



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Διπλωματική Εργασία
του Τσεκουράκη Ηρακλή

υπό την επίβλεψη
Ανδρέα Λ. Συμεωνίδη
Λέκτορα

Διαχείριση Θεμάτων Εμπιστοσύνης και Φήμης σε Αναξιόπιστα Συστήματα Πρακτόρων Λογισμικού

Θεσσαλονίκη 2010

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που με στήριξαν και με ανέχτηκαν κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας ως προπτυχιακός φοιτητής στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

- Τους γονείς μου, Μιχάλη και Κωνσταντίνα, οι οποίοι μετά από 25 χρόνια, ακόμα προσπαθούν και αγωνίζονται για να με στηρίζουν με τον καλύτερο τρόπο που θα μπορούσα να φανταστώ.
- Τον καθηγητή μου, κύριο Ανδρέα Λ. Συμεωνίδη, ο οποίος μου εμπιστεύτηκε την ανάθεση αυτής της εργασίας, ήταν πάντα εκεί για να με στηρίξει με την εμπειρία και το εύρος των γνώσεων του και μόνιμα με θετική διάθεση μου έδειξε το δρόμο για να εκπληρώσω με επιτυχία αυτό το έργο.
- Όλους τους φίλους μου που στάθηκαν και πολλές φορές ήταν πηγή έμπνευσης για μένα και με έκαναν να νιώσω ότι η προσπάθεια μου αυτή άξιζε πραγματικά τον κόπο...

Περίληψη

Στα ανοιχτά κατανεμημένα και ανταγωνιστικά περιβάλλοντα, όπου οι πληροφορίες γίνονται διαθέσιμες από ποικίλες πηγές, οι πράκτορες λογισμικού αλληλεπιδρούν με σκοπό την εκπλήρωση των προσωπικών τους στόχων, χωρίς να τους ενδιαφέρει η επίδραση της συμπεριφοράς τους στο περιβάλλον. Σε αυτές τις περιπτώσεις, παρατηρούνται μοχθηρές συμπεριφορές, εφόσον οι πράκτορες προωθούν το προσωπικό τους συμφέρον ενώ παράλληλα εξαπατούν τους άλλους. Στα περιβάλλοντα αυτά, οι μηχανισμοί εμπιστοσύνης και φήμης παίζουν σημαντικό ρόλο βοηθώντας τους πράκτορες να αξιολογήσουν την αξιοπιστία των αντιπάλων τους και να επιλέξουν με οποίος θα αλληλεπιδράσουν. Έχουν γίνει πολλές μελέτες σχετικά με την ανάπτυξη πρωτοκόλλων, κανόνων και διεπαφών για να μπορούν οι πράκτορες να αναγνωρίζουν και να επιβεβαιώνουν τις έμπιστες πληροφορίες. Το πλαίσιο ανάπτυξης ART Testbed παρέχει στους ερευνητές την ικανότητα να δοκιμάσουν και να συγκρίνουν την αποτελεσματικότητα διαφόρων μοντέλων και στρατηγικών εμπιστοσύνης σε διάφορα περιβάλλοντα.

Στην διπλωματική εργασία αυτή, γίνεται προσπάθεια να αναγνωριστούν τα πιο αποτελεσματικά μοντέλα εμπιστοσύνης και φήμης, που βασίζονται στην υπάρχουσα βιβλιογραφία. Επίσης εισάγεται ένας νέος μηχανισμός εμπιστοσύνης και φήμης που υλοποιείται με τον πράκτορα *HerculAgent*. Σε αυτή την κατεύθυνση γίνεται μια εκτενής ανάλυση του παιχνιδιού που ορίζεται από το πλαίσιο ανάπτυξης του ART. Παρουσιάζονται οι βασικές δομικές αρχές του *HerculAgent* και αναλύονται λεπτομερώς οι τεχνικές υλοποίησης. Ο *HerculAgent* δοκιμάζεται σε διάφορα περιβάλλοντα, ενάντια στους νικητές πράκτορες του διαγωνισμού και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα που εξάγονται.

Dealing with Trust and Reputation in unreliable Multi-agent environments

Abstract

In shared competitive environments, where information comes from various sources, agents interact with each other in order to achieve their individual goals, not really caring about the global outcome. In these cases, interaction may entail malice, with agents aiming to promote own interest while at the same time disserving others'. In such unreliable environments, trust and reputation mechanisms play a significant role in providing agents with useful information for selecting the competitive agents to trust and interact with. Numerous research efforts exist, attempting to define protocols, rules and interfaces for agents to abide by and ensure trustworthy information. In this context, the Agent Reputation and Trust (ART) testbed provides researchers with the ability to test different trust and reputation strategies, in various types of trust/reputation environments.

The current thesis attempts to identify the most viable trust and reputation models based on existing research work. It further elaborates on the issue, by proposing a novel trust and reputation mechanism realized by our agent, HerculAgent. Within the context of the thesis a thorough analysis of the ART game is performed, HerculAgent's main architectural primitives are presented and specific implementation details are discussed. HerculAgent is benchmarked in a variety of environments, against the top performing agents of the competition and its performance is discussed.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	3
Περίληψη	5
Abstract	6
Περιεχόμενα	7
Λίστα Σχημάτων	9
Λίστα Πινάκων	11
Λίστα Πινάκων	11
Πίνακας Συντομογραφιών	12
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή	13
1.1. Αντικείμενο της Διπλωματικής: Εμπιστοσύνη και Φήμη.....	13
1.2. Σκοπός της Διπλωματικής	15
1.3. Δομή της Διπλωματικής.....	16
Κεφάλαιο 2. Συστήματα Εμπιστοσύνης και Φήμης	19
2.1. Εισαγωγικά	19
2.2. Πράκτορες Λογισμικού.....	20
2.3. Εμπιστοσύνη και Φήμη.....	22
2.3.1. Εμπιστοσύνη σε ατομικό επίπεδο	23
2.3.2. Εμπιστοσύνη σε επίπεδο συστήματος	25
2.3.3. Ασφάλεια	26
2.4. Ταξινόμηση Συστημάτων ΕΦ	27
2.4.1. Ταξινόμηση ως προς το Εννοιολογικό Μοντέλο	27
2.4.2. Ταξινόμηση ως προς τις Πηγές πληροφοριών.....	27
2.4.3. Ταξινόμηση ως προς τον Τύπο ορατότητας	29
2.4.4. Ταξινόμηση ως προς την Υπόθεση Συμπεριφοράς των Πρακτόρων	30
2.4.5. Ταξινόμηση ως προς τον Τύπο των συναλλασσόμενων πληροφοριών... ..	31
2.4.6. Ταξινόμηση ως προς το Μέτρο αξιοπιστίας της Εμπιστοσύνης και της Φήμης.....	31
2.5. Αρχές Λειτουργίας ενός Μοντέλου ΕΦ.....	32
2.6. Δομή ενός Μοντέλου ΕΦ.....	34
2.6.1. Εξαγωγή Εμπιστοσύνης από τις εκ των προτέρων πληροφορίες	35
2.6.2. Εξαγωγή Εμπιστοσύνης από τις άμεσες αλληλεπιδράσεις.....	35
2.6.3. Εξαγωγή της Εμπιστοσύνης από πληροφορίες παρατηρητών.....	36
2.6.4. Εξαγωγή της Εμπιστοσύνης από τα μοντέλα και τους μηχανισμούς Φήμης.....	36
2.7. Ανασκόπηση Κεφαλαίου - Συμπεράσματα	39
Κεφάλαιο 3. Το περιβάλλον ART Testbed	41
3.1. Εισαγωγή.....	41
3.2. Αρχιτεκτονική του εργαλείου ART Testbed.	43
3.2.1. Η μηχανή Προσομοίωσης	44
3.2.2. Ο σκελετός των Πρακτόρων	45
3.3. Κανόνες του παιχνιδιού	47
3.3.1. Παράμετροι παιχνιδιού	47
3.3.2. Κανόνες παιχνιδιού	48
3.4. Υπάρχουσες προσεγγίσεις Πρακτόρων	49
3.4.1. Δυσκολίες στην ανάπτυξη μοντέλων πρακτόρων.....	51

Κεφάλαιο 4. Ο πράκτορας HercuAgent.....	53
4.1. Εισαγωγή.....	53
4.2. Κατανόηση του περιβάλλοντος	55
4.2.1. Απλό περιβάλλον: <i>SimpleAgent Vs TestAgent</i>	56
4.2.2. Σύνθετα περιβάλλοντα: Πολλοί πράκτορες.....	63
4.2.3. Συμπεράσματα	66
4.3. Σχεδίαση του Πρωτοκόλλου Φήμης.....	67
4.3.1. Διαχείριση Αιτήσεων Φήμης	68
4.3.2. Διαχείριση Αποδοχής και Απάντησης Φήμης	73
4.4. Σχεδίαση του Πρωτοκόλλου Βεβαιότητας	73
4.5. Σχεδίαση του Πρωτοκόλλου Εκτιμήσεων	75
4.5.1. Διαχείριση Αιτήσεων Εκτιμήσεων	75
4.5.2. Διαχείριση Απάντησης Εκτιμήσεων.....	77
4.5.3. Διαχείριση βαρών για την εξαγωγή της τελικής εκτίμησης	78
4.6. Δυναμικός Υπολογισμός Ορίων	79
4.7. Συμπεριφορές του HercuAgent.....	79
Κεφάλαιο 5. Πειραματική Τεκμηρίωση – Μελλοντική Εργασία.....	83
5.1. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων.....	83
5.1.1. Τυπική Συμπεριφορά	86
5.1.2. Αισιόδοξη συμπεριφορά Εμπιστοσύνης.....	88
5.1.3. Απαισιόδοξη συμπεριφορά Εμπιστοσύνης.....	90
5.1.4. Επιθετική συμπεριφορά Βαρών	91
5.1.5. Υποχωρητική συμπεριφορά βαρών	93
5.2. Συμπεράσματα – Μελλοντική Εργασία.....	95
5.3. Σύνοψη.....	96
Βιβλιογραφία	97

Λίστα Σχημάτων

Σχήμα 3. 1: Περιγραφή παιχνιδιού, αποτύπωση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των πελατών και των πρακτόρων-εκτιμητών.	42
Σχήμα 4. 1: Ιεραρχική αρθρωτή δομή του πράκτορα HercuAgent.	55
Σχήμα 4. 2: Πείραμα 1 - TestAgent Vs SimpleAgent.....	57
Σχήμα 4. 3: Πείραμα 2 - TestAgent Vs SimpleAgent.....	58
Σχήμα 4. 4: Πείραμα 3 - TestAgent Vs SimpleAgent.....	58
Σχήμα 4. 5: Πείραμα 4 - TestAgent Vs SimpleAgent.....	59
Σχήμα 4. 6: Πείραμα 5 - TestAgent Vs SimpleAgent.....	60
Σχήμα 4. 7: Πείραμα 6 - TestAgent Vs SimpleAgent.....	60
Σχήμα 4. 8: Πείραμα 7 - TestAgent Vs SimpleAgent.....	61
Σχήμα 4. 9: Πείραμα 8 - TestAgent Vs SimpleAgent.....	62
Σχήμα 4. 10: Τελικά αποτελέσματα - TestAgent Vs SimpleAgent.	62
Σχήμα 4. 11: Τελικά αποτελέσματα - TestAgent Vs SimpleAgent Vs HonestAgent..	64
Σχήμα 4. 12: Τελικά αποτελέσματα - TestAgent Vs SimpleAgent Vs CheatingAgent.	64
Σχήμα 4. 13: Τελικά αποτελέσματα - TestAgent Vs SimpleAgent Vs HonestAgent Vs CheatingAgent.	65
Σχήμα 4. 14: Τελικά αποτελέσματα - ART Testbed Contest Agents Vs TestAgent Vs Dummy Agents.	66
<hr/>	
Σχήμα 5. 1: Σύγκριση HercuAgent με την αρχική προσέγγιση του TestAgent. Πρώτο μισό του παιχνιδιού.	84
Σχήμα 5. 2: Σύγκριση HercuAgent με την αρχική προσέγγιση του TestAgent. Δεύτερο μισό του παιχνιδιού.	84
Σχήμα 5. 3: Αποτελέσματα HercuAgent (Typical-Typical) στο πρώτο μισό του παιχνιδιού.....	86
Σχήμα 5. 4: Αποτελέσματα HercuAgent (Typical-Typical) στο δεύτερο μισό του παιχνιδιού.....	87
Σχήμα 5. 5: Αποτελέσματα HercuAgent (Optimistic-Typical) στο πρώτο μισό του παιχνιδιού.....	88
Σχήμα 5. 6: Αποτελέσματα HercuAgent (Optimistic-Typical) στο δεύτερο μισό του παιχνιδιού.....	89
Σχήμα 5. 7: Αποτελέσματα HercuAgent (Pessimistic-Typical) στο πρώτο μισό του παιχνιδιού.....	90
Σχήμα 5. 8: Αποτελέσματα HercuAgent (Pessimistic-Typical) στο δεύτερο μισό του παιχνιδιού.....	91
Σχήμα 5. 9: Αποτελέσματα HercuAgent (Typical-Aggressive) στο πρώτο μισό του παιχνιδιού.....	92
Σχήμα 5. 10: Αποτελέσματα HercuAgent (Typical-Aggressive) στο δεύτερο μισό του παιχνιδιού.....	92
Σχήμα 5. 11: Αποτελέσματα HercuAgent (Typical-Submissive) στο πρώτο μισό του παιχνιδιού.....	94

Σχήμα 5. 12: Αποτελέσματα HerculAgent (Typical-Submissive) στο δεύτερο μισό του παιχνιδιού..... 94

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 2. 1: Ταξινόμηση Υπολογιστικών Μοντέλων Εμπιστοσύνης και Φήμης.	32
Πίνακας 4. 1: Παράμετροι διεξαγωγής παιχνιδιών.....	56
Πίνακας 5. 1: Αποτελέσματα διαγωνισμού ART Testbed 2008.....	85
Πίνακας 5. 2: Κατάταξη HercuAgent (Typical-Typical) σε σύνολο 10 παιχνιδιών...	87
Πίνακας 5. 3: Κατάταξη HercuAgent (Optimistic-Typical) σε σύνολο 10 παιχνιδιών	89
Πίνακας 5. 4: Κατάταξη HercuAgent (Pessimistic-Typical) σε σύνολο 10 παιχνιδιών	91
Πίνακας 5. 5: Κατάταξη HercuAgent (Typical-Aggressive) σε σύνολο 10 παιχνιδιών	93
Πίνακας 5. 6: Κατάταξη HercuAgent (Typical-Submissive) σε σύνολο 10 παιχνιδιών	94

Πίνακας Συντομογραφιών

Συντομογραφία	Ελληνικός Όρος	Αγγλικός Όρος
ΕΦ	Εμπιστοσύνη και Φήμη	Trust and Reputation
ΠΠΣ	Πολύ Πρακτορικό Σύστημα	Multi Agent System
Cer	Βεβαιότητα	Certainty
ME	Μέσο Σφάλμα	Mean Error
P2P	Σύστημα Ισότιμων Κόμβων	Peer To Peer
Rep	Φήμη	Reputation
SC	Αυτοπεποίθηση	Self-Confidence
ΣΕΦ	Σύστημα Εμπιστοσύνης και Φήμης	Trust and Reputation System
AI	Τεχνητή Νοημοσύνη	Artificial Intelligence
SE	Τεχνολογία Λογισμικού	Software Engineering

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

1.1. Αντικείμενο της Διπλωματικής: Εμπιστοσύνη και Φήμη

Στη σύγχρονη βιβλιογραφία ως πράκτορας λογισμικού, ορίζεται μία αυτόνομη οντότητα λογισμικού που έχει την ικανότητα να λαμβάνει αποφάσεις και να επιδρά με το περιβάλλον με τρόπο που μιμείται τον ανθρώπινο τρόπο λειτουργίας.

Η εμπιστοσύνη είναι ένα από τα κύρια ενδιαφέροντα των ερευνητών που ασχολούνται με την ανάπτυξη ανοιχτών και κατανεμημένων συστημάτων μεγάλης κλίμακας. Βρίσκεται στον πυρήνα όλων των αλληλεπιδράσεων που συμβαίνουν μεταξύ των οντοτήτων που ενεργούν μέσα σε τέτοια συστήματα, τα οποία είναι αβέβια και συνεχώς μεταβαλλόμενα. Δεδομένου ότι τέτοια συστήματα συχνά, σχεδιάζονται και αναπτύσσονται με τη χρήση ευφυών πρακτόρων λογισμικού, είναι εμφανής η σημασία της εμπιστοσύνης στα πολυπρακτορικά συστήματα (ΠΠΣ).

Το εύρος υπολογιστικών εφαρμογών, των οποίων οι συνιστώσες εκτείνονται μέσω ενός δικτύου, σε ένα αποκεντρωμένο καθεστώς ελέγχου και υπόκεινται σε

συνεχείς τροποποιήσεις καθ' όλη την διάρκεια ζωής του συστήματος, είναι πολύ μεγάλο. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι τα παρακάτω:

- οι peer-to-peer εφαρμογές (P2P),
- ο Σημασιολογικός Ιστός (Semantic Web),
- οι Υπηρεσίες Ιστού (Web Services),
- το ηλεκτρονικό εμπόριο (e-business),
- το κινητό εμπόριο (m-commerce),
- οι αυτόνομες υπολογιστικές εφαρμογές (autonomic computing),
- ο παράλληλος προγραμματισμός (Grid computing) και
- τα διεισδυτικά υπολογιστικά περιβάλλοντα (pervasive computing environments).

Σε όλες αυτές τις εφαρμογές υπάρχει η ανάγκη για χρήση αυτόνομων συνιστωσών που δρουν με ευέλικτο τρόπο με σκοπό να πετύχουν τους στόχους που σχεδιάστηκαν να φέρουν εις πέρας μέσα σε αβέβαια και δυναμικά περιβάλλοντα [SIM 96]. Έτσι η χρήση των ευφυών πρακτόρων λογισμικού καθιερώθηκε στην ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων [JEN 01]. Συγκεκριμένα, τα συστήματα αυτά, μπορούν να μοντελοποιηθούν ως ανοιχτά πολυπρακτορικά συστήματα που αποτελούνται από αυτόνομους πράκτορες. Οι πράκτορες αυτοί αλληλεπιδρούν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας συγκεκριμένους μηχανισμούς και πρωτόκολλα. Για τον λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί ένας αριθμός από μοντέλα αλληλεπιδράσεων που περιλαμβάνουν τον συντονισμό (coordination), την συνεργασία (collaboration) και τη διαπραγμάτευση (negotiation) ανάμεσα στους πράκτορες.

Παρόλα αυτά, η εφαρμογή τους σε ανοικτά κατανεμημένα συστήματα μεγάλης κλίμακας παρουσιάζει κάποιες προκλήσεις. Τα βασικά προβλήματα αλληλεπίδρασης που υπάρχουν στα περιβάλλοντα αυτά είναι:

- Πώς αποφασίζουν οι σχεδιαστές πολυπρακτορικών συστημάτων με ποιον τρόπο θα αναπτύξουν πρωτόκολλα για την διαχείριση των συμπλοκών μεταξύ των πρακτόρων;
- Πώς αποφασίζουν οι πράκτορες με ποιον να αλληλεπιδράσουν;
- Πώς αποφασίζουν οι πράκτορες πότε να αλληλεπιδράσουν μεταξύ τους;

Κύριο μέλημα των μηχανισμών και των πρωτοκόλλων που αναπτύσσονται είναι να αποτρέπουν τους πράκτορες από το να παραπλανούν τους πράκτορες με τους οποίους αλληλεπιδρούν εξαιτίας του απώτερου σκοπού τους, την εξυπηρέτηση δηλαδή των εγωιστικών συμφερόντων τους. Ωστόσο, το σύστημα (πρωτόκολλο) και οι πράκτορες συνήθως έχουν περιορισμένη υπολογιστική ισχύ και

αποθηκευτικό χώρο, γεγονός που περιορίζει τον έλεγχο πάνω στις αλληλεπιδράσεις. Οι πράκτορες λοιπόν πρέπει να εμπιστεύονται ο ένας τον άλλον για να ελαχιστοποιήσουν την αβεβαιότητα που υπάρχει στις αλληλεπιδράσεις τους σε ανοιχτά καταναμημένα συστήματα.

Αν και ο όρος *εμπιστοσύνη* έχει χρησιμοποιηθεί με διάφορους τρόπους σε πολλούς τομείς ένας ορισμός που ταιριάζει περισσότερο στην παρούσα περίπτωση είναι ο ακόλουθος:

Εμπιστοσύνη είναι η πίστη που έχει ένας πράκτορας ότι το άλλο συμβαλλόμενο μέρος θα πραγματοποιήσει ότι λέει ότι θα κάνει (όντας ειλικρινής και αξιόπιστος) ή θα ανταποκριθεί (όντας ανταποδοτικός για το κοινό καλό και των δύο), ενώ του δίνεται η δυνατότητα να αποστατήσει με σκοπό να κερδίσει μεγαλύτερη πληρωμή [DAS 98].

Ένας όρος που σχετίζεται στενά με αυτόν της εμπιστοσύνης είναι αυτός της *Φήμης*, αλλά είναι φανερό ότι υπάρχει σημαντική και ξεκάθαρη διαφορά μεταξύ τους. Ένας ορισμός της *Φήμης* σύμφωνα με το Concise Oxford dictionary είναι ο παρακάτω:

Φήμη είναι αυτό που γενικά λέγεται ή πιστεύεται σχετικά με τον χαρακτήρα ή την υπόληψη ενός ανθρώπου ή ενός αντικειμένου.

1.2. Σκοπός της Διπλωματικής

Στα πλαίσια της έρευνας πάνω στην εμπιστοσύνη και την φήμη σε περιβάλλοντα πρακτόρων λογισμικού αναπτύχθηκε το 2005 το περιβάλλον προσομοίωσης της πρακτορικής εμπιστοσύνης και της φήμης (Agent Reputation and Trust [ART] Testbed). Η ερευνητική ομάδα που σχεδίασε το περιβάλλον οργάνωσε από το 2006 έως και το 2008 έναν ετήσιο ομώνυμο διεθνή διαγωνισμό. Ο διαγωνισμός αυτός περιλάμβανε ένα παιχνίδι όπου οι αυτόνομοι πράκτορες λογισμικού συναγωνίζονται για να προσφέρουν εκτιμήσεις πινάκων ζωγραφικής με την μεγαλύτερη ακρίβεια. Στο διαγωνισμό αυτό συμμετείχαν ομάδες από πανεπιστήμια από όλο τον κόσμο σχεδιάζοντας τους πράκτορες λογισμικού που θα τους αντιπροσώπευαν.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός ευφυούς πράκτορα λογισμικού για την αποτελεσματική εξαγωγή της εμπιστοσύνης και της φήμης μέσα σε ένα πολυπρακτορικό σύστημα, ικανού να ανταπεξέλθει στις προκλήσεις που θέτει ο ανταγωνισμός από τις ομάδες που συμμετείχαν στον διαγωνισμό του **ART Testbed**. Η ανάπτυξη από την αρχή είχε να κάνει με τη

δημιουργία ενός αυτόνομου πράκτορα λογισμικού που θα μπορούσε, χωρίς την παρέμβαση του χρήστη, να συμμετέχει στο διαγωνισμό του **ART Testbed**, και να αλληλεπιδρά με τους άλλους διαγωνιζόμενους και την πλατφόρμα με στόχο την όσο το δυνατόν καλύτερη επίδοση.

Η ανάπτυξη του πράκτορα λογισμικού, υπό τη συνεχή καθοδήγηση και την πολύτιμη συνεργασία του καθηγητή του τμήματος **Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών ΑΠΘ κ. Ανδρέα Συμεωνίδη** διήρκησε περίπου ένα χρόνο. Ο σχεδιασμός της ανάπτυξης του πράκτορα περιλάμβανε ένα αρχικό στάδιο μελέτης των υπάρχοντων συστημάτων εμπιστοσύνης και φήμης και σε δεύτερο στάδιο των κριτηρίων και των απαιτήσεων του διαγωνισμού. Έπειτα, αποφασίστηκε η πλατφόρμα πάνω στην οποία θα γίνονταν η υλοποίηση, και ταυτόχρονα άρχισε μια εκτενής μελέτη των προηγούμενων υλοποιήσεων πρακτόρων για τον συγκεκριμένο διαγωνισμό και μια σύγκριση των τεχνολογιών και των αλγορίθμων που χρησιμοποιήθηκαν. Η μελέτη ήταν τόσο βιβλιογραφική, όσο και πειραματική και αποτέλεσε αφετηρία για την εντατική προσπάθεια για την προγραμματιστική ανάπτυξη του πράκτορα.

1.3. Δομή της Διπλωματικής

Μέχρι τώρα έγινε μια γενική εισαγωγή για τον επιστημονικό χώρο μέσα στον οποίο ανήκει το αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας. Παρουσιάστηκε επίσης επιγραμματικά το έναυσμα για την εργασία αυτή και το περιβάλλον δοκιμών και ελέγχου. Στα πλαίσια αυτά αναλύθηκαν οι στόχοι της εργασίας.

Ακολουθεί το **δεύτερο κεφάλαιο** που γίνεται μια εισαγωγή στην τεχνολογία πρακτόρων λογισμικού και πολυπρακτορικών συστημάτων, καθώς και των εννοιών της εμπιστοσύνης και της φήμης που εμφανίζονται στα συστήματα αυτά. Στη συνέχεια, γίνεται ανάλυση των συστημάτων εμπιστοσύνης και φήμης που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα. Συγκεκριμένα, γίνεται αρχικά μια ταξινόμηση των συστημάτων αυτών με βάση τα ιδιαίτερα γνωρίσματα και χαρακτηριστικά τους αλλά και των μηχανισμών που χρησιμοποιούν αυτά. Τέλος, περιγράφεται και ερμηνεύεται η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη τέτοιων μοντέλων.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** γίνεται μια περιγραφή του πλαισίου ανάπτυξης που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη του πράκτορα μας και της αρχιτεκτονικής του πλαισίου αυτού, αναλύοντας περισσότερο τα τμήματα που χρειάζεται να κατανοήσουμε για τον σωστό σχεδιασμό ενός πράκτορα που θα παίζει στο παιχνίδι αυτό. Επίσης, γίνεται λεπτομερής περιγραφή του παιχνιδιού και των κανόνων του,

στο οποίο καλείται ο πράκτορας να αποδείξει την αποτελεσματικότητά του. Στο τέλος του κεφαλαίου αναλύονται τα βασικά στοιχεία πρακτόρων που έχουν λάβει μέρος στο διεθνή διαγωνισμό του ART Testbed και αναφέρονται οι δυσκολίες που παρουσιάστηκαν κατά τη σχεδίαση τους, σύμφωνα με τους σχεδιαστές τους.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** παρουσιάζεται και αναλύεται η σχεδίαση και υλοποίηση ενός πράκτορα ικανού να συμμετάσχει σε αναξιόπιστα συστήματα πρακτόρων. Αρχικά γίνεται μια έρευνα με πειραματικές δοκιμές πάνω στο περιβάλλον του ART Testbed στο οποίο σχεδιάσθηκε ο πράκτορας μας και η κατανόηση των αρχών λειτουργίας του. Στη συνέχεια γίνεται αναλυτική περιγραφή βήμα προς βήμα των μεθόδων και στρατηγικών του πράκτορα με τις οποίες επιτεύχθει το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Τέλος στο **πέμπτο κεφάλαιο** γίνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων του πράκτορα *HerculAgent* πάνω στο περιβάλλον αυτό σε ρεαλιστικές συνθήκες με αντίπαλους πράκτορες από τον διεθνή διαγωνισμό του ART Testbed 2008 με χρήση γραφημάτων και πινάκων για καλύτερη αναπαράσταση και κατανόηση. Εν κατακλείδι εξάγονται κάποια συμπεράσματα από την μελέτη των αποτελεσμάτων και προτείνεται ένα πλαίσιο κατεύθυνσης για τη πιθανή βελτίωση της αποτελεσματικότητας του πράκτορα *HerculAgent*.

Κεφάλαιο 2. Συστήματα Εμπιστοσύνης και Φήμης

2.1. Εισαγωγικά

Οι πράκτορες γενικά αλληλεπιδρούν δίνοντας υποσχέσεις στους άλλους (κάνοντας συμβόλαια) ότι θα φέρουν εις πέρας συγκεκριμένες αποστολές. Ωστόσο, στην πραγματικότητα δεν υπάρχει καμία εγγύηση ότι ένας πράκτορας που έχει ένα συμβόλαιο, θα τηρήσει τις υποσχέσεις του. Αυτό συμβαίνει επειδή ο πράκτορας μπορεί να αποστατήσει με σκοπό να κερδίσει μεγαλύτερο όφελος (utility gain) ή εξαιτίας της αβεβαιότητας σχετικά με το αν η αποστολή που του έχει ανατεθεί μπορεί όντως να διεκπεραιωθεί. Σε αυτές τις περιπτώσεις τα υπολογιστικά Συστήματα Εμπιστοσύνης και Φήμης (ΣΕΦ) καλούνται να παίξουν ένα σημαντικό ρόλο. Αρχικά, να βοηθήσουν στην επιλογή του πιο αξιόπιστου συνεργάτη για να αλληλεπιδράσει ένας πράκτορας. Κατά δεύτερον, να επηρεάσουν τη διαδικασία αλληλεπίδρασης (για παράδειγμα, η θέση διαπραγμάτευσης ενός πράκτορα μπορεί να ποικίλει ανάλογα με το επίπεδο εμπιστοσύνης του “αντιπάλου”). Τρίτον, να ορίσουν ένα σύνολο από ζητήματα που χρειάζεται να διευθετηθούν σε ένα συμβόλαιο. Όσο μεγαλύτερο το επίπεδο της εμπιστοσύνης, τόσο λιγότερα είναι τα ζητήματα αυτά που πρέπει να ρυθμιστούν μέσα σε ένα συμβόλαιο.

2.2. Πράκτορες Λογισμικού

Η τεχνολογία των πρακτόρων λογισμικού, αποτελεί μια πρόσφατα εξελιγμένη περιοχή της πληροφορικής, η οποία στηρίζεται στην έννοια του *πράκτορα*. Ο βασικός ορισμός του πράκτορα είναι «*αυτός που ενεργεί για λογαριασμό κάποιου άλλου, έχοντας την εξουσιοδότηση αυτού*». Συγκεκριμένα όταν αναφερόμαστε σε *πράκτορες λογισμικού* (Software Agents) εννοούμε τους πράκτορες που πρέπει να ενεργούν για λογαριασμό του χρήστη ή κάποιου άλλου προγράμματος που τους ελέγχει. [WOO 95]

Ένας πράκτορας μπορεί ακόμη να απολαμβάνει ένα μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό ευφυΐας και να αυτοματοποιεί έτσι πιο σύνθετες εργασίες που απαιτούν υπολογισμούς και «σκέψη». Η τεχνολογία των ευφυών πρακτόρων συνδυάζει πολλές επιμέρους τεχνολογίες όπως είναι η *Τεχνητή Νοημοσύνη* (Artificial Intelligence - AI), η *Τεχνολογία Λογισμικού* (Software Engineering - SE), τα *Κατανεμημένα Συστήματα*, η *Κοινωνιολογία*, η *Ψυχολογία*, η *Οικονομική Επιστήμη* και οι επιστήμες *Οργάνωσης/Διοίκησης* μεταξύ άλλων. Πολλοί ερευνητές στο χώρο πιστεύουν ότι πραγματικά «ευφυής» πράκτορας δεν μπορεί να υπάρξει [NWA 96]. Παρόλα αυτά, ο χαρακτηρισμός «ευφυής» στην περίπτωση μας αντιπροσωπεύει την προγραμματιζόμενη ευφυΐα και δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να συγχέεται με την ανθρώπινη ευφυΐα [KNA 98].

Ένα άλλο θεμελιώδες χαρακτηριστικό των πρακτόρων αυτού του τύπου είναι ο *βαθμός αυτονομίας* τους. Επιπλέον, οι πράκτορες πρέπει να μπορούν να επικοινωνούν με άλλες οντότητες (πράκτορες ή χρήστες) και να ανταλλάσσουν πληροφορίες με απώτερο σκοπό την επίτευξη των αντικειμενικών τους στόχων. Μια επίσης σημαντική όψη της συμπεριφοράς τους είναι ο *βαθμός της προνοητικότητας* και ο *βαθμός της αντιδραστικότητας* που παρουσιάζουν. Τέλος, οι πράκτορες παρουσιάζουν έναν αριθμό από χαρακτηριστικά, τα βασικότερα από τα οποία είναι η *εκμάθηση* (learning), η *συνεργατικότητα* (cooperation) και η *κινητικότητα* (moving) [AGE 00].

Ένας λειτουργικός ορισμός που ικανοποιεί καλύτερα τις εφαρμογές των πρακτόρων στα επιστημονικά πεδία της Τεχνητής Νοημοσύνης και της Τεχνολογίας Λογισμικού είναι ο παρακάτω:

Ως πράκτορας ορίζεται η αυτόνομη οντότητα λογισμικού, η οποία, λειτουργώντας συνεχώς, εκτελεί ένα σύνολο ενεργειών για κάποιο σκοπό. Τις ενέργειες αυτές ο πράκτορας τις εκτελεί εκ μέρος κάποιου τρίτου, είτε ανθρώπου είτε συστήματος λογισμικού. Ο πράκτορας έχει την ικανότητα να αντιλαμβάνεται το περιβάλλον του μέσα από αισθητήρες και να ενεργεί μέσα από τους μηχανισμούς

επίδρασης (*effectors*), και μέσα από τη διαδικασία αυτή, να χρησιμοποιεί τη γνώση ή τις προτιμήσεις του ανθρώπου ή του συστήματος, για τον οποίο λειτουργεί [WOO 99].

Η καλύτερη κατανόηση της έννοιας του πράκτορα μπορεί να γίνει με την απόδοση ορισμένων ιδιοτήτων, που προέκυψαν από μια προσπάθεια περιγραφής των πρακτόρων με περισσότερο ανθρωπομορφικά χαρακτηριστικά. Αυτά τα γνωρίσματα είναι τα εξής:

- Αυτονομία,
- Διαδραστικότητα, που καθορίζεται από την αντιδραστικότητα και την προνοητικότητα,
- Προσαρμοστικότητα,
- Κοινωνικότητα,
- Συνεργατικότητα,
- Ανταγωνιστικότητα,
- Χρονική Συνέχεια,
- Προσωπικότητα,
- Ειλικρίνεια – Αξιοπιστία,
- Κινητικότητα και την
- Εκμάθηση.

Πολλές από τις παραπάνω ιδιότητες θεωρούνται απαραίτητες, ενώ άλλες απλώς σημαντικές για ένα πράκτορα. Ωστόσο οι περισσότεροι από τους ορισμούς που συναντώνται αποδέχονται ότι τα προαναφερθέντα γνωρίσματα είναι κοινά σε κάθε σύστημα λογισμικού που χαρακτηρίζεται ως «ευφυής πράκτορας».

Η τεχνολογία των πρακτόρων λογισμικού περιλαμβάνει ένα σύνολο από μεθοδολογίες και πρότυπα ανάπτυξης για την υλοποίηση συστημάτων με πράκτορες. Ένα ευρύ φάσμα πιο σύνθετων εφαρμογών επεκτείνει την έννοια του πράκτορα και απαιτεί τον ορισμό και υλοποίηση συστημάτων πολλών πρακτόρων, τα οποία ονομάζονται *Πολυπρακτορικά Συστήματα* (Multiagent Systems), ή κοινωνίες πρακτόρων. Οι αρχιτεκτονικές των ΠΠΣ βασίζονται στην εκμετάλλευση του συνδυασμού της αποτελεσματικότητας πολλών πρακτόρων σε ένα κατανομημένο περιβάλλον και στον ορισμό ενός αυστηρά ορισμένου και αποτελεσματικά συντονισμένου πλαισίου για την επικοινωνία και την συνεργασία των πρακτόρων. Μερικές παρατηρήσεις για τα πολυπρακτορικά περιβάλλοντα είναι οι εξής:

- Τα πολυπρακτορικά περιβάλλοντα περιέχουν μια δομή για τον καθορισμό πρωτοκόλλων επικοινωνίας και αλληλεπίδρασης.

- Τα πολυπρακτορικά περιβάλλοντα ακολουθούν μια τυπική ανοικτή αρχιτεκτονική και δεν έχουν κεντρικό σημείο ελέγχου.
- Τα πολυπρακτορικά περιβάλλοντα περιέχουν πράκτορες οι οποίοι είναι αυτόνομοι και καταναμημένοι στο χώρο, και μπορεί να δρουν είτε ατομικά είτε συνεργατικά.

2.3. Εμπιστοσύνη και Φήμη

Η έννοια της εμπιστοσύνης παραμένει κάπως ακαθόριστη και ασαφής ως προς την κατηγοριοποίηση της. Αν εστιάσουμε στους σκοπούς της έννοιας της εμπιστοσύνης, τότε προκύπτει η παρακάτω κατηγοριοποίηση [GRA 00]:

- *Εμπιστοσύνη Παροχής*: Ο πράκτορας *A* κρίνει την αξιοπιστία του πράκτορα *B*, με σκοπό να ανακτήσει έμπιστες υπηρεσίες ή πληροφορίες.
- *Εμπιστοσύνη Πρόσβασης*: Ο πράκτορας *A* κρίνει την αξιοπιστία του πράκτορα *B*, με σκοπό να εγγυηθεί ότι η πρόσβαση στις πληροφορίες που παρέχει ο *A* στον *B* είναι αξιόπιστη.
- *Εμπιστοσύνη Αντιπροσωπείας*: Ο πράκτορας *A* κρίνει την αξιοπιστία του πράκτορα *B*, με σκοπό την λήψη αποφάσεων και την εκτέλεση ενεργειών εκ μέρους του *B*.
- *Εμπιστοσύνη Ταυτότητας*: Ο πράκτορας *A* κρίνει την αξιοπιστία του πράκτορα *B*, με σκοπό να κατορθώσει την πίστη ότι η ταυτότητα του *B* είναι αυτή που ισχυρίζεται ο *B*.
- *Εμπιστοσύνη Περιβάλλοντος*: Ο πράκτορας *A* κρίνει την αξιοπιστία των απαραίτητων θεσμών με σκοπό να πετύχει την πίστη ότι αυτοί οι θεσμοί βρίσκονται στην σωστή θέση και δουλεύουν σωστά.

Η εμπιστοσύνη διαχέεται σε όλα τα επίπεδα των πολύ-πρακτορικών αλληλεπιδράσεων. Συνεπώς, όσον αφορά τη σχεδίαση των πρακτόρων και των ανοιχτών πολυπρακτορικών συστημάτων αντιλαμβανόμαστε την εμπιστοσύνη με τους παρακάτω τρόπους:

- **Εμπιστοσύνη σε ατομικό επίπεδο**, δια του οποίου κάθε πράκτορας έχει κάποιες δοξασίες επάνω στην ειλικρίνεια ή την ανταποδοτική φύση των πρακτόρων με τους οποίους αλληλεπιδρά.
- **Εμπιστοσύνη σε επίπεδο συστήματος**, δια του οποίου οι συμμετέχοντες στο σύστημα αναγκάζονται να είναι αξιόπιστοι από τους κανόνες της «συμπλοκής» (μηχανισμοί και πρωτόκολλα) που ορίζουν το σύστημα.

Οι ανωτέρω προσεγγίσεις μπορούν να θεωρηθούν ως συμπληρωματικές η μια με την άλλη. Έτσι, ενώ τα πρωτόκολλα (επίπεδο συστήματος) στοχεύουν στην

επιβεβαίωση της αξιοπιστίας των πρακτόρων σε επίπεδο του συστήματος, δεν μπορούν πάντα να πετύχουν αυτό τον στόχο χωρίς κάποια απώλεια στην αποδοτικότητα, και σε αυτές τις περιπτώσεις τα μοντέλα εμπιστοσύνης στο ατομικό επίπεδο παίζουν σημαντικό ρόλο στη λήψη αποφάσεων των πρακτόρων. Ομοίως, σε περιπτώσεις όπου τα μοντέλα εμπιστοσύνης σε ατομικό επίπεδο δεν μπορούν να αντιμετωπίσουν επιτυχώς την υπερβολική αβεβαιότητα του περιβάλλοντος, τα μοντέλα εμπιστοσύνης σε επίπεδο συστήματος, μέσα από βέβαιους μηχανισμούς, στοχεύουν να καθοδηγήσουν τις αλληλεπιδράσεις και να μειώσουν αυτή την αβεβαιότητα.

Συνοπτικά, τα μοντέλα εμπιστοσύνης επιτρέπουν:

- την αναγνώριση και την απομόνωση αναξιόπιστων πρακτόρων,
- την αξιολόγηση της χρησιμότητας μιας αλληλεπίδρασης και
- την απόφαση πότε και με ποιον θα αλληλεπιδράσει ένας πράκτορας.

2.3.1. Εμπιστοσύνη σε ατομικό επίπεδο

Στην εμπιστοσύνη σε ατομικό επίπεδο, βλέπουμε τα πράγματα από την σκοπιά ενός πράκτορα που δρα μέσα σε ένα ανοιχτό περιβάλλον προσπαθώντας να διαλέξει τον πιο αξιόπιστο από ένα σύνολο ενδεχόμενων πρακτόρων για να αλληλεπιδράσει, και αποφασίζοντας ποια στρατηγική θα υιοθετήσει στις αλληλεπιδράσεις του. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι μέσα από τους οποίους μπορεί ένας πράκτορας να κάνει τα παραπάνω. Καταρχάς θα μπορούσε να αλληλεπιδρά με άλλους πράκτορες και να μαθαίνει για την συμπεριφορά των άλλων μέσα από ένα αριθμό αλληλεπιδράσεων. Έτσι θα μπορούσε μελλοντικά να επιλέγει τους πιο αξιόπιστους για να συναλλάσσεται ή να αντιμετωπίζει τους λιγότερο αξιόπιστους. Ένας δεύτερος τρόπος θα ήταν να ρωτάει άλλους πράκτορες για την αντίληψη τους σχετικά με τους υποψήφιους πράκτορες για αλληλεπίδραση. Αν καταφέρει να συλλέξει αρκετές και έμπιστες πληροφορίες, τότε μπορεί επιτυχημένα να επιλέξει τους πράκτορες με τους οποίους θα αλληλεπιδράσει. Τέλος, ο πράκτορας θα μπορούσε να χαρακτηρίσει τα γνωστά κίνητρα των άλλων πρακτόρων. Αυτό συνεπάγεται την δημιουργία κατανοητών απόψεων σχετικά με διάφορα χαρακτηριστικά των πρακτόρων και μια λογική σχετικά με αυτές τις απόψεις με σκοπό να συνάγει τον βαθμό εμπιστοσύνης που θα τους καταλογίσει.

Σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτει η κατηγοριοποίηση των μοντέλων εμπιστοσύνης στο ατομικό επίπεδο ως *βασισμένα στη φήμη*, *βασισμένα στη μάθηση* και ως *κοινωνικό-γνωστικά μοντέλα*.

Τα μοντέλα που βασίζονται στη φήμη γίνονται πολύ χρήσιμα όταν εφαρμόζονται σε πολυπρακτορικά συστήματα με πολύ μεγάλο αριθμό πρακτόρων. Το πεδίο αυτό χωρίζεται στους παρακάτω τομείς έρευνας:

- την επινόηση μεθόδων για τη συγκέντρωση βαθμολογιών που καθορίζουν την αξιοπιστία ενός πράκτορα, χρησιμοποιώντας σχέσεις μεταξύ των μελών της κοινότητας,
- την επινόηση αξιόπιστων συλλογιστικών μεθόδων για την συγκέντρωση όσο το δυνατόν περισσότερων πληροφοριών από το σύνολο των βαθμολογιών που ανακτώνται από την κοινότητα και
- την επινόηση μηχανισμών για την προαγωγή βαθμολογιών που πραγματικά περιγράφουν την αξιοπιστία ενός πράκτορα.

Για την οργάνωση της ανάκτησης και της συγκέντρωσης των βαθμολογιών από άλλους πράκτορες τα περισσότερα μοντέλα φήμης δανείζονται την ιδέα του *κοινωνικού δικτύου* από την κοινωνιολογία. Παρόμοια με τις ανθρώπινες κοινωνίες, αυτή η προσέγγιση υποθέτει ότι οι πράκτορες σχετίζονται μεταξύ τους όταν αποκτούν ρόλους που τους διασυνδέουν ή σε περίπτωση που εγκαθίστανται σύνδεσμοι επικοινωνίας μεταξύ τους. Μέσα από αυτό το δίκτυο των κοινωνικών συσχετίσεων οι πράκτορες, όντας μάρτυρες των αλληλεπιδράσεων που συμβαίνουν γύρω τους, μπορούν να μεταδώσουν πληροφορίες ο ένας για τον άλλον. Έτσι αυτές οι πληροφορίες συνήθως με τη μορφή ενός συστήματος βαθμολογίας διαμοιράζονται μέσω των κόμβων του κοινωνικού δικτύου, δίνοντας έτσι νόημα στην έννοια της φήμης. Κάποιοι αλγόριθμοι που έχουν προταθεί κατά καιρούς για την εξαγωγή φήμης από κοινωνικά δίκτυα είναι οι HITS, PageRank και NodeRanking με αποτελεσματικότερο τον τελευταίο [SAR 04].

Ανεξάρτητα με το αν είναι βασισμένο σε μάθηση, φήμη ή αν είναι κοινωνικό-γνωστικό ένα μοντέλο εμπιστοσύνης για να χαρακτηριστεί **καλό** πρέπει να έχει τα παρακάτω γνωρίσματα [FUL 05]:

- **ακριβές**, δηλαδή να παρέχει καλές προβλέψεις,
- **προσαρμόσιμο**, δηλαδή να εξελίσσεται σύμφωνα με τις συμπεριφορές των άλλων,
- **ταχέως συγκλίσιμο**, δηλαδή να υπολογίζει γρήγορα ακριβείς τιμές,
- **πολύ-διάστατο**, δηλαδή να θεωρεί τα διαφορετικά χαρακτηριστικά των πρακτόρων και
- **αποτελεσματικό**, δηλαδή να υπολογίζει σε λογικό χρόνο και κόστος.

2.3.2. Εμπιστοσύνη σε επίπεδο συστήματος

Σε ένα περιβάλλον ανοιχτών πολυπρακτορικών συστημάτων, οι πράκτορες αλληλεπιδρούν μέσω ενός αριθμού μηχανισμών ή πρωτοκόλλων που υπαγορεύουν τους κανόνες των αλληλεπιδράσεων. Παραδείγματα τέτοιων μηχανισμών περιλαμβάνουν τις δημοπρασίες (auctions), τις ψηφοφορίες (voting), τα δίκτυα συμβολαίων (contract-nets), τους μηχανισμούς της αγοράς (market mechanisms) και τα παζάρια (bargaining) μεταξύ άλλων. Αυτοί οι μηχανισμοί θεωρούν τους πράκτορες εντελώς ιδιοτελείς και συνεπώς είναι αναγκαίο να εξασφαλίσουν ότι οι κανόνες των αλληλεπιδράσεων αποτρέπουν το ψέμα και τη συνωμοσία μεταξύ των συμμετεχόντων. Αυτοί οι κανόνες μπορούν να εφαρμοσθούν με διάφορους τρόπους. Αρχικά, είναι κάποιες φορές δυνατό να σχεδιασθεί ένα πρωτόκολλο αλληλεπιδράσεων τέτοιο ώστε οι πράκτορες που συμμετέχουν να μη βρίσκουν κανένα κέρδος όταν ψεύδονται ή συνωμοτούν. Έπειτα, η φήμη ενός πράκτορα ο οποίος (δεν) είναι ειλικρινής να διαδίδεται μέσω του συστήματος. Τέλος, οι πράκτορες μπορεί να εξετάζονται όταν εισέρχονται σε ένα σύστημα παρέχοντας αποδείξεις της αξιοπιστίας τους μέσω αναφορών από ένα αξιόπιστο τρίτο μέρος.

Πάνω σ' αυτό το υπόβαθρο, χωρίζουμε την έννοια της εμπιστοσύνης σε επίπεδο συστήματος σε:

- εφεύρεση πρωτοκόλλων αλληλεπιδράσεων εξαγωγής αλήθειας,
- στην ανάπτυξη μηχανισμών φήμης που υποδαυλίζουν αξιόπιστη συμπεριφορά και
- στην ανάπτυξη μηχανισμών ασφαλείας που βεβαιώνουν ότι οι νέοι εισερχόμενοι στην κοινότητα είναι αξιόπιστοι.

Παραδείγματα πρωτοκόλλων εξαγωγής αλήθειας είναι οι δημοπρασίες με πιο γνωστές τις “English”, “Dutch”, “First Price Sealed Bid” και “Vickrey”. Οι δημοπρασίες όμως, δεν είναι ανθεκτικές στα ψεύδη και τις συνωμοσίες, εκτός κι αν συνδυαστούν με κάποιο μηχανισμό ασφαλείας, όπως είναι για παράδειγμα οι τεχνικές κρυπτογράφησης.

Τα μοντέλα φήμης που αναλύθηκαν παραπάνω δεν λαμβάνουν υπόψιν τους ότι οι πράκτορες είναι ιδιοτελείς και συνεπώς δεν πρόκειται να μοιραστούν πληροφορίες εκτός και αν έχουν κάποιο όφελος. Επίσης τα μοντέλα φήμης σκοπεύουν στο να «βραβεύουν» κάποιους πράκτορες σε σχέση με τους αντίπαλους τους, χωρίς όμως να λαμβάνουν υπόψη την αντίδραση του αντιπάλου όταν αυτό γίνεται εν γνώσει του. Δεδομένων των μειονεκτημάτων αυτών των μοντέλων φήμης, οι μηχανισμοί φήμης θεωρούν το πρόβλημα της παρακίνησης αξιόπιστης

συμπεριφοράς και το σχεδιασμό της φήμης των πρακτόρων στο επίπεδο του συστήματος.

Οι μηχανισμοί φήμης μπορούν να λειτουργήσουν τόσο σε συγκεντρωτικά όσο και σε κατανεμημένα συστήματα που αποθηκεύουν βαθμολογίες που παρέχονται από τους πράκτορες και στη συνέχεια τις δημοσιεύουν έτσι ώστε όλοι οι πράκτορες να έχουν πρόσβαση σε αυτές. Σε αυτή την περίπτωση το σύστημα είναι αυτό που αναλαμβάνει την ανάκτηση και την συσσώρευση των βαθμολογιών σε αντίθεση με τα μοντέλα φήμης, όπου την διαδικασία αυτή την αναλάμβαναν οι πράκτορες. Έτσι οι μηχανισμοί φήμης μπορούν να ανιχνεύσουν ανεπιθύμη συμπεριφορά εκ μέρους των πρακτόρων. Συνοπτικά τα επιθυμητά χαρακτηριστικά ενός μηχανισμού φήμης είναι [ZAC 00]:

- Να υπάρχουν κυρώσεις σε περίπτωση αλλαγής ταυτότητας στην κοινότητα.
- Οι νέοι εισερχόμενοι στην κοινότητα δεν πρέπει να τιμωρούνται όταν αρχικά θα τους αποδίδεται χαμηλή βαθμολογία φήμης.
- Οι πράκτορες με χαμηλή βαθμολογία πρέπει να μπορούν να την αυξάνουν με όμοιο τρόπο με έναν νέο-εισαχθέντα.
- Το κόστος της απάτης πρέπει να είναι υψηλό.
- Οι πράκτορες που έχουν υψηλή βαθμολογία θα πρέπει να έχουν μικρότερη «ανοχή» από το σύστημα όταν προσποιούνται.
- Οι πράκτορες πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν ατομικές αποτιμήσεις.
- Οι πράκτορες πρέπει να έχουν μια μνήμη από τις τιμές φήμης και να δίνουν περισσότερη σημασία στις πιο πρόσφατες.

2.3.3. Ασφάλεια

Για να μπορούν να λειτουργήσουν σωστά τα μοντέλα και οι μηχανισμοί εμπιστοσύνης και φήμης που συζητήθηκαν προηγουμένως πρέπει να ικανοποιηθεί και η ανάγκη για την ασφάλεια του δικτύου. Για τον σκοπό αυτό προτάθηκε ένας αριθμός από απαιτήσεις ασφαλείας που είναι απαραίτητοι για να μπορούν οι πράκτορες να εμπιστευτούν ο ένας τον άλλον και να μπορούν τα μηνύματά τους να μεταδίδονται μέσω του δικτύου με ασφάλεια [POS 02]. Αυτές οι απαιτήσεις ασφαλείας είναι:

- η πιστοποίηση της ταυτότητας,
- η άδεια πρόσβασης,
- η ακεραιότητα των δεδομένων και
- η απομόνωση των δεδομένων.

2.4. Ταξινόμηση Συστημάτων ΕΦ

Η εμπιστοσύνη και η φήμη μπορούν να αναλυθούν από διάφορες πλευρές και να χρησιμοποιηθούν σε ένα μεγάλο εύρος περιπτώσεων. Το γεγονός αυτό κάνει την κατηγοριοποίηση των συστημάτων/μοντέλων αυτών ιδιαίτερα δύσκολη. Κατά καιρούς έχουν προταθεί διάφορες όψεις με τις οποίες μπορούμε να ταξινομήσουμε τα υπάρχοντα υπολογιστικά συστήματα εμπιστοσύνης και φήμης σε ένα πιο ξεκάθαρο τοπίο [SAB 05]. Τα κριτήρια της ταξινόμησης έχουν επιλεγεί με βάση τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των υπαρχόντων μοντέλων και το περιβάλλον μέσα στο οποίο αυτά αναπτύσσονται.

2.4.1. Ταξινόμηση ως προς το Εννοιολογικό Μοντέλο

Σύμφωνα με το εννοιολογικό μοντέλο αναφοράς, τα συστήματα ΕΦ (Εμπιστοσύνης και Φήμης) μπορούν να χαρακτηριστούν ως:

- **Γνωσιακά (Cognitive).** Στα μοντέλα που βασίζονται στην γνωσιακή προσέγγιση, η εμπιστοσύνη και η φήμη προέρχονται από θεμελιώδεις δοξασιές και είναι συνάρτηση του βαθμού των δοξασιών αυτών [ESF 01]. Στην προσέγγιση αυτή οι νοητικές καταστάσεις που οδηγούν στην εμπιστοσύνη απέναντι σε έναν άλλο πράκτορα ή στην απονομή φήμης, καθώς και οι νοητικές συνέπειες της επίκλησης σε έναν άλλο πράκτορα είναι ένα θεμελιώδες μέρος του μοντέλου.
- **Βασισμένα στη θεωρία των παιγνίων (Game theoretical).** Η εμπιστοσύνη και η φήμη θεωρούνται ως υποκειμενικές πιθανότητες με τις οποίες ένα άτομο *A* περιμένει από ένα άτομο *B* να εκπληρώσει μια συγκεκριμένη εργασία που του έχει ανατεθεί, από την οποία εξαρτάται η ευημερία του. [GAM 90] Εδώ η εμπιστοσύνη και η φήμη δεν είναι αποτέλεσμα μιας νοητικής κατάστασης του πράκτορα σε μια γνωστική έννοια, αλλά το αποτέλεσμα ενός πραγματικού παιχνιδιού με συναρτήσεις ωφέλειας (utility functions) και αριθμητική άθροιση των παρελθόντων αλληλεπιδράσεων.

2.4.2. Ταξινόμηση ως προς τις Πηγές πληροφοριών

Τα συστήματα ΕΦ μπορούν επίσης να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τις πηγές από τις οποίες παίρνουν πληροφορίες με σκοπό να υπολογίσουν τις τιμές της εμπιστοσύνης και της φήμης. Οι άμεσες εμπειρίες (αλληλεπιδράσεις) και οι

πληροφορίες από μάρτυρες είναι παραδοσιακές πηγές που χρησιμοποιούνται από τα συστήματα ΕΦ. Επιπρόσθετα μερικά μοντέλα έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούν πληροφορίες που σχετίζονται με κοινωνιολογικές όψεις της συμπεριφοράς των πρακτόρων.

Το είδος των πληροφοριών που είναι διαθέσιμες σε ένα πράκτορα εξαρτάται στις αισθητήριες ικανότητες του. Σε περίπτωση που η χρήση των πληροφοριών που λαμβάνει ένας πράκτορας γίνεται με έξυπνο τρόπο από το μοντέλο, αυξάνεται η αξιοπιστία των τιμών ΕΦ που υπολογίζει, αλλά αυξάνει και την πολυπλοκότητα του μοντέλου. Επίσης σενάρια που επιτρέπουν τους πράκτορες να δέχονται διάφορες πληροφορίες απαιτούν πιο έξυπνους και κατά συνέπεια πολυπλοκότερους πράκτορες.

- **Άμεσες εμπειρίες.** Αυτές είναι αναμφισβήτητα οι πιο σχετικές και αξιόπιστες πηγές πληροφοριών για ένα σύστημα ΕΦ. Υπάρχουν 2 τύποι άμεσων εμπειριών. Ο πρώτος και πιο διαδεδομένος είναι οι εμπειρίες που βασίζονται σε άμεσες αλληλεπιδράσεις με έναν άλλο πράκτορα. Ο δεύτερος τύπος είναι οι εμπειρίες στην παρατήρηση αλληλεπιδράσεων άλλων μελών της κοινότητας. Ο δεύτερος τύπος δεν είναι τόσο συχνός και μοντέλα που τον επιτρέπουν εμπεριέχουν ένα συγκεκριμένο επίπεδο θορύβου στις πληροφορίες που λαμβάνουν.
- **Πληροφορίες παρατηρητών.** Οι πληροφορίες παρατηρητών (ή έμμεσες πληροφορίες), είναι αυτές που προέρχονται από άλλα μέλη της κοινότητας. Αυτές οι πληροφορίες μπορεί να βασίζονται στις δικές τους άμεσες εμπειρίες ή σε πληροφορίες που δέχθηκαν από τρίτους. Αν και οι άμεσες εμπειρίες είναι οι πιο αξιόπιστες πηγές πληροφοριών, οι έμμεσες πληροφορίες είναι οι πιο πολλές. Παρόλα αυτά όμως, είναι πολύ πιο σύνθετο και δύσκολο για τα συστήματα ΕΦ να τις χρησιμοποιήσουν. Η αιτία είναι η αβεβαιότητα που χαρακτηρίζει αυτό το είδος της πληροφορίας. Δεν είναι σπάνιο οι παρατηρητές να τροποποιούν ή να αποκρύπτουν μέρος της πληροφορίας για δικό τους όφελος.
- **Κοινωνιολογικές πληροφορίες.** Η βάση αυτής της γνώσης είναι οι κοινωνικές σχέσεις των πρακτόρων και ο ρόλος που έχουν οι πράκτορες αυτοί μέσα στην κοινωνία. Στον πραγματικό κόσμο, τα άτομα που ανήκουν σε μια συγκεκριμένη κοινότητα καθιερώνουν διαφορετικούς τύπους σχέσεων μεταξύ τους. Παραδείγματα τέτοιων σχέσεων είναι η εξάρτηση, το επάγγελμα, ο ανταγωνισμός, η συνεργασία κτλ. Επίσης, κάθε άτομο έχει ένα συγκεκριμένο ρόλο μέσα στην κοινότητα. Οι σχέσεις και ο ρόλος ή οι ρόλοι

που έχει ένα άτομο καθορίζουν τη συμπεριφορά και τις αλληλεπιδράσεις του με τα άλλα μέλη της κοινότητας.

Οι κοινωνικές σχέσεις που υπάρχουν ανάμεσα στους πράκτορες ενός ΠΠΣ είναι ένα απλοποιημένο είδωλο των πιο σύνθετων σχέσεων ανάμεσα στους ανθρώπους. Τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερα συστήματα ΕΦ χρησιμοποιούν αυτή τη γνώση εφαρμοσμένη στις κοινωνίες των πρακτόρων για να υπολογίσουν ή να βελτιώσουν τον υπολογισμό των τιμών εμπιστοσύνης και φήμης. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν τεχνικές της *Ανάλυσης Κοινωνικών Δικτύων*. (Social Network Analysis). Η ανάλυση των Κοινωνικών Δικτύων είναι η επιστήμη που μελετά τις σχέσεις μεταξύ των ατόμων μιας κοινωνίας που αναδύεται ως ένα σύνολο μεθόδων για την ανάλυση των κοινωνικών δομών, μέθοδοι που σχεδιάζονται έτσι ώστε να επιτρέπουν την έρευνα των σχεσιακών όψεων των κοινωνικών δομών. Η χρήση των μεθόδων αυτών εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα σχεσιακών δεδομένων [SCO 00].

- **Προκατάληψη.** Η χρήση της προκατάληψης στον υπολογισμό των τιμών εμπιστοσύνης και φήμης είναι ένας ακόμα μηχανισμός που δεν χρησιμοποιείται συχνά αλλά υπάρχει στα συστήματα ΕΦ. Προκατάληψη είναι ο μηχανισμός που απονέμει ιδιότητες, όπως για παράδειγμα η φήμη, σε ένα άτομο, με βάση χαρακτηριστικά που πιστοποιούν ότι το άτομο είναι μέλος μιας συγκεκριμένης ομάδας. Αυτά τα χαρακτηριστικά μπορεί να είναι μια στολή ή μια στερεότυπη συμπεριφορά. Μια καλή ανάλυση της χρήσης τέτοιων χαρακτηριστικών παρουσιάστηκε στο [BAC 01].

Για τους περισσότερους ανθρώπους σήμερα η λέξη «προκατάληψη» υποδηλώνει μια αρνητική συμπεριφορά απέναντι σε μια κοινωνική ομάδα, συνήθως με ρατσιστικές ρίζες. Ωστόσο η αρνητική χροιά του όρου αυτού πρέπει να αναθεωρηθεί όταν χρησιμοποιείται στις κοινωνίες των πρακτόρων. Σε αντίθεση με τα χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται στις ανθρώπινες κοινωνίες όπως είναι το χρώμα του δέρματος και το φύλλο, το σύνολο των χαρακτηριστικών που χρησιμοποιούνται στα συστήματα ΕΦ συνήθως, δεν είναι θέμα δεοντολογικής συζήτησης.

2.4.3. Ταξινόμηση ως προς τον Τύπο ορατότητας

Η εμπιστοσύνη και η φήμη ενός ατόμου μπορούν είτε να θεωρηθούν ως κοινή ιδιοκτησία που την μοιράζονται όλοι οι παρατηρητές, είτε ως προσωπική ιδιοκτησία που καθορίζεται ιδιαιτέρως από το κάθε άτομο.

Στην πρώτη περίπτωση, οι τιμές ΕΦ υπολογίζονται από τις γνώμες των ατόμων που στο παρελθόν αλληλεπίδρασαν με το άτομο το οποίο κρίνεται. Αυτή η τιμή είναι δημόσια διαθέσιμη σε όλα τα μέλη της κοινότητας και ενημερώνεται κάθε φορά που ένα μέλος ισχυρίζεται μια νέα αποτίμηση ενός ατόμου. Στην δεύτερη περίπτωση, κάθε άτομο εκχωρεί μια προσωπική τιμή ΕΦ σε κάθε μέλος της κοινότητας σύμφωνα με πιο προσωπικά στοιχεία, όπως οι άμεσες εμπειρίες, οι πληροφορίες που συλλέγει από παρατηρητές, γνωστές σχέσεις των μελών της κοινότητας κτλ. Στην περίπτωση αυτή, δεν μπορούμε να αναφερόμαστε στην εμπιστοσύνη/φήμη ενός ατόμου Χ, αλλά πρέπει να αναφερόμαστε για την εμπιστοσύνη/φήμη ενός ατόμου Χ, από την οπτική πλευρά ενός ατόμου Υ. Αυτά τα συστήματα προορίζονται για μεσαίου και μικρού μεγέθους περιβάλλοντα, όπου οι πράκτορες συναντώνται συχνά και έτσι είναι πιθανό να δημιουργούν ισχυρούς δεσμούς μεταξύ τους.

Στην περίπτωση που η εμπιστοσύνη και η φήμη θεωρούνται ως δημόσια ιδιοκτησία, είναι διαδεδομένος στους άμεσα συνδεδεμένους μηχανισμούς φήμης (online reputation mechanisms). Αυτά τα συστήματα προορίζονται για σενάρια με χιλιάδες ή ακόμα και εκατομμύρια χρήστες. Έτσι το μέγεθος των σεναρίων αυτών κάνει σχεδόν αδύνατη την επαναλαμβανόμενη αλληλεπίδραση μεταξύ ενός συγκεκριμένου ζευγαριού πρακτόρων, με αποτέλεσμα να μειώνει το κίνητρο των πρακτόρων για συνεργασία με απώτερο στόχο την ανάπτυξη κερδοσκοπικών σχέσεων [DEL 03].

Επίσης, στα συστήματα αυτά που θεωρούν την εμπιστοσύνη και τη φήμη ως δημόσια ιδιοκτησία, βασικό πρόβλημα είναι η έλλειψη της εξατομίκευσης των τιμών αυτών. Κάτι που θεωρείται κακό για έναν πράκτορα μπορεί να είναι αποδεκτό από κάποιον άλλο πράκτορα ή και το αντίστροφο. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να είναι αποδεκτή για απλά σενάρια που είναι πιθανό να ανατεθεί ένας κοινός «τρόπος σκέψης» σε όλα τα μέλη της κοινότητας, δεν είναι χρήσιμη όμως όταν οι πράκτορες έχουν να αντιμετωπίσουν πιο πολύπλοκες και υποκειμενικές υποθέσεις.

2.4.4. Ταξινόμηση ως προς την Υπόθεση Συμπεριφοράς των Πρακτόρων

Η κατηγοριοποίηση των συστημάτων εμπιστοσύνης και φήμης που περιγράφεται εδώ απορρέει από την ικανότητα της αντιμετώπισης πρακτόρων που παρουσιάζουν διαφορετικούς βαθμούς συμπεριφορών εξαπάτησης. Από αυτή την άποψη, υπάρχουν τρία επίπεδα για την κατηγοριοποίηση των συστημάτων ΕΦ, σύμφωνα με τις παρατηρήσεις των αναλυτών των συστημάτων αυτών:

- **Επίπεδο 0.** Δεν παρατηρούνται συμπεριφορές εξαπάτησης. Το μοντέλο βασίζεται σε ένα μεγάλο αριθμό πρακτόρων που προσφέρουν τίμιες βαθμολογίες, για να αντισταθμίσει τις πιθανές επιπτώσεις από τις βαθμολογίες που προέρχονται από μοχθηρούς πράκτορες.
- **Επίπεδο 1.** Το μοντέλο θεωρεί ότι οι πράκτορες μπορούν να αποκρύπτουν ή να προδιαθέτουν τις πληροφορίες, αλλά όχι να ψεύδονται.
- **Επίπεδο 2.** Το μοντέλο έχει συγκεκριμένους μηχανισμούς για να αντιμετωπίζει τους πράκτορες που ψεύδονται.

2.4.5. Ταξινόμηση ως προς τον Τύπο των συναλλασσόμενων πληροφοριών

Το κριτήριο ταξινόμησης εδώ είναι ο τύπος των πληροφοριών που αναμένονται από τους παρατηρητές. Μπορούμε να θεωρήσουμε δύο μεγάλες ομάδες. (i) Τα μοντέλα που υποθέτουν δυαδικές πληροφορίες, και (ii) τα μοντέλα που χειρίζονται μεγέθη συνεχούς μέτρου. Αν και φαίνεται μικρή η διαφορά, η επιλογή ανάμεσα στις δύο αυτές προσεγγίσεις έχει πολύ μεγάλη επίδραση στο σχεδιασμό του συστήματος. Συνήθως, τα μοντέλα που βασίζονται σε πιθανοτικές μεθόδους δουλεύουν με δυαδικές πληροφορίες, ενώ τα μοντέλα που βασίζονται σε αθροιστικούς μηχανισμούς χρησιμοποιούν συνεχή μεγέθη.

2.4.6. Ταξινόμηση ως προς το Μέτρο αξιοπιστίας της Εμπιστοσύνης και της Φήμης

Τέλος, μια κατηγοριοποίηση των συστημάτων εμπιστοσύνης και φήμης προκύπτει από την απάντηση στο ερώτημα αν τα συστήματα αυτά παρέχουν ένα μέτρο της αξιοπιστίας των τιμών ΕΦ που εξάγουν. Κάποιες φορές είναι πολύ σημαντικό, πέρα από τις τιμές της εμπιστοσύνης και φήμης αυτές καθαυτές, να γνωρίζουμε πόσο αξιόπιστες είναι οι τιμές αυτές και ποια πρέπει να είναι η συμμετοχή τους στην εξαγωγή της τελικής απόφασης. Κάποια μοντέλα ενσωματώνουν μηχανισμούς που παρέχουν αυτό το είδος της πληροφορίας. Στα περισσότερα μοντέλα το μέτρο αυτό είναι μια απλή τιμή που συνδέεται με την τιμή της εμπιστοσύνης ή της φήμης. Ανάλογα με το μοντέλο, τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του μέτρου της αξιοπιστίας είναι διαφορετικά. Ανάμεσα τους παρατηρούνται στοιχεία όπως, ο αριθμός των αλληλεπιδράσεων, η αξιοπιστία των παρατηρητών, η ηλικία των πληροφοριών που

χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή της εμπιστοσύνης και της φήμης και ούτω καθεξής.

Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει τις κατηγορίες που προέκυψαν από την ταξινόμηση των συστημάτων εμπιστοσύνης και φήμης.

Πίνακας 2. 1: Ταξινόμηση Υπολογιστικών Μοντέλων Εμπιστοσύνης και Φήμης.

Εννοιολογικό Μοντέλο	Γνωστικά Βασισμένα στη θεωρία των παιγνίων
Πηγές Πληροφοριών	Άμεσες αλληλεπιδράσεις Άμεσες παρατηρήσεις Πληροφορίες παρατηρητών Κοινωνιολογικές Πληροφορίες Προκατάληψη
Ορατότητα	Προσωπικά Καθολικά
Συμπεριφορές Πρακτόρων	Επίπεδο 0 Επίπεδο 1 Επίπεδο 2

2.5. Αρχές Λειτουργίας ενός Μοντέλου ΕΦ

Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των πρακτόρων μέσα σε μια κοινωνία ΕΦ περνούν μέσα από τρία βασικά στάδια. Αρχικά διεξάγεται ένας διάλογος διαπραγμάτευσης κατά τη διάρκεια του οποίου συμφωνούνται οι όροι του συμβολαίου και οι πράκτορες απονέμουν ένα αναμενόμενο όφελος στο συμβόλαιο. Στη συνέχεια υπάρχει η φάση της εκτέλεσης, κατά την οποία υπάρχουν ευκαιρίες για τον συμβαλλόμενο πράκτορα να εξαπατήσει. Τέλος, υπάρχει η φάση αξιολόγησης των αποτελεσμάτων, όπου ο πράκτορας-πελάτης αξιολογεί το αποτέλεσμα της αποστολής που ανατέθηκε στον συμβαλλόμενο πράκτορα και εξάγει την χρησιμότητα της αλληλεπίδρασης (utility). Στις περιπτώσεις που ένας πράκτορας έχει κίνητρο για να εξαπατήσει, ο πράκτορας-πελάτης μπορεί να κρίνει αν ο συμβαλλόμενος πράκτορας είναι αξιόπιστος αξιολογώντας την επίδοσή του, σχετικά με το αρχικά συμφωνημένο συμβόλαιο, δεδομένης της αντίληψής του στο κύριο καθήκον και του περιβάλλοντος.

Έτσι, η τιμή της εμπιστοσύνης για ένα συγκεκριμένο πράκτορα όσον αφορά ένα συγκεκριμένο καθήκον χρειάζεται να συμπεριλάβει το ενδεχόμενο ρίσκο ή απώλεια της χρησιμότητας (που σχετίζεται με το καθήκον αυτό), σε ένα συμβόλαιο, δεδομένων των πληροφοριών σχετικά με το περιβάλλον στο οποίο υλοποιείται το συμβόλαιο αυτό [MAR 94]. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι η συνεργασία κάτω από συνθήκες υψηλού ρίσκου παρουσιάζει μεγαλύτερη αξιοπιστία [YAM 98].

Οι τιμές της εμπιστοσύνης με τον τρόπο αυτό που εξάγονται, μπορούν να καθοδηγήσουν μελλοντικές διαπραγματεύσεις συμβολαίων με σκοπό να εξασφαλίσουν ότι οι εγγυητές θα προνοούν για πιθανές απώλειες. Έτσι, αν η τιμή της εμπιστοσύνης είναι επαρκώς μεγάλη, ο συμβαλλόμενος πράκτορας θεωρείται αξιόπιστος. Αυτό συνεπάγεται μείωση του χρόνου που απαιτείται για την αναζήτηση ενδεχόμενων συνεργατών και την διαπραγμάτευση σχετικά με τους εγγυητές που θα συμβάλλουν στο συμβόλαιο, δίνοντας έτσι περισσότερο χρόνο στον συμβαλλόμενο πράκτορα να φέρει εις πέρας το έργο που του ανατέθηκε από τη συμφωνία. Αντιθέτως, όταν η τιμή της φήμης είναι χαμηλή, οι πράκτορες μπορεί να ξοδεύουν αρκετό χρόνο αναζητώντας άλλους εγγυητές για τα συμβόλαια που θέλουν να πραγματοποιήσουν, ή προσπαθώντας να αποφύγουν μελλοντικές συναλλαγές με τέτοιους εγγυητές.

Με βάση αυτά τα δεδομένα έχουν αναπτυχθεί αρκετά μοντέλα Εμπιστοσύνης και Φήμης. Στο μοντέλο [M 1994] για παράδειγμα, η εμπιστοσύνη παίρνει τιμές μεταξύ 1 και -1 και υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη το ρίσκο σε μια αλληλεπίδραση και το επίπεδο της ικανότητας του συμμετόχου στην αλληλεπίδραση αυτή. Όμως αυτές οι σκέψεις δεν βασίζονται σε κάποια ακριβή θεμελίωση και δεν λαμβάνουν υπόψη την προηγούμενη εμπειρία και τις τιμές της φήμης του πράκτορα με τον οποίο συμβαίνει η αλληλεπίδραση. Στο μοντέλο [SAB 02], η φήμη συμβολίζει την εμπιστοσύνη και τα επίπεδα της ικανότητας συλλέγονται από το κοινωνικό δίκτυο στο οποίο είναι ενσωματωμένοι οι πράκτορες. Η κύρια αξία αυτού του μοντέλου βρίσκεται στον τρόπο που δείχνει πώς η φήμη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθοδηγήσει την θέση των πρακτόρων στις διαπραγματεύσεις, αλλά η αποτίμηση των άμεσων αλληλεπιδράσεων είναι υπερβολικά απλή και δεν υπολογίζει την απώλεια χρησιμότητας καθώς και το περιβάλλον. Οι [MUI 02] υιοθετούν μια πιθανοτική προσέγγιση στην μοντελοποίηση της εμπιστοσύνης, η οποία συμπεριλαμβάνει τις προηγούμενες συναλλαγές, όσο και τις πληροφορίες της φήμης. Ωστόσο δεν διαφαίνεται πώς μπορεί το μοντέλο να βοηθήσει έναν πράκτορα στη λήψη αποφάσεων, αφού η τιμή της εμπιστοσύνης δεν εξαρτάται από τις αθετήσεις των όρων των συμβολαίων. Σε ένα πιο ρεαλιστικό υπόβαθρο οι [WIT 01] αναπτύσσουν ένα αντικειμενικό μέτρο εμπιστοσύνης από την αποτίμηση των προηγούμενων επιδόσεων. Εν τούτοις, η προσέγγιση αυτή

απλοποιεί σε μεγάλο βαθμό το πρόβλημα της μοντελοποίησης της εμπιστοσύνης και αποφεύγει τα μέτρα της φήμης που θα μπορούσαν να περιλάβουν την επίδοση των πρακτόρων τους.

2.6. Δομή ενός Μοντέλου ΕΦ

Συνολικά, η δομή ενός επιτυχημένου συστήματος Εμπιστοσύνης και Φήμης εξαρτάται από τους εξής παράγοντες: (i) τις αποδείξεις που μπορεί ενδεχομένως το σύστημα να παρέχει στους πράκτορες, (ii) τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για να αποκτηθούν οι παραπάνω αποδείξεις και, (iii) τον τρόπο που χειρίζεται ένας πράκτορας αυτές τις αποδείξεις για να εξάγει την εμπιστοσύνη κάποιου πράκτορα που θέλει να αξιολογήσει. Προφανώς, οι τεχνικές για την απόκτηση και διαχείριση των αποδείξεων είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με τις συγκεκριμένες αποδείξεις που μπορεί να παρέχει το σύστημα.

Σε γενικές γραμμές, στα υπάρχοντα συστήματα ΕΦ υπάρχουν συγκεκριμένες κατευθύνσεις από τις οποίες εξάγεται η τελική τιμή της εμπιστοσύνης ενός πράκτορα απέναντι σε κάποιον τρίτο πράκτορα. Μερικές από τις κατευθύνσεις αυτές είναι:

- Οι εκ των προτέρων διαθέσιμες πληροφορίες, όπως είναι κάποια πρωτόκολλα, πολιτικές και μηχανισμοί που λειτουργούν ως εγγυητές της εμπιστοσύνης.
- Οι προσωπικές αλληλεπιδράσεις των πρακτόρων.
- Οι πληροφορίες των παρατηρητών.
- Η εξαγωγή της εμπιστοσύνης με χρήση των μοντέλων και μηχανισμών *Φήμης*. Η κατεύθυνση αυτή αναπτύσσεται συνεχώς τα τελευταία χρόνια και κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική. Η εξαγωγή της *Φήμης* γίνεται μέσω των κοινωνιολογικών πληροφοριών που παρέχονται από τα κοινωνικά δίκτυα (Social Networks) που ανήκουν οι πράκτορες.

Κάθε μοντέλο βέβαια συνήθως προσανατολίζεται περισσότερο σε κάποια ή κάποιες από αυτές τις κατευθύνσεις και λιγότερο ή και καθόλου σε κάποιες άλλες.

2.6.1. Εξαγωγή Εμπιστοσύνης από τις εκ των προτέρων πληροφορίες

Όταν ένας πράκτορας δρα σύμφωνα με τις αρχές των πρωτοκόλλων, των πολιτικών και των μηχανισμών που πιστοποιούν την εμπιστοσύνη και πληροί τις προϋποθέσεις τους, τότε οι μηχανισμοί αυτοί βεβαιώνουν ότι αυτός ο πράκτορας είναι έμπιστος. Προφανώς, οι βασικές εκ των προτέρων διαθέσιμες πληροφορίες αποτιμούν την πιστοποιημένη ταυτότητα και εξουσιοδότηση. Αυτός ο τύπος των αποδείξεων είναι συνήθως συνδεδεμένος με τα παραδοσιακά συστήματα και τις πολιτικές ασφαλείας.

Ένα άλλο είδος εκ των προτέρων διαθέσιμων πληροφοριών για την εξαγωγή της εμπιστοσύνης δίνεται από τα πρωτόκολλα αλληλεπίδρασης εξαγωγής της αλήθειας [RAM 04]. Αυτά τα πρωτόκολλα θεσπίζουν κανόνες που κατευθύνουν τις δράσεις των ατόμων κατά την αλληλεπίδραση και τις πληροφορίες που παρουσιάζονται από τους πράκτορες κατά τη διάρκεια της αλληλεπίδρασης. Κάτω από την εποπτεία αυτών των πρωτοκόλλων ο πράκτορας δεν μπορεί να βρει καλύτερη λύση, από το να πει την αλήθεια.

Οι αποδείξεις που παρατέθηκαν παραπάνω θεωρούνται εκ των προτέρων διαθέσιμες πληροφορίες, επειδή ο πράκτορας μπορεί να τις αποκομίσει χωρίς να έχει κάποια εμπειρία. Από την γνωσιακή πλευρά της εμπιστοσύνης, οι σχετικές απόψεις που θεμελιώνουν την εμπιστοσύνη ενός πράκτορα [CAS 01] σχηματίζονται χωρίς αιτιολογία. Με άλλα λόγια, οι πεποιθήσεις των πρακτόρων που βασίζονται σε αυτές τις αποδείξεις μεταλαμπαδεύονται στους πράκτορες εκ των προτέρων σαν γνώση από τον σχεδιαστή του ΠΠΣ. Με αυτό τον τρόπο οι εκ των προτέρων διαθέσιμες πληροφορίες μπορούν να επιδίδουν εμπιστοσύνη ακόμα και χωρίς τις διαδικασίες της ανάκτησης και της διαχείρισης. Ωστόσο σε ανοιχτά κατανεμημένα συστήματα μεγάλης έκτασης οι εκ των προτέρων διαθέσιμες πληροφορίες είναι πολύ δύσκολο να χρησιμοποιηθούν, εξαιτίας των δυσκολιών της σχεδίασης αποτελεσματικών πρωτοκόλλων, πολιτικών και μηχανισμών.

2.6.2. Εξαγωγή Εμπιστοσύνης από τις άμεσες αλληλεπιδράσεις

Οι άμεσες εμπειρίες είναι οι πιο σχετικές και αξιόπιστες πηγές αποδείξεων για την διαχείριση της εμπιστοσύνης. Αναφέρονται στην εμπειρία που αποκτά ένας πράκτορας μέσα από τις άμεσες αλληλεπιδράσεις που έχει με άλλους πράκτορες μέσα σε μια κοινότητα. Διατηρώντας ένα κατάλληλο ιστορικό από τις αλληλεπιδράσεις που είχε, ένας πράκτορας μπορεί να συμπεράνει την εμπιστοσύνη

που μπορεί να έχει στον πράκτορα που συναλλάσσεται. Στην πραγματικότητα, το μέγεθος του ιστορικού των αλληλεπιδράσεων είναι ένα από τα ζητήματα-κλειδιά στις αποδείξεις άμεσων εμπειριών. Από την επιλογή του μεγέθους αυτού εξαρτάται η ισορροπία ανάμεσα στην αποτελεσματικότητα των αποδείξεων και την αποδοτικότητα του μηχανισμού εξαγωγής συμπερασμάτων.

Σε κάποια συστήματα που δίνουν αρκετή βαρύτητα σε αυτή την κατεύθυνση, για την εξαγωγή της εμπιστοσύνης [RAM 03], χρησιμοποιείται μια συνάρτηση χρησιμότητας που παίρνει συνεχείς τιμές. Στο συγκεκριμένο πρότυπο παίρνει τιμές στο διάστημα $[-1, 1]$ και αξιολογεί με αυτό τον τρόπο το κέρδος ή την απώλεια από κάθε συναλλαγή. Άλλα μοντέλα που δεν εστιάζουν ιδιαίτερα σε αυτή την κατεύθυνση χρησιμοποιούν δυαδικές τιμές για να αξιολογήσουν αν ένας πράκτορας συνεργάζεται ή όχι κατά τη διάρκεια μιας αλληλεπίδρασης [MH 2002].

2.6.3. Εξαγωγή της Εμπιστοσύνης από πληροφορίες παρατηρητών

Οι αποδείξεις από τις πληροφορίες των παρατηρητών προέρχονται από άλλα μέλη της κοινότητας. Οι πληροφορίες αυτές μπορεί να προέκυψαν είτε από προσωπικές τους άμεσες εμπειρίες, είτε να τις συγκέντρωσαν και αυτοί με τη σειρά τους από άλλους πράκτορες. Η κατεύθυνση αυτή εμπεριέχει μεγάλο ρίσκο και δεν χρησιμοποιείται συχνά από τα υπάρχοντα μοντέλα ΕΦ, αν και όταν δεν υπάρχουν εκ των προτέρων διαθέσιμες πληροφορίες και ένας πράκτορας εισάγεται σε ένα ΠΠΣ και δεν έχει προηγούμενες εμπειρίες από το σύστημα αυτό.

Στο μοντέλο που ανέπτυξαν οι [GOM 07], οι πληροφορίες παρατηρητών χρησιμοποιούνται και διαχωρίζονται σε διαφορετικές κατηγορίες, ανάλογα με το αν προκύπτουν από προσωπικές εμπειρίες των παρατηρητών ή αν και αυτοί με τη σειρά τους τις δέχτηκαν έμμεσα από κάποιον άλλο πράκτορα. Για κάθε κατηγορία σχηματίζεται μια ξεχωριστή συνάρτηση χρησιμότητας, και στο τέλος υπάρχει μια συλλογιστική για την εξαγωγή της τιμής της εμπιστοσύνης σε συνδυασμό με τη συνάρτηση χρησιμότητας των άμεσων εμπειριών.

2.6.4. Εξαγωγή της Εμπιστοσύνης από τα μοντέλα και τους μηχανισμούς Φήμης

Η Φήμη είναι η πιο ευρέως και συχνά χρησιμοποιημένη ιδέα στην διαχείριση της εμπιστοσύνης στα Πολυπρακτορικά Συστήματα. Εν τούτοις, η ερμηνεία της Φήμης ποικίλει σε διαφορετικές εφαρμογές εξαιτίας των διαφορετικών

προσεγγίσεων της. Γενικά, μπορούμε να πούμε ότι η *Φήμη* μπορεί να αναφέρεται σε τρεις όψεις (επίπεδα) των βαθμολογιών που χαρακτηρίζουν την εμπιστοσύνη ενός πράκτορα: την ατομική βαθμολογία, τη συλλογική βαθμολογία και τη μετάδοση της βαθμολογίας. Όσον αφορά τις βαθμολογίες, οι τεχνικές που χειρίζονται τη φήμη διακρίνονται σε δυο κατηγορίες:

- ☒ τις τεχνικές για την ανάκτηση των βαθμολογιών και
- ☒ τις τεχνικές για τη συσσώρευση των βαθμολογιών.

Οι τεχνικές για την ανάκτηση των βαθμολογιών πρέπει να χρησιμοποιούνται στην διαχείριση της εμπιστοσύνης και της φήμης, όταν η αρχιτεκτονική του δικτύου της φήμης είναι κατανεμημένη [JOS 07] και όταν το κοινωνικό δίκτυο δεν είναι γνωστό εκ των προτέρων στους πράκτορες. Ενώ, οι τεχνικές για τη συσσώρευση των βαθμολογιών θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της φήμης. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται αυτές οι τεχνικές και οι αντίστοιχες φάσεις στη διαχείριση της φήμης.



Σχήμα 2. 1: Τεχνικές και οι αντίστοιχες φάσεις στην διαχείριση της φήμης.

Η ανάκτηση των βαθμολογιών είναι βασισμένη στο κοινωνικό δίκτυο που ανήκουν οι πράκτορες. Έτσι, η πρώτη προτεραιότητα στην διαχείριση της φήμης είναι η ανάλυση των κοινωνικών δικτύων [FUL 06b] [SAB 02b]. Ένας τρόπος για την εύρεση ενός κοινωνικού δικτύου είναι μέσω της χρήσης των αναφορών, που είναι δείκτες σε άλλες πηγές με παρόμοιες πληροφορίες [YU 03].

Η συσσώρευση των βαθμολογιών είναι η διαδικασία που υπολογίζεται η φήμη και μετριέται η εμπιστοσύνη. Υπάρχουν αρκετές τεχνικές ή αρχές για την άθροιση των βαθμολογιών οι οποίες κατατάσσονται σε έξι κατηγορίες [JIB 2007]:

- απλή άθροιση ή αριθμητικός μέσος των βαθμολογιών,
- συσσώρευση κατά το σύστημα του Bayes (Bayesian System),
- διακριτά μοντέλα εμπιστοσύνης,
- μοντέλα δοξασιών,
- ασαφή μοντέλα και,
- μοντέλα ροής.

Μια από τις κύριες εφαρμογές της εμπιστοσύνης που εξάγεται από τη φήμη είναι οι P2P εφαρμογές. Σε μια τέτοια εφαρμογή δεν υπάρχουν περιορισμοί ή κάποιες συγκεκριμένες απαιτήσεις για να δημοσιευτεί ένα αρχείο από κάποιον χρήστη. Έτσι, μπορεί οποιοσδήποτε να δημοσιεύσει ότι αρχείο επιθυμεί με ακαθόριστο όνομα, περιεχόμενο και ποιότητα. Επίσης, η διαθεσιμότητα και η αξιοπιστία ενός κόμβου του δικτύου δεν είναι εγγυημένη με αποτέλεσμα πιθανόν να παρεμποδίζεται η αξιόπιστη μεταφορά των δεδομένων. Για αυτό το λόγο έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα φήμης που βοηθούν στην σωστή λειτουργία αυτών των συστημάτων.

Ένα τέτοιο μοντέλο είναι ο αλγόριθμος EigenTrust [KAM 03], ο οποίος υπολογίζει μια κεντρική τιμή φήμης για κάθε οντότητα. Η τιμή της φήμης σε αυτό το μοντέλο αναπαριστά την ποιότητα των αρχείων που δημοσιεύει η οντότητα που βαθμολογείται. Στο μοντέλο που προτείνουν οι [WAN 03], η τιμή της φήμης συμπεριλαμβάνει πέρα από την ποιότητα των αρχείων και την αξιοπιστία των συστάσεων που δίνει η κάθε οντότητα. Επίσης, το μοντέλο αυτό χρησιμοποιεί ένα δίκτυο Bayes (Bayesian Network) για την συσσώρευση της φήμης και μια μέθοδο για να δομήσει τη φήμη βασισμένη στις συστάσεις.

Επίσης, μια άλλη ομάδα εφαρμογών που στηρίζονται στην εξαγωγή της εμπιστοσύνης από μηχανισμούς φήμης είναι οι εφαρμογές παροχής υπηρεσιών μέσω του διαδικτύου. Η βασική ιδέα είναι η παρακίνηση των συμμετεχόντων σε μια διαδικτυακή εφαρμογή να αποδίδουν βαθμολογίες στους υπόλοιπους μετά από κάθε συναλλαγή. Συσσωρεύοντας αυτές τις βαθμολογίες μπορούν να εξάγουν τιμές εμπιστοσύνης και φήμης και έτσι να επιλέγουν μελλοντικά με ποιον θα συνεργαστούν. Τα συστήματα φήμης σε αυτή την περίπτωση μπορούν να ονομαστούν συστήματα παρακίνησης συνεργασίας και σχετίζονται με τα συνεργατικά συστήματα φιλτραρίσματος (collaborative filtering systems).

Τα συστήματα κοινωνικών πολυμέσων (social media systems), όπως είναι τα ιστολόγια (weblogs), οι ιστοσελίδες που μεταδίδουν φωτογραφίες και συνδέσμους (links & photo – sharing sites), οι εγκυκλοπαίδειες (wikis) και οι δημόσιες συζητήσεις (forums) θεωρείται ότι καταλαμβάνουν το ένα τρίτο του περιεχομένου του Ιστού

(Web content) [FIN 08]. Σε αυτή την έρευνα περιγράφονται πρόσφατα συστήματα που έχουν αναπτυχθεί σχετικά με τα συστήματα κοινωνικών πολυμέσων. Τα συστήματα αυτά αναγνωρίζουν ενοχλητικά μηνύματα στα ιστολόγια, βρίσκουν απόψεις μέσα σε θέματα δημόσιων συζητήσεων, ταυτοποιούν κοινότητες ιδιαίτερου ενδιαφέροντος, εξάγουν σχέσεις εμπιστοσύνης και εντοπίζουν συγγραφείς ιστολογίων με αυξημένη επιρροή. Τα κοινωνικά πολυμέσα έχουν το κοινό γνώρισμα ότι συνδέονται με πλούσιες κοινωνικές δομές που προσφέρουν κρυφά δεδομένα (metadata) και περιβάλλον που βοηθούν στην εξαγωγή πληροφοριών από το περιεχόμενό τους.

Επίσης, ένα ενδιαφέρον μοντέλο για ανίχνευση απάτης σε δίκτυα δημοπρασιών στο διαδίκτυο έχει προταθεί από τους [PAN 07]. Το σύστημα αυτό επιτρέπει στους χρήστες μιας δημοπρασίας μιας ιστοσελίδας να ρωτήσουν την τιμή της εμπιστοσύνης οποιουδήποτε άλλου χρήστη, και προσφέρει μια διεπαφή για την οπτική αναπαράσταση των αποτελεσμάτων. Επίσης προτείνει τον τύπο των δεδομένων και αλγόριθμους που βασίζονται σε αλυσίδες Markov (Markov Random Fields) και στην διάδοση των πεποιθήσεων με σκοπό να αποκαλύπτει ύποπτα δίκτυα που κρύβονται μέσα σε μια ιστοσελίδα δημοπρασιών.

2.7. Ανασκόπηση Κεφαλαίου - Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό έγινε μια κατηγοριοποίηση των Συστημάτων *Εμπιστοσύνης και Φήμης* με βάση κριτήρια που έχουν επιλεγεί κατά καιρούς από τους ερευνητές του χώρου αυτού. Το σύνολο των κριτηρίων ταξινόμησης είναι τέτοιο ώστε να επιτρέπει μια σύγκριση ανάμεσα στα μοντέλα ΕΦ. Παρόλα αυτά, λόγω της ποικιλίας αυτών των συστημάτων τα κριτήρια αυτά δεν ταιριάζουν πάντα με τα χαρακτηριστικά των μοντέλων και σε μερικές περιπτώσεις η κατηγοριοποίηση ενός συγκεκριμένου μοντέλου μπορεί να είναι υποκειμενική σύμφωνα με την ερμηνεία του καθενός.

Κάνοντας μια αναδρομή στα υπάρχοντα συστήματα παρατηρούμε ότι οι κύριες πηγές πληροφοριών που χρησιμοποιούνταν αρχικά από τα συστήματα ΕΦ ήταν οι άμεσες εμπειρίες και οι πληροφορίες από τρίτους πράκτορες (πληροφορίες παρατηρητών). Τα τελευταία χρόνια άρχισε να επικρατεί η τάση χρήσης κοινωνιολογικών πληροφοριών. Μπορεί οι δυο πρώτες πηγές να είναι πάντα απαραίτητες και οι πιο σχετικές, αλλά ένα σύστημα ΕΦ μπορεί να πετύχει πολύ καλύτερα και πιο αξιόπιστα αποτελέσματα με τη χρήση των πληροφοριών που εξάγονται από κοινωνικά δίκτυα. Επίσης, πολύ σημαντικό θεωρείται αν και δεν

χρησιμοποιείται από πολλά μοντέλα, η ύπαρξη κάποιου μέτρου της αξιοπιστίας των τιμών της εμπιστοσύνης και της φήμης που εξάγουν τα μοντέλα.

Στη συνέχεια του κεφαλαίου έγινε η ουσιαστική εισαγωγή στο αντικείμενο της εργασίας. Παρουσιάστηκε η δομή των συστημάτων εμπιστοσύνης και φήμης και αναλύθηκαν οι μηχανισμοί με τους οποίους εξάγεται η εμπιστοσύνη ανάμεσα στα μέλη των ανοιχτών κατανεμημένων συστημάτων και συγκεκριμένα των πολυπρακτορικών συστημάτων.

Με στόχο την καλύτερη κατανόηση της δομής των συστημάτων ΕΦ , χρησιμοποιήθηκαν και παραδείγματα από υπάρχοντα μοντέλα και στοιχεία από την δομή τους. Τέλος, έγιναν προτάσεις και παρατηρήσεις σχετικά με την αποτελεσματικότητα των επιμέρους στοιχείων της δομής των μοντέλων που αναλύθηκαν.

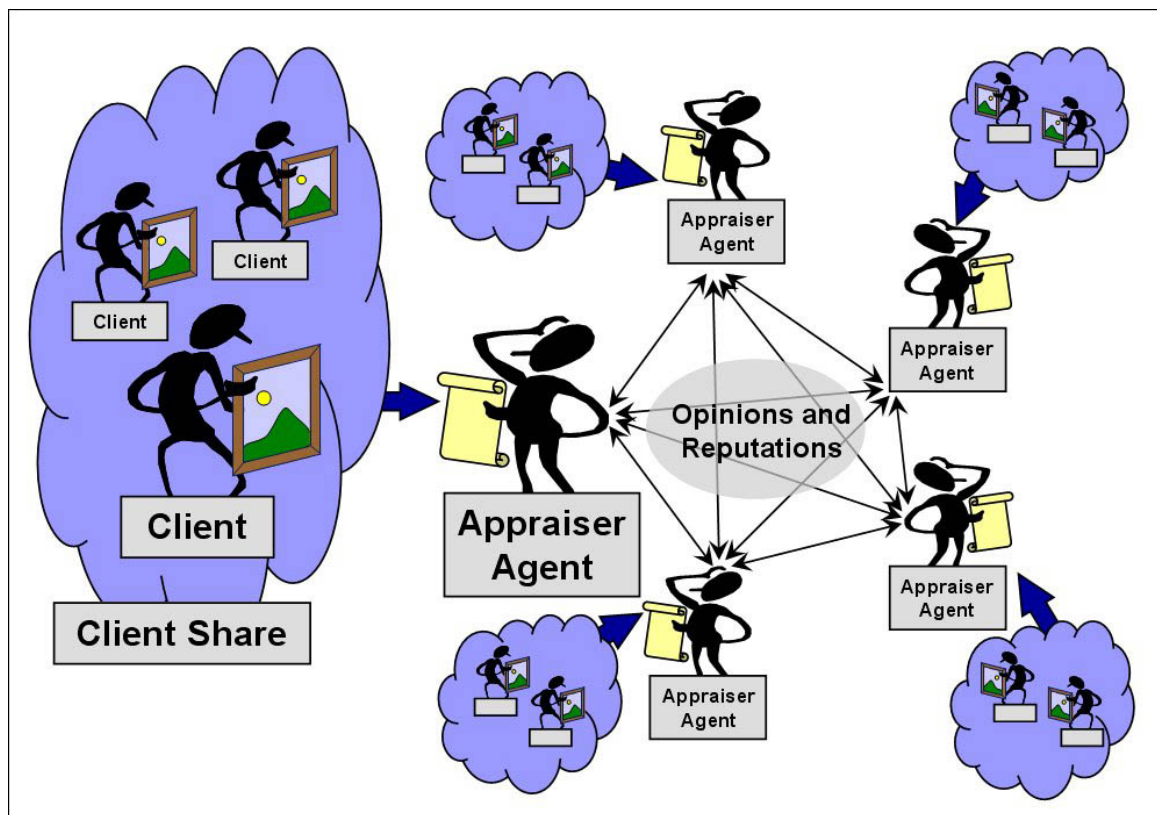
Κεφάλαιο 3. Το περιβάλλον ART Testbed

3.1. Εισαγωγή

Όπως έγινε σαφές στο προηγούμενο κεφάλαιο, τα τελευταία χρόνια αναπτύχθηκε μια πληθώρα προσεγγίσεων οι οποίες σκοπεύουν στην μοντελοποίηση της εμπιστοσύνης στα πολυπρακτορικά συστήματα. Βασισμένο στην άμεση και μαζική απόκριση της κοινότητας των επιστημόνων του χώρου ΕΦ, αναπτύχθηκε ένα περιβάλλον προσομοίωσης της εμπιστοσύνης και της φήμης ανάμεσα στους πράκτορες (Agent Reputation and Trust [ART] Testbed) με πρωταρχικό σκοπό την εγκαθίδρυση των τεχνολογιών που σχετίζονται με την εμπιστοσύνη και τη φήμη στα πολυπρακτορικά συστήματα [URL 1].

Το παιχνίδι που ορίζεται από το περιβάλλον αυτό (ART Testbed), συγκρίνει τις στρατηγικές των διάφορων ερευνητικών ομάδων όταν αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Κάθε ομάδα ελέγχει έναν πράκτορα-εκτιμητή, ο οποίος εργάζεται ανταγωνιστικά απέναντι σε κάθε άλλο πράκτορα. Οι πελάτες ζητούν από τους πράκτορες-εκτιμητές εκτιμήσεις για πίνακες ζωγραφικής από συγκεκριμένες χρονικές περιόδους. Κάθε εκτιμητής έχει ένα συγκεκριμένο βαθμό εμπειρογνωμοσύνης για πίνακες κάθε χρονικής περιόδου. Όσο μεγαλύτερη είναι τιμή της εμπειρογνωμοσύνης ενός πράκτορα, τόσο μεγαλύτερη είναι η ακρίβεια των εκτιμήσεων του. Κάθε πράκτορας ζητάει, με κάποιο κόστος, απόψεις από άλλους

πράκτορες-εκτιμητές. Αυτές, τις συναθροίζει με κάποια βάρη που εκφράζουν εμπιστοσύνη απέναντί τους και έτσι υπολογίζει τη δική του εκτίμηση. Οι πράκτορες μπορούν επίσης να εξαγοράζουν πληροφορίες φήμης για τρίτους πράκτορες-εκτιμητές. Οι πράκτορες πρέπει να αποφασίζουν πότε και από ποιόν θα ζητούν απόψεις και πληροφορίες φήμης για να εξάγουν ακριβείς εκτιμήσεις προς τους πελάτες τους. Οι εκτιμητές αποκτούν περισσότερους πελάτες, και κατά συνέπεια κέρδος, όταν παράγουν πιο ακριβείς εκτιμήσεις. Ως νικητής ορίζεται ο πράκτορας-εκτιμητής με το μεγαλύτερο απόθεμα στην τράπεζα. Η δομή των αλληλεπιδράσεων που λαμβάνουν μέρος κατά την εξέλιξη του παιχνιδιού φαίνεται στο Σχήμα 3.1 [FUL 06].



Σχήμα 3. 1: Περιγραφή παιχνιδιού, αποτύπωση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των πελατών και των πρακτόρων-εκτιμητών.

3.2. Αρχιτεκτονική του εργαλείου ART Testbed.

Το ART έχει υλοποιηθεί σε Java και αποτελείται από τέσσερα βασικά τμήματα:

1. την μηχανή προσομοίωσης (Simulation Engine),
2. την βάση δεδομένων (Database),
3. τα γραφικά περιβάλλοντα διεπαφής των χρηστών (User Interfaces),
4. τον σκελετό των πρακτόρων (Agent Skeleton).

Η **μηχανή προσομοίωσης** είναι υπεύθυνη για την αρχικοποίηση του παιχνιδιού και τον έλεγχο του περιβάλλοντος προσομοίωσης, επιβάλλοντας τις παραμέτρους που έχουν επιλεχθεί. Η μηχανή προσομοίωσης είναι επίσης υπεύθυνη να αναθέτει πελάτες στους πράκτορες εκτιμητές και να συντονίζει την επικοινωνία μεταξύ των πρακτόρων. Σε κάθε χρονικό βήμα, η μηχανή διαχειρίζεται τις δράσεις των πρακτόρων, τη δημιουργία εκτιμήσεων, τις συναλλαγές εκτιμήσεων, τις συναλλαγές τιμών φήμης, τον υπολογισμό των τελικών εκτιμήσεων και την διανομή των μεριδίων των πελατών.

Η **βάση δεδομένων** συλλέγει δεδομένα για το περιβάλλον και τους πράκτορες, όπως τις αληθινές τιμές των πινάκων, τις εκτιμήσεις, τα μηνύματα των συναλλαγών, τις υπολογισμένες τελικές εκτιμήσεις, την διανομή των μεριδίων των πελατών και τα τραπεζικά υπόλοιπα. Με εργαλεία πρόσβασης για την παρακολούθηση των ενημερώσεων στη βάση, τα δεδομένα είναι διαθέσιμα στους ερευνητές μετά από κάθε παιχνίδι και την επανεκτέλεση παιχνιδιών και την πειραματική ανάλυση.

Τα **γραφικά περιβάλλοντα διεπαφής** των χρηστών επιτρέπουν στους ερευνητές να παρατηρούν τα παιχνίδια που εξελίσσονται και να έχουν πρόσβαση στις πληροφορίες της βάσης δεδομένων με την γραφική αναπαράσταση των λεπτομερειών όπως οι συναλλαγές μεταξύ των πρακτόρων, η ακρίβεια των τελικών εκτιμήσεων των πρακτόρων και τα χρήματα που κέρδισε κάθε πράκτορας.

Η **δομή (σκελετός)** των πρακτόρων είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να επιτρέπει στους ερευνητές να εμφυτεύουν προσαρμοσμένες εσωτερικές αναπαραστάσεις της εμπιστοσύνης και αλγορίθμους αναθεώρησης της εμπιστοσύνης, ενώ επιτρέπει τυποποιημένη επικοινωνία με εξωτερικές οντότητες ως προς τον πράκτορα εκτιμητή. Οι κλάσεις της Java που ορίζουν την δομή ενός πράκτορα υλοποιούν όλες τις απαραίτητες διεπαφές για να επιτρέπουν την επικοινωνία μεταξύ των πρακτόρων μέσω της μηχανής προσομοίωσης. Ο σκελετός των πρακτόρων είναι επίσης κατάλληλα εξοπλισμένος ώστε να χειρίζεται τον συντονισμό των εργασιών

με τη μηχανή προσομοίωσης, όπως τον σχηματισμό της άποψης και τον υπολογισμό της εκτίμησης [FUL 05].

3.2.1. Η μηχανή Προσομοίωσης

Η μηχανή προσομοίωσης του ART είναι υπεύθυνη για την ομαλή διεξαγωγή του παιχνιδιού και την εναρμονισμένη λειτουργία των πρακτόρων. Μια από τις λειτουργίες της μηχανής προσομοίωσης είναι η αποτίμηση της εμπειρογνωμοσύνης για κάθε πράκτορα στην αρχή του παιχνιδιού. **Ο κάθε πράκτορας δεν χρειάζεται να έχει αρχική γνώση για το αντικείμενο της εκτίμησης πινάκων ζωγραφικής για να επιτύχει στον διαγωνισμό μιας και ο μηχανισμός αυτός δημιουργεί τις τιμές εκτιμήσεων βασισμένες στην τιμή εμπειρογνωμοσύνης του κάθε πράκτορα και τα χρήματα που διαθέτει για την παραγωγή της γνώμης του.** Η τιμή της εμπειρογνωμοσύνης που παράγεται εκφράζεται από την τυπική απόκλιση των λαθών των εκτιμήσεων και για μια συγκεκριμένη εποχή δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$s = \left(s^* + \frac{a}{c_g} \right) \cdot t$$

Οι παράμετροι από τις οποίες εξαρτάται η τυπική απόκλιση s είναι οι εξής:

- s^* , ένα αντίστροφο μέτρο για την εμπειρογνωμοσύνη ενός εκτιμητή για μια συγκεκριμένη εποχή, όπως δίνεται με τυχαίο τρόπο από την προσομοίωση.
- c_g , το χρηματικό ποσό που επιλέγει να ξοδέψει ο εκτιμητής στην δημιουργία των εκτιμήσεων του, το οποίο είναι ανάλογο με τον χρόνο που ξοδεύει για την μελέτη του πίνακα. Ένας εκτιμητής μειώνει την τυπική απόκλιση των λαθών των εκτιμήσεων του αυξάνοντας το χρηματικό ποσό αυτό. Παρόλα αυτά, ένας εκτιμητής μπορεί να οδηγηθεί σε αρνητικά αποτελέσματα αυξάνοντας πέρα από κάποιο όριο το χρηματικό ποσό c_g , αγγίζοντας μια ελάχιστη τιμή $(s^*)t$ της τυπικής απόκλισης για άπειρη τιμή του c_g .
- a , μια σταθερά που επηρεάζει τη σχέση μεταξύ του κόστους παραγωγής εκτιμήσεων και της ακρίβειας των τιμών των εκτιμήσεων. Υψηλές τιμές της σταθεράς οδηγούν σε μεγαλύτερα χρηματικά ποσά που πρέπει να πληρώσουν οι εκτιμητές για να πετύχουν καλύτερη ακρίβεια.
- t , η αληθινή τιμή του πίνακα που καλείται ένας πράκτορας να εκτιμήσει.

Η μηχανή προσομοίωσης καλείται ακόμη να υπολογίζει τις τελικές εκτιμήσεις των πινάκων, επειδή **ο σκοπός του διαγωνισμού είναι να αναδείξει τις ικανότητες των πρακτόρων στην δημιουργία μοντέλων που βασίζονται στη λήψη**

αποφάσεων με κύριο κριτήριο την εμπιστοσύνη. Αναθέτοντας στους εκτιμητές να υπολογίζουν τις δικές τους τιμές εκτιμήσεων, οι εκτιμητές θα μπορούσαν να πετυχαίνουν ακριβείς εκτιμήσεις με άλλες μεθόδους χωρίς την χρήση της εμπιστοσύνης, όπως είναι για παράδειγμα οι στατιστικές μέθοδοι. Οι εκτιμητές όμως καλούνται να επιλέξουν τους πράκτορες που εμπιστεύονται και τον βαθμό της εμπιστοσύνης τους σε μορφή βαρών για να συναθροίσουν τις εκτιμήσεις των άλλων πρακτόρων και να εξάγουν την δικιά τους εκτίμηση. Με βάση την εκτίμηση αυτή αξιολογείται η επίδοση τους.

Το μερίδιο των πελατών που αντιστοιχεί σε κάθε εκτιμητή υπολογίζεται και αυτό από την μηχανή προσομοίωσης. Το μερίδιο αυτό αλλάζει σε κάθε χρονικό βήμα και εξαρτάται από την τιμή που είχε στο προηγούμενο χρονικό βήμα, καθώς και από το σφάλμα των εκτιμήσεων που κάνει κάθε πράκτορας. Με την εξάρτηση της τιμής του μεριδίων από το προηγούμενο χρονικό βήμα αποτρέπονται οι έντονες αμφιταλαντεύσεις των μεριδίων μεταξύ των εκτιμητών (εξαιτίας πιθανών μεγάλων διαφορών στην ακρίβεια των πρακτόρων συνεχόμενων χρονικών βημάτων). Σαν αποτέλεσμα, για να μπορεί ένας πράκτορας να αυξήσει και να διατηρήσει σε μεγάλα επίπεδα το μερίδιο των πελατών που του αντιστοιχεί πρέπει να προσφέρει ακριβείς εκτιμήσεις για μεγάλο αριθμό χρονικών βημάτων.

Συνοπτικά, υπάρχουν τρεις πηγές και τρεις προορισμοί χρημάτων για ένα πράκτορα που λαμβάνει μέρος στον διαγωνισμό του ART. Οι λειτουργίες με τις οποίες κερδίζει χρήματα ο πράκτορας είναι οι αιτήσεις εκτιμήσεων από τους πελάτες, η παροχή των απόψεων από τον πράκτορα και η παροχή τιμών φήμης και βεβαιότητας. Οι λειτουργίες αντίστοιχα που μειώνουν το χρηματικό υπόλοιπο του πράκτορα είναι η δημιουργία των εκτιμήσεων, οι αιτήσεις για την λήψη απόψεων από τρίτους πράκτορες καθώς και οι αιτήσεις για λήψη τιμών φήμης και βεβαιότητας. Βρίσκοντας τη σωστή ισορροπία μεταξύ αυτών των λειτουργιών, ξοδεύοντας δηλαδή με σωστό τρόπο για να παράγει πιο ακριβείς εκτιμήσεις διατηρεί ένα υψηλό ποσοστό κέρδους.

3.2.2. Ο σκελετός των Πρακτόρων

Το μοντέλο των πρακτόρων στο περιβάλλον προσομοίωσης ART σχεδιάστηκε βάση των λειτουργιών που εκτελούνται. Το μοντέλο κάθε πράκτορα υλοποιείται κληρονομώντας την αρχική κλάση *Agent()* και συμπληρώνοντας τις μεθόδους που περιγράφουν τη συμπεριφορά του πράκτορα και παρέχουν επικοινωνία μεταξύ των πρακτόρων.

Οι δημόσιες παράμετροι του παιχνιδιού αποκαλύπτονται σε όλους τους συμμετέχοντες πράκτορες. Οι στατικές παράμετροι είναι τα *τέλη πελάτη* (client fee), το *κόστος της άποψης* (opinion cost), το *κόστος της φήμης* (reputation cost) και οι *τιμές εμπειρογνωμοσύνης* (expertise values). Οι πράκτορες έχουν επίσης πρόσβαση και σε κάποιες δυναμικές παραμέτρους του παιχνιδιού όπως τα *τραπεζικά υπόλοιπα* (bank balance) και το *τρέχων χρονικό βήμα* (current timestep).

Το περιβάλλον προσομοίωσης καθιερώνει την σειρά των δράσεων που εκτελούν οι πράκτορες σε κάθε χρονικό βήμα. Κάθε μια από αυτές τις δράσεις των πρακτόρων περιγράφεται από μια μέθοδο της κλάσης του κάθε πράκτορα. Οι μέθοδοι αυτές είναι οι παρακάτω:

1) *prepareReputationRequests()*: Ο πράκτορας καθορίζει από ποιους πράκτορες θα ζητήσει πληροφορίες για τις τιμές φήμης άλλων πρακτόρων και στέλνει ένα μήνυμα του τύπου *ReputationRequestMsg* για κάθε αίτημα στον προσομοιωτή. Ο πράκτορας μπορεί να χρησιμοποιήσει μηνύματα του τύπου *OpinionReplyMsg* από προηγούμενα χρονικά βήματα σαν επιπρόσθετη πληροφορία.

2) *prepareReputationAcceptsandDeclines()*: Ο πράκτορας αποφασίζει αν θα απαντήσει στα αιτήματα φήμης για αυτό το γύρο. Αρχικά, αδειάζει τα εισερχόμενα μηνύματα του τύπου *ReputationRequestMsg* και στέλνει μηνύματα αποδοχής ή απόρριψης του τύπου *ReputationAcceptorDeclineMsg* για κάθε ένα από αυτά.

3) *prepareReputationReplies()*: Σύμφωνα με τα μηνύματα αποδοχής ή απόρριψης από το προηγούμενο χρονικό βήμα, ο πράκτορας δημιουργεί μηνύματα απάντησης με τις τιμές φήμης του τύπου *ReputationReplyMsg* και τα στέλνει προς τους πράκτορες που απαίτησαν τις τιμές αυτές.

4) *prepareCertaintyRequests()*: Ο πράκτορας δέχεται τα μηνύματα με τις απαντήσεις σχετικά με τις τιμές φήμης και σύμφωνα με αυτές επιλέγει ποιους πράκτορες θα ρωτήσει σχετικά με την βεβαιότητα που υποστηρίζουν την άποψη τους, στέλνοντας σε καθένα από αυτούς ένα μήνυμα της μορφής *CertaintyRequestMsg*.

5) *prepareCertaintyReplies()*: Σύμφωνα με τα μηνύματα αιτήσεων τιμών βεβαιότητας από το προηγούμενο χρονικό βήμα, ο πράκτορας καλείται να επιλέξει αν θα αποκριθεί με ειλικρίνεια σχετικά με την τιμή της βεβαιότητας που υποστηρίζει ότι έχει στέλνοντας μηνύματα του τύπου *CertaintyReplyMsg*.

6) *prepareOpinionRequests()*: Όπως και στις περιπτώσεις της φήμης και βεβαιότητας, ο πράκτορας εδώ καλείται να επιλέξει τους πράκτορες τους οποίους θα ρωτήσει για απόψεις όσον αφορά πίνακες που έχει να εκτιμήσει στη συγκεκριμένη περίοδο, στέλνοντας μηνύματα του τύπου *OpinionRequestMsg*. Στην

επιλογή αυτή μπορεί να χρησιμοποιήσει τιμές φήμης και βεβαιότητας που έχει συλλέξει με τις προηγούμενες μεθόδους.

7) *prepareOpinionCreationOrders()*: Για κάθε μήνυμα αίτησης γνώμης του τύπου *OpinionRequestMsg* και για τις προσωπικές εκχωρήσεις εκτιμήσεων του πράκτορα, ο πράκτορας στέλνει μια αίτηση για τιμή γνώμης στον προσομοιωτή στέλνοντας ένα μήνυμα του τύπου *OpinionOrderMsg*.

8) *prepareOpinionProviderWeights()*: Σύμφωνα με την εμπιστοσύνη που έχει ο πράκτορας απέναντι στους άλλους (τις τιμές της φήμης και βεβαιότητας που έχει συλλέξει από τις προηγούμενες μεθόδους), αποδίδει ένα βάρος στην γνώμη του κάθε πράκτορα και στέλνει στον προσομοιωτή για κάθε ένα από αυτούς ένα μήνυμα της μορφής *WeightMsg*.

9) *prepareOpinionReplies()*: Με βάση τα μηνύματα αίτησης γνώμης, ο πράκτορας δημιουργεί μηνύματα του τύπου *OpinionReplyMsg* βρίσκοντας τις αντίστοιχες γνώμες που έχουν σταλεί ήδη στον προσομοιωτή.

Η στρατηγική του κάθε πράκτορα αναλύεται σε τρεις κατηγορίες: (i) **την στρατηγική μοντελοποίησης των άλλων πρακτόρων (περιβάλλον)**, (ii) **την στρατηγική των αιτήσεων** και (iii) **την στρατηγική των αποκρίσεων**. Η στρατηγική των αιτήσεων χειρίζεται την επιλογή και τον αριθμό πρακτόρων, τους οποίους θα ρωτήσει για τιμές φήμης και εκτίμησης, ενώ η στρατηγική των αποκρίσεων χειρίζεται την επιλογή των πρακτόρων στους οποίους θα δοθούν απαντήσεις και ο τρόπος απόκρισης. Αναμένεται η στρατηγική απόκρισης ενός πράκτορα να επηρεάζει την τιμή της φήμης του. Η στρατηγική απόκρισης αλλά και των αιτήσεων θεωρούνται άμεσα συνδεδεμένες με τη στρατηγική μοντελοποίησης του περιβάλλοντος [KAF 06].

3.3. Κανόνες του παιχνιδιού

Μέσα από το αντίστοιχο γραφικό περιβάλλον διεπαφής είναι δυνατός ο προσδιορισμός μιας σειράς από κανόνες. Παρακάτω παρατίθενται οι κανόνες, όπως αυτοί ορίστηκαν στα πλαίσια του ART 2008.

3.3.1. Παράμετροι παιχνιδιού

Όπως ορίζονται στο αρχείο *gameParameters.properties*:

- Μέσος αριθμός πελατών προς κάθε πράκτορα-εκτιμητή (*Average-Clients-Per-Agent*) = 20

- Αριθμός των χρονικών περιόδων που ταξινομούνται οι πίνακες ζωγραφικής (*Number-Of-Painting-Eras*): Στατικός για ένα συγκεκριμένο παιχνίδι, μπορεί να διαφέρει μεταξύ διαφορετικών παιχνιδιών.
- Κόστος της ακρίβειας της ευαισθησίας (*Sensing-Cost-Accuracy*) = 0.5
- Επιρροή από προηγούμενη αλληλεπίδραση με πελάτη (*Previous-Client-Share-Influence*) = 0.1
- Τέλος πελάτη (*Client-Fee*) = 100.0
- Κόστος παροχής άποψης (*Opinion-Cost*) = 10.0
- Κόστος βεβαιότητας άποψης (*Certainty-Cost*) = 1.0
- Κόστος παροχής τιμής φήμης (*Reputation-Cost*) = 0.1
- Αναμονή της κάθε σειράς υπολογισμών (*Thread-Wait*) = 3
- Χρονικά βήματα ανά σύνοδο (*Timesteps-per-Session*) : Ο αριθμός των χρονικών βημάτων σε κάθε παιχνίδι θα επιλέγεται τυχαία από μια ομοιόμορφη κατανομή τέτοια ώστε κάθε παιχνίδι να διαρκεί περίπου εξήντα λεπτά.
- *Random-Mode* = 2 (Όλοι οι πράκτορες έχουν ίσο άθροισμα από τιμές εμπειρογνωμοσύνης.)

3.3.2. Κανόνες παιχνιδιού

Κανόνας 1. Η συνωμοσία μεταξύ των πρακτόρων απαγορεύεται αυστηρά. Συγκεκριμένα κανένας πράκτορας δεν επιτρέπεται να επωφελείται βασίζοντας οποιοδήποτε τμήμα της στρατηγικής του σε μη δημόσια γνώση της στρατηγικής άλλων πρακτόρων. Οι πράκτορες εμποδίζονται στη χρήση στρατηγικών σχεδιασμένων με σκοπό το κέρδος τρίτων πρακτόρων με προσωπικό τους κόστος.

Κανόνας 2. Σε κάποια παιχνίδια η εκχώρηση των τιμών εμπειρογνωμοσύνης μπορεί να αλλάζει κατά την εξέλιξη ενός παιχνιδιού. Η συχνότητα όμως των αλλαγών αυτών και τα χρονικά βήματα στα οποία συμβαίνουν αυτές οι αλλαγές δε γίνονται γνωστά στους πράκτορες πριν αρχίσει το παιχνίδι.

Κανόνας 3. Μερικά ή και όλα τα παιχνίδια θα περιλαμβάνουν κάποιους κουτούς (*dummy*) πράκτορες που θα παρουσιάζουν διάφορες στρατηγικές. Οι πράκτορες αυτοί είναι διαθέσιμοι στους συμμετέχοντες αμέσως πριν την έναρξη του αγώνα.

Κανόνας 4. Μια παραλλαγή στην δομή του παιχνιδιού, που εφαρμόστηκε στον διαγωνισμό του 2008 είναι η ύπαρξη δυο ξεχωριστών πρωτοκόλλων: ένα για την ζήτηση της *βεβαιότητας* ενός πράκτορα για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο και

ένα για την ζήτηση μιας άποψης για ένα συγκεκριμένο πίνακα ζωγραφικής. Η βεβαιότητα αναφέρεται στην ικανότητα ενός πράκτορα να παράγει ακριβείς εκτιμήσεις για μια χρονική περίοδο.

Κανόνας 5. Κάθε πράκτορας έχει περιορισμένο αριθμό αιτήσεων για λήψη βεβαιοτήτων και απόψεων. Αν κάποιος πράκτορας προσπαθήσει να στείλει περισσότερα μηνύματα για αιτήσεις από όσα επιτρέπονται, τα μηνύματα μέχρι το όριο γίνονται αποδεκτά, ενώ τα υπόλοιπα αγνοούνται.

Κανόνας 6. Υπάρχει η επιλογή να μη γίνονται αποδεκτές οι προσωπικές απόψεις των πρακτόρων των συμμετεχόντων.

Κανόνας 7. Το εύρος των επιτρεπόμενων τιμών εμπειρογνωμοσύνης μπορεί να μεταβληθεί από την κονσόλα προσομοίωσης (Sim) του ART Testbed. Επίσης υπάρχει μια συστηματική και προοδευτική προσέγγιση στην αλλαγή των τιμών της εμπειρογνωμοσύνης. Σε κάθε χρονικό βήμα, επιλέγεται τυχαία ένας αριθμός περιόδων για αλλαγή, και προστίθεται ένα συγκεκριμένο ποσό μιας θετικής αλλαγής. Για κάθε αύξηση, εφαρμόζεται επίσης μια μείωση κατά το ίδιο ποσό, έτσι ώστε ο μέσος όρος της εμπειρογνωμοσύνης ενός πράκτορα να παραμένει σταθερός.

3.4. Υπάρχουσες προσεγγίσεις Πρακτόρων

Μια μεγάλη ποικιλία από μοντέλα πρακτόρων που υλοποιούν συγκεκριμένες στρατηγικές έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια για το περιβάλλον προσομοίωσης του ART Testbed. Ένα από τα πιο επιτυχημένα και αποτελεσματικά είναι ο πράκτορας UNO [MUR 08]. Για τον σχεδιασμό του πράκτορα UNO δύο σημεία της συμπεριφοράς του μελετήθηκαν ξεχωριστά, τα οποία είναι η στρατηγική αιτήσεων και η στρατηγική αποκρίσεων. Και οι δύο στρατηγικές κάνουν χρήση της γνώσης που έχει ένας πράκτορας για τους υπόλοιπους. Οι πληροφορίες τις οποίες αποθηκεύει ο πράκτορας UNO για τους άλλους πράκτορες είναι:

- α) η απόκλιση των εκτιμήσεων από τις πραγματικές αξίες των πινάκων
- β) αν οι πράκτορες απαντούν ή όχι στα ερωτήματα που τους τίθενται και,
- γ) ο αριθμός των συνολικών ερωτημάτων που κάνει κάθε πράκτορας στον UNO.

Η ερευνητική ομάδα που ανέπτυξε τον πράκτορα UNO επέλεξε να μη χρησιμοποιήσει στην εξαγωγή των τιμών της εμπιστοσύνης τις τιμές της βεβαιότητας και της φήμης γιατί θεώρησε ότι αυτές οι τιμές έχουν από την φύση του περιβάλλοντος πολλούς λόγους να είναι παραπλανητικές. Αντιθέτως, στήριξαν

το μοντέλο της εμπιστοσύνης τους στη γνώση που πηγάζει από τις αλληλεπιδράσεις του UNO με τους άλλους πράκτορες.

Ο πράκτορας UNO για να επιλέξει ποιον πράκτορα να ρωτήσει, υπολογίζει ένα βάρος για κάθε περίοδο και για κάθε πράκτορα που είναι αντιστρόφως ανάλογο των λαθών που κάνει ο πράκτορας για εκείνη την περίοδο, και ανάλογο της εμπιστοσύνης που έχει ο UNO στον πράκτορα, της γνώσης που έχει ο UNO για τον πράκτορα και της ανάγκης που έχει ο UNO να ρωτήσει πληροφορίες για την περίοδο αυτή. Τα βάρη αυτά τα χρησιμοποιεί αργότερα και στον προσομοιωτή σαν τα βάρη που θα χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή των τελικών εκτιμήσεων.

Για την επιλογή των χρημάτων που θα ξοδέψει για την παραγωγή απόψεων για άλλους πράκτορες ο UNO υπολογίζει το βαθμό φιλίας με κάθε πράκτορα. Ο βαθμός της φιλίας υπολογίζεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να θεωρούνται φίλοι οι πράκτορες που έχουν πληροφορίες που ο UNO δεν έχει. Έτσι ο UNO προσπαθεί να κερδίσει την εύνοια τους με σκοπό να αποκομίσει τις πληροφορίες που του λείπουν.

Πέρα από τον πράκτορα UNO, ένα άλλο επιτυχημένο μοντέλο πράκτορα που αναπτύχθηκε για το περιβάλλον προσομοίωσης είναι ο πράκτορας IAM [TEA 07]. Η ερευνητική ομάδα που ανέπτυξε αυτόν τον πράκτορα, χαρακτήρισε την στρατηγική του ως *Ευφυή-Intelligent* (χρησιμοποιώντας στατιστικά μοντέλα για την μοντελοποίηση των αντιπάλων), *Εγκρατή-Abstemious* (ξοδεύοντας τα χρήματα του με οικονομικό τρόπο, βασισμένο στο μοντέλο εμπιστοσύνης του), και *Ηθικό-Moral* (προσφέροντας τίμιες και ειλικρινείς τιμές απόκρισης σε αυτούς που τις ζητάνε). Ο πράκτορας αυτός δέχεται δύο βασικούς τύπους πληροφοριών:

α) τιμές εκτιμήσεων πινάκων που ζητάει από τρίτους πράκτορες ή από την κονσόλα με κάποιο χρηματικό κόστος, και

β) πληροφορίες σχετικά με τη συμπεριφορά τρίτων πρακτόρων, όπως είναι οι τιμές φήμης.

Το μοντέλο εμπιστοσύνης του πράκτορα IAM αποτελείται από τρία βασικά μέρη, τον *ανιχνευτή ψεύδους*, που αποκαλύπτει τους μοχθηρούς πράκτορες, τον *εκτιμητή της διακύμανσης*, ο οποίος εκτιμάει το μέγεθος της διακύμανσης που υπάρχει στα λάθη των εκτιμήσεων των πρακτόρων και τον *υπολογιστή των βαρών των καταλληλότερων πρακτόρων* που αποστέλλονται στον προσομοιωτή. Αυτά τα βάρη καθορίζουν πως οι απόψεις ενός πράκτορα που έχουν ζητηθεί από τους ανταγωνιστές του συγχωνεύονται με την δική του γνώμη για να παράγουν την τελική εκτίμηση και κατά συνέπεια, το μερίδιο των πελατών που του αντιστοιχεί στην επόμενη επανάληψη. Η στρατηγική του πράκτορα αυτού επικεντρώνεται στην ροή των χρηματικών αποθεμάτων από και προς τον πράκτορα IAM. Τέλος

όπως ο πράκτορας UNO, έτσι και ο πράκτορας IAM δεν χρησιμοποιεί τις τιμές φήμης στην εξαγωγή της εμπιστοσύνης εξαιτίας του μικρού πληθυσμού του δεδομένου πολυπρακτορικού συστήματος και κατά συνέπεια της ευκολότερης εξαγωγής της εμπιστοσύνης από τις πληροφορίες που πηγάζουν από τις άμεσες αλληλεπιδράσεις.

3.4.1. Δυσκολίες στην ανάπτυξη μοντέλων πρακτόρων

Από τις μελέτες που έχουν γίνει μέχρι σήμερα από ερευνητές στον χώρο αυτό έχουν κατηγοριοποιηθεί τα σημεία που παρουσιάζουν δυσκολίες κατά την ανάπτυξη μιας στρατηγικής στο περιβάλλον προσομοίωσης ART Testbed. Τα σημεία αυτά παρουσιάζονται παρακάτω [COS 08].

1) *Οι αιτήσεις απόψεων στον πρώτο γύρο.* Εάν το παιχνίδι βρίσκεται στον πρώτο γύρο, οι πράκτορες δεν έχουν στην διάθεση τους πληροφορίες για τους άλλους για να εξάγουν κάποια τιμή εμπιστοσύνης ή φήμης.

2) *Ο προσδιορισμός των έμπιστων και των χρήσιμων πρακτόρων.* Δεδομένου ότι οι πράκτορες μπορεί να ψεύδονται, είναι ιδιαίτερα σημαντικός ο προσδιορισμός των έμπιστων πρακτόρων. Για να συμβεί αυτό πρέπει να εξελιχθούν κάποιοι γύροι στο παιχνίδι. Μια πρόκληση είναι ο αριθμός των γύρων που χρειάζονται για τον ικανοποιητικό προσδιορισμό της εμπιστοσύνης. Επίσης, η αλλαγή των συμπεριφορών των πρακτόρων μέσα στο παιχνίδι θέτει άλλη μια πρόκληση.

3) *Η παροχή εκτιμήσεων για ένα πίνακα.* Αυτή η λειτουργία έχει δυο επιπτώσεις. Η πρώτη αφορά το κέρδος ενός χρηματικού ποσού, αμοιβή για αυτή την λειτουργία. Η άλλη, όμως, αφορά την παροχή πληροφορίας που μπορεί να βοηθήσει έναν αντίπαλο πράκτορα να κερδίσει.

4) *Η παροχή τιμών φήμης.* Όπως και παραπάνω, με την παροχή αυτών των τιμών ο πράκτορας κερδίζει μια αμοιβή, αλλά αν παρέχει ειλικρινείς τιμές βοηθάει τους αντιπάλους του. Έτσι, κρίνεται σημαντικό το πότε πρέπει ένας πράκτορας να παρέχει τις τιμές αυτές.

5) *Οι αιτήσεις τιμών φήμης.* Δύο προβλήματα προκύπτουν από αυτή τη λειτουργία. Όταν ένας πράκτορας κάνει μια αίτηση χάνει ένα χρηματικό ποσό. Παρόλο που το χρηματικό ποσό αυτό είναι μικρό (1\$), ο πράκτορας μπορεί να επιλέγει τον αριθμό των αιτήσεων, αλλά και τους πράκτορες που τις στέλνει. Επίσης οι κανόνες του παιχνιδιού δεν καθορίζουν τη σημασιολογία της τιμής φήμης παρά μόνο ορίζουν ένα πεδίο ορισμού μεταξύ 0 και 1.

6) *Ο καθορισμός των βαρών.* Ο καθορισμός του βάρους που αντιστοιχεί σε μια άποψη ενός πράκτορα είναι μια σύνθετη διαδικασία, αφού δεν εξαρτάται μόνο

από την γνώση ενός πράκτορα πάνω σε μια εποχή αλλά επίσης και από τον βαθμό της εμπιστοσύνης που καθορίζεται από τον πράκτορα, ο οποίος λαμβάνει τις απόψεις.

7) Ο καθορισμός του χρόνου που χρησιμοποιείται για την ανάλυση ενός πίνακα. Ο καθορισμός του χρόνου αυτού είναι σημαντικός, αφού όσο περισσότερο χρόνο “σκέφτεται” ένας πράκτορας, τόσο περισσότερα χρήματα ξοδεύει. Επίσης ένας μεγάλος χρόνος δεν εγγυάται καλή εκτίμηση, γιατί η εκτίμηση εξαρτάται περισσότερο από τον βαθμό εμπειρογνωμοσύνης του εκτιμητή πάνω στις περιόδους των πινάκων.

Κεφάλαιο 4. Ο πράκτορας HercuAgent

4.1. Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται ο πράκτορας *HercuAgent*, ο πράκτορας που σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε για τη συμμετοχή στο περιβάλλον ART. Είναι το αποτέλεσμα μιας εκτεταμένης μελέτης των υπάρχοντων μοντέλων και των τεχνολογιών και των αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται στα μοντέλα αυτά, των κανόνων του διαγωνισμού, των συνθηκών που επικράτησαν στα παιχνίδια που εξελίχθηκαν, καθώς και των συμπερασμάτων που ακολούθησαν και φανερώθηκαν μέσα από τις εκδόσεις των υπολοίπων ομάδων που έλαβαν μέρος στο διαγωνισμό. Ταυτόχρονα, ο πράκτορας *HercuAgent* αποτέλεσε και ένα πεδίο πληθώρας πειραμάτων για τη μελέτη της αποτελεσματικότητας διαφόρων αλγορίθμων και τεχνικών εξαγωγής της εμπιστοσύνης μεταξύ των ευφύων πρακτόρων λογισμικού. Τα πειράματα και η μελέτη των αλγορίθμων οδήγησε στην υιοθέτηση των μηχανισμών που περιγράφονται στο κεφάλαιο αυτό. Πέρα όμως από τις συγκεκριμένες τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν στην τελική φάση της υλοποίησης του πράκτορα μας, στα πλαίσια της εύρεσης των βέλτιστων και πιο αποδοτικών μηχανισμών πραγματοποιήθηκαν αμέτρητες δοκιμές άλλων αλγορίθμων και μαθηματικών μοντέλων.

Ο *HerculAgent* χτίστηκε πάνω στον σκελετό ανάπτυξης του **ART Testbed**. Χρησιμοποιώντας το πλαίσιο ανάπτυξης αυτό (Java API) εκμεταλλευτήκαμε όλες τις διαδικασίες που αφορούν την επικοινωνία μεταξύ των πρακτόρων, αλλά και την επικοινωνία με την κονσόλα του παιχνιδιού, την εκκίνηση του παιχνιδιού, καθώς και το συντονισμό της λειτουργίας και των αλληλεπιδράσεων των πρακτόρων. Επίσης, το API αυτό παρέχει και όλες τις διαδικασίες που αφορούν τη διαχείριση των εκτιμήσεων των πρακτόρων, των πελατών που αντιστοιχούν σε κάθε πράκτορα εκτιμητή και κατά συνέπεια των χρηματικών απολαβών και των τραπεζικών αποθεμάτων των πρακτόρων. Έτσι, είχαμε μια έτοιμη βάση σχεδιασμού και μπορέσαμε εύκολα να επικεντρωθούμε στις τεχνικές και τους αλγόριθμους απόφασης που εξοπλίσανε τον πράκτορα μας για την καλύτερη εξαγωγή της εμπιστοσύνης, όπως αυτή εξάγεται μέσα από το ART Testbed.

Στο προηγούμενο κεφάλαιο έγινε μια σύντομη περιγραφή του σκελετού του κάθε πράκτορα που ενσωματώνεται στο πλαίσιο αυτό ανάπτυξης και των συναρτήσεων στρατηγικής που έπρεπε να υλοποιήσουμε. Αυτές οι συναρτήσεις μπορούν να διαχωριστούν σε τρεις κατευθύνσεις:

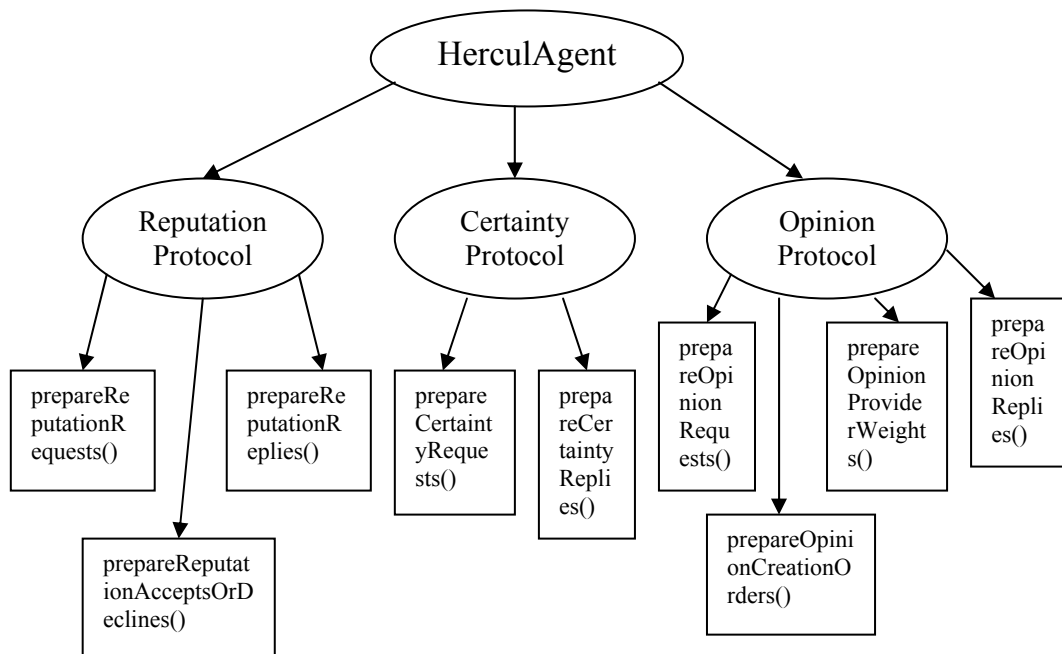
- ☒ το πρωτόκολλο φήμης
- ☒ το πρωτόκολλο βεβαιότητας, και
- ☒ το πρωτόκολλο εκτιμήσεων

Στην πρώτη κατεύθυνση εντάσσονται οι τρεις πρώτες συναρτήσεις στρατηγικής που αναφέρθηκαν στην {ενότητα 3.2.2.}, στην δεύτερη κατεύθυνση οι δυο επόμενες και στην τρίτη κατεύθυνση οι τέσσερις τελευταίες συναρτήσεις στρατηγικής. Η ιεραρχική αρθρωτή δομή του πράκτορα *HerculAgent* φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

Κάθε μια από τις συναρτήσεις στρατηγικής περιλαμβάνει μια πληθώρα μεθόδων που απαιτούνται για την εκτέλεση των λειτουργιών της κατεύθυνσης, ενώ κάθε μία από τις μεθόδους μπορεί να αποτελείται από επιμέρους blocks κώδικα. Η ροή της πληροφορίας γίνεται μέσω των συναρτήσεων στρατηγικής του πράκτορα με τη μορφή εισερχόμενων και εξερχόμενων μηνυμάτων από και προς τον προσομοιωτή.

Αρχικά πριν προχωρήσουμε στη σχεδίαση και τον καθορισμό των μεθόδων και των αλγορίθμων που θα χρησιμοποιούσαμε σε κάθε συνάρτηση στρατηγικής, κρίναμε πως ήταν σκόπιμο να μελετήσουμε εκτενέστερα και να κατανοήσουμε πλήρως το περιβάλλον του παιχνιδιού και τον τρόπο που επηρεάζεται η ροή του παιχνιδιού ανάλογα με τις παραμέτρους του. Έτσι, προηγήθηκε όμως σχετική πειραματική έρευνα πάνω στο περιβάλλον του διαγωνισμού και των συμμετεχόντων πρακτόρων και εξήχθησαν χρήσιμα συμπεράσματα. Στη συνέχεια

σχεδιάσθηκαν οι αλγόριθμοι για την υλοποίηση κάθε συνάρτησης στρατηγικής του πράκτορα *HerculAgent*.



Σχήμα 4. 1: Ιεραρχική αρθρωτή δομή του πράκτορα *HerculAgent*.

4.2. Κατανόηση του περιβάλλοντος

Οι δημιουργοί του πλαισίου ανάπτυξης ART πέρα από το πλαίσιο, παρείχαν και τρία υποδείγματα αρχαρίων (dummy) πρακτόρων: τον Ειλικρινή πράκτορα (*HonestAgent*), τον Δόλιο πράκτορα (*CheatingAgent*) και τον Απλό πράκτορα (*SimpleAgent*), με ένα σχετικά απλό μοντέλο εμπιστοσύνης. Για την καλύτερη κατανόηση του περιβάλλοντος και των συνθηκών διεξαγωγής των παιχνιδιών αποφασίσαμε να διεξάγουμε πολυάριθμα παιχνίδια επεμβαίνοντας στον πηγαίο κώδικα του πράκτορα *SimpleAgent*. Αλλάζοντας μια-προς-μια τις τιμές των παραμέτρων του, προσπαθήσαμε να εξάγουμε συμπεράσματα σχετικά με την σημαντικότητα και την επιρροή που έχουν παράμετροι αυτές και οι μεταβολές τους. Με τον τρόπο αυτό προσανατολιστήκαμε στους τομείς στους οποίους θα έπρεπε να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στην σχεδίαση του πράκτορα *HerculAgent*. Επίσης, για να κατανοήσουμε καλύτερα τις συνθήκες των παιχνιδιών, πραγματοποιήσαμε πειράματα αρχικά μόνο απέναντι στον *SimpleAgent* και μετά προσθέσαμε σταδιακά στα παιχνίδια τον *HonestAgent*, τον *CheatingAgent* και, τέλος, κάποιους από τους πράκτορες που έλαβαν μέρος στον τελευταίο διαγωνισμό (2008) του ART Testbed.

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των πειραμάτων παρατίθενται με γραφήματα στην παρούσα ενότητα, μαζί με σύντομο σχολιασμό των συμπερασμάτων. Ο πράκτορας που δημιουργήσαμε από τον πηγαίο κώδικα του *SimpleAgent* κάνοντας τις αλλαγές των παραμέτρων που θέλαμε να μελετήσουμε ονομάστηκε *TestAgent*. Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα το μοντέλο εμπιστοσύνης του πράκτορα *SimpleAgent* είναι σχετικά απλό και βασίζεται κυρίως στο μηχανισμό υπολογισμού μιας τιμής φήμης για κάθε πράκτορα ανταγωνιστή. Η τιμή αυτή επηρεάζεται από την ακρίβεια των εκτιμήσεων των υπόλοιπων πρακτόρων και υπολογίζεται με μια γραμμική μαθηματική σχέση. Στη συνέχεια με βάση την τιμή αυτή της φήμης ο πράκτορας *SimpleAgent* παίρνει τις αποφάσεις που καλείται σε κάθε συνάρτηση στρατηγικής με μόνο κριτήριο τη σύγκριση της τιμής φήμης με ένα στατικό όριο, πάνω από το οποίο θεωρεί έμπιστο έναν πράκτορα.

4.2.1. Απλό περιβάλλον: *SimpleAgent* Vs *TestAgent*

Τα πρώτα παιχνίδια περιλαμβάνουν δύο πράκτορες *TestAgent* και δύο πράκτορες *SimpleAgent*. Οι κανόνες διεξαγωγής όλων των παιχνιδιών είναι αυτοί που αναλύθηκαν στην {παράγραφο 3.1.2.} και μια ανασκόπηση τους φαίνεται στον παρακάτω πίνακα. Κάθε πείραμα εκτελέστηκε δέκα φορές, ώστε να μειώσουμε την πιθανότητα του στοχαστικού σφάλματος.

Πίνακας 4. 1: Παράμετροι διεξαγωγής παιχνιδιών.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΑΙΧΝΙΔΙΟΥ	
Χρονικά βήματα	50
Εποχές	10
Μέσος αριθμός πελατών ανά πράκτορα	20
Τέλος πελάτη	100
Κόστος εκτίμησης	10
Κόστος βεβαιότητας	1
Κόστος φήμης	0.1
Μηνύματα εκτίμησης	2
Μηνύματα βεβαιότητας	20
Άρνηση προσωπικής γνώμης	True
Μεταβλητές εποχές	2
Ποσό αλλαγής της τιμής εμπειρογνωμοσύνης	0.05

Πείραμα 1.

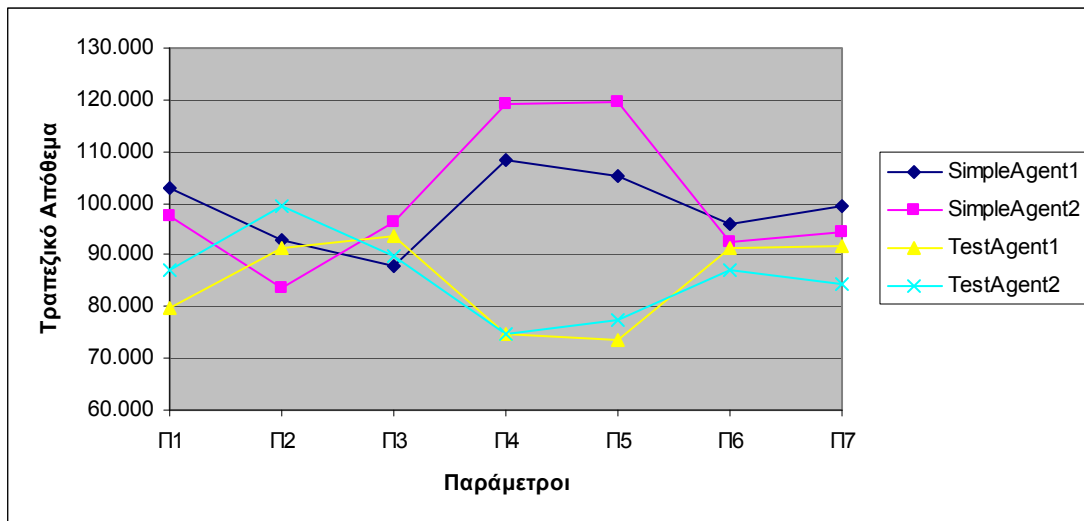
Αρχικά μελετήσαμε την γραμμική συνάρτηση με την οποία ο πράκτορας επαναπροσδιορίζει την τιμή φήμης για ένα πράκτορα ανάλογα με την ακρίβεια της

εκτίμησης που του προσφέρει. Παράμετροι του πράκτορα που διαφέρουν από τον *SimpleAgent*:

```

Π1) if difference>0.5 then rep = rep-0.04 else rep = rep+ 0.02
Π2) if difference>0.5 then rep = rep-0.02 else rep = rep+ 0.04
Π3) if difference>0.5 then rep = rep-0.07 else rep = rep+ 0.1
Π4) if difference>0.5 then rep = rep-0.2 else rep = rep+ 0.2
Π5) if difference>0.3 then rep = rep-0.03 else rep = rep+ 0.03
Π6) if difference>0.7 then rep = rep-0.03 else rep = rep+ 0.03
Π7) if difference>0.7 then rep = rep-0.12 else rep = rep+ 0.07

```



Σχήμα 4. 2: Πείραμα 1 - TestAgent Vs SimpleAgent.

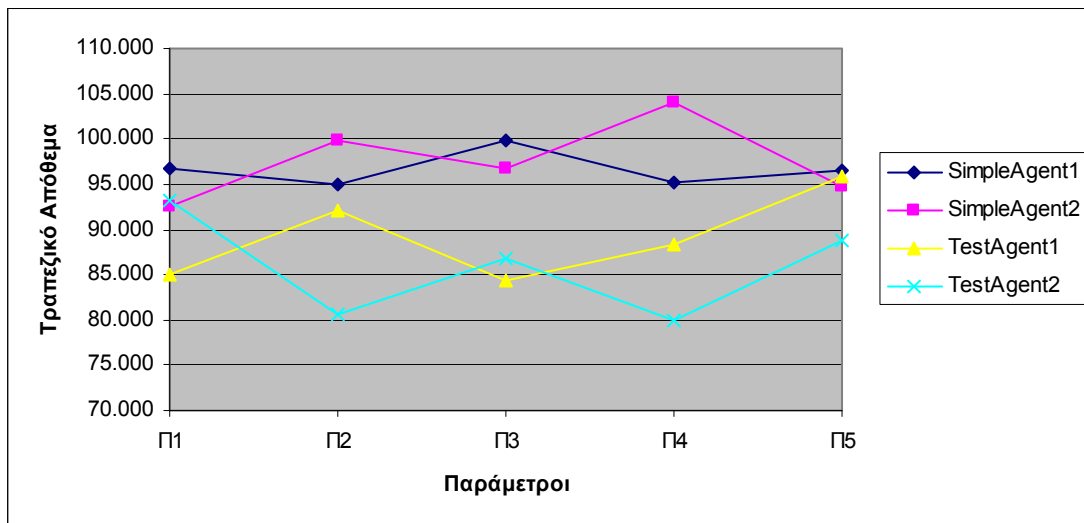
Πείραμα 2.

Στη συνέχεια πειραματιστήκαμε με τις αιτήσεις του πράκτορα προς τρίτους πράκτορες για την λήψη τιμών φήμης. Παράμετροι του πράκτορα που διαφέρουν από τον *SimpleAgent*:

```

Π1) Αποστολή αιτήσεων φήμης σε όλους τους πράκτορες
Π2) Αποστολή αιτήσεων φήμης στους πράκτορες με τιμή φήμης πάνω από 0.5
Π3) Αποστολή αιτήσεων φήμης στους πράκτορες με τιμή φήμης πάνω από 0.2
Π4) Αποστολή αιτήσεων φήμης στους πράκτορες με τιμή φήμης πάνω από 0.8
Π5) Αποστολή αιτήσεων φήμης στους πράκτορες με τιμή φήμης πάνω από 0.55

```

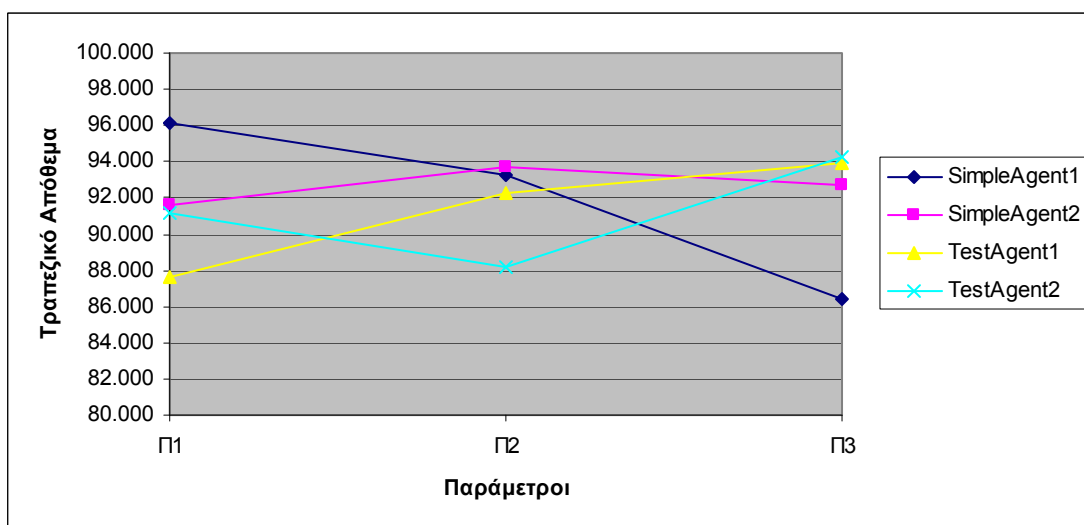


Σχήμα 4. 3: Πείραμα 2 - TestAgent Vs SimpleAgent.

Πείραμα 3.

Το επόμενο πείραμα εστίαστηκε στην αποδοχή των αιτήσεων για τιμές φήμης από άλλους πράκτορες. Παράμετροι του πράκτορα που διαφέρουν από τον *SimpleAgent*:

- Π1) Αποδοχή αιτήσεων φήμης στους πράκτορες με τιμή φήμης μεγαλύτερη από 0.5
 Π2) Αποδοχή αιτήσεων φήμης στους πράκτορες με τιμή φήμης μεγαλύτερη από 0.3
 Π3) Αποδοχή αιτήσεων φήμης στους πράκτορες με τιμή φήμης μεγαλύτερη από 0.7

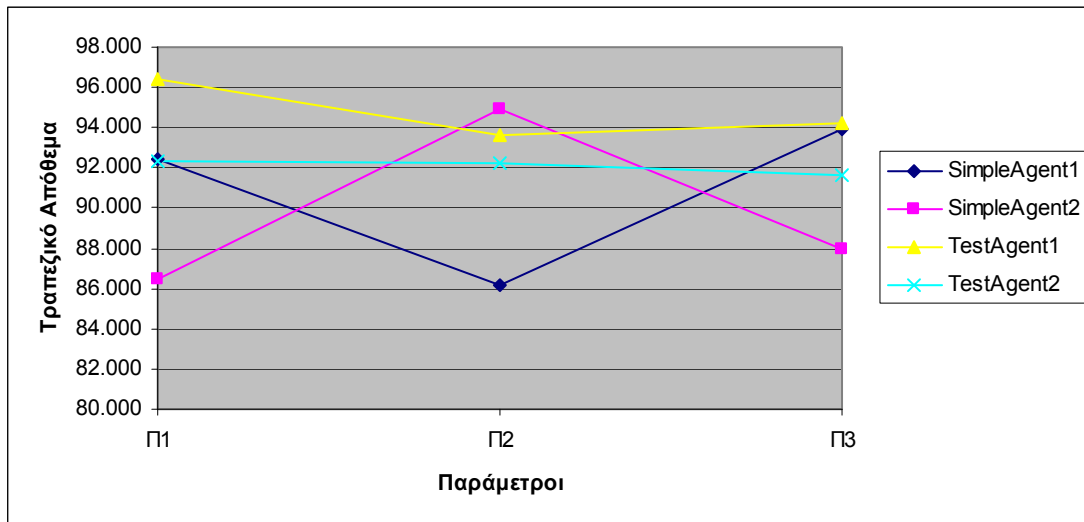


Σχήμα 4. 4: Πείραμα 3 - TestAgent Vs SimpleAgent.

Πείραμα 4.

Στο τέταρτο πείραμα ερευνήσαμε την απόκριση στα αιτήματα φήμης και την ενδεχόμενη στρατηγική να απαντάμε ειλικρινά στους έμπιστους πράκτορες και ψευδώς στους αναξιόπιστους πράκτορες. Παράμετροι του πράκτορα που διαφέρουν από τον *SimpleAgent*:

- Π1) Έμπιστοι πράκτορες είναι αυτοί με τιμή φήμης μεγαλύτερη από 0.3
 Π2) Έμπιστοι πράκτορες είναι αυτοί με τιμή φήμης μεγαλύτερη από 0.5
 Π3) Έμπιστοι πράκτορες είναι αυτοί με τιμή φήμης μεγαλύτερη από 0.7

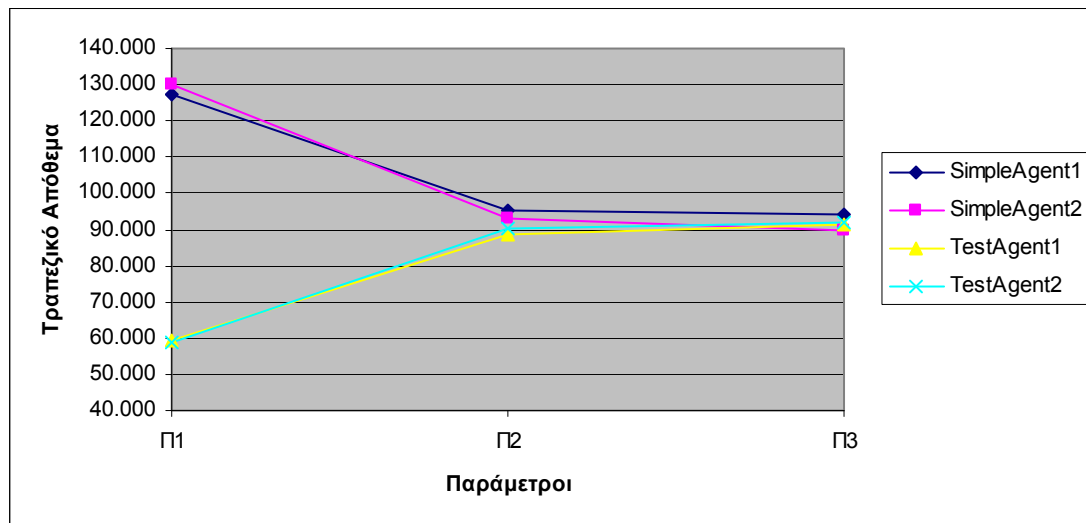


Σχήμα 4. 5: Πείραμα 4 - TestAgent Vs SimpleAgent.

Πείραμα 5.

Στο πείραμα που ακολουθεί δοκιμάσαμε να αλλάξουμε τα κριτήρια με τα οποία επιλέγει ο πράκτορας σε ποιους πράκτορες θα στείλει αιτήσεις για παροχή εκτιμήσεων. Παράμετροι του πράκτορα που διαφέρουν από τον *SimpleAgent*:

- Π1) Αίτηση σε πράκτορες με τιμή φήμης μεγαλύτερη από 0.5 και τιμή βεβαιότητας μεγαλύτερη από 0.5
 Π2) Αίτηση σε πράκτορες με τιμή φήμης μεγαλύτερη από 0.3 (default 0.5)
 Π3) Αίτηση σε πράκτορες με τιμή φήμης μεγαλύτερη από 0.7 (default 0.5)

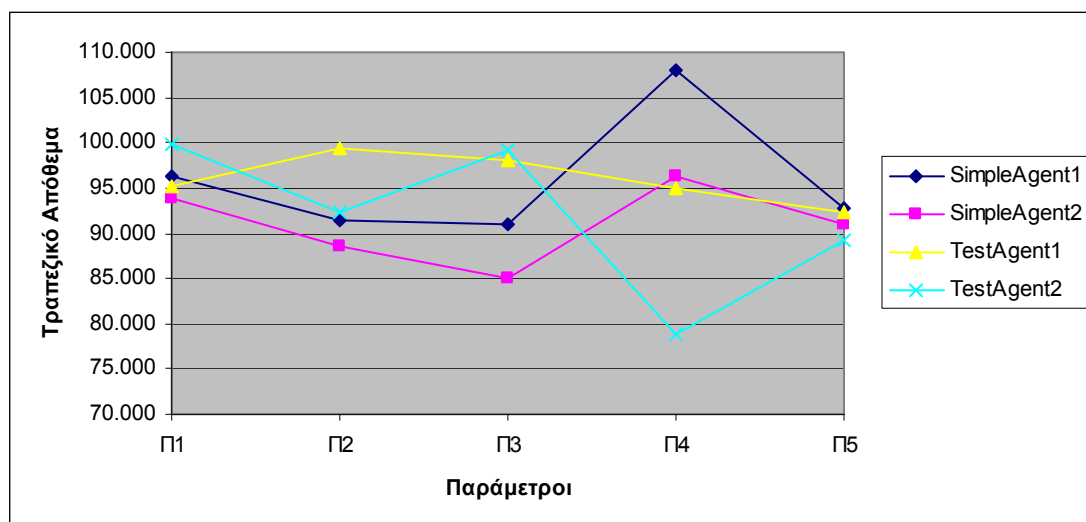


Σχήμα 4. 6: Πείραμα 5 - TestAgent Vs SimpleAgent.

Πείραμα 6.

Έπειτα ερευνήσαμε το αποτέλεσμα που είχε η μεταβολή της πληρωμής του πράκτορα μας για την παραγωγή των εκτιμήσεων του στους έμπιστους πράκτορες. Παράμετροι του πράκτορα που διαφέρουν από τον *SimpleAgent*:

- Π1) Πληρωμή 70% από το κόστος παραγωγής της εκτίμησης (default 80%)
- Π2) Πληρωμή 60% από το κόστος παραγωγής της εκτίμησης
- Π3) Πληρωμή 50% από το κόστος παραγωγής της εκτίμησης
- Π4) Πληρωμή 20% από το κόστος παραγωγής της εκτίμησης
- Π5) Πληρωμή 90% από το κόστος παραγωγής της εκτίμησης



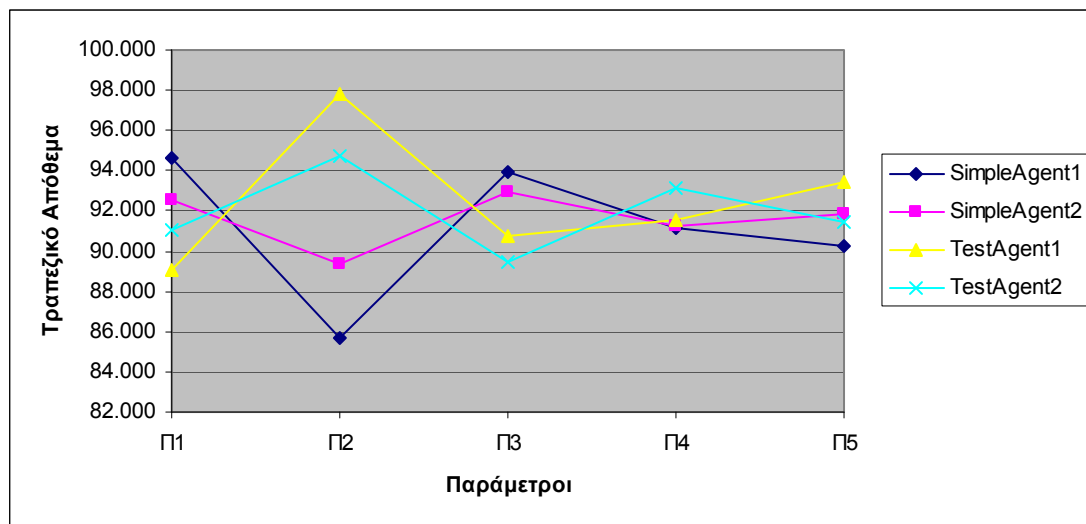
Σχήμα 4. 7: Πείραμα 6 - TestAgent Vs SimpleAgent.

Πείραμα 7.

Στη συνέχεια αναζητήσαμε την βέλτιστη λύση στο πρόβλημα της πληρωμής του πράκτορα μας για την παραγωγή εκτιμήσεων στους αναξιόπιστους πράκτορες.

Παράμετροι του πράκτορα που διαφέρουν από τον *SimpleAgent*:

- Π1) Πληρωμή 10% από το κόστος παραγωγής της εκτίμησης (default 1%)
- Π2) Πληρωμή 50% από το κόστος παραγωγής της εκτίμησης
- Π3) Πληρωμή 100% από το κόστος παραγωγής της εκτίμησης
- Π4) Πληρωμή 60% από το κόστος παραγωγής της εκτίμησης
- Π5) Πληρωμή 40% από το κόστος παραγωγής της εκτίμησης



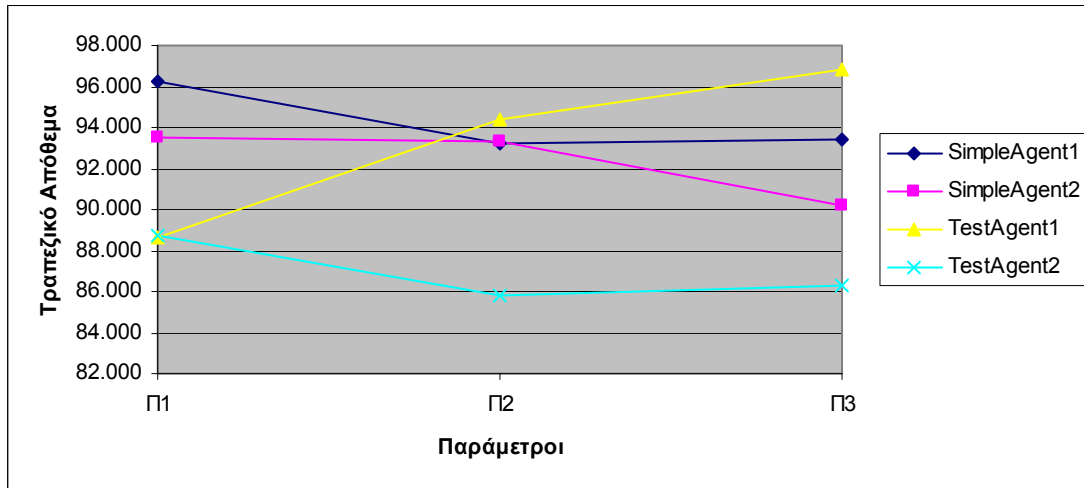
Σχήμα 4. 8: Πείραμα 7 - TestAgent Vs SimpleAgent.

Πείραμα 8.

Τέλος, πειραματιστήκαμε με την τιμή της φήμης πάνω από την οποία ένας πράκτορας θεωρείται έμπιστος για την πληρωμή της παροχής εκτιμήσεων.

Παράμετροι του πράκτορα που διαφέρουν από τον *SimpleAgent*:

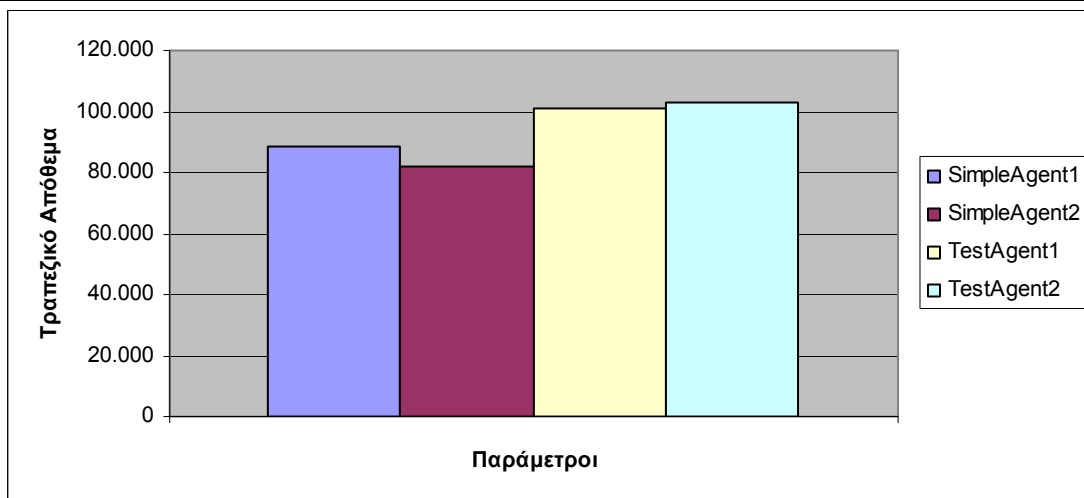
- Π1) Έμπιστοι πράκτορες είναι αυτοί με τιμή φήμης μεγαλύτερη από 0.3
- Π2) Έμπιστοι πράκτορες είναι αυτοί με τιμή φήμης μεγαλύτερη από 0.7
- Π3) Έμπιστοι πράκτορες είναι αυτοί με τιμή φήμης μεγαλύτερη από 0.55



Σχήμα 4. 9: Πείραμα 8 - TestAgent Vs SimpleAgent.

Μέσα από αυτά τα πειράματα που εκτελέσαμε καταλήξαμε σε κάποιες τιμές μεμονωμένα για κάθε παράμετρο που μας επέφερε καλύτερα αποτελέσματα. Επίσης παρατηρήσαμε ότι κάποιες παράμετροι όπως είναι η ζήτηση μιας τιμής φήμης από ένα πράκτορα για κάποιον τρίτο πράκτορα δεν είχαν ως αποτέλεσμα κάποια βελτίωση. Έτσι θέσαμε για κάθε παράμετρο τις τιμές που παρατηρήσαμε να έχουν κάποια θετική επίδραση και παρατηρήσαμε τα αποτελέσματα που φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα. Οι παράμετροι που επιλέχθηκαν είναι

- Π1) *if difference > 0.5 then rep = rep - 0.02 else rep = rep + 0.04*
 Π2) Εμπιστοί πράκτορες είναι αυτοί με τιμή φήμης μεγαλύτερη από 0.3
 Π3) Πληρωμή 50% από το κόστος παραγωγής της εκτίμησης
 Π4) Πληρωμή 50% από το κόστος παραγωγής της εκτίμησης



Σχήμα 4. 10: Τελικά αποτελέσματα - TestAgent Vs SimpleAgent.

4.2.2. Σύνθετα περιβάλλοντα: Πολλοί πράκτορες

Στην προηγούμενη ενότητα περιγράψαμε αναλυτικά τα συμπεράσματα στα οποία καταλήξαμε στο περιβάλλον όπου συναγωνίζονταν μόνο ο δοκιμαστικός πράκτορας (*TestAgent*) με τον *SimpleAgent*. Επιλέξαμε αυτό το περιβάλλον αρχικά για την άμεση επίδραση και την καλύτερη εμφάνιση των αποτελεσμάτων των μεταβολών των παραμέτρων στον δοκιμαστικό πράκτορα. Στη συνέχεια προσθέσαμε και άλλους πράκτορες ανταγωνιστές στο παιχνίδι και εκτελέσαμε με τον ίδιο αναλυτικό τρόπο πειράματα για αναζήτηση βέλτιστων τιμών στις παραμέτρους. Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται για κάθε περιβάλλον εν συντομία ο συνδυασμός των βέλτιστων τιμών των παραμέτρων που καταλήξαμε μετά από μια αλληλουχία πειραμάτων αντίστοιχη με αυτήν που παρουσιάστηκε για το πρώτο περιβάλλον καθώς και η γραφική απεικόνιση των συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων.

- ***TestAgent Vs SimpleAgent Vs HonestAgent***

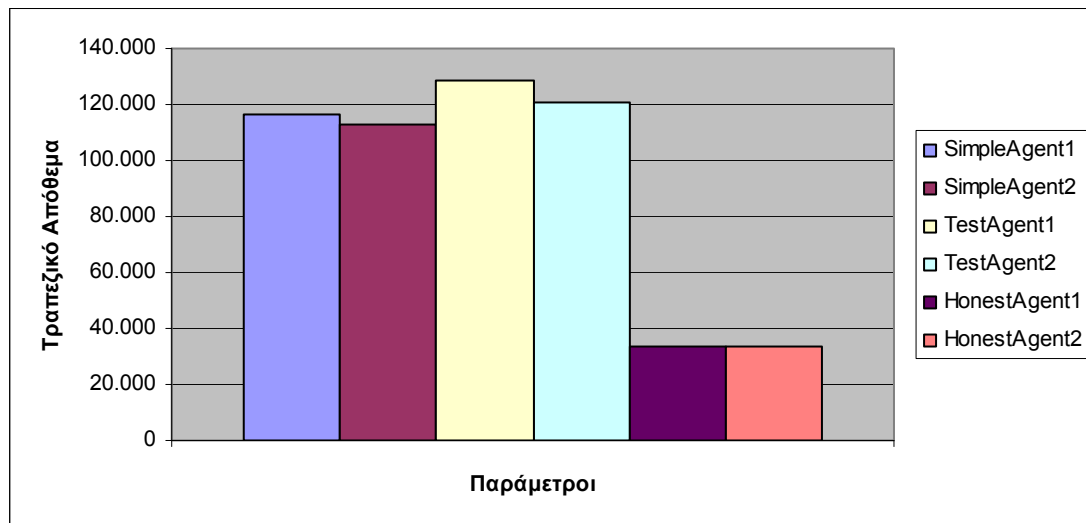
Το δεύτερο περιβάλλον που πειραματιστήκαμε αποτελείται από δυο πράκτορες *TestAgent*, δύο *SimpleAgent*, και δύο *HonestAgent*. Η επιλογή των τιμών των παραμέτρων που καταλήξαμε είναι:

```
Π1) if difference>0.5 then rep = rep-0.02 else rep = rep+ 0.04
```

Π2) Ειλικρινή απόκριση στους έμπιστους πράκτορες, ψευδή στους αναξιόπιστους. Έμπιστος θεωρείται ο πράκτορας με τιμή φήμης μεγαλύτερη από 0.5

Π3) Πληρωμή για απόκτηση εκτιμήσεων σε έμπιστους πράκτορες 1% από το κόστος παραγωγής της εκτίμησης.

Τα αποτελέσματα αυτών των παραμέτρων φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



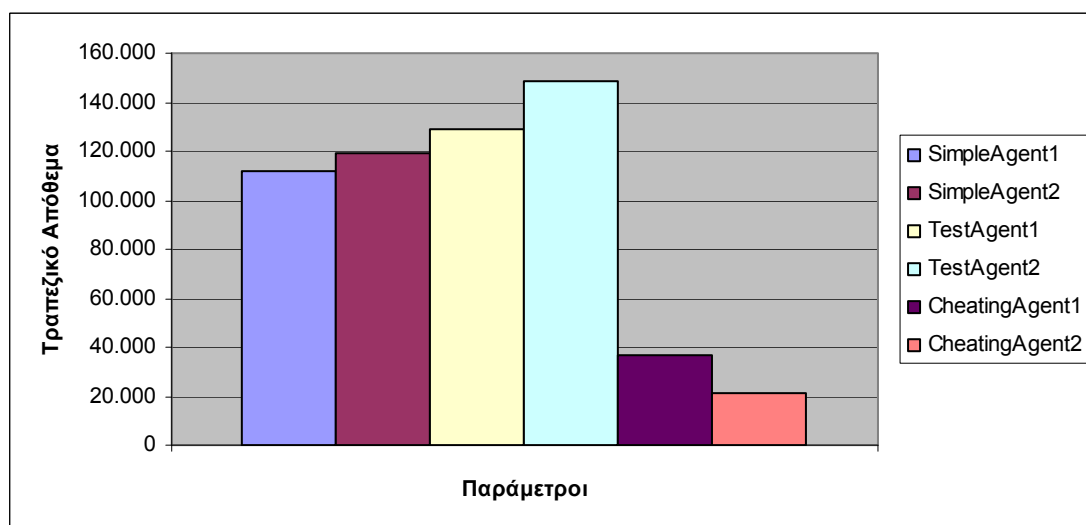
Σχήμα 4. 11: Τελικά αποτελέσματα - TestAgent Vs SimpleAgent Vs HonestAgent.

- **TestAgent Vs SimpleAgent Vs CheatingAgent**

Το τρίτο περιβάλλον αποτελείται από δύο πράκτορες *TestAgent*, δύο *SimpleAgent* και δύο *CheatingAgent*. Μετά από εκτενή ανάλυση, οι τιμές των παραμέτρων εδώ που μας έδωσαν τα καλύτερα αποτελέσματα είναι:

- P1) Ειλικρινή απόκριση στους έμπιστους πράκτορες, ψευδή στους αναξιόπιστους. Έμπιστος θεωρείται ο πράκτορας με τιμή φήμης μεγαλύτερη από 0.3
- P2) Πληρωμή για απόκτηση εκτιμήσεων σε έμπιστους πράκτορες 50% από το κόστος παραγωγής της εκτίμησης.

Τα αποτελέσματα αυτών των παραμέτρων φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



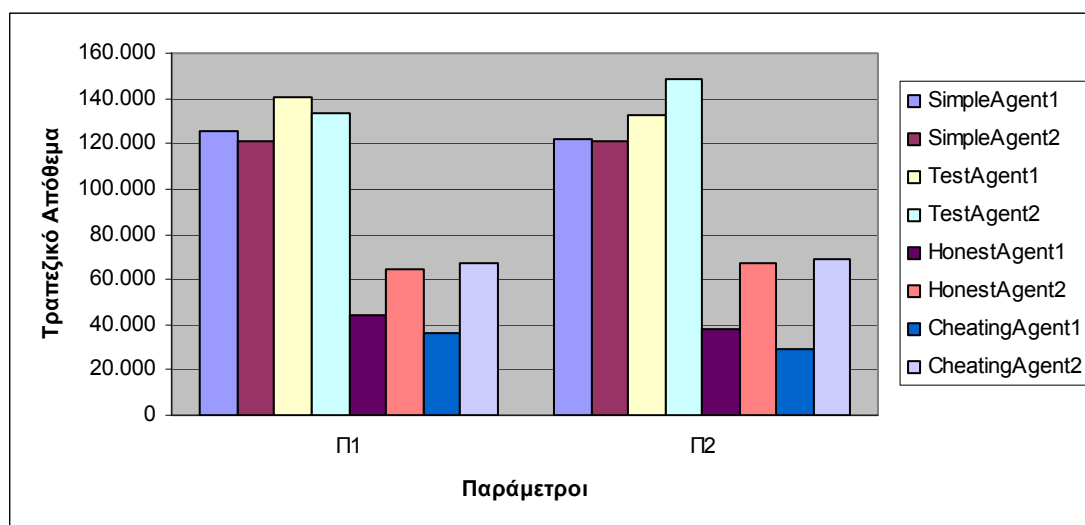
Σχήμα 4. 12: Τελικά αποτελέσματα - TestAgent Vs SimpleAgent Vs CheatingAgent.

- **TestAgent Vs SimpleAgent Vs HonestAgent Vs CheatingAgent**

Το τέταρτο περιβάλλον αποτελείται από δύο πράκτορες *TestAgent*, δύο *SimpleAgent*, δύο *HonestAgent* και δύο *CheatingAgent*. Στο περιβάλλον αυτό που ο πράκτορας έχει να αντιμετωπίσει περισσότερους ανταγωνιστές με ποικίλες στρατηγικές δεν ήταν εύκολο να βρεθεί ένας συνδυασμός παραμέτρων που να έχει εμφανή αποτελέσματα. Έτσι, οι μεμονωμένες παράμετροι που είχαν αποτέλεσμα είναι:

- Π1) Ειλικρινή απάντηση στους έμπιστους πράκτορες, ψευδή στους αναξιόπιστους. Έμπιστος θεωρείται ο πράκτορας με τιμή φήμης μεγαλύτερη από 0.3 και,
- Π2) Πληρωμή για απόκτηση εκτιμήσεων σε έμπιστους πράκτορες 50% από το κόστος παραγωγής της εκτίμησης.

Τα αποτελέσματα για τις παραμέτρους αυτές φαίνονται αντίστοιχα στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 4. 13: Τελικά αποτελέσματα - TestAgent Vs SimpleAgent Vs HonestAgent Vs CheatingAgent.

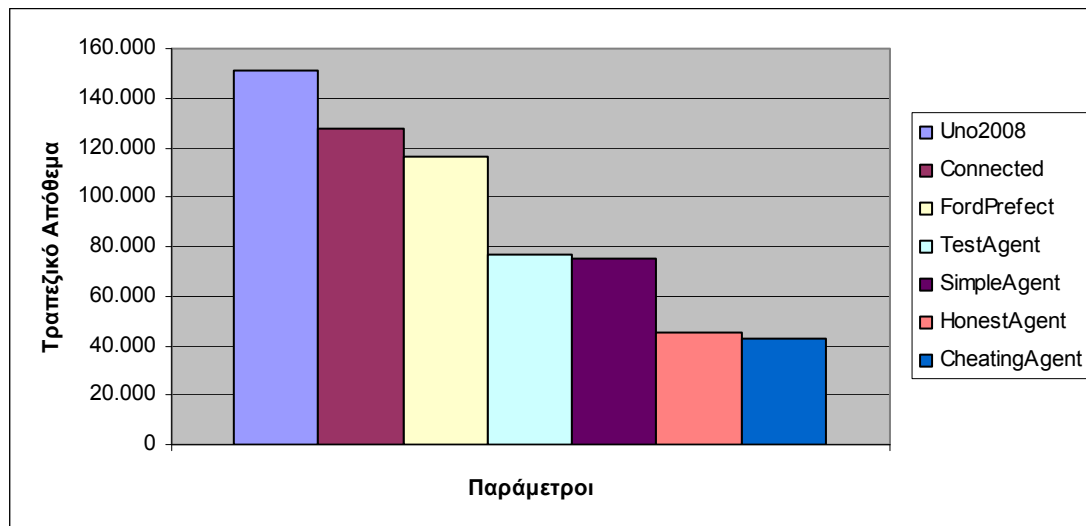
- **TestAgent Vs SimpleAgent Vs HonestAgent Vs CheatingAgent Vs Uno2008 Vs Connected Vs FordPrefect**

Τέλος το περιβάλλον στο οποίο πειραματιστήκαμε αποτελείται από έναν πράκτορα *TestAgent*, έναν *SimpleAgent*, έναν *HonestAgent*, έναν *CheatingAgent* και τους τρεις καλύτερους πράκτορες που συμμετείχαν στον τελευταίο διαγωνισμό του

ART Testbed. Αυτοί είναι με σειρά κατάταξης ο *Uno2008*, ο *Connected* και ο *FordPrefect*. Αυτό το σενάριο είναι ένα πιο ρεαλιστικό περιβάλλον του διαγωνισμού με αρκετούς πράκτορες ανταγωνιστές και ποικίλες καθώς και πιο πολύπλοκες στρατηγικές. Μετά από πολυάριθμα πειράματα και σε αυτό το περιβάλλον καταλήξαμε στον παρακάτω συνδυασμό τιμών των παραμέτρων του πράκτορα *TestAgent* για τις οποίες είχαμε βελτιωμένα αποτελέσματα σε σχέση με τον *SimpleAgent*.

- P1) *if difference > 0.5 then rep = rep - 0.02 else rep = rep + 0.04*
- P2) Ειλικρινή απόκριση στους έμπιστους πράκτορες, ψευδή στους αναξιόπιστους. Έμπιστος θεωρείται ο πράκτορας με τιμή φήμης μεγαλύτερη από 0.5
- P3) Πληρωμή για απόκτηση εκτιμήσεων σε έμπιστους πράκτορες 70% από το κόστος παραγωγής της εκτίμησης.
- P4) Πληρωμή για απόκτηση εκτιμήσεων σε αναξιόπιστους πράκτορες 15% από το κόστος παραγωγής της εκτίμησης.

Στο επόμενο σχήμα φαίνονται τα αποτελέσματα στα οποία μας οδήγησαν οι τιμές αυτές των παραμέτρων.



Σχήμα 4. 14: Τελικά αποτελέσματα - ART Testbed Contest Agents Vs TestAgent Vs Dummy Agents.

4.2.3. Συμπεράσματα

Μέσα από αυτή την έρευνα που έγινε διεξάγοντας παιχνίδια με ποικίλες ομάδες αντιπάλων και καταγράφοντας σε κάθε ένα από αυτά την επίδραση των τιμών της κάθε παραμέτρου ξεχωριστά αλλά και πιθανών συνδυασμών τους

παρατηρήσαμε πως οι τιμές φήμης είναι πιο αποτελεσματικό να εξάγονται από τις άμεσες αλληλεπιδράσεις με άλλους πράκτορες και όχι με έμμεση πληροφόρηση όπως είναι οι αιτήσεις για παροχή τιμών φήμης από τους αντίπαλους. Επίσης είδαμε ότι η απόλυτη ευλικρίνεια σε ένα τέτοιο αναξιόπιστο σύστημα πρακτόρων μειώνει την αποτελεσματικότητα του πράκτορα, ενώ με την υπό συνθήκες δόλια συμπεριφορά απέναντι σε δόλιους πράκτορες δίνουμε ένα κίνητρο για τίμια συμπεριφορά και αυξάνουμε έτσι τα επίπεδα της εμπιστοσύνης γενικότερα στο πολυπρακτορικό σύστημα, ενώ βελτιώνουμε και τα δικά μας αποτελέσματα.

Μια άλλη παρατήρηση είναι ότι για κάποιες παραμέτρους εντοπίσαμε ένα εύρος τιμών που μειώνει το ποσοστό λάθους και κατά συνέπεια αυξάνει το εισόδημα του πράκτορα, όπως για παράδειγμα το κόστος που καλείται να πληρώσει ο κάθε πράκτορας για την παραγωγή των εκτιμήσεων του. Αν πληρώσει λίγα χρήματα τότε μειώνεται η ακρίβεια του πράκτορα και το εισόδημα του, αλλά όταν αυξάνεται πάνω από ένα όριο δεν βελτιώνεται περαιτέρω η ακρίβεια με συνέπεια να έχουμε μόνο απώλεια χρημάτων. Επομένως υπάρχει ένα συγκεκριμένο εύρος τιμών που βελτιώνει την αποδοτικότητα του πράκτορα.

Τέλος, στο περιβάλλον όπου προστέθηκαν οι πράκτορες που συμμετείχαν στο διεθνή διαγωνισμό του ART δεν ήταν δυνατόν να επιφέρουμε ιδιαίτερη βελτίωση των αποτελεσμάτων με χρήση του μοντέλου εμπιστοσύνης που χρησιμοποιεί ο πράκτορας *SimpleAgent* παρά τη διερεύνηση των τιμών των παραμέτρων του. Το γεγονός αυτό ήταν αναμενόμενο μιας και το μοντέλο εμπιστοσύνης αυτό είναι σχετικά απλό και το μόνο μέγεθος που χρησιμοποιεί για να περιγράψει την εμπιστοσύνη είναι η τιμή της φήμης που υπολογίζει για κάθε πράκτορα.

4.3. Σχεδίαση του Πρωτοκόλλου Φήμης

Το τμήμα αυτό του πράκτορα αφορά την διαχείριση του μεγέθους της φήμης και είναι υπεύθυνο για την ενημέρωση των τιμών της φήμης από τις προηγούμενες άμεσες αλληλεπιδράσεις, καθώς και τη διαχείριση της φήμης από έμμεσες πηγές, όπως είναι οι πληροφορίες παρατηρητών. Το τμήμα αυτό ουσιαστικά εκφράζει την στρατηγική επιβράβευσης ή της επίπληξης ανάλογα με το μέγεθος του λάθους των τιμών εκτιμήσεων που του επιστρέφουν οι αντίπαλοι πράκτορες σε προηγούμενα χρονικά βήματα. Επίσης, είναι αρμόδιο στο να επιλέξει πόσες αιτήσεις και σε ποιους πράκτορες θα στείλει για να ζητήσει τις τιμές φήμης για τρίτους πράκτορες. Επιλέγει σε ποιες αιτήσεις για παροχή τιμών φήμης θα απαντήσει και σε ποιες θα αρνηθεί, ενώ σε αυτές που θα απαντήσει επιλέγει σε ποιες και κατά πόσο θα

απαντήσει ειλικρινά. Το τμήμα αυτό υλοποιείται, όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή αυτού του κεφαλαίου, μέσα από τις τρεις πρώτες συναρτήσεις στρατηγικής του πράκτορα.

4.3.1. Διαχείριση Αιτήσεων Φήμης

Ο πράκτορας *HerculAgent* στην πρώτη συνάρτηση στρατηγικής δέχεται σαν είσοδο μηνύματα απάντησης με τιμές εκτιμήσεων από πράκτορες τους οποίους έχει ρωτήσει στο προηγούμενο χρονικό βήμα. Η μηχανή προσομοίωσης του περιβάλλοντος ART Testbed μας δίνει πρόσβαση στα μηνύματα αυτά για να μπορούμε να συγκρίνουμε τις τιμές εκτιμήσεων που μας δίνουν οι άλλοι πράκτορες με τις πραγματικές τιμές τους στις οποίες έχουμε επίσης πρόσβαση, αφού πρόκειται για πίνακες που κρίθηκαν στο προηγούμενο χρονικό βήμα του παιχνιδιού.

Στο τμήμα αυτό δόθηκε μεγάλη σημασία αφού η εξαγωγή της φήμης από άμεσες εμπειρίες θεωρείται από τους πιο ισχυρούς μηχανισμούς φήμης σύμφωνα τόσο με την βιβλιογραφική έρευνα που κάναμε όσο και με την πειραματική έρευνα πάνω στο περιβάλλον προσομοίωσης. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναλυθούν και οι μετρικές που χρησιμοποιεί ο πράκτορας *HerculAgent* για την εξαγωγή της εμπιστοσύνης και της φήμης.

Όπως ορίζεται και από το περιβάλλον του ART χρησιμοποιήθηκε μια τιμή φήμης (*Rep*) η οποία είναι ένας πραγματικός αριθμός ορισμένος στο κλειστό διάστημα $[0, 1]$ και εκφράζει τον βαθμό της έμπιστης και ειλικρινούς συμπεριφοράς. Με την τιμή $Rep=1$ εκφράζεται ο απόλυτα έμπιστος πράκτορας ενώ με την τιμή $Rep=0$ εκφράζεται ο απόλυτα αναξιόπιστος πράκτορας. Η τιμή της φήμης καθορίζεται μοναδικά για κάθε πράκτορα και για μια συγκεκριμένη εποχή, καθώς οι πράκτορες σε κάθε εποχή έχουν διαφορετική τιμή εμπειρογνωμοσύνης και επίσης μπορεί ανάλογα με την τιμή της εμπειρογνωμοσύνης τους να ακολουθούν διαφορετική πολιτική. Για τη φήμη λοιπόν ισχύει:

$Re p_{ijt}$, όπου:

i , ο πράκτορας $Agent_i$

j , η εποχή Era_j και

t , το χρονικό βήμα $Timestep_t$.

Μία ακόμα μετρική που ορίζεται από το περιβάλλον προσομοίωσης είναι η τιμή της βεβαιότητας (*Cer*), η οποία έχει ακριβώς την ίδια φυσική υπόσταση με την τιμή της φήμης. Είναι πραγματικός αριθμός ορισμένος στο κλειστό διάστημα $[0, 1]$

και καθορίζεται μοναδικά για κάθε πράκτορα και για κάθε εποχή. Η τιμή αυτή εκφράζει την βεβαιότητα με την οποία υποστηρίζει ένας πράκτορας τις τιμές των εκτιμήσεων τις οποίες παράγει. Για τη βεβαιότητα ισχύει:

Cer_{ijt} , όπου:

i , ο πράκτορας $Agent_i$

j , η εποχή Era_j και

t , το χρονικό βήμα $Timestep_t$.

Τέλος, δύο μετρικές τις οποίες εφηύραμε μετά από πειραματισμό, έρευνα και μελέτη πάνω στις συνθήκες και το περιβάλλον του παιχνιδιού είναι η *αυτοπεποίθηση της γνώσης του πράκτορα (SC)* και το *μέσο λάθος των εκτιμήσεων (ME)* των αντίπαλων πρακτόρων. Η αυτοπεποίθηση είναι ένα μέγεθος που περιγράφει τον βαθμό της γνώσης που έχουμε σχηματίσει για τους αντίπαλους πράκτορες μέσω των αλληλεπιδράσεων με αυτούς και εκφράζει την πιθανότητα η τιμή φήμης που έχουμε σχηματίσει για έναν πράκτορα να συμβαδίζει με τον βαθμό εμπιστοσύνης που παρουσιάζει η συμπεριφορά του. Παίρνει τιμές στο κλειστό διάστημα $[0, 1]$ και ορίζεται μοναδικά για κάθε πράκτορα και για κάθε εποχή. Μαθηματικά ορίζεται ως:

SC_{ijt} , όπου:

i , ο πράκτορας $Agent_i$

j , η εποχή Era_j και

t , το χρονικό βήμα $Timestep_t$.

Το μέσο λάθος των εκτιμήσεων είναι ένα μέγεθος που μας δίνει ένα πιο άμεσο μέτρο που εκφράζει την αποτελεσματικότητα του κάθε πράκτορα και υπολογίζεται ως το μέσο σχετικό σφάλμα των εκτιμήσεων. Ορίζεται μοναδικά για κάθε αντίπαλο πράκτορα και για κάθε εποχή και ορίζεται ως:

ME_{ijt} , όπου:

i , ο πράκτορας $Agent_i$

j , η εποχή Era_j και

t , το χρονικό βήμα $Timestep_t$.

Ο πράκτορας *HerculAgent* δε στέλνει αιτήσεις για τιμές φήμης στους αντίπαλους πράκτορες για τρίτους πράκτορες, καθώς οι τιμές που επιστρέφονται είναι συνήθως παραπλανητικές και αυξάνονται τα έξοδα του πράκτορα. Στην συνάρτηση Διαχείρισης Αιτήσεων Φήμης όμως γίνεται η ενημέρωση των τιμών *Rep*,

ME και SC βάση των εμπειριών των άμεσων αλληλεπιδράσεων του προηγούμενου χρονικού βήματος.

Η μετρική ME υπολογίζεται ως ο μέσος όρος των σχετικών σφαλμάτων των εκτιμήσεων που παρέχει ένας πράκτορας και έχει διαφορετική τιμή για κάθε εποχή. Η μαθηματική σχέση που περιγράφει το ME είναι:

$$ME_{ijt} = \frac{((ME_{ij(t-1)} \cdot ErC_{ij(t-1)} + (Er_{ij(t-1)}))}{(ErC_{ij(t-1)} + 1)},$$

Όπου ErC_{ijt} , είναι ένας μετρητής που καταγράφει πόσα λάθη έχουν καταγραφεί και συνυπολογιστεί στον υπολογισμό του μέσου όρου για έναν πράκτορα i και για μια εποχή j το συγκεκριμένο χρονικό βήμα t και Er_{ijt} είναι το σχετικό λάθος του πράκτορα i για την εποχή j το χρονικό βήμα t .

Οι μετρικές SC και Rep υπολογίζονται όπως φαίνεται στα παρακάτω κομμάτια του κώδικα του *HerculAgent* (Java).

```
tempConf = selfConfidence.get(msg.getSender()).get(appraisal.getEra());
if(tempConf==0) tempConf=0.01;
else tempConf = tempConf+((1-tempConf)*0.005);
selfConfidence.get(msg.getSender()).put(appraisal.getEra(), tempConf);
```

Η τιμή της αυτοπεποίθησης ξεκινάει από μηδενική τιμή και με κάθε άμεση αλληλεπίδραση με έναν αντίπαλο πράκτορα αυξάνεται ακολουθώντας μια καμπύλη που έχει ασύμπτωτο στην τιμή SC=1. Η αύξηση που δέχεται σε κάθε επανάληψη εξαρτάται από την απόσταση της τρέχουσας τιμής της αυτοπεποίθησης από την τιμή SC=1.

```
double expectDev= ((1-certainties.get(agent).get(msg.getAppraisalAssignment().getEra()))*((double)appraisal.getTrueValue()));

standardError = (int)Math.round(Math.abs(expectDev));
smallError = (int)Math.round(Math.abs(expectDev*0.5));
```

```
if (difference <= smallError){
    double temp=reputation.get(appraisal.getEra());

    if (temp<repLimit.get(msg.getAppraisalAssignment().getEra()) &&
        currentTimestep <=5){ //start game effect
        tempConf=tempConf-(tempConf*0.06);
        temp=temp+(1-temp)*0.08;
        selfConfidence.get(msg.getSender()).put(appraisal.getEra(), tempConf);
    }
}
```

```

    if (temp<repLimit.get(msg.getAppraisalAssignment().getEra()) &&
        currentTimestep >5) {
        tempConf=tempConf-(tempConf*0.06); //my confidence for an agent decreases
if his honesty doesn't agree with his reputation
        temp=temp+(1-temp)*0.1*tempConf;
        selfConfidence.get(msg.getSender()).put(appraisal.getEra(), tempConf);
    }

    if(temp>repLimit.get(msg.getAppraisalAssignment().getEra())){
        temp=temp+(1-temp)*0.06*tempConf;
    }
    reputation.put(appraisal.getEra(),temp);
}

if(difference > smallError && difference <= standardError){
    double temp=reputation.get(appraisal.getEra());
    if(temp<repLimit.get(msg.getAppraisalAssignment().getEra()) &&
        currentTimestep<=5){ //start game effect
        tempConf=tempConf- (tempConf*0.04);
        temp=temp+(1-temp)*0.06;
        selfConfidence.get(msg.getSender()).put(appraisal.getEra(), tempConf);
    }

    if(temp<repLimit.get(msg.getAppraisalAssignment().getEra()) &&
        currentTimestep>5){
        tempConf=tempConf- (tempConf*0.04);
        temp=temp+(1-temp)*0.08*tempConf;
        selfConfidence.get(msg.getSender()).put(appraisal.getEra(), tempConf);
    }

    if(temp>repLimit.get(msg.getAppraisalAssignment().getEra())){
        temp=temp+(1-temp)*0.04*tempConf;
    }

    reputation.put(appraisal.getEra(),temp);
}

if(difference > standardError){
    double temp=reputation.get(appraisal.getEra());

    if(temp<repLimit.get(msg.getAppraisalAssignment().getEra())){
        temp=temp- (temp)*0.03*tempConf;
    }

    if(temp>=repLimit.get(msg.getAppraisalAssignment().getEra()) &&
        currentTimestep <=5){
        tempConf=tempConf- (tempConf*0.04); //start game effect
        temp=temp- (temp)*0.08;
        selfConfidence.get(msg.getSender()).put(appraisal.getEra(), tempConf);
    }

    if(temp>=repLimit.get(msg.getAppraisalAssignment().getEra()) &&
        currentTimestep >5){
        tempConf=tempConf- (tempConf*0.04);
        temp=temp- (temp)*0.06*tempConf;

        selfConfidence.get(msg.getSender()).put(appraisal.getEra(), tempConf);
    }

    reputation.put(appraisal.getEra(),temp);
}

if(difference > 2*standardError){ // double punishment
    double temp=reputation.get(appraisal.getEra());

    if(temp<repLimit.get(msg.getAppraisalAssignment().getEra())){
        temp=temp- (temp)*0.03*tempConf;
    }

    if(temp>=repLimit.get(msg.getAppraisalAssignment().getEra()) &&
        currentTimestep <=5){
        tempConf=tempConf- (tempConf*0.04); //start game effect
        temp=temp- (temp)*0.08;
    }
}

```

```

        selfConfidence.get(msg.getSender()).put(appraisal.getEra(), tempConf);
    }

    if(temp>=repLimit.get(msg.getAppraisalAssignment().getEra()) &&
        currentTimestep >5) {
        tempConf=tempConf- (tempConf*0.04);
        temp=temp- (temp)*0.06*tempConf;

        selfConfidence.get(msg.getSender()).put(appraisal.getEra(), tempConf);
    }

    reputation.put(appraisal.getEra(), temp);
}

if(difference > 4*standardError){ // triple punishment
    double temp=reputation.get(appraisal.getEra());

    if(temp<repLimit.get(msg.getAppraisalAssignment().getEra())) {
        temp=temp- (temp)*0.03*tempConf;
    }

    if(temp>=repLimit.get(msg.getAppraisalAssignment().getEra()) &&
        currentTimestep <=5) {
        tempConf=tempConf- (tempConf*0.04); //start game effect
        temp=temp- (temp)*0.08;

        selfConfidence.get(msg.getSender()).put(appraisal.getEra(), tempConf);
    }

    if(temp>=repLimit.get(msg.getAppraisalAssignment().getEra()) &&
        currentTimestep >5) {
        tempConf=tempConf- (tempConf*0.04);
        temp=temp- (temp)*0.06*tempConf;

        selfConfidence.get(msg.getSender()).put(appraisal.getEra(), tempConf);
    }

    reputation.put(appraisal.getEra(), temp);
}
}

```

Όπως φαίνεται στο παραπάνω κομμάτι κώδικα αρχικά υπολογίζονται δυναμικά για κάθε αλληλεπίδραση τα μεγέθη *smallError* και *standardError* ως τα επιτρεπτά λάθη ενός πράκτορα υπολογισμένα σύμφωνα με την τιμή της βεβαιότητας που υποστηρίζει τη γνώμη του ο κάθε πράκτορας. Έτσι ανάλογα με τη σύγκριση του λάθους της εκτίμησης του κάθε πράκτορα και των λαθών που υπολογίζονται παραπάνω επιβάλλεται μια αύξηση ή μείωση στην τιμή της φήμης του πράκτορα. Η μεταβολή αυτή εξαρτάται επίσης από την χρονική περίοδο του παιχνιδιού, αν βρίσκεται δηλαδή στην αρχική κατάσταση (start game effect) του παιχνιδιού ή στην μετέπειτα εξέλιξη του, τον βαθμό της γνώσης που έχει για τον πράκτορα που συνδιαλλάσσεται, εκφράζεται με την τιμή SC_{ijt} , καθώς και από τον βαθμό εμπιστοσύνης που έχουμε μέχρι την συγκεκριμένη χρονική στιγμή που εκφράζεται με την τιμή *Rep*. Η μεταβολή αυτή ακολουθεί μια καμπύλη που έχει ασύμπτωτο στην τιμή $Rep=1$.

4.3.2. Διαχείριση Αποδοχής και Απάντησης Φήμης

Ο *HerculAgent* στις δύο αυτές συναρτήσεις στρατηγικής επιλέγει να απαντάει σε όλους τους πράκτορες που ζητούν τιμές φήμης για τρίτους πράκτορες, έτσι ώστε να χαρακτηριστεί ως πρόθυμος πράκτορας από το περιβάλλον του. Για να επιτύχει όμως μεγαλύτερη στάθμη εμπιστοσύνης μέσα στο σύστημα επιλέγει να απαντάει ειλικρινά για τις τιμές φήμης στους έμπιστους πράκτορες και με ψευδείς τιμές στους αναξιόπιστους πράκτορες. Ο τρόπος με τον οποίο κρίνει αν ένας πράκτορας είναι έμπιστος γίνεται μέσω μιας επιπλέον μεθόδου που σχεδιάστηκε για τον σκοπό αυτό και χρησιμοποιείται από τις περισσότερες συναρτήσεις στρατηγικής του *HerculAgent*. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται *setRepLimit()*, καλείται στην αρχή κάθε χρονικού βήματος του παιχνιδιού και καθορίζει δυναμικά με τρόπο που θα αναλυθεί παρακάτω ένα όριο για την τιμή φήμης για κάθε εποχή, πάνω από το οποίο οι πράκτορες θεωρούνται έμπιστοι.

4.4. Σχεδίαση του Πρωτοκόλλου Βεβαιότητας

Το τμήμα αυτό του πράκτορα αφορά τη διαχείριση του μεγέθους της βεβαιότητας και είναι υπεύθυνο για την ανταλλαγή των τιμών βεβαιότητας με τους αντίπαλους πράκτορες. Ουσιαστικά εδώ εκφράζεται η στρατηγική δημιουργίας της τιμής *Cer* που προβάλλεται στους αντίπαλους πράκτορες ανάλογα με το βαθμό της εμπιστοσύνης που έχει αναπτυχθεί. Επίσης, επιλέγεται η ομάδα των πρακτόρων στους οποίους θα αποσταλεί αίτηση για την παροχή της *Cer* τους. Το τμήμα αυτό υλοποιείται, όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή αυτού του κεφαλαίου, μέσα από την τέταρτη και πέμπτη συνάρτηση στρατηγικής του *HerculAgent*.

Η συνάρτηση του πρωτοκόλλου βεβαιότητας *prepareCertaintyRequests()* εκφράζει τη διαχείριση των αιτήσεων *Cer*. Ο αριθμός των αιτήσεων *Cer* που μπορεί ένας πράκτορας να στείλει καθορίζεται από την μηχανή προσομοίωσης του περιβάλλοντος ART Testbed. Στην στρατηγική του *HerculAgent* επιλέχθηκε να αποστέλλονται όλες τις αιτήσεις που επιτρέπεται στους πράκτορες για τους οποίους, για την συγκεκριμένη εποχή δεν γνωρίζουμε την τιμή *Cer* που υποστηρίζουν ότι έχουν, και τους οποίους θεωρούμε έμπιστους. Το κριτήριο και σε αυτή την συνάρτηση για να είναι ένας πράκτορας έμπιστος είναι να έχει τιμή φήμης μεγαλύτερη από την τιμή που έχει οριστεί ως όριο από τη συνάρτηση *setRepLimit()* για το συγκεκριμένο χρονικό βήμα.

Η δεύτερη συνάρτηση του πρωτοκόλλου *prepareCertaintyReplies()* είναι αρμόδια για την απάντηση του *HerculAgent* στις αιτήσεις των αντιπάλων

πρακτόρων για την τιμή *Cer*. Εδώ αναπτύχθηκε ένας αλγόριθμος ο οποίος δημιουργεί μια τιμή βεβαιότητας που εξαρτάται από την αυτοπεποίθηση (*SC*) για τον πράκτορα που κάνει την αίτηση, την τιμή *Rep* του καθώς και την χρονική περίοδο του παιχνιδιού. Κατά την εκκίνηση του παιχνιδιού (start game effect) ο *HerculAgent* απαντά με ειλικρίνεια, ενώ στην μετέπειτα εξέλιξη του παιχνιδιού εισάγει μια ψευδή προσαύξηση στην τιμή *Cer* για τους αναξιόπιστους πράκτορες που είναι μεγαλύτερη, όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή *SC*. Μια μικρότερη προσαύξηση προστίθεται στην τιμή *Cer* και για τους έμπιστους πράκτορες που γίνεται μικρότερη έως μηδενική για μεγάλες τιμές *SC*. Το κομμάτι κώδικα του *HerculAgent* που υλοποιεί την παραπάνω στρατηγική δίνεται παρακάτω.

```

if(reputations.get(receivedMsg.getSender()).get(receivedMsg.getEra())<
    replimit.get(receivedMsg.getEra())){
    double cert=1.0;
    if( currentTimestep>5){
        cert=1-(myExpertise/maxSStarValue)+
(0.4*selfConfidence.get(receivedMsg.getSender()).get(receivedMsg.getEra()));
        // the more confident of the untrustworthiness the more we cheat.
        if(cert>1)cert=1;
    }

    if(currentTimestep<=5) cert=1-(myExpertise/maxSStarValue);
    if(cert>1)cert=1;
    CertaintyReplyMsg msg = receivedMsg.certaintyReply(cert);
    sendOutgoingMessage(msg);
}

else{
    double cert=1.0;
    if(currentTimestep>5 &&
selfConfidence.get(receivedMsg.getSender()).get(receivedMsg.getEra())>0.1){
        cert=1-(myExpertise/maxSStarValue)+
(0.02/selfConfidence.get(receivedMsg.getSender()).get(receivedMsg.getEra()));

        // the more confident of the trustworthiness the less we cheat.
        if(cert>1)cert=1;
    }

    if(currentTimestep>5 &&
selfConfidence.get(receivedMsg.getSender()).get(receivedMsg.getEra())<0.1){
        cert=1-(myExpertise/maxSStarValue)+0.2;
        if(cert>1)cert=1;
    }

    if(currentTimestep <=5) cert=1-(myExpertise/maxSStarValue);
    if(cert>1)cert=1;

    CertaintyReplyMsg msg = receivedMsg.certaintyReply(cert);
    sendOutgoingMessage(msg);
}

```

4.5. Σχεδίαση του Πρωτοκόλλου Εκτιμήσεων

Το τμήμα αυτό του πράκτορα αφορά την ουσιαστική εργασία που καλείται να κάνει ένας πράκτορας που συμμετέχει στο παιχνίδι του ART Testbed, και είναι υπεύθυνο για την εξαγωγή των εκτιμήσεων. Συγκεκριμένα, καλείται να επιλέξει τους πράκτορες στους οποίους θα στείλει αιτήσεις για παροχή των τιμών εκτιμήσεων τους (*Op*), να σχεδιάσει την στρατηγική με την οποία θα δημιουργεί τις προσωπικές του εκτιμήσεις για να απαντάει στα αιτήματα των αντιπάλων και τέλος την στρατηγική με την οποία σύμφωνα με το μοντέλο εμπιστοσύνης του, θα επιλέγει το συνδυασμό των εκτιμήσεων των αντιπάλων του για να εξάγει την τελική εκτίμηση που θα επιστρέψει στην μηχανή προσομοίωσης. Το τμήμα αυτό υλοποιείται μέσα από τις τρεις τελευταίες συναρτήσεις στρατηγικής του πράκτορα *HerculAgent*.

4.5.1. Διαχείριση Αιτήσεων Εκτιμήσεων

Στην συνάρτηση αυτή ο πράκτορας *HerculAgent* δέχεται ως είσοδο μηνύματα του τύπου *CertaintyReply* τα οποία είναι οι απαντήσεις των πρακτόρων στα αιτήματα για τιμές βεβαιότητας που έχει στείλει και αποθηκεύει για το κάθε μήνυμα την τιμή *Cer* για τον αποστολέα. Στη συνέχεια, με τον αλγόριθμο που περιγράφεται παρακάτω στέλνει αιτήσεις στους πράκτορες που επιλέγει για παροχή των εκτιμήσεων τους.

Η επιλογή των πρακτόρων στους οποίους στέλνει αιτήσεις εκτιμήσεων είναι ιδιαίτερα σημαντική για την αποτελεσματική και άμεση ενημέρωση των τιμών *Rep*, επειδή οι απαντήσεις που δέχεται από αυτές τις αιτήσεις χρησιμοποιούνται από τον μηχανισμό υπολογισμού των τιμών *Rep* στην πρώτη συνάρτηση στρατηγικής. Έτσι, αναπτύχθηκε ένας μηχανισμός για να αποστέλλονται όσες περισσότερες αιτήσεις μας επιτρέπει η μηχανή προσομοίωσης. Αρχικά αποστέλλονται αιτήσεις στους έμπιστους πράκτορες έτσι ώστε να ληφθούν κάποιες ακριβείς τιμές απαραίτητες για τον υπολογισμό της τελικής εκτίμησής. Στη συνέχεια αποστέλλονται κάποιες αιτήσεις και στους αναξιόπιστους πράκτορες για να υπάρχει μια σφαιρική ενημέρωση των τιμών φήμης για το σύνολο των αντιπάλων και γενικότερη γνώση μέσα στο παιχνίδι. Το κομμάτι του κώδικα που υλοποιεί αυτή την στρατηγική φαίνεται παρακάτω.

```

int nSent=0;

Vector<String> trustedSent=new Vector<String>();
Vector<String> untrustedSent = new Vector<String>();

trusted.clear();
untrusted.clear();

for (String agentToAsk: agentNames){
    if(agentToAsk.equals(this.getName())) continue;
    if(reputations.get(agentToAsk).get(assignment.getEra())>
        repLimit.get(assignment.getEra())) {

        trusted.add(agentToAsk);
        continue;
    }
    untrusted.add(agentToAsk);
}

for(int i=0; i<2 && nSent< maxNbOpinionRequests;i++){
    double maxRep=0;
    String expert=null;

    for (String agentToAsk: trusted){
        if(certainities.get(agentToAsk).containsKey(assignment.getEra())
            && reputations.get(agentToAsk).get(assignment.getEra()) > maxRep
            && !trustedSent.contains(agentToAsk)){

            maxRep=reputations.get(agentToAsk).get(assignment.getEra());
            expert=agentToAsk;
        }
    }

    if(expert!=null){
        OpinionRequestMsg msg = new OpinionRequestMsg(expert,null,assignment);
        sendOutgoingMessage(msg);
        nSent++;
        trustedSent.add(expert);
    }
}

// if there are less than 2 trusted agents send the remain requests to untrusted.

for(int i=0; i<2 && nSent< maxNbOpinionRequests;i++){
    double maxRep=0;
    String expert=null;

    for (String agentToAsk: untrusted){
        if(certainities.get(agentToAsk).containsKey(assignment.getEra())
            && reputations.get(agentToAsk).get(assignment.getEra()) > maxRep
            && !trustedSent.contains(agentToAsk)){

            maxRep=reputations.get(agentToAsk).get(assignment.getEra());
            expert=agentToAsk;
        }
    }

    if(expert!=null){
        OpinionRequestMsg msg = new OpinionRequestMsg(expert,null,assignment);
        sendOutgoingMessage(msg);
        nSent++;
        untrustedSent.add(expert);
    }
}
}

```

4.5.2. Διαχείριση Απάντησης Εκτιμήσεων

Ο πράκτορας στο σημείο αυτό καλείται να αποφασίσει την στρατηγική του σχετικά με το χρηματικό ποσό που θα διαθέσει, που είναι ανάλογο με τον χρόνο που θα σπαταλήσει για να μελετήσει τον πίνακα που πρόκειται να εκτιμήσει. Σύμφωνα με την βιβλιογραφική έρευνα αλλά και την πειραματική έρευνα που κάναμε πάνω στο περιβάλλον του ART Testbed, παρατηρήθηκε ότι το κόστος αυτό βελτιώνει την αποδοτικότητα του πράκτορα για ένα συγκεκριμένο εύρος τιμών.

Συγκεκριμένα ο *HerculAgent* υπολογίζει το κόστος αυτό με τον αλγόριθμο που δίνεται στο επόμενο πλαίσιο.

```
double cg;
//OpinionCost strategy based on trusted agents compined with start/end game
effects.

if (currentTimestep<5) {
    if(reputations.get(receivedMsg.getSender()).get(receivedMsg.
getAppraisalAssignment().getEra())>repLimit.get(receivedMsg.
getAppraisalAssignment().getEra())) cg=opinionCost*0.3;
    else cg =opinionCost*0.1;
}

else if(currentTimestep<45) {
    if(reputations.get(receivedMsg.getSender()).get(receivedMsg.
getAppraisalAssignment().getEra())<repLimit.get(receivedMsg.
getAppraisalAssignment().getEra())*0.7) cg=0.001;

    else if (reputations.get(receivedMsg.getSender()).get(receivedMsg.
getAppraisalAssignment().getEra())<repLimit.get(receivedMsg.
getAppraisalAssignment().getEra())) cg = opinionCost*0.2;

    else cg = opinionCost*0.6;
}

else {
    cg =0.1;
}
```

- Στην αρχική φάση του παιχνιδιού (start game effect), το οποίο ερμηνεύεται ως τα πέντε πρώτα χρονικά βήματα, το κόστος για την εκτίμηση που θα αποσταλεί σε έναν έμπιστο πράκτορα ορίζεται ως το 30% της τιμής μιας εκτίμησης (*OpC*, *Opinion Cost*). Στους αναξιόπιστους η τιμή αυτή γίνεται το 10% του *OpC*. Έμπιστος θεωρείται ο πράκτορας με τιμή φήμης μεγαλύτερη από το όριο που ορίζει η συνάρτηση `setRepLimit()`.

- Από το έκτο χρονικό βήμα ως το τεσσαρακοστό πέμπτο, στο κύριο μέρος του παιχνιδιού δηλαδή, το κόστος εκτίμησης ορίζεται ως εξής. Αν η τιμή της φήμης του πράκτορα που ζητάει την εκτίμησή μας είναι μικρότερη από το 70% του *RepLimit*, τότε το κόστος είναι 0.1% του *OpC*. Αν η τιμή *Rep* είναι μεγαλύτερη του

70% του *RepLimit* αλλά μικρότερη του *RepLimit* τότε το κόστος είναι 20% του *OpC*. Τέλος αν ο πράκτορας είναι έμπιστος ($Rep > RepLimit$) τότε το κόστος είναι 60% του *OpC*.

- Στην τελική φάση του παιχνιδιού (end game effect), δηλαδή τα τελευταία πέντε χρονικά βήματα το κόστος εκτιμήσεων μειώνεται σταθερά για όλους τους πράκτορες στο 1% του *OpC*. Αυτό γίνεται για να μειώσουμε τα έξοδα του πράκτορα χωρίς να έχουμε μελλοντικές συνέπειες για την φήμη αφού το παιχνίδι πρόκειται να τελειώσει.

4.5.3. Διαχείριση βαρών για την εξαγωγή της τελικής εκτίμησης

Στο τμήμα αυτό ο *HerculAgent* καλείται να στείλει στη μηχανή προσομοίωσης τα βάρη με τα οποία θα συνυπολογίσει τις εκτιμήσεις των άλλων πρακτόρων για να εξάγει την δικιά του τελική εκτίμηση. Μετά από πολυάριθμα παιχνίδια που εκτελεστήκαν και στα οποία πειραματιστήκαμε με διάφορες στρατηγικές για τον υπολογισμό των βαρών αυτών καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι ένας πράκτορας όταν είναι έμπιστος μπορεί η στρατηγική του να βασίζεται σε ειλικρινές αποκρίσεις, αλλά η ακρίβεια των εκτιμήσεων του να μην είναι ικανοποιητική εξαιτίας του αναποτελεσματικού μοντέλου εμπιστοσύνης του. Συνεπώς, η τιμή φήμης που σχηματίζεται δεν αποτελεί ικανοποιητικό κριτήριο για την εξαγωγή των βαρών αυτών. Έτσι, προέκυψε η ιδέα της χρήσης της μετρικής του μέσου λάθους ενός πράκτορα για κάθε εποχή. Με βάση αυτό το μέγεθος ο *HerculAgent* δημιουργεί τα βάρη με τον τρόπο που φαίνεται στο παρακάτω κομμάτι του κώδικα. Το όριο του μέσου λάθους βάση του οποίου παίρνονται οι αποφάσεις για την εξαγωγή των βαρών υπολογίζεται στην αρχή κάθε χρονικού βήματος δυναμικά με την κλήση της μεθόδου *setErrorsLimit()*, με βάση τις παρελθοντικές τιμές του μέσου λάθους.

```

for(Era thisera: eras){
    for(String name: agentNames){
        if(!name.equals(getName())){
            if(errors.get(name).get(thisera)<1*errorsLimit.get(thisera)) wt=1.0;
            else if(errors.get(name).get(thisera)<2*errorsLimit.get(thisera)) wt=0.6;
            else if(errors.get(name).get(thisera)<3*errorsLimit.get(thisera)) wt=0.3;
            else wt=0.0;

            WeightMsg msg = new WeightMsg(new Weight(getName(),name, wt,
                thisera.getName()));
            sendOutgoingMessage(msg);
        }
    }
}

```

4.6. Δυναμικός Υπολογισμός Ορίων

Ο δυναμικός υπολογισμός των ορίων της φήμης και του λάθους που υλοποιούνται στον *HerculAgent* με τις μεθόδους *setRepLimit()* και *setErrorsLimit()*, ήταν αποτέλεσμα της προσπάθειας να γίνει ο πράκτορας περισσότερο ευέλικτος μέσα στο σύστημα των πρακτόρων και πιο αποτελεσματικός, καθώς με τον τρόπο αυτό ακολουθεί άμεσα τις συμπεριφορές των αντιπάλων του που μπορεί να αλλάζουν κατά τη διάρκεια ενός παιχνιδιού. Η λογική των συναρτήσεων αυτών είναι να παίρνουν τις τιμές της φήμης ή λάθους των πρακτόρων για το προηγούμενο χρονικό βήμα και για κάθε εποχή να βρίσκουν την μέγιστη και την ελάχιστη τιμή και με χρήση αυτών και μιας καμπύλης που μας οδηγεί στα βέλτιστα αποτελέσματα να υπολογίζουν το όριο της τιμής αυτής που θα χρησιμοποιηθεί στο τρέχων χρονικό βήμα. Σαν παράδειγμα δίνεται ο κώδικας της συνάρτησης *setErrorsLimit()*.

```
private void setErrorsLimit() {  
  
    for (Era thisEra: eras) {  
        double min=1.0;  
        double max=0.0;  
  
        for (String name: agentNames) {  
            if (name!=this.getName()) {  
                if (errors.get(name).get(thisEra)<1.0) {  
                    if (errors.get(name).get(thisEra)<min)  
                        min=errors.get(name).get(thisEra);  
                    if (errors.get(name).get(thisEra)>max)  
                        max=errors.get(name).get(thisEra);  
                }  
            }  
        }  
  
        // compute ErrorsLimit as MinValue +percentage*(MaxValue)^2.  
        double tmpError = min + 0.2*max*max;  
        errorsLimit.put(thisEra, tmpError);  
    }  
}
```

Ανάλογη είναι και η υλοποίηση της συνάρτησης *setRepLimit()*.

4.7. Συμπεριφορές του *HerculAgent*

Έχοντας υλοποιήσει τον βασικό σκελετό του πράκτορα *HerculAgent* και θέλοντας να μελετήσουμε και να συγκρίνουμε διάφορες στρατηγικές αποφάσαμε να υλοποιήσουμε διαφορετικές συμπεριφορές όσον αφορά κάποιες αποφάσεις που παίρνει ο πράκτορας.

Αρχικά επικεντρωθήκαμε στο μοντέλο **εμπιστοσύνης** και στο βαθμό της εμπιστοσύνης που αναπτύσσουμε απέναντι στους αντίπαλους πράκτορες. Ως προς την απόφαση που αφορά την επιλογή των πρακτόρων που εμπιστεύεται ο πράκτορας υλοποιήθηκαν τρεις συμπεριφορές. Η **τυπική (Typical)** συμπεριφορά που αποτελεί την αρχική σχεδίαση του πράκτορα, η **αισιόδοξη (Optimistic)** και η **απαισιόδοξη (Pessimistic)** συμπεριφορά. Η διαφορά των συμπεριφορών αυτών ουσιαστικά είναι το πόσο επιεικής είναι ο πράκτορας στην εμπιστοσύνη που δείχνει στους αντίπαλους του. Με την αισιόδοξη συμπεριφορά μεταβάλλεται ο τρόπος υπολογισμού του ορίου της τιμής φήμης μειώνοντας το όριο και κάνοντας έμπιστους περισσότερους πράκτορες, ενώ με την απαισιόδοξη αντίθετα, αυξάνεται το όριο και οι αντίπαλοι πράκτορες κερδίζουν δυσκολότερα τον τίτλο του έμπιστου πράκτορα.

Συμπεριφορές καθορίστηκαν και για τον τρόπο υπολογισμού των **βαρών** του πράκτορα για τον υπολογισμό της τελικής εκτίμησης του. Συγκεκριμένα ορίστηκαν η **τυπική (Typical)** συμπεριφορά που αποτελεί την αρχική σχεδίαση του πράκτορα,

```
if(errors.get(name).get(thisera)<1*errorsLimit.get(thisera)) wt=1.0;
else if(errors.get(name).get(thisera)<2*errorsLimit.get(thisera)) wt=0.6;
else if(errors.get(name).get(thisera)<3*errorsLimit.get(thisera)) wt=0.3;
else wt=0.0;
```

η επιθετική (Aggressive)

```
if(errors.get(name).get(thisera)<0.75*errorsLimit.get(thisera)) wt=1.0;
else if(errors.get(name).get(thisera)<1.5*errorsLimit.get(thisera)) wt=0.4;
else if(errors.get(name).get(thisera)<2.25*errorsLimit.get(thisera)) wt=0.2;
else wt=0.0;
```

και η **υποχωρητική (Submissive)** συμπεριφορά.

```
if(errors.get(name).get(thisera)<1.25*errorsLimit.get(thisera)) wt=1.0;
else if(errors.get(name).get(thisera)<2.5*errorsLimit.get(thisera)) wt=0.8;
else if(errors.get(name).get(thisera)<3.75*errorsLimit.get(thisera)) wt=0.6;
else wt=0.0;
```

Στην επιθετική συμπεριφορά ο πράκτορας επιτρέπει μικρότερα ποσοστά λάθους και μειώνει περισσότερο το μέτρο των βαρών για μεγαλύτερα λάθη, ενώ αντίθετα στην υποχωρητική συμπεριφορά επιτρέπει μεγαλύτερα ποσοστά λάθους και τα βάρη είναι υπόκεινται σε μικρότερη μείωση με την αύξηση των λαθών.

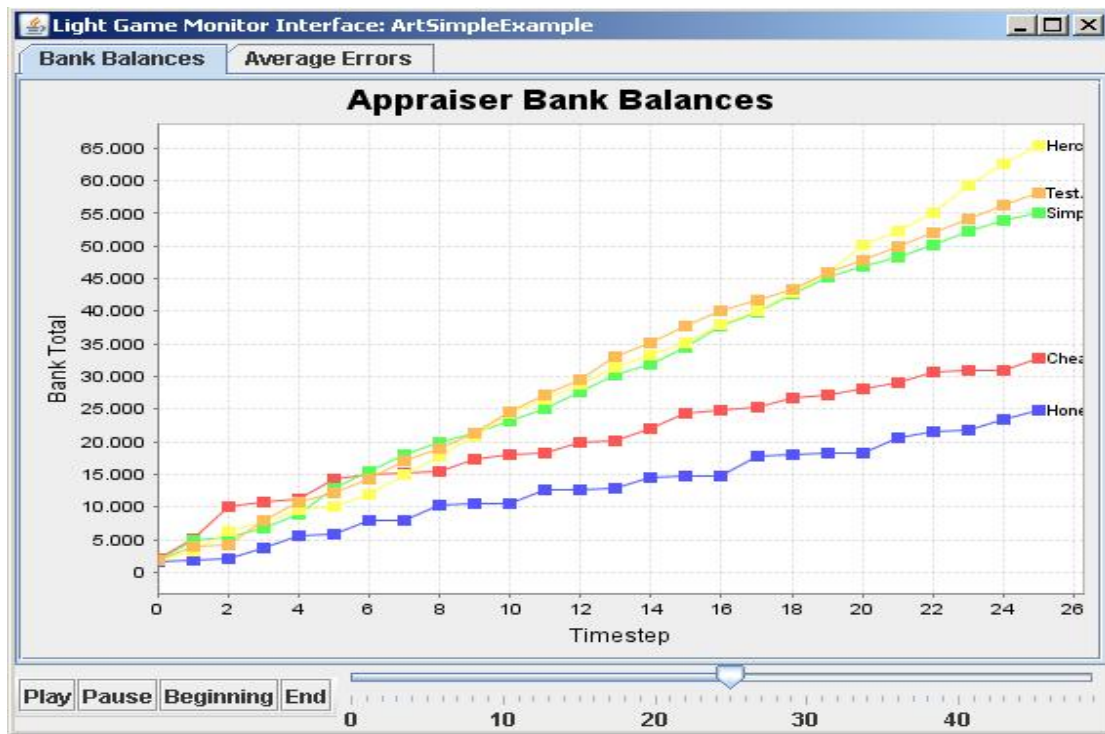
Οι συμπεριφορές αυτές καθορίζονται έξω από την βασική κλάση του πράκτορα σε ένα αρχείο διαμόρφωσης (*HerculAgent.conf*). Η κλάση του πράκτορα

εισάγει τα δεδομένα από το αρχείο αυτό και καθορίζει στη συνέχεια τις συμπεριφορές που θα ακολουθήσει.

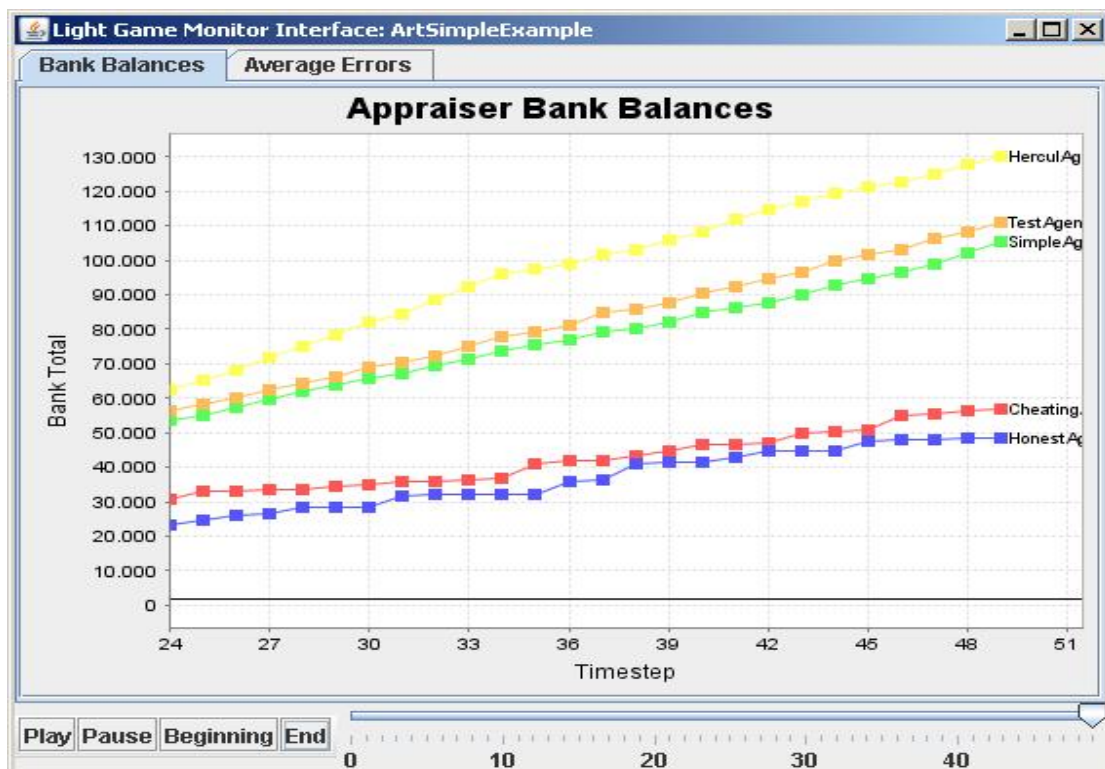
Κεφάλαιο 5. Πειραματική Τεκμηρίωση – Μελλοντική Εργασία

5.1. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων

Το πλαίσιο ανάπτυξης ART εγκαταστάθηκε σε έναν προσωπικό υπολογιστή στον οποίο διεξήχθησαν όλα τα παιχνίδια. Στα πρώτα παιχνίδια ο *HerculAgent* ελέγχθηκε απέναντι στους αρχάριους (dummy) πράκτορες καθώς και τον πράκτορα *TestAgent* που σχεδιάστηκε στο πρώτο στάδιο της ανάλυσης. Για την παρατήρηση της επίδοσης των πρακτόρων κατά τη διάρκεια των παιχνιδιών χρησιμοποιήθηκε το παρεχόμενο εργαλείο ART Testbed Light Game Monitor Interface, ένα γραφικό περιβάλλον το οποίο, πέρα από τις γενικές πληροφορίες δίνει για κάθε πράκτορα λεπτομερή ανάλυση με το είδος των εξόδων και των εσόδων του και τα βάρη που στέλνει για τους άλλους πράκτορες στην μηχανή προσομοίωσης. Το εργαλείο αυτό χρησιμοποιήθηκε ευρέως κατά τον προγραμματισμό του *HerculAgent* για την καλύτερη κατανόηση των επιδράσεων των στρατηγικών που σχεδιάζαμε.



Σχήμα 5. 1: Σύγκριση HerculAgent με την αρχική προσέγγιση του TestAgent. Πρώτο μισό του παιχνιδιού.



Σχήμα 5. 2: Σύγκριση HerculAgent με την αρχική προσέγγιση του TestAgent. Δεύτερο μισό του παιχνιδιού.

Από την σύγκριση αυτή παρατηρούμε την ουσιαστική βελτίωση του πράκτορα που σχεδιάσαμε σε σχέση μετά το πρώτο μισό του παιχνιδιού, που

εξηγείται από το γεγονός ότι ο πράκτορας μετά το πέρας συγκεκριμένων χρονικών βημάτων αποκτά τη γνώση που χρειάζεται για την εμπιστοσύνη που μπορεί να έχει στους αντιπάλους του και το μέσο σχετικό λάθος που αντιστοιχεί σε κάθε πράκτορα και μπορεί αποτελεσματικά να εξάγει τα βάρη με τα οποία υπολογίζει την τελική προσωπική του εκτίμηση.

Πέρα από τον έλεγχο αυτό, στην ιστοσελίδα του ART Testbed [URL 1] ήταν επίσης διαθέσιμα τα εκτελέσιμα αρχεία των πρακτόρων που έλαβαν μέρος στον τελευταίο διαγωνισμό που έγινε το 2008. Στον Πίνακα 5.1 δίνονται ενδεικτικά τα αποτελέσματα του διαγωνισμού. Έτσι επιλέξαμε τρεις από τους καλύτερους πράκτορες του διαγωνισμού, τον *Uno2008*, τον *FordPrefect* και τον *NextAgent* και τους θέσαμε σαν αντίπαλους του *HerculAgent* στο περιβάλλον του παιχνιδιού για να μπορούμε να συγκρίνουμε την αποτελεσματικότητα του πράκτορα μας.

Πίνακας 5. 1: Αποτελέσματα διαγωνισμού ART Testbed 2008

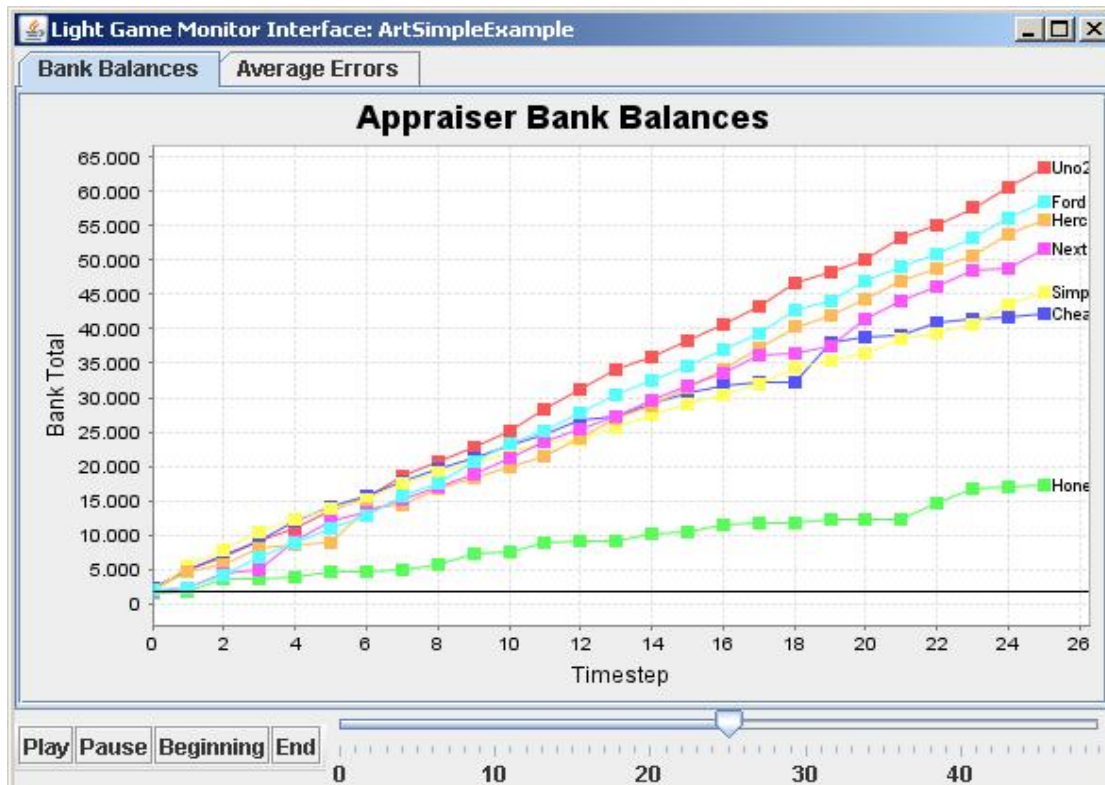
Final Result			
Rank	Instit.	Team	Final score
1	Univ Girona (SP)	Uno2008	3120017
2	Univ Tulsa (USA)	Connected	2842467
3	Univ Tulsa (USA)	FordPrefect	2709227
4	IRIT (FR)	NextAgent	2520006
5	EMSE (FR)	Simplet	1585445
6	Univ Girona (SP)	MrRoboto	1400908
7	Univ Trento (IT)	argente2	1314527
8	Univ Southampton (UK)	iam	1243434
9	PUC RIO (BR)	Peles	1124571
10	Univ Tulsa (USA)	OLPAgent	1067990
11	Bogazici Univ (TU)	Hailstorm	989617
12	-	<i>Dummy</i>	901928
13	-	<i>Dummy</i>	844974
14	-	<i>Dummy</i>	830294
15	-	<i>Dummy</i>	809578
16	-	<i>Dummy</i>	793339

Οι παράμετροι και οι κανόνες των παιχνιδιών είναι αυτές που δόθηκαν στον Πίνακα 4.1. Κάθε παιχνίδι περιλαμβάνει συνολικά επτά πράκτορες εκτιμητές. Οι πράκτορες λειτουργούν κατά τη διάρκεια ενός παιχνιδιού χωρίς την παρέμβαση των

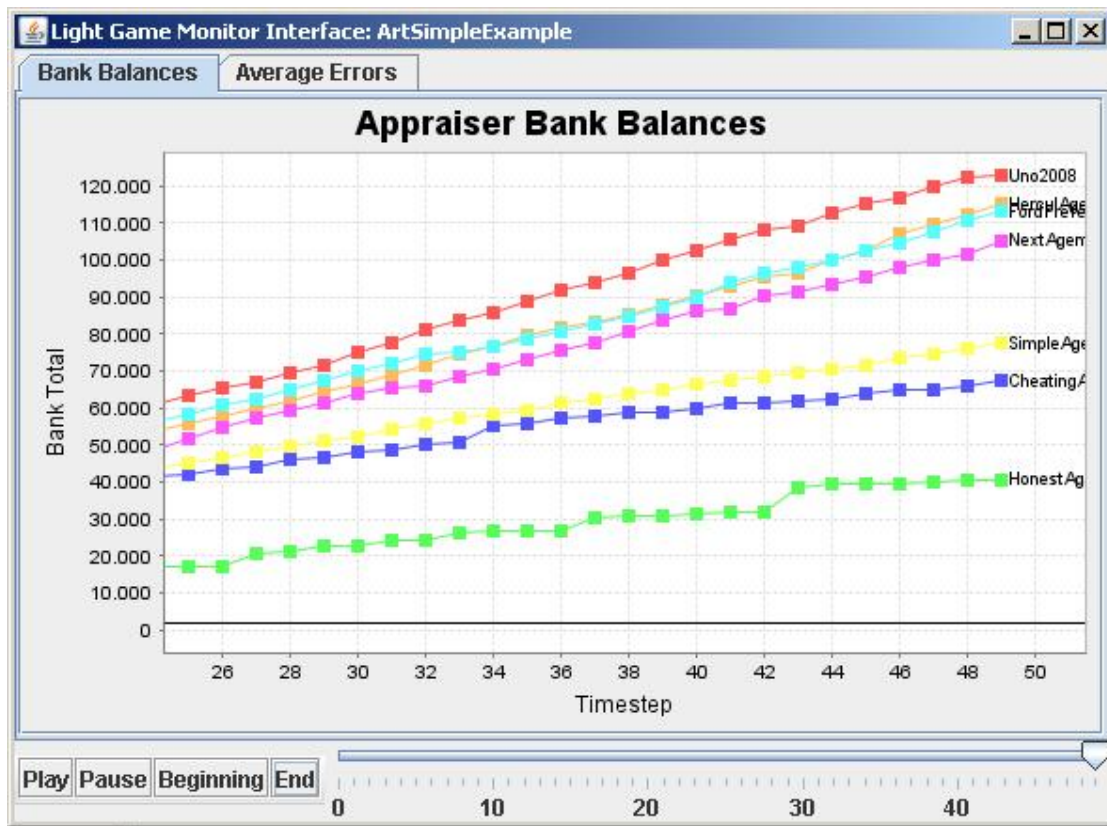
προγραμματιστών των ομάδων και όλη η απαραίτητη πληροφορία για τη λειτουργία τους παρέχεται από τα διάφορα μηνύματα που ανταλλάσσει κάθε πράκτορας με την μηχανή προσομοίωσης του παιχνιδιού.

5.1.1. Τυπική Συμπεριφορά

Αρχικά θα παρουσιαστούν αποτελέσματα χωρίς την εισαγωγή συμπεριφορών στον πράκτορα, με την προεπιλογή δηλαδή τυπικής συμπεριφοράς για την στρατηγική των τιμών φήμης και τυπικής συμπεριφοράς για την στρατηγική των τιμών μέσου λάθους. Στο πρώτο σχήμα παρατηρούμε την εκκίνηση του παιχνιδιού, τα πρώτα 25 χρονικά βήματα και στο δεύτερο την κατάληξη με τα τελευταία 25 χρονικά βήματα.



Σχήμα 5. 3: Αποτελέσματα HerculAgent (Typical-Typical) στο πρώτο μισό του παιχνιδιού.



Σχήμα 5. 4: Αποτελέσματα HerculAgent (Typical-Typical) στο δεύτερο μισό του παιχνιδιού.

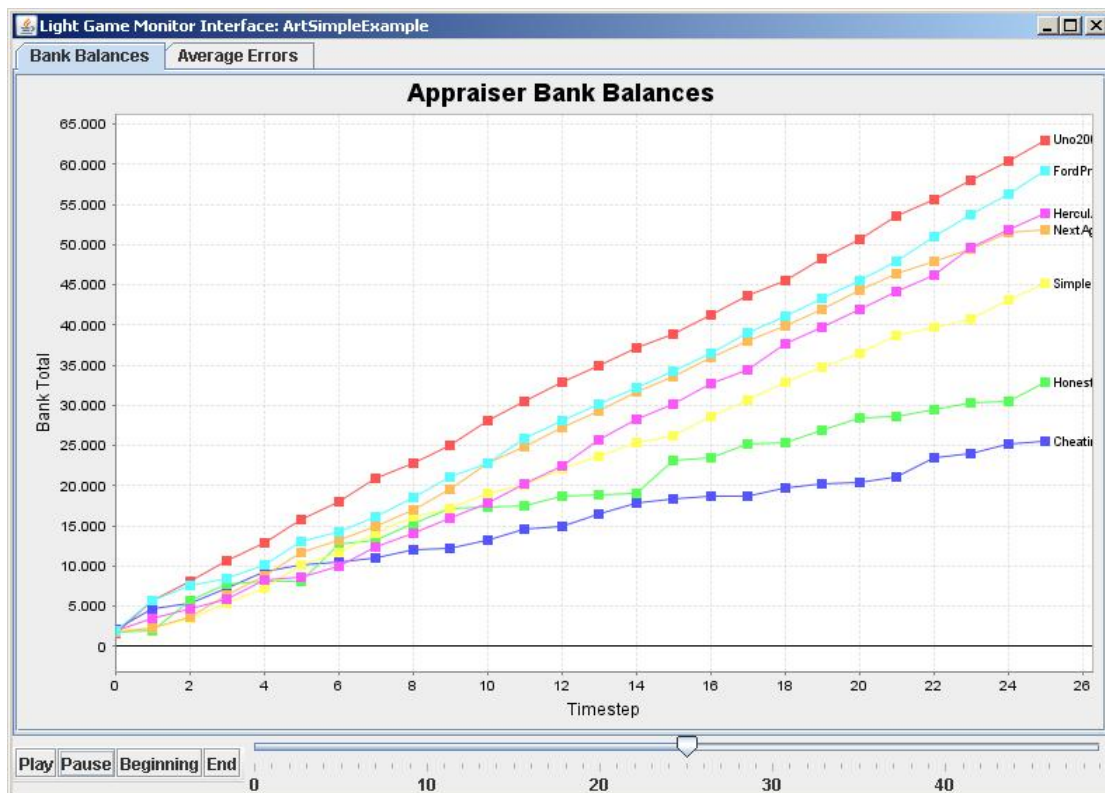
Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένας πίνακας με το μέσο αποτέλεσμα του *HerculAgent* και για την προεπιλογή της τυπικής συμπεριφοράς στον υπολογισμό των ορίων της φήμης και των μέσων λαθών για δέκα συνεχόμενα παιχνίδια.

Πίνακας 5. 2: Κατάταξη HerculAgent (Typical-Typical) σε σύνολο 10 παιχνιδιών

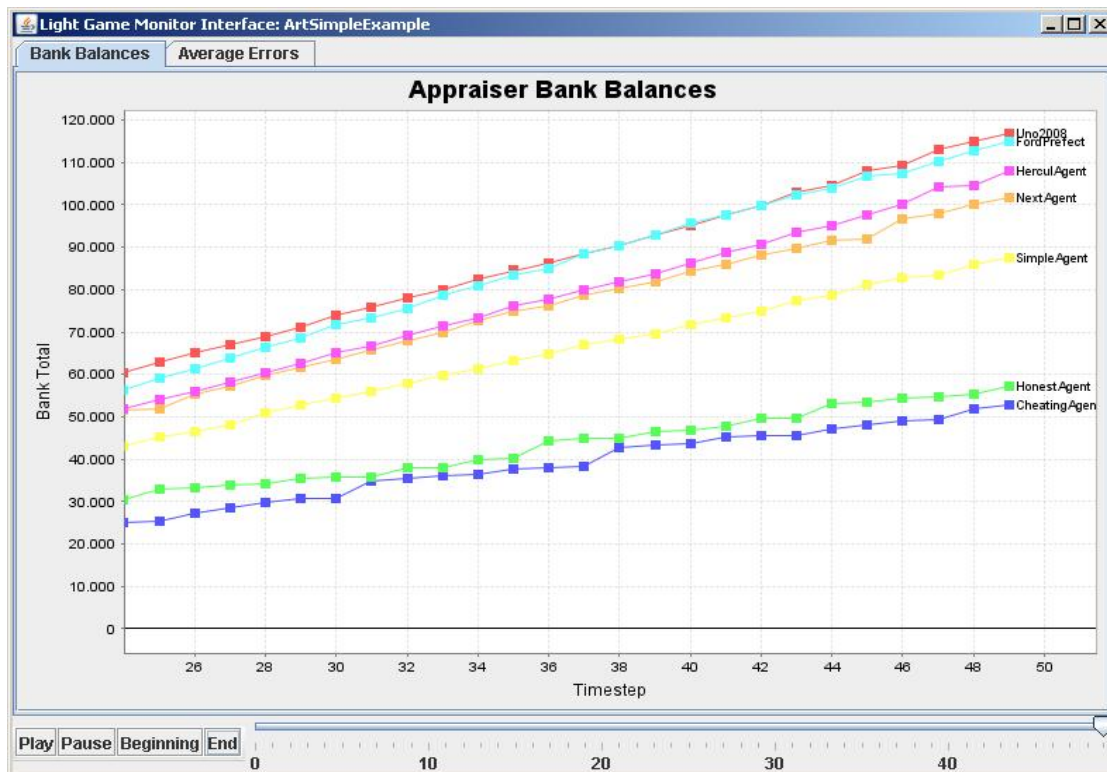
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ		
Κατάταξη	Πρόκτορας	Μέσο Σκορ
1	Uno2008	133.679
2	FordPrefect	119.343
3	NextAgent	104.895
4	HerculAgent	100.287
5	SimpleAgent	80.425
6	CheatingAgent	56.541
7	HonestAgent	45.964

5.1.2. Αισιόδοξη συμπεριφορά Εμπιστοσύνης

Με τον ίδιο τρόπο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του πράκτορα *HerculAgent* για αισιόδοξη συμπεριφορά στον υπολογισμό του ορίου της τιμής φήμης και τυπική συμπεριφορά για τον υπολογισμό των βαρών για την εξαγωγή της τελικής εκτίμησης.



Σχήμα 5. 5: Αποτελέσματα HerculAgent (Optimistic-Typical) στο πρώτο μισό του παιχνιδιού.



Σχήμα 5. 6: Αποτελέσματα HerculAgent (Optimistic-Typical) στο δεύτερο μισό του παιχνιδιού.

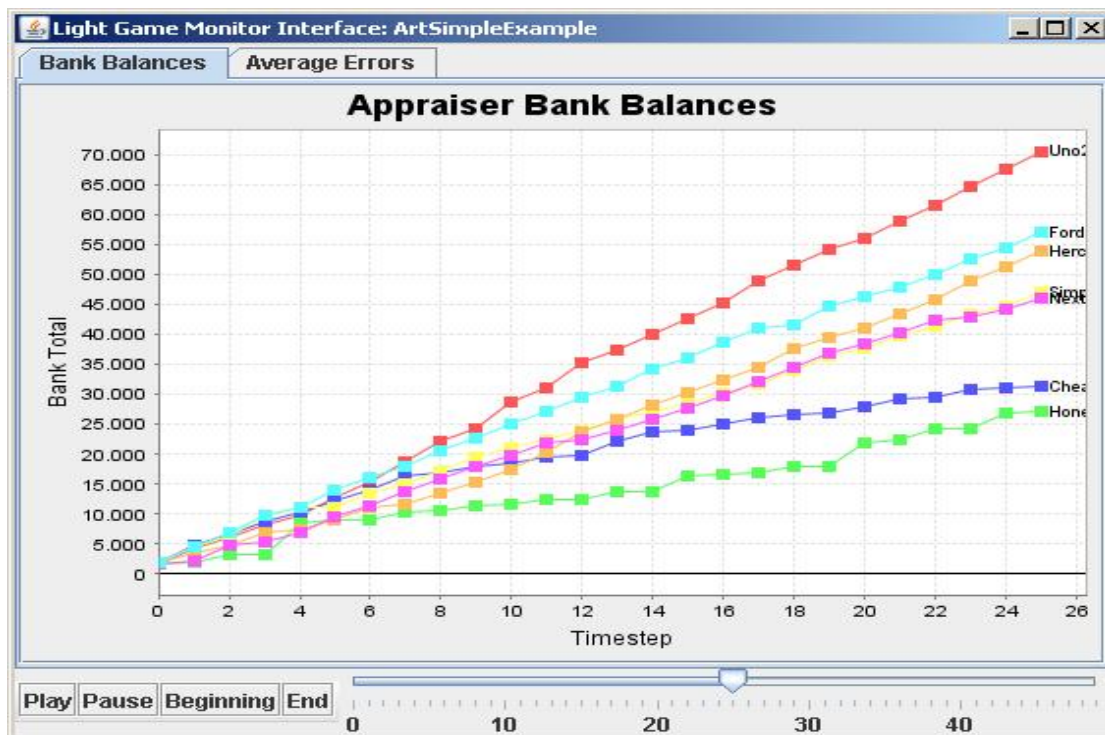
Στον Πίνακα 5.3 παρουσιάζεται το μέσο αποτέλεσμα του *HerculAgent* και για την προεπιλογή της αισιόδοξης συμπεριφοράς στον υπολογισμό των ορίων της φήμης και τυπικής συμπεριφοράς υπολογισμού των μέσων λαθών για δέκα συνεχόμενα παιχνίδια.

Πίνακας 5. 3: Κατάταξη HerculAgent (Optimistic-Typical) σε σύνολο 10 παιχνιδιών

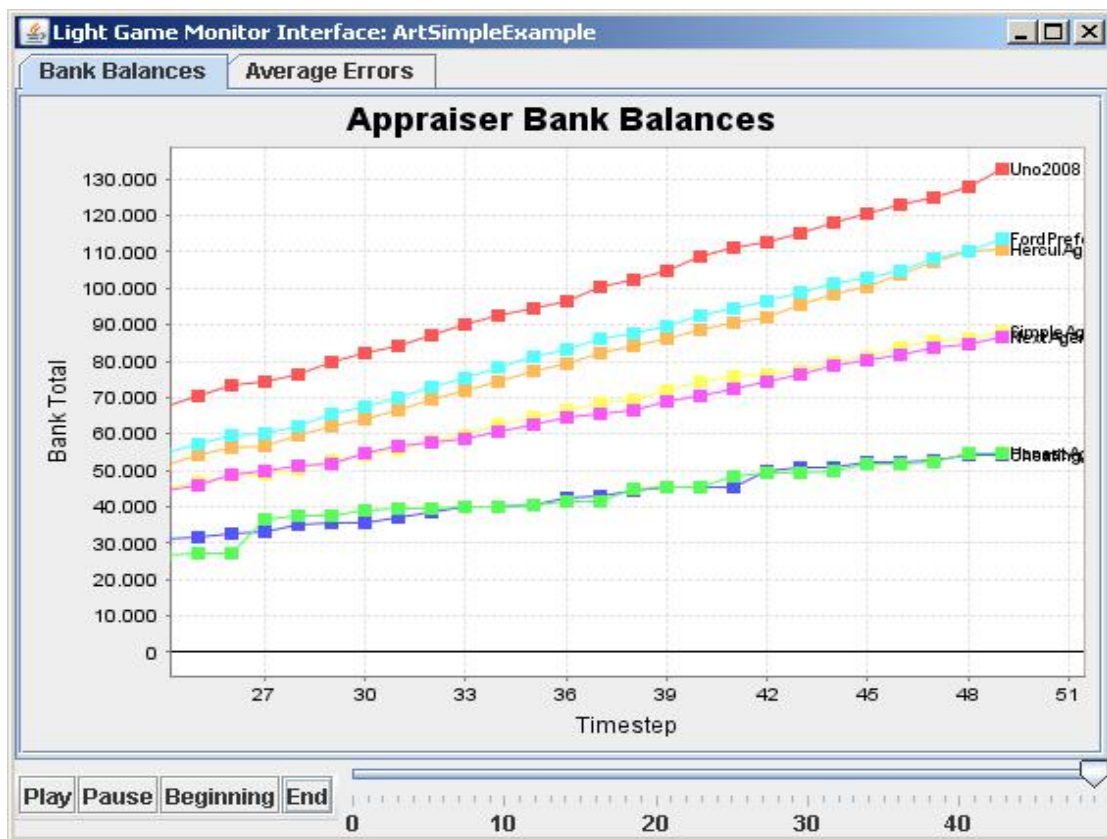
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ		
Κατάταξη	Πράκτορας	Μέσο Σκορ
1	Uno2008	125.257
2	FordPrefect	118.531
3	NextAgent	103.231
4	HerculAgent	101.288
5	SimpleAgent	84.186
6	CheatingAgent	59.842
7	HonestAgent	48.711

5.1.3. Απαισιόδοξη συμπεριφορά Εμπιστοσύνης

Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για απαισιόδοξη συμπεριφορά όσον αφορά τον υπολογισμό του ορίου της φήμης πάνω από το οποίο εμπιστευόμαστε έναν πράκτορα και για τυπική στρατηγική στον υπολογισμό των βαρών, ενώ στον Πίνακα 5.4 δίνεται το μέσο αποτέλεσμα του *HerculAgent* για δέκα συνεχόμενα παιχνίδια.



Σχήμα 5. 7: Αποτελέσματα HerculAgent (Pessimistic-Typical) στο πρώτο μισό του παιχνιδιού.



Σχήμα 5. 8: Αποτελέσματα HercuLAgent (Pessimistic-Typical) στο δεύτερο μισό του παιχνιδιού.

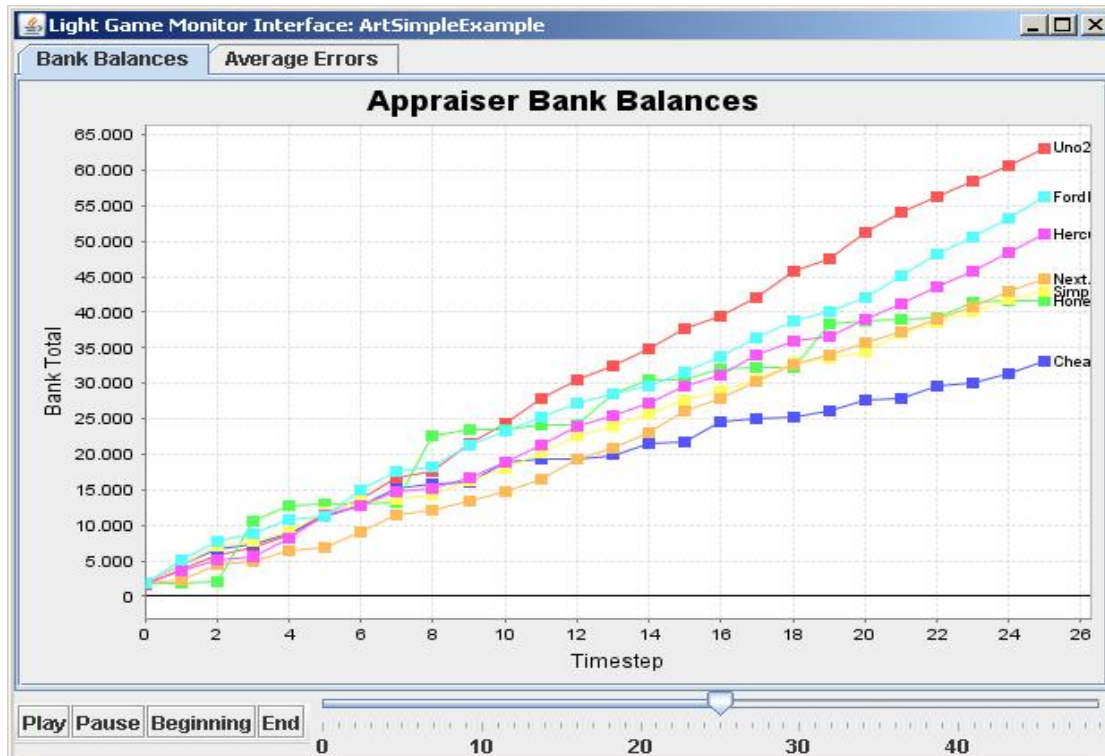
Πίνακας 5. 4: Κατάταξη HercuLAgent (Pessimistic-Typical) σε σύνολο 10 παιχνιδιών

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ		
Κατάταξη	Πράκτορας	Μέσο Σκορ
1	Uno2008	136.692
2	FordPrefect	119.355
3	NextAgent	109.725
4	HercuLAgent	94.083
5	SimpleAgent	78.256
6	HonestAgent	49.853
7	CheatingAgent	48.742

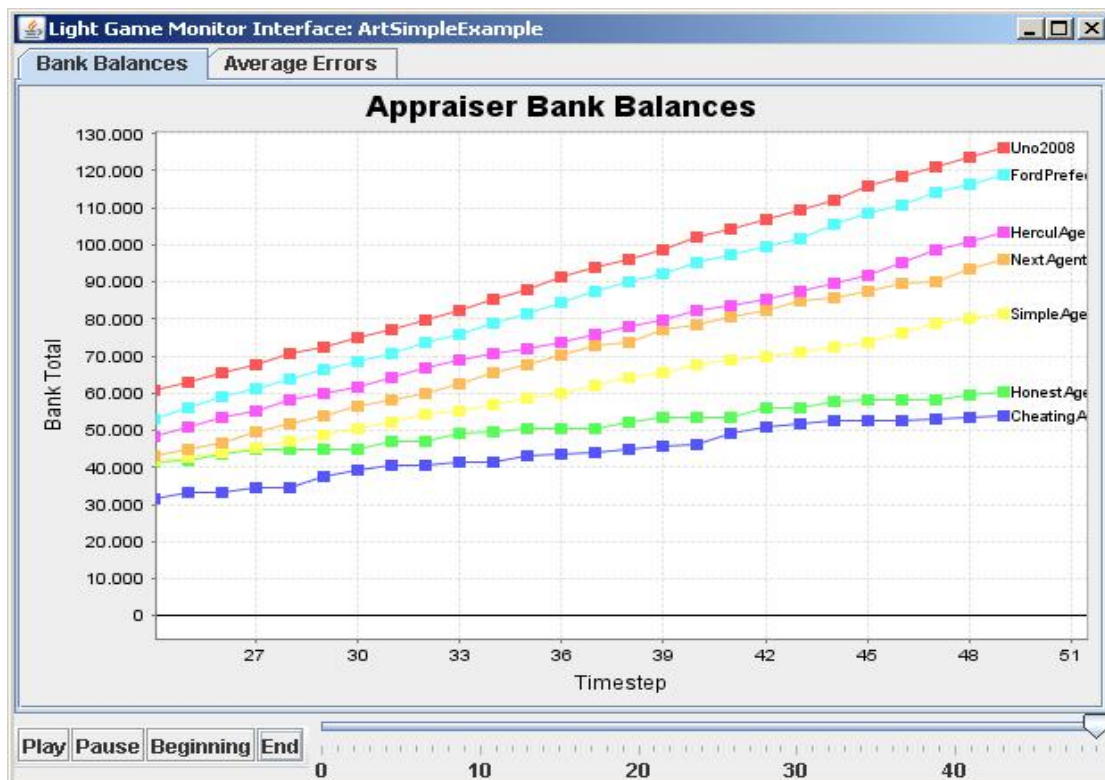
5.1.4. Επιθετική συμπεριφορά Βαρών

Εδώ παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του πράκτορα *HercuLAgent* για τυπική συμπεριφορά φήμης και για επιθετική συμπεριφορά στην εξαγωγή των βαρών με τα οποία υπολογίζει την τελική εκτίμησή του από τις εκτιμήσεις των

αντιπάλων πρακτόρων και στον Πίνακα 5.5 δίνεται το μέσο αποτέλεσμα του *HerculAgent* για δέκα συνεχόμενα παιχνίδια.



Σχήμα 5. 9: Αποτελέσματα *HerculAgent* (Typical-Aggressive) στο πρώτο μισό του παιχνιδιού.



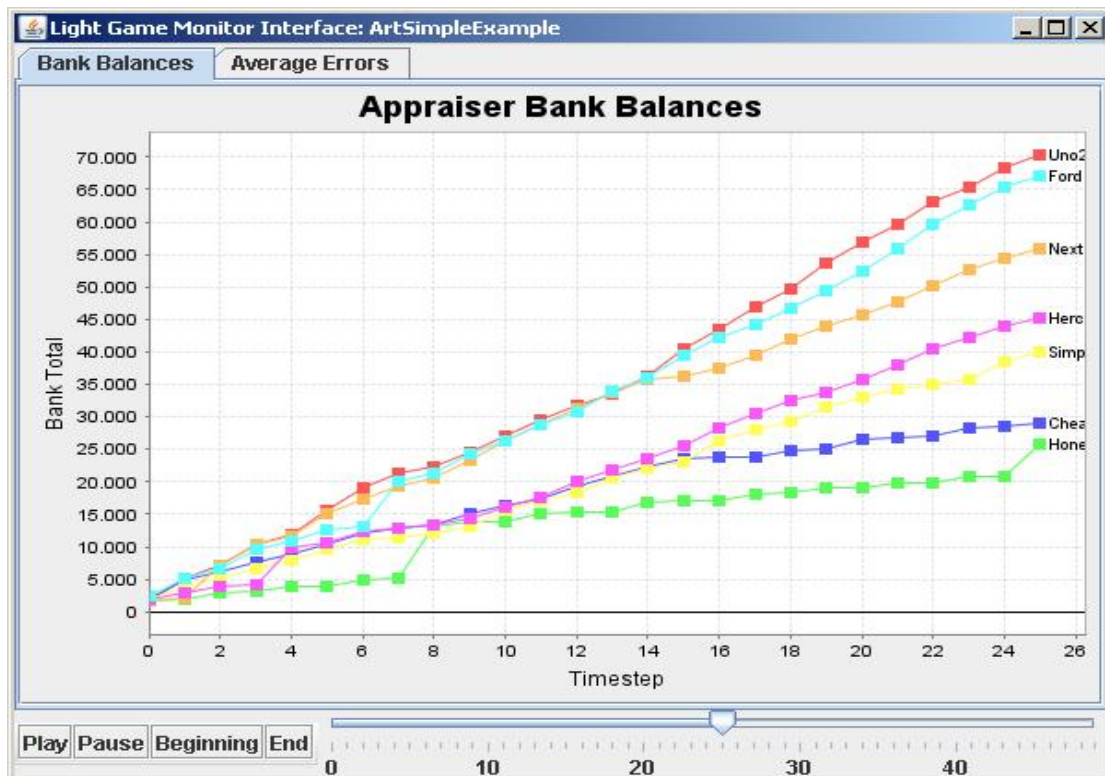
Σχήμα 5. 10: Αποτελέσματα *HerculAgent* (Typical-Aggressive) στο δεύτερο μισό του παιχνιδιού.

Πίνακας 5. 5: Κατάταξη HerculAgent (Typical-Aggressive) σε σύνολο 10 παιχνιδιών

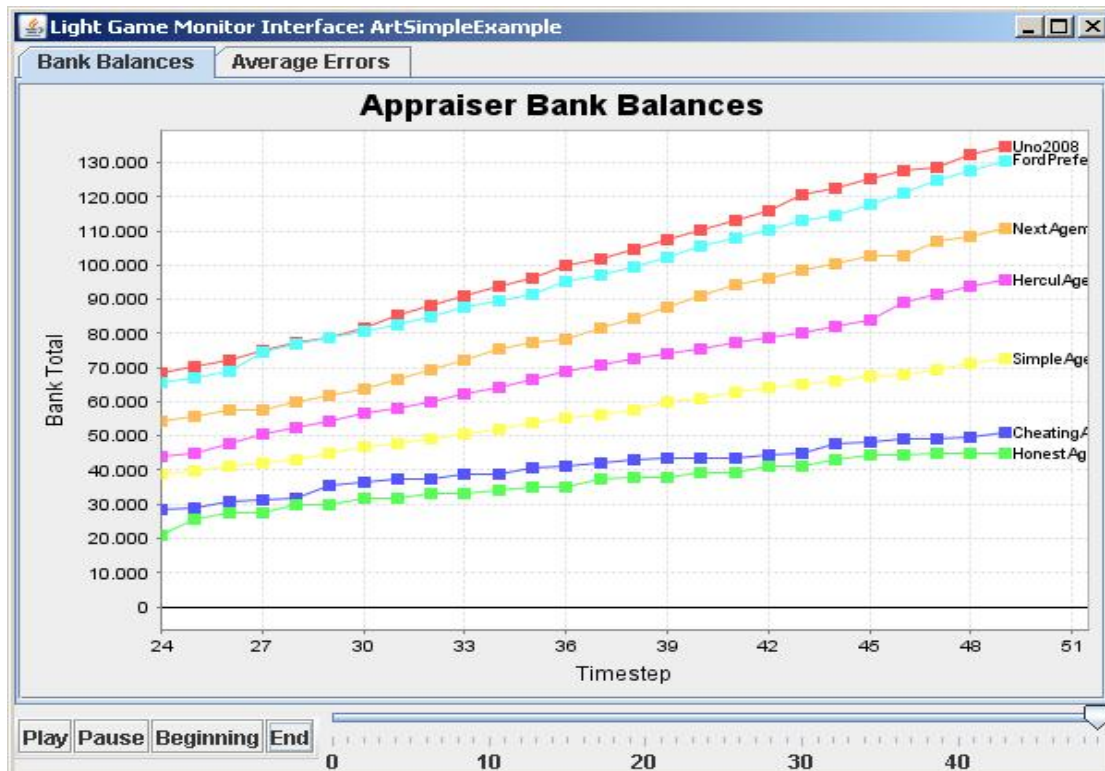
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ		
Κατάταξη	Πράκτορας	Μέσο Σκορ
1	Uno2008	136.034
2	FordPrefect	122.240
3	NextAgent	104.768
4	HerculAgent	95.250
5	SimpleAgent	73.487
6	CheatingAgent	57.819
7	HonestAgent	50.084

5.1.5. Υποχωρητική συμπεριφορά βαρών

Τέλος, στα Σχήματα 5.11 και 5.12 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του πράκτορα μας για τυπική συμπεριφορά φήμης και υποχωρητική συμπεριφορά για τον υπολογισμό των βαρών που χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή της τελικής εκτίμησης.



Σχήμα 5. 11: Αποτελέσματα HerculAgent (Typical-Submissive) στο πρώτο μισό του παιχνιδιού.



Σχήμα 5. 12: Αποτελέσματα HerculAgent (Typical-Submissive) στο δεύτερο μισό του παιχνιδιού.

Στον Πίνακα 5.6 δίνεται το μέσο αποτέλεσμα του *HerculAgent* για την προεπιλογή της τυπικής συμπεριφοράς στον υπολογισμό των ορίων της φήμης και της υποχωρητικής συμπεριφοράς στον υπολογισμό των μέσων λαθών για δέκα συνεχόμενα παιχνίδια.

Πίνακας 5. 6: Κατάταξη HerculAgent (Typical-Submissive) σε σύνολο 10 παιχνιδιών

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ		
Κατάταξη	Πράκτορας	Μέσο Σκορ
1	Uno2008	136.762
2	FordPrefect	120.549
3	NextAgent	103.069
4	HerculAgent	96.348
5	SimpleAgent	80.688
6	CheatingAgent	53.211
7	HonestAgent	49.919

5.2. Συμπεράσματα – Μελλοντική Εργασία

Μετά από τα πολυάριθμα πειράματα που εκτελέσαμε για να συγκρίνουμε την στρατηγική μας με τους νικητές του παγκόσμιου διαγωνισμού ART Testbed του 2008 παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα μας είναι ικανοποιητικά, αλλά σίγουρα επιδέχονται περαιτέρω βελτίωση. Η θέση που λαμβάνει ο *HerculAgent* είναι συνήθως αμέσως μετά τον *NextAgent* που ήταν ο τρίτος καλύτερος πράκτορας του διαγωνισμού με πολύ μικρή διαφορά.

Η στρατηγική του πράκτορα μας δεν επιφέρει τόσο σταθερά αποτελέσματα όσο οι νικητές πράκτορες του διαγωνισμού. Αυτό ερμηνεύεται από το γεγονός ότι, όπως παρατηρείται και από τα διαγράμματα που μας παρέχει το ελαφρύ περιβάλλον γραφικής απεικόνισης του παιχνιδιού, η στρατηγική μας υστερεί αρκετά στο αρχικό στάδιο του παιχνιδιού (*start game effect*). Το γεγονός αυτό συμβαίνει επειδή ο πράκτορας μας χρησιμοποιεί για την εξαγωγή της εμπιστοσύνης κυρίως τις πληροφορίες που λαμβάνει από τις άμεσες αλληλεπιδράσεις και στο αρχικό στάδιο δεν έχει στη διάθεση του αρκετή πληροφορία. Έτσι, για στατιστικούς λόγους κάποιες φορές αρχικά πετυχαίνει καλές εκτιμήσεις και στη συνέχεια με τη γνώση που αποκτά διατηρεί ένα καλό σκορ και επιφέρει πάρα πολύ καλά αποτελέσματα. Στο δεύτερο μισό του αγώνα παρατηρούμε ότι η καμπύλη του *HerculAgent* έχει πάντα πολύ καλό ρυθμό αύξησης, μερικές φορές καλύτερο και από τον νικητή του διαγωνισμού *Uno2008*.

Όσον αφορά τις διάφορες συμπεριφορές που σχεδιάστηκαν παρατηρούμε ότι οι διαφορές είναι συνήθως προς μικρότερα αποτελέσματα μιας και η τυπική σχεδίαση του πράκτορα είναι αυτή που καταλήξαμε μετά από πάρα πολύ μεγάλο αριθμό πειραμάτων και παιχνιδιών, οπότε είναι και η καλύτερη υλοποίηση της στρατηγικής του *HerculAgent*.

Ως μελλοντική εργασία για βελτίωση του πράκτορα, θα μπορούσε να σχεδιασθεί ένας μηχανισμός (*off-line*) ο οποίος θα κρατούσε δεδομένα για τους αντιπάλους στο τέλος κάθε παιχνιδιού, και με τεχνικές παλινδρόμησης να εξάγει χαρακτηριστικά συμπεράσματα για την συμπεριφορά τους. Σε περίπτωση που κάποιος από αυτούς τους πράκτορες είναι ανάμεσα στους αντιπάλους του σε ένα νέο παιχνίδι θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει αυτά τα συμπεράσματα στο αρχικό στάδιο του παιχνιδιού και έτσι σε συνδυασμό με το μηχανισμό που έχει ήδη για την εξαγωγή εμπιστοσύνης που είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός μετά το αρχικό στάδιο του παιχνιδιού να επιφέρει ανταγωνιστικά αποτελέσματα ακόμα και για την πρώτη θέση.

5.3. Σύνοψη

Οι πράκτορες που δρουν σε ανοιχτά, κατανεμημένα, πολυπρακτορικά συστήματα έχουν την τάση να προσπαθούν να εξαπατήσουν τους αντιπάλους τους με απώτερο σκοπό το προσωπικό τους κέρδος. Μια πληθώρα από συστήματα εμπιστοσύνης και φήμης έχει αναπτυχθεί με σκοπό να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα της εξαπάτησης. Δυστυχώς όμως σύμφωνα με μια πρόσφατη μελέτη [KER 09], τα συστήματα αυτά δεν αποδίδουν συχνά από την οπτική της ασφάλειας. Κατά τη διάρκεια της μελέτης αυτής πραγματοποιήθηκαν συγκεκριμένες επιθέσεις σε υπάρχοντα συστήματα εμπιστοσύνης και φήμης. Οι επιθέσεις αυτές ήταν εστιασμένες στα τρωτά σημεία των συστημάτων εμπιστοσύνης και φήμης και αποδείχθηκε πειραματικά ότι οι επιθέσεις είχαν επιτυχία. Έτσι συνάγουμε ότι η ασφάλεια πρέπει στο μέλλον να είναι κύριο μέλημα των ερευνητών που αναπτύσσουν συστήματα εμπιστοσύνης και φήμης σε ανοιχτά, κατανεμημένα, πολυπρακτορικά συστήματα.

Βιβλιογραφία

- [AGE 00] Agent Working Group, 2000. "Agent Technology Green Paper", Object Management Group.
- [BAC 01] Bacharach, M. & Gambetta, D. 2001. "Trust in Society, Chapt. Trust in signs. Russell". Sage Foundation.
- [CAS 01] Castelfranchi C. & Falcone R., 2001. "Social trust: a cognitive approach." in Trust and Deception in Virtual Societies, C. Castelfranchi, and Y.-H. Tan, Eds. Kluwer Academic Publishers, pp. 55-90.
- [COS 08] Da Costa AD., De Lucena CJP., Da Silva VT., Azevedo SC. & Soares FA., 2008. "Computing Reputation in the Art Context: Agent Design to Handle Negotiation Challenges".
- [DAS 98] Dasgupta P. 1998. Trust as a commodity. In Gambetta, D. (ed.), "Trust: Making and Breaking Cooperative Relations." Blackwell, pp. 49–72.
- [DEL 03] Dellarocas, C. (2003). "The digitalization of Word-Of-Mouth: Promise and Challenges of Online Reputation Mechanisms." Management Science.
- [ESF 01] Esfandiari B. & Chandrasekharan S. (2001). "On How Agents Make friends: Mechanisms for Trust Acquisition." In: Proceedings of the Fourth Workshop on Deception, Fraud and Trust in Agent Societies, Montreal, Canada. pp. 27–34.
- [FIN 08]. Finin T., Joshi A., Kolari P., Java A., Kale A. & Karandikar A., 2008. "The Information Ecology of Social Media and Online Communities." AI Magazine. 2008.

- [FUL 05] K. Fullam, T. Klos, G. Muller, J. Sabater, A. Schlosser, Z. Topol, S. Barber, J. Rosenschein, L. Vercouter and M. Voss, 2005. "A Specification of the Agent Reputation and Trust (ART) Testbed: Experimentation and Competition for Trust in Agent Societies." Proceedings of AAMAS 2005.
- [FUL 06] K. Fullam, T. Klos, G. Muller, J. Sabater, A. Schlosser, Z. Topol, K. Barber, J. Rosenschein, L. Vercouter, and M. Voss. 2006. "The Agent Reputation and Trust (ART) Testbed Game Description." Version 2.1.
- [FUL 06b] Fullam K. & K. S. Barber, 2006. "Learning trust strategies in reputation exchange networks." in Proceedings of the fifth international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems (AAMAS '06), P. Stone and G. Weiss, Eds. New York: ACM Press. pp. 1241-1248.
- [GAM 90] Gambetta, D. 1990. "Trust: Making and Breaking Cooperative Relations, Chapt. Can We Trust Trust?" Basil Blackwell, Oxford, pp. 213–237.
- [GOM 07] Gomez M., Carbo J. & Benac – Earle C., 2007. "An Anticipatory Trust Model for Open Distributed Systems." Lecture Notes in Artificial Intelligence.
- [GRA 00] Grandison, T. & Sloman, M. 2000. "A survey of trust in internet applications." IEEE Communications Surveys and Tutorials, pp. 2–16.
- [JEN 01] Jennings, N. R. 2001. "An agent-based approach for building complex software systems." Communications of the ACM, pp. 35–41.

- [JOS 07] Josang A., Ismail R. & C. Boyd, 2007. "A survey of trust and reputation systems for online service provision," *Decision Support Systems*, vol. 43, no. 2, pp. 618-644.
- [KAF 06] Kafali O. & Yolum P., 2006. "Trust Strategies for ART Testbed." *International Workshop on Trust in Agent Societies*. 2006
- [KAM 03] Kamvar, S. D., Schlosser, M. T., and Garcia-Molina, H. (2003). "The eigentrust algorithm for reputation management in P2P networks." In *WWW '03: Proceedings of the 12th international conference on World Wide Web*. New York, NY, USA. ACM Press, pages 640–651.
- [KER 09] Kerr, R. & Cohen, R. 2009. "Smart cheaters do prosper: defeating trust and reputation systems." *International Conference on Autonomous Agents, Proceedings of AAMAS 2009*.
- [KNA 98] Knapik M. & J. Johnson, 1998. "Developing Intelligent Agents for Distributed Systems." McGraw Hill.
- [MAR 94] Marsh S. 1994. "Formalising Trust as a Computational Concept." PhD thesis, Department of Mathematics and Computer Science, University of Stirling. 1994.
- [MUI 02] L. Mui, M. Mohtashemi, and A. Halberstadt, 2002. "A computational model of trust and reputation." In *35th Hawaii International Conference on System Science (HICSS)*, 2002.
- [MUR 08] Murillo J. & Munoz V., 2008. "Agent UNO: Winner in the 2nd Spanish ART Competition." *Inteligencia Artificial*. 2008.
- [NWA 96] Nwana HS & Ndumu DT. "An introduction to agent technology". *BT Technology Journal*, 1996.

- [PAN 07] Pandit S. Chau DH. Wang S. Faloutsos C, 2007. "Netprobe: a fast scalable system for fraud detection in online auction networks". International World Wide Web Conference.
- [POS 02] Poslad, S., Calisti, M. & Charlton, P, "Specifying standard security mechanisms in multi-agent systems." In Workshop on Deception, Fraud and Trust in Agent Societies, AAMAS 2002, Bologna, Italy, pp. 122–127.
- [RAM 03] Ramchurn S. D., Sierra C., Godo L. & Jennings N. R., 2003. "A computational trust model for multi-agent interactions based on Confidence and reputation." In: 6th International Workshop of Deception, Fraud and Trust in Agent Societies, 2003, Melbourne, Australia.
- [RAM 04] Ramchurn S. D. , Hunyh D., & Jennings N. R., 2004. "Trust in multi-agent systems," Knowledge Engineering Review, vol. 19, no. 1 pp. 1-25.
- [SAB 02] Sabater J. & Sierra. C., 2002. "Regret: a reputation model for gregarious societies." In C. Castelfranchi and L. Johnson, editors. Proc. of the 1st Int. Joint Conference on Autonomous Agents and Multi - Agent Systems, pp. 475–482.
- [SAB 02b] Sabater J. & Sierra C., 2002. "Reputation and social network analysis in multi-agent systems," in Proceedings of the first international joint conference on Autonomous agents and multi-agent systems (AAMAS '02), New York: ACM Press. pp. 475-482.
- [SAB 05] Sabater J. & Sierra C., 2005. "Review on Computational Trust and Reputation Models." Artificial Intelligence Review, Springer – 2005.

- [SAR 04] Sarvapali D. Ramchurn, Dong Huynh & Jennings NR, 2004. "Trust in Multi-Agent Systems". The Knowledge Engineering Review.
- [SCO 00] Scott J. 2000. "Social Network Analysis." SAGE Publications.
- [SIM 96] Simon H., 1996. "The Sciences of the Artificial." MIT Press, MA, Cambridge. 1996.
- [TEA 07] Teacy, W. T. L., Huynh, T. D., Dash, R. K., Jennings, N. R., Luck, M. & Patel, J. 2007, "The ART of IAM: The Winning Strategy for the 2006 Competition." In: The 10th International Workshop on Trust in Agent Societies, May 2007, Honolulu, Hawaii, USA. pp. 102-111.
- [WAN 03] Wang Y. & Vassileva J., 2003. "Trust and Reputation Model in Peer to Peer Networks.:" Proceedings of IEEE Conference on P2P Computing.
- [WIT 01] M. Witowski, A. Artikis & J. Pitt, 2001. "Experiments in building experiential trust in a society of objective-trust based agents." In R. Falcone, M. P. Singh, and Y. Tan, editors, Trust in Cyber-societies, volume 2246 of Lecture Notes in Computer Science, Springer, 2001. pp 111–132.
- [WOO 95] Wooldridge M. & Jennings NR, 1995. "Intelligent Agents: Theory and Practice". Knowledge Engineering Review.
- [WOO 99] Wooldridge M., 1999. "Intelligent Agents". In Multiagent Systems, G. Weiss Ed. The MIT Press. Workshop on Trust in Agent Societies, 2009. Seventh International Conference on Autonomous Agents & Multi-Agent Systems. AAMAS 2009.

- [YAM 98] Yamagishi et al., 1998. T. Yamagishi, K. Cook & M. Watabe. "Uncertainty, trust, and commitment formation in the United States and Japan." *American Journal of Sociology*, 1998. pp. 104:165–94.
- [YU 03] Yu B. & M. P. Singh, 2003. "Searching social networks," In *Proceedings of the second international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems (AAMAS '03)*, J. S. Rosenschein, T. Sandholm, M. Wooldridge, and M. Yokoo, Eds. New York: ACM Press, 2003. pp. 65–72.
- [ZAC 00] Zacharia, G. & Maes, P. 2000. Trust through reputation mechanisms." *Applied Artificial Intelligence*, pp. 881–907.
- [URL 1] <http://www.lips.utexas.edu/art-testbed/>.