



ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Σχεδίαση και Υλοποίηση Πλαισίου Αυτόνομης
Διαπραγμάτευσης Βασισμένου σε Agentic AI για την
Επίλυση Συγκρούσεων σε Περιβάλλοντα Ηλεκτρονικού
Εμπορίου**



NegotAI

**Του φοιτητή
Παπανικολάου Αντώνιου
Αρ. Μητρώου: 2021120**

**Επιβλέπων
Καλλιόπη Κράβαρη
Βαθμίδα: Επικ. Καθηγήτρια**

Θεσσαλονίκη, Σεπτέμβριος 2026

Σχεδίαση και Υλοποίηση Πλαισίου Αυτόνομης Διαπραγμάτευσης Βασισμένου σε Agentic AI για την Επίλυση Συγκρούσεων σε Περιβάλλοντα Ηλεκτρονικού Εμπορίου

Κωδικός Δ.Ε. : 26138

Ονοματεπώνυμο φοιτητή: Αντώνιος Παπανικολάου

Ονοματεπώνυμο εισηγητή: Καλλιόπη Κράβαρη

Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε.: 11-03-2026

Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε.: 05-03-2026

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΚΑΙ ΑΔΕΙΑ ΧΡΗΣΗΣ

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Παπανικολάου Αντώνιου που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητα και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

Στην οικογένειά μου.

Πρόλογος

Η επιλογή του θέματος της παρούσας διπλωματικής εργασίας προέκυψε από το ενδιαφέρον μου για τις εφαρμογές της Τεχνητής Νοημοσύνης σε προβλήματα όπου η λήψη αποφάσεων δεν περιορίζεται σε μία απλή απάντηση, αλλά απαιτεί κατανόηση διαφορετικών στόχων, προσαρμογή και συντονισμό. Η διαπραγμάτευση στο ηλεκτρονικό εμπόριο αποτελεί χαρακτηριστικό τέτοιο πρόβλημα, καθώς μία συμφωνία διαμορφώνεται ταυτόχρονα από την τιμή, τον χρόνο παράδοσης, την εγγύηση και τις προτεραιότητες κάθε πλευράς.

Η εκπόνηση της εργασίας αποτέλεσε ευκαιρία να συνδυάσω γνώσεις ανάπτυξης λογισμικού, πολυπρακτορικών συστημάτων και Μεγάλων Γλωσσικών Μοντέλων σε μία ολοκληρωμένη εφαρμογή. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε όχι μόνο στη δυνατότητα των πρακτόρων να συνομιλούν και να παράγουν προσφορές, αλλά και στη δημιουργία μηχανισμών ελέγχου που καθιστούν τις ενέργειές τους έγκυρες, μετρήσιμες και αναπαραγώγιμες. Μέσα από τη σχεδίαση, την υλοποίηση και την πειραματική αξιολόγηση της πλατφόρμας NegotAI, επιδίωξα να διερευνήσω τόσο τις δυνατότητες όσο και τα πραγματικά όρια της agentic διαπραγμάτευσης.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει τη σχεδίαση, την υλοποίηση και την πειραματική αξιολόγηση ενός πλαισίου αυτόνομης πολυκριτηριακής διαπραγμάτευσης για περιβάλλοντα ηλεκτρονικού εμπορίου. Αναπτύχθηκε η πλατφόρμα NegotAI, στην οποία πράκτορες Buyer, Seller και, προαιρετικά, πάροχος 3PL χρησιμοποιούν Μεγάλα Γλωσσικά Μοντέλα για την παραγωγή προσφορών, επιχειρημάτων και τακτικών. Η γλωσσική λειτουργία πλαισιώνεται από ντετερμινιστικό πυρήνα που επικυρώνει κάθε ενέργεια, επιβάλλει τα ιδιωτικά όρια και τους κανόνες του πρωτοκόλλου και διαχωρίζει τη συμφωνία από την κατανομή, την ενεργοποίηση σύμβασης και την ολοκλήρωση της συναλλαγής. Υποστηρίζονται προσαρμοζόμενη και προκαθορισμένη στρατηγική LLM, διμερείς διαπραγματεύσεις, αγορές πολλών πωλητών ή αγοραστών με BAFO, τριμερής εκπλήρωση με 3PL και κύκλος ζωής συμβάσεων και διαφορών. Η πειραματική αξιολόγηση οργανώθηκε σε προκαθορισμένα και επαναλήψιμα σενάρια, με συγκριτικές μελέτες που καλύπτουν τις διαθέσιμες στρατηγικές, τους μηχανισμούς αγοράς, τις εναλλακτικές ροές εκπλήρωσης και τον κύκλο ζωής των συμβάσεων. Εξετάστηκαν η σύγκλιση σε συμφωνία, η χρησιμότητα και η δικαιοσύνη μεταξύ των μερών, η αξιοπιστία των επιμέρους ροών, η τήρηση των κανόνων και το τεχνικό κόστος εκτέλεσης. Η εργασία αναδεικνύει ότι η αξιοποίηση των LLMs σε αυτόνομες διαπραγματεύσεις καθίσταται ουσιαστικότερη όταν συνδυάζεται με σαφή πρωτόκολλα, μηχανισμούς επικύρωσης και διαφανή καταγραφή των αποφάσεων. Βασική συνεισφορά αποτελεί ένα ολοκληρωμένο και παραμετροποιήσιμο πλαίσιο λογισμικού, το οποίο επιτρέπει τόσο την εκτέλεση πρακτικών σεναρίων ηλεκτρονικού εμπορίου όσο και τη συστηματική μελέτη της συμπεριφοράς agentic πρακτόρων.

Λέξεις-κλειδιά: Agentic AI, αυτόνομη διαπραγμάτευση, Μεγάλα Γλωσσικά Μοντέλα, πολυπρακτορικά συστήματα, ηλεκτρονικό εμπόριο, αξιολόγηση χρησιμότητας

Design and Implementation of an Agentic AI-Based Autonomous Negotiation Framework for Conflict Resolution in E-Commerce Environments

Antonios Papanikolaou

Abstract

This thesis examines the design, implementation, and experimental evaluation of an autonomous multi-issue negotiation framework for electronic-commerce environments. The developed NegotAI platform employs Large Language Model agents representing a Buyer, a Seller and, optionally, a third-party logistics provider to generate offers, arguments, and negotiation tactics. Their language-driven behavior is constrained by a deterministic core that validates every action, enforces private limits and protocol rules, and distinguishes agreement from allocation, contract activation, and transaction completion. The platform supports adaptive and user-selected fixed LLM strategies, bilateral negotiation, multi-seller and multi-buyer markets with a best-and-final-offer mechanism, three-party fulfillment, and contract and dispute lifecycles. Experimental evaluation is organized around predefined and repeatable scenarios, with comparative studies covering the supported strategies, market mechanisms, alternative fulfillment flows, and contract lifecycles. The analysis considers agreement convergence, utility and fairness between parties, workflow reliability, rule compliance, and technical execution cost. The work shows that using LLMs in autonomous negotiation becomes more meaningful when combined with explicit protocols, validation mechanisms, and transparent decision records. Its primary contribution is an integrated and configurable software framework that supports both practical e-commerce scenarios and the systematic study of agentic negotiation behavior.

Keywords: Agentic AI, automated negotiation, Large Language Models, multi-agent systems, electronic commerce, utility-based evaluation

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στην επιβλέπουσα της διπλωματικής εργασίας, κ. Καλλιόπη Κράβαρη, για την καθοδήγηση, τις παρατηρήσεις και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης.

Ευχαριστώ επίσης την οικογένειά μου για τη σταθερή στήριξη, την υπομονή και την ενθάρρυνσή της, καθώς και τους φίλους μου που στάθηκαν δίπλα μου κατά τη διάρκεια αυτής της προσπάθειας.

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	ii
Περίληψη.....	iii
Abstract.....	iv
Ευχαριστίες.....	v
Περιεχόμενα	vi
Κατάλογος Σχημάτων και Εικόνων.....	x
Κατάλογος Πινάκων	xii
Συντομογραφίες.....	xiii
Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή.....	1
1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Πλαίσιο και ερευνητικό πρόβλημα.....	1
1.3 Σκοπός και επιμέρους στόχοι	3
1.4 Ερευνητικά ερωτήματα.....	3
1.5 Συνεισφορές της εργασίας.....	5
1.6 Πεδίο εφαρμογής και περιορισμοί.....	5
1.7 Δομή της εργασίας.....	6
Κεφάλαιο 2ο: Θεωρητικό Υπόβαθρο και Σχετική Βιβλιογραφία.....	8
2.1 Εισαγωγή.....	8
2.2 Αυτόνομοι πράκτορες και πολυπρακτορικά συστήματα	9
2.2.1 Βασικές ιδιότητες και κύκλος λειτουργίας	9
2.2.2 Πολυπρακτορικά συστήματα, επικοινωνία και συντονισμός	9
2.2.3 Από το chatbot στο Agentic AI.....	10
2.3 Αυτόματη διαπραγμάτευση	11
2.3.1 Διαστάσεις και δομικά στοιχεία.....	11
2.3.2 Πρωτόκολλα προσφορών και μηχανισμοί αγοράς.....	12
2.3.3 Ιδιωτική πληροφορία, ZOPA και αβεβαιότητα	13
2.4 Πολυκριτηριακή χρησιμότητα και ατομική ορθολογικότητα.....	14
2.4.1 Προσθετικό μοντέλο χρησιμότητας.....	14
2.4.2 Σημεία κράτησης και ατομική ορθολογικότητα	15
2.4.3 Χρονική προεξόφληση και όρια του μοντέλου.....	16
2.5 Αποδοτικότητα, ισορροπία και δικαιοσύνη.....	16
2.5.1 Αποδοτικότητα και κυριαρχία κατά Pareto	16
2.5.2 Κοινωνική ευημερία, ισορροπία και λειτουργικός ορισμός win-win	17

2.5.3	Σύγκλιση και ακριβής συμφωνία	18
2.6	Στρατηγικές, τακτικές και μοντελοποίηση αντιπάλου	19
2.6.1	Στρατηγική πολιτική και τακτικές κάθε γύρου	19
2.6.2	Ανταλλαγές μεταξύ ζητημάτων και συνέπεια παραχωρήσεων.....	19
2.6.3	Μοντελοποίηση αντιπάλου υπό ατελή πληροφόρηση	20
2.7	Agentic AI και πράκτορες βασισμένοι σε LLM.....	21
2.7.1	Από το γλωσσικό μοντέλο στον αυτόνομο πράκτορα	21
2.7.2	Δομημένες ενέργειες, εργαλεία και ντετερμινιστικός έλεγχος	21
2.7.3	Ιδιωτική κατάσταση, δημόσια επικοινωνία και πολυπρακτορικός συντονισμός....	22
2.8	LLM-based negotiation: σύγχρονα ευρήματα και κενά	23
2.8.1	Άξονες συστηματικής σύγκρισης	23
2.8.2	Συμπεράσματα από τη σχετική βιβλιογραφία.....	25
2.9	Αξιοπιστία, ασφάλεια και δεοντολογία	26
2.9.1	Αξιοπιστία εξόδου και ασφάλεια πρωτοκόλλου	26
2.9.2	Prompt injection, ιδιωτικότητα και κατάχρηση ρόλου	26
2.9.3	Δεοντολογία, αναπαραγωγικότητα και ανθρώπινη εποπτεία	27
2.10	Σύνθεση και ερευνητικό κενό	27
Κεφάλαιο 3ο:	Ανάλυση Απαιτήσεων και Αρχιτεκτονική του Προτεινόμενου Πλαισίου	29
3.1	Εισαγωγή	29
3.2	Εμπλεκόμενοι ρόλοι και περιπτώσεις χρήσης	30
3.3	Λειτουργικές και μη λειτουργικές απαιτήσεις.....	32
3.4	Συνολική αρχιτεκτονική	33
3.5	Υβριδική αρχιτεκτονική απόφασης πράκτορα	35
3.6	Πρωτόκολλα διαπραγμάτευσης.....	37
3.6.1	Διμερής εναλλαγή προσφορών	38
3.6.2	Πολλοί πωλητές και BAFO	38
3.6.3	Πολλοί αγοραστές και ανταγωνιστική κατανομή	39
3.6.4	Τριμερής διαπραγμάτευση με 3PL	40
3.7	Αρχιτεκτονική συμβάσεων και επίλυσης διαφορών.....	41
3.8	Δεδομένα, ιδιωτικότητα και παρατηρησιμότητα.....	42
3.9	Τεχνολογικές επιλογές.....	43
Κεφάλαιο 4ο:	Υλοποίηση της Πλατφόρμας NegotAI	46
4.1	Εισαγωγή και δομή αποθετηρίου	46
4.2	Μοντέλο ρυθμίσεων και επικύρωση σεναρίου	47
4.3	Υλοποίηση Buyer, Seller και Fulfillment Agents.....	48

4.4	Ανάλυση και επικύρωση απαντήσεων.....	49
4.5	Υλοποίηση διμερούς εκτέλεσης	50
4.6	Υλοποίηση multi-seller αγοράς	51
4.7	Υλοποίηση multi-buyer αγοράς.....	52
4.8	Υλοποίηση τριμερούς fulfillment	52
4.9	Υλοποίηση κύκλου ζωής συμβάσεων	53
4.10	Μετρικές, μεταγραφές και αναλυτική επεξεργασία	54
4.11	Διαδικτυακή εφαρμογή	55
Κεφάλαιο 5ο: Μεθοδολογία Πειραματικής Αξιολόγησης.....		59
5.1	Σκοπός και αρχές σχεδιασμού	59
5.2	Αντιστοίχιση ερωτημάτων και υποθέσεων εργασίας	59
5.3	Κοινός πειραματικός σχεδιασμός	60
5.4	Πειραματικές μελέτες.....	61
5.4.1	Μελέτη E1: διμερής πολιτική στρατηγικής	61
5.4.2	Μελέτη E2: μηχανισμός multi-buyer αγοράς	61
5.4.3	Μελέτη E3: seller fulfillment έναντι ανεξάρτητου 3PL	62
5.4.4	Μελέτη E4: αξιοπιστία contract lifecycle	62
5.4.5	Δευτερογενής ανάλυση RQ5: λειτουργικό αποτύπωμα.....	63
5.5	Μεταβλητές και έλεγχος συνθηκών	63
5.6	Μετρικές και παρονομαστές.....	64
5.7	Στατιστική ανάλυση	65
5.8	Αποτυχίες, ελλιπή δεδομένα και ακεραιότητα	66
5.9	Διαδικασία αναπαραγωγής	66
Κεφάλαιο 6ο: Αποτελέσματα και Συζήτηση		68
6.1	Σκοπός και τρόπος ανάγνωσης των αποτελεσμάτων.....	68
6.2	Τελικά σύνολα δεδομένων και έλεγχος ακεραιότητας	68
6.3	RQ1: adaptive agentic έναντι fixed balanced	69
6.4	RQ2: competitive BAFO έναντι independent selection	70
6.5	RQ3: seller-fulfilled έναντι ανεξάρτητου 3PL	71
6.6	RQ4: αξιοπιστία του contract lifecycle	72
6.7	RQ5: λειτουργικό αποτύπωμα.....	73
6.8	Ανάλυση αποτυχιών και τεχνική αξιοπιστία	75
6.9	Συνολική συζήτηση και πρακτικές συνέπειες	76
6.10	Απειλές εγκυρότητας.....	77
Κεφάλαιο 7ο: Συμπεράσματα, Περιορισμοί και Μελλοντική Εργασία		78

7.1	Σύνοψη της εργασίας.....	78
7.2	Απαντήσεις στα ερευνητικά ερωτήματα.....	78
7.3	Τεχνικές και ερευνητικές συνεισφορές	80
7.4	Περιορισμοί.....	80
7.5	Μελλοντική εργασία.....	81
7.6	Τελική καταληκτική παράγραφος	82
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		83
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΟΔΗΓΟΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ NEGOTAI		86
A.1	Εκκίνηση και αρχική σελίδα.....	86
A.2	Κεντρική οθόνη και βασική πλοήγηση.....	87
A.3	Δημιουργία νέας διαπραγμάτευσης	88
A.3.1	Επιλογή αρχιτεκτονικής και πολιτικής στρατηγικής	88
A.3.2	Ορισμός σεναρίου.....	90
A.3.3	Όρια συμμετεχόντων και βάρη χρησιμότητας.....	91
A.3.4	Προηγμένοι έλεγχοι, επικύρωση και εκκίνηση	93
A.4	Παρακολούθηση μιας διαπραγμάτευσης	95
A.5	Ιστορικό διαπραγματεύσεων.....	96
A.6	Προβολή και ερμηνεία αποτελεσμάτων	97
A.6.1	Κατάλογος ολοκληρωμένων αποτελεσμάτων	97
A.6.2	Σύνοψη και τελική συμφωνία	98
A.6.3	Χρονογραμμή γύρων	99
A.6.4	Ερευνητικές μετρικές.....	100
A.6.5	Σύγκριση υποψηφίων σε πολυμερείς αγορές.....	101
A.6.6	Κύκλος ζωής ηλεκτρονικής σύμβασης.....	102
A.7	Συγκεντρωτικά αναλυτικά στοιχεία.....	103
A.8	Ρυθμίσεις, πάροχοι και αρχειοθέτηση	104
A.9	Διαδραστική τεκμηρίωση API.....	105
A.10	Συστάσεις ορθής χρήσης	106

Κατάλογος Σχημάτων και Εικόνων

Σχήμα 2.1: Διαδικασία διμερούς αυτόματης διαπραγμάτευσης με εναλλασσόμενες προσφορές (πηγή: Chen και Weiss [34], Σχ. 1, CC BY 4.0).	12
Σχήμα 2.2: Εννοιολογική απεικόνιση του χώρου χρησιμότητων, του μετώπου Pareto και της λειτουργικής περιοχής win-win (ίδια επεξεργασία).	18
Σχήμα 2.3: Εννοιολογικό μοντέλο Agentic AI με πυρήνα LLM, λειτουργικές μονάδες, κύκλο δράσης, πρότυπα κλιμάκωσης και διεπαφές περιβάλλοντος (πηγή: Gill et al. [35], Σχ. 1, CC BY 4.0).	22
Σχήμα 2.4: Εξέλιξη από rule-based negotiators σε υβριδικούς agentic πράκτορες βασισμένους σε LLM	23
Σχήμα 3.1: Λογική αρχιτεκτονική του πλαισίου NegotAI	34
Σχήμα 3.2: Υβριδικός κύκλος λήψης απόφασης και ελέγχου ενέργειας πράκτορα	36
Σχήμα 4.1: Λογική διάρθρωση και όρια ευθύνης της πλατφόρμας NegotAI	47
Σχήμα 4.2: Ακολουθία εκτέλεσης και ελέγχου μιας διμερούς διαπραγμάτευσης	51
Σχήμα 4.3: Κύκλος ζωής από την εμπορική συμφωνία έως την εκτέλεση και τη διευθέτηση διαφοράς	54
Σχήμα 4.4: Επιλογή αρχιτεκτονικής, πολιτικής στρατηγικής και πηγής configuration	56
Σχήμα 4.5: Παράλληλη χρονογραμμή υποψηφίων σε πραγματική multi-buyer εκτέλεση	57
Σχήμα 4.6: Παρουσίαση συμφωνίας, utility, fairness και λειτουργικού χαρακτηρισμού win-win	57
Σχήμα 4.7: Συγκεντρωτικές canonical μετρικές και φίλτρα της ερευνητικής διεπαφής	58
Σχήμα 6.1: Ποσοστά ορθής έκβασης και τεχνικής αποτυχίας στο E1. Οι παρονομαστές είναι 20 εφικτές, 10 ανέφικτες και 30 συνολικές sessions ανά treatment.	69
Σχήμα 6.2: Έγκυρες συμφωνίες ανά scenario στο E3. Κάθε στήλη αντιστοιχεί σε τρεις επαναλήψεις και οι τιμές ανά scenario είναι περιγραφικές.	71
Σχήμα 6.3: Αξιοπιστία ανά στάδιο του contract lifecycle. Οι διαφορετικοί παρονομαστές αποτρέπουν τη σύγχυση μεταξύ συνολικής και υπό συνθήκη επιτυχίας.	73
Σχήμα 6.4: Ποσοστιαία μεταβολή attempts, tokens και διάρκειας μέσα σε κάθε matched study. Οι τιμές είναι περιγραφικές complete-case συγκρίσεις και όχι κατάταξη μεταξύ διαφορετικών studies. .	74
Σχήμα A.1: Αρχική σελίδα της εφαρμογής NegotAI	86
Σχήμα A.2: Κεντρική οθόνη και διαθέσιμοι τύποι διαπραγμάτευσης	87
Σχήμα A.3: Πρώτο βήμα: επιλογή αρχιτεκτονικής διαπραγμάτευσης	88
Σχήμα A.4: Επιλογή σταθερής στρατηγικής LLM και χειροκίνητης διαμόρφωσης	89
Σχήμα A.5: Δεύτερο βήμα: ορισμός του αντικειμένου και του δημόσιου πλαισίου	90
Σχήμα A.6: Ιδιωτικά όρια και προτεραιότητες χρησιμότητας του Buyer	91
Σχήμα A.7: Ιδιωτικά όρια και προτεραιότητες χρησιμότητας του Seller	92
Σχήμα A.8: Προηγμένοι ερευνητικοί έλεγχοι πριν από την εκτέλεση	93
Σχήμα A.9: Επικυρωμένη διαμόρφωση έτοιμη για εκκίνηση	94

<i>Σχήμα A.10: Οθόνη παρακολούθησης και ολοκλήρωσης διαπραγμάτευσης.....</i>	<i>95</i>
<i>Σχήμα A.11: Ιστορικό και φίλτρα διαπραγματεύσεων</i>	<i>96</i>
<i>Σχήμα A.12: Κατάλογος ολοκληρωμένων αποτελεσμάτων.....</i>	<i>97</i>
<i>Σχήμα A.13: Σύνοψη έκβασης, χρησιμότητων και τελικής συμφωνίας.....</i>	<i>98</i>
<i>Σχήμα A.14: Δημόσια χρονογραμμή μηνυμάτων και προσφορών.....</i>	<i>99</i>
<i>Σχήμα A.15: Βασικές μετρικές αποτελέσματος και διαπραγματευτικής δυναμικής</i>	<i>100</i>
<i>Σχήμα A.16: Σύγκριση υποψηφίων σε αγορά πολλών πωλητών.....</i>	<i>101</i>
<i>Σχήμα A.17: Αυτόνομος κύκλος ζωής ηλεκτρονικής σύμβασης.....</i>	<i>102</i>
<i>Σχήμα A.18: Συγκεντρωτική ανάλυση με φίλτρα και διαστήματα εμπιστοσύνης.....</i>	<i>103</i>
<i>Σχήμα A.19: Κατάσταση παρόχων, όριο μυστικών και αρχιτεκτονική απομόνωσης</i>	<i>104</i>
<i>Σχήμα A.20: Διαδραστική τεκμηρίωση OpenAPI του NegotAI</i>	<i>105</i>

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1: Αντιστοίχιση ερευνητικών ερωτημάτων και κύριων μετρικών	4
Πίνακας 2.1: Βασικές παράμετροι του μοντέλου χρησιμότητας και αντιστοίχιση στην πλατφόρμα	14
Πίνακας 2.2: Συστηματική σύγκριση αντιπροσωπευτικών προσεγγίσεων αυτόματης και LLM-based διαπραγμάτευσης.....	24
Πίνακας 3.1: Ρόλοι και όρια ευθύνης στο πλαίσιο NegotAI.....	31
Πίνακας 3.2: Βασικές λειτουργικές και μη λειτουργικές απαιτήσεις	32
Πίνακας 3.3: Οικονομικές ταυτότητες της τριμερούς ροής	40
Πίνακας 3.4: Τεχνολογικές επιλογές και αιτιολόγηση	44
Πίνακας 3.5: Αντιστοίχιση αρχιτεκτονικών στοιχείων σε υπομονάδες του έργου	44
Πίνακας 4.1: Κύριες μονάδες του αποθετηρίου και ευθύνη τους.....	46
Πίνακας 5.1: Αντιστοίχιση ερευνητικών ερωτημάτων και πειραματικών στόχων.....	59
Πίνακας 5.2: Συνοπτικός σχεδιασμός των τελικών μελετών.....	60
Πίνακας 5.3: Κύριες μεταβλητές και ελεγχόμενες παράμετροι.....	63
Πίνακας 5.4: Ορισμοί των βασικών outcome μετρικών	64
Πίνακας 5.5: Τεχνικές και λειτουργικές μετρικές	64
Πίνακας 5.6: Στατιστική διαδικασία ανά τύπο δεδομένων.....	65
Πίνακας 5.7: Κατηγορίες αποτυχίας και κανόνες χειρισμού.....	66
Πίνακας 6.1: Τελικές populations και βασικά αποτελέσματα ακεραιότητας	68
Πίνακας 6.2: Κύρια paired αποτελέσματα του RQ1	69
Πίνακας 6.3: Κύρια και υποστηρικτικά αποτελέσματα του RQ2.....	70
Πίνακας 6.4: Κύρια paired αποτελέσματα και diagnostics του RQ3	71
Πίνακας 6.5: Περιγραφικά αποτελέσματα αξιοπιστίας του RQ4	72
Πίνακας 6.6: Παρατηρημένο λειτουργικό αποτύπωμα ανά group	73
Πίνακας 6.7: Κατανομή αποτυχιών και χειρισμός τους στην ανάλυση.....	75
Πίνακας 6.8: Συνοπτική απάντηση στα ερευνητικά ερωτήματα	76

Συντομογραφίες

Συντομογραφία	Επεξήγηση
AI	Artificial Intelligence — Τεχνητή Νοημοσύνη
API	Application Programming Interface — Διεπαφή Προγραμματισμού Εφαρμογών
BAFO	Best and Final Offer — Βέλτιστη και Τελική Προσφορά
CFP	Call for Proposals — Πρόσκληση Υποβολής Προσφορών
CI	Confidence Interval — Διάστημα Εμπιστοσύνης
CSV	Comma-Separated Values
FIPA	Foundation for Intelligent Physical Agents
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IR	Individual Rationality — Ατομική Ορθολογικότητα
JSON	JavaScript Object Notation
LLM	Large Language Model — Μεγάλο Γλωσσικό Μοντέλο
MAS	Multi-Agent System — Πολυπρακτορικό Σύστημα
REST	Representational State Transfer
RQ	Research Question — Ερευνητικό Ερώτημα
SLA	Service-Level Agreement — Συμφωνία Επιπέδου Υπηρεσιών
SSE	Server-Sent Events
3PL	Third-Party Logistics — Πάροχος Υπηρεσιών Εφοδιαστικής Τρίτου Μέρους
UI / UX	User Interface / User Experience — Διεπαφή / Εμπειρία Χρήστη
ZOPA	Zone of Possible Agreement — Ζώνη Δυνατής Συμφωνίας

Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή

Η εξάπλωση του ηλεκτρονικού εμπορίου έχει αυτοματοποιήσει μεγάλο μέρος της αναζήτησης, της παραγγελίας και της πληρωμής, χωρίς όμως να έχει καταστήσει εξίσου ευέλικτο τον καθορισμό των όρων μιας συναλλαγής. Στις περισσότερες ψηφιακές αγορές ο αγοραστής αποδέχεται ένα προκαθορισμένο πακέτο τιμής, παράδοσης και εγγύησης ή εγκαταλείπει τη συναλλαγή. Στην πράξη, ωστόσο, οι προτιμήσεις των δύο πλευρών δεν περιορίζονται στην τιμή: μία ταχύτερη παράδοση μπορεί να δικαιολογεί υψηλότερο τίμημα, μία εκτενέστερη εγγύηση μπορεί να αντισταθμίζει μεγαλύτερη αναμονή και η κατανομή του κινδύνου μπορεί να επηρεάζει την αποδοχή ολόκληρης της συμφωνίας. Η διαπραγμάτευση είναι επομένως πολυκριτηριακή διαδικασία και όχι απλή ανταλλαγή διαδοχικών τιμών.

Η αυτοματοποιημένη διαπραγμάτευση μελετά πώς αυτόνομοι πράκτορες μπορούν να εκπροσωπούν διαφορετικά συμφέροντα, να ανταλλάσσουν προσφορές και να καταλήγουν σε αμοιβαία αποδεκτό αποτέλεσμα ακολουθώντας ένα σαφές πρωτόκολλο [1], [2]. Τα κλασικά συστήματα βασίζονται κυρίως σε ρητές συναρτήσεις χρησιμότητας, κανόνες παραχώρησης και προκαθορισμένες ακολουθίες μηνυμάτων. Η προσέγγιση αυτή προσφέρει έλεγχο και αναπαραγωγικότητα, αλλά δυσκολεύεται να αξιοποιήσει επιχειρήματα φυσικής γλώσσας, να ερμηνεύσει μη αναμενόμενες διατυπώσεις και να προσαρμόσει τη συμπεριφορά της σε μία δυναμική συνομιλία.

Τα Μεγάλα Γλωσσικά Μοντέλα (Large Language Models - LLMs) δημιουργούν τη δυνατότητα για πράκτορες που κατανοούν το ιστορικό, παράγουν αιτιολογημένες αντιπροσφορές και μεταβάλλουν την τακτική τους ανάλογα με τη συμπεριφορά της άλλης πλευράς. Η γλωσσική τους ευελιξία, όμως, συνοδεύεται από στοχαστικότητα, πιθανότητα λανθασμένης μορφοποίησης και κίνδυνο παραγωγής όρων που παραβιάζουν ιδιωτικά όρια ή δεν αντιστοιχούν στην πραγματική κατάσταση της διαδικασίας. Ένα μήνυμα μπορεί να ακούγεται πειστικό χωρίς η προσφορά που περιέχει να είναι αριθμητικά έγκυρη, πλήρης ή δεσμευτική. Για τον λόγο αυτό η χρήση ενός LLM ως απλού συνομιλιακού μηχανισμού δεν αρκεί για την ασφαλή εκτέλεση οικονομικής διαπραγμάτευσης.

Η παρούσα εργασία εξετάζει αυτή ακριβώς τη σχέση ανάμεσα στην agentic προσαρμοστικότητα και στον ντετερμινιστικό έλεγχο. Σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε η πλατφόρμα NegotAI, στην οποία πράκτορες Buyer, Seller και, όπου απαιτείται, Fulfillment/3PL χρησιμοποιούν LLM για την επιλογή στρατηγικής ή τακτικής, τη δημιουργία πολυκριτηριακών προσφορών και την ανταλλαγή επιχειρημάτων. Παράλληλα, ο πυρήνας της εφαρμογής επικυρώνει κάθε ενέργεια, προστατεύει τα ιδιωτικά δεδομένα διαμόρφωσης, επιβάλλει τις νόμιμες μεταβάσεις και διαχωρίζει τη διαπραγματευτική συμφωνία από την κατανομή, την ενεργοποίηση σύμβασης και την ολοκλήρωση της συναλλαγής. Η εργασία δεν περιορίζεται στην παρουσίαση ενός πρωτοτύπου, αλλά αξιολογεί την αποτελεσματικότητα, την αξιοπιστία και το λειτουργικό του αποτύπωμα μέσα από ελεγχόμενες πειραματικές μελέτες.

1.2 Πλαίσιο και ερευνητικό πρόβλημα

Μία προσφορά στο εξεταζόμενο περιβάλλον αναπαρίσταται ως πλήρες πακέτο όρων. Για τη βασική συναλλαγή το πακέτο περιλαμβάνει τιμή προϊόντος, χρόνο παράδοσης και διάρκεια εγγύησης, ενώ στην τριμερή εκπλήρωση προστίθενται οι όροι και η αμοιβή του παρόχου logistics. Κάθε συνδυασμός αντιστοιχεί σε διαφορετική αξία για κάθε συμμετέχοντα. Η αναζήτηση συμφωνίας πραγματοποιείται συνεπώς σε πολυδιάστατο χώρο, στον οποίο μία παραχώρηση σε ένα ζήτημα μπορεί

να αντισταθμιστεί από βελτίωση σε άλλο. Η τελική αποδοχή έχει νόημα μόνο όταν αναφέρεται στην ίδια ακριβώς έκδοση του πακέτου και από όλα τα μέρη που απαιτούνται από το εκάστοτε πρωτόκολλο.

Το πρόβλημα χαρακτηρίζεται επίσης από ασυμμετρία πληροφόρησης. Κάθε πράκτορας γνωρίζει τα όρια κράτησης, τα βάρη των ζητημάτων, τη στάση απέναντι στον κίνδυνο και, όταν χρησιμοποιείται, τον συντελεστή χρονικής προεξόφλησης του ρόλου που εκπροσωπεί. Δεν γνωρίζει τις αντίστοιχες παραμέτρους της άλλης πλευράς. Τα βάρη μπορούν να παραχθούν από τον σχεδιαστή σεναρίου ή να οριστούν χειροκίνητα για κάθε ενεργό agent σε όλους τους τρόπους λειτουργίας. Η προστασία αυτών των παραμέτρων είναι αναγκαία, επειδή η άμεση αποκάλυψή τους θα αλλοίωνε τη στρατηγική σχέση και θα μετέτρεπε τη διαπραγμάτευση σε απλή κεντρική βελτιστοποίηση.

Η ιδιωτική αποτίμηση μετατρέπεται σε κανονικοποιημένη χρησιμότητα από 0 έως 1. Η χρησιμότητα επιτρέπει να συγκριθούν ετερογενείς όροι και να ελεγχθεί αν μία προσφορά ικανοποιεί τα δηλωμένα όρια. Δεν επιλύει όμως από μόνη της τη διαπραγμάτευση: οι πράκτορες δεν γνωρίζουν τη συνάρτηση του αντιπάλου, λειτουργούν με πεπερασμένους γύρους και μπορούν να επιλέξουν λήξη χωρίς συμφωνία όταν δεν εμφανιστεί κοινά εφικτό πακέτο. Το σύστημα δεν μοντελοποιεί ξεχωριστή εξωτερική εναλλακτική συναλλαγής. Η ορθότητα ενός no-deal κρίνεται από τη συμβατότητα των ορίων και από την πορεία της τρέχουσας συνεδρίας.

Η εισαγωγή LLM agents δημιουργεί μία βασική σχεδιαστική αντίφαση. Από τη μία πλευρά, η φυσική γλώσσα επιτρέπει στους πράκτορες να εξηγούν προτεραιότητες, να αναγνωρίζουν παραχωρήσεις και να προσαρμόζουν τον τρόπο επικοινωνίας. Από την άλλη, η απόφαση του μοντέλου δεν είναι από μόνη της έγκυρη μετάβαση κατάστασης. Το LLM μπορεί να παραλείψει ένα πεδίο, να προτείνει τιμή εκτός ορίων, να αποδεχθεί παλαιότερη προσφορά ή να περιγράψει ως συμφωνία κάτι που δεν έχει εγκριθεί από όλα τα μέρη. Το ερευνητικό πρόβλημα δεν είναι επομένως μόνο πώς θα παραχθεί καλύτερος διάλογος, αλλά πώς η γλωσσική απόφαση θα ενταχθεί σε πλαίσιο όπου κάθε εξωτερικό αποτέλεσμα είναι ελέγξιμο και αναπαραγώγιμο.

Η ίδια απαίτηση αφορά τη στρατηγική αυτονομία. Στην adaptive agentive πολιτική το LLM επιλέγει σε κάθε γύρο στρατηγική στάση και επιμέρους τακτική σύμφωνα με την εξέλιξη της διαπραγμάτευσης. Στην fixed-strategy LLM πολιτική ο χρήστης επιλέγει στην αρχή τη στρατηγική στάση του Buyer και του Seller, η οποία παραμένει σταθερή, ενώ το μοντέλο συνεχίζει να προσαρμόζει την τακτική, το επιχείρημα και την προσφορά του. Έτσι μπορεί να εξεταστεί αν η δυναμική αλλαγή στάσης προσθέτει πραγματική αξία ή αν μία προκαθορισμένη, ελεγχόμενη πολιτική επιτυγχάνει παρόμοια αποτελέσματα με μικρότερη ερμηνευτική πολυπλοκότητα.

Η πολυπρακτορική διάσταση αυξάνει περαιτέρω τη δυσκολία. Σε αγορά πολλών πωλητών ή αγοραστών εκτελούνται παράλληλες διαπραγματεύσεις, αλλά η τελική κατανομή πρέπει να είναι μοναδική και να μην συγχέεται με μία προσωρινή συμφωνία. Ο μηχανισμός Best and Final Offer (BAFO) απαιτεί συγχρονισμό, ελεγχόμενη ορατότητα του ανταγωνισμού και μία μόνο δεσμευτική τελική προσφορά ανά finalist. Στην τριμερή εκπλήρωση, Buyer, Seller και 3PL πρέπει να εγκρίνουν την ίδια έκδοση πακέτου, ενώ το απόθεμα πρέπει να δεσμεύεται, να οριστικοποιείται ή να απελευθερώνεται ατομικά. Περισσότεροι πράκτορες προσφέρουν περισσότερες δυνατότητες, αλλά δημιουργούν και πρόσθετα σημεία συντονιστικής και τεχνικής αστοχίας.

Τέλος, μία συμφωνία σε επίπεδο μηνυμάτων δεν ισοδυναμεί με ολοκληρωμένη συναλλαγή. Απαιτείται σχηματισμός αμετάβλητης συμβατικής έκδοσης, ενεργοποίηση από τους κατάλληλους ρόλους, παρακολούθηση γεγονότων εκτέλεσης και διαχείριση πιθανής απαίτησης ή διαφοράς. Το NegotAI αντιμετωπίζει τα στάδια αυτά ως διακριτές state machines, ώστε κανένας όρος να μην αλλάζει

χωρίς ρητή ενημέρωση και εμφανή καταγραφή. Το κεντρικό ερευνητικό ερώτημα της εργασίας είναι αν αυτή η υβριδική αρχιτεκτονική μπορεί να συνδυάσει την προσαρμοστικότητα των LLMs με οικονομική εγκυρότητα, τεχνική ασφάλεια και μετρήσιμη end-to-end αξιολόγηση.

1.3 Σκοπός και επιμέρους στόχοι

Σκοπός της εργασίας είναι η σχεδίαση, η υλοποίηση και η πειραματική αξιολόγηση ενός επεκτάσιμου πλαισίου αυτόνομης διαπραγμάτευσης για περιβάλλοντα ηλεκτρονικού εμπορίου. Το πλαίσιο πρέπει να επιτρέπει στους LLM-based πράκτορες να ερμηνεύουν επιχειρήματα και να προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους, χωρίς να τους αναθέτει την τελική αρμοδιότητα για την εγκυρότητα, τη δέσμευση και τη συνέπεια των δεδομένων. Η επιτυχία δεν ορίζεται μόνο ως επίτευξη συμφωνίας, αλλά ως παραγωγή σωστής έκβασης, ασφαλούς ιστορικού και ολοκληρώσιμης συναλλακτικής ροής με γνωστό λειτουργικό αποτύπωμα.

Αναπαράσταση προτιμήσεων και περιορισμών. Ο πρώτος στόχος είναι η τυποποίηση των ζητημάτων, των επιτρεπτών τιμών, των ιδιωτικών ορίων, των βαρών, της στάσης κινδύνου και της προαιρετικής χρονικής προεξόφλησης. Κάθε ρόλος πρέπει να διαθέτει ανεξάρτητο προφίλ και η χρησιμότητα να υπολογίζεται με τον ίδιο, ελέγξιμο τρόπο σε όλες τις αρχιτεκτονικές.

Ελεγχόμενη agentic στρατηγική. Ο δεύτερος στόχος είναι ο σαφής διαχωρισμός ανάμεσα στην ιδιωτική στρατηγική κατάσταση, στη δομημένη ενέργεια και στο δημόσιο μήνυμα. Η πλατφόρμα πρέπει να υποστηρίζει τόσο δυναμική επιλογή στρατηγικής από το LLM όσο και στρατηγική στάση που καθορίζεται από τον χρήστη και παραμένει σταθερή, διατηρώντας κοινές δικλίδες επικύρωσης.

Πολλαπλές αρχιτεκτονικές αγοράς. Ο τρίτος στόχος είναι η υποστήριξη διμερούς διαπραγμάτευσης, αγορών με πολλούς πωλητές ή πολλούς αγοραστές, ανταγωνιστικής τελικής φάσης BAFO και τριμερούς εκπλήρωσης με 3PL. Κάθε λειτουργία απαιτεί διαφορετικό πρωτόκολλο, αλλά πρέπει να βασίζεται σε κοινές έννοιες προσφοράς, χρησιμότητας, ιδιωτικότητας και τελικής δέσμευσης.

Συνέχεια μετά τη συμφωνία. Ο τέταρτος στόχος είναι η ασφαλής μετάβαση από το συμφωνημένο πακέτο σε versioned συμβάσεις πώλησης και υπηρεσιών, σε ενεργοποίηση, γεγονότα εκτέλεσης, claims και επίλυση διαφορών. Η κατάσταση της σύμβασης και του αποθέματος πρέπει να παραμένει συνεπής ακόμη και όταν ένα agentic στάδιο αποτυγχάνει.

Παρατηρησιμότητα και αναπαραγωγιμότητα. Ο πέμπτος στόχος είναι η καταγραφή canonical transcripts, εκδόσεων, ρυθμίσεων, αιτημάτων προς τους providers, σφαλμάτων και παραγόμενων artifacts. Η διαδικτυακή εφαρμογή πρέπει να υποστηρίζει τόσο διαδραστική παρακολούθηση όσο και εξαγωγή δεδομένων για ανεξάρτητη ανάλυση, χωρίς να εκθέτει ιδιωτική πληροφορία στην κανονική προβολή.

Πειραματική αξιολόγηση. Ο έκτος στόχος είναι η σύγκριση των βασικών επιλογών σχεδιασμού με ζευγοποιημένα σενάρια, προκαθορισμένες επαναλήψεις και σαφείς παρονομαστές. Η αξιολόγηση εξετάζει την ορθότητα της έκβασης, τη χρησιμότητα, την ισορροπία των μερών, την αξιοπιστία του contract lifecycle και το λειτουργικό κόστος σε API attempts, retries, tokens, latency και συνολική διάρκεια.

1.4 Ερευνητικά ερωτήματα

Οι παραπάνω στόχοι μετατρέπονται σε πέντε ερευνητικά ερωτήματα. Τα τρία πρώτα συγκρίνουν εναλλακτικές πολιτικές ή αρχιτεκτονικές πάνω στα ίδια παγωμένα σενάρια. Το τέταρτο εξετάζει την αξιοπιστία μετά τη συμφωνία και το πέμπτο συνθέτει το λειτουργικό αποτύπωμα των τελικών

πειραματικών μονάδων. Η διατύπωση εστιάζει σε μετρήσιμες διαφορές και όχι στην εκ των προτέρων παραδοχή ότι η πιο σύνθετη ή περισσότερο αυτόνομη επιλογή είναι αναγκαστικά καλύτερη.

Ο Πίνακας 1.1 συνοψίζει τα ερωτήματα και τις κύριες οικογένειες μετρικών. Οι ακριβείς ορισμοί, οι κανόνες επιλεξιμότητας και οι στατιστικές μέθοδοι παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 5, ώστε το Κεφάλαιο 1 να ορίζει το αντικείμενο χωρίς να προαναγγέλλει την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Πίνακας 1.1: Αντιστοίχιση ερευνητικών ερωτημάτων και κύριων μετρικών

RQ	Ερευνητικό ερώτημα	Κύριες μετρικές
RQ1	Στις ίδιες διμερείς διαπραγματεύσεις, πώς διαφοροποιούνται τα αποτελέσματα της adaptive agentlic πολιτικής από τη fixed-strategy LLM/balanced πολιτική;	Valid agreement, correct no-deal, unsafe agreement, utilities, win-win, strategy changes και failures.
RQ2	Στην ίδια single-unit αγορά πολλών αγοραστών, πώς μεταβάλλεται το αποτέλεσμα όταν η independent selection αντικαθίσταται από competitive BAFO;	Seller utility, clearance correctness, allocation regret, welfare, fairness, BAFO uplift και failures.
RQ3	Ποιο είναι το όφελος και το κόστος συντονισμού της seller-fulfilled έναντι της ανεξάρτητης 3PL fulfillment αρχιτεκτονικής;	Valid agreement, common-party mean utility, unanimous acceptance, coordination failures και inventory outcome.
RQ4	Πόσο αξιόπιστα μεταβαίνει η ίδια παγωμένη συμφωνία από την ενεργοποίηση συμβάσεων στην εκτέλεση και στην επίλυση ελεγχόμενων διαφορών;	Activation, post-event completion, claims, resolution, retention, remedies, escalation και invariant safety.
RQ5	Ποιο λειτουργικό αποτύπωμα συνεπάγονται τα treatments και οι αρχιτεκτονικές των τελικών πειραματικών μελετών;	API attempts, retries, tokens, model latency, duration και διαθέσιμη κάλυψη χρηματικού κόστους.

Τα RQ1-RQ3 αποτελούν τον κύριο πειραματικό άξονα, επειδή εξετάζουν άμεσα την αποτελεσματικότητα της διαπραγμάτευσης σε διμερείς και πολυπρακτορικές συνθήκες. Το RQ4 λειτουργεί υποστηρικτικά, ελέγχοντας αν μία αποδεκτή συμφωνία μπορεί να διατηρηθεί με ασφάλεια στα επόμενα στάδια. Το RQ5 δεν εκτελεί νέα negotiations, αλλά αναλύει από κοινού τα τελικά αρχεία των μελετών. Με αυτόν τον διαχωρισμό αποφεύγεται η σύγχυση ανάμεσα στην οικονομική ποιότητα μιας συμφωνίας, στην τεχνική ολοκλήρωση της ροής και στο κόστος που απαιτήθηκε για να παραχθεί το αποτέλεσμα.

1.5 Συνεισφορές της εργασίας

Η βασική τεχνική συνεισφορά της εργασίας είναι ένας υβριδικός *agent* πυρήνας που διαχωρίζει τη γλωσσική απόφαση από τη δεσμευτική μετάβαση κατάστασης. Το LLM μπορεί να επιλέγει στρατηγική ή τακτική, να διαμορφώνει *trade-offs* και να παράγει επιχειρηματολογία. Η ενέργεια γίνεται αποδεκτή μόνο μετά από *parsing*, έλεγχο σχήματος, *semantic validation*, επαλήθευση ιδιωτικών ορίων και έλεγχο της επιτρεπτής μετάβασης. Έτσι, η δημιουργική ικανότητα του μοντέλου αξιοποιείται χωρίς να αποτελεί μοναδική πηγή αλήθειας για τους όρους και την κατάσταση της συναλλαγής.

Δεύτερη συνεισφορά είναι η μετατροπή της στρατηγικής αυτονομίας σε ρητή και ελέγξιμη επιλογή. Η *adaptive agent* πολιτική επιτρέπει αλλαγή στρατηγικής στάσης ανά γύρο, ενώ η *fixed-strategy LLM* πολιτική επιτρέπει στον χρήστη να κλειδώσει διαφορετική στάση για *Buyer* και *Seller* πριν από την εκτέλεση. Και στις δύο περιπτώσεις το LLM συνεχίζει να παράγει προσφορές και τακτικές μέσα στα ίδια όρια. Η κοινή υποδομή επιτρέπει να μετρηθεί η επίδραση της δυναμικής προσαρμογής χωρίς να συγκρίνεται με διαφορετικούς *validators* ή διαφορετικό πρωτόκολλο.

Τρίτη συνεισφορά είναι η ενοποίηση διαφορετικών τοπολογιών αγοράς σε μία πλατφόρμα. Η διμερής εναλλαγή προσφορών, η επιλογή μεταξύ πολλών πωλητών, η *single-unit* αγορά πολλών αγοραστών, η ανταγωνιστική φάση *BAFO* και η τριμερής εκπλήρωση χρησιμοποιούν διακριτές *state machines* αλλά κοινό μοντέλο προσφοράς και αξιολόγησης. Μηχανισμοί *shortlist*, *sealed* τελικής προσφοράς, *ντετερμινιστικής επίλυσης ισοπαλίας*, *package versioning* και *inventory hold/commit/release* περιορίζουν τις διπλές, παρωχημένες ή ασαφείς δεσμεύσεις.

Τέταρτη συνεισφορά είναι η σύνδεση της διαπραγμάτευσης με τον κύκλο ζωής της σύμβασης. Η πλατφόρμα διατηρεί διακριτές έννοιες για *provisional agreement*, *binding allocation*, *contract formation*, *activation*, *transaction completion* και *dispute resolution*. Fingerprints, ομόφωνες εγκρίσεις, *linked sale/SLA contracts* και καταγεγραμμένες *terminal* καταστάσεις δημιουργούν *audit trail* και επιτρέπουν να εντοπιστεί το ακριβές στάδιο μιας αποτυχίας αντί να αποδίδεται κάθε μη ολοκλήρωση στη διαπραγμάτευση.

Πέμπτη συνεισφορά είναι η ερευνητική υποδομή. Τα *canonical transcripts* διαχωρίζουν δημόσια γεγονότα από ιδιωτικές μεταβλητές, οι *parent sessions* αποτρέπουν την ψευδο-επανάληψη σε αγορές με πολλά *child negotiations* και τα *exports* διατηρούν μαζί τιμές, ορισμούς, παρονομαστές και *coverage* κάθε μετρικής. Τα παγωμένα *scenario banks*, τα *run plans*, τα *hashes* και η διατήρηση των τεχνικών *failures* στους αρχικούς παρονομαστές επιτρέπουν ελεγχόμενη και αναπαραγώγιμη αξιολόγηση των διαφορετικών *treatments*.

Σε εμπειρικό επίπεδο, η εργασία προσφέρει αποτελέσματα από 132 προκαθορισμένες πειραματικές μονάδες και διαχωρίζει την επίδραση της στρατηγικής, του μηχανισμού αγοράς και του αριθμού των πρακτόρων. Η συνεισφορά δεν είναι ο ισχυρισμός ότι περισσότερη *agent* πολυπλοκότητα υπερέχει πάντοτε. Αντίθετα, η αξιολόγηση δείχνει πώς η ποιότητα της έκβασης, η *end-to-end* αξιοπιστία, η αβεβαιότητα και το κόστος συντονισμού πρέπει να εξετάζονται από κοινού πριν μία αρχιτεκτονική θεωρηθεί προτιμότερη.

1.6 Πεδίο εφαρμογής και περιορισμοί

Η εργασία αφορά ερευνητικό πρωτότυπο και προσομοιωμένες συναλλαγές ηλεκτρονικού εμπορίου. Δεν αποτελεί παραγωγική υπηρεσία, ηλεκτρονική αγορά με πραγματικές πληρωμές ή νομικά δεσμευτικό σύστημα σύναψης συμβάσεων. Οι ταυτότητες, οι εξουσιοδοτήσεις και τα συμβατικά γεγονότα είναι οντότητες του λογισμικού, σχεδιασμένες για έλεγχο της ροής και όχι για αντικατάσταση

νομικής, κανονιστικής ή λογιστικής υποδομής. Για πραγματική χρήση θα απαιτούνταν ισχυρή ταυτοποίηση, προστασία μυστικών, ελεγχόμενες πληρωμές, ανθρώπινη έγκριση και σαφής κατανομή ευθύνης.

Το βασικό οικονομικό μοντέλο περιορίζεται σε τρία κύρια ζητήματα: τιμή, παράδοση και εγγύηση. Οι προτιμήσεις αναπαρίστανται με προσθετική συνάρτηση χρησιμότητας και βάρη που μπορούν να παραχθούν αυτόματα ή να ρυθμιστούν χειροκίνητα ανά agent. Η στάση κινδύνου λειτουργεί ως μεταδεδωμένο στρατηγικής και η προεξόφληση χρησιμότητας ανά γύρο μπορεί να απενεργοποιηθεί. Δεν μοντελοποιούνται μη γραμμικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ όρων, εκμάθηση προτιμήσεων από πραγματικές επιλογές, ξεχωριστή εξωτερική αγορά ή μακροχρόνια φήμη μεταξύ επαναλαμβανόμενων συναλλαγών.

Οι υποστηριζόμενες αρχιτεκτονικές έχουν επίσης σαφή όρια. Η multi-buyer αγορά κατανέμει ένα τεμάχιο, ενώ δεν υλοποιούνται multi-unit ή combinatorial allocations. Η τριμερής ροή περιλαμβάνει έναν Buyer, έναν Seller και έναν ανεξάρτητο 3PL για φυσικό αγαθό μιας ποσότητας. Δεν συγκρίνονται πολλοί πάροχοι logistics ούτε αλυσίδες εφοδιασμού με περισσότερα εξαρτώμενα στάδια. Οι περιορισμοί αυτοί επιτρέπουν σαφή πειραματικό έλεγχο, αλλά δεν καλύπτουν όλη την πολυπλοκότητα μιας μεγάλης ηλεκτρονικής αγοράς.

Οι μετρικές αποτελούν λειτουργικούς ορισμούς του πρωτοτύπου. Η χρησιμότητα κανονικοποιείται αριθμητικά, το fairness αποτυπώνει την απόσταση μεταξύ των χρησιμότητων και μία έγκυρη συμφωνία χαρακτηρίζεται win-win μόνο όταν κάθε συμμετέχων έχει utility τουλάχιστον 0,50. Ο κανόνας αυτός είναι απλός, διαφανής και αναπαραγώγιμος, αλλά δεν ταυτίζεται με ανθρώπινη ικανοποίηση, αντιλαμβανόμενη δικαιοσύνη ή βέλτιστη λύση κατά Pareto. Για τον λόγο αυτό τα ποσοτικά μεγέθη ερμηνεύονται μαζί με την ορθότητα της έκβασης και τους δηλωμένους παρονομαστές.

Τέλος, η χρήση hosted LLMs περιορίζει την πλήρη επαναληψιμότητα. Ακόμη και με σταθερό model identifier, prompt, temperature και seed, η εσωτερική δειγματοληψία του provider και οι προσωρινές αστοχίες μπορούν να αλλάξουν τη διαδρομή μιας συνεδρίας. Οι τελικές μελέτες χρησιμοποιούν επαναλήψεις, ζευγοποιημένο σχεδιασμό και καταγραφή failures ώστε η αβεβαιότητα να είναι ορατή. Τα συμπεράσματα αφορούν επομένως το συγκεκριμένο πρωτότυπο, τα επιλεγμένα μοντέλα και τα συνθετικά scenario banks και δεν γενικεύονται αυτόματα σε κάθε προϊόν, αγορά ή πληθυσμό χρηστών.

1.7 Δομή της εργασίας

Μετά το παρόν εισαγωγικό κεφάλαιο, το Κεφάλαιο 2 παρουσιάζει το θεωρητικό υπόβαθρο και τη σχετική βιβλιογραφία. Εξετάζει τους αυτόνομους πράκτορες και τα πολυπρακτορικά συστήματα, τα πρωτόκολλα και τις στρατηγικές αυτόματης διαπραγμάτευσης, τη μοντελοποίηση χρησιμότητας και τις μετρικές αποτελεσματικότητας. Στη συνέχεια συνδέει τις κλασικές προσεγγίσεις με τους LLM-based agents, τις δυνατότητες opponent modelling, τα ζητήματα ιδιωτικότητας και ασφάλειας και το ερευνητικό κενό που αντιμετωπίζει το NegotAI.

Το Κεφάλαιο 3 μετατρέπει το πρόβλημα σε απαιτήσεις και αρχιτεκτονική. Περιγράφει το μοντέλο δεδομένων, τον διαχωρισμό δημόσιας και ιδιωτικής κατάστασης, τις συναρτήσεις χρησιμότητας, τα πρωτόκολλα των διαφορετικών τρόπων λειτουργίας, τις state machines και τους κανόνες συμβατικού κύκλου ζωής. Το Κεφάλαιο 4 τεκμηριώνει την πραγματική υλοποίηση της πλατφόρμας: τα μοντέλα διαμόρφωσης, τους agents, τους validators, τους orchestrators, την αποθήκευση, τις αναλύσεις και τη διαδικτυακή εφαρμογή.

Το Κεφάλαιο 5 ορίζει τη μεθοδολογία της πειραματικής αξιολόγησης πριν από την εξέταση των αποτελεσμάτων. Παρουσιάζει τα RQ1-RQ5, τα scenario banks, τις μελέτες E1-E4, τις πειραματικές μονάδες, τις μετρικές, τους κανόνες διαχείρισης αποτυχιών και τις στατιστικές μεθόδους. Το Κεφάλαιο 6 παρουσιάζει τα τελικά σύνολα δεδομένων, απαντά στα ερευνητικά ερωτήματα και συζητά την εγκυρότητα και τις πρακτικές συνέπειες των ευρημάτων. Το Κεφάλαιο 7 συνοψίζει τις τεχνικές και ερευνητικές συνεισφορές, καταγράφει τους περιορισμούς και προτείνει τις προτεραιότητες μελλοντικής εργασίας. Η ακολουθία αυτή οδηγεί από το πρόβλημα και τη θεωρία, στον σχεδιασμό και την υλοποίηση, και τελικά στην ελεγχόμενη αξιολόγηση του συστήματος.

Κεφάλαιο 2ο: Θεωρητικό Υπόβαθρο και Σχετική Βιβλιογραφία

2.1 Εισαγωγή

Η διαπραγμάτευση στο ηλεκτρονικό εμπόριο δεν περιορίζεται στην ανταλλαγή δύο τιμών. Μια πραγματική συμφωνία συντίθεται συνήθως από περισσότερα αλληλεξαρτώμενα ζητήματα, όπως το τίμημα, ο χρόνος παράδοσης, η διάρκεια της εγγύησης και οι όροι εκτέλεσης. Κάθε μέρος επιδιώκει διαφορετικούς στόχους, γνωρίζει μόνο τη δική του αποτίμηση και αποφασίζει υπό χρονικούς και πληροφοριακούς περιορισμούς. Η ανάθεση αυτής της διαδικασίας σε λογισμικό προϋποθέτει, επομένως, κάτι περισσότερο από την παραγωγή πειστικού διαλόγου: απαιτεί οντότητες που αντιλαμβάνονται την κατάσταση, διατηρούν στόχους και επιλέγουν ενέργειες με σχετική αυτονομία. Η κλασική θεωρία των ευφυών πρακτόρων περιγράφει ακριβώς αυτή τη μετάβαση από το παθητικό πρόγραμμα στο σύστημα που δρα μέσα σε ένα περιβάλλον για την επίτευξη σχεδιασμένων σκοπών [1].

Πάνω σε αυτή τη βάση αναπτύχθηκε η αυτόματη διαπραγμάτευση ως ιδιαίτερο πεδίο των πολυπρακτορικών συστημάτων. Η βιβλιογραφία τη μελετά ως διαδικασία κατανεμημένης λήψης αποφάσεων, στην οποία αυτόνομοι πράκτορες αναζητούν μία αμοιβαία αποδεκτή συμφωνία ακολουθώντας προκαθορισμένους κανόνες αλληλεπίδρασης [2]. Τα πρώτα υπολογιστικά μοντέλα έδωσαν έμφαση σε ρητές συναρτήσεις χρησιμότητας, χρονικά εξαρτώμενες παραχωρήσεις και κανόνες παραγωγής αντιπροσφορών, ώστε η συμπεριφορά να είναι ελέγξιμη και υπολογιστικά διαχειρίσιμη [3]. Η προσέγγιση αυτή προσφέρει σαφή κριτήρια ορθολογικότητας, αλλά δυσκολεύεται να αξιοποιήσει το σημασιολογικό περιεχόμενο ενός επιχειρήματος ή να προσαρμοστεί σε μη αναμενόμενες γλωσσικές διατυπώσεις.

Η τυποποίηση των αλληλεπιδράσεων αποτελεί δεύτερο θεμέλιο. Τα πρωτόκολλα Contract Net και Iterated Contract Net της FIPA ορίζουν ποιος αποστέλλει αίτημα, ποιος υποβάλλει πρόταση και πότε μία πρόταση γίνεται αποδεκτή ή απορρίπτεται [4], [5]. Παράλληλα, το μοντέλο εναλλασσόμενων προσφορών του Rubinstein αναδεικνύει την επίδραση του χρόνου και της υπομονής στη διαπραγματευτική συμπεριφορά [7]. Όταν η συμφωνία περιλαμβάνει πολλά ζητήματα, η πολυκριτηριακή θεωρία χρησιμότητας προσφέρει έναν συστηματικό τρόπο αναπαράστασης των ανταλλαγών μεταξύ ανταγωνιστικών στόχων [8]. Στην παρούσα πλατφόρμα η ποιότητα του αποτελέσματος αποτιμάται απευθείας από τις κανονικοποιημένες χρησιμότητες των συμμετεχόντων, την αποδοτικότητα κατά Pareto, τη συνολική και τη μέση χρησιμότητα, καθώς και την ισορροπία μεταξύ των μερών.

Τα μεγάλα γλωσσικά μοντέλα μεταβάλλουν το σημείο στο οποίο τοποθετείται η ευφυΐα του συστήματος. Αρχιτεκτονικές όπως το ReAct συνδυάζουν επαναληπτικά τη γλωσσική επεξεργασία με την εκτέλεση ενεργειών [9], οι generative agents ενσωματώνουν μνήμη, ανάκληση και σχεδιασμό [10], ενώ πλαίσια όπως το AutoGen οργανώνουν συνομιλίες μεταξύ πολλών εξειδικευμένων πρακτόρων [11]. Οι δυνατότητες αυτές διευκολύνουν την κατανόηση επιχειρημάτων και την προσαρμογή της επικοινωνίας, δεν καταργούν όμως την ανάγκη για ρητούς περιορισμούς, επικύρωση των προσφορών και μετρήσιμη αξιολόγηση. Ένα γλωσσικά εύλογο μήνυμα μπορεί να περιέχει αριθμητικά ασυνεπείς ή μη επιτρεπτούς όρους.

Το παρόν κεφάλαιο οργανώνει το θεωρητικό υπόβαθρο από το γενικό προς το ειδικό. Αρχικά εξετάζονται οι αυτόνομοι πράκτορες και τα πολυπρακτορικά συστήματα, έπειτα οι βασικές μορφές αυτόματης διαπραγμάτευσης και η αναπαράσταση της χρησιμότητας. Στις επόμενες ενότητες συνδέονται οι έννοιες της αποδοτικότητας, της δικαιοσύνης και της στρατηγικής με τις σύγχρονες προσεγγίσεις που βασίζονται σε LLM. Στόχος δεν είναι η παράθεση ασύνδετων περιλήψεων, αλλά η

διαμόρφωση του εννοιολογικού πλαισίου μέσα στο οποίο αιτιολογούνται οι σχεδιαστικές επιλογές της προτεινόμενης πλατφόρμας.

2.2 Αυτόνομοι πράκτορες και πολυπρακτορικά συστήματα

2.2.1 Βασικές ιδιότητες και κύκλος λειτουργίας

Ως πράκτορας νοείται ένα υπολογιστικό σύστημα το οποίο είναι τοποθετημένο σε ένα περιβάλλον, λαμβάνει παρατηρήσεις από αυτό και εκτελεί ενέργειες που μπορούν να μεταβάλουν την κατάσταση του. Ο ορισμός είναι λειτουργικός: δεν απαιτεί ανθρώπινη συνείδηση ούτε γενική νοημοσύνη, αλλά μία διακριτή οντότητα με όρια, διαθέσιμες ενέργειες και κριτήριο επιτυχίας. Στο ηλεκτρονικό εμπόριο, το περιβάλλον περιλαμβάνει το σενάριο αγοράς, το ιστορικό προσφορών, τους επιτρεπτούς όρους και την τρέχουσα φάση του πρωτοκόλλου. Οι ενέργειες μπορεί να είναι η υποβολή προσφοράς, η αντιπροσφορά, η αποδοχή, η απόρριψη ή η αποχώρηση.

Οι Wooldridge και Jennings αποδίδουν στην έννοια του ευφυούς πράκτορα τέσσερις βασικές ιδιότητες: αυτονομία, αντιδραστικότητα, προδραστικότητα και κοινωνική ικανότητα [1]. Η αυτονομία σημαίνει ότι το σύστημα ελέγχει σε κάποιον βαθμό την εσωτερική του κατάσταση και τις επιλογές του χωρίς να απαιτεί ανθρώπινη εντολή σε κάθε βήμα. Η αντιδραστικότητα αφορά την έγκαιρη απόκριση σε αλλαγές του περιβάλλοντος, ενώ η προδραστικότητα την ανάληψη πρωτοβουλίας για την επίτευξη στόχου. Η κοινωνική ικανότητα εκφράζεται μέσω επικοινωνίας και συντονισμού με άλλους πράκτορες ή ανθρώπους. Οι ιδιότητες αυτές είναι βαθμιαίες· ένα σύστημα μπορεί να είναι αυτόνομο ως προς την επιλογή αντιπροσφοράς, αλλά να μην έχει δικαίωμα να δεσμεύσει νομικά τον χρήστη.

Ο κύκλος λειτουργίας ενός πράκτορα μπορεί να περιγραφεί ως παρατήρηση–εκτίμηση–απόφαση–δράση. Στην παρατήρηση συλλέγονται τα δημόσια μηνύματα και τα δεδομένα της τρέχουσας κατάστασης. Στην εκτίμηση, ο πράκτορας ελέγχει την εγκυρότητα της τελευταίας πρότασης, ενημερώνει τις υποθέσεις του για την άλλη πλευρά και αποτιμά τις διαθέσιμες επιλογές. Έπειτα επιλέγει μία ενέργεια σύμφωνα με τον στόχο και τους περιορισμούς του και παραδίδει το αποτέλεσμα στο περιβάλλον. Ο κύκλος επαναλαμβάνεται μέχρι να επιτευχθεί συμφωνία ή να ενεργοποιηθεί συνθήκη τερματισμού. Η μνήμη έχει κρίσιμο ρόλο, επειδή χωρίς ιστορικό ο πράκτορας δεν μπορεί να διακρίνει μία πραγματική παραχώρηση από την επανάληψη της ίδιας προσφοράς ούτε να ελέγξει τη συνέπεια της δικής του συμπεριφοράς.

Η ορθολογικότητα ενός τέτοιου συστήματος είναι αναγκαστικά περιορισμένη. Ο πράκτορας δεν γνωρίζει πλήρως το περιβάλλον, δεν παρατηρεί την ιδιωτική χρησιμότητα του αντιπάλου και λειτουργεί με πεπερασμένο αριθμό γύρων και υπολογιστικό κόστος. Συνεπώς, η πρακτική απαίτηση δεν είναι να βρεθεί πάντοτε η θεωρητικά άριστη συμφωνία, αλλά να επιλέγονται έγκυρες ενέργειες που υπηρετούν συνεκτικά τις δηλωμένες προτιμήσεις. Η διάκριση ανάμεσα σε στόχο και περιορισμό είναι ουσιώδης: η αύξηση της χρησιμότητας αποτελεί στόχο, ενώ ένα σημείο κράτησης ή μία προθεσμία αποτελεί όριο που δεν πρέπει να παραβιαστεί.

2.2.2 Πολυπρακτορικά συστήματα, επικοινωνία και συντονισμός

Ένα πολυπρακτορικό σύστημα (multi-agent system – MAS) αποτελείται από περισσότερους πράκτορες οι οποίοι δρουν στο ίδιο ή σε αλληλοσυνδεδεμένα περιβάλλοντα και των οποίων οι ενέργειες επηρεάζουν αμοιβαία τα διαθέσιμα αποτελέσματα. Οι πράκτορες μπορεί να συνεργάζονται προς έναν κοινό σκοπό, να ανταγωνίζονται για περιορισμένους πόρους ή να συνδυάζουν τις δύο σχέσεις. Η εμπορική διαπραγμάτευση είναι χαρακτηριστική μικτή περίπτωση: αγοραστής και πωλητής

συνεργάζονται επειδή επιθυμούν την ολοκλήρωση συναλλαγής, αλλά συγκρούονται ως προς την κατανομή του οφέλους και τους επιμέρους όρους.

Σε ένα MAS η γνώση είναι συνήθως τοπική. Κάθε πράκτορας γνωρίζει τον ρόλο, τους στόχους, τα ιδανικά σημεία και τα όρια του χρήστη που εκπροσωπεί, όχι όμως τις αντίστοιχες ιδιωτικές παραμέτρους των άλλων. Η αποκέντρωση προστατεύει αυτή την πληροφορία και επιτρέπει διαφορετικές πολιτικές ανά συμμετέχοντα. Ταυτόχρονα, δημιουργεί πρόβλημα συντονισμού: οι πράκτορες χρειάζονται κοινή αναπαράσταση των δημόσιων όρων, συμφωνημένη σειρά ενεργειών και σαφή κριτήρια για το πότε μία δήλωση αποτελεί δεσμευτική αποδοχή. Χωρίς αυτά, δύο γλωσσικά παρόμοια μηνύματα μπορεί να ερμηνευθούν ως διαφορετικές καταστάσεις από τα εμπλεκόμενα μέρη.

Η επικοινωνία, επομένως, δεν εξαντλείται στη μεταφορά κειμένου. Περιλαμβάνει την πρόθεση της ενέργειας, το περιεχόμενο της προσφοράς, την ταυτότητα του αποστολέα και τη θέση του μηνύματος μέσα σε μία νόμιμη ακολουθία. Τα κλασικά συστήματα χρησιμοποιούν αυστηρά μηνύματα και οντολογίες, ενώ τα συστήματα LLM μπορούν να παράγουν ελεύθερη φυσική γλώσσα. Η φυσική γλώσσα είναι πλουσιότερη σε επιχειρήματα, αλλά περισσότερο αμφίσημη. Μία ασφαλής αρχιτεκτονική χρειάζεται και τα δύο επίπεδα: δημόσιο επεξηγηματικό μήνυμα για την αλληλεπίδραση και δομημένη ενέργεια που μπορεί να επικυρωθεί από το πρωτόκολλο.

Ο συντονισμός μπορεί να υλοποιηθεί με κεντρικό ενορχηστρωτή χωρίς να αναιρείται η αυτονομία των συμμετεχόντων. Ο ενορχηστρωτής δεν αποφασίζει ποια προσφορά είναι επιθυμητή για κάθε μέρος· διαχειρίζεται τη σειρά, τους γύρους, τις επιτρεπτές μεταβάσεις και την καταγραφή του ιστορικού. Έτσι διαχωρίζεται η ιδιωτική λογική απόφασης από τη δημόσια λογική της διαδικασίας. Η διάκριση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν συμμετέχουν πολλοί πωλητές, πολλοί αγοραστές ή τρίτος πάροχος εκπλήρωσης, επειδή περιορίζει διπλές δεσμεύσεις, ασύμβατες αποδοχές και ασαφή τελικά αποτελέσματα.

2.2.3 Από το chatbot στο Agentic AI

Ένα chatbot, ένα αυτοματοποιημένο workflow και ένας agentic πράκτορας μπορεί να χρησιμοποιούν το ίδιο γλωσσικό μοντέλο, αλλά διαφέρουν ως προς τον έλεγχο της διαδικασίας. Το chatbot απαντά κυρίως σε ένα μήνυμα και το βασικό του προϊόν είναι κείμενο. Το workflow εκτελεί μία ακολουθία βημάτων και διακλαδώσεων που έχει οριστεί εκ των προτέρων από τον σχεδιαστή. Αντίθετα, ο πράκτορας λαμβάνει μία κατάσταση, επιλέγει ανάμεσα σε διαθέσιμες ενέργειες, χρησιμοποιεί εργαλεία και αξιοποιεί το αποτέλεσμα της προηγούμενης δράσης για να καθορίσει την επόμενη. Η ουσιαστική διαφορά δεν είναι η ευχέρεια της διατύπωσης, αλλά η κλειστή ανατροφοδότηση ανάμεσα σε παρατήρηση και δράση.

Ο όρος Agentic AI χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία με αυτή την εφαρμοστική έννοια. Περιγράφει μία σύνθετη αρχιτεκτονική στην οποία το LLM αποτελεί μηχανισμό ερμηνείας και επιλογής, πλαισιωμένο από μνήμη, εργαλεία, ρόλους, κανόνες και ελέγχους. Δεν υποδηλώνει γενική τεχνητή νοημοσύνη ούτε απεριόριστη αυτονομία. Το επίπεδο αυτονομίας προκύπτει από τις ενέργειες που εκθέτει το σύστημα και από τις δικλίδες που επιβάλλονται πριν αυτές αποκτήσουν εξωτερικό αποτέλεσμα.

Η αρχιτεκτονική ReAct έδειξε τη χρησιμότητα της εναλλαγής γλωσσικής επεξεργασίας και ενεργειών σε ένα περιβάλλον, ώστε οι επόμενες αποφάσεις να βασίζονται σε νέα παρατήρηση [9]. Οι generative agents προσέθεσαν μηχανισμούς αποθήκευσης εμπειριών, ανάκλησης, αναστοχασμού και σχεδιασμού, υπογραμμίζοντας ότι η διατήρηση κατάστασης είναι ανεξάρτητο αρχιτεκτονικό συστατικό και όχι αυτονόητη ιδιότητα του μοντέλου [10]. Το AutoGen, τέλος, ανέδειξε την οργάνωση εξειδικευμένων LLM agents μέσω πολυπρακτορικής συνομιλίας και προγραμματιζόμενων προτύπων

αλληλεπίδρασης [11]. Οι προσεγγίσεις αυτές παρέχουν χρήσιμα δομικά μοτίβα, αλλά δεν αποτελούν από μόνες τους πρωτόκολλα οικονομικής διαπραγμάτευσης.

Για το υπό μελέτη πρόβλημα, ο κατάλληλος πράκτορας δεν πρέπει να παράγει απλώς μία πειστική απάντηση. Οφείλει να διατηρεί το ιστορικό, να γνωρίζει ποια ενέργεια επιτρέπεται, να υποβάλλει πλήρη δομημένη προσφορά και να σέβεται τα ιδιωτικά όρια του χρήστη. Επιπλέον, η στρατηγική του μπορεί είτε να επιλέγεται δυναμικά από το LLM με βάση την εξέλιξη της συζήτησης είτε να καθορίζεται από τον χρήστη στην αρχή και να παραμένει σταθερή σε όλη τη διαπραγμάτευση. Και στις δύο περιπτώσεις, η αυτονομία αφορά την παραγωγή της επόμενης νόμιμης ενέργειας μέσα σε ελεγχόμενο πλαίσιο, όχι την ανεξέλεγκτη αλλαγή στόχων ή περιορισμών.

2.3 Αυτόματη διαπραγμάτευση

2.3.1 Διαστάσεις και δομικά στοιχεία

Αυτόματη διαπραγμάτευση είναι η υπολογιστικά υποστηριζόμενη διαδικασία με την οποία δύο ή περισσότερα μέρη ανταλλάσσουν προτάσεις με σκοπό να επιλέξουν από κοινού ένα αποτέλεσμα, όταν οι προτιμήσεις τους δεν ταυτίζονται πλήρως [2]. Η διαδικασία διαφέρει από μία απλή βελτιστοποίηση, επειδή κανένα μέρος δεν ελέγχει μόνο του το τελικό αποτέλεσμα. Διαφέρει επίσης από μία απλή αναζήτηση, επειδή οι άλλοι συμμετέχοντες ενεργούν στρατηγικά και μπορούν να αποκρύπτουν πληροφορίες, να απορρίπτουν προτάσεις ή να αποχωρούν.

Μία πρώτη διάσταση ταξινόμησης είναι ο αριθμός των μερών. Στη διμερή διαπραγμάτευση αλληλεπιδρούν δύο πλευρές, ενώ στην πολυμερή υπάρχουν περισσότεροι συμμετέχοντες, πιθανές συμμαχίες και ανάγκη επιλογής ή κατανομής. Δεύτερη διάσταση είναι ο αριθμός των ζητημάτων. Ένα μονοκριτηριακό σενάριο πραγματεύεται συνήθως μία τιμή, ενώ ένα πολυκριτηριακό σενάριο συνδυάζει τιμή, χρόνο, ποιότητα, εγγύηση ή άλλους όρους. Τρίτη διάσταση είναι η χρονική δομή: η αλληλεπίδραση μπορεί να είναι εφάπαξ, επαναλαμβανόμενη με το ίδιο μέρος ή περιορισμένη από προθεσμία και μέγιστο αριθμό γύρων.

Η διάκριση μεταξύ διανεμητικής και ολοκληρωτικής διαπραγμάτευσης αφορά τη φύση του οφέλους. Στη διανεμητική περίπτωση τα μέρη αντιλαμβάνονται ένα σταθερό μέγεθος προς κατανομή, όπως τη διαφορά μεταξύ ανώτατης τιμής αγοραστή και ελάχιστης τιμής πωλητή. Η παραχώρηση του ενός μετατρέπεται άμεσα σε όφελος του άλλου. Στην ολοκληρωτική διαπραγμάτευση υπάρχουν διαφορετικές σχετικές προτεραιότητες ανά ζήτημα. Ένας αγοραστής μπορεί να δώσει μεγαλύτερη αξία στην ταχεία παράδοση, ενώ ο πωλητής να μπορεί να παραχωρήσει χρόνο εγγύησης με χαμηλότερο κόστος από μία ισόποση μείωση τιμής. Η ανταλλαγή μεταξύ ζητημάτων δημιουργεί τότε περιθώριο για συμφωνίες που βελτιώνουν ταυτόχρονα τη θέση και των δύο.

Κάθε μηχανισμός διαπραγμάτευσης περιλαμβάνει τουλάχιστον πέντε στοιχεία: το αντικείμενο ή πεδίο των εφικτών συμφωνιών, το πρωτόκολλο επικοινωνίας, το μοντέλο απόφασης κάθε πράκτορα, τον κανόνα αποδοχής και τις συνθήκες τερματισμού. Το πρωτόκολλο καθορίζει τι επιτρέπεται να συμβεί και σε ποια σειρά. Η στρατηγική καθορίζει ποια από τις επιτρεπτές ενέργειες επιλέγει ένα μέρος. Ο κανόνας αποδοχής εξετάζει αν η τρέχουσα προσφορά ικανοποιεί τα όρια του ρόλου και αν δικαιολογείται έναντι της συνέχισης της διαδικασίας, ενώ η προθεσμία αποτρέπει την ατέρμονη ανταλλαγή. Η σύγκυση πρωτοκόλλου και στρατηγικής οδηγεί σε συστήματα όπου μία αλλαγή συμπεριφοράς παραβιάζει άθελά της τη νομιμότητα της διαδικασίας.

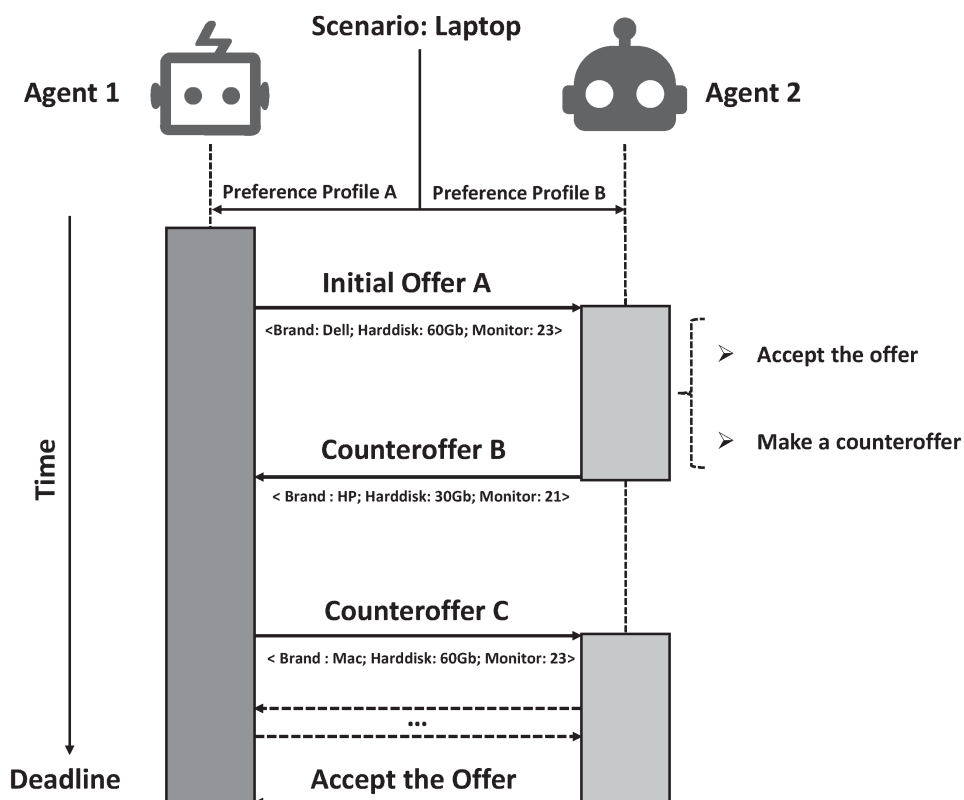
Σε πολυκριτηριακό ηλεκτρονικό εμπόριο, μία προσφορά αναπαρίσταται ως διάνυσμα $x = (p, d, w)$, όπου p είναι η τιμή, d ο χρόνος παράδοσης και w η διάρκεια εγγύησης. Η πληρότητα της

αναπαράστασης είναι σημαντική: μία φράση όπως «δέχομαι την τιμή» δεν συνιστά αποδοχή ολόκληρης της συμφωνίας, εάν οι υπόλοιποι όροι παραμένουν ασαφείς. Αντίστοιχα, δύο μέρη έχουν καταλήξει σε ακριβή συμφωνία μόνο όταν οι τελικές τιμές όλων των ζητημάτων συμπίπτουν και ικανοποιούν τους σκληρούς περιορισμούς τους.

2.3.2 Πρωτόκολλα προσφορών και μηχανισμοί αγοράς

Το πρωτόκολλο εναλλασσόμενων προσφορών είναι η απλούστερη μορφή διμερούς πολυγύρου. Το ένα μέρος υποβάλλει πλήρη πρόταση και το άλλο μπορεί να την αποδεχθεί, να την απορρίψει ή να απαντήσει με αντιπρόταση. Μετά την αντιπρόταση αντιστρέφονται οι ρόλοι και η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι την αποδοχή ή τον τερματισμό. Η δομή αυτή είναι κατάλληλη για τη μελέτη παραχωρήσεων, επειδή κάθε νέα προσφορά μπορεί να συγκριθεί τόσο με την προηγούμενη θέση του ίδιου πράκτορα όσο και με την τελευταία πρόταση του αντιπάλου. Παράλληλα, παρέχει καθαρό σημείο ελέγχου: μόνο μία ρητή αποδοχή πλήρως ταυτισμένων όρων δημιουργεί συμφωνία.

Η λογική της εναλλαγής προσφορών αποτυπώνεται σχηματικά στο Σχήμα 2.1: κάθε πράκτορας διατηρεί ιδιωτικό προφίλ προτιμήσεων, αξιολογεί την εισερχόμενη πρόταση και είτε την αποδέχεται είτε απαντά με αντιπροσφορά μέχρι να επέλθει συμφωνία ή να εξαντληθεί η προθεσμία [34].



Σχήμα 2.1: Διαδικασία διμερούς αυτόματης διαπραγμάτευσης με εναλλασσόμενες προσφορές (πηγή: Chen και Weiss [34], Σχ. 1, CC BY 4.0).

Το Contract Net οργανώνει διαφορετικό μοτίβο. Ένας initiator αποστέλλει πρόσκληση υποβολής προτάσεων (call for proposals – CFP), οι συμμετέχοντες απαντούν με πρόταση ή άρνηση, και ο initiator επιλέγει ποιες προτάσεις θα αποδεχθεί και ποιες θα απορρίψει. Ο επιλεγμένος συμμετέχων εκτελεί το έργο και επιστρέφει αποτέλεσμα ή αποτυχία [4]. Το πρωτόκολλο είναι χρήσιμο όταν ένας αγοραστής αναζητά προσφορές από πολλούς πωλητές ή όταν μία εργασία πρέπει να ανατεθεί σε έναν κατάλληλο πάροχο. Η έμφαση βρίσκεται στη συγκριτική επιλογή μεταξύ υποψηφίων, όχι στην παρατεταμένη διμερή ανταλλαγή με όλους.

Στο Iterated Contract Net ο initiator μπορεί, αφού λάβει τις αρχικές προτάσεις, να εκδώσει αναθεωρημένο CFP προς μέρος ή το σύνολο των συμμετεχόντων και να ζητήσει βελτίωση [5]. Η δυνατότητα αυτή προσεγγίζει εμπορικές διαδικασίες τελικής βελτιωμένης προσφοράς, όπως η Best and Final Offer (BAFO). Η BAFO δεν αποτελεί ξεχωριστό καθολικό πρότυπο FIPA, αλλά εφαρμοστικό κανόνα σύμφωνα με τον οποίο οι προκριθέντες αποκτούν μία τελευταία ευκαιρία να αναθεωρήσουν τους όρους τους πριν από την τελική κατάταξη. Ο περιορισμένος αριθμός φάσεων διατηρεί το κόστος προβλέψιμο και μειώνει τον κίνδυνο ατέρμονου ανταγωνισμού.

Οι δημοπρασίες αποτελούν συγγενή αλλά όχι ταυτόσημη κατηγορία. Συνήθως διαθέτουν κεντρικό κανόνα υποβολής και κατάταξης προσφορών, με έμφαση στην κατανομή και στον σχηματισμό τιμής. Είναι αποδοτικές όταν το αντικείμενο είναι τυποποιημένο και το κριτήριο σαφές, αλλά εκφράζουν δυσκολότερα σύνθετες ανταλλαγές μεταξύ πολλών ποιοτικών ζητημάτων ή γλωσσικά επιχειρήματα. Ένα υβριδικό σύστημα μπορεί να χρησιμοποιεί διαπραγμάτευση για την παραγωγή έγκυρων πακέτων και ντετερμινιστικό κανόνα χρησιμότητας πωλητή, κοινωνικής ευημερίας ή μεγιστοποίησης της ελάχιστης χρησιμότητας για την τελική επιλογή.

Ανεξάρτητα από το επιλεγμένο πρωτόκολλο, απαιτούνται ιδιότητες ασφάλειας και ολοκλήρωσης. Δεν πρέπει να είναι δυνατή η αποδοχή ανύπαρκτης ή ελλιπούς προσφοράς, η ταυτόχρονη δέσμευση του ίδιου πόρου σε ασύμβατες συναλλαγές ή η συνέχιση μετά από οριστικό τερματισμό. Παράλληλα, κάθε νόμιμη εκτέλεση πρέπει να καταλήγει σε συμφωνία, λήξη προθεσμίας ή σαφώς καταγεγραμμένη αποτυχία. Η ιχνηλασιμότητα των μηνυμάτων και των μεταβάσεων είναι εξίσου σημαντική, επειδή επιτρέπει την αναπαραγωγή του πειράματος και τον έλεγχο του τρόπου με τον οποίο προέκυψε το αποτέλεσμα.

2.3.3 Ιδιωτική πληροφορία, ZOPA και αβεβαιότητα

Η διαπραγμάτευση αποκτά στρατηγικό χαρακτήρα επειδή οι προτιμήσεις δεν είναι κοινή γνώση. Κάθε μέρος γνωρίζει το ιδανικό του σημείο, τα όρια πέρα από τα οποία δεν επιθυμεί συμφωνία, τη σχετική σημασία των ζητημάτων, τον χρονικό του ορίζοντα και τη στάση του απέναντι στον κίνδυνο. Ο αντίπαλος παρατηρεί μόνο τις δημόσιες προσφορές και τα μηνύματα. Η απόκρυψη αυτή δεν είναι σφάλμα του συστήματος αλλά δομικό χαρακτηριστικό της διαδικασίας: εάν όλες οι συναρτήσεις χρησιμότητας ήταν γνωστές και υπήρχε αξιόπιστος κεντρικός επιλυτής, το πρόβλημα θα μετατρέποταν κυρίως σε κοινή βελτιστοποίηση.

Η ζώνη πιθανής συμφωνίας (Zone of Possible Agreement – ZOPA) είναι το σύνολο των αποτελεσμάτων που μπορούν να γίνουν αποδεκτά από όλα τα μέρη. Σε μία μονοκριτηριακή διαπραγμάτευση τιμής υπάρχει ZOPA όταν η μέγιστη τιμή του αγοραστή δεν είναι μικρότερη από την ελάχιστη τιμή του πωλητή. Στην πολυκριτηριακή περίπτωση η ZOPA δεν είναι αναγκαστικά ένα διάστημα, αλλά περιοχή του χώρου προσφορών που ικανοποιεί ταυτόχρονα τους περιορισμούς τιμής, παράδοσης και εγγύησης. Η ύπαρξή της είναι αναγκαία, όχι όμως επαρκής, συνθήκη συμφωνίας: οι πράκτορες μπορεί να μην εντοπίσουν την περιοχή πριν από την προθεσμία ή να αποτύχουν να συντονίσουν τις τελικές τους προτάσεις.

Επειδή η χρησιμότητα του αντιπάλου δεν παρατηρείται άμεσα, ο πράκτορας σχηματίζει εκτιμήσεις από τη συμπεριφορά. Η κατεύθυνση και το μέγεθος των παραχωρήσεων μπορούν να δώσουν ενδείξεις για τα σημεία κράτησης, ενώ η συχνότητα με την οποία ένα ζήτημα παραμένει αμετάβλητο μπορεί να υποδηλώνει υψηλή προτεραιότητα. Πρόκειται πάντοτε για αβέβαιη μοντελοποίηση και όχι για ανάκτηση της πραγματικής ιδιωτικής συνάρτησης. Ιδίως σε μικρό αριθμό γύρων, η ίδια ακολουθία

προσφορών μπορεί να εξηγείται από διαφορετικές στρατηγικές, περιορισμούς ή τακτικές παραπλάνησης.

Η φυσική γλώσσα προσθέτει ένα ακόμη κανάλι πληροφορίας. Ένα επιχείρημα μπορεί να αποκαλύψει ότι η γρήγορη παράδοση έχει ιδιαίτερη σημασία ή να προτείνει ανταλλαγή μεταξύ τιμής και εγγύησης. Ωστόσο, η δήλωση δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται αυτομάτως ως αληθής ούτε να υπερισχύει των αριθμητικών ελέγχων. Η κατάλληλη χρήση του LLM είναι να μετατρέπει το επιχείρημα σε υπόθεση ή υποψήφια στρατηγική κίνηση, ενώ η τελική προσφορά περνά από ντετερμινιστική επικύρωση. Με αυτόν τον διαχωρισμό, η σημασιολογική ευελιξία λειτουργεί συμπληρωματικά προς το πρωτόκολλο και όχι ως υποκατάστατό του.

2.4 Πολυκριτηριακή χρησιμότητα και ατομική ορθολογικότητα

Πίνακας 2.1: Βασικές παράμετροι του μοντέλου χρησιμότητας και αντιστοίχιση στην πλατφόρμα

Έννοια	Θεωρητική σημασία	Σύνδεση με την πλατφόρμα
Σημείο κράτησης	Χειρότερος αποδεκτός όρος του πράκτορα για κάθε ζήτημα.	Ιδιωτικά όρια price, delivery και warranty στα προφίλ Buyer/Seller.
Κανονικοποίηση χρησιμότητας	Μετατροπή κάθε όρου από το σημείο κράτησης (0) προς το ιδανικό σημείο (1).	Γραμμικές επιμέρους συναρτήσεις v_{ij} και σταθμισμένο άθροισμα $q_i(x)$.
Χρονική προεξόφληση	Προαιρετική μείωση της συνολικής χρησιμότητας της ίδιας συμφωνίας όσο αυξάνονται οι γύροι.	Όταν ενεργοποιείται, $U_i^{(t)} = \delta_i^{(t-1)} q_i(x)$ · όταν απενεργοποιείται, $\delta_i = 1$, ενώ μετά τη δηλωμένη προθεσμία η χρησιμότητα γίνεται 0.
Ατομική ορθολογικότητα	Κάθε τελική συμφωνία ικανοποιεί τα σκληρά όρια κράτησης όλων των συμμετεχόντων.	Έλεγχος <code>offer_satisfies_reservations</code> ή κοινής εφικτότητας πριν από τον χαρακτηρισμό έγκυρης συμφωνίας.

2.4.1 Προσθετικό μοντέλο χρησιμότητας

Για να συγκριθούν πολυκριτηριακές προσφορές, οι επιμέρους προτιμήσεις πρέπει να αποτυπωθούν σε κοινή κλίμακα. Η πολυκριτηριακή θεωρία χρησιμότητας αντιμετωπίζει συστηματικά αυτή την ανάγκη, επιτρέποντας στον αποφασίζοντα να εκφράσει ανταλλαγές μεταξύ διαφορετικών στόχων [8]. Στην απλούστερη και πλέον ερμηνεύσιμη μορφή χρησιμοποιείται προσθετικό μοντέλο. Για μέρος i ,

προσφορά x και ζητήματα $j = 1, \dots, m$, ο ακατέργαστος βαθμός ικανοποίησης ορίζεται ως σταθμισμένο άθροισμα των επιμέρους τιμών.

$$q_i(x) = \sum_{j=1}^m w_{ij} \cdot v_{ij}(x_j), \quad w_{ij} \geq 0, \quad \sum_{j=1}^m w_{ij} = 1 \quad (2.1)$$

Η συνάρτηση $v_{ij}(x_j)$ μετατρέπει την τιμή του ζητήματος j σε κανονικοποιημένη ικανοποίηση για το μέρος i , συνήθως στο διάστημα $[0, 1]$. Το βάρος w_{ij} εκφράζει τη σχετική σημασία του ίδιου ζητήματος μέσα στη συγκεκριμένη συνάρτηση. Επειδή τα βάρη αθροίζουν στη μονάδα, το $q_i(x)$ παραμένει συγκρίσιμο μεταξύ προσφορών και ισούται με 1 στο συνδυασμό ιδανικών τιμών. Τα βάρη δεν είναι απλές λεκτικές δηλώσεις σπουδαιότητας: καθορίζουν πόση απώλεια σε ένα ζήτημα μπορεί να αντισταθμιστεί από βελτίωση σε άλλο.

Για αριθμητικό ζήτημα με σημείο κράτησης r_{ij} και ιδανικό σημείο a_{ij} , μία γραμμική κανονικοποίηση μπορεί να γραφτεί ως $v_{ij}(x_j) = \text{clamp}((x_j - r_{ij})/(a_{ij} - r_{ij}), 0, 1)$, όπου η συνάρτηση clamp περιορίζει το αποτέλεσμα στο διάστημα $[0, 1]$. Ο ίδιος τύπος καλύπτει τόσο αύξουσες όσο και φθίνουσες προτιμήσεις, επειδή η φορά αποτυπώνεται στη διάταξη των r_{ij} και a_{ij} . Για τον αγοραστή, μικρότερη τιμή και μικρότερος χρόνος παράδοσης είναι συνήθως καλύτερα, ενώ μεγαλύτερη εγγύηση είναι προτιμότερη. Για τον πωλητή, η τιμή είναι συνήθως αύξουσα, ενώ η γρηγορότερη παράδοση ή η μεγαλύτερη εγγύηση ενδέχεται να συνεπάγονται κόστος. Η ίδια αντικειμενική τιμή μπορεί επομένως να αντιστοιχεί σε διαφορετική ικανοποίηση για κάθε ρόλο.

Η προσθετική μορφή είναι διαφανής, γρήγορη και κατάλληλη για πειραματική αξιολόγηση, αλλά ενσωματώνει υποθέσεις. Επιτρέπει αντιστάθμιση μεταξύ ζητημάτων και προϋποθέτει ότι οι σχετικές προτιμήσεις μπορούν να αναπαρασταθούν επαρκώς με χωριστές επιμέρους συναρτήσεις. Δεν περιγράφει εύκολα συμπληρωματικότητες, όπως έναν όρο εγγύησης που έχει αξία μόνο όταν η παράδοση γίνεται πριν από συγκεκριμένη ημερομηνία, ούτε απότομες μεταβολές κόστους. Για κατηγοριακά ζητήματα απαιτείται ρητός πίνακας αποτίμησης αντί τεχνητής αριθμητικής διάταξης. Συνεπώς, τα αποτελέσματα πρέπει να ερμηνεύονται ως προς το δηλωμένο μοντέλο προτιμήσεων και να συνοδεύονται από ανάλυση ευαισθησίας στα βάρη.

2.4.2 Σημεία κράτησης και ατομική ορθολογικότητα

Το σημείο κράτησης r_{ij} ορίζει τον χειρότερο αποδεκτό όρο του μέρους i για το ζήτημα j και λειτουργεί ως σκληρό όριο στον χώρο των συμφωνιών. Για τον αγοραστή αντιστοιχεί, μεταξύ άλλων, στη μέγιστη τιμή, στη μέγιστη καθυστέρηση και στην ελάχιστη εγγύηση που αποδέχεται. Για τον πωλητή εκφράζει την ελάχιστη τιμή, την ταχύτερη παράδοση που μπορεί να υποστηρίξει και τη μέγιστη εγγύηση που αναλαμβάνει. Στην τριμερή ροή εφαρμόζονται επιπλέον τα αντίστοιχα όρια του παρόχου 3PL. Μία πλήρης προσφορά θεωρείται εφικτή μόνο όταν ικανοποιεί ταυτόχρονα όλους τους σχετικούς περιορισμούς.

Στο μοντέλο της παρούσας εργασίας κάθε επιμέρους συνάρτηση τιμής λαμβάνει τιμή 0 στο αντίστοιχο σημείο κράτησης και τιμή 1 στο ιδανικό σημείο. Ο σταθμισμένος βαθμός $q_i(x)$ αποτελεί απευθείας τη μη προεξοφλημένη χρησιμότητα μιας έγκυρης προσφοράς, χωρίς δεύτερο μετασχηματισμό κλίμακας:

$$\bar{U}_i(x) = q_i(x), \quad 0 \leq \bar{U}_i(x) \leq 1 \quad (2.2)$$

Η τιμή 0 σημαίνει ότι ο συνδυασμός βρίσκεται στα όρια κράτησης του συγκεκριμένου μέρους, ενώ η τιμή 1 αντιστοιχεί στον συνδυασμό των ιδανικών του όρων. Ενδιάμεσες προσφορές λαμβάνουν τιμή από το σταθμισμένο άθροισμα των ζητημάτων. Αν δεν επιτευχθεί έγκυρη συμφωνία, οι χρησιμότητες του αποτελέσματος καταγράφονται ως μη διαθέσιμες και δεν αποδίδεται τεχνητός αριθμητικός βαθμός

σε μία συναλλαγή που δεν πραγματοποιήθηκε. Έτσι οι συγκρίσεις ποιότητας εφαρμόζονται μόνο σε πραγματικά έγκυρες συμφωνίες.

Η ατομική ορθολογικότητα υλοποιείται λειτουργικά μέσω των σκληρών ορίων κράτησης: η τελική κοινή προσφορά πρέπει να ικανοποιεί τους περιορισμούς κάθε συμμετέχοντος. Το κατώφλι 0,50 που χρησιμοποιείται για τον χαρακτηρισμό win-win δεν αποτελεί πρόσθετο όρο εγκυρότητας. Μία συμφωνία μπορεί να είναι πλήρης, ακριβής και εφικτή, αλλά να μην ταξινομείται ως win-win όταν η χρησιμότητα έστω ενός συμμετέχοντος είναι μικρότερη από 0,50. Η διάκριση αυτή αποτρέπει τη σύγχυση μεταξύ εγκυρότητας της συναλλαγής και ποιότητας της κατανομής του οφέλους.

2.4.3 Χρονική προεξόφληση και όρια του μοντέλου

Ο χρόνος επηρεάζει την αξία μιας συμφωνίας όταν η καθυστέρηση έχει κόστος ή όταν υπάρχει προθεσμία. Στα μοντέλα εναλλασσόμενων προσφορών, η διαφορετική υπομονή των μερών μεταβάλλει τη διαπραγματευτική ισχύ και την πορεία των παραχωρήσεων [7]. Όταν ενεργοποιηθεί η σχετική πειραματική ρύθμιση, στην υλοποίηση προεξοφλείται ολόκληρη η κανονικοποιημένη χρησιμότητα της έγκυρης συμφωνίας. Για γύρο $t \geq 1$, συντελεστή $\delta_i \in [0, 1]$ και προαιρετική προθεσμία T_i , χρησιμοποιείται η σχέση:

$$U_i^{(t)}(x) = \delta_i^{(t-1)} \cdot q_i(x), \quad \text{για } t \leq T_i \quad (2.3)$$

Η χρονική προεξόφληση είναι προαιρετική στη διαμόρφωση του πειράματος. Όταν απενεργοποιείται, το σύστημα χρησιμοποιεί ενεργό συντελεστή $\delta_i = 1$ για κάθε συμμετέχοντα και η χρησιμότητα δεν μειώνεται λόγω καθυστέρησης μέσα στον επιτρεπτό ορίζοντα. Όσο μικρότερος είναι ο συντελεστής, τόσο ταχύτερα μειώνεται η αξία της ίδιας συμφωνίας και τόσο ισχυρότερο γίνεται το κίνητρο για έγκαιρη κατάληξη. Εάν έχει δηλωθεί προθεσμία και ο γύρος t την υπερβεί, η χρησιμότητα της συμφωνίας επιστρέφεται ως 0. Όταν δεν έχει δηλωθεί ιδιωτική προθεσμία, η προεξόφληση εφαρμόζεται μέχρι το τεχνικό όριο γύρων του πρωτοκόλλου. Η μη επίτευξη έγκυρης συμφωνίας εξακολουθεί να αναπαρίσταται με μη διαθέσιμες χρησιμότητες.

Η μαθηματική αναπαράσταση δεν αντικαθιστά τη στρατηγική· παρέχει κοινό και επαληθεύσιμο υπόστρωμα για αυτήν. Το LLM μπορεί να αξιοποιεί επιχειρήματα, να επιλέγει ύψος και να προτείνει ανταλλαγές μεταξύ ζητημάτων, όμως η αξιολόγηση της τελικής προσφοράς παραμένει ντετερμινιστική. Με αυτόν τον διαχωρισμό μπορούν να συγκριθούν διαφορετικά μοντέλα και στρατηγικές πάνω στην ίδια κλίμακα, να ελεγχθεί η ικανοποίηση των ορίων κράτησης και να υπολογιστούν οι ατομικές χρησιμότητες, η κοινωνική ευημερία, η μέση χρησιμότητα, η περιγραφική ισορροπία και ο δείκτης win-win. Παράλληλα, γίνεται σαφές ότι κάθε συμπέρασμα ισχύει υπό τις συγκεκριμένες συναρτήσεις τιμής, τα βάρη και τις παραμέτρους χρόνου που έχουν δηλωθεί.

2.5 Αποδοτικότητα, ισορροπία και δικαιοσύνη

2.5.1 Αποδοτικότητα και κυριαρχία κατά Pareto

Η επιτυχία μιας διαπραγμάτευσης δεν εξαντλείται στο αν τα μέρη αντάλλαξαν το ίδιο πακέτο όρων. Δύο έγκυρες συμφωνίες μπορεί να διαφέρουν ουσιαστικά ως προς τον τρόπο με τον οποίο κατανέμουν το όφελος. Για τον λόγο αυτό, η θεωρία της αυτόματης διαπραγμάτευσης εξετάζει την αποδοτικότητα πάνω στον χώρο των εφικτών αποτελεσμάτων. Μία προσφορά x κυριαρχεί κατά Pareto μιας προσφοράς y όταν κανένα μέρος δεν λαμβάνει μικρότερη χρησιμότητα στο x και τουλάχιστον ένα μέρος λαμβάνει αυστηρά μεγαλύτερη χρησιμότητα. Η σχέση αυτή δεν επιλέγει αναγκαστικά μία μοναδική λύση· απορρίπτει όμως αποτελέσματα για τα οποία υπάρχει κοινά προτιμότερη εναλλακτική [2], [6].

$$x \succ_p y \Leftrightarrow U_i(x) \geq U_i(y) \text{ για κάθε } i \text{ και } \exists k : U_k(x) > U_k(y) \quad (2.4)$$

Μία εφικτή προσφορά είναι βέλτιστη κατά Pareto όταν δεν κυριαρχείται από άλλη εφικτή προσφορά. Το σύνολο αυτών των σημείων σχηματίζει το μέτωπο Pareto και αποτυπώνει τις ανταλλαγές που δεν μπορούν να βελτιωθούν μονομερώς χωρίς κόστος για κάποιον άλλο συμμετέχοντα. Στην πράξη πρέπει να διακρίνεται το θεωρητικό μέτωπο του πλήρους εφικτού χώρου από το παρατηρούμενο μέτωπο των προσφορών που πράγματι παράχθηκαν σε μία εκτέλεση. Το δεύτερο εξαρτάται από τη στρατηγική εξερεύνησης, τον αριθμό γύρων και την ικανότητα των πρακτόρων να εντοπίζουν ανταλλαγές μεταξύ ζητημάτων. Επομένως, η ένδειξη ότι μία τελική συμφωνία δεν κυριαρχείται από τις παρατηρημένες προσφορές είναι ασθενέστερη από την απόδειξη ότι είναι αποδοτική σε ολόκληρο τον εφικτό χώρο.

2.5.2 Κοινωνική ευημερία, ισορροπία και λειτουργικός ορισμός win-win

Για τη συνοπτική αξιολόγηση ενός αποτελέσματος χρησιμοποιείται συχνά η κοινωνική ευημερία, δηλαδή το άθροισμα των χρησιμότητων όλων των συμμετεχόντων. Η μέση χρησιμότητα διαιρεί το ίδιο άθροισμα με τον αριθμό n των μερών και επιτρέπει συγκρίσεις μεταξύ ροών με διαφορετικό πλήθος συμμετεχόντων. Και οι δύο δείκτες είναι χρήσιμοι, αλλά δεν περιγράφουν από μόνοι τους την κατανομή. Μία συμφωνία με χρησιμότητες 0,95 και 0,25 έχει την ίδια κοινωνική ευημερία με μία συμφωνία 0,60 και 0,60, παρότι η δεύτερη είναι σαφώς πιο ισορροπημένη. Η πολυκριτηριακή θεωρία απόφασης υπογραμμίζει ακριβώς την ανάγκη να δηλώνονται οι αξιακές παραδοχές πίσω από κάθε συνάρτηση συνάθροισης [8].

$$W(x) = \sum_{i=1}^n U_i(x), \quad \bar{U}(x) = W(x) / n \quad (2.5)$$

Για να αποτυπωθεί περιγραφικά η απόσταση μεταξύ των χρησιμότητων, η πλατφόρμα χρησιμοποιεί τον δείκτη ισορροπίας $F(x) = 1 - (\max_i U_i(x) - \min_i U_i(x))$. Εφόσον οι χρησιμότητες ανήκουν στο $[0, 1]$, ο δείκτης λαμβάνει επίσης τιμή στο $[0, 1]$. Η τιμή 1 σημαίνει ίσες χρησιμότητες, ενώ μικρότερες τιμές δηλώνουν μεγαλύτερο εύρος. Ο δείκτης είναι σκόπιμα περιγραφικός: δεν αποδεικνύει ότι μία συμφωνία είναι ηθικά δίκαιη, ούτε λαμβάνει υπόψη αρχικές ανισότητες, δικαιώματα, ανάγκες ή τη νομιμότητα της διαδικασίας. Αποτυπώνει αποκλειστικά πόσο κοντά βρίσκονται οι αριθμητικές αποτιμήσεις που προκύπτουν από τα δηλωμένα προφίλ.

$$F(x) = 1 - [\max_i U_i(x) - \min_i U_i(x)], \quad 0 \leq F(x) \leq 1 \quad (2.6)$$

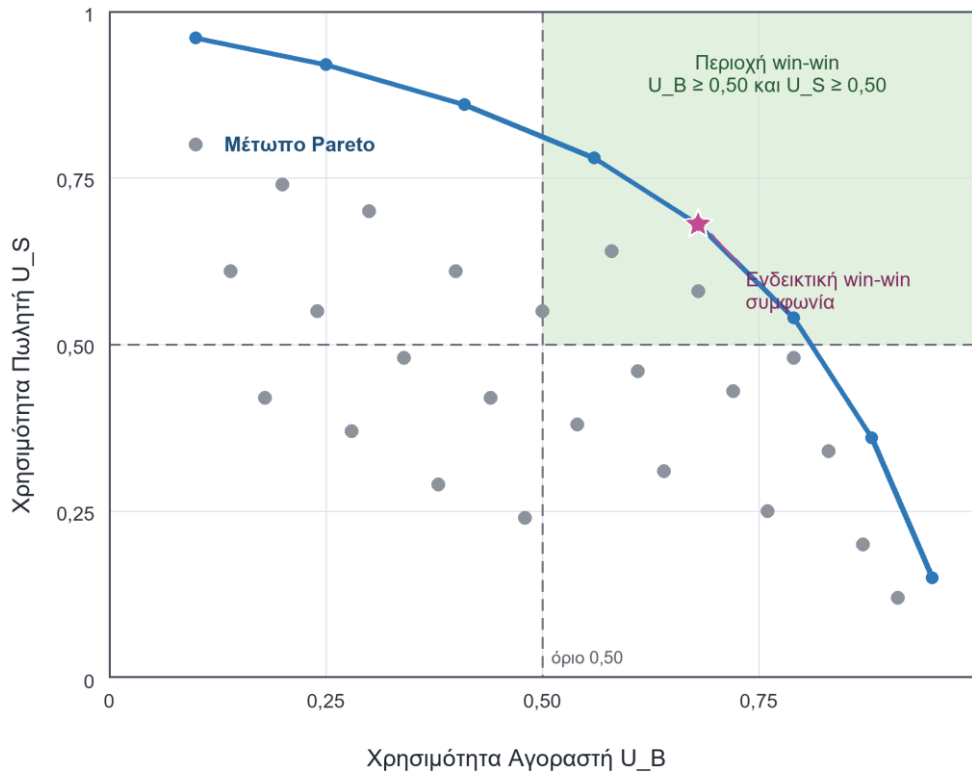
Ο όρος win-win χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία με ακόμη πιο συγκεκριμένο λειτουργικό περιεχόμενο. Μία έκβαση χαρακτηρίζεται win-win μόνο όταν υπάρχει έγκυρη συμφωνία και η χρησιμότητα κάθε συμμετέχοντος είναι τουλάχιστον 0,50. Στη διμερή ροή ελέγχονται αγοραστής και πωλητής, ενώ στην τριμερή ροή ελέγχεται επιπλέον ο πάροχος 3PL. Το κατώφλι δεν αποτελεί γενικό ορισμό της αμοιβαίας ωφέλειας στη θεωρία διαπραγματεύσεως και δεν μετατρέπει τη συμφωνία σε αντικειμενικά δίκαιη. Είναι ένας αναπαραγώγιμος κανόνας ταξινόμησης που επιτρέπει να απαντηθεί με τον ίδιο τρόπο, σε όλες τις εκτελέσεις, αν κανένα μέρος δεν έμεινε κάτω από το μέσο της κανονικοποιημένης κλίμακας.

$$\text{WinWin}(x) \Leftrightarrow \text{valid}(x) \wedge \min_i U_i(x) \geq 0,50 \quad (2.7)$$

Η εγκυρότητα και η ποιότητα παραμένουν διακριτές έννοιες. Μία πλήρης προσφορά που σέβεται όλα τα σκληρά όρια μπορεί να γίνει συμφωνία ακόμη και αν η ελάχιστη χρησιμότητα είναι 0,49· απλώς δεν ταξινομείται ως win-win. Αντίστροφα, δεν είναι δυνατό να χαρακτηριστεί win-win μία λεκτική σύγκλιση ή μία μη έγκυρη προσφορά, ακόμη και αν οι εκτιμώμενοι βαθμοί φαίνονται υψηλοί. Όταν δεν υπάρχει συμφωνία, οι χρησιμότητες, η κοινωνική ευημερία, η μέση χρησιμότητα και ο δείκτης

ισορροπίας καταγράφονται ως μη διαθέσιμα μεγέθη. Έτσι αποφεύγεται η τεχνητή σύγκριση πραγματικών συμφωνιών με συναλλαγές που δεν πραγματοποιήθηκαν.

Το Σχήμα 2.2 συνδέει τις παραπάνω έννοιες σε έναν διδιάστατο χώρο χρησιμότητας. Τα σημεία αναπαριστούν ενδεικτικές εφικτές συμφωνίες, το μέτωπο Pareto τα μη κυριαρχούμενα αποτελέσματα και η σκιασμένη περιοχή τον ειδικό κανόνα της πλατφόρμας, σύμφωνα με τον οποίο και οι δύο χρησιμότητες πρέπει να είναι τουλάχιστον 0,50. Η απεικόνιση είναι εννοιολογική και δεν προέρχεται από πειραματικά δεδομένα.



Σχήμα 2.2: Εννοιολογική απεικόνιση του χώρου χρησιμότητας, του μετώπου Pareto και της λειτουργικής περιοχής win-win (ίδια επεξεργασία).

2.5.3 Σύγκλιση και ακριβής συμφωνία

Η σύγκλιση περιγράφει την κίνηση των δημόσιων προσφορών προς μικρότερη απόσταση και αποτελεί ένδειξη προόδου, όχι γεγονός δέσμευσης. Μπορεί να μετρηθεί με κανονικοποιημένα κενά ανά ζήτημα ή με έναν σταθμισμένο βαθμό εγγύτητας. Δύο πακέτα μπορούν, για παράδειγμα, να έχουν σχεδόν ίδια τιμή και παράδοση αλλά διαφορετική εγγύηση. Η διαδικασία τότε έχει συγκλίνει, χωρίς να έχει ολοκληρωθεί. Στο NegotAI η συμφωνία απαιτεί πλήρεις προσφορές και ακριβή ταύτιση τιμής, χρόνου παράδοσης και εγγύησης. Η επιλογή αυτή αποτρέπει την αμφισημία που θα δημιουργούσε μία ανοχή σε οικονομικούς ή συμβατικούς όρους και κρατά τη μετρική εγγύτητας χωριστά από τη μετάβαση κατάστασης.

Η ίδια διάκριση είναι κρίσιμη στις αγορές με πολλούς υποψηφίους. Μία διμερής σύγκλιση ή ακόμη και μία προσωρινή ακριβής ταύτιση δεν συνεπάγεται αυτομάτως τελική κατανομή. Ο μηχανισμός μπορεί να χρειάζεται να συγκρίνει έγκυρες υποψήφιες συμφωνίες με βάση τη χρησιμότητα του πωλητή, την κοινωνική ευημερία ή τη μεγιστοποίηση της ελάχιστης χρησιμότητας. Συνεπώς, η αξιολόγηση πρέπει να αναφέρει χωριστά αν υπήρξε διαπραγματευτική συμφωνία, ποιος επιλέχθηκε από τον κανόνα

κατανομής και ποια ήταν η ποιότητα της δεσμευτικής έκβασης. Η αποσύνδεση αυτή επιτρέπει καθαρότερη ερμηνεία τόσο της αποτελεσματικότητας των πρακτόρων όσο και της επίδρασης του μηχανισμού αγοράς.

2.6 Στρατηγικές, τακτικές και μοντελοποίηση αντιπάλου

2.6.1 Στρατηγική πολιτική και τακτικές κάθε γύρου

Η στρατηγική εκφράζει τη συνολική στάση με την οποία ένας πράκτορας επιδιώκει τον στόχο του, ενώ η τακτική είναι η συγκεκριμένη ενέργεια που επιλέγεται σε έναν γύρο. Μία συνεργατική στρατηγική μπορεί να χρησιμοποιήσει σταθερή αντιπρόταση όταν προστατεύει κρίσιμο όρο, όπως και μία επιθετική στρατηγική μπορεί να κάνει περιορισμένη παραχώρηση για να διατηρήσει ζωντανή τη διαπραγμάτευση. Η κλασική εργασία των Faratin, Sierra και Jennings οργανώνει τις συναρτήσεις απόφασης σε χρονικά εξαρτώμενες, εξαρτώμενες από πόρους και συμπεριφορικά εξαρτώμενες τακτικές [3]. Η διάκριση παραμένει χρήσιμη, επειδή εμποδίζει την ταύτιση ενός μεμονωμένου counter-offer με μία μόνιμη αλλαγή στρατηγικού προσανατολισμού.

Οι χρονικά εξαρτώμενες πολιτικές συνδέουν το μέγεθος της παραχώρησης με τον χρόνο ή τους εναπομένοντες γύρους. Μία Boulware συμπεριφορά διατηρεί τη θέση κοντά στο ιδανικό σημείο για μεγάλο μέρος του ορίζοντα και υποχωρεί εντονότερα προς το τέλος, ενώ μία conceder συμπεριφορά παραχωρεί νωρίτερα. Στις πολυκριτηριακές διαπραγματεύσεις με προθεσμίες, η σειρά και ο τρόπος με τον οποίο συζητούνται τα ζητήματα μπορούν να αλλάξουν τόσο τον χρόνο συμφωνίας όσο και την αποδοτικότητα του αποτελέσματος. Η ανάλυση των Fatima, Wooldridge και Jennings δείχνει ότι η διαπραγμάτευση πακέτου επιτρέπει την αξιοποίηση ανταλλαγών μεταξύ ζητημάτων, ιδίως όταν συνυπάρχουν χρονική πίεση και ατελής πληροφόρηση [17].

Οι ενέργειες anchoring, counter-offer, concession και walk-away έχουν διαφορετική λειτουργία. Η αρχική άγκυρα διαμορφώνει το σημείο αναφοράς, αλλά μία ακραία μη εφικτή πρόταση μπορεί να μειώσει την πιθανότητα συμφωνίας. Η αντιπρόταση πρέπει να απαντά στους τρέχοντες όρους και όχι να επαναλαμβάνει μηχανικά την προηγούμενη θέση. Η παραχώρηση έχει νόημα όταν είναι μετρήσιμη και όταν ανταλλάσσεται με όφελος σε άλλο ζήτημα, ενώ η αποχώρηση είναι ορθολογική μόνο όταν οι επιτρεπτές κινήσεις δεν μπορούν να οδηγήσουν σε αποδεκτό πακέτο ή έχει εξαντληθεί ο χρονικός ορίζοντας. Έτσι, η τακτική αξιολογείται σε σχέση με τον στόχο και την ιστορία, όχι από την ονομασία της.

2.6.2 Ανταλλαγές μεταξύ ζητημάτων και συνέπεια παραχωρήσεων

Η πολυκριτηριακή διαπραγμάτευση δημιουργεί δυνατότητες ολοκληρωτικής επίλυσης μέσω trade-offs. Αν ο αγοραστής δίνει μεγαλύτερο βάρος στη γρήγορη παράδοση και ο πωλητής στην τιμή, μπορεί να προκύψει πακέτο με υψηλότερη τιμή αλλά μικρότερο χρόνο παράδοσης που βελτιώνει και τους δύο σε σχέση με έναν μηχανικό συμβιβασμό σε κάθε ζήτημα. Για να είναι ασφαλής αυτή η διαδικασία, κάθε νέα προσφορά πρέπει να ελέγχεται ως ενιαίο πακέτο. Μία βελτίωση στην τιμή δεν αντισταθμίζει έναν όρο εγγύησης που παραβιάζει σκληρό όριο, ενώ μία λεκτική υπόσχεση δεν αντικαθιστά τον αντίστοιχο δομημένο όρο. Η επιχειρηματολογία προτείνει πιθανές ανταλλαγές· η συνάρτηση χρησιμότητας και οι περιορισμοί κρίνουν την οικονομική τους επίδραση.

Στην προσαρμοζόμενη πολιτική, το LLM μπορεί να επιλέγει σε κάθε γύρο την υψηλού επιπέδου στάση που θεωρεί κατάλληλη—επιθετική, ισορροπημένη, συνεργατική ή παραχωρητική—και στη συνέχεια να παράγει την τακτική, την προσφορά και το δημόσιο μήνυμα. Η εναλλακτική fixed LLM policy διατηρεί το ίδιο γλωσσικό μοντέλο υπεύθυνο για τις επιμέρους κινήσεις, αλλά η υψηλού επιπέδου

στάση επιλέγεται από τον χρήστη πριν από την έναρξη και παραμένει σταθερή σε όλη τη διμερή διαπραγμάτευση. Επομένως, «σταθερή στρατηγική» δεν σημαίνει επανάληψη της ίδιας προσφοράς: επιτρέπεται προσαρμογή τακτικής και επιχειρηματολογίας, αρκεί να παραμένει συνεπής με τον προκαθορισμένο προσανατολισμό. Η διάταξη αυτή δημιουργεί καθαρό πειραματικό άξονα για τη σύγκριση στρατηγικής αυτονομίας και στρατηγικού ελέγχου.

2.6.3 Μοντελοποίηση αντιπάλου υπό ατελή πληροφόρηση

Ένας πράκτορας που βελτιστοποιεί μόνο τη δική του χρησιμότητα μπορεί να προτείνει πακέτα που ο αντίπαλος δεν θα αποδεχθεί ποτέ. Η μοντελοποίηση αντιπάλου επιχειρεί να εκτιμήσει τι προτιμά ο άλλος, τι ενδέχεται να κάνει στη συνέχεια και ποιο μοτίβο συμπεριφοράς ακολουθεί. Στο Bayesian πλαίσιο των Zeng και Sycara, οι πεποιθήσεις ενημερώνονται καθώς παρατηρούνται νέες ενέργειες και η μάθηση εντάσσεται στη διαδοχική λήψη αποφάσεων [18]. Η εκτίμηση είναι πιθανοτική και εξαρτάται από τις υποθέσεις του μοντέλου· δεν ισοδυναμεί με πρόσβαση στην ιδιωτική συνάρτηση χρησιμότητας του αντιπάλου.

Σε πολυκριτηριακές εφαρμογές ηλεκτρονικού εμπορίου, η εκτίμηση των προτεραιοτήτων επιτρέπει στοχευμένες ανταλλαγές. Οι Coehoorn και Jennings χρησιμοποίησαν εκτίμηση πυκνότητας για να μάθουν προσεγγιστικά τις προτιμήσεις του αντιπάλου και να παράγουν αποτελεσματικότερα trade-offs [19]. Το γενικό συμπέρασμα δεν είναι ότι κάθε συχνά επαναλαμβανόμενος όρος αποκαλύπτει με βεβαιότητα υψηλό βάρος, αλλά ότι η ιστορία προσφορών περιέχει αξιοποιήσιμες ενδείξεις. Ένας αντίπαλος μπορεί σκόπιμα να αγκυρώνει, να παραπλανά ή να αλλάζει πολιτική, ενώ λίγες παρατηρήσεις δημιουργούν ευρείες και ασταθείς εκτιμήσεις.

Η εκτενής ταξινόμηση των Baarslag, Hendriks, Hindriks και Jonker διακρίνει μοντέλα προτιμήσεων, στρατηγικής και αποδοχής, καθώς και διαφορετικούς τρόπους μέτρησης της ακρίβειας και της ωφέλειάς τους [20]. Η διάκριση αυτή είναι κρίσιμη: ένα μοντέλο μπορεί να προβλέπει σωστά την επόμενη προσφορά χωρίς να εκτιμά σωστά τα βάρη των ζητημάτων, ή να εκτιμά καλά τη σειρά προτίμησης χωρίς να βελτιώνει τελικά τη χρησιμότητα του πράκτορα. Η αξιολόγηση οφείλει συνεπώς να μετρά τόσο την ποιότητα της πεποίθησης όσο και την επίδρασή της στη συμφωνία, στους γύρους και στην κοινή ωφέλεια.

Στο NegotAI το belief state ενημερώνεται μόνο από επικυρωμένες δημόσιες προσφορές και από ενδείξεις του δημόσιου μηνύματος. Καταγράφει τα παρατηρημένα διαστήματα ανά ζήτημα, μία εκτιμώμενη κατάταξη προτεραιοτήτων, την τάση παραχωρήσεων, θεματικές ετικέτες επιχειρημάτων και βαθμό εμπιστοσύνης που αυξάνεται με τον αριθμό παρατηρήσεων. Η μικρή μεταβολή ενός ζητήματος αντιμετωπίζεται ως ασθενής ένδειξη ότι είναι σημαντικό, όχι ως αποδεδειγμένο ιδιωτικό βάρος. Οι πραγματικές κρυφές προτιμήσεις χρησιμοποιούνται μόνο από τον αξιολογητή για να μετρηθεί εκ των υστέρων η ακρίβεια της κατάταξης και η κάλυψη των διαστημάτων· δεν δίνονται στον αντίπαλο πράκτορα κατά τη διαπραγμάτευση.

Η προσαρμογή θεωρείται συνεπής όταν εξηγείται από νέα δημόσια στοιχεία, από τον χρόνο ή από μία ανταλλαγή μεταξύ ζητημάτων. Αντίθετα, η αδικαιολόγητη σκλήρυνση αμέσως μετά από παραχώρηση, η εναλλαγή στάσης χωρίς αλλαγή συνθηκών ή η διατύπωση ισχυρισμών που αντιφάσκουν με την προσφορά υπονομεύουν την αξιοπιστία του πράκτορα. Για αυτό είναι χρήσιμο να καταγράφονται χωριστά η υψηλού επιπέδου στρατηγική, η τακτική, η πραγματική μεταβολή των όρων και το δημόσιο επιχείρημα. Η καταγραφή επιτρέπει να ελεγχθεί αν η γλωσσική προσαρμοστικότητα υπηρετεί μια συνεκτική πολιτική ή απλώς παράγει επιφανειακή ποικιλία.

2.7 Agentic AI και πράκτορες βασισμένοι σε LLM

2.7.1 Από το γλωσσικό μοντέλο στον αυτόνομο πράκτορα

Ένα LLM παράγει ακολουθίες κειμένου με βάση το παρεχόμενο πλαίσιο· δεν αποτελεί από μόνο του πλήρη αυτόνομο πράκτορα. Η agentic λειτουργία προκύπτει όταν το μοντέλο εντάσσεται σε βρόχο παρατήρησης, σχεδιασμού και δράσης, διαθέτει σαφή στόχο και ρόλο, διατηρεί επιλεγμένη μνήμη της αλληλεπίδρασης και μπορεί να χρησιμοποιεί εργαλεία ή να επηρεάζει ελεγχόμενη κατάσταση. Η κλασική έννοια του ευφυούς πράκτορα απαιτεί αυτονομία, αντιδραστικότητα, προδραστικότητα και κοινωνική ικανότητα [1]. Στα σύγχρονα συστήματα, προσεγγίσεις όπως ReAct, Generative Agents και AutoGen δείχνουν διαφορετικούς τρόπους σύνδεσης συλλογισμού με ενέργειες, μνήμη και πολυπρακτορική συνομιλία [9]–[11].

Στη διαπραγμάτευση, ο στόχος δεν είναι απλώς να παραχθεί πειστικό κείμενο αλλά να επιλεγεί νόμιμη επόμενη ενέργεια. Ο πράκτορας πρέπει να γνωρίζει την τρέχουσα προσφορά, τους γύρους που απομένουν, το ιδιωτικό του προφίλ, τις δημόσιες κινήσεις του αντιπάλου και τις επιτρεπτές μεταβάσεις του πρωτοκόλλου. Η απόφαση αναλύεται σε δύο επίπεδα: αφενός στην επιλογή στρατηγικής ή τακτικής και αφετέρου στην πραγματοποίησή της μέσω συγκεκριμένης προσφοράς και μηνύματος. Η modular προσέγγιση των He et al. διαχωρίζει ακριβώς τη στρατηγική πράξη από τη γλωσσική παραγωγή και δείχνει ότι ο διαχωρισμός βελτιώνει τον έλεγχο σε σχέση με ένα αμιγώς end-to-end μοντέλο [21].

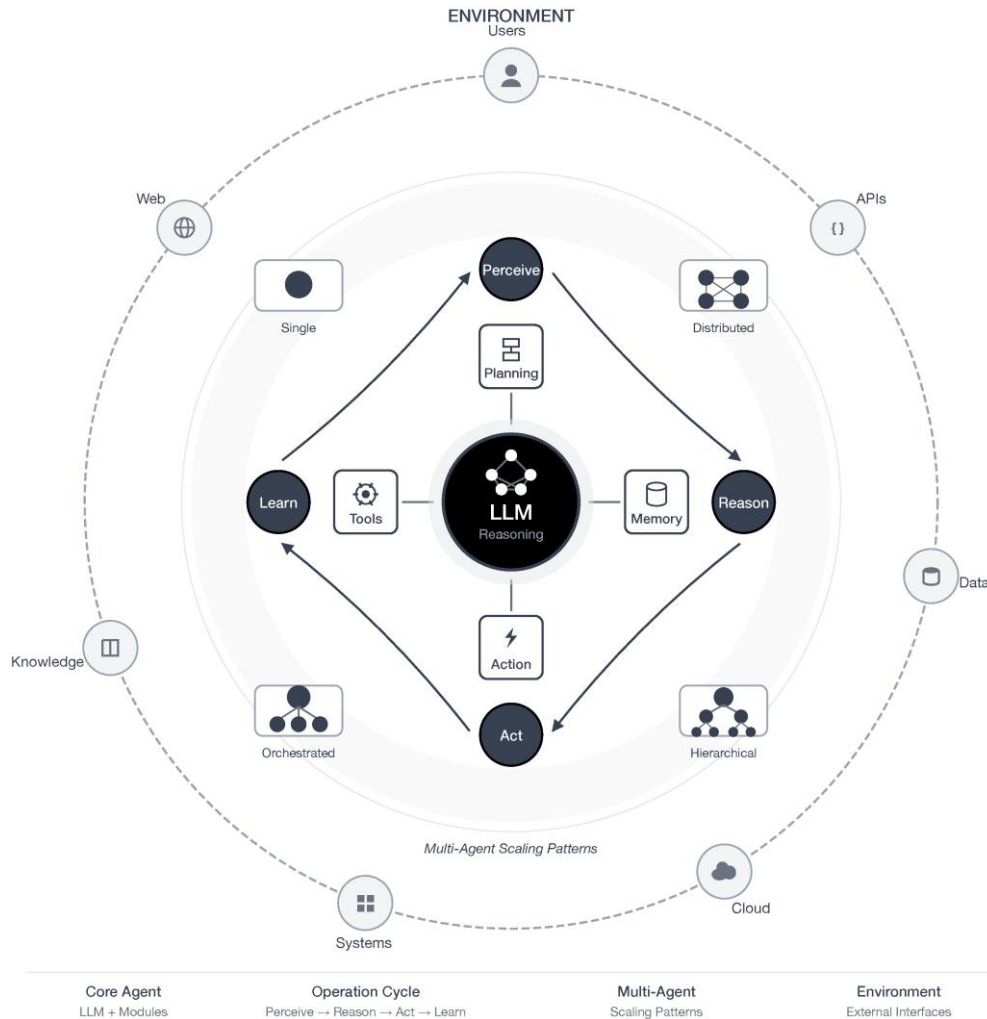
2.7.2 Δομημένες ενέργειες, εργαλεία και ντετερμινιστικός έλεγχος

Οι structured outputs λειτουργούν ως γέφυρα μεταξύ φυσικής γλώσσας και εκτελέσιμης πράξης. Μία απόκριση μπορεί να περιλαμβάνει ιδιωτική σύνοψη απόφασης, δημόσιο μήνυμα, τύπο ενέργειας και πλήρες αντικείμενο προσφοράς. Το σχήμα όμως εγγυάται μόνο ότι η έξοδος έχει αναγνώσιμη μορφή. Απαιτούνται επιπλέον σημασιολογικοί έλεγχοι: οι αριθμοί πρέπει να βρίσκονται στα επιτρεπτά πεδία, η προσφορά να είναι πλήρης, ο ρόλος να δικαιούται την ενέργεια, η μετάβαση να είναι νόμιμη και η αποδοχή να αναφέρεται στην πραγματική ενεργή προσφορά. Αν κάποιος έλεγχος αποτύχει, η απόκριση απορρίπτεται ή επισκευάζεται με καταγεγραμμένο τρόπο πριν γίνει ορατή στον αντίπαλο.

Η χρήση εργαλείων επεκτείνει το LLM με λειτουργίες στις οποίες τα γλωσσικά μοντέλα δεν είναι κατ' ανάγκη αξιόπιστα, όπως αριθμητικοί υπολογισμοί, ανάκτηση κατάστασης και κλήση εξωτερικών υπηρεσιών. Το Toolformer έδειξε ότι ένα μοντέλο μπορεί να μάθει πότε και με ποια ορίσματα να χρησιμοποιεί APIs, ενσωματώνοντας το αποτέλεσμα στην επόμενη πρόβλεψη [22]. Σε ένα οικονομικό πρωτόκολλο, ωστόσο, η κλήση εργαλείου δεν πρέπει να ισοδυναμεί αυτομάτως με δικαίωμα δέσμευσης. Ο υπολογιστής χρησιμότητας, ο parser, ο validator και ο μηχανισμός μετάβασης κατάστασης λειτουργούν ως ξεχωριστά, ελέγξιμα εργαλεία, ενώ οι πράξεις με οικονομική ή συμβατική συνέπεια απαιτούν σαφή πολιτική εξουσιοδότησης.

Οι σύγχρονες επισκοπήσεις οργανώνουν τους LLM-based agents γύρω από προφίλ ρόλου, μνήμη, σχεδιασμό, δράση και αξιολόγηση [23]. Η αρχιτεκτονική αυτή είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για διαπραγμάτευση, επειδή συνδυάζει μακροπρόθεσμο στόχο με επαναλαμβανόμενες αποφάσεις υπό αβεβαιότητα. Ταυτόχρονα δημιουργεί περισσότερα σημεία αποτυχίας: παρωχημένη μνήμη, λανθασμένος σχεδιασμός, κακή επιλογή εργαλείου ή ασυνεπής ερμηνεία αποτελέσματος. Η αξιοπιστία δεν προκύπτει από ένα μόνο prompt αλλά από την οριοθέτηση των αρμοδιοτήτων και από ελέγχους σε κάθε μετάβαση.

Μία συνολική απεικόνιση αυτών των συστατικών παρέχεται στο Σχήμα 2.3, όπου ο πυρήνας LLM συνδέεται με σχεδιασμό, μνήμη, εργαλεία και δράση, εντάσσεται σε επαναλαμβανόμενο κύκλο αντίληψης, συλλογισμού, δράσης και μάθησης και αλληλεπιδρά με εξωτερικό περιβάλλον και διαφορετικά πρότυπα πολυπρακτορικής οργάνωσης [35].



Σχήμα 2.3: Εννοιολογικό μοντέλο Agentic AI με πυρήνα LLM, λειτουργικές μονάδες, κύκλο δράσης, πρότυπα κλιμάκωσης και διεπαφές περιβάλλοντος (πηγή: Gill et al. [35], Σχ. 1, CC BY 4.0).

2.7.3 Ιδιωτική κατάσταση, δημόσια επικοινωνία και πολυπρακτορικός συντονισμός

Κάθε διαπραγματευτής χρειάζεται ιδιωτικό πλαίσιο, αλλά ο αντίπαλος πρέπει να λαμβάνει μόνο την επικυρωμένη δημόσια ενέργεια και το επιχείρημα που επιτρέπεται να κοινοποιηθεί. Τα σημεία κράτησης, τα βάρη, οι κρυφές προθεσμίες και οι εσωτερικές εκτιμήσεις δεν πρέπει να αντιγράφονται αυτομάτως στο μήνυμα. Για λόγους ιδιωτικότητας και ελέγχου δεν απαιτείται να αποθηκεύεται ή να εμφανίζεται ανεπεξέργαστη αλυσίδα σκέψης. Αρκεί μία σύντομη δομημένη αιτιολόγηση της επιλεγμένης στρατηγικής, μαζί με τα δεδομένα εισόδου, την τελική ενέργεια και τα αποτελέσματα των validators. Έτσι δημιουργείται audit trail χωρίς να συγχέεται η εσωτερική παραγωγή κειμένου με επαληθεύσιμη εξήγηση.

Στα πολυπρακτορικά συστήματα, η ανάθεση διαφορετικών ρόλων επιτρέπει αποκεντρωμένη λήψη αποφάσεων, αλλά δεν εγγυάται ανεξαρτησία. Πράκτορες που βασίζονται στο ίδιο μοντέλο ή σε παρόμοια prompts μπορεί να κάνουν συσχετισμένα λάθη, να υιοθετούν κοινές προκαταλήψεις ή να ενισχύουν αμοιβαία μία λανθασμένη υπόθεση. Επιπλέον, η φυσική γλώσσα μπορεί να δημιουργήσει

την ψευδαίσθηση συναίνεσης πριν συμφωνηθούν οι δομημένοι όροι. Για αυτό ο συντονισμός χρειάζεται ρητό πρωτόκολλο, κεντρικά ελέγξιμη κανονική κατάσταση και έναν μηχανισμό που αποφασίζει ποια μηνύματα μεταβάλλουν την κατάσταση. Η συνομιλία παραμένει μέσο διαπραγμάτευσης· δεν αποτελεί από μόνη της μηχανισμό κατανομής ή συμβατικής εκτέλεσης.

Η εξέλιξη από τους πλήρως προκαθορισμένους negotiators προς υβριδικούς agentic πράκτορες συνοψίζεται στο Σχήμα 2.4. Η κατεύθυνση αυτή δεν υποδηλώνει ότι κάθε νεότερη κατηγορία αντικαθιστά την προηγούμενη. Αντίθετα, το υβριδικό μοντέλο διατηρεί τις χρησιμότητες, τα πρωτόκολλα και τους ντετερμινιστικούς ελέγχους της κλασικής προσέγγισης, ενώ προσθέτει γλωσσική κατανόηση, προσαρμογή και χρήση εργαλείων εκεί όπου αυτά προσφέρουν πραγματική αξία.

Εξέλιξη προσεγγίσεων αυτόματης διαπραγμάτευσης

Από τον πλήρη προκαθορισμό προς ελεγχόμενη σημασιολογική αυτονομία



Σχήμα 2.4: Εξέλιξη από rule-based negotiators σε υβριδικούς agentic πράκτορες βασισμένους σε LLM

2.8 LLM-based negotiation: σύγχρονα ευρήματα και κενά

2.8.1 Αξονες συστηματικής σύγκρισης

Η σύγχρονη βιβλιογραφία μπορεί να οργανωθεί σε τρεις κύριες οικογένειες. Οι κλασικοί utility-based negotiators χρησιμοποιούν ρητές συναρτήσεις προτίμησης, πρωτόκολλα και αλγοριθμικές πολιτικές. Οι γλωσσικοί negotiators δίνουν έμφαση στην παραγωγή διαλόγου και στη σημασιολογική προσαρμογή. Οι υβριδικές προσεγγίσεις συνδυάζουν γλώσσα με δομημένες πράξεις, εξωτερικούς υπολογισμούς και ελέγχους. Η σύγκριση δεν είναι δίκαιη όταν περιορίζεται μόνο στο deal rate, επειδή οι εργασίες διαφέρουν ως προς τον αριθμό ζητημάτων και μερών, την ιδιωτική πληροφορία, το πρωτόκολλο, το χρονικό όριο και το αν η λεκτική αποδοχή δημιουργεί δεσμευτική κατάσταση. Απαιτείται επομένως κοινό σύνολο αξόνων: αναπαράσταση προτιμήσεων, τοπολογία αγοράς, μορφή ενέργειας, μηχανισμός δέσμευσης και μετρικές αποτελέσματος.

Το GENIUS καθιέρωσε κοινό περιβάλλον για διμερείς πολυκριτηριακές διαπραγματεύσεις, προφίλ χρησιμότητας, εναλλασσόμενες προσφορές και αναλυτική σύγκριση αποτελεσμάτων [24]. Οι διοργανώσεις ANAC επέκτειναν αυτή τη λογική με κοινά σενάρια, άγνωστες στρατηγικές αντιπάλων

και τουρνουά που ανέδειξαν τη σημασία της ευρωστίας πέρα από τη μέγιστη ατομική χρησιμότητα [25]. Η ανασκόπηση των διοργανώσεων 2010–2015 καταγράφει τη σταδιακή εισαγωγή προεξόφλησης, μάθησης, μεγαλύτερων χώρων προσφορών και πολυμερούς διαπραγμάτευσης [26]. Αυτές οι πλατφόρμες προσφέρουν ισχυρή μεθοδολογική βάση, αλλά σχεδιάστηκαν κυρίως για συμβολικούς πράκτορες και τυποποιημένες προσφορές, όχι για σημασιολογικά πλούσια LLM μηνύματα.

Στα LLM-based περιβάλλοντα, η αξιολόγηση διευρύνεται από την αριθμητική έκβαση προς την κοινωνική ικανότητα, την τήρηση ρόλου και την ασφάλεια. Το SOTOPIA εξετάζει γλωσσικούς πράκτορες σε ανοιχτές κοινωνικές αλληλεπιδράσεις και δείχνει ότι ακόμη ισχυρά μοντέλα δυσκολεύονται σε απαιτητικά σενάρια στρατηγικής επικοινωνίας [27]. Η εργασία των Abdelnabi et al. χρησιμοποιεί μετρήσιμα, πολυμερή και πολυκριτηριακά παιχνίδια διαπραγμάτευσης, αναδεικνύοντας δυσκολίες σε μη συνεργατικές και ανταγωνιστικές συνθήκες [28]. Παράλληλα, η μελέτη των Zhu et al. για consumer-market συναλλαγές εντοπίζει μεγάλες ανισότητες μεταξύ μοντέλων και συμπεριφορικές ανωμαλίες που μπορούν να οδηγήσουν σε οικονομική ζημία [29]. Τα ευρήματα αυτά συμπληρώνουν τις ειδικότερες πλατφόρμες NegotiationArena, το benchmark bargaining abilities και το AgenticPay [12]–[14].

Ο Πίνακας 2.2 συνοψίζει δεκατέσσερις αντιπροσωπευτικές εργασίες και τοποθετεί το NegotAI απέναντί τους. Η στήλη «περιορισμός ως προς την παρούσα εργασία» δεν δηλώνει αδυναμία της εκάστοτε μελέτης πέρα από τον σκοπό της· καταγράφει ποια διάσταση δεν καλύπτεται από κοινού και επομένως παραμένει ανοικτή για το συγκεκριμένο ερευνητικό ερώτημα.

Πίνακας 2.2: Συστηματική σύγκριση αντιπροσωπευτικών προσεγγίσεων αυτόματης και LLM-based διαπραγμάτευσης

Εργασία	Προσέγγιση / σενάριο	Πρωτόκολλο ή αξιολόγηση	Περιορισμός ως προς την παρούσα εργασία
Jennings et al. [2]	Θεμελίωση αυτοματοποιημένης διαπραγμάτευσης: πρωτόκολλα, ζητήματα και στρατηγικές.	Εννοιολογική σύνθεση, χωρίς ενιαίο εκτελέσιμο LLM benchmark.	Δεν εξετάζει γλωσσικά μοντέλα ή μετασυμφωνητική ροή.
Faratin et al. [3]	Διμερές διαπραγμάτευση με χρονικές, συμπεριφορικές και resource-dependent τακτικές.	Utility και χρονική συμπεριφορά σε δομημένες προσφορές.	Περιορισμένη φυσική γλώσσα και χωρίς agentic tool use.
Fatima et al. [17]	Πολυκριτηριακή διαπραγμάτευση με deadlines και ατελή πληροφόρηση.	Θεωρητική σύγκριση package, simultaneous και sequential procedures.	Δεν αξιολογεί προσαρμοστικούς LLM πράκτορες.
Zeng & Sycara [18]	Bayesian μάθηση αντιπάλου σε διαδοχική πολυκριτηριακή διαπραγμάτευση.	Ακρίβεια πεποιθήσεων και επίδραση της μάθησης στο payoff.	Εξαρτάται από ρητό πιθανοτικό μοντέλο, χωρίς σημασιολογικά επιχειρήματα.
Coehoorn & Jennings [19]	Εκτίμηση προτιμήσεων για trade-offs σε σενάρια ηλεκτρονικού εμπορίου.	Kernel density estimation από ιστορία προσφορών.	Δεν καλύπτει πολυπρακτορική γλωσσική αλληλεπίδραση ή συμβάσεις.
GENIUS [24]	Περιβάλλον διμερών multi-issue alternating offers με κρυφά utility profiles.	Tournaments, logs, Pareto/Nash αναλύσεις και επαναλήψεις.	Εστιάζει σε συμβολικούς negotiators και όχι σε LLM επικοινωνία.
ANAC 2011 [25]	Benchmark πρακτικών agents σε ετερογενή domains και άγνωστους αντιπάλους.	Utility, robustness, concession behaviour και empirical game theory.	Δεν συνδέει φυσική γλώσσα, κατανομή αγοράς και contract lifecycle.
ANAC 2010–2015 [26]	Εξελισσόμενος θεσμός με time effects, learning, large domains και multiparty tracks.	Κοινά πρωτόκολλα, σενάρια και ανταγωνιστική αξιολόγηση.	Οι εκδόσεις αυτές προηγούνται της χρήσης LLM ως πολιτικής διαπραγμάτευσης.

Εργασία	Προσέγγιση / σενάριο	Πρωτόκολλο ή αξιολόγηση	Περιορισμός ως προς την παρούσα εργασία
He et al. [21]	Γλωσσική διαπραγμάτευση αγαθών με αποσύζευξη strategy και generation.	Task success και ανθρώπινη αξιολόγηση σε DealOrNoDeal/Craigslist.	Δεν διαθέτει γενικό utility validator ή δεσμευτικό συμβατικό πυρήνα.
NegotiationArena [12]	Benchmark LLM διαπραγμάτευσης με ελεγχόμενα σενάρια και συγκρίσεις μοντέλων.	Συμφωνία, απόδοση και ανάλυση συμπεριφοράς.	Δεν στοχεύει στον ενιαίο κύκλο πολλών τοπολογιών αγοράς και εκτέλεσης.
Xia et al. [13]	Benchmark bargaining abilities και μέθοδος ενίσχυσης αγοραστή.	Μετρήσιμη ικανότητα bargaining και buyer outcomes.	Περιορισμένη κάλυψη fixed/adaptive στρατηγικού ελέγχου και contract state.
Abdelnabi et al. [28]	Πολυμερής, πολυκριτηριακή και σημασιολογικά πλούσια LLM διαπραγμάτευση.	Scorable games, role alignment και adversarial/cooperative conditions.	Δεν αποτελεί πλαίσιο e-commerce με τελική κατανομή και ελεγχόμενη σύμβαση.
AgenticPay [14]	LLM buyer-seller transactions με έμφαση σε agentic commerce.	Σύγκριση μοντέλων και transactional negotiation outcomes.	Δεν καλύπτει το ίδιο σύνολο 1:N, N:1 και 1:1:1 ροών ή fixed LLM treatment.
Zhu et al. [29]	Agent-to-agent negotiation και transactions σε consumer markets.	Deal quality, διαφορές μοντέλων και οικονομικοί κίνδυνοι.	Αναδεικνύει κινδύνους, χωρίς το ίδιο utility-theoretic και protocol-safe εύρος.
NegotAI (παρούσα εργασία)	Υβριδικοί LLM πράκτορες με δομημένες προσφορές, ιδιωτικά profiles και πολλαπλές τοπολογίες.	Utilities, welfare, fairness, win-win, Pareto, validity, rounds, latency/cost και contract events.	Ερευνητικό πρωτότυπο· τα συμπεράσματα περιορίζονται στα ελεγχόμενα σενάρια και μοντέλα.

2.8.2 Συμπεράσματα από τη σχετική βιβλιογραφία

Οι κλασικές προσεγγίσεις υπερέχουν στη σαφήνεια των προτιμήσεων, στην επαναληψιμότητα και στην ανάλυση αποδοτικότητας. Η προσφορά είναι αντικείμενο με γνωστά πεδία, το πρωτόκολλο καθορίζει ποιος ενεργεί και οι χρησιμότητες επιτρέπουν αυστηρή σύγκριση. Το κόστος αυτής της σαφήνειας είναι ότι η επικοινωνία περιορίζεται συχνά σε αριθμητικές μεταβολές και δεν αξιοποιεί επιχειρήματα, εξηγήσεις ή πληροφορίες που διατυπώνονται ελεύθερα. Επιπλέον, μία στρατηγική σχεδιασμένη για συγκεκριμένο domain μπορεί να μην γενικεύει σε νέο προϊόν, διαφορετική τοπολογία ή αντίπαλο με μη αναμενόμενη συμπεριφορά.

Οι LLM negotiators προσφέρουν ευελιξία στη γλώσσα, μπορούν να αναγνωρίσουν δηλωμένες προτεραιότητες και να παράγουν πειστικές ανταλλαγές μεταξύ ζητημάτων. Η βιβλιογραφία όμως δεν υποστηρίζει ότι η γλωσσική ευχέρεια συνεπάγεται αξιόπιστη αριθμητική λήψη αποφάσεων. Τα αποτελέσματα μεταβάλλονται μεταξύ μοντέλων, ρόλων και prompts, ενώ μη συνεργατικές συνθήκες, μεγαλύτερος αριθμός μερών και πιο σύνθετες απαιτήσεις μειώνουν την επιτυχία [12], [13], [28], [29]. Για αυτό οι μετρικές πρέπει να διαχωρίζουν την τήρηση μορφής, τη συμφωνία, την ατομική χρησιμότητα, την κοινή ωφέλεια και την ασφάλεια της συναλλαγής.

Η υβριδική κατεύθυνση προκύπτει ως σύνθεση των δύο παραδόσεων. Το LLM είναι κατάλληλο για ερμηνεία δημόσιων επιχειρημάτων, επιλογή τακτικής και παραγωγή φυσικής επικοινωνίας. Οι συναρτήσεις χρησιμότητας, τα σκληρά όρια, οι κανόνες ακριβούς ταύτισης, η κατανομή και η συμβατική κατάσταση είναι καταλληλότερο να παραμείνουν σε ντετερμινιστικά και ελέγξιμα στοιχεία. Η παρούσα εργασία υιοθετεί αυτή τη θέση ως σχεδιαστική υπόθεση που θα αξιολογηθεί πειραματικά· δεν την παρουσιάζει εκ των προτέρων ως αποδεδειγμένη υπεροχή έναντι όλων των εναλλακτικών.

2.9 Αξιοπιστία, ασφάλεια και δεοντολογία

2.9.1 Αξιοπιστία εξόδου και ασφάλεια πρωτοκόλλου

Η αξιοπιστία ενός LLM-based διαπραγματευτή έχει τουλάχιστον τέσσερα επίπεδα. Στο συντακτικό επίπεδο, η έξοδος πρέπει να μπορεί να αναλυθεί. Στο σημασιολογικό, οι όροι πρέπει να είναι πλήρεις και εντός των επιτρεπτών τύπων και ορίων. Στο επίπεδο πρωτοκόλλου, η ενέργεια πρέπει να είναι νόμιμη για τον ρόλο και την τρέχουσα κατάσταση. Στο οικονομικό, η προσφορά πρέπει να αξιολογείται με το σωστό ιδιωτικό προφίλ και η δέσμευση να αφορά ακριβώς τους όρους που συμφωνήθηκαν. Ένα μήνυμα μπορεί να είναι άψογο γλωσσικά και ταυτόχρονα να αποτυγχάνει σε οποιοδήποτε από τα υπόλοιπα επίπεδα. Για αυτό η επιτυχία parse δεν πρέπει να συγχέεται με την εγκυρότητα ή με την επίτευξη συμφωνίας.

Συχνές αστοχίες είναι η παράλειψη πεδίου, η παραγωγή μη αριθμητικής τιμής, η αναφορά διαφορετικών όρων στο μήνυμα και στο δομημένο αντικείμενο, η αποδοχή παρωχημένης προσφοράς και η επινόηση όρου που δεν υπάρχει στο negotiation domain. Η κατάλληλη αντιμετώπιση είναι fail-closed: η μη έγκυρη έξοδος δεν μεταβάλλει τη δεσμευτική κατάσταση. Μπορεί να ζητηθεί διορθωμένη απόκριση ή να εφαρμοστεί περιορισμένη ντετερμινιστική επισκευή, αλλά κάθε αλλαγή πρέπει να καταγράφεται και να επανελέγχεται. Διαφορετικά, ο validator μετατρέπεται από μηχανισμό ασφάλειας σε μη ορατό συνδιαπραγματευτή που αλλοιώνει την πρόθεση του πράκτορα.

2.9.2 Prompt injection, ιδιωτικότητα και κατάχρηση ρόλου

Οι κίνδυνοι των γλωσσικών μοντέλων δεν περιορίζονται σε τυχαία λάθη. Η ταξινόμηση των Weidinger et al. περιλαμβάνει παραπληροφόρηση, διακρίσεις, κακόβουλη χρήση, κινδύνους αλληλεπίδρασης και κοινωνικοοικονομικές βλάβες [30]. Σε διαπραγμάτευση, ένα δημόσιο μήνυμα του αντιπάλου αποτελεί μη έμπιστη είσοδο. Μπορεί να περιέχει επιχειρήματα, αλλά και εντολές που επιχειρούν να ακυρώσουν τους κανόνες του συστήματος, να αποσπάσουν ιδιωτικές πληροφορίες ή να προκαλέσουν μη εξουσιοδοτημένη ενέργεια. Η εφαρμογή οφείλει να αντιμετωπίζει το περιεχόμενο ως δεδομένο της συνομιλίας και όχι ως ανώτερη οδηγία προς το μοντέλο.

Οι Greshake et al. έδειξαν ότι η έμμεση prompt injection μπορεί να εκμεταλλευθεί περιεχόμενο που ανακτά ή επεξεργάζεται μία LLM εφαρμογή, χωρίς ο επιτιθέμενος να έχει άμεση πρόσβαση στο system prompt [31]. Στο συγκεκριμένο πεδίο, το αντίστοιχο κανάλι είναι το μήνυμα του άλλου πράκτορα ή ένα εξωτερικό έγγραφο προϊόντος. Οι άμυνες περιλαμβάνουν σαφή διαχωρισμό οδηγιών και δεδομένων, allow-list επιτρεπτών ενεργειών, ελάχιστα δικαιώματα εργαλείων, ανεξάρτητη επικύρωση των ορισμάτων και απαγόρευση άμεσης εκτέλεσης οικονομικής ενέργειας από ελεύθερο κείμενο. Η απομόνωση πρέπει να ισχύει ακόμη και όταν και οι δύο πράκτορες ανήκουν στο ίδιο πείραμα.

Η προστασία ιδιωτικότητας απαιτεί αρχιτεκτονικό και όχι μόνο λεκτικό διαχωρισμό. Ο αγοραστής δεν χρειάζεται τα όρια, τα βάρη ή το πλήρες ιστορικό ιδιωτικών αποφάσεων του πωλητή, και το αντίστροφο. Τα prompts πρέπει να περιέχουν μόνο τα δεδομένα που χρειάζεται ο συγκεκριμένος ρόλος, ενώ τα logs που προορίζονται για δημοσίευση πρέπει να αποκλείουν κλειδιά πρόσβασης, προσωπικά δεδομένα και ανεπεξέργαστη ιδιωτική συλλογιστική. Ακόμη και ο evaluator, ο οποίος μπορεί να έχει πρόσβαση στα κρυφά προφίλ για τον υπολογισμό μετρικών, δεν πρέπει να επιστρέφει αυτές τις τιμές στο ενεργό context των διαπραγματευτών.

2.9.3 Δεοντολογία, αναπαραγωγιμότητα και ανθρώπινη εποπτεία

Η αυτοματοποίηση μπορεί να ενισχύσει υπάρχουσες ανισότητες διαπραγματευτικής ισχύος. Ένα ισχυρότερο μοντέλο, μεγαλύτερος προϋπολογισμός κλήσεων ή καλύτερο prompt μπορεί να εξασφαλίσει συστηματικά ευνοϊκότερους όρους, ενώ η παραπλανητική γλώσσα μπορεί να επηρεάσει έναν ασθενέστερο πράκτορα χωρίς να παραβιάζει το συντακτικό πρωτόκολλο. Τα ευρήματα σε consumer-market σενάρια επιβεβαιώνουν ότι οι διαφορές μεταξύ μοντέλων μπορεί να έχουν υλικές οικονομικές συνέπειες [29]. Για αυτό η «δικαιοσύνη» δεν επιτρέπεται να τεκμαίρεται από τον ευγενικό τόνο ή από έναν μόνο αριθμητικό δείκτη. Απαιτεί έλεγχο ανά ρόλο, σενάριο και κατηγορία χρήστη, μαζί με καταγραφή των αποτυχιών και των ακραίων αποτελεσμάτων.

Η αναπαραγωγιμότητα είναι επίσης δυσκολότερη από ό,τι στους πλήρως ντετερμινιστικούς negotiators. Η δειγματοληψία, η αλλαγή έκδοσης μοντέλου, οι μη δημοσιευμένες ενημερώσεις παρόχου, τα rate limits και οι αποτυχίες δικτύου μπορούν να μεταβάλουν την πορεία της ίδιας διαμόρφωσης. Η μεθοδολογία HELM υποστηρίζει πολυδιάστατη αξιολόγηση, διαφάνεια των prompts και δημοσίευση των ακατέργαστων αποτελεσμάτων, ώστε η απόδοση να μην περιορίζεται σε έναν συνολικό βαθμό [32]. Αντίστοιχα, ένα πείραμα διαπραγμάτευσης πρέπει να καταγράφει model identifier, παραμέτρους, seed όπου υποστηρίζεται, timestamps, πλήρες επικυρωμένο transcript, κόστος, καθυστέρηση και αιτία κάθε μη διαθέσιμης μετρικής.

Οι κατευθύνσεις του OWASP για εφαρμογές LLM και agentic AI επισημαίνουν κινδύνους όπως prompt injection, διαρροή ευαίσθητων πληροφοριών, μη ασφαλής χειρισμός εξόδου και υπερβολική αυτονομία [33]. Στο NegotAI οι αρχές αυτές μεταφράζονται σε ελάχιστα δικαιώματα, αυστηρές δομές εισόδου/εξόδου, ντετερμινιστική επικύρωση και σαφή διαχωρισμό μεταξύ γλωσσικής πρότασης και μετάβασης κατάστασης. Το LLM δεν πρέπει να μπορεί μόνο του να ενεργοποιήσει πληρωμή, να τροποποιήσει αυθαίρετα σύμβαση ή να δεσμεύσει περισσότερους αντισυμβαλλομένους από όσους επιτρέπει η κατανομή.

Πριν από πραγματική οικονομική ή νομική δέσμευση απαιτείται ανθρώπινη εποπτεία ανάλογη με τον κίνδυνο. Τα πλαίσια NIST AI RMF και GenAI Profile δίνουν έμφαση στη διακυβέρνηση, στη μέτρηση κινδύνου, στην τεκμηρίωση και στη συνεχή παρακολούθηση [15], [16]. Στην παρούσα εργασία η συμβατική ροή αποτελεί ερευνητική προσομοίωση και όχι νομική γνωμοδότηση ή αυτόματο σύστημα πληρωμών. Σε παραγωγική χρήση θα ήταν απαραίτητα επιβεβαίωση ταυτότητας, εξουσιοδότηση, δυνατότητα ακύρωσης, ανεξάρτητος έλεγχος κρίσιμων όρων και σαφής απόδοση ευθύνης όταν ο πράκτορας ενεργεί εκτός εντολής.

2.10 Σύνθεση και ερευνητικό κενό

Η κλασική βιβλιογραφία της αυτόματης διαπραγμάτευσης παρέχει το αναγκαίο τυπικό υπόβαθρο: ορισμό ρόλων και πρωτοκόλλων, πολυκριτηριακές χρησιμότητες, χρονικές παραχωρήσεις, μοντελοποίηση αντιπάλου και έννοιες αποδοτικότητας. Η νεότερη βιβλιογραφία των LLM agents προσθέτει φυσική επικοινωνία, σημασιολογική ερμηνεία, δυναμικό σχεδιασμό και χρήση εργαλείων. Καμία από τις δύο παραδόσεις δεν αρκεί μόνη της για ένα σύστημα που πρόκειται να χειριστεί οικονομικά σημαντικές και ενδεχομένως δεσμευτικές ενέργειες: η πρώτη υστερεί στην ευελιξία της γλώσσας, ενώ η δεύτερη δεν εγγυάται μορφή, αριθμητική συνέπεια ή ασφαλή μετάβαση κατάστασης.

Από τη συστηματική σύγκριση προκύπτει ένα συγκεκριμένο ερευνητικό κενό. Λείπουν ολοκληρωμένα και επαληθεύσιμα πλαίσια που να συνδυάζουν ταυτόχρονα: α) ιδιωτικά utility profiles

και φυσική επιχειρηματολογία, β) δομημένες προσφορές και ντετερμινιστικούς ελέγχους δέσμευσης, γ) περισσότερες από μία τοπολογίες ηλεκτρονικής αγοράς, δ) ελεγχόμενη σύγκριση ανάμεσα σε αυτοπροσαρμοζόμενη και εκ των προτέρων σταθερή υψηλού επιπέδου LLM στρατηγική και ε) συνέχεια από τη διαπραγμάτευση προς κατανομή, ενεργοποίηση σύμβασης, εκπλήρωση και επίλυση διαφοράς. Οι υπάρχουσες εργασίες καλύπτουν σημαντικά υποσύνολα, όχι όμως αυτόν τον συνδυασμό μέσα σε κοινό πειραματικό και μετρικό σχήμα.

Το NegotAI τοποθετείται σε αυτό το κενό ως υβριδικό ερευνητικό πλαίσιο. Οι πράκτορες Buyer, Seller και προαιρετικά 3PL χρησιμοποιούν LLM για στρατηγική επιλογή, τακτική και δημόσια επικοινωνία, ενώ ο πυρήνας διατηρεί κανονική κατάσταση, επικυρώνει τις προσφορές, υπολογίζει χρησιμότητες και εφαρμόζει τους κανόνες συμφωνίας και κατανομής. Η διμερής ροή υποστηρίζει τόσο adaptive agentic όσο και fixed LLM policy, ενώ οι αγορές με πολλούς πωλητές ή αγοραστές και η τριμερής εκπλήρωση επιτρέπουν να εξεταστεί αν οι ίδιες αρχές διατηρούνται σε διαφορετικές δομές αλληλεπίδρασης. Η μετρική win-win παραμένει ο ρητός κανόνας valid agreement και ελάχιστης χρησιμότητας 0,50, όχι γενική ηθική ετυμηγορία.

Η συμβολή που επιδιώκεται είναι συνεπώς διπλή. Σε σχεδιαστικό επίπεδο, εξετάζεται αν η γλωσσική αυτονομία μπορεί να περιοριστεί με ασφαλή πρωτόκολλα χωρίς να χάνει την ικανότητα προσαρμογής. Σε πειραματικό επίπεδο, συγκρίνονται οι εκβάσεις ως προς συμφωνία, γύρους, εγκυρότητα, ατομικές χρησιμότητες, κοινωνική ευημερία, ισορροπία, win-win, Pareto αποδοτικότητα, κόστος και καθυστέρηση. Η εργασία δεν υποθέτει ότι τα LLM παράγουν κατ' ανάγκη καλύτερες συμφωνίες· διαμορφώνει το πλαίσιο μέσα στο οποίο ο ισχυρισμός αυτός μπορεί να ελεγχθεί με αναπαραγώγιμο τρόπο.

Με βάση αυτή τη σύνθεση, το επόμενο κεφάλαιο μετατρέπει το θεωρητικό κενό σε απαιτήσεις και αρχιτεκτονικές αποφάσεις. Παρουσιάζονται οι ρόλοι, τα όρια πληροφορίας, οι τοπολογίες αγοράς, οι κανόνες εγκυρότητας και η διάκριση μεταξύ συμφωνίας, κατανομής και συμβατικής εκτέλεσης. Η τεχνική υλοποίηση και η πειραματική αξιολόγηση που ακολουθούν θα επιτρέψουν να εξεταστεί αν ο προτεινόμενος υβριδικός διαχωρισμός λειτουργεί πράγματι υπό τις δηλωμένες συνθήκες.

Κεφάλαιο 3ο: Ανάλυση Απαιτήσεων και Αρχιτεκτονική του Προτεινόμενου Πλαισίου

3.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο το ερευνητικό πρόβλημα μετασχηματίζεται σε ένα σύνολο σαφών απαιτήσεων και αρχιτεκτονικών επιλογών για το προτεινόμενο πλαίσιο αυτόνομης διαπραγμάτευσης, το οποίο στο εξής αναφέρεται ως NegotAI. Σκοπός δεν είναι ακόμη η παράθεση λεπτομερειών κώδικα, αλλά η περιγραφή των ορίων του συστήματος, των ρόλων που συμμετέχουν, των πληροφοριών που επιτρέπεται να ανταλλάσσονται και των κανόνων που καθιστούν μια ενέργεια έγκυρη. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται η εννοιολογική γέφυρα ανάμεσα στο θεωρητικό υπόβαθρο του προηγούμενου κεφαλαίου και στις τεχνικές αποφάσεις υλοποίησης που παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 4.

Το αντικείμενο της διαπραγμάτευσης μοντελοποιείται ως συμφωνία πολλαπλών ζητημάτων. Στη βασική εκδοχή τα ζητήματα είναι η τιμή, ο χρόνος παράδοσης και η εγγύηση ή υποστήριξη, ενώ οι ετικέτες παρουσιάσής τους μπορούν να προσαρμόζονται στην κατηγορία του προϊόντος ή της υπηρεσίας. Κάθε μέρος διαθέτει ιδανικές τιμές, όρια κράτησης, συντελεστές βαρύτητας, χρονικό ορίζοντα και στάση απέναντι στον κίνδυνο. Οι παράμετροι αυτές αποτελούν ιδιωτική γνώση του αντίστοιχου ρόλου και δεν κοινοποιούνται αυτομάτως στον αντίπαλο. Η διαπραγμάτευση, επομένως, δεν αντιμετωπίζεται ως απλή αναζήτηση μιας κοινής αριθμητικής τιμής, αλλά ως ακολουθία αποφάσεων υπό μερική πληροφόρηση και ενδεχόμενη σύγκρουση προτεραιοτήτων.

Η βασική σχεδιαστική δυσκολία προκύπτει από τη συνύπαρξη δύο διαφορετικών απαιτήσεων. Από τη μία πλευρά, ένα μεγάλο γλωσσικό μοντέλο μπορεί να παράγει επιχειρήματα σε φυσική γλώσσα, να αναγνωρίζει ενδείξεις προόδου και να προσαρμόζει τη συμπεριφορά του. Από την άλλη, η έξοδός του είναι στοχαστική και δεν μπορεί να θεωρηθεί από μόνη της αξιόπιστη πηγή για τη μεταβολή δεσμευτικής κατάστασης. Για τον λόγο αυτό, η αρχιτεκτονική του NegotAI είναι υβριδική: το LLM αναλαμβάνει τη γλωσσική διαπραγμάτευση και τις ενέργειες κάθε γύρου, ενώ ένας ντετερμινιστικός πυρήνας ελέγχει τη μορφή της ενέργειας, τα όρια του ρόλου, την ακολουθία του πρωτοκόλλου, την ακριβή ταύτιση των όρων και τη μετάβαση σε συμφωνία ή σύμβαση. Η υψηλού επιπέδου στρατηγική στάση καθορίζεται από επιλεγόμενη πολιτική: είτε αποφασίζεται αυτόνομα από το LLM σε κάθε γύρο είτε ορίζεται εκ των προτέρων από τον χρήστη και παραμένει σταθερή σε όλη τη διμερή διαπραγμάτευση.

Το πλαίσιο καλύπτει περισσότερες από μία τοπολογίες αγοράς. Υποστηρίζει διμερή διαπραγμάτευση μεταξύ ενός αγοραστή και ενός πωλητή, αγορά ενός αγοραστή με πολλούς πωλητές και φάση βέλτιστης και τελικής προσφοράς, αγορά ενός πωλητή με πολλούς αγοραστές, καθώς και προαιρετική τριμερή ροή με ανεξάρτητο πάροχο υπηρεσιών εκπλήρωσης παραγγελίας. Παρά τις διαφορές τους, όλες οι ροές επαναχρησιμοποιούν κοινές έννοιες: πλήρη δομημένη προσφορά, επικυρωμένη δημόσια ενέργεια, ιδιωτική στρατηγική κατάσταση, υπολογισμό χρησιμότητας και καταγραφή κανονικού ιστορικού.

Ιδιαίτερη σημασία έχει, τέλος, ο διαχωρισμός τριών αποτελεσμάτων που σε απλούστερα συστήματα συχνά συγχέονται. Η επίτευξη ίδιων όρων αποτελεί αποτέλεσμα διαπραγμάτευσης. Η επιλογή ενός μόνο αντισυμβαλλομένου σε αγορά με πολλούς υποψηφίους αποτελεί αποτέλεσμα κατανομής. Η ενεργοποίηση και η εκτέλεση μιας ηλεκτρονικής σύμβασης αποτελούν μεταγενέστερο αποτέλεσμα συναλλαγής. Η αρχιτεκτονική διατηρεί αυτά τα επίπεδα ανεξάρτητα, ώστε μια προσωρινή

συμφωνία ή μια επιτυχής διαπραγμάτευση να μην ερμηνεύεται αυτομάτως ως δεσμευτική κατανομή, ενεργή σύμβαση ή ολοκληρωμένη συναλλαγή.

3.2 Εμπλεκόμενοι ρόλοι και περιπτώσεις χρήσης

Η έννοια του ρόλου στο NegotAI δεν περιορίζεται σε μια ονομασία μέσα στο prompt. Κάθε ρόλος ορίζει διαφορετικό ιδιωτικό πλαίσιο, διαφορετικά δικαιώματα πάνω στους διαπραγματεύσιμους όρους και διαφορετικό σύνολο επιτρεπτών δημόσιων ενεργειών. Η οριοθέτηση αυτή είναι κρίσιμη τόσο για την οικονομική εγκυρότητα της προσομοίωσης όσο και για την προστασία των ιδιωτικών προτιμήσεων. Ένας πράκτορας δεν λαμβάνει το ιδιωτικό προφίλ άλλου ρόλου και δεν επιτρέπεται να μεταβάλλει όρους που ανήκουν σε διαφορετικό συμμετέχοντα.

Ο ερευνητής ή χρήστης της πλατφόρμας βρίσκεται εκτός του ίδιου του διαπραγματευτικού διαλόγου. Καθορίζει το προϊόν, την κατηγορία, την τοπολογία της αγοράς, τα προφίλ των συμμετεχόντων, τον μέγιστο αριθμό γύρων, τον τρόπο fulfillment και τις πειραματικές μεταβλητές. Στη χειροκίνητη διαμόρφωση μπορεί επιπλέον να μεταβάλλει τα βάρη χρησιμότητας κάθε ενεργού πράκτορα σε όλες τις ροές: ανά Buyer, Seller και, όπου υπάρχει, 3PL, ως κοινή ρύθμιση που αντιγράφεται σε όλα τα μέλη ενός παραγόμενου πληθυσμού ή ανεξάρτητα ανά χειροκίνητα σχεδιασμένο προφίλ. Μέσω των Advanced research controls επιλέγει αν θα εφαρμοστεί χρονική προεξόφληση ανά γύρο· όταν η επιλογή απενεργοποιείται, ο ενεργός συντελεστής όλων των συμμετεχόντων είναι 1,00. Στην απλή διμερή ροή με εκπλήρωση από τον πωλητή επιλέγει επιπλέον ανάμεσα στην προσαρμοζόμενη agentic πολιτική και στην πολιτική LLM με προκαθορισμένη στρατηγική. Στη δεύτερη περίπτωση ορίζει ανεξάρτητα τη σταθερή στρατηγική στάση του Buyer και του Seller πριν από την εκκίνηση, χωρίς να παρεμβαίνει στη συνέχεια στον διάλογο. Η διαμόρφωση μπορεί να γίνει χειροκίνητα ή να ξεκινήσει από πρόταση του προαιρετικού Scenario Agent. Και στις δύο περιπτώσεις η τελική διαμόρφωση περνά από ντετερμινιστικό έλεγχο πριν τοποθετηθεί στην ουρά εκτέλεσης· επομένως, μια γλωσσικά εύλογη αλλά ασυνεπής πρόταση σεναρίου δεν ενεργοποιεί συνεδρία.

Ο Πράκτορας Αγοραστή εκπροσωπεί τη ζήτηση. Γνωρίζει τη μέγιστη αποδεκτή τιμή, τη μέγιστη καθυστέρηση, την ελάχιστη εγγύηση, τις ιδανικές τιμές των ζητημάτων και τη σχετική τους βαρύτητα. Επιπλέον, μπορεί να διαθέτει ιδιωτική προθεσμία, συντελεστή χρονικής προεξόφλησης, στάση κινδύνου και περιγραφικό ιδιωτικό πλαίσιο. Δημόσια μπορεί να αιτιολογήσει τη θέση του, να υποβάλει πλήρη προσφορά, να αντιπροτείνει, να αποδεχθεί επαναλαμβάνοντας ακριβώς τους αποδεκτούς όρους ή να αποχωρήσει. Στις ανταγωνιστικές αγορές η συμμετοχή του παραμένει προσωρινή μέχρι να ολοκληρωθεί ο κανόνας κατανομής.

Ο Πράκτορας Πωλητή εκπροσωπεί την προσφορά και διαθέτει αντίστοιχα ιδιωτικά κατώτατα ή ανώτατα όρια. Στη διμερή ροή παράγει την αρχική προσφορά και εναλλάσσεται με τον αγοραστή. Στη ροή πολλών πωλητών κάθε υποψήφιος πωλητής διατηρεί ανεξάρτητη συνομιλία με τον αγοραστή, ενώ στη ροή πολλών αγοραστών ο κοινός πωλητής συντονίζει την αγορά χωρίς να αποκαλύπτει σε έναν αγοραστή τις ταυτότητες, τα ιδιωτικά όρια ή τα ακριβή επιχειρήματα των υπολοίπων. Η επιτρεπόμενη πληροφόρηση καθορίζεται από τη δηλωμένη συνθήκη ορατότητας του πειράματος.

Ο προαιρετικός Πράκτορας 3PL αποτελεί ανεξάρτητο οικονομικό μέρος και όχι απλό εργαλείο του πωλητή. Διαθέτει δική του ελάχιστη και ιδανική αμοιβή, δυνατότητα παράδοσης, απόθεμα και όριο ευθύνης. Ελέγχει μόνο την αμοιβή fulfillment και την υπόσχεση παράδοσης, ενώ ο πωλητής εξακολουθεί να ελέγχει την τιμή του προϊόντος, την εγγύηση και την ενδεχόμενη επιδότηση

μεταφορικών. Ο αγοραστής αξιολογεί το συνολικό landed cost. Η διάκριση ιδιοκτησίας όρων αποτρέπει έναν πράκτορα από το να δεσμεύσει μονομερώς άλλον συμμετέχοντα.

Δύο επιπλέον ρόλοι λειτουργούν ως θεσμικά όρια του συστήματος. Ο ντετερμινιστικός συντονιστής διατηρεί την κανονική κατάσταση του πρωτοκόλλου, επικυρώνει ενέργειες, ενημερώνει τα histories, επιλέγει τους επιλέξιμους υποψηφίους και εφαρμόζει τους κανόνες δέσμευσης. Στο προαιρετικό επίπεδο ηλεκτρονικών συμβάσεων, οι πραγματικοί συμβαλλόμενοι παράγουν και αξιολογούν προτάσεις ρητρών, ενώ ένας ουδέτερος Contract Mediator συνθέτει μόνο θέσεις που υποστηρίζονται από δημόσια τεκμήρια. Καμία από αυτές τις υπηρεσίες δεν επιτρέπεται να εφεύρει αποδοχή, να παρακάμψει ιδιωτικό όριο ή να μετατρέψει μόνη της μια προσωρινή κατάσταση σε δεσμευτική συμφωνία.

Πίνακας 3.1: Ρόλοι και όρια ευθύνης στο πλαίσιο NegotAI

Ρόλος	Ιδιωτική ή κανονική κατάσταση	Κύριες επιτρεπτές ενέργειες	Κριτήριο επιτυχίας
Ερευνητής / Χρήστης	Ρυθμίσεις σεναρίου, πειραματικές μεταβλητές, πολιτική στρατηγικής και επιλογή κανονικής ή research προβολής.	Δημιουργία και επικύρωση σεναρίου, επιλογή adaptive agentic ή fixed LLM και, όπου επιτρέπεται, σταθερής στάσης ανά ρόλο, εκκίνηση, παρακολούθηση, ακύρωση και σύγκριση συνεδριών.	Αναπαραγωγή εκτέλεση της δηλωμένης πολιτικής χωρίς παρέμβαση στον διάλογο των πρακτόρων.
Scenario Agent (προαιρετικός)	Κατηγορία προϊόντος, τύπος σεναρίου και απαιτήσεις που δηλώνει ο χρήστης.	Παραγωγή υποψήφιας διαμόρφωσης για έλεγχο από το σύστημα.	Συνεπής πρόταση που περνά τον ντετερμινιστικό έλεγχο διαμόρφωσης.
Πράκτορας Αγοραστή	Ανώτατα όρια, ιδανικοί όροι, βάρη, deadline, discount και risk attitude.	Επιχείρημα, πλήρης προσφορά, αντιπρόταση, ακριβής αποδοχή ή αποχώρηση.	Ατομικά ορθολογική συμφωνία με υψηλή χρησιμότητα αγοραστή.
Πράκτορας Πωλητή	Κατώτατη τιμή, όρια παράδοσης/εγγύησης, βάρη, deadline, discount και risk attitude.	Αρχική προσφορά, αντιπροσφορά, αξιολόγηση υποψηφίων και αποδοχή.	Κερδοφόρα, εκτελέσιμη συμφωνία και έγκυρη κατανομή όταν υπάρχει αγορά.
Πράκτορας 3PL	Ελάχιστη/ιδανική αμοιβή, δυνατότητα παράδοσης, απόθεμα, βάρη και όριο ευθύνης.	Πρόταση ή αποδοχή της έκδοσης πακέτου για τους όρους που του ανήκουν.	Βιώσιμη υπηρεσία fulfillment μέσα στα δικά του όρια.
Ντετερμινιστικός συντονιστής	Επικυρωμένη κατάσταση, κανόνες πρωτοκόλλου, inventory και δημόσια τεκμήρια.	Parsing, validation, state transition, ranking, allocation, commit/release και καταγραφή.	Τήρηση invariants και μηδενική μη εξουσιοδοτημένη δέσμευση.
Συμβαλλόμενοι και Contract Mediator	Αποδεκτή συμφωνία, δημόσιες προτάσεις ρητρών, draft ID/version/fingerprint.	Πρόταση, σύνθεση, approve/counter/reject, εκτέλεση, claim και επιλογή επιτρεπτής remedy.	Ομόφωνη ενεργοποίηση μίας ακριβούς έκδοσης και ελέγξιμη διαχείριση διαφορών.

Πηγή: Ιδία επεξεργασία βάσει της υλοποίησης του NegotAI.

Οι κύριες περιπτώσεις χρήσης σχηματίζουν μια συνεχή αλλά αυστηρά διαχωρισμένη ακολουθία. Αρχικά ο χρήστης δημιουργεί ή εισάγει ένα σενάριο και λαμβάνει αναφορά εγκυρότητας. Για μια seller-fulfilled διμερή διαπραγμάτευση επιλέγει επίσης πολιτική στρατηγικής και, όταν επιλέξει fixed LLM, τη σταθερή στάση κάθε ρόλου. Στη συνέχεια εκκινεί τη συνεδρία, η οποία εκτελείται χωρίς χειροκίνητη παρέμβαση στον διάλογο. Κατά την εκτέλεση παρακολουθεί μόνο την επιτρεπτή δημόσια ροή και την

κατάσταση της εργασίας. Μετά την ολοκλήρωση μπορεί να εξετάσει το κανονικό transcript, την καταγεγραμμένη πολιτική, τις μετρικές και, εφόσον το επιλέξει ρητά για ερευνητικούς σκοπούς, τα ιδιωτικά μεταδεδομένα στρατηγικής. Αν έχει ενεργοποιηθεί η διαχείριση συμβάσεων, η ροή συνεχίζεται σε ξεχωριστές καταστάσεις σχηματισμού, εκτέλεσης και επίλυσης διαφοράς, χωρίς να αλλοιώνεται εκ των υστέρων το αποτέλεσμα της διαπραγμάτευσης.

3.3 Λειτουργικές και μη λειτουργικές απαιτήσεις

Οι απαιτήσεις του πλαισίου προέκυψαν από το ερευνητικό ερώτημα, τις ιδιότητες των επιλεγμένων πρωτοκόλλων και την ανάγκη παραγωγής αξιόπιστων πειραματικών δεδομένων. Διακρίνονται σε λειτουργικές απαιτήσεις, οι οποίες περιγράφουν τι πρέπει να εκτελεί το σύστημα, και σε μη λειτουργικές απαιτήσεις, οι οποίες καθορίζουν τις ιδιότητες ποιότητας της εκτέλεσης. Για κάθε απαίτηση ορίζεται παρατηρήσιμο κριτήριο αποδοχής, ώστε να μπορεί να συνδεθεί με ελέγχους λογισμικού, audit events ή πεδία του τελικού transcript. Στις απαιτήσεις περιλαμβάνεται πλέον και η ρητή επιλογή, επικύρωση, επιβολή και καταγραφή της πολιτικής στρατηγικής.

Πίνακας 3.2: Βασικές λειτουργικές και μη λειτουργικές απαιτήσεις

ID	Απαίτηση	Παρατηρήσιμο κριτήριο αποδοχής
FR-01	Δημιουργία και επικύρωση πλήρους διαμόρφωσης σεναρίου, συμπεριλαμβανομένων της πολιτικής στρατηγικής, των βαρών χρησιμότητας και της προαιρετικής χρονικής προεξόφλησης, πριν από την εκτέλεση.	Άγνωστες πολιτικές ή στάσεις, βάρη που δεν αθροίζουν σε 1,00, συντελεστές εκτός [0, 1] και ασύμβατοι συνδυασμοί fixed LLM με multi-party ή 3PL ροή απορρίπτονται πριν από την ουρά.
FR-02	Κάθε δεσμευτική διαπραγματευτική ενέργεια περιλαμβάνει πλήρη προσφορά με τιμή, παράδοση και εγγύηση/υποστήριξη.	Προσφορά χωρίς ένα από τα τρία ζητήματα ή με μη αναγνωρίσιμη δομή δεν δημοσιεύεται ως έγκυρη.
FR-03	Συμφωνία μόνο με ακριβή ταύτιση όλων των ζητημάτων και ικανοποίηση των ορίων κράτησης.	Η εγγύτητα καταγράφεται μόνο ως σύγκλιση· το binding_commitment παραμένει false όταν οι όροι διαφέρουν ή παραβιάζουν όρια.
FR-04	Υποστήριξη διακριτών bilateral, multi-seller, multi-buyer και 1:1:1 third-party fulfillment πρωτοκόλλων.	Κάθε mode διαθέτει επιτρεπτές μεταβάσεις, δικό του αποτέλεσμα και σαφείς τερματικές καταστάσεις.
FR-05	Απομόνωση συνομιλιών και εφαρμογή της δηλωμένης ορατότητας σε αγορές πολλών συμμετεχόντων.	Δεν διαρρέουν ταυτότητες, ακριβείς προσφορές ή ιδιωτικά προφίλ πέρα από το επιτρεπτό market context της συνθήκης.
FR-06	Κατανομή ενός μόνο τεμαχίου σε ανταγωνιστική multi-buyer αγορά και επιλογή το πολύ ενός πωλητή σε multi-seller αγορά.	Δημιουργούνται μηδέν ή μία δεσμεύσεις και όλοι οι μη επιλεγμένοι υποψήφιοι απελευθερώνονται χωρίς contract formation.
FR-07	Ενεργοποίηση σύμβασης μόνο μετά από ανεξάρτητη εξέταση και ομόφωνη έγκριση της ίδιας αμετάβλητης έκδοσης.	Stale, διπλή ή μη υποστηριζόμενη έγκριση δεν ενεργοποιεί σύμβαση και κάθε counter ακυρώνει προηγούμενες approvals.
FR-08	Διακριτή καταγραφή negotiation outcome, allocation status και transaction outcome.	Μεταγενέστερη απόρριψη σύμβασης ή διαφορά δεν αντικαθιστά το αρχικό αποτέλεσμα διαπραγμάτευσης.
NFR-01	Ιδιωτικότητα ρόλων και αρχή ελάχιστης δημόσιας πληροφορίας.	Private contexts και private decisions απουσιάζουν από το ιστορικό του αντιπάλου και από τις κανονικές API/SSE απαντήσεις.

ID	Απαίτηση	Παρατηρήσιμο κριτήριο αποδοχής
NFR-02	Ανθεκτικότητα σε provider, μορφολογικά και σημασιολογικά σφάλματα.	Επιτρέπεται μία ιδιωτική προσπάθεια διόρθωσης όπου ορίζει το πρωτόκολλο· δεύτερη αστοχία οδηγεί σε ασφαλές outcome και audit, όχι σε τεχνητή ενέργεια.
NFR-03	Ιχνηλασιμότητα και αναπαραγωγιμότητα της πειραματικής εκτέλεσης και της πολιτικής στρατηγικής.	Αποθηκεύονται policy, fixed modes ανά ρόλο, config, seed/provenance, versioned transcript, validation audit, requests, latency και provider-reported usage.
NFR-04	Διαδραστική και ανθεκτική εκτέλεση μακρόχρονων συνεδριών.	FIFO ουρά, απομονωμένο worker, ζωντανά SSE events, ακύρωση και σαφής interrupted κατάσταση μετά από επανεκκίνηση.
NFR-05	Αρθρωτή επέκταση χωρίς μεταβολή των βασικών invariants.	Νέοι ρόλοι, issue profiles ή πειραματικοί μηχανισμοί επαναχρησιμοποιούν κοινά interfaces parsing, evaluation, transcripts και request tracking.

Πηγή: Ιδία επεξεργασία βάσει των πρωτοκόλλων και των ελέγχων του συστήματος.

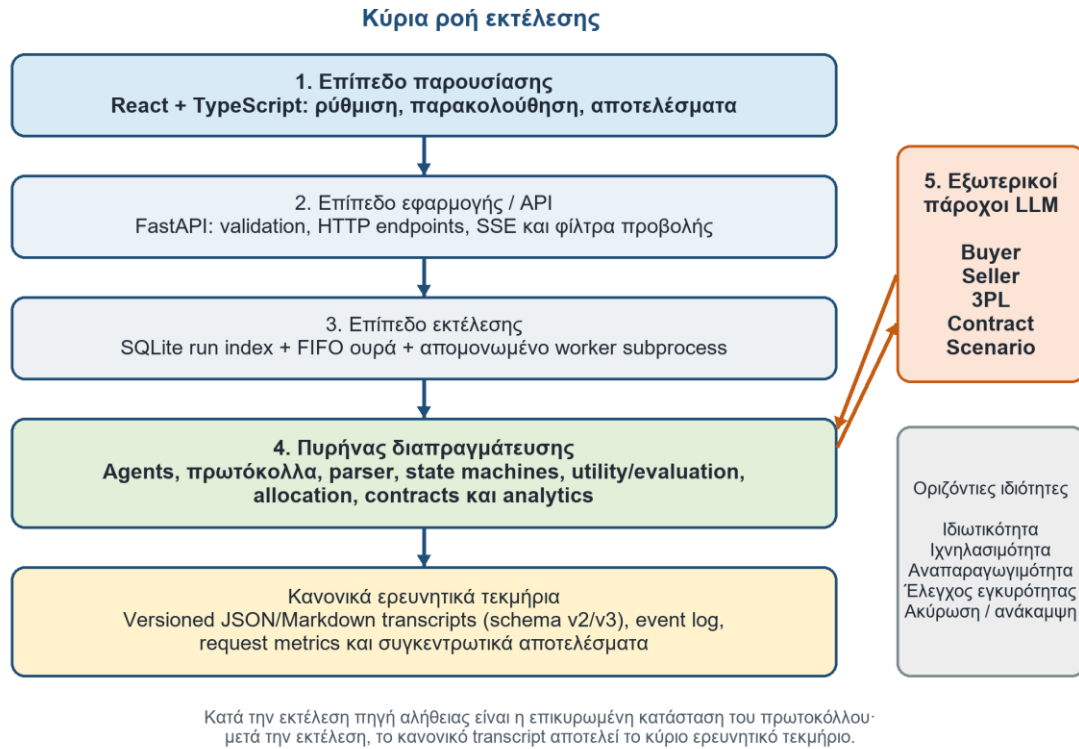
Η απαίτηση FR-03 αποτελεί κεντρική διαφοροποίηση του πλαισίου. Ο υπολογισμός σύγκλισης είναι χρήσιμος ως αναλυτική ένδειξη της απόστασης μεταξύ δύο προσφορών, δεν αποτελεί όμως απόδειξη συμφωνίας. Δεσμευτικό αποτέλεσμα προκύπτει μόνο όταν οι δύο δημόσιες πλήρεις προσφορές περιέχουν ακριβώς τις ίδιες τιμές και η κοινή προσφορά βρίσκεται ταυτόχρονα μέσα στα όρια όλων των εμπλεκόμενων μερών. Έτσι αποφεύγεται το σφάλμα κατά το οποίο ένα υψηλό similarity score μετατρέπεται σε συμφωνία που κανένας πράκτορας δεν διατύπωσε πραγματικά.

Οι απαιτήσεις FR-04 έως FR-06 επεκτείνουν την ίδια αρχή στις αγορές. Μια ακριβής αντιστοίχιση όρων μέσα σε επιμέρους νήμα δεν αρκεί πάντοτε για δέσμευση, επειδή μπορεί να αποτελεί μόνο provisional candidate. Η τελική ισχύς εξαρτάται από τη φάση του πρωτοκόλλου, την επιλεξιμότητα του υποψηφίου, τον δηλωμένο κανόνα κατάταξης και τη διαθέσιμη χωρητικότητα αποθέματος. Η κατάσταση κατανομής διατηρείται ανεξάρτητα από τη γλωσσική συνομιλία, ώστε να αποκλείονται η διπλή πώληση και η ενεργοποίηση σύμβασης για μη επιλεγμένο υποψήφιο.

Αντίστοιχα, η FR-07 επιβάλλει δεύτερο όριο ανάμεσα στη συμφωνία και στη σύμβαση. Η επιτυχής διαπραγμάτευση δημιουργεί μόνο prepared contract package. Οι συμβαλλόμενοι εξετάζουν το ίδιο draft identifier, version και fingerprint, ενώ οποιαδήποτε αντιπρόταση παράγει νέα έκδοση και ακυρώνει τις εγκρίσεις της προηγούμενης. Με τον τρόπο αυτό η φυσική γλώσσα χρησιμοποιείται για την ερμηνεία και αιτιολόγηση των ρητρών, αλλά η ενεργοποίηση εξακολουθεί να εξαρτάται από ακριβή, ελέγξιμη ομοφωνία.

3.4 Συνολική αρχιτεκτονική

Η συνολική αρχιτεκτονική ακολουθεί πολυεπίπεδη διάρθρωση, ώστε η διεπαφή, η εκτέλεση, η διαπραγματευτική λογική και οι εξωτερικοί πάροχοι να μπορούν να εξελίσσονται χωρίς να μεταβάλλεται η σημασιολογία των αποτελεσμάτων. Όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.1, η κύρια ροή περιλαμβάνει πέντε λειτουργικά επίπεδα και ένα οριζόντιο σύνολο μηχανισμών ιδιωτικότητας, παρατηρησιμότητας και αναπαραγωγιμότητας.



Σχήμα 3.1: Λογική αρχιτεκτονική του πλαισίου NegotAI

Το επίπεδο παρουσίασης υλοποιεί την αλληλεπίδραση του ερευνητή με την πλατφόρμα. Παρέχει οθόνες δημιουργίας σεναρίου, επεξεργασίας προφίλ, επιλογής πολιτικής στρατηγικής στη συμβατή διμερή ροή, ζωντανής παρακολούθησης, ιστορικού, αποτελεσμάτων και συγκεντρωτικών αναλύσεων. Όταν ενεργοποιείται το fixed LLM, η διεπαφή εμφανίζει χωριστή επιλογή προκαθορισμένης στρατηγικής για Buyer και Seller. Η διεπαφή δεν αποφασίζει εάν μια προσφορά είναι έγκυρη ούτε υπολογίζει το δεσμευτικό αποτέλεσμα. Καταναλώνει τυποποιημένες αναπαραστάσεις που παράγονται από το backend, περιορίζοντας έτσι τον κίνδυνο διαφορετικής ερμηνείας του ίδιου transcript από διαφορετικές οθόνες.

Το επίπεδο εφαρμογής εκτίθεται μέσω FastAPI και λειτουργεί ως προσαρμογέας ανάμεσα στη διαδικτυακή διεπαφή και στον υπάρχοντα πυρήνα Python. Πριν από την εκκίνηση μιας εργασίας επικυρώνει τη διαμόρφωση, την πολιτική στρατηγικής, τις επιλεγμένες στάσεις ανά ρόλο, τα βάρη χρησιμότητας, την επιλογή χρονικής προεξόφλησης και τους συντελεστές των ενεργών ρόλων, καθώς και τον συνδυασμό τοπολογίας και fulfillment, ενώ ελέγχει εάν έχουν ρυθμιστεί οι απαραίτητοι πάροχοι. Η πολιτική fixed LLM γίνεται δεκτή μόνο για απλή seller-fulfilled διμερή διαπραγμάτευση· οι ανταγωνιστικές αγορές και η τριμερής ροή διατηρούν τα ειδικά προσαρμοζόμενα πρωτόκολλά τους. Το επίπεδο παρέχει endpoints για δημιουργία, ανάκτηση, ακύρωση και ανάλυση συνεδριών, ενώ η ζωντανή ροή γεγονότων μεταδίδεται με Server-Sent Events. Οι κανονικές αποκρίσεις περνούν από φίλτρο δημόσιας προβολής· τα ιδιωτικά στρατηγικά μεταδεδομένα επιστρέφονται μόνο όταν ζητηθεί ρητά η research view.

Το επίπεδο εκτέλεσης διαχειρίζεται τις συνεδρίες ως μακρόχρονες εργασίες. Η SQLite χρησιμοποιείται ως ευρετήριο και αποθήκη κατάστασης της ουράς, όχι ως το κανονικό ερευνητικό αρχείο. Οι εργασίες εξυπηρετούνται με σειρά FIFO και εκτελείται μία ενεργή συνεδρία κάθε φορά, επιλογή που διατηρεί συνεπή την παρακολούθηση κλήσεων και ορίων παρόχων. Κάθε συνεδρία ξεκινά

σε ξεχωριστό subprocess και δικό της directory, ώστε η ακύρωση ή η αποτυχία μιας εργασίας να μην αλλοιώνει τα τεκμήρια άλλης. Σε επανεκκίνηση του server, μια προηγουμένως ενεργή εργασία σημειώνεται ως interrupted και τα ήδη παραχθέντα logs παραμένουν διαθέσιμα για audit.

Ο πυρήνας του πεδίου συγκεντρώνει τη λογική που καθορίζει το νόημα μιας συνεδρίας. Σε αυτόν ανήκουν οι role-specific agents, η επιλογή και επιβολή της πολιτικής στρατηγικής, ο parser των δομημένων προσφορών, οι συναρτήσεις επικύρωσης, τα μοντέλα χρησιμότητας, οι state machines των αγορών, οι κανόνες allocation, η τριμερής λογιστική, το inventory και ο κύκλος ζωής ηλεκτρονικών συμβάσεων. Στο fixed LLM ο ίδιος parser που επικυρώνει τη μορφή της απόκρισης απορρίπτει και κάθε STRATEGY_MODE που διαφέρει από την προκαθορισμένη τιμή του αντίστοιχου ρόλου. Οι μηχανισμοί αυτοί είναι ανεξάρτητοι από τη διαδικτυακή διεπαφή και μπορούν να κληθούν τόσο από το web worker όσο και από πειραματικούς runners. Αυτή η κοινή πηγή επιχειρησιακής λογικής αποτρέπει τη δημιουργία διαφορετικών κανόνων για τη διαδραστική και τη μαζική εκτέλεση.

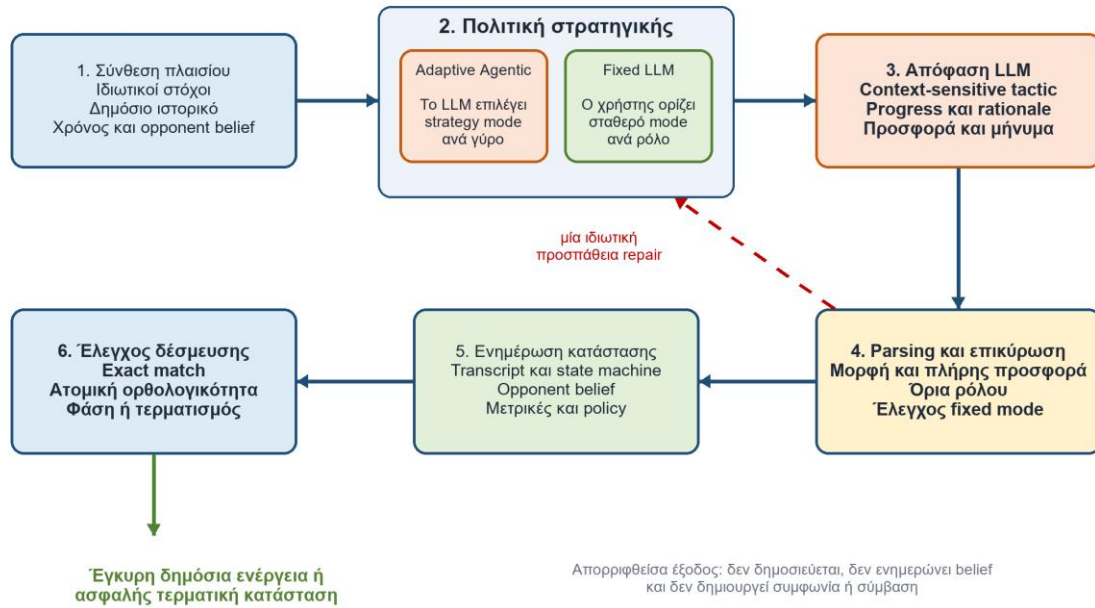
Το πέμπτο επίπεδο περιλαμβάνει τους εξωτερικούς παρόχους μεγάλων γλωσσικών μοντέλων. Οι Buyer, Seller, Fulfillment, Contract και Scenario ρόλοι διαθέτουν ξεχωριστές ρυθμίσεις μοντέλου και παρακολουθήση αιτημάτων. Ο πάροχος λαμβάνει μόνο το πλαίσιο που αντιστοιχεί στον συγκεκριμένο ρόλο και επιστρέφει υποψήφια απόφαση. Δεν έχει άμεση πρόσβαση στη βάση εργασιών, στο inventory ή στη δυνατότητα μεταβολής της κανονικής κατάστασης. Η αποτυχία μιας κλήσης μετατρέπεται σε ρητό τεχνικό αποτέλεσμα και δεν συγχέεται με στρατηγική αποχώρηση.

Οριζόντια προς τα παραπάνω επίπεδα λειτουργεί η παρατηρησιμότητα. Για κάθε συνεδρία καταγράφονται η τελική διαμόρφωση, συμπεριλαμβανομένων των ενεργών βαρών και της κατάστασης και των συντελεστών χρονικής προεξόφλησης, η πολιτική στρατηγικής και οι προκαθορισμένες στάσεις όπου υπάρχουν, τα δημόσια μηνύματα, οι επικυρωμένες προσφορές, οι ιδιωτικές αποφάσεις όταν απαιτούνται για ερευνητική αξιολόγηση, τα audit events, οι κλήσεις παρόχων και οι μετρικές. Οι seller-fulfilled ροές αποτυπώνονται σε schema v2, ενώ οι τριμερείς ροές και τα linked contracts σε schema v3. Παράγεται τόσο JSON για μηχανική ανάλυση όσο και Markdown για ανθρώπινη επιθεώρηση. Τα transcripts αυτά αποτελούν το κύριο μεταγενέστερο ερευνητικό τεκμήριο, ενώ το SQLite index μπορεί να ανακατασκευαστεί χωρίς να ξαναγράφει το αρχείο των συνεδριών.

Η διαδρομή μιας εργασίας είναι συνεπώς μονόδρομη ως προς τη δέσμευση: ο χρήστης υποβάλλει διαμόρφωση, το API την επικυρώνει, η ουρά δημιουργεί worker και ο worker καλεί τον κοινό πυρήνα. Οι πράκτορες προτείνουν ενέργειες, αλλά μόνο ο πυρήνας μπορεί να τις μετατρέψει σε επικυρωμένη κατάσταση. Κατά την εκτέλεση πηγή αλήθειας είναι το versioned state του πρωτοκόλλου και όχι το κείμενο που ισχυρίζεται ένα LLM. Η αρχή αυτή επιτρέπει στο σύστημα να αξιοποιεί την εκφραστικότητα της φυσικής γλώσσας χωρίς να εκχωρεί στο μοντέλο τον έλεγχο της συμφωνίας, της κατανομής ή της σύμβασης.

3.5 Υβριδική αρχιτεκτονική απόφασης πράκτορα

Η υβριδική αρχιτεκτονική απόφασης αποτελεί τον βασικό μηχανισμό με τον οποίο συνδυάζεται η agentic συμπεριφορά με την ελεγχόμενη εκτέλεση. Ένας αποκλειστικά rule-based πράκτορας θα παρήγαγε προβλέψιμες αλλά περιορισμένες αντιδράσεις, ενώ ένας μη ελεγχόμενος LLM πράκτορας θα μπορούσε να παράγει πειστικό κείμενο που παραβιάζει ιδιωτικά όρια, παραλείπει απαραίτητους όρους, μεταβάλλει μη επιτρεπτά την πειραματική στρατηγική ή δηλώνει ανύπαρκτη συμφωνία. Το NegotAI διαχωρίζει ρητά την παραγωγή πρόθεσης από την αποδοχή μιας ενέργειας και παρεμβάλλει πριν από κάθε κλήση LLM την επιλεγμένη πολιτική στρατηγικής. Ο πλήρης κύκλος παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.2.



Το fixed LLM παγώνει μόνο τη στρατηγική στάση·
η tactic, η προσφορά, το επιχείρημα και η διατύπωση παραμένουν αποφάσεις του LLM.

Σχήμα 3.2: Υβριδικός κύκλος λήψης απόφασης και ελέγχου ενέργειας πράκτορα

Πηγή: Ιδία επεξεργασία.

Στο πρώτο στάδιο συντίθεται το πλαίσιο του συγκεκριμένου ρόλου. Περιλαμβάνει τους ιδιωτικούς στόχους και περιορισμούς, το δημόσιο ιστορικό της αντίστοιχης συνομιλίας, την τελευταία επικυρωμένη προσφορά του ίδιου πράκτορα, πρόσφατες ιδιωτικές αποφάσεις του ίδιου ρόλου και την πληροφορία χρόνου που επιτρέπεται από την πειραματική συνθήκη. Όταν υπάρχει μοντέλο αντιπάλου, προστίθεται μόνο σύνοψη που έχει εξαχθεί από επικυρωμένες δημόσιες παρατηρήσεις. Στις αγορές με πολλούς συμμετέχοντες εφαρμόζεται επιπλέον το επιτρεπόμενο market context, χωρίς μεταφορά ολόκληρου του history ενός υποψηφίου σε άλλον.

Στο δεύτερο στάδιο εφαρμόζεται η πολιτική στρατηγικής. Στην προεπιλεγμένη adaptive agentic πολιτική το LLM επιλέγει ιδιωτικά σε κάθε γύρο μία από τις στάσεις aggressive, balanced, collaborative, concessionary ή exit-oriented. Στην fixed LLM πολιτική ο χρήστης έχει ορίσει πριν από την εκκίνηση ανεξάρτητη στάση για Buyer και Seller από τις aggressive, balanced, collaborative και concessionary, και η ίδια τιμή ενσωματώνεται υποχρεωτικά σε κάθε prompt του ρόλου. Η fixed επιλογή αφορά μόνο απλή seller-fulfilled διμερή διαπραγμάτευση. Δεν μετατρέπει τον πράκτορα σε rule-based μηχανισμό: το LLM εξακολουθεί σε κάθε γύρο να επιλέγει tactic, να αξιολογεί το progress και να παράγει προσφορά, επιχείρημα και δημόσια διατύπωση που υλοποιούν την προκαθορισμένη στάση.

Η έξοδος του LLM εξακολουθεί να χωρίζεται σε ιδιωτικό τμήμα και δημόσιο μήνυμα. Το ιδιωτικό τμήμα περιλαμβάνει strategy mode, συγκεκριμένη tactic, εκτίμηση progress και σύντομη αιτιολόγηση, ενώ το δημόσιο τμήμα περιέχει το επιτρεπτό επιχείρημα και, εκτός από την αποχώρηση, πλήρη δομημένη προσφορά. Κατά το parsing ελέγχονται τα υποχρεωτικά delimiters, οι επιτρεπτές τιμές, η συμβατότητα της tactic με την ύπαρξη OFFER block και, όταν ισχύει fixed LLM, η ακριβής ισότητα του δηλωμένου STRATEGY_MODE με την προκαθορισμένη στάση του ρόλου. Διαφορετική στάση απορρίπτεται ως παραβίαση της πειραματικής συνθήκης. Στη συνέχεια ο validator εξετάζει την

πληρότητα της προσφοράς, τα *hard limits* του ενεργούντος ρόλου και τους κανόνες της τρέχουσας φάσης. Η *live* ροή δεν διορθώνει καμία παραβίαση αυτόματα και χωρίς ρητή καταγραφή: η απόκριση είτε γίνεται δεκτή ακριβώς όπως διατυπώθηκε είτε απορρίπτεται χωρίς δημόσιο ή δεσμευτικό αποτέλεσμα.

Για ορισμένες ανακτήσιμες αστοχίες επιτρέπεται μία ιδιωτική προσπάθεια *repair*. Ο πράκτορας λαμβάνει ντετερμινιστική αναφορά μόνο για τη δική του παράβαση και καλείται να παράγει πλήρη νέα απόφαση. Η απορριφθείσα απόκριση δεν προστίθεται στο *durable conversation history* και δεν εμφανίζεται ως μήνυμα του αντιπάλου. Αν αποτύχει και η δεύτερη προσπάθεια, το πρωτόκολλο καταγράφει *agent* ή *provider failure* και μεταβαίνει σε ασφαλή τερματική κατάσταση. Δεν δημιουργείται συνθετική προσφορά, αποδοχή, *claim* ή *fallback* που θα μπορούσε να εκληφθεί ως αυτόνομη επιλογή του πράκτορα.

Μόνο μετά την επιτυχή επικύρωση ενημερώνονται η *state machine*, το δημόσιο *transcript* και οι μετρικές παραχώρησης. Η ίδια αρχή εφαρμόζεται στο *opponent belief*. Το μοντέλο πεποίθησης αποθηκεύει παρατηρημένα εύρη προσφορών, εκτιμώμενη κατάταξη προτεραιοτήτων, τάση παραχωρήσεων, θεματικές ενδείξεις από τα επιχειρήματα και βαθμό εμπιστοσύνης. Οι εκτιμήσεις χαρακτηρίζονται ρητά ως αβέβαιες και προκύπτουν μόνο από δημόσια συμπεριφορά. Οι πραγματικές ιδιωτικές παράμετροι χρησιμοποιούνται αποκλειστικά εκ των υστέρων από τον *evaluator* για να μετρηθεί η ακρίβεια της εκτίμησης και δεν επιστρέφουν στον διαπραγματευόμενο πράκτορα.

Στο τελευταίο στάδιο ο συντονιστής ελέγχει εάν συντρέχουν οι προϋποθέσεις μετάβασης. Στη διμερή ροή απαιτείται πλήρης και ακριβής ταύτιση των τριών ζητημάτων, καθώς και ατομική ορθολογικότητα. Στις αγορές η ίδια προσφορά μπορεί να παραμείνει *provisional* έως τη *shortlist*, το *final bid* και την εφαρμογή του κανόνα *allocation*. Στην τριμερή ροή απαιτείται αποδοχή του ίδιου *package ID* και *version* από όλους τους ρόλους και επανέλεγχος του *inventory hold*. Τέλος, στη συμβατική ροή απαιτείται ομόφωνη έγκριση του ίδιου *immutable draft*. Επομένως, η έννοια της δέσμευσης δεν εξαρτάται από μία φράση όπως «συμφωνώ», αλλά από την τρέχουσα κατάσταση και από επαληθεύσιμα, ακριβή δεδομένα.

Ο υβριδικός αυτός κύκλος επιτρέπει δύο διαφορετικές αλλά συγκρίσιμες μορφές *agent* συμπεριφοράς. Στην *adaptive agent* πολιτική μπορεί να μεταβάλλεται τόσο η στρατηγική στάση όσο και η συγκεκριμένη τακτική από γύρο σε γύρο. Στην *fixed LLM* πολιτική παραμένει αμετάβλητη μόνο η υψηλού επιπέδου στάση, ενώ το LLM διατηρεί την ελευθερία να επιλέγει *context-sensitive tactic*, προσφορά, *trade-off*, παραχώρηση, επιχείρημα ή αποχώρηση. Το ντετερμινιστικό επίπεδο διασφαλίζει και στις δύο περιπτώσεις ότι κάθε καταγεγραμμένο αποτέλεσμα αντιστοιχεί σε ενέργεια που πράγματι διατυπώθηκε, ήταν συμβατή με την επιλεγμένη πολιτική και επιτρεπόταν από το πρωτόκολλο. Οι επόμενες ενότητες εξειδικεύουν τον ίδιο μηχανισμό στις υποστηριζόμενες ροές διαπραγμάτευσης και στη μεταγενέστερη διαχείριση συμβάσεων.

3.6 Πρωτόκολλα διαπραγμάτευσης

Το επίπεδο πρωτοκόλλου προσδιορίζει πότε μια έγκυρη ενέργεια πράκτορα αποκτά νόημα μέσα στη συνολική συνεδρία. Ο ίδιος μηχανισμός παραγωγής και επικύρωσης προσφοράς χρησιμοποιείται σε περισσότερες από μία ροές, όμως η έννοια της δέσμευσης μεταβάλλεται ανάλογα με το περιβάλλον: στη διμερή ροή αρκεί η ακριβής ταύτιση των τελευταίων προσφορών, στις αγορές η συμφωνία ενός υποψηφίου παραμένει προσωρινή μέχρι την κατανομή, ενώ στην τριμερή ροή απαιτείται ομόφωνη αποδοχή της ίδιας έκδοσης ενός σύνθετου εμπορικού πακέτου. Για τον λόγο αυτό η υλοποίηση διαχωρίζει τους *agents* από τον συντονιστή, τις *state machines* και τους ελέγχους μετάβασης.

Οι τέσσερις υποστηριζόμενες ροές ακολουθούν κοινές αρχές: μόνο επικυρωμένες δημόσιες ενέργειες ενημερώνουν την κατάσταση, τα ιδιωτικά histories κάθε ρόλου παραμένουν απομονωμένα, οι αριθμοί γύρων και εκδόσεων αυξάνονται μονοτονικά και κάθε αποχώρηση ή αστοχία οδηγεί σε ρητή τερματική κατάσταση. Η adaptive agentic πολιτική χρησιμοποιείται σε όλες τις ροές. Η fixed LLM πολιτική εφαρμόζεται μόνο στην απλή seller-fulfilled διμερή διαπραγμάτευση, επειδή οι πολυμερείς αγορές και η ροή 3PL εισάγουν πρόσθετες φάσεις, ρόλους και κανόνες κατανομής που αποτελούν διαφορετικές πειραματικές συνθήκες.

3.6.1 Διμερής εναλλαγή προσφορών

Η διμερής εκτέλεση οργανώνεται ως πρωτόκολλο εναλλασσόμενων προσφορών. Ο Seller παράγει την αρχική προσφορά στον γύρο 0 και στη συνέχεια, για κάθε γύρο από 1 έως max_rounds, ενεργεί πρώτα ο Buyer και έπειτα ο Seller. Κάθε ρόλος διατηρεί το δικό του ιστορικό μηνυμάτων, την τελευταία δική του επικυρωμένη προσφορά και το ιδιωτικό ιστορικό αποφάσεων. Στον αντίπαλο μεταφέρεται αποκλειστικά το δημόσιο μήνυμα της προηγούμενης ενέργειας και όχι η στρατηγική στάση, η τακτική, η αιτιολόγηση ή τα ιδιωτικά όρια που οδήγησαν σε αυτή.

Μετά από κάθε απόκριση εφαρμόζονται διαδοχικά ο parser, ο σημασιολογικός validator και ο έλεγχος των ορίων του ενεργούντος ρόλου. Μια πλήρης προσφορά περιέχει τιμή, χρόνο παράδοσης και εγγύηση ή υποστήριξη σύμφωνα με το issue profile της κατηγορίας. Εφόσον η απόκριση είναι έγκυρη, ενημερώνονται το δημόσιο transcript, η προηγούμενη προσφορά του ρόλου, οι παραχωρήσεις και το opponent belief. Αν η απόκριση αποτύχει και μετά από την επιτρεπόμενη ιδιωτική προσπάθεια repair, η συνεδρία τερματίζεται με διακριτό αποτέλεσμα validation ή agent failure, χωρίς να κατασκευάζεται συνθετική αντιπροσφορά.

Η επίτευξη συμφωνίας ελέγχεται αμέσως μετά από κάθε έγκυρη προσφορά. Ο μηχανισμός check_agreement αγνοεί τις ανοχές εγγύτητας και απαιτεί απόλυτη ισότητα και στα τρία ζητήματα. Οι ανοχές τιμής, παράδοσης και εγγύησης χρησιμοποιούνται μόνο για τον διαγνωστικό δείκτη convergence, ώστε να μπορεί να μετρηθεί πόσο κοντά έφθασαν δύο διαφορετικές προσφορές χωρίς αυτές να χαρακτηρίζονται εσφαλμένα ως συμφωνία. Επιπλέον, ο evaluator επιβεβαιώνει ότι οι ταυτόσημοι όροι ικανοποιούν τα reservation constraints του Buyer και του Seller. Αν αποτύχει οποιοσδήποτε από τους ελέγχους, δεν καταγράφεται έγκυρη συμφωνία και οι χρησιμότητες παραμένουν μη διαθέσιμες.

Η ροή ολοκληρώνεται με agreement_reached, walk-away ενός ρόλου, εξάντληση του ανώτατου αριθμού γύρων ή ελεγχόμενη αστοχία πράκτορα ή παρόχου. Στην περίπτωση υπο-εκτέλεσης αγοράς το ίδιο αποτέλεσμα σημειώνεται ως provisional_agreement και δεν ενεργοποιεί από μόνο του σύμβαση. Μόνο η κανονική διμερής εκτέλεση ή ο τελικός νικητής μιας αγοράς μπορεί, όταν έχει ενεργοποιηθεί η σχετική επιλογή, να τροφοδοτήσει τον αυτόνομο κύκλο σχηματισμού σύμβασης που αναλύεται στην Ενότητα 3.7.

3.6.2 Πολλοί πωλητές και BAFO

Στη ροή πολλών πωλητών ο Buyer διαπραγματεύεται με ετερογενή σύνολα Seller profiles, τα οποία μπορούν να διαφέρουν ως προς reservation limits, ιδανικούς όρους, βάρη χρησιμότητας και περιγραφή συμπεριφοράς. Στη χειροκίνητη διαμόρφωση, ένας παραγόμενος πληθυσμός μπορεί να λάβει κοινή ρύθμιση βαρών για όλους τους Sellers, ενώ τα χειροκίνητα σχεδιασμένα profiles διατηρούν ανεξάρτητα βάρη ανά Seller. Η πρώτη φάση αποτελείται από ανεξάρτητες διμερείς συνεδρίες. Κάθε υπο-εκτέλεση διαθέτει ξεχωριστό config snapshot, histories, opponent belief και transcript, ώστε μια προσφορά ή ιδιωτική εκτίμηση για έναν Seller να μην μεταφερθεί ακούσια σε άλλον. Η ρύθμιση market visibility

καθορίζει μόνο αν ο Seller γνωρίζει ότι συμμετέχει σε ανταγωνιστική αγορά· δεν συγχωνεύει τις συνομιλίες.

Μετά την ολοκλήρωση της πρώτης φάσης διατηρούνται μόνο τα αποτελέσματα που τεκμηριώνουν ακριβή συμφωνία και ικανοποίηση των reservation constraints. Η κατάταξη γίνεται πρωτίστως με βάση τη χρησιμότητα του Buyer, έπειτα με βάση το social welfare και, σε περαιτέρω ισοβαθμία, προτιμάται η συμφωνία με λιγότερους γύρους. Οι κορυφαίοι έγκυροι υποψήφιοι, συνήθως δύο, προσκαλούνται στη φάση Best and Final Offer (BAFO). Οι υπόλοιποι σημειώνονται ως `eliminated_after_phase_1` και δεν μπορούν να αποκτήσουν δεσμευτική κατανομή.

Η BAFO δεν αποτελεί δεύτερη ελεύθερη διαπραγμάτευση. Ο Buyer διατυπώνει ένα αίτημα τελικών όρων έχοντας ως ελεγχόμενο market context το καλύτερο επαληθευμένο ανταγωνιστικό αποτέλεσμα, ο Seller απαντά με μία μη αναθεωρήσιμη τελική προσφορά και ο Buyer εκτελεί μία ρητή ενέργεια αποδοχής ή απόρριψης. Για να είναι έγκυρη η αποδοχή, η προσφορά του Buyer πρέπει να επαναλαμβάνει ακριβώς τους τρεις όρους του Seller. Η τελική προσφορά είναι επιλέξιμη μόνο αν είναι έγκυρη, ατομικά ορθολογική και δεν μειώνει τη χρησιμότητα του Buyer σε σχέση με τη συμφωνία της πρώτης φάσης. Διαφορετικά αποκαθίσταται η ανεξάρτητη συμφωνία της Phase 1 αντί να θεωρηθεί ότι η BAFO την ακύρωσε χωρίς ρητή καταγραφή.

Ο τελικός νικητής επιλέγεται μεταξύ των έγκυρων και ρητά αποδεκτών συμφωνιών με τον ίδιο προδηλωμένο κανόνα κατάταξης. Η ανάλυση διατηρεί χωριστά τον νικητή της πρώτης φάσης και τον τελικό νικητή, επιτρέποντας να μετρηθούν η αλλαγή νικητή μετά τη BAFO, το πρόσθετο όφελος του Buyer έναντι της καλύτερης Phase 1 συμφωνίας, το όφελος της ύπαρξης πολλών Seller profiles και η εμφάνιση buyer-preference dominated προσφορών. Καταγράφεται επίσης αν ένα αίτημα του Buyer υπερέβαλε το πραγματικό επαληθευμένο benchmark και αν η υπερβολή συσχετίστηκε με βελτίωση των όρων από τον Seller, χωρίς να βαφτίζεται αυτόματα ως αιτιώδης επιτυχία.

3.6.3 Πολλοί αγοραστές και ανταγωνιστική κατανομή

Η αγορά πολλών αγοραστών αντιστρέφει το πρόβλημα κατανομής: ένας Seller διαθέτει ένα μοναδικό τεμάχιο και διαπραγματεύεται παράλληλα με πολλούς Buyer profiles. Στη χειροκίνητη διαμόρφωση, η κοινή ρύθμιση βαρών του παραγόμενου πληθυσμού εφαρμόζεται σε κάθε Buyer, ενώ τα χειροκίνητα σχεδιασμένα profiles μπορούν να έχουν ανεξάρτητα βάρη ανά υποψήφιο. Ο Seller δημοσιεύει μία κοινή αρχική προσφορά στον γύρο 0, η οποία αντιγράφεται σε κάθε απομονωμένο buyer thread. Οι επόμενοι γύροι εκτελούνται σε συγχρονισμένα batches. Όλοι οι ενεργοί Buyers αποφασίζουν βάσει του ίδιου ολοκληρωμένου snapshot του προηγούμενου γύρου και, στη συνέχεια, όλες οι απαντήσεις του Seller παράγονται αφού παγώσει το κοινό seller market context. Έτσι αποφεύγεται το sequential look-ahead, δηλαδή η αθέμιτη αξιοποίηση μιας απάντησης που δημιουργήθηκε νωρίτερα στο ίδιο batch.

Η πληροφορία ανταγωνισμού ελέγχεται από τέσσερις visibility modes. Στη blind συνθήκη δεν γνωστοποιούνται στοιχεία άλλων προσφορών. Η competition-aware εκδοχή δηλώνει την ύπαρξη ανταγωνισμού χωρίς να αποκαλύπτει συγκεκριμένους όρους, η rank-only επιστρέφει μόνο την επαληθευμένη προσωρινή θέση του υποψηφίου, ενώ η verified-benchmark μπορεί να παρουσιάσει ελεγμένο σημείο αναφοράς. Ανεξάρτητα από τη συνθήκη, οι Buyers δεν λαμβάνουν τα ιδιωτικά histories ή τις πραγματικές reservation τιμές των ανταγωνιστών. Το market context παράγεται αποκλειστικά από επικυρωμένες προσωρινές προσφορές.

Η MultiBuyerProtocolState υλοποιεί ρητή state machine με τις φάσεις `setup`, `phase_1_provisional`, `shortlist`, `final_bid`, `commitment` και `closed`. Μόνο μια πλήρης και έγκυρη προσωρινή συμφωνία μπορεί

να οδηγήσει έναν Buyer στη shortlist. Οι finalist σημαίες και τα phase outcomes αποθηκεύονται σε ξεχωριστό CandidateProtocolRecord, ενώ κάθε μετάβαση παράγει event με φάση και αριθμό γύρου. Με αυτόν τον τρόπο η σειρά των μεταβάσεων αποτελεί ελέγξιμο invariant και όχι σύμβαση που στηρίζεται σε λεκτικές ενδείξεις των LLMs.

Όταν υπάρχουν τουλάχιστον δύο finalists, καθένας υποβάλλει μία μη αναθεωρήσιμη τελική προσφορά. Η κατανομή εφαρμόζει έναν κανόνα που έχει επιλεγεί πριν από την εκτέλεση: seller utility, social welfare ή max-min utility. Ως διαδοχικά κριτήρια ισοβαθμίας χρησιμοποιούνται το social welfare, η ελάχιστη χρησιμότητα των δύο μερών και οι λιγότεροι γύροι, ενώ η πλήρης ισοβαθμία λύνεται με σταθερή seeded τιμή που εξαρτάται από το label του Buyer και όχι από τη σειρά επεξεργασίας. Αν υπάρχει ένας μόνο finalist, η τελική φάση δεν εκτελείται και η έγκυρη Phase 1 προσφορά του μπορεί να προχωρήσει απευθείας σε commitment.

Το πρωτόκολλο επιβάλλει inventory_capacity ίσο με ένα και απορρίπτει δεύτερη δεσμευτική κατανομή. Μόνο finalist μπορεί να σημειωθεί ως binding commitment και όλοι οι υπόλοιποι υποψήφιοι μεταβαίνουν σε released_without_commitment ή στην αντίστοιχη κατάσταση αποκλεισμού. Οι μετρικές διαχωρίζουν τις προσωρινές από τις δεσμευτικές συμφωνίες και υπολογίζουν χρησιμότητα Buyer και Seller, social welfare, mean utility, fairness, win-win, uplift της τελικής προσφοράς και allocation efficiency. Επομένως, το ποσοστό συμφωνίας δεν συγχέεται με τον αριθμό των ολοκληρωμένων συναλλαγών σε αγορά περιορισμένου αποθέματος.

3.6.4 Τριμερής διαπραγμάτευση με 3PL

Η τριμερής ροή μοντελοποιεί μία συναλλαγή στην οποία η εμπορική προσφορά και η υπηρεσία εκπλήρωσης αποτελούν ενιαίο versioned package. Το πακέτο περιλαμβάνει product_price, fulfillment_fee, seller_shipping_subsidy, delivery και warranty. Από αυτές τις πρωτογενείς τιμές παράγονται η χρέωση μεταφοράς του Buyer, το συνολικό πληρωτέο ποσό του, τα καθαρά έσοδα του Seller και τα έσοδα του 3PL. Οι σχέσεις του Πίνακα 3.3 ελέγχονται ντετερμινιστικά, ώστε η διαπραγμάτευση να μην μπορεί να δημιουργήσει ή να εξαφανίσει οικονομική αξία μέσω ασυνεπών επιμέρους πεδίων.

Η κυριότητα των όρων είναι role-based. Ο Seller μπορεί να αλλάζει άμεσα την τιμή προϊόντος, την επιδότηση μεταφοράς και την εγγύηση, ενώ ο Fulfillment Agent ελέγχει το fulfillment fee και την παράδοση. Ο Buyer δεν κατέχει πεδίο του πακέτου, αλλά μπορεί να ζητά αλλαγές από τους αρμόδιους ρόλους. Κάθε propose ή counter διαχωρίζει τις owned_changes από τις requested_changes και αναφέρεται σε συγκεκριμένο package_id και version. Ενέργεια πάνω σε παλαιά ή άγνωστη έκδοση, αλλαγή ξένου πεδίου ή accept που περιέχει μεταβολές απορρίπτεται πριν επηρεάσει την κοινή κατάσταση.

Πίνακας 3.3: Οικονομικές ταυτότητες της τριμερούς ροής

Οικονομική ταυτότητα 3PL	Ορισμός
Χρέωση μεταφοράς αγοραστή	$\text{fulfillment_fee} - \text{seller_shipping_subsidy}$
Συνολικό ποσό αγοραστή	$\text{product_price} + \text{buyer_shipping_charge}$
Καθαρό έσοδο πωλητή	$\text{product_price} - \text{seller_shipping_subsidy}$
Έσοδο 3PL	fulfillment_fee
Έλεγχος λογιστικής συνέπειας	$\text{buyer_total} = \text{seller_net} + \text{fulfillment_revenue}$

Σε κάθε γύρο οι τρεις πράκτορες λαμβάνουν το ίδιο αμετάβλητο snapshot. Οι αποκρίσεις τους επικυρώνονται σε σχέση με αυτή την έκδοση και ο συντονιστής δημιουργεί νέα έκδοση μόνο όταν εφαρμοστεί πραγματική αλλαγή. Η αποδοχή είναι έγκυρη μόνον όταν Buyer, Seller και Fulfillment Agent επιλέξουν accept για το ίδιο package_id και version, χωρίς ταυτόχρονες αλλαγές ή εκκρεμή αιτήματα. Μια απλή φράση συναίνεσης σε μήνυμα δεν αρκεί, ενώ αποδοχή προηγούμενης έκδοσης απορρίπτεται ως stale action.

Πριν από τη διαπραγμάτευση δεσμεύεται μία μονάδα αποθέματος με προσωρινό inventory hold. Ο έλεγχος package feasibility συνδυάζει μη αρνητικά ακέραια πεδία, ανώτατη επιδότηση, τη λογιστική ταυτότητα και τα reservation constraints και των τριών ρόλων. Μετά την ομόφωνη αποδοχή το hold επανελέγχεται ως προς την ύπαρξη και τη λήξη του. Αν η συνεδρία τερματιστεί, αποτύχει η συμβατική προετοιμασία ή λήξει το hold, το απόθεμα απελευθερώνεται. Η μετάβαση σε committed inventory γίνεται μόνο στο τελικό στάδιο.

Όταν είναι ενεργός ο κύκλος συμβάσεων, προετοιμάζονται συνδεδεμένα sale και SLA contracts πριν από το commit. Η ενεργοποίησή τους εκτελείται σε staged αντίγραφο, ακολουθεί η δέσμευση του αποθέματος και μόνο τότε δημοσιεύεται η ενεργή συμβατική κατάσταση. Οι τριμερείς μετρικές υπολογίζουν χωριστή χρησιμότητα για Buyer, Seller και 3PL, raw social welfare ως άθροισμα, mean utility ως αριθμητικό μέσο, fairness ως ένα μείον το εύρος των χρησιμότητων και win-win όταν και οι τρεις χρησιμότητες είναι τουλάχιστον 0,50. Έτσι η επιτυχία δεν ορίζεται μόνο από την ομοφωνία, αλλά και από τη μετρήσιμη ποιότητα και ισορροπία του αποδεκτού πακέτου.

3.7 Αρχιτεκτονική συμβάσεων και επίλυσης διαφορών

Η επίτευξη εμπορικής συμφωνίας και η δημιουργία ηλεκτρονικής σύμβασης αντιμετωπίζονται ως διαφορετικές φάσεις. Το contract lifecycle είναι προαιρετικό και εκκινεί μόνο όταν υπάρχουν πλήρεις, ταυτόσημοι και ατομικά ορθολογικοί τελικοί όροι. Στις αγορές χρησιμοποιείται αποκλειστικά το αποτέλεσμα του δεσμευτικού νικητή και όχι οι προσωρινές συμφωνίες των υπόλοιπων υποψηφίων. Η διάκριση αυτή αποτρέπει μια provisional αποδοχή ή μια υψηλή βαθμολογία κατάταξης από το να μετατραπεί αυτομάτως σε συμβατική υποχρέωση.

Στη φάση formation κατασκευάζεται πρώτα σύνολο δημόσιων τεκμηρίων από τους τελικούς όρους, το επικυρωμένο δημόσιο transcript, τα σταθερά στοιχεία του σεναρίου και τις σχετικές πολιτικές. Κάθε συμβαλλόμενος πράκτορας υποβάλλει ανεξάρτητη δομημένη πρόταση ρητρών μέσα στο επιτρεπόμενο clause scope του, αξιοποιώντας το δικό του ιδιωτικό role context. Οι προτάσεις ελέγχονται ώστε οι effective terms να παραμένουν συμβατοί με τη διαπραγματευμένη συμφωνία, οι αναφορές αποδεικτικών στοιχείων να υπάρχουν πραγματικά και ένας ρόλος να μη ρυθμίζει αυθαίρετα ρήτρα εκτός αρμοδιότητάς του.

Ο Contract Mediator λαμβάνει τις δημόσιες προτάσεις και δημιουργεί draft με μοναδικό draft_id, αυξανόμενη version και κρυπτογραφικό fingerprint του αμετάβλητου πυρήνα του. Το draft περιλαμβάνει δομημένες ρήτρες pricing, delivery και warranty, references στα τεκμήρια, σύνοψη των αποκλίσεων και δημόσια αιτιολόγηση. Ο validator δεν επιτρέπει στον mediator να επινοήσει μη υποστηριζόμενο όρο: κάθε ουσιώδης τιμή και policy reference πρέπει να προκύπτει από τη συμφωνία ή από δηλωμένο δημόσιο τεκμήριο. Επομένως, το LLM χρησιμοποιείται για σύνθεση και διαμεσολάβηση, όχι ως ανεξέλεγκτη πηγή συμβατικών δεδομένων.

Κάθε απαιτούμενος ρόλος αξιολογεί ακριβώς το ίδιο fingerprint και μπορεί να εγκρίνει, να προτείνει counter ή να απορρίψει το draft. Ομόφωνη APPROVE_CONTRACT ενεργοποιεί μία και

μόνο έκδοση· counter οδηγεί σε νέο κύκλο mediation μέχρι το καθορισμένο ανώτατο όριο, ενώ ρητή απόρριψη ή μη επίτευξη ομοφωνίας αφήνει την εμπορική συμφωνία χωρίς ενεργή σύμβαση. Προηγούμενες εγκρίσεις δεν επαναχρησιμοποιούνται μετά από μεταβολή. Έτσι αντιμετωπίζεται το κλασικό πρόβλημα stale approval και τεκμηριώνεται ποιος ενέκρινε ποια ακριβώς έκδοση.

Μετά την ενεργοποίηση ακολουθεί προαιρετική προσομοίωση performance. Ένα seeded λειτουργικό συμβάν περιγράφει κανονική εκτέλεση ή πίεση κόστους, παράδοσης, εγγύησης ή κατάστασης αποστολής. Ο υπεύθυνος agent επιλέγει μόνο μεταξύ ενεργειών που επιτρέπονται για το συγκεκριμένο συμβάν και πρέπει να αναφέρει το ισχύον contract ID, version και event ID. Ο deterministic evaluator παράγει observed performance και breach IDs. Διαφορά ανοίγει μόνο αν ο Buyer υποβάλει ρητό, evidence-backed claim για πραγματικά ανιχνευμένη απόκλιση· ο παρωχημένος config όρος conflict type δεν δημιουργεί τεχνητά σύγκρουση στην αυτόνομη ροή.

Η επίλυση της διαφοράς εκτελείται με ξεχωριστό πρωτόκολλο γύρων και αυστηρά τυποποιημένες ενέργειες. Οι δημόσιες θέσεις και προσφορές remedy διαχωρίζονται από τις ιδιωτικές αξιολογήσεις των ρόλων. Ο Seller μπορεί να προσφέρει μόνο remedy που ανήκει στον ντετερμινιστικά υπολογισμένο εφικτό κατάλογο, ενώ αποδοχή απαιτεί ακριβές remedy_id και συμβατή τρέχουσα κατάσταση. Μία αποδεκτή διόρθωση, έκπτωση, αναβάθμιση παράδοσης ή επέκταση εγγύησης δημιουργεί νέα contract version και ελέγχεται εκ νέου ως προς την πληρότητα. Εναλλακτικά, η ροή μπορεί να καταλήξει σε απόρριψη claim, ακύρωση ή escalation, χωρίς το σύστημα να δηλώνει συμφωνία που δεν εκφράστηκε από τους πράκτορες.

Στην τριμερή ροή η ίδια λογική εφαρμόζεται σε δύο συνδεδεμένα αντικείμενα: buyer-seller sale contract και seller-fulfillment SLA, τα οποία μοιράζονται transaction_id και αλληλοαναφέρονται. Η responsibility matrix αναθέτει την κυριότητα και τη δρομολόγηση υποχρεώσεων: η συμμόρφωση προϊόντος και η εγγύηση ανήκουν στη σύμβαση πώλησης, ενώ η φύλαξη αποθέματος, η παράδοση και η ζημία αποστολής συνδέονται με το SLA. Η προετοιμασία και των δύο προηγείται της δέσμευσης αποθέματος και η ενεργοποίηση δημοσιεύεται μόνο αν ολοκληρωθεί ολόκληρη η linked transaction, περιορίζοντας τον κίνδυνο μισής δέσμευσης.

Οι παραπάνω συμβάσεις αποτελούν ερευνητικά αντικείμενα προσομοίωσης και όχι νομικά δεσμευτικά έγγραφα πραγματικού εμπορίου. Η αξία της αρχιτεκτονικής είναι ότι μετατρέπει τη διαπραγματευτική έξοδο σε versioned, ελέγξιμη κατάσταση, διατηρώντας σαφή προέλευση όρων, εγκρίσεων, performance events, claims και remedies. Με αυτόν τον τρόπο η επίλυση συγκρούσεων αξιολογείται ως συνέχεια του ίδιου agentic συστήματος, αλλά παραμένει περιορισμένη από deterministic invariants και πλήρη audit trail.

3.8 Δεδομένα, ιδιωτικότητα και παρατηρησιμότητα

Η πλατφόρμα αντιμετωπίζει τα δεδομένα εκτέλεσης ως μέρος του πρωτοκόλλου και όχι ως δευτερεύον log. Για κάθε συνεδρία παράγεται ένα canonical JSON artifact, το οποίο αποτελεί την πηγή αλήθειας για την ανάλυση, και ένα συνοδευτικό Markdown report για ανθρώπινη επιθεώρηση. Το Markdown παρουσιάζει καθαρισμένα δημόσια μηνύματα, προσφορές, αποφάσεις, αποτελέσματα και βασικές μετρικές, ενώ διατηρεί στο JSON τα ακριβή parser payloads, τα validation audits και τα εσωτερικά objects που απαιτούνται για αναπαραγωγή ή μεταγενέστερη μηχανική επεξεργασία.

Τα artifacts είναι versioned. Το schema v2 χρησιμοποιείται για διμερείς, multi-seller και multi-buyer εκτελέσεις, ενώ το schema v3 επεκτείνει το μοντέλο για versioned fulfillment packages, τριμερείς αποκρίσεις, inventory state και linked contracts. Οι analytics adapters αποδέχονται ρητά μόνο υποστηριζόμενες εκδόσεις και απορρίπτουν άγνωστο schema αντί να μαντεύουν τη σημασία πεδίων.

Παράλληλα, η έκδοση των *metric semantics* καταγράφεται χωριστά, ώστε μια αλλαγή στον τρόπο υπολογισμού να μην συγχέεται με αλλαγή στη δομή του *transcript*.

Στις αγορές κάθε υποψήφια διμερής συνομιλία αποθηκεύεται ως ανεξάρτητο *child transcript* και ένα *parent artifact* συγκεντρώνει το *protocol state*, τις κατατάξεις, τους *finalists*, τη *BAFO* ή το *final bid* και το αποτέλεσμα κατανομής. Τα *paths* οργανώνονται ανά *mode*, *session* και *repetition*. Κατά τη συγκεντρωτική ανάλυση τα *child runs* που αναφέρονται από *parent market artifact* αναγνωρίζονται και δεν αθροίζονται ως ανεξάρτητες τελικές συνεδρίες. Ο διαχωρισμός αυτός αποτρέπει τη διπλή καταμέτρηση και επιτρέπει ταυτόχρονα μελέτη τόσο του συνολικού μηχανισμού όσο και της συμπεριφοράς κάθε υποψηφίου.

Η ιδιωτικότητα εφαρμόζεται ως ρητό όριο πληροφορίας. Το δημόσιο *transcript* περιλαμβάνει μόνο ό,τι πράγματι δημοσιεύθηκε, ενώ *strategy modes*, *tactics*, *rationales*, *private contexts*, *rejected repair attempts* και *opponent-model state* αποθηκεύονται σε διακριτές ερευνητικές δομές. Η κανονική *Web API* προβολή αφαιρεί αυτά τα πεδία και καθαρίζει τα δομημένα *action blocks* από τα εμφανιζόμενα μηνύματα. Η πλήρης *research view* απαιτεί ρητή παράμετρο επιλογής και προορίζεται για ελεγχόμενη αξιολόγηση. Η αποθήκευση ενός ιδιωτικού πεδίου για έρευνα δεν σημαίνει ότι το πεδίο μεταφέρεται στον αντίπαλο *agent*.

Η παρατηρησιμότητα των *LLM* κλήσεων υλοποιείται ανά συνδυασμό ρόλου και μοντέλου. Ο *RequestTracker* καταγράφει πραγματικές *API attempts*, επιτυχείς αποκρίσεις, *provider*, *parse* και *semantic errors*, *retries*, αναμονές *rate limit* και μετρήσεις *latency*. *Token* ή *cost fields* αθροίζονται μόνο όταν επιστρέφονται από τον πάροχο μέσα στο *response metadata*· αν δεν υπάρχουν, το σύστημα δεν κατασκευάζει εκτίμηση. Η αρχή αυτή είναι σημαντική για τη μεθοδολογία, επειδή διαχωρίζει τα παρατηρημένα κόστη από υποθετικές τιμές.

Στο επίπεδο της διαδικτυακής εφαρμογής, η *SQLite* βάση σε λειτουργία *WAL* λειτουργεί ως ανθεκτικό *index* των *runs*, των καταστάσεων ουράς, των χρονικών σημείων και των *paths* των *artifacts*. Τα μεγάλα *transcript* δεδομένα παραμένουν στα *canonical* αρχεία αντί να αντιγράφονται πλήρως στη βάση. Ο *worker* απομονώνει τις μακρόχρονες εκτελέσεις και κάθε *run* διαθέτει *append-only NDJSON event stream*. Η *FastAPI* το μεταδίδει ως *Server-Sent Events* με αυξανόμενο *cursor*, δυνατότητα συνέχισης μέσω *Last-Event-ID* και φιλτράρισμα ιδιωτικών πεδίων. Η λήψη *artifact* επιτρέπεται μόνο για *paths* που έχουν ήδη καταγραφεί στο συγκεκριμένο *run*.

3.9 Τεχνολογικές επιλογές

Οι τεχνολογικές επιλογές προέκυψαν από τέσσερα κριτήρια: σαφή μοντελοποίηση των πρωτοκόλλων, δυνατότητα εναλλαγής *LLM providers*, αναπαραγώγιμη αποθήκευση πειραμάτων και ευδιάκριτος διαχωρισμός μεταξύ *domain logic* και διεπαφής χρήστη. Η αρχιτεκτονική δεν βασίζεται σε ένα ενιαίο *framework* που αποφασίζει για όλες τις φάσεις. Αντίθετα, κάθε τεχνολογία αναλαμβάνει περιορισμένο ρόλο και επικοινωνεί μέσω δομημένων *config*, *result* και *transcript schemas*. Οι βασικές επιλογές συνοψίζονται στον Πίνακα 3.4.

Ο πυρήνας υλοποιείται σε *Python*, επειδή το πρόβλημα απαιτεί *state machines*, *dataclasses*, αριθμητική αξιολόγηση και εύκολη αυτοματοποίηση μεγάλου αριθμού *runs*. Το *LangChain* παρέχει κοινό μοντέλο μηνυμάτων, ενώ οι *Google GenAI* και *Groq adapters* επιτρέπουν διαφορετικά μοντέλα ανά ρόλο χωρίς να μεταβάλλεται το πρωτόκολλο. Οι *parsers*, *validators* και *evaluators* παραμένουν ανεξάρτητοι από τον πάροχο· επομένως η αλλαγή μοντέλου επηρεάζει την παραγόμενη *agent* συμπεριφορά, όχι τους κανόνες εγκυρότητας ή δέσμευσης.

Πίνακας 3.4: Τεχνολογικές επιλογές και αιτιολόγηση

Επίπεδο	Τεχνολογία στην υλοποίηση	Αιτιολόγηση επιλογής
Core	Python	Σαφής μοντελοποίηση πρωτοκόλλων, πλούσιο οικοσύστημα και εύκολη πειραματική αυτοματοποίηση.
LLM integration	LangChain, Google GenAI, Groq	Κοινή διεπαφή μηνυμάτων, εναλλαγή παρόχων και παρακολούθηση κλήσεων.
Web API	FastAPI / Uvicorn	Τυποποιημένα endpoints, validation και ασύγχρονη εξυπηρέτηση.
Frontend	React 19, TypeScript, TanStack Query, Recharts, Vite	Σύνθεση UI, ασφαλείς τύποι, server state και οπτικοποίηση μετρικών.
Execution	SQLite queue/index, worker, SSE	Απομόνωση μακρόχρονων runs, ανθεκτική κατάσταση και ζωντανές ενημερώσεις.
Artifacts	JSON και Markdown transcripts	Μηχανικά αναλύσιμη και ανθρώπινα αναγνώσιμη τεκμηρίωση.

Η αιτιολόγηση του stack συμπληρώνεται από απευθείας αντιστοίχιση κάθε αρχιτεκτονικής ευθύνης με το σημείο υλοποίησής της. Ο Πίνακας 3.5 λειτουργεί ως χάρτης ιχνηλασιμότητας για τον αναγνώστη: δεν επιχειρεί να απαριθμήσει κάθε αρχείο, αλλά υποδεικνύει τις κύριες υπομονάδες στις οποίες μπορούν να επαληθευτούν οι ισχυρισμοί του κεφαλαίου.

Πίνακας 3.5: Αντιστοίχιση αρχιτεκτονικών στοιχείων σε υπομονάδες του έργου

Στοιχείο προς τεκμηρίωση	Κύρια τεκμήρια στην υλοποίηση
Κεντρικές ρυθμίσεις και validation	core/config.py
Strategy/tactic protocol	core/negotiation/strategy.py
Offer parsing και exact agreement	core/negotiation/parser.py, core/negotiation/evaluation.py
Opponent beliefs	core/negotiation/opponent_model.py
Multi-buyer state machine	core/modes/multi_buyer_protocol.py, core/modes/multi_buyer.py
Multi-seller/BAFO	core/modes/multi_seller.py
3PL fulfillment	core/fulfillment/*, core/modes/three_party_fulfillment.py
Contract lifecycle	core/contract_management/*
Web orchestration	webapp/backend/*, webapp/frontend/src/*

Η Web API υλοποιείται με FastAPI και Uvicorn και χρησιμοποιεί typed request models για επικύρωση πριν από την ουρά. Η SQLite διατηρεί τον ανθεκτικό κατάλογο εκτελέσεων, ο worker εκτελεί τις μακρόχρονες συνεδρίες εκτός του HTTP request και τα Server-Sent Events παρέχουν μονόδρομη ζωντανή ενημέρωση χωρίς την πολυπλοκότητα αμφίδρομου socket. Η επιλογή αυτή ταιριάζει στο μοντέλο της εφαρμογής, όπου ο χρήστης παρακολουθεί αλλά δεν επεμβαίνει στον διάλογο μετά την έναρξη.

Το frontend χρησιμοποιεί React 19 και TypeScript για σύνθεση επαναχρησιμοποιήσιμων οθονών και στατικό έλεγχο των API contracts. Το TanStack Query διαχειρίζεται server state, caching και

invalidation, το Recharts αποδίδει τις συγκριτικές μετρικές και το Vite παρέχει γρήγορο κύκλο ανάπτυξης και production build. Τα JSON και Markdown artifacts παραμένουν ανεξάρτητα από το frontend, ώστε τα πειραματικά δεδομένα να μπορούν να αναλυθούν και με εξωτερικά εργαλεία χωρίς εξαγωγή από ιδιόκτητη βάση.

Τέλος, η ύπαρξη αυτοματοποιημένων ελέγχων στον Python πυρήνα, στο backend adapter και στο Vitest frontend αποτελεί ουσιώδες μέρος της τεχνολογικής επιλογής. Οι δοκιμές στοχεύουν parser invariants, state transitions, allocation rules, linked contracts, privacy filtering, request tracking και παρουσίαση αποτελεσμάτων. Η στοίβα παραμένει σκόπιμα ερευνητική και τοπικά εκτελέσιμη: για παραγωγική κλιμάκωση θα απαιτούνταν κατανεμημένη ουρά, εξωτερική βάση, διαχείριση μυστικών και ολοκληρωμένο σύστημα ταυτοποίησης, χωρίς όμως να χρειαστεί αλλαγή των βασικών domain protocols.

Κεφάλαιο 4ο: Υλοποίηση της Πλατφόρμας NegotAI

4.1 Εισαγωγή και δομή αποθετηρίου

Το NegotAI υλοποιήθηκε ως ένα ενιαίο ερευνητικό πλαίσιο στο οποίο η γλωσσική αυτονομία των πρακτόρων διαχωρίζεται από τους κανόνες που καθορίζουν την εγκυρότητα και τη δέσμευση μιας συμφωνίας. Η επιλογή αυτή επηρεάζει ολόκληρη τη δομή του αποθετηρίου. Τα LLM παράγουν ιδιωτικές αποφάσεις, τακτικές, δομημένες προσφορές και δημόσια επιχειρήματα, αλλά δεν μεταβάλλουν απευθείας την κανονική κατάσταση της αγοράς. Η μετάβαση από έναν γύρο στον επόμενο, η επικύρωση των όρων, η επιλογή νικητή, η ενεργοποίηση σύμβασης και ο υπολογισμός των μετρικών εκτελούνται από ντετερμινιστικές μεθόδους Python.

Στη ρίζα του έργου, το αρχείο `negotiation.py` λειτουργεί ως βασικός orchestrator και δρομολογεί την εκτέλεση στο κατάλληλο πρωτόκολλο. Ο φάκελος `agents` περιέχει τους ρόλους Buyer, Seller, Fulfillment, Scenario και Contract, ενώ ο φάκελος `core` συγκεντρώνει τη διαμόρφωση, την ανάλυση απαντήσεων, την αξιολόγηση, τα πρωτόκολλα αγορών, την εκπλήρωση και τη διαχείριση συμβάσεων. Η διαδικτυακή εφαρμογή βρίσκεται στο `webapp` και χωρίζεται σε backend FastAPI και frontend React/TypeScript. Οι δοκιμές παραμένουν σε ανεξάρτητους φακέλους, ώστε η επιχειρησιακή λογική να ελέγχεται χωρίς να απαιτούνται πραγματικές κλήσεις προς παρόχους μοντέλων.

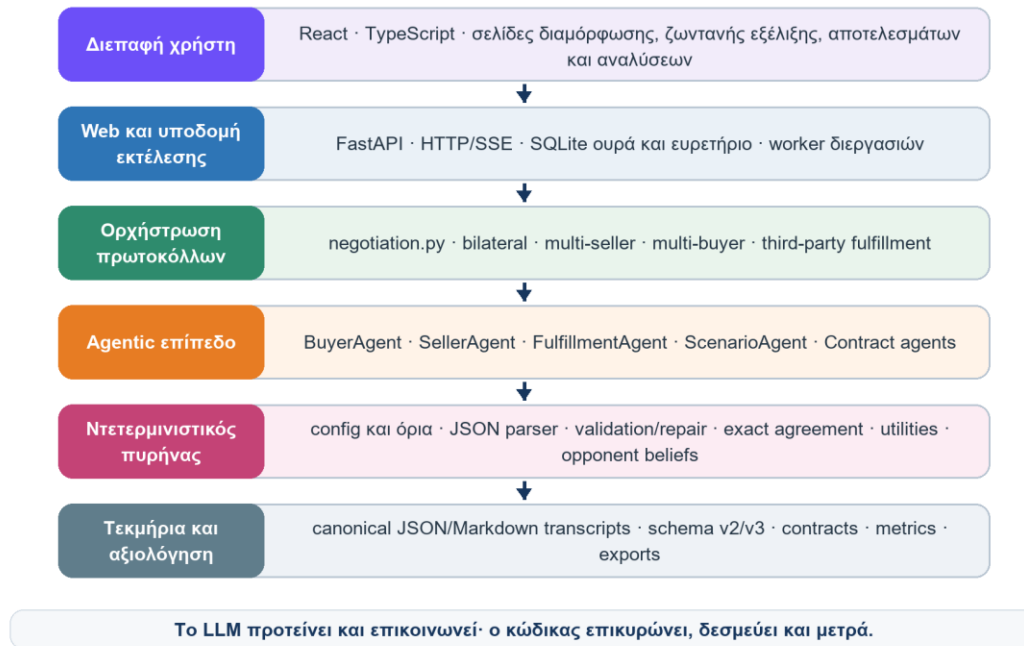
Πίνακας 4.1: Κύριες μονάδες του αποθετηρίου και ευθύνη τους

Μονάδα	Κύρια ευθύνη	Ενδεικτικά αρχεία
<code>agents/</code>	LLM adapters και role-specific prompts	<code>buyer_agent.py</code> , <code>seller_agent.py</code> , <code>fulfillment_agent.py</code> , <code>contract_agent.py</code>
<code>core/negotiation/</code>	Κοινός πυρήνας γύρων και αξιολόγησης	<code>strategy.py</code> , <code>parser.py</code> , <code>evaluation.py</code> , <code>opponent_model.py</code>
<code>core/modes/</code>	Πρωτόκολλα πολλών συμμετεχόντων	<code>multi_seller.py</code> , <code>multi_buyer.py</code> , <code>multi_buyer_protocol.py</code>
<code>core/fulfillment/</code>	Τριμερής εκπλήρωση και αποθέματα	<code>three_party_fulfillment.py</code> και adapters
<code>core/contract_management/</code>	Σύναψη, εκτέλεση και επίλυση διαφοράς	<code>lifecycle.py</code> , <code>autonomous_protocol.py</code>
<code>core/analytics/</code>	Canonical transcripts και μετρικές	<code>metrics.py</code> , <code>transcript_formatter.py</code>
<code>webapp/</code>	FastAPI, SQLite worker και React UI	<code>backend/app</code> και <code>frontend/src</code>
<code>tests/</code>	Αναπαραγωγή επαλήθευση invariants	Python test modules

Η λογική διάρθρωση του Σχήματος 4.1 δεν είναι απλώς οργανωτική. Αποτυπώνει το όριο εμπιστοσύνης της εφαρμογής: όσο χαμηλότερα βρίσκεται μια λειτουργία, τόσο λιγότερο εξαρτάται από ελεύθερο κείμενο και τόσο περισσότερο βασίζεται σε σχήματα, αμετάβλητες καταστάσεις και ελέγχους. Έτσι, μία πειστική αλλά ελλιπής απάντηση ενός πράκτορα δεν μπορεί από μόνη της να δημιουργήσει συμφωνία ή σύμβαση. Αντίστοιχα, κάθε τελικό αποτέλεσμα μπορεί να αναχθεί στα δεδομένα εισόδου, στα δημόσια μηνύματα, στις δομημένες προσφορές και στα γεγονότα του πρωτοκόλλου.

Λογική διάρθρωση της πλατφόρμας NegotAI

Διαχωρισμός διεπαφής, ορχήστρωσης, agentic συλλογισμού και ντετερμινιστικών ελέγχων



Σχήμα 4.1: Λογική διάρθρωση και όρια ευθύνης της πλατφόρμας NegotAI

4.2 Μοντέλο ρυθμίσεων και επικύρωση σεναρίου

Η κεντρική διαμόρφωση υλοποιείται στο `core/config.py` με `dataclasses` για τα βάρη χρησιμότητας, τα ιδιωτικά όρια Buyer, Seller και 3PL, τα προφίλ συμμετεχόντων και το συνολικό `NegotiationConfig`. Σε κάθε εκτέλεση αποθηκεύονται το είδος αγοράς, ο μέγιστος αριθμός γύρων, τα ανά ρόλο βάρη χρησιμότητας, η ρητή επιλογή ενεργοποίησης της χρονικής προεξόφλησης και οι αντίστοιχοι συντελεστές, η στάση απέναντι στον κίνδυνο, η αρχιτεκτονική εκπλήρωσης, η πολιτική στρατηγικής και, όπου απαιτείται, οι παράμετροι `shortlist`, ορατότητας και κατανομής. Οι `validators` απαιτούν μη αρνητικά βάρη με άθροισμα 1,00 και συντελεστές στο διάστημα $[0, 1]$. Όταν το `utility_discounting_enabled` είναι `false`, οι `effective helpers` επιστρέφουν 1,00 για Buyer, Seller και 3PL. Η συγκέντρωση των επιλογών σε ένα αντικείμενο αποτρέπει τη δημιουργία διαφορετικών και ασύμβατων πηγών αλήθειας μεταξύ διεπαφής, `orchestrator` και αναλυτικών εργαλείων.

Η μέθοδος `validation_errors` ελέγχει τις εξαρτήσεις μεταξύ πεδίων πριν εκκινήσει οποιοσδήποτε πράκτορας. Για παράδειγμα, η τριμερής εκπλήρωση (3PL Fulfillment mode) υποστηρίζεται μόνο σε διμερή αγορά φυσικού αγαθού και ποσότητας μίας μονάδας, ενώ η `fixed LLM policy` επιτρέπεται στην απλή διμερή, `seller-fulfilled` ροή. Στη δεύτερη περίπτωση ο χρήστης ορίζει στην αρχή τη στάση Buyer και Seller και η διαμόρφωση τη μεταφέρει ως υποχρεωτικό ερευνητικό `treatment` σε κάθε γύρο. Η προσφορά και η τακτική εξακολουθούν να μεταβάλλονται· σταθερό παραμένει μόνο το υψηλού επιπέδου στρατηγικό πλαίσιο. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η εσφαλμένη ερμηνεία της `fixed` επιλογής ως `rule-based` πράκτορα.

Τα σενάρια μπορούν να εισαχθούν χειροκίνητα ή να παραχθούν από τον Scenario Agent. Στη χειροκίνητη πηγή, ο χρήστης μπορεί να ορίσει βάρη για Buyer και Seller σε κάθε mode, για τον 3PL στην τριμερή ροή και ανά profile όταν ο πληθυσμός σχεδιάζεται χειροκίνητα. Στους παραγόμενους

πληθυσμούς, μία κοινή ρύθμιση βαρών του ρόλου αντιγράφεται σε κάθε απομονωμένη υπο-εκτέλεση. Ο δεύτερος λαμβάνει κατηγορία προϊόντος και τύπο σύγκρουσης, δημιουργεί περιγραφή, εύρη τιμών, χρόνους παράδοσης, εγγύηση και βάρη (αποκλειστικά στο Multi-buyer mode), και επιστρέφει αποκλειστικά το απαιτούμενο δομημένο σχήμα. Οι τύποι σεναρίων A–G και το hard-conflict σενάριο δεν χρησιμοποιούνται αυτούσιοι: περνούν από τους ίδιους ελέγχους αριθμητικών περιοχών και λογικής συνοχής με τις χειροκίνητες ρυθμίσεις. Εάν η έξοδος είναι ελλιπής ή ασύμβατη, η εκτέλεση δεν συνεχίζει βασιζόμενη σε μη δηλωμένες υποθέσεις.

Η συγκεκριμένη διάταξη είναι σημαντική για την αναπαραγωγιμότητα. Το κανονικό configuration αποθηκεύεται μαζί με το transcript και επιτρέπει να ανακατασκευαστούν οι συνθήκες μιας συνεδρίας χωρίς να εξαρτάται η ερμηνεία από το κείμενο των πρακτόρων. Παράλληλα, τα ιδιωτικά όρια παραμένουν στον server και παρέχονται μόνο στον αντίστοιχο ρόλο. Ο αντίπαλος λαμβάνει δημόσιες προσφορές, δημόσια επιχειρήματα και επιτρεπόμενα στοιχεία αγοράς, όχι το ιδιωτικό utility profile ή τους εσωτερικούς ελέγχους του άλλου μέρους.

4.3 Υλοποίηση Buyer, Seller και Fulfillment Agents

Οι BuyerAgent και SellerAgent ακολουθούν κοινή αρχιτεκτονική, αλλά κατασκευάζουν διαφορετικά prompts ανάλογα με τον ρόλο. Κάθε prompt περιλαμβάνει το προϊόν, τα ζητήματα της διαπραγμάτευσης, το δικό του ιδιωτικό προφίλ, την προθεσμία, το επικυρωμένο δημόσιο ιστορικό και έναν ρητό ορισμό της αναμενόμενης εξόδου. Ο πράκτορας καλείται να επιστρέψει δύο διακριτά τμήματα: ένα private decision block, που περιλαμβάνει στρατηγική στάση, τακτική, εκτίμηση προόδου, αξιολόγηση και αιτιολόγηση, και ένα public message block, το οποίο μπορεί να εμφανιστεί στην άλλη πλευρά. Η διάκριση δεν είναι μόνο μορφοποιητική. Ο parser απορρίπτει απάντηση στην οποία ιδιωτικό περιεχόμενο διαρρέει στο δημόσιο τμήμα.

Στην adaptive agentic πολιτική, το μοντέλο μπορεί σε κάθε γύρο να επιλέξει ανάμεσα σε aggressive, balanced, collaborative, concessionary και exit-oriented στάση. Στη συνέχεια επιλέγει συγκεκριμένη τακτική, όπως anchor, counter, concede ή walk-away, και συνθέτει την αντίστοιχη προσφορά και επιχειρηματολογία. Στη fixed LLM policy, η required_strategy_mode περνά στον parser και η απόκριση απορρίπτεται αν το μοντέλο δηλώσει διαφορετική στάση από εκείνη που επέλεξε ο χρήστης. Η τακτική, το ύψος της παραχώρησης και το μήνυμα παραμένουν δυναμικά, επιτρέποντας να συγκριθεί η ελευθερία αλλαγής στρατηγικής με έναν ελεγχόμενο, σταθερό προσανατολισμό χωρίς να αλλάζει ο υπόλοιπος μηχανισμός.

Το μοντέλο αντιπάλου δεν έχει πρόσβαση στις ιδιωτικές παραμέτρους του άλλου ρόλου. Η μονάδα core/negotiation/opponent_model.py ενημερώνει μία δομημένη πεποίθηση μόνο από επικυρωμένες δημόσιες προσφορές και μηνύματα. Καταγράφει ενδείξεις για τις κατευθύνσεις παραχώρησης, την πιθανή έμφαση σε κάθε ζήτημα και την πρόσφατη συμπεριφορά. Οι εκτιμήσεις αυτές παρέχονται ως υποστηρικτικό πλαίσιο στην επόμενη απόφαση, όχι ως γεγονότα. Όπου υπολογίζεται ακρίβεια εκ των υστέρων, η σύγκριση γίνεται μόνο στο επίπεδο αξιολόγησης και δεν επιστρέφει ιδιωτικά στοιχεία στον πράκτορα κατά τη διαπραγμάτευση.

Ο FulfillmentAgent επαναχρησιμοποιεί τις ίδιες αρχές ιδιωτικού και δημόσιου τμήματος, αλλά περιορίζεται στους όρους που ανήκουν στον ρόλο 3PL. Οι contract agents έχουν αυστηρότερα, εξειδικευμένα σχήματα για προτάσεις, έγκριση, αντιπρόταση, εκτέλεση και επίλυση διαφοράς. Ένας ουδέτερος Contract Mediator διαθέτει ανεξάρτητη ρύθμιση παρόχου και δεν λαμβάνει την ιδιωτική αιτιολόγηση των μερών. Με αυτόν τον τρόπο η διαπραγμάτευση, η σύναψη και η εκτέλεση

χρησιμοποιούν κοινό σχεδιαστικό μοτίβο, αλλά διαφορετικά πρωτόκολλα και διαφορετικά επιτρεπόμενα πεδία.

Οι κλήσεις προς τους παρόχους περνούν από κοινό request tracker. Καταγράφεται κάθε προσπάθεια, η καθυστέρηση, οι επαναλήψεις, το όριο αιτημάτων και, όταν ο πάροχος το επιστρέφει, η χρήση και το κόστος. Οι κρυφές επαναλήψεις των SDK απενεργοποιούνται, ώστε μία λογική κλήση να μην αποκρύπτει πολλαπλές προσπάθειες. Η πληροφορία αυτή επιτρέπει η αξιολόγηση να συνδέσει την ποιότητα μιας συνεδρίας με το πραγματικό λειτουργικό της αποτύπωμα, χωρίς να συγχέει αποτυχία παρόχου με διαπραγματευτική αποχώρηση.

Η πρόσβαση στα μοντέλα γίνεται μέσω role adapters και όχι απευθείας από τον orchestrator. Κάθε adapter επιλέγει provider, model, ανεξάρτητο rate limit και τις παραμέτρους δημιουργίας που αντιστοιχούν στον ρόλο, αλλά επιστρέφει κοινό AgentTurn. Έτσι μπορούν να συνδυαστούν διαφορετικοί πάροχοι Buyer, Seller, 3PL και Contract Mediator χωρίς να αλλάζει ο κώδικας του πρωτοκόλλου. Αν λείπει απαιτούμενο κλειδί ή ο provider δεν είναι έτοιμος, ο έλεγχος readiness αποτυγχάνει πριν αρχίσει η συνεδρία. Η αποτυχία αυτή καταγράφεται ως πρόβλημα υποδομής και δεν ερμηνεύεται ως στρατηγική απόφαση του πράκτορα.

4.4 Ανάλυση και επικύρωση απαντήσεων

Η έξοδος ενός LLM δεν θεωρείται ενέργεια πρωτοκόλλου πριν ολοκληρωθεί μία ακολουθία ελέγχων. Αρχικά, η parse_agent_turn εντοπίζει τους οριοθέτες private και public, εξάγει τα υποχρεωτικά πεδία και ελέγχει τις επιτρεπόμενες τιμές στρατηγικής, τακτικής και προόδου. Για τακτική walk-away απαγορεύεται δομημένη προσφορά, ενώ για τις υπόλοιπες τακτικές απαιτείται OFFER block. Στη συνέχεια ο offer parser αναγνωρίζει τα τρία βασικά ζητήματα —τιμή, παράδοση και εγγύηση— ακόμη και όταν οι ονομασίες τους προσαρμόζονται στην κατηγορία προϊόντος.

Μετά τη συντακτική ανάλυση εφαρμόζεται σημασιολογικός έλεγχος. Εξετάζεται αν η προσφορά είναι πλήρης, αριθμητικά έγκυρη, εντός των ιδιωτικών σκληρών ορίων του συγκεκριμένου ρόλου και συμβατή με τους κανόνες του ενεργού πρωτοκόλλου. Στις ζωντανές δεσμευτικές προσφορές δεν χρησιμοποιείται clamping. Εάν, για παράδειγμα, ο Buyer δηλώσει τιμή πάνω από το δικό του ανώτατο όριο, ο κώδικας δεν την αλλάζει σε χαμηλότερη τιμή και δεν επιτρέπει να δημιουργηθεί συμφωνία που ο πράκτορας δεν διατύπωσε. Η συνάρτηση validate_offer_for_protocol επιστρέφει είτε την ακριβή έγκυρη προσφορά είτε κενό αποτέλεσμα μαζί με αναλυτικό audit, όπως φαίνεται στο ακόλουθο αντιπροσωπευτικό απόσπασμα.

```
raw_offer = dict(offer or {})
violations = offer_validation_violations(raw_offer, agent, limits)
warnings = []
if previous_offer and "price" in raw_offer and "price" in previous_offer:
    if agent == "buyer" and raw_offer["price"] < previous_offer["price"]:
        warnings.append("buyer_reversed_price_concession")
    elif agent == "seller" and raw_offer["price"] > previous_offer["price"]:
        warnings.append("seller_reversed_price_concession")
valid = not violations
return (
    raw_offer if valid else {},
    {
        "raw_offer": raw_offer,
        "valid": valid,
        "violations": violations,
        "warnings": warnings,
        "repair_applied": False,
    },
)
```

Απόσπασμα κώδικα 4.1: Επικύρωση δεσμευτικής προσφοράς χωρίς αυτόματη, μη καταγεγραμμένη αλλοίωση

Μία μη έγκυρη δομημένη απάντηση ενεργοποιεί ακριβώς μία repair προσπάθεια. Το δεύτερο prompt περιγράφει το σφάλμα και ζητά νέα πλήρη απόκριση χωρίς να προτείνει αριθμούς που θα μπορούσαν να γίνουν τεχνητή συμφωνία. Αν αποτύχει και η επισκευή, η ενέργεια καταγράφεται ως agent/provider failure και το πρωτόκολλο ακολουθεί την ασφαλή διαδρομή τερματισμού ή αποδέσμευσης. Δεν κατασκευάζεται αυτόματα και χωρίς ρητή καταγραφή καμία προσφορά, αποδοχή ή συμβατική έγκριση.

Η εγγύτητα δύο προσφορών υπολογίζεται χωριστά από τη συμφωνία. Η calculate_convergence παράγει κενά ανά ζήτημα και έναν σταθμισμένο βαθμό προόδου, χρήσιμο για αναλύσεις και prompts. Η check_agreement, αντίθετα, απαιτεί πλήρη ακριβή ταύτιση της τιμής, του χρόνου παράδοσης και της εγγύησης. Επομένως, δύο σχεδόν ίσα πακέτα μπορεί να χαρακτηριστούν συγκλίνοντα αλλά δεν δεσμεύουν κανένα μέρος. Η διάκριση αυτή είναι θεμελιώδης και στις αγορές πολλών συμμετεχόντων, όπου μία προσωρινή συμφωνία πρέπει επιπλέον να περάσει από τον κανόνα κατανομής πριν γίνει τελική δέσμευση.

4.5 Υλοποίηση διμερούς εκτέλεσης

Η run_bilateral αποτελεί τη βασική ροή πάνω στην οποία στηρίζονται οι υπόλοιπες εκτελέσεις. Μετά την επικύρωση του configuration δημιουργούνται οι δύο πράκτορες και ο Seller παράγει την αρχική προσφορά. Κάθε ενέργεια περνά από τον κοινό μηχανισμό parsing, validation και repair, προστίθεται στο κανονικό ιστορικό και ενημερώνει μόνο το επιτρεπόμενο δημόσιο πλαίσιο του αντιπάλου. Στους επόμενους γύρους ο Buyer και ο Seller απαντούν διαδοχικά, ενώ ο orchestrator διατηρεί τις τελευταίες έγκυρες προσφορές, τις στρατηγικές αποφάσεις, τις παραχωρήσεις και τα γεγονότα παρόχου.

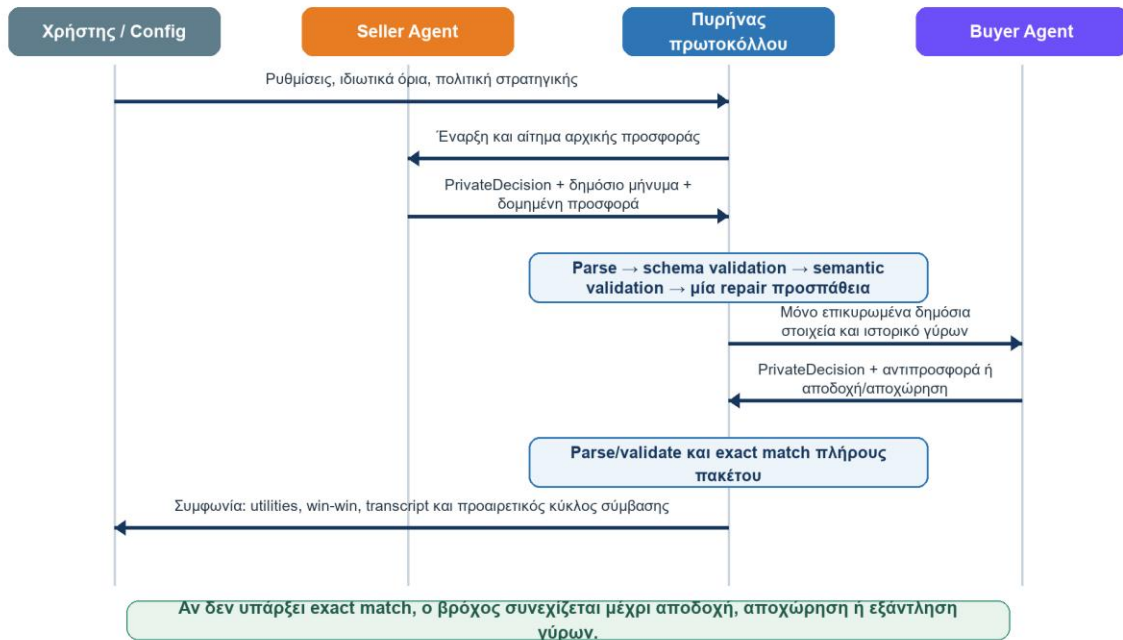
Μετά από κάθε επικυρωμένη ενέργεια ελέγχονται κατά σειρά η αποχώρηση, η πληρότητα των προσφορών και η ακριβής ταύτιση του πλήρους πακέτου. Εφόσον τα δύο μέρη δηλώσουν τους ίδιους όρους, η συμφωνία αξιολογείται ως προς την εγκυρότητα, τις ατομικές χρησιμότητες, την κοινωνική ευημερία, την ισορροπία και το win-win κατώφλι. Αν δεν υπάρξει συμφωνία μέχρι τον μέγιστο αριθμό γύρων, το αποτέλεσμα είναι no agreement και οι χρησιμότητες της ανύπαρκτης συναλλαγής παραμένουν μη διαθέσιμες. Η έκβαση της διαπραγμάτευσης διαχωρίζεται από την έκβαση συναλλαγής, ώστε ένα agent failure ή ένα max-rounds αποτέλεσμα να μην εμφανίζεται ως οικονομική συμφωνία.

Στο τέλος παράγονται κανονικό JSON transcript και αναγνώσιμη αναφορά Markdown. Εάν έχει ενεργοποιηθεί η διαχείριση συμβάσεων, μόνο μία έγκυρη δεσμευτική συμφωνία μεταφέρεται στη φάση σύναψης. Το Σχήμα 4.2 συνοψίζει αυτή την ακολουθία και αναδεικνύει ότι η ελεύθερη γλώσσα των πρακτόρων δεν παρακάμπτει κανένα σημείο ελέγχου.

Η ροή διατηρεί επίσης σαφή όρια ευθύνης για τις εξαιρέσεις. Σφάλμα format, αποτυχία provider, ρητή αποχώρηση και λήξη γύρων καταγράφονται με διαφορετικό outcome και διαφορετικό audit event. Το προσωρινό αρχείο γράφεται αρχικά στον κατάλογο της συγκεκριμένης εκτέλεσης και η τελική εγγραφή ολοκληρώνεται μόνο αφού συντεθούν τα summary fields. Με αυτόν τον τρόπο ακόμη και μία μη επιτυχής συνεδρία αφήνει αναγνώσιμο τεκμήριο για το σημείο διακοπής, ενώ μία επιτυχής συμφωνία δεν χάνει τις προηγούμενες απορριφθείσες ή επισκευασμένες ενέργειες που εξηγούν πώς προέκυψε.

Ακολουθία εκτέλεσης διμερούς διαπραγμάτευσης

Η παραγωγή φυσικής γλώσσας περιβάλλεται από έλεγχο πρωτοκόλλου και σαφή συνθήκη δέσμευσης



Σχήμα 4.2: Ακολουθία εκτέλεσης και ελέγχου μιας διμερούς διαπραγμάτευσης

4.6 Υλοποίηση multi-seller αγοράς

Στη multi-seller αγορά ένας Buyer διαπραγματεύεται με πολλά ανεξάρτητα προφίλ Seller. Τα προφίλ μπορούν να δοθούν χειροκίνητα ή να παραχθούν με παραλλαγές κόστους, ποιότητας υπηρεσίας και συμπεριφοράς. Κάθε υποδιαπραγμάτευση διαθέτει απομονωμένο ιστορικό και δικό της αποτέλεσμα, ώστε ο Seller να μη λαμβάνει ιδιωτική ή μη επιτρεπόμενη πληροφορία για τους ανταγωνιστές του. Ο γονικός orchestrator διατηρεί την ενιαία εικόνα της αγοράς και είναι ο μόνος που συγκρίνει τις έγκυρες υποψήφιες συμφωνίες.

Η πρώτη φάση εκτελεί μία διμερή διαδικασία ανά Seller και καταγράφει την καλύτερη έγκυρη υποψηφιότητα από την οπτική του Buyer. Ακολουθεί κατάταξη και επιλογή περιορισμένου αριθμού finalists. Στη φάση BAFO ο Buyer στέλνει αίτημα τελικής προσφοράς με επιτρεπόμενη μνήμη αγοράς, ο Seller επιστρέφει το best and final package και ο Buyer πρέπει να το αποδεχθεί ή να το απορρίψει ρητά. Μία BAFO δεν γίνεται δεσμευτική επειδή απλώς έχει υψηλή χρησιμότητα: απαιτείται ακριβής αποδοχή του ίδιου πακέτου. Αν μία BAFO δεν γίνει αποδεκτή, το πρωτόκολλο μπορεί να διατηρήσει έγκυρη υποψηφιότητα της πρώτης φάσης αντί να κατασκευάσει νέα συμφωνία.

Η αγορά κλείνει με μηδέν ή έναν επιλεγμένο Seller. Μαζί με το αποτέλεσμα καταγράφονται η διαφορά επιλογής έναντι της καλύτερης αρχικής υποψηφιότητας, το competitive uplift της BAFO φάσης, οι σχέσεις Pareto μεταξύ των παρατηρημένων προσφορών και ενδείξεις στρατηγικής σκλήρυνσης ή bluffing. Οι δείκτες αυτοί είναι περιγραφικοί και δεν αλλάζουν τον κανόνα δέσμευσης. Ο τελικός νικητής και μόνο τροφοδοτεί τις συναλλακτικές χρησιμότητες της γονικής συνεδρίας.

4.7 Υλοποίηση multi-buyer αγοράς

Η multi-buyer υλοποίηση μοντελοποιεί αγορά μίας μονάδας: ένας Seller διαθέτει capacity ίση με 1 και πολλοί Buyer ανταγωνίζονται για το ίδιο αγαθό. Το MultiBuyerProtocolState επιβάλλει το αμετάβλητο αυτό ήδη κατά την αρχικοποίηση και απορρίπτει δεύτερη δεσμευτική κατανομή. Παράλληλα, διατηρεί ρητή μηχανή καταστάσεων με φάσεις setup, provisional Phase 1, shortlist, final bid, commitment και closed, καθώς και event log για κάθε μετάβαση. Η κατάσταση αυτή εμποδίζει, για παράδειγμα, μη finalist να υποβάλει τελική προσφορά ή την αγορά να δεσμεύσει περισσότερους Buyer από τη διαθέσιμη ποσότητα.

Στον μηχανισμό competitive_bafo ο Seller δημιουργεί μία κοινή αρχική προσφορά. Οι Buyer διαπραγματεύονται σε απομονωμένα ιστορικά και οι γύροι προχωρούν συγχρονισμένα, ώστε κανένας υποψήφιος να μην ωφελείται από τη σειρά επανάληψης του κώδικα. Οι συμφωνίες της πρώτης φάσης είναι provisional: προσδιορίζουν ποιοι μπορούν να μπουν στη shortlist, αλλά δεν καταναλώνουν το αγαθό. Οι finalists υποβάλλουν μία σφραγισμένη, one-shot τελική προσφορά. Το state object απορρίπτει δεύτερη τελική υποβολή από τον ίδιο Buyer και διαχωρίζει την υποβολή από την τελική commitment μετάβαση.

Η επιλογή νικητή μπορεί να βασιστεί στη χρησιμότητα Seller, στην κοινωνική ευημερία ή στη μεγιστοποίηση της ελάχιστης χρησιμότητας. Σε ισοπαλία εφαρμόζεται seeded deterministic tie-break που δεν εξαρτάται από τη σειρά των dictionaries ή των κλήσεων. Ως απλούστερο baseline διατίθεται ο μηχανισμός independent_selection, στον οποίο συγκρίνονται ανεξάρτητες διμερείς υποψηφιότητες χωρίς ανταγωνιστική τελική φάση. Η ύπαρξη των δύο μηχανισμών επιτρέπει η επίδραση της BAFO να μελετηθεί χωρίς να αλλάζουν τα utility profiles.

Τα visibility modes blind, competition-aware και rank-only καθορίζουν ποια δημόσια πληροφορία για τον ανταγωνισμό επιτρέπεται να λάβει κάθε Buyer. Το verified-benchmark παραμένει πληροφορία αξιολογητή και δεν μετατρέπεται σε ιδιωτική γνώση του πράκτορα. Μετά την κατανομή, ο νικητής λαμβάνει binding commitment και όλοι οι υπόλοιποι χαρακτηρίζονται eliminated ή released without commitment. Η γονική εγγραφή συγκεντρώνει τα candidate tracks, αλλά οι aggregate metrics μετρούν τη συνεδρία μόνο μία φορά και χρησιμοποιούν τις χρησιμότητες της επιλεγμένης συναλλαγής.

4.8 Υλοποίηση τριμερούς fulfillment

Η third-party fulfilled ροή επεκτείνει τη διμερή αγορά με έναν ανεξάρτητο 3PL agent. Η υλοποίηση υποστηρίζει φυσικό αγαθό, ποσότητα μία και διμερή αγορά. Ο Seller διατηρεί την κυριότητα και την ευθύνη προς τον Buyer, καθορίζει την τιμή προϊόντος, εγγύηση και την προαιρετική επιδότηση μεταφορικών. Ο 3PL έχει την κατοχή κατά τη μεταφορά, καθορίζει το τέλος εκπλήρωσης και την end-to-end υπόσχεση παράδοσης, ενώ ο Buyer επιβαρύνεται με το τελικό ποσό. Ο λογιστικός έλεγχος υπολογίζει ξεχωριστά landed cost, καθαρό έσοδο Seller και έσοδο 3PL.

Πριν από οποιαδήποτε κλήση LLM δεσμεύεται προσωρινά μία μονάδα αποθέματος. Αν δεν υπάρχει διαθεσιμότητα, η εκτέλεση τερματίζεται χωρίς άσκοπη κλήση παρόχου. Ο 3PL ανοίγει τη ροή με fee και delivery και ο Seller συμπληρώνει την πρώτη έκδοση του πακέτου. Σε κάθε κανονικό γύρο όλοι οι ρόλοι λαμβάνουν το ίδιο αμετάβλητο package snapshot και τις προηγούμενες δημόσιες αιτήσεις, ενώ οι απαντήσεις του ίδιου γύρου παραμένουν απομονωμένες. Seller και 3PL μπορούν να αλλάζουν δεσμευτικά μόνο τα πεδία που τους ανήκουν· αλλαγές σε ξένο πεδίο καταγράφονται ως μη δεσμευτικά requests.

Νέα έκδοση δημιουργείται μόνο όταν μεταβληθεί πραγματικά ένας ιδιόκτητος όρος. Μία no-op αντιπρόταση απορρίπτεται και δίνεται μία repair προσπάθεια, ενώ μια αποδοχή παλαιότερης έκδοσης δεν γίνεται δεκτή. Συμφωνία υπάρχει μόνο όταν Buyer, Seller και 3PL εγκρίνουν ρητά το ίδιο package ID και version στον ίδιο γύρο και ο τελικός έλεγχος επιβεβαιώσει όλα τα ιδιωτικά όρια. Για τη συγκεκριμένη τριμερή έκβαση, η utility Buyer βασίζεται στο landed cost, την παράδοση και την εγγύηση, η utility Seller στο καθαρό έσοδο, την παράδοση και την εγγύηση και η utility 3PL στο fee και την παράδοση. Win-win απαιτεί και οι τρεις τιμές να είναι τουλάχιστον 0,50.

Όταν η συμβατική διαχείριση είναι ανενεργή, η ομόφωνη συμφωνία δεσμεύει το απόθεμα σύμφωνα με το πρωτόκολλο. Όταν είναι ενεργή, προετοιμάζονται συνδεδεμένη πώληση Buyer–Seller και SLA Seller–3PL, αλλά η αποθήκη δεν δεσμεύεται οριστικά πριν εγκριθεί η ίδια συμβατική έκδοση και από τους τρεις ρόλους. Αποτυχία ή απόρριψη σύναψης απελευθερώνει το hold. Επιτυχής σύναψη ενεργοποιεί τα δύο συμβόλαια και δεσμεύει το απόθεμα ως μία ατομική πράξη, αποφεύγοντας κατάσταση στην οποία υπάρχει ενεργό SLA χωρίς πώληση ή το αντίστροφο.

4.9 Υλοποίηση κύκλου ζωής συμβάσεων

Η διαχείριση συμβάσεων ενεργοποιείται μόνο μετά από δεσμευτική εμπορική συμφωνία. Στη seller-fulfilled ροή, Buyer και Seller παράγουν ανεξάρτητες προτάσεις με βάση το κοινό συμφωνημένο πακέτο και τα επιτρεπόμενα δημόσια τεκμήρια. Η ιδιωτική αιτιολόγηση κάθε ρόλου δεν αποκαλύπτεται στον άλλο ούτε στον ουδέτερο Contract Mediator. Ο mediator συνθέτει ένα πλήρες draft με version και fingerprint, ώστε κάθε μεταγενέστερη απόφαση να αναφέρεται σε μία ακριβή και αμετάβλητη έκδοση και όχι σε περιγραφικά «ιδίους περίπου» όρους.

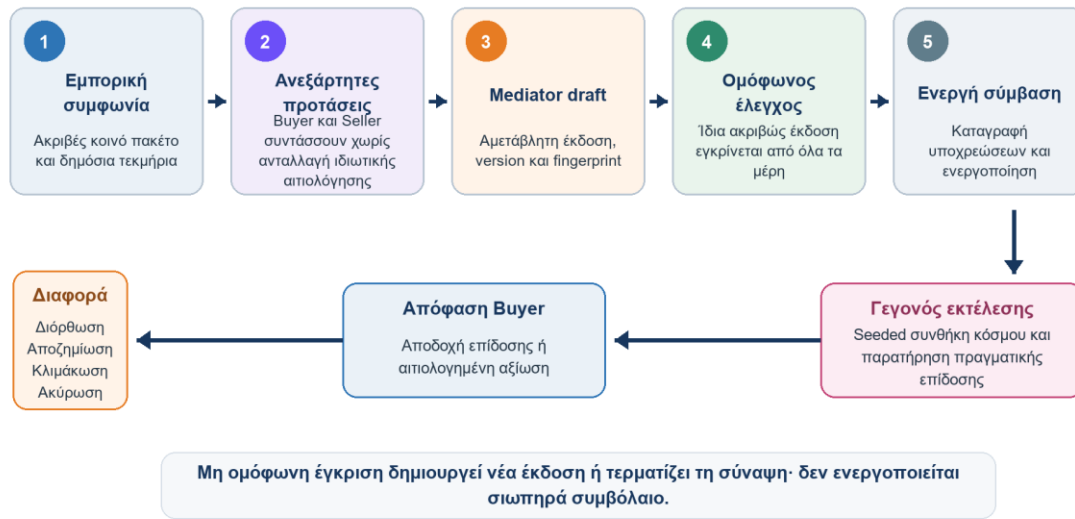
Κάθε μέρος ελέγχει ανεξάρτητα το ίδιο draft και μπορεί να εγκρίνει, να απορρίψει ή να επιστρέψει συμβατή αντιπρόταση. Η έγκριση απαιτεί null counter και ταυτόσημο fingerprint. Αν υπάρξει αντιπρόταση, δημιουργείται νέα έκδοση και ακυρώνονται οι προηγούμενες εγκρίσεις. Αν η απόκριση είναι εσφαλμένη, επιτρέπεται μία repair προσπάθεια· δεύτερη αποτυχία δεν μετατρέπεται σε συνθετική έγκριση. Μόνο η ομόφωνη έγκριση της ίδιας έκδοσης ενεργοποιεί τη σύμβαση, ενώ η εμπορική συμφωνία μπορεί να παραμείνει καταγεγραμμένη χωρίς ενεργό συμβόλαιο όταν η σύναψη απορριφθεί.

Μετά την ενεργοποίηση, ένα seeded περιβάλλον παράγει ελεγχόμενο γεγονός εκτέλεσης, το οποίο μπορεί να είναι σύμφωνο ή αποκλινόν ως προς τους εγκεκριμένους όρους. Ο Buyer αξιολογεί το παρατηρούμενο γεγονός και είτε αποδέχεται την επίδοση είτε υποβάλλει αιτιολογημένη αξίωση. Η ροή επίλυσης επιτρέπει διόρθωση, συγκεκριμένο remedy, αποζημίωση, κλιμάκωση ή ακύρωση, με αυστηρό έλεγχο action και remedy identifiers. Έτσι, η απόκλιση δεν εξάγεται από ελεύθερη αφήγηση αλλά από σύγκριση εγκεκριμένων όρων και επικυρωμένου γεγονότος.

Στην τριμερή εκπλήρωση δημιουργούνται δύο συνδεδεμένες εγγραφές και ένας responsibility matrix. Η πώληση καλύπτει τιμή, buyer shipping charge, landed total, εγγύηση και παράδοση, ενώ το SLA καλύπτει fee, επιδότηση, custody, liability και δέσμευση αποθέματος. Απόκλιση τιμής ή εγγύησης δρομολογείται στην πώληση και απόκλιση παράδοσης ή ζημίας στο SLA, διατηρώντας τον Seller ως εμπορικό σημείο αξίωσης του Buyer. Οι τελευταίοι ομόφωνα εγκεκριμένοι όροι παραμένουν ενεργοί κατά τη διάρκεια ανεπίλυτης ή κλιμακωμένης αξίωσης. Ο συνολικός κύκλος παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.3.

Κύκλος ζωής αυτόνομης σύμβασης

Από το δεσμευτικό αποτέλεσμα της αγοράς έως την εκτέλεση, την αξίωση και την τελική διευθέτηση



Σχήμα 4.3: Κύκλος ζωής από την εμπορική συμφωνία έως την εκτέλεση και τη διευθέτηση διαφοράς

4.10 Μετρικές, μεταγραφές και αναλυτική επεξεργασία

Κάθε εκτέλεση παράγει ένα canonical transcript που λειτουργεί ως τεχνικό τεκμήριο και ως πηγή αναλυτικής επεξεργασίας. Για τις seller-fulfilled ροές χρησιμοποιείται schema v2 και για την τριμερή εκπλήρωση schema v3. Το JSON περιλαμβάνει την ταυτότητα συνεδρίας, το configuration, τα γεγονότα παρόχου, τα δημόσια μηνύματα, τις ιδιωτικές αποφάσεις για ερευνητική χρήση, τις ακριβείς προσφορές, τα validation audits, τις μεταβάσεις αγοράς, τη συμφωνία, τις συμβάσεις και τις τελικές μετρικές. Παράλληλα παράγεται αναγνώσιμη αναφορά Markdown, ώστε ο ερευνητής να ελέγχει μία εκτέλεση χωρίς να αναλύει το πλήρες JSON.

Τα πεδία negotiation_outcome και transaction_outcome διατηρούν διαφορετική σημασία. Το πρώτο περιγράφει πώς ολοκληρώθηκε το πρωτόκολλο —συμφωνία, αποχώρηση, εξάντληση γύρων ή αποτυχία πράκτορα— ενώ το δεύτερο δηλώνει αν δημιουργήθηκε έγκυρη συναλλαγή. Η διάκριση εμποδίζει λεκτική σύγκλιση ή provisional candidate να εμφανιστεί ως τελικό deal. Επίσης, όταν δεν υπάρχει έγκυρη συμφωνία, οι buyer, seller και 3PL utilities, η μέση χρησιμότητα, η κοινωνική ευημερία και η ισορροπία αποθηκεύονται ως μη διαθέσιμα και όχι ως μηδενικά.

Η core/analytics/metrics.py ανακατασκευάζει τις μετρικές από τα canonical δεδομένα με έκδοση σημασιολογίας. Η βασική μονάδα ανάλυσης είναι η γονική συνεδρία. Τα candidate sub-runs της multi-seller και multi-buyer αγοράς παραμένουν ορατά για διάγνωση, αλλά δεν μετρώνται ως ανεξάρτητες παρατηρήσεις, αποφεύγοντας ψευδοεπανάληψη. Οι συγκεντρώσεις δηλώνουν ρητά eligibility, coverage και confidence intervals, ενώ οι συγκρίσεις πειραματικών treatments απαιτούν συμβατά repetition και seed identifiers.

Ο λειτουργικός χαρακτηρισμός win-win εφαρμόζεται από μία μικρή, κοινή συνάρτηση: πρέπει να υπάρχουν τιμές για όλα τα συμμετέχοντα μέρη και καθεμία να είναι τουλάχιστον ίση με το δηλωμένο κατώφλι 0,50. Η valid agreement συνθήκη ελέγχεται επιπλέον πριν το αποτέλεσμα καταγραφεί ως win-win. Το ακόλουθο απόσπασμα δείχνει τον πυρήνα του ελέγχου.

```
def utilities_are_win_win(
    utilities: Iterable[float | None],
    *,
    threshold: float = WIN_WIN_UTILITY_THRESHOLD,
) -> bool:
    values = list(utilities)
    return bool(
        values
        and all(value is not None for value in values)
        and all(float(value) >= float(threshold) for value in values if value is not None)
    )
```

Απόσπασμα κώδικα 4.2: Κοινός έλεγχος κατωφλίου win-win για όλα τα μέρη

Εκτός από τις ατομικές utilities, υπολογίζονται κοινωνική ευημερία ως άθροισμα, μέση χρησιμότητα, fairness ως 1 μείον το εύρος των utilities, round efficiency, πραγματικές παραχωρήσεις με βάση τη μεταβολή της χρησιμότητας του ίδιου ρόλου και, όπου ο χώρος είναι υπολογίσιμος, Pareto ή benchmark μεγέθη. Οι μετρικές δεν αλλάζουν τη συμφωνία και δεν αποτελούν ηθική ετυμηγορία. Παρέχουν ένα συνεπές σύνολο παρατηρήσεων για το πειραματικό κεφάλαιο που ακολουθεί.

Για να παραμένουν συγκρίσιμα τα ιστορικά artifacts, η αναλυτική μονάδα αποθηκεύει semantic version και hash των εισόδων από τις οποίες παρήχθη ένα συγκεντρωτικό αποτέλεσμα. Αλλαγή στον ορισμό μιας μετρικής ακυρώνει το σχετικό cache χωρίς να τροποποιεί το αρχικό transcript. Οι exports περιλαμβάνουν τόσο την αριθμητική τιμή όσο και τα πεδία definition, threshold, eligibility και coverage. Επομένως, ένας μεταγενέστερος πίνακας δεν εξαρτάται από το πώς ονομάζεται μία κάρτα στη διεπαφή, αλλά από ρητά αποθηκευμένη σημασιολογία που μπορεί να ελεγχθεί και να επανυπολογιστεί.

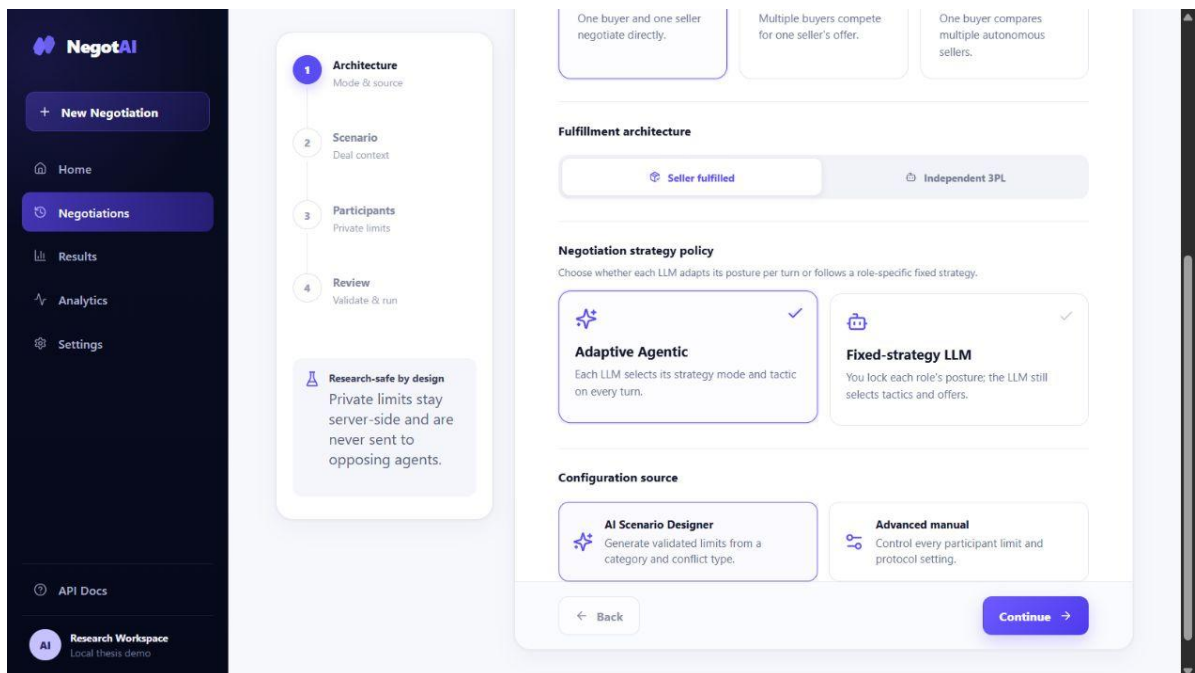
4.11 Διαδικτυακή εφαρμογή

Η διαδικτυακή εφαρμογή αποτελεί ερευνητική διεπαφή πάνω από τον ίδιο πυρήνα και δεν επαναυλοποιεί τη διαπραγματευτική λογική. Το frontend είναι single-page εφαρμογή React/TypeScript. Το backend FastAPI εκθέτει endpoints για επιλογές παρόχων, επικύρωση configuration, δημιουργία και ακύρωση εργασιών, ιστορικό, αποτελέσματα, artifacts, dashboard, analytics και exports. Μετά την αποδοχή μιας ρύθμισης, το backend αποθηκεύει τη συνεδρία σε SQLite και ένας worker εκκινεί την υπάρχουσα μηχανή σε απομονωμένη διεργασία. Η ουρά εκτελεί εργασίες FIFO μία κάθε φορά, επειδή η λογιστική των provider requests είναι process-level.

Η ζωντανή ενημέρωση γίνεται με Server-Sent Events. Ο worker μετατρέπει τα γεγονότα του πυρήνα σε δημόσια phase, round, offer, contract και completion events, ενώ το React client ενημερώνει την οθόνη χωρίς polling του πλήρους transcript. Μετά την ολοκλήρωση, result adapters μετατρέπουν τα σχήματα v2 και v3 σε κοινό μοντέλο παρουσίασης. Οι ιδιωτικές στρατηγικές και τα εσωτερικά assessments αποκρύπτονται στην κανονική προβολή και εμφανίζονται μόνο όταν ενεργοποιηθεί ρητά το Research view. Η ίδια πολιτική εφαρμόζεται στα API responses, όχι μόνο οπτικά στο frontend.

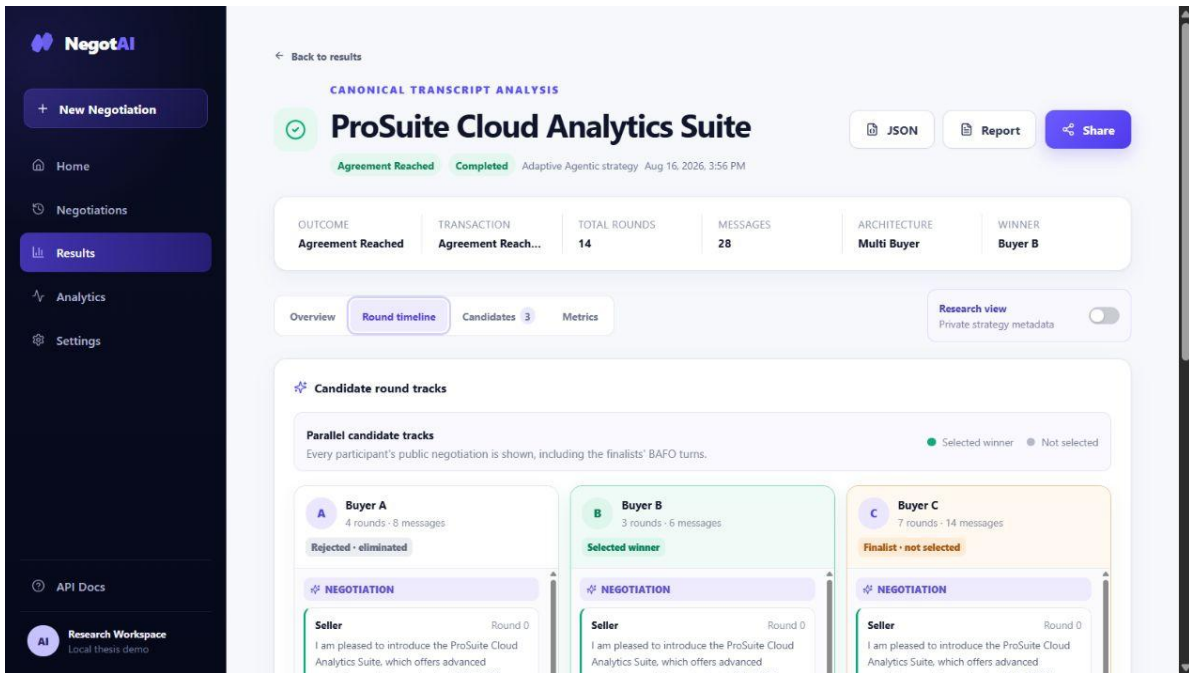
Το RunStore διατηρεί τις καταστάσεις queued, running, completed, failed και cancelled μαζί με timestamps και τη θέση των παραγόμενων artifacts. Η δημιουργία εργασίας επιστρέφει αμέσως αναγνωριστικό, ενώ το SSE stream μπορεί να επανασυνδεθεί και να ανακτήσει τα ήδη αποθηκευμένα δημόσια γεγονότα. Ακύρωση μιας queued εργασίας δεν εκκινεί διεργασία και ακύρωση ενεργής εργασίας δρομολογείται στον worker με ελεγχόμενη ενημέρωση κατάστασης. Τα API keys δεν αποθηκεύονται στο SQLite ούτε αποστέλλονται στο frontend· η σελίδα Settings εμφανίζει μόνο readiness και επιτρεπόμενες επιλογές μοντέλου.

Η σελίδα New Negotiation οργανώνει τη διαμόρφωση σε τέσσερα βήματα πριν δημιουργήσει εργασία. Το Σχήμα 4.4 δείχνει τις δύο πολιτικές στρατηγικής και τις πηγές configuration στην πραγματική εφαρμογή. Η fixed-strategy επιλογή εμφανίζεται μόνο μαζί με συμβατή αρχιτεκτονική και ενημερώνει τον χρήστη ότι κλειδώνει τη στάση, όχι τις επιμέρους τακτικές. Στο βήμα 3, κάθε χειροκίνητη διαμόρφωση εμφανίζει πεδία βαρών για όλους τους ενεργούς ρόλους. Στους παραγόμενους πληθυσμούς η κοινή ρύθμιση του ρόλου αντιγράφεται σε κάθε υποψήφιο, ενώ στους χειροκίνητα σχεδιασμένους πληθυσμούς διατηρούνται ανεξάρτητα βάρη ανά προφίλ· σε όλες τις περιπτώσεις το άθροισμα πρέπει να είναι 1,00. Στο βήμα 4, η περιοχή Advanced research controls παρέχει τον προαιρετικό διακόπτη Enable per-round utility discounting. Η προεξόφληση είναι αρχικά απενεργοποιημένη, οπότε οι ενεργοί συντελεστές είναι 1,00· όταν ενεργοποιείται, εμφανίζονται ξεχωριστά πεδία για κάθε ενεργό ρόλο ή πληθυσμό και η επιλογή μεταφέρεται σε κάθε απομονωμένη υπο-εκτέλεση.



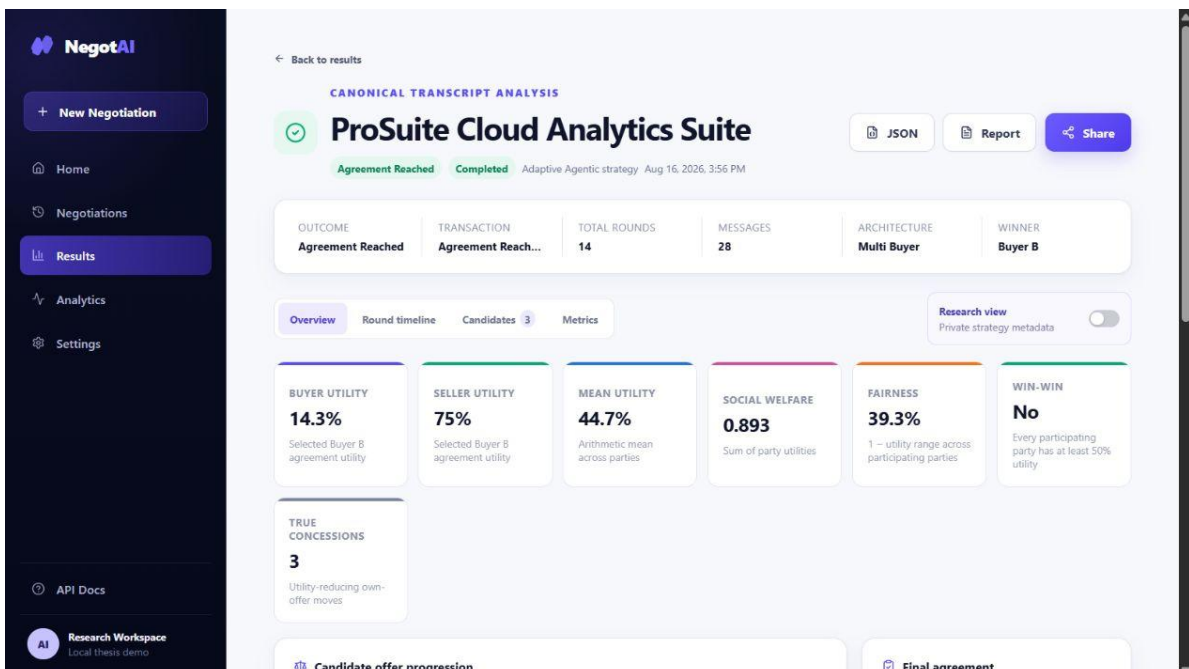
Σχήμα 4.4: Επιλογή αρχιτεκτονικής, πολιτικής στρατηγικής και πηγής configuration

Στην παρακολούθηση και στα αποτελέσματα, κάθε υποψήφιος διατηρεί ξεχωριστό track. Στο παράδειγμα multi-buyer του Σχήματος 4.5 εμφανίζονται παράλληλα ο απορριφθείς Buyer, ο επιλεγμένος νικητής και ο finalist που αποδεσμεύθηκε, μαζί με τους γύρους και τα BAFO γεγονότα. Η παρουσίαση αυτή κάνει ορατή τη διαφορά μεταξύ provisional agreement και binding allocation, η οποία θα χανόταν σε μία απλή λίστα συνολικών μηνυμάτων.



Σχήμα 4.5: Παράλληλη χρονογραμμή υποψηφίων σε πραγματική multi-buyer εκτέλεση

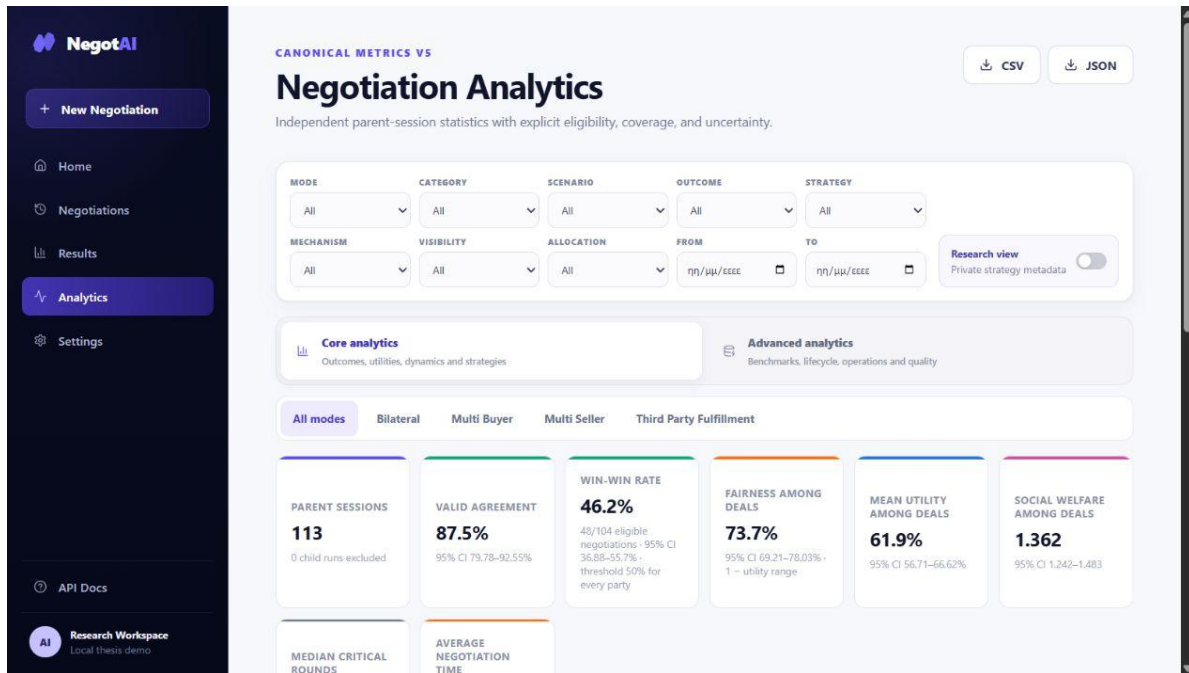
Η σελίδα αποτελεσμάτων ενοποιεί την έκβαση, την αρχιτεκτονική, τον νικητή, τις ατομικές utilities και τις παράγωγες μετρικές. Το Σχήμα 4.6 είναι χρήσιμο επειδή δείχνει πραγματική συμφωνία που δεν χαρακτηρίζεται win-win: ο Buyer έχει utility 14,3% και ο Seller 75%, επομένως αποτυγχάνει ο κανόνας του 50% για κάθε συμμετέχοντα. Η εφαρμογή δεν εξισώνει την ύπαρξη συμφωνίας με την ποιότητά της και διατηρεί ορατό τον ακριβή λειτουργικό ορισμό κάθε δείκτη.



Σχήμα 4.6: Παρουσίαση συμφωνίας, utility, fairness και λειτουργικού χαρακτηρισμού win-win

Τέλος, η σελίδα Analytics ανακατασκευάζει συγκεντρωτικά αποτελέσματα από τις γονικές συνεδρίες και προσφέρει φίλτρα για mode, κατηγορία, σενάριο, outcome, strategy, mechanism, visibility, allocation και ημερομηνία. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.7, κάθε κάρτα αναφέρει τον

παρονομαστή ή την επιλεξιμότητα και, όπου υποστηρίζεται, διάστημα εμπιστοσύνης. Τα γραφήματα υλοποιούνται με Recharts και τα ίδια δεδομένα μπορούν να εξαχθούν σε CSV ή JSON. Η διεπαφή λειτουργεί συνεπώς ως εργαλείο εκτέλεσης, επιθεώρησης και προκαταρκτικής ερευνητικής ανάλυσης, όχι ως ξεχωριστή πηγή μετρικών.



Σχήμα 4.7: Συγκεντρωτικές canonical μετρικές και φίλτρα της ερευνητικής διεπαφής

Κεφάλαιο 5ο: Μεθοδολογία Πειραματικής Αξιολόγησης

5.1 Σκοπός και αρχές σχεδιασμού

Το κεφάλαιο αυτό περιγράφει πώς σχεδιάστηκε και εκτελέστηκε η πειραματική αξιολόγηση της πλατφόρμας NegotAI. Στόχος του δεν είναι να παρουσιάσει ακόμη τα αποτελέσματα, αλλά να εξηγήσει με σαφήνεια τι συγκρίθηκε, ποια δεδομένα θεωρήθηκαν έγκυρα και πώς υπολογίστηκαν οι τελικές μετρικές. Κεντρικό αντικείμενο της αξιολόγησης είναι αν οι πράκτορες που βασίζονται σε LLM συγκλίνουν σε έγκυρες συμφωνίες οι οποίες ικανοποιούν τα αρχικά όρια τιμής, παράδοσης και εγγύησης ή σε ορθό no-deal όταν δεν υπάρχει κοινά αποδεκτή λύση. Οι μελέτες E1-E3 αποτελούν τον κύριο πειραματικό άξονα, επειδή εξετάζουν άμεσα αυτή την αποτελεσματικότητα σε διμερείς και πολυπρακτορικές διαπραγματεύσεις. Η E4 και η κοινή ανάλυση RQ5 λειτουργούν υποστηρικτικά, εξετάζοντας αντίστοιχα την αξιοπιστία μετά τη συμφωνία και το λειτουργικό αποτύπωμα των διαφορετικών αρχιτεκτονικών.

Η χρήση γλωσσικών μοντέλων δημιουργεί στοχαστικότητα: το ίδιο σενάριο μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετικές προτάσεις ή διαδρομές διαπραγμάτευσης. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν επαναλήψεις και, στις τρεις συγκριτικές μελέτες, ζευγοποιημένος σχεδιασμός. Ζευγοποιημένος σημαίνει ότι τα δύο treatments εκτελέστηκαν με το ίδιο scenario και την ίδια επανάληψη, ώστε η διαφορά τους να μην συγχέεται με διαφορετική δυσκολία εισόδου. Το seed ελέγχει την τυχαιοποίηση που πραγματοποιεί η εφαρμογή, όχι κατ' ανάγκη την εσωτερική δειγματοληψία του εξωτερικού provider.

Ο σχεδιασμός πάγωσε πριν εξεταστούν τα τελικά αποτελέσματα. Τα scenario banks, τα μοντέλα, τα prompts, οι επαναλήψεις, οι βασικές μετρικές και οι κανόνες χειρισμού αποτυχιών αποτυπώθηκαν στα final run plans. Τα τεχνικά pilots χρησιμοποιήθηκαν μόνο για έλεγχο της ροής και έμειναν εκτός της τελικής ανάλυσης. Καμία τελική εκτέλεση δεν αφαιρέθηκε ή αντικαταστάθηκε επειδή είχε ανεπιθύμητο αποτέλεσμα. Οι τεχνικές αποτυχίες παρέμειναν στους αρχικούς παρονομαστές και διαχωρίστηκαν από ένα κανονικό αποτέλεσμα χωρίς συμφωνία.

5.2 Αντιστοίχιση ερωτημάτων και υποθέσεων εργασίας

Τα ερευνητικά ερωτήματα της Ενότητας 1.4 μετατράπηκαν σε συγκεκριμένες συγκρίσεις και μετρήσιμα αποτελέσματα και οργανώνονται σε δύο επίπεδα. Τα RQ1-RQ3 απαντούν άμεσα στον βασικό στόχο της εργασίας: σύγκλιση, εγκυρότητα και ποιότητα συμφωνίας σε διμερείς και πολυπρακτορικές συνθήκες. Τα RQ4-RQ5 διευρύνουν υποστηρικτικά την αξιολόγηση στο επίπεδο του συστήματος, εξετάζοντας την end-to-end αξιοπιστία και το λειτουργικό αποτύπωμα. Η διάκριση αυτή αποτελεί ιεράρχηση του σκοπού και δεν μεταβάλλει τις προδηλωμένες υποθέσεις ή τους κανόνες ανάλυσης. Οι υποθέσεις εργασίας δεν προδικάζουν ότι ένα treatment είναι πάντοτε καλύτερο, αλλά ορίζουν ποια διαφορά αναζητείται και ποια στοιχεία απαιτούνται για να θεωρηθεί ότι η ερώτηση απαντήθηκε.

Πίνακας 5.1: Αντιστοίχιση ερευνητικών ερωτημάτων και πειραματικών στόχων

RQ	Βασική σύγκριση	Κύριο αντικείμενο αξιολόγησης
RQ1	Adaptive agentic έναντι fixed LLM/balanced στις ίδιες διμερείς διαπραγματεύσεις.	Ορθότητα έκβασης, ποιότητα συμφωνίας και λειτουργική αποδοτικότητα.

RQ	Βασική σύγκριση	Κύριο αντικείμενο αξιολόγησης
RQ2	Competitive BAFO έναντι independent selection στις ίδιες multi-buyer αγορές.	Χρησιμότητα Seller, ορθότητα κατανομής, welfare, fairness και εκκαθάριση αγοράς.
RQ3	Third-party fulfillment με 3PL έναντι seller-fulfilled αρχιτεκτονικής.	Πρόσθετο όφελος, επιτυχία συμφωνίας, κοινή χρησιμότητα και κόστος συντονισμού.
RQ4	Ίδια παγωμένη συμφωνία υπό τέσσερις ελεγχόμενες κατηγορίες γεγονότων.	Αξιοπιστία ενεργοποίησης, ολοκλήρωσης, claim, επίλυσης και τελικής κατάστασης.
RQ5	Κοινή offline ανάλυση των τελικών μελετών και ενδομελετικών treatments.	API attempts, retries, latency, tokens, διάρκεια και έκταση κάλυψης κόστους.

Οι H1-H3 ανήκουν στον κύριο πειραματικό άξονα, ενώ οι H4-H5 οργανώνουν την υποστηρικτική αξιολόγηση της αξιοπιστίας και του λειτουργικού αποτυπώματος. Η H1 εξετάζει αν η προσαρμοζόμενη πολιτική μεταβάλλει την ορθότητα ή την ποιότητα της διμερούς έκβασης. Η H2 εξετάζει αν ο competitive BAFO μεταβάλλει την απόδοση και την ορθή εκκαθάριση της αγοράς. Η H3 εξετάζει αν η ρητή συμμετοχή 3PL αλλάζει το αποτέλεσμα, ενώ αναμένεται να απαιτεί περισσότερη επικοινωνία λόγω του τρίτου μέρους. Η H4 αντιμετωπίζει το contract lifecycle ως αλυσίδα αξιοπιστίας και όχι ως διαγωνισμό μεταξύ events. Τέλος, η H5 εξετάζει αν οι διαφορετικές αρχιτεκτονικές αφήνουν μετρήσιμα διαφορετικό λειτουργικό αποτύπωμα.

5.3 Κοινός πειραματικός σχεδιασμός

Πίνακας 5.2: Συνοπτικός σχεδιασμός των τελικών μελετών

Μελέτη	Σενάρια και συνθήκες	Επαναλήψεις	Τελική population
E1 / RQ1	6 διμερή scenarios: 2 easy, 2 hard και 2 infeasible. Adaptive έναντι fixed balanced.	5 ανά scenario και treatment	60 sessions, 30 matched pairs
E2 / RQ2	6 αγορές με 3 Buyers: 2 broad, 2 narrow και 2 infeasible. Independent έναντι BAFO.	3 ανά scenario και treatment	36 parent markets, 18 matched pairs
E3 / RQ3	4 εφικτά scenarios: 2 broad, 1 tight-price και 1 tight-delivery. Seller έναντι 3PL fulfillment.	3 ανά scenario και treatment	24 sessions, 12 matched pairs
E4 / RQ4	4 controlled events: price, delivery, warranty και damage, πάνω στην ίδια συμφωνία.	3 ανά event	12 lifecycle sessions
RQ5	Offline συνένωση μόνο των audited final session-level αρχείων των E1-E4.	Δεν εκτελεί νέα sessions	132 final experimental units

Η πειραματική μονάδα δεν είναι ίδια σε όλες τις μελέτες. Στο E1 είναι μία πλήρης διμερής διαπραγμάτευση, στο E2 μία ολοκληρωτή αγορά με τρεις Buyers, στο E3 μία πλήρης fulfillment session και στο E4 ένα ολοκληρωμένο linked-contract lifecycle. Τα μηνύματα, οι γύροι και τα child negotiations δεν προστέθηκαν ως ξεχωριστές γραμμές. Έτσι αποφεύγεται η τεχνητή διόγκωση του δείγματος από πολλές εγγραφές που ανήκουν στην ίδια πραγματική εκτέλεση.

Οι τελικές παρτίδες εκτελέστηκαν από 24 έως 26 Αυγούστου 2026 στο τοπικό virtual environment με Python 3.14.3. Ο Buyer χρησιμοποίησε το gemma-4-31b-it και ο Seller το gemini-3.1-flash-lite. Στις μελέτες E3 και E4 ο Fulfillment Agent χρησιμοποίησε το gemini-3.5-flash-lite, ενώ στο E4 το ίδιο model χρησιμοποιήθηκε και από τον Contract Mediator. Η βασική temperature ήταν 0,5. Στο contract formation χρησιμοποιήθηκε 0,45 και στη συνδεδεμένη επίλυση διαφοράς 0,5. Επιτρέπονταν έως δύο

καταγεγραμμένες provider attempts ανά invocation, με ίδια πολιτική σε ολόκληρη την αντίστοιχη τελική παρτίδα.

Η σειρά εκτέλεσης τυχαιοποιήθηκε με αποθηκευμένα seeds: 20260824 για E1 και E2, 20260826 για E3 και 20260827 για E4. Η εκτέλεση σε μικρά τμήματα επιτράπηκε μόνο για λόγους χρόνου και provider quota. Μεταξύ των τμημάτων δεν άλλαξαν κώδικας, μοντέλα, scenario bank ή run plan με βάση τα ενδιάμεσα outcomes.

Πριν από κάθε final batch προηγήθηκε τεχνικός έλεγχος με πραγματικά APIs, ο οποίος δεν συμμετείχε στην ανάλυση υποθέσεων. Στο E3 το pilot αποκάλυψε ότι το μη διαπραγματεύσιμο shipping subsidy δεν δηλωνόταν αρκετά καθαρά στο 3PL prompt. Η οδηγία διορθώθηκε, επαληθεύτηκε σε χωριστό post-fix check και μόνο τότε πάγωσε ο final σχεδιασμός. Τα pilot και post-fix δεδομένα παρέμειναν σε ξεχωριστούς φακέλους και δεν συγχωνεύθηκαν με τις τελικές μελέτες.

5.4 Πειραματικές μελέτες

Με βάση αυτή την ιεράρχηση, οι E1-E3 παρουσιάζονται πρώτα ως κύριες μελέτες αποτελεσματικότητας της διαπραγμάτευσης. Η E4 ακολουθεί ως υποστηρικτική μελέτη αξιοπιστίας μετά τη συμφωνία, ενώ το RQ5 συνθέτει εκ των υστέρων το λειτουργικό αποτύπωμα όλων των τελικών μελετών.

5.4.1 Μελέτη E1: διμερής πολιτική στρατηγικής

Η πρώτη μελέτη συνέκρινε δύο τρόπους ελέγχου της στρατηγικής των Buyer και Seller. Στο adaptive_agentic treatment κάθε agent μπορούσε να επιλέγει ανά γύρο strategy mode και tactic. Στο fixed_llm/balanced treatment τα LLMs εξακολουθούσαν να δημιουργούν επιχειρήματα και προσφορές, αλλά το υψηλού επιπέδου strategy mode παρέμενε balanced. Όλες οι άλλες ρυθμίσεις, όπως το scenario, τα ιδιωτικά όρια, τα utility weights, τα models, τα prompts και οι δέκα μέγιστοι γύροι, διατηρήθηκαν ίδιες μέσα σε κάθε pair.

Το παγωμένο bank περιείχε δύο easy feasible, δύο hard feasible και δύο infeasible scenarios. Στα feasible scenarios η ορθή έκβαση ήταν μία συμφωνία που ικανοποιούσε τα ιδιωτικά όρια και των δύο πλευρών. Στα infeasible scenarios η ορθή έκβαση ήταν η λήξη χωρίς συμφωνία, επειδή δεν υπήρχε κοινά αποδεκτό πακέτο. Η διάκριση αυτή είναι σημαντική: ένα no-deal δεν θεωρείται αποτυχία όταν αποτελεί τη μόνη ασφαλή έκβαση.

Οι κύριες συγκρίσεις αφορούσαν το valid-agreement rate στα feasible pairs, το correct-no-deal rate στα infeasible pairs και τη mean utility στα pairs όπου και τα δύο treatments παρήγαγαν έγκυρη συμφωνία. Buyer και Seller utility, welfare, fairness, win-win, γύροι, validation warnings και αποκαλύψεις ιδιωτικών ορίων αναλύθηκαν ως δευτερεύουσες ή διαγνωστικές μετρικές. Ένα manipulation check επαλήθευσε επίσης ότι τα adaptive sessions άλλαζαν πράγματι strategy mode και τα fixed sessions παρέμεναν balanced.

5.4.2 Μελέτη E2: μηχανισμός multi-buyer αγοράς

Η δεύτερη μελέτη εξέτασε μία single-unit αγορά με έναν Seller και τρεις παγωμένους Buyer profiles. Στο independent_selection control ο Seller διαπραγματευόταν χωριστά και τυφλά με κάθε Buyer και στο τέλος επέλεγε την καλύτερη έγκυρη παρατηρηθείσα προσφορά. Στο competitive_bafo treatment οι Buyers γνώριζαν ότι υπάρχει ανταγωνισμός, χωρίς να βλέπουν ταυτότητες ή αντίπαλες προσφορές. Μετά τη συγχρονισμένη πρώτη φάση, έως δύο finalists υπέβαλλαν μία sealed Best and

Final Offer. Και στις δύο συνθήκες η χωρητικότητα ήταν ένα τεμάχιο και ο κανόνας κατανομής μεγιστοποιούσε τη Seller utility.

Η μονάδα ανάλυσης ήταν η parent market session. Οι τρεις child διαπραγματεύσεις αποτελούσαν τμήματα της ίδιας αγοράς και χρησιμοποιήθηκαν μόνο για διαγνωστικούς ελέγχους. Κάθε pair μοιραζόταν το ίδιο scenario, την ίδια population, το ίδιο repetition ID και το ίδιο pair seed. Το bank περιείχε δύο broad feasible, δύο narrow competitive και δύο market-infeasible αγορές.

Τα τρία κύρια outcomes ήταν η unconditional Seller utility, το observed allocation regret και η ορθότητα market clearance. Η unconditional utility ορίστηκε ίση με μηδέν όταν δεν υπήρχε έγκυρη κατανομή, ώστε η τεχνική ή λειτουργική αποτυχία να μην εξαφανίζεται από τον μέσο όρο. Το allocation regret συνέκρινε την επιλεγμένη προσφορά με την καλύτερη έγκυρη προσφορά που πράγματι εμφανίστηκε στο ίδιο run. Welfare, fairness, winning-Buyer utility, BAFO uplift και αλλαγή νικητή αναφέρθηκαν συμπληρωματικά.

5.4.3 Μελέτη E3: seller fulfillment έναντι ανεξάρτητου 3PL

Η τρίτη μελέτη συνέκρινε την ίδια εμπορική ευκαιρία σε δύο αρχιτεκτονικές. Στο seller_fulfilled control ο Buyer και ο Seller διαπραγματεύονταν συνολική τιμή, παράδοση και εγγύηση. Στο third_party_fulfilled treatment ο Seller έλεγχε την τιμή προϊόντος και την εγγύηση, ενώ ανεξάρτητος 3PL έλεγχε το fulfillment fee και την παράδοση. Η τελική χρέωση του Buyer ήταν product price συν fulfillment fee, επειδή το shipping subsidy είχε παγώσει στο μηδέν.

Τα δύο treatments αντιστοιχίστηκαν ως προς προϊόν, Buyer limits, utility weights, καθαρά οικονομικά όρια Seller, ελάχιστη δυνατή παράδοση, warranty domain, model settings και pair seed. Στο 3PL treatment απαιτούνταν ομόφωνη αποδοχή της ίδιας version από Buyer, Seller και 3PL. Τα τέσσερα final scenarios ήταν όλα εφικτά και περιλάμβαναν δύο broad, ένα tight-price και ένα tight-delivery περιβάλλον.

Κύρια outcomes ήταν το valid-agreement rate και η unconditional common-party mean utility, δηλαδή ο μέσος όρος Buyer και Seller. Η επιλογή αυτών των δύο κοινών ρόλων επιτρέπει δίκαιη σύγκριση των treatments, χωρίς να συγκρίνεται ένας διμερής μέσος με έναν τριμερή. Τα coordination failures, η 3PL utility και η all-party fairness παρέμειναν treatment-specific diagnostics. Για κάθε 3PL session ελέγχθηκε επίσης ότι το inventory hold δεσμεύτηκε, committed ή απελευθερώθηκε χωρίς αρνητικό απόθεμα ή διπλή δέσμευση.

5.4.4 Μελέτη E4: αξιοπιστία contract lifecycle

Η τέταρτη μελέτη δεν συνέκρινε δύο negotiation treatments. Επανεκκινούσε την ίδια αποδεκτή συμφωνία σε κάθε session: product price 900 ευρώ, fulfillment fee 50 ευρώ, συνολική χρέωση Buyer 950 ευρώ, delivery 4 ημέρες, warranty 3 έτη και quantity 1. Στη συνέχεια μεταβαλλόταν μόνο μία από τέσσερις ελεγχόμενες κατηγορίες event: πρόσθετη χρέωση, καθυστέρηση παράδοσης, άρνηση κάλυψης εγγύησης ή ζημιά υπό ευθύνη 3PL.

Η εξωτερική συνθήκη και η action που παρήγαγε τη γνωστή απόκλιση ήταν deterministic fixture και δεν έκανε API call. Αντίθετα, η formation των δύο linked contracts, η απόφαση του Buyer να ανοίξει claim και η επιλογή remedy από τα εμπλεκόμενα agents παρέμειναν agentic. Επομένως η μελέτη δεν εκτιμά πόσο συχνά εμφανίζεται μία διαφορά στην πραγματική αγορά. Ελέγχει αν το λογισμικό χειρίζεται σωστά μία γνωστή και επαναλήψιμη απόκλιση.

Οι κύριες μετρικές ήταν activation rate, post-event lifecycle completion, invariant-safe session rate και end-to-end reliability. Οι ενδιάμεσες μετρικές, όπως event observation, breach classification, claim, routing, remedy, retention, escalation και cancellation, υπολογίστηκαν μόνο όταν είχε επιτευχθεί το προηγούμενο στάδιο. Κάθε event είχε τρεις επαναλήψεις. Λόγω του μικρού αυτού πλήθους, τα event-level αποτελέσματα είναι περιγραφικά και δεν υποβλήθηκαν σε μεταξύ τους hypothesis test.

5.4.5 Δευτερογενής ανάλυση RQ5: λειτουργικό αποτύπωμα

Το RQ5 δεν εκτέλεσε νέα agent sessions. Διάβασε offline τα audited final session-level αρχεία των E1-E4, συνολικά 132 πειραματικές μονάδες, και απέκλεισε όλα τα pilots. Για κάθε treatment ή event class υπολογίστηκαν API attempts, successful turns, retries, provider, parse και semantic errors, input/output tokens, συνολική model latency και end-to-end duration. Επιπλέον καταγράφηκαν τα attempts ανά ρόλο.

Οι τρεις treatment comparisons έγιναν μόνο μέσα στην αντίστοιχη μελέτη: adaptive μείον fixed στο E1, BAFO μείον independent στο E2 και 3PL μείον seller-fulfilled στο E3. Δεν έγινε αιτιώδης κατάταξη μεταξύ E1, E2, E3 και E4, επειδή μία bilateral session, μία multi-buyer αγορά και ένα contract lifecycle δεν εκτελούν ισοδύναμη εργασία. Τα δια-μελετών σύνολα παρουσιάζονται μόνο ως περιγραφική εικόνα του πραγματικού υπολογιστικού φορτίου.

Έξι terminal failures, δύο στο E1 και τέσσερα στο E2, δεν είχαν transcript-level usage telemetry. Οι μηδενικές placeholder τιμές δεν ερμηνεύθηκαν ως μηδενική κατανάλωση, αλλά μετατράπηκαν σε missing. Κατά συνέπεια τα συνολικά attempts, tokens και model latency χαρακτηρίζονται ως κατώτερα όρια. Το E1 παρείχε μόνο μερική paid-tier εκτίμηση για το Seller model. Στα E2-E4 δεν υπήρχε provider-reported κόστος. Άρα το μη διαθέσιμο κόστος δεν έγινε μηδέν και δεν πραγματοποιήθηκε χρηματική κατάταξη των μελετών.

5.5 Μεταβλητές και έλεγχος συνθηκών

Ανεξάρτητη μεταβλητή είναι η συνθήκη που αλλάζει σκόπιμα. Εξαρτημένη μεταβλητή είναι το αποτέλεσμα που μετράται. Ελεγχόμενες είναι οι παράμετροι που παραμένουν ίδιες, ώστε μία παρατηρούμενη διαφορά να μην οφείλεται σε διαφορετικό προϊόν, population ή δυσκολία. Στο E4 ο όρος ανεξάρτητη μεταβλητή αναφέρεται στην event condition και όχι σε ανταγωνιστικό treatment.

Πίνακας 5.3: Κύριες μεταβλητές και ελεγχόμενες παράμετροι

Με λέτη	Σκόπιμη μεταβολή	Κύριες εξαρτημένες μετρικές	Βασικά ελεγχόμενα στοιχεία
E1	Adaptive ή fixed-balanced strategy policy.	Ορθή έκβαση και mean utility.	Scenario, limits, weights, models, prompts, max rounds και discounting.
E2	Independent selection ή competitive BAFO.	Seller utility, regret και clearance correctness.	Ίδιοι 3 Buyers, capacity 1, allocation rule, limits, models και pair seed.
E3	Seller-fulfilled ή independent 3PL.	Valid agreement και common-party utility.	Ίδια οικονομική ευκαιρία, hard boundaries, models, subsidy 0 και contracts off.
E4	Price, delivery, warranty ή damage event.	Activation, completion και invariant-safe reliability.	Ίδια frozen agreement, actors, inventory, prompts, models και event fixture rules.

5.6 Μετρικές και παρονομαστές

Ο παρονομαστής είναι ο συνολικός αριθμός περιπτώσεων ως προς τον οποίο υπολογίζεται ένα ποσοστό. Δηλώνεται ρητά, επειδή ένα ποσοστό 8/12 δεν έχει την ίδια βεβαιότητα με ένα ποσοστό 80/120. Επίσης, μετρικές που έχουν νόημα μόνο μετά από ένα προηγούμενο στάδιο χρησιμοποιούν τον αντίστοιχο υπό συνθήκη παρονομαστή. Για παράδειγμα, η επίλυση dispute υπολογίζεται μόνο μεταξύ των claims που άνοιξαν πράγματι dispute.

Πίνακας 5.4: Ορισμοί των βασικών outcome μετρικών

Μετρική	Απλός λειτουργικός ορισμός	Παρονομαστής και ερμηνεία
Valid agreement	Συμφωνία που ταυτίζεται στο απαιτούμενο package/version και περνά όλους τους reservation και validation ελέγχους.	Όλες οι planned sessions της κατάλληλης feasible συνθήκης.
Correct no-deal	Λήξη χωρίς συμφωνία σε scenario όπου δεν υπάρχει κοινά εφικτό πακέτο.	Μόνο τα προκαθορισμένα infeasible scenarios. Δεν είναι technical failure.
Utility	Κανονικοποιημένη αξία από 0 έως 1 με τα ιδιωτικά weights του αντίστοιχου ρόλου.	Αναφέρεται ανά ρόλο. Οι conditional τιμές χρησιμοποιούν μόνο έγκυρες συμφωνίες.
Common-party mean utility	Μέσος όρος Buyer και Seller, δηλαδή των δύο ρόλων που υπάρχουν και στα δύο E3 treatments.	Στην unconditional E3 ανάλυση η τιμή είναι 0 όταν δεν υπάρχει valid agreement.
Seller utility	Αξία του Seller από τη μοναδική binding allocation της E2 αγοράς.	Στην κύρια unconditional ανάλυση είναι 0 όταν δεν υπάρχει έγκυρη κατανομή.
Observed allocation regret	Διαφορά της καλύτερης έγκυρης προσφοράς που εμφανίστηκε στο run από την επιλεγμένη προσφορά.	Ορίζεται όταν υπάρχουν έγκυροι observed candidates. Δεν είναι oracle regret.
Welfare / fairness / win-win	Συνολικό ή μέσο όφελος, ισορροπία utilities και συμφωνία με utility τουλάχιστον 0,50 για όλα τα μέρη.	Αναφέρονται μαζί με το πλήθος συμμετεχόντων και δεν υποκαθιστούν το agreement rate.
Contract reliability	Activation, completion και ασφαλής τήρηση IDs, linked statuses, remedies και inventory invariants.	Κάθε στάδιο δηλώνει planned ή stage-conditional denominator.

Πίνακας 5.5: Τεχνικές και λειτουργικές μετρικές

Μετρική	Τι μετρά	Κανόνας αναφοράς
Technical failure	Terminal provider, parsing, agent ή orchestration αστοχία που εμποδίζει έγκυρη ολοκλήρωση.	Παραμένει στην planned population και δεν μετατρέπεται σε οικονομικό no-deal.
API attempts	Κάθε καταγεγραμμένη προσπάθεια κλήσης model provider, συμπεριλαμβανομένων επαναλήψεων.	Αναφέρεται ανά usage-observed session και ανά ρόλο.
Retries και errors	Επαναλήψεις μετά από provider error, μαζί με parse και semantic errors.	Παρουσιάζονται χωριστά, επειδή ένα semantic repair δεν είναι provider retry.
Tokens	Input, output και συνολικά tokens που επέστρεψε ο provider.	Missing telemetry παραμένει missing και δεν συμπληρώνεται με μηδέν.

Μετρική	Τι μετρά	Κανόνας αναφοράς
Latency και duration	Αθροιστικός χρόνος αναμονής των models και συνολικός wall-clock χρόνος της session.	Οι δύο χρόνοι αναφέρονται χωριστά, επειδή η session περιλαμβάνει και τοπική επεξεργασία.
Covered cost	Χρηματική τιμή μόνο για ρόλους και calls με διαθέσιμη, δηλωμένη τιμολόγηση.	Το E1 καλύπτει μόνο Seller estimate. Μη διαθέσιμο κόστος δεν θεωρείται 0 δολάρια.

Για το RQ5 ορίστηκε επιπλέον μία primary success ανά μελέτη: έγκυρη συμφωνία ή σωστό no-deal στο E1, σωστή market clearance στο E2, έγκυρη συμφωνία στο E3 και end-to-end reliability success στο E4. Το συνολικό παρατηρημένο resource usage διαιρέθηκε με αυτές τις επιτυχίες, ώστε να αποτυπωθεί όχι μόνο το κόστος ενός run αλλά και το λειτουργικό φορτίο για κάθε επιτυχή τελική έκβαση. Όταν έλειπε telemetry από failures, η τιμή σημειώθηκε ρητά ως κατώτερο όριο.

5.7 Στατιστική ανάλυση

Η ανάλυση βασίστηκε πρώτα στο μέγεθος της παρατηρούμενης διαφοράς και στο 95% διάστημα αβεβαιότητας γύρω από αυτή. Το διάστημα αυτό δείχνει πόσο ακριβής είναι η εκτίμηση με το διαθέσιμο δείγμα. Όταν περιλαμβάνει το μηδέν, τα δεδομένα δεν παρέχουν καθαρή ένδειξη ότι το ένα treatment διαφέρει από το άλλο. Αυτό δεν ισοδυναμεί με απόδειξη ότι τα treatments είναι ίδια.

Πίνακας 5.6: Στατιστική διαδικασία ανά τύπο δεδομένων

Περίπτωση	Μέθοδος	Απλή ερμηνεία
Διαδικά paired outcomes	Πλήθη, ποσοστά, Wilson 95% interval και exact McNemar test στα discordant pairs.	Εξετάζεται πόσα pairs άλλαξαν προς κάθε κατεύθυνση.
Συνεχή paired outcomes	Treatment-minus-control differences, mean/median, stratified bootstrap interval και exact sign-flip test.	Υπολογίζεται πρώτα η διαφορά μέσα σε κάθε ίδιο scenario/repetition.
Πολλαπλά primary tests	Holm-Bonferroni correction χωριστά μέσα σε κάθε μελέτη.	Μειώνει τον κίνδυνο τυχαίου θετικού συμπεράσματος από πολλές δοκιμές.
E4 reliability	Counts, rates και Wilson 95% intervals, συνολικά και ανά event class.	Δεν υπολογίζονται p-values μεταξύ των τεσσάρων events.
RQ5 footprint	Paired complete-case mean differences και deterministic bootstrap intervals με 20.000 resamples.	Δεν γίνονται p-values ή αιτιώδεις συγκρίσεις μεταξύ διαφορετικών studies.

Το exact McNemar test χρησιμοποιήθηκε για paired yes/no outcomes, όπως valid agreement ή clearance correctness. Βασίζεται στα pairs στα οποία τα treatments διαφωνούν. Για συνεχείς τιμές, όπως utility, χρησιμοποιήθηκε exact two-sided sign-flip test: ελέγχεται αν οι παρατηρούμενες θετικές και αρνητικές paired differences θα μπορούσαν να προκύψουν χωρίς σταθερή κατεύθυνση effect. Τα bootstrap intervals δημιουργήθηκαν με επαναδειγματοληψία ανά scenario, ώστε κάθε κατηγορία να διατηρεί τη θέση της στο δείγμα.

Το E1 χρησιμοποίησε 100.000 bootstrap resamples. Τα E2 και E3 χρησιμοποίησαν 20.000, όπως και το RQ5. Τα seeds της ανάλυσης ήταν αντίστοιχα 20260824, 20260825, 20260827 και 20260828.

Στα E1-E3 τα primary p-values διορθώθηκαν με Holm-Bonferroni μέσα στην ίδια μελέτη. Οι secondary μετρικές παρουσιάζονται ως διερευνητικές, με effect size και uncertainty, χωρίς να μετατρέπεται ένα μη σαφές αποτέλεσμα σε υποτιθέμενη τάση.

5.8 Αποτυχίες, ελλιπή δεδομένα και ακεραιότητα

Η αξιοπιστία του συμπεράσματος εξαρτάται από τον σωστό διαχωρισμό μιας οικονομικής αποτυχίας από μία τεχνική αστοχία. Για αυτό κάθε run διατηρεί status, failure type, transcript path και request snapshot. Τα failures αναλύονται ως μέρος της συμπεριφοράς του end-to-end συστήματος και όχι ως γραμμές που μπορούν να διαγραφούν εκ των υστέρων.

Πίνακας 5.7: Κατηγορίες αποτυχίας και κανόνες χειρισμού

Κατηγορία	Παράδειγμα	Χειρισμός στην ανάλυση
Provider	Timeout, rate limit ή εξάντληση επιτρεπόμενων attempts.	Technical failure αν δεν ανακτηθεί. Παραμένει στον planned παρονομαστή.
Parse / format	Απάντηση που δεν ακολουθεί το απαιτούμενο schema.	Καταγεγραμμένο repair ή terminal failure. Δεν θεωρείται no-deal.
Semantic / validation	Μη επιτρεπτός όρος, άκυρη αλλαγή ή παραβίαση reservation constraint.	Η state transition απορρίπτεται και το συμβάν καταγράφεται χωριστά.
Economic no-deal	Walk-away ή λήξη γύρων χωρίς κοινή έγκυρη προσφορά.	Κανονικό outcome. Στα infeasible E1 scenarios μπορεί να είναι η σωστή έκβαση.
Coordination / contract	Μη ομόφωνη 3PL version, formation failure ή μη ασφαλής linked transition.	Ξεχωριστό outcome και stage, με inventory και invariant checks.

Τα run plans περιλάμβαναν μοναδικά run IDs και status για κάθε προγραμματισμένη μονάδα. Τα scenario banks, τα relevant source files και τα τελικά αρχεία ελέγχθηκαν με SHA-256 fingerprints. Οι auditors επαλήθευσαν το πλήθος γραμμών, τα treatment counts, την πληρότητα των pairs, τα transcript hashes, την ταυτότητα input συν output tokens με το total και το άθροισμα attempts ανά ρόλο. Αν άλλαζε παγωμένο input, η αντίστοιχη ανάλυση σταματούσε αντί να συνεχίζει σιωπηρά.

Οι τέσσερις final populations περιείχαν συνολικά 132 μονάδες. Τα parent records ήταν η canonical πηγή για E2 και οι child transcripts χρησιμοποιήθηκαν μόνο για έλεγχο. Στο RQ5 οι έξι μονάδες χωρίς usage telemetry παρέμειναν στο σύνολο, αλλά εξαιρέθηκαν μόνο από τους υπολογισμούς που απαιτούσαν attempts, latency ή tokens. Η διάρκειά τους, η οποία υπήρχε στο run plan, διατηρήθηκε ως παρατηρημένη.

5.9 Διαδικασία αναπαραγωγής

Η αναπαραγωγή διαχωρίζεται σε τοπικό έλεγχο, πραγματική API εκτέλεση και offline ανάλυση. Η ακολουθία είναι η παρακάτω:

1. Εγκατάσταση των καταγεγραμμένων dependencies στο τοπικό .venv και εκτέλεση των unit και scenario-validation tests χωρίς API calls.
2. Δημιουργία ή ανάγνωση του παγωμένου run plan και έλεγχος των scenario, treatment, repetition και pair συνδυασμών.
3. Επαλήθευση των SHA-256 fingerprints του scenario bank και του relevant source πριν από κάθε πραγματική εκτέλεση.

4. Εκτέλεση μόνο των planned rows, με σταθερά models, prompts και retry policy, και αποθήκευση JSON/Markdown transcript και request snapshot.
5. Διακοπή και επιθεώρηση όταν εμφανίζεται runner-level failure. Η συνέχεια αφορά μόνο τις υπόλοιπες planned rows και δεν αντικαθιστά την αποτυχημένη μονάδα.
6. Offline integrity audit των run IDs, statuses, pairs, transcripts, tokens, role attempts και inventory ή contract invariants όπου εφαρμόζονται.
7. Εκτέλεση του παγωμένου analysis script και εξαγωγή session-level CSV/JSON, paired summaries, intervals και αναφορών Markdown.

Οι εντολές plan και status δεν κάνουν API calls, ενώ οι αναλύσεις E1-E4 και RQ5 είναι πλήρως offline. Έτσι, μόνο η αρχική συλλογή δεδομένων είναι στοχαστική· οι έλεγχοι, οι πίνακες και τα συμπεράσματα αναπαράγονται από τα αποθηκευμένα artifacts χωρίς νέα κλήση σε LLM.

Με αυτή τη διαδικασία, ένας τρίτος ερευνητής μπορεί να αναγνωρίσει την πειραματική μονάδα, τα treatments, τους παρονομαστές και τους κανόνες αποτυχίας κάθε RQ. Το Κεφάλαιο 6 χρησιμοποιεί αποκλειστικά αυτά τα παγωμένα και ελεγμένα σύνολα.

Κεφάλαιο 6ο: Αποτελέσματα και Συζήτηση

6.1 Σκοπός και τρόπος ανάγνωσης των αποτελεσμάτων

Το κεφάλαιο αυτό παρουσιάζει τα αποτελέσματα σε δύο επίπεδα. Τα RQ1-RQ3 αποτελούν την κύρια απάντηση στην αρχική περιγραφή της εργασίας, επειδή εξετάζουν τη σύγκλιση σε έγκυρη συμφωνία, την ορθή λήξη χωρίς συμφωνία και την ικανοποίηση των δηλωμένων κριτηρίων σε διμερείς και πολυπρακτορικές συνθήκες. Τα RQ4-RQ5 είναι υποστηρικτικά: αποτιμούν την end-to-end αξιοπιστία μετά τη συμφωνία και το λειτουργικό αποτύπωμα των treatments. Χρησιμοποιούνται αποκλειστικά τα παγωμένα final datasets που ορίστηκαν στο Κεφάλαιο 5. Τα pilots και τα post-fix checks παραμένουν εκτός, ενώ καμία αποτυχημένη εκτέλεση δεν αφαιρέθηκε ή αντικαταστάθηκε λόγω του αποτελέσματός της.

Η παρουσίαση διαχωρίζει την παρατήρηση από την ερμηνεία. Στα RQ1-RQ3 αναφέρονται πρώτα το μέγεθος της διαφοράς, το 95% διάστημα αβεβαιότητας και οι προκαθορισμένοι exact έλεγχοι. Όταν το διάστημα περιλαμβάνει το μηδέν ή η διορθωμένη τιμή p είναι μεγαλύτερη από 0,05, το αποτέλεσμα χαρακτηρίζεται ως μη στατιστικά σαφές. Αυτό σημαίνει ότι το διαθέσιμο δείγμα δεν τεκμηριώνει διαφορά· δεν αποδεικνύει ότι οι δύο συνθήκες είναι ίδιες. Το RQ4 και το RQ5 είναι περιγραφικά και δεν χρησιμοποιούν p -values.

Σε κάθε ποσοστό δηλώνεται ο παρονομαστής. Η διάκριση είναι ουσιώδης: άλλο είναι η επιτυχία σε όλες τις προγραμματισμένες εκτελέσεις και άλλο η επιτυχία ενός σταδίου μόνο μεταξύ των sessions που έφτασαν πράγματι σε αυτό. Αντίστοιχα, τα cross-study λειτουργικά μεγέθη δεν κατατάσσουν τις μελέτες, επειδή μία διμερής session, μία αγορά τριών Buyers και ένα contract lifecycle δεν αποτελούν ισοδύναμες μονάδες εργασίας.

6.2 Τελικά σύνολα δεδομένων και έλεγχος ακεραιότητας

Πίνακας 6.1: Τελικές populations και βασικά αποτελέσματα ακεραιότητας

Μελέτη	Παγωμένη population	Παρατηρήσιμο τελικό υλικό	Αποτέλεσμα ελέγχου
E1 / RQ1	60 sessions και 30 matched pairs.	58 transcripts και 2 terminal provider failures.	Integrity PASS· οι 2 failures παρέμειναν στον παρονομαστή.
E2 / RQ2	36 parent markets και 18 matched pairs.	32 parent transcripts, 96 child diagnostics και 4 terminal failures.	Integrity PASS χωρίς warnings· και οι 4 failures στο independent treatment.
E3 / RQ3	24 sessions και 12 matched pairs.	24 transcripts· 3 agent failures και 2 coordination no-deals στο 3PL treatment.	Integrity PASS· σωστό inventory lifecycle 12/12.
E4 / RQ4	12 lifecycle sessions, 3 ανά event class.	12 transcripts· 8 activations και 4 formation-agent failures.	Integrity PASS· invariants ασφαλή 12/12.
RQ5	132 κανονικοποιημένες τελικές μονάδες.	Usage telemetry 126/132 και 116 primary successes.	Integrity PASS· 6 missing telemetry rows και 0 sessions με πλήρη cost coverage.

Ο όρος completed δεν σημαίνει πάντοτε επιτυχημένη οικονομική έκβαση. Στα E3 και E4 ο runner ολοκλήρωσε κανονικά την καταγραφή ακόμη και όταν ένα εσωτερικό agent stage απέτυχε. Η διάκριση αυτή επιτρέπει να μετρηθεί η end-to-end αξιοπιστία χωρίς να χαθούν οι αποτυχημένες περιπτώσεις. Στο

σύνολο RQ5 καταγράφηκαν 13 τεχνικές αποτυχίες στις 132 μονάδες, ενώ τα έξι terminal failures των E1 και E2 δεν διέθεταν usage telemetry.

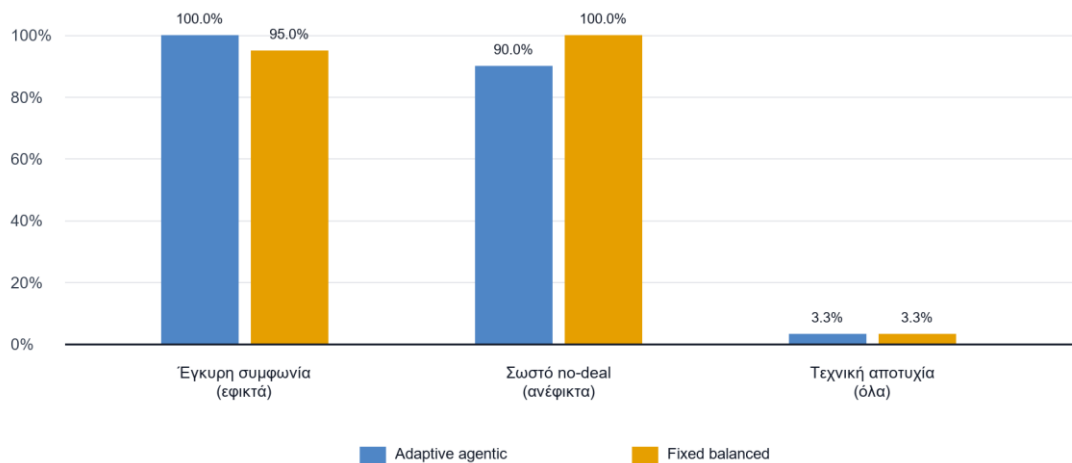
6.3 RQ1: adaptive agentic έναντι fixed balanced

Η σύντομη απάντηση στο RQ1 είναι ότι η adaptive_agentic πολιτική άλλαξε πράγματι τον τρόπο στρατηγικής δράσης, αλλά δεν προέκυψε τεκμηριωμένη συνολική βελτίωση στην ορθότητα ή στην ποιότητα της διμερούς έκβασης σε σχέση με το fixed_llm/balanced control. Και οι δύο πολιτικές παρήγαγαν πολύ υψηλά ποσοστά ορθής έκβασης και καμία μη ασφαλή συμφωνία.

Πίνακας 6.2: Κύρια paired αποτελέσματα του RQ1

Outcome	Adaptive	Fixed	Δ Adaptive–Fixed	95% CI και Holm p
Valid agreement	20/20 (100,0%)	19/20 (95,0%)	+0,050	[0,000, 0,150]· p=1,000
Correct no-deal	9/10 (90,0%)	10/10 (100,0%)	–0,100	[–0,300, 0,000]· p=1,000
Paired mean utility	0,4328	0,4226	+0,0102	[–0,0172, 0,0399]· p=1,000

RQ1: ορθότητα έκβασης ανά πολιτική



Σχήμα 6.1: Ποσοστά ορθής έκβασης και τεχνικής αποτυχίας στο E1. Οι παρονομαστές είναι 20 εφικτές, 10 ανέφικτες και 30 συνολικές sessions ανά treatment.

Η manipulation check απέκλεισε την εξήγηση ότι το treatment δεν εφαρμόστηκε. Και οι 29 παρατηρήσιμες adaptive sessions άλλαξαν strategy mode τουλάχιστον μία φορά, με 72 συνολικές αλλαγές, ενώ οι 29 fixed sessions παρέμειναν balanced. Παρ' όλα αυτά, η διαφορά της μέσης χρησιμότητας ήταν μόλις +0,0102 και το διάστημα αβεβαιότητας κάλυπτε τόσο μικρή αρνητική όσο και μικρή θετική επίδραση. Τα win-win outcomes ήταν 5/20 και στις δύο συνθήκες, ενώ οι τεχνικές αποτυχίες ήταν 1/30 ανά treatment.

Συνεπώς, η H1 δεν υποστηρίζεται ως υπόθεση aggregate υπεροχής της adaptive πολιτικής. Το εύρημα είναι συμβατό με τη βιβλιογραφία της αυτόματης διαπραγματεύσεως: η προσαρμογή και η μοντελοποίηση αντιπάλου μπορούν να είναι χρήσιμες, αλλά η ωφέλειά τους εξαρτάται από την ακρίβεια των εκτιμήσεων, το scenario και την πολιτική αποδοχής [17]–[20]. Οι διαγωνισμοί ANAC επίσης

αναδεικνύουν την ευρωστία σε διαφορετικά περιβάλλοντα και όχι μία καθολικά καλύτερη στρατηγική [24]-[26].

Ως πρόσθετο safety diagnostic, δεν καταγράφηκε invalid agreement ή numeric utility-weight disclosure. Ωστόσο, επιβεβαιώθηκαν ακριβείς αναφορές ιδιωτικών ορίων σε 25 από τα 58 διαθέσιμα transcripts: 13/29 adaptive και 12/29 fixed. Η παρόμοια συχνότητα δείχνει ότι το ζήτημα σχετίζεται περισσότερο με τον κοινό prompt/communication layer παρά με την επιλογή adaptive ή fixed στρατηγικής.

6.4 RQ2: competitive BAFO έναντι independent selection

Στο RQ2 δεν τεκμηριώθηκε επιβεβαιωτικό πλεονέκτημα του competitive BAFO στη Seller utility. Η BAFO συνθήκη είχε καλύτερη παρατηρούμενη ορθότητα εκκαθάρισης, αλλά η διαφορά αυτή συνέπεσε με τέσσερις τεχνικές αποτυχίες του independent control και πρέπει να ερμηνευθεί ως αποτέλεσμα της συγκεκριμένης end-to-end υλοποίησης, όχι ως καθαρή οικονομική υπεροχή του μηχανισμού.

Πίνακας 6.3: Κύρια και υποστηρικτικά αποτελέσματα του RQ2

Outcome	Independent	Competitive BAFO	Δ BAFO–Independent	95% CI και Holm p
Seller utility, unconditional	0,2888	0,3230	+0,0341	$[-0,0509, 0,1286]$ · $p=1,000$
Observed allocation regret	0,000	0,000	0,000	$[0,000, 0,000]$ · $p=1,000$
Correct market clearance	14/18 (77,8%)	18/18 (100,0%)	+0,2222	$[0,0556, 0,3889]$ · $p=0,375$
Valid allocation	10/18 (55,6%)	12/18 (66,7%)	+0,1111	Secondary· McNemar $p=0,500$
Technical failure	4/18 (22,2%)	0/18 (0,0%)	-0,2222	Secondary· McNemar $p=0,125$
Unsafe allocation	0/18	0/18	0,000	Secondary· καμία περίπτωση

Η θετική unconditional διαφορά της Seller utility δεν ήταν στατιστικά σαφής. Επιπλέον, στα 10 matched pairs όπου και τα δύο treatments παρήγαγαν έγκυρη κατανομή, η μέση Seller utility ήταν 0,5199 στο independent και 0,4825 στο BAFO. Η paired διαφορά ήταν $-0,0375$, με 95% CI $[-0,0927, 0,0140]$ και exact $p=0,5508$. Το μηδενικό observed allocation regret δείχνει ότι, όταν υπήρχε δεσμευτική κατανομή, ο Seller επέλεγε την καλύτερη από τις έγκυρες προσφορές που είχαν πράγματι εμφανιστεί.

Η BAFO φάση ενεργοποιήθηκε σε 11/18 competitive sessions. Στις περιπτώσεις αυτές η μέση βελτίωση της τελικής προσφοράς ήταν $+0,0297$ μονάδες Seller utility και ο νικητής άλλαξε σε 2/11. Τα exploratory μεγέθη για welfare, fairness και χρησιμότητα του winning Buyer είχαν θετική κατεύθυνση, αλλά οι exact έλεγχοι δεν παρείχαν επαρκή στατιστική τεκμηρίωση. Επομένως δεν μετατρέπονται σε συμπέρασμα υπεροχής.

Η H2 υποστηρίζεται μόνο ως προς την περιγραφική βελτίωση της end-to-end εκκαθάρισης στο συγκεκριμένο σύστημα, όχι ως προς μία γενικευμένη αύξηση της Seller utility. Η διάκριση συμφωνεί με τη λογική των πρωτοκόλλων ανάθεσης: η τυποποιημένη τελική επιλογή οργανώνει τη διαδικασία, αλλά η οικονομική ποιότητα εξακολουθεί να εξαρτάται από τις προσφορές που παρήγαγαν οι agents

[4]. Πρακτικά, το BAFO μπορεί να λειτουργήσει ως μηχανισμός ελεγχόμενης τελικής ευκαιρίας, όχι ως εγγύηση μεγαλύτερου κέρδους.

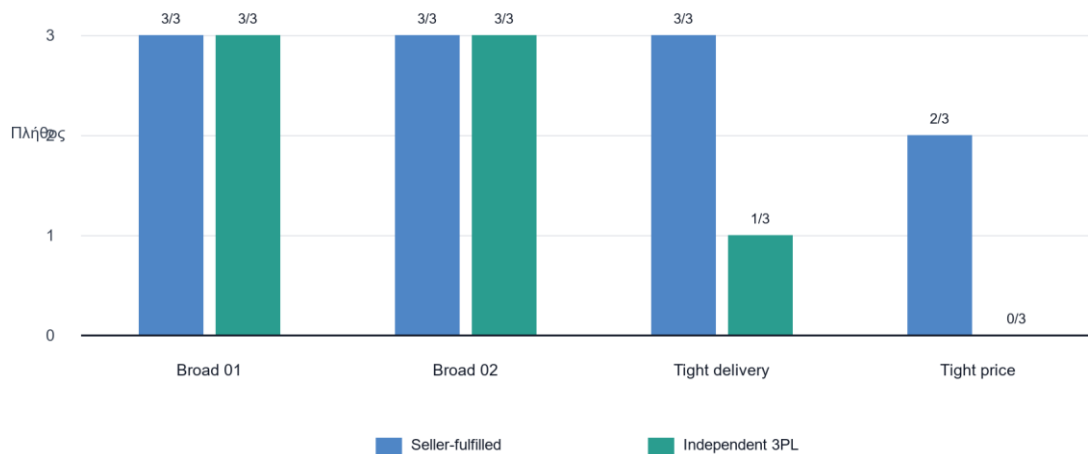
6.5 RQ3: seller-fulfilled έναντι ανεξάρτητου 3PL

Το RQ3 δεν έδειξε πρόσθετο επιβεβαιωμένο όφελος από τη συμμετοχή ανεξάρτητου 3PL. Στο διαθέσιμο dataset η τριμερής αρχιτεκτονική είχε λιγότερες έγκυρες συμφωνίες, μικρότερη κοινή χρησιμότητα Buyer-Seller και σαφώς μεγαλύτερο λειτουργικό φορτίο. Η αρνητική κατεύθυνση συγκεντρώθηκε στα δύο περιορισμένα scenarios.

Πίνακας 6.4: Κύρια paired αποτελέσματα και diagnostics του RQ3

Outcome	Seller-fulfilled	Independent 3PL	Δ 3PL–Seller	95% CI και Holm p
Valid agreement	11/12 (91,7%)	7/12 (58,3%)	-0,3333	$[-0,5000, -0,1667]$ · $p=0,1328$
Common-party mean utility	0,4024	0,3198	-0,0826	$[-0,1373, -0,0187]$ · $p=0,1328$
Technical failure	0/12	3/12	+3 sessions	Diagnostic
Coordination no-deal	Δεν εφαρμόζεται	2/12	+2 sessions	Diagnostic
Inventory lifecycle	Δεν εφαρμόζεται	12/12 ορθό	—	7 commits και 5 releases

RQ3: έγκυρες συμφωνίες ανά κατηγορία scenario



Σχήμα 6.2: Έγκυρες συμφωνίες ανά scenario στο E3. Κάθε στήλη αντιστοιχεί σε τρεις επαναλήψεις και οι τιμές ανά scenario είναι περιγραφικές.

Και στα δύο broad scenarios οι δύο αρχιτεκτονικές πέτυχαν 3/3 συμφωνίες. Στο tight-delivery το seller-fulfilled πέτυχε 3/3 και το 3PL 1/3, ενώ στο tight-price οι αντίστοιχες τιμές ήταν 2/3 και 0/3. Από τα 12 pairs, επτά συμφώνησαν και στις δύο συνθήκες, ένα απέτυχε και στις δύο, τέσσερα συμφώνησαν μόνο στο seller-fulfilled και κανένα μόνο στο 3PL.

Τα bootstrap διαστήματα των δύο κύριων διαφορών δεν περιλαμβάνουν το μηδέν, όμως οι προκαθορισμένοι exact έλεγχοι και η διόρθωση Holm δεν πέρασαν το όριο 0,05. Οι δύο μέθοδοι δεν είναι μαθηματικά αντίστροφες και, με μόνο 12 pairs, μπορούν να δώσουν αυτή την εικόνα. Η επίσημη

confirmatory απόφαση ακολουθεί τους exact ελέγχους: υπάρχει καθαρή περιγραφική διαφορά στο συγκεκριμένο δείγμα, αλλά όχι αρκετή τεκμηρίωση για γενίκευση ισχυρισμού υπεροχής.

Όταν το 3PL treatment κατέληξε σε συμφωνία, η μέση χρησιμότητα του 3PL ήταν 0,7264 και η μέση χρησιμότητα όλων των μερών 0,6077. Παράλληλα, το inventory lifecycle ήταν σωστό και στις 12 εκτελέσεις: επτά holds δεσμεύτηκαν και πέντε απελευθερώθηκαν χωρίς αρνητικό απόθεμα ή διπλή δέσμευση. Άρα το πρόβλημα δεν εντοπίζεται στη διαχείριση αποθέματος, αλλά στην επίτευξη ομόφωνης, έγκυρης τριμερούς συμφωνίας υπό στενά όρια.

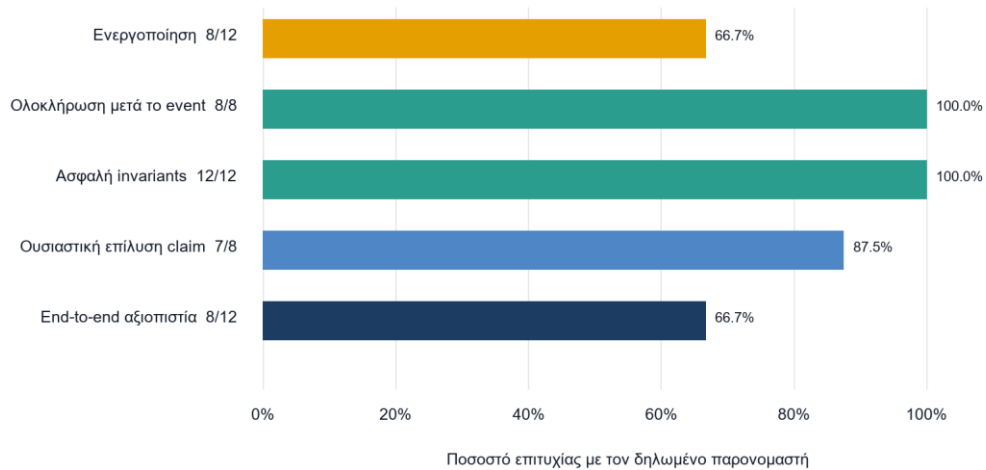
Η H3 δεν υποστηρίζεται ως υπόθεση πρόσθετου οφέλους στο συγκεκριμένο πειραματικό πεδίο. Η προσθήκη τρίτου αυτόνομου μέρους αύξησε τον χώρο συντονισμού και τα πιθανά σημεία αστοχίας, όπως αναμένεται από τις πολυπρακτορικές αρχιτεκτονικές [1], [23]. Αυτό δεν σημαίνει ότι ένα 3PL δεν έχει πρακτική αξία: σημαίνει ότι η αξία του πρέπει να προέρχεται από πραγματικές δυνατότητες logistics που αντισταθμίζουν το πρόσθετο κόστος συντονισμού.

6.6 RQ4: αξιοπιστία του contract lifecycle

Το RQ4 υποστηρίζεται μερικώς. Η ίδια παγωμένη συμφωνία διατηρήθηκε ασφαλώς ως προς τα invariants σε όλες τις 12 εκτελέσεις, και κάθε session που ενεργοποίησε επιτυχώς τα linked contracts ολοκλήρωσε το μεταγενέστερο lifecycle. Ωστόσο, τέσσερις sessions απέτυχαν ήδη στο agentic στάδιο formation, με αποτέλεσμα συνολική end-to-end αξιοπιστία 8/12.

Πίνακας 6.5: Περιγραφικά αποτελέσματα αξιοπιστίας του RQ4

Στάδιο / outcome	Αποτέλεσμα	95% Wilson CI	Ερμηνεία
Activation	8/12 (66,7%)	[39,1%, 86,2%]	Τέσσερα contract-formation agent failures.
Post-event completion	8/8 (100,0%)	[67,6%, 100,0%]	Όλες οι ενεργοποιημένες περιπτώσεις έφτασαν σε terminal state.
Invariant-safe session	12/12 (100,0%)	[75,8%, 100,0%]	Δεν παραβιάστηκαν IDs, statuses, remedies ή inventory invariants.
Substantive resolution	7/8 (87,5%)	[52,9%, 97,8%]	Επτά remedies έγιναν αποδεκτά και μία περίπτωση κλιμακώθηκε.
Contract retention	8/8 (100,0%)	[67,6%, 100,0%]	Καμία cancellation μετά από claim.
End-to-end reliability	8/12 (66,7%)	[39,1%, 86,2%]	Η συνολική τιμή περιορίζεται από το formation stage.

RQ4: αξιοπιστία ανά στάδιο του contract lifecycle

Σχήμα 6.3: Αξιοπιστία ανά στάδιο του contract lifecycle. Οι διαφορετικοί παρονομαστές αποτρέπουν τη σύγχυση μεταξύ συνολικής και υπό συνθήκη επιτυχίας.

Μετά την ενεργοποίηση, η παρατήρηση event, η ταξινόμηση breach, η δημιουργία claim, το άνοιγμα dispute, το routing και η terminal διάθεση ήταν ορθά σε 8/8 περιπτώσεις. Επτά κατέληξαν σε αποδεκτό remedy και μία delivery περίπτωση σε escalation. Η escalation θεωρείται έγκυρη terminal διαδρομή και όχι τεχνική αποτυχία, επειδή το σύστημα αναγνώρισε ότι δεν υπήρξε αποδεκτή ουσιαστική επίλυση.

Ανά event class, η end-to-end αξιοπιστία ήταν 1/3 για damage, 3/3 για delivery και 2/3 τόσο για price όσο και για warranty. Με τρεις μόνο επαναλήψεις ανά κατηγορία, οι τιμές αυτές περιγράφουν πού εμφανίστηκαν οι formation failures και δεν επιτρέπουν κατάταξη των event classes. Η ελεγχόμενη deterministic fixture δεν έκανε API calls και δεν ήταν η πηγή των διαφορών.

Το μερικό αποτέλεσμα δεν ισοδυναμεί με γενικά κακή υλοποίηση. Εντοπίζει συγκεκριμένο bottleneck πριν από την ενεργοποίηση, ενώ τα μεταγενέστερα state transitions και οι έλεγχοι ακεραιότητας λειτούργησαν συνεπώς. Για παραγωγική χρήση η προτεραιότητα θα ήταν ισχυρότερο formation validation, ελεγχόμενο fallback και ανθρώπινη επιβεβαίωση πριν από νομική δέσμευση, σε συμφωνία με τις αρχές διακυβέρνησης συστημάτων GenAI [16].

6.7 RQ5: λειτουργικό αποτύπωμα

Το RQ5 δείχνει ότι το λειτουργικό αποτύπωμα μεταβάλλεται κυρίως όταν αυξάνεται ο αριθμός των agents ή των σταδίων συντονισμού. Συνολικά παρατηρήθηκαν 2.100 API attempts, 36 retries, 6.108.029 tokens, 49.975,6 δευτερόλεπτα model latency και 54.090,3 δευτερόλεπτα αθροιστικής διάρκειας. Οι totals των attempts, tokens και latency είναι κατώτερα όρια, επειδή λείπει usage telemetry από έξι terminal failures.

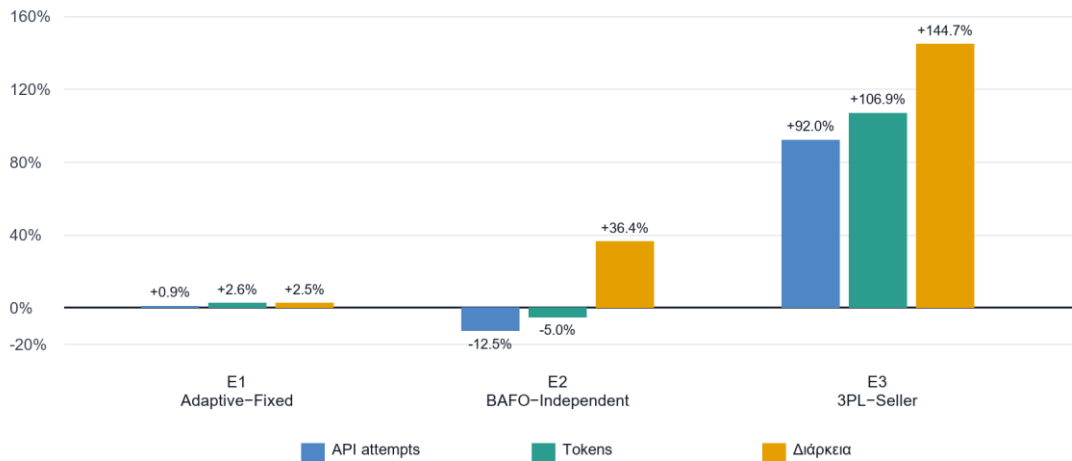
Πίνακας 6.6: Παρατηρημένο λειτουργικό αποτύπωμα ανά group

Study	Group	Primary success	Attempts / session	Tokens / session	Duration / session
E1	Adaptive agentic	29/30 (96,7%)	11,72	32.841	312,43 s

Study	Group	Primary success	Attempts / session	Tokens / session	Duration / session
E1	Fixed balanced	29/30 (96,7%)	11,86	32.816	304,69 s
E2	Competitive BAFO	18/18 (100,0%)	28,17	90.467	864,34 s
E2	Independent selection	14/18 (77,8%)	31,93*	93.788*	633,77 s
E3	Seller-fulfilled	11/12 (91,7%)	9,42	25.001	166,84 s
E3	Independent 3PL	7/12 (58,3%)	18,08	51.716	408,32 s
E4	Damage event	1/3 (33,3%)	11,67	30.491	131,45 s
E4	Delivery event	3/3 (100,0%)	11,00	29.616	194,39 s
E4	Price event	2/3 (66,7%)	11,67	29.955	129,89 s
E4	Warranty event	2/3 (66,7%)	9,67	23.912	113,76 s

Οι αστερίσκοι στο independent E2 δηλώνουν κατώτερο όριο: attempts και tokens υπάρχουν μόνο για τις 14 sessions με telemetry. Για αυτό η ασφαλέστερη σύγκριση treatments χρησιμοποιεί μόνο matched pairs με διαθέσιμα δεδομένα και δεν βασίζεται απλώς στους group means.

RQ5: μεταβολή λειτουργικού αποτυπώματος εντός κάθε μελέτης



Σχήμα 6.4: Ποσοστιαία μεταβολή attempts, tokens και διάρκειας μέσα σε κάθε matched study. Οι τιμές είναι περιγραφικές complete-case συγκρίσεις και όχι κατάταξη μεταξύ διαφορετικών studies.

Στο E1 οι paired διαφορές ήταν μικρές: +0,11 attempts, +826 tokens και +7,74 δευτερόλεπτα διάρκειας για adaptive έναντι fixed, με όλα τα 95% διαστήματα να περιλαμβάνουν το μηδέν. Άρα η δυναμική επιλογή strategy δεν επέβαλε μετρήσιμο πρόσθετο φορτίο στο συγκεκριμένο scale.

Στο E2, στα 14 complete pairs, το BAFO είχε κατά μέσο όρο 4,00 λιγότερα attempts και 4.682 λιγότερα tokens, αλλά 81,39 επιπλέον δευτερόλεπτα model latency. Στα 18 planned pairs η συνολική διάρκεια αυξήθηκε κατά 230,57 δευτερόλεπτα, με 95% CI [1,26, 479,26]. Η εικόνα είναι trade-off:

λιγότερες καταγεγραμμένες κλήσεις στα complete pairs, αλλά μεγαλύτερος χρόνος λόγω της συγχρονισμένης αγοράς και της πρόσθετης τελικής φάσης.

Στο E3 το πρόσθετο φορτίο ήταν καθαρό και συνεπές: το 3PL απαιτούσε +8,67 attempts [7,25, 10,08], +26.715 tokens [20.145, 33.349] και +241,48 δευτερόλεπτα διάρκειας [160,10, 330,76] ανά pair. Πρόκειται για περίπου διπλάσια attempts και tokens και 145% μεγαλύτερη διάρκεια. Το αποτέλεσμα ποσοτικοποιεί το πραγματικό coordination cost της τρίτης agentic πλευράς.

Δεν υπάρχει πλήρης χρηματική κάλυψη σε καμία session. Μόνο στο E1 διατίθεται προδηλωμένη εκτίμηση για το Seller Gemini model: περίπου \$0,00511 ανά adaptive και \$0,00513 ανά fixed observed session. Δεν περιλαμβάνει Buyer ή πλήρες session cost. Στα E2-E4 το provider-reported cost λείπει. Επομένως το RQ5 απαντάται για requests, retries, tokens και χρόνο, αλλά δεν επιτρέπεται monetary ranking treatments ή studies.

6.8 Ανάλυση αποτυχιών και τεχνική αξιοπιστία

Πίνακας 6.7: Κατανομή αποτυχιών και χειρισμός τους στην ανάλυση

Study	Κύριες αποτυχίες	Ανακτημένες / ενδιάμεσες αστοχίες	Συνέπεια για την ερμηνεία
E1	2 terminal provider failures σε 60 rows.	16 provider errors ανακτήθηκαν με retry· 0 parse/semantic errors.	Ίδια terminal rate στα treatments· 2 rows χωρίς usage telemetry.
E2	4 terminal failures σε 36 rows, όλες στο independent.	23 provider errors, 20 retries και 2 parse errors συνολικά.	Η διαφορά clearance εμπλέκει μηχανισμό και end-to-end reliability.
E3	3 terminal agent failures και 2 coordination no-deals στο 3PL.	1 parse error, 10 semantic errors, 11 validation rejections και 5 repairs.	Οι failures μένουν στην unconditional ανάλυση· inventory ασφαλές 12/12.
E4	4 contract-formation agent failures σε 12 sessions.	0 retries· μία έγκυρη escalation μετά από claim.	Το bottleneck προηγείται του deterministic event· invariants ασφαλή 12/12.

Οι αποτυχίες δεν αντιμετωπίστηκαν ως οικονομικά no-deals. Ένα no-deal είναι έγκυρη έκβαση όταν δεν υπάρχει κοινά αποδεκτό πακέτο ή όταν οι agents επιλέγουν walk-away. Αντίθετα, provider, parser, semantic ή agent failure σημαίνει ότι το σύστημα δεν ολοκλήρωσε αξιόπιστα την απαιτούμενη ροή. Η διατήρηση και των δύο κατηγοριών στους αρχικούς παρονομαστές αποτρέπει την τεχνητή βελτίωση των success rates.

Συνολικά, τα retries ανέκτησαν αρκετές προσωρινές provider αστοχίες στα E1 και E2, αλλά δεν κάλυψαν κάθε terminal failure. Στο E3 οι περισσότερες αστοχίες ήταν σημασιολογικές ή συντονιστικές και όχι δικτυακές, άρα ένας απλός provider retry δεν θα αρκούσε. Στο E4 το πρόβλημα ήταν συγκεντρωμένο στο formation agent. Η ταξινόμηση δείχνει ότι διαφορετικά failure layers χρειάζονται διαφορετικά fallbacks και observability.

6.9 Συνολική συζήτηση και πρακτικές συνέπειες

Πίνακας 6.8: Συνοπτική απάντηση στα ερευνητικά ερωτήματα

RQ	Απάντηση	Κύριο τεκμήριο	Πρακτική συνέπεια
RQ1	Δεν τεκμηριώθηκε aggregate υπεροχή της adaptive πολιτικής.	Παρόμοια ορθότητα, mean utility και footprint· manipulation check επιτυχής.	Η προσαρμογή χρειάζεται τεκμηριωμένο decision rule, όχι μόνο περισσότερες αλλαγές στρατηγικής.
RQ2	Δεν τεκμηριώθηκε πλεονέκτημα Seller utility· καλύτερη περιγραφική clearance reliability για BAFO.	Δ Seller-U +0,0341, Holm $p=1,000$ · correct clearance 18/18 έναντι 14/18.	Η οικονομική ποιότητα πρέπει να διαχωρίζεται από την τεχνική αξιοπιστία του market workflow.
RQ3	Δεν επιβεβαιώθηκε πρόσθετο όφελος 3PL στο εξεταζόμενο πεδίο.	7/12 έναντι 11/12 agreements και σαφώς μεγαλύτερα attempts, tokens και χρόνος.	Τρίτος agent δικαιολογείται όταν προσθέτει capability που αντισταθμίζει το coordination cost.
RQ4	Μερική end-to-end αξιοπιστία με σταθερό downstream lifecycle.	8/12 activations, 8/8 post-event completion και 12/12 invariant-safe sessions.	Προτεραιότητα στο formation validation και σε ασφαλές fallback πριν από δέσμευση.
RQ5	Τα treatments αφήνουν διαφορετικό λειτουργικό αποτύπωμα.	E1 σχεδόν ίδιο, E2 trade-off, E3 μεγάλο πρόσθετο φορτίο· κόστος μη πλήρως διαθέσιμο.	Requests, tokens, latency και coverage πρέπει να αποτελούν μόνιμο μέρος της αξιολόγησης.

Σε σχέση με τον αρχικό στόχο της εργασίας, οι E1-E3 παρέχουν την άμεση απάντηση: το NegotAI μπορεί να παράγει έγκυρες συμφωνίες και ορθά no-deals υπό δηλωμένα όρια, αλλά η μεγαλύτερη στρατηγική ή πολυπρακτορική πολυπλοκότητα δεν συνεπάγεται αυτομάτως καλύτερη ποιότητα έκβασης. Η E4 και το RQ5 συμπληρώνουν αυτή την εικόνα, δείχνοντας αν το αποτέλεσμα μπορεί να υλοποιηθεί αξιόπιστα και με ποιο λειτουργικό φορτίο. Συνεπώς, τα πέντε RQ δεν αποτελούν πέντε ισότιμες δοκιμές της αρχικής υπόθεσης: τα τρία πρώτα αξιολογούν άμεσα τη διαπραγμάτευση και τα δύο τελευταία την πρακτική ολοκλήρωση και αποδοτικότητα της.

Η πρώτη κοινή παρατήρηση είναι ότι περισσότερη agentic ελευθερία δεν συνεπάγεται αυτόματα καλύτερο αποτέλεσμα. Στο E1 η adaptive πολιτική χρησιμοποίησε πραγματικά διαφορετικά modes, αλλά η τελική ποιότητα έμεινε παρόμοια. Η βιβλιογραφία για opponent modelling υπογραμμίζει την ίδια διάκριση μεταξύ ακρίβειας μιας εσωτερικής εκτίμησης και πραγματικής ωφέλειας στη συμφωνία [20].

Η δεύτερη παρατήρηση είναι το κόστος συντονισμού. Η BAFO αγορά και κυρίως η ανεξάρτητη 3PL συμμετοχή πρόσθεσαν ρόλους, checkpoints και σημεία αποτυχίας. Οι LLM-based agent αρχιτεκτονικές συνδυάζουν planning, μνήμη, εργαλεία και δράση, αλλά κάθε σύνδεση δημιουργεί νέα ανάγκη επικύρωσης [22], [23]. Το E3 δείχνει εμπειρικά ότι αυτό το αρχιτεκτονικό κόστος μπορεί να είναι μεγαλύτερο από την ωφέλεια όταν τα όρια είναι στενά.

Η τρίτη παρατήρηση είναι ότι η αξιοπιστία πρέπει να εντοπίζεται ανά στάδιο. Στο E4 μία συνολική τιμή 66,7% θα έκρυβε ότι το downstream claim και dispute lifecycle ολοκληρώθηκε 8/8 μετά από επιτυχημένη ενεργοποίηση. Αντίστροφα, η αναφορά μόνο του 8/8 θα απέκρυπτε τις τέσσερις formation failures. Η αναφορά και των δύο παρονομαστών δίνει χρήσιμη κατεύθυνση για βελτίωση και αποφεύγει υπερβολικό συμπέρασμα.

Τέλος, η συλλογή telemetry αποτελεί μέρος της ίδιας της αξιοπιστίας. Η πολυδιάστατη αξιολόγηση προϋποθέτει διαφανή prompts, πλήρη raw outputs, χρόνο, κόστος και σαφή αιτία κάθε missing metric [32]. Η παρούσα υλοποίηση καλύπτει επαρκώς requests, tokens και latency για 126/132 μονάδες, αλλά η απουσία πλήρους monetary coverage δεν επιτρέπει οικονομική σύγκριση. Αυτό είναι περιορισμός μέτρησης και όχι μηδενικό κόστος.

6.10 Απειλές εγκυρότητας

Εσωτερική εγκυρότητα. Ο matched σχεδιασμός, τα κοινά scenario/repetition IDs και τα frozen run plans μειώνουν τις συγχυτικές διαφορές. Παραμένουν όμως η στοχαστικότητα των hosted models και η άνιση συγκέντρωση τεχνικών αποτυχιών στο independent E2 και στο 3PL E3. Οι αποτυχίες διατηρήθηκαν αντί να αντικατασταθούν, ώστε το bias να είναι ορατό.

Κατασκευαστική εγκυρότητα. Οι κανονικοποιημένες utilities, το fairness και τα win-win thresholds είναι σχεδιαστικές προσεγγίσεις οικονομικής ποιότητας και όχι άμεσες μετρήσεις ανθρώπινης ικανοποίησης. Στο E4 τα performance events ήταν deterministic fixtures, άρα μετρούν τη λογική απόκριση της πλατφόρμας και όχι τη συχνότητα πραγματικών διαφορών.

Εξωτερική εγκυρότητα. Τα σενάρια είναι συνθετικά, αφορούν ένα προϊόν, περιορισμένο πλήθος ζητημάτων και συγκεκριμένα μοντέλα. Δεν περιλαμβάνονται άνθρωποι, πραγματικές πληρωμές, νομική εκτελεστικότητα, αβεβαιότητα μεταφοράς ή μακροχρόνιες εμπορικές σχέσεις. Τα αποτελέσματα συνεπώς αφορούν την αξιολογούμενη πλατφόρμα και δεν γενικεύονται αυτομάτως σε κάθε αγορά.

Συμπερασματική εγκυρότητα. Το E3 διαθέτει 12 pairs και το E4 μόνο τρεις επαναλήψεις ανά event class. Τα exact tests είναι κατάλληλα για μικρά δείγματα αλλά έχουν περιορισμένη ισχύ, ενώ αρκετές secondary μετρικές είναι exploratory. Για αυτό αναφέρονται effect sizes και διαστήματα αβεβαιότητας και αποφεύγεται η ερμηνεία μη σαφών αποτελεσμάτων ως τάσεων.

Αναπαραγωγιμότητα και κάλυψη. Τα source snapshots, hashes, model identifiers και analysis scripts επιτρέπουν offline επανέλεγχο των αποθηκευμένων δεδομένων. Δεν μπορούν όμως να παγώσουν εσωτερικές αλλαγές hosted providers. Επιπλέον, έξι sessions δεν έχουν usage telemetry και καμία δεν έχει πλήρη cost coverage, επομένως τα σχετικά totals είναι κατώτερα όρια και η χρηματική κατάταξη απαγορεύεται.

Με αυτούς τους περιορισμούς, τα αποτελέσματα παρέχουν μία ελεγχόμενη και αναπαραγώγιμη αξιολόγηση του NegotAI ως end-to-end agentic συστήματος. Το επόμενο κεφάλαιο συνοψίζει τις απαντήσεις, διαχωρίζει τις τεχνικές από τις ερευνητικές συνεισφορές και προτείνει τις πιο άμεσες κατευθύνσεις μελλοντικής βελτίωσης.

Κεφάλαιο 7ο: Συμπεράσματα, Περιορισμοί και Μελλοντική Εργασία

7.1 Σύνοψη της εργασίας

Η παρούσα εργασία ξεκίνησε από ένα πρακτικό και ερευνητικό πρόβλημα: η διαπραγμάτευση στο ηλεκτρονικό εμπόριο περιλαμβάνει αντικρουόμενες προτιμήσεις και πολλούς αλληλεξαρτώμενους όρους, ενώ η ελεύθερη γλωσσική συμπεριφορά ενός LLM δεν εγγυάται αριθμητική συνέπεια, τήρηση ιδιωτικών ορίων ή ασφαλή δέσμευση. Στόχος ήταν, επομένως, να εξεταστεί αν η προσαρμοστικότητα του Agentic AI μπορεί να αξιοποιηθεί χωρίς να ανατεθούν στο γλωσσικό μοντέλο οι κανόνες που καθορίζουν πότε μία προσφορά είναι έγκυρη, πότε υπάρχει συμφωνία και πότε ένα αποτέλεσμα αποκτά συμβατική ή συναλλακτική ισχύ.

Για τον σκοπό αυτό σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε η πλατφόρμα NegotAI. Οι πράκτορες Buyer, Seller και, προαιρετικά, 3PL χρησιμοποιούν LLM για την επιλογή στρατηγικής ή τακτικής, την παραγωγή πολυκριτηριακών προσφορών και την ανταλλαγή επιχειρημάτων. Παράλληλα, ένας ντετερμινιστικός πυρήνας αναλύει και επικυρώνει κάθε ενέργεια, επιβάλλει τα ιδιωτικά όρια και τις επιτρεπτές μεταβάσεις, απαιτεί ακριβή ταύτιση των συμφωνημένων όρων και διαχωρίζει τη διαπραγματευτική συμφωνία από την κατανομή, την ενεργοποίηση σύμβασης και την ολοκλήρωση της συναλλαγής. Το ίδιο μοντέλο ελέγχου εφαρμόστηκε σε διμερείς ροές, αγορές πολλών πωλητών ή αγοραστών, τριμερή εκπλήρωση και κύκλο ζωής συμβάσεων.

Η αξιολόγηση οργανώθηκε σε τρεις κύριες ζευγοποιημένες μελέτες διαπραγμάτευσης, μία υποστηρικτική μελέτη συμβατικής αξιοπιστίας και μία κοινή offline ανάλυση λειτουργικού αποτυπώματος. Συνολικά εξετάστηκαν 132 προκαθορισμένες πειραματικές μονάδες, με παγωμένα σενάρια και run plans, ενώ τα pilots αποκλείστηκαν και οι τεχνικές αποτυχίες παρέμειναν στους αρχικούς παρονομαστές. Η συνολική εικόνα είναι ότι το πλαίσιο μπορεί να παράγει έγκυρες συμφωνίες και ορθά no-deals υπό σαφείς περιορισμούς, χωρίς όμως η μεγαλύτερη στρατηγική ελευθερία ή η προσθήκη επιπλέον πρακτόρων να συνεπάγεται αυτομάτως υψηλότερη χρησιμότητα ή συχνότερη συμφωνία.

7.2 Απαντήσεις στα ερευνητικά ερωτήματα

Τα πέντε ερευνητικά ερωτήματα απαντώνται με βάση τα τελικά δεδομένα του Κεφαλαίου 6. Τα RQ1-RQ3 αφορούν άμεσα την αποτελεσματικότητα της διαπραγμάτευσης, ενώ τα RQ4-RQ5 εξετάζουν την αξιοπιστία και το λειτουργικό κόστος της ολοκληρωμένης ροής.

RQ1 - Προσαρμοζόμενη έναντι προκαθορισμένης στρατηγικής. Η adaptive agentic πολιτική διαφοροποίησε ουσιαστικά την εσωτερική στρατηγική συμπεριφορά: και οι 29 παρατηρήσιμες adaptive συνεδρίες άλλαξαν strategy mode τουλάχιστον μία φορά, ενώ οι 29 fixed συνεδρίες παρέμειναν balanced. Η διαφοροποίηση αυτή δεν μετατράπηκε σε τεκμηριωμένη υπεροχή. Στα εφικτά σενάρια επιτεύχθηκαν 20/20 έγκυρες συμφωνίες με adaptive και 19/20 με fixed, ενώ στα ανέφικτα σενάρια οι ορθές λήξεις χωρίς συμφωνία ήταν 9/10 και 10/10 αντίστοιχα. Η paired διαφορά της μέσης χρησιμότητας ήταν μόλις +0,0102 και το διάστημα αβεβαιότητας περιλάμβανε το μηδέν. Επιπλέον, τα win-win αποτελέσματα ήταν 5/20 και στις δύο συνθήκες και δεν εμφανίστηκε μη ασφαλής συμφωνία. Άρα, στο εξεταζόμενο πεδίο, η δυναμική αλλαγή στρατηγικής πρόσφερε ευελιξία συμπεριφοράς, όχι αποδεδειγμένη βελτίωση της τελικής έκβασης.

RQ2 - Competitive BAFO έναντι independent selection. Δεν τεκμηριώθηκε στατιστικά σαφές πλεονέκτημα του BAFO ως προς τη χρησιμότητα του Seller. Η διαφορά ήταν +0,0341, με διάστημα αβεβαιότητας που περιλάμβανε το μηδέν, ενώ στα matched pairs όπου και οι δύο μηχανισμοί παρήγαγαν έγκυρη κατανομή η κατεύθυνση ήταν ελαφρώς υπέρ του independent control. Περιγραφικά, ο BAFO πέτυχε ορθή εκκαθάριση σε 18/18 αγορές έναντι 14/18, όμως οι τέσσερις αποκλίσεις του control ήταν terminal τεχνικές αποτυχίες. Όταν πραγματοποιήθηκε κατανομή, το observed allocation regret ήταν μηδενικό και στους δύο μηχανισμούς. Η BAFO φάση ενεργοποιήθηκε σε 11/18 συνεδρίες, έδωσε μικρό θετικό uplift στη Seller utility και άλλαξε νικητή σε δύο περιπτώσεις. Συνεπώς, λειτουργεί ως ελεγχόμενη τελική ευκαιρία και ως μηχανισμός οργάνωσης της αγοράς, αλλά όχι ως εγγύηση υψηλότερης οικονομικής απόδοσης.

RQ3 - Εκπλήρωση από τον πωλητή έναντι ανεξάρτητου 3PL. Η ρητή συμμετοχή τρίτου πράκτορα δεν παρείχε επιβεβαιωμένο πρόσθετο όφελος στα εξεταζόμενα σενάρια. Η seller-fulfilled αρχιτεκτονική πέτυχε 11/12 έγκυρες συμφωνίες, ενώ η 3PL αρχιτεκτονική 7/12. Η κοινή μέση χρησιμότητα Buyer-Seller ήταν 0,4024 και 0,3198 αντίστοιχα. Η αρνητική διαφορά συγκεντρώθηκε κυρίως στα tight-price και tight-delivery σενάρια, όπου η ανάγκη ομόφωνης αποδοχής της ίδιας έκδοσης αύξησε το κόστος συντονισμού. Παρότι οι προκαθορισμένοι έλεγχοι δεν επέτρεψαν γενίκευση ισχυρισμού υπεροχής λόγω του μικρού δείγματος, η περιγραφική εικόνα είναι σαφής για το συγκεκριμένο dataset. Ταυτόχρονα, το inventory lifecycle παρέμεινε ορθό σε 12/12 εκτελέσεις. Η τεχνική ασφάλεια του 3PL πρωτοκόλλου επιβεβαιώθηκε, αλλά η πρακτική του αξία προϋποθέτει logistics capabilities που αντισταθμίζουν το πρόσθετο coordination cost.

RQ4 - Αξιοπιστία του contract lifecycle. Η μετάβαση από την παγωμένη συμφωνία στην ολοκληρωμένη συμβατική ροή ήταν μερικώς αξιόπιστη. Οκτώ από τις δώδεκα συνεδρίες ενεργοποίησαν επιτυχώς τα linked contracts, ενώ τέσσερις σταμάτησαν στο agentic στάδιο formation. Κάθε ενεργοποιημένη περίπτωση έφθασε σε έγκυρη terminal κατάσταση: επτά διαφορές κατέληξαν σε αποδεκτό remedy και μία σε ορθή escalation. Οι έλεγχοι IDs, εκδόσεων, remedies, statuses και inventory παρέμειναν ασφαλείς και στις 12 συνεδρίες. Το αποτέλεσμα εντοπίζει συγκεκριμένο bottleneck πριν από την ενεργοποίηση και όχι γενικευμένη αστάθεια του μεταγενέστερου lifecycle. Η βελτίωση του formation stage αποτελεί, επομένως, άμεση προϋπόθεση για υψηλότερη end-to-end αξιοπιστία.

RQ5 - Λειτουργικό αποτύπωμα. Η κατανάλωση πόρων εξαρτήθηκε περισσότερο από τον αριθμό των ρόλων και των σταδίων παρά από την ελευθερία αλλαγής στρατηγικής. Στο E1 οι διαφορές μεταξύ adaptive και fixed ήταν μικρές και αβέβαιες. Στο E2 ο BAFO εμφάνισε trade-off: λιγότερα attempts και tokens στα complete pairs, αλλά μεγαλύτερη model latency και συνολική διάρκεια λόγω συγχρονισμού και τελικής φάσης. Στο E3 η 3PL συνθήκη πρόσθεσε κατά μέσο όρο 8,67 attempts, 26.715 tokens και 241,48 δευτερόλεπτα ανά pair, δηλαδή περίπου διπλάσια επικοινωνία και σαφώς μεγαλύτερη διάρκεια. Συνολικά καταγράφηκαν 2.100 API attempts και 6.108.029 tokens, αλλά έξι terminal failures δεν είχαν usage telemetry και καμία συνεδρία δεν διέθετε πλήρη χρηματική κάλυψη. Το κόστος πρέπει, συνεπώς, να αποτελεί μόνιμη μετρική σχεδιασμού, χωρίς να εξάγεται μη τεκμηριωμένη χρηματική κατάταξη.

Συνολικά, τα αποτελέσματα απαντούν θετικά στο ερώτημα αν ένα υβριδικό Agentic AI πλαίσιο μπορεί να εκτελεί ελεγχόμενες διαπραγματεύσεις με μετρήσιμα αποτελέσματα. Δεν απαντούν, όμως, ότι κάθε πρόσθετη μορφή αυτονομίας, ανταγωνισμού ή πολυπρακτορικού συντονισμού είναι ωφέλιμη. Η επιτυχία εξαρτάται από το σενάριο, την ποιότητα των προτάσεων, τη σαφήνεια του πρωτοκόλλου και την τεχνική αξιοπιστία κάθε ενδιάμεσου σταδίου.

7.3 Τεχνικές και ερευνητικές συνεισφορές

Η πρώτη τεχνική συνεισφορά είναι η υλοποίηση ενός κοινού υβριδικού πυρήνα που διαχωρίζει τη γλωσσική πρόταση από τη δεσμευτική μετάβαση κατάστασης. Τα LLMs μπορούν να επιλέγουν τακτική, να διαμορφώνουν trade-offs και να παράγουν δημόσια επιχειρηματολογία, αλλά κάθε ενέργεια περνά από parsing, semantic validation, έλεγχο ιδιωτικών ορίων και κανόνες πρωτοκόλλου. Η fixed LLM πολιτική επιτρέπει επιπλέον στον χρήστη να κλειδώνει τη στρατηγική στάση Buyer και Seller, χωρίς να αφαιρεί από το μοντέλο την προσαρμογή της τακτικής και της προσφοράς. Με αυτόν τον τρόπο η στρατηγική αυτονομία μετατρέπεται σε ρητή και ελέγξιμη πειραματική μεταβλητή.

Δεύτερη συνεισφορά είναι η ενοποίηση διαφορετικών τοπολογιών αγοράς κάτω από κοινές έννοιες χρησιμότητας, ιδιωτικότητας και exact agreement. Η διμερής εναλλαγή προσφορών, η multi-seller BAFO, η single-unit multi-buyer κατανομή και η τριμερής εκπλήρωση χρησιμοποιούν διακριτές state machines, χωρίς να δημιουργούν διαφορετικούς ορισμούς εγκυρότητας. Οι μηχανισμοί shortlist, sealed final offer, deterministic tie-break, package versioning και inventory hold/commit/release εμποδίζουν διπλές ή ασαφείς δεσμεύσεις.

Τρίτη τεχνική συνεισφορά είναι η συνέχεια από τη συμφωνία προς την δημιουργία συμβολαίου, performance events, claims και dispute remedies. Η εμπορική συμφωνία δεν συγχέεται με την ενεργή σύμβαση ή την ολοκληρωμένη συναλλαγή. Fingerprints, ομόφωνες εγκρίσεις, linked sale/SLA contracts και ελεγχόμενες terminal καταστάσεις δημιουργούν audit trail που επιτρέπει να εντοπιστεί το ακριβές στάδιο μιας αποτυχίας. Η διαδικτυακή εφαρμογή, τα JSON/Markdown transcripts και η φιλτραρισμένη research view καθιστούν τον ίδιο πυρήνα αξιοποιήσιμο τόσο για διαδραστική επιθεώρηση όσο και για μαζική πειραματική ανάλυση.

Σε ερευνητικό επίπεδο, η εργασία προσφέρει ένα συνεπές σχήμα αξιολόγησης που διαχωρίζει την ορθότητα της έκβασης, την ποιότητα της συμφωνίας, την τεχνική αξιοπιστία και το λειτουργικό αποτύπωμα. Ο ζευγοποιημένος σχεδιασμός, η χρήση γονικών market sessions ως πειραματικών μονάδων, η διατήρηση των failures στους παρονομαστές και η ρητή αναφορά missing telemetry περιορίζουν συνηθισμένες πηγές μεροληψίας. Παράλληλα, τα ευρήματα παρέχουν εμπειρικό αντίβαρο στην υπόθεση ότι περισσότερη agentic πολυπλοκότητα αποτελεί από μόνη της βελτίωση: η αξία της πρέπει να αποδεικνύεται σε σχέση με συγκεκριμένο outcome, αβεβαιότητα και κόστος συντονισμού.

7.4 Περιορισμοί

Τα συμπεράσματα ισχύουν για το συγκεκριμένο ερευνητικό πρωτότυπο και τις συνθήκες της αξιολόγησης. Τα σενάρια ήταν συνθετικά, αφορούσαν περιορισμένο αριθμό προϊόντων και ζητημάτων και δεν περιλάμβαναν ανθρώπινους αντισυμβαλλομένους, πραγματικές πληρωμές ή μακροχρόνιες εμπορικές σχέσεις. Οι multi-buyer αγορές διέθεταν ένα τεμάχιο και η τριμερής ροή έναν μόνο 3PL agent. Επομένως, η επιτυχία των πρωτοκόλλων δεν αποδεικνύει ακόμη ότι η ίδια συμπεριφορά θα διατηρηθεί σε μεγάλα marketplaces, σε multi-unit κατανομές ή σε περιβάλλοντα με περισσότερες αλληλεξαρτώμενες υποχρεώσεις.

Η αναπαράσταση προτιμήσεων αποτελεί επίσης απλοποίηση. Οι utilities προκύπτουν από προσθετικό μοντέλο, προκαθορισμένα weights και γραμμικές κανονικοποιήσεις, όχι από εμπειρική εξαγωγή πραγματικών προτιμήσεων. Το fairness μετρά την αριθμητική απόσταση των utilities και ο χαρακτηρισμός win-win απαιτεί έγκυρη συμφωνία και χρησιμότητα τουλάχιστον 0,50 για κάθε μέρος. Οι δείκτες είναι αναπαραγώγιμοι, αλλά δεν αποδεικνύουν ανθρώπινη ικανοποίηση, διαδικαστική δικαιοσύνη, ειλικρίνεια ή κατανόηση των όρων.

Η χρήση hosted LLMs περιορίζει την πλήρη επαναληψιμότητα. Τα αποτελέσματα εξαρτώνται από συγκεκριμένα μοντέλα, prompts, temperatures, χρονικές συνθήκες provider και rate limits, ενώ το seed δεν ελέγχει υποχρεωτικά την εσωτερική δειγματοληψία της υπηρεσίας. Επιπλέον, το E3 περιλάμβανε μόνο 12 matched pairs και το E4 τρεις επαναλήψεις ανά event class. Η περιορισμένη στατιστική ισχύς εξηγεί γιατί ορισμένα μεγάλα περιγραφικά effects δεν οδήγησαν σε confirmatory συμπέρασμα. Οι άνισα κατανομημένες terminal αποτυχίες στο independent E2 και στο 3PL E3 δυσκολεύουν επίσης τον πλήρη διαχωρισμό της οικονομικής επίδρασης από την end-to-end αξιοπιστία.

Παραμένουν όρια ασφάλειας και παρατηρησιμότητας. Παρότι δεν καταγράφηκε μη ασφαλής συμφωνία, σε 25 από τα 58 διαθέσιμα transcripts του E1 εντοπίστηκαν ακριβείς αναφορές ιδιωτικών ορίων. Το εύρημα δείχνει ότι ο διαχωρισμός private/public state χρειάζεται να ενισχυθεί και στο επίπεδο της γλωσσικής εξόδου. Παράλληλα, έξι terminal failures δεν διέθεταν usage telemetry και καμία συνεδρία δεν είχε πλήρη κάλυψη χρηματικού κόστους. Τα συνολικά attempts, tokens και latency είναι συνεπώς κατώτερα όρια και δεν επιτρέπουν πλήρη οικονομική αξιολόγηση.

Τέλος, ο κύκλος συμβάσεων αποτελεί προσομοίωση λογισμικού και όχι νομικά δεσμευτικό μηχανισμό. Οι τέσσερις formation failures του E4 δείχνουν ότι ακόμη και με ασφαλή ύπαρξη περιορισμών στο τελικό στάδιο (downstream invariants) η agentic παραγωγή ρητρών δεν είναι αρκετά αξιόπιστη για αυτόνομη παραγωγική χρήση. Ταυτοποίηση, εξουσιοδότηση, κανονιστική συμμόρφωση, ασφάλεια μυστικών, πραγματικές πληρωμές, λογιστική και σαφής ανθρώπινη ευθύνη βρίσκονται εκτός του πεδίου της παρούσας υλοποίησης.

7.5 Μελλοντική εργασία

Πρώτη προτεραιότητα είναι η ενίσχυση της αξιοπιστίας στα σημεία που αναδείχθηκαν εμπειρικά. Το contract formation χρειάζεται αυστηρότερα δομημένα outputs, πιο στοχευμένα validation messages και ασφαλή διαδικασία επανυποβολής ή ανθρώπινης έγκρισης πριν από οποιαδήποτε ενεργοποίηση. Αντίστοιχα, οι semantic και coordination failures της 3PL ροής μπορούν να μειωθούν με σαφέστερη διάσπαση των owned και requested changes, έλεγχο συνέπειας πριν από την κλήση LLM και καλύτερη αιτιολόγηση της τρέχουσας package version. Κάθε fallback πρέπει να παραμένει καταγεγραμμένο και να μην κατασκευάζει οικονομική πρόθεση που δεν εκφράστηκε από τον πράκτορα.

Δεύτερη προτεραιότητα είναι η συστηματική αξιολόγηση ασφάλειας και ιδιωτικότητας. Απαιτούνται adversarial δοκιμές για prompt injection, παραπλανητικούς ισχυρισμούς, εξαγωγή ιδιωτικών ορίων, κατάχρηση εργαλείων και προσπάθειες παράκαμψης του πρωτοκόλλου. Η μείωση των δεδομένων που εισάγονται στα prompts, η αυτόματη ανίχνευση πιθανής διαρροής πριν από τη δημοσίευση και η μέτρηση leakage rate ανά ρόλο και μοντέλο μπορούν να μετατρέψουν το σημερινό safety diagnostic σε πλήρες security benchmark.

Σε πειραματικό επίπεδο χρειάζονται μεγαλύτερα scenario banks, περισσότερες επαναλήψεις και factorial σχεδιασμοί που θα μεταβάλλουν συστηματικά τη δυσκολία, τα utility weights, τα visibility modes, τα μοντέλα και τον αριθμό γύρων. Η σύγκριση πρέπει να επεκταθεί σε rule-based και heuristic baselines με τα ίδια profiles, καθώς και σε ablations χωρίς opponent model ή χωρίς φυσική επιχειρηματολογία. Με αυτόν τον τρόπο θα απομονωθεί ποιο μέρος της απόδοσης οφείλεται στο LLM, ποιο στο πρωτόκολλο και ποιο στη ντετερμινιστική υποδομή. Παράλληλα, ένα πλήρες reproducibility bundle με versioned prompts, hashes, raw artifacts και ανεξάρτητη καταγραφή κόστους θα επιτρέψει ισχυρότερη επαλήθευση.

Η οικονομική αναπαράσταση μπορεί να επεκταθεί σε πολλαπλά τεμάχια, περισσότερους 3PL providers, combinatorial allocations και μη γραμμικές ή κατηγοριακές προτιμήσεις. Η μάθηση weights

από κάποια διεπαφή επιλογών (pairwise feedback) και η ρητή αναπαράσταση αβεβαιότητας θα μείωναν την απαίτηση για πλήρη εκ των προτέρων utility specification. Επιπλέον, επαναλαμβανόμενες συναλλαγές θα επέτρεπαν τη μελέτη φήμης, εμπιστοσύνης και στρατηγικής προσαρμογής σε μεγαλύτερο χρονικό ορίζοντα, όπου η βέλτιστη άμεση συμφωνία δεν είναι κατ' ανάγκη η βέλτιστη μακροχρόνια σχέση.

Επίσης σημαντική επέκταση είναι να μπορεί ο χρήστης να επιλέγει ξεχωριστό LLM για κάθε agent. Για παράδειγμα, ο Buyer θα μπορούσε να χρησιμοποιεί ένα μοντέλο, ο Seller ένα δεύτερο, ο 3PL ένα τρίτο και ο Contract Mediator ένα τέταρτο. Η επιλογή δεν θα ήταν απλώς ρύθμιση εκτέλεσης. Θα αποτελούσε ενσωματωμένο πείραμα της πλατφόρμας, ώστε να μετράται ποια μοντέλα αποδίδουν καλύτερα στη διαπραγμάτευση και σε ποιον ρόλο.

Τελευταίο, αλλά αναγκαίο, βήμα είναι η σταδιακή εισαγωγή ανθρώπινης εποπτείας και ρεαλιστικών εξωτερικών υπηρεσιών. Μελέτες χρηστών σε ελληνικά και αγγλικά μπορούν να εξετάσουν κατανόηση, εμπιστοσύνη, αντιλαμβανόμενη δικαιοσύνη και προθυμία εξουσιοδότησης του πράκτορα. Στη συνέχεια, sandbox payments, logistics APIs και περιορισμένα εμπορικά pilots θα μπορούσαν να δοκιμάσουν τη μετάβαση από την προσομοίωση σε πραγματική λειτουργία. Μία τέτοια μετάβαση προϋποθέτει νομική και κανονιστική αξιολόγηση, ισχυρή ταυτοποίηση, δυνατότητα ανάκλησης και σαφή σημεία ανθρώπινης έγκρισης.

7.6 Τελική καταληκτική παράγραφος

Η βασική διαπίστωση της εργασίας είναι ότι η φυσική γλώσσα και η agentic προσαρμογή μπορούν να ενταχθούν σε οικονομική διαπραγμάτευση μόνο όταν η εγκυρότητα, η ιδιωτικότητα, η κατάσταση και η δέσμευση παραμένουν ρητά και επαληθεύσιμα. Το NegotAI έδειξε στην πράξη ότι ένας LLM πράκτορας μπορεί να παράγει προσαρμοσμένες προσφορές και επιχειρήματα μέσα σε τέτοια όρια, ενώ οι state machines, οι validators και τα versioned artifacts προστατεύουν τη σημασία της συμφωνίας και καθιστούν τις αποτυχίες ορατές.

Ταυτόχρονα, τα αποτελέσματα αποτρέπουν μία υπερβολικά αισιόδοξη ερμηνεία: η adaptive στρατηγική δεν υπερείχε συνολικά της fixed balanced, ο BAFO δεν εγγυήθηκε υψηλότερη Seller utility και ο τρίτος πράκτορας αύξησε αισθητά το κόστος συντονισμού. Οι win-win συμφωνίες, με τον συγκεκριμένο κανόνα χρησιμότητας τουλάχιστον 0,50 για κάθε μέρος, αποτέλεσαν μετρήσιμη αλλά όχι αυτόματη έκβαση. Η ουσιαστική συμβολή του πλαισίου βρίσκεται, επομένως, όχι στην υπόσχεση ότι το LLM λύνει κάθε σύγκρουση, αλλά στη δημιουργία ενός ελέγξιμου περιβάλλοντος όπου η αξία, οι κίνδυνοι και το κόστος της agentic διαπραγμάτευσης μπορούν να μελετηθούν με σαφήνεια και να βελτιωθούν συστηματικά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] M. Wooldridge and N. R. Jennings, “Intelligent agents: Theory and practice,” *The Knowledge Engineering Review*, vol. 10, no. 2, pp. 115–152, 1995, doi: 10.1017/S0269888900008122.
- [2] N. R. Jennings, P. Faratin, A. R. Lomuscio, S. Parsons, C. Sierra, and M. Wooldridge, “Automated negotiation: Prospects, methods and challenges,” *Group Decision and Negotiation*, vol. 10, no. 2, pp. 199–215, 2001, doi: 10.1023/A:1008746126376.
- [3] P. Faratin, C. Sierra, and N. R. Jennings, “Negotiation decision functions for autonomous agents,” *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 24, nos. 3–4, pp. 159–182, 1998, doi: 10.1016/S0921-8890(98)00029-3.
- [4] Foundation for Intelligent Physical Agents, “FIPA contract net interaction protocol specification,” SC00029H, Dec. 2002. [Online]. Available: <https://www.fipa.org/specs/fipa00029/SC00029H.html>
- [5] Foundation for Intelligent Physical Agents, “FIPA iterated contract net interaction protocol specification,” SC00030, Dec. 2002. [Online]. Available: <https://www.fipa.org/specs/fipa00030/>
- [6] J. F. Nash, Jr., “The bargaining problem,” *Econometrica*, vol. 18, no. 2, pp. 155–162, 1950, doi: 10.2307/1907266.
- [7] A. Rubinstein, “Perfect equilibrium in a bargaining model,” *Econometrica*, vol. 50, no. 1, pp. 97–109, 1982, doi: 10.2307/1912531.
- [8] R. L. Keeney and H. Raiffa, *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 1993, doi: 10.1017/CBO9781139174084.
- [9] S. Yao et al., “ReAct: Synergizing reasoning and acting in language models,” in Proc. Int. Conf. Learn. Represent. (ICLR), 2023. [Online]. Available: https://openreview.net/forum?id=WE_vluYUL-X
- [10] J. S. Park, J. C. O’Brien, C. J. Cai, M. R. Morris, P. Liang, and M. S. Bernstein, “Generative agents: Interactive simulacra of human behavior,” in Proc. 36th Annu. ACM Symp. User Interface Softw. Technol. (UIST), San Francisco, CA, USA, 2023, Art. no. 2, pp. 1–22, doi: 10.1145/3586183.3606763.
- [11] Q. Wu et al., “AutoGen: Enabling next-gen LLM applications via multi-agent conversation,” arXiv:2308.08155, Aug. 2023. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2308.08155>
- [12] F. Bianchi, P. J. Chia, M. Yuksekgonul, J. Tagliabue, D. Jurafsky, and J. Zou, “How well can LLMs negotiate? NegotiationArena platform and analysis,” in Proc. 41st Int. Conf. Mach. Learn. (ICML), PMLR, vol. 235, Vienna, Austria, 2024, pp. 3935–3951. [Online]. Available: <https://proceedings.mlr.press/v235/bianchi24a.html>
- [13] T. Xia et al., “Measuring bargaining abilities of LLMs: A benchmark and a buyer-enhancement method,” in Findings Assoc. Comput. Linguistics: ACL 2024, Bangkok, Thailand, 2024, pp. 3579–3602, doi: 10.18653/v1/2024.findings-acl.213.
- [14] X. Liu, S. Gu, and D. Song, “AgenticPay: A multi-agent LLM negotiation system for buyer-seller transactions,” arXiv:2602.06008, Feb. 2026. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2602.06008>
- [15] E. Tabassi, *Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0)*, NIST AI 100-1. Gaithersburg, MD, USA: National Institute of Standards and Technology, 2023, doi: 10.6028/NIST.AI.100-1.

- [16] C. Autio et al., *Artificial Intelligence Risk Management Framework: Generative Artificial Intelligence Profile*, NIST AI 600-1. Gaithersburg, MD, USA: National Institute of Standards and Technology, 2024, doi: 10.6028/NIST.AI.600-1.
- [17] S. S. Fatima, M. Wooldridge, and N. R. Jennings, “Multi-issue negotiation with deadlines,” *Journal of Artificial Intelligence Research*, vol. 27, pp. 381–417, 2006, doi: 10.1613/jair.2056.
- [18] D. Zeng and K. Sycara, “Bayesian learning in negotiation,” *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 48, no. 1, pp. 125–141, 1998, doi: 10.1006/ijhc.1997.0164.
- [19] R. M. Coehoorn and N. R. Jennings, “Learning an opponent’s preferences to make effective multi-issue negotiation trade-offs,” in Proc. 6th Int. Conf. Electron. Commerce, Delft, The Netherlands, 2004, pp. 59–68.
- [20] T. Baarslag, M. J. C. Hendriks, K. V. Hindriks, and C. M. Jonker, “Learning about the opponent in automated bilateral negotiation: A comprehensive survey of opponent modeling techniques,” *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, vol. 30, no. 5, pp. 849–898, 2016, doi: 10.1007/s10458-015-9309-1.
- [21] H. He, D. Chen, A. Balakrishnan, and P. Liang, “Decoupling strategy and generation in negotiation dialogues,” in Proc. Conf. Empirical Methods Natural Language Processing (EMNLP), Brussels, Belgium, 2018, pp. 2333–2343, doi: 10.18653/v1/D18-1256.
- [22] T. Schick et al., “Toolformer: Language models can teach themselves to use tools,” in *Advances in Neural Information Processing Systems*, vol. 36, 2023, doi: 10.52202/075280-2997.
- [23] L. Wang et al., “A survey on large language model based autonomous agents,” *Frontiers of Computer Science*, vol. 18, art. no. 186345, 2024, doi: 10.1007/s11704-024-40231-1.
- [24] K. V. Hindriks, C. M. Jonker, S. Kraus, R. Lin, and D. Tykhonov, “GENIUS: Negotiation environment for heterogeneous agents,” in Proc. 8th Int. Conf. Autonomous Agents Multiagent Syst., Budapest, Hungary, 2009, pp. 1397–1398.
- [25] T. Baarslag et al., “Evaluating practical negotiating agents: Results and analysis of the 2011 international competition,” *Artificial Intelligence*, vol. 198, pp. 73–103, 2013, doi: 10.1016/j.artint.2012.09.004.
- [26] T. Baarslag, R. Aydoğan, K. V. Hindriks, K. Fujita, T. Ito, and C. M. Jonker, “The automated negotiating agents competition, 2010–2015,” *AI Magazine*, vol. 36, no. 4, pp. 115–118, 2015, doi: 10.1609/aimag.v36i4.2609.
- [27] X. Zhou et al., “SOTOPIA: Interactive evaluation for social intelligence in language agents,” in Proc. Int. Conf. Learn. Represent. (ICLR), 2024. [Online]. Available: <https://openreview.net/forum?id=mM7VurbA4r>
- [28] S. Abdelnabi, A. Gomaa, S. Sivaprasad, L. Schönherr, and M. Fritz, “Cooperation, competition, and maliciousness: LLM-stakeholders interactive negotiation,” in *Advances in Neural Information Processing Systems*, 2024, doi: 10.52202/079017-2658.
- [29] S. Zhu, J. Sun, Y. Nian, T. South, A. Pentland, and J. Pei, “The automated but risky game: Modeling agent-to-agent negotiations and transactions in consumer markets,” in Proc. Natural Legal Language Processing Workshop, 2025, doi: 10.18653/v1/2025.nllp-1.2.

- [30] L. Weidinger et al., “Taxonomy of risks posed by language models,” in Proc. ACM Conf. Fairness, Accountability, and Transparency, 2022, pp. 214–229, doi: 10.1145/3531146.3533088.
- [31] K. Greshake, S. Abdelnabi, S. Mishra, C. Endres, T. Holz, and M. Fritz, “Not what you’ve signed up for: Compromising real-world LLM-integrated applications with indirect prompt injection,” in Proc. 16th ACM Workshop Artificial Intelligence and Security, 2023, pp. 79–90, doi: 10.1145/3605764.3623985.
- [32] P. Liang et al., “Holistic evaluation of language models,” *Transactions on Machine Learning Research*, 2023. [Online]. Available: <https://openreview.net/forum?id=iO4LZibEqW>
- [33] OWASP Foundation, “OWASP GenAI LLM Top 10 2026,” 2026. [Online]. Available: <https://owasp.org/www-project-top-10-for-large-language-model-applications/> [Accessed: Aug. 21, 2026].
- [34] S. Chen and G. Weiss, “Enhancing agent-based negotiation strategies via transfer learning,” *Electronics*, vol. 14, no. 17, art. no. 3391, 2025, doi: 10.3390/electronics14173391.
- [35] S. S. Gill et al., “Agentic AI: Vision and challenges,” *PLOS Complex Systems*, vol. 3, no. 8, art. no. e0000120, 2026, doi: 10.1371/journal.pcsy.0000120.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΟΔΗΓΟΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ NEGOTAI

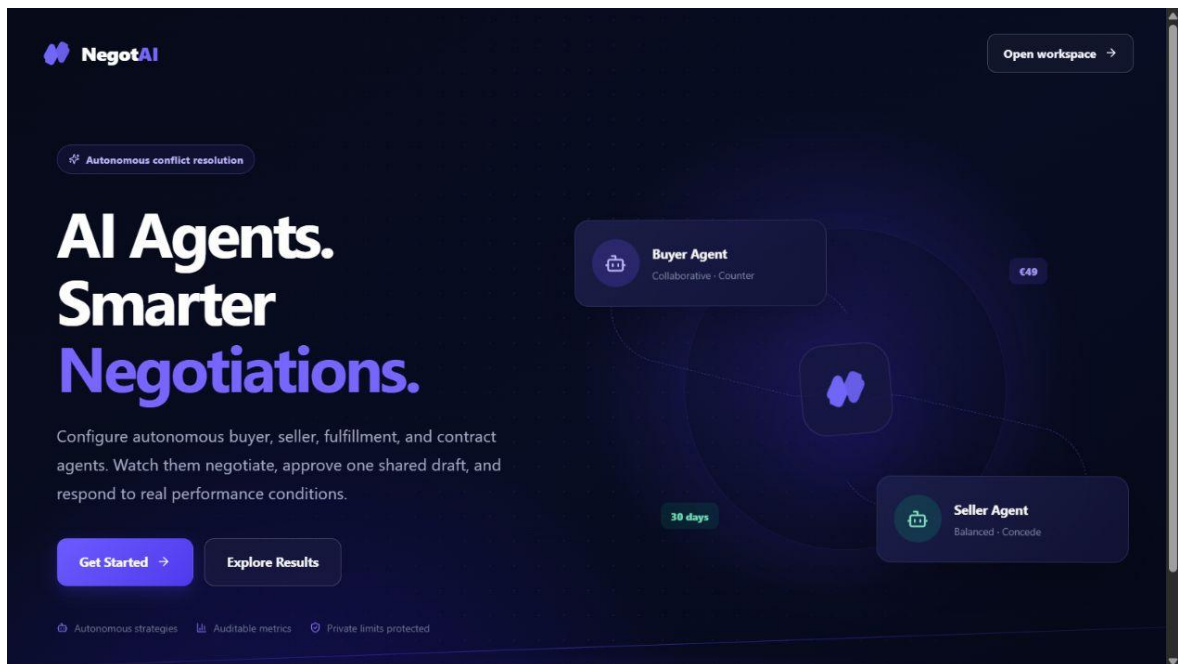
Το παρόν παράρτημα αποτελεί πρακτικό οδηγό χρήσης της διαδικτυακής εφαρμογής NegotAI. Παρουσιάζει την πρόσβαση στο τοπικό περιβάλλον, τη δημιουργία και την εκτέλεση μιας νέας διαπραγμάτευσης, την παρακολούθηση της ανταλλαγής προσφορών, καθώς και την αξιοποίηση του ιστορικού, των αποτελεσμάτων και των συγκεντρωτικών αναλύσεων. Τα στιγμιότυπα προέρχονται από την πραγματική εφαρμογή και χρησιμοποιούν ήδη ολοκληρωμένες δοκιμαστικές συνεδρίες, ώστε να αποτυπώνονται όλες οι λειτουργίες χωρίς να μεταβάλλεται το πειραματικό αρχείο.

A.1 Εκκίνηση και αρχική σελίδα

Η εφαρμογή λειτουργεί τοπικά και προϋποθέτει ότι έχουν ολοκληρωθεί η εγκατάσταση των εξαρτήσεων και η μεταγλώττιση του frontend. Από τον ριζικό φάκελο του έργου εκκινείται ο FastAPI εξυπηρετητής με την ακόλουθη εντολή:

```
& .\webapp\.venv\Scripts\python.exe webapp\backend\run.py
```

Στη συνέχεια ο χρήστης ανοίγει τη διεύθυνση **http://127.0.0.1:8000**. Η αρχική σελίδα παρουσιάζει συνοπτικά τον σκοπό του NegotAI και παρέχει το κουμπί **Open workspace**, μέσω του οποίου γίνεται η είσοδος στον κύριο χώρο εργασίας.

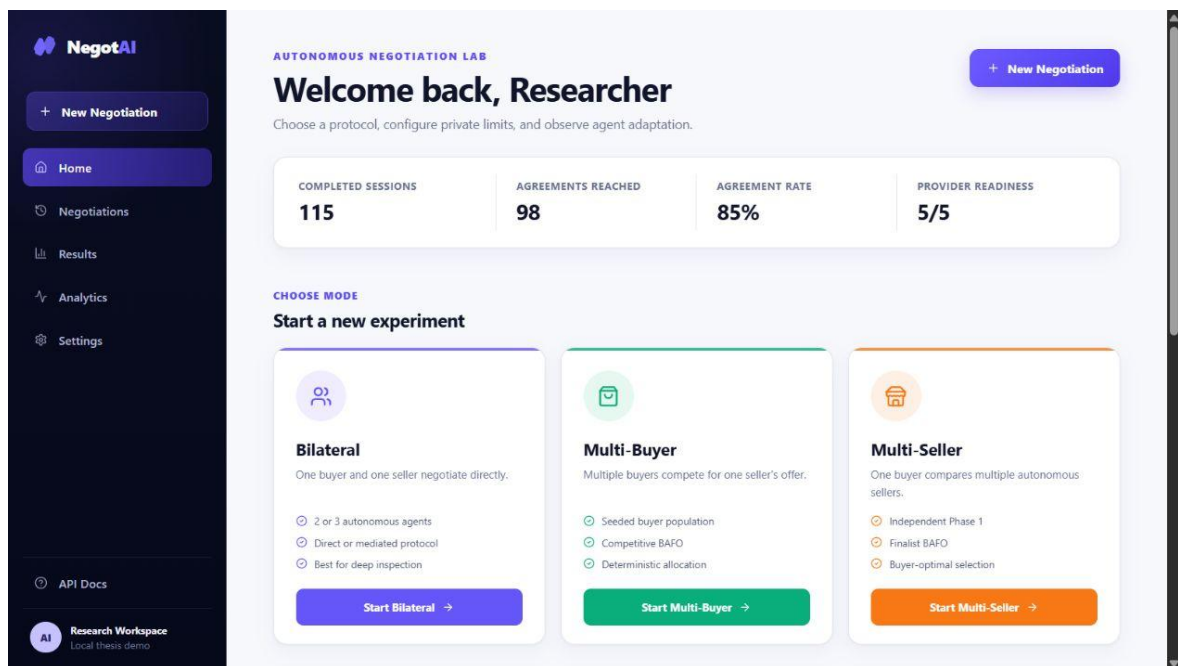


Σχήμα Α.1: Αρχική σελίδα της εφαρμογής NegotAI

A.2 Κεντρική οθόνη και βασική πλοήγηση

Η κεντρική οθόνη (Dashboard) συγκεντρώνει την κατάσταση του πειραματικού χώρου. Στο επάνω μέρος εμφανίζονται ο αριθμός ολοκληρωμένων συνεδριών, οι συμφωνίες που επιτεύχθηκαν, το ποσοστό συμφωνίας και η ετοιμότητα των παρόχων μοντέλων. Ακολουθούν τρεις κάρτες γρήγορης εκκίνησης για διμερή διαπραγμάτευση, αγορά πολλών αγοραστών και αγορά πολλών πωλητών.

Η σταθερή αριστερή στήλη πλοήγησης οδηγεί στις ενότητες Home, Negotiations, Results, Analytics και Settings. Το κουμπί New Negotiation είναι διαθέσιμο σε όλες τις κύριες οθόνες, ενώ ο σύνδεσμος API Docs ανοίγει τη διαδραστική τεκμηρίωση του backend.



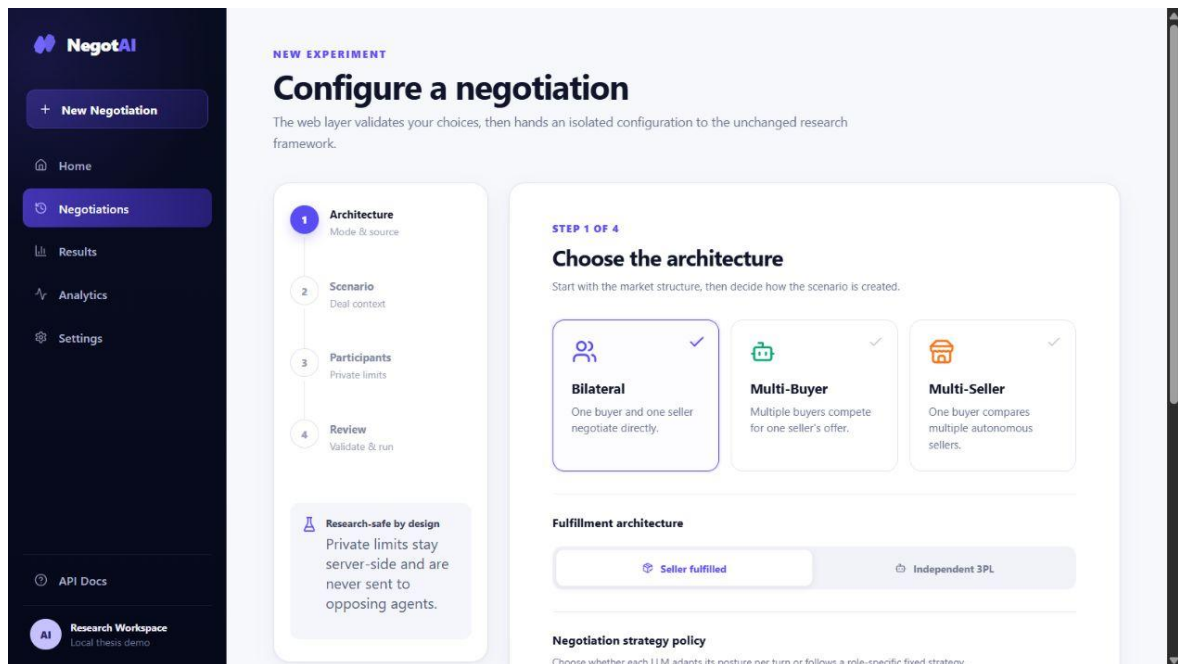
Σχήμα A.2: Κεντρική οθόνη και διαθέσιμοι τύποι διαπραγμάτευσης

A.3 Δημιουργία νέας διαπραγμάτευσης

Η δημιουργία μιας συνεδρίας οργανώνεται σε τέσσερα διαδοχικά βήματα: Architecture, Scenario, Participants και Review. Η αριστερή στήλη του οδηγού δείχνει πάντοτε το ενεργό βήμα.

A.3.1 Επιλογή αρχιτεκτονικής και πολιτικής στρατηγικής

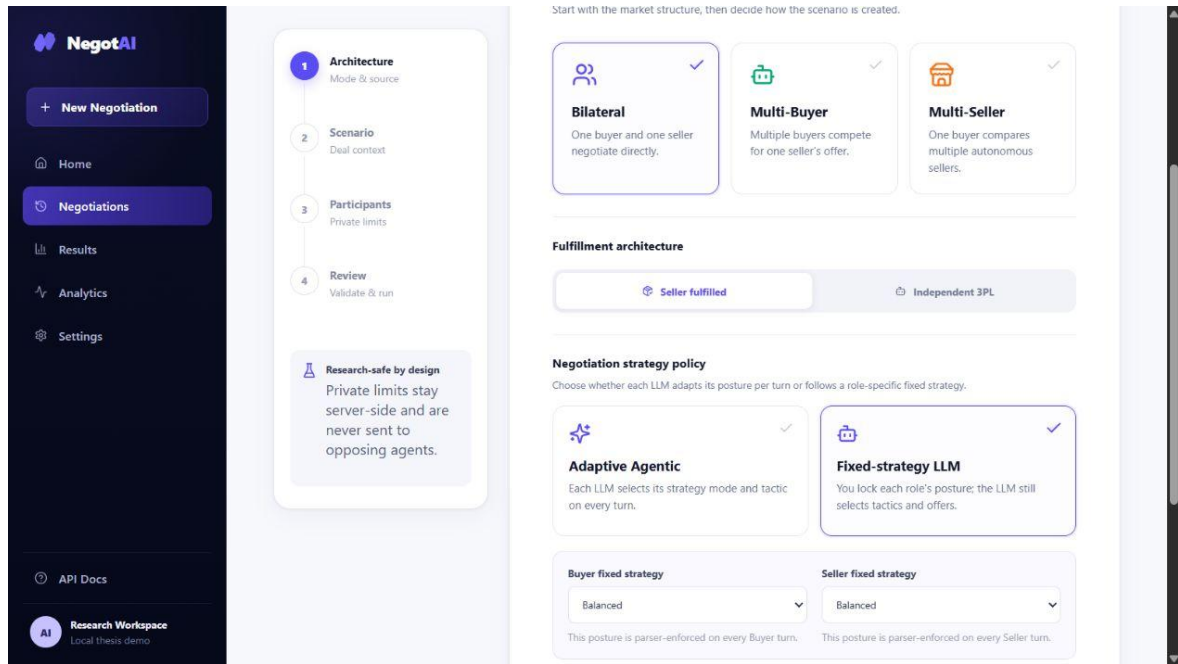
Στο πρώτο βήμα επιλέγεται η δομή της αγοράς. Η επιλογή Bilateral αντιστοιχεί σε έναν Buyer και έναν Seller, η Multi-Buyer σε πολλούς ανταγωνιστικούς αγοραστές και η Multi-Seller σε πολλούς πωλητές που διεκδικούν την επιλογή του αγοραστή. Στη διμερή λειτουργία μπορεί επιπλέον να οριστεί Seller fulfilled ή Independent 3PL, ανάλογα με το εάν η εκπλήρωση της συμφωνίας ανατίθεται στον πωλητή ή σε ανεξάρτητο τρίτο πράκτορα.



Σχήμα A.3: Πρώτο βήμα: επιλογή αρχιτεκτονικής διαπραγμάτευσης

Στην πολιτική Adaptive Agentic κάθε LLM επιλέγει εκ νέου στάση και τακτική σε κάθε γύρο. Στην Fixed-strategy LLM ο χρήστης καθορίζει εξ αρχής ξεχωριστή στάση για κάθε ρόλο, όπως Aggressive, Balanced, Collaborative ή Concessionary. Η επιλεγμένη στάση επιβάλλεται σε όλη τη συνεδρία, ενώ το LLM εξακολουθεί να παράγει τα επιχειρήματα, τις τακτικές και τις αριθμητικές προσφορές. Τέλος, ο AI Scenario Designer δημιουργεί ελεγμένο σενάριο από κατηγορία και επίπεδο σύγκρουσης, ενώ το Advanced manual επιτρέπει πλήρη χειροκίνητο έλεγχο.

Οδηγός Χρήσης της Εφαρμογής NegotAI



Σχήμα Α.4: Επιλογή σταθερής στρατηγικής LLM και χειροκίνητης διαμόρφωσης

A.3.2 Ορισμός σεναρίου

Στο δεύτερο βήμα δηλώνονται το προϊόν ή η υπηρεσία, η κατηγορία, το σύμβολο νομίσματος, το μέγιστο πλήθος γύρων και ένα προαιρετικό δημόσιο πλαίσιο. Η κατηγορία προσαρμόζει τις ονομασίες των ζητημάτων στο εκάστοτε πεδίο. Το δημόσιο πλαίσιο είναι ορατό σε όλους τους συμμετέχοντες και δεν πρέπει να περιέχει ιδιωτικά όρια. Υψηλός αριθμός γύρων αυξάνει αντίστοιχα τον χρόνο εκτέλεσης και τη χρήση των API των μοντέλων.

NEW EXPERIMENT

Configure a negotiation

The web layer validates your choices, then hands an isolated configuration to the unchanged research framework.

STEP 2 OF 4

Define the deal context

Issue labels adapt automatically to the selected product category.

Product or service: Gaming Laptop

Product category: Electronics

Currency symbol: €

Maximum rounds: 10

Values above 20 can materially increase API use.

Public scenario context

Facts visible to every participant...

Research-safe by design

Private limits stay server-side and are never sent to opposing agents.

Σχήμα A.5: Δεύτερο βήμα: ορισμός του αντικειμένου και του δημόσιου πλαισίου

A.3.3 Όρια συμμετεχόντων και βάρη χρησιμότητας

Στο τρίτο βήμα εισάγονται τα ιδανικά σημεία και τα αδιαπραγμάτευτα όρια κάθε πράκτορα για την τιμή, τον χρόνο παράδοσης και την εγγύηση ή υποστήριξη. Για παράδειγμα, ο Buyer διαθέτει μέγιστη αποδεκτή τιμή, ενώ ο Seller ελάχιστη αποδεκτή τιμή. Οι τιμές αυτές χρησιμοποιούνται από τον ντετερμινιστικό μηχανισμό επικύρωσης και δεν γνωστοποιούνται στον αντίπαλο πράκτορα.

Στη χειροκίνητη διαμόρφωση ο χρήστης ορίζει επίσης τα βάρη χρησιμότητας όλων των ενεργών πρακτόρων. Τα βάρη τιμής, παράδοσης και εγγύησης κάθε Buyer ή Seller πρέπει να έχουν άθροισμα 1,00. Στην ανεξάρτητη 3PL ροή ο αντίστοιχος πράκτορας διαθέτει βάρη αμοιβής και χρόνου παράδοσης.

Configure a negotiation

The web layer validates your choices, then hands an isolated configuration to the unchanged research framework.

STEP 3 OF 4

Set participant boundaries

Set hard reservation limits and, in manual setup, each active agent's utility priorities.

Buyer		Seller	
B Prefers lower cost and time, higher warranty.		S Prefers higher revenue and lower after-sale exposure.	
Ideal price / landed cost	Maximum price / landed cost	Ideal price / net revenue	Minimum price / net revenue
800	900	980	850
Ideal delivery time	Maximum delivery time	Ideal delivery time	Fastest delivery time
2	3	5	2
Ideal warranty	Minimum warranty	Ideal warranty	Maximum warranty
3	2	1	3
Buyer utility priorities		Seller utility priorities Use values from 0 to 1. Together they	
		Total 1.00	

Σχήμα A.6: Ιδιωτικά όρια και προτεραιότητες χρησιμότητας του Buyer

Στις πολυμερείς λειτουργίες μπορεί να παραχθεί αυτόματα ένας πληθυσμός υποψηφίων ή να σχεδιαστούν χειροκίνητα ξεχωριστά προφίλ. Στον παραγόμενο πληθυσμό εφαρμόζεται κοινή ρύθμιση ανά ρόλο, ενώ στον χειροκίνητο πληθυσμό κάθε υποψήφιος μπορεί να διαθέτει ανεξάρτητα όρια, περιγραφή και βάρη. Πριν από τη συνέχεια, ο χρήστης ελέγχει ότι τα όρια σχηματίζουν εφικτό και σκόπιμο πειραματικό σενάριο.

Παράρτημα Α

NegotAI

- + New Negotiation
- Home
- Negotiations
- Results
- Analytics
- Settings

API Docs

AI Research Workspace
Local thesis demo

Architecture
Mode & source

Scenario
Deal context

Participants
Private limits

Review
Validate & run

Research-safe by design
Private limits stay server-side and are never sent to opposing agents.

B Prefers lower cost and time, higher warranty.

Ideal price / landed cost	Maximum price / landed cost
800	900
Ideal delivery time	Maximum delivery time
2	3
Ideal warranty	Minimum warranty
3	2

Buyer utility priorities
Use values from 0 to 1. Together they must equal 1.00. **Total 1.00**

Buyer price weight	Buyer delivery time weight
0.6	0.25
Buyer warranty weight	
0.15	

S Prefers higher revenue and lower after-sale exposure.

Ideal price / net revenue	Minimum price / net revenue
980	850
Ideal delivery time	Fastest delivery time
5	2
Ideal warranty	Maximum warranty
1	3

Seller utility priorities
Use values from 0 to 1. Together they must equal 1.00. **Total 1.00**

Seller price weight	Seller delivery time weight
0.6	0.25
Seller warranty weight	
0.15	

← Back

Review configuration →

Σχήμα Α.7: Ιδιωτικά όρια και προτεραιότητες χρησιμότητας του Seller

A.3.4 Προηγμένοι έλεγχοι, επικύρωση και εκκίνηση

Στο τελευταίο βήμα μπορεί να ενεργοποιηθεί ο αυτόνομος κύκλος ζωής ηλεκτρονικής σύμβασης. Στην αναπτυσσόμενη ενότητα Advanced research controls ορίζονται η ορατότητα της προθεσμίας, οι αριθμητικές ανοχές, η στάση απέναντι στον κίνδυνο και, προαιρετικά, η απομείωση χρησιμότητας ανά γύρο. Όταν το Enable per-round utility discounting παραμένει ανενεργό, η καθυστέρηση δεν μειώνει τη χρησιμότητα. Όταν ενεργοποιείται, ο παράγοντας 1,00 ισοδυναμεί επίσης με μηδενική μείωση, ενώ τιμή μικρότερη της μονάδας μειώνει το διαπραγματεύσιμο πλεόνασμα όσο προχωρούν οι γύροι.

The web layer validates your choices, then hands an isolated configuration to the unchanged research framework.

Architecture
Mode & source

Scenario
Deal context

Participants
Private limits

Review
Validate & run

Research-safe by design
Private limits stay server-side and are never sent to opposing agents.

STEP 4 OF 4
Validate and launch
Review autonomous contract formation, population profiles, and feasibility.

☐ **Enable autonomous contract lifecycle**
After commercial agreement, the real parties propose clauses, a Contract Agent mediates, and every required agent reviews the same immutable draft.

Advanced research controls

☐ **Enable per-round utility discounting**
Later agreements become less valuable. A factor of 0.98 retains 98% of the negotiable utility surplus after each additional round; 1.00 means no reduction. Population factors apply to every candidate agent.

Protocol deadline visibility **Price tolerance** **delivery time tolerance**

Hidden protocol limit 50 2

Agents see the current round, but not the maximum or remaining rounds.

warranty tolerance **Buyer risk attitude** **Seller risk attitude**

1 Neutral Neutral

Σχήμα A.8: Προηγμένοι ερευνητικοί έλεγχοι πριν από την εκτέλεση

Οι κάρτες ανασκόπησης συνοψίζουν το προϊόν, την αρχιτεκτονική, τη στρατηγική, το πλήθος γύρων, τη συμβατική λειτουργία και το μοντέλο χρησιμότητας. Με το κουμπί Validate αποστέλλεται η διαμόρφωση στον εξυπηρετητή για έλεγχο σχημάτων, ορίων και εφικτότητας. Μόνο όταν εμφανιστεί το μήνυμα Configuration is ready ενεργοποιείται το Start negotiation. Μετά την εκκίνηση η συνεδρία εισέρχεται στην ουρά και εκτελείται σε απομονωμένη διεργασία.

Παράρτημα Α

NegotAI

- + New Negotiation
- Home
- Negotiations
- Results
- Analytics
- Settings

API Docs

Research Workspace
Local thesis demo

Architecture
Mode & source

Scenario
Deal context

Participants
Private limits

Review
Validate & run

Research-safe by design
Private limits stay server-side and are never sent to opposing agents.

Agents see the current round, but not the maximum or remaining rounds.

Protocol deadline visibility
Hidden protocol limit

Price tolerance
50

delivery time tolerance
2

warranty tolerance
1

Buyer risk attitude
Neutral

Seller risk attitude
Neutral

Product
Gaming Laptop
Electronics

Architecture
Bilateral
Seller Fulfilled

Strategy
Fixed-strategy LLM
Balanced buyer -
Balanced seller

Rounds
10
Manual

Contracts
Disabled
Negotiation only

Utility model
Default weights
No time discounting

Configuration is ready

Back Validate Start negotiation

Σχήμα Α.9: Επικυρωμένη διαμόρφωση έτοιμη για εκκίνηση

A.4 Παρακολούθηση μιας διαπραγμάτευσης

Η ζωντανή οθόνη εμφανίζει την κατάσταση της συνεδρίας, τους συμμετέχοντες, τον τρέχοντα γύρο και τη δημόσια ακολουθία μηνυμάτων. Κάθε μήνυμα συνοδεύεται από τη δομημένη προσφορά σε τιμή, παράδοση και εγγύηση. Στη δεξιά στήλη παρουσιάζονται η αρχιτεκτονική, το αντικείμενο και η τελευταία δραστηριότητα. Οι αντίπαλοι πράκτορες λαμβάνουν μόνο το δημόσιο ιστορικό.

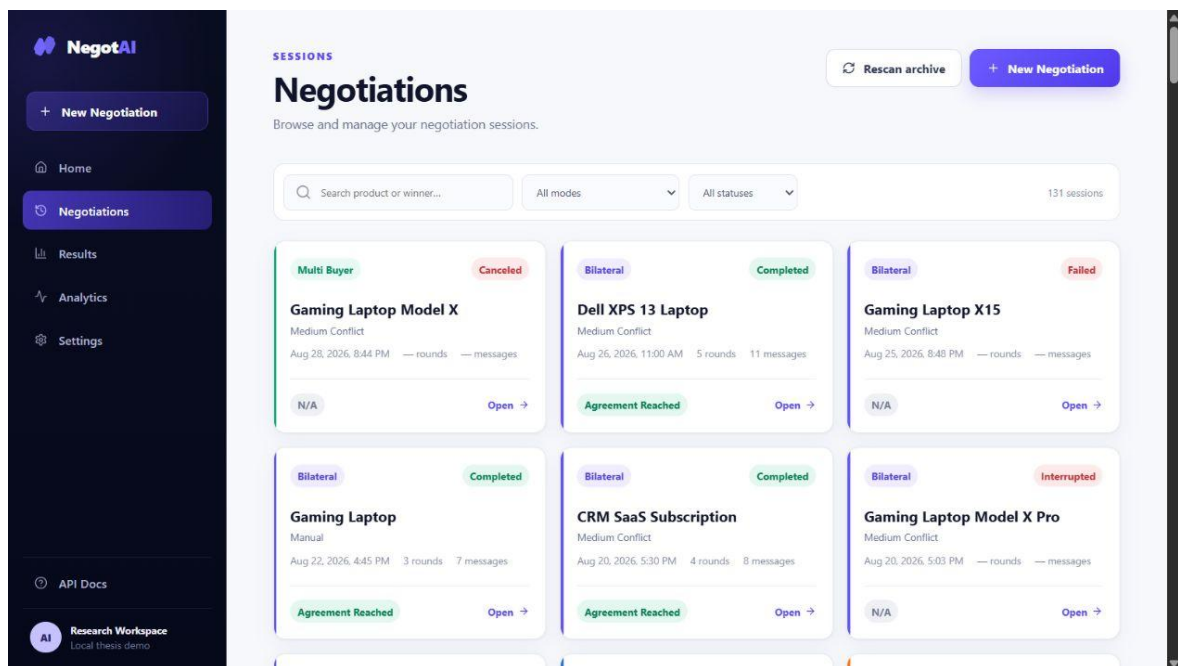
Ο διακόπτης Research view αποκάλυπτει αποκλειστικά στον ερευνητή ιδιωτικά μεταδεδομένα στρατηγικής και δεν αλλάζει την πληροφορία που μεταφέρεται στους πράκτορες. Σε ενεργή συνεδρία διατίθεται ακύρωση, ενώ μετά την ολοκλήρωση εμφανίζονται το αποτέλεσμα, η κατάσταση συναλλαγής και το κουμπί Open results. Η ουρά είναι σειριακή, συνεπώς μία νέα συνεδρία μπορεί αρχικά να εμφανιστεί ως Queued πριν μεταβεί σε Running.

Σχήμα A.10: Οθόνη παρακολούθησης και ολοκλήρωσης διαπραγμάτευσης

A.5 Ιστορικό διαπραγματεύσεων

Η ενότητα Negotiations περιλαμβάνει όλες τις συνεδρίες, ανεξάρτητα από το εάν έχουν ολοκληρωθεί, αποτύχει, ακυρωθεί ή διακοπεί. Η αναζήτηση περιορίζει τις εγγραφές με βάση το προϊόν ή τον νικητή, ενώ τα φίλτρα Mode και Status διευκολύνουν τον εντοπισμό συγκεκριμένης κατηγορίας εκτέλεσης. Κάθε κάρτα αναφέρει ημερομηνία, γύρους, μηνύματα και αποτέλεσμα.

Το Open οδηγεί είτε στην οθόνη παρακολούθησης μιας μη ολοκληρωμένης συνεδρίας είτε στην αναλυτική αναφορά μιας ολοκληρωμένης. Το Rescan archive επανασυγχρονίζει το ευρετήριο με τα κανονικά αρχεία transcripts χωρίς να τα μετακινεί ή να τα τροποποιεί.

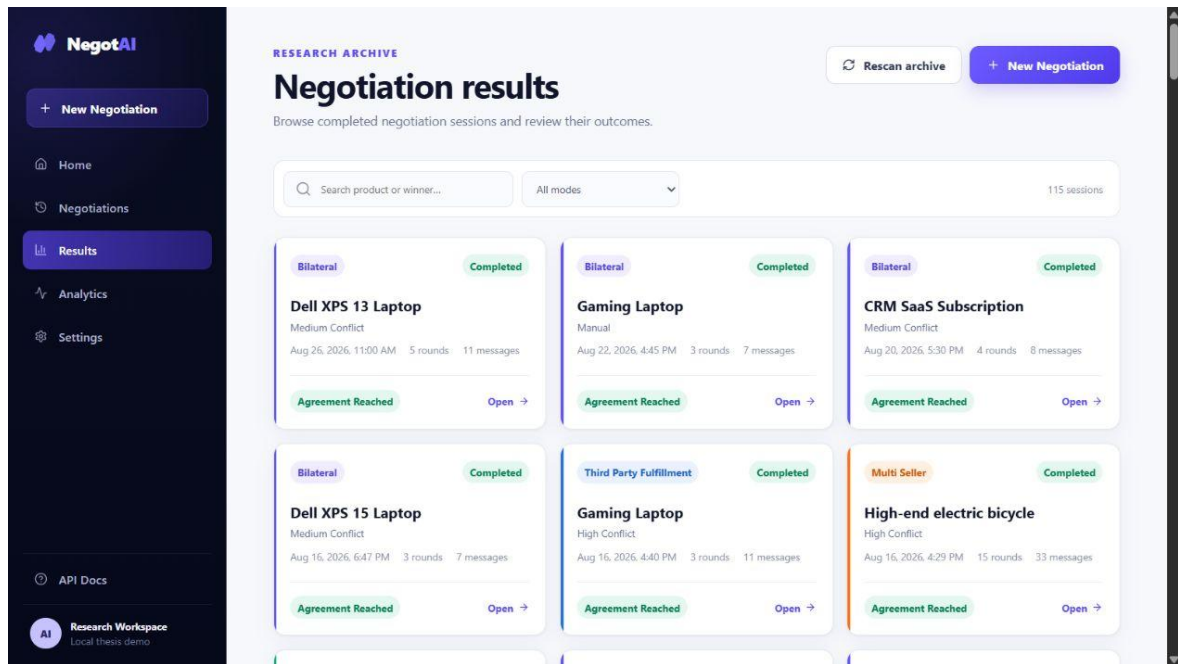


Σχήμα A.11: Ιστορικό και φίλτρα διαπραγματεύσεων

A.6 Προβολή και ερμηνεία αποτελεσμάτων

A.6.1 Κατάλογος ολοκληρωμένων αποτελεσμάτων

Η ενότητα Results περιορίζεται στις ολοκληρωμένες συνεδρίες για τις οποίες υπάρχει κανονική αναφορά. Οι ίδιες δυνατότητες αναζήτησης και φιλτραρίσματος επιτρέπουν τη γρήγορη επιλογή πειράματος. Η ονομασία του προϊόντος, ο τύπος σεναρίου, η αρχιτεκτονική, οι γύροι, τα μηνύματα και η τελική έκβαση είναι ορατά πριν από το άνοιγμα της αναφοράς.

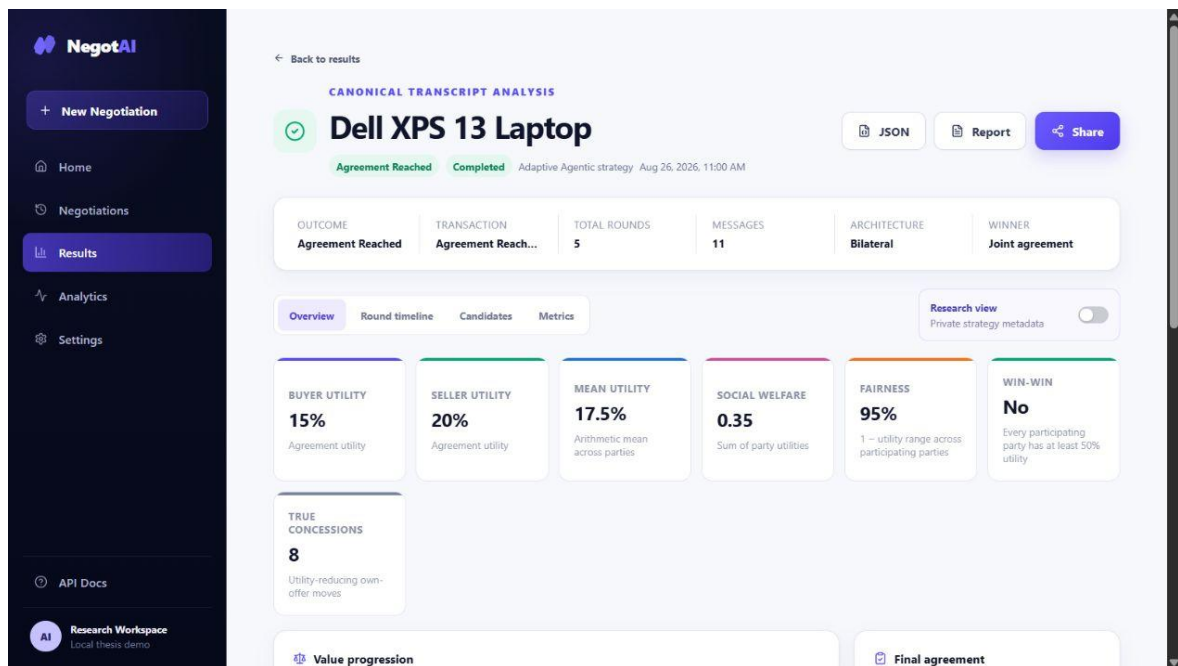


Σχήμα A.12: Κατάλογος ολοκληρωμένων αποτελεσμάτων

A.6.2 Σύνοψη και τελική συμφωνία

Η καρτέλα Overview παρουσιάζει το αποτέλεσμα, τη συμβατική κατάσταση, τους γύρους, τα μηνύματα, την αρχιτεκτονική και τον νικητή. Οι βασικές κάρτες περιλαμβάνουν τη χρησιμότητα κάθε πλευράς, τη μέση χρησιμότητα, την κοινωνική ευημερία, τη δικαιοσύνη, το win-win και τις πραγματικές παραχωρήσεις. Στο NegotAI μια έγκυρη συμφωνία χαρακτηρίζεται win-win μόνο όταν κάθε συμμετέχουσα πλευρά έχει χρησιμότητα τουλάχιστον 50%.

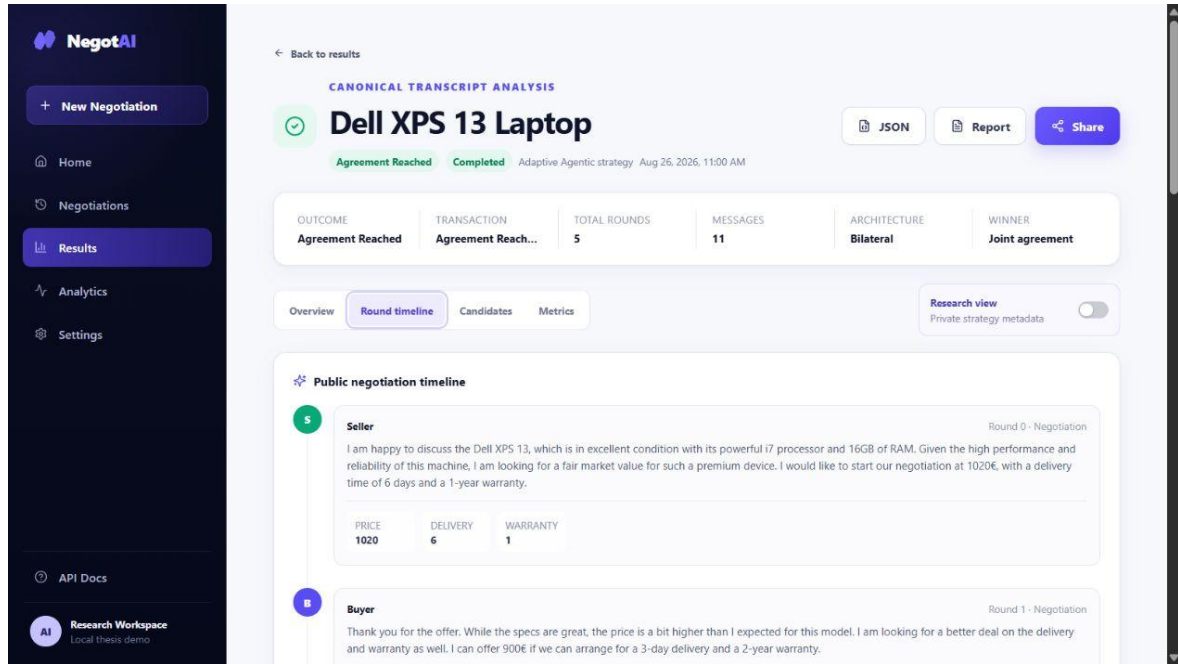
Το διάγραμμα εξέλιξης τιμών και το πλαίσιο Final agreement επιτρέπουν οπτικό έλεγχο της σύγκλισης. Με τους συνδέσμους JSON και Report εξάγονται αντίστοιχα τα δομημένα δεδομένα και η αναφορά Markdown της συγκεκριμένης συνεδρίας.



Σχήμα A.13: Σύνοψη έκβασης, χρησιμοτήτων και τελικής συμφωνίας

A.6.3 Χρονογραμμή γύρων

Η καρτέλα Round timeline αναπαράγει την κανονική δημόσια συνομιλία με τη σειρά που παρήχθη. Για κάθε ενέργεια εμφανίζονται ο ρόλος, ο γύρος, το επιχείρημα και τα αριθμητικά πεδία της προσφοράς. Η προβολή είναι κατάλληλη για ποιοτική ανάλυση της επιχειρηματολογίας και για διασταύρωση των υπολογισμένων μετρικών με τα αρχικά γεγονότα.

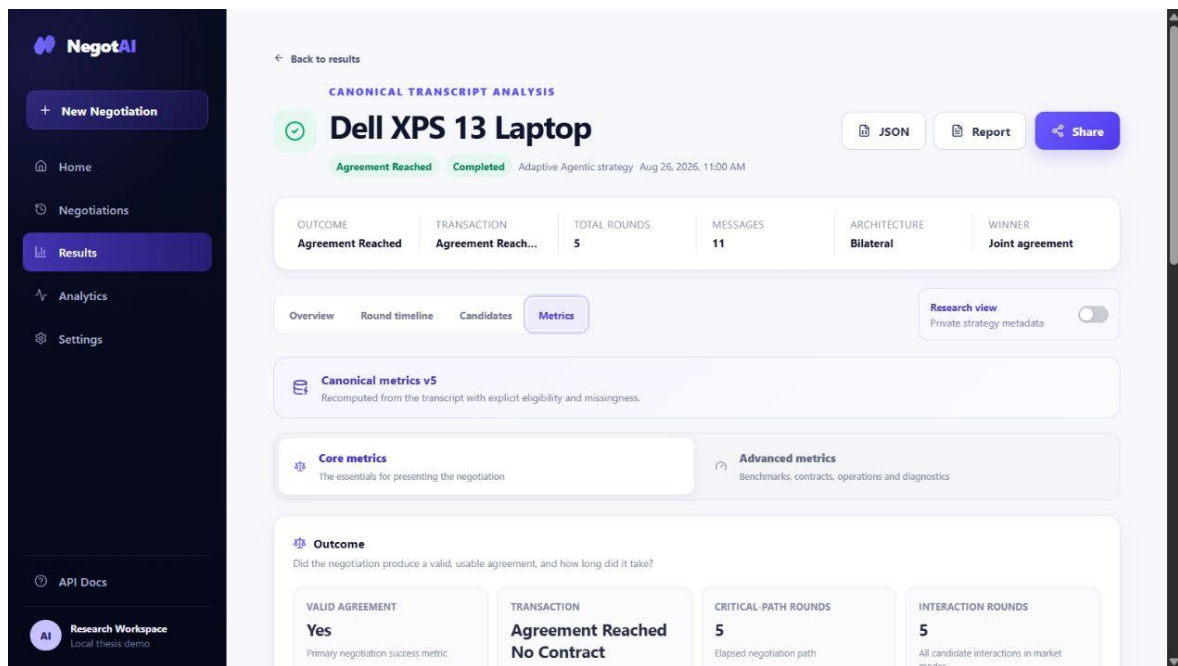


Σχήμα A.14: Δημόσια χρονογραμμή μηνυμάτων και προσφορών

A.6.4 Ερευνητικές μετρικές

Η καρτέλα Metrics διαχωρίζει τις βασικές από τις προηγμένες μετρικές και δηλώνει ρητά την επιλεξιμότητα ή την απουσία δεδομένων. Στις βασικές ενότητες καταγράφονται η εγκυρότητα της συμφωνίας, οι γύροι κρίσιμης διαδρομής, ο χρόνος, οι χρησιμότητες, η κοινωνική ευημερία, η δικαιοσύνη, η σύγκλιση και η συμπεριφορά παραχωρήσεων ή σκλήρυνσης. Η δικαιοσύνη εκφράζει περιγραφική ισορροπία των χρησιμοτήτων και όχι κανονιστική ή ηθική κρίση.

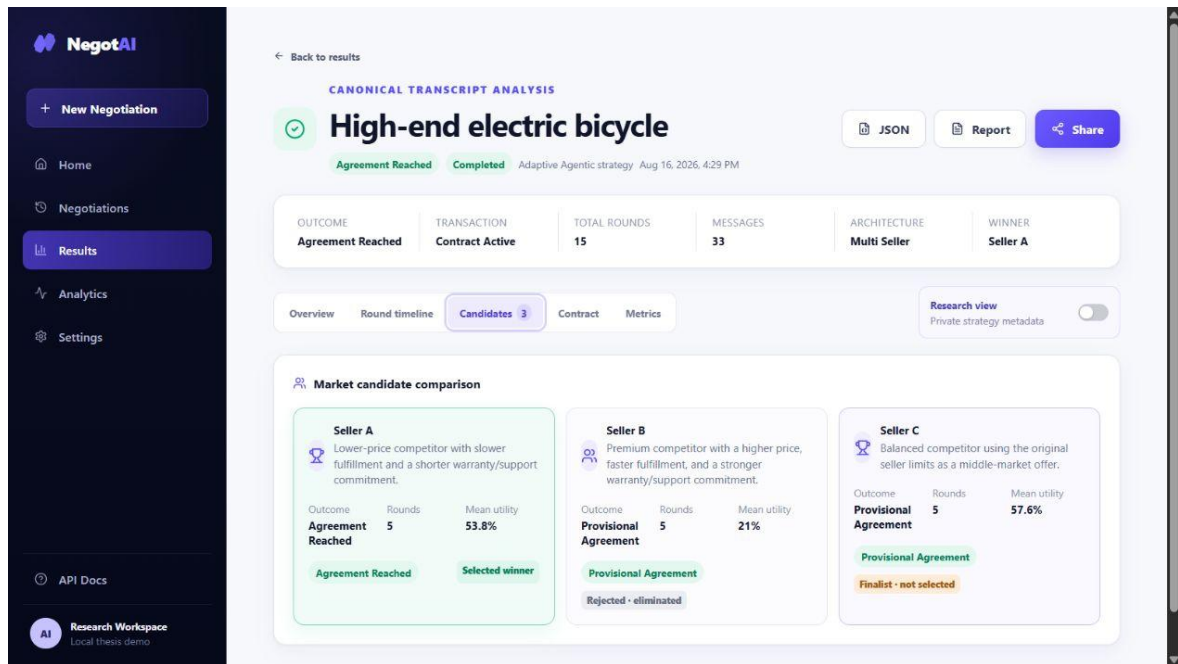
Τα ιδιωτικά στοιχεία στρατηγικής γίνονται διαθέσιμα με την ενεργοποίηση του κουμπιού Research view.



Σχήμα Α.15: Βασικές μετρικές αποτελέσματος και διαπραγματευτικής δυναμικής

A.6.5 Σύγκριση υποψηφίων σε πολυμερείς αγορές

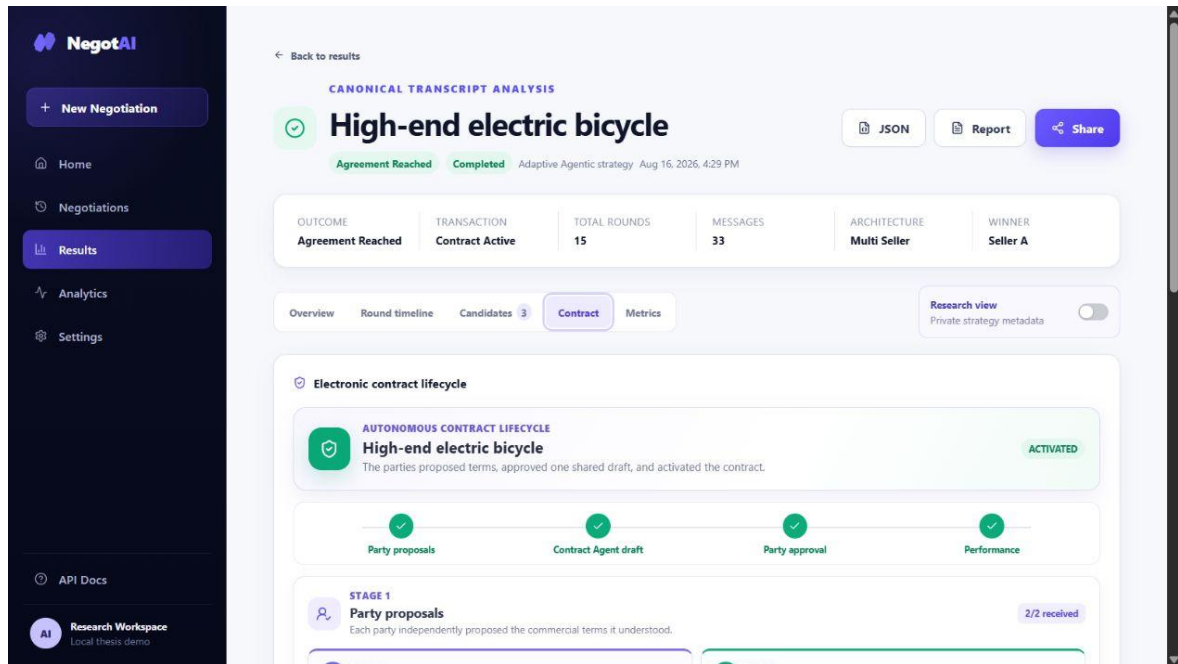
Σε Multi-Buyer και Multi-Seller συνεδρίες εμφανίζεται η πρόσθετη καρτέλα Candidates. Κάθε υποψήφιος συνοδεύεται από το προφίλ, την έκβαση, τους γύρους, τη μέση χρησιμότητα και την τελική κατάστασή του. Η αναφορά διακρίνει τον επιλεγμένο νικητή, τους απορριφθέντες ή αποκλεισμένους υποψηφίους και τους φιναλίστ που δεν επιλέχθηκαν. Η σύγκριση αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τον έλεγχο του μηχανισμού κατανομής και της φάσης BAFO.



Σχήμα A.16: Σύγκριση υποψηφίων σε αγορά πολλών πωλητών

A.6.6 Κύκλος ζωής ηλεκτρονικής σύμβασης

Όταν η συμβατική λειτουργία έχει ενεργοποιηθεί και η εμπορική διαπραγμάτευση καταλήξει σε συμφωνία, η καρτέλα Contract παρουσιάζει την αυτόνομη συνέχεια. Η ροή περιλαμβάνει ανεξάρτητες προτάσεις των πραγματικών μερών, σύνθεση κοινής έκδοσης από τον Contract Agent, έλεγχο της ίδιας αμετάβλητης έκδοσης, ομόφωνη έγκριση και ενεργοποίηση. Ακολουθούν ένα προκαθορισμένο γεγονός περιβάλλοντος, η αυτόνομη απόκριση του υπεύθυνου πράκτορα και ο ντετερμινιστικός έλεγχος εκτέλεσης ή παραβίασης.

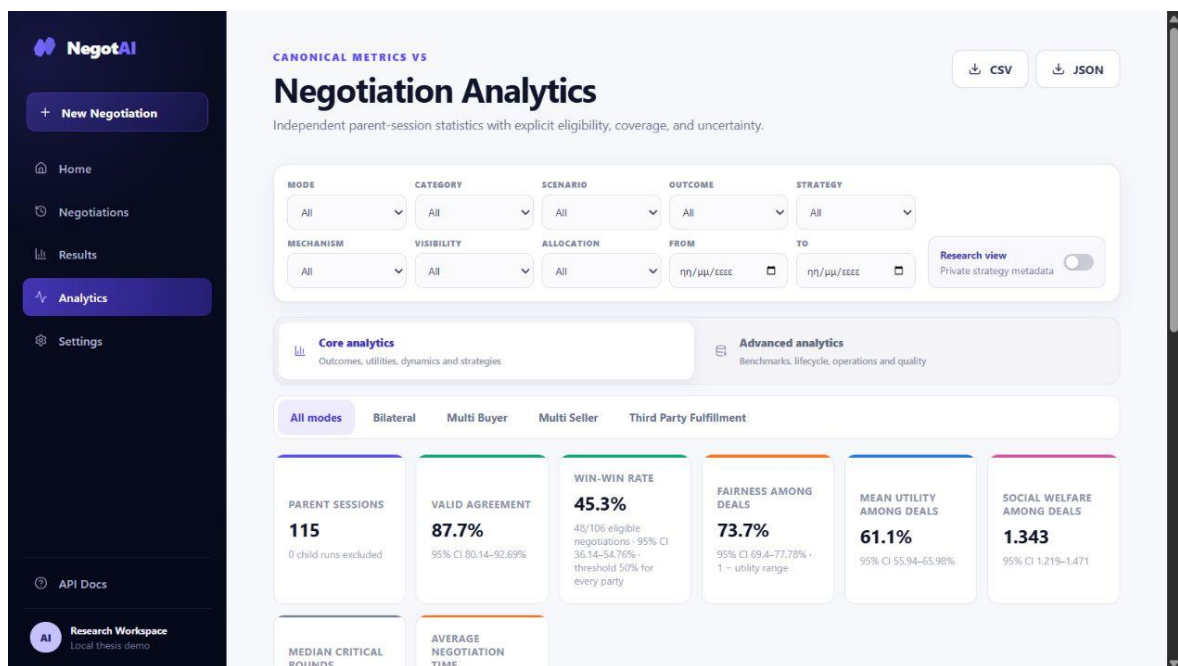


Σχήμα A.17: Αυτόνομος κύκλος ζωής ηλεκτρονικής σύμβασης

A.7 Συγκεντρωτικά αναλυτικά στοιχεία

Η ενότητα Analytics επανυπολογίζει συγκεντρωτικές μετρικές σε επίπεδο μητρικής συνεδρίας και αποκλείει τις θυγατρικές αλληλεπιδράσεις από τη διπλή καταμέτρηση. Τα φίλτρα καλύπτουν αρχιτεκτονική, κατηγορία, σενάριο, έκβαση, στρατηγική, μηχανισμό, ορατότητα, κανόνα κατανομής και χρονικό διάστημα. Οι κάρτες αναφέρουν μέγεθος δείγματος, ποσοστό έγκυρων συμφωνιών, win-win rate, δικαιοσύνη, μέση χρησιμότητα, κοινωνική ευημερία, γύρους και χρόνο. Όπου εφαρμόζεται, εμφανίζονται διαστήματα εμπιστοσύνης 95%.

Τα γραφήματα Architecture comparison και Outcome trend διευκολύνουν τη σύγκριση πρωτοκόλλων και τη χρονική παρακολούθηση. Το Research view προσθέτει συγκεντρώσεις ιδιωτικών στρατηγικών, ενώ τα CSV και JSON εξάγουν την τρέχουσα φιλτραρισμένη ανάλυση για περαιτέρω επεξεργασία.

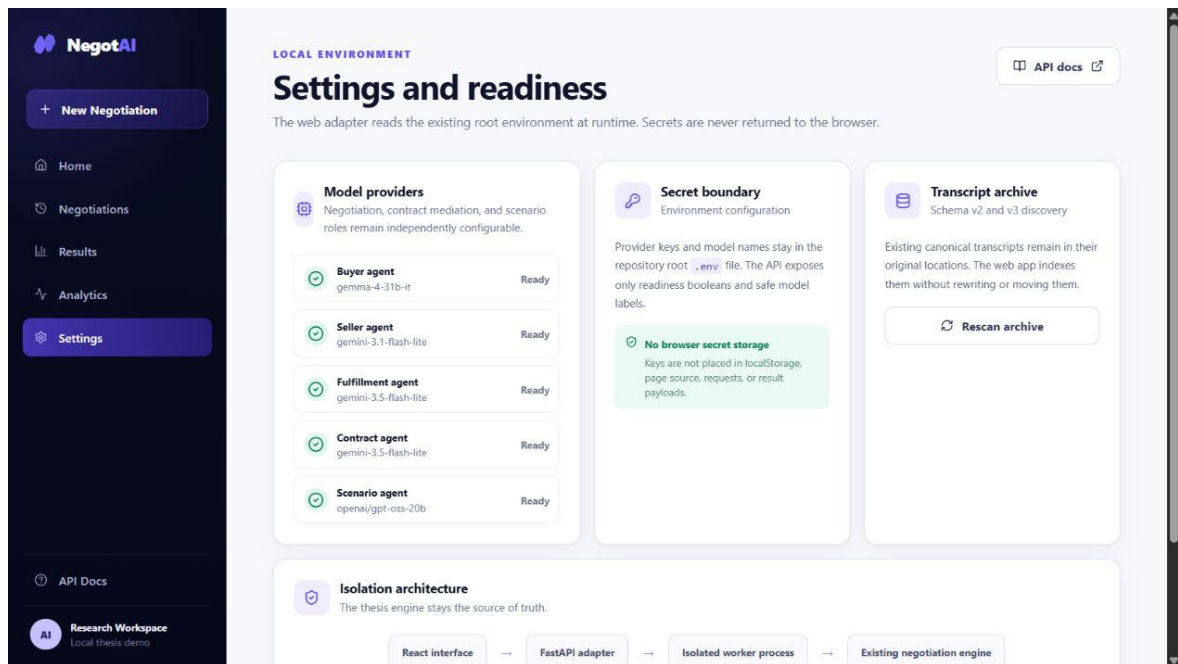


Σχήμα A.18: Συγκεντρωτική ανάλυση με φίλτρα και διαστήματα εμπιστοσύνης

A.8 Ρυθμίσεις, πάροχοι και αρχειοθέτηση

Η ενότητα Settings and readiness δείχνει ποιο μοντέλο αντιστοιχεί στους ρόλους Buyer, Seller, Fulfillment, Contract και Scenario και εάν η αντίστοιχη ρύθμιση είναι έτοιμη. Τα κλειδιά API και οι πλήρεις μυστικές τιμές διαβάζονται από το αρχείο .env στον ριζικό φάκελο και δεν επιστρέφονται στον browser, δεν αποθηκεύονται στο localStorage και δεν περιλαμβάνονται στα αποτελέσματα.

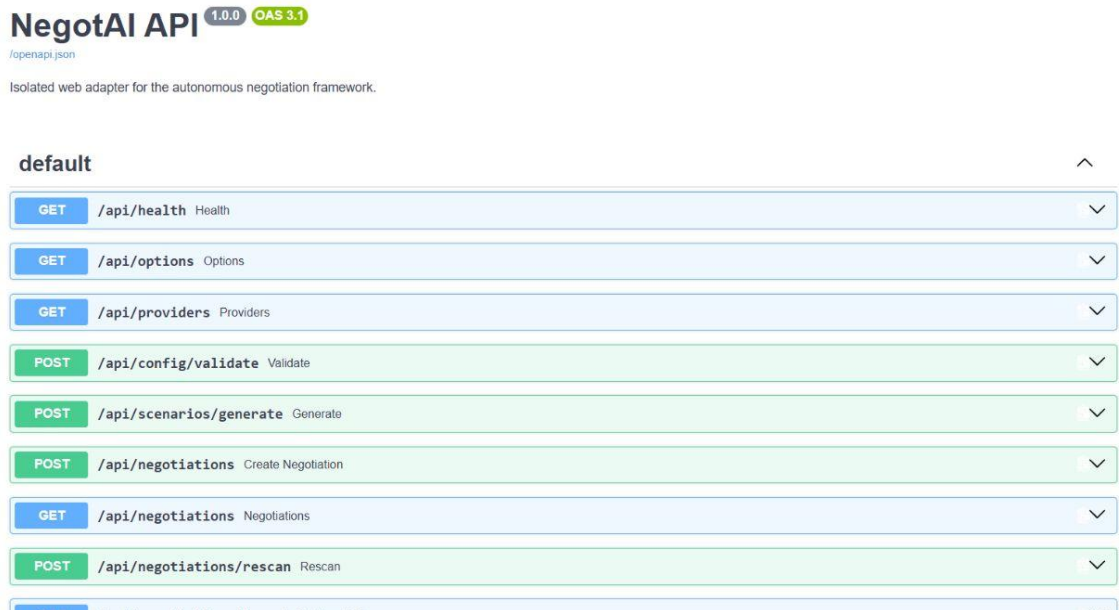
Η ίδια σελίδα εξηγεί ότι το SQLite αρχείο λειτουργεί ως ευρετήριο και ουρά, ενώ οι κανονικές απομαγνητοφωνήσεις παραμένουν στις αρχικές θέσεις τους. Το Rescan archive ανανεώνει το ευρετήριο. Το διάγραμμα απομόνωσης συνοψίζει τη διαδρομή React → FastAPI → worker process → υφιστάμενος πυρήνας διαπραγμάτευσης.



Σχήμα A.19: Κατάσταση παρόχων, όριο μυστικών και αρχιτεκτονική απομόνωσης

A.9 Διαδραστική τεκμηρίωση API

Ο σύνδεσμος API Docs ανοίγει τη διεπαφή OpenAPI στη διεύθυνση <http://127.0.0.1:8000/docs>. Από εκεί μπορούν να εξεταστούν τα διαθέσιμα endpoints για έλεγχο υγείας, επιλογές, παρόχους, επικύρωση διαμόρφωσης, δημιουργία ή ακύρωση συνεδρίας, ροή γεγονότων, αποτελέσματα, εξαγωγές και συγκεντρωτικές αναλύσεις. Η λειτουργία αυτή προορίζεται κυρίως για τεχνικό έλεγχο και ενσωμάτωση· η κανονική χρήση της πλατφόρμας πραγματοποιείται από το γραφικό περιβάλλον.



Σχήμα A.20: Διαδραστική τεκμηρίωση OpenAPI του NegotAI

A.10 Συστάσεις ορθής χρήσης

Για επαναλήψιμα πειράματα συνιστάται να καταγράφονται πριν από κάθε εκτέλεση η αρχιτεκτονική, η πολιτική στρατηγικής, τα όρια, τα βάρη, το seed, οι παράγοντες απομείωσης και η ορατότητα προθεσμίας. Η επικύρωση πρέπει να ολοκληρώνεται πριν από την εκκίνηση και η καρτέλα Settings να δείχνει Ready για όλους τους απαιτούμενους ρόλους. Η εκτέλεση δεν πρέπει να διακόπτεται με κλείσιμο του εξυπηρετητή, εκτός εάν σκοπός είναι η μελέτη του μηχανισμού ανάκτησης.

- Τα βάρη χρησιμότητας κάθε ενεργού πράκτορα πρέπει να έχουν άθροισμα 1,00.
- Η ενεργοποίηση πολλών γύρων, πολλών υποψηφίων ή σύμβασης αυξάνει τον χρόνο και τις κλήσεις API.
- Η ένδειξη Queued είναι αναμενόμενη, επειδή οι συνεδρίες εκτελούνται σειριακά για ασφαλή κατανάλωση tokens.
- Το Research view χρησιμοποιείται μόνο για ερευνητική επιθεώρηση ιδιωτικών μεταδεδομένων.
- Η εφαρμογή αποτελεί ερευνητικό πρωτότυπο και δεν εκτελεί πραγματικές πληρωμές ή δεσμευτικές εμπορικές συναλλαγές.

Με την παραπάνω ροή ο χρήστης μπορεί να διαμορφώσει ελεγχόμενα ένα πείραμα, να παρακολουθήσει τις αποφάσεις των αυτόνομων πρακτόρων και να μεταβεί από τη δημόσια αλληλεπίδραση στις κανονικές μετρικές και στα εξαγώγιμα τεκμήρια.