεπεράσει την τιμή της, και η δεύτερη μεταβλητή είναι η ω , η οποία καθορίζει τα επίπεδα κορεσμού του. Σημαντική επίσης είναι η συνάρτηση αποσύνθεσης Ψ , η οποία ελέγχει τη διάρκεια μιας συναισθηματικής κατάστασης. Οι διαθέσεις διαφοροποιούνται στο μοντέλο αυτό από τα συναισθήματα μέσω των επιπέδων διέγερσης τους. Η προσωπικότητα μοντελοποιείται μέσω των διαφορετικών τιμών των κατωφλίων ενεργοποίησης και κορεσμού των

συναισθημάτων. Επίσης στο μοντέλο αναπαριστώνται δευτερεύοντα συναισθήματα που συσχετίζονται με αντικείμενα του περιβάλλοντος του πράκτορα. Το σύστημα που είναι υπεύθυνο για τη συμπεριφορά του πράκτορα, παράγει την πιο κατάλληλη αντίδραση με βάση τα συναισθήματα και την έντασή τους, καθώς και με τα κίνητρα του πράκτορα. Οι αντιδράσεις αυτές υλοποιούνται ύστερα από το σύστημα που είναι υπεύθυνο για τις πράξεις του πράκτορα.

Συνοπτικά λοιπόν, ο κύκλος λειτουργίας του μοντέλου ξεκινάει με την αντίληψη των ερεθισμάτων, που επηρεάζουν τόσο τις μεταβλητές του περιβάλλοντος του πράκτορα όσο και τις εσωτερικές μεταβλητές του (π.χ., τα κίνητρά του). Στη συνέχεια ανανεώνονται οι μεταβλητές που σχετίζονται με τα κίνητρα του πράκτορα. Έπειτα αποδίδονται αριθμητικές τιμές (ή ανανεώνονται) σε όλες τις δυνατές συμπεριφορές του πράκτορα, με βάση το ερέθισμα που βιώνεται τη δεδομένη χρονική στιγμή. Τέλος, η συμπεριφορά με την υψηλότερη τιμή επιλέγεται από τον πράκτορα.



Εικόνα 4: Η αρχιτεκτονική του Cathexis [35]

3.5 ALMA

Πρόκειται για ένα αυτόνομο CME που σχεδιάστηκε για να προσδώσει συναισθήματα, διάθεση και προσωπικότητα σε εικονικούς ανθρώπους [36]. Το μοντέλο αυτό υλοποιεί το O.C.C. μοντέλο για τα συναισθήματα και το O.C.E.A.N για την προσωπικότητα, μέσω του στοιχείου-πυρήνα του μοντέλου που είναι υπεύθυνο για τη συναισθηματική επεξεργασία και αναφέρεται ως *emotion engine*. Η παραγωγή

μιας σειράς συναισθηματικών συμπεριφορών είναι δυνατή με την χρήση αυτού του στοιχείου.

Το μοντέλο διαφοροποιεί τις συναισθηματικές καταστάσεις που προκύπτουν ως αποτέλεσμα των συναισθηματικών λειτουργιών του, με βάση τη χρονική διάρκεια. Έτσι τα συναισθήματα σε αυτό το μοντέλο, καθώς υλοποιούν το O.C.C., θεωρούνται συναισθηματική επιρροή μικρής χρονικά διάρκειας τα οποία συσχετίζονται με συγκεκριμένο γεγονός, δράση ή αντικείμενο. Η διάθεση στο μοντέλο, η οποία υλοποιείται με βάση το P.A.D., αφορά σχετικά σταθερή συναισθηματική επιρροή μεσαίας χρονικά διάρκειας, που σε γενικές γραμμές είναι ασυνάρτητη γεγονότων, αντικειμένων, δράσεων. Η ένταση της διάθεσης ορίζεται ως: η απόστασή του σημείου που προκύπτει στο χώρο του P.A.D. για τη διάθεση από την αρχή των αξόνων. Τέλος, η προσωπικότητα λογίζεται ως συναισθηματική επιρροή μεγάλης χρονικά διάρκειας και ως ατομικές διαφορές ψυχολογικού τύπου.

Το μοντέλο ευχαρίστησης, διέγερσης και κυριαρχίας (Pleasure, arousal, dominance model) παίζει κεντρικό ρόλο στο ALMA, καθώς λόγω της χρήσης του η προσωπικότητα και η διάθεση συσχετίζονται με τα εγχειρόμενα συναισθήματα. Επίσης χάρη στην «μετάφραση» των συναισθημάτων του O.C.C. στις διαστάσεις του P.A.D., επιτυγχάνονται οι αλλαγές στη διάθεση του πράκτορα.

Με βάση λοιπόν αυτά τα χαρακτηριστικά, η εκκίνηση της λειτουργίας του μοντέλου πυροδοτείται από ένα γεγονός. Η ένταση των συναισθημάτων του πράκτορα, καθώς και η διάθεσή του, υπολογίζονται με βάση τις αρχικοποιήσεις για την προσωπικότητα του πράκτορα, κάνοντας χρήση και των εξισώσεων του P.A.D. που μεταφράζουν τις αρχικοποιήσεις του O.C.E.A.N στις διαστάσεις του. Στη συνέχεια η διάθεση καθορίζεται ως ο μέσος όρος των συναισθημάτων του πράκτορα. Οι δυναμικές της διάθεσης καθορίζονται από τα εγχειρόμενα συναισθήματα. Μια συνάρτηση pull-and-push (έλξης και απώθησης) υλοποιείται στο μοντέλο η οποία κάνει αυτή τη δουλειά. Αυτή η συνάρτηση υπολογίζει αρχικά το κέντρο των ενεργών συναισθημάτων (τεχνητό συναισθηματικό κέντρο) του πράκτορα στο χώρο του P.A.D.. Η ένταση που συσχετίζεται με αυτό το κέντρο, είναι ο μέσος όρος των εντάσεων των ενεργών συναισθημάτων. Στη συνέχεια, μετακινεί το σημείο διάθεσης στο χώρο του P.A.D. σε σχέση με το υπολογισμένο σημείο. Εάν η τρέχουσα θέση διάθεσης βρίσκεται μεταξύ της αρχής των αξόνων στο P.A.D. και του κέντρου που

υπολογίστηκε, τότε η διάθεση μετακινείται προς το κέντρο συναισθημάτων (*φάση έλξης*). Εάν η τρέχουσα διάθεση είναι είτε πέρα από το, είτε στο, κέντρο συναισθημάτων, η διάθεση ωθείται μακριά από το σημείο στην οποία βρίσκεται η διάθεση (*φάση απώθησης*). Για να προσδιορίσει το επίπεδο έλξης ή απώθησης της διάθεσης (σε σχέση με το εικονικό σημείο του συναισθήματος), η συνάρτηση χρησιμοποιεί τη μέση ένταση όλων των ενεργών συναισθημάτων. Τέλος, μια συνάρτηση αποσύνθεσης χρησιμοποιείται για να επιστρέψει αργά η κατάσταση διάθεσης σε μια προεπιλεγμένη τιμή. Στο ALMA, η κατάσταση της διάθεσης επηρεάζει, μεταξύ άλλων, την επιλογή των λέξεων, των φράσεων και των στρατηγικών διαλόγου στους συνομιλητές.

3.6 Open Affective Agent Architecture

Η αρχιτεκτονική O3A [37] ενσωματώνει μια σειρά στοιχείων που επεκτείνουν την γνωστή αρχιτεκτονική πρακτόρων BDI, ώστε να συμπεριλαμβάνει τις έννοιες των συναισθημάτων, της διάθεσης και της προσωπικότητας. Τα O.C.C., P.A.D., O.C.E.A.N. είναι και εδώ η βάση για την ενσωμάτωση των παραπάνω εννοιών. Η αρχιτεκτονική περιλαμβάνει το σύνολο των *βασικών συναισθημάτων*, όπως αυτά περιγράφονται στο O.C.C., καθώς και *δευτερεύοντα συναισθήματα*. Το *emotional reactive* στοιχείο της αρχιτεκτονικής, με βάση κάποιο ερέθισμα που γίνεται αντιληπτό, παράγει τα πρωτογενή συναισθήματα. Τα δευτερογενή προκύπτουν στο *emotional deliberative* στοιχείο, ως αποτέλεσμα λιγότερων αυτόματων διεργασιών του πράκτορα, όπως για παράδειγμα την σύγκριση μεταξύ των προσδοκιών και της εμπειρίας του. Για την παραγωγή των δευτερογενών συναισθημάτων, λογίζονται μεταβλητές όπως η επιθυμητότητα, η πιθανότητα, η προσδοκία, η αιτιολογική απόδοση και η ελεγχσιμότητα. Οι μεταβλητές αυτές χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση και κατά συνέπεια την παραγωγή των δευτερογενών συναισθημάτων.

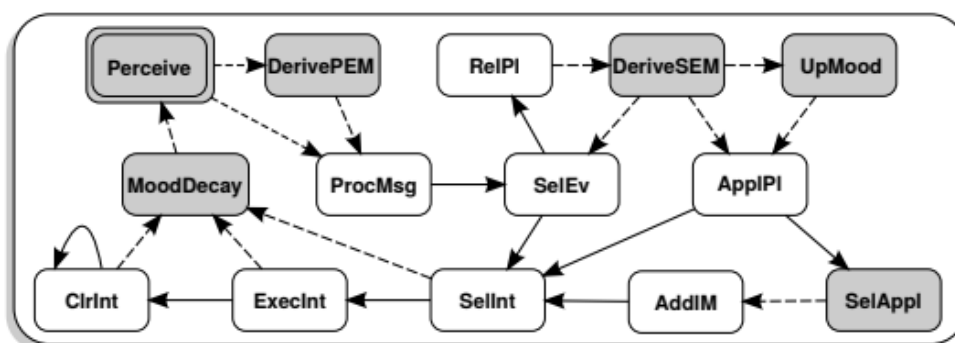
Το σύνολο των συναισθημάτων του O.C.C. μεταφράζεται στις διαστάσεις του P.A.D.. Η διάθεση μοντελοποιείται όπως και στο μοντέλο ALMA. Ακριβώς όπως και στο ALMA, η προσωπικότητα καθορίζει την αρχική (default) διάθεση του πράκτορα.

Στην O3A η διάθεση που υπολογίζεται επηρεάζει τη συμπεριφορά του πράκτορα, βοηθώντας να ιεραρχήσει τις προθέσεις του σε σχέση με μια εξωτερική ή εσωτερική

αλλαγή. Η αρχιτεκτονική περιλαμβάνει επίσης μια συνάρτηση που καθορίζει πότε και πώς τα πιστεύω του πράκτορα επηρεάζονται από την διάθεση του σε μια δεδομένη στιγμή. Σαν αποτέλεσμα αυτής της συνάρτησης ένα πιστεύω του πράκτορα θα αξιολογηθεί με βάση τη διάθεσή του και τη γνώση του για το περιβάλλον του.

Τα στάδια του κύκλου λειτουργίας του μοντέλου, ο οποίος φαίνεται και στην Εικόνα 5, είναι τα εξής:

1. Perceive: Αντίληψη ενός ερεθίσματος του περιβάλλοντος του πράκτορα
2. DerivePEM: Παραγωγή βασικών συναισθημάτων και αντιστοίχιση πεποιθήσεων (που προέρχονται από τις αρχικές αντιλήψεις του περιβάλλοντος) με συναισθήματα που σχετίζονται με τη συναισθηματική και γνωστική κατάσταση του πράκτορα.
3. DeriveSEM: παραγωγή δευτερευόντων συναισθημάτων, ύστερα από το στάδιο
4. RePI: που καθορίζει τα σχετικά πλάνα με το ερέθισμα που έγινε αντιληπτό.
5. UpMood: ανανεώνει τη διάθεση με βάση το νέο συναίσθημα που προκύπτει από τη διαδικασία αξιολόγησης
6. ApplPI: Αν δεν προκύψουν νέα συναισθήματα, σε αυτό το βήμα καθορίζονται τα δυνατά για υλοποίηση πλάνα του πράκτορα
7. SelAppl: Η διάθεση λαμβάνεται υπόψη για την επιλογή του επόμενου υλοποιήσιμου πλάνου
8. MoodDecay: Καθορίζεται η τάση της διάθεση να επιστρέφει στα αρχικά της στάδια



Εικόνα 5: Ο κύκλος λειτουργίας της O3A [37]

3.7 FAtiMA Modular

Στην [38] παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική FAtiMA Modular. Πρόκειται για μια BDI-based, modular αρχιτεκτονική αυτόνομων πρακτόρων, που χρησιμοποιεί τα χαρακτηριστικά της προσωπικότητας τους, καθώς και τις συναισθηματικές καταστάσεις τους, ως παράγοντες που καθορίζουν τη συμπεριφορά τους. Η αρχιτεκτονική αυτή βασίστηκε στην αρχιτεκτονική που παρουσιάζεται στην [39]. Αποτελείται από το πυρήνα, που ονομάζεται FAtiMa Core (Εικόνα 6) και καθορίζει τον γενικό κύκλο λειτουργίας του πράκτορα, καθώς και από εξειδικευμένα στοιχεία, ανάλογα τη χρήση, τα οποία υλοποιούν τις επιθυμητές λειτουργίες του πράκτορα (π.χ., τις συναρτήσεις επιλογής δράσεών του).

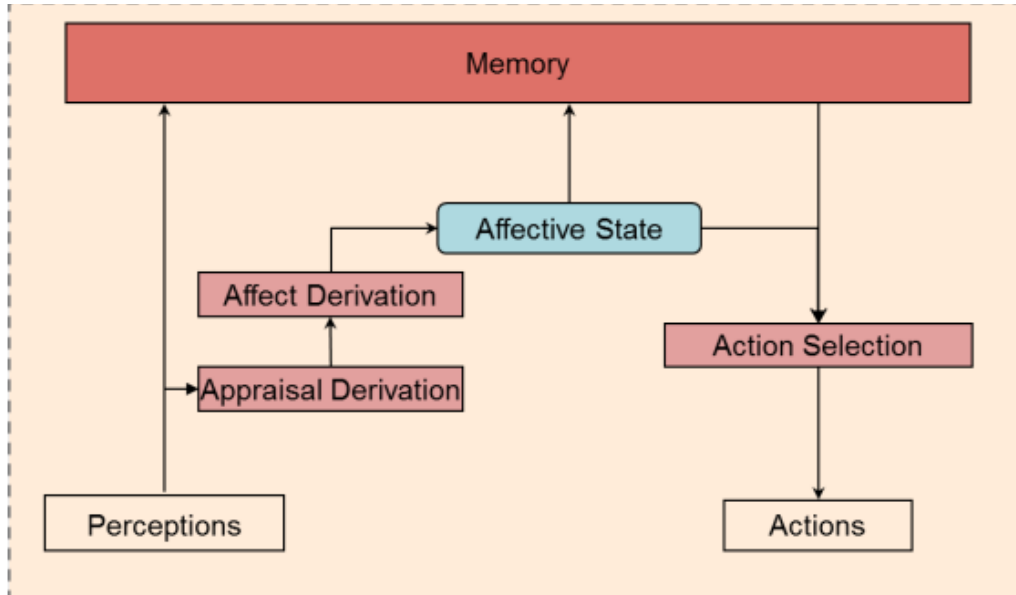
Ο κύκλος λειτουργίας του πράκτορα ξεκινάει με τον πράκτορα να αντιλαμβάνεται ένα γεγονός του περιβάλλοντός του. Ύστερα, μέσω αυτής της αντίληψης ενημερώνει τη μνήμη του. Έπειτα ξεκινάει η διαδικασία αξιολόγησης του εξωτερικού ερεθίσματος. Το αποτέλεσμα που προκύπτει από αυτή τη διαδικασία, δημιουργεί μια συναισθηματική κατάσταση, η οποία αποθηκεύεται στο Affective State μέρος του πράκτορα και χρησιμοποιείται για να επηρεάσει στη συνέχεια την επιλογή των δράσεων που θα κάνει σε σχέση με το περιβάλλον του και τους στόχους του.

Η διαδικασία της αξιολόγησης των εξωτερικών ερεθισμάτων χωρίζεται σε δύο ξεχωριστές διεργασίες. Η πρώτη, η οποία είναι η *Appraisal Derivation*, είναι υπεύθυνη για την αξιολόγηση της συνάφειας του ερεθίσματος με τον πράκτορα και τον καθορισμό ενός συνόλου μεταβλητών που είναι απαραίτητες για την αξιολόγηση του ερεθίσματος (π.χ., η επιθυμητότητα στο O.C.C.). Η δεύτερη διεργασία, η οποία είναι η *Affect Derivation*, λαμβάνει ως εισόδους τις μεταβλητές που παρήχθησαν από την προηγούμενη διαδικασία και δημιουργεί τις συναισθηματικές καταστάσεις που προκύπτουν σύμφωνα με τη Θεωρία Αξιολόγησης. Σε αυτό το στοιχείο μπορούν να χρησιμοποιηθούν υλοποιήσεις θεωριών της προσωπικότητας και της διάθεσης, ώστε να επηρεάσουν την συναισθηματική κατάσταση που θα προκύψει στο τέλος του σταδίου.

Η θεωρία της [16] καθοδηγεί τις σχεδιαστικές αρχές της διαδικασίας συναισθηματικής αξιολόγησης του πράκτορα. Παρόλα αυτά η αρχιτεκτονική αυτή προσφέρει σχεδιαστική ευελιξία ώστε με τον κατάλληλο σχεδιασμό συναρτήσεων για

την παραγωγή συναισθημάτων και την υλοποίηση τους από τα αντίστοιχα στοιχεία, μπορούν να υλοποιηθούν και άλλες θεωρίες στα πλαίσια αυτής της. Ομοίως, με την προσθήκη στοιχείων που υλοποιούν κατάλληλα σχεδιασμένες συναρτήσεις επιλογής δράσεων, ο πράκτορας μπορεί να υλοποιήσει τις απαιτούμενες συμπεριφορές.

Στην αρχιτεκτονική FAtiMA λοιπόν, οι συναισθηματικές καταστάσεις του πράκτορα προκύπτουν από το συνδυασμό ενός *αντιδραστικού στοιχείου (reactive component)* και ενός *καθοδηγητικού στοιχείου (deliberative component)*. Ο ρόλος του πρώτου είναι η δημιουργία συναισθηματικών καταστάσεων με βάση ένα σύνολο κανόνων. Το δεύτερο στοιχείο με τη σειρά του αξιολογεί το σχέδιο του πράκτορα και παράγει συναισθήματα. Ο πυρήνας του *deliberative component* παράγει διαρκώς σχέδια για τον πράκτορα και έχει επεκταθεί ώστε να περιλαμβάνει πληροφορίες πιθανοτήτων σχετικά με τις δυνατές ενέργειες του πράκτορα, αλλά και να εφαρμόζει μηχανισμούς αντιμετώπισης εστιασμένους στο συναίσθημα. Όταν συμβαίνει ένα γεγονός, τα ενεργά σχέδια του πράκτορα ενημερώνονται και δημιουργούνται συναισθήματα που σχετίζονται με τις προθέσεις και τους στόχους του.



Εικόνα 6: Η αρχιτεκτονική FAtiMA Core [38]

Κεφάλαιο 4 ΤΟ ΔΙΛΗΜΜΑ ΤΟΥ ΦΥΛΑΚΙΣΜΕΝΟΥ

Για τη μελέτη καταστάσεων που το άτομο αντιμετωπίζει ένα δίλημμα μεταξύ των επιλογών της συνεργασίας ή της μη συνεργασίας, διάφορες μορφές της αναλογίας του διλήμματος του φυλακισμένου χρησιμοποιούνται συχνά από μια σειρά επιστημονικών κλάδων. Στα πλαίσια των πολύ-πρακτορικών συστημάτων, οι πράκτορες χρειάζεται να αποφασίσουν μεταξύ της επιδίωξης του αμιγώς ατομικού συμφέροντος ή της συνεργασίας με άλλους πράκτορες για την επίτευξη κοινών στόχων. Για τη λύση του διλήμματος του φυλακισμένου λοιπόν, γίνεται συχνά χρήση εννοιών της θεωρίας παιγνίων, με σκοπό να προσδιοριστεί το πότε είναι ορθολογικό να προκύψει συνεργασία μεταξύ πρακτόρων. Παρόλα αυτά, αν και η ανάλυση με την κλασική εκδοχή της θεωρίας παιγνίων είναι δόκιμη για αλληλεπιδράσεις μεταξύ καθαρά ορθολογικών πρακτόρων, είναι λιγότερο δόκιμη για την ανάλυση ανθρώπινων συμπεριφορών, καθώς, όπως ήδη έχει αναφερθεί σε προηγούμενα κεφάλαια, οι άνθρωποι δεν είναι αμιγώς ορθολογικοί. Έτσι τα μοντέλα της θεωρίας παιγνίων σε αρκετές περιπτώσεις δεν ανταποκρίνονται στις εμπειρικές παρατηρήσεις όσο αναφορά τη συμπεριφορά των ανθρώπων. Προσπαθώντας λοιπόν να μοντελοποιήσουμε τις αλληλεπιδράσεις πρακτόρων ώστε να προσομοιάζουν τις αντίστοιχες ανθρώπινες, τα συναισθήματα και ο τρόπος που επηρεάζουν τις αποφάσεις χρειάζεται να λαμβάνονται υπόψη. Μάλιστα, σε συμφωνία με τα όσα αναφέρθηκαν για το ρόλο των συναισθημάτων στη λήψη αποφάσεων, αλλά και μιας σειράς μελετών που εξετάζει το ρόλο τους στα πλαίσια του διλήμματος του φυλακισμένου, τα συναισθήματα και οι εκδηλώσεις τους φάνηκε πως βοηθούν στην επιλογή δράσης, προωθώντας στρατηγικές συνεργασίας μεταξύ των ανθρώπων [40], [41].

Λόγω των παραπάνω λοιπόν, το δίλημμα του φυλακισμένου με πράκτορες που ενσωματώνουν ένα CME βασισμένο στα μοντέλα που αναφέρονται στις ενότητες 2.6.1, 2.6.3 και 2.5.1 για την εκδήλωση των συναισθηματικών συμπεριφορών τους, κρίνεται κατάλληλο και επιλέγεται ως το περιβάλλον για τις προσομοιώσεις που θα ακολουθήσουν στα επόμενα κεφάλαια.

4.1 Το δίλημμα του φυλακισμένου και η εξέλιξη της συνεργασίας

Μια προσομοίωση που μελετάει την εξέλιξη της συνεργασίας σε μια κοινωνία πρακτόρων αποτελεί κατά την άποψή μου ένα ταιριαστό παράδειγμα για την παρούσα εργασία. Πρώτος λόγος για αυτό είναι το γεγονός ότι η εξέλιξη της συνεργασίας είναι ένα φαινόμενο μεγάλου ενδιαφέροντος για τις συμπεριφορικές και κοινωνικές επιστήμες και έχει μελετηθεί αρκετά και με τη χρήση υπολογιστικών προσομοιώσεων, μαθηματικών μοντέλων και εμπειρικών μελετών με ανθρώπους. Είναι επίσης μια περίπτωση που μπορούν να αναδειχτούν τα πλεονεκτήματα της ABM για την μελέτη ανθρώπινων φαινομένων, καθώς και η χρησιμότητα της χρήσης συναισθηματικών πρακτόρων στα πλαίσια των προσομοιώσεων αυτών [42].

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, μια συνηθισμένη αναλογία για τη μελέτη αυτού του φαινομένου είναι το κλασικό πλέον δίλημμα του φυλακισμένου. Στη γενικευμένη μορφή του, οι παίκτες στα πλαίσια αυτού του διλήμματος μπορούν είτε να συνεργαστούν, είτε να μη συνεργαστούν μεταξύ τους υπό κάποιες συνθήκες. Κάθε φορά που κάνουν μια επιλογή, οι παίκτες έχουν κάποιες απολαβές από το περιβάλλον τους (είτε θετικές, είτε αρνητικές, ανάλογα το σχεδιασμό του παιχνιδιού). Οι επιλογές των πρακτόρων στην παραπάνω κατάσταση, καθώς και οι πιθανές απολαβές κάθε κατάστασης που θα προκύψει από τις επιλογές του, φαίνονται στον Πίνακα 3. Για να λογίζεται το παιχνίδι ως δίλημμα του φυλακισμένου, πρέπει οι απολαβές στον πίνακα πληρούν τη συνθήκη $a > b > c > d$.

Πίνακας 3: Οι απολαβές σε ένα γενικευμένο δίλημμα φυλακισμένου

Παίκτης 1/ Παίκτης 2	Συνεργασία (C)	Μη συνεργασία (D)
Συνεργασία (C)	b , b	d, a
Μη συνεργασία (D)	a, d	c ,c

Εάν και οι δύο παίκτες έχουν επιλέξει μια στρατηγική και ταυτόχρονα κανένας παίκτης δεν κερδίζει από τη μονομερή αλλαγή της, τότε το σύνολο των επιλογών στρατηγικής και οι αντίστοιχες απολαβές ονομάζονται ισορροπία Nash.

Στο δίλημμα του φυλακισμένου, η μόνη ισορροπία Nash είναι η κατάσταση (D, D). Εμφανώς αυτή η λύση είναι μη βέλτιστη— από την άποψη των δυνατών απολαβών

από το παιχνίδι- λύση στο δίλημμα, γιατί και για τις δύο πλευρές θα ήταν προτιμότερο αν κατέληγαν στην κατάσταση (C, C). Η μη βέλτιστη λύση είναι αποτέλεσμα του κινήτρου για μη συνεργασία. Το δίλημμα άρα που αντιμετωπίζουν οι πράκτορες είναι αν πρέπει να εμπιστευτούν τον άλλον να συνεργαστεί για να φτάσουν από κοινού στη βέλτιστη λύση. Αν υπάρχει εμπιστοσύνη μεταξύ τους, μπορούν να φτάσουν σε αυτή την κατάσταση, αποκομίζοντας έτσι τα μέγιστα κοινά οφέλη. Διαφορετικά επιλέγουν τη μη βέλτιστη λύση όπου και οι δύο δεν συνεργάζονται και έτσι έχουν περιορισμένο όφελος. Σε ένα παιχνίδι όπου παίζεται μόνο μια φορά, η ορθολογική επιλογή είναι λοιπόν αυτή της μη συνεργασίας. Ενδιαφέρον σε αυτό το σημείο παρουσιάζουν τα ευρήματα της μελέτης [43], που δείχνει πως οι άνθρωποι ενδέχεται να συνεργαστούν και σε καταστάσεις που το δίλημμα υπάρχει για έναν μόνο γύρο – ευρήματα που ταιριάζουν με την υπόθεση της οριοθετημένης ορθολογικότητας.

Τα πράγματα λοιπόν είναι διαφορετικά όταν η αλληλεπίδραση των παικτών είναι επαναλαμβανόμενη και οι παίκτες μπορούν να μάθουν από την εμπειρία τους. Σε αυτή την περίπτωση μια πληθώρα στρατηγικών γίνεται εφικτή για κάθε παίκτη. Οι στρατηγικές που μας αφορούν σε αυτή την εργασία είναι οι εξής:

1. ***Tit-for-tat***: ο παίκτης συνεργάζεται στην πρώτη κίνηση και μετά αντιγράφει την τελευταία κίνηση του συμπαίκτη του. Αυτή η στρατηγική κέρδισε στο τουρνουά που δημιούργησε ο πολιτικός επιστήμονας Axelrod, όπου θεωρητικοί παιχνιδιών μπορούσαν να υποβάλουν στρατηγικές πρακτόρων που θα ανταγωνιζόντουσαν σε μια επαναλαμβανόμενη εκδοχή του διλήμματος του φυλακισμένου [44], [45]. Μια αδυναμία της στρατηγικής *TFT* είναι πως, στην περίπτωση μιας λάθος επιλογής κίνησης από το συμπαίκτη, υπάρχει η πιθανότητα για επαναλαμβανόμενους κύκλους αντιποίνων[46]. Μια στοχαστική εκδοχή της στρατηγικής αυτής της στρατηγικής, η *Generous Tit for Tat* [46], φαίνεται να λύνει αυτό το πρόβλημα καθώς δεν εκδικείται τον αντίπαλο το ίδιο άμεσα με την *TFT* σε περίπτωση μη συνεργασίας και μάλιστα, σε κάποιες περιπτώσεις, συνεργάζεται. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με αυτή τη στρατηγική ο παίκτης συνεργάζεται με πιθανότητα $P = 1$ μέχρι να λάβει μια μη συνεργατική συμπεριφορά. Τότε συνεργάζεται με πιθανότητα $P = \min\left\{1 - \frac{a-b}{b-d}, \frac{b-c}{a-c}\right\}$.

2. **Reverse Tit-for-tat:** ο παίκτης πράττει το αντίθετο από την TFT. Στην πρώτη κίνηση δεν συνεργάζεται με τον συμπαίκτη, ενώ συνεχίζει να μη συνεργάζεται μέχρι να μη συνεργαστεί και ο συμπαίκτης του. Μετά από αυτό, παίζει την αντίθετη κίνηση από αυτή που έπαιξε στον προηγούμενο γύρο.

3. **Pavlov:** ο παίκτης επαναλαμβάνει την τελευταία του δράση αν αυτή παρήγαγε μια από τις δύο υψηλότερες δυνατές απολαβές του παιχνιδιού. Αλλιώς αλλάζει τη δράση του αν η απολαβή του ήταν μια από τις δύο χαμηλότερες. Η στρατηγική αυτή είναι επίσης μια νικηφόρα στρατηγική για τη διαδοχική εκδοχή του διλήμματος του φυλακισμένου [47].

4. **Random:** ο πράκτορας με αυτή τη στρατηγική (δεν) συνεργάζεται με πιθανότητα 50%.

Αξιοσημείωτο είναι πως στην [48] παρατηρήθηκε πως οι άνθρωποι σε συνθήκες επαναλαμβανόμενου διλήμματος του φυλακισμένου, υιοθέτησαν στρατηγικές που προσεγγίζουν τις Pavlov και GTFT. Οι συγγραφείς της μελέτης αυτής υποθέτουν πως οι άνθρωποι, λόγω των επαναλαμβανόμενων καταστάσεων της ζωής τους μπορούν να χαρακτηριστούν ως διλήμματα φυλακισμένου, είναι πιθανό να ανέπτυξαν στρατηγικές κατάλληλες για την επίλυση τέτοιων προβλημάτων. Βασίζουν αυτή την υπόθεση στο γεγονός ότι οι άνθρωποι, όπως έχει παρατηρηθεί, είναι εφικτό να συνεργαστούν ακόμα και σε μη επαναλαμβανόμενα διλήμματα φυλακισμένου [43].

4.2 Τα συναισθήματα βοηθούν στην επίλυση του διλήμματος του φυλακισμένου

Στην [40] μελετώνται τα συναισθήματα από εξελικτικής σκοπιάς, συγκεκριμένα ως παράγοντας για την επιβίωση και την αναπαραγωγή των ανθρώπων. Διατυπώνεται η άποψη πως τα συναισθήματα βοηθούν στην επίτευξη αυτού του στόχου, διευκολύνοντας τη σύναψη συνεργασιών μεταξύ των ανθρώπων. Έτσι οδηγούν σε βέλτιστες στρατηγικές σε διλήμματα φυλακισμένου. Στη μελέτη αναφέρεται επίσης πως προκειμένου να διατηρηθεί η αμοιβαία συνεργασία, τα συναισθήματα που είναι χρήσιμα όταν εκδηλώνονται σε κάποιον είναι η *ευγένεια*, ώστε να υπάρξει αρχικά συνεργασία, ένα αίσθημα *ευημερίας* μετά από την αμοιβαία συνεργασία, *ενοχές* όταν αυτός ο κάποιος δεν συνεργάζεται χωρίς κάποια συγκεκριμένη αιτία, *ευγνωμοσύνη*

όταν συνεργάζεται ο συμπαίκτης του και ο θυμός όταν, κατά την υποκειμενική εκτίμηση του, η επιλογή του συμπαίκτη του να μη συνεργαστεί είναι άδικη. Τα συναισθήματα λειτουργούν, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα, ως σήματα προς τους άλλους, και αν πρόκειται να έχουν την επιθυμητή έκβαση, πρέπει να είναι και ορατά και αξιόπιστα.

Κεφάλαιο 5 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΑΚΤΟΡΩΝ ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΤΟΥ ΕΠΑΝΑΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΟΥ ΔΙΛΗΜΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΦΥΛΑΚΙΣΜΕΝΟΥ

Σε αυτό το κεφάλαιο μοντελοποιώ αρχικά έναν ορθολογικό πράκτορα με δυνατότητα μάθησης και τη στρατηγική Ρανλόν για το επαναλαμβανόμενο δίλημμα του φυλακισμένου. Ύστερα αναπτύσσω ένα υπολογιστικό μοντέλο συναισθημάτων με το οποίο επεκτείνω την αρχιτεκτονική του, ώστε να προκύψει έτσι ένας «συναισθηματικός» πράκτορας.

5.1 Βασικοί συμβολισμοί μεταβλητών και συναρτήσεων

Για το υπόλοιπο της εργασίας για να αναφερθώ σε διάφορες μεταβλητές και συναρτήσεις των πρακτόρων θα χρησιμοποιώ τους εξής συμβολισμούς:

1. t_i : ο αριθμός των γύρων που ο παίκτης i είναι στο παιχνίδι
2. $a(t_i)$: η δράση του πράκτορα i στον γύρο του t . Ισχύει πως $a(t_i) \in \{0, 1\}$ (επιλογή μη συνεργασίας και συνεργασία αντίστοιχα για κάθε τιμή). Ως $\bar{a}(t_i)$ θα αναφέρεται η αντίθετη ενέργεια από την $a(t_i)$.
3. $\pi_i(s)$: οι πόντοι που λαμβάνει από το περιβάλλον του ο πράκτορας i μεταβαίνοντας στην κατάσταση s , όπως αυτή ορίζεται από τον πίνακα απολαβών του διλήμματος του φυλακισμένου
4. $R_i(s)$: η ανταμοιβή που αντιλαμβάνεται πως δέχεται ο πράκτορας i στην κατάσταση s από το περιβάλλον του στο γύρο του t .
5. $p_{max}(a(t_i))$: η μέγιστη απολαβή της δράσης $a(t_i)$.
6. $p_{min}(a(t_i))$: η ελάχιστη απολαβή της δράσης $a(t_i)$.
7. $P(a(t+1)_i|s)$: η πιθανότητα ο πράκτορας i να επιλέξει την κίνηση $a(t+1)_i$ τον επόμενο γύρο, δεδομένου ότι βρίσκεται στην κατάσταση s .
8. $coplayer(t_i)$: ο συμπαίκτης του πράκτορα i στην αρχή του γύρου t
9. $\vec{P}_i = (O, C, E, A, N)$, με $O, C, E, A, N \in [-1, 1]$ η αρχικοποίηση της προσωπικότητας του πράκτορα

10. $\mathbf{Emotions}_i = \{\overrightarrow{Emotion_1}, \dots, \overrightarrow{Emotion_n}\}$, το σύνολο των διανυσμάτων των μοντελοποιούμενων συναισθημάτων από το O.C.C., όπως προσαρμόζονται στο χώρο του P.A.D.

11. $\mathbf{M}(t_i) = \{\overrightarrow{M_t}, I_{M_i}(t_i), c\}$, το σύνολο των μεταβλητών που χαρακτηρίζει τη διάθεση του πράκτορα i η στιγμή t_i . Ως $\overrightarrow{M_t} = (P, A, D)$, $P, A, D \in [-1, 1]$ ορίζεται το διάνυσμα της διάθεσης στο χώρο του P.A.D., ως $I_{M_i}(t_i) = |\overrightarrow{M_t}|$ η ένταση της διάθεσης τη στιγμή t_i και c η μεταβλητή που ξεχωρίζει τις δυνατές διαθέσεις σε θετικές/αρνητικές σύμφωνα με το P.A.D.. Έτσι ορίζουμε $c = \begin{cases} \mathbf{1}, \text{ αν } M_t \equiv \text{positive σύμφωνα με το PAD} \\ \mathbf{0}, \text{ αλλιώς} \end{cases}$

12. $T_{i_{Emotion_j}}(t) = |\overrightarrow{Emotion_j} - \overrightarrow{M_0}|$, η τιμή του κατωφλίου του συναισθήματος j του πράκτορα i στο γύρο t .

13. $T_i(t) = \{\mathbf{Threshold}_{Emotion_1}, \dots, \mathbf{Threshold}_{Emotion_n}\}$, $n \in \mathbb{R}$ το σύνολο των συναισθηματικών κατωφλίων του πράκτορα στο γύρο t . Μετά από κατάλληλη κανονικοποίηση, θα ισχύει $\mathbf{Threshold}_{Emotion_k} \in [0, 1]$, $k \in \mathbb{R}$.

14. $\mathbf{Intensities}(t_i) = \{i_1, \dots, i_n\}$, το σύνολο των εντάσεων των συναισθημάτων του πράκτορα i την στιγμή t . Προκύπτουν από τις συναρτήσεις συναισθημάτων του πράκτορα.

15. $\overrightarrow{E_{Total}(t_i)} = \sum_1^n \overrightarrow{\varepsilon_k} * i_k$, $\varepsilon_i \in \mathbf{Emotions}_i : |\overrightarrow{\varepsilon_i}| > 0$ και $i_k \in \mathbf{Intensities}(t_i)$, είναι το διάνυσμα της συνολικής συναισθηματικής κατάστασης του πράκτορα στο τέλος κάθε γύρου. Οι διαστάσεις του μετά από κανονικοποίηση $\in [-1, 1]$. Έτσι με παρόμοιο τρόπο με τη διάθεση ορίζουμε:

i. $\mathbf{E}_{Total}(t_i) = \{\overrightarrow{E_{Total}(t_i)}, I_{\overrightarrow{E_{Total}}}(t_i), c\}$, τη συνολική συναισθηματική κατάσταση στο τέλος του γύρου.

16. $P_e(\mathbf{a}(t+1)_i | s)$: συντελεστής που επηρεάζει την πιθανότητα ο πράκτορας i να επιλέξει την κίνηση $\mathbf{a}(t+1)_i$ στον επόμενο γύρο, δεδομένου ότι βρίσκεται στην κατάσταση s . Επηρεάζεται από τις εξόδους των συναισθηματικών στοιχείων του πράκτορα. Μετά από κανονικοποίηση $P_e(\mathbf{a}(t+1)_i | s) \in [0, 1]$.

17. $D_i(s)$: εκφράζει την επιθυμητότητα της κατάστασης/έκβασης του γύρου s για τον πράκτορα i με βάση τις προτιμήσεις του. Μέσω κατάλληλων κανονικοποιήσεων $D_i(s) \in [-1, 1]$.

$$18. \quad W_i(s) = \begin{cases} 2 * \left(\frac{1}{t_i}\right) * |x - y| * D_i(s), & \text{για } t_i > 1 \\ D_i(s), & \text{για } t_i = 1 \end{cases}. \text{ Εκφράζει την κρίση του}$$

πράκτορα σχετικά με την αξία της κατάστασης s σε σχέση με τις προτιμήσεις του. Ως x, y ορίζονται οι φορές που συνεργάστηκε και δεν συνεργάστηκε αντίστοιχα ο πράκτορας με τον πιο πρόσφατο συμπαίκτη του. Για κάθε νέο συμπαίκτη μηδενίζονται.

Οι τύποι για τις κανονικοποιήσεις που χρησιμοποιώ για τις μεταβλητές που αναφέρθηκαν παραπάνω, είναι:

1. Για την κανονικοποίηση των δεδομένων του διανύσματος \bar{x} στο διάστημα $[0,1]$:

$\bar{z} = (\bar{x} - \mathit{min}(\bar{x})) / (\mathit{max}(\bar{x}) - \mathit{min}(\bar{x}))$, όπου $\mathit{min}(\bar{x})$ είναι το ελάχιστο στοιχείο στο \bar{x} και $\mathit{max}(\bar{x})$ το μέγιστο αντίστοιχα.

2. Για την κανονικοποίηση του διανύσματος \bar{y} στο διάστημα $[-1,1]$:

$\bar{z} = \bar{x} / \mathit{norm}(\bar{x})$, όπου $\mathit{norm}(\bar{x})$ είναι η νόρμα του διανύσματος.

5.2 Βασική αρχιτεκτονική των ορθολογικών πρακτόρων

Η βασική αρχιτεκτονική ορθολογικών πρακτόρων θα περιέχει τα εξής στοιχεία:

1. **Memory component:** αυτό το στοιχείο του πράκτορα αποθηκεύει μεταβλητές σχετικές με το περιβάλλον του. Όσον αφορά τις καταστάσεις του παιχνιδιού, ο πράκτορας αποθηκεύει τις ακριβείς κινήσεις του, αλλά και του συμπαίκτη του στο παιχνίδι ως και μια κατάσταση στο παρελθόν.

2. **Perception component:** Στα πλαίσια του μοντέλου, η αντίληψη του πράκτορα περιορίζεται στην ενημέρωση των τιμών της μνήμης του, που αφορούν γεγονότα του περιβάλλοντος του, μετά το τέλος ενός γύρου. Αυτές οι αλλαγές πυροδοτούν μια σειρά αλλαγών στην εσωτερική κατάσταση του πράκτορα, καθώς και σε μελλοντικές του ενέργειες.

3. **Action component:** ανάλογα τη στρατηγική του πράκτορα, αυτό το στοιχείο είναι υπεύθυνο για την επιλογή και την εκτέλεση των δράσεών του.

Τα στάδια του κύκλου λειτουργίας του ορθολογικού πράκτορα σε κάθε γύρο του παιχνιδιού είναι τα εξής:

1. Ο πράκτορας επιλέγει μια δράση με βάση τη στρατηγική του.

2. Εκτελείται η δράση.
3. Λαμβάνονται στο τέλος του γύρου οι πόντους από το παιχνίδι
4. Ενημερώνονται οι κατάλληλες μεταβλητές στη μνήμη του πράκτορα.

5.3 Πράκτορας Ρανιον1

Αναφέρομαι συνοπτικά στην λογική των *stochastic learning automata*, καθώς θα χρησιμοποιηθεί για τη μοντελοποίηση που ακολουθεί. Ορίζουμε λοιπόν ως *automaton* μια οντότητα που σε κάθε χρονική στιγμή επιλέγει μια ενέργεια η οποία συνοδεύεται από μια ανταμοιβή από το περιβάλλον της. Ένα *automaton* θα πρέπει να επιλέγει τις ενέργειές του με τρόπο που να μεγιστοποιούνται οι απολαβές του από το περιβάλλον του. Αυτό δεν περιλαμβάνει μόνο τις άμεσες απολαβές του. Το *automaton* ταυτόχρονα μαθαίνει τη συμπεριφορά του περιβάλλοντός του ώστε να καθορίσει τις μελλοντικές του πράξεις. Έτσι χρησιμοποιούνται οι πληροφορίες από τη μνήμη του σχετικά με την έκβαση προηγούμενων εμπειριών, αλλά και μια διαδικασία μάθησης, ώστε να προσδιοριστούν οι βέλτιστες μελλοντικές ενέργειες. Η βασική ιδέα της μάθησης λοιπόν είναι πως αν το *automaton* επιλέγει μια ενέργεια η οποία καταλήγει σε επιθυμητή αμοιβή, τότε η πιθανότητα να πράξει ανάλογα στο μέλλον αυξάνεται.

Έτσι μοντελοποιώ τον Ρανιον1 Agent σύμφωνα με τη λογική των *stochastic learning automata*, με γνώμονα τη στρατηγική Ρανιον. Οι κινήσεις του, με εξαίρεση τον πρώτο γύρο όπου συνεργάζεται πάντα, επιλέγονται με βάση μια κατανομή πιθανοτήτων, η οποία ενημερώνεται στο τέλος κάθε γύρου του παιχνιδιού.

5.3.1 Μάθηση του ορθολογικού πράκτορα

Ορίζω τον συντελεστής μάθησης $l(t_i) \in [0, 1]$. Ο συντελεστής θα ενημερώνεται στο τέλος του κάθε γύρου σύμφωνα με την συνάρτηση:

$$l'(t_i) = \begin{cases} l(t_i), & \text{αν } t = 0 \\ l(t_i) + 0.10, & \text{αν } \alpha(t-1)_i = \alpha(t)_i \\ l(t_i) - 0.10, & \text{αν } \alpha(t-1)_i \neq \alpha(t)_i \end{cases}$$

Η τιμή της πιθανότητας ο πράκτορας να εκτελέσει την κίνηση $\alpha(t)_i$ στον επόμενο γύρο (κατάσταση s') ενώ βρίσκεται στην κατάσταση s και έχει στοχαστική στρατηγική Ρανιον υπολογίζεται στο τέλος κάθε γύρου ως εξής:

$$P(a(t)_i|s', l(t_i)) = \begin{cases} [P(a(t-1)_i|s) + (1 - P(a(t-1)_i|s) * l(t_i))] , \text{αν } R(s) = p_{max}(a(t_i)) \\ (1 - l(t_i)) * P(a(t-1)_i|s), \text{αλλιώς} \end{cases}$$

Τέλος, έχουμε:

$$P(\overline{a(t)_i}|s, l(t_i)) = 1 - P(a(t)_i|s)$$

5.4 «Συναισθηματικός» πράκτορας Ρανλον2

Για την ανάπτυξη του CME του πράκτορα Ρανλον2, ο οποίος είναι η επέκταση της αρχιτεκτονικής του Ρανλον1 με το εν λόγω CME, βασίζομαι στις ενότητες 2.6.1, 2.6.3, 2.5.1. Με την ανάπτυξη αυτού του μοντέλου δεν ισχυρίζομαι και δεν επιδιώκω ούτε την ορθότητα, ούτε την εγκυρότητα από την σκοπιά των επιστημών που εξετάζουν τα ανθρώπινα συναισθήματα, καθώς δεν είναι ο σκοπός μου αυτός σε αυτή την εργασία. Οι σχεδιαστικές επιλογές του μοντέλου λειτουργούν καθαρά ως αναλογία για θεωρητικές υποθέσεις, που κάποιος ερευνητής ενδεχομένως να ήθελε να ελέγξει μέσω των προσομοιώσεων. Οι μόνοι στόχοι της ανάπτυξης του μοντέλου λοιπόν είναι:

1. Η χρήση του στην αρχιτεκτονική «συναισθηματικών» πρακτόρων που χρησιμοποιείται στην προσομοίωση που θα ακολουθήσει στο επόμενο κεφάλαιο στα πλαίσια της εργασίας.
2. Η επίδειξη της δυνατότητας χρήσης του θεωρητικού πλαισίου της εργασίας για την ανάπτυξη ενός πιθανού CME.
3. Η σκιαγράφηση των δυνατοτήτων που προσδίδει η ABM για έρευνα υποθέσεων και ανάπτυξη θεωριών σχετικά με φαινόμενα που αφορούν τον άνθρωπο.

5.4.1 Οι βασικές σχεδιαστικές υποθέσεις και ο κύκλος λειτουργίας

Η βασική σχεδιαστική υπόθεση που κάνω για τη λειτουργία του συναισθηματικού πράκτορα είναι όμοια με την υπόθεση στην ενότητα Ρανλον1. Όμοια με τον Ρανλον1, ο συναισθηματικός πράκτορας του μοντέλου έχει προκαθορισμένες προτιμήσεις με βάση τη στρατηγική Ρανλον. Βάση αυτών μαθαίνει να πράττει στο περιβάλλον του. Σε αντίθεση με τον Ρανλον1, η πρώτη κίνηση του Ρανλον2 καθορίζεται από τη προδιάθεση με την οποία ξεκινάει το παιχνίδι. Η αντίληψη του για τις απολαβές του

περιβάλλοντος, αλλά και ο υπολογισμός της κατανομής που καθορίζουν τις επόμενες κινήσεις αλλάζει ανάλογα τη διάθεσή του, όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια.

Η λογική της μοντελοποίησης κάθε συναισθήματος βασίζεται στο μοντέλο O.C.C.. Άρα τα συναισθήματα στο μοντέλο θα προκύπτουν ως αντιδράσεις σε αλλαγές του περιβάλλοντος του πράκτορα, δηλαδή στα πλαίσια του επαναλαμβανόμενου διλήμματος του φυλακισμένου, ενώ θα γίνονται αντιληπτά ως τέτοια όταν ξεπεράσουν μια τιμή κατωφλίου– στο παρόν μοντέλο αυτή η τιμή θα είναι βασισμένη στην προσωπικότητα του πράκτορα. Το μοντέλο επικεντρώνεται στην επίδραση των συναισθημάτων ως ενδογενή παράγοντα που επηρεάζει τη λήψη αποφάσεων του πράκτορα. Η διαπροσωπική λειτουργία που αναφέρθηκε στο θεωρητικό υπόβαθρο δεν μοντελοποιείται εδώ. Τα συναισθήματα του μοντέλου που προσαρμόζονται στα πλαίσια της εργασίας είναι τα distress, joy, reproach, appreciation, anger, gratitude, όπως αυτά περιγράφονται στο O.C.C.. Αυτά τα συναισθήματα προσαρμόζονται στο χώρο του P.A.D., ώστε έπειτα να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αλληλεπίδραση με το μοντέλο της διάθεσης, το οποίο με τη σειρά του βασίζεται στο P.A.D.. Τέλος, η προσωπικότητα αρχικοποιείται με βάση το O.C.E.A.N. και στη συνέχεια προσαρμόζεται στο χώρο του P.A.D. σύμφωνα με τις εξισώσεις που συσχετίζουν τις διαστάσεις τους. Η προσωπικότητα στο μοντέλο λοιπόν, μπορεί να γίνει αντιληπτή ως η συνηθισμένη διάθεση του πράκτορα, εν απουσία μεταβολών σε αυτή λόγω συναισθημάτων. Οι τιμές κατωφλίου του πράκτορα για κάθε συναίσθημα του μοντέλου υπολογίζονται με βάση την προκαθορισμένη αυτή διάθεση. Έτσι τελικά τα στοιχεία του πράκτορα που αναπαριστούν τις συναισθηματικές λειτουργίες του αλληλεπιδρούν επηρεάζοντας τη λήψη αποφάσεων του.

Η μοντελοποίηση της διάθεσης του πράκτορα είναι σημαντική για κάθε γύρο, καθώς αντικατοπτρίζει την επιρροή των διαδοχικών καταστάσεων στον ίδιο, και ταυτόχρονα πολώνει τις ενέργειές του σε προσεχείς γύρους. Σε περίπτωση που η ένταση της νέας διάθεσης σε έναν γύρο είναι σχεδόν αμελητέα, τότε ως παράγοντας για την επιρροή των παραπάνω μεταβλητών και διαδικασιών, χρησιμοποιείται η προκαθορισμένη διάθεση του πράκτορα, η οποία μοντελοποιείται σε σχέση με την προσωπικότητά του.

Αφού λοιπόν επιλεχθούν οι ενέργειες των πρακτόρων και απονεμηθούν κατάλληλα οι πόντοι του γύρου, συνοπτικά ο κύκλος λειτουργίας των συναισθηματικών πρακτόρων θα περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

1. **Αντίληψη – ενημέρωση μνήμης:** Ενημέρωση της μνήμης του πράκτορα σχετικά με τις αλλαγές στο περιβάλλον του

2. **Αξιολόγηση κατάστασης:** η έκβαση του γύρου αξιολογείται από τον πράκτορα

3. **Παραγωγή συναισθημάτων:** με βάση τις εξόδους του προηγούμενου σταδίου αυτό το στοιχείο είναι υπεύθυνο για την πρόκληση των κατάλληλων συναισθημάτων στον πράκτορα. Στο τέλος αυτού του σταδίου προκύπτουν οι εντάσεις κάθε διακριτού συναισθήματος που οφείλονται στο αποτέλεσμα του γύρου, καθώς και το διάνυσμα της συνολικής συναισθηματικής κατάστασης του πράκτορα- αυτής δηλαδή που προκύπτει ως ο συνδυασμός των διακριτών συναισθημάτων, της διάθεσης και της προσωπικότητας- όπως αυτό μοντελοποιείται στο χώρο του P.A.D..

4. **Ενημέρωση καθολικών δομών δεδομένων:** ενημερώνονται οι κατάλληλες καθολικές δομές δεδομένων του κύριου προγράμματος της προσομοίωσης με σκοπό την εξαγωγή δεδομένων για το μοντέλο.

5. **Προσαρμογή συντελεστή μάθησης:** προσαρμόζεται κατάλληλα ο συντελεστής μάθησης του πράκτορα.

6. **Ενημέρωση διάθεσης:** γίνεται η ενημέρωση της διάθεσης του πράκτορα με βάση τα ενεργά συναισθήματα που παρήχθησαν σε αυτό το γύρο.

7. **Ενημέρωση πιθανοτήτων συνεργασίας/ μη συνεργασίας:** Υπολογίζονται οι πιθανότητες συνεργασίας/ μη συνεργασίας για τον επόμενο γύρο.

8. **Ενημέρωση μνήμης:** ενημερώνεται η μνήμη του πράκτορα σχετικά με την τελευταία του δράση και την τελευταία του απολαβή.

9. **Μηδενισμός των εντάσεων των συναισθημάτων:** οι εντάσεις των ενεργών συναισθημάτων του πράκτορα ξανά μηδενίζονται. Αυτό προσομοιάζει την παροδική ένταση των διακριτών συναισθημάτων που προκύπτουν ως αποτέλεσμα μιας κατάστασης.

Στη συνέχεια παρουσιάζω αναλυτικότερα τις λειτουργίες κάθε σταδίου λειτουργίας του πράκτορα.

5.4.2 Η μνήμη του πράκτορα

Η μνήμη των συναισθηματικών πρακτόρων αποθηκεύει, πέρα από τις μεταβλητές που αποθηκεύει και ο Ρανιον1, πληροφορίες σχετικές με το CME που ενσωματώνουν. Θέλοντας να προσομοιάσουμε τη μνήμη του ανθρώπου, η μνήμη του πράκτορα θεωρείται πεπερασμένη. Οι πληροφορίες της μνήμης χρησιμοποιούνται με δύο τρόπους. Αρχικά, επηρεάζουν την αξιολόγηση νέων ερεθισμάτων από το περιβάλλον του πράκτορα, καθώς παρέχουν έναν τρόπο να συγκρίνει τη νέα κατάσταση που βρίσκεται μετά το τέλος του γύρου με την προηγούμενη κατάσταση. Συγκεκριμένα για τους συναισθηματικούς πράκτορες, ο τρόπος που επηρεάζει η μνήμη την αξιολόγηση ερεθισμάτων, φαίνεται στην ανάλυση του στοιχείου που αξιολογεί τις καταστάσεις του πράκτορα σε επόμενη υποενότητα. Κατά δεύτερον λοιπόν, με βάση τις εξόδους αυτού του στοιχείου, προκύπτουν τα συναισθήματα του πράκτορα και κατά συνέπεια επηρεάζονται και οι επόμενες κινήσεις του σύμφωνα με τις προτιμήσεις του. Η επιλογή την χωρητικότητας της μνήμης του πράκτορα έχει μεγάλη επίπτωση στη συμπεριφορά του πράκτορα, όπως γίνεται κατανοητό για παράδειγμα από τις συναρτήσεις της μάθησης και της επιλογής δράσεων στη συνέχεια. Μια διαφορετική υπόθεση σε αυτό το στοιχείο του μοντέλου θα διαφοροποιούσε σημαντικά τη συμπεριφορά του πράκτορα. Για παράδειγμα, θα δημιουργούσε τη δυνατότητα για πιο σύνθετες στρατηγικές στα πλαίσια της λειτουργίας του και άρα θα έκανε τις συναρτήσεις αξιολόγησης ενός ερεθίσματος πιο περίπλοκες, καθώς θα λαμβάνοντας υπόψη περισσότερες καταστάσεις του πράκτορα.

5.4.3 Συνάρτηση αντίληψης απολαβών και προδιαθέσεις για δράσεις

Ο Ρανιον2 έχει τρεις δυνατές προδιαθέσεις με τις οποίες μπορεί να ξεκινήσει το παιχνίδι. Αυτές χαρακτηρίζονται από την τάση που έχει να συνεργαστεί ή όχι στην πρώτη κίνηση. Αυτές είναι:

1. *Συνεργατικός*: ο πράκτορας έχει την προδιάθεση να συνεργαστεί με το συμπαίκτη του στην πρώτη κίνηση.
2. *Μη συνεργατικός*: ο πράκτορας έχει την προδιάθεση να μην συνεργαστεί με το συμπαίκτη του στην πρώτη κίνηση.
3. *Ουδέτερος*: ο πράκτορας έχει ίσες πιθανότητες συνεργασίας/μη συνεργασίας.

Η βασική και απλοϊκή υπόθεση που κάνω για το σχεδιασμό του μοντέλου είναι πως η διάθεση του πράκτορα, η οποία μεταξύ άλλων παραγόντων επηρεάζεται και από τις επαναλαμβανόμενες αλληλεπιδράσεις του με το περιβάλλον του, επηρεάζει την πιθανότητα συνεργασίας του, όπως αναφέρεται και στην [49]. Συγκεκριμένα η θετική διάθεση μοντελοποιείται ως ενισχυτικός παράγοντας για τη συνεργασία στο δίλημμα του φυλακισμένου, ενώ η αρνητική ως ανασταλτικός.

Η σχεδιαστική επιλογή αυτή για την αρνητική διάθεση βασίζεται στην [50], που μας πληροφορεί ότι η αυτή οδηγεί το άτομο σε πιο συστηματικές μεθόδους επεξεργασίας της κατάστασης του, κάνοντας το έτσι υπό μια έννοια πιο «λογικό». Έτσι λαμβάνοντας υπόψη το περιβάλλον του πράκτορα, αλλά και τις προτιμήσεις του εντός αυτού, η αρνητική διάθεση λειτουργεί ανασταλτικά ως προς την επιλογή της συνεργασίας.

Ενδεικτικά, σε θετική διάθεση, η βιβλιογραφία μας πληροφορεί ότι το άτομο τείνει να παίρνει μεγαλύτερα ρίσκα [51]– στα πλαίσια του επαναλαμβανόμενου διλήμματος του φυλακισμένου αυτή είναι η επιλογή της συνεργασίας- , να εκδηλώνει περισσότερη εμπιστοσύνη σε διαπροσωπικό επίπεδο εντός μιας ομάδας με την οποία ταυτίζεται, ιδιαίτερα όταν οι διαθέσιμες ενδείξεις την ενισχύουν [52] και να έχει θετικές προσδοκίες για μελλοντικά γεγονότα [53]. Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 4.1, όταν η εμπιστοσύνη αυξάνεται μεταξύ των πρακτόρων, όταν δηλαδή ένας πράκτορας θεωρεί πως ανήκει σε μια «συμμαχία», είναι πιο εύκολο να προκύψει η επιλογή της συνεργασίας. Οι θετικές προσδοκίες για το μέλλον σε αυτή την περίπτωση, θα διευκολύνουν περεταίρω αυτή την επιλογή. Έτσι από τα παραπάνω προκύπτει η σχεδιαστική επιλογή/υπόθεση για τον Ρανίον2, ότι η θετική διάθεση στα πλαίσια του θα ενισχύει τη τάση για συνεργασία.

Με βάση τα παραπάνω, σε περίπτωση που ο πράκτορας βρίσκεται σε θετική διάθεση, η συνάρτηση της αντίληψης των απολαβών του μοντελοποιείται με τρόπο που να αντανακλά ένα θετικό ενδιαφέρον για τις απολαβές του συμπαίκτη του. Στη περίπτωση που ο πράκτορας βρίσκεται σε αρνητική διάθεση- άρα ενισχύεται η τάση για μη συνεργασία- ο πράκτορας θα έχει αρνητικό ενδιαφέρον για τις απολαβές του συμπαίκτη του.

Τα παραπάνω λοιπόν αντικατοπτρίζονται στη *συνάρτηση αντίληψης απολαβών* ως εξής:

1. Για θετική διάθεση και $\kappa = \frac{1}{2*\sqrt{3}}$ έχουμε

$$R(s) = \begin{cases} p_{max}(1) + \kappa * p_{max}(1) * I_{M_i}(t_i), \text{για } s = (1, 1) \\ \kappa * p_{max}(0) - (p_{max}(1) + \kappa * p_{max}(1) * I_{M_i}(t_i)), \text{για } s = (1, 0) \\ p_{min}(0) + \kappa * p_{min}(1) * I_{M_i}(t_i), \text{για } s = (0, 0) \\ p_{max}(0) - (p_{max}(1) + \kappa * p_{max}(1) * I_{M_i}(t_i)), \text{για } s = (0, 1) \end{cases}$$

2. Για αρνητική διάθεση και $\kappa = \frac{1}{2*\sqrt{3}}$ έχουμε

$$R(s) = \begin{cases} p_{max}(1) - \kappa * p_{max}(1) * I_{M_i}(t_i), \text{για } s = (1, 1) \\ -(\kappa * p_{max}(0) * I_{M_i}(t_i)), \text{για } s = (1, 0) \\ p_{min}(0) - \kappa * p_{min}(1) * I_{M_i}(t_i), \text{για } s = (0, 0) \\ p_{max}(0), \text{για } s = (0, 1) \end{cases}$$

Η συνάρτηση αυτή παίζει σημαντικό ρόλο στην παραγωγή των συναισθημάτων του πράκτορα, καθώς, με γνώμονα τις διαφορετικές εξόδους αυτής της συνάρτησης, το στοιχείο που αξιολογεί τις καταστάσεις του πράκτορα κρίνει την έκβαση ενός γύρου ως επιθυμητή/ανεπιθύμητη.

5.4.4 Η αξιολόγηση των καταστάσεων του πράκτορα

Ο πράκτορας αξιολογεί τις καταστάσεις του με βάση τις τιμές των $D_i(s), W_i(s)$, οι οποίες καθορίζονται από τις προτιμήσεις της στρατηγικής του. Αυτές οι συναρτήσεις παίζουν το ρόλο της αξιολόγησης των ερεθισμάτων του περιβάλλοντός τους, σύμφωνα με το μοντέλο O.C.C.. Οι δυνατές καταστάσεις του παιχνιδιού αξιολογούνται με βάση τη συνάρτηση αντίληψης των απολαβών του πράκτορα, η οποία εξαρτάται από τη διάθεσή του. Στο τέλος του σταδίου αυτού καλείται το Affect Derivation στοιχείο.

Συγκεκριμένα λοιπόν, η συνάρτηση επιθυμητότητας ορίζεται για τον συναισθηματικό πράκτορα με προτιμήσεις της στρατηγικής Pavlov ως εξής:

$$D_i(s) = R(s) - R(0, 0)$$

Το σκεπτικό στην συνάρτηση/υπόθεση αυτή είναι πως ο Pavlov2 δεν θέλει να χάνει. Έτσι συγκρίνει τις απολαβές από τον γύρο του με το καλύτερο δυνατό σενάριο μεταξύ αυτών που χαρακτηρίζονται ως ήττα – το χειρότερο είναι αυτό που δίνει 0 πόντους. Για να γίνει πιο ξεκάθαρο αυτό, έστω πως ο πράκτορας για έναν δεδομένο γύρο επιλέγει $a(t)_i = 1$. Οι πιθανές καταστάσεις στις οποίες μπορεί να μεταβεί είναι οι (1,1), (1,0). Η πρώτη χαρακτηρίζεται ως νίκη, η άλλη ως ήττα. Αντίστοιχα στην

περίπτωση που επιλέγει $a(t)_i = 0$, οι δυνατές καταστάσεις που μεταβαίνει είναι οι $(0,1)$, $(0,0)$. Η πρώτη χαρακτηρίζεται ως νίκη, άρα επιθυμητή, η άλλη ως ήττα, άρα ανεπιθύμητη. Η κατάσταση μεταξύ των ανεπιθύμητων καταστάσεων που έχει μη μηδενικές απολαβές είναι η $(0,0)$. Ένας επιπλέον λόγος για την παραπάνω σχεδιαστική επιλογή είναι πως, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, τα συναισθήματα σχετίζονται με τους στόχους του πράκτορα με μια σχέση επιβράβευσης/ τιμωρίας. Στην προκειμένη περίπτωση, ο στόχος είναι να κερδίζει και να μη χάνει. Σε περίπτωση που ο πράκτορας βρεθεί σε κατάσταση που λαμβάνει 0 πόντους, η παραπάνω διαφορά θα λειτουργεί παράλληλα και ως «τιμωρία» για τον πράκτορα, άρα θα πυροδοτεί αρνητικά συναισθήματα. Η παραπάνω λογική αντικατοπτρίζεται και στη συνάρτηση $W_i(s)$.

5.4.5 Η παραγωγή συναισθημάτων του πράκτορα

Σύμφωνα με τις τιμές των $D_i(s)$ και $W_i(s)$, όπως αυτά υπολογίζονται παραπάνω, καλούνται οι κατάλληλες συναρτήσεις συναισθημάτων. Έτσι το στοιχείο παραγωγής των συναισθηματικών του Ρανιον2 λειτουργεί βάση του εξής αλγόριθμο:

1. IF $D_i(s) > 0$:
<i>Distress (...)</i>
2. ELSE IF $D_i(s) \leq 0$:
<i>Joy (...)</i>
3. IF $W_i(s) > 0$:
<i>Appreciation (...)</i>
4. ELSE IF $W_i(s) \leq 0$:
<i>Reproach (...)</i>
5. IF $D_i(s) \leq 0$ AND $W_i(s) \leq 0$:
<i>Anger (...)</i>
6. IF $D_i(s) > 0$ AND $W_i(s) > 0$:
<i>Gratitude (...)</i>

Στο τέλος του σταδίου παραγωγής συναισθημάτων, προκύπτει ο συντελεστής έντασης κάθε συναισθήματος του πράκτορα με βάση τις εξισώσεις συναισθημάτων

του πράκτορα και έτσι, στη συνέχεια, παράγεται και η *συνολική συναισθηματική κατάσταση στο τέλος του γύρου*.

Έστω λοιπόν s η έκβαση του γύρου του πράκτορα. Ορίζουμε τις ακόλουθες συναρτήσεις συναισθημάτων:

1. ***Distress***($D_i(s), M(t_i)$): η συνάρτηση πρόκλησης του συναισθήματος distress

2. ***Joy***($D_i(s), M(t_i)$): η συνάρτηση πρόκλησης του συναισθήματος joy

3. ***Reproach***($D_i(s), W_i(s), M(t_i)$): η συνάρτηση πρόκλησης του συναισθήματος reproach

4. ***Appreciation***($D_i(s), W_i(s), M(t_i)$): η συνάρτηση πρόκλησης του συναισθήματος appreciation

5. ***Anger***($D_i(s), M(t_i)$): η συνάρτηση πρόκλησης του συναισθήματος joy

6. ***Gratitude***($D_i(s), M(t_i)$): η συνάρτηση πρόκλησης του συναισθήματος joy

Οι μεταβλητές I_e, I_m συμβολίζουν την ένταση του συναισθήματος σε σχέση με τις απολαβές του περιβάλλοντος και την ένταση αυτού του συναισθήματος μετά την επίδραση της διάθεσης του πράκτορα.

Παραθέτω παρακάτω αναλυτικά τις εξισώσεις της έντασης των συναισθημάτων, για κάθε ένα που μοντελοποιήθηκε.

Συνάρτηση έντασης δυσφορίας (Distress function)

Ο υπολογισμός γίνεται σύμφωνα με τις ακόλουθες εξισώσεις.

$$I_e = D_i(s) ,$$

$$I_m = \begin{cases} I_e + \varepsilon, \text{ αν } M_i(t_i) \equiv \textit{negative} \\ I_e - \varepsilon, \text{ αν } M_i(t_i) \equiv \textit{positive} \\ I_e + \varepsilon, \text{ αν } M_i(0) \equiv \textit{negative} \text{ και } I_{M_i}(t_i) \cong 0 \\ I_e - \varepsilon, \text{ αν } M_i(0) \equiv \textit{positive} \text{ και } I_{M_i}(t_i) \cong 0 \end{cases}$$

ε : ένας τυχαίος θετικός αριθμός στο $(0, 1]$.

Τελικά έχουμε:

$$\textit{Distress}(D_i(s), M_i(t_i)) = \begin{cases} |I_m|, \text{ αν } |I_m| \geq \textit{Threshold}_{\textit{Distress}} \\ 0, \text{ αν } |I_m| < \textit{Threshold}_{\textit{Distress}} \end{cases}$$

Συνάρτηση έντασης χαράς (Joy function)

Ο υπολογισμός γίνεται σύμφωνα με τις ακόλουθες εξισώσεις.

$$I_e = D_i(s) ,$$

$$I_m = \begin{cases} I_e - \varepsilon, \text{αν } M_i(t_i) \equiv \textit{negative} \\ I_e + \varepsilon, \text{αν } M_i(t_i) \equiv \textit{positive} \\ I_e - \varepsilon, \text{αν } M_i(0) \equiv \textit{negative} \text{ και } I_{M_i}(t_i) \cong 0 \\ I_e + \varepsilon, \text{αν } M_i(0) \equiv \textit{positive} \text{ και } I_{M_i}(t_i) \cong 0 \end{cases}$$

ε : ένας τυχαίος θετικός αριθμός στο $(0,1]$

Τελικά έχουμε:

$$Joy(D_i(s), M(t_i)) = \begin{cases} |I_m|, \text{αν } |I_m| \geq \textit{Threshold}_{Joy} \\ 0, \text{αν } |I_m| < \textit{Threshold}_{Joy} \end{cases}$$

Συνάρτηση αποδοκιμασίας (Reproach function)

Όταν δεν είναι ο πρώτος γύρος του παιχνιδιού με τον πιο πρόσφατο συμπαίκτη:

$$I_e = W_i(s),$$

$$I_m = \begin{cases} I_e + \varepsilon, \text{αν } M_i(t_i) \equiv \textit{negative} \\ I_e - \varepsilon, \text{αν } M_i(t_i) \equiv \textit{positive} \\ I_e + \varepsilon * I_e, \text{αν } M_i(0) \equiv \textit{negative} \text{ και } I_{M_i}(t_i) \cong 0 \\ I_e - \varepsilon * I_e, \text{αν } M_i(0) \equiv \textit{positive} \text{ και } I_{M_i}(t_i) \cong 0 \end{cases}$$

ε : ένας τυχαίος θετικός αριθμός στο $(0,1]$

Τελικά έχουμε:

$$\textit{Reproach}(D_i(s), W_i(s), M(t_i)) = \begin{cases} |I_m|, \text{αν } |I_m| \geq \textit{Threshold}_{Reproach} \\ 0, \text{αν } |I_m| < \textit{Threshold}_{Reproach} \end{cases}$$

Συνάρτηση εκτίμησης (Appreciation function)

$$I_e = W_i(s),$$

$$I_m = \begin{cases} I_e - \varepsilon, \text{αν } M_i(t_i) \equiv \textit{negative} \\ I_e + \varepsilon, \text{αν } M_i(t_i) \equiv \textit{positive} \\ I_e - \varepsilon, \text{αν } M_i(0) \equiv \textit{negative} \text{ και } I_{M_i}(t_i) \cong 0 \\ I_e + \varepsilon, \text{αν } M_i(0) \equiv \textit{positive} \text{ και } I_{M_i}(t_i) \cong 0 \end{cases}$$

ε : ένας τυχαίος θετικός αριθμός στο $(0,1]$

Τελικά έχουμε:

$$Appreciation(D_i(s), W_i(s), M(t_i)) = \begin{cases} |I_m|, & \text{αν } |I_m| \geq Threshold_{Appreciation} \\ 0, & \text{αν } |I_m| < Threshold_{Appreciation} \end{cases}$$

Συνάρτηση θυμού (Anger function)

Ο θυμός στο μοντέλο O.C.C., είναι ένα σύνθετο συναίσθημα που παράγεται ως συνδυασμός των distress και reproach. Με το σκεπτικό πως το πρώτο συναίσθημα είναι πιο ενστικτώδες, ενώ το δεύτερο προϋποθέτει μια εξοικείωση με το περιβάλλον, η τιμή του συντελεστή I_m μοντελοποιείται ώστε στην αρχή να επηρεάζεται περισσότερο από την ένταση του distress και λιγότερο από του reproach (αναλογία 60%-40%). Μετά από δύο γύρους στο κάθε νέο παιχνίδι η αναλογία γίνεται 40%-60%. Έτσι έχουμε:

$$I_m = \begin{cases} 0.6 \times Distress(D_i(s), M(t_i)) + 0.4 \times Reproach(D_i(s), W_i(s), M(t_i)), & \text{αν } t \geq 2 \\ 0.4 \times Distress(D_i(s), M(t_i)) + 0.6 \times Reproach(D_i(s), W_i(s), M(t_i)), & \text{αν } t < 2 \end{cases}$$

Τελικά:

$$Anger(D_i(s), W_i(s), M(t_i)) = \begin{cases} I_m, & \text{αν } I_m \geq Threshold_{Anger} \\ 0, & \text{αν } I_m < Threshold_{Anger} \end{cases}$$

Συνάρτηση ευγνωμοσύνης (Gratitude function)

Με παρόμοια σκεπτικό με το συναίσθημα του θυμού, η ευγνωμοσύνη μοντελοποιείται ως εξής:

$$I_m = \begin{cases} 0.6 \times Joy(D_i(s), M(t_i)) + 0.4 \times Appreciation(D_i(s), W_i(s), M(t_i)), & \text{αν } t \geq 2 \\ 0.4 \times Joy(D_i(s), M(t_i)) + 0.6 \times Appreciation(D_i(s), W_i(s), M(t_i)), & \text{αν } t < 2 \end{cases}$$

Τελικά έχουμε:

$$Gratitude(D_i(s), W_i(s), M(t_i)) = \begin{cases} I_m, & \text{αν } I_m \geq Threshold_{Gratitude} \\ 0, & \text{αν } I_m < Threshold_{Gratitude} \end{cases}$$

5.4.6 Ενημέρωση της διάθεσης

Η ανανέωση της διάθεσης του πράκτορα γίνεται το τέλος του κάθε γύρου του παιχνιδιού με βάση τα ενεργά του συναισθήματα του (δηλαδή τα συναισθήματα που έχουν μέτρο διαφορετικό του μηδενός). Έτσι $\forall \varepsilon_i \in \mathbf{Emotions}_i : |\varepsilon_i| > 0$ ορίζουμε το διάνυσμα του μέσου όρου των ενεργών συναισθημάτων του πράκτορα i τη χρονική στιγμή t ως:

$$\overrightarrow{\text{Average emotions}}(t)_i = \frac{E_{Total}(t)_i}{N}, \quad N \text{ είναι ο αριθμός των ενεργών}$$

συναισθημάτων του πράκτορα i τη χρονική στιγμή t .

Οι διαστάσεις του $\overrightarrow{\text{Average emotions}}(t)_i$ κανονικοποιούνται, ώστε να βρίσκονται στο εύρος $[-1,1]$, διαιρώντας με τη νόρμα του διανύσματος κάθε διάστασή του.

Ύστερα σύμφωνα με το μοντέλο P.A.D. καθορίζεται ο χαρακτηρισμός (θετική/αρνητική) του $\overrightarrow{\text{Average emotions}}(t)_i$ (δηλαδή αν η τιμή της c θα είναι 0 ή 1).

$$\text{Έστω } A_e = \left| \left| \overrightarrow{\text{Average emotions}}(t)_i \right| - \varepsilon \right|, \varepsilon = 0.05$$

Η νέα διάθεση του πράκτορα i για τον επόμενο γύρο του παιχνιδιού λοιπόν ορίζεται ως εξής:

$$M_i(t+1)_i = \begin{cases} \left\{ \overrightarrow{\text{Average emotions}}(t)_i, \left| \overrightarrow{\text{Average emotions}}(t)_i \right|, c \right\}, & \text{αν } A_e > 0 \\ M_i(0), & \text{αλλιώς} \end{cases}$$

Στο τέλος αυτού του σταδίου, υπολογίζονται οι νέες τιμές κατωφλίου του πράκτορα, σύμφωνα και με τη νέα διάθεση.

5.4.7 Μάθηση και επιλογή δράσεων

Ο συναισθηματικός πράκτορας μαθαίνει και πράττει με τρόπο παρόμοιο με αυτόν του Ρανίον1. Διαφοροποιείται ως προς τον υπολογισμό των πιθανοτήτων συνεργασίας/ μη συνεργασίας. Οι έξοδοι των συναισθηματικών στοιχείων του πράκτορα χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του συναισθηματικού συντελεστή πόλωσης $P_e(a(t_i)|s, M_i(t_i))$, που χρησιμοποιείται ύστερα ως συντελεστής πόλωσης στις εξισώσεις υπολογισμού των πιθανοτήτων. Ο συναισθηματικός συντελεστής υπολογίζεται σαν συνάρτηση της διάθεσης, που, όπως αναφέρθηκε, όταν είναι θετική

ενισχύει την τάση του πράκτορα για συνεργασία, ενώ όταν είναι αρνητική συμβαίνει το αντίθετο.

Έτσι για $\kappa = \frac{1}{2\sqrt{3}}$, έχουμε:

$$P_e(\mathbf{a}(t_i) = \mathbf{1} | \mathbf{s}, \mathbf{M}_i(t_i)) = \begin{cases} P(\mathbf{a}(t-1)_i = \mathbf{1} | \mathbf{s}) + \kappa * I_{M_i}(t_i), \text{ αν } M_i(t_i) \equiv \text{θετική} \\ P(\mathbf{a}(t-1)_i = \mathbf{1} | \mathbf{s}) - \kappa * I_{M_i}(t_i), \text{ αν } M_i(t_i) \equiv \text{αρνητική} \end{cases}$$

$$P_e(\mathbf{a}(t_i) = \mathbf{0} | \mathbf{s}, \mathbf{M}_i(t_i)) = \mathbf{1} - P_e(\mathbf{a}(t_i) = \mathbf{1} | \mathbf{s}, \mathbf{M}_i(t_i))$$

Οι παραπάνω συντελεστές, μαζί με τον συντελεστή μάθησης χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του $P(\mathbf{a}_i(t+1) | \mathbf{s})$ ως εξής:

$$P(\mathbf{a}(t+1)_i | \mathbf{s},) = \begin{cases} [P_e(\mathbf{a}(t_i) | \mathbf{s}, \mathbf{M}_i(t_i)) + (1 - P_e(\mathbf{a}_i(t_i), \mathbf{M}_i(t_i)) * l(t_i))] , \text{ αν } R(\mathbf{s}) = R(\mathbf{1}, \mathbf{1}) \text{ ή } R(\mathbf{s}) = R(\mathbf{0}, \mathbf{1}) \\ (1 - l(t_i)) * P_e(\mathbf{a}_i(t_i), \mathbf{M}_i(t_i)), \text{ αλλιώς} \end{cases}$$

Τέλος, έχουμε:

$$P(\overline{\mathbf{a}(t)}_i | \mathbf{s}, l(t_i)) = \mathbf{1} - P(\mathbf{a}(t)_i | \mathbf{s})$$

Κεφάλαιο 6 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο υλοποιώ τα μοντέλα του προηγούμενου κεφαλαίου και δημιουργώ δύο προσομοιώσεις/ελέγχους για να παρατηρήσω τη συμπεριφορά τους. Ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση γράφτηκε σε Python (έκδοση 3.7.4), χρησιμοποιώντας το παράδειγμα του αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού. Παρακάτω αναφερόμαστε σε μερικά βασικά σημεία της υλοποίησης. Ο πλήρης κώδικας της εργασίας αυτής μπορεί να βρεθεί στον εξής σύνδεσμο: <https://github.com/vthodis/ABM> .

Ο κώδικας της εργασίας μου, πέρα από το πρωτότυπο μέρος του, χρησιμοποιεί επίσης επιλεγμένα στοιχεία από την εργασία που μπορεί να βρεθεί στο σύνδεσμο: <https://github.com/shoyo/prisoners-dilemma-analysis/tree/master/IPDsrc>.

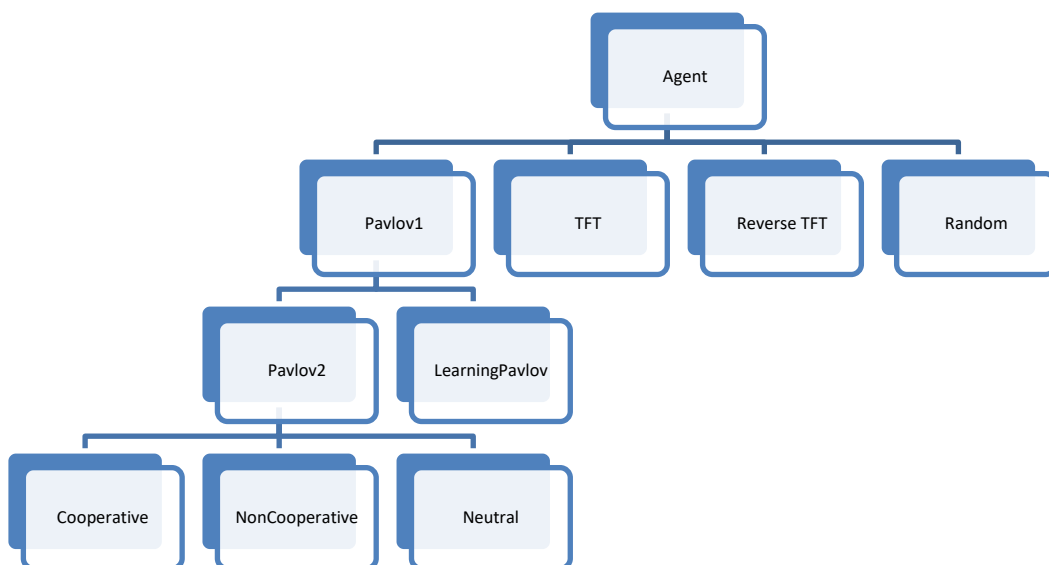
6.1 Η αρχιτεκτονική των πρακτόρων

Οι πράκτορες των προσομοιώσεων είναι πρακτικά η υλοποίηση των μοντέλων που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 1 . Για αυτό το λόγο δεν θα αναφερθούμε αναλυτικά σε κάθε λειτουργία τους. Οι βασικές κλάσεις τους είναι:

1. **Agent(Object)**: πρόκειται για τη βασική κλάση που χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση των αρχικοποιήσεων και των βασικών λειτουργιών ενός ορθολογικού πράκτορα στο περιβάλλον της προσομοίωσης. Αυτή η κλάση κληρονομείται από τις κλάσεις *Pavlov1* (ο πράκτορας που κληρονομεί αυτή την αρχιτεκτονική ονομάζεται *LearningPavlov* στην προσομοίωση), *TitForTat*, *ReverseTFT*, *Random* οι οποίες αναπαριστούν τους πράκτορες με τις συγκεκριμένες στρατηγικές και επεκτείνουν κατάλληλα τις λειτουργίες της.

2. **Pavlov2(Pavlov1)**: πρόκειται για τη βασική κλάση που χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση των αρχικοποιήσεων και των βασικών λειτουργιών ενός συναισθηματικού πράκτορα στο περιβάλλον της προσομοίωσης. Επεκτείνει την κλάση *Pavlov1* σύμφωνα με το CME που σχεδιάστηκε προηγουμένως. Οι πράκτορες που στην προσομοίωση θα χρησιμοποιούν αυτή την αρχιτεκτονική αναφέρονται ως *Cooperative*, *NonCooperative*, *Neutral*.

Στο Σχήμα 1 φαίνονται όσα περιγράφονται παραπάνω.



Σχήμα 1: Η κληρονομικότητα των κλάσεων των πρακτόρων

6.2 Η αρχιτεκτονική του περιβάλλοντος της προσομοίωσης

Το περιβάλλον των προσομοιώσεων είναι ουσιαστικά το επαναλαμβανόμενο δίλλημα του φυλακισμένου, όπως σχεδιάστηκε με τη χρήση της Python. Ο Πίνακας 4 δείχνει τον πίνακα των πόντων που λαμβάνουν οι πράκτορες από το παιχνίδι στο τέλος κάθε γύρου.

Οι βασικές κλάσεις και συναρτήσεις που αφορούν τη λειτουργία του κύριου προγράμματος του περιβάλλοντος της προσομοίωσης είναι :

1. **Population (Object)**: είναι η κλάση που αναπαριστά τον πληθυσμό των πρακτόρων την προσομοίωσης και τις συναρτήσεις του.

2. **Play_round(...)**: είναι η συνάρτηση που καθορίζει τον τρόπο που παίζεται ένας γύρος μεταξύ πρακτόρων και την απονομή των πόντων σύμφωνα με τον πίνακα απολαβών του παιχνιδιού

3. **Play_several_rounds(...)**: είναι η συνάρτηση που επιτελεί την λειτουργία των επαναλαμβανόμενων γύρων του παιχνιδιού μεταξύ πρακτόρων.

Η λειτουργία των βασικών προγραμμάτων των δύο προσομοιώσεων/ελέγχων έχουν την εξής δομή:

1. Δημιουργία και αρχικοποίηση των πρακτόρων. Ο χρήστης επιλέγει ποιον τύπο πράκτορα θέλει να μελετήσει μέσω του τερματικού (μεταξύ των αρχιτεκτονικών Ρανιον1/Ρανιον2). Στην περίπτωση που επιλέγεται ένας συναισθηματικός πράκτορας, ζητούνται επιπλέον πληροφορίες από το χρήστη που αφορούν την αρχικοποίηση της προσωπικότητας του πράκτορα.

2. Δημιουργία του πληθυσμού των πρακτόρων.

3. Κάθε bot παίζει τον αριθμό των γύρων που καθορίζει ο χρήστης με τον πράκτορα προς μελέτη.

4. Εξαγωγή δεδομένων.

Πίνακας 4: Ο πίνακας των δυνατών απολαβών του παιχνιδιού

Παίκτης 1/ Παίκτης 2	Συνεργασία (C)	Μη συνεργασία (D)
Συνεργασία(C)	(3,3)	(0,5)
Μη συνεργασία (D)	(5,0)	(1,1)

6.3 Έλεγχος του μοντέλου συναισθημάτων των πρακτόρων – Προσομοίωση 1

Προκειμένου να ελέγξουμε το μοντέλο συναισθημάτων, αλλά και να εξάγουμε κάποια ενδεικτικά στοιχεία για τον τρόπο που αυτό επηρεάζει τον Ρανιον2, θα τοποθετήσουμε διαδοχικά διαφορετικούς ως προς την προσωπικότητα πράκτορες στο επαναλαμβανόμενο δίλημμα του φυλακισμένου. Ο συμπαίκτης των πρακτόρων, με τον οποίον θα παίξουν 100 γύρους, και στις δύο περιπτώσεις θα χρησιμοποιεί την στρατηγική RANDOM. Η επιλογή αυτή γίνεται με σκοπό να αυξηθεί η τυχαιότητα στο περιβάλλον του Ρανιον2 και έτσι να παρατηρήσουμε ενδεχομένως σε μεγαλύτερο εύρος την επίδραση που αυτό θα έχει στην παραγωγή διαφορετικών συναισθημάτων και διαθέσεων, αλλά και δράσεων. Σαν σημείο αναφοράς για σύγκριση θα ελέγξουμε επίσης τον Ρανιον1 στο ίδιο περιβάλλον.

Οι προσωπικότητες συναισθηματικών πρακτόρων που θα ελέγξουμε ενδεικτικά είναι:

1. $P1 = (O, C, E, A, N) = (0, 0, 0, 0.6, 0)$. Αυτή η προσωπικότητα χαρακτηρίζεται από το γνώρισμα A , έτσι μπορούμε να χαρακτηρίσουμε στα πλαίσια της προσομοίωσης τον πράκτορα με αυτή την προσωπικότητα ως *παραχωρητικό*. Οι πράκτορες με αυτή την προσωπικότητα θα έχουν $M_i(0) = \{(P, A, D) = (0.354, 0.18, -0.192), I_{M_i}(0) = 0.441, \text{Dependent}\}$ και

$$T_i(0) = (T_{iAnger}, T_{iJoy}, T_{iDistress}, T_{iReproach}, T_{iGratitude}, T_{iAdmiration}) \\ = (0.617, 0.173, 0.526, 0.542, 0.069, 0.110)$$

2. $P2 = (O, C, E, A, N) = (0, 0, 0, -1, 0)$. Αυτή η προσωπικότητα χαρακτηρίζεται και πάλι από το γνώρισμα A , έτσι μπορούμε να χαρακτηρίσουμε στα πλαίσια της προσομοίωσης τον πράκτορα με αυτή την προσωπικότητα ως *μη παραχωρητικό*. Οι πράκτορες με αυτή την προσωπικότητα θα έχουν $M_i(0) = \{(P, A, D) = (-0.59, -0.3, 0.32), I_{M_i}(0) = 0.735, \text{Disdainful}\}$, $T_i(0) = (T_{iAnger}, T_{iJoy}, T_{iDistress}, T_{iReproach}, T_{iGratitude}, T_{iAdmiration}) = (0.355, 0.448, 0.336, 0.143, 0.503, 0.534)$.

Οι πράκτορες της προσομοίωσης θα αρχικοποιούνται σε μια από τις δυνατές προδιαθέσεις (συνεργατική, μη συνεργατική, ουδέτερη) που χαρακτηρίζουν την προδιάθεση τους για συνεργασία. Έτσι τελικά θα ελέγξουμε τους εξής πράκτορες:

1. Πράκτορας 1(Συνεργατικός και παραχωρητικός)
2. Πράκτορας 2(Συνεργατικός και μη παραχωρητικός)
3. Πράκτορας 3 (Μη συνεργατικός και παραχωρητικός)
4. Πράκτορας 4(Μη συνεργατικός και μη παραχωρητικός)
5. Πράκτορας 5(Ουδέτερος και παραχωρητικός)
6. Πράκτορας 6(Ουδέτερος και μη παραχωρητικός)

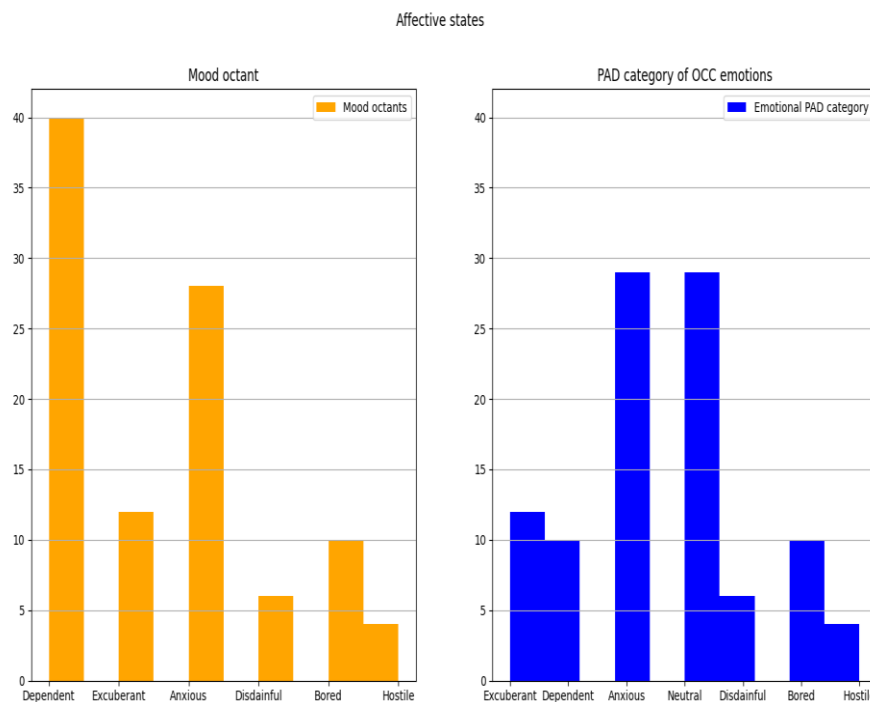
6.3.1 Αποτελέσματα Ρανβλον1

Παρατηρούμε πως ο μη συναισθηματικός πράκτορας συνεργάστηκε με τον Random πράκτορα στο 54% των γύρων και συγκέντρωσε 233 πόντους. Η αμοιβαία συνεργασία προέκυψε στο 33% των γύρων.

6.3.2 Αποτελέσματα για τον Πράκτορα 1(Συνεργατικός και παραχωρητικός)

Οι συναισθηματικές καταστάσεις του πράκτορα φαίνονται στην Εικόνα 7. Στα αριστερά παρατηρούμε τους τύπους διαθέσεων που ο πράκτορας είχε κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, ενώ στα δεξιά τον τύπο των συναισθημάτων που είχε ως αποτέλεσμα κάθε γύρου (ως Neutral αναφέρονται οι περιπτώσεις που οι φορτισμένες αντιδράσεις δεν ξεπέρασαν τις τιμές κατωφλίου και έτσι η ένταση των συναισθημάτων ήταν μηδενική).

Ο Πράκτορας 1 συνεργάστηκε με τον Random πράκτορα στο 39% των γύρων και συγκέντρωσε 232 πόντους. Η αμοιβαία συνεργασία προέκυψε στις 21% των γύρων. Τα αποτελέσματα αυτά έχουν μικρές αποκλίσεις από αυτά του μη συναισθηματικού πράκτορα.

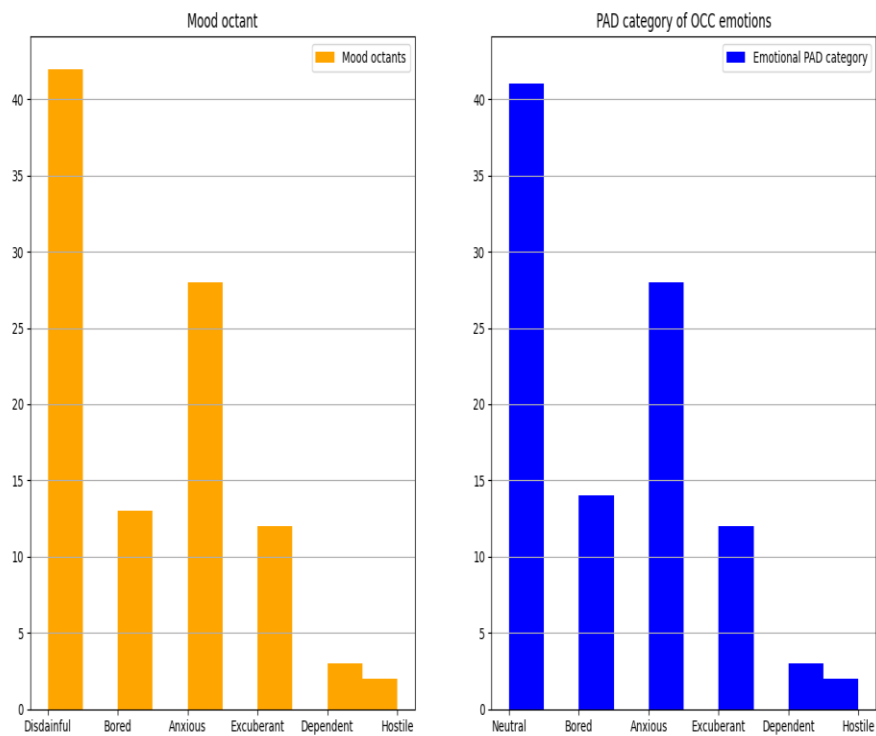


Εικόνα 7: Οι συναισθηματικές καταστάσεις του Πράκτορα 1

6.3.3 Αποτελέσματα για τον Πράκτορα 2(Συνεργατικός και μη παραχωρητικός)

Οι συναισθηματικές καταστάσεις του πράκτορα φαίνονται στην Εικόνα 8. Ο Πράκτορας 2 συνεργάστηκε με τον Random πράκτορα στο 32% των γύρων και συγκέντρωσε 223 πόντους. Η αμοιβαία συνεργασία προέκυψε στις 13% των γύρων.

Affective states

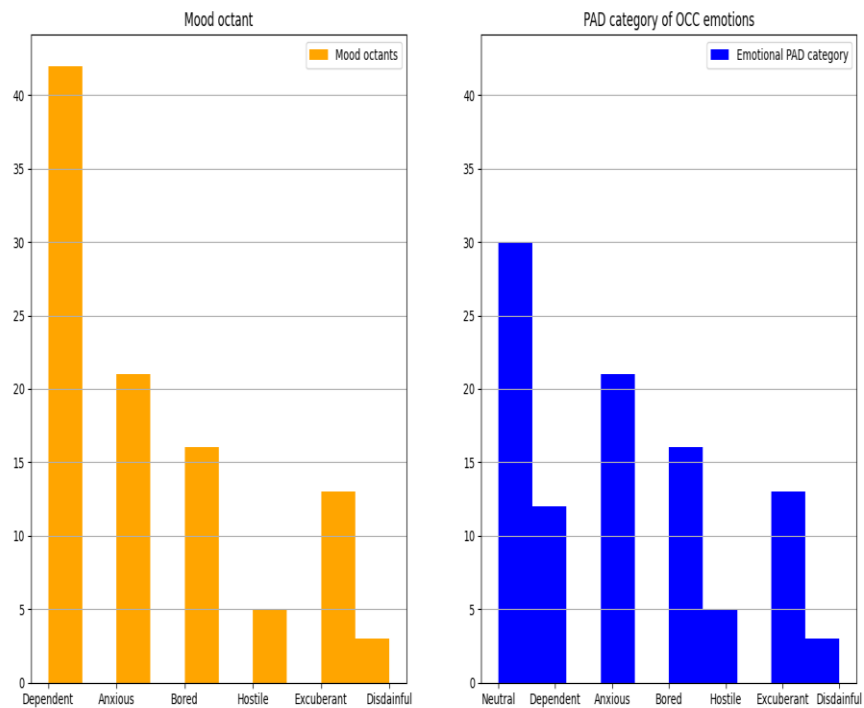


Εικόνα 8: Οι συναισθηματικές καταστάσεις του Πράκτορα 2

6.3.4 Αποτελέσματα για Πράκτορα 3(Μη συνεργατικός και παραχωρητικός)

Οι συναισθηματικές καταστάσεις του πράκτορα φαίνονται στην Εικόνα 9. Ο Πράκτορας 3 συνεργάστηκε με τον Random πράκτορα στο 46% των γύρων και συγκέντρωσε 245 πόντους. Η αμοιβαία συνεργασία προέκυψε στις 25% των γύρων.

Affective states

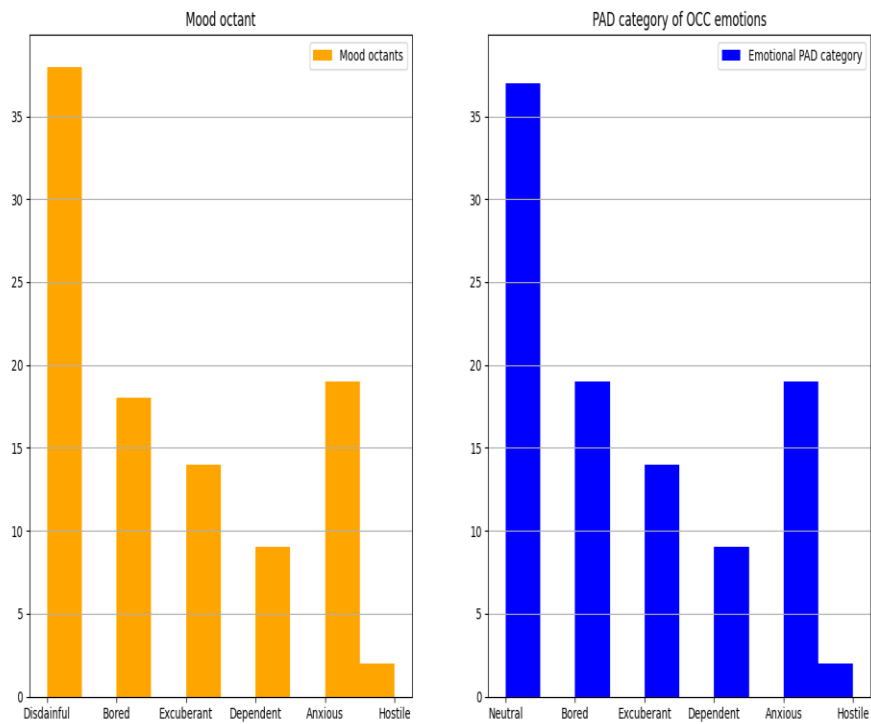


Εικόνα 9: Οι συναισθηματικές καταστάσεις του Πράκτορα 3

6.3.5 Αποτελέσματα για Πράκτορα 4 (Μη συνεργατικός και μη παραχωρητικός)

Οι συναισθηματικές καταστάσεις του πράκτορα φαίνονται στην Εικόνα 10. Ο Πράκτορας 4 συνεργάστηκε με τον Random πράκτορα στο 39% των γύρων και συγκέντρωσε 218 πόντους. Η αμοιβαία συνεργασία προέκυψε στις 19% των γύρων.

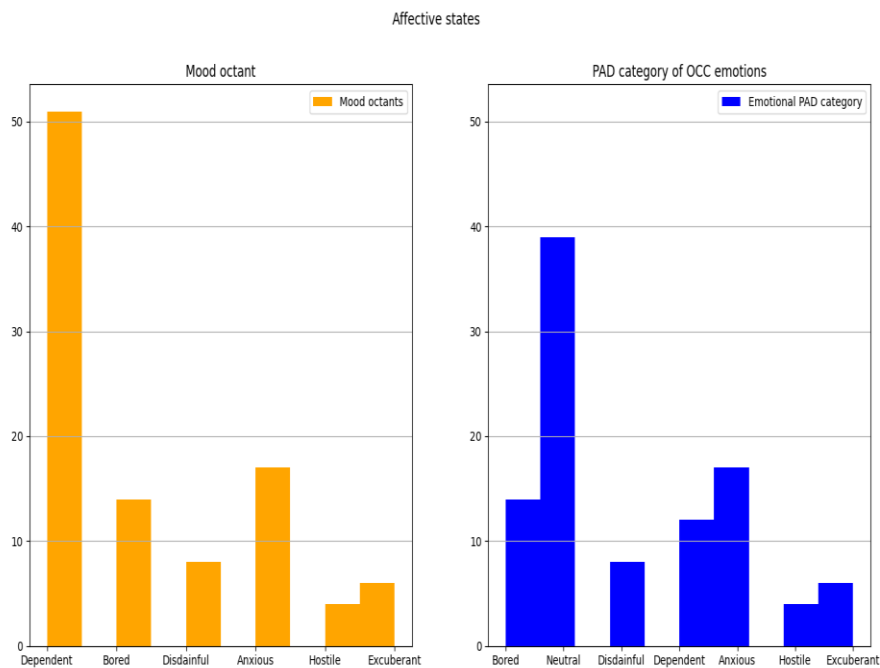
Affective states



Εικόνα 10: Οι συναισθηματικές καταστάσεις του Πράκτορα 4

6.3.6 Αποτελέσματα για Πράκτορα 5 (Ουδέτερος και παραχωρητικός)

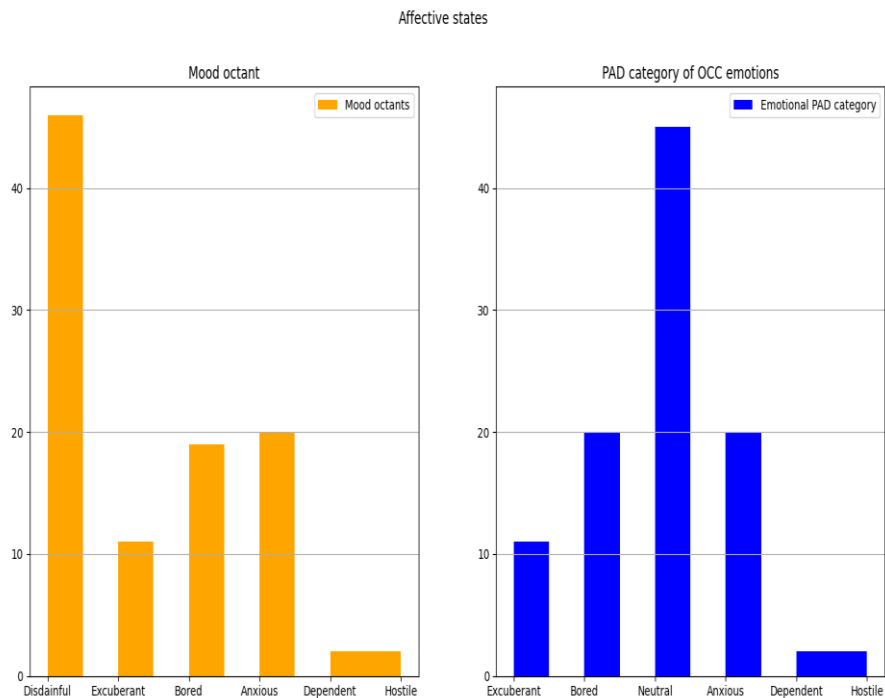
Οι συναισθηματικές καταστάσεις του πράκτορα φαίνονται στην Εικόνα 11. Ο Πράκτορας 5 συνεργάστηκε με τον Random πράκτορα στο 39% των γύρων και συγκέντρωσε 218 πόντους. Η αμοιβαία συνεργασία προέκυψε στις 18% των γύρων.



Εικόνα 11: Οι συναισθηματικές καταστάσεις του Πράκτορα 5

6.3.7 Αποτελέσματα για Πράκτορα 6 (Ουδέτερος και μη παραχωρητικός)

Οι συναισθηματικές καταστάσεις του πράκτορα φαίνονται στην Εικόνα 12. Ο Πράκτορας 6 συνεργάστηκε με τον Random πράκτορα στο 31% των γύρων και συγκέντρωσε 226 πόντους. Η αμοιβαία συνεργασία προέκυψε στις 11% των γύρων.



Εικόνα 12: Οι συναισθηματικές καταστάσεις του Πράκτορα 6

6.4 Εξέταση του ποσοστού συνεργασίας των πρακτόρων σε πολύ-πρακτορικό περιβάλλον

Σκοπός αυτού του ελέγχου είναι να συγκρίνει τη διαδικασία λήψης αποφάσεων του Ρανιον1 με αυτή πρακτόρων τύπου Ρανιον2. Η προσομοίωση έχει δύο στάδια.

Στο πρώτο στάδιο ο Ρανιον1 παίζει 60 γύρους με έναν πληθυσμό οκτώ άλλων ορθολογικών πρακτόρων χωρίς δυνατότητα μάθησης (θα αναφέρονται ως *bots* από δω και πέρα). Οι στρατηγικές που θα χρησιμοποιούν είναι αυτές που αναφέρονται στην ενότητα 4.1.

Αντίστοιχα στο δεύτερο στάδιο της προσομοίωσης, τρεις πράκτορες τύπου Ρανιον2, με διαφορετικές προσωπικότητες και προδιαθέσεις– αυτοί που αναφέρονται στην ενότητα 6.3- τοποθετούνται στις συνθήκες που περιγράφηκαν παραπάνω. Λόγω της διαφοροποίησης στην αρχικοποίηση των συναισθηματικών στοιχείων του πράκτορα αλλά και στην προδιάθεση με την οποία αρχίζει το παιχνίδι, αναμένουμε διαφοροποιήσεις στη συμπεριφορά των πρακτόρων. Δοκιμάζοντας διαφορετικές προσωπικότητας μπορούμε να παρατηρήσουμε την επίπτωση της αρχικοποίησης αυτής στη μάθηση μιας συγκεκριμένης στρατηγικής σύμφωνα με το σχεδιασμό του

CME, ενώ ταυτόχρονα να αναδειχθούν οι επιπτώσεις του μοντέλου αυτού στις μεταβλητές που συμβάλουν στην λήψη αποφάσεων μεταξύ των δράσεων του πράκτορα συγκριτικά και με τον Ρανιον1.

6.5 Αποτελέσματα προσομοίωσης 2

6.5.1 Πράκτορες εναντίον TFT bots

Παίζοντας με τα TFT bots, οι συναισθηματικοί πράκτορες παρουσίασαν μειωμένα ποσοστά συνεργασίας σε σχέση με τον Ρανιον1, ιδιαίτερα ο πράκτορας με προσωπικότητα Ρ2. Ο Πίνακας 5 και ο Πίνακας 6 περιλαμβάνουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

Παρατηρούμε λοιπόν πως μια αλλαγή σε ένα χαρακτηριστικό μόνο της αρχικοποίησης της προσωπικότητας του Ρανιον2, άρα και στη στάνταρ διάθεσή του, αλλάζει τη συμπεριφορά του πράκτορα στα πλαίσια αυτής της προσομοίωσης. Παρατηρούμε επίσης διαφοροποιήσεις στο ατομικό ποσοστό συνεργασίας των πρακτόρων, ανάλογα με τη προδιάθεση με την οποία ξεκινούν.

Βλέπουμε πως η TFT στρατηγική που χρησιμοποιούν τα bots, προώθησε τη συνεργασία μόνο στην περίπτωση του παραχωρητικού πράκτορα. Ακόμα όμως και σε αυτή την περίπτωση όταν ο πράκτορας ξεκίνησε με μη συνεργατική προδιάθεση, τότε κατέληξε να μη συνεργάζεται στην πλειοψηφία των γύρων. Ο μη παραχωρητικός πράκτορας δεν συνεργάζεται στην πλειοψηφία των γύρων, ιδιαίτερα όταν ξεκινάει με ουδέτερη προδιάθεση.

Το σκορ των όλων των συναισθηματικών πρακτόρων παρατηρείται μειωμένο σε σχέση με αυτό του μη συναισθηματικού. Αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς, όπως αναφέραμε σε προηγούμενο κεφάλαιο, με αντίπαλο την στρατηγική TFT, μια επιλογή μη συνεργασίας οδηγεί άμεσα σε αντίποινα. Αυτό σημαίνει πως οι πράκτορες που μελετάμε είτε θα βρεθούν σε μια κατάσταση αμοιβαίας μη συνεργασίας ή σε μια κατάσταση όπου δεν κερδίζουν καθόλου πόντους.

Πίνακας 5: Ο παραχωρητικός (P1) πράκτορας εναντίον των TFT bots (σε σύγκριση με τον Pavlov1)

	Pavlov1	Συνεργατικός	Μη συνεργατικός	Ουδέτερος
Σκορ	1431	1248	1025	1193
Ατομικό Ποσοστό συνεργασίας	87,59%	63,89%	37,59%	57,22%
Ποσοστό αμοιβαίας συνεργασίας	86,67%	51,67%	16,30%	42,59%

Πίνακας 6: Ο μη παραχωρητικός (P2) πράκτορας εναντίον των TFT bots (σε σύγκριση με τον Pavlov1)

	Pavlov1	Συνεργατικός	Μη συνεργατικός	Ουδέτερος
Σκορ	1431	976	889	867
Ατομικό Ποσοστό συνεργασίας	87,59%	34,81%	25%	23,70%
Ποσοστό αμοιβαίας συνεργασίας	86,67%	16,30%	2,96%	1,67%

6.5.2 Πράκτορες εναντίον RTFT bots

Ο Πίνακας 7 και ο Πίνακας 8 συμπεριλαμβάνουν τα αποτελέσματα αυτής της προσομοίωσης. Απέναντι στα RTFT bots, όλοι οι πράκτορες προτίμησαν να μη συνεργάζονται στην πλειοψηφία των γύρων σε σχέση με το αντίθετο. Από αυτή την οπτική η συμπεριφορά τους είναι παρόμοια με του Pavlov1. Παρόλα αυτά, τα ποσοστά συνεργασίας των συναισθηματικών πρακτόρων παρατηρούνται μειωμένα σε σχέση με του μη συναισθηματικού.

Συνολικά σε αυτή την ομάδα πρακτόρων βλέπουμε πως η RTFT προωθεί τη μη συνεργασία από τους πράκτορες μας. Το σκορ των συναισθηματικών πρακτόρων παρατηρείται αυξημένο σε σχέση με αυτό του μη συναισθηματικού και ιδιαίτερα

αυτό του μη παραχωρητικού πράκτορα. Αυτό είναι επίσης αναμενόμενο, καθώς με αντίπαλο την στρατηγική RTFT, η επιλογή της μη συνεργασίας προκαλεί σε ένα RTFT bot να συνεργαστεί στον επόμενο γύρο. Αυτό δίνει την ευκαιρία στους πράκτορες είτε να την εκμεταλλευτούν είτε για να συνεργαστούν, άρα να αυξήσουν πιθανώς το σκορ τους.

Πίνακας 7: Ο παραχωρητικός (P1) πράκτορας εναντίον των RTFT bots (σε σύγκριση με τον Pavlov1)

	Pavlov1	Συνεργατικός	Μη συνεργατικός	Ουδέτερος
Σκορ	768	980	998	972
Ατομικό Ποσοστό συνεργασίας	47,22%	31,85%	29,63%	31,30%
Ποσοστό αμοιβαίας συνεργασίας	18,70%	11,85%	9,26%	9,44%

Πίνακας 8: Ο μη παραχωρητικός (P2) πράκτορας εναντίον των RTFT bots (σε σύγκριση με τον Pavlov1)

	Pavlov1	Συνεργατικός	Μη συνεργατικός	Ουδέτερος
Σκορ	768	1085	1091	1197
Ατομικό Ποσοστό συνεργασίας	47,22%	27,04%	26,85%	34,07%
Ποσοστό αμοιβαίας συνεργασίας	18,70%	16,48%	16,30%	16,11%

6.5.3 Πράκτορες εναντίον Random bots

Τα αποτελέσματα αυτής της προσομοίωση περιλαμβάνουν ο Πίνακας 9 και ο Πίνακας 10. Οι πράκτορες που σχεδιάσαμε προτιμούν κατά κύριο λόγο τη μη

συνεργασία απέναντι στα bots της προσομοίωσης. Σε αυτή την ομάδα πρακτόρων, παρατηρούμε πως ο παραχωρητικός πράκτορας συνεργάζεται με τα bots με ποσοστό παρόμοιο με αυτό του μη συναισθηματικού πράκτορα- με μικρές διαφοροποιήσεις-, ενώ αντίθετα για τον μη παραχωρητικό παρατηρείται μείωση στο ποσοστό συνεργασίας. Η προδιάθεση με την οποία ξεκίνησαν οι πράκτορες δεν φαίνεται να έχουν κάποια ιδιαίτερη επίδραση στον τρόπο που τελικά έδρασαν συνολικά στο παιχνίδι.

Πίνακας 9: Ο παραχωρητικός(P1) πράκτορας εναντίον των Random bots (σε σύγκριση με τον Pavlov1)

	Pavlov1	Συνεργατικός	Μη συνεργατικός	Ουδέτερος
Σκορ	1201	1082	1118	1177
Ατομικό Ποσοστό συνεργασίας	40,37%	45,56%	41,67%	42,78%
Ποσοστό αμοιβαίας συνεργασίας	20,19%	23,70%	20,19%	22,96%

Πίνακας 10: Ο μη παραχωρητικός(P2) πράκτορας εναντίον των Random bots (σε σύγκριση με τον Pavlov1)

	Pavlov1	Συνεργατικός	Μη συνεργατικός	Ουδέτερος
Σκορ	1201	1210	1196	1198
Ατομικό Ποσοστό συνεργασίας	40,37%	32,78%	30,56%	31,48%
Ποσοστό αμοιβαίας συνεργασίας	20,19%	16,48%	14,63%	14,81%

6.6 Σχόλια για την δεύτερη προσομοίωση

Για κάθε προσωπικότητα πράκτορα, ανεξάρτητα της στρατηγικής των bots, παρατηρήσαμε την ίδια τάση. Όταν ο πράκτορας ήταν παραχωρητικός, τότε παρουσίασε μεγαλύτερο ποσοστό συνεργασίας σε σχέση με τον μη παραχωρητικό πράκτορα. Πέρα από αυτή τη διαφορά τους, οι συναισθηματικοί πράκτορες παρουσίασαν μικρότερο ποσοστό συνεργασίας απέναντι σε κάθε στρατηγική που έπαιζαν τα bots σε σχέση με τον μη συναισθηματικό πράκτορα.

Κεφάλαιο 7 ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι προσομοιώσεις που προηγήθηκαν συνοψίζουν και παρουσιάζουν πρακτικά τις ιδέες που αναπτύχθηκαν, ολοκληρώνοντας έτσι την εργασία. Έχοντας ανατρέξει στο θεωρητικό υπόβαθρο για την ABM, τις ανθρώπινες συναισθηματικές λειτουργίες και την προσωπικότητα στη λήψη αποφάσεων, τα υπολογιστικά μοντέλα συναισθημάτων και τέλος τη θεωρία παιγνίων αντίστοιχα, μοντελοποιήθηκε τελικά μια αρχιτεκτονική πράκτορα με δυνατότητα μάθησης, που ενσωματώνει ένα υπολογιστικό μοντέλο συναισθημάτων το οποίο βασίστηκε στο θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας. Τέλος, δημιουργήθηκαν προσομοιώσεις στις οποίες ελέγξαμε τη συμπεριφορά αυτού του «συναισθηματικού» πράκτορα στα πλαίσια του επαναλαμβανόμενου διλήμματος του φυλακισμένου. Η συμπεριφορά του συγκρίθηκε με το μοντέλο του μη συναισθηματικού πράκτορα στην οποία βασίσαμε την αρχιτεκτονική του – την επεκτείναμε με το CME που σχεδιάσαμε.

Μελετώντας τα μοντέλα των συναισθηματικών λειτουργιών του πράκτορα της εργασίας πρέπει να τονιστεί ξανά πως η ορθότητα τους, από την άποψη του αν ανταποκρίνονται πιστά στα φαινόμενα που προσομοιάζουν ή το αν αποτελούν την ορθότερη αναπαράσταση των θεωριών στις οποίες βασίστηκαν, ήταν έξω από τα πλαίσια αυτής της εργασίας. Το στάδιο της ανάπτυξης των μοντέλων, στοχεύει απλώς στην επίδειξη του σταδίου όπου, σε ερευνητικό περιβάλλον, θα σχεδιαζόταν ενδεχομένως μια θεωρία/λειτουργική υπόθεση προς έλεγχο/πείραμα. Έτσι, η ερμηνεία των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης αποτελεί απλώς μια σύγκριση μεταξύ των μοντέλων που σχεδιάστηκαν, δείχνοντας όμως επιτυχώς μερικές από τις δυνατότητες που προσφέρει η ABMS με τη χρήση συναισθηματικών πρακτόρων για την μελέτη ανθρώπινων συστημάτων και συμπεριφορών. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται ο σκοπός της εργασίας.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] E. Bonabeau, "Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems," *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 99, no. suppl_3, pp. 7280–7287, May 2002, doi: 10.1073/pnas.082080899.
- [2] E. Smith and R. Conrey, "Agent-Based Modeling: A New Approach for Theory Building in Social Psychology," *Personal. Soc. Psychol. Rev. Off. J. Soc. Personal. Soc. Psychol. Inc*, vol. 11, pp. 87–104, Mar. 2007, doi: 10.1177/1088868306294789.
- [3] D. Klein, J. Marx, and K. Fischbach, "Agent-Based Modeling in Social Science, History, and Philosophy: An Introduction," *Hist. Soc. Res.*, vol. 43, no. 1, pp. 7–27, 2018, doi: <https://doi.org/10.12759/hsr.43.2018.1.7-27>.
- [4] P. E. Smaldino, J. Calanchini, and C. L. Pickett, "Theory development with agent-based models," *Organ. Psychol. Rev.*, vol. 5, no. 4, pp. 300–317, Nov. 2015, doi: 10.1177/2041386614546944.
- [5] K. Mulligan and K. R. Scherer, "Toward a Working Definition of Emotion," *Emot. Rev.*, vol. 4, no. 4, pp. 345–357, Oct. 2012, doi: 10.1177/1754073912445818.
- [6] Z. Kowalczyk and M. Czubenko, "Computational Approaches to Modeling Artificial Emotion – An Overview of the Proposed Solutions," *Front. Robot. AI*, vol. 3, p. 21, 2016, doi: 10.3389/frobt.2016.00021.
- [7] J. Collenette, "Simulated Emotions and Mood as part of Decision Making in a Mobile Agent Society," phd, University of Liverpool, 2020. Accessed: Nov. 09, 2021. [Online]. Available: <https://livrepository.liverpool.ac.uk/3071363>
- [8] J. S. Lerner, Y. Li, P. Valdesolo, and K. S. Kassam, "Emotion and Decision Making," *Annu. Rev. Psychol.*, vol. 66, no. 1, pp. 799–823, 2015, doi: 10.1146/annurev-psych-010213-115043.
- [9] J. M. George and E. Dane, "Affect, emotion, and decision making," *Organ. Behav. Hum. Decis. Process.*, vol. 136, pp. 47–55, Sep. 2016, doi: 10.1016/j.obhdp.2016.06.004.

- [10] “cognitive process – APA Dictionary of Psychology.” <https://dictionary.apa.org/cognitive-process> (accessed Nov. 10, 2021).
- [11] S. P S and M. G S, “Emotion Models: A Review,” *Int. J. Control Theory Appl.*, vol. 10, pp. 651–657, Jan. 2017.
- [12] W. James, “II.—WHAT IS AN EMOTION ?,” *Mind*, vol. os-IX, no. 34, pp. 188–205, 1884, doi: 10.1093/mind/os-IX.34.188.
- [13] W. B. Cannon, “The James-Lange Theory of Emotions: A Critical Examination and an Alternative Theory,” p. 21, 2020.
- [14] A. Moors, “Theories of emotion causation: A review,” *Cogn. Emot.*, vol. 23, pp. 625–662, Jun. 2009, doi: 10.1080/02699930802645739.
- [15] L.-F. Rodríguez and F. Ramos, “Development of Computational Models of Emotions for Autonomous Agents: A Review,” *Cogn. Comput.*, vol. 6, no. 3, pp. 351–375, Sep. 2014, doi: 10.1007/s12559-013-9244-x.
- [16] K. R. Scherer, A. Schorr, and T. Johnstone, *Appraisal Processes in Emotion: Theory, Methods, Research*. Oxford University Press, 2001.
- [17] J. J. Gross, “Emotion regulation: Affective, cognitive, and social consequences,” *Psychophysiology*, vol. 39, no. 3, pp. 281–291, 2002, doi: 10.1017/S0048577201393198.
- [18] P. Ekman, “Basic Emotions,” in *Handbook of Cognition and Emotion*, John Wiley & Sons, Ltd, 1999, pp. 45–60. doi: 10.1002/0470013494.ch3.
- [19] A. R. Damasio, *Descartes’ error: emotion, reason, and the human brain*. New York: G.P. Putnam, 1994.
- [20] A. Bechara, H. Damasio, A. R. Damasio, and G. P. Lee, “Different contributions of the human amygdala and ventromedial prefrontal cortex to decision-making,” *J. Neurosci. Off. J. Soc. Neurosci.*, vol. 19, no. 13, pp. 5473–5481, Jul. 1999.
- [21] J. P. Forgas and J. M. George, “Affective Influences on Judgments and Behavior in Organizations: An Information Processing Perspective,” *Organ. Behav. Hum. Decis. Process.*, vol. 86, no. 1, pp. 3–34, Sep. 2001, doi: 10.1006/obhd.2001.2971.

- [22] J. P. Forgas, "Mood and judgment: The affect infusion model (AIM)," *Psychol. Bull.*, vol. 117, no. 1, pp. 39–66, 1995, doi: 10.1037/0033-2909.117.1.39.
- [23] R. McCrae and O. John, "An introduction to the five-factor model and its applications.," *J. Pers.*, 1992, doi: 10.1111/J.1467-6494.1992.TB00970.X.
- [24] T. Ören and N. Ghasem-Aghaee, "Personality representation processable in fuzzy logic for human behavior simulation," vol. 35, pp. 1–56555, Aug. 2003.
- [25] N. Bayram and M. Aydemir, "Decision-Making Styles and Personality Traits," vol. 3, Jan. 2017.
- [26] M. Riaz, M. Riaz, and N. Batool, "Personality Types as Predictors of Decision Making Styles," *J. Behav. Sci.*, vol. 22, no. 2, 2012, [Online]. Available: <https://www.semanticscholar.org/paper/Personality-Types-as-Predictors-of-Decision-Making-Riaz-Riaz/e14174afec51f43c48afdc3862835c363c1be6e9>
- [27] J. Gluz and P. Jaques, "A Probabilistic Formalization of the Appraisal for the OCC Event-Based Emotions," *J. Artif. Intell. Res.*, vol. 58, pp. 627–664, Mar. 2017, doi: 10.1613/jair.5320.
- [28] A. Mehrabian, "Pleasure-arousal-dominance: A general framework for describing and measuring individual differences in Temperament," *Curr. Psychol.*, vol. 14, no. 4, pp. 261–292, Dec. 1996, doi: 10.1007/BF02686918.
- [29] J. A. Russell and A. Mehrabian, "Evidence for a three-factor theory of emotions," *J. Res. Personal.*, vol. 11, no. 3, pp. 273–294, Jun. 1977, doi: 10.1016/0092-6566(77)90037-X.
- [30] A. Mehrabian, "Relationships Among Three General Approaches to Personality Description," *J. Psychol.*, vol. 129, no. 5, pp. 565–581, Jun. 1995, doi: 10.1080/00223980.1995.9914929.
- [31] E. Osuna, L.-F. Rodríguez, J. O. Gutierrez-Garcia, and L. A. Castro, "Development of computational models of emotions: A software engineering perspective," *Cogn. Syst. Res.*, vol. 60, pp. 1–19, May 2020, doi: 10.1016/j.cogsys.2019.11.001.
- [32] S. Marsella, J. Gratch, and P. Petta, "Computational models of emotion," *Bluepr. Affect. Comput.- Sourceb. Man.*, pp. 21–46, Jan. 2010.

- [33] R. Reisenzein *et al.*, "Computational Modeling of Emotion: Toward Improving the Inter- and Intradisciplinary Exchange," *IEEE Trans. Affect. Comput.*, vol. 4, no. 3, pp. 246–266, Jul. 2013, doi: 10.1109/T-AFFC.2013.14.
- [34] J.-H. Rosales, L.-F. Rodríguez, and F. Ramos, "A general theoretical framework for the design of artificial emotion systems in Autonomous Agents," *Cogn. Syst. Res.*, vol. 58, pp. 324–341, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.cogsys.2019.08.003.
- [35] J. D. Velásquez, "Cathexis--a computational model for the generation of emotions and their influence in the behavior of autonomous agents," Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 1996. Accessed: Dec. 08, 2021. [Online]. Available: <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/10651>
- [36] P. Gebhard, "ALMA: a layered model of affect," Jan. 2005, pp. 29–36.
- [37] B. Alfonso, E. Vivancos, and V. Botti, "Toward Formal Modeling of Affective Agents in a BDI Architecture," *ACM Trans. Internet Technol.*, vol. 17, no. 1, p. 5:1-5:23, Jan. 2017, doi: 10.1145/3001584.
- [38] J. Dias, S. Mascarenhas, and A. Paiva, "FAtiMA Modular: Towards an Agent Architecture with a Generic Appraisal Framework," vol. 8750, Nov. 2014, doi: 10.1007/978-3-319-12973-0_3.
- [39] J. Dias and A. Paiva, "Feeling and Reasoning: A Computational Model for Emotional Characters," in *Progress in Artificial Intelligence*, Berlin, Heidelberg, 2005, pp. 127–140. doi: 10.1007/11595014_13.
- [40] M. Sewell, "Emotions help solve the prisoner's dilemma," in *Proceedings of the Behavioural Finance Working Group Conference: Fairness, Trust and Emotions in Finance. London*, 2010, pp. 1–6.
- [41] C. M. de Melo, P. Carnevale, D. Antos, and J. Gratch, "A Computer Model of the Interpersonal Effect of Emotion Displayed in a Social Dilemma," in *Affective Computing and Intelligent Interaction*, Berlin, Heidelberg, 2011, pp. 67–76. doi: 10.1007/978-3-642-24600-5_10.
- [42] T. Folke and W. Kennedy, "Agent-Based Modelling: A Bridge Between Psychology and Macro-social Science," 2021, pp. 189–211. doi: 10.1007/978-3-030-50176-1_8.

- [43] R. H. Frank, T. Gilovich, and D. T. Regan, "The evolution of one-shot cooperation: An experiment," *Ethol. Sociobiol.*, vol. 14, no. 4, pp. 247–256, Apr. 1993, doi: 10.1016/0162-3095(93)90020-I.
- [44] R. Axelrod, "Effective Choice in the Prisoner's Dilemma," *J. Confl. Resolut.*, vol. 24, no. 1, pp. 3–25, 1980.
- [45] R. Axelrod, "More Effective Choice in the Prisoner's Dilemma," *J. Confl. Resolut.*, vol. 24, no. 3, pp. 379–403, 1980.
- [46] M. Nowak and K. Sigmund, "Tit-for-Tat in Heterogeneous Populations," *Nature*, vol. 355, pp. 250–253, Jan. 1992, doi: 10.1038/355250a0.
- [47] M. Nowak and K. Sigmund, "A strategy of win-stay, lose-shift that outperforms tit-for-tat in the Prisoner's Dilemma game," *Nature*, vol. 364, no. 6432, pp. 56–58, Jul. 1993, doi: 10.1038/364056a0.
- [48] C. Wedekind and M. Milinski, "Human cooperation in the simultaneous and the alternating Prisoner's Dilemma: Pavlov versus Generous Tit-for-Tat," *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 93, no. 7, pp. 2686–2689, Apr. 1996.
- [49] J. Grujić *et al.*, "A comparative analysis of spatial Prisoner's Dilemma experiments: Conditional cooperation and payoff irrelevance," *Sci. Rep.*, vol. 4, no. 1, Art. no. 1, Apr. 2014, doi: 10.1038/srep04615.
- [50] N. Schwarz, "Emotion, cognition, and decision making," *Cogn. Emot.*, vol. 14, no. 4, p. 433, 2000.
- [51] K. Au, F. Chan, D. Wang, and I. Vertinsky, "Mood in foreign exchange trading: Cognitive processes and performance," *Organ. Behav. Hum. Decis. Process.*, vol. 91, no. 2, pp. 322–338, Jul. 2003, doi: 10.1016/S0749-5978(02)00510-1.
- [52] R. B. Lount Jr., "The impact of positive mood on trust in interpersonal and intergroup interactions," *J. Pers. Soc. Psychol.*, vol. 98, no. 3, pp. 420–433, 2010, doi: 10.1037/a0017344.
- [53] W. F. Wright and G. H. Bower, "Mood effects on subjective probability assessment," *Organ. Behav. Hum. Decis. Process.*, vol. 52, no. 2, pp. 276–291, Jul. 1992, doi: 10.1016/0749-5978(92)90039-A.