IoTFeds

Κατανεμημένες Αγορές Δεδομένων για IoT Ομοσπονδίες
Distributed Data Marketplaces for IoT Federations

Π.2.3 – Αναφορά Μηχανισμών Φήμης και Εμπιστοσύνης

ΔΡΑΣΗ ΕΘΝΙΚΗΣ ΕΜΒΕΛΕΙΑΣ:
«ΕΡΕΥΝΩ-ΔΗΜΙΟΥΡΓΩ-ΚΑΙΝΟΤΟΜΩ Β' ΚΥΚΛΟΣ»
«ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ, ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ» (ΕΠΑνΕΚ)
Ειδική Υπηρεσία Διαχείρισης Επιχειρησιακού Προγράμματος Ανταγωνιστικότητα
Επιχειρηματικότητα και Καινοτομία (ΕΥΔ ΕΠΑνΕΚ)
Ειδική Υπηρεσία Διαχείρισης και Εφαρμογής Δράσεων στους τομείς
Έρευνας, Τεχνολογικής Ανάπτυξης και Καινοτομίας
(ΕΥΔΕ ΕΤΑΚ)

Έργο	IoTFeds
Κωδικός Έργου	Τ2ΕΔΚ-02178
Ενότητα Εργασίας	ΕΕ2 (Δ2.5)
Υπεύθυνος Ενότητας	ΕΛΚΕ/ΟΠΑ
Υπεύθυνος Παραδοτέου	ΕΛΚΕ/ΟΠΑ
Έκδοση Παραδοτέου	1.0
Ημερομηνία	28/02/2023

Συγγραφική Ομάδα

Συντάκτες (με αλφαβητική σειρά)			
#	**Επίθετο**	**Όνομα**	**Φορέας**
1	Αθανασίου	Λυδία	ΕΛΚΕ-ΟΠΑ
2	Καραδήμου	Δήμητρα	ΕΛΚΕ-ΟΠΑ
3	Μαρκάκης	Ευάγγελος	ΕΛΚΕ-ΟΠΑ
4	Νταρζάνος	Γεώργιος	ΕΛΚΕ-ΟΠΑ
5	Παπαϊωάννου	Αθανάσιος	ΕΛΚΕ-ΟΠΑ
6	Σταμούλης	Γεώργιος	ΕΛΚΕ-ΟΠΑ
Συν-συγγραφείς (με αλφαβητική σειρά)			
#	**Επίθετο**	**Όνομα**	**Φορέας**
1	Αθανασάκης	Ευάγγελος	ΕΚΕΤΑ
2	Λασκαράτος	Δημήτριος	ICOM
3	Νάσιου	Απόστολος	ICOM
4	Πιέτρη	Ήλια	ICOM
5	Πολυμένη	Σοφία	ΕΚΕΤΑ
6	Σακελλαρίου	Ζήσης	ΕΚΕΤΑ
7	Σπανός	Γεώργιος	ΕΚΕΤΑ
8	Τσάκαλος	Κωνσταντίνος	ICOM
9	Χαραλαμπίδης	Μάριος	ICOM

Ακρωνύμια

Ακρωνύμιο	Ορισμός
AHP	Analytic Hierarchy Process
API	Application Programming Interface
BaaS	Blockchain-as-a-Service
CLD	symbIoTe Cloud Domain
CR	Consistency Ratio
DLT	Distributed Ledger Technology
GUI	Graphical User Interface
ID	Identifier
IoT	Internet of Things
P2P	Peer-to-Peer
PBFT	Practical Byzantine Fault Tolerance Algorithm
IPFS	InterPlanetary File System
PDF	Probability Density Function
PICM	Pairwise Importance Comparison Matrix
PoS	Proof of Stake
PoW	Proof of Work
QoE	Quality of Experience
QoS	Quality of Service
RSU	RoadSide Unit
RC	Reputation Capital
SC	Smart Contract
SLA	Service Level Agreement
TTP	Trusted Thirds Party
UI	User Interface
VANET	Vehicular Ad Hoc Network
ZKFs	Zero Knowledge Proofs

Σύνοψη Παραδοτέου

Στον ψηφιακό κόσμο, όπου οντότητες με διαφορετικά χαρακτηριστικά, ενδιαφέροντα και στόχους καλούνται να αλληλεπιδράσουν, η χρήση συστημάτων φήμης και εμπιστοσύνης έχει αναδειχθεί ως ένα πολύτιμο εργαλείο για την ασφαλή και αξιόπιστη αλληλεπίδραση αγνώστων μεταξύ τους οντοτήτων. Οι ηλεκτρονικές αγορές, τα peer-to-peer συστήματα, τα κοινωνικά δίκτυα και τα δίκτυα IoT είναι κάποια από τα περιβάλλοντα όπου η χρήση μηχανισμών φήμης και εμπιστοσύνης κρίνεται αναγκαία. Πέραν, της ύπαρξης αμφιβόλου ταυτότητας οντοτήτων, ένας άλλος βασικός λόγος χρήσης τον μηχανισμών φήμης και εμπιστοσύνης σε αυτά τα περιβάλλοντα είναι ότι η πληροφορία σχετικά με το επίπεδο της παρεχόμενης υπηρεσίας είναι μη διαθέσιμη ή δύσκολα ανακτήσιμη και όχι εξασφαλισμένη με αυτόματο/συστηματικό τρόπο.

Το οικοσύστημα του IoTFeds δεν αποτελεί εξαίρεση μιας και ένα σύνολο παρόχων IoT πλατφορμών, πιθανώς άγνωστοι μεταξύ τους ή μη έχοντας πρότερη επιχειρηματική σχέση, καλούνται να συνεργαστούν για την από κοινού παροχή προϊόντων δεδομένων μέσω της συμμετοχής τους σε ομοσπονδίες. Συνεπώς, οι μηχανισμοί φήμης και εμπιστοσύνης αποτελούν ένα σημαντικό εργαλείο για στρατηγικές αποφάσεις σχετικά με την δημιουργία και διαχείριση ομοσπονδιών. Επιπρόσθετα, η ποιότητα των από κοινού παρεχόμενων προϊόντων είναι «κρυφή» μιας και μόνο ο κάθε πάροχος ξεχωριστά γνωρίζει την πραγματική επίδοση των IoT συσκευών. Συνεπώς, η πλατφόρμα IoTFeds δεν μπορεί η ίδια να παρέχει κάποια εξασφάλιση ποιότητας ως προς τα προϊόντα δεδομένων που παρέχονται από τις ομοσπονδίες. Έτσι, τα συστήματα φήμης και εμπιστοσύνης IoTFeds αντιμετωπίζουν αυτή την δυσκολία, κατά κύριο λόγο μέσω αναδράσεων αξιολόγησης των προϊόντων από τους καταναλωτές.

Η παρούσα αναφορά περιλαμβάνει τον ορισμό, την υλοποίηση και την πρώιμη πειραματική αξιολόγηση του συστήματος φήμης και εμπιστοσύνης IoTFeds. Αρχικά, εκπονείται μια εκτενής περιγραφή των βασικών εννοιών, δομικών στοιχείων και χαρακτηριστικών που συναντώνται στα συστήματα φήμης και εμπιστοσύνης. Επίσης, παρουσιάζεται μια επισκόπηση της βιβλιογραφίας των συστημάτων φήμης και εμπιστοσύνης σε περιβάλλοντα IoT και άλλους τεχνολογικούς τομείς, δίνοντας έμφαση σε αυτά που αξιοποιούν την τεχνολογία Κατανεμημένου Καθολικού (Distributed Ledger Technology - DLT) όπως το blockchain. Επιπρόσθετα, συζητούνται συστήματα φήμης και εμπιστοσύνης τα οποία εισάγουν την έννοια της ομαδική φήμης. Η ομαδική φήμη είναι σημαντική στα πλαίσια του έργου για δύο λόγους. Πρώτον, οι πάροχοι πλατφορμών συμμετέχουν σε ομοσπονδίες για την παροχή από κοινού υπηρεσιών, οπότε ο βαθμός φήμης μιας ομοσπονδίας αποτελεί μια περίπτωση ομαδικής φήμης. Δεύτερον, ένα προϊόν δεδομένων που παρέχεται μέσω μιας ομοσπονδιακής ή καθολικής αγοράς, είναι αρκετά πιθανό να αποτελείται από πολλαπλές πηγές δεδομένων/IoT συσκευές με κάθε μία από αυτές να έχει τον δικό της βαθμό φήμης. Συνεπώς, ο βαθμός φήμης ενός προϊόντος αποτελεί κάποιας μορφής ομαδικής φήμης καθώς διαφορετικές πηγές δεδομένων πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Στην συνέχεια της παρούσας αναφοράς παρουσιάζονται οι μηχανισμοί φήμης και εμπιστοσύνης που υλοποιούνται από το σύστημα IoTFeds. Συγκεκριμένα, στο IoTFeds αξιοποιούμε την έννοια της φήμης σε τέσσερα επίπεδα, αναθέτοντας ένα βαθμό φήμης σε κάθε *πηγή δεδομένων/IoT συσκευή*, *προϊόν δεδομένων* (αποτελείται από πολλές πηγές δεδομένων), *πάροχο* πλατφόρμας IoT (παρέχει πολλές πηγές δεδομένων) και *ομοσπονδία* παρόχων. Ο βαθμός φήμης των πηγών δεδομένων υπολογίζεται αξιοποιώντας τόσο βάσει αντικειμενικών κριτηρίων μέσω των μετρήσεων επιδόσεων που λαμβάνονται από τα συστήματα παρακολούθησης (monitoring systems) των παρόχων πλατφόρμας IoT, όσο και βάσει υποκειμενικών αξιολογήσεων των καταναλωτών μέσω τον προϊόντων δεδομένων που καταναλώνουν. Στην συνέχεια, μέσω των κατάλληλων μηχανισμών οι βαθμοί φήμης των πηγών δεδομένων αξιοποιούνται για τον υπολογισμό των βαθμών φήμης στα επίπεδα προϊόντων, παρόχων και ομοσπονδιών.

Ο βαθμός φήμης σε κάθε ένα από αυτά τα επίπεδα αξιοποιείται για διαφορετικούς σκοπούς στο σύστημα IoTFeds. Ο βαθμός φήμης των πηγών δεδομένων αξιοποιείται κατά την σύνθεση/δημιουργία προϊόντος σε μια ομοσπονδιακή αγορά, όπου ο δημιουργός του προϊόντος

(πάροχος ή καταναλωτής) καλείται να επιλέξει τις πηγές δεδομένων που θα συνθέσουν το προϊόν. Συνεπώς, ο βαθμός φήμης μιας πηγής δεδομένων αποτελεί ένα βασικό κριτήριο επιλογής. Ο βαθμός φήμης των προϊόντων αξιοποιείται από τους καταναλωτές προϊόντων σε μία ομοσπονδιακή ή στην καθολική αγορά. Κάθε δημιουργημένο προϊόν χαρακτηρίζεται από έναν βαθμό φήμης ο οποίος μπορεί να αποτελέσει ένα από τα βασικά κριτήρια επιλογής προϊόντος. Ο βαθμός φήμης των παρόχων και τον ομοσπονδιών αξιοποιείται στην επιλογή ομοσπονδίας και στην διαχείριση την ομοσπονδίας, αντίστοιχα. Συγκεκριμένα, ο βαθμός φήμης μια ομοσπονδίας αποτελεί κριτήριο επιλογής από κάποιον πάροχο που επιθυμεί να συμμετέχει σε μια ομοσπονδία. Αντίστοιχα, ο βαθμός φήμης ενός παρόχου αποτελεί κριτήριο αποδοχής συμμετοχής ή απομάκρυνσης του από μια ομοσπονδία. Επιπλέον, πάροχοι με υψηλότερο βαθμό φήμης ενδέχεται να έχουν μεγαλύτερη επιρροή στην λήψη αποφάσεων διακυβέρνησης μια ομοσπονδίας.

Επίσης, η παρούσα αναφορά περιέχει την περιγραφή της υλοποίησης του συστήματος φήμης και εμπιστοσύνης IoTFeds το οποίο υποστηρίζεται από ένα σύνολο στοιχείων λογισμικού του υποσυστήματος symbIoTe και έναν αριθμό έξυπνων συμβολαίων που υλοποιούνται από το υποσύστημα Blockchain-as-a-Service (BaaS). Τα έξυπνα συμβόλαια του υποσυστήματος BaaS είναι υπεύθυνα για τον υπολογισμό των βαθμών φήμης σε όλα τα επίπεδα, καθώς και για τους ενδιάμεσους υπολογισμούς που απαιτούνται για την εξαγωγή αντικειμενικών και υποκειμενικών βαθμών βάσει των εκθέσεων παρακολούθησης (monitoring reports) που παρέχονται από τους παρόχους πλατφορμών IoT και αξιολογήσεων προϊόντων που κατατίθενται από τους καταναλωτές, αντίστοιχα. Από την άλλη, τα στοιχεία λογισμικού του symbIoTe, όπως τα Monitoring, Platform Trust Manager, Core Trust Manager, Federation Manager, Administration, Marketplace και άλλα, είναι υπεύθυνα για την συλλογή όλης της απαραίτητης πληροφορίας και για τους προαναφερθέντες υπολογισμούς καθώς και τον συντονισμό (το Core Trust Manager) αυτών των διαδικασιών. Επίσης, το στοιχείο λογισμικού Core Trust Manager που εισάχθηκε είναι υπεύθυνο για την διάδοση των υπολογισθέντων βαθμών φήμης στα απαραίτητα στοιχεία λογισμικού, προκειμένου να αξιοποιηθούν κατά τη δημιουργία/αγορά προϊόντων (Marketplace) και την επιλογή/διαχείριση ομοσπονδιών (Administration και Federation Manager).

Τέλος, στην παρούσα αναφορά περιλαμβάνεται η πειραματική αξιολόγηση των μηχανισμών φήμης και εμπιστοσύνης που προτάθηκαν. Η πειραματική αξιολόγηση αναδεικνύει την ορθή-αναμενόμενη λειτουργία του συστήματος, Δηλαδή, το σύστημα οδηγείται σε βαθμούς φήμης που αντικατοπτρίζουν την πραγματική κρυφή ποιότητα των πηγών δεδομένων και κατ' επέκταση προϊόντων, παρόχων και ομοσπονδιών, και μια ταξινόμηση βάσει των βαθμών φήμης αντιστοιχεί σε μια ταξινόμηση βάσει πραγματικής παρεχόμενης υπηρεσίας. Επίσης, η πειραματική μελέτη αναδεικνύει την ανθεκτικότητα των προτεινόμενων μηχανισμών έναντι κακόβουλων ή μη συνεπών παρόχων κατά της δήλωση των επιδόσεων των πηγών δεδομένων τους, αποτρέποντας τέτοιου είδους συμπεριφορές.

Πίνακας Περιεχομένων

1 Εισαγωγή 14

1.1 Αντικείμενο και Δομή του Παραδοτέου 14

2 Επισκόπηση της Βιβλιογραφίας σε Συστήματα Φήμης και Εμπιστοσύνης 17

2.1 Βασικοί Ορισμοί 17

2.1.1 Εμπιστοσύνη και Φήμη 17

2.1.2 Σύστημα Φήμης και Εμπιστοσύνης 18

2.2 Δομικά Στοιχεία και Χαρακτηριστικά 21

2.2.1 Αρχιτεκτονική συστήματος φήμης 21

2.2.2 Παράγοντες καθορισμού αξιολόγησης 22

2.2.3 Βαθμολόγηση Φήμης 23

2.2.4 Τεχνικές συνάθροισης 24

2.2.5 Τύποι κακόβουλων επιθέσεων 25

2.2.6 Υπολογιστικά Κόστη 27

2.2.7 Ακεραιότητα 27

2.2.8 Ιδιωτικότητα 28

2.3 Ομαδική Φήμη 30

2.4 Υλοποιήσεις Συστημάτων Φήμης και Εμπιστοσύνης για IoT Περιβάλλοντα που Αξιοποιούν την Τεχνολογίες DLT 34

2.5 Κύρια Διδάγματα 41

3 Μηχανισμοί Φήμης και Εμπιστοσύνης IoTFeds 43

3.1 Διαστάσεις Αξιολόγησης Παρεχόμενης Υπηρεσίας 45

3.1.1 Αξιολόγηση Βάσει Αντικειμενικών Μετρικών 45

3.1.1.1 Αντικειμενικές μετρικές 45

3.1.1.2 Παρακολούθηση επιδόσεων των πηγών δεδομένων ως προς τις αντικειμενικές μετρικές 47

3.1.1.3 Υπολογισμός Αντικειμενικού βαθμού 47

3.1.2 Αξιολόγηση Βάσει Υποκειμενικών Μετρικών 48

3.1.2.1 Υποκειμενικές μετρικές 48

3.1.2.2 Υπολογισμός υποκειμενικού βαθμού 51

3.2 Επίπεδα Φήμης και Μέθοδοι Υπολογισμού 51
3.2.1 Επίπεδο πηγών δεδομένων 52
3.2.2 Επίπεδα προϊόντων, παρόχων και ομοσπονδιών 55
3.2.3 Μηχανισμοί ψυχρής εκκίνησης (cold start) 56
3.3 Βασικές Περιπτώσεις Χρήσης 58
3.3.1 Αξιολόγηση προϊόντος 58
3.3.2 Επιλογή προϊόντος 59
3.3.3 Σύνθεση προϊόντος 60
3.3.4 Επιλογή ομοσπονδίας 61
3.3.5 Διαχείριση ομοσπονδίας 61
4 Υλοποίηση Συστήματος Φήμης IoTFeds 63
4.1 Εναλλακτικές Προσεγγίσεις Υλοποίησης 66
4.2 Διαγράμματα Ροής Βασικών Λειτουργιών 69
4.2.1 Ορισμός QoS και QoE προφίλ 69
4.2.2 Ανανέωση Υποκειμενικού Βαθμού 70
4.2.3 Ανανέωση Αντικειμενικού Βαθμού 71
4.2.4 Ανανέωση Βαθμού Φήμης σε όλα τα επίπεδα 72
4.3 Περιγραφή Στοιχείων Λογισμικού 72
4.3.1 Υποσύστημα symbIoTe 73
4.3.1.1 Αξιολόγηση προϊόντος 73
4.3.1.2 Ανανέωση περιοδικότητας κλήσεων για την ανανέωση αντικειμενικού βαθμού 73
4.3.1.3 Δημιουργία ομοσπονδίας στο symbIoTe 74
4.3.1.4 Καταχώρηση αιτήματος ενημέρωσης κανόνων ομοσπονδίας 76
4.3.2 Υποσύστημα BaaS 78
4.3.2.1 Ενημέρωση αντικειμενικού βαθμού συσκευής 79
4.3.2.2 Αξιολόγηση προϊόντων (ενημέρωση υποκειμενικών βαθμών) 80
4.3.2.3 Ενημέρωση όλων των επιπέδων φήμης 81
5 Πειραματική Αξιολόγηση 82
5.1 Θεμελίωση Πειραματικής Διαδικασίας 83

5.2 Πειραματικά αποτελέσματα Μηχανισμού Φήμης 85

5.3 Πειραματικά αποτελέσματα συστήματος φήμης με χειρισμό ασυμφωνιών 90

5.4 Κύριες Πειραματικές Διαπιστώσεις 94

6 Συμπεράσματα 96

Βιβλιογραφία 98

Παράρτημα 1 – Επισκόπηση Βιβλιογραφίας σε Συστήματα Φήμης και Εμπιστοσύνης 103

Επισκόπηση πλαισίων συστημάτων Φήμης και Εμπιστοσύνης σε άλλους τεχνολογικούς τομείς 103

Επισκόπηση συστημάτων Φήμης και Εμπιστοσύνης με δυνητική εφαρμογή σε τεχνολογία Blockchain 110

Παράρτημα 2 – Μέθοδος AHP για τον υπολογισμό βαρών των QoS και QoE προφίλ 114

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1: Οι οντότητες στην εμπιστοσύνη. 18

Εικόνα 2: Δομικά Στοιχεία και Χαρακτηριστικά του Συστήματος Φήμη βάσει Hoffman et al. (2009), Hendrikx et al. (2015) και Hasan et al. (2020). 22

Εικόνα 3: Παγκόσμια και Τοπική φήμη (Podder & Takács, 2021)..... 23

Εικόνα 4: Ταξινόμηση Επιθέσεων έναντι Συστημάτων Φήμης. 26

Εικόνα 5: Δομικά Στοιχεία και Χαρακτηριστικά Συστήματος Φήμης με απαιτήσεις ακεραιότητας και ιδιωτικότητας..... 27

Εικόνα 6: Η αρχιτεκτονική του προτεινόμενου πλαισίου φήμης βάσει πρακτόρων. 32

Εικόνα 7: Διάγραμμα ροής των βημάτων που περιλάμβανονται στο μοντέλο εμπιστοσύνης CTRUST..... 34

Εικόνα 8: κύκλος ζωής της μέτρησης της εμπιστοσύνης. 40

Εικόνα 9: Αρχιτεκτονική συστήματος φήμης και εμπιστοσύνης της πλατφόρμας IoTFeds..... 44

Εικόνα 10: Διάγραμμα για την περίπτωση χρήσης αξιολόγησης προϊόντος..... 59

Εικόνα 11: Διάγραμμα για την περίπτωση χρήσης επιλογής προϊόντος. 60

Εικόνα 12: Διάγραμμα για την περίπτωση χρήσης σύνθεσης προϊόντος. 61

Εικόνα 13: Διάγραμμα για την περίπτωση χρήσης επιλογής ομοσπονδίας..... 61

Εικόνα 14: Διάγραμμα ακολουθίας για την περίπτωση χρήσης διαχείρισης ομοσπονδίας..... 62

Εικόνα 15: Στοιχεία λογισμικού της πλατφόρμας IoTFeds που εμπλέκονται στην υποστήριξη τους συστήματος φήμης και εμπιστοσύνης ή η λειτουργικότητα τους επηρεάζεται από αυτό. 63

Εικόνα 16: Υλοποίηση με μοναδικό στοιχείο λογισμικού monitoring ανά πηγή δεδομένων / Υπολογισμός υποκειμενικών και αντικειμενικών βαθμών on-chain / Υπολογισμός βαθμού φήμης on-chain. 66

Εικόνα 17: Υλοποίηση με μοναδικό στοιχείο λογισμικού monitoring ανά πηγή δεδομένων / Υπολογισμός υποκειμενικών και αντικειμενικών βαθμών off-chain / Υπολογισμός βαθμού φήμης off-chain. 67

Εικόνα 18: Υλοποίηση με πολλαπλά στοιχείο λογισμικού monitoring ανά πηγή δεδομένων / Υπολογισμός υποκειμενικών και αντικειμενικών βαθμών on-chain / Υπολογισμός βαθμού φήμης on-chain. 68

Εικόνα 19: Υλοποίηση με πολλαπλά στοιχεία λογισμικού monitoring ανά πηγή δεδομένων / Υπολογισμός υποκειμενικών και αντικειμενικών βαθμών on-chain / Υπολογισμός βαθμού φήμης off-chain. 69

Εικόνα 20: Διάγραμμα Ροής για τον ορισμό QoS/QoE προφίλ. 69

Εικόνα 21: Διάγραμμα Ροής για την ανανέωση υποκειμενικού βαθμού. 70

Εικόνα 22: Διάγραμμα Ροής για την ανανέωση αντικειμενικού βαθμού. 71

Εικόνα 23: Διάγραμμα Ροής για την ανανέωση βαθμού φήμης σε όλα τα επίπεδα. 72

Εικόνα 24: Δημιουργία IoT ομοσπονδίας στο σύστημα. 75

Εικόνα 25: Πληροφορία δημιουργίας μιας ομοσπονδίας πλατφορμών στο σύστημα του symbIoTe. 76

Εικόνα 26: Τροποποίηση κανόνων ομοσπονδίας. 77

Εικόνα 27: Καταχώρηση αιτήματος ενημέρωσης κανόνων ομοσπονδίας. 78

Εικόνα 28 Έγκυρο παράδειγμα QoS προφίλ 78

Εικόνα 29 Έγκυρο παράδειγμα QoE προφίλ 79

Εικόνα 30: Endpoint για την ανανέωση αντικειμενικού βαθμού. 80

Εικόνα 31: Endpoint για την ανανέωση των υποκειμενικών βαθμών στο BaaS 81

Εικόνα 32: Endpoint για ανανέωση όλων των επιπέδων φήμης στο σύστημα. 81

Εικόνα 30: Υποκειμενικός βαθμός βάσει της αξιολόγησης του καταναλωτή για τη συναλλαγή 1 86

Εικόνα 31: Αντικειμενικός βαθμός των πηγών δεδομένων βάσει των αντικειμενικών μετρήσεων που λήφθηκαν για το σύνολο των πηγών κατά την στην περίοδο της συναλλαγής 1. 86

Εικόνα 32: Βαθμός φήμης πηγών δεδομένων μετά την συναλλαγή 1. 86

Εικόνα 33: Βαθμός φήμης προϊόντων μετά την συναλλαγή 1. 86

Εικόνα 34: Υποκειμενικός βαθμός βάσει της αξιολόγησης του καταναλωτή για τη συναλλαγή 2. 87

Εικόνα 35: Αντικειμενικός βαθμός των πηγών δεδομένων βάσει των αντικειμενικών μετρήσεων που λήφθηκαν για το σύνολο των πηγών κατά την στην περίοδο της συναλλαγής 2. 87

Εικόνα 36: Βαθμός φήμης πηγών δεδομένων μετά την συναλλαγή 2 (για μέτριες προς καλές κατανομές ποιότητας για τις πηγές δεδομένων). 87

Εικόνα 37: Βαθμός φήμης προϊόντων μετά την συναλλαγή 2. 87

Εικόνα 38: Υποκειμενικός βαθμός βάσει της αξιολόγησης του καταναλωτή για τη συναλλαγή 3. 88

Εικόνα 39: Αντικειμενικός βαθμός των πηγών δεδομένων βάσει των αντικειμενικών μετρήσεων που λήφθηκαν για το σύνολο των πηγών κατά την στην περίοδο της συναλλαγής32. 88

Εικόνα 40: Βαθμός φήμης πηγών δεδομένων μετά την συναλλαγή 3 (για μέτριες προς χαμηλές κατανομές ποιότητας για τις πηγές δεδομένων). 88

Εικόνα 41: Βαθμός φήμης προϊόντων μετά την συναλλαγή 3. 88

Εικόνα 42: Υποκειμενικός βαθμός βάσει της αξιολόγησης του καταναλωτή για τη συναλλαγή 4. 89

Εικόνα 43: Αντικειμενικός βαθμός των πηγών δεδομένων βάσει των αντικειμενικών μετρήσεων που λήφθηκαν για το σύνολο των πηγών κατά την στην περίοδο της συναλλαγής 4. 89

Εικόνα 44: Βαθμός φήμης πηγών δεδομένων μετά την συναλλαγή 4 (για μέτριες προς χαμηλές κατανομές ποιότητας για τις πηγές δεδομένων) 89

Εικόνα 45: Βαθμός φήμης προϊόντων μετά την συναλλαγή 4. 89

Εικόνα 46: Συνδυασμός βαθμών φήμης προϊόντων κατά την διάρκεια των τεσσάρων συναλλαγών 90

Εικόνα 50: Το αριθμός των φορών που κάθε προϊόν επιλέχθηκε, χωρίς την εφαρμογή κάποιου μηχανισμού διαχείρισης ασυμφωνιών. 92

Εικόνα 51: Το αριθμός των φορών που κάθε προϊόν επιλέχθηκε, με την εφαρμογή του «Άμεσου» μηχανισμού διαχείρισης ασυμφωνιών. 92

Εικόνα 52: Τιμές βαρών για τις πηγές δεδομένων μετά από 40 συναλλαγές και εφαρμογή του «άμεσου» μηχανισμού. 93

Εικόνα 53: Ο βαθμός φήμης του προϊόντος 1 μετά από 40 συναλλαγές, στην περίπτωση που οι πάροχοι 1 και 2 ψεύδονται ή υπερεκτιμούν το επίπεδο της παρεχόμενης ποιότητα. 93

Εικόνα 54: Τιμή βάρους W1 μετά από 40 συναλλαγές στην περίπτωση που ο πάροχος 1 ψεύδεται ή υπερεκτιμούν το επίπεδο της παρεχόμενης ποιότητας για την πηγή δεδομένων 1. 94

Εικόνα 55: Τιμή βάρους W2 μετά από 40 συναλλαγές στην περίπτωση που ο πάροχος 2 ψεύδεται ή υπερεκτιμούν το επίπεδο της παρεχόμενης ποιότητας για την πηγή δεδομένων 2. 94

Εικόνα 56: Το μοντέλο μηχανής καταστάσεων για το σύστημα φήμης. 105

Εικόνα 57: Ροή εργασίας για τον υπολογισμό της φήμης των κόμβων ομίχλης (fog nodes)..... 106

Εικόνα 58: Η αρχιτεκτονική του συστήματος διαχείρισης εμπιστοσύνης. 109

Εικόνα 59:Αρχιτεκτονική τριών επιπέδων του TMIF. 111

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Σύνοψη των κυριότερων τεχνικών συνάθροισης σε αποκεντρικοποιημένα συστήματα φήμης για IoT στην επιστημονική βιβλιογραφία. 25

Πίνακας 2: Ενδεικτική λίστα αντικειμενικών μετρικών..... 46

Πίνακας 3: Παράδειγμα QoS προφίλ για την περίπτωση εφαρμογής «έξυπνης στάθμευσης». 46

Πίνακας 4: Ενδεικτική λίστα υποκειμενικών μετρικών 49

Πίνακας 5: Παράδειγμα QoE προφίλ για την περίπτωση εφαρμογής «έξυπνης στάθμευσης»..... 50

Πίνακας 6: Ενέργειες που πυροδοτούν τον υπολογισμό/ενημέρωση των βαθμών φήμης στα διάφορα επίπεδα του συστήματος φήμης και εμπιστοσύνης IoTFeds. 57

Πίνακας 7: Διεπαφές symbIoTe για την υποστήριξη των μηχανισμών φήμης και εμπιστοσύνης. 73

Πίνακας 8: Διεπαφή RabbitMQ για τη λήψη αξιολογήσεων προϊόντων. 73

Πίνακας 9: Διεπαφή REST για την ορισμό του χρονικού διαστήματος κάθε περιόδου παρακολούθησης, ... 74

Πίνακας 10: Endpoints σχετικά με τον υπολογισμό φήμης στο BaaS 79

Πίνακας 11: Βασική παραμετροποίηση της πειραματικής μελέτης και QoS προφίλ. 83

Πίνακας 12: QoE προφίλ..... 85

Πίνακας 13: Τιμές ανάθεσης σχετικής σημασίας για τις μετρικές ποιότητας..... 114

Πίνακας 14: Πίνακας σύγκρισης μετρικών ανά ζεύγη 114

Πίνακας 15: Σύγκριση βαρύτητας των αντικειμενικών μετρικών QoS κατά ζεύγη..... 115

Πίνακας 16: Σύγκριση βαρύτητας των υποκειμενικών μετρικών QoE κατά ζεύγη 115

Πίνακας 17: Σχέση μεταξύ μέγεθος πίνακα μετρικών και Random Index..... 115

Πίνακας 18: Ορισμός σχετικών βαρών για μετρικές QoS σύμφωνα με τη μέθοδο AHP και αναλογία συνοχής (Consistency Ratio)..... 115

Πίνακας 19: Ορισμός σχετικών βαρών για μετρικές QoE σύμφωνα με τη μέθοδο AHP και αναλογία συνοχής (Consistency Ratio)..... 115

1 Εισαγωγή

Σε ηλεκτρονικά περιβάλλοντα, όπου οντότητες που δεν γνωρίζουν η μία την άλλη καλούνται να αλληλοεπιδράσουν, όπως οι ηλεκτρονικές αγορές, τα συστήματα ομότιμων οντοτήτων (peer-to-peer), τα δίκτυα IoT και οι κοινότητες κοινωνικής δικτύωσης, έχει αναδειχθεί η ανάγκη της χρήσης μηχανισμών φήμης και εμπιστοσύνης. Τα συστήματα φήμης και εμπιστοσύνης αποσκοπούν στην ασφαλή και αξιόπιστη αλληλεπίδραση, αγνώστων μεταξύ τους οντοτήτων, όταν αυτές συναλλάσσονται. Επίσης, αποτελούν μηχανισμό για την εξαγωγή «κρυφής» πληροφορίας όσον αφορά την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών, όταν η αντικειμενική αξιολόγηση της ποιότητας δεν είναι εφικτή. Ειδικότερα, η *εμπιστοσύνη* εκφράζει τον βαθμό, στον οποίο μια οντότητα πιστεύει ότι μια δεύτερη οντότητα (ή ομάδα οντοτήτων) θα συμπεριφερθεί ως αναμένεται σε μία συναλλαγή. Από την άλλη, η *φήμη* εκφράζει την συλλογική πεποίθηση ενός συνόλου οντοτήτων ως προς την μελλοντική συμπεριφορά μιας οντότητας βάσει ενός ιστορικού αλληλεπιδράσεων που είχαν με αυτή.

Στο οικοσύστημα των IoT δικτύων η ικανοποίηση των απαιτήσεων για δημιουργία σχέσεων εμπιστοσύνης μεταξύ των συναλλασσόμενων οντοτήτων παρουσιάζει υψηλή πολυπλοκότητα. Ο λόγος είναι ότι οι φυσικές συσκευές/πηγές δεδομένων στο IoT οικοσύστημα διασυνδέονται με άλλες φυσικές και εικονικές οντότητες, συμπεριλαμβανομένων εφαρμογών, υπηρεσιών και ανθρώπων. Με δεδομένο ότι κάθε τύπος οντότητα μπορεί να αξιολογήσει την εμπιστοσύνη με διαφορετικό τρόπο, ένα σύστημα φήμης και εμπιστοσύνης στο οικοσύστημα IoT δικτύων θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη του τις αλληλεπιδράσεις σε πολλαπλά επίπεδα. Δηλαδή, αν οι αλληλεπιδράσεις περιλαμβάνουν διαφορετικού τύπου οντότητες σε διαφορετικά επίπεδα της αρχιτεκτονικής του δικτύου IoT, η εμπιστοσύνη και η φήμη πρέπει να εδραιωθεί μεταξύ καθενός από αυτά. Για παράδειγμα, όταν οι συναλλαγές συμβαίνουν μόνο απευθείας μεταξύ IoT συσκευών/πηγών δεδομένων, τότε απαιτείται να καθοριστούν μετρικές για την απόδοση τιμών εμπιστοσύνης/φήμης από πηγή δεδομένων σε πηγή δεδομένων. Αντίθετα, όταν πολλαπλές πηγές δεδομένων προσφέρουν υπηρεσίες δεδομένων IoT σε καταναλωτές υπηρεσιών δεδομένων, μέσω κάποιου παρόχου υπηρεσιών που βρίσκεται σε υψηλότερο επίπεδο του οικοσυστήματος, τότε δημιουργείται μια αλυσίδα υπηρεσιών και εξαρτήσεων όσον αφορά την φήμη και την εμπιστοσύνη των οντοτήτων. Σε αυτή την περίπτωση είναι αναγκαία η διασφάλιση της εμπιστοσύνης σε όλη την αλυσίδα.

Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας κατανεμημένου καθολικού (Distributed Ledger Technology - DLT) όπως το blockchain στα συστήματα φήμης και εμπιστοσύνης έχει δώσει νέα ώθηση στις συναλλαγές ψηφιακών αγαθών. Συγκεκριμένα, DLT τεχνολογίες αποτελούν ένα σημαντικό εργαλείο για την υλοποίηση αποκεντρικοποιημένων συστημάτων φήμης και εμπιστοσύνης, και κατ' επέκταση αποκεντρικοποιημένων αγορών, μετασχηματίζοντας ριζικά τις παραδοσιακές συναλλαγές και ασκώντας παράλληλα καταλυτική επίδραση στην ανάπτυξη της ψηφιακής οικονομίας, και εν γένει στην εξέλιξη των διάφορων μορφών ανοιχτών κοινοτήτων. Συνδυαζόμενη με διάφορες τεχνικές κρυπτογραφίας, οι τεχνολογίες DLT, μπορούν να προσφέρουν μια συνολική λύση αυξημένης ασφάλειας για αποκεντρικοποιημένα συστήματα φήμης ικανοποιώντας απαιτήσεις για διασφάλιση της ιδιωτικότητας, ακεραιότητας και ανοχής σε κακόβουλες επιθέσεις.

1.1 Αντικείμενο και Δομή του Παραδοτέου

Το παραδοτέο αυτό περιγράφει το σύστημα φήμης και εμπιστοσύνης του IoTFeds, το οποίο συν-υλοποιείται από τα δύο βασικά υποσυστήματα, δηλαδή το symbIoTe και το BaaS (Blockchain-as-a-Service). Στα πλαίσια του IoTFeds, όπου πιθανώς άγνωστες μεταξύ τους οντότητες, καλούνται να προσφέρουν από κοινού υπηρεσίες ή να καταναλώσουν υπηρεσίες άλλων, οι μηχανισμοί φήμης και εμπιστοσύνης αποσκοπούν στην δημιουργία ενός ασφαλούς και αξιόπιστου περιβάλλοντος συναλλαγών, χωρίς να υπάρχει η ανάγκη οι συμμετέχουσες

οντότητες να γνωρίζονται άμεσα και να υπάρχει εκ των προτέρων σχέση εμπιστοσύνης μεταξύ τους.

Στόχος του συστήματος φήμης και εμπιστοσύνης του IoTFeds είναι ο υπολογισμός και η αντιστοίχιση ενός βαθμού φήμης σε κάθε μία από της βασικές οντότητες του συστήματος, οι οποίες είναι οι *πηγές δεδομένων* (IoT συσκευές), οι *πάροχοι πηγών δεδομένων*, τα *προϊόντα δεδομένων* (αποτελούνται από μία ή περισσότερες πηγές δεδομένων) και οι *ομοσπονδίες παρόχων*. Στην περίπτωση του IoTFeds, ο βαθμός φήμης αποσκοπεί στην αποκάλυψη άγνωστης ή «κρυφής» πληροφορίας σχετικά με την υπηρεσία που παρέχεται από μια πηγή δεδομένων και κατ' επέκταση από τα προϊόντα που διατίθενται στις IoTFeds αγορές, τους παρόχους και τις ομοσπονδίες. Οι βαθμοί φήμης των διαφορετικών οντοτήτων αξιοποιούνται για διαφορετικούς σκοπούς. Οι βαθμοί φήμης των πηγών δεδομένων αξιοποιούνται από τους καταναλωτές κατά την σύνθεση ενός προϊόντος σε μια ομοσπονδιακή αγορά IoTFeds για τη επιλογή κατάλληλης ποιότητας πηγών δεδομένων που θα αποτελέσουν το προϊόν. Αντίστοιχα, οι βαθμοί φήμης των προϊόντων αξιοποιούνται από τους καταναλωτές προϊόντων σε μια ομοσπονδιακή ή καθολική αγορά για την επιλογή προϋπαρχόντων προϊόντων, χρησιμεύοντας ως δείκτες ποιότητας των προϊόντων. Οι βαθμοί φήμης των παρόχων και των ομοσπονδιών αξιοποιούνται για θέματα επιλογής και διαχείρισης των ομοσπονδιών. Δηλαδή, ο βαθμός φήμης μια ομοσπονδίας αξιοποιείται από τους παρόχους σαν κριτήριο επιλογής ομοσπονδίας. Από την άλλη, ο βαθμός φήμης ενός παρόχου αποτελεί κριτήριο εισόδου σε/απομάκρυνσης από μια ομοσπονδία. Επίσης, πάροχοι με αυξημένο βαθμό φήμης ενδέχεται να έχουν μεγαλύτερη επιρροή στην λήψη αποφάσεων σχετικά με την διακυβέρνηση μίας ομοσπονδίας.

Στο παραδοτέο αυτό ορίζουμε του βασικούς μηχανισμούς φήμης και εμπιστοσύνης του συστήματος IoTFeds για τον υπολογισμό των βαθμών φήμης και εμπιστοσύνης στα επίπεδα πηγών δεδομένων, προϊόντων, παρόχων και ομοσπονδιών, αξιοποιώντας αντικειμενικές μετρήσεις που λαμβάνονται από τα συστήματα παρακολούθησης (monitoring systems) των πλατφορμών που συμμετέχουν στο IoTFeds και υποκειμενικές αξιολογήσεις από τους καταναλωτές των προϊόντων. Όσον αφορά τις αντικειμενικές μετρήσεις, ορίζουμε μηχανισμούς που αποτρέπουν την κακόβουλη συμπεριφορά των παρόχων κατά την δήλωση των επιδόσεων των πηγών τους. Δηλαδή, οι μηχανισμοί μας εντοπίζουν τους παρόχους που δηλώνουν υπερεκτιμημένες επιδόσεις (ηθελημένα ή μη) και τους μειώνουν την φήμη. Τέλος, στο παραδοτέο αυτό περιλαμβάνονται μηχανισμοί για την ολική ψυχρή εκκίνηση (cold start) του συστήματος, αλλά και όταν εισέρχεται μία νέα πηγή δεδομένων ή ένας νέο πάροχος, καθώς και όταν δημιουργείται ένα νέο προϊόν ή μια νέα ομοσπονδία.

Το σύστημα φήμης και εμπιστοσύνη του IoTFeds υλοποιείται μέσω της προϋπάρχουσας και νέας λειτουργικότητας ενός συνόλου στοιχείων λογισμικού του υποσυστήματος symbIoTe και ενός συνόλου έξυπνων συμβολαίων του υποσυστήματος BaaS. Τα έξυπνα συμβόλαια του συστήματος BaaS είναι υπεύθυνα για τον υπολογισμό του βαθμού φήμης σε όλα τα επίπεδα αλλά και των ενδιάμεσων βημάτων που απαιτούν τον υπολογισμό αντικειμενικών και υποκειμενικών βαθμών, βάσει των εκθέσεων παρακολούθησης (monitoring reports) και των αξιολογήσεων των προϊόντων, αντίστοιχα. Από την άλλη, τα στοιχεία λογισμικού του symbIoTe όπως Monitoring, Platform Trust Manager, Core Trust Manager, Federation Manager, Administration, Marketplace, κ.α. εμπλέκονται στην συλλογή όλης της απαραίτητης πληροφορίας για τους ανωτέρω υπολογισμούς καθώς και τον συντονισμό των διαδικασιών, αλλά και για την διάχυση της πληροφορία στα απαραίτητα στοιχεία λογισμικού και διεπαφές αυτών ώστε να αξιοποιηθούν κατά την δημιουργία/αγορά προϊόντων και επιλογή/διαχείριση ομοσπονδιών.

Η δομή του παραδοτέου είναι η εξής:

- Στην Ενότητα 2 εισάγονται οι βασικοί ορισμοί, τα δομικά στοιχεία και τα χαρακτηριστικά των συστημάτων φήμης και εμπιστοσύνης. Επίσης, γίνεται μια βιβλιογραφική επισκόπηση σχετικά με συστήματα φήμης σε περιβάλλοντα IoT τα

οποία αξιοποιούν τεχνολογίες Κατανεμημένου Καθολικού (Distributed Ledger Technologies -DLT) καθώς και συστήματα που εξετάζουν την έννοια της ομαδικής φήμης.

- Στην Ενότητα 3 εισάγουμε του μηχανισμούς υπολογισμού των «ενδιάμεσων» αντικειμενικών και υποκειμενικών βαθμών επιδόσεων των πηγών δεδομένων, καθώς και μηχανισμούς που αξιοποιούν αυτούς τους ενδιάμεσους βαθμούς για την εξαγωγή βαθμών φήμης στο σύστημα IoTFeds στα επίπεδα πηγών δεδομένων, προϊόντων, παρόχων και ομοσπονδιών.
- Στην Ενότητα 4 περιγράφεται η υλοποίηση του συστήματος φήμης και εμπιστοσύνης IoTFeds, αναλύοντας την λειτουργικότητα των εμπλεκόμενων στοιχείων λογισμικού στα υποσυστήματα symbIoTe και BaaS, καθώς και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ αυτών. Επιπλέον, περιγράφονται διάφορες εναλλακτικές υλοποίησης, περιγράφοντας τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αυτών, αιτιολογώντας και τις δικές μας επιλογές υλοποίησης.
- Στην Ενότητα 5 περιλαμβάνεται η πειραματική αξιολόγηση των μηχανισμών φήμης που αναπτύχθηκαν στην Ενότητα 3. Σκοπός των πειραμάτων είναι η ανάδειξη της λειτουργικότητας του συστήματος φήμης, δηλαδή ότι οι βαθμοί που εξάγονται από τους μηχανισμούς είναι αντιπροσωπευτικοί της ποιότητας των προϊόντων. Επιπλέον, σκοπό της πειραματικής διαδικασίας είναι η ανάδειξη της ανθεκτικότητας των μηχανισμών έναντι κακόβουλων ή μη συνεπών παρόχων κατά της δήλωση των επιδόσεων τους.
- Στην Ενότητα 6 καταγράφουμε τα συμπεράσματα μας.

2 Επισκόπηση της Βιβλιογραφίας σε Συστήματα Φήμης και Εμπιστοσύνης

Σκοπός της ενότητας αυτής είναι η συνοπτική παρουσίαση των συστημάτων εμπιστοσύνης και φήμης, για διάφορες εφαρμογές IoT μέσα από σχετικά επιστημονικά άρθρα, δίνοντας έμφαση σε εκείνα τα συστήματα που αξιοποιούν την τεχνολογία κατανεμημένου καθολικού ή αναφέρονται στην έννοια της ομαδικής φήμης, προκειμένου να καταστεί δυνατή η συσχέτιση του προτεινόμενου μηχανισμού φήμης και εμπιστοσύνης IoTFeds με την βιβλιογραφία. Ως πρώτο βήμα, αναφέρονται οι ορισμοί της εμπιστοσύνης της φήμης και του συστήματος εμπιστοσύνης και φήμης. Στη συνέχεια δίνεται σύντομη περιγραφή των θεμελιωδών χαρακτηριστικών και δομικών στοιχείων που είναι κοινά σε όλα τα συστήματα εμπιστοσύνης και φήμης. Έπειτα και αφού πλέον έχουν προσδιοριστεί τα χαρακτηριστικά και δομικά στοιχεία του συστήματος εμπιστοσύνης και φήμης πραγματοποιείται η βιβλιογραφική επισκόπηση των συστημάτων που αναφέρονται σε περιβάλλοντα IoT. Η ενότητα ολοκληρώνεται με την καταγραφή των διδαγμάτων που αποκομίστηκαν από την βιβλιογραφική επισκόπηση. Στόχος είναι να αποτελέσουν τα διδάγματα αυτά σημαντική βάση γνώσης για ενδεχόμενες μελλοντικές βελτιώσεις και επεκτάσεις του προτεινόμενου συστήματος φήμης και εμπιστοσύνης IoTFeds.

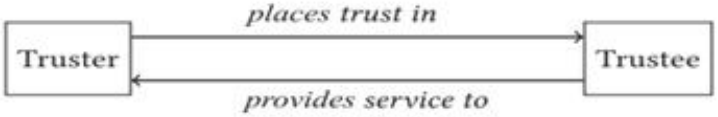
2.1 Βασικοί Ορισμοί

Στην παρούσα υποενότητα προσδιορίζονται οι έννοιες της εμπιστοσύνης και της φήμης, αποτυπώνοντας, επίσης, τις λεπτές διαφορές μεταξύ τους. Στη συνέχεια, γίνεται μία συνοπτική παρουσίαση των συστημάτων εμπιστοσύνης και φήμης, με αναφορά στις βασικές λειτουργίες τους και στους διαφορετικούς ρόλους των οντοτήτων που συμμετέχουν σε αυτά τα συστήματα, αντλώντας τα απαιτούμενα στοιχεία από τις βιβλιογραφικές αναφορές και το θεωρητικό υπόβαθρο που παρουσιάστηκε για τις βασικές έννοιες της εμπιστοσύνης και της φήμης.

2.1.1 Εμπιστοσύνη και Φήμη

Εμπιστοσύνη. Παρά την ποικιλία των υφιστάμενων ορισμών που απαντάται στη βιβλιογραφία για την εμπιστοσύνη και την δυσκολία στην εξεύρεση ενός τυποποιημένου ορισμού, υπάρχουν δύο ορισμοί που ξεχωρίζουν ως ευρέως αποδεκτοί από την επιστημονική κοινότητα: η «*εμπιστοσύνη αξιοπιστίας*» (Reliability Trust) και η «*εμπιστοσύνη απόφασης*» (Decision Trust). Η «*εμπιστοσύνη αξιοπιστίας*» αναφέρεται στην υποκειμενική πιθανότητα με την οποία ένα άτομο, Α, αναμένει ότι ένα άλλο άτομο, Β, θα εκτελέσει μια συγκεκριμένη ενέργεια, από την οποία εξαρτάται η ευημερία του (Gambetta, 2000). Ο ορισμός αυτός εκφράζει την αξιοπιστία (πιθανότητα) όπως την αντιλαμβάνεται το άτομο Α να ανταποκριθεί στις υποχρεώσεις που έχει αναλάβει το άτομο Β. Ωστόσο, η εμπιστοσύνη είναι πιο πολύπλοκη. Με δεδομένο ότι η απόφαση μίας οντότητας να εμπιστευτεί μία άλλη οντότητα ενέχει μία αβεβαιότητα και κατά συνέπεια έναν πιθανό κίνδυνο απώλειας κάτι πολύτιμου, οι McKnight και Chervany (1996) ορίζουν την εμπιστοσύνη (*απόφασης*) σαν τον βαθμό στον οποίο μία οντότητα είναι πρόθυμη να εξαρτηθεί από κάτι ή κάποια άλλη οντότητα σε μια δεδομένη κατάσταση με ένα αίσθημα σχετικής ασφάλειας, ακόμη και αν είναι πιθανές οι αρνητικές συνέπειες. Η εμπιστοσύνη, σε αυτόν τον ορισμό, ενέχει ανάληψη ρίσκου και πιθανές απώλειες από την οντότητα που εμπιστεύεται με την επιδίωξη κάποιου κέρδους/οφέλους.

Οι συμμετέχουσες οντότητες στην εμπιστοσύνη εναλλάσσονται τους ρόλους του εκχωρητή εμπιστοσύνης (trustor) και του αποδέκτη εμπιστοσύνης (trustee) όπως στην Εικόνα 1:



Εικόνα 1: Οι οντότητες στην εμπιστοσύνη.

Ο trustor είναι μια οντότητα που επιθυμεί να αποφασίσει σχετικά με το αν θα συμμετάσχει ή όχι σε μια συναλλαγή με μια άλλη οντότητα, τον trustee. Πρέπει να σημειωθεί ότι η σχέση μεταξύ των δύο αυτών οντοτήτων μπορεί να είναι μία εκ των {1:1, 1:n, n:n, n:1}, ανάλογα με την περίπτωση (Grandison & Sloman, 2000). Για να πάρει μια απόφαση εμπιστοσύνης, ο trustor προσπαθεί να προβλέψει τη μελλοντική συμπεριφορά του trustee υπολογίζοντας μια ένδειξη αξιοπιστίας για τον trustee με βάση τις εμπειρίες από τις προηγούμενες συναλλαγές του. Αυτή η ένδειξη βασίζεται στην αξιολόγηση του trustee σχετικά με τις υπηρεσίες (και εφαρμογές) που παρέχει και αποτελεί τη φήμη ή αξιοπιστία του trustee.

Φήμη. Μία ακριβής ερμηνεία της *φήμης* παρέχεται στο άρθρο του Azzedin (2014), όπου η *φήμη* μιας οντότητας ορίζεται ως μία προσδοκία για τη συμπεριφορά της με βάση τις παρατηρήσεις άλλων οντοτήτων ή τις συλλογικές πληροφορίες σχετικά με την προηγούμενη συμπεριφορά της οντότητας σε ένα συγκεκριμένο πλαίσιο σε μια δεδομένη χρονική στιγμή. Η φήμη συνεπώς καταλήγει στην χρήση των προηγούμενων ενεργειών μιας οντότητας για να προβλέψει την πιθανή μελλοντική συμπεριφορά του (Kollock 1999· Ruohomaa et al., 2007). Έτσι λοιπόν, η φήμη χρησιμοποιείται ως εργαλείο για τη μείωση των υφιστάμενων ασυμμετριών πληροφόρησης (Akerlof, 1970) και της διαχείριση του κινδύνου (Kollock,1999) σε αλληλεπιδράσεις, αγνώστων μεταξύ του οντοτήτων. Γενικά, η φήμη μπορεί να θεωρηθεί ως μέτρο αξιοπιστίας στην παροχή υπηρεσιών. Σε ηλεκτρονικά περιβάλλοντα αποτελεί τον κατάλληλο μηχανισμό για την αποκάλυψη πληροφοριών σχετικά με τον τύπο και την συμπεριφορά (δηλ. την απόδοση) των συμμετεχουσών οντοτήτων. Στα περιβάλλοντα ηλεκτρονικών αγορών η φήμη αποσκοπεί στην αποκάλυψη της επίδοσης των παρόχων σχετικά με την ποιότητα της υπηρεσίας που προσφέρουν. Για τον υπολογισμό της φήμης, η ειλικρίνεια της πηγής πληροφορίας και η ακρίβεια της ληφθείσας πληροφορίας είναι κρίσιμοι παράγοντες.

Η διαφορά μεταξύ φήμης και εμπιστοσύνης έγκειται στο γεγονός ότι η φήμη μίας οντότητας αντιπροσωπεύει μία συλλογική αξιολόγηση από μια ομάδας οντοτήτων και βασίζεται στη συνάθροιση εμπειριών κάθε ομότιμης οντότητας σχετικά με αυτήν συμπεριλαμβανομένων και των συστάσεων, ενώ η εμπιστοσύνη είναι εξατομικευμένη και αντανακλά την υποκειμενική πεποίθηση σχετικά με τη συμπεριφορά μιας οντότητας, με την προσωπική εμπειρία να έχει μεγαλύτερη βαρύτητα από τις συστάσεις άλλων.

2.1.2 Σύστημα Φήμης και Εμπιστοσύνης

Τα συστήματα φήμης και εμπιστοσύνης αξιοποιούν πληροφορίες σχετικά με την συναλλακτική συμπεριφορά οντοτήτων για τον υπολογισμό της αξιοπιστίας τους και συνεπώς για λήψη αποφάσεων σχετικά με το αν μια οντότητα μπορεί να εμπιστευτεί μια άλλη οντότητα για να κάνει συναλλαγή μαζί της. Ο κύριος στόχος των συστημάτων φήμης και εμπιστοσύνης είναι να συμβάλλουν στην εγκαθίδρυση εμπιστοσύνης μεταξύ άγνωστων οντοτήτων (Hendrikx et al., 2015). Ο Dellarocas (2004) αναφέρει ότι ο στόχος του μηχανισμού υποβολής αναδράσεων αξιολόγησης στο περιβάλλον ηλεκτρονικής αγοράς του eBay, και γενικά των συστημάτων φήμης είναι η «*εγκαθίδρυση εμπιστοσύνης μεταξύ των αγοραστών ώστε να πειστούν να αναλάβουν το κίνδυνο της συναλλαγής με αγνώστους*». Οι Despotovic και Aberer (2004) αναφέρονται σε *"μείωση του καιροσκοπισμού (ηθικού κινδύνου)"* και των προβλημάτων της αντίθετης επιλογής (adverse selection) μεταξύ δύο οντοτήτων. Χρησιμοποιώντας ένα σύστημα φήμης, μια οντότητα μπορεί να εξετάσει την ιστορικότητα συναλλαγών μια άλλης οντότητας προκειμένου να αποφασίσει αν θα εμπιστευτεί να αλληλοεπιδράσει μαζί της. Αυτή η απόφαση συχνά καλείται *«απόφαση εμπιστοσύνης»* (Koutrouli, 2016).

Σε ένα σύστημα φήμης οι συμμετέχουσες οντότητες διακρίνονται στους ακόλουθους ρόλους:

- *Αξιολογητής (Rater)*. Ο *Αξιολογητής* είναι μια οντότητα που αποδίδει μια αξιολόγηση σε μία άλλη οντότητα εντός συγκεκριμένου πλαισίου.

- *Αξιολογούμενος (Target User -Ratee*). Όταν η οντότητα Rater αξιολογεί μία άλλη οντότητα q ή γενικά μία οντότητα εκκινεί ένα ερώτημα για τον προσδιορισμό της φήμης της οντότητας q, τότε η οντότητα q αναφέρεται ως *Αξιολογούμενος* (Ratee).

- *Πάροχος συστάσεων (Inquirer -Recommender)*. Είναι μία τρίτη οντότητα που παρέχει πληροφορίες σχετικά με την αξιοπιστία του Αξιολογούμενου. Ο *πάροχος συστάσεων* χρησιμεύει συνήθως στην περίπτωση που δεν υπάρχει προηγούμενη άμεση σχέση ή επαρκές ιστορικό συναλλαγών μεταξύ των συναλλασσόμενων Rater και Ratee για διαπίστωση της αξιοπιστίας του τελευταίου. Αξίζει να σημειωθεί πως η αξιολόγηση φήμης βάσει συστάσεων μπορεί να εισάγει υψηλό κόστος στο μηχανισμό αξιοπιστίας του συστήματος, εάν υποβάλλονται ανειλικρινείς αναδράσεις αξιολόγησης.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, η έννοια της *φήμης* όσον αφορά την οντότητα Ratee καθορίζεται ως μία οποιαδήποτε συνάρτηση (π.χ. πιθανοτική, ντετερμινιστική, βασισμένη στην ασαφή λογική, κλπ.) που συναθροίζει τις αναδράσεις αξιολόγησης σε βαθμούς φήμης των Αξιολογητών (Raters) και δυνητικά τις συστάσεις των παρόχων συστάσεων.

Στην συνέχεια προσδιορίζονται οι σημαντικότερες λειτουργίες που εμπλέκονται σε κάθε σύστημα φήμης (Jøsang et al., 2007· Hendrikx et al., 2015 · Koutrouli, 2016 · Hasan et al, 2020 · Fotia et al., 2022):

- *Συλλογή πληροφορίας.* Στο πρώτο στάδιο, η συλλογή πληροφοριών αναφέρεται στον καθορισμό των παραμέτρων εισόδου και των χαρακτηριστικών (attributes) για την ποσοτικοποίηση της αξιολόγησης επίδοσης ενός αγαθού που μπορεί να αντιπροσωπεύει μία εφαρμογή, υπηρεσία ή προϊόν. Η αξιολόγηση πραγματοποιείται υπό μορφή αναδράσεων αξιολόγησης που έχουν ποσοτικοποιηθεί με τις παραπάνω παραμέτρους και με βάση μια μεμονωμένη συναλλαγή ή συγκεντρώνοντας πολλαπλές αξιολογήσεις από μεμονωμένες συναλλαγές για το ίδιο αγαθό. Μερικά παραδείγματα παραμέτρων αξιολόγησης περιλαμβάνουν την τήρηση του πρωτοκόλλου επικοινωνίας, την ποιότητα της υπηρεσίας και τον βαθμό ικανοποίησης έναντι μιας υπηρεσίας. Το σύστημα φήμης θα πρέπει να συλλέξει τις αξιολογήσεις ως τιμές εισόδου είτε με: 1) άμεσες παρατηρήσεις ή άμεσες συναλλαγές, οπότε στον βαθμό φήμης λαμβάνονται υπόψη οι άμεσες σχέσεις μεταξύ δύο οντοτήτων (*άμεση φήμη*), ή/και 2) συστάσεις από άλλες οντότητες, εάν δεν υπάρχει ιστορικότητα άμεσων αλληλεπιδράσεων ή δεν υπάρχει διαθεσιμότητα (*έμμεση φήμη*). Η συλλογή πληροφοριών, δηλ. αναδράσεων αξιολόγησης, περιλαμβάνει την συλλογή αξιολογήσεων για παραμέτρους που εκφράζουν την ποιότητα της υπηρεσίας/Quality of Service (QoS) και την ποιότητα εμπειρίας/Quality of Experience (QoE) του Rater.

- *Νέο-εισερχόμενες οντότητες.* Σχετικά με την συγκέντρωση αξιολογήσεων σε συστήματα φήμης, ένα σημαντικό ζήτημα που ανακύπτει είναι η απουσία αξιολογήσεων για τις νέο-εισερχόμενες οντότητες, δηλαδή το ζήτημα της *ψυχρής εκκίνησης* (cold start). Οι προσεγγίσεις που προτείνονται σε αυτήν την περίπτωση είναι: α) η εκχώρηση μίας προεπιλεγμένης αρχικής τιμής, π.χ. μίας ελάχιστης τιμής που θα ενημερώνεται με βάση την συναλλακτική δραστηριότητα της οντότητας (από τις άμεσες συναλλαγές του Rater και τις συστάσεις των άλλων), και β) η ανάθεση μίας αρχικής τιμής βάσει επίδοσης που μπορεί να προέρχεται από δοκιμές, προτυποποίηση

προϊόντων και υπηρεσιών ή να προκύπτει από συστάσεις άλλων οντοτήτων που παρουσιάζουν ομοιότητα χαρακτηριστικών με την νέο-εισερχόμενη όσον αφορά το πλαίσιο, την θεματολογία, τον τύπο κ.α.

- *Αναπαράσταση μίας αξιολόγησης.* Διάφορες μορφές μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την αναπαράσταση, όπως δυαδικές, διακριτές, συνεχείς ή γλωσσικές τιμές σε ένα συγκεκριμένο διάστημα ή κείμενο. Μία αξιολόγηση μπορεί, επίσης, να αναπαρίσταται από μια αριθμητική τιμή, μία δήλωση, μία μόνο θετική ή μόνο αρνητική συμπεριφορά ή και τα δύο είδη συμπεριφοράς της οντότητας Ratee.

- *Συνάθροιση (Aggregation) της Φήμης.* Η προσέγγιση υπολογισμού της φήμης συναθροίζοντας τις αναδράσεις αξιολόγησης (από τις άμεσες συναλλαγές του Rater και τις συστάσεις άλλων) μπορεί να είναι αθροιστική με χρήση για παράδειγμα σταθμισμένου μέσου όρου, διακριτών τιμών, πιθανοτική, να βασίζεται στη θεωρία παιγνίων, στην ασαφή λογική, στο μοντέλο ροής, στην θεωρία «πεποίθησης» (belief theory) κ.α. (Yu & Singh, 2002). Εξειδικεύοντας για τα δίκτυα IoT, οι πιο διαδεδομένες τεχνικές συνάθροισης είναι το σταθμισμένο άθροισμα, η θεωρία παιγνίων, το μοντέλο εντροπίας και η Μπεϋζιανή συμπερασματολογία (Bayesian inference) (Fan et al., 2020).

- *Διάδοση (Dissemination) και ενημέρωση (Update) της φήμης.* Η διάδοση της φήμης μεταξύ των οντοτήτων πραγματοποιείται με τρεις τρόπους: κεντρικοποιημένα, κατανεμημένα ή με υβριδικό τρόπο. Η συσχέτιση των τρόπων αυτών διάδοσης με την αρχιτεκτονική δομή του συστήματος φήμης παρουσιάζεται στην Ενότητα 2.2. Ο συνολικός βαθμός φήμης μιας οντότητας ενημερώνεται μετά την εμφάνιση ενός γεγονότος (event-driven) ή ανά τακτά χρονικά διαστήματα (περιοδικά) (time-driven). Στην πρώτη περίπτωση, ο βαθμός φήμης υπολογίζεται όταν ζητηθεί (reactively) ή μετά από κάθε συναλλαγή που γίνεται με την οντότητα (proactively).

- *Τρόπος λήψης απόφασης.* Οι αποφάσεις εμπιστοσύνης βασίζονται συνήθως σε σύγκριση του υπολογιζόμενου βαθμού φήμης με κάποιο κατώφλι ή σε κατάταξη των οντοτήτων με βάση τον βαθμό φήμης τους.

- *Τρόπος εφαρμογής του βαθμού φήμης.* Δυνητικά ο βαθμός φήμης χρησιμοποιείται για την παροχή κινήτρων (incentives) και/ή την επιβολή κυρώσεων (penalties). Συνήθως, τα κίνητρα περιλαμβάνουν αμοιβές, πληρωμές και προνόμια ενώ οι κυρώσεις είναι υπό μορφή περιορισμών συναλλακτικών δραστηριοτήτων ή ποινών (π.χ. αποκλεισμός από τις συναλλαγές για ένα χρονικό διάστημα). Σκοπός του μέτρου αυτού είναι: α) η προστασία του συστήματος από κακόβουλες οντότητες που επιχειρούν να τροποποιήσουν τον βαθμό φήμης προς ιδίων όφελος, και β) η παροχή κινήτρων για την υποβολή ειλικρινών αναδράσεων αξιολόγησης προκειμένου να αποκαλυφθεί η κρυμμένη πληροφορίας της επίδοσης των παρεχόμενων υπηρεσιών κατά τις συναλλαγές μεταξύ των οντοτήτων.

- *Φήμη και Δομικά στοιχεία κρυπτογραφικής φύσης (Building Block*). Περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιείται ένας τύπος δομικού στοιχείου (Building Block), όπως είναι για παράδειγμα η τεχνολογία Blockchain ή οι *αποδείξεις μηδενικής γνώσης* (Zero Knowledge Proofs-ZKFs) (Camenisch et al., 2008) και το *Πρωτόκολλο Ασφαλών Υπολογισμών Πολλών Συμμετεχόντων* (Secure Multi-Party Computation) (Andrychowicz et al., 2016) για την επίτευξη των στόχων όπως ασφάλεια, ιδιωτικότητα, αξιοπιστία και εγγύηση της εμπιστοσύνης στα συστήματα φήμης.

Ειδικότερα, για τα δίκτυα IoT οι υιοθετούμενες τεχνολογίες είναι συνηθέστερα η τεχνολογία Blockchain οι ZKFs, τα σχήματα τυφλών υπογραφών (Chaum, 1983·Okamoto, 2006) και τα *έξυπνα συμβόλαια* (Smart Contracts-SCs).

2.2 Δομικά Στοιχεία και Χαρακτηριστικά

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα δομικά στοιχεία και χαρακτηριστικά των συστημάτων φήμης Εικόνα 2. Η παρακάτω ανάλυση είναι αποτέλεσμα συγκερασμού των θεμελιωδών χαρακτηριστικών και δομικών στοιχείων που είναι κοινά μεταξύ ολοκληρωμένων συστημάτων φήμης που έχουν προταθεί στην βιβλιογραφία. Συγκεκριμένα, βασίζεται στις υπάρχουσες ερευνητικές εργασίες των Hoffman et al. (2009), Hendrikx et al. (2015) και Hasan et al. (2020) σχετικά με τον προσδιορισμό ενός γενικού πλαισίου για την ανάπτυξη και την αξιολόγηση των συστημάτων φήμης σύμφωνα με: α) την αρχιτεκτονική, τους παράγοντες καθορισμού της αξιολόγησης, τις σχεδιαστικές απαιτήσεις της φήμης, το μοντέλο συνάθροισης και τα υπολογιστικά κόστη, β) την ενσωμάτωση των μηχανισμών άμυνας στα εν λόγω συστήματα για να τα καταστήσουν εύρωστα έναντι διάφορων επιθέσεων, και γ) τις βασικές ιδιότητες που πρέπει να διαθέτουν τα συστήματα αυτά για την διατήρηση της ιδιωτικότητας και της ανωνυμίας των οντοτήτων.

2.2.1 Αρχιτεκτονική συστήματος φήμης

Η διεξαγωγή συλλογής αναδράσεων αξιολόγησης, ο υπολογισμός καθώς και η διάδοση της φήμης επηρεάζονται σημαντικά από την αρχιτεκτονική δομή του συστήματος φήμης. Με κριτήριο τον βαθμό αποκεντρικοποίησης, αναγνωρίζονται τρεις κατηγορίες αρχιτεκτονικών δομών:

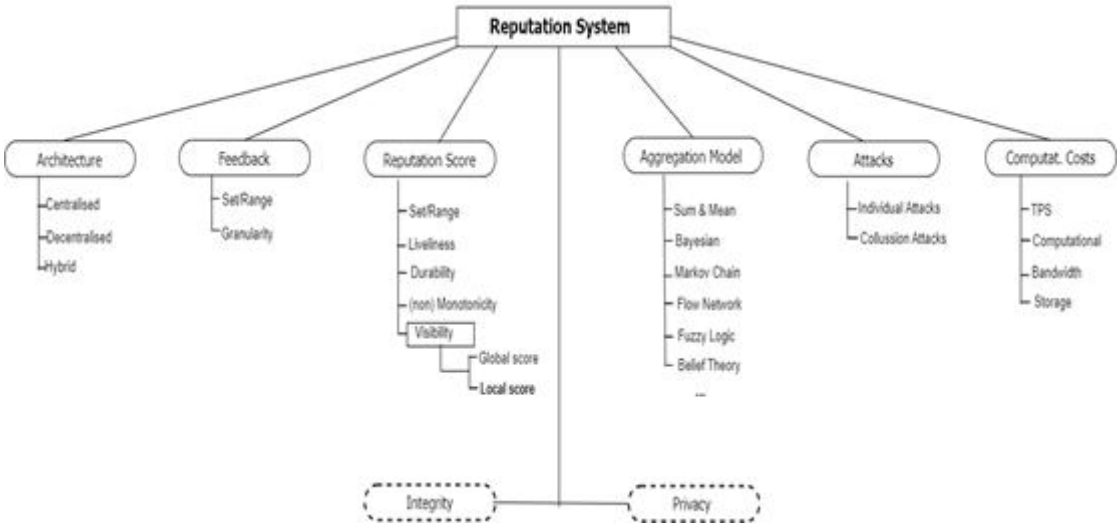
- *Κεντρικοποιημένη αρχιτεκτονική*. Τα κεντρικοποιημένα συστήματα φήμης βασίζονται σε μία αξιόπιστη κεντρική αρχή, έναν έμπιστο τρίτο (Trusted Third Party -TTP), για την συνάθροιση των αναδράσεων αξιολόγησης, τον υπολογισμό και τον διαμοιρασμό του βαθμού φήμης μεταξύ των κόμβων-οντοτήτων. Το πιο σημαντικό πλεονέκτημα της κεντρικοποιημένης λύσης είναι η ακρίβεια υπολογισμού του βαθμού φήμης. Μειονέκτημα της αρχιτεκτονικής είναι πως υπάρχει ένα μοναδικό σημείο αποτυχίας, που είναι ο συναθροιστής (aggregator), γεγονός που καθιστά τα κεντρικοποιημένα συστήματα φήμης μη εύκολα κλιμακούμενα και ευπαθή σε μια τεχνική αποτυχία ή σε μια κακόβουλη επίθεση.

- *Αποκεντρικοποιημένη αρχιτεκτονική*. Στα αποκεντρικοποιημένα συστήματα, οι οντότητες αλληλεπιδρούν χωρίς τη διαμεσολάβηση κάποιας έμπιστης κεντρικής αρχής. Η αξιολόγηση αποθηκεύεται τοπικά σε κάθε κόμβο-οντότητα για κάθε μεμονωμένη συναλλαγή. Ο υπολογισμός του βαθμού φήμης μιας οντότητας στο σύστημα απαιτεί την συλλογή των επιμέρους αξιολογήσεων. Το ζήτημα της συνδεσιμότητας (linkage) των πληροφοριών, όπως η σύνδεση της ταυτότητα μιας οντότητας με μια αξιολόγηση αποτελεί βασικό μειονέκτημα της αυτής της προσέγγισης. Σε αντιδιαστολή, η χρησιμοποίηση αποκεντρικοποιημένων τεχνολογιών όπως το κατανεμημένο καθολικό (DLT) σε ένα σύστημα φήμης μπορεί να αντιμετωπίσει σε σημαντικό βαθμό ζητήματα ιδιωτικότητας, εμπιστευτικότητας, διαφάνειας, ακεραιότητας και αποτροπής των επιθέσεων (π.χ. Ballot stuffing, Whitewashing και Sybil attack)[1] (Hoffman et al., 2009) κατά τις συναλλαγές μεταξύ των οντοτήτων και κατά τον υπολογισμό της φήμης. Επιπλέον, με την αξιοποίηση των

[1] Βλέπε επίσης Ενότητα 2.2.5.

έξυπνων συμβολαίων σε Blockchain διευκολύνεται η ενημέρωση του βαθμού φήμης και όλες οι απαραίτητες συναλλαγές που συνδέονται με την υποβολή αξιολόγησης.

- *Υβριδική αρχιτεκτονική*. Η υβριδική αρχιτεκτονική συνδυάζει στοιχεία από την κεντρικοποιημένη και την αποκεντρικοποιημένη αρχιτεκτονική. Χαρακτηριστικό παράδειγμα υβριδικής αρχιτεκτονικής είναι η προτεινόμενη προσέγγιση από τους Jo & Choi (2019) (για τον υπολογισμό της φήμης σε συνεργατικά συστήματα αισθητήρων (participatory sensing systems). Στην συγκεκριμένη λύση, αν και χρησιμοποιείται η τεχνολογία blockchain ως αποκεντρικοποιημένο σύστημα για την διαχείριση της φήμης, χωρίς να απαιτείται η ύπαρξη εμπιστοσύνη, τα κεντρικά έμπιστα μέρη όπως οι «διακομιστές εφαρμογών» και ένας «*διακομιστής ιχνηλάτησης*» διευκολύνουν αυτήν την διαδικασία αναλαμβάνοντας την συσχέτιση τιμών φήμης για κάθε οντότητα με την ομάδα που συμμετέχει στη βάση χρησιμοποίησης κοινής εφαρμογής καθώς και την «ανίχνευση» της πραγματικής ταυτότητας της οντότητας.



Εικόνα 2: Δομικά Στοιχεία και Χαρακτηριστικά του Συστήματος Φήμη βάσει Hoffman et al. (2009), Hendrikx et al. (2015) και Hasan et al. (2020).

2.2.2 Παράγοντες καθορισμού αξιολόγησης

Η αναπαράσταση μίας αξιολόγησης σε βαθμό φήμης συνιστά τον καθορισμό των ακόλουθων παραγόντων:

- *Εύρος (range) ή έκταση*. Το εύρος δείχνει το πλάτος των τιμών για την αξιολόγηση. Για την αναπαράσταση των αναδράσεων αξιολόγησης σε τιμές φήμης διάφορες μορφές μπορεί να χρησιμοποιηθούν, όπως δυαδικές τιμές, διακριτές, συνεχείς, γλωσσικές, τιμές εντός συγκεκριμένου εύρος . Για παράδειγμα η τιμή 1 αντιστοιχεί σε παράμετρο «*θετική αξιολόγηση*» ενώ η τιμή 0 σε «*αρνητική αξιολόγηση*» σε ένα πλάτος 2 δυαδικών τιμών [0, 1]. Με παρόμοιο τρόπο, η οντότητα Rater μπορεί να αναθέτει πραγματικές τιμές για την αξιολόγηση σε ένα πλάτος μεταξύ [0.0, 5.0].

- *Granularity/Δημιουργία αξιολόγησης*. Μια αξιολόγηση μπορεί να δημιουργηθεί με βάση την αξιολόγηση μιας μεμονωμένης συναλλαγής ή συναθροίζοντας βαθμολογήσεις μεμονωμένων συναλλαγών.

2.2.3 Βαθμολόγηση Φήμης

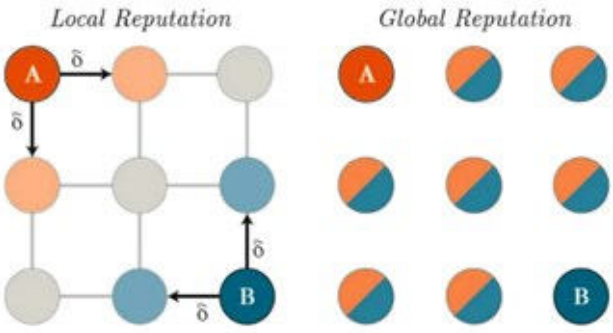
Κατά τον σχεδιασμό ενός συστήματος φήμης θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι ακόλουθες απαιτήσεις και προϋποθέσεις:

- *Ζωντάνια (Liveliness).* Σύμφωνα με τους Schiffner et al. (2009), για τη διατήρηση της ζωντάνιας σε ένα σύστημα φήμης και ως εκ τούτου και τον υπολογισμό της φήμης, θα πρέπει να δίνεται μεγαλύτερη βαρύτητα στις πιο πρόσφατες συναλλαγές.

- *Ανθεκτικότητα (Durability)* Ο βαθμός φήμης μπορεί να είναι παροδικός και να υπολογίζεται εκ νέου κατόπιν αιτήματος μιας οντότητας, χωρίς να απαιτείται αποθήκευση από μία έμπιστη κεντρική αρχή ή μπορεί να αποθηκεύεται μόνιμα ώστε να είναι διαθέσιμη από άλλες οντότητες.

- *Μονοτονία (Monotonicity).* Σε ένα *μη* μονότονο σύστημα, μετά από κάθε νέα αξιολόγηση, ο συνολικός βαθμός φήμης ενσωματώνεται, με τέτοιο τρόπο ώστε να αυξάνεται σταδιακά με τις θετικές (ή ειλικρινείς) αναδράσεις αξιολογήσεις και να φθίνει σημαντικά κάθε φορά που υποβάλλεται μία αρνητική (ή ανειλικρινή) αξιολόγηση, τότε το σύστημα είναι μη μονότονο. Ένα σύστημα φήμης θεωρείται μονότονο όταν αποκλειστικά είτε αυξάνεται είτε φθίνει κατά την συνάθροιση των βαθμολογήσεων των μεμονωμένων συναλλαγών.

- *Ορατότητα (Visibility).* Ο βαθμός φήμης μπορεί να είναι καθολικός ή τοπικός. Στην πρώτη κατηγορία, ο βαθμός φήμης μίας οντότητας είναι μία δημόσια τιμή, ορατή στο σύνολο των οντοτήτων ενός συστήματος. Αντίθετα, η τοπική φήμη είναι διαθέσιμη σε ένα υποσύνολο οντοτήτων, π.χ. δεδομένης μιας τοπολογίας, κάθε οντότητα διατηρεί πληροφορίες μόνο για τους «γείτονες» κόμβους/οντότητες. Για παράδειγμα ας υποθέσουμε στην Εικόνα 3 ότι η οντότητα Α αποφασίζει να συμμετάσχει σε μία συναλλαγή με την οντότητα Β σε ένα δίκτυο. Με την τοπική φήμη, ο Β μπορεί να διαπιστώσει τη φήμη του μόνο από τους γείτονες του Α. Ομοίως, ο Α μπορεί να διαπιστώσει τη φήμη του Β μόνο από τους γείτονες του Β. Η χρήση τοπικής φήμης είναι κατάλληλη για δίκτυα όπου η τοπολογία τους είναι σχετικά στατική και οι κόμβοι έχουν αρκετό χρόνο να ανιχνεύσουν και να «τιμωρήσουν» τους κακόβολους. Αντίθετα, στα δίκτυα με δυναμική και ταχέως μεταβαλλόμενη συχνότητα, η χρήση της καθολικής φήμης είναι αποτελεσματικότερη. Ένας επιπλέον λόγος που είναι προτιμότερη η καθολική φήμη είναι ότι η ενημέρωση της τοπικής φήμης θεωρείται ότι έχει «θόρυβο», δηλαδή εσφαλμένη τιμή με κάποια πιθανότητα, λόγω των πολλαπλών μεταδόσεων (από οντότητα σε οντότητα) που παρεμβάλλονται.



Εικόνα 3: Παγκόσμια και Τοπική φήμη (Podder & Takács, 2021).

2.2.4 Τεχνικές συνάθροισης

Για τον υπολογισμό του συνολικού βαθμού φήμης βάσει αξιολογήσεων έχουν προταθεί διάφορες προσεγγίσεις συνάθροισης στην βιβλιογραφία. Στην παρούσα ενότητα, παρουσιάζονται μερικά από τα ευρέως υιοθετημένα *μοντέλα* συνάθροισης αναδράσεων αξιολόγησης.

- *Αθροιστική και Σταθμισμένος Μέσος Όρος με στάθμιση (Sum and Mean -weighted)*. Αποτελεί μία από τις πιο δημοφιλείς μεθόδους συνάθροισης στα συστήματα φήμης και εμπιστοσύνης, και είναι *η μέθοδος στην οποία βασίζεται και το σύστημα φήμης και εμπιστοσύνης του IoTFeds*. Για την εξαγωγή του βαθμού φήμης υπολογίζεται το άθροισμα ή ο σταθμισμένος μέσος όρος των τιμών των αναδράσεων αξιολόγησης. Η συνάθροιση των αναδράσεων αξιολόγησης στη μέθοδο αυτή λαμβάνει υπόψη α) την άμεση φήμη, δηλαδή τις αξιολογήσεις που προέρχονται από τις άμεσες συναλλαγές των συναλλασσόμενων οντοτήτων, και σε κάποιες περιπτώσεις β) την έμμεση φήμη που βασίζεται στις συστάσεις των παρόχων συστάσεων (Nitti et al., 2014). Σημαντική πρόκληση της μεθόδου είναι ο καθορισμός των κατάλληλων βαρών/σταθμίσεων (στατικά ή δυναμικά), που επηρεάζουν την επίδοση του συστήματος φήμης.

- *Bayesian model*. Ο βαθμός φήμης μπορεί να αναπαρασταθεί από μια πιθανοτική κατανομή Βήτα (Probability Density Function - PDF), όπου οι δύο παράμετροι α και β που είναι οι παράμετροι σχηματοποίησης της Βήτα αντιστοιχούν στον αριθμό των θετικών και αρνητικών αναδράσεων αξιολόγησης αντίστοιχα. Ο βαθμός φήμης υπολογίζεται ενημερώνοντας στατιστικά τη κατανομή βήτα. Με δεδομένο ότι η Βήτα PDF εκφράζει την αβέβαιη πιθανότητα ότι οι μελλοντικές αναδράσεις αξιολόγησης θα είναι θετικές, ο βαθμός φήμης ορίζεται ως συνάρτηση της τιμής πιθανότητας.

- *Μοντέλο Μαρκοβιανής αλυσίδας (Markov Chain Model*). Η προσέγγιση της Μαρκοβιανής αλυσίδας βασίζεται στην πιθανότητα μοντελοποίησης της αξιολόγησης μίας οντότητας να φθάσει σε μια άλλη συγκεκριμένη οντότητα. Ως εκ τούτου, ο βαθμός φήμης υπολογίζεται ως συνάρτηση πιθανότητας μετάβασης από μία οντότητα (κόμβος-πηγή) σε άλλη οντότητα (κόμβος-στόχος). Τα συστήματα φήμης που βασίζονται στη θεωρία της Μαρκοβιανής αλυσίδας προσφέρουν το πλεονέκτημα ότι ένας κακόβουλος κόμβος δεν επωφελείται από τη δημιουργία πολλαπλών ψευδωνύμων για επιθέσεις. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η πιθανότητα να φτάσει ένας κακόβουλος κόμβος σε πολλαπλούς ψευδώνυμους κόμβους από έναν αξιόπιστο κόμβο δεν θα ήταν υψηλότερη από το να φτάσει στον αρχικό κακόβουλο κόμβο.

- *Δίκτυο Ροών* (Flow Network). Στην συγκεκριμένη προσέγγιση κάθε οντότητα θεωρείται ως ένας κόμβος στο δίκτυο, ενώ οι αναδράσεις αξιολόγησης μοντελοποιούνται ως ροές δικτύου. Κατά συνέπεια, η φήμη υπολογίζεται ως συνάρτηση της ροής που λαμβάνει ο κόμβος από άλλους κόμβους.

- *Μοντέλο ασαφούς λογικής (Fuzzy Logic Model*). Στο μοντέλο ασαφούς λογικής, η φήμη αναπαρίσταται με γλωσσικούς όρους, όπου οι αντίστοιχες συναρτήσεις συμμετοχής (membership functions) περιγράφουν σε ποιο βαθμό μία οντότητα μπορεί να περιγραφεί ως για παράδειγμα π.χ. αξιόπιστη ή μη αξιόπιστη.

Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει μία ταξινόμηση βιβλιογραφικών αναφορών επιστημονικών άρθρων με βάση τις τεχνικές συνάθροισης που χρησιμοποιούνται στα συστήματα φήμης για τον υπολογισμό της φήμης και εμπιστοσύνης. Βασικό κριτήριο επιλογής των άρθρων αποτέλεσαν

οι ακαδημαϊκές μελέτες των μοντέλων φήμης σε αποκεντρικοποιημένα συστήματα IoT, λόγω της συνάφειας τους με το αντικείμενο που πραγματεύεται το παρόν παραδοτέο.

Πίνακας 1: Σύνοψη των κυριότερων τεχνικών συνάθροισης σε αποκεντρικοποιημένα συστήματα φήμης για IoT στην επιστημονική βιβλιογραφία.

Τεχνική Συνάθροισης	**Βιβλιογραφία**
Static Weighted Sum	Nitti et al., 2014; Chen et al, 2016a
Dynamic Weighted Sum	Saied et al., 2013; Chen et al, 2016b; Kang et al., 2018; Adewuyi et al., 2019; Debe et al, 2020; Wang et al., 2020; Yu et al., 2020 *(incl. Entropy*)
Bayesian Model	Che et al., 2014 (*incl. Entropy)*; Chen et al., 2015; Truong et al., 2016
Fuzzy Logic	Kim et al., 2018 *(incl. Multi-Criteria Utility Theory*); Mahalle et al., 2013; Rajesh et al., 2013; Chen et al., 2011
Flow Network	Levien, 2008 (*Advogado)*
Markov Chain	Kamvar et al. 2003; Zhou et al., 2007; Wang et al., 2019; Liu et al., 2021; Wang et al., 2022
Beta	Papaioannou & Stamoulis, 2010; Azad et al., 2018
Open	Schaub et al., 2016
Other	Liu et al. 2019 *(Sum method)*; Ma et al., 2019 *(Weighted Mean method);* Azad et al, 2020 *(Weighted Sum method)*

2.2.5 Τύποι κακόβουλων επιθέσεων

Οι οντότητες που συμμετέχουν σε ένα σύστημα φήμης και εμπιστοσύνης μπορούν να μειώσουν την αξιοπιστία του, εξαπολύοντας επιθέσεις ηθελημένα ή όχι, μεμονωμένα ή σε συνεργασία με άλλες οντότητες. Ως εκ τούτου, ένα σύστημα φήμης πρέπει να έχει ως στόχο να παρέχει αξιόπιστο υπολογισμό φήμη καθώς και ευρωστία έναντι επιθέσεων σχετικών με τη φήμη. Στην παρούσα ενότητα οι επιθέσεις εναντίον των συστημάτων φήμης ταξινομούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: την κατηγορία των *μεμονωμένων επιθέσεων* και την κατηγορία των *επιθέσεων συμπαιγνίας*.

Μεμονωμένες επιθέσεις. Στην κατηγορία των μεμονωμένων επιθέσεων, οι οντότητες μπορούν για παράδειγμα να έχουν ανέντιμη συμπεριφορά μόνο προς ένα υποσύνολο οντοτήτων (discrimination) ή να αλλάζουν την συμπεριφορά τους ξαφνικά ή περιοδικά (oscillatory behaviour) ή να υποβάλλουν τυχαίες αναδράσεις αξιολόγησης αντί ειλικρινούς αξιολόγησης (random ratings). Επίσης, κακόβουλες οντότητες μπορεί να παρέχουν ποιοτικές υπηρεσίες για

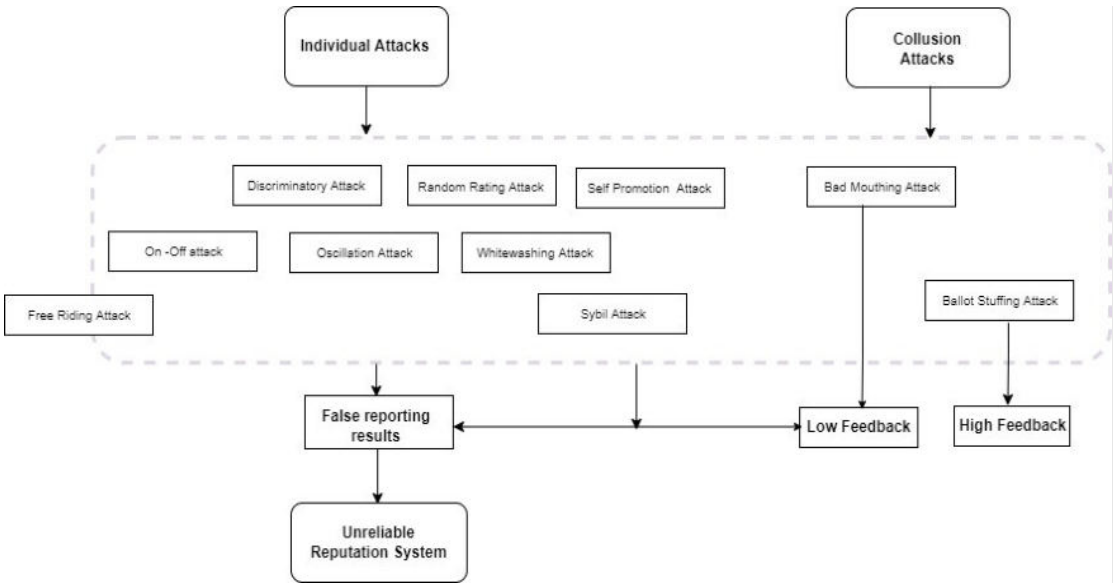
να αυξήσουν την φήμη τους και να επιλεγούν ως πάροχοι υπηρεσιών, και στη συνέχεια να παρέχουν χείριστες υπηρεσίες στις επιλεγμένες οντότητες (On-Off attack). Στην κατηγορία των μεμονωμένων επιθέσεων ανήκουν και επιθέσεις σχετικές με την διαχείριση ταυτοτήτων (Identity management related attacks). Καθοριστικός παράγοντας σε αυτού του είδους τις επιθέσεις είναι το σχήμα διαχείρισης ταυτοτήτων σε ένα σύστημα φήμης. Για παράδειγμα όταν επιτρέπεται η χρήση πολλών ταυτοτήτων, μια κακόβουλη οντότητα της οποίας η φήμη μειώνεται λόγω ανέντιμης συμπεριφοράς σε έναν αριθμό συναλλαγών, μπορεί να ξαναμπεί στο σύστημα με νέα ταυτότητα (Whitewashing). Μία άλλη περίπτωση στην ίδια υποκατηγορία είναι όταν η κακόβουλη οντότητα μπορεί να δημιουργήσει ταυτόχρονα πολλούς λογαριασμούς κάνοντας χρήση ψεύτικων ταυτοτήτων (Sybils) προκειμένου να αποκτήσει δυσανάλογη επιρροή σε μια κοινότητα (Sybil-attack) ή έναντι μίας ειλικρινούς οντότητας για ιδίων όφελος.

Επιθέσεις Συμπαιγνίας. Στην κατηγορία των επιθέσεων που βασίζονται σε συμπαιγνία, οι οντότητες μπορεί να δρουν σε συνεργασία με άλλες οντότητες για να οδηγήσουν σε έναν λανθασμένο υπολογισμό της φήμης, αποστέλλοντας πολύ υψηλές βαθμολογίες αξιολόγησης έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί η φήμη μιας οντότητας (Ballot stuffing) ή πολλές χαμηλές βαθμολογίες με σκοπό να καταστρέψουν την φήμη μιας οντότητας (Bad mouthing).

Η συμπεριφορά μίας οντότητας που ενεργεί με «*παρασιτική*» συμπεριφορά (free rider) είναι ξεχωριστή περίπτωση. Αν και επιζήμια για το σύστημα φήμης δεν θεωρείται επίθεση. Αναφέρεται στην περίπτωση που μία οντότητα μπορεί να απέχει από την συμμετοχή στη συλλογή αναδράσεων αξιολόγησης, αλλά να εξακολουθεί να κάνει αιτήσεις για να μάθει τη φήμη άλλων οντοτήτων. Η συμπεριφορά αυτή εκμεταλλεύεται το σύστημα φήμης χωρίς να παρέχει καμία συνεισφορά (Putra et al., 2021· Hasan et al., 2020· Koutrouli, 2016).

Στην περίπτωση του IoTFeds πολλές από τις ανωτέρω επιθέσεις αποφεύγονται ή αποθαρρύνονται καθώς οι αναδράσεις αξιολογήσεις επιτρέπονται μόνο μετά από κάποια αγορά προϊόντος, το οποίο συνεπάγεται και κάποιο κόστος.

Μια αναλυτική ταξινόμηση των επιθέσεων έναντι των συστημάτων φήμης απεικονίζεται στην Εικόνα 4.



Εικόνα 4: Ταξινόμηση Επιθέσεων έναντι Συστημάτων Φήμης.

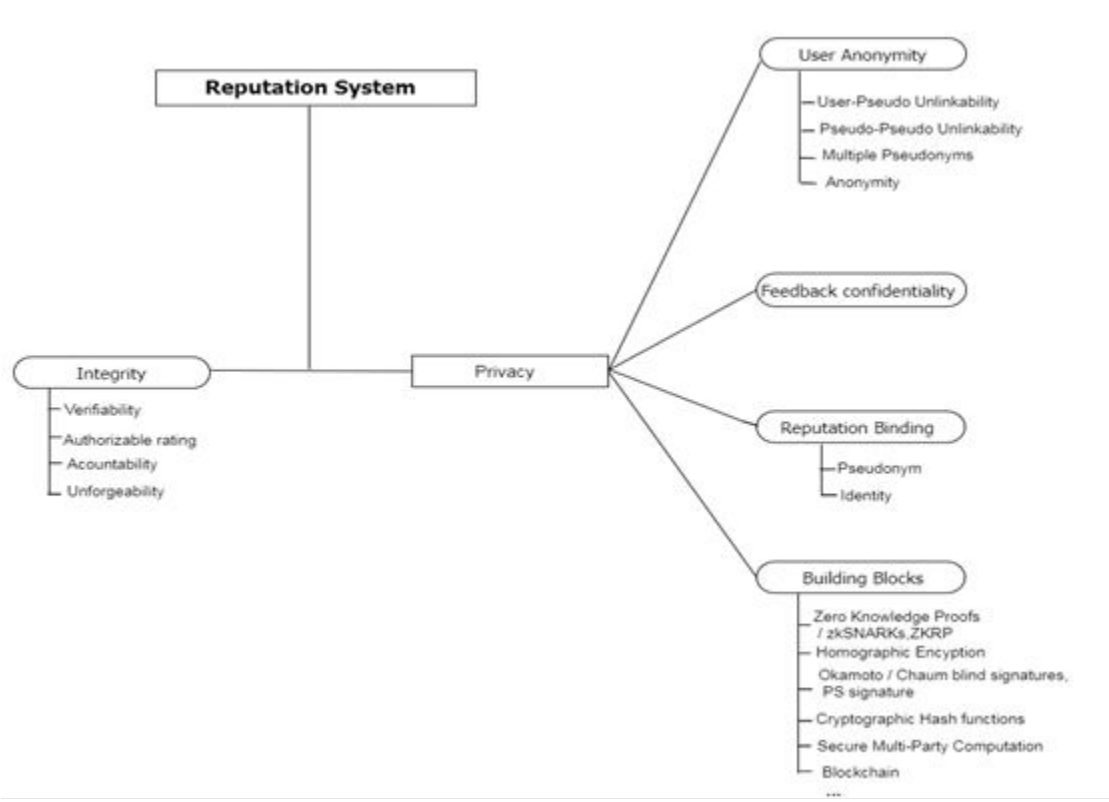
2.2.6 Υπολογιστικά Κόστη

Οι επιμέρους λειτουργίες ενός συστήματος φήμης, που περιλαμβάνουν την συλλογή αναδράσεων αξιολόγησης, την συνάθροιση (υπολογισμός φήμης), τη διάδοση και την ενημέρωση της φήμης, κ.α., δημιουργούν υπολογιστικό κόστος. Μετρικές για τον υπολογισμό του κόστους των διάφορων λειτουργιών του συστήματος αποτελούν:

1) Ο αριθμός των ανταλλασσόμενων μηνυμάτων
2) Το εύρος ζώνης που καταναλώνεται.
3) Τη χρήση των υπολογιστικών πόρων.
4) Τον αποθηκευτικό χώρος που απαιτείται.

2.2.7 Ακεραιότητα

Η σχεδιαστική απαίτηση για ακεραιότητα στα συστήματα φήμης αποσκοπεί στην αποτροπή ενδεχόμενης αλλοίωσης των τιμών φήμης κατά την υποβολή αναδράσεων αξιολόγησης είτε ως αποτέλεσμα δόλου είτε ως ακούσιου σφάλματος. Η ακεραιότητα οφείλει να διασφαλίζει την ακρίβεια, γνησιότητα και πληρότητα του βαθμού φήμης και των συναφών με αυτή διακινούμενων πληροφοριών κατά την διεξαγωγή συναλλαγών όπως και κατά τη διάδοση και ενημέρωση της τιμής της, ώστε να αποστέλλεται σε άλλες οντότητες όπως ακριβώς στάλθηκε.



Εικόνα 5: Δομικά Στοιχεία και Χαρακτηριστικά Συστήματος Φήμης με απαιτήσεις ακεραιότητας και ιδιωτικότητας

Στην βιβλιογραφία παρατίθενται πολύ συχνά τέσσερις προϋποθέσεις για την επίτευξη της ακεραιότητας που είναι οι εξής:

- *Επαληθευσιμότητα (Verifiability) των αναδράσεων αξιολόγησης (feedbacks).* Αναφέρεται στην εγκυρότητα των συναλλαγών και στην ορθότητα των υπολογισμών των τιμών φήμης. Για παράδειγμα, μία οντότητα θα πρέπει να είναι σε θέση να επαληθεύσει ότι όλες οι αναδράσεις αξιολόγησης που συνδέονται με την ταυτότητά

της α) σχετίζονται με καταγεγραμμένες συναλλαγές, και β) έχουν χρησιμοποιηθεί με ορθό και ακριβή τρόπο για τον υπολογισμό του βαθμού φήμης.

- *Εξουσιοδότηση για την υποβολή αναδράσεων αξιολόγησης (Authorizable rating)*. Μόνο οι οντότητες που εμπλέκονται σε μία συναλλαγή επιτρέπεται να αποστείλουν αναδράσεις αξιολόγησης για τη ληφθείσα ποιότητα υπηρεσίας. Με αυτό τον τρόπο, διασφαλίζεται η προστασία του συστήματος φήμης έναντι συγκεκριμένων τύπων επιθέσεων, όπως η συκοφάντηση (bad mouthing) και η αυτό-προβολή.

- *Λογοδοσία (Accountability):* Η ιδιότητα αυτή διασφαλίζει ότι το σύστημα φήμης μπορεί να «ανιχνεύει» και (δυνητικά) να τιμωρεί τις συναλλασσόμενες οντότητες που ακολουθούν ιδιοτελείς στρατηγικές ανειλικρίνειας, εκμεταλλευόμενες την διατήρηση της ανωνυμίας κατά τις συναλλαγές.

- *Αδιαβλητότητα της φήμης (Reputation Unforgeability)*. Σύμφωνα με την ιδιότητα αυτή, δεν επιτρέπεται ο δανεισμός ή η μεταφορά του βαθμού φήμης από μία οντότητα σε άλλη οντότητα. Για παράδειγμα, ένας πάροχος υπηρεσίας δεν θα πρέπει να είναι σε θέση να τροποποιήσει ή να δημιουργήσει μία πλαστή αξιολόγηση για την επίδοση υπηρεσίας προς μία άλλη οντότητα. Ομοίως μία οντότητα που ενεργεί ως Rater δεν επιτρέπεται να πλαστογραφήσει ένα κουπόνι που σχετίζεται με την αξιολόγηση/ ανατροφοδότηση (feedback) που αποστέλλει άλλη οντότητα Rater.

2.2.8 Ιδιωτικότητα

Η διασφάλιση της ιδιωτικότητας στα συστήματα φήμης προϋποθέτει την δυνατότητα ελέγχου πρόσβασης των συναλλασσόμενων οντοτήτων σε πληροφορίες σχετικά με την βαθμολόγηση της φήμης, καθώς ελλοχεύει ο κίνδυνος έκθεσης των πληροφοριών σχετικά με την συναλλακτική δραστηριότητα σε κακόβουλες οντότητες. Ως εκ τούτου, τα συστήματα φήμης που επιδιώκουν τη διατήρηση της ιδιωτικότητας δυνητικά θα πρέπει να πληρούν ένα υποσύνολο ή το σύνολο συγκεκριμένων απαιτήσεων όταν συνυπολογίζεται ο παράγοντας ασφάλειας. Οι απαιτήσεις αυτές συνοψίζονται στις εξής: Ανωνυμία, Μη-Συνδεσιμότητα, Ψευδωνυμία και Διαχείριση Ταυτότητας (reputation binding). Για την προστασία της ιδιωτικότητας εντοπίζονται διαφορετικές σχεδιαστικές προσεγγίσεις, κρυπτογραφικές μέθοδοι και πρωτόκολλα όπως που παρατίθενται στην Εικόνα 5 ως Building blocks.

Με βάση τα παραπάνω και έχοντας ως δεδομένο τις διαφορετικές υλοποιήσεις μηχανισμών ασφάλειας για την υποστήριξη της ιδιωτικότητας, τα συγκεκριμένα συστήματα φήμης διακρίνονται σε δύο ευρείες κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία, ανήκουν τα συστήματα φήμης που παρέχουν *εμπιστευτικότητα των αναδράσεων* αξιολόγησης/ανατροφοδοτήσεων ενώ στη δεύτερη κατηγορία, ο στόχος είναι η *διατήρηση της ανωνυμίας των συναλλασσόμενων* οντοτήτων με χρήση ενός ή πολλαπλών ψευδωνύμων που δεν μπορούν να συνδεθούν με την πραγματική τους ταυτότητα.

Συστήματα με εμπιστευτικότητα αναδράσεων αξιολόγησης. Σε τέτοιου τύπου συστήματα οι υποβληθείσες αναδράσεις αξιολόγησης που μετατρέπονται στη συνέχεια σε βαθμούς φήμης θεωρούνται ιδιωτική πληροφορία. Για την απόκρυψη των βαθμολογήσεων αξιολόγησης αξιοποιείται συνήθως το σχήμα των «Τυφλών υπογραφών» (Blind Signatures) (Chaum,1983), σε συνδυασμό με την έκδοση τυφλών κουπονιών που περικλείουν κρυπτογραφημένη την βαθμολόγηση της αξιολόγησης (Schaub et al., 2016). Στόχος των εν λόγω συστημάτων φήμης είναι η προστασία κάθε οντότητας που ενεργεί ως Rater για την αποτροπή αντιποίνων από τους παρόχους υπηρεσιών λόγω υποβολής αρνητικής αξιολόγησης (*retaliation*).

Συστήματα με διατήρηση της ανωνυμίας των συναλλασσόμενων. Τα συστήματα φήμης που δίνουν έμφαση στην διαφύλαξη της ανωνυμίας ακολουθούν μία εκ των δύο προσεγγίσεων αντιστοίχισης των τιμών φήμης με τα ψευδώνυμα των συναλλασσόμενων ομότιμων οντοτήτων:

- Στην πρώτη προσέγγιση, ο βαθμός φήμης κάθε ομότιμης οντότητας αντιστοιχεί στο ψευδώνυμο της, γεγονός που σημαίνει πως εάν χρησιμοποιηθεί ένα νέο ψευδώνυμο, τότε η οντότητα χάνει την φήμη της. Μειονέκτημα αυτής της προσέγγισης αποτελεί η εύκολη αλλαγή ψευδωνύμων, επειδή παρέχει ισχυρό κίνητρο σε ανέντιμες οντότητες με χαμηλές επιδόσεις να απαλλαγούν από το τρέχον ψευδώνυμο τους και να επανέλθουν στο σύστημα φήμης με ένα νέο ψευδώνυμο και άμεμπτο ιστορικό.
- Στην δεύτερη προσέγγιση, η φήμη μίας οντότητας είναι συνδεδεμένη με την πραγματική της ταυτότητα, οπότε η οντότητα μπορεί να διατηρεί την φήμη της ακόμα και αν χρησιμοποιήσει νέο ψευδώνυμο. Αυτό γίνεται συχνά εφικτό με την επαλήθευση της πραγματικής ταυτότητας της οντότητας πριν από την έκδοση ενός νέου ψευδωνύμου, γεγονός που δίνει έμμεσα κίνητρα για υποβολή ειλικρινών αξιολογήσεων.

Στην συνέχεια, γίνεται μία σύντομη αναφορά στα πρωτόκολλα και συστήματα κρυπτογραφίας που αξιοποιούνται για την επίτευξη των στόχων ασφάλειας κατά τον σχεδιασμό των χαρακτηριστικών των συστημάτων φήμης που επιδιώκουν την ιδιωτικότητα. Συγκεκριμένα, τα συστήματα φήμης με απαιτήσεις διασφάλισης ιδιωτικότητας χρησιμοποιούν πρωτόκολλα ασφαλείας όπως:

- οι τυφλές υπογραφές Chaum / Okamoto (Chaum,1983·Okamoto, 2006) για την προστασία της ταυτότητας των οντοτήτων Raters και την ανθεκτικότητα στις επιθέσεις,

- η απόδειξη μηδενικής γνώσης (zero-knowledge proof) (Camenisch et al., 2008) που επιτρέπει σε μία οντότητα να πείσει την άλλη οντότητα για την εγκυρότητα της βαθμολόγησης, χωρίς να χρειάζεται αποκάλυψη την τιμής αυτής,

- η συνάρτηση κατακερματισμού (hash function), η οποία ειδικά για τα συστήματα φήμης με έμφαση στην ιδιωτικότητα χρησιμοποιείται για την παραγωγή βραχυπρόθεσμων ψευδωνύμων, ή αναγνωριστικού συναλλαγής για την σύνδεση της αξιολόγησης με μία μεμονωμένη συναλλαγή,

- η ομομορφική κρυπτογραφία (homomorphic encryption) (Fan &Vercauteren, 2012) (π.χ. το κρυπτοσύστημα Paillier), η οποία επιτρέπει την εκτέλεση μαθηματικών πράξεων πάνω σε κρυπτογραφημένα δεδομένα, με τέτοιο τρόπο ώστε η αποκρυπτογράφηση του κρυπτο-αποτελέσματος να δίνει τιμή ίδια με αυτή που θα λαμβανόταν από την εκτέλεση των ίδιων πράξεων χωρίς κρυπτογράφηση,

- το Πρωτόκολλο Ασφαλών Υπολογισμών Πολλών Συμμετεχόντων (Secure multi-party computation) (Andrychowicz et al., 2016) που αξιοποιείται συνήθως σε συνδυασμό με το κρυπτοσύστημα κατωφλίου Paillier (threshold Paillier cryptosystem) (Paillier, 1999) (Damgård et al., 2001) για την απόκρυψη των μεμονωμένων βαθμολογήσεων και για τον υπολογισμό της συνολικού βαθμού φήμης βάσει μίας συνάρτησης συνάθροισης μέσω ανταλλαγής μηνυμάτων μεταξύ των οντοτήτων που συμμετέχουν σε αυτόν τον υπολογισμό,

- ο κατακερματισμός συναίνεσης (consensus hashing) (Ali et al., 2016), που συνήθως αξιοποιείται για την επαλήθευση των συναλλαγών αξιολόγησης.

Συνδυαζόμενη με τις παραπάνω τεχνικές, η τεχνολογία Blockchain, μπορεί να προσφέρει μια συνολική λύση αυξημένης ασφάλειας για αποκεντρικοποιημένα συστήματα φήμης με απαιτήσεις διασφάλισης της ιδιωτικότητας.

2.3 Ομαδική Φήμη

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται άρθρα στα οποία μελετώνται συστήματα τα οποία μελετούν την έννοια της ομαδικής φήμης, δηλαδή της φήμης μιας ομάδας οντοτήτων που συνεργατικά παρέχουν μια υπηρεσία και ο αξιολογητής βαθμολογεί την ποιότητα υπηρεσίας της «ομάδας» και όχι κάθε μέλους ξεχωριστά. Αυτά τα άρθρα είναι σχετικά με το σύστημα IoTFeds καθώς η έννοια της ομαδικής φήμης αξιοποιείται στα πλαίσια των ομοσπονδιών, αλλά και των προϊόντων καθώς ένα προϊόν ενδέχεται να αποτελείται από πολλαπλές πηγές δεδομένων/IoT συσκευές.

Blockchain-based reputation for group of agents. Το σύστημα φήμης που προτείνεται στα άρθρα των Fortino, et al. (2019) και Fortino, et al. (2021) χρησιμοποιεί την ομαδοποίηση πρακτόρων λογισμικού (software agents), εκμεταλλευόμενο τις ικανότητες τους για την προώθηση κοινωνικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ τους, ως έναν τρόπο επίλυσης του προβλήματος διαχείρισης της εμπιστοσύνης σε περιβάλλοντα ομόσπονδων δικτύων ετερογενών IoT συσκευών. Κάνοντας χρήση πρακτόρων λογισμικού για την εκπροσώπηση των φορητών συσκευών IoT, και ακολουθώντας την περίπτωση χρήσης του Κοινωνικού Διαδικτύου των Πραγμάτων, οι εν λόγω προσεγγίσεις στοχεύουν στον καθορισμό ενός πλαισίου εμπιστοσύνης για την σύναψη συνεργασιών και τον σχηματισμό ομάδων αξιόπιστων πρακτόρων (κατ' επέκταση και των παρόχων IoT συσκευών) στη βάση συγκρίσιμων τιμών εμπιστοσύνης, ώστε να επιτραπεί η ανταλλαγή πόρων και υπηρεσιών. Για να καταστεί δυνατή η αποκεντρικοποιημένη διάδοση της φήμης των πρακτόρων συσκευών χωρίς τη διαμεσολάβηση κάποιας έμπιστης κεντρικής αρχής, οι συγγραφείς των άρθρων αξιοποιούν το Ethereum blockchain.

Αναλυτικά, οι δύο αυτές προτάσεις των Fortino, et al. (2019) και Fortino, et al. (2021) εισάγουν το «κεφάλαιο φήμης» (Reputation Capital - RC) για κάθε πράκτορα λογισμικού, έναν βαθμό φήμης ο οποίος εξαρτάται από τις αναδράσεις αξιολογήσεων των IoT συσκευών. Κύρια επιδίωξη του προτεινόμενου μοντέλου φήμης είναι να παρέχει ικανοποιητικές αλληλεπιδράσεις και οικονομικά πλεονεκτήματα όπως απαιτούνται σε μια αγορά δικτυακών υπηρεσιών IoT, στην περίπτωση που μία συσκευή με βάση τις τιμές του κεφαλαίου φήμης αιτηθεί της συνεργασίας εντός μίας ομάδας αξιόπιστων πρακτόρων. Επιπρόσθετος στόχος είναι η ανάπτυξη αντίμετρων κατά των επιθέσεων συμπαιγνίας από κακόβουλους πράκτορες με βάση το κεφάλαιο φήμης.

Το προτεινόμενο μοντέλο υπολογίζει το RC λαμβάνοντας υπόψη αποκλειστικά και μόνο τις πιο πρόσφατες αλληλεπιδράσεις στην ιστορία του πράκτορα/παρόχου με τις άλλες IoT συσκευές. Οι συγκεκριμένες αλληλεπιδράσεις χαρακτηρίζονται ως «*ειδικές αλληλεπιδράσεις*» του πράκτορα/παρόχου (qualified interactions - QIs) και είναι σταθμισμένες με βάση τη φρεσκάδα τους (Freshness), δηλαδή πόσο πρόσφατες είναι. Σημειώνεται, ότι οι QIs αναφέρονται στον αριθμό των αναδράσεων αξιολόγησης (feedback scores) που ελήφθησαν σε σταθερό (χρονικό) ορίζοντα h καθώς και στη συνάφειά τους (Relevance) R σε σχέση με το κόστος της υπηρεσίας. Ο δε χρονικός ορίζοντας h κυμαίνεται μεταξύ ενός εύρους τιμών $[4, 10] \in N$ που αυξάνεται με βήμα 2. Επιπλέον, για έναν συγκεκριμένο χρονικό ορίζοντα γίνεται η υπόθεση ότι κάθε πράκτορας μπορεί να υποβάλλει αποκλειστικά και μόνο μία αξιολόγηση στο κεφάλαιο φήμης RC ενός άλλου πράκτορα, η οποία θα πρέπει να αντιστοιχεί στην πιο πρόσφατη αλληλεπίδραση.

Η προσέγγιση υπολογισμού της συνολικής τιμής *RC* ενός πράκτορα i που έχει ρόλο καταναλωτή με βάση τις πιο πρόσφατες αλληλεπιδράσεις/συναλλαγές που είχε με έναν πράκτορα j που ενεργεί ως πάροχος υπηρεσίας στο χρονικό ορίζοντα h, στην πρώτη πρόταση δίνεται σύμφωνα με τη σχέση (1):

$$RC_i = \sum_{n=1}^{h} \omega_n \cdot C_{j,n} \cdot R_{ji,n}^{n^{-1}} \cdot f_{ji,n} \quad (1)$$

όπου,

- ω: εκφράζει την σταθμισμένη φρεσκάδα (Freshness weight), ώστε οι πιο πρόσφατες συναλλαγές/αλληλεπιδράσεις να έχουν μεγαλύτερο βάρος,
- C: είναι η αξιοπιστία (Credibility), μία παράμετρος για την αντιμετώπιση κακόβουλων αξιολογήσεων και πρακτόρων, η οποία λαμβάνει υπόψη τον αριθμό των αρνητικών αξιολογήσεων NF που υποβάλλονται από τους πράκτορες j που ενεργούν ως καταναλωτές έναντι των συνολικών αλληλεπιδράσεών NT τους σύμφωνα με την ακόλουθη συνθήκη (2):

$$C_j = \begin{cases} 1, & \frac{NF}{NT} \leq 0.5 \\ 1 - \frac{NF}{NT}, & \frac{NF}{NT} > 0.5 \end{cases} \quad (2)$$

- R: εκφράζει την συνάφεια με βάση το κόστος υπηρεσίας (p_s) και P είναι μία τιμή κατωφλίου κόστους πάνω από την οποία η συνάφεια της υπηρεσίας θεωρείται «*κορεσμένη*»(saturated) (R=1). Η συνάφεια υπολογίζεται σύμφωνα με την ακόλουθη συνθήκη (3):

$$R_{ji} = \begin{cases} \frac{p_s}{P}, & όταν\ p_s < P \\ 1, & διαφορετικά \end{cases} \quad (3)$$

- f_{ji}: αποτελεί την αξιολόγηση του πράκτορα-καταναλωτή *i* για την υπηρεσία παροχής IoT πόρων, που προσφέρει ένας πράκτορας-πάροχος j, με εύρος τιμών που κυμαίνεται μεταξύ [0, 1] ∈ R, όπου «1» αντιπροσωπεύει την υψηλότερη τιμή αξιολόγησης. Επιπλέον ορίζεται ένα κατώφλι ίσο με 0.5 για την ευχέρεια στη διάκριση ανάμεσα στις «*κακές*» και τις «*καλές*» αναδράσεις αξιολόγησης. Έτσι για παράδειγμα, μια τιμή f< 0.5 αντιπροσωπεύει μια «κακή» αξιολόγηση.

Το RC αναπαρίσταται από μία αριθμητική τιμή, έναν πραγματικό θετικό αριθμό. Οι υψηλές θετικές τιμές RC αναπαριστούν την «*καλή*» φήμη. Κάθε νεοεισερχόμενος πράκτορας λαμβάνει μία αρχική τιμή RC, η οποία δεν θα πρέπει να είναι τιμωρητέα, ωστόσο θα πρέπει να λειτουργεί ως αντικίνητρο έναντι των επιθέσεων συμπαιγνίας ανειλικρινών πρακτόρων παραγόντων που στοχεύουν να επιστρέψουν για να λάβουν ένα νέο αρχικό ευνοϊκό RC.

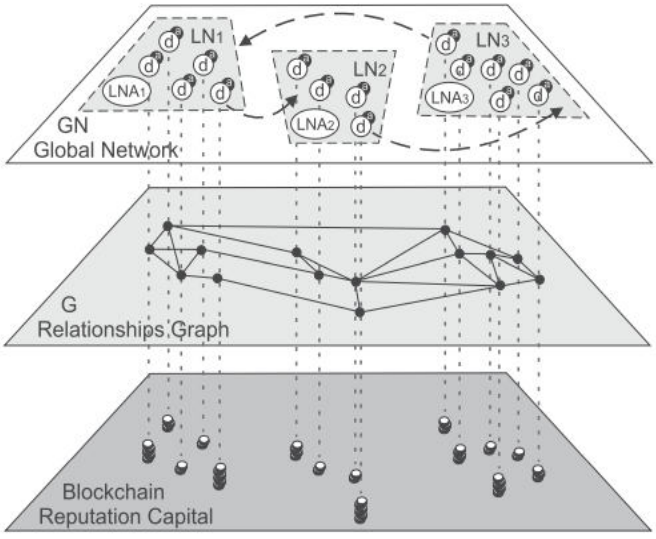
Επιπλέον, με σκοπό την αποφυγή των επιθέσεων συμπαιγνίας από κακόβουλους πράκτορες που προσβλέπουν σε ταχεία αύξηση της τιμής RC, το μοντέλο φήμης κάνει την υπόθεση πως εντός του χρονικού ορίζοντα κάθε πράκτορας μπορεί να συνεισφέρει μόνο μία φορά στο RC ενός άλλου πράκτορα και μόνο με την πιο πρόσφατη αξιολόγηση.

Χρησιμοποιώντας το ίδιο σκεπτικό με τα ανωτέρω, δίδεται η κατωτέρω σχέση (Εξ. 4) για τον υπολογισμό της ενημέρωσης του κεφαλαίου φήμης του RC_i του πράκτορα / παρόχου υπηρεσιών IoT στην δεύτερη προτεινόμενη προσέγγιση από τους Fortino et al. (2021).

$$RC_i = \sum_{n=1}^{h} \omega_n \cdot \delta_n \cdot R_{n,i} \cdot \varphi_{n,i} \quad (4)$$

Οι μικρές διαφορές που προκύπτουν στη σχέση αυτή αφορούν την μετονομασία της παραμέτρου «*αξιολόγηση*» f σε φ , την μετεξέλιξη της παραμέτρου «αξιοπιστία» C σε δ , όπου δ, στην προκείμενη προσέγγιση είναι ο βαθμός άμβλυνσης της επίπτωσης των πρακτόρων που παρέχουν χαμηλές αξιολογήσεις καθώς και τον ορισμό της «*ειδικής αλληλεπίδρασης*». Επομένως, σύμφωνα με το νέο ορισμό, μια αλληλεπίδραση χαρακτηρίζεται ως ειδική (QI) εάν πληρούνται μία από τις δύο ακόλουθες συνθήκες (i) φ < 0.5 ή (ii) R ≥ φ ≥ 0.5. Ο λόγος πίσω από αυτόν τον τελευταίο ορισμό είναι για να διακρίνονται οι αλληλεπιδράσεις που έχουν τιμές φ ≥ 0,5 και, ταυτόχρονα, μια τιμή συνάφειας R < 0.5.

Στην Εικόνα 6 παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του προτεινόμενου πλαισίου συστήματος φήμης, η οποία είναι κοινή και για τις προτάσεις. Η αρχιτεκτονική απαρτίζεται από τρία στρώματα τα οποία αντιστοιχούν και ανταποκρίνονται σε διαφορετικά λειτουργικά στοιχεία και λειτουργικές φάσεις. Το καθολικό στρώμα που συνίσταται από τοπικά ομόσπονδα δίκτυα πρακτόρων συνδεδεμένα με τις IoT συσκευές το στρώμα της σχεσιακού γράφου που αναπαριστά κόμβους που αντιπροσωπεύουν τους πράκτορες και τις σχέσεις μεταξύ τους. Και το στρώμα Blockchain που χειρίζεται μέσω έξυπνων συμβολαίων την ενημέρωση της συνολικής τιμής του «*κεφαλαίου φήμης*» κάθε πράκτορα/παρόχου και όλες τις πληροφορίες που αφορούν τις αλληλεπιδράσεις/συναλλαγές του (π.χ. το αναγνωριστικό του πράκτορα που σχετίζεται με το κεφάλαιο φήμης, τον αριθμό των αλληλεπιδράσεων που ολοκληρώθηκαν επιτυχώς, ματαιώθηκαν, είχαν χαμηλή αξιολόγηση, τον κατάλογο των πρόσφατων συναλλαγών που αποτελούν την τρέχουσα τιμή του RC).



Εικόνα 6: Η αρχιτεκτονική του προτεινόμενου πλαισίου φήμης βάσει πρακτόρων.

Οι δυο συμπληρωματικές προτάσεις που προτείνονται στα άρθρα των Fortino et al. (2019) και Fortino et al. (2021) εμπλέκονται επιπρόσθετα στην παρουσίαση ενός αλγορίθμου για την δημιουργία ομάδων των πρακτόρων βάσει του «*κεφαλαίου φήμης*». Ωστόσο στην προτεινόμενη προσέγγιση των Fortino et al. (2021) περιγράφεται η στρατηγική ομαδοποίησης μέσα από την υλοποίηση ενός αλγορίθμου δύο φάσεων. Ο εν λόγω αλγόριθμος, σε αντίθεση με την προσέγγιση που παρουσιάζεται από τους Fortino et al. (2019), όπου καθορίζεται ο αριθμός των ομάδων και το κατώφλι φήμης για την ένταξη ενός πράκτορα σε μια ομάδα, δίνει τη δυνατότητα υπολογισμού των προαναφερθέντων παραμέτρων με βάση τα χαρακτηριστικά των IoT συσκευών.

Τα πειραματικά αποτελέσματα και στις δύο προτάσεις συστημάτων φήμης έδειξαν υψηλή αν και κυμαινόμενη ακρίβεια στην αναγνώριση κακόβουλων επιθέσεων λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές των RC και μεταβάλλοντάς τον ορίζοντα και τον αριθμό των κακόβουλων οντοτήτων. Επιπλέον, ο νέος αλγόριθμος ομαδοποίησης παρουσιάζει καλά αποτελέσματα σε διάφορες περιπτώσεις δυναμικών δικτύων (όπου η τοπολογία του τοπικού δικτύου και ο αριθμός ή / και η συμπεριφορά των πρακτόρων αλλάζει) ενώ οι κακόβουλοι πράκτορες πληρώνουν πάντα περισσότερα από τους ειλικρινείς για υπηρεσίες. Ωστόσο, σημειώνεται ότι προσεγγίσεις σαν τις προκείμενες που βασίζονται στην έννοια σύνθεσης ομάδων για την διαχείριση της εμπιστοσύνης απαιτούν συνήθως υψηλούς υπολογιστικούς πόρους και μπορεί να οδηγήσουν σε ζητήματα επιθέσεων «διπλής δαπάνης» (double spending) [2].

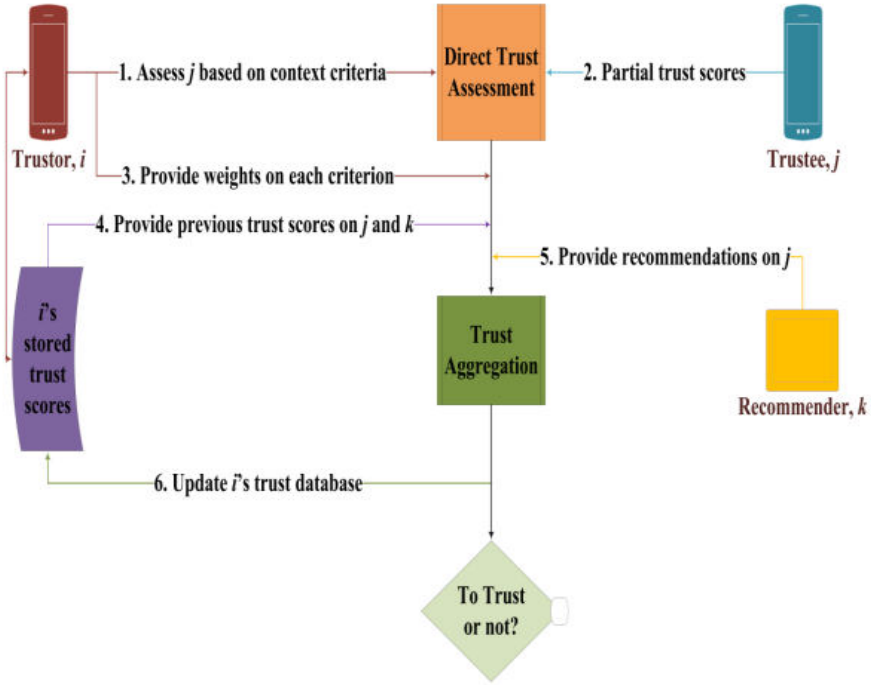
Trust Models for collaborative service composition. Οι Adewuyi et al. (2019) προτείνουν ένα μοντέλο εμπιστοσύνης, με την ονομασία CTRUST, για την προώθηση των συνεργασιών μεταξύ κόμβων IoT κατά την ανταλλαγή δεδομένων για την υποστήριξη εφαρμογών. Σε αυτό το μοντέλο, η προσέγγιση αξιολόγησης της εμπιστοσύνης γίνεται με βάση τις τρέχουσες και τις προηγούμενες άμεσες συναλλαγές καθώς και τις συστάσεις άλλων κόμβων IoT. Για τον υπολογισμό μιας τιμής εμπιστοσύνης που σχετίζεται με ένα πλαίσιο συνεργασίας καθορίζονται αντικειμενικές μετρικές που αντιπροσωπεύουν το QoS καθώς και υποκειμενικές, μη τεχνικές, μετρικές, όπως η ειλικρίνεια, η συνεργατικότητα, η φιλικότητα. Η αξιολόγηση ενός κόμβου-παρόχου συνεργατικής εφαρμογής σε μια μετρική ονομάζεται *μερική τιμή εμπιστοσύνης (partial trust score)*. Κάθε κόμβος IoT, που λειτουργεί ως trustor συμμετέχοντας σε ένα συγκεκριμένο συνεργατικό σχήμα (εφεξής χρήστης) έχει διαφορετικά κριτήρια με τα οποία επιλέγει τις μετρικές και αξιολογεί τις συνολικές του επιδόσεις. Ως εκ τούτου, το μοντέλο μπορεί να προσαρμοστεί σε διάφορα πλαίσια συνεργασίας. Κάθε χρήστης αναθέτει σχετικά βάρη για κάθε μετρική με βάση τις υποκειμενικές προτιμήσεις και τις ανάγκες του για τις επιδόσεις μιας συνεργατικής λήψης εφαρμογής. Η επιλογή των βαρών από τον χρήστη χρησιμεύει για την στάθμιση των μερικών τιμών εμπιστοσύνης πριν την συνάθροισή τους.

Οι κόμβοι αλληλεπιδρούν χωρίς τη διαμεσολάβηση κάποιας έμπιστης κεντρικής αρχή, οπότε η επικοινωνία είναι αποκεντρικοποιημένη. Σύμφωνα με την παρούσα μελέτη, το αποτέλεσμα κάθε συναλλαγής και η τιμή εμπιστοσύνης (συνολική ή μερική) για κάθε μετρική για έναν συγκεκριμένο κόμβο-πάροχο δύναται να αποθηκεύεται σε αλυσίδα μπλοκ, δηλαδή το blockchain. Μια συνάρτηση «πεποιθήσεων» (belief function) χρησιμοποιείται ως μέθοδος αξιολόγησης των συστάσεων στο CTRUST για τον προσδιορισμό του βαθμού αποδοχής συστάσεων ενός π.χ. κόμβου *i* για τον ομότιμο κόμβο *j* από τον κόμβο *k* . Η εν λόγω μέθοδος λαμβάνει υπόψη διάφορες μετρικές, γεγονός που την διαφοροποιεί από τα υφιστάμενα μοντέλα εμπιστοσύνης στην βιβλιογραφία, τα οποία βασίζονται στη τιμή εμπιστοσύνης ή φήμης των παρόχων συστάσεων. Επιπλέον, στο προτεινόμενο μοντέλο μελετήθηκαν οι επιδράσεις της χρονικής εξασθένισης και της ωριμότητας στη διαδικασία αξιολόγησης της εμπιστοσύνης.

Για τον υπολογισμό της συνολικής τιμής εμπιστοσύνης για έναν κόμβο-πάροχο IoT, επιλέγεται η στατιστική συνάθροιση των μερικών τιμών εμπιστοσύνης και συγκεκριμένα το δυναμικό σταθμισμένο άθροισμα (dynamic weighted sum method). Οι ενημερώσεις εμπιστοσύνης γίνονται μετά από κάθε συναλλαγή. Εκτός από τις άμεσες αξιολογήσεις, οι ενημερώσεις συμπεριλαμβάνουν την συνάθροιση όλων των προηγούμενων τιμών εμπιστοσύνης στην ιστορία του κόμβου παρόχου (μετά την εφαρμογή της συνάρτησης της χρονικής εξασθένισης) καθώς και τις συστάσεις που αξιολογούνται μέσω της συνάρτησης «πεποιθήσεων».

Ένα διάγραμμα ροής του μοντέλου εμπιστοσύνης του CTRUST απεικονίζεται στην Εικόνα 7.

[2] Double spend: αποτελεί επίθεση δύο σταδίων, που πραγματοποιείται στην πλειοψηφία των πλατφορμών blockchain. Η κακόβουλη οντότητα έχει σαν τελικό στόχο την αντιστροφή μίας ή παραπάνω, συναλλαγής που έχει ήδη πραγματοποιήσει.



Εικόνα 7: Διάγραμμα ροής των βημάτων που περιλάμβανονται στο μοντέλο εμπιστοσύνης CTRUST.

Σχετικά με την ενημέρωση των μερικών τιμών εμπιστοσύνης, το προτεινόμενο μοντέλο εμπιστοσύνης εισάγει τον παράγοντα «*ωριμότητα της εμπιστοσύνης*» (trust maturity). Ο συγκεκριμένος παράγοντας είναι σχετικός με το χρονικό εκείνο σημείο κατά το οποίο οι άμεσες αξιολογήσεις του χρήστη επαρκούν για τον υπολογισμό των μερικών τιμών εμπιστοσύνης του παρόχου για κάθε μετρική. Μόλις καθοριστεί αυτή η τιμή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μελλοντικές αξιολογήσεις για να σταθμιστούν προηγούμενες τιμές εμπιστοσύνης συμπεριλαμβανομένων και των συστάσεων.

Σε μία δεύτερη ερευνητική εργασία των Adewuyi et al. (2022), το συγκεκριμένο μοντέλο CTRUST προσαρμόζεται και επεκτείνεται σε ένα νέο μοντέλο εμπιστοσύνης με την ονομασία SC-TRUST. Στόχος του νέου μοντέλου είναι να εντάξει δύο νέες λειτουργίες, που είναι σχετικές με την σύνθεση και την αποσύνθεση των υπηρεσιών που παρέχονται από παρόχους IoT και λειτουργούν συμπληρωματικά με το μοντέλο εμπιστοσύνης. Οι κύριες συνεισφορές της επέκτασης στις παραπάνω λειτουργίες είναι: α) η παραγωγή συνάρτησης σύνθεσης της εμπιστοσύνης για να καθοριστεί ποιοι πάροχοι IoT μπορούν να επιλεγούν σε μία σύνθεση υπηρεσιών, και β) η μοντελοποίηση μίας συνάρτησης αποσύνθεσης της εμπιστοσύνης για την επικαιροποίηση εκ των υστέρων των τιμών εμπιστοσύνης των παρόχων υπηρεσιών που συμμετείχαν στην σύνθεση. Οι συναρτήσεις σύστασης και αποσύνθεσης βασίζονται στο μοντέλο CTRUST αλλά χρησιμοποιούνται στη βάση αξιολογήσεων σε κοινές παραμέτρους ανάμεσα στις υποκείμενες υπηρεσίες πριν την σύνθεση και στην συντεθειμένη υπηρεσία κατά την κατανάλωση της τελευταίας. Επίσης, όπως και στο CTRUST, η συνολική τιμή εμπιστοσύνης υπολογίζεται με βάση την αντικειμενική αξιολόγηση της επίδοσης ενός κόμβου σε τεχνικές μετρικές και λαμβάνοντας υπόψη τις υποκειμενικές προτιμήσεις των χρηστών.

2.4 Υλοποιήσεις Συστημάτων Φήμης και Εμπιστοσύνης για IoT Περιβάλλοντα που Αξιοποιούν την Τεχνολογίες DLT

Τα συστήματα φήμης, όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, χρησιμοποιούν πληροφορίες σχετικά με την *συναλλακτική συμπεριφορά* οντοτήτων για τον υπολογισμό των βαθμών φήμης. Η τεχνολογία DLT (π.χ. blockchain) μπορεί να προσφέρει την κατάλληλη προγραμματιστική και υπολογιστική υποδομή για τη δημιουργία, αποθήκευση και διαχείριση

αξιόπιστων δεδομένων συμπεριφοράς. Οι εγγενείς ιδιότητες της εν λόγω τεχνολογίας, όπως η αποκεντρικοποίηση, η αμεταβλητότητα, η ανωνυμία, η διαφάνεια και η ιχνηλασιμότητα κατά την ψηφιακή καταγραφή και αποθήκευση των δεδομένων συναλλαγών, σε συνδυασμό με τους μηχανισμούς συναίνεσης και τα έξυπνα συμβόλαια που υποστηρίζονται μπορούν να επιφέρουν σημαντικές βελτιώσεις και οφέλη στα συστήματα φήμης.

Η αποκεντρικοποιημένη αρχιτεκτονική των DLT αφαιρεί την αναγκαιότητα παρεμβολής τρίτου έμπιστου μέρους (Third Trusted Party-TTP) για τον έλεγχο της αξιοπιστίας των συναλλασσόμενων οντοτήτων και τη διαχείριση της συνάθροισης των ανατροφοδοτήσεων βαθμολόγησης. Έτσι, εξαλείφεται ο κίνδυνος παραποίησης ή παραβίασης των διαδικασιών υπολογισμού της φήμης από την χρησιμοποίηση τρίτων μερών σε ρόλο συναθροιστή των βαθμολογήσεων. Αυτό συμβάλλει στον μετασχηματισμό των παραδοσιακών συστημάτων φήμης σε συστήματα χωρίς εμπιστοσύνη (trustless systems), όπου οι οντότητες αλληλεπιδρούν χωρίς απαραίτητα να υπάρχει εμπιστοσύνη μεταξύ τους, διατηρώντας παράλληλα την εμπιστοσύνη στην ορθότητα των αποτελεσμάτων. Όσον αφορά τη διασφάλιση της ακεραιότητας των καταγραφών των συναλλαγών και των αξιολογήσεων, τα συστήματα φήμης στηρίζονται σε σημαντικό βαθμό στις ιδιότητες των DLT για το αμετάβλητο και την ακριβή αναπαραγωγή αρχείων φήμης σε πολλαπλά αντίγραφα. Συγκεκριμένα, με την χρήση τεχνικών κατακερματισμού (δηλ. μία κρυπτογραφική συνάρτηση) για την προστασία του απορρήτου, δίνεται η δυνατότητα σε κάθε οντότητα στο DLT να διαπιστώσει την ύπαρξη ενός διαφανούς, προσβάσιμου και αμετάβλητου αντιγράφου του καθολικού των υπολογισμών που σχετίζονται με τις συναλλαγές στο σύστημα φήμης.

Η επίτευξη συναίνεσης με αποκεντρωμένο τρόπο μέσω των αντίστοιχων μηχανισμών αποτελεί άλλη μία ιδιότητα της τεχνολογίας DLT που δύναται να αξιοποιηθεί για να επιβάλει την συνεργασία στην επικύρωση συναλλαγών, με έμφαση σε εκείνες που περιλαμβάνουν τις αναδράσεις αξιολόγησης και τις βαθμολογήσεις φήμης. Από την άλλη, τα έξυπνα συμβόλαια που χρησιμοποιούνται συνεπικουρικά στα DLT για τη διαχείριση των συναλλαγών βοηθούν στην αυτοματοποίηση του συστήματος φήμης, όπου συναλλαγές και αναδράσεις αξιολόγησης υπό συνθήκη αρχειοθετούνται, εκτελούνται και διανέμονται σε όλο το DLT. Συνεπώς, τα έξυπνα συμβόλαια παρέχουν σημαντικές λειτουργίες στο σύστημα φήμης, αναλαμβάνοντας να εκτελέσουν τον υπολογισμό και την ενημέρωση των βαθμών φήμης. Σε συνέχεια αυτών των αξιοσημείωτων ιδιοτήτων που προσφέρει η τεχνολογία DLT στα συστήματα φήμης, οι ερευνητές έχουν προτείνει πληθώρα μηχανισμών φήμης εξετάζοντας την ιδέα εφαρμογής της σε πολύπλοκα διαδικτυακά περιβάλλοντα, συμπεριλαμβανομένων των IoT δικτύων.

Εστιάζοντας στις πλατφόρμες IoT, που αποτελεί και το ερευνητικό αντικείμενο του έργου IoTFeds, πέραν από τις βελτιώσεις σε θέματα ασφάλειας, η ενσωμάτωση των συστημάτων φήμης και εμπιστοσύνης βασισμένα σε DLT χρησιμοποιείται για την ενίσχυση της συνεργασίας των οντοτήτων IoT και την αύξηση της αξιοπιστίας, με ένα τρόπο που αποτρέπει εμφάνιση ζητημάτων κλιμακωσιμότητας. Οι βαθμοί φήμης μπορούν να παρέχουν ένα ενιαίο πλαίσιο για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με συναλλαγές που εμπλέκουν οντότητες από διάφορα επίπεδα του οικοσυστήματος IoT (π.χ., πάροχοι IoT συσκευών, πάροχοι πλατφορμών IoT, πάροχοι υπηρεσιών δεδομένων, κ.α.). Οι επιδόσεις και η αξιοπιστία των υπηρεσιών, σε οποιοδήποτε επίπεδο, ποσοτικοποιούνται ως τιμές φήμης, παρέχοντας έτσι στους καταναλωτές εγγυήσεις της ποιότητας και αξιοπιστίας ενός παρόχου και μίας υπηρεσίας.

Στην υπόλοιπο της τρέχουσα ενότητας, γίνεται επισκόπηση άρθρων που αποτελούν αντιπροσωπευτικές μελέτες για τον σχεδιασμό αποκεντρικοποιημένων συστημάτων φήμης και εμπιστοσύνης σε IoT περιβάλλοντα.

Trust Management in Decentralized IoT Access Control System. Οι Putra et al.(2020) ανέπτυξαν ένα αποκεντρικοποιημένο σύστημα διαχείρισης εμπιστοσύνης και φήμης για τον έλεγχο της πρόσβασης σε συσκευές IoT χρησιμοποιώντας το ιδιωτικό δίκτυο Ethereum blockchain. Οι συσκευές IoT στο συγκεκριμένο μοντέλο φήμης και εμπιστοσύνης αντιστοιχούν

σε κόμβους, οι οποίοι με τη σειρά τους αντιπροσωπεύουν είτε τους παρόχους υπηρεσιών (π.χ. αισθητήρες θερμοκρασίας) οι οποίοι είναι κάτοχοι των πόρων IoT, είτε τους καταναλωτές υπηρεσιών, οι οποίοι επιθυμούν να καταναλώσουν τους συγκεκριμένους πόρους.

Η προσέγγιση αυτή υιοθετεί πολιτική ελέγχου πρόσβασης σε IoT συσκευές βάσει διακριτών λογικών χαρακτηριστικών/γνωρισμάτων (Boolean attributes) με στόχο την δυναμική διαχείριση δικαιωμάτων πρόσβασης. Η πολιτική πρόσβασης εκφράζει ένα σύνολο κανόνων που μπορεί να αξιολογήσει πολλά χαρακτηριστικά που διέπουν τους αιτούντες πρόσβαση στους IoT πόρους των συσκευών. Η καταλληλόλητα για πρόσβαση ορίζεται από τον πάροχο υπηρεσιών, στη δικαιοδοσία του οποίου, είναι ο καθορισμός, η ενημέρωση και η ανάκληση των πολιτικών πρόσβασης. Η φήμη και η εμπιστοσύνη ενσωματώνονται σε αυτήν την πολιτική ελέγχου πρόσβασης για να εκχωρηθούν διαφορετικά επίπεδα δικαιωμάτων πρόσβασης σε διαφορετικές IoT συσκευές κατά τη διάρκεια των συναλλαγών μεταξύ των καταναλωτών και των παρόχων υπηρεσιών.

Το σύστημα φήμης αξιοποιεί τρία έξυπνα συμβόλαια που αυτοματοποιούν την διαδικασία επικύρωσης χαρακτηριστικών, τον υπολογισμό αξιοπιστίας και την επικύρωση πολιτικής πρόσβασης. Συγκεκριμένα, ένας καταναλωτής θα πρέπει να καταχωρίσει τα χαρακτηριστικά του (π.χ. προδιαγραφές υλικού, βαθμός εμπιστοσύνης και φήμης) πριν ζητήσει πρόσβαση σε IoT πόρους. Ο βαθμός της εμπιστοσύνης ενός καταναλωτή υπολογίζεται από έναν πάροχο υπηρεσιών με βάση το ιστορικό των προηγούμενων θετικών και αρνητικών αξιολογήσεων των συναλλαγών που είχε με τον συγκεκριμένο καταναλωτή, γεγονός που αποτυπώνει την υποκειμενικότητα της εμπιστοσύνης. Όπως και στις πραγματικές κοινωνικές αλληλεπιδράσεις, η εμπιστοσύνη αυξάνεται σταδιακά από τη θετική εμπειρία στις συναλλαγές και μειώνεται σημαντικά από μια αρνητική εμπειρία.

Για την ανάπτυξη της εμπιστοσύνης μεταξύ των συναλλασσόμενων μερών το συγκεκριμένο μοντέλο εμπιστοσύνης αξιοποιεί τη συνάρτηση Gompertz (Huang et al., 2010) η οποία λαμβάνει υπόψη τις αξιολογήσεις των πρόσφατων συναλλαγών ως πιο σχετικές από τις προηγούμενες, με μία λειτουργία γήρανσης (decay function), η οποία αποδίδει υψηλότερα βάρη για πρόσφατες συναλλαγές και χαμηλότερα βάρη για προηγούμενες συναλλαγές. Συγκεκριμένα ο βαθμός φήμης $Rep_{i,n}$ ενός καταναλωτή IoT πόρων i κατά την n-ιοστή συναλλαγή υπολογίζεται με βάση την εξής συνάρτηση (5):

$$Rep_{i,n} = \left(\sum_{i=1}^{1} \beta_t \cdot \lambda^{(n-t)} \right) \ln\left(N_{peers}\right) \quad (5)$$

$$\beta_t \begin{cases} \beta_{pos}\text{ , αν η αλληλεπίδραση ήταν θετική} \\ \beta_{neg}\text{, αν η αλληλεπίδραση ήταν αρνητική} \end{cases}$$

Όπου β_t είναι το βάρος με $\beta_{neg} < 0$ και $\beta_{pos} > 0$ να αντιπροσωπεύουν τη στάθμιση με θετικό και αρνητικό βάρος αντίστοιχα , $\lambda^{(n-t)}$ είναι η παράμετρος γήρανσης (π.χ. $0 < \lambda < 1$), και N_{peers} είναι ο αριθμός των συναλλασσόμενων κόμβων. Το μοντέλο φήμης θέτει $\beta_{pos} < |\beta_{neg}|$ έτσι ώστε να είναι δυσκολότερη η αύξηση της φήμης από την απώλεια. Για τους νεοεισερχόμενους καταναλωτές, ο βαθμός φήμης είναι μηδέν.

Τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι το σύστημα προσφέρει επεκτασιμότητα και διατήρηση του απορρήτου. Επίσης είναι σε θέση να αντιμετωπίσει κακόβουλες επιθέσεις τύπου Bad mounting και Sybil attacks. Ο λόγος είναι ότι μια αρχή χαρακτηριστικών καταγράφει τη σχέση μεταξύ χαρακτηριστικών και πραγματικών πληροφοριών συσκευής, έτσι ώστε ένας κόμβος να μην μπορεί να καταχωρηθεί ξανά.

Blockchain-based Decentralized Trust Management in Vehicular Networks. Ένα σύστημα φήμης για την αξιολόγηση της αξιοπιστίας των δεδομένων στα Ειδικού Σκοπού Δίκτυα

Οχημάτων (Vehicular Ad Hoc Networks - VANETs) κάνοντας χρήση της τεχνολογίας blockchain, προτείνεται από τους Yang et al. (2018). Πρόκειται για ένα αποκεντρικοποιημένο και υβριδικό σύστημα, όπου κάθε όχημα αξιολογεί την αξιοπιστία γειτονικών οχημάτων στο VANET βάσει των μηνυμάτων που παραλαμβάνει από αυτά. Η αξιολόγηση αξιοπιστίας είναι μία αριθμητική τιμή που ορίζεται ως -1 για τα αναξιόπιστα μηνύματα και $+1$ για τα αξιόπιστα.

Συγκεκριμένα, για την διαδικασία αξιολόγησης της εμπιστοσύνης ακολουθούνται τα εξής βήματα: κάθε όχημα συλλέγει μηνύματα από τα γειτονικά του οχήματα, τα οποία βρίσκονται εγγύτερα στην τοποθεσία ενός συμβάντος και είναι συνήθως ευκολότερο να διεξάγουν ακριβέστερη αξιολόγηση του συμβάντος. Αξιοποιώντας το μοντέλο Bayesian Inference κάθε όχημα - παραλήπτης είναι σε θέση να υπολογίσει τη συνολική τιμή αξιοπιστίας ενός συμβάντος από την συνάθροιση των επιμέρους αριθμητικών αξιολογήσεων σχετικά με τα ληφθέντα μηνύματα που αναφέρονται σε αυτό το συμβάν. Οι αριθμητικές αξιολογήσεις μαζί με τα αναγνωριστικά των μηνυμάτων και των οχημάτων παραλήπτη και δέκτη μεταφορτώνονται περιοδικά στις πλησιέστερες παρόδιες μονάδες (RoadSide Units-RSUs). Στη συνέχεια οι RSUs υπολογίζουν αλγεβρικά την αντιστάθμιση των τιμών εμπιστοσύνης για κάθε εμπλεκόμενο όχημα σχετικά με συγκεκριμένο μήνυμα (εάν λαμβάνει διαφορετικές αξιολογήσεις) χρησιμοποιώντας σταθμισμένη συνάθροιση (weighted aggregation). Στο συγκεκριμένο σύστημα, η αντιστάθμιση της τιμής εμπιστοσύνης κυμαίνεται μεταξύ -1 και +1 και εκφράζει τη φήμη του οχήματος στην μετάδοση αξιόπιστων μηνυμάτων στο VANET.

Κάθε RSU καταχωρεί τις τιμές εμπιστοσύνης σε ένα υποψήφιο μπλοκ στο blockchain που διατηρείται από το σύνολο των RSUs. Στη συνέχεια το RSU προσπαθεί να εκλεγεί ως εξορύκτης για να ενταχθεί το μπλοκ του στο blockchain. Χρησιμοποιώντας από κοινού τα πρωτόκολλα συναίνεσης απόδειξη εργασίας/Proof-of-Work (PoW) και απόδειξη πονταρίσματος Proof-of-Stake (PoS), η προτεινόμενη προσέγγιση επιδιώκει την έγκαιρη ενημέρωση των τιμών εμπιστοσύνης στο blockchain. Οι RSUs με τις μεγαλύτερες συνολικές τιμές αντισταθμίσεων εμπιστοσύνης (stake) στο μπλοκ μπορούν να βρουν ευκολότερα το "nonce" που χρησιμοποιείται πριν τον κατακερματισμό (PoW) και έτσι είναι πιθανότερο να δημοσιευτούν τα δικά τους μπλοκ.

Σε μια σχετική μελέτη, οι Kang, et al. (2019) πρότειναν ένα σύστημα ανταλλαγής υψηλής ποιότητα δεδομένων μεταξύ οχημάτων, το οποίο βασίζεται σε μηχανισμούς φήμης η υλοποίηση των οποίων υποστηρίζεται από ένα σύστημα blockchain κοινοπραξίας. Για την εξαγωγή φήμης, η μελέτη αυτή εφαρμόζει την μέθοδο της «υποκειμενικής λογικής» (subjective logic) η οποία βασίζεται στη συχνότητα συναλλαγών, την επικαιρότητα συμβάντων (event timeliness) και την ομοιότητα τροχιάς (trajectory similarity) τον οχημάτων, και ο βαθμός φήμης εξάγεται αναθέτοντας βάρη σε αυτές τις παραμέτρους και εξάγοντας έναν σταθμισμένο μέσο. Σημειώνεται πως οι θετικές συναλλαγές αυξάνουν τη φήμη των RSU και οι αρνητικές συναλλαγές μειώνουν τη φήμη των RSU. Επομένως, οι αρνητικές συναλλαγές έχουν μεγαλύτερη βαρύτητα στις τοπικές απόψεις των οχημάτων από αυτές των θετικών αλληλεπιδράσεων. Μετά την απόκτηση βαθμολογίας από τα άλλα οχήματα ένα συγκεκριμένο όχημα έχει μια υποκειμενική γνώμη (δηλαδή, τοπική γνώμη) για κάθε RSU με βάση το ιστορικό συναλλαγών μεταξύ τους. Αυτή η τοπική γνώμη θα πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τη διαμόρφωση της τελικής γνώμης φήμης για να αποφευχθεί η εξαπάτηση. Μετά την απόκτηση της τελικής γνώμης φήμης σχετικά με ένα RSU, τα οχήματα θα ανεβάσουν και θα αποθηκεύσουν τις τελικές απόψεις φήμης τους ως συστάσεις (recommended opinions) για άλλα οχήματα (ενδιαφερόμενα μέρη).

Trust Management in Blockchain and IoT Supported Supply Chains. Στην μελέτη (Malik et al., 2019) προτείνεται ένα δυναμικό πλαίσιο διαχείρισης εμπιστοσύνης τριών επιπέδων το οποίο χρησιμοποιεί blockchain κοινοπραξίας. Το blockchain κοινοπραξίας χρησιμοποιείται για την απόδοση και διάδοση βαθμών φήμης και εμπιστοσύνης στους συμμετέχοντες κόμβους της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η παρακολούθηση της αλληλεπίδρασης των συμμετεχόντων κόμβων γίνεται επίσης από το blockchain κοινοπραξίας. Σε αυτό το μοντέλο, χρησιμοποιούνται

πολλαπλά συμβάντα εφοδιαστικής αλυσίδας για να αποφασιστεί η αξιοπιστία των κόμβων και παρέχεται διαφορετικό βαθμό φήμης στους συμμετέχοντες κόμβους και προϊόντα.

Το πλαίσιο οργανώνεται σε τρία επίπεδα: επίπεδο δεδομένων, επίπεδο blockchain και επίπεδο εφαρμογής. Στο *επίπεδο δεδομένων*, οι συσκευές IoT είναι ικανές να παράγουν δεδομένα εφοδιαστικής αλυσίδας, εμπορικά συμβάντα μεταξύ οντοτήτων και ρυθμιστικές εγκρίσεις οντοτήτων. Τα ανεπεξέργαστα δεδομένα μπορούν να αποθηκευτούν σε μια βάση δεδομένων στο *επίπεδο εφαρμογής* (δηλαδή, εκτός αλυσίδας - off-chain), ενώ αποστέλλονται μηνύματα δεδομένων με τη μορφή συναλλαγών στο επίπεδο blockchain όπου αποθηκεύονται και ορίζεται ένα σύνολο κανόνων πρόσβασης. Οι κανόνες πρόσβασης καθορίζουν ποιος μπορεί να διαβάσει ή να γράψει τα δεδομένα στο blockchain.

Το συγκεκριμένο πλαίσιο επιτυγχάνει αυτοματοποίηση του υπολογισμού της φήμης χρησιμοποιώντας έξυπνα συμβόλαια. Συγκεκριμένα η λύση υλοποιεί δύο συμβόλαια : 1) ένα συμβόλαιο για την αξιολόγηση της ποιότητας κάθε προϊόντος της εφοδιαστικής αλυσίδα με βάση τις ενδείξεις αισθητήρων (π.χ. θερμοκρασία για τη διατήρηση της ποιότητας των τροφίμων) και 2) ένα συμβόλαιο αξιολόγησης για τον υπολογισμό της φήμης των εμπόρων. Κάθε έμπορος έχει μια εγγενή βαθμολογία εμπιστοσύνης, η οποία προέρχεται από όλες τις αξιολογήσεις με προσαρμοσμένους συντελεστές στάθμισης. Οι οντότητες που συμμετέχουν για πρώτη φορά στο δίκτυο (χωρίς προηγούμενη φήμη), θα αντιστοιχιστούν με μια ελάχιστη βαθμολογία αξιοπιστίας από προεπιλογή. Στο συνολικό βαθμό φήμης συνυπολογίζονται και ορισμένες άλλες βαθμολογίες χαρακτηριστικών (π.χ. ανατροφοδότηση των καταναλωτών). Η προσέγγιση υπολογισμού φήμης χρησιμοποιεί επίσης συνάρτηση χρονικής εξασθένισης ώστε τα πιο πρόσφατα γεγονότα (events) να έχουν μεγαλύτερο βάρος. Μόλις υπολογιστούν οι βαθμοί φήμης από τα έξυπνα συμβόλαια, μπορεί να επιλεγεί ένα μοντέλο φήμης με βάση μια συνάρτηση συνάθροισης όπως αυτές που περιγράφηκαν στο Πίνακας 1. Οι βαθμοί φήμης και εμπιστοσύνης αποθηκεύονται στα ψηφιακά προφίλ των οντοτήτων της εφοδιαστικής αλυσίδας και των προϊόντων στο blockchain. Με βάση τους βαθμούς φήμης ορίζονται, ανταμοιβές ή ποινές για τις οντότητες με υψηλούς ή χαμηλούς βαθμούς φήμης, αντίστοιχα.

A Decentralized Blockchain-Based Trust Management Protocol for the Internet of Things. Οι Kouicem et al. (2020) πρότειναν ένα ιεραρχικό και επεκτάσιμο πρωτόκολλο διαχείρισης εμπιστοσύνης βασισμένο σε τεχνολογία blockchain κοινοπραξίας, το οποίο ονομάζεται BC-Trust. Το BC-Trust επιτρέπει σε συσκευές IoT υψηλής κινητικότητας να αξιολογούν και να διαδίδουν συστάσεις εμπιστοσύνης σχετικά με άλλες συσκευές που ανήκουν σε παρόχους υπηρεσιών με ακρίβεια.

Η αρχιτεκτονική του συστήματος αποτελείται από τα εξής επίπεδα: α) ένα επίπεδο με κατανεμημένες συσκευές IoT που είτε παρέχουν υπηρεσίες, β) IoT ένα δεύτερο επίπεδο με κατανεμημένους fog nodes (κόμβους ομίχλης) που είναι υπεύθυνοι για τον υπολογισμό, την αποθήκευση των τιμών εμπιστοσύνης των παρόχων υπηρεσιών και για τη διαχείριση της αξιοπιστίας αυτών των IoT συσκευών με αξιόπιστο τρόπο, και γ) το επίπεδο blockchain. Το blockchain κοινοπραξίας παρεμβάλλεται μεταξύ fog nodes και παρόχων υπηρεσιών και διαχειρίζεται την αξιοπιστία των δεδομένων που παρέχονται από τις συσκευές IoT. Για να επιτευχθεί ο καλύτερος δυνατός συμβιβασμός ανάμεσα στις απαιτήσεις για ασφάλεια (και εγκυρότητα) των συναλλαγών και για υψηλότερη δυνατότητα κλιμάκωσης στο δίκτυο blockchain, χρησιμοποιήθηκαν συνδυαστικά οι αλγόριθμοι συναίνεσης: PoS και Practical Byzantine Fault Tolerance Algorithm (PBFT). Συγκεκριμένα, η ασφάλεια παρέχεται, επιλέγοντας παρόχους υπηρεσιών με υψηλό βαθμό εμπιστοσύνης ως επικυρωτές. Παράλληλα, προτείνεται η επιλογή ενός υποσυνόλου $log(n)$ επικυρωτών (αντί για n) μεταξύ του καταλόγου των επικυρωτών (παρόχων υπηρεσιών) όταν πρόκειται για αντιμετώπιση των ζητημάτων κλιμακωσιμότητας.

A Blockchain-based Trust System for the Internet of Things. Οι Di Pietro, et al. (2020) εισήγαγαν ένα κατανεμημένο σύστημα τύπου πίστωσης (χρησιμοποιώντας μια πλατφόρμα που

ονομάζεται «αλυσίδα υποχρεώσεων»), που διαθέτει ενσωματωμένο μηχανισμό φήμης για να επιτρέπει σε κάθε πάροχο υπηρεσιών να αποδέχεται ή να αρνείται τις υποχρεώσεις των καταναλωτών υπηρεσιών. Στο πλαίσιο αυτό η τεχνολογία blockchain χρησιμοποιείται για τη δημιουργία της «αλυσίδας υποχρεώσεων». Η πλατφόρμα αυτή χρησιμεύει για την αποθήκευση υπογεγραμμένων υποχρεώσεων μεταξύ παρόχων υπηρεσιών και καταναλωτών υπηρεσιών. Προκειμένου να παρακάμψουν τις καθυστερήσεις συναλλαγών στα παραδοσιακά blockchain, οι συσκευές IoT στην συγκεκριμένη προσέγγιση, είναι σε θέση να εκτελούν συναλλαγές με πίστωση και η ικανότητά τους να αποπληρώνουν την πίστωσή τους προσθέτει στη φήμη τους. Για την προστασία από κακόβουλους κόμβους, οι συγγραφείς του άρθρου προτείνουν να χρησιμοποιούνται οι λεγόμενες αποδείξεις δεσμεύσεων για τους παρόχους υπηρεσιών και αποδείξεις εκπλήρωσης για τους καταναλωτές υπηρεσιών, οι οποίοι χρησιμοποιούν τις πληροφορίες σχετικά με τις υποχρεώσεις και τις εκπληρώσεις που είναι αποθηκευμένες στην «αλυσίδα υποχρεώσεων».

Η συνεργασία μεταξύ ενός παρόχου υπηρεσιών και ενός καταναλωτή πραγματοποιείται με την ανταλλαγή «Όρων» χρήσης (που δημιουργούνται από τους παρόχους υπηρεσιών) και «Υποχρεώσεων» (που ορίζονται από τους καταναλωτές). Οι «Όροι» συνίσταται από κανόνες με τους οποίους πρέπει να συμμορφωθούν οι καταναλωτές για να τους επιτραπεί η πρόσβαση στις υπηρεσίες των παρόχων. Επιπλέον, χρησιμεύουν για τη δημοσίευση πιθανών επιχειρηματικών μοντέλων από πλευράς των παρόχων καθώς και ως αποδεικτικό της ανεξόφλητης οφειλής των καταναλωτών για τις παρασχεθείσες υπηρεσίες. Από την άλλη πλευρά, οι «Υποχρεώσεις» αποτελούν στην ουσία κουπόνια (tokens) δημόσιας αποδοχής (ή μη) των «Όρων» που θέτουν οι πάροχοι προς τους ενδιαφερόμενους καταναλωτές για να προσφέρουν τις υπηρεσίες τους.

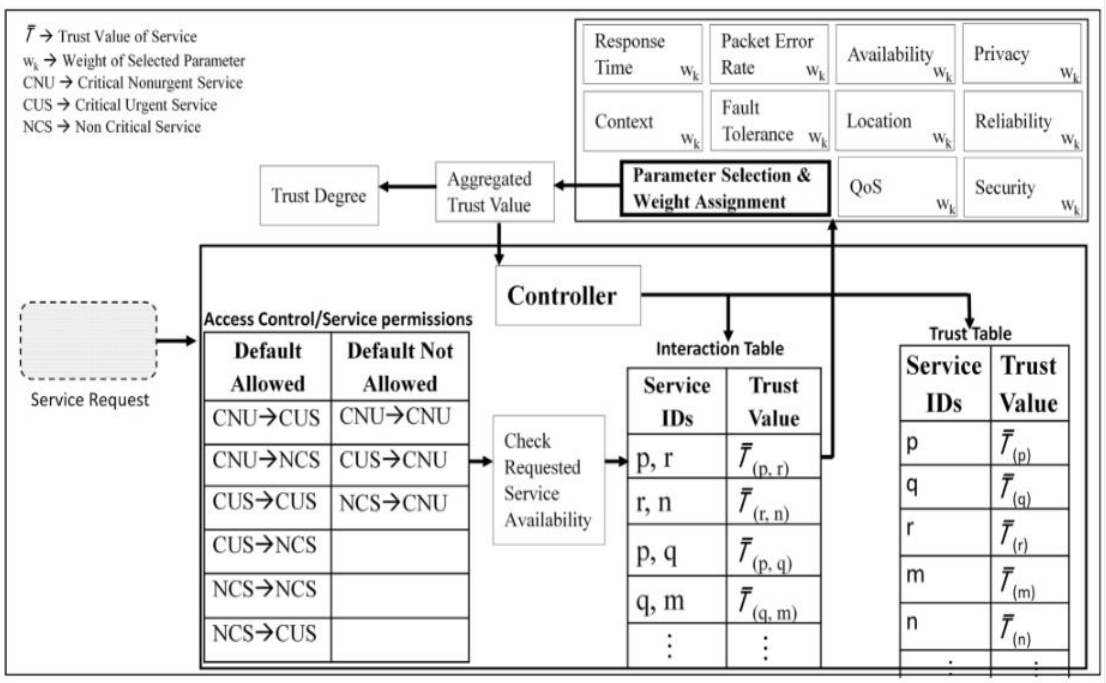
Οι συγγραφείς χρησιμοποίησαν έναν συνδυασμό της εισαγόμενης «αλυσίδας υποχρεώσεων» και του Bitcoin blockchain για την εκπλήρωση των πληρωμών που αφορούν τις υπηρεσίες που καταναλώθηκαν. Εκτός από την αλυσίδα υποχρεώσεων, προτείνεται ένα πρωτόκολλο τριπλή χειραψίας (three-way handshake) για τη γεφύρωση της εμπιστοσύνης μεταξύ διαφορετικών τομέων. Συγκεκριμένα το πρωτόκολλο αποτελείται από τη φάση *εγκατάστασης*, *δαπάνης* και *εκπλήρωσης*, χρησιμοποιώντας πληροφορίες που είναι αποθηκευμένες στο blockchain για το χειρισμό υπηρεσιών μεταξύ παρόχων και καταναλωτών υπηρεσιών. Συγκεκριμένα στη φάση της *εγκατάστασης* οι καταναλωτές εκδίδουν (και υπογράφουν) υποχρεώσεις με βάση τους «Όρους» που δημοσιεύονται από τους παρόχους. Στην φάση *δαπάνης*, ο καταναλωτής στέλνει ένα αίτημα προς τον πάροχο για διαβίβαση της δικής του έκδοσης των «Όρων». Στη συνέχεια, ο καταναλωτής συγκρίνει τους «Όρους» με αυτά της υποχρέωσής του για να διασφαλίσει ότι ταιριάζουν. Εάν ταιριάζουν οι υποχρεώσεις που δημιουργήθηκαν στη φάση *εγκατάστασης* , το επόμενο βήμα είναι να μεταβιβαστούν στο πάροχο. Ο τελευταίος εξετάζει την αλυσίδα υποχρεώσεων και το blockchain που διαχειρίζεται τις πληρωμές για να αξιολογήσει την αξιοπιστία του καταναλωτή, λαμβάνοντας υπόψη το ιστορικό των υποχρεώσεων του, δηλαδή τη φήμη του. Ο πάροχος επαληθεύει, επίσης, την υπογραφή σε σχέση με το δημόσιο κλειδί του εκδότη υποχρεώσεων. Εάν ο πάροχος αποφασίσει να αποδεχτεί τις υποχρεώσεις με βάση τον βαθμό φήμης του καταναλωτή και την εγκυρότητα της υπογραφής, ο καταναλωτής λαμβάνει πρόσβαση στην υπηρεσία από τον πάροχο και οι υποχρεώσεις του καταγράφονται στην «αλυσίδα των υποχρεώσεων. Στην τελική φάση, οι υποχρεώσεις *εκπληρώνονται* με την έκδοση συναλλαγών πληρωμής στις διευθύνσεις, για παράδειγμα, του Bitcoin που έχουν δημιουργηθεί από τον πάροχο, γεγονός που οδηγεί σε ενημέρωση του βαθμού φήμης του καταναλωτή. Πρέπει να σημειωθεί πως στην προτεινόμενη προσέγγιση, ο υπολογισμός εμπιστοσύνης εκτελείται από τον πάροχο υπηρεσιών προκειμένου να περιοριστεί η κατανάλωση πόρων. Οι βαθμοί φήμης των καταναλωτών υπηρεσιών αποθηκεύονται στο blockchain.

A multi-layer trust-based middleware framework for handling interoperability issues in heterogeneous IOTs. Ένας μηχανισμός πολλαπλών επιπέδων εμπιστοσύνης προτείνεται από τους Abbasi et al. (2021), υλοποιώντας ένα ενδιάμεσο λογισμικό για την παροχή αξιόπιστης πρόσβασης σε υπηρεσίες κάθετων υλοποιήσεων συστημάτων IoT. Συγκεκριμένα, με την χρήση

του ενδιάμεσου λογισμικού, η προσέγγιση αυτή επιδιώκει να αντιμετωπίσει ζητήματα διαλειτουργικότητας μεταξύ των κάθετων λύσεων παροχής υπηρεσιών στα συστήματα IoT καθώς και επικοινωνίας μεταξύ των ετερογενών δικτύων ασύρματων αισθητήρων έτσι ώστε να διευκολυνθεί η διάδοση της αξιολόγησης της επίδοσης υπηρεσιών οι οποίες αναπτύσσονται στις ετερογενείς αυτές IoT υποδομές.

Η εμπιστοσύνη, στο συγκεκριμένο πλαίσιο του ενδιάμεσου λογισμικού αναπαριστά τη σχέση ποιότητας υπηρεσιών μεταξύ δύο ή περισσότερων IoT αντικειμένων που ανταλλάσσουν τις υπηρεσίες τους. Για την επίτευξη της ποσοτικοποίησης της εμπιστοσύνης των καταναλωτών στις επιδόσεις μιας υπηρεσίας η προτεινόμενη προσέγγιση δέχεται ως είσοδο πολλαπλές παραμέτρους QoS. Οι παράμετροι αναφέρονται σε αντικειμενικές μετρικές επιδόσεων όπως η καθυστέρηση (response time) , η διαθεσιμότητα (availability), η αντοχή στα σφάλματα (fault tolerance), η ιδιωτικότητα (privacy), ο ρυθμός απώλειας πακέτων (packet error rate), αξιοπιστία (reliability).

Η Εικόνα 8 αναπαριστά τον κύκλο ζωής της μέτρησης της εμπιστοσύνης, όπως επίσης και τον τρόπο, με τον οποίο το ενδιάμεσο λογισμικό εμπλέκεται στην διαχείριση της εμπιστοσύνης. Εάν η εν λόγω υπηρεσία είναι διαθέσιμη, τότε ο ελεγκτής (controller) θα ελέγξει εάν καταναλωτής και ο πάροχος έχουν αλληλοεπιδράσει προηγουμένως. Ο βαθμός εμπιστοσύνης αυτής της αλληλεπίδρασης αναπαρίσταται συμβολικά από το $T(q,m)$ όπου q είναι ο καταναλωτής και m ο πάροχος της υπηρεσίας. Για τον υπολογισμό και την παραγωγή του βαθμού εμπιστοσύνης της αλληλεπίδρασης των υπηρεσιών ανατίθενται επιλεγμένες παράμετροι και ορίζονται τα αντίστοιχα βάρη. Τα βάρη με τα αντίστοιχα εύρη τιμών προκύπτουν από το ενδιάμεσο λογισμικό. Η επιλογή των παραμέτρων και των σχετικών βαρών διαφοροποιείται ανάλογα με την υπηρεσία. Συνεπώς, στην προτεινόμενη προσέγγιση υπολογισμού του βαθμού εμπιστοσύνης δεν παίζουν όλες οι παράμετροι τον ίδιο ρόλο για υπηρεσίες διαφορετικής φύσης. Επιπλέον, η αλληλεπίδραση μεταξύ των υπηρεσιών σταθμίζεται με μια συνάρτηση χρονικής εξασθένησης, ώστε ο συνολικός βαθμός εμπιστοσύνης μεταξύ των υπηρεσιών να μειώνεται με κάποιο καθορισμένο συντελεστή μείωσης, εάν δεν υπάρχει αλληλεπίδραση για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.



Εικόνα 8: κύκλος ζωής της μέτρησης της εμπιστοσύνης.

Μόλις υπολογιστεί ο συνολικός βαθμός εμπιστοσύνης, ο ελεγκτής ενημερώνει τον πίνακα αλληλεπίδρασης (Interaction table) και τον πίνακα εμπιστοσύνης (Trust Table) ώστε να

προκύψει η αριθμητική αξιολόγηση της εμπιστοσύνης, η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε γλωσσική τιμή από μία κλίμακα ικανοποίηση τύπου Likert από το 1 (εξαιρετικά αξιόπιστη) ως το 5 (μεγάλη δυσπιστία). Επιπλέον μετά από κάθε αλληλεπίδραση, υπολογίζονται οι τιμές εμπιστοσύνης για τον καταναλωτή και τον πάροχο υπηρεσιών ξεχωριστά κάνοντας χρήση ενός αλγόριθμου κατανομής του συνολικού βαθμού εμπιστοσύνης που αναθέτει σταθμισμένα βάρη για κάθε συναλλασσόμενη οντότητα στη δεδομένη αλληλεπίδραση. Το blockchain στην προτεινόμενη προσέγγιση παρέχει επικύρωση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των υπηρεσιών. Ωστόσο δίνεται η δυνατότητα παράλειψης του blockchain.

Μια εκτενής επισκόπηση συστημάτων φήμης εμπιστοσύνης που αξιοποιούν την τεχνολογία blockchain σε τομείς πέραν του IoT, παρουσιάζεται στο Παράρτημα 1. Επίσης, στο Παράρτημα 1 παρουσιάζονται συστήματα φήμης που δεν αξιοποιούν την τεχνολογία blockchain, αλλά δυνητικά θα μπορούσαν να υλοποιηθούν αξιοποιώντας την.

2.5 Κύρια Διδάγματα

Η επισκόπηση της επιστημονικής βιβλιογραφίας ανέδειξε την διαχρονική αναγκαιότητα των μηχανισμών φήμης και εμπιστοσύνης σε ψηφιακά περιβάλλοντα όπως ηλεκτρονικές αγορές κτλ. Επίσης, κατέστησε σαφές ότι:

- Οι εφαρμογές IoT μπορεί να είναι πολύ διαφορετικές - απόρροια της υψηλής ετερογένειας των συσκευών IoT αλλά και των διαφορετικών τύπου οντοτήτων που αλληλεπιδρούν στα διάφορα επίπεδα του συστήματος IoT (π.χ. IoT Providers, Data Aggregators, Data-driven, Applications Providers) -, επομένως ένα σύστημα φήμης θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη αυτή την ετερογένεια του IoT οικοσυστήματος και να διαθέτει όλους τους απαραίτητους μηχανισμούς ώστε να υποστηρίζει όσο το δυνατόν περισσότερους διαφορετικούς τύπους εφαρμογών ή μεγαλύτερη ποικιλία εφαρμογών.

- Η ενσωμάτωση των συστημάτων φήμης σε περιβάλλον IoT εξυπηρετεί δύο κύριες κατηγορίες εφαρμογών. Η πρώτη επικεντρώνεται στη διασφάλιση της ποιότητας των υπηρεσιών που παρέχονται από ένα σύστημα ή μία οντότητα, και ως εκ τούτου είναι ζωτικής σημασίας η εξέταση των μετρικών ποιότητας υπηρεσίας συνδυαστικά με την υποκειμενική αντίληψη των χρηστών και τις μοναδικές απαιτήσεις. Η δεύτερη έχει ως κύρια μέριμνα την υλοποίηση αμυντικών μηχανισμών έναντι κακόβουλων επιθέσεων κατά τον σχεδιασμό των χαρακτηριστικών του συστήματος φήμης. Ως εκ τούτου, ως προς το τελευταίο, τα συγκεκριμένα συστήματα φήμης πρέπει να παρακολουθούν τις συμπεριφορές των οντοτήτων και να τις τιμωρούν ή να τις ανταμείβουν με βάση τους βαθμούς φήμης.

- Οι τεχνολογίες κατανεμημένου καθολικού όπως το blockchain, καθώς και οι κρυπτογραφικές μέθοδοι που το συνοδεύουν, αποτελούν σημαντικά εργαλεία για την ικανοποίηση βασικών χαρακτηριστικών των συστημάτων φήμης όπως η ακεραιότητα των υπολογισμών για την εξαγωγή βαθμολογιών φήμης, η ιδιωτικότητα των αναδράσεων περί αξιολογήσεων υπηρεσιών και η αποτροπή κακόβουλων επιθέσεων.

- Ένα βασικό πλεονέκτημα που μπορεί να προσφέρει η τεχνολογία κατανεμημένου καθολικού, πέραν της αποκεντροποίησης, είναι η αξιοποίηση της ως σύστημα «χωρίς εμπιστοσύνη» (trustless). Ωστόσο, από την μελέτη της επιστημονικής βιβλιογραφίας γίνεται αντιληπτό ότι μεταξύ των συστημάτων φήμης και εμπιστοσύνης που βασίζονται σε blockchain ελάχιστα είναι αυτά που επωφελούνται από την συγκεκριμένη ιδιότητα του blockchain (π.χ. Schaub et al. (2016). Η πλειοψηφία των

προτεινόμενων συστημάτων φήμης χρησιμοποιεί έναν συνδυασμό τεχνολογίας blockchain και ένα έμπιστο τρίτο μέρος (TTP) κυρίως για την ενίσχυση της ιδιωτικότητας των οντοτήτων-χρηστών. Συνήθως σε αυτό το υβριδικό μοντέλο φήμης και εμπιστοσύνης, το έμπιστο τρίτο αναλαμβάνει την έκδοση ανώνυμων ταυτοτήτων και διαπιστευτηρίων, τον έλεγχο δικαιωμάτων των χρηστών-οντοτήτων ή την ανάκτηση της πραγματικής ταυτότητας μιας ανώνυμης αξιολόγησης σε περίπτωση κακόβουλης επίθεσης.

- Σημαντικές υποκείμενες διαδικασίες στα συστήματα φήμης, όπως η παρακολούθηση και ο υπολογισμός της φήμης των συμμετεχουσών οντοτήτων, επωφελούνται από τις ιδιότητες της διαφάνειας και της αμεταβλητότητας που προσφέρει η τεχνολογία blockchain. Ωστόσο, το blockchain μπορεί να μην είναι ιδανικό μέσο αποθήκευσης για μεγάλο όγκο δεδομένων και συναλλαγών με δεδομένο ότι έχει χαμηλότερη απόδοση όσο κλιμακώνεται το σύστημα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η εισαγωγή συστημάτων αποθήκευσης εκτός αλυσίδας (π.χ. τεχνολογίες cloud ή InterPlanetary File System - IPFS) για την υποβοήθηση των υπολογισμών φήμης από έξυπνα συμβόλαια που υποστηρίζει το blockchain μπορεί να είναι προτιμότερη. Προκειμένου, όμως, να διατηρηθούν τα οφέλη της αμεταβλητότητας και διαφάνειας της τεχνολογίας blockchain, είναι απαραίτητο να καθοριστεί πότε θα γίνονται οι υπολογισμοί, που και πόσο συχνά εκτός αλυσίδας. Είναι επίσης απαραίτητο να καθοριστούν ποια μεταδεδομένα θα αποθηκεύονται στο blockchain, (π.χ. φήμη) και ποιες πληροφορίες εκτός αλυσίδας.

- Τα έξυπνα συμβόλαια χρησιμοποιούνται ευρέως στις εφαρμογές IoT, που βασίζονται στην τεχνολογία blockchain για την καλύτερη διαχείριση των λειτουργιών των συστημάτων φήμης και εμπιστοσύνης. Συνήθως χρησιμοποιούνται για να αυτοματοποιήσουν την εγγραφή των οντοτήτων, την συνάθροιση των επιμέρους βαθμολογήσεων, τον υπολογισμό της συνολικής φήμης, τις ανταμοιβές και τα κίνητρα έντιμων αναδράσεων αξιολόγησης.

3 Μηχανισμοί Φήμης και Εμπιστοσύνης IoTFeds

Στην πλατφόρμα IoTFeds εισάγουμε και αξιοποιούμε την έννοια της φήμης σε πολλαπλά επίπεδα. Ωστόσο, σε κάθε ένα από αυτά, ο βαθμός φήμης (reputation score) αποσκοπεί στην αποκάλυψη μιας «κρυμμένης» πληροφορίας σχετικά με την παρεχόμενη ποιότητα υπηρεσίας (hidden quality). Τα διαφορετικά επίπεδα φήμης συνοψίζονται παρακάτω:

- Πηγές δεδομένων: Κάθε πηγή δεδομένων χαρακτηρίζεται από ένα βαθμό φήμης. Ένα προϊόν δεδομένων ουσιαστικά αποτελείται από πολλαπλές πηγές δεδομένων. Οπότε, ο βαθμός φήμης των πηγών δεδομένων μπορεί να αξιοποιηθεί κατά την σύνθεση (packaging) ενός προϊόντος δεδομένων σε μια ομοσπονδιακή αγορά (federated marketplace), ώστε να επιλεγούν πηγές δεδομένων που επιτυγχάνουν τον απαιτούμενο ή τον καλύτερο βαθμό φήμης προϊόντος, και συνεπώς την επιθυμητή αναμενόμενη ποιότητα προϊόντος.

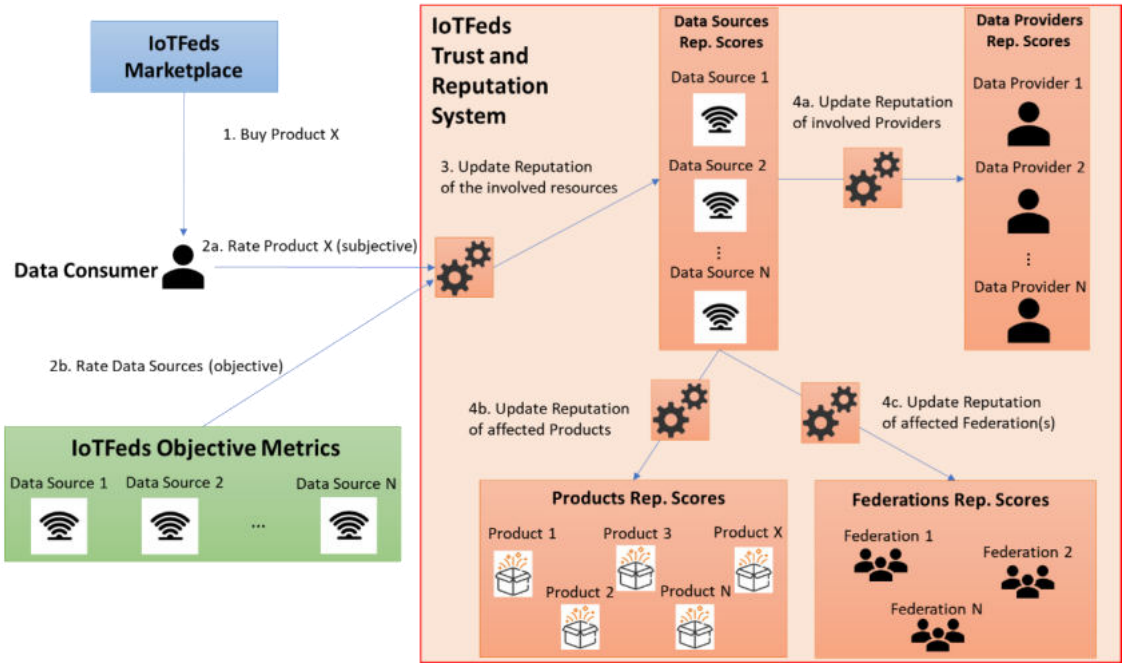
- Προϊόντα δεδομένων: Κάθε προϊόν δεδομένων χαρακτηρίζεται από έναν βαθμό φήμης, ο οποίος προκύπτει από τον συνυπολογισμό των βαθμών φήμης των πηγών δεδομένων που το συνθέτουν. Ο μηχανισμός υπολογισμού φήμης ενός προϊόντος βάσει της φήμης των πηγών που το συνθέτουν μελετάται στην Ενότητα 3.2.2. Η φήμη ενός προϊόντος μπορεί να αξιοποιηθεί για τα προ-δημιουργημένα προϊόντα που παρέχονται στην καθολική αγορά ή ομοσπονδιακές αγορές του IoTFeds για την διευκόλυνση του καταναλωτή ως προς την επιλογή προϊόντος.

- Πάροχοι δεδομένων: Κάθε πάροχος δεδομένων χαρακτηρίζεται από έναν βαθμό φήμης, ο οποίος προκύπτει από τον συνυπολογισμό των βαθμών φήμης των πηγών δεδομένων που αυτός παρέχει. Ο μηχανισμός υπολογισμού της φήμης ενός παρόχου βάσει της φήμης των πηγών δεδομένων που παρέχει μελετάται στην Ενότητα 3.2.3. Ο βαθμός φήμης ενός παρόχου μπορεί να αξιοποιηθεί ως κριτήριο για την αποδοχή της συμμετοχής του ή όχι σε μια ομοσπονδία. Κατά περίπτωση, η φήμη ενός παρόχου μπορεί να υπολογίζεται είτε με βάση το σύνολο των πηγών δεδομένων που παρέχει στο IoTFeds (σφαιρική εικόνα) είτε με βάση τις πηγές δεδομένων που συνεισφέρει στην εκάστοτε ομοσπονδία (τοπική εικόνα). Στην παρούσα υλοποίηση του συστήματος φήμης και εμπιστοσύνης IoTFeds, υιοθετείται η πρώτη εναλλακτική, δηλαδή αυτή της σφαιρικής εικόνας φήμης. Στα πλαίσια μιας ομοσπονδίας, η φήμη των παρόχων-μελών της ομοσπονδίας θα μπορούσε να αξιοποιηθεί για την διακυβέρνηση της. Συγκεκριμένα, πάροχοι με υψηλότερο βαθμό φήμης από άλλα μέλη της ομοσπονδίας θα μπορούσαν να έχουν μεγαλύτερη επιρροή στις αποφάσεις της.

- Ομοσπονδίες παρόχων: Κάθε ομοσπονδία χαρακτηρίζεται από έναν βαθμό φήμης ο οποίος προκύπτει από τον συνυπολογισμό των πηγών δεδομένων που έχουν διαθέσει οι πάροχοι δεδομένων σε αυτές. Ο μηχανισμός υπολογισμού της φήμης μιας ομοσπονδίας βάσει της φήμης των πηγών δεδομένων που έχουν εγγραφεί σε αυτή μελετάται στην συνέχεια. Ο βαθμός φήμης των ομοσπονδιών μπορεί να αξιοποιηθεί από έναν πάροχο/καταναλωτή κατά την επιλογή ομοσπονδίας στην οποία θα ήθελε να συμμετέχει.

Όπως γίνεται αντιληπτό, κάθε ένα από τα επίπεδα φήμης εξυπηρετεί διαφορετικές ανάγκες στο σύστημα IoTFeds για την διευκόλυνση λήψης αποφάσεων. Ωστόσο, τα διαφορετικά επίπεδα φήμης του συστήματος IoTFeds δεν είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους. Αντίθετα, οι βαθμοί φήμης στα διάφορα επίπεδα εξαρτώνται από τον βαθμό φήμης των πηγών δεδομένων. Ο βαθμός φήμης των πηγών δεδομένων αποφασίζεται λαμβάνοντας υπόψη υποκειμενικές αξιολογήσεις των καταναλωτών δεδομένων επί των προϊόντων και αντικειμενικές μετρήσεις του συστήματος

επί των πηγών δεδομένων. Για τον υπολογισμό της φήμης των προϊόντων, παρόχων και ομοσπονδιών βάσει της φήμης των πηγών δεδομένων ακολουθείται ένας κοινός μηχανισμός, παραμετροποιημένος ωστόσο στις ανάγκες της κάθε περίπτωσης.



Εικόνα 9: Αρχιτεκτονική συστήματος φήμης και εμπιστοσύνης της πλατφόρμας IoTFeds.

Η Εικόνα 9 παρουσιάζει την γενική αρχιτεκτονική του συστήματος φήμης και εμπιστοσύνης της πλατφόρμας IoTFeds και τις διαδικασίες που ακολουθούνται για τον υπολογισμό των βαθμών φήμης στα διάφορα επίπεδα:

1. Ένας καταναλωτής αγοράζει ένα προϊόν δεδομένων μέσω της καθολικής ή κάποιας ομοσπονδιακής αγοράς του IoTFeds. Μέσω της συναλλαγής αυτής, ο καταναλωτής λαμβάνει ένα κουπόνι (token) που μπορεί να αξιοποιήσει για την αξιολόγηση του προϊόντος κάποια χρονική στιγμή μετά την χρήση του.

2. Για την αξιολόγηση κάθε προϊόντος λαμβάνονται υπόψη τόσο η υποκειμενική βαθμολόγηση των καταναλωτών επί των προϊόντων δεδομένων, όσο και η αντικειμενική αξιολόγηση των πηγών δεδομένων που συνεισφέρουν σε κάθε προϊόν μέσω αντικειμενικών μετρήσεων. Οι αντικειμενικές μετρήσεις παρέχονται από τις πλατφόρμες των παρόχων δεδομένων. Συνεπώς:

    a. Κάνοντας χρήση του κουπονιού, ο καταναλωτής βαθμολογεί (υποκειμενικά) το επίπεδο της υπηρεσίας που του παρείχε το προϊόν μέσω ενός συνόλου κριτηρίων που ορίζονται στην Ενότητα 3.1.2.

    b. Οι αντικειμενικές μετρήσεις λαμβάνονται από τις πηγές δεδομένων σε περιοδική βάση και προωθούνται στο σύστημα φήμης και εμπιστοσύνης. Το σύνολο των αντικειμενικών μετρικών για τις οποίες λαμβάνονται μετρήσεις παρουσιάζεται στην Ενότητα 3.1.1.

3. Ο μηχανισμός αυτού του βήματος αξιοποιεί την υποκειμενική αξιολόγηση του χρήστη και τις αντικειμενικές μετρήσεις από την πλευρά της πλατφόρμας IoTFeds για τον υπολογισμό μίας βαθμολόγησης ανά πηγή δεδομένων που συνθέτει το προϊόν. Στην

συνέχεια, η βαθμολόγηση ανά πηγή δεδομένων αξιοποιείται για την ανανέωση του βαθμού φήμης της κάθε πηγής, λαμβάνοντας υπόψη και τον μέχρι πρότινος βαθμό φήμης τους. Ο μηχανισμός αυτός θα παρουσιαστεί λεπτομερώς στη Ενότητα 3.2.1.

4. Η ανανέωση των βαθμών φήμης των εμπλεκόμενων πηγών δεδομένων «πυροδοτεί» την ανανέωση των βαθμών φήμης των παρόχων (4a), προϊόντων (4b) και ομοσπονδιών (4c) που επηρεάζονται από τις σχετικές πηγές δεδομένων. Ο μηχανισμός που αξιοποιείται για τις τρεις παραπάνω περιπτώσεις μελετάται στην Ενότητα 3.2.2. Σημειώνεται ότι ο κάθε πάροχος ενδέχεται να έχει περισσότερες από μία πλατφόρμες εγγεγραμμένες στο IoTFeds, Σε αυτή την περίπτωση, κάθε πλατφόρμα αντιμετωπίζεται ως ένας διαφορετικός πάροχος και υπολογίζεται ένα βαθμός φήμης ανά πλατφόρμα.

3.1 Διαστάσεις Αξιολόγησης Παρεχόμενης Υπηρεσίας

Η αξιολόγηση της παρεχόμενης υπηρεσίας στο IoTFeds βασίζεται στην αξιολόγηση των προϊόντων δεδομένων που διενεργείται από τους καταναλωτές δεδομένων για κάθε συναλλαγή/αγορά προϊόντος καθώς και στις αντικειμενικές μετρήσεις που λαμβάνονται περιοδικά για τις πηγές δεδομένων που συνθέτουν αυτό το προϊόν. Η βαρύτητα αυτών των δύο διαστάσεων στην ενιαία αξιολόγηση της φήμης ενός προϊόντος ορίζεται από τους κανόνες της ομοσπονδίας από την οποία το προϊόν προέρχεται.

3.1.1 Αξιολόγηση Βάσει Αντικειμενικών Μετρικών

Η αντικειμενική αξιολόγηση έχει ο σκοπός την εξαγωγή ενός βαθμού για κάθε μία από τις πηγές δεδομένων βάσει ενός συνόλου μετρικών που συλλέγονται αυτόματα από τα συστήματα παρακολούθησης (monitoring systems) των πλατφορμών που συμμετέχουν στο IoTFeds. Ο τρόπος με τον οποίο ορίζονται αυτές οι μετρικές και συλλέγονται αυτές οι μετρικές, καθώς και τρόπος αξιοποίησης αυτών για τον υπολογισμό ενός αντικειμενικού βαθμούς συζητώνται παρακάτω.

3.1.1.1 Αντικειμενικές μετρικές

Οι αντικειμενικές μετρικές που λαμβάνονται υπόψη κατά την αξιολόγηση ενός προϊόντος αποφασίζονται από τους κανόνες της ομοσπονδίας. Συγκεκριμένα, κάθε ομοσπονδία ορίζει ένα σύνολο από υπηρεσίες ή καθετοποιημένους τομείς στους οποίους τα προϊόντα της στοχεύουν. Για κάθε μια από αυτές τις υπηρεσίες, η ομοσπονδία αποφασίζει το σύνολο των αντικειμενικών μετρικών που πρέπει να ληφθούν υπόψη καθώς και με ποια βαρύτητα κάθε μια από αυτές θα υπολογίζεται στην μέτρηση Ποιότητας Υπηρεσίας (Quality of Service - QoS). Συνεπώς, κάθε ομοσπονδία διαθέτει ένα σύνολο από QoS προφίλ (ένα ανά τύπο υπηρεσίας που παρέχεται από την ομοσπονδία) και κάθε προϊόν της ομοσπονδίας αντιστοιχίζεται σε ένα από αυτά τα προφίλ. Αν θεωρήσουμε το σύνολο των πιθανών μετρικών M_o, τότε ένα QoS προφίλ αποτελείται από: (α) μια τιμή στόχο t_i (target value) για κάθε μετρική $i \in M_o$, (β) την βαρύτητα w_i κάθε μιας από αυτές τις μετρικές και (γ) μια ένδειξη $m_i \in ['min', 'max']$ που υποδηλώνει κατά πόσο η μετρική στόχος είναι η μέγιστη ή ελάχιστη τιμή που πρέπει να επιτευχθεί για κάθε μία από τις μετρικές. Οι μετρικές που δεν είναι σχετικές με την υπηρεσία στην οποία αντιστοιχίζεται ένα QoS προφίλ έχουν μηδενική βαρύτητα, ενώ τα βάρη στο σύνολο των μετρικών αθροίζουν στην μονάδα. Συγκεκριμένα, ένα προφίλ ορίζεται ως:

$$o_i q_o = \{(t_1, w_1, m_1), \dots, (t_n, w_n, m_n)\}, \quad (6)$$

όπου n είναι το πλήθος των τριάδων (τιμή στόχου, βάρους, μέγιστο/ελάχιστο) και $\sum_{i=1}^{n} w_i = 1$.

Στον Πίνακας 2, παρουσιάζεται ένα σύνολο από βασικές εναλλακτικές αντικειμενικές μετρικές που αξιοποιούνται για την αξιολόγηση του QoS των υπηρεσιών που παρέχονται από ομοσπονδίες IoT, ενώ στον Πίνακας 3 ορίζουμε ένα παράδειγμα QoS προφίλ για μία εφαρμογή «*έξυπνης στάθμευσης*», που παρέχεται από μια καθετοποιημένη του IoTFeds. Να σημειωθεί ότι η παρακάτω λίστα μετρικών δεν είναι εξαντλητική και νέες μετρικές μπορούν να οριστούν αν χρειαστεί. Το ίδιο ισχύει για την συγκεκριμένη περίπτωση εφαρμογής. Σημειώνεται ότι οι τιμές-στόχοι που παρατίθενται στον Πίνακας 3 για την περίπτωση εφαρμογής είναι βασισμένες στα ευρήματα των επιστημονικών άρθρων των Mocnej et al. (2018) και Palviainen, & Kotovirta, (2022).

Πίνακας 2: Ενδεικτική λίστα αντικειμενικών μετρικών

QoS Μετρική	Περιγραφή
Διαθεσιμότητα (Availability)	Ποσοστό επιτυχημένων αιτημάτων ανάκτησης δεδομένων από την πηγή δεδομένων.
Χρόνος απόκρισης (Response time)	Χρόνος αναμονής από την χρονική στιγμή του αιτήματος ανάκτησης δεδομένων μέχρι αυτά να γίνουν διαθέσιμα προς κατανάλωση.
Ακρίβεια (Precision)	Επίπεδο ακρίβειας (π.χ., αριθμός δεκαδικών ψηφίων, βαθμός ακρίβειας γεωγραφικής θέσης) στα δεδομένα που παρέχονται από την πηγή δεδομένων.

Πίνακας 3: Παράδειγμα QoS προφίλ για την περίπτωση εφαρμογής «έξυπνης στάθμευσης».

QoS Μετρική	Τιμή στόχος (t_i)	Βαρύτητα (w_i)	Μέγιστη/Ελάχιστη (m_i)
Διαθεσιμότητα (Availability)	99%	0.47	Min
Χρόνος απόκρισης (Response time)	10s	0.35	Max
Ακρίβεια (Precision)	10-αδας αριθμημένων θέσεων, στις οποίες υπάρχει ελεύθερη θέση στάθμευσης	0.18	Max

Η ανάθεση βαρών στις διαφορετικές μετρικές QoS αποφασίζεται από τους κανόνες μιας ομοσπονδίας στη βάση προτιμήσεων και προτεραιοτήτων της ομοσπονδίας. Ποια μέθοδος θα ακολουθηθεί από μια ομοσπονδία για την ανάθεση των βαρών, αποτελεί απόφαση της εκάστοτε ομοσπονδίας και θεωρείται «είσοδος» στο σύστημα φήμης και εμπιστοσύνης τους IoTFeds. Μεταξύ των ευρέως χρησιμοποιούμενων μεθόδων προσδιορισμού των βαρών για τις διαφορετικές μετρικές QoS είναι: η μέθοδος βάρους εντροπίας (Dai & Wang, 2017) που επηρεάζεται σημαντικά από δεδομένα παρακολούθησης, η αναλυτική ιεραρχική διαδικασία (Analytic Hierarchy Process - AHP) (Saaty, 1987) και διάφορες τροποποιημένες εκδοχές της τελευταίας όπως η Fuzzy AHP (Chang, 1996)**.**

Στο παρόν παράδειγμα εφαρμογής της «*έξυπνης στάθμευσης*» χρησιμοποιείται η αναλυτική ιεραρχική διαδικασία (AHP) για τον καθορισμό των σχετικών βαρών των αντικειμενικών μετρικών, όπως προτάθηκε από τον Saaty (1987), με δεδομένο ότι προσφέρει μία δομημένη

και συγκριτικά απλή λύση στα ζητήματα λήψης αποφάσεων της ανάθεσης των σχετικών βαρών σε αυτές τις μετρικές. Η ομοσπονδία αναθέτει σχετικά βάρη για κάθε πιθανό ζευγάρι από μετρικές σε έναν διατυπωμένο κατά ζεύγη πίνακα σύγκρισης βαρύτητας (Pairwise Importance Comparison Matrix - PICM), βάσει μίας κλίμακας 1-9 όπως αποτυπώνεται στο Παράρτημα 2. Η συνέπεια του πίνακα σύγκρισης ανά ζεύγη μετρικών επαληθεύεται στη συνέχεια σύμφωνα με τον τύπο της αναλογίας συνοχής (Consistency Ratio - CR) (εξίσωση (1) και (2) του Παραρτήματος 2). Η CR δείχνει το ποσοστό τυχαιότητας στον ορισμό των σχετικών βαρών μεταξύ των μετρικών. Αν η CR έχει τιμή μικρότερη του 0.10 τότε ο πίνακας θεωρείται έγκυρος διαφορετικά η ομοσπονδία πρέπει να διορθώσει ορισμένα βάρη πριν το QoS προφίλ θεωρηθεί έγκυρο.

Για την επιλογή των προϊόντων IoT της περίπτωσης εφαρμογής «*έξυπνης στάθμευσης*» έχουν ληφθεί ενδεικτικά τρεις μετρικές QoS: διαθεσιμότητα, ακρίβεια και χρόνος απόκρισης (Πίνακας 3). Λαμβάνοντας υπόψη την περίπτωση εφαρμογής, η ομοσπονδία αναθέτει την υψηλότερη σχετική αξία στην διαθεσιμότητα των συσκευών IoT. Η ακρίβεια και ο χρόνος απόκρισης είναι επίσης πολύ σημαντικές μετρικές και θα μπορούσε να τους δοθεί ίδια βαρύτητα στην περίπτωση που προστεθούν επιπλέον μετρικές. Ωστόσο στο παρόν QoS προφίλ η ομοσπονδία έκρινε πως πρέπει να δοθεί μεγαλύτερη σημασία στη ακρίβεια έναντι του χρόνου απόκρισης. Μετά τον υπολογισμό των σταθμισμένων βαρών των αντικειμενικών μετρικών, που αποτυπώνεται στον Πίνακας 3, υπολογίζεται η αναλογία συνοχής (CR) του πίνακα συγκρίσεων ανά ζεύγη, η οποία βρέθηκε να είναι 0.015 (Παράρτημα 2). Δεδομένου ότι η CR έχει τιμή μικρότερη από το 0.10, θεωρείται ασφαλές να ειπωθεί πως τα σχετικά βάρη είναι έγκυρα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν περαιτέρω για την αξιολόγηση προϊόντων IoT.

3.1.1.2 Παρακολούθηση επιδόσεων των πηγών δεδομένων ως προς τις αντικειμενικές μετρικές

Η παρακολούθηση (Monitoring) των επιδόσεων των πηγών δεδομένων ως προς τις αντικειμενικές μετρικές διενεργείται από το σύστημα παρακολούθησης (monitoring system) πόρων της κάθε πλατφόρμας, μέσω της οποίας μια πηγή δεδομένων γίνεται διαθέσιμη στο IoTFeds. Αυτό σημαίνει ότι το IoTFeds δεν αναπτύσσει το δικό του monitoring system, αλλά παρέχει όλους τους απαραίτητους μηχανισμούς για την συλλογή αυτών των μετρήσεων από τις εκάστοτε πλατφόρμες και αξιοποίηση τους εντός του συστήματος του IoTFeds.

Η συλλογή των μετρήσεων επιτυγχάνεται μέσω του στοιχείου λογισμικού Monitoring που είναι εγκατεστημένο σε κάθε πλατφόρμα που συμμετέχει στο IoTFeds. Το στοιχείο λογισμικού Monitoring αποτελεί μέρος του symbIoTe Cloud Domain (CLD), δηλαδή ενός συνόλου από στοιχεία λογισμικού που απαιτείται να εγκατασταθούν στην πλευρά κάθε πλατφόρμας για την συμμετοχή της στο IoTFeds και για την εξασφάλιση του ελάχιστου βαθμού διαλειτουργικότητας. Οι μετρήσεις συλλέγονται περιοδικά από το στοιχείο λογισμικού Monitoring κάθε πλατφόρμας για τα αναγνωριστικά (IDs) των πηγών δεδομένων που υποδεικνύονται από το στοιχείο λογισμικού Registration Handler του CLD και προωθούνται για τη σύνθεση συνολικών εκθέσεων παρακολούθησης (monitoring reports), δηλαδή των σύνολο των μετρήσεων για κάθε πηγή δεδομένων και για το διάστημα μια περιόδου παρακολούθησης (monitoring period). Οι μετρήσεις αυτές αξιοποιούνται από το IoTFeds και ένα σύνολο από στοιχεία λογισμικού του υποσυστήματος symbIoTe. Οι λεπτομέρειες της υλοποίησης συζητούνται περαιτέρω στην Ενότητα 4.

3.1.1.3 Υπολογισμός Αντικειμενικού βαθμού

Ο υπολογισμός των αντικειμενικών μετρικών για κάθε πηγή δεδομένων, και η διάχυση αυτής της πληροφορίας στο σύστημα του IoTFeds, διενεργείται από την πλατφόρμα μέσω της οποίας η πηγή δεδομένων παρέχεται στην εκάστοτε ομοσπονδία. Σε κάθε περίοδο παρακολούθησης (monitoring period), το στοιχείο λογισμικού Monitoring του κάθε παρόχου συλλέγει μετρήσεις για κάθε πηγή δεδομένων που παρέχεται μέσω της πλατφόρμας του για το σύνολο των υποστηριζόμενων μετρικών.

Για κάθε πηγή δεδομένων d και για κάθε ομοσπονδία στην οποία συνεισφέρει αυτή η πηγή δεδομένων, υπολογίζεται ένας αντικειμενικός βαθμός βάσει του QoS προφίλ q_o που ορίζεται από την ομοσπονδία. Ο αντικειμενικός βαθμός μιας μετρικής $i \in M$ για μια τιμή μέτρησης v_i υπολογίζεται ως εξής:

$$o_i(d, q_o) = \begin{cases} 1, \text{if } m_i = 'max' \text{ and } v_i \leq t_i \\ 0, \text{if } m_i = 'max' \text{ and } v_i > t_i \\ 1, \text{if } m_i = 'min' \text{ and } v_i \geq t_i \\ 0, \text{if } m_i = 'min' \text{ and } v_i < t_i \end{cases} \quad (7)$$

Δηλαδή, αν μία μετρική πετυχαίνει ίση ή καλύτερη επίδοση από την τιμή στόχο, τότε ο αντικειμενικός βαθμός της είναι 1, διαφορετικά είναι 0. Ο συνολικός βαθμός της πηγής δεδομένων d για το QoS προφίλ q_o υπολογίζεται συναθροίζοντας τους αντικειμενικούς βαθμούς των διαφορετικών μετρικών και κάνοντας χρήση των βαρών που ορίζονται από το προφίλ, ως εξής:

$$O(d, q_o) = \sum_{i=1}^{n} w_i \, o_i(d, q_o) \quad (8)$$

Σε κάθε περίοδο παρακολούθησης, οι αντικειμενικοί βαθμοί για κάθε πηγή δεδομένων και για το σύνολο των QoS προφίλ που απαιτείται προωθούνται στο σύστημα φήμης και εμπιστοσύνης του IoTFeds.

3.1.2 Αξιολόγηση Βάσει Υποκειμενικών Μετρικών

Η υποκειμενική αξιολόγηση αφορά την ανατροφοδότηση των καταναλωτών, σχετικά με το πως κάθε ένας από αυτούς αντιλαμβάνεται σε υψηλότερο επίπεδο την ποιότητα υπηρεσίας που παρέχεται από τα προϊόντα δεδομένων. Με άλλα λόγια, την ποιότητα εμπειρίας (Quality of Experience – QoE) του κάθε καταναλωτή. Η μοντελοποίηση και τρόπος αναπαράστασης των υποκειμενικών μετρικών, οι βασικές κατηγορίες υποκειμενικών μετρικών, η συλλογή των υποκειμενικών αξιολογήσεων από τους καταναλωτές, καθώς και η αξιοποίηση αυτών για την εξαγωγή ενός υποκειμενικού βαθμού ανά πηγή δεδομένων, συζητώνται παρακάτω.

3.1.2.1 Υποκειμενικές μετρικές

Οι υποκειμενικές μετρικές που λαμβάνονται υπόψη κατά την αξιολόγηση ενός προϊόντος αποφασίζονται και αυτές από τους κανόνες της εκάστοτε ομοσπονδίας. Αναμένεται ότι στην πλειονότητά τους, οι υποκειμενικές μετρικές θα είναι «υψηλού επιπέδου», δηλαδή θα είναι σχετικές για κάθε τύπο υπηρεσίας/περίπτωση χρήσης. Ωστόσο, θα δύναται να υπάρχουν και μετρικές που θα σχετίζονται με συγκεκριμένους τύπους υπηρεσίας ή περίπτωση χρήσης. Αντίστοιχα με την περίπτωση των αντικειμενικών μετρικών, θεωρούμε ότι σε κάθε προϊόν δεδομένων αντιστοιχίζεται ένα προφίλ ποιότητα εμπειρίας του καταναλωτή το οποίο ορίζει το σύνολο των υποκειμενικών μετρικών που είναι σχετικές με το προϊόν καθώς και την βαρύτητα των διαφορετικών μετρικών για την αποτίμηση της συνολικής εμπειρίας του χρήστη. Συνεπώς, αν θεωρήσουμε το σύνολο των πιθανών υποκειμενικών μετρικών M_s, ένα QoE προφίλ ορίζει τα (α) βάρη w_i με τα οποία συμμετέχει στον υπολογισμό της εμπειρίας του χρήστη η υποκειμενική μετρική $i \in M_s$ και (β) μια ένδειξη $m_i \in ['positive', 'negative']$ για κάθε μετρική i. Μια ένδειξη m_i με τιμή '$positive$' υποδηλώνει ότι όσο πιο υψηλή η τιμή της μετρικής i, τόσο καλύτερη η εμπειρία του χρήστη. Αντίθετα, για μετρικές με ένδειξη '$negative$' οι χαμηλότερες τιμές είναι προτιμητέες. Συγκεκριμένα ένα QoE προφίλ q_s ορίζεται ως:

$$q_s = [(w_1, m_1), \dots, (w_n, m_n)], \quad (9)$$

όπου n είναι το πλήθος των πιθανών υποκειμενικών μετρικών και $\sum_{i=1}^{n} w_i = 1$. Σημειώνεται ότι για τις μετρικές που δεν είναι σχετικές για κάποιο QoE προφίλ, τα βάρη του λαμβάνουν μηδενικές τιμές.

Ο σκοπός των υποκειμενικών μετρικών είναι διττός, (α) να αξιολογήσουν πτυχές της ποιότητας των προϊόντων δεδομένων που *δεν* μπορούν να μετρηθούν με τις αντικειμενικές μετρήσεις που υποστηρίζονται από τις πλατφόρμες και (β) να παρέχουν μια υποκειμενική αποτίμηση των πτυχών ποιότητας που αξιολογούνται μέσω των αντικειμενικών μετρικών. Το τελευταίο είναι χρήσιμο για τον εντοπισμό κακόβουλων συμπεριφορών τόσο από τους παρόχους όσο και από τους καταναλωτές δεδομένων. Συγκεκριμένα, βοηθούν στον εντοπισμό παρόχων που δηλώνουν ψευδείς επιδόσεις ή υπερεκτιμούν την υπηρεσία που παρέχουν ως προς τις αντικειμενικές μετρικές, αποσκοπώντας σε αυξημένη ζήτηση των πηγών δεδομένων τους και μεγαλύτερα κέρδη. Επίσης, βοηθούν στον εντοπισμό καταναλωτών που ψευδώς δηλώνουν ότι λαμβάνουν χαμηλής ποιότητας υπηρεσίας μέσω του βαθμού των υποκειμενικών μετρικών, αποσκοπώντας να πλήξουν την φήμη ενός ανταγωνιστικού παρόχου. Συνεπώς, οι υποκειμενικές μετρικές ενδέχεται να είναι μετρικές που ανήκουν σε μία ή περισσότερες από τις παρακάτω κατηγορίες.

- *Μετρικές υψηλού επιπέδου*. Για παράδειγμα, ο συνολικός βαθμός ικανοποίησης του χρήστη, η σχέση ποιότητας-τιμής, κ.α.

- *Μετρικές ποιότητας δεδομένων που δεν μπορούν να μετρηθούν από τις πλατφόρμες.* Για παράδειγμα, η ακρίβεια της πληροφορίας, η επικαιρότητα των δεδομένων, η εγκυρότητα των δεδομένων, κ.α.

- *Μετρικές υποκειμενικής αποτίμησης των αντικειμενικών μετρικών.*

Στον Πίνακας 4 εμφανίζεται το σύνολο των υποκειμενικών μετρικών που χρησιμοποιούνται στο σύστημα IoTFeds, για κάθε μία από τις τρεις προαναφερθείσες κατηγορίες. Σημειώνεται ότι, το σύνολο των μετρικών δύναται να επεκταθεί και να μελετηθεί περαιτέρω στα πλαίσια των πιλοτικών εφαρμογών και την ενότητα εργασίας ΕΕ4.

Πίνακας 4: Ενδεικτική λίστα υποκειμενικών μετρικών

QoE Μετρική	**Περιγραφή**
Μετρικές υψηλού επιπέδου	
Ευχρηστία (Ease of Use)	Ευκολία στην χρήση του προϊόντος.
Σχέση ποιότητα τιμής (Value for money)	Η αξία που προσκομίζει ο αγοραστής από την αγορά του προϊόντος έναντι της τιμής αγοράς.
Επιχειρηματική Αξία (Business Enablement)	Ο βαθμός στον οποίο τον προϊόν συνεισφέρει στην κάλυψη των απαιτούμενων επιχειρηματικών αναγκών του αγοραστή.
Μετρικές ποιότητας δεδομένων	
Ορθότητα (Correctness)	Η απόκλιση των τιμών των δεδομένων που παρέχονται από το προϊόν σε σχέση με τις πραγματικές.

Πληρότητα (Completeness)	Επίπεδο πληρότητας των δεδομένων του προϊόντος, δηλαδή μη ύπαρξης κενών στην πληροφορία που παρέχεται.
Συνάφεια (Relevance)	Το περιεχόμενο είναι σχετικό και συμβατό με τις απαιτήσεις της εφαρμογής για την οποία προορίζεται το προϊόν δεδομένων.
Μετρικές υποκειμενικής αποτίμησης των αντικειμενικών μετρικών	
Χρόνος απόκρισης (Response Time)	Υποκειμενική αποτίμηση του χρόνου απόκρισης στην παροχή του προϊόντος.
Ακρίβεια (Precision)	Υποκειμενική αποτίμηση της ακρίβειας των δεδομένων στο σύνολο του προϊόντος.

Στον Πίνακας 5 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα QoE προφίλ, όπου επιλέγεται εκ νέου η περίπτωση εφαρμογής IoT της «*έξυπνης στάθμευσης*». Για την επίλυση του ζητήματος της ανάθεσης των υποκειμενικών βαρών στις οκτώ μετρικές της ποιότητας της εμπειρίας από την συγκεκριμένη καθετοποιημένη ομοσπονδία, χρησιμοποιείται και πάλι η αναλυτική ιεραρχική διαδικασία (AHP). Με αυτό τον τρόπο λαμβάνεται υπόψη η αλληλεξάρτηση μεταξύ τους με απλό και δομημένο τρόπο, παρέχοντας έτσι μια έγκυρη ποσοτικοποιημένη βάση μέσω σταθμισμένων βαρών για την αξιολόγηση των προϊόντων IoT.

Το σχετικό βάρος κάθε μετρικής υπολογίζεται χρησιμοποιώντας έναν πίνακα συγκρίσεων ανά ζεύγη που παρουσιάζεται στο Παράρτημα 2. Με δεδομένο ότι για παράδειγμα επιλέχθηκε η εφαρμογή IoT για την «*έξυπνη στάθμευση*», η ομοσπονδία αξιολογεί την ποιότητα δεδομένων των συσκευών IoT ως υψηλής σχετικής σημασίας, επομένως αναθέτει μεγαλύτερο σχετικό βάρος σε αυτές τις μετρικές έναντι των υπολοίπων. Συγκεκριμένα, αποδίδεται σχεδόν ίδια προτεραιότητα στην συνάφεια και στην ορθότητα, ενώ ελάχιστα σημαντικότερη θεωρείται η πληρότητα των δεδομένων. Η επιχειρηματικότητα και η σχέση ποιότητα τιμής αξιολογούνται ως επίσης πολύ σημαντικές μετρικές σε σχέση με την ευχρηστία, την ακρίβεια καθώς και το χρόνο απόκρισης. Ως εκ τούτου, η ομοσπονδία κατατάσσει ελαφρώς χαμηλότερα την ευχρηστία έναντι των υπόλοιπων δύο μετρικών υψηλού επιπέδου. Η επόμενη μετρική που εξετάζεται είναι η ακρίβεια των δεδομένων, η οποία για την ομοσπονδία θεωρείται παρόμοιας σημαντικότητας με την ευχρηστία. Ο χρόνος απόκρισης για την παροχή προϊόντος και συνεπώς πόρων IoT θεωρήθηκε από την ομοσπονδία ως η λιγότερη σημαντική μετρική. Η διαδικασία προσδιορισμού των βαρών στην AHP, ολοκληρώνεται με τον υπολογισμό της αναλογίας συνοχής (Consistency Ratio - CR), όπου ελέγχεται κατά πόσο τα υπολογισθέντα βάρη είναι συνεπή και μη αντικρουόμενα μεταξύ των διαφορετικών ζευγών στο πίνακα σύγκρισης. Όπως προκύπτει από τους τύπους του Παραρτήματος 2, η CR έχει τιμή μικρότερη από 0.10, και επομένως τα σχετικά βάρη μπορούν να χρησιμοποιηθούν περαιτέρω για τον υπολογισμό του βαθμού φήμης.

Πίνακας 5: Παράδειγμα QoE προφίλ για την περίπτωση εφαρμογής «έξυπνης στάθμευσης».

QoE Μετρική	**Βαρύτητα (w_i)**	**Θετική/Αρνητική (m_i)**
Ευχρηστία (Ease of Use)	0.05	Θετική
Σχέση ποιότητα τιμής (Value for money)	0.08	Θετική

Επιχειρηματική Αξία (Business Enablement)	0.14	Θετική
Ορθότητα (Correctness)	0.21	Θετική
Πληρότητα (Completeness)	0.26	Θετική
Συνάφεια (Relevance)	0.21	Θετική
Χρόνος απόκρισης (Response Time)	0.03	Θετική
Ακρίβεια (Precision)	0.04	Θετική

3.1.2.2 Υπολογισμός υποκειμενικού βαθμού

Σε αντίθεση με τον αντικειμενικό βαθμό που υπολογίζεται περιοδικά, ο υποκειμενικός βαθμός υπολογίζεται για κάθε μία αξιολόγηση προϊόντος δεδομένων που κατατίθεται από έναν καταναλωτή. Η αξιολόγηση ενός προϊόντος δεδομένων είναι συνδεδεμένη με μία συναλλαγή (αγοράς του προϊόντος) και η αξιολόγηση του προϊόντος γίνεται σε μεταγενέστερο χρόνο από την συναλλαγή. Κατά την αξιολόγηση, ο καταναλωτής καλείται να δώσει τιμές βαθμού στο διάστημα $[0, 1]$ στο σύνολο των μετρικών M_s, εξαιρώντας αυτές για τις οποίες έχουν οριστεί μηδενικά βάρη από το QoE προφίλ q_s στο οποίο έχει αντιστοιχιστεί το προϊόν. Συνεπώς, λαμβάνοντας υπόψη την ανατροφοδότηση του καταναλωτή $0 \leq v_i \leq 1, \forall\, i \in M_s$, και τα βάρη που ορίζονται από το q_s, ο υπολογισμός του υποκειμενικού βαθμού για τη συναλλαγή t του προϊόντος p δίνεται από την παρακάτω συνάρτηση:

$$S(t, p, q_s) = \sum_{i=1}^{n} w_i v_i \qquad (10)$$

Στην παρούσα προσέγγιση, όπου τα QoE προφίλ ορίζονται από τις ομοσπονδίες ανά κατηγορία προϊόντος, αναμένεται ότι οι συναλλαγές που αφορούν το ίδιο προϊόν θα έχουν το ίδιο q_s. Σαν μελλοντική κατεύθυνση εργασίας, θα θέλαμε να εξετάσουμε την περίπτωση όπου τα q_s δεν είναι τα ίδια για όλους τους καταναλωτές που αγοράζουν αυτό το προϊόν. Συγκεκριμένα, τα βάρη των διαφορετικών μετρικών θα μπορούσαν να διαφέρουν με βάση την υπηρεσία στην οποία αξιοποιείται το προϊόν από τον καταναλωτή, ή ακόμα τα βάρη να αποφασίζονται από τον ίδιο τον καταναλωτή.

3.2 Επίπεδα Φήμης και Μέθοδοι Υπολογισμού

Στην παρούσα ενότητα ορίζεται η έννοια της φήμης καθώς και οι μέθοδοι υπολογισμού αυτής στα επίπεδα πηγών δεδομένων, προϊόντων, παρόχων και ομοσπονδιών. Επιπλέον, ορίζονται μηχανισμοί για την διαχείριση διάφορων συμβάντων ψυχρής εκκίνησης (π.χ. εγγραφή νέου Παρόχου στο σύστημα IoTFeds), όπου ο επαναυπολογισμός του βαθμού φήμης δεν είναι απαραίτητο να γίνει σε όλα τα επίπεδα.

3.2.1 Επίπεδο πηγών δεδομένων

Όπως συζητήσαμε νωρίτερα, ο βαθμός φήμης μιας πηγής δεδομένων υπολογίζεται συνυπολογίζοντας τους βαθμούς που προκύπτουν από τις υποκειμενικές αξιολογήσεις των καταναλωτών και την αξιολόγηση των συστημάτων παρακολούθησης των πλατφορμών βάσει ενός συνόλου αντικειμενικών μετρικών. Οι αντικειμενικές αξιολογήσεις υπολογίζονται περιοδικά ενώ οι υποκειμενικές αξιολογήσεις γίνονται ασύγχρονα. Λαμβάνοντας αυτές τις αξιολογήσεις, και εκτελώντας τις απαραίτητες διεργασίες, το σύστημα φήμης και εμπιστοσύνης υπολογίζει τον τρέχοντα αντικειμενικό και υποκειμενικό βαθμό για κάθε πηγή δεδομένων. Συνεπώς, κάθε χρονική στιγμή, το σύστημα φήμης και εμπιστοσύνης διατηρεί τις τρέχουσες τιμές αντικειμενικού και υποκειμενικού βαθμού για κάθε μία από τις πηγές δεδομένων. Σημειώνεται ότι για τον υπολογισμό των νέων τρεχουσών τιμών λαμβάνεται υπόψη τόσο ο βαθμός της τελευταίας βαθμολόγησης όσο και ο βαθμός όλων των προηγούμενων βαθμολογήσεων. Ωστόσο, όσο πιο πρόσφατη μια αξιολόγηση τόσο μεγαλύτερη βαρύτητα έχει κατά τον υπολογισμό των τρεχουσών τιμών.

Η ανανέωση του βαθμού φήμης των πηγών δεδομένων «πυροδοτείται» με την λήψη μιας υποκειμενικής αξιολόγησης για ένα προϊόν δεδομένων. Κατά την διαδικασία υπολογισμού φήμης των πηγών δεδομένων οι τρέχοντες αντικειμενικοί και υποκειμενικοί βαθμοί λαμβάνονται υπόψη. Σαν συνέχεια της διαδικασίας αυτής, υπολογίζεται ο βαθμός φήμης για κάθε προϊόν, πάροχο και ομοσπονδία.

Ανανέωση υποκειμενικού βαθμού. Ο υποκειμενικός βαθμός των πηγών δεδομένων ανανεώνεται με την λήψη μιας αξιολόγησης προϊόντος από έναν καταναλωτή. Υποθέτοντας ότι το σύστημα φήμης και εμπιστοσύνης λαμβάνει μια αξιολόγηση $\mathrm{S}(t, p, q_s)$ για το προϊόν p από τον καταναλωτή που συμμετείχε στην συναλλαγή t, τότε ο υποκειμενικός βαθμός *για κάθε πηγή δεδομένων* d που συμμετέχει στο προϊόν p θα πρέπει να ανανεωθεί. Αν υποθέσουμε ότι το $S^{old}(d)$ συμβολίζει τον, μέχρι την τρέχουσα χρονική στιγμή, υποκειμενικό βαθμό της πηγής δεδομένων d, τότε ο νέος υποκειμενικός βαθμός δίνεται από την σχέση:

$$S^{new}(d) = \lambda \cdot \mathrm{S}(t, p, q_s) + (1 - \lambda) \cdot S^{old}(d), \forall\, d \in p \qquad (11)$$

όπου το $0 \leq \lambda \leq 1$ είναι η παράμετρος με την οποία αποφασίζεται η βαρύτητα με την οποία θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη αξιολογήσεις του παρελθόντος. Για τιμές του λ κοντά στο 1, η τελευταία ληφθείσα αξιολόγηση $\mathrm{S}(t, p, q_s)$ παίζει τον σημαντικότερο ρόλο στην διαμόρφωση του νέου υποκειμενικού βαθμού. Αντίθετα, για τιμές του λ κοντά στο 0, η νέα τιμή του θα βασίζεται κατά κύριο λόγο στην προηγούμενη τιμή του υποκειμενικού βαθμού $S^{old}(d)$. Η τιμή του λ μπορεί να είναι μοναδική για όλο το σύστημα του IoTFeds, ή να είναι διαφορετική για κάθε ομοσπονδία και να καθορίζεται από τους κανόνες της. Αναμένεται, ότι το λ δεν θα λαμβάνει ακραίες τιμές, αλλά τιμές κοντά στο 0.5.

Στην προσέγγιση της σχέσης (4), θεωρούμε ότι η αξιολόγηση του προϊόντος p, επηρεάζει στον ίδιο βαθμό την υποκειμενική βαθμολόγηση όλων το πηγών δεδομένων που συμμετέχουν στο προϊόν p. Μια προσέγγιση που λαμβάνει υπόψη το επίπεδο συνεισφοράς κάθε πηγής δεδομένων στο προϊόν θα είχε επίσης νόημα. Για παράδειγμα, μια πηγή δεδομένων μπορεί να συνεισφέρει μεγαλύτερο όγκο δεδομένων σε ένα προϊόν ή δεδομένα που έχουν μεγαλύτερη «αξία» (σε σχέση με αυτά άλλων πηγών) για την περίπτωση χρήσης που αποσκοπεί να εξυπηρετήσει το προϊόν. Σε αυτή την περίπτωση, αν θεωρήσουμε ότι $w_{d,p}$ είναι η βαρύτητα της πηγής δεδομένων d για το προϊόν p, τότε η σχέση (4) διαμορφώνεται ως εξής:

$$S^{new}(d) = \lambda \cdot w_{d,p} \cdot \mathrm{S}(t, p, q_s) + (1 - \lambda) \cdot S^{old}(d), \forall\, d \in p \qquad (12)$$

όπου $\sum_{d \in p} w_{d,p} = 1$.

Ανανέωση αντικειμενικού βαθμού. Με το τέλος κάθε περιόδου παρακολούθησης τα στοιχείο λογισμικού Monitoring κάθε πλατφόρμας λαμβάνει μετρήσεις για κάθε πηγή δεδομένων που ανήκει σε αυτή την πλατφόρμα και για το σύνολο των υποστηριζόμενων μετρικών. Όπως περιγράφηκε στην Ενότητα 3.1.1, για κάθε πηγή δεδομένων d υπολογίζεται ένας αντικειμενικός βαθμός $Q(d, q_o)$ για κάθε ομοσπονδία στην οποία η πηγή δεδομένων συμμετέχει, καθώς κάθε ομοσπονδία ενδέχεται να έχει διαφορετικό QoS προφίλ q_o. Συνεπώς, κατά τον υπολογισμό μια συνολικής αντικειμενικής βαθμολόγησης μιας πηγής δεδομένων d, όλα τα QoS προφίλ που έχουν αντιστοιχιστεί σε αυτή την πηγή Q_d θα πρέπει αν ληφθούν υπόψη. Θεωρούμε ότι οι αντικειμενικοί βαθμοί που υπολογίζονται για QoS προφίλ που συμμετέχει μία πηγή δεδομένων έχουν την ίδια βαρύτητα, οπότε ο συνολικός αντικειμενικός βαθμός κατά την τρέχουσα περίοδο παρακολούθησης $O^{cur}(d)$ υπολογίζεται ως εξής:

$$O^{cur}(d) = \frac{\sum_{q_o \in Q_d} O(d, q_o)}{|Q_d|} \quad (13)$$

Η διαδικασία που ακολουθείται για την ανανέωση του αντικειμενικού βαθμού μιας πηγής ακολουθεί παρόμοια λογική με αυτή για τον υποκειμενικό βαθμό. Δηλαδή, για την ανανέωση του αντικειμενικού βαθμού κάθε πηγής d λαμβάνεται υπόψη η τρέχουσα συνολική αξιολόγηση $O^{cur}(d)$ και ο μέχρι πρότινος συνολικός αντικειμενικός βαθμός $O^{old}(d)$ ως εξής:

$$O^{new}(d) = \lambda \cdot O^{cur}(d) + (1 - \lambda) \cdot O^{old}(d) \quad (14)$$

Όσον αφορά τις αντικειμενικές μετρικές, η τιμή του λ (όπου $0 \leq \lambda \leq 1$) να είναι μοναδική για όλες πηγές τις πηγές δεδομένων.

Βαθμός φήμης πηγών δεδομένων. Η ανανέωση του βαθμού φήμης των πηγών δεδομένων είναι μια διαδικασία που είναι ανεξάρτητη από τις διαδικασίες ανανέωσης των αντικειμενικών και υποκειμενικών βαθμών, οι οποίες είναι επίσης ανεξάρτητες η μία από την άλλη. Συνεπώς, η ανανέωση των βαθμών φήμης θα μπορούσε να γίνεται περιοδικά ή όταν ένα ικανός αριθμός από νέες αντικειμενικές ή/και υποκειμενικές αξιολογήσεις λαμβάνεται από το σύστημα φήμης και εμπιστοσύνης. Η τρέχουσα προσέγγιση που ακολουθείται στο σύστημα IoTFeds είναι να εκκινείται η διαδικασία ανανέωσης του βαθμού φήμης με κάθε νέα αξιολόγηση καταναλωτή και για το σύνολο το πηγών δεδομένων που συμμετέχουν στο προϊόν που αξιολογήθηκε.

Σε κάθε περίπτωση, κατά την ανανέωση του βαθμού φήμης μιας πηγής δεδομένων d λαμβάνονται υπόψη οι διαθέσιμες τιμές αντικείμενού $O^{new}(d)$ και υποκειμενικού $S^{new}(d)$ βαθμού ως εξής:

$$r^{\delta}(d) = W_i \cdot O^{new}(d) + (1 - W_i) \cdot S^{new}(d) \quad (15)$$

όπου η παράμετρος W_i λαμβάνει τιμές στο διάστημα $[0,1]$ και δηλώνει το βαθμό εμπιστοσύνης στο κατά πόσο είναι αληθείς/ακριβείς οι αντικειμενικές μετρήσεις που δηλώνονται από την πλατφόρμα i για τις επιδόσεις της πηγής δεδομένων d έναντι των υποκειμενικών αξιολογήσεων που είναι σχετικές με την πηγή d. Σημειώνεται ότι η τιμή της παραμέτρου W_i είναι κοινή για όλες τις πηγές δεδομένων της πλατφόρμας. Όσο μεγαλύτερο το W_i τόσο περισσότερο λαμβάνονται υπόψη οι αντικειμενικές μετρικές. Η τιμή του W_i πρέπει να ανανεώνεται με κάποιο μηχανισμό ο οποίος να αξιολογεί το βαθμό αξιοπιστίας των παρόχων. Προς αυτή την κατεύθυνση μελετώνται οι δύο παρακάτω εναλλακτικοί μηχανισμοί:

1. <u>*Άμεσος μηχανισμός*</u>: Κατά την ανανέωση του βαθμού φήμης μια πηγής δεδομένων, ο μηχανισμός αυτός ελέγχει την διαφορά μεταξύ του αντικειμενικού και υποκειμενικού βαθμού, δηλαδή $O^{new}(d) - S^{new}(d)$.

a. Αν η διαφορά είναι μεγαλύτερη από ένα κατώφλι T_h τότε το W_i μειώνεται κατά έναν παράγοντα ε (π.χ., $\varepsilon = 0.05$), αλλά πότε δεν γίνεται μικρότερο του μηδενός. Δηλαδή,

$$if\ O^{new}(d) - S^{new}(d) > T_h\ then\ W_i \coloneqq max\{W_i - \varepsilon, 0\} \quad (16)$$

b. Αντίθετα, αν η διαφορά είναι μικρότερη από ένα κατώφλι T_l τότε το W_i αυξάνεται κατά έναν παράγοντα ε. Δηλαδή,

$$if\ O^{new}(d) - S^{new}(d) < T_l\ then\ W_i \coloneqq min\{W_i + \varepsilon, 1\} \quad (17)$$

Συνεπώς, για τιμές της διαφοράς που δεν παραβιάζουν τα δύο κατώφλια, η τιμή του W_i παραμένει σταθερή.

Ο άμεσος μηχανισμός, υποθέτει ότι οι υποκειμενικές βαθμολογίες είναι σε μεγάλο βαθμό αληθείς διότι διαμορφώνονται από πολλαπλούς καταναλωτές, οπότε καταναλωτές με κακόβουλες προθέσεις δεν μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την μεταβολή της υποκειμενικής βαθμολογίας, καθώς επίσης μπορούν εύκολα να εντοπιστούν όταν καταθέτουν αξιολογήσεις που διαφέρουν σημαντικά από αυτές των υπολοίπων καταναλωτών. Επίσης, το γεγονός ότι οι αξιολογήσεις από πλευράς καταναλωτών προκύπτουν μόνο μετά από αγορά κάποιου προϊόντος, κάθε αξιολόγηση επιφέρει κόστος για τον αξιολογητή. Συνεπώς, η διενέργεια μαζικών κακόβουλων επιθέσεων αποθαρρύνεται. Επίσης, μηχανισμοί που λαμβάνουν σε μικρότερο βαθμό υπόψη τις αξιολογήσεις νέων χρηστών ή χρηστών με λιγότερες αγορές, θα μπορούσαν να εφαρμοστούν. Τέτοιοι μηχανισμοί δεν υλοποιούνται στην παρούσα έκδοση του συστήματος, αλλά θα μπορούσαν να περιληφθούν σε μελλοντικές επεκτάσεις.

Αντίθετα, οι αντικειμενικές βαθμολογίες υπολογίζονται μόνο από μετρήσεις που προέρχονται από μία οντότητα, την πλατφόρμα πάροχο της εκάστοτε πηγής δεδομένων, οι οποίες έχουν το κίνητρο να δηλώσουν ψευδείς επιδόσεις ώστε να αυξήσουν την φήμη τους. Οπότε, στο βήμα a. ο μηχανισμός τιμωρεί τους παρόχους που υπερεκτιμούν την ποιότητα υπηρεσίας τους μειώνοντας την *αξιοπιστία* τους W_i. Από την άλλη, στο βήμα b., αν η διαφορά είναι αρκετά μικρή τους επιβραβεύει και αυξάνει την αξιοπιστία τους.

Παρόλο που οι υποκειμενικές αξιολογήσεις έχουν μεγάλο βαθμό φιλαλήθειας, ενδέχεται να μην είναι ακριβείς λόγω της εγγενούς υποκειμενικότητας ή ελλιπούς αντίληψης ποιότητας του χρήστη. Οπότε, οι τιμές των κατωφλίων δεν πρέπει να είναι πολύ αυστηρές ώστε να λαμβάνουν υπόψη τέτοιες πιθανές ανακρίβειες. Από την άλλη, οι αντικειμενικές μετρήσεις είναι ακριβείς και ο πάροχος δεν έχει το κίνητρο να δηλώσει χαμηλότερες επιδόσεις από αυτές που πράγματι πετυχαίνει. Συνεπώς, σε περιπτώσεις όπου η αντικειμενική βαθμολόγηση είναι χαμηλότερη από την υποκειμενική, δηλαδή για αρνητικές τιμές της διαφοράς, μέσω του βήματος b. ο μηχανισμός αυξάνει την εμπιστοσύνη στον πάροχο και τις αντικειμενικές μετρήσεις που παρέχει.

2. <u>Έμμεσος μηχανισμός</u>: Αυτός ο μηχανισμός ανανεώνει την τιμή της παραμέτρου W_i αναθέτοντάς της τον τρέχοντα βαθμό φήμης του παρόχου i. Η μέθοδος υπολογισμού της φήμης τους παρόχου μελετάται στην Ενότητα 3.2.2. Οπότε, όσο υψηλότερη φήμη έχει ένας πάροχος, τόσο πιο πολύ λαμβάνεται υπόψη ο αντικειμενικός βαθμός που υπολογίζεται βάσει των μετρήσεων που ο ίδιος δηλώνει. Ο μηχανισμός επιδεικνύει παρόμοια συμπεριφορά με τον άμεσο μηχανισμό τιμωρώντας του παρόχους που υπερεκτιμούν την ποιότητα υπηρεσίας που παρέχουν και επιβραβεύοντας αυτούς που

είναι αληθείς, αλλά με έναν ρυθμό που ορίζεται από την μείωση/αύξηση βαθμού φήμης ως αποτέλεσμα χαμηλής/υψηλής υποκειμενικής βαθμολογίας.

Η πειραματική αξιολόγηση της Ενότητας 5 αναδεικνύει και επικυρώνει την ορθή συμπεριφορά του *Άμεσου μηχανισμού* τόσο σε περιπτώσεις όπου όλες οι πλατφόρμες αναφέρουν αληθείς μετρήσεις, όσο και περιπτώσεις που κάποια πλατφόρμα δηλώνει ότι επιτυγχάνει καλύτερες επιδόσεις απ' ότι πραγματικά πετυχαίνει. Θεωρούμε και τους δύο μηχανισμούς συμβατούς για την πλατφόρμα IoTFeds, ωστόσο η τρέχουσα υλοποίηση υποστηρίζει μόνο τον έμμεσο μηχανισμό.

3.2.2 Επίπεδα προϊόντων, παρόχων και ομοσπονδιών

Η ολοκλήρωση της ανανέωσης του βαθμού φήμης των πηγών δεδομένων εκκινεί τις διαδικασίες ανανέωσης των βαθμών φήμης στα υπόλοιπα επίπεδα, αυτά των προϊόντων, παρόχων και ομοσπονδιών.

Επίπεδο προϊόντων. Δεδομένου ότι ένα προϊόν αποτελείται από ένα σύνολο από πηγές δεδομένων, ο βαθμός φήμης ενός προϊόντος ανανεώνεται λαμβάνοντας υπόψη τους ανανεωμένους βαθμούς φήμης των πηγών δεδομένων που αποτελούν αυτό το προϊόν. Όπως και στην Ενότητα 3.2.1, αν θεωρήσουμε ότι η παράμετρος $w_{d,p}$ (όπου $0 \leq w_{d,p} \leq 1$ και $\sum_{d \in p} w_{d,p} = 1$) εκφράζει τον βαθμό συνεισφοράς της πηγής δεδομένων d στην παροχή του προϊόντος p (π.χ., μεγαλύτερο όγκο δεδομένων ή τύπο δεδομένων που έχουν μεγαλύτερη «αξία» για το προϊόν), τότε ο βαθμός φήμης τους προϊόντος d υπολογίζεται ως εξής:

$$r^{\pi}(p) = \frac{\sum_{d \in p} w_{d,p}\ r^{\delta}(d)}{\sum_{d \in p} w_{d,p}} \tag{18}$$

Η γενική σχέση για τον υπολογισμό της παραμέτρου $w_{d,p}$ είναι η:

$$w_{d,p} = \frac{v_{d,p}}{\sum_{d' \in p} v_{d',p}} \tag{19}$$

όπου το $v_{d,p}$ συμβολίζει την «αξία» της πηγής δεδομένων d για το προϊόν p. Η «αξία» μπορεί να είναι οποιαδήποτε μετρήσιμη ποσότητα.

Επίπεδο παρόχων. Αντίστοιχα, κάθε πάροχος διαθέτει πολλαπλές πηγές δεδομένων, οπότε ο βαθμός φήμης του θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τους βαθμούς φήμης των επιμέρους πηγών δεδομένων. Διαφορετικές πηγές δεδομένων του ίδιου παρόχου ενδέχεται να συμμετέχουν σε διαφορετικό αριθμό προϊόντων και εν τέλει σε περισσότερες συναλλαγές αγοράς προϊόντων, οπότε και να αντιπροσωπεύουν περισσότερο την παρεχόμενη υπηρεσία του παρόχου αυτού. Συνεπώς, αν με την παράμετρο $w_{d,i}$ συμβολίζουμε την βαρύτητα της πηγής δεδομένων d στο σύνολο των υπηρεσιών που παρέχονται από τον πάροχο i, τότε ο βαθμός φήμης του παρόχου i υπολογίζεται ως εξής:

$$r^{\pi\alpha}(i) = \frac{\sum_{d \in D_i} w_{d,i}\ r^{\delta}(d)}{\sum_{d \in D_i} w_{d,i}} \tag{20}$$

όπου,

$$w_{d,i} = \frac{t_d}{\sum_{d' \in D_i} t_{d'}} \tag{21}$$

και t_d είναι ο αριθμός των συναλλαγών που συμμετείχε η πηγή δεδομένων d. Το D_i αναπαριστά το σύνολο των πηγών δεδομένων που ανήκουν στον πάροχο i.

Επίπεδο ομοσπονδιών. Οι πάροχοι που συμμετέχουν στις διάφορες ομοσπονδίες μπορεί να συνεισφέρουν το σύνολο των πηγών δεδομένων τους ή ένα μέρος από αυτές. Οπότε, κάθε ομοσπονδία f διαθέτει ένα σύνολο από πηγές δεδομένων D_f. Όπως και στην περίπτωση των παρόχων, κάθε μία από αυτές τις πηγές ενδέχεται να συμμετέχει σε διαφορετικό αριθμό συναλλαγών που αφορούν προϊόντα της ομοσπονδίας f. Ακολουθώντας παρόμοια λογική με τα προηγούμενα επίπεδα, ο βαθμός φήμης της ομοσπονδίας f υπολογίζεται ως εξής:

$$r^F(f) = \frac{\sum_{d \in D_f} w_{d,f}\ r^D(d)}{\sum_{d \in D_f} w_{d,f}} \quad (22).$$

Η παράμετρος $w_{d,f}$ εκφράζει την βαρύτητα της πηγής δεδομένων στον υπολογισμό της φήμης της ομοσπονδίας που υπολογίζεται μέσω της σχέσης:

$$w_{d,f} = \frac{t_{d,f}}{\sum_{d' \in D_f} t_{d',f}} \quad (23)$$

οπου, η παράμετρος $t_{d,f}$ εκφράζει τον αριθμό των συναλλαγών που αφορούν προϊόντα της ομοσπονδίας f στα οποία συμμετείχε η πηγή δεδομένων d.

Μια εναλλακτική προσέγγιση για τον υπολογισμό της φήμης μιας ομοσπονδίας είναι να υπολογιστεί η μέση φήμη των προϊόντων που προσφέρονται από αυτή ως εξής:

$$r^F(f) = \frac{\sum_{p \in P_f} w_{p,f}\ r^\pi(p)}{\sum_{p \in P_f} w_{p,f}} \quad (24),$$

όπου P_f είναι το σύνολο των προϊόντων που παρέχονται από την ομοσπονδία, ενώ η παράμετρος $w_{p,f}$ εκφράζει την βαρύτητα του κάθε προϊόντος για την ομοσπονδία. Η βαρύτητα του κάθε προϊόντος ορίζεται ως:

$$w_{p,f} = \frac{t_{p,f}}{\sum_{p' \in P_f} t_{p',f}} \quad (25)$$

Όπου, $t_{p,f}$ είναι ο αριθμός των συναλλαγών που συμμετέχει το προϊόν p. Στην τρέχουσα υλοποίηση ακολουθείται η δεύτερη προσέγγιση.

3.2.3 Μηχανισμοί ψυχρής εκκίνησης (cold start)

Στην παρούσα ενότητα ορίζουμε τους μηχανισμούς ψυχρής εκκίνησης τόσο για το σύστημα συνολικά, όσο και όταν εισέρχεται ένα νέος πάροχος, μία νέα πηγή δεδομένων, έναν νέο προϊόν ή μία νέα ομοσπονδία στο σύστημα.

1. ***Γενική ψυχρή εκκίνηση.*** Η γενική ψυχρή εκκίνηση αναφέρεται στην χρονική στιγμή μηδέν όπου το σύστημα IoTFeds τίθεται σε λειτουργία. Το σύνολο των πηγών δεδομένων, και κατ' επέκταση των προϊόντων, παρόχων και ομοσπονδιών, αρχικοποιούνται με *μηδενικό* βαθμό φήμης. Μετά την παροχή και αξιολόγηση των πρώτων προϊόντων το σύστημα θα αρχίσει να αναθέτει μη μηδενικές τιμές στις πηγές που εμπλέκονται σε αυτά, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις αντικειμενικές όσο και τις υποκειμενικές βαθμολογήσεις.

2. ***Νέα πηγή δεδομένων.*** Όταν το σύστημα βρίσκεται ήδη σε λειτουργία και μια κατάσταση ισορροπίας, και εισέρχεται μία νέα πηγή εφαρμόζονται οι παρακάτω μηχανισμοί:

    a. Ανατίθεται στην πηγή δεδομένων ο *βαθμός φήμης του παρόχου* από τον οποίο προέρχεται, εάν ο πάροχος έχει ήδη μια τιμή φήμης.

    b. Αν η πηγή δεδομένων προέρχεται από νέο πάροχο, τότε ανατίθεται σε αυτή ο *μέσος βαθμός φήμης* των πηγών δεδομένων ίδιου τύπου είτε στο σύνολο του συστήματος IoTFeds, είτε σε μια προκαθορισμένη ακτίνα από την γεωγραφική περιοχή στην οποία εμφανίζεται.

3. ***Νέος πάροχος.*** Όταν ένας νέος πάροχος εισέρχεται στο σύστημα IoTFeds, αρχικά εγγράφει ένα σύνολο από πηγές δεδομένων. Συνεπώς, όταν αυτές οι πηγές λάβουν ένα έναν βαθμό φήμης βάσει του (2.b), τότε η φήμη του παρόχου θα πρέπει να υπολογιστεί βάσει της σχέσης (17), θεωρώντας ωστόσο ότι όλες οι πηγές έχουν την ίδια βαρύτητα.

4. ***Νέο προϊόν.*** Στην περίπτωση δημιουργίας νέου προϊόντος, απλά ενεργοποιείται η διαδικασία υπολογισμού φήμης του προϊόντος όπως περιγράφεται στην σχέση (16).

5. ***Νέα ομοσπονδία.*** Στην περίπτωση δημιουργίας νέας ομοσπονδίας, απλά ενεργοποιείται η διαδικασία υπολογισμού φήμης ομοσπονδίας όπως περιγράφεται στη σχέση (18). Σε περίπτωση μη υλοποίησης της σχέσης (18), ο υπολογισμός της αρχικής φήμης της νέας ομοσπονδίας μπορεί να γίνει υπολογίζοντας την μέση φήμη των παρόχων που συμμετέχουν σε αυτή.

Στον Πίνακας 6 παρουσιάζονται οι διάφορες ενέργειες που μπορούν να πυροδοτήσουν τον υπολογισμό/ενημέρωση του βαθμού φήμης στα διάφορα επίπεδα του συστήματος φήμης και εμπιστοσύνης IoTFeds.

Πίνακας 6: Ενέργειες που πυροδοτούν τον υπολογισμό/ενημέρωση των βαθμών φήμης στα διάφορα επίπεδα του συστήματος φήμης και εμπιστοσύνης IoTFeds.

Ενέργεια	**Επίπεδο πηγών δεδομένων**	**Επίπεδο προϊόντων**	**Επίπεδο παρόχων**	**Επίπεδο ομοσπονδίας**
Γενική ψυχρή εκκίνηση	*Αρχικοποίηση με μηδενικό βαθμό φήμης*	*Αρχικοποίηση με μηδενικό βαθμό φήμης*	*Αρχικοποίηση με μηδενικό βαθμό φήμης*	*Αρχικοποίηση με μηδενικό βαθμό φήμης*
Αξιολόγηση προϊόντος από καταναλωτή	*Υπολογισμός βάσει σχέσης (13)*	*Υπολογισμός βάσει σχέσης (16)*	*Υπολογισμός βάσει σχέσης (17)*	*Υπολογισμός βάσει σχέσης (18) ή (19)*
Εγγραφή νέας πηγής δεδομένων	*Υπολογισμός βάσει βήματος 2a ή 2b.*			
Εγγραφή νέου παρόχου			*Υπολογισμός βάσει σχέσης (17) με ίδια βαρύτητα για όλες τις πηγές*	

Δημιουργία νέου προϊόντος		*Υπολογισμός βάσει σχέσης (16)*		*Υπολογισμός βάσει σχέσης (18) ή (19)*
Δημιουργία νέας ομοσπονδίας				*Υπολογισμός βάσει βήματος 5*

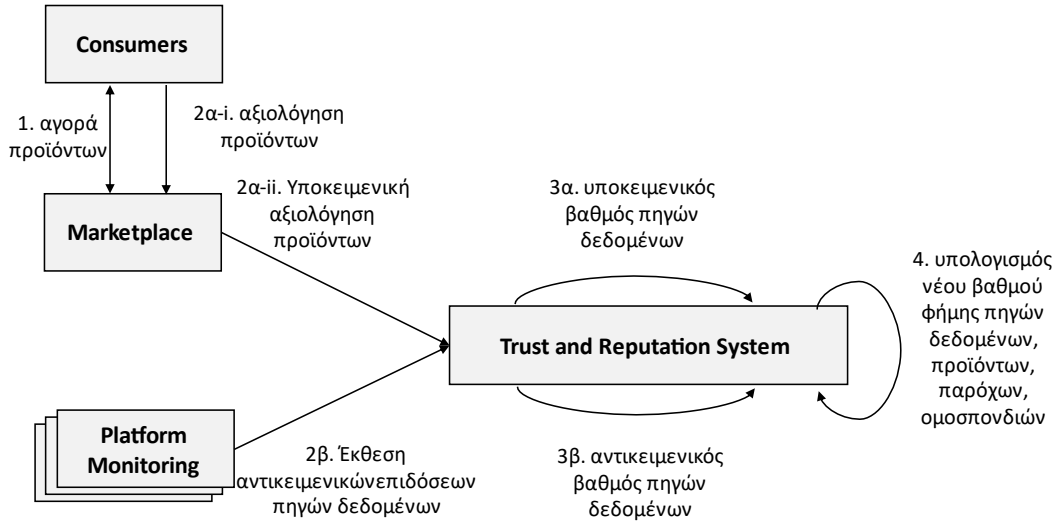
Σημείωση: Στην τρέχουσα υλοποίηση του συστήματος φήμης και εμπιστοσύνης οι ανωτέρω μηχανισμοί ψυχρής, πέραν της «γενικής ψυχρής εκκίνησης», δεν έχουν υλοποιηθεί. Εναλλακτικά, έχει υλοποιηθεί ένας απλούστερος μηχανισμός, όπου όταν μία νέα πηγή δεδομένων ή πάροχος εισέρχονται στο σύστημα να λαμβάνουν σαν αρχικό βαθμό φήμης την μέση τιμή τους βαθμού φήμης στο σύνολο των πηγών δεδομένων και παρόχων αντίστοιχα. Στην συνέχεια ο βαθμός φήμης τους και όλων των επιπέδων που επηρεάζονται μεταβάλλονται μέσω των τακτικών υπολογισμών αντικειμενικού και υποκειμενικού βαθμούς, αλλά και βαθμούς φήμης σε όλα τα επίπεδα.

3.3 Βασικές Περιπτώσεις Χρήσης

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται οι βασικές περιπτώσεις χρήσης των μηχανισμών φήμης και εμπιστοσύνης στο σύνολο των λειτουργιών/δυνατοτήτων που παρέχει η πλατφόρμα IoTFeds. Συγκεκριμένα, οι βασικές περιπτώσεις χρήσεις συνοψίζονται στις «αξιολόγηση προϊόντος», «επιλογή προϊόντος», «σύνθεση προϊόντος», «επιλογή ομοσπονδίας» και «διαχείριση ομοσπονδίας». Στην συνέχεια της ενότητας παρουσιάζεται μία συνοπτική περιγραφή και ένα υψηλού επιπέδου διάγραμμα για κάθε περίπτωση χρήσης. Η περαιτέρω αξιοποίηση των μηχανισμών φήμης και εμπιστοσύνης για επιπλέον περιπτώσεις χρήσης βρίσκεται υπό διερεύνηση. Σημειώνεται ότι οι παρακάτω περιγραφές δίνουν βαρύτητα στις περιπτώσεις χρήσης του συστήματος φήμης και εμπιστοσύνης και ενδέχεται κάποιες παράπλευρες διαδικασίες, που δεν περιλαμβάνουν άμεση αλληλεπίδραση με το σύστημα φήμης και εμπιστοσύνης, να μην περιγράφονται.

3.3.1 Αξιολόγηση προϊόντος

Η αξιολόγηση προϊόντος είναι η βασικότερη περίπτωση χρήσης του συστήματος φήμης και εμπιστοσύνης καθώς με την υλοποίηση της καθίσταται δυνατή η υλοποίηση και των υπολοίπων περιπτώσεων χρήσης που περιγράφονται παρακάτω. Όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 10, ένας καταναλωτής που έχει αγοράσει ένα προϊόν από μία ομοσπονδιακή ή την καθολική αγορά (βήμα 1), δύναται να αξιολογήσει το προϊόν κάποια χρονική στιγμή μετά την χρήση του. Ο καταναλωτής καλείται να αξιολογήσει το προϊόν που κατανάλωσε βάσει των μετρικών που ορίζονται από το QoE προφίλ του προϊόντος (Ενότητα 3.1.2). Οι υποκειμενικές αξιολογήσεις των προϊόντων κατατίθενται από τους καταναλωτές στην διεπαφή χρήστη (user interface - UI) της αγοράς (βήμα 2α-i) και στην συνέχεια προωθούνται στο σύστημα φήμης και εμπιστοσύνης (βήμα 2α-ii) το οποίο βάσει των μηχανισμών που συζητήθηκαν νωρίτερα, εξάγει έναν υποκειμενικό βαθμό ανά πηγή δεδομένων (βήμα 3α).



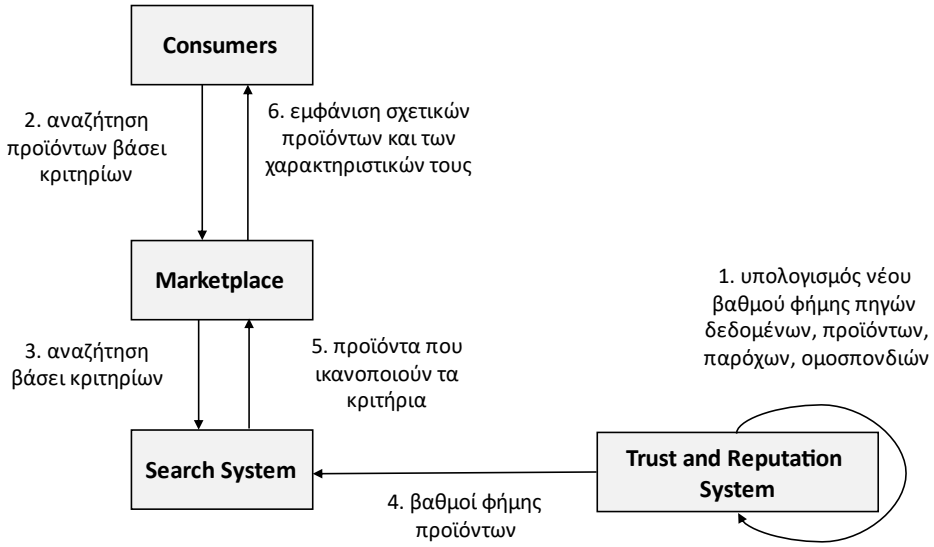
Εικόνα 10: Διάγραμμα για την περίπτωση χρήσης αξιολόγησης προϊόντος.

Παράλληλα, οι αντικειμενικές επιδόσεις των πηγών δεδομένων που αποτελούν τα προϊόντα παρακολουθούνται από τα σύστημα παρακολούθησης (monitoring system) των πλατφορμών. Δεδομένου ότι οι πηγές δεδομένων που αποτελούν ένα προϊόν ενδέχεται να προέρχονται από διαφορετικές πλατφόρμες, είναι αρκετά πιθανό πολλαπλά συστήματα παρακολούθησης να αποστέλλουν αναφορές επίδοσης στο σύστημα φήμης και εμπιστοσύνης για τις πηγές δεδομένων που αποτελούν ένα προϊόν (βήμα 2β). Οι αναφορές επίδοσης αξιοποιούνται από το σύστημα για την αντικειμενική αξιολόγηση των πηγών δεδομένων στα πλαίσια ενός προϊόντος, βάσει ενός συνόλου αντικειμενικών μετρικών που ορίζονται από το QoS προφίλ του προϊόντος (Ενότητα 3.1.1). Δεδομένου ότι μία πηγή δεδομένων ενδέχεται να συμμετέχει σε πολλαπλά προϊόντα, το σύνολο των προϊόντων και τα σχετικά QoS προφίλ λαμβάνονται υπόψη κατά τον υπολογισμό ενός αντικειμενικού βαθμού για κάθε πηγή δεδομένων (βήμα 3β).

Τέλος, οι υποκειμενικοί και αντικειμενικοί βαθμοί αξιοποιούνται από το σύστημα φήμης και εμπιστοσύνης για τον υπολογισμό της φήμης των πηγών δεδομένων, προϊόντων, παρόχων και ομοσπονδιών (βήμα 4).

3.3.2 Επιλογή προϊόντος

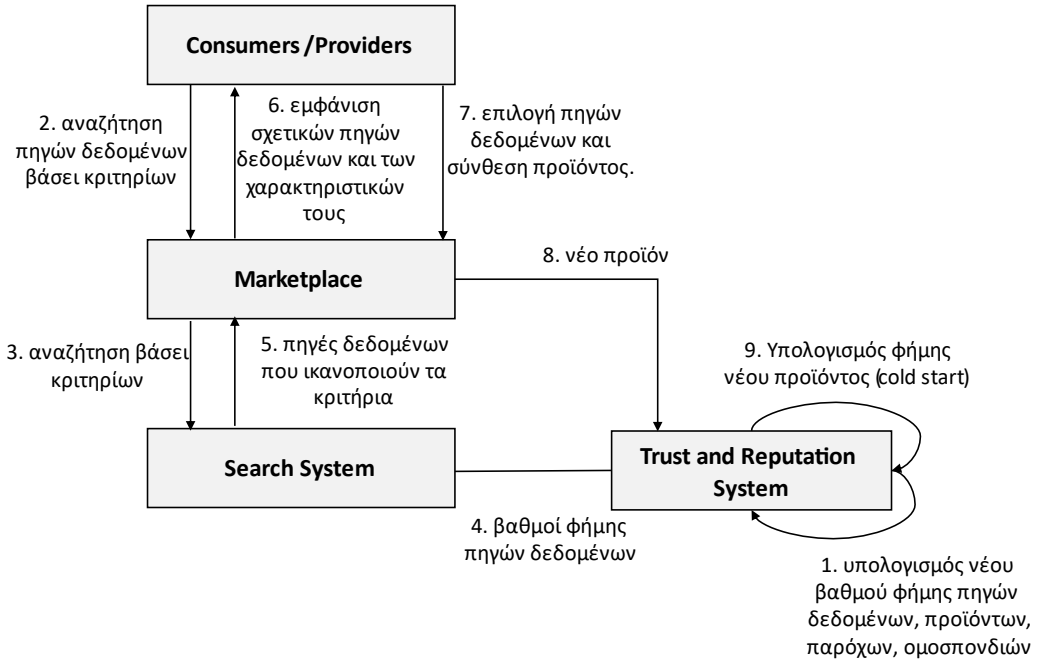
Μια εξ ίσου σημαντική περίπτωση χρήσης του συστήματος φήμης και εμπιστοσύνης στην πλατφόρμα IoTFeds είναι η αγορά προϊόντος. Συγκεκριμένα, ο βαθμός φήμης ενός προϊόντος αποτελεί ένα από τα βασικά κριτήρια για την αναζήτηση και την επιλογή προϊόντος από τους καταναλωτές. Όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 11, το σύστημα φήμης και εμπιστοσύνης ενημερώνει συστηματικά τους βαθμούς φήμης των προϊόντων που διατίθενται στο σύνολο των αγορών του IoTFeds (βήμα 1). Κατά την αναζήτηση προϊόντων (βήμα 2), ένας καταναλωτής ορίζει στην διεπαφή της αγοράς ένα σύνολο από κριτήρια αναζήτησης, ένα εκ των οποίων είναι και ο βαθμός φήμης του προϊόντος. Το αίτημα αυτό προωθείται στα στοιχεία λογισμικού που είναι σχετικά με την διαδικασία της αναζήτησης (βήμα 3). Η διαδικασία της αναζήτησης προϊόντων περιγράφεται εκτενέστερα στο παραδοτέο Π2.2. Για την αναζήτηση αξιοποιούνται οι ανανεωμένοι βαθμοί φήμης (βήμα 4) από το σύστημα φήμης. Σημειώνεται ότι, όπως περιγράφεται και στο παραδοτέο Π2.2, η διαδικασία της αναζήτηση εμπλέκει στοιχεία λογισμικού τόσο από το symbIoTe, όσο και από το BaaS. Τα αποτελέσματα της αναζήτησης προωθούνται στην διεπαφή χρήστης της αγοράς (βήμα 5) και εμφανίζονται στον καταναλωτή (βήμα 6).



Εικόνα 11: Διάγραμμα για την περίπτωση χρήσης επιλογής προϊόντος.

3.3.3 Σύνθεση προϊόντος

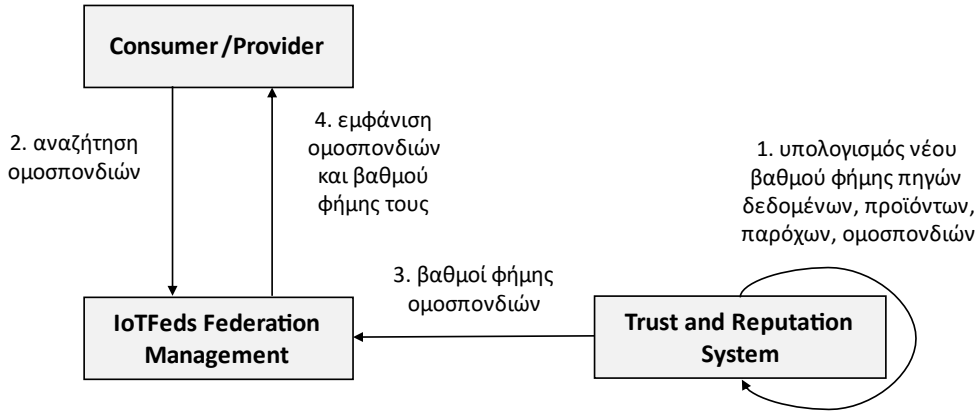
Η περίπτωση χρήσης σύνθεσης προϊόντος (βλέπε Εικόνα 12) είναι σχετική μόνο για τις ομοσπονδιακές αγορές, όπου τα μέλη μιας ομοσπονδίας έχουν την δυνατότητα να συνθέσουν προϊόντα αξιοποιώντας πηγές δεδομένων που διατίθενται από διαφορετικά μέλη της ομοσπονδίας. Ακολουθώντας παρόμοια λογική με την περίπτωση χρήσης επιλογής προϊόντος στα βήματα 1-6, η διεπαφή της ομοσπονδιακής αγοράς εμφανίζει στον δημιουργό του προϊόντος (μέλος της ομοσπονδίας, πάροχος ή καταναλωτής) τις πηγές δεδομένων που ικανοποιούν τα κριτήρια αναζήτησης, συμπεριλαμβανομένου του βαθμού φήμης τους. Ο δημιουργός επιλέγει το σύνολο των επιθυμητών πηγών δεδομένων και συνθέτει ένα νέο προϊόν (βήμα 7). Μετά την δημιουργία του προϊόντος η αγορά ενημερώνει στο σύστημα φήμης και εμπιστοσύνης ότι δημιουργήθηκε νέο προϊόν (βήμα 8) και έτσι εκκινείται η διαδικασία ψυχρής εκκίνησης για «νέο προϊόν» (βήμα 9). Σε αυτή την διαδικασία αξιοποιούνται οι βαθμοί φήμης των πηγών δεδομένων αποτελούν το προϊόν και είναι ήδη διαθέσιμοι στο σύστημα φήμης και εμπιστοσύνης.



Εικόνα 12: Διάγραμμα για την περίπτωση χρήσης σύνθεσης προϊόντος.

3.3.4 Επιλογή ομοσπονδίας

Ο βαθμός φήμης μιας ομοσπονδίας μπορεί να αξιοποιηθεί από τις διάφορες πλατφόρμες που συμμετέχουν στο οικοσύστημα του IoTFeds ως πάροχοι πηγών δεδομένων ή/και καταναλωτές προϊόντων. Όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 13, οι χρήστες του IoTFeds (πλατφόρμες-πάροχοι ή/και καταναλωτές δεδομένων) μπορούν να μέσω της διεπαφής διαχείρισης ομοσπονδιών να αναζητήσουν ομοσπονδίες (βήμα 2) με σκοπό να αιτηθούν την προσχώρηση σε αυτές. Αφού ο χρήστης αιτηθεί την αναζήτηση, το σύστημα φήμης και εμπιστοσύνης επιστρέφει στο σύστημα διαχείρισης των ομοσπονδιών τους βαθμούς φήμης των σχετικών ομοσπονδιών (βήμα 3) και η συνολική πληροφορία επιστρέφεται στον χρήστη (βήμα 4).

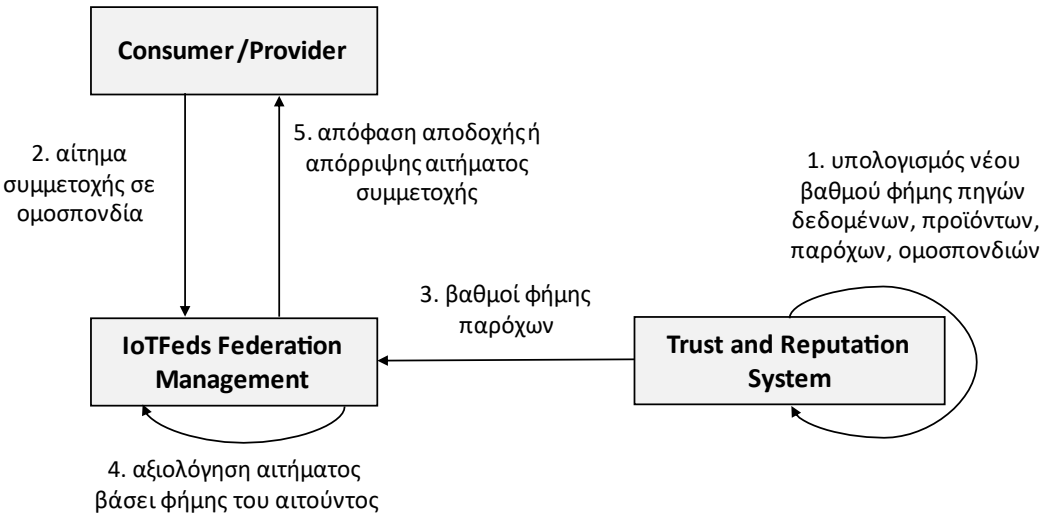


Εικόνα 13: Διάγραμμα για την περίπτωση χρήσης επιλογής ομοσπονδίας.

3.3.5 Διαχείριση ομοσπονδίας

Ο βαθμός φήμης ενός παρόχου δεδομένων δύναται να αξιοποιηθεί για την διαχείριση των ομοσπονδιών στο σύστημα του IoTFeds (όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 14), εάν και εφόσον αυτό ορίζεται από τους κανόνες της εκάστοτε ομοσπονδίας. Συγκεκριμένα, το σύστημα φήμης και εμπιστοσύνης υπολογίζει και διατηρεί επικαιροποιημένο τον βαθμό φήμης τους κάθε

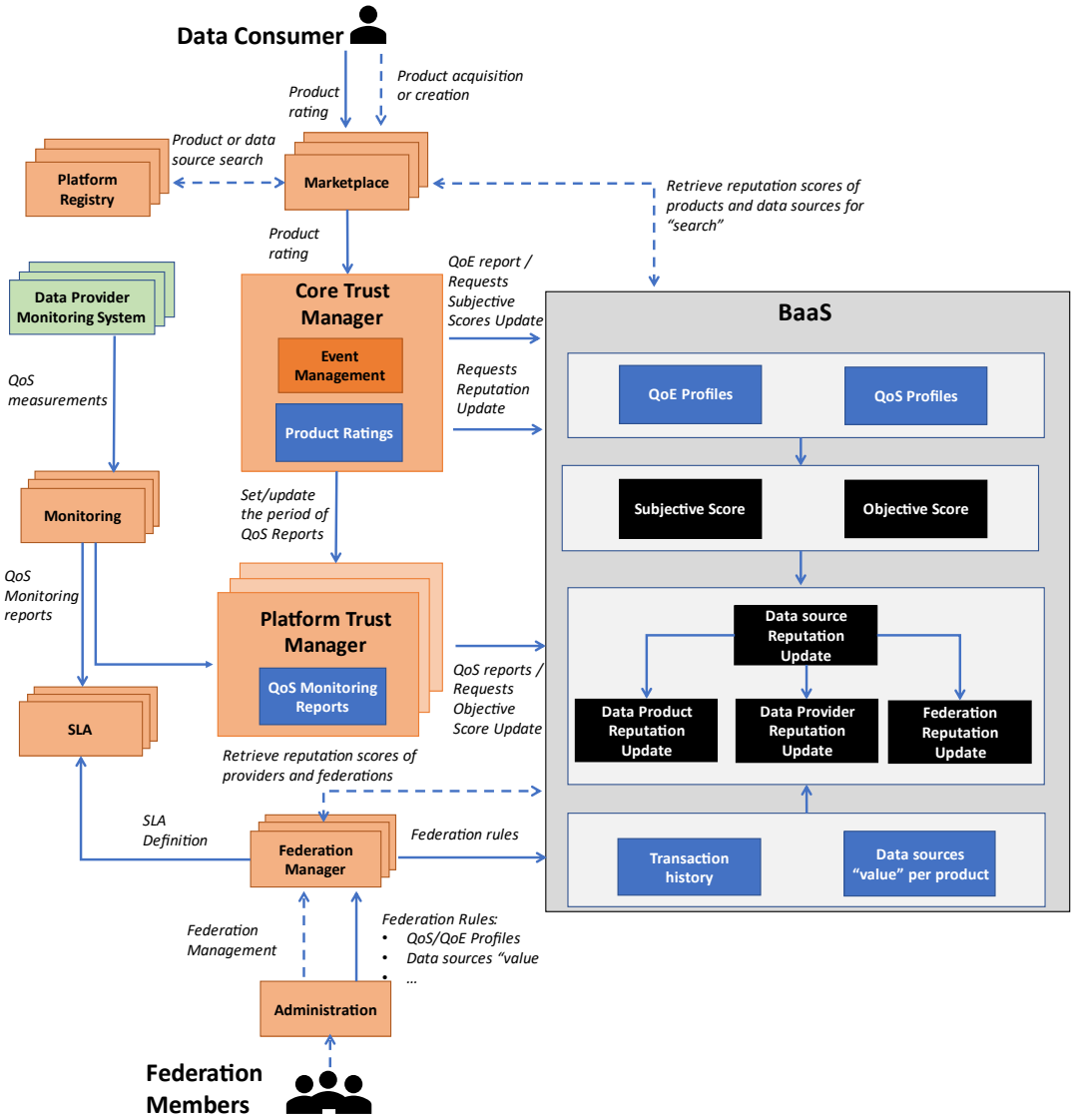
παρόχου δεδομένων. Αν υποθέσουμε ότι ένας πάροχος καταθέτει ένα αίτημα συμμετοχής σε ομοσπονδία (βήμα 2), η φήμη του παρόχου αυτού θα μπορούσε να προωθηθεί σαν πληροφορία προς τον μηχανισμό λήψης απόφασης (βήμα 3). Όπως, περιγράφηκε στο παραδοτέο Π2.1, ο μηχανισμός λήψης απόφασης (βήμα 4) είναι μια ψηφοφορία από τα μέλη της επιτροπής διακυβέρνησης της ομοσπονδίας. Συνεπώς, ο βαθμός φήμης του αιτούντος θα μπορούσε να παρέχεται σαν πληροφορία στα μέλη της επιτροπής που καλούνται να ψηφίσουν. Επιπρόσθετα, οι κανόνες μια ομοσπονδίας θα μπορούσαν να ορίζουν ότι αιτήματα συμμετοχής, όπου ο αιτών έχει βαθμό φήμης κάτω από ένα όριο, αυτομάτως απορρίπτονται χωρίς να τεθούν σε διαδικασία ψηφοφορίας. Τέλος, ο βαθμός φήμης των παρόχων θα μπορούσε να αξιοποιηθεί για την διαφοροποίηση του επιπέδου επιρροής του κάθε παρόχου στην λήψη αποφάσεων εντός μίας ομοσπονδίας. Συγκεκριμένα, κατά την διαδικασία ψηφοφορίας για την λήψη μια απόφασης (όπως περιγράφηκε στο παραδοτέο Π2.1), η ψήφος των παρόχων με μεγαλύτερο βαθμό φήμης, θα μπορούσε να έχει μεγαλύτερη βαρύτητα.



Εικόνα 14: Διάγραμμα ακολουθίας για την περίπτωση χρήσης διαχείρισης ομοσπονδίας.

4 Υλοποίηση Συστήματος Φήμης IoTFeds

Η υλοποίηση του συστήματος φήμης του IoTFeds βασίζεται σε ένα σύνολο υπαρχόντων, εμπλουτισμένων και νέων στοιχείων λογισμικού του υποσυστήματος symbIoTe και στην ανάπτυξη κατάλληλων έξυπνων συμβολαίων στην πλευρά του υποσυστήματος BaaS. Τα βασικά στοιχείων λογισμικού του υποσυστήματος symbIoTe που συνεισφέρουν στην υποστήριξη του συστήματος φήμης και εμπιστοσύνης παρουσιάζονται στην Εικόνα 15 με πορτοκαλί χρώμα. Τα στοιχεία λογισμικού που εμφανίζονται με μαύρο χρώμα υποδεικνύουν υπολογισμούς που διεκπεραιώνονται από το υποσύστημα BaaS με την εκτέλεση έξυπνων συμβολαίων. Από την άλλη, με μπλε χρώμα εμφανίζεται πληροφορία που ανάλογα με την επιλογή υλοποίησης μπορεί να είναι αποθηκευμένη είτε μόνο στην πλευρά του υποσυστήματος symbIoTe, είτε στην πλευρά του υποσυστήματος symbIoTe και το BaaS να χρησιμοποιείται μόνο για επαλήθευση της ακεραιότητας της, είτε να είναι αποθηκευμένη εξ' ολοκλήρου στο υποσύστημα BaaS. Τα βέλη με συνεχής γραμμές αναπαριστούν την αλληλεπίδραση των εμπλεκόμενων στοιχείων λογισμικού του symbIoTe και BaaS για τον υπολογισμό των βαθμών φήμης στα επίπεδα πηγών δεδομένων, προϊόντων, παρόχων και ομοσπονδιών. Τα βέλη με διακεκομμένες γραμμές αναπαριστούν αλληλεπιδράσεις που αφορούν την αξιοποίηση των βαθμών φήμης για τις περιπτώσεις χρήσης που παρουσιάστηκαν στην Ενότητα 3.3.



Εικόνα 15: Στοιχεία λογισμικού της πλατφόρμας IoTFeds που εμπλέκονται στην υποστήριξη τους συστήματος φήμης και εμπιστοσύνης ή η λειτουργικότητα τους επηρεάζεται από αυτό.

Όπως παρατηρούμε στην Εικόνα 15, το υποσύστημα BaaS διαχειρίζεται τον υπολογισμό της φήμης συγκεντρωτικά για όλες τις πηγές δεδομένων, προϊόντα, παρόχους και ομοσπονδίες. Ωστόσο, η απαραίτητη πληροφορία από την πλευρά του υποσυστήματος symbIoTe συγκεντρώνεται από πολλαπλά στοιχεία λογισμικού του ίδιου τύπου (π.χ. Monitoring), τα οποία είναι εγκατεστημένα στις πλατφόρμες που συμμετέχουν στο IoTFeds. Η λειτουργικότητα των διαφόρων στοιχείων λογισμικού περιγράφεται παρακάτω.

1. Το στοιχείο λογισμικού ***Administration*** αξιοποιείται (μέσω GUI) από τους χρήστες/οργανισμούς (δηλαδή τις πλατφόρμες) που συμμετέχουν στο IoTFeds για την δημιουργία και διαχείριση ομοσπονδιών. Κατά την δημιουργία μιας ομοσπονδίας ορίζεται ένα ή περισσότερα QoS και QoE προφίλ βάσει των οποίων αξιολογείται η ποιότητα των πηγών δεδομένων και κατ' επέκταση των προϊόντων της ομοσπονδίας. Τα QoS/QoE προφίλ, ενσωματώνονται στους κανόνες της ομοσπονδίας και κατά συνέπεια μπορούν να αλλάξουν μέσω της διαδικασίας αλλαγής κανόνων που απαιτούν ψηφοφορία. Όταν δημιουργείται ένα προϊόν σε μία ομοσπονδιακή αγορά, αυτό αντιστοιχίζεται σε ένα QoS και ένα QoE προφίλ της ομοσπονδίας. Μαζί με τους υπόλοιπους κανόνες της ομοσπονδίας τα QoS/QoE προφίλ, προωθούνται στο στοιχείο λογισμικού Federation Manager και από εκεί στο υποσύστημα BaaS και σε όποια άλλα στοιχεία λογισμικού του symbIoTe η πληροφορία αυτή είναι χρήσιμη. Πέραν από τα QoS/QoE προφίλ, μέσω του Administration ορίζονται τα βάρη που καθορίζουν την «αξία» της κάθε πηγής δεδομένων για κάθε προϊόν.

2. Το στοιχείο λογισμικού ***Federation Manager*** είναι υπεύθυνο για την διαβίβαση των QoS και QoE προφίλ που δημιουργούνται από τις διαφορετικές ομοσπονδίες παρόχων στο υποσύστημα BaaS, μαζί με το σύνολο των κανόνων της ομοσπονδίας. Τα QoS/QoE προφίλ και τα βάρη της «αξίας» των πηγών δεδομένων διαβιβάζονται και στο στοιχείο λογισμικού SLA για τον εντοπισμό παραβιάσεων της συμφωνηθέντος ποιότητας υπηρεσίας. Επίσης, το στοιχείο λογισμικού Federation Manager είναι υπεύθυνο για την ανάκτηση των απαραίτητων βαθμών φήμης από το υποσύστημα BaaS, σχετικά με τους παρόχους και τις ομοσπονδίες, όταν διενεργείται κάποια διαδικασία σχετικά με την επιλογή ομοσπονδίας ή ένταξη/απομάκρυνση μέλους.

3. Κάθε πάροχος δεδομένων που συμμετέχει στην πλατφόρμα IoTFeds διαθέτει το δικό του ***σύστημα παρακολούθησης επιδόσεων (monitoring system)*** των πηγών δεδομένων που παρέχει, το οποίο είναι υπεύθυνο για την συλλογή μετρήσεων για τις αντικειμενικές μετρικές που υποστηρίζονται από την πλατφόρμα του εκάστοτε παρόχου.

4. Το στοιχείο λογισμικού ***Monitoring*** του συστήματος IoTFeds είναι εγκατεστημένο στην πλευρά της πλατφόρμας του παρόχου δεδομένων (symbIoTe cloud) και είναι υπεύθυνος μόνο για την διαβίβαση των μετρήσεων στα υπόλοιπα στοιχεία λογισμικού του συστήματος με την μορφή αναφορών παρακολούθησης (monitoring reports). Οι αναφορές ποιότητας υπηρεσίας αξιοποιούνται από τα στοιχεία λογισμικού Platform Trust Manager (περιγράφονται παρακάτω) των πλατφορμών, σχετικά με τις αντικειμενικές επιδόσεις των πηγών δεδομένων. Δηλαδή, την απόδοση τους βάσει ενός συνόλου καλώς ορισμένων αντικειμενικών μετρικών. Κάθε Trust Manager λαμβάνει και διατηρεί αναφορές για το σύνολο των πηγών δεδομένων που ανήκουν στην εκάστοτε πλατφόρμα.

5. Μέσω του στοιχείου λογισμικού ***Marketplace***, οι καταναλωτές υποβάλλουν υποκειμενικές αξιολογήσεις για τα προϊόντα δεδομένων που έχουν αγοράσει. Αυτές οι αξιολογήσεις διατηρούνται σε έναν Core Trust Manager (περιγράφεται παρακάτω) για

το σύνολο των πλατφορμών του IoTFeds και από εκεί προωθούνται στο BaaS για τον υπολογισμό του υποκειμενικού βαθμού των προϊόντων δεδομένων και κατ' επέκταση των πηγών δεδομένων που τα αποτελούν. Επίσης, το στοιχείο λογισμικού Marketplace επικοινωνεί με τα στοιχεία λογισμικού Platform Registry που είναι εγκατεστημένα στην πλευρά των πλατφορμών όταν διενεργείται αναζήτηση πηγών δεδομένων (κατά την δημιουργία/σύνθεση προϊόντος) ή αναζήτηση προϊόντων (κατά την επιλογή προϊόντος προς αγορά).

6. Το στοιχείο λογισμικού ***Core Trust Manager*** διαχειρίζεται την αλληλεπίδραση του υποσυστήματος symbIoTe με το υποσύστημα BaaS σε ότι έχει να κάνει με την διαβίβαση των αντικειμενικών και υποκειμενικών αξιολογήσεων, καθώς και την διαχείριση των ενεργειών του Πίνακας 6 που προκαλούν την κλήση των απαραίτητων έξυπνων συμβολαίων για τον υπολογισμό των υποκειμενικών και αντικειμενικών βαθμών των πηγών δεδομένων, καθώς και την ανανέωση του βαθμού φήμης των πηγών δεδομένων, των προϊόντων, των παρόχων και των ομοσπονδιών.

7. Στην πλευρά κάθε πλατφόρμας είναι εγκατεστημένο ένα στοιχείο λογισμικού ***Platform Trust Manager*** το οποίο είναι υπεύθυνο για την συλλογή των πειραματικών αναφορών από το στοιχείο λογισμικού Monitoring της αντίστοιχης πλατφόρμας. Οι Platform Trust Managers διατηρούν τις πιο πρόσφατες αναφορές ποιότητας (QoS reports) ανά πηγή δεδομένων και περιοδικά τις προωθούν στο BaaS, εκκινώντας την διαδικασία ανανέωσης τους αντικειμενικού βαθμού των πηγών δεδομένων που ανήκουν στην πλατφόρμα την οποία εξυπηρετεί. Η περιοδικότητα των αναφορών ορίζεται και ανανεώνεται από τον Core Trust Manager.

8. Το υποσύστημα ***BaaS*** διατηρεί ένα ή περισσότερα έξυπνα συμβόλαια που υλοποιούν τους μηχανισμούς υπολογισμού αντικειμενικών/υποκειμενικών βαθμών και υπολογισμού φήμης που περιγράφηκαν στην Ενότητα 3, καθώς και όλη την απαραίτητη πληροφορία για όλους αυτούς του υπολογισμούς. Επίσης το BaaS υποστηρίζει την διαδικασία αναζήτησης πηγών δεδομένων και προϊόντων βάσει κριτηρίων σχετικών με τον βαθμό φήμης αυτών.

9. Μετά από αίτημα κάποιου χρήστη μέσω του Marketplace, τα στοιχεία λογισμικού ***Platform Registry*** θα διενεργήσουν μια αναζήτηση πηγών δεδομένων ή προϊόντων βάσει του συνόλου των κριτηρίων για τα οποία διατηρείται πληροφορία στο υποσύστημα symbIoTe. Τα αποτελέσματα αυτής της αναζήτησης προωθούνται στο υποσύστημα BaaS το οποίο διενεργεί περεταίρω αναζήτηση στα αποτελέσματα αυτά βάσει κριτηρίων σχετικά με τον βαθμό φήμης και την τιμή τους. Το τελικό αποτέλεσμα της αναζήτησης, επιστρέφεται στο Marketplace.

Στην συνέχεια, στην Ενότητα 4.1 παρουσιάζονται οι εναλλακτικοί τρόποι υλοποίησης του συστήματος φήμης και εμπιστοσύνης IoTFeds, αναλύοντας τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τους, συμπεριλαμβανομένης της προσέγγισης που επιλέχθηκε και εκτενώς παρουσιάστηκε στην Εικόνα 15. Στην Ενότητα 4.2 παρουσιάζονται τα διαγράμματα ροής για τις βασικές λειτουργίες του συστήματος φήμης και εμπιστοσύνης για την επιλεγμένη προσέγγιση υλοποίησης, και τέλος στην Ενότητα 4.3 παρουσιάζονται οι τεχνικές λεπτομέρειες των υλοποιημένων στοιχείων λογισμικού από την πλευρά του υποσυστήματος symbIoTe και έξυπνων συμβολαίων από την πλευρά του υποσυστήματος BaaS.

4.1 Εναλλακτικές Προσεγγίσεις Υλοποίησης

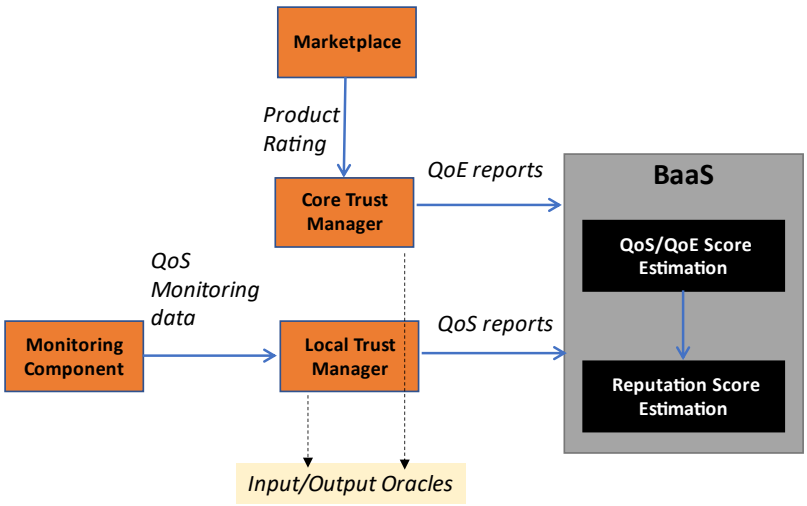
Στην συνέχεια παρουσιάζεται το σύνολο των εναλλακτικών προσεγγίσεων υλοποίησης του συστήματος φήμης και εμπιστοσύνης. Οι διαφορετικές προσεγγίσεις διαφοροποιούνται με βάση τα εξής κριτήρια:

- Μηχανισμός αντιμετώπισης δήλωσης ψευδών/υπερεκτιμημένων μετρήσεων από τους παρόχους για τις επιδόσεις των δικών τους πηγών δεδομένων.
- Υλοποίηση υπολογισμού αντικειμενικών και υποκειμενικών βαθμών (on-chain vs off-chain).
- Υλοποίηση υπολογισμού βαθμού φήμης (on-chain vs off-chain).

Αρχικά παρουσιάζουμε την προσέγγισή υλοποίησης του τελικά επιλέχθηκε (Εναλλακτική 1 παρακάτω), και στην συνέχεια κάποιες εναλλακτικές υλοποίησης που διαφοροποιούνται σε ένα ή περισσότερα από τα παραπάνω κριτήρια.

Εναλλακτική 1 (Εικόνα 16) – Μοναδικό στοιχείο λογισμικού Monitoring ανά πηγή δεδομένων / Υπολογισμός υποκειμενικών και αντικειμενικών βαθμών on-chain / Υπολογισμός βαθμού φήμης on-chain.

Η παρούσα προσέγγιση (η οποία παρουσιάστηκε και πιο αναλυτικά στην Εικόνα 15) είναι αυτή που προκρίθηκε προς υλοποίηση λόγω των τρεχόντων δυνατοτήτων των πιλοτικών πλατφορμών στο έργο IoTFeds όσο αφορά τα συστήματα παρακολούθησης (Monitoring) των πηγών δεδομένων, αλλά και τον δυνατοτήτων της πλατφόρμας IoTFeds. Συγκεκριμένα, το υποσύστημα symbIoTe εγκαθιστά ένα στοιχείο λογισμικού Monitoring στην πλευρά τον πλατφορμών. Το στοιχείο λογισμικού Monitoring είναι υπεύθυνο για την συλλογή της πληροφορίας παρακολούθησης και την μεταβίβαση αυτής στο υπόλοιπο σύστημα IoTFeds, αλλά δεν είναι αυτό που παρακολουθεί τις επιδόσεις των πηγών δεδομένων. Η παρακολούθηση των πηγών δεδομένων γίνεται αποκλειστικά από τις πλατφόρμες των παρόχων. Συνεπώς, όπως φαίνεται στην Εικόνα 16, στην παρούσα εναλλακτική έχουμε μία μόνο οντότητα να παρέχει αντικειμενικές μετρήσεις ανά πηγή δεδομένων, άρα και ένα μοναδικό στοιχείο λογισμικού Monitoring. Οπότε, σε αυτή την υλοποίηση, η αντιμετώπιση των παρόχων που δηλώνουν ψευδή ή υπερεκτιμημένες μετρήσεις για της πηγές δεδομένων τους επιτυγχάνεται μέσω του *Άμεσου* ή *Έμμεσου* μηχανισμού που περιγράφηκαν στην Ενότητα 3.2.1.

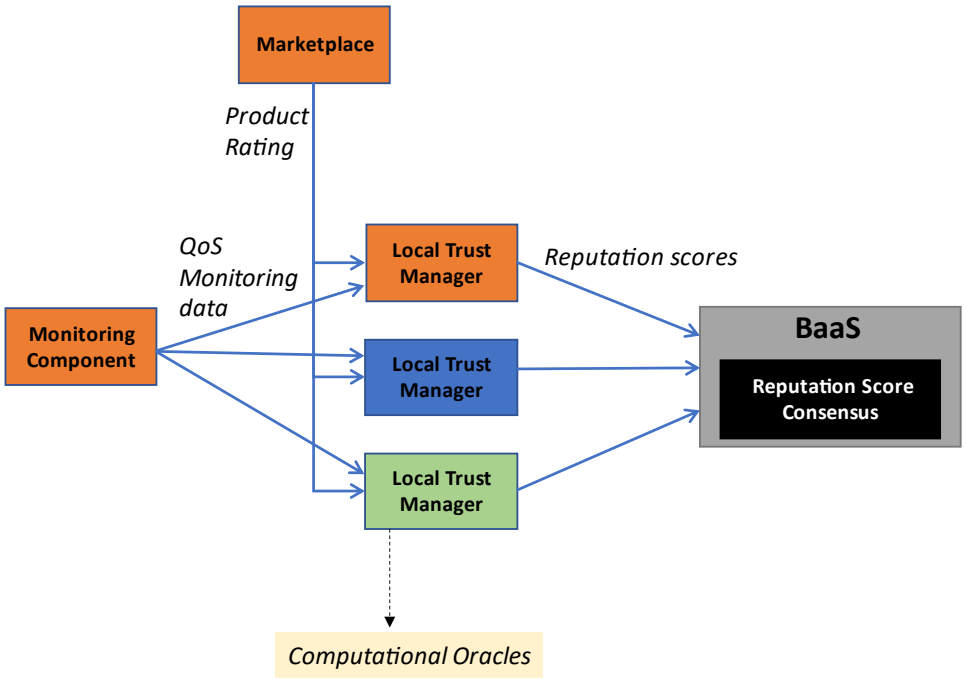


Εικόνα 16: Υλοποίηση με μοναδικό στοιχείο λογισμικού monitoring ανά πηγή δεδομένων / Υπολογισμός υποκειμενικών και αντικειμενικών βαθμών on-chain / Υπολογισμός βαθμού φήμης on-chain.

Το στοιχείο λογισμικού Monitoring αποστέλλει αναφορές ποιότητας (QoS reports) στον Platform Trust Manager της αντίστοιχης πλατφόρμας πάροχο. Ο Platform Trust Manager, συλλέγει αυτές τις αναφορές και όταν του ζητηθεί από το Core Trust Manager τις αποστέλλει στο BaaS και εκκινεί την διαδικασία ανανέωσης των αντικειμενικών βαθμών. Ο Core Trust Manager λαμβάνει τις αξιολογήσεις των προϊόντων μέσω του Marketplace που αποστέλλονται από το Marketplace. Πέραν της διατήρησης αυτής της πληροφορίας, ο Core Trust Manager είναι υπεύθυνος για την διαχείριση των διάφορων συμβάντων (όπως παρουσιάζονται στον Πίνακας 6) και για την κλήση του BaaS για την εκτέλεση των απαραίτητων συμβολαίων για τον υπολογισμό των αντικειμενικών (μέσω στο Platform Trust Managers) και υποκειμενικών βαθμών, αλλά και του βαθμού φήμης, on-chain. Οπότε, μπορούμε να πούμε ότι σε αυτή την περίπτωση οι Core και Platform Trust Managers συμπεριφέρονται ως input/output oracles για το BaaS υποσύστημα.

Εναλλακτική 2 (Εικόνα 17)– Μοναδικό στοιχείο λογισμικού Monitoring ανά πηγή δεδομένων / Υπολογισμός υποκειμενικών και αντικειμενικών βαθμών off-chain / Υπολογισμός βαθμού φήμης off-chain.

Η προσέγγιση υλοποίησης που παρουσιάζεται στην Εικόνα 17, διαφέρει από την εναλλακτική 1 στο γεγονός ότι οι υπολογισμοί τόσο των αντικειμενικών/υποκειμενικών βαθμών, αλλά και των βαθμών φήμης σε όλα τα επίπεδα, γίνεται από τους Platform Trust Managers των πλατφορμών. Επίσης, σε αυτή την περίπτωση υλοποίησης δεν υπάρχει στοιχείο λογισμικού Core Trust Manager. Κάθε Platform Trust Manager πραγματοποιεί μόνος του την λογική διαχείριση συμβάντων ασύγχρονα.



Εικόνα 17: Υλοποίηση με μοναδικό στοιχείο λογισμικού monitoring ανά πηγή δεδομένων / Υπολογισμός υποκειμενικών και αντικειμενικών βαθμών off-chain / Υπολογισμός βαθμού φήμης off-chain.

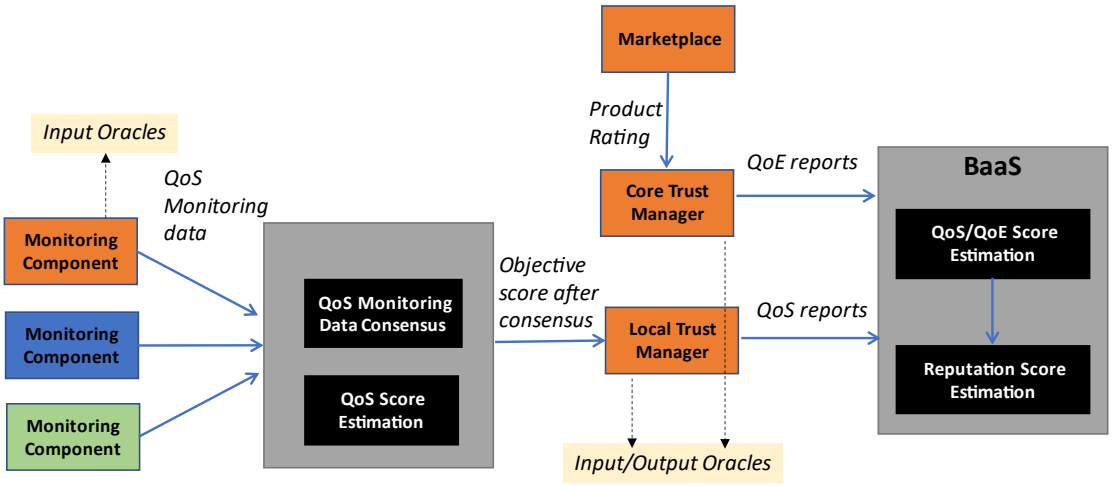
Το *πλεονέκτημα* αυτής της προσέγγισης είναι ότι οι υπολογισμοί μπορούν να γίνουν ταχύτερα off-chain. Συνεπώς, η παρούσα προσέγγιση είναι προτιμότερη όσο το πλήθος των πηγών δεδομένων, προϊόντων, παρόχων και ομοσπονδιών στο IoTFeds μεγαλώνει, καθώς μπορεί να επιτύχει αποδεκτούς χρόνους υπολογισμού σε μεγαλύτερη κλίμακα.

Ένα σημαντικό *μειονέκτημα* της προσέγγισης αυτής είναι ότι δεν παρέχει εγγυήσεις ως προς την ορθότητα των υπολογισμών ή την αποτροπή κακόβουλων συμπεριφορών κατά τον

υπολογισμό. Ένας μηχανισμός αντιμετώπισης είναι περισσότεροι του ενός Trust Managers να διεκπεραιώνουν ένα σύνολο υπολογισμών και στην συνέχεια να αξιοποιείται το BaaS υποσύστημα για συναίνεση (consensus) σε μία τελική τιμή. Συνεπώς, οι Trust Managers αποτελούν κάποια μορφής computational oracles για το BaaS υποσύστημα. Σε αυτή την περίπτωση το συνολικό πλήθος των υπολογισμών είναι μεγαλύτερο αφού κάθε Platform Trust Manager διενεργεί το ίδιο πλήθος υπολογισμών, ωστόσο οι υπολογισμοί γίνονται παράλληλα και άρα η προσέγγιση παραμένει ταχύτερη για μεγάλης κλίμακας συστήματα.

Εναλλακτική 3 (Εικόνα 18) – Πολλαπλά στοιχεία λογισμικού Monitoring ανά πηγή δεδομένων / Υπολογισμός υποκειμενικών και αντικειμενικών βαθμών on-chain / Υπολογισμός βαθμού φήμης on-chain.

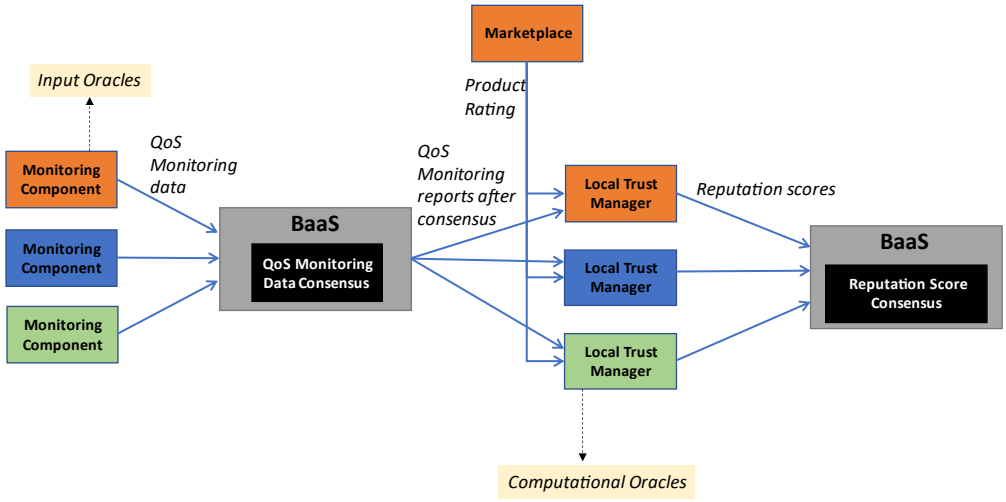
Η προσέγγιση που παρουσιάζεται στην Εικόνα 18 βασίζεται στην παραδοχή ότι τα συστήματα παρακολούθησης (monitoring systems) των παρόχων έχουν την δυνατότητα να παρακολουθούν και πηγές δεδομένων που παρέχονται από άλλες πλατφόρμες (το οποίο δεν είναι εφικτό στην τρέχουσα υλοποίηση του συστήματος). Συνεπώς, σε αυτή την προσέγγιση, ο μηχανισμός για την αντιμετώπιση δήλωσης ψευδών ή υπερεκτιμημένων μετρήσεων, βασίζεται στην παρακολούθηση κάθε πηγής δεδομένων από πολλαπλά στοιχείο λογισμικού Monitoring. Στην συνέχεια, η συναίνεση των πολλαπλών στοιχείων λογισμικού Monitoring (consensus) για την πραγματική επίδοση της πηγής επιτυγχάνεται μέσω του BaaS, απ' όπου και εξάγεται (on-chain) ο αντικειμενικός βαθμός κάθε πηγής. Ο αντικειμενικός βαθμός αποστέλλεται στον Platform Trust Manager ο οποίος ακολουθεί παρόμοια λογική με την εναλλακτική 1 και αξιοποιώντας τα σχετικά έξυπνα συμβόλαια του BaaS μπορεί να υπολογίσει τους βαθμούς φήμης σε όλα τα επίπεδα.



Εικόνα 18: Υλοποίηση με πολλαπλά στοιχείο λογισμικού monitoring ανά πηγή δεδομένων / Υπολογισμός υποκειμενικών και αντικειμενικών βαθμών on-chain / Υπολογισμός βαθμού φήμης on-chain.

Εναλλακτική 4 (Εικόνα 19) – Πολλαπλά στοιχεία λογισμικού Monitoring ανά πηγή δεδομένων / Υπολογισμός υποκειμενικών και αντικειμενικών βαθμών on-chain / Υπολογισμός βαθμού φήμης off-chain.

Η παρούσα προσέγγιση είναι ένας συνδυασμός των εναλλακτικών 2 και 3. Δηλαδή, ορίζει πολλαπλά στοιχεία λογισμικού Monitoring ανά πηγή δεδομένων και αξιοποιεί το υποσύστημα BaaS για συναίνεση (consensus) ως προς τις επιδόσεις αυτών. Όλοι οι υπολογισμοί διεκπεραιώνονται από πολλαπλούς Platform Trust Managers και αξιοποιείται ξανά το υποσύστημα BaaS για συναίνεση (consensus).



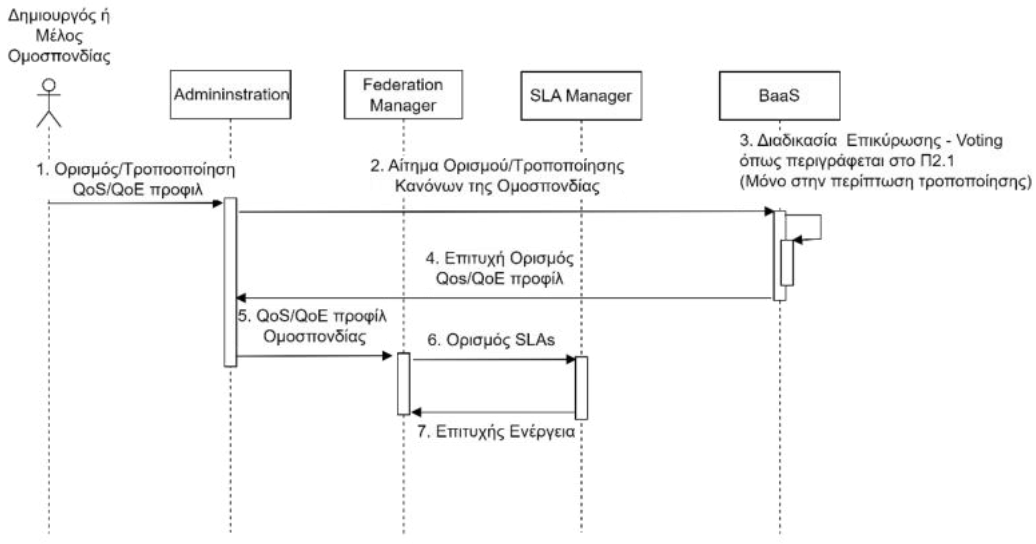
Εικόνα 19: Υλοποίηση με πολλαπλά στοιχεία λογισμικού monitoring ανά πηγή δεδομένων / Υπολογισμός υποκειμενικών και αντικειμενικών βαθμών on-chain / Υπολογισμός βαθμού φήμης off-chain.

4.2 Διαγράμματα Ροής Βασικών Λειτουργιών

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα διαγράμματα ροής των βασικών λειτουργιών του συστήματος φήμης και εμπιστοσύνης IoTFeds σχετικά με τον ορισμό των QoS και QoE προφίλ, την ανανέωση των υποκειμενικών βαθμών, την ανανέωση των αντικειμενικών βαθμών και τη ανανέωση του βαθμού φήμη σε όλα τα επίπεδα.

4.2.1 Ορισμός QoS και QoE προφίλ

Το διάγραμμα ροής που παρουσιάζεται στην Εικόνα 20, αφορά τον ορισμό των QoE και QoS προφίλ βάσει των οποίων αξιολογείται η υποκειμενική και αντικειμενική ποιότητα των πηγών δεδομένων. Μιας και τα QoE/QoS προφίλ αποτελούν μέρος των κανόνων μιας ομοσπονδίας, μεγάλο μέρος των αλληλεπιδράσεων καλύπτεται από την διαδικασία διαχείρισης κανόνων ομοσπονδίας όπως αυτή περιγράφηκε στο παραδοτέο Π2.1 (βήματα 1 έως 4). Τα βήματα 5 έως 7 αφορούν τον ορισμό των απαραίτητων SLAs βάσει των QoS προφίλ που ορίστηκαν, μια διαδικασία που εμπλέκει τα στοιχεία λογισμικού symbIoTe Administration, Federation Manager και SLA Manager.

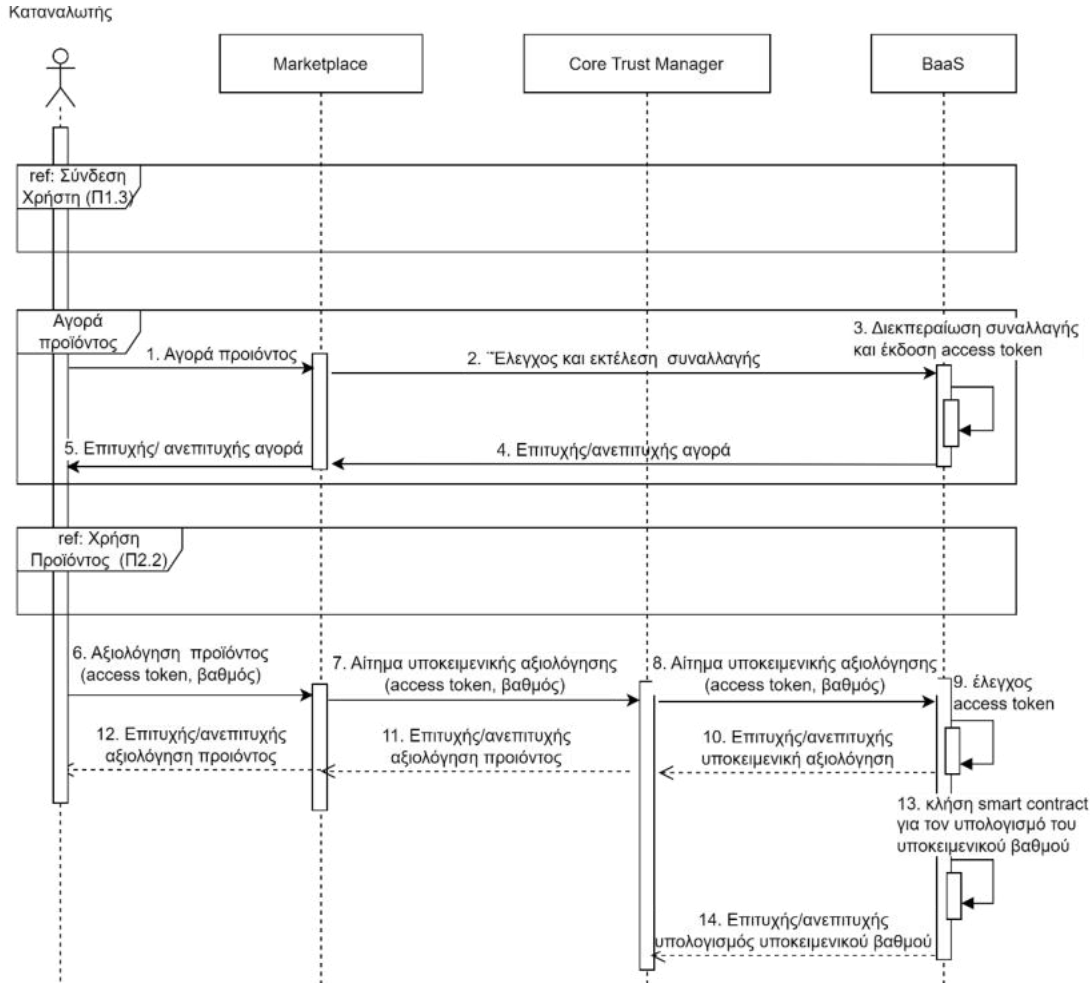


Εικόνα 20: Διάγραμμα Ροής για τον ορισμό QoS/QoE προφίλ.

4.2.2 Ανανέωση Υποκειμενικού Βαθμού

Το διάγραμμα ροής που παρουσιάζεται στην Εικόνα 21 αφορά την διαδικασία ανανέωσης του υποκειμενικού βαθμού των πηγών δεδομένων. Τα βήματα 1 έως 5 αφορούν την «αγορά προϊόντος» η οποία έχει εκτενώς περιγραφεί στο παραδοτέο Π1.3 και είναι μια διαδικασία που εμπλέκει το υποσύστημα BaaS και το στοιχείο λογισμικού Marketplace μιας ομοσπονδιακής ή της καθολικής αγοράς.

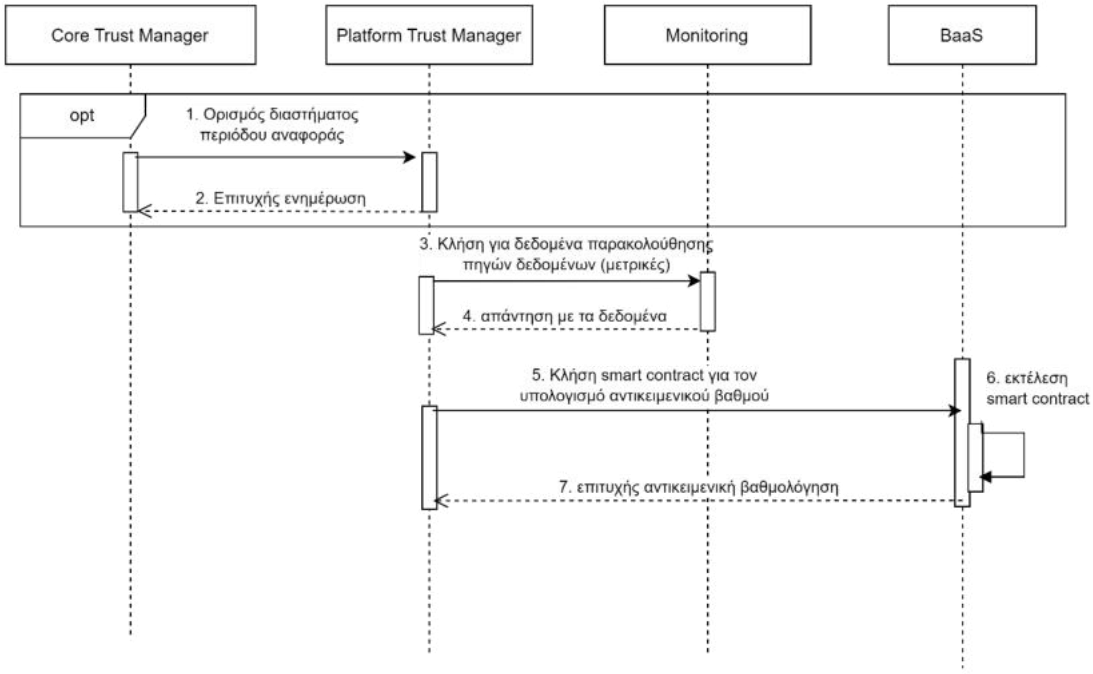
Τα βήματα 6 έως 14 αφορούν την διαδικασία υποκειμενικής αξιολόγησης από τον καταναλωτή, μέσω του Marketplace, το οποίο προωθεί μια αναφορά υποκειμενικής ποιότητας στο στοιχείο λογισμικού Core Trust Manager, το οποίο με τη σειρά του εκκινεί την διαδικασία ανανέωσης του υποκειμενικού βαθμού κάθε πηγής δεδομένων στο BaaS. Το BaaS, πριν προβεί στους απαραίτητους υπολογισμούς ελέγχει κατά πόσο το αίτημα για αξιολόγηση είναι έγκυρο, δηλαδή η αξιολόγηση μπορεί να αντιστοιχιστεί σε κάποιο έγκυρο access token που εκδόθηκε μετά από μια αγορά.



Εικόνα 21: Διάγραμμα Ροής για την ανανέωση υποκειμενικού βαθμού.

4.2.3 Ανανέωση Αντικειμενικού Βαθμού

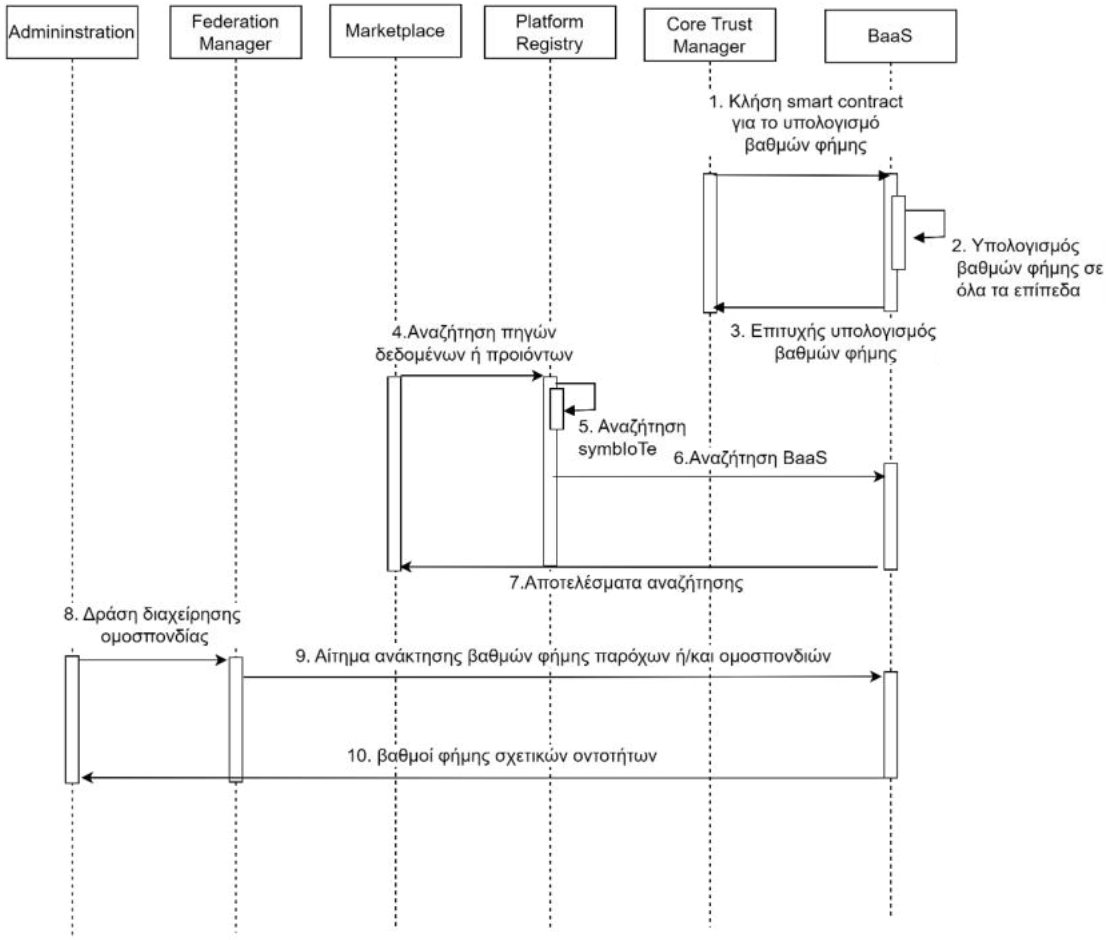
Το διάγραμμα ροής που παρουσιάζεται στην Εικόνα 22 αφορά την διαδικασία ανανέωσης του αντικειμενικού βαθμού των πηγών δεδομένων. Το στοιχείο λογισμικού Monitoring κάθε πλατφόρμας αποστέλλει τις αντικειμενικές μετρήσεις περιοδικά στο Platform Trust Manager (βήματα 3 έως 4). Βάσει της περιόδου που έχει οριστεί από το στοιχείο λογισμικού Core Trust Manager (βήμα 1), ο Platform Trust Manager περιοδικά εκκινήσει την διαδικασία ανανέωσης του αντικειμενικού βαθμού καλώντας το σχετικό έξυπνο συμβόλαιο στο υποσύστημα BaaS (βήματα 5 έως 6).



Εικόνα 22: Διάγραμμα Ροής για την ανανέωση αντικειμενικού βαθμού.

4.2.4 Ανανέωση Βαθμού Φήμης σε όλα τα επίπεδα

Το διάγραμμα ροής που παρουσιάζεται στην Εικόνα 23 αφορά την διαδικασία ανανέωσης του βαθμού φήμης σε όλα τα επίπεδα, δηλαδή των πηγών δεδομένων, προϊόντων, παρόχων και ομοσπονδιών. Βάσει τον μηχανισμών διαχείρισης συμβάντων, ο Core Trust Manager καλεί το σχετικό έξυπνο συμβόλαιο του BaaS για την ανανέωση του βαθμού φήμης σε όλα τα επίπεδα (βήματα 1 έως 3). Μετά την επιτυχή ανανέωση, οι βαθμοί φήμης διατηρούνται στο BaaS και αξιοποιούνται κατά την αναζήτηση πηγών δεδομένων ή προϊόντων (βήματα 4-7) κατά την δημιουργία και αγορά προϊόντος αντίστοιχα, ή για την διαχείριση των ομοσπονδιών (βήματα 8-10), π.χ. επιλογή ομοσπονδίας, εισαγωγή νέου μέλους, απομάκρυνση μέλους, κτλ. Στην διαδικασία της αναζήτησης εμπλέκονται τα στοιχεία λογισμικού Marketplace, Platform Registry και τα σχετικά έξυπνα συμβόλαια του υποσυστήματος BaaS. Στην διαχείριση της ομοσπονδίας εμπλέκονται τα στοιχεία λογισμικού symbIoTe Administration και Federation Manager τα οποία ανακτούν πληροφορία σχετικά με τον βαθμό φήμης των εμπλεκόμενων οντοτήτων από το υποσύστημα BaaS. Πέραν αυτού, όπως περιγράφηκε στο παραδοτέο Π2.1, οι αποφάσεις για την διαχείριση μιας ομοσπονδίας υποστηρίζονται από το BaaS μέσω μηχανισμών ψηφοφορίας.



Εικόνα 23: Διάγραμμα Ροής για την ανανέωση βαθμού φήμης σε όλα τα επίπεδα.

4.3 Περιγραφή Στοιχείων Λογισμικού

Στην συνέχεια, περιγράφονται οι βασικές διεπαφές των στοιχείων λογισμικού των υποσυστημάτων symbIoTe και BaaS που εμπλέκονται στις λειτουργίες που περιγράφηκαν στην Ενότητα 4.2.

4.3.1 Υποσύστημα symbIoTe

Στη συγκεκριμένη ενότητα περιγράφονται οι διεπαφές και οι λειτουργικότητες του υποσυστήματος symbIoTe για την υποστήριξη και υλοποίηση των μηχανισμών φήμης και εμπιστοσύνης.

Πίνακας 7: Διεπαφές symbIoTe για την υποστήριξη των μηχανισμών φήμης και εμπιστοσύνης.

#	Inter-face	Name	Request from	Request to	Method	Endpoint/Queue	Payload	Response	Description
1	Rabbit MQ	Routing Key TBD	Marketplace	N/A	N/A	marketplaceQueue	(String, Object)	N/A	New Product Rating Submission
2	REST	updateInterval	Core Trust manager	Platform Trust Manager	POST	/qos/updateInterval	String	Message	Request to change the interval of periodical updates to BaaS
3	REST	updateInterval	Core Trust manager	Platform Trust Manager	POST	/qos/updateInterval	String	Message	Request to change the interval of periodical updates to BaaS

4.3.1.1 Αξιολόγηση προϊόντος

Το στοιχείο λογισμικού Core Trust Manager του υποσυστήματος SymbIoTe λαμβάνει νέες αξιολογήσεις προϊόντων από το Marketplace μέσω της ουράς RabbitMQ και στη συνέχεια τα αποστέλλει με μια REST κλήση στο υποσύστημα BaaS με σκοπό την ανανέωση του υποκειμενικού σκορ του προϊόντος. Η απάντηση στην κλήση αυτή από το BaaS ενημερώνει για το αποτέλεσμα αυτής της ανανέωσης. Οι λεπτομέρειες της διεπαφής φαίνονται στον Πίνακας 8.

Πίνακας 8: Διεπαφή RabbitMQ για τη λήψη αξιολογήσεων προϊόντων.

#	Inter-face	Name	Request from	Request to	Method	Endpoint/Queue	Payload	Response	Description
1	Rabbit MQ	Routing Key TBD	Marketplace	N/A	N/A	marketplaceQueue	(String, Object)	N/A	New Product Rating Submission

4.3.1.2 Ανανέωση περιοδικότητας κλήσεων για την ανανέωση αντικειμενικού βαθμού

Κάποια από τα καθήκοντα του στοιχείου λογισμικού Platform Trust Manager είναι περιοδικές κλήσεις προς το υποσύστημα BaaS, η μία παρέχοντας τις αναφορές QoS από κάθε πλατφόρμα

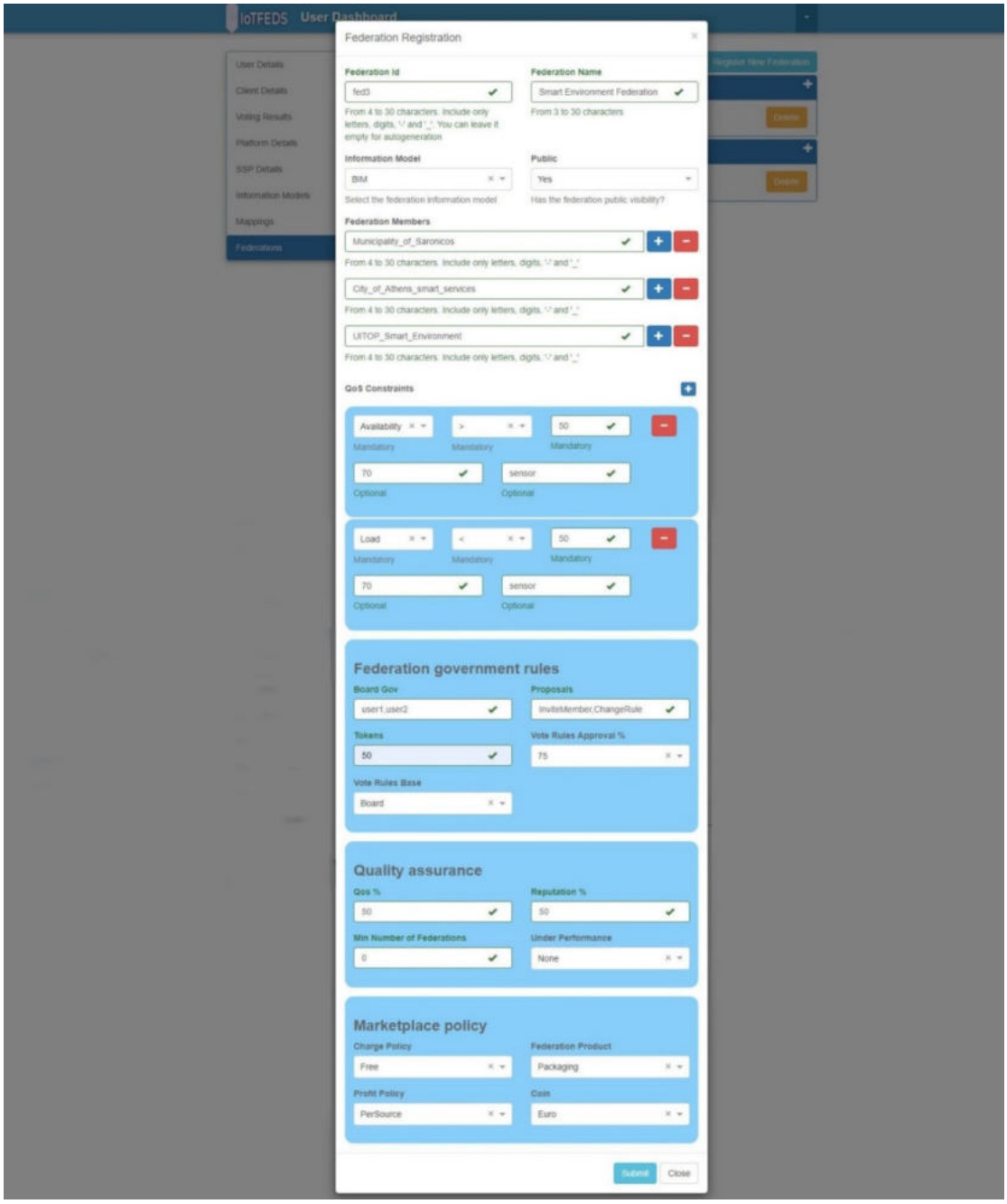
και η δεύτερη ζητώντας ανανέωση του αντικειμενικού βαθμού. Η περιοδικότητα των κλήσεων εξαρτάται από αρχικές τιμές που προσδιορίζονται στο αρχείο ρυθμίσεων και δεν αλλάζουν κατά τη διάρκεια λειτουργίας του Trust Manager. Η διεπαφή που περιγράφεται στον Πίνακας 9 αλλάζει την περιοδικότητα κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης παίρνοντας την αντίστοιχη τιμή από το αίτημα που είναι της μορφής «* * * * * *». Κάθε αστερίσκος μπορεί να αντικατασταθεί με κάποιον αριθμό, οι οποίοι από τα αριστερά προς τα δεξιά εκπροσωπούν δευτερόλεπτα, λεπτά, ώρες, μέρα της εβδομάδας κλπ.

Πίνακας 9: Διεπαφή REST για την ορισμό του χρονικού διαστήματος κάθε περιόδου παρακολούθησης,

#	Inter-face	Name	Request from	Request to	Method	Endpoint/Queue	Payload	Response	Description
1	REST	updateInterval	Core Trust manager	N/A	POST	/updateInterval	String	Message	Request to change the interval with which QoS are sent to BaaS

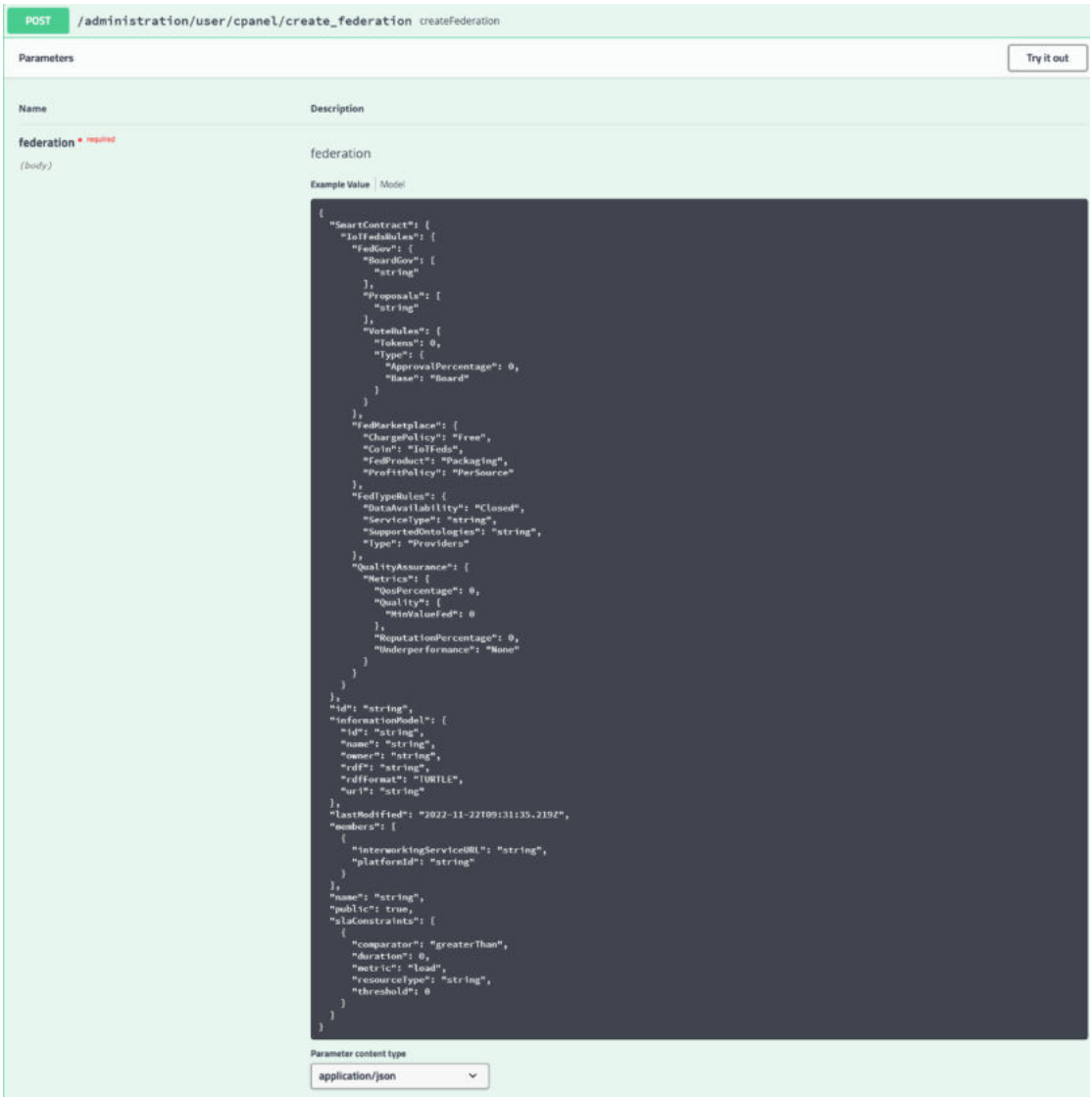
4.3.1.3 Δημιουργία ομοσπονδίας στο symbIoTe

Αφορά την δημιουργία μιας ομοσπονδίας πλατφορμών στο σύστημα του symbIoTe, που παρουσιάστηκε στο παραδοτέο Π2.1 και εμπλουτίστηκε στα πλαίσια της τρέχουσας δράσης. Οι πληροφορίες της ομοσπονδίας περιέχουν τους κανόνες ομοσπονδίας εμπλουτισμένους όπως φαίνεται στην Εικόνα 24:



Εικόνα 24: Δημιουργία IoT ομοσπονδίας στο σύστημα.

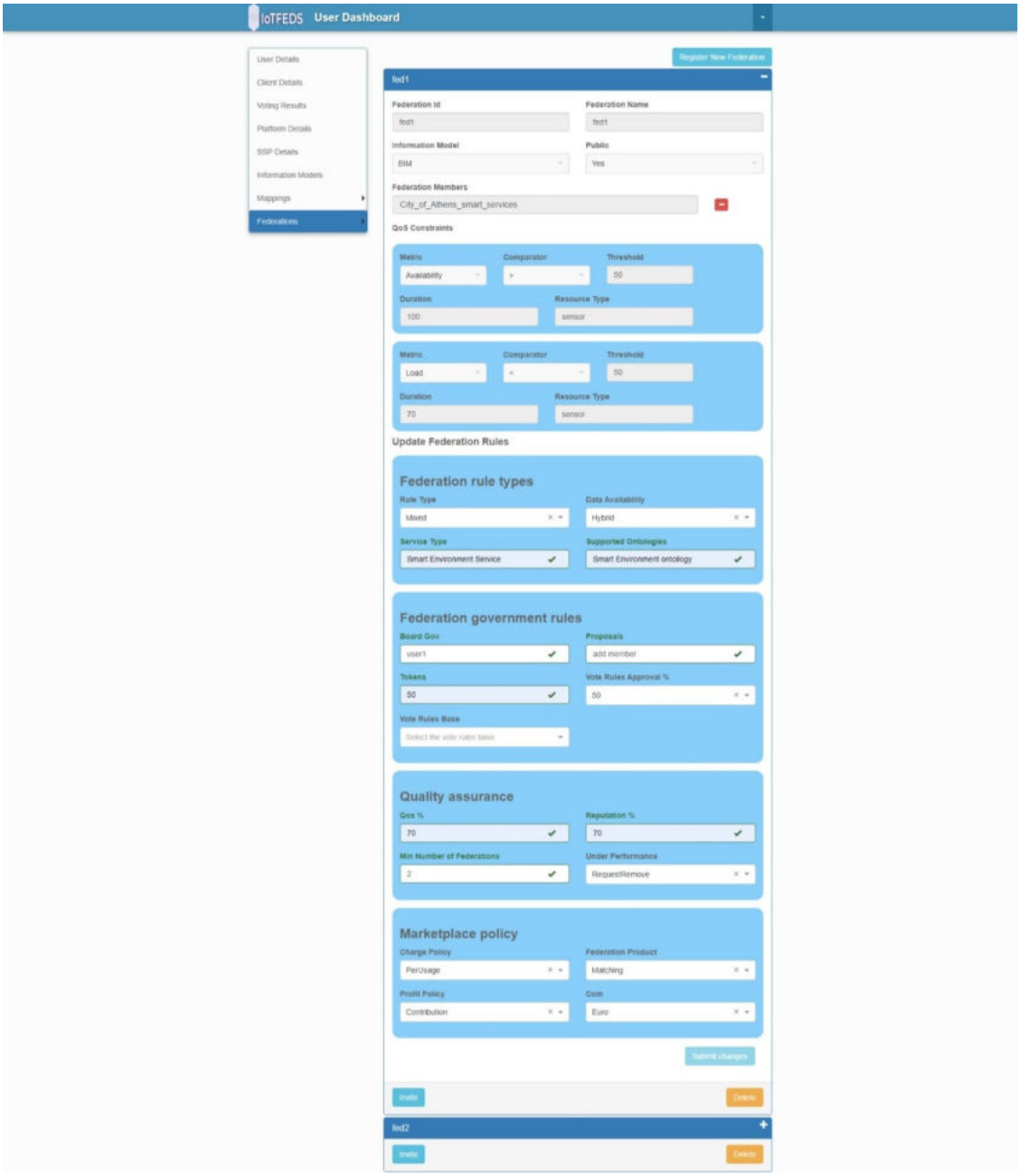
Στη συνέχεια καλείται το αντίστοιχο endpoint στο Administration (backend) που δέχεται ως είσοδο το αντικείμενο (object) που αποτελεί την πληροφορία μιας ομοσπονδίας προς δημιουργία όπως φαίνεται στην Εικόνα 25 και επιστρέφει μήνυμα επιτυχίας/αποτυχίας.



Εικόνα 25: Πληροφορία δημιουργίας μιας ομοσπονδίας πλατφορμών στο σύστημα του symbIoTe.

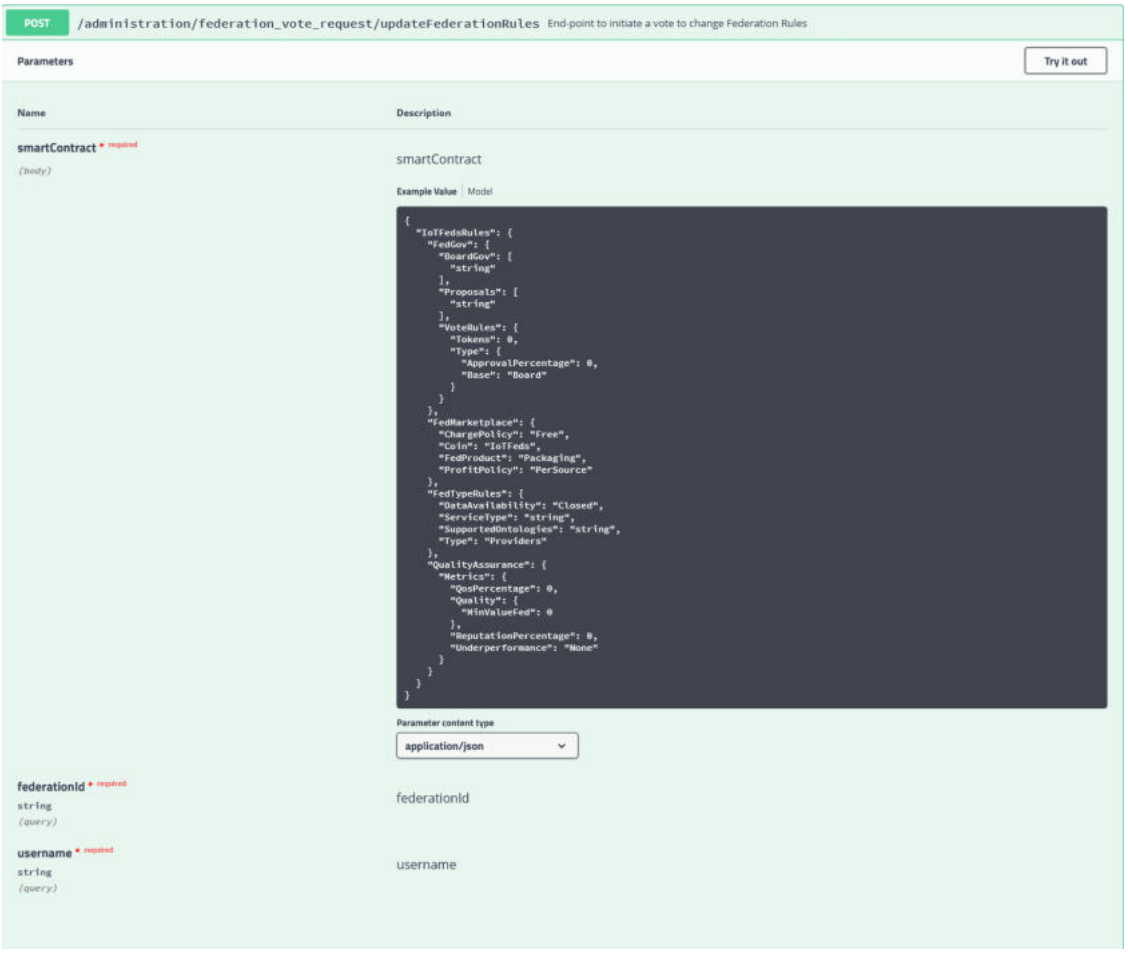
4.3.1.4 Καταχώρηση αιτήματος ενημέρωσης κανόνων ομοσπονδίας

Αφορά την καταχώρηση αιτήματος για την ενημέρωση των κανόνων υπάρχουσας ομοσπονδίας, που παρουσιάστηκε στο παραδοτέο Π2.1 και εμπλουτίστηκε στα πλαίσια της τρέχουσας δράσης. Το αίτημα γίνεται από τη σελίδα της λίστας ομοσπονδιών που συμμετέχει ο χρήστης.



Εικόνα 26: Τροποποίηση κανόνων ομοσπονδίας.

Επιλέγοντας την τροποποίηση κανόνων, το αίτημα περνάει στο αντίστοιχο endpoint που δέχεται ως είσοδο το αντικείμενο (object) που αποτελεί τους κανόνες της ομοσπονδίας όπως φαίνεται στην Εικόνα 27. Η διαδικασία αυτή σηματοδοτεί την έναρξη μίας διαδικασίας ψηφοφορίας στο BaaS για την ανανέωση των κανόνων της ομοσπονδίας.



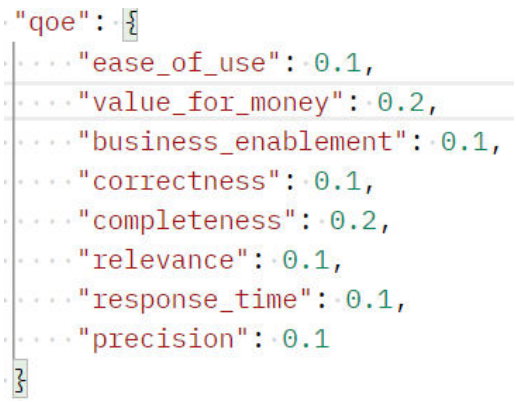
Εικόνα 27: Καταχώρηση αιτήματος ενημέρωσης κανόνων ομοσπονδίας.

4.3.2 Υποσύστημα BaaS

Οι διαδικασίες που περιγράφονται στα προηγούμενα κεφάλαια για υπολογισμό της φήμης διάφορων οντοτήτων, υλοποιούνται εξ ’ολοκλήρου στο υποσύστημα BaaS. Αρχικά τα διαφορετικά QoS και QoE προφίλ ορίζονται στους κανόνες της ομοσπονδίας με κατάλληλη επιλογή βαρών κατά την δημιουργία της, και μπορούν να αλλαχτούν μέσα από πρόταση για αλλαγή κανόνων. Ένα έγκυρο προφίλ για τα βάρη του QoS είναι αυτό στην Εικόνα 28, όπου όπως φαίνεται το άθροισμα των βαρών δίνει μονάδα. Αντίστοιχα ένα παράδειγμα έγκυρου προφίλ QoE είναι αυτό στην Εικόνα 29.

```
"qos": {
    "availability": 0.3,
    "response_time": 0.4,
    "precision": 0.3
}
```

Εικόνα 28 Έγκυρο παράδειγμα QoS προφίλ



Εικόνα 29 Έγκυρο παράδειγμα QoE προφίλ

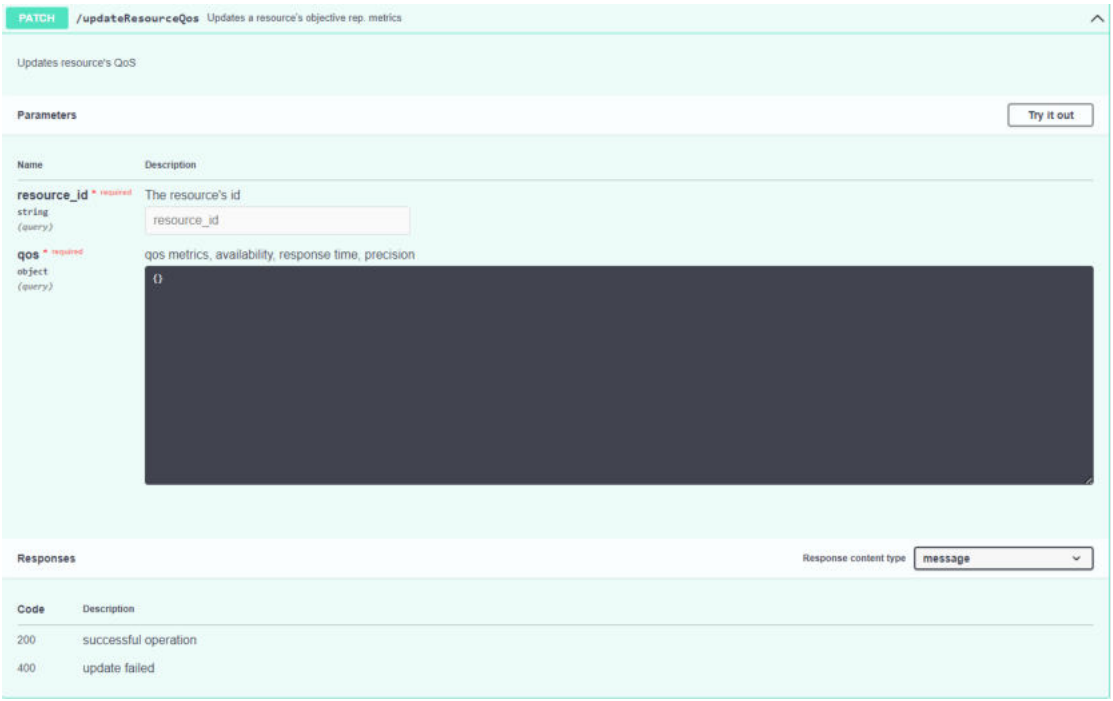
Έπειτα, όλες οι οντότητες που αποθηκεύονται στο BaaS (πηγές δεδομένων, πάροχοι, ομοσπονδίες και προϊόντα) έχουν τροποποιηθεί κατάλληλα σε σχέση με τα προηγούμενα παραδοτέα, ώστε να περιλαμβάνουν πεδία για τον υπολογισμό και αποθήκευση φήμης. Για τον υπολογισμό των διαφόρων επιπέδων φήμης, έχουν υλοποιηθεί τρία καινούργια endpoints σε σχέση με τα παραδοτέα Π2.1 και Π2.2, όπως φαίνεται στον Πίνακας 10.

Πίνακας 10: Endpoints σχετικά με τον υπολογισμό φήμης στο BaaS

#	Inter-face	Name	Request from	Request to	Method	Endpoint/Queue	Payload	Response	Description
1	REST	updateResource QoS	Resource trust manager	BaaS	PATCH	/baas/products /update_resource_qos	(String, Object)	Message	Request for updating the objective reputation score for a single device
2	REST	ratePr oduct	IoTFEds User	BaaS	PATCH	/baas/products /rate_product	(String, String, Object)	Message	Request updating the subjective reputation score of a product
3	REST	update AllRe putatio ns	Core Trust Manager	BaaS	PATCH	/baas/products /update_all_reputations		Message	Request for updating every reputation level in BaaS

4.3.2.1 Ενημέρωση αντικειμενικού βαθμού συσκευής

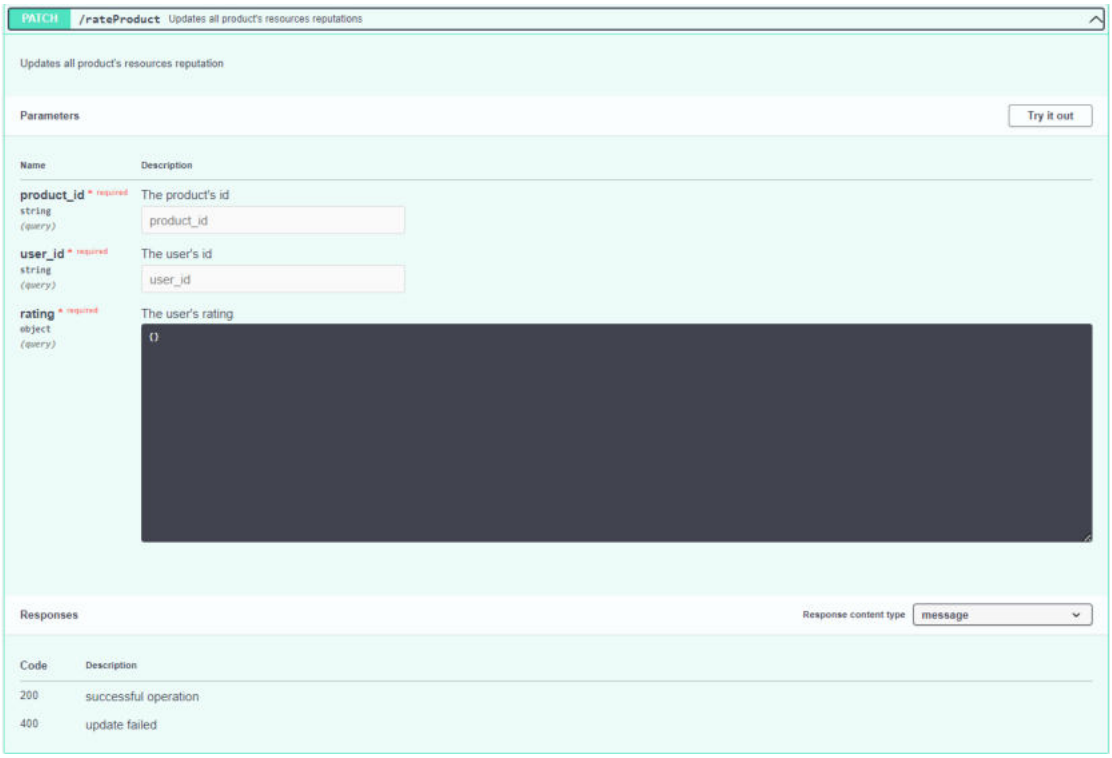
Αφορά την ενημέρωση του αντικειμενικού βαθμού μιας πηγής δεδομένων/συσκευής μέσω των μετρικών του QoS προφίλ. Δέχεται ως είσοδο το αναγνωριστικό της πηγής δεδομένων (resource_id) και το αντικείμενο με τις βαθμολογίες για τις διάφορες μετρικές. Στο υποσύστημα BaaS οι μετρικές αυτές συνδυάζονται με τα βάρη τους που είναι αποθηκευμένα στους κανόνες της ομοσπονδίας και υπολογίζεται νέος αντικειμενικός βαθμός για την συσκευή. Έπειτα επιστρέφεται μήνυμα επιτυχίας/αποτυχίας όπως φαίνεται στην Εικόνα 30.



Εικόνα 30: Endpoint για την ανανέωση αντικειμενικού βαθμού.

4.3.2.2 Αξιολόγηση προϊόντων (ενημέρωση υποκειμενικών βαθμών)

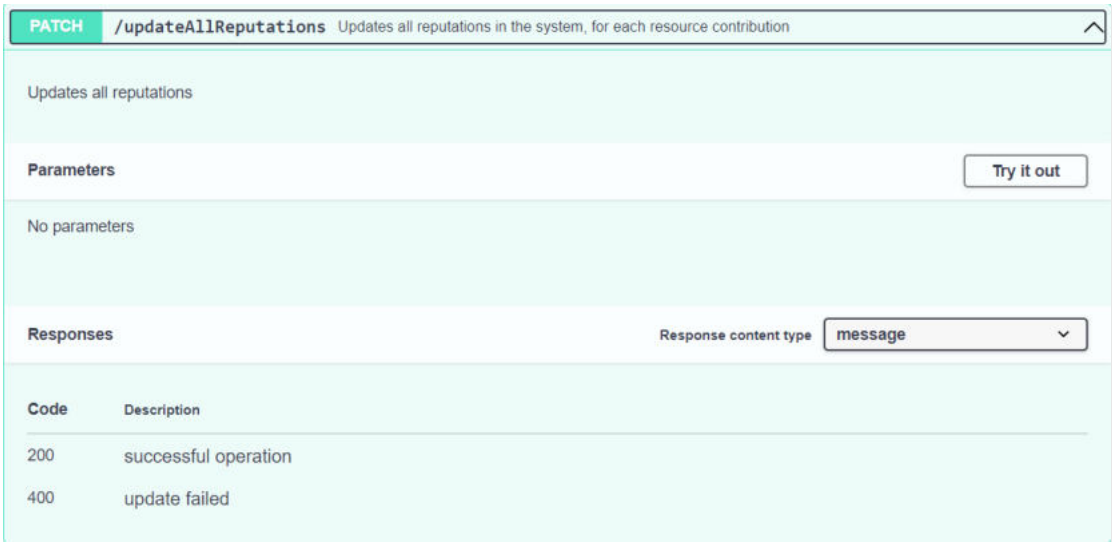
Αφορά την ενημέρωση του υποκειμενικού βαθμού όλων των συσκευών ενός προϊόντος μέσω των μετρικών του QoE προφίλ. Δέχεται ως είσοδο το αναγνωριστικό του προϊόντος (resource_id), του χρήστη και το αντικείμενο με τους βαθμούς για τις διάφορες μετρικές. Στο σύστημα BaaS οι μετρικές αυτές συνδυάζονται με τα βάρη τους που είναι αποθηκευμένα στους κανόνες της ομοσπονδίας και υπολογίζεται νέος υποκειμενικός βαθμός για όλες τις συσκευές. Έπειτα επιστρέφεται μήνυμα επιτυχίας/αποτυχίας όπως φαίνεται στην Εικόνα 31.



Εικόνα 31: Endpoint για την ανανέωση των υποκειμενικών βαθμών στο BaaS

4.3.2.3 Ενημέρωση όλων των επιπέδων φήμης

Αφορά την ενημέρωση της φήμης σε όλα τα επίπεδα στο σύστημα, δηλαδή της φήμης των πηγών δεδομένων, παρόχων, ομοσπονδιών και προϊόντων. Χωρίς κάποια είσοδο, το endpoint αυτό ενεργοποιεί υπολογισμούς για ενημέρωση της φήμης σε όλα τα επίπεδα με αξιοποίηση των τύπων που έχουν οριστεί στην Ενότητα 3. Η ροή προϋποθέτει ότι μέσω των προηγούμενων endpoints έχουν υπολογιστεί/ανανεωθεί ο αντικειμενικός και υποκειμενικός βαθμός κάθε πηγής δεδομένων στο σύστημα. Η κλήση του endpoint αυτού αναμένεται να γίνεται από τον Core Trust Manager σε προγραμματισμένα χρονικά διαστήματα και η περιγραφή του φαίνεται στην Εικόνα 32.



Εικόνα 32: Endpoint για ανανέωση όλων των επιπέδων φήμης στο σύστημα.

5 Πειραματική Αξιολόγηση

Στην τρέχουσα ενότητα αναδεικνύουμε πειραματικά την λειτουργικότητα των μηχανισμών του συστήματος φήμης και εμπιστοσύνης IoTFeds, μέσω ενός περιβάλλοντος προσομοίωσης που αναπτύχθηκε για αυτό τον σκοπό. Πέραν της βασικής λειτουργικότητας του συστήματος φήμης και εμπιστοσύνης, με την πειραματική μας μελέτη αναδεικνύουμε ότι το σύστημα αντιμετωπίζει αποδοτικά «κακόβουλους» παρόχους δεδομένων και του αποθαρρύνει/δεν τους δίνει το κίνητρο να δηλώνουν ψευδείς επιδόσεις για τις πηγές δεδομένων τουw ώστε να αυξήσουν την φήμη τους και κατ' επέκταση τα έσοδα τους.

Συγκεκριμένα, τα πειραματικά αποτελέσματα αποδεικνύουν πως το σύστημα φήμης και εμπιστοσύνης του IoTFeds τιμωρεί τους παρόχους που υπερεκτιμούν την ποιότητα υπηρεσίας τους μειώνοντας την αξιοπιστία τους. Δηλαδή, αν οι αντικειμενικές αξιολογήσεις που δηλώνει ένας πάροχος για τις πηγές δεδομένων του (βάσει μετρήσεων που διεξάγει ο ίδιος) αποκλίνουν σημαντικά από τις υποκειμενικές αξιολογήσεις που δηλώνουν οι καταναλωτές τότε το σύστημα φήμης και εμπιστοσύνης «αντιλαμβάνεται» ότι ο πάροχος δηλώνει αναληθείς μετρήσεις. Συνεπώς, το σύστημα λαμβάνει λιγότερο υπόψη τις αντικειμενικές αξιολογήσεις που δηλώνει ένας πάροχος σε σχέση με τις υποκειμενικές αξιολογήσεις που δηλώνονται από τους καταναλωτές. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της μείωσης του συντελεστή βάρους W_i που ορίζεται για κάθε πάροχο i. Αντίθετα, αν η διαφορά μεταξύ υποκειμενικής και αντικειμενικής βαθμολογίας είναι αρκετά μικρή το σύστημα φήμης και εμπιστοσύνης επιβραβεύει τον πάροχο αυξάνοντας την αξιοπιστία του. Συνεπώς, σε αυτό το κεφάλαιο αναμένεται να διαπιστωθεί πώς διακυμαίνεται η βαθμολογία φήμης ενός προϊόντος μετά από ορισμένες συναλλαγές.

Ο μηχανισμός φήμης και εμπιστοσύνης που περιγράφηκε στην Ενότητα 3, υλοποιήθηκε με χρήση της γλώσσας προγραμματισμού Python και είναι διαθέσιμος σε δημόσιο αποθετήριο στο GitHub[3]. Στην πειραματική προσομοίωση γίνεται χρήση των μαθηματικών μοντέλων που περιγράφονται στην Ενότητα 3 και ακολουθείται η διαδικασία που περιγράφεται παρακάτω:

Σε κάθε συναλλαγή:

- Ο χρήστης επιλέγει με μια πιθανότητα ένα προϊόν δεδομένων.
- Κάθε προϊόν δεδομένων αντιστοιχίζεται με ένα QoE προφίλ το οποίο ορίζει το σύνολο των υποκειμενικών μετρικών που είναι σχετικές με το προϊόν καθώς και την βαρύτητα των διαφορετικών μετρικών για την αποτίμηση της συνολικής εμπειρίας του χρήστη.
- Όταν ο χρήστη καταθέσει μια βαθμολογία για κάθε υποκειμενική μετρική που ορίζεται από το προφίλ του προϊόντος, το σύστημα υπολογίζει έναν νέο υποκειμενικό βαθμό για κάθε πηγής δεδομένων λαμβάνοντας υπόψη και τις τρέχουσες τιμές υποκειμενικών βαθμών για κάθε πηγή.

Σε κάθε περίοδο παρακολούθησης:

- Για κάθε πηγή δεδομένων, γίνεται υπολογισμός του αντικειμενικού βαθμού βάσει των αντικειμενικών μετρήσεων που έχουν συλλεχθεί από τα στοιχεία λογισμικού Monitoring και των QoS προφίλ που έχουν ανατεθεί σε κάθε πηγή. Κατά τον

[3] Κώδικας για αξιολόγηση των μηχανισμών φήμης και εμπιστοσύνης

υπολογισμό, λαμβάνεται υπόψη ο μέχρι πρότινος αντικειμενικός βαθμός κάθε πηγής δεδομένων.

Όταν διενεργείται η διαδικασία ανανέωσης τιμών φήμης:

- Υπολογίζεται ο νέος βαθμός φήμης όλων των πηγών δεδομένων συνδυάζοντας τον τρέχον υποκειμενικό και αντικειμενικό βαθμό για κάθε πηγή δεδομένων, όπως περιγράφεται στην Ενότητα 3.

- Υπολογίζεται ο νέος βαθμός φήμης όλων των επηρεαζόμενων προϊόντων, παρόχων και ομοσπονδιών σύμφωνα με τα μαθηματικά μοντέλα που περιγράφονται στην Ενότητα 3.

5.1 Θεμελίωση Πειραματικής Διαδικασίας

Προκειμένου να διεξαχθούν τα πειράματα είναι αναγκαίο να αποφασιστεί πότε θα διεξάγεται μια περίοδος παρακολούθησης και πότε θα λαμβάνει μέρος η διαδικασία της ανανέωσης των τιμών φήμης. Για τα πειραματικά αποτελέσματα που παρουσιάζονται σε αυτό το κεφάλαιο γίνονται οι εξής υποθέσεις. Αρχικά, η διαδικασία ενημέρωσης των βαθμών φήμης των πηγών δεδομένων, των προϊόντων, των παρόχων και των ομοσπονδιών εφαρμόζεται κάθε φορά που συναλλάσσεται ένα προϊόν. Θεωρούμε ότι μία μόνο συναλλαγή προϊόντος διεξάγεται ανά περίοδος παρακολούθησης (monitoring period), δηλαδή 1:1 σχέση. Επίσης, κάθε συναλλαγή περιλαμβάνει την αγορά ενός μόνο προϊόντος. Επιπλέον, για να απλοποιηθεί η λογική αλλά ταυτόχρονα να έχουμε ακριβή αποτελέσματα, στα πειράματα θεωρούμε ότι υπάρχουν δύο καθετοποιημένες αγορές, άρα και κατηγορίες προϊόντων.

Στον Πίνακας 11 παρουσιάζεται η βασική παραμετροποίηση της πειραματικής μας μελέτης. Δηλαδή, θεωρούμε την ύπαρξη 6 παρόχων και 2 ομοσπονδιών όπου σε κάθε μία από αυτές συμμετέχει ένα υποσύνολο παρόχων, όπως φαίνεται στον Πίνακας 11. Κάθε ομοσπονδίας παρέχει δύο προϊόντα τα οποία ανήκουν σε μια συγκεκριμένη κατηγορία, δηλαδή απευθύνονται σε ένα συγκεκριμένο καθετοποιημένο τομέα. Επισημαίνεται ότι ο κάθε πάροχος διαθέτει μία πηγή δεδομένων, δηλαδή ο πάροχος 1 παρέχει την πηγή δεδομένων 1, ο πάροχος 2 παρέχει την πηγή δεδομένων 2 κ.λπ. Τέλος, κάθε ομοσπονδίας ορίζει το δικό της QoS προφίλ.

Πίνακας 11: Βασική παραμετροποίηση της πειραματικής μελέτης και QoS προφίλ.

1η Κατηγορία υπηρεσιών/προϊόντων	**2η Κατηγορία υπηρεσιών/προϊόντων**
ομοσπονδία 1	ομοσπονδία 2
πάροχος 1, πάροχος 2, πάροχος 3, πάροχος 4	**π**άροχος 2, **π**άροχος 3, **π**άροχος 5, **π**άροχος 6
• προϊόν 1: πηγή δεδομένων 1, πηγή δεδομένων 2 • προϊόν 2: πηγή δεδομένων 3, πηγή δεδομένων 4	• προϊόν 3: πηγή δεδομένων 2, πηγή δεδομένων 3 • προϊόν 4: πηγή δεδομένων 5, πηγή δεδομένων 6
QoS: • Availability {Target Value:0.9, Weight:0.5, min} • Noise {Target Value:0.4, Weight:0.2, max}	QoS: • Availability {Target Value:0.7, Weight:0.7, min} • Noise {Target Value:0.2, Weight:0.1, max}

• Latency {Target Value:0.2, Weight:0.3, max}	• Latency {Target Value:0.1, Weight:0.2, max}

Θεωρούμε ότι οι κατηγορίες υπηρεσιών/προϊόντων αποτελούνται από το ίδιο σύνολο μετρικών ποιότητας, ωστόσο, διαθέτουν διαφορετικό βάρος ανά στόχο μέτρησης και διαφορετικές τιμές-στόχους. Θα μπορούσαν τα σύνολα των μετρικών QoS να ήταν διαφορετικά σε κάθε κατηγορία υπηρεσιών. Ακόμα, σε κάποια εκτενέστερη πειραματική μελέτη θα μπορούσαν τα QoS να αποτελούνταν από περισσότερες των τριών μετρικές, και κάθε κατηγορία υπηρεσιών να περιέχει περισσότερα από δύο προϊόντα. Ωστόσο, είναι δόκιμο να μελετηθεί το σύστημα μας σε απλό/θεμελιώδη σενάριο ώστε να διαπιστωθεί η ορθή λειτουργία του. Ωστόσο, το θεμελιώδες αυτό σενάριο πρέπει να συμπεριλαμβάνει όλα τα πιθανά υπό-σενάρια που αξίζει να μελετηθούν ώστε να ληφθούν σαφή συμπεράσματα για τη λειτουργικότητα του συστήματος φήμης και εμπιστοσύνης. Το θεμελιώδες σενάριο που μελετάται είναι επαρκές καθώς συμπεριλαμβάνει όλες τις πιθανές υποπερίπτωσης και μας βοηθά να διαμορφώσουμε μια ολοκληρωμένη εικόνα ως προς την ορθότητα της βασική λειτουργικότητας των μηχανισμών που αναπτύχθηκαν στην Ενότητα 3.

Σε κάθε περίοδο παρακολούθησης συλλέγονται αναφορές παρακολούθησης (monitoring reports) με τιμές για τις αντικειμενικές μετρήσεις ανά πηγή δεδομένων. Η πηγή δεδομένων 2 και η πηγή δεδομένων 3 ανήκουν και σε δύο κατηγορίες υπηρεσιών. Συνεπώς, σε κάθε περίοδο παρακολούθησης συλλέγονται οι αντικειμενικές μετρήσεις αξιοποιούνται για τον υπολογισμό ενός αντικειμενικού βαθμού ανά κατηγορία υπηρεσίας, με βάση τα QoS προφίλ (βάρη και τιμές στόχοι) που ορίζονται από κάθε κατηγορία υπηρεσίας. Συνεπώς, γίνεται ένας υπολογισμός ανά QoS προφίλ/κατηγορία υπηρεσίας ανά πηγή δεδομένων. Στο τέλος, για τον υπολογισμό ενός συνολικού αντικειμενικού βαθμού ανά πηγή δεδομένων, υπολογίζεται η μέση τιμή των παραπάνω υπολογισμών, όπως περιγράφεται στην Ενότητα 3 και βάση της σχέσης (6).

Ένα ακόμα σημείο που χρήζει διευκρίνισης είναι ότι στα πλαίσια της πειραματικής μας μελέτης χρησιμοποιούνται τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις ομοιόμορφης κατανομής για να συλλέγονται οι τιμές των αντικειμενικών μετρήσεων ανά κατηγορία ποιότητας στο περιβάλλον προσομοίωσης. Αυτό συμβαίνει επειδή ο στόχος αυτού του πειράματος είναι να παρατηρήσει τη συμπεριφορά της φήμης σε διαφορετικές περιπτώσεις. Συγκεκριμένα, μια βασική συμπεριφορά που αναμένεται να παρατηρηθεί είναι η αύξηση της βαθμολογία φήμης μιας πηγής δεδομένων εάν οι αντικειμενικές μετρήσεις ικανοποιούν τις τιμές στόχου που επιλέγονται σε μια περίοδο παρακολούθησης. Αντιστοίχως, αναμένεται μια μείωση της βαθμολογίας φήμης σε περίπτωση που ληφθούν αντικειμενικές μετρήσεις που παραβιάζουν τις τιμές στόχου σε μια περίοδο παρακολούθησης κ.λπ.

Σε αντίθεση με τον αντικειμενικό βαθμό που υπολογίζεται περιοδικά, ο υποκειμενικός βαθμός υπολογίζεται για κάθε μία αξιολόγηση προϊόντος δεδομένων που κατατίθεται από έναν καταναλωτή. Κατά την αξιολόγηση, ο καταναλωτής καλείται να δώσει τιμές βαθμού στο διάστημα $[0, 1]$ σε για ένα σύνολο υποκειμενικών μετρικών που ορίζονται από την κατηγορία υπηρεσίας που ανήκει τον εκάστοτε προϊόν και το αντίστοιχο QoE προφίλ. Στην παρούσα πειραματική μελέτη, θεωρούμε ότι τα QoE προφίλ περιέχουν μετρικές για την υποκειμενική σκοπιά του καταναλωτή σε κάποια αντικειμενική μετρική (availability), και υποκειμενικές μετρικές που δεν μετρούνται αντικειμενικά από το σύστημα και έχουν να κάνουν με την ποιότητα των δεδομένων (accuracy, validity). Τα QoE προφίλ, δηλαδή το σύνολο των μετρικών που τα αποτελούν και τα επιμέρους βάρη παρουσιάζονται στον Πίνακας 12. Η βασική διαφορά σε σχέση με τα QoS προφίλ είναι ότι δεν έχουν τιμές στόχο.

Πίνακας 12: QoE προφίλ

1η Κατηγορία υπηρεσιών/προϊόντων	2η Κατηγορία υπηρεσιών/προϊόντων
QoE: • Accuracy: weight 0.5 • Validity: weight 0.3 • Value for money: weight 0.2	QoE: • Accuracy: weight 0.1 • Validity: weight 0.1 • Value for money: weight 0.8

Σε κάθε περίοδο παρακολούθησης οι αντικειμενικές μετρήσεις της ίδιας κατηγορίας ποιότητας ακολουθούν την ίδια ομοιόμορφη κατανομή. Το ίδιο ισχύει και σε κάθε συναλλαγή, οι υποκειμενικές μετρήσεις ίδιας κατηγορίας χρηστών ακολουθούν την ίδια ομοιόμορφη κατανομή. Οι τέσσερις διαφορετικές κατανομές που χρησιμοποιούνται στα πειράματα και από τις οποίες λαμβάνουν τιμές οι αντικειμενικές και οι υποκειμενικές μετρικές είναι οι εξής:

1. Ομοιόμορφη κατανομή με καλές τιμές και με χαμηλή απόκλιση (χαμηλός θόρυβος, τιμές κοντά στη μέση τιμή).

2. Ομοιόμορφη κατανομή με καλές τιμές και με μεγάλη απόκλιση (μεγάλος θόρυβος, μεγάλη διακύμανση τιμών).

3. Ομοιόμορφη κατανομή με κακές τιμές και με χαμηλή απόκλιση (χαμηλός θόρυβος, τιμές κοντά στη μέση τιμή).

4. Ομοιόμορφη κατανομή με κακές τιμές και με μεγάλη απόκλιση (μεγάλος θόρυβος, μεγάλη διακύμανση τιμών).

5.2 Πειραματικά αποτελέσματα Μηχανισμού Φήμης

Στο πρώτο μέρος της πειραματικής μας μελέτης εξετάζουμε την εξέλιξη των βαθμών φήμης σε μετά από αξιολογήσεις για τέσσερις συναλλαγές και αν οι βαθμοί φήμης που τελικά διαμορφώνονται αντικατοπτρίζουν την επιθυμητή ταξινόμηση των προϊόντων βάσει της πραγματικής τους ποιότητας. Για τις τέσσερις συναλλαγές που μελετάμε θεωρούμε τα παρακάτω:

- Στη συναλλαγή 1 συναλλάσσεται το προϊόν 1: οι δύο πηγές δεδομένων (1 και 2) που συμμετέχουν στο προϊόν ακολουθούν την ομοιόμορφη κατανομή (περίπτωση 1.). Συνεπώς, αναμένεται παραγωγή υψηλής τιμής φήμης.

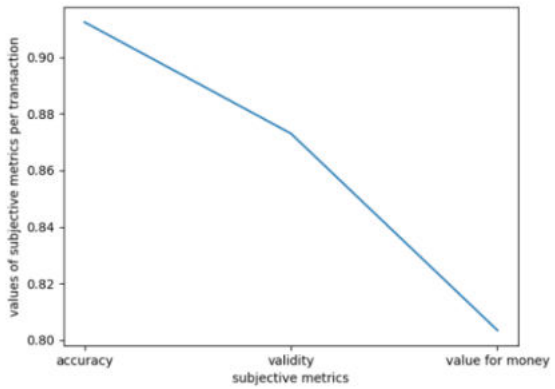
- Στη συναλλαγή 2 συναλλάσσεται το προϊόν 2: η πηγή δεδομένων 4 ακολουθεί την ομοιόμορφη κατανομή (περίπτωση 2.) και η πηγή δεδομένων 3 ακολουθεί την ομοιόμορφη κατανομή (περίπτωση 3.) και. Συνεπώς, αναμένεται ενδιάμεση απόδοση φήμης.

- Στη συναλλαγή 3 συναλλάσσεται το προϊόν 3: η πηγή δεδομένων 3 ακολουθεί την ομοιόμορφη κατανομή (περίπτωση 3.) και η πηγή δεδομένων 2 ακολουθεί την ομοιόμορφη κατανομή (περίπτωση 1.). Συνεπώς, αναμένεται ενδιάμεση απόδοση φήμης.

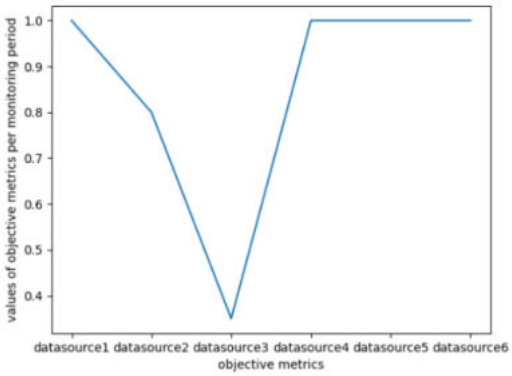
- Στη συναλλαγή 4 συναλλάσσεται το προϊόν 4: και οι δύο πηγές δεδομένων (5 και 6) ακολουθούν την ομοιόμορφη κατανομή (περίπτωση 4.). Συνεπώς, αναμένεται παραγωγή χαμηλής φήμης.

Βάσει σχεδιασμού της πειραματικής μελέτης, αναμένουμε το σύστημα μας να συμπεριφερθεί ως εξής: Στην πρώτη συναλλαγή, οι βαθμολογίες φήμης των πηγών δεδομένων λαμβάνουν υψηλούς τελικούς βαθμούς φήμης. Αυτό συμβαίνει λόγω του γεγονότος ότι τόσο οι υποκειμενικές όσο και οι αντικειμενικές βαθμολογήσεις ακολουθούν κατανομές που παράγουν καλές τιμές με χαμηλή απόκλιση. Ωστόσο, στη συναλλαγή 4 οι βαθμολογίες φήμης των πηγών δεδομένων είναι χαμηλότερες καθώς οι αντικειμενικές μετρήσεις λαμβάνουν τιμές από μια ομοιόμορφη κατανομή που δημιουργεί κακές τιμές σύμφωνα με τις τιμές-στόχους κάθε αντικειμενικής μέτρησης ανά κατηγορία ποιότητας. Τέλος, η συναλλαγή 2 και η συναλλαγή 3 παρέχουν ενδιάμεσες τιμές φήμης.

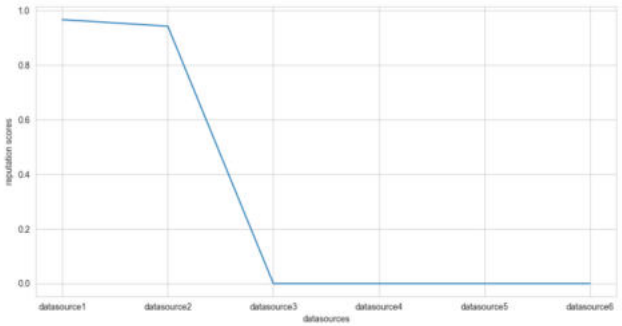
***Συναλλαγή 1*:** Στην πρώτη συναλλαγή έχει ορισθεί ότι λαμβάνονται καλές τιμές για τις αντικειμενικές μετρήσεις και λαμβάνονται επίσης καλές υποκειμενικές βαθμολογίες φήμης για τις υποκειμενικές μετρικές του προϊόντος. Αυτές οι τιμές ακολουθούν την ομοιόμορφη κατανομή που παράγει υψηλές βαθμολογίες με χαμηλή απόκλιση. Από τα ακόλουθα διαγράμματα (Εικόνα 30-Εικόνα 33), διαπιστώνεται ότι το σύστημα μας ακολουθεί την αναμενόμενη συμπεριφορά αναθέτοντας υψηλούς βαθμούς φήμης για της εμπλεκόμενες πηγές δεδομένων, καθώς και στις οντότητες που επηρεάζονται στα επίπεδα προϊόντων, παρόχων και ομοσπονδιών. Όπως παρατηρούμε στην Εικόνα 33, η βαθμολογία φήμης του προϊόντος 3 επηρεάζεται καθώς η πηγή δεδομένων 2 συμβάλλει στη διαμόρφωση τόσο του προϊόντος 1 όσο και του προϊόντος 3. Τα προϊόντα 2 και 4 παραμένουν δεν επηρεάζονται από την αξιολόγηση του προϊόντος 1.



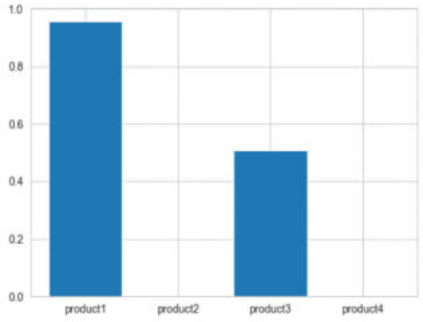
Εικόνα 33: Υποκειμενικός βαθμός βάσει της αξιολόγησης του καταναλωτή για τη συναλλαγή 1



Εικόνα 34: Αντικειμενικός βαθμός των πηγών δεδομένων βάσει των αντικειμενικών μετρήσεων που λήφθηκαν για το σύνολο των πηγών κατά την στην περίοδο της συναλλαγής 1.



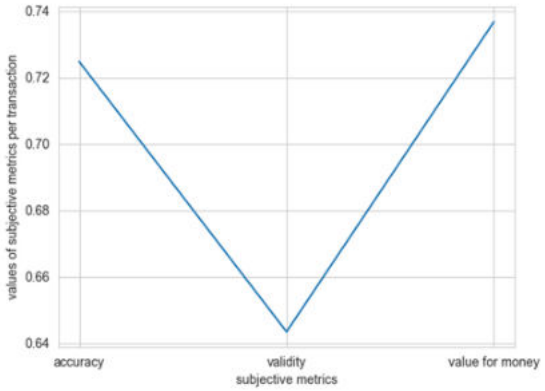
Εικόνα 35: Βαθμός φήμης πηγών δεδομένων μετά την συναλλαγή 1.



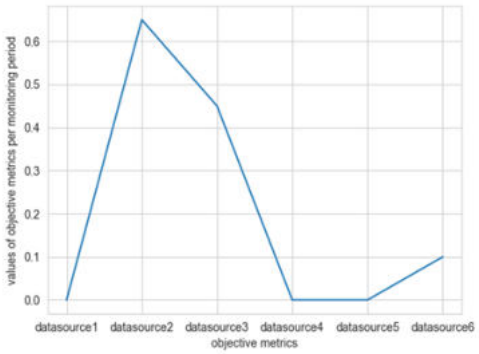
Εικόνα 36: Βαθμός φήμης προϊόντων μετά την συναλλαγή 1.

Υπενθυμίζεται ότι μια σημαντική παραδοχή της πειραματική μας μελέτης είναι ότι μια περίοδος παρακολούθησης ολοκληρώνεται με την άφιξη μιας αξιολόγησης καταναλωτή. Επίσης, θεωρούμε ότι η διαδικασίας ανανέωσης των βαθμών φήμης εκκινείται με την διενέργεια της αντικειμενικής αξιολόγησης του καταναλωτή. Τέλος, ο βαθμός φήμης των πηγών δεδομένων που συμμετάσχουν σε προϊόντα που δεν έχουν λάβει υποκειμενικές αξιολογήσεις, παραμένει μηδενικός μέχρι να ληφθεί η πρώτη σχετική αξιολόγηση.

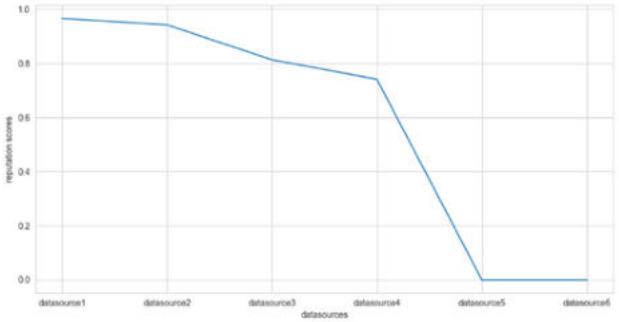
Συναλλαγή 2: Στη δεύτερη συναλλαγή έχει ορισθεί να λαμβάνονται καλές έως μέτριες τιμές για τις αντικειμενικές μετρήσεις και λαμβάνονται επίσης ενδιάμεσοι υποκειμενικοί βαθμοί φήμης για τις υποκειμενικές μετρικές του προϊόντος. Αυτές οι τιμές ακολουθούν την ομοιόμορφη κατανομή που παράγει καλές τιμές με υψηλή απόκλιση. Η αναμενόμενη συμπεριφορά σε αυτήν τη συναλλαγή είναι να ληφθεί μια καλή έως μέτρια βαθμολογία φήμης για τις πηγές δεδομένων. Στις ΕικόνεςΕικόνα 34-Εικόνα 37, πράγματι, παρατηρούνται μεσαίες βαθμολογίες φήμης όπως αναμενόταν. Οι πηγές δεδομένων που συμμετέχουν στη διαμόρφωση του προϊόντος 2, δε συνεισφέρουν στον σχηματισμό κανενός άλλου προϊόντος, επομένως όλες οι υπόλοιπες βαθμολογίες φήμης παραμένουν οι ίδιες.



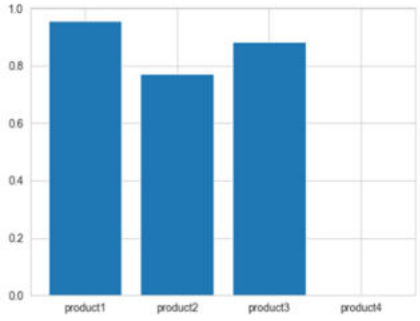
Εικόνα 37: Υποκειμενικός βαθμός βάσει της αξιολόγησης του καταναλωτή για τη συναλλαγή 2.



Εικόνα 38: Αντικειμενικός βαθμός των πηγών δεδομένων βάσει των αντικειμενικών μετρήσεων που λήφθηκαν για το σύνολο των πηγών κατά την στην περίοδο της συναλλαγής 2.

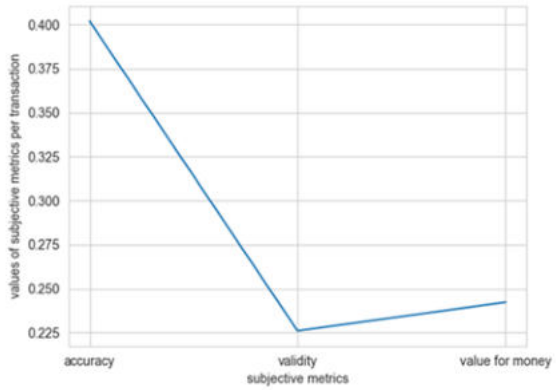


Εικόνα 39: Βαθμός φήμης πηγών δεδομένων μετά την συναλλαγή 2 (για μέτριες προς καλές κατανομές ποιότητας για τις πηγές δεδομένων).

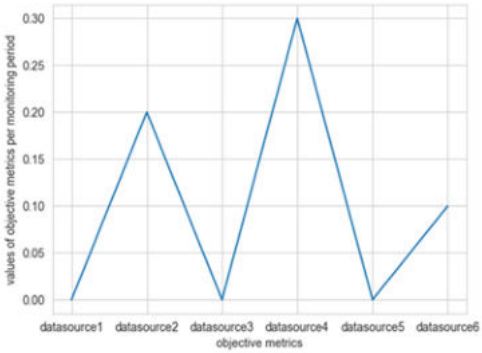


Εικόνα 40: Βαθμός φήμης προϊόντων μετά την συναλλαγή 2.

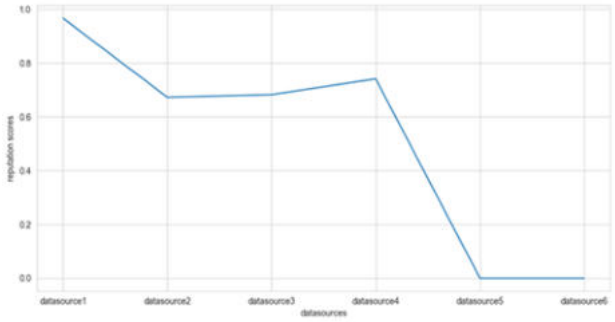
Συναλλαγή 3: Στην τρίτη συναλλαγή έχει ορισθεί ότι λαμβάνονται μεσαίες έως χαμηλές τιμές για τις αντικειμενικές μετρήσεις και λαμβάνονται επίσης μεσαίες υποκειμενικές βαθμολογίες φήμης για τις υποκειμενικές μετρικές. Αυτές οι τιμές ακολουθούν την ομοιόμορφη κατανομή που παράγει τιμές με υψηλή απόκλιση. Η αναμενόμενη συμπεριφορά σε αυτήν τη συναλλαγή είναι να διαμορφωθεί μια μέση έως χαμηλή βαθμολογία φήμης για τις πηγές δεδομένων. Όπως φαίνεται στα αποτελέσματα Εικόνων Εικόνα 38-Εικόνα 41, πράγματι, λαμβάνονται μεσαίες



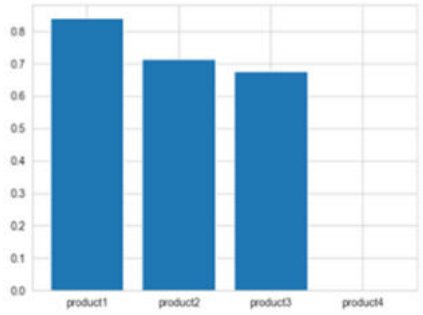
Εικόνα 41: Υποκειμενικός βαθμός βάσει της αξιολόγησης του καταναλωτή για τη συναλλαγή 3.



Εικόνα 42: Αντικειμενικός βαθμός των πηγών δεδομένων βάσει των αντικειμενικών μετρήσεων που λήφθηκαν για το σύνολο των πηγών κατά την στην περίοδο της συναλλαγής32.



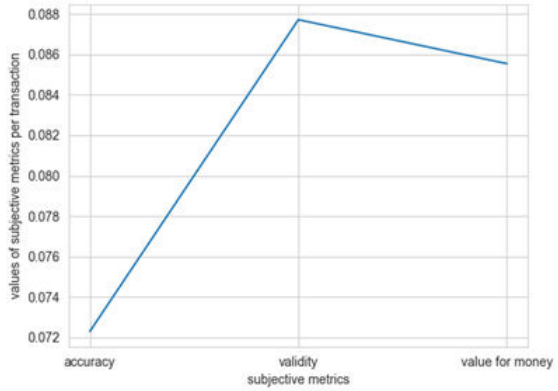
Εικόνα 43: Βαθμός φήμης πηγών δεδομένων μετά την συναλλαγή 3 (για μέτριες προς χαμηλές κατανομές ποιότητας για τις πηγές δεδομένων).



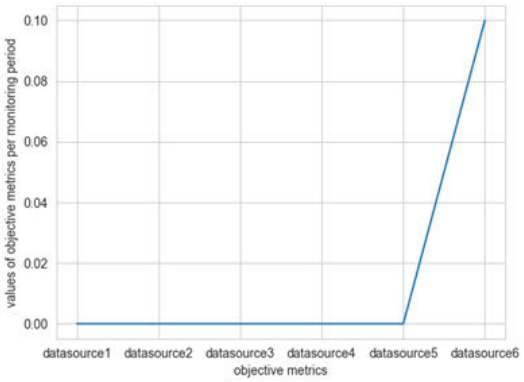
Εικόνα 44: Βαθμός φήμης προϊόντων μετά την συναλλαγή 3.

βαθμολογίες φήμης. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι οι βαθμολογίες φήμης του προϊόντος 1 και του προϊόντος 2 επηρεάζονται καθώς η πηγή δεδομένων 2 και η πηγή δεδομένων 3 συμβάλλουν στη διαμόρφωση τόσο του προϊόντος 1, του προϊόντος 2 όσο και του προϊόντος 3. Συνεπώς, για αυτήν την περίοδο παρακολούθησης λαμβάνεται μια νέα βαθμολογία για την πηγή δεδομένων 2 και την πηγή δεδομένων 3, με αποτέλεσμα να ενημερώνεται και η βαθμολογία των επηρεαζόμενων προϊόντων (προϊόν 1 και προϊόν 2). Το προϊόν 4 παραμένει αμετάβλητο.

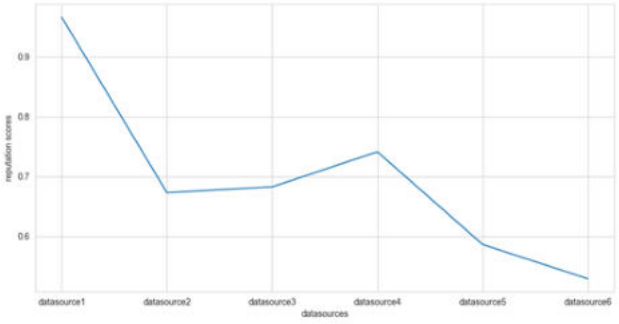
Συναλλαγή 4: Σε αυτή τη συναλλαγή συμμετέχει το προϊόν 4. Το προϊόν 4 αποτελείται από την πηγή δεδομένων 5 και την πηγή δεδομένων 6. Στην τέταρτη συναλλαγή έχει ορισθεί ότι λαμβάνονται χαμηλές τιμές για τις αντικειμενικές μας μετρήσεις και λαμβάνονται επίσης χαμηλές υποκειμενικές βαθμολογίες φήμης για τις υποκειμενικές μετρήσεις του προϊόντος. Αυτές οι τιμές ακολουθούν ομοιόμορφη κατανομή που παράγει τιμές κάτω από τις τιμές στόχου, με μικρή απόκλιση. Η αναμενόμενη συμπεριφορά σε αυτήν τη συναλλαγή είναι η λήψη χαμηλής βαθμολογίας φήμης για τις πηγές δεδομένων και για τα προϊόντα. Όπως αναμενόταν, από τις Εικόνες Εικόνα 42-Εικόνα 45 φαίνεται ότι λαμβάνουμε μια χαμηλή βαθμολογία φήμης. Οι πηγές δεδομένων που συμμετέχουν στη διαμόρφωση του προϊόντος 4, δε συνεισφέρουν στον σχηματισμό οποιουδήποτε άλλου προϊόντος, επομένως όλες οι υπόλοιπες βαθμολογίες φήμης παραμένουν σταθερές.



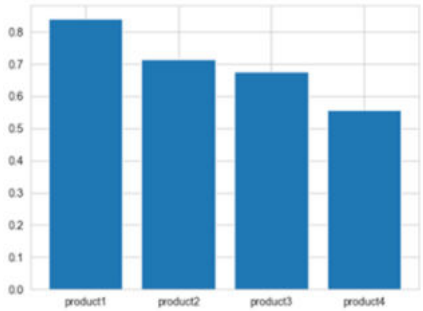
Εικόνα 45: Υποκειμενικός βαθμός βάσει της αξιολόγησης του καταναλωτή για τη συναλλαγή 4.



Εικόνα 46: Αντικειμενικός βαθμός των πηγών δεδομένων βάσει των αντικειμενικών μετρήσεων που λήφθηκαν για το σύνολο των πηγών κατά την στην περίοδο της συναλλαγής 4.



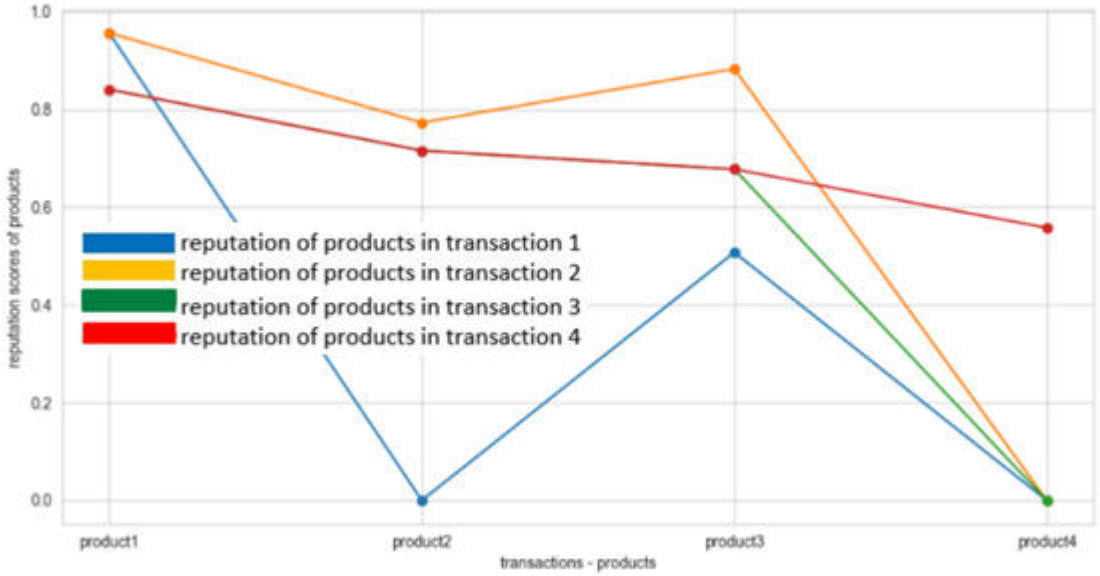
Εικόνα 47: Βαθμός φήμης πηγών δεδομένων μετά την συναλλαγή 4 (για μέτριες προς χαμηλές κατανομές ποιότητας για τις πηγές δεδομένων)



Εικόνα 48: Βαθμός φήμης προϊόντων μετά την συναλλαγή 4.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 46 η βαθμολογία φήμης του προϊόντος 1 ήταν, στην πρώτη συναλλαγή 0,88. Στην τρίτη συναλλαγή πέφτει στο 0,82 καθώς η πηγή δεδομένων 2 συμμετέχει στον σχηματισμό και του προϊόντος 1 και του προϊόντος 3. Η συναλλαγή 3, ωστόσο, σχεδιάστηκε για να λαμβάνει χαμηλή βαθμολογία φήμης, επομένως είναι φυσιολογικό να παρατηρείται μείωση στη βαθμολογία φήμης του προϊόντος 1. Με την ίδια λογική, το προϊόν 2 έχει επίσης μια μείωση της βαθμολογίας φήμης καθώς η πηγή δεδομένων 3 συμμετέχει στον σχηματισμό και του προϊόντος 2 και του προϊόντος 3. Έτσι, στη συναλλαγή 3, η πηγή δεδομένων 3 λαμβάνει χαμηλή βαθμολογία φήμης και αυτό επηρεάζει τη βαθμολογία φήμης του προϊόντος 2 μειώνοντάς την από 0,78 σε 0,72. Η ίδια συμπεριφορά παρατηρείται και για το προϊόν 3. Τέλος, το προϊόν 4 λαμβάνει μόνο μία τελική βαθμολογία φήμης από τη συναλλαγή 4, καθώς οι πηγές δεδομένων του είναι μοναδικές και συμβάλλουν στον σχηματισμό μόνο του προϊόντος 4. Το προϊόν 4 έχει τη χαμηλότερη βαθμολογία φήμης όπως αναμένεται λόγω των κατανομών που ακολουθούνται.

Συμπερασματικά, ο προτεινόμενος μηχανισμός αντιστοιχίζει ένα βαθμό φήμης σε κάθε προϊόν, ταξινομώντας τα έτσι σε μια σειρά η οποία αντικατοπτρίζει την πραγματική ποιότητα του κάθε προϊόντος. Έτσι λαμβάνοντας υπόψη τόσο αντικειμενικές μετρήσεις, όσο και υποκειμενικές αξιολογήσεις, ξεπερνάμε το πρόβλημα της «κρυφής» ποιότητας.



Εικόνα 49: Συνδυασμός βαθμών φήμης προϊόντων κατά την διάρκεια των τεσσάρων συναλλαγών

5.3 Πειραματικά αποτελέσματα συστήματος φήμης με χειρισμό ασυμφωνιών

Στην προηγούμενη υποενότητα κεφάλαιο, παρουσιάσαμε μόνο τον μηχανισμό φήμης και τον τρόπο με τον οποίο ενημερώνεται ο βαθμός φήμης. Η προστιθέμενη αξία αυτού του μηχανισμού σε ένα σύστημα φήμης είναι η παροχή ειλικρινούς βαθμολογίας φήμης στους πελάτες. Αναμένεται ότι ένας πελάτης θα επιλέξει να αγοράσει ένα προϊόν λαμβάνοντας υπόψη τον βαθμό φήμης του. Είναι προφανές ότι όσο υψηλότερος είναι ο βαθμός φήμης, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα επιλογής του προϊόντος από τον καταναλωτή. Όπως έχει επισημανθεί σε προηγούμενες ενότητες, η βαθμολογία φήμης είναι η συνάθροιση τόσο των υποκειμενικών όσο και των αντικειμενικών βαθμών. Ο αντικειμενικός βαθμός συμμετέχει στον τελικό υπολογισμό της φήμης με βάρος W και ο υποκειμενικός βαθμός με βάρος W-1. Όπως συζητήθηκε στην Ενότητα 3.2.1 και ειδικότερα στον «άμεσο» μηχανισμό, το W είναι δυναμικό. Το W εκφράζει τον βαθμό εμπιστοσύνης του συστήματος στις αντικειμενικές μετρήσεις που οι πάροχοι δηλώνουν για τις πηγές δεδομένων τους. Αυτό σημαίνει ότι σε περίπτωση που το σύστημα αναγνωρίσει ότι εάν ένας πάροχος αναφέρει καλύτερες αντικειμενικές επιδόσεις σε μια περίοδο παρακολούθησης από τις πραγματικές, τότε το βάρος με το οποίο ο αντικειμενικό βαθμός του συγκεκριμένου παρόχου λαμβάνεται υπόψη θα πρέπει να μειωθεί. Με άλλα λόγια, ο μηχανισμός φήμης θα πρέπει να είναι σε θέση να εντοπίσει τους ανειλικρινείς παρόχους με δεδομένο ότι *οι καταναλωτές πάντα καταθέτουν ειλικρινή και μη κατευθυνόμενη, από τρίτους, βαθμολόγηση.*

Υπό αυτό το πρίσμα, μοντελοποιήθηκε μια πειραματική διαδικασία που ακολουθεί τα παρακάτω βήματα:

- Κάθε καταναλωτής καλείται να επιλέξει ένα προϊόν που θέλει να αγοράσει, το οποίο θα ανήκεις σε μία εκ των δύο κατηγοριών προϊόντων που παρουσιάστηκαν στον Πίνακας 12. Συγκεκριμένα η κατηγορία του προϊόντος είναι προαποφασισμένη με βάση τον τύπο προϊόντος που επιθυμεί να αγοράσει ο καταναλωτής.

- Η επιλογή ανάμεσα στα προϊόντα μία κατηγορίας γίνεται πιθανοτικά με βάση τους βαθμούς φήμης των προϊόντων. Αυτό σημαίνει ότι τα προϊόντα με μεγαλύτερο βαθμό φήμης έχουνε μεγαλύτερη πιθανότητα, αλλά δε σημαίνει ότι θα επιλέγονται πάντα.

- Υποθέτουμε ότι οι πελάτες υποβάλλουν πάντα ειλικρινείς υποκειμενικές αξιολογήσεις για τα προϊόντα. Έτσι, εάν ένας αντικειμενικός βαθμός μια πηγής δεδομένων είναι αξιοσημείωτα υψηλότερος από τον πάντα «ειλικρινή» υποκειμενικό βαθμό αυτής, το σύστημα υποδεικνύει ότι ο πάροχο της πηγής αυτής υπέβαλλε ψευδής/υπερεκτιμημένες μετρήσεις επιδόσεων σε αυτήν την περίοδο παρακολούθησης.

Πραγματική κρυφή ποιότητα. Θεωρούμε ότι μια μεταβλητή θ υποδεικνύει την κρυφή ποιότητα κάθε πηγής δεδομένων. Μια πηγή δεδομένων που είναι πραγματικά καλή, θα πρέπει να έχει υψηλό βαθμό φήμης, με αποτέλεσμα να έχει καλή κρυφή ποιότητα (υψηλό θ). Ωστόσο, μια πηγή δεδομένων που έχει χαμηλή κρυφή ποιότητα (χαμηλό θ), θα πρέπει να έχει χαμηλό βαθμό φήμης κ.λπ. Μιας και η υπόθεση είναι ότι οι πελάτες υποβάλλουν πάντα αληθινές υποκειμενικές αξιολογήσεις, ευθυγραμμίζουμε τους υποκειμενικές βαθμούς με βάση την πραγματική κρυφή ποιότητα θ. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να επισημανθεί ότι οι υποκειμενικοί βαθμοί προέρχονται από ομοιόμορφες κατανομές όπως περιγράφηκαν προηγουμένως. Οι αντικειμενικοί και υποκειμενικοί βαθμοί μιας πηγής δεδομένων λαμβάνουν τιμές στο διάστημα $[0,1]$ βάσει των μηχανισμών που παρουσιάστηκαν στην Ενότητα 3.

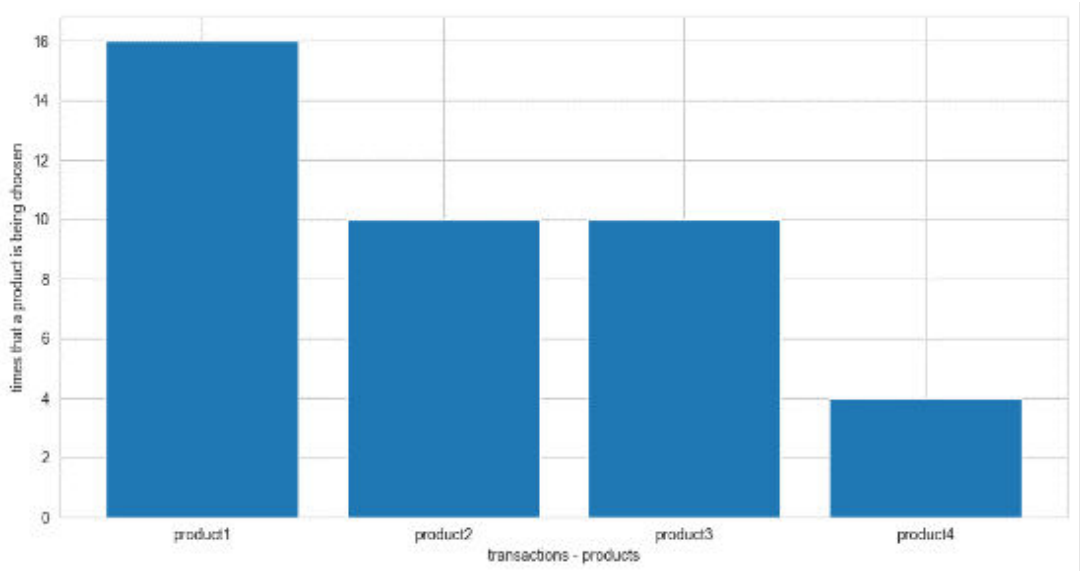
Μοντελοποίηση ψευδών/υπερεκτιμημένων αντικειμενικών βαθμών. Για να παρατηρηθούν φαινόμενα απόκλισης αντικειμενικών και υποκειμενικών βαθμών στο σύστημα μας και να διαπιστωθεί η έγκυρη λειτουργικότητά του, κατά τη μοντελοποίηση της πειραματικής μας διαδικασίας, για κάποιες πηγές δεδομένων αντιστοιχίστηκαν υψηλοί υποκειμενικοί βαθμοί με χαμηλούς αντικειμενικούς βαθμούς (και το ανάποδο). Στην μελέτη μας, θεωρούμε ότι το προϊόν 1 θεωρούμε χαμηλό υποκειμενικό βαθμό και οι πηγές του έχουν υψηλό αντικειμενικό βαθμό. Με την υπόθεση ότι ο πελάτης είναι ειλικρινής, το σύστημα αντιλαμβάνεται ότι *ο πάροχος 1 ψεύδεται* και μειώνει τη συμβολή (βάρος) της αντικειμενικής βαθμολόγησης στον σχηματισμό της τελικής βαθμολογίας φήμης της συγκεκριμένης πηγής δεδομένων.

Διαχείριση τιμής του W. Κάθε φορά που η διαφορά μεταξύ αντικειμενικών και υποκειμενικών βαθμών είναι μεγαλύτερη από ένα όριο, μειώνει το βάρος της αντικειμενικής συνεισφοράς. Κάθε φορά που η διαφορά μεταξύ αντικειμενικών και υποκειμενικών βαθμών είναι μικρότερη από ένα όριο, αυξάνει το βάρος της αντικειμενικής συνεισφοράς (ανταμοιβή του ειλικρινούς παρόχου). Τέλος, στις περιπτώσεις που δεν παραβιάζεται κανένα από τα παραπάνω όρια, η τιμή του βάρους παραμένει αμετάβλητη. Οι τιμές των άνω/κάτω ορίων αποφασίστηκαν μετά από μια σειρά πειραματικών προσομοιώσεων και ελέγχου πλήθους διαφορετικών τιμών. Αποδεικνύεται ότι οι τιμές κατωφλίου για τις οποίες ο μηχανισμός λειτουργεί καλύτερα και προσδιορίζει τον ψεύτη είναι για όριο 0,4 ($if\ O^{new}(d) - S^{new}(d) > 0{,}4\ then\ W_i \coloneqq max\{W_i - 0{,}1{,}0\}$). Για κατώφλι 0,15 ($if\ O^{new}(d) - S^{new}(d) < 0{,}15\ then\ W_i \coloneqq min\{W_i + 0{,}1{,}1\}$).

Συμπεριφορά καταναλωτών. Ο μηχανισμός μας υποθέτει ότι οι υποκειμενικές αξιολογήσεις είναι στη συντριπτική πλειοψηφία αληθινές. Οι καταναλωτές δεδομένων με κακόβουλες προθέσεις δεν μπορούν να επηρεάσουν σε μεγάλη κλίμακα τη συνολική υποκειμενικότητα. Οι κακόβουλοι χρήστες μπορούν επίσης να εντοπιστούν εύκολα όταν υποβάλλουν υποκειμενικές βαθμολογίες που είναι εντελώς διαφορετικές από την πλειοψηφία των υπολοίπων καταναλωτών. Αντίθετα, οι πάροχοι έχουν τα κίνητρα να υποβάλλουν ψευδώς υψηλές αντικειμενικές βαθμολογίες για να βελτιώσουν τη φήμη τους.

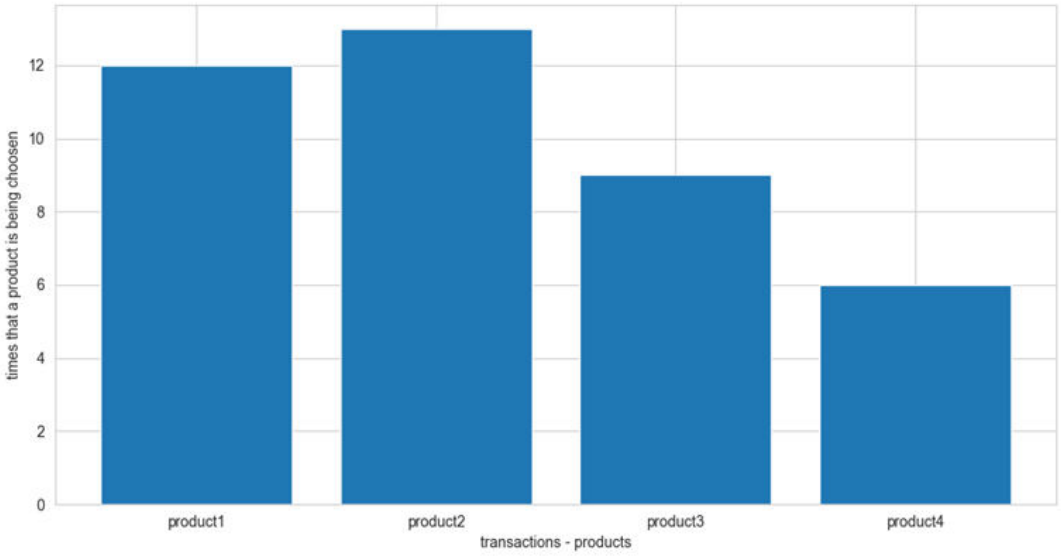
Στα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζεται η γραφική αναπαράσταση των αποτελεσμάτων. Πιο συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης πραγματοποιήθηκαν 40 συναλλαγές. Στην

Εικόνα 50 απεικονίζεται το σύστημα χωρίς τον μηχανισμό χειρισμού ασυμφωνιών. Το προϊόν 1 επιλέγεται περισσότερες φορές από το προϊόν 2, κάτι που δεν θα έπρεπε να συμβαίνει καθώς η πραγματική κρυφή ποιότητα του προϊόντος 2 είναι υψηλότερη.



Εικόνα 50: Το αριθμός των φορών που κάθε προϊόν επιλέχθηκε, χωρίς την εφαρμογή κάποιου μηχανισμού διαχείρισης ασυμφωνιών.

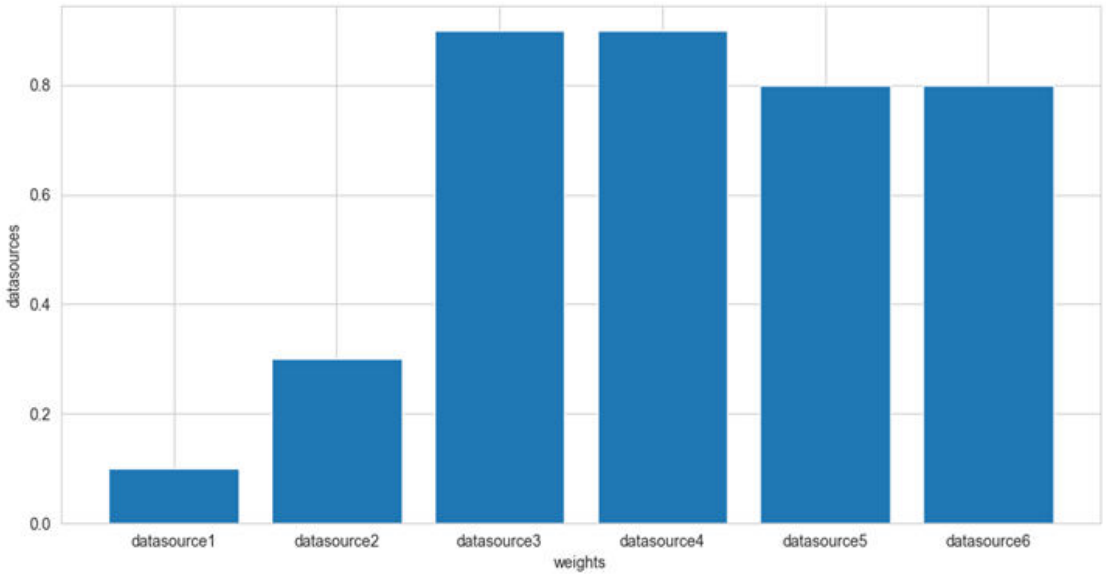
Στην Εικόνα 51 απεικονίζεται το σύστημα με τον *«άμεσο»* μηχανισμό χειρισμού ασυμφωνιών. Κατά την διάρκεια της προσομοίωσης το σύστημα παρατηρεί τη διαφορά μεταξύ υποκειμενικών και αντικειμενικών βαθμών. Ο μηχανισμό επιτυγχάνει μείωση του ικανή μείωση βαθμού φήμης του προϊόντος 1 με αποτέλεσμα το προϊόν 2, που έχει καλύτερη πραγματική ποιότητα, να επιλέγεται περισσότερες φορές ακόμα κι αν αρχικά είχε χαμηλότερη βαθμολογία φήμης.



Εικόνα 51: Το αριθμός των φορών που κάθε προϊόν επιλέχθηκε, με την εφαρμογή του «Άμεσου» μηχανισμού διαχείρισης ασυμφωνιών.

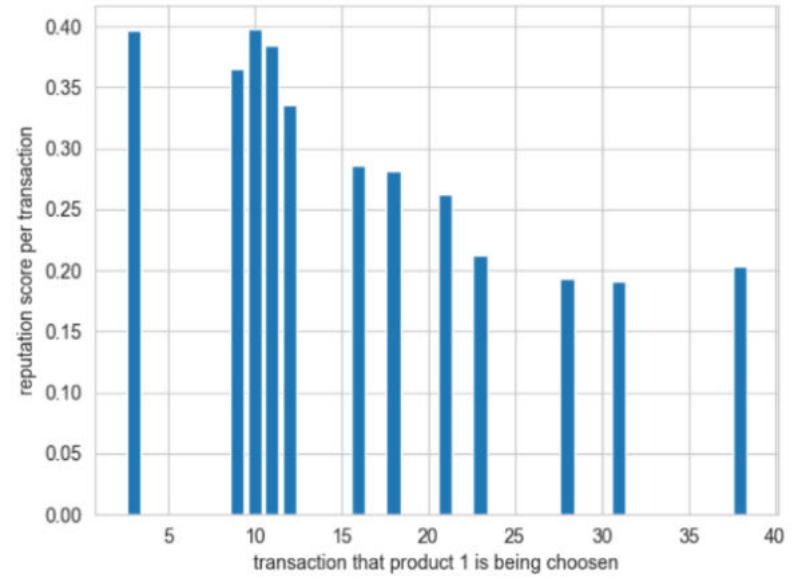
Στην Εικόνα 52 απεικονίζεται η τελική κατάσταση των βαρών W για κάθε πηγή δεδομένων μετά από 40 συναλλαγές. Η πηγή δεδομένων 1 έχει τη χαμηλότερη βαρύτητα και αυτό αποδεικνύει ότι το σύστημα φήμης λειτουργεί ορθά και εντοπίζει ότι ο πάροχος 1 αναφέρει

ψευδώς/λανθασμένα υψηλές αντικειμενικές επιδόσεις. Ως αποτέλεσμα, το σύστημα μειώνει το βάρος W_1 σε κάθε συναλλαγή. Όμοια, συμπεριφορά παρατηρείται και για την πηγή δεδομένων 2 που προσφέρεται από τον πάροχο 2. Για τις πηγές δεδομένων 3 και 4 παρατηρείται ότι το βάρος είναι υψηλότερο καθώς οι αντικειμενικοί και υποκειμενικοί βαθμοί είναι πολύ κοντά μεταξύ τους και το σύστημα φήμης ανταμείβει τους σχετικούς παρόχους αυξάνοντας την βαρύτητα με την οποία οι αντικειμενικές μετρήσεις τους λαμβάνονται υπόψη στην διαμόρφωση του τελικού βαθμού φήμης.



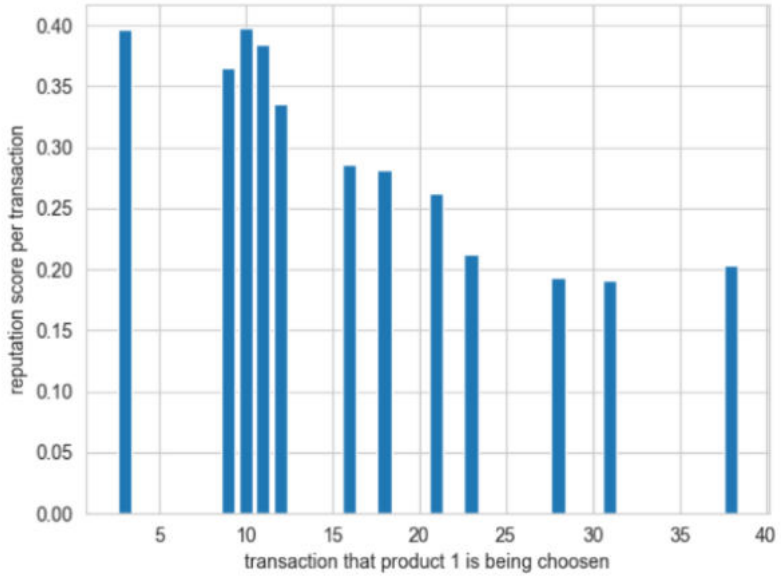
Εικόνα 52: Τιμές βαρών για τις πηγές δεδομένων μετά από 40 συναλλαγές και εφαρμογή του «άμεσου» μηχανισμού.

Στην Εικόνα 53 εμφανίζεται ο βαθμός φήμης του προϊόντος 1, ο οποίος μειώνεται συνεχώς κατά τη διάρκεια των συναλλαγών, πλησιάζοντας σταδιακά την χαμηλότερη «πραγματική» κρυφή ποιότητα του προϊόντος.

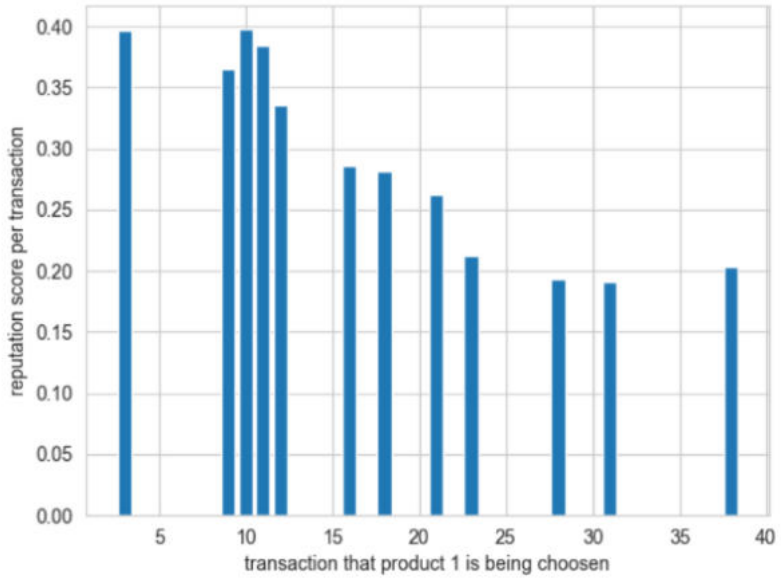


Εικόνα 53: Ο βαθμός φήμης του προϊόντος 1 μετά από 40 συναλλαγές, στην περίπτωση που οι πάροχοι 1 και 2 ψεύδονται ή υπερεκτιμούν το επίπεδο της παρεχόμενης ποιότητα.

Επίσης, στις Εικόνες Εικόνα 54 και Εικόνα 55, παρατηρούμε την μεταβολή των βαρών W_1 και W_2, για τις πηγές δεδομένων 1 και 2 αντίστοιχά. Το βάρος με το οποίο λαμβάνονται υπόψη οι αντικειμενικές μετρήσεις ξεκινά από 0,7 και κάθε φορά που παραβιάζεται το όριο διαφοράς των αντικειμενικών και υποκειμενικών βαθμών μειώνεται κατά 0,1. Αυτή η τιμή επιλέχθηκε κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης ώστε να είναι εμφανής και αισθητή η μείωση της βαθμολογίας φήμης εντός των 40 συναλλαγών.



Εικόνα 54: Τιμή βάρους W_1 μετά από 40 συναλλαγές στην περίπτωση που ο πάροχος 1 ψεύδεται ή υπερεκτιμούν το επίπεδο της παρεχόμενης ποιότητας για την πηγή δεδομένων 1.



Εικόνα 55: Τιμή βάρους W_2 μετά από 40 συναλλαγές στην περίπτωση που ο πάροχος 2 ψεύδεται ή υπερεκτιμούν το επίπεδο της παρεχόμενης ποιότητας για την πηγή δεδομένων 2.

5.4 Κύριες Πειραματικές Διαπιστώσεις

Μέσω των παραπάνω προσομοιώσεων αποδεικνύεται ότι τόσο το οι βασικοί προτεινόμενοι μηχανισμοί φήμης και εμπιστοσύνης του IoTFeds, όσο και ο «άμεσος» μηχανισμός διαχείρισης

ασυμφωνιών λειτουργούν όπως αναμενόταν και οδηγούν σε βαθμούς φήμης που αντικατοπτρίζουν την πραγματική κρυφή ποιότητα των πηγών δεδομένων.

- Έπειτα από 40 συναλλαγές, η βαθμολογία φήμης των πηγών δεδομένων, των προϊόντων, των παρόχων δεδομένων και των ομοσπονδιών φαίνεται να διακυμαίνεται όπως θα έπρεπε με βάση τις παραδοχές που έγιναν κατά την πειραματική διαδικασία σχετικά τα διαφορετικά QoS/QoE προφίλ και τις κατανομές που χρησιμοποιούνται σε κάθε συναλλαγή.

- Ο «άμεσος»» μηχανισμός διαχείρισης ασυμφωνιών επιτυγχάνει τον εντοπισμό των παρόχων που δηλώνουν αναληθείς επιδόσεις για της πηγές δεδομένων τους και λαμβάνει τις μετρήσεις τους λιγότερο υπόψη στον υπολογισμό της φήμης των πηγών τους.

- Αναμένεται ότι οι καταναλωτές θα καταθέτουν αληθείς υποκειμενικές αξιολογήσεις, καθώς θα ξοδεύουν χρήματα για να πραγματοποιήσουν συναλλαγές προϊόντων και δεν έχουν κίνητρο να υποβάλουν κακόβουλες αξιολογήσεις προϊόντων φήμης. Δεδομένου του κόστους αγοράς προϊόντων για την δυνατότητα αξιολόγησης οι επιθέσεις συμπαιγνίας αποθαρρύνονται. Κακόβουλοι μεμονωμένοι πελάτες μπορούν ευκολότερα να εντοπισθούν και να ληφθούν οι αξιολογήσεις τους υπόψη σε μικρότερο βαθμό. Τέτοιου τύπου μηχανισμοί αποτελούν αντικείμενο μελλοντικής μελέτης.

6 Συμπεράσματα

Οι μηχανισμοί φήμης και εμπιστοσύνης είναι πολύ σημαντικοί και απαραίτητοι σε ψηφιακά περιβάλλοντα όπου πιθανώς άγνωστες μεταξύ τους οντότητες καλούνται να αλληλεπιδράσουν, να συνεργαστούν ή να συνδιαλλαγούν για την από κοινού παροχή ή κατανάλωση ψηφιακών υπηρεσιών/προϊόντων. Η παρούσα αναφορά περιλαμβάνει τον ορισμό, την υλοποίηση και την πειραματική αξιολόγηση του συστήματος φήμης και εμπιστοσύνης του έργου IoTFeds.

Αρχικά, παρουσιάστηκε μια ευρύτατη επισκόπηση της επιστημονικής βιβλιογραφίας σχετικά σε θέματα φήμης και εμπιστοσύνης σε περιβάλλοντα IoT και καθώς άλλων εφαρμογών, με έμφαση στα άρθρα που αξιοποιούν την τεχνολογία blockchain ή μελετούν την έννοια της ομαδική φήμης, η οποία είναι σχετική με την παροχή υπηρεσιών στην πλατφόρμα του έργου. Στη συνέχεια αναπτύχθηκαν και παρουσιάστηκαν οι βασικοί μηχανισμοί φήμης και εμπιστοσύνης του IoTFeds, καθώς και η υλοποίηση αυτών μέσω αφ' ενός στοιχείων λογισμικού στην πλευρά του υποσυστήματος symbIoTe και αφ' ετέρου έξυπνων συμβολαίων στην πλευρά του υποσυστήματος BaaS. Επίσης, αναδείχθηκε μέσω πειραματικής μελέτης η «ορθή» λειτουργία των μηχανισμών φήμης, και αξιολογήθηκε ένας επιπλέον συστατικός μηχανισμός τους.

Πιο συγκεκριμένα, η επισκόπηση της επιστημονικής βιβλιογραφίας ανέδειξε την διαχρονική αναγκαιότητα των μηχανισμών φήμης και εμπιστοσύνης σε ψηφιακά περιβάλλονται όπως ηλεκτρονικές αγορές κτλ. Επίσης, κατέστησε σαφές ότι η πολυπλοκότητα των συστημάτων φήμης και εμπιστοσύνης σε περιβάλλοντα IoT παρουσιάζει αυξημένη πολυπλοκότητα λόγω των διαφορετικών τύπου οντοτήτων που αλληλεπιδρούν στα διάφορα επίπεδα του συστήματος. Επιπλέον, από την μελέτη αυτή αναδείχθηκε ότι οι τεχνολογίες κατανεμημένου καθολικού όπως το blockchain, καθώς και οι κρυπτογραφικές μέθοδοι που το συνοδεύουν, αποτελούν σημαντικά εργαλεία για την ικανοποίηση βασικών χαρακτηριστικών των συστημάτων φήμης όπως η ακεραιότητα των υπολογισμών για την εξαγωγή βαθμολογιών φήμης, η ιδιωτικότητα των αναδράσεων περί αξιολογήσεων υπηρεσιών και η αποτροπή κακόβουλων επιθέσεων.

Στο περιβάλλον του IoTFeds, πολλοί πάροχοι συμμετέχουν σε ομοσπονδίες για την παροχή από κοινού προϊόντων δεδομένων προς του καταναλωτές. Δεδομένου ότι το σύστημα IoTFeds δεν μπορεί το ίδιο να παρέχει κάποια εκ των προτέρων εξασφάλιση για την παρεχόμενη ποιότητα στους καταναλωτές που συμμετέχουν στο οικοσύστημα IoTFeds, γιατί μόνο ο ίδιος ο πάροχος έχει γνώση της πραγματική ποιότητας της υπηρεσίας που προσφέρει, η χρήση μηχανισμών φήμης και εμπιστοσύνης είναι αναγκαία. Συνεπώς, στο IoTFeds ορίζουμε ένα σύστημα φήμης και εμπιστοσύνης το οποίο λαμβάνει υπόψη του τόσο μετρήσεις επιδόσεων των πηγών δεδομένων/IoT συσκευών που αποστέλλονται από του ίδιους τους παρόχους, όσο και τις αξιολογήσεις των καταναλωτών για την ποιότητα των προϊόντων που καταναλώνουν. Δεδομένης της ομόσπονδης δομής της αγοράς της πλατφόρμας του IoTFeds, ορίζουμε την έννοια της φήμης και υπολογίζουμε τον βαθμό φήμης για τις οντότητες σε τέσσερα διαφορετικά επίπεδα, αυτά των πηγών δεδομένων, προϊόντων, παρόχων και ομοσπονδιών. Η χρησιμότητα του βαθμού φήμης σε καθένα από αυτά τα επίπεδα διαφέρει και μπορεί να αποσκοπεί στην παροχή ενός δείκτη ποιότητας κατά την δημιουργία/αγορά προϊόντων στις αγορές IoTFeds ή κατά την επιλογή/διαχείριση ομοσπονδιών. Όπως αναδείχθηκε και από την πειραματική μελέτη που διεξήχθη, οι μηχανισμοί φήμης και εμπιστοσύνης που αναπτύχθηκαν είναι ικανοί να «αποκαλύψουν» την πραγματική ποιότητα παρεχόμενη υπηρεσίας στο σύστημα του IoTFeds και να αποτρέψουν κακόβουλες συμπεριφορές των παρόχων κατά την δήλωση των επιδόσεων που επιτυγχάνουν οι πηγές δεδομένων τους.

Στην παρούσα αναφορά, παρουσιάστηκαν διάφορες εναλλακτικές προσεγγίσεις υλοποίησης τους συστήματος φήμης και εμπιστοσύνης της πλατφόρμας του IoTFeds, οι οποίες διαφοροποιούνται στο αν οι απαραίτητοι υπολογισμοί γίνονται εντός ή εκτός αλυσίδας blockchain (on-chain or off-chain) περιγράφοντας τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τους.

Για την εξασφάλιση της ιδιωτικότητας των αξιολογήσεων των καταναλωτών και της ακεραιότητας των υπολογισμών επιλέχθηκε η υλοποίηση των υπολογισμών on-chain. Επίσης, επειδή δεν υπάρχει η τεχνική δυνατότητα του στοιχείου λογισμικού Monitoring του κάθε παρόχου να παρακολουθεί τις επιδόσεις των πηγών δεδομένων των άλλων παρόχων, επιλέχθηκε η υλοποίηση μηχανισμών αποτροπής κακόβουλης συμπεριφοράς οι οποίοι βασίζονται στην αντιμετώπιση των αποκλίσεων που εντοπίζονται μεταξύ αντικειμενικών μετρήσεων ποιότητας και των αντίστοιχων υποκειμενικών αξιολογήσεων.

Συνεπώς, το σύστημα φήμης και εμπιστοσύνης της πλατφόρμας του έργου IoTFeds που παρουσιάστηκε στην παρούσα αναφορά είναι **πολυδιάστατο, επιστημονικά τεκμηριωμένο ως προς την αρχιτεκτονική δομή του και την υπολογιστική προσέγγιση του καλύπτει πλήρως όλες τις σχετικές απαιτήσεις**. Δεδομένης της αναγκαιότητας για υλοποίηση του συστήματος αυτού εντός των χρονικών πλαισίων του έργου IoTFeds, σε ορισμένες περιπτώσεις δεν υιοθετήθηκε η πλέον γενική προσέγγιση. Συνεπώς, έχουν ήδη εντοπισθεί και ορισμένες πιθανές **επεκτάσεις και κατευθύνσεις μελλοντικής μελέτης** για το σύστημα φήμης και εμπιστοσύνης της πλατφόρμας του IoTFeds, όπως για παράδειγμα ο εμπλουτισμός των μηχανισμών φήμης ώστε να εξάγουν «προσωποποιημένους» βαθμούς φήμης βάσει του σκοπού αξιοποίησης των προϊόντων δεδομένων από τους εκάστοτε καταναλωτές. Κάτι τέτοιο θα απαιτούσε την διατήρηση ιστορικού των αντικειμενικών των υποκειμενικών αξιολογήσεων από τους καταναλωτές, οπότε απαιτείται η υλοποίηση επιπλέον μεθόδων εξασφάλισης ιδιότητας, όπως blind signatures, ZKP. Επίσης, ορισμένες περιπτώσεις παροχής υπηρεσιών εμπλέκουν πολλαπλά στιγμιότυπα (instances) δεδομένων. Επί του παρόντος, η αντίστοιχη υποκειμενική βαθμολόγηση φήμης έχει ίδια βαρύτητα ανεξαρτήτως του πλήθους των στιγμιότυπων αυτών, αλλά θα ήταν ενδιαφέρον να διερευνηθεί στο μέλλον η προσέγγιση διαφοροποίηση της βαρύτητας αυτής βάσει του πλήθους των στιγμιότυπων. Τέλος, οι μηχανισμοί φήμης και εμπιστοσύνης αναμένεται να εμπλουτιστούν για την υποστήριξη των πολιτικών εναλλακτικής/ανταλλακτικής αγοράς που θα αναπτυχθούν στη Ενότητα Εργασίας 3.

Βιβλιογραφία

Abbasi, M. A., Memon, Z. A., Durrrani, N. M., Haider, W., Laeeq, K., & Mallah, G. A. (2021). A multi-layer trust-based middleware framework for handling interoperability issues in heterogeneous IOTs. Cluster Computing, 24, 2133–2160. doi:10.1007/s10586-021-03243-1

Adewuyi, A. A., Cheng, H., Shi, Q., Cao, J., MacDermott, A., & Wang, X. (2019). CTRUST: A Dynamic Trust Model for Collaborative Applications in the Internet of Things. IEEE Internet of Things Journal, 1–1. doi:10.1109/jiot.2019.2902022

Adewuyi, AA., Cheng, H., Shi, Q., Cao, J. Wang, X. & Zhou, B. (2022). SCTRUST: A Dynamic Model for Trustworthy Service Composition in the Internet of Things.2022 IEEE Internet of Things Journal, vol. 9, no. 5, pp. 3298-3312. doi: 10.1109/JIOT.2021.3097980

Akerlof, A. (1970). The market for 'Lemons: Quality uncertainty and the market mechanism, The Quarterly Journal of Economics 84 (3) pp.488–500.

Ali, M. , Nelson, J., Shea, R.and Freedman, M. J. (2016).Blockstack: A global naming and storage system secured by blockchains. USENIX Annual Technical Conference (USENIX ATC).

Andrychowicz, M., Dziembowski, S., Malinowski, D., & Mazurek, Ł. (2016). Secure multiparty computations on Bitcoin. Communications of the ACM, 59(4), 76–84. doi:10.1145/2896386

Azad, M. A. , Bag, S.,& Hao, F (2018). Privbox: Verifiable decentralized reputation system for online marketplaces, Future Generation Computer Systems 89 44–57.

Azad, M. A., Bag, S., Hao, F., & Shalaginov, A. (2020). Decentralized Self-enforcing Trust Management System for Social Internet of Things. IEEE Internet of Things Journal, 1–1. doi:10.1109/jiot.2019.2962282

Azzedin, F . (2014).Taxonomy of reputation assessment in peer-to-peer systems and analysis of their data retrieval. Knowl. Eng. Rev., vol. 29, no. 4, pp. 463–483

Ben Saied, Y., Olivereau, A., Zeghlache, D., & Laurent, M. (2013). Trust management system design for the Internet of Things: A context-aware and multi-service approach. Computers & Security, 39, 351–365. doi:10.1016/j.cose.2013.09.001

Camenisch, J., Chaabouni, R., shelat, a. (2008). Efficient Protocols for Set Membership and Range Proofs. In: Pieprzyk, J. (eds) Advances in Cryptology - ASIACRYPT 2008. ASIACRYPT 2008. Lecture Notes in Computer Science, vol 5350. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-89255-7_15

Chang, D.-Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. European Journal of Operational Research, 95(3), 649–655. doi:10.1016/0377-2217(95)00300-2

Chaum, D (1983).: Blind signatures for untraceable payments. In: Crypto 1982, pp. 199–203. Plenum Press

Che, S., Feng, R., Liang, X., & Wang, X. (2014). A lightweight trust management based on Bayesian and Entropy for wireless sensor networks. Security and Communication Networks, 8(2), 168–175. doi:10.1002/sec.969

Chen, D., Chang, G., Sun, D., Li, J., Jia, J., & Wang, X. (2011). TRM-IoT: A trust management model based on fuzzy reputation for internet of things. Computer Science and Information Systems, 8(4), 1207–1228. doi:10.2298/csis110303056c

Chen, I.-R., Bao, F., & Guo, J. (2016a). Trust-Based Service Management for Social Internet of Things Systems. IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing, 13(6), 684–696. doi:10.1109/tdsc.2015.2420552

Chen, I. R., Guo, J., & Bao, F. (2016b). Trust management for SOA-based IoT and its application to service composition. IEEE Transactions on Services Computing, 9(3), 482-495. doi:10.1109/TSC.2014.2365797

Chen, Z., Ling, R., Huang, C.-M., & Zhu, X. (2015). A scheme of access service recommendation for the Social Internet of Things. International Journal of Communication Systems, 29(4), 694–706. doi:10.1002/dac.2930

Dai, C.; Wang, W. (2017) Multi-attribute spatial node selection algorithm based on subjective and objective weighting. J. Comput. Appl. 2018, 38, 1089–1094. doi: 10.11772/j.issn.1001-9081.2017102534

Damgård, I., Jurik, M. (2001). A Generalisation, a Simplification and Some Applications of Paillier's Probabilistic Public-Key System. In: Kim, K. (eds) Public Key Cryptography. PKC 2001. Lecture Notes in Computer Science, vol 1992. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-44586-2_9

Debe, M., Salah, K., Rehman, M. H., & Svetinovic, D. (2020). Blockchain-Based Decentralized Reverse Bidding in Fog Computing. IEEE Access, 1–1. doi:10.1109/access.2020.2991261

Debe, M.S., Salah, K., Rehman, M.H., & Svetinovic, D. (2019). IoT Public Fog Nodes Reputation System: A Decentralized Solution Using Ethereum Blockchain. IEEE Access, 7, 178082-178093

Dellarocas, C. N. (2004) Sanctioning Reputation Mechanisms in Online Trading Environments with Moral Hazard Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=393043 or doi:10.2139/ssrn.393043

Dennis, R., & Owen, G. (2015). Rep on the block: A next generation reputation system based on the Blockchain. 2015 10th International Conference for Internet Technology and Secured Transactions (ICITST). doi:10.1109/icitst.2015.7412073

Despotovic, Z., & Aberer, K. (2004) Possibilities for Managing Trust in P2P Networks, Tech. Rep., Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, Switzerland.

Fan, J. and Vercauteren, F. (2012). Somewhat Practical Fully Homomorphic Encryption. IACR Cryptologogy ePrint Archive vol. 12 pp.1-19.

Fan, X., Liu, L., Zhang, R., Jing, Q., & Bi, J. (2020). Decentralized Trust Management. ACM Computing Surveys, 53(1), 1–33. doi:10.1145/3362168

Fortino, G., Fotia, L., Messina, F., Rosaci, D., & Sarné, G. M. L. (2021). A Blockchain-based group formation strategy for optimizing the social reputation capital of an IoT scenario. Simulation Modelling Practice and Theory, 108, 102261. doi:10.1016/j.simpat.2020.102261

Fortino, G., Messina, F., Rosaci, D., & Sarne, G. M. L. (2019). Using Blockchain in a Reputation-Based Model for Grouping Agents in the Internet of Things. IEEE Transactions on Engineering Management, 1–13. doi:10.1109/tem.2019.2918162

Fotia, L., Delicato, F.C, & Fortino, G. (2022). Trust in Edge-based Internet of Things architectures: State of the Art and Research Challenges.. ACM Comput. Surv. Justdoi: 10.1145/3558779

Gambetta, D. (2000) . Can We Trust Trust?'. In Gambetta, Diego (ed.) Trust: Making and Breaking Cooperative Relations, electronic edition, Department of Sociology, University of Oxford, chapter 13, pp. 213-237.

Grandison, T., & Sloman, M. (2000). A survey of trust in internet applications. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 3(4), 2–16. doi:10.1109/comst.2000.5340804

Hasan, O., Brunie, L., & Bertino, E. (2020). Privacy preserving reputation systems based on blockchain and other cryptographic building blocks: a survey. In: University of Lyon Research Report, pp. 1–65.

Hendrikx, F., Bubendorfer, K., & Chard, R. (2015). Reputation systems: A survey and taxonomy. Journal of Parallel and Distributed Computing, 75, 184–197. doi:10.1016/j.jpdc.2014.08.004

Hoffman, K., Zage, D., & Nita-Rotaru, C. (2009). A survey of attack and defense techniques for reputation systems. ACM Computing Surveys, 42(1), 1–31. doi:10.1145/1592451.1592452

Huang, K. L., Kanhere, S. S., & Hu, W. (2010). Are you contributing trustworthy data? Proceedings of the 13th ACM International Conference on Modeling, Analysis, and Simulation of Wireless and Mobile Systems - MSWIM '10. doi:10.1145/1868521.1868526

Jo, H. J., & Choi, W. (2019). BPRF: Blockchain-based privacy-preserving reputation framework for participatory sensing systems. PLOS ONE, 14(12), e0225688. doi:10.1371/journal.pone.0225688

Kamvar, S. D. , Schlosser, M. T. & Garcia-Molina, H. (2003).The Eigentrust Algorithm for Reputation Management in P2P Networks. In Proceedings of the 12th International Conference on World Wide Web, pp. 640–651.

Kang, J., Xiong, Z., Niyato, D., Ye, D., Kim, D. I., & Zhao, J. (2019). Towards Secure Blockchain-enabled Internet of Vehicles: Optimizing Consensus Management Using Reputation and Contract Theory. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 1–1. doi:10.1109/tvt.2019.2894944

Kang, J., Yu, R., Huang, X., Wu, M., Maharjan, S., Xie, S., & Zhang, Y. (2018). Blockchain for Secure and Efficient Data Sharing in Vehicular Edge Computing and Networks. IEEE Internet of Things Journal, 1–1. doi:10.1109/jiot.2018.2875542

Kim, B.-S., Hassan, S., & Khan, M. K. (2018). Trust management techniques for the Internet of Things: A survey. IEEE Access, 7, 29763-29787. doi:10.1109/ACCESS.2018.2880838

Kochovski,P., Gec, S., Stankovski, V., Bajec, M., & Drobintsev. P.D. (2019). Trust management in a Blockchain based fog computing platform with trustless smart oracles. Future Generation Computer Systems.doi:10.1016/j.future.2019.07.030

Kollock, P. (1999). The Production of trust in online markets. Advances in Group Processes, 16, pp.99–123.

Kouicem, D. E., Imine, Y., Bouabdallah, A., & Lakhlef, H. (2020). A Decentralized Blockchain-Based Trust Management Protocol for the Internet of Things. IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing, 1–1. doi:10.1109/tdsc.2020.3003232

Koutrouli, E. (2016). Credible Reputation Systems for P2P e-Communities (Διδακτορική Διατριβή). ΕΚΠΑ, Σχολή Θετικών Επιστημών, Αθήνα.

Levien, R.(2008) Attack-Resistant Trust Metrics (Chapter 5). Computing with Social Trust., Springer London.

Li, M. , Zhu, L ., Zhang, Z., Lal, C., Conti, M. & Alazab, M. (2021). Anonymous and Verifiable Reputation System for E-Commerce Platforms Based on Blockchain in IEEE Transactions on Network and Service Management, vol. 18, no. 4, pp. 4434-4449. doi: 10.1109/TNSM.2021.3098439

Liu, D., Alahmadi, A., Ni, J., Lin, X., & Shen, xuemin. (2019). Anonymous Reputation System for IIoT-enabled Retail Marketing atop PoS Blockchain. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 1–1. doi:10.1109/tii.2019.2898900

Liu, H., Han, D., & Li, D. (2021). Behavior analysis and blockchain based trust management in VANETs. Journal of Parallel and Distributed Computing, 151, 61–69. doi:10.1016/j.jpdc.2021.02.011

Mahalle, P. N., Thakre, P. A., Prasad, N. R., & Prasad, R. (2013). A fuzzy approach to trust based access control in internet of things. Wireless VITAE 2013. doi:10.1109/vitae.2013.6617083

Malik, S., Dedeoglu, V., Kanhere, S. S., & Jurdak, R. (2019). TrustChain: Trust Management in Blockchain and IoT Supported Supply Chains. 2019 IEEE International Conference on Blockchain (Blockchain). doi:10.1109/Blockchain.2019.00032

McKnight, D.H., and Chervany, N.L. (1996). The meanings of trust. Technical report MISRC working paper series 96-04. University of Minnesota, Management Information Systems Research Centre. http://www.misrc.umn.edu/wpaper/wp96-04.htm

Mocnej, J. Pekar, A. , Seah, W. K. G., & Zolotova, I. (2018). Network traffic characteristics of the IoT application use cases. School Eng. Comput. Sci., Victoria Univ. Wellington, Wellington, New Zealand, Tech. Rep.

Nitti, M. , Girau, R., Atzori, L., & Member, S. (2014). "Trustworthiness Management in the Social Internet of Things. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 26(5), 1253–1266. doi:10.1109/tkde.2013.105.

Okamoto, T. (2006). Efficient Blind and Partially Blind Signatures Without Random Oracles. In: Halevi, S., Rabin, T. (eds) Theory of Cryptography. TCC 2006. Lecture Notes in Computer Science, vol 3876. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/11681878_5

Paillier, P. (1999). Public-key cryptosystems based on composite degree residuosity classes, in: Proceedings of the 17th International Conference on Theory and Application of Cryptographic Techniques.

Palviainen, M., & Kotovirta, V. (2022). Approach for simulating vehicle-based supply of sellable data products in smart cities – Parking space data as a use case. Journal of Urban Mobility, 2, 100011. doi: 10.1016/j.urbmob.2021.100011

Papadakis-Vlachopapadopoulos, K., González, R. S., Dimolitsas, I., Dechouniotis, D., Ferrer, A. J., & Papavassiliou, S. (2019). Collaborative SLA and reputation-based trust management in cloud federations. Future Generation Computer Systems, 100, 498–512. doi:10.1016/j.future.2019.05.030

Papaioannou, T. G., & Stamoulis, G. D. (2010). Reputation-based estimation of individual performance in collaborative and competitive grids. Future Generation Computer Systems, 26(8), 1327–1335. doi:10.1016/j.future.2009.05.007

Podder, Righi, S., & Takács, K. (2021). Platform reputation, local selection, and the leading eight norms. Scientific Reports, 11(1). doi:10.1038/s41598-021-95130-3

Putra, G. D. Dedeoglu, V., Kanhere, S. S. and R. Jurdak (2021). Blockchain for Trust and Reputation Management in Cyber-physical Systems, arXiv:2109.07721 [cs]

Putra, G. D., Dedeoglu, V., Kanhere, S. S., & Jurdak, R. (2020). Trust Management in Decentralized IoT Access Control System. 2020 IEEE International Conference on Blockchain and Cryptocurrency (ICBC). doi:10.1109/icbc48266.2020.9169481

Rajesh, G., Raajini, X. M., & Vinayagasundaram, B. (2016). Fuzzy trust-based aggregator sensor node election in internet of things. International Journal of Internet Protocol Technology, 9(2/3), 151. doi:10.1504/ijipt.2016.079550

Ruohomaa, S., Kutvonen, L., & Koutrouli, E. (2007). Reputation Management Survey. The Second International Conference on Availability, Reliability and Security (ARES'07). doi:10.1109/ares.2007.123

Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. Mathematical Modelling, 9(3-5), 161–176. doi:10.1016/0270-0255(87)90473-8

Schaub, A., Bazin, R., Hasan, O., Brunie, L. (2016). A Trustless Privacy-Preserving Reputation System. In: Hoepman, JH., Katzenbeisser, S. (eds) ICT Systems Security and Privacy Protection. SEC

2016. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 471. Springer, Cham. doi:10.1007/978-3-319-33630-5_27

Schiffner, S., Clauß, S., & Steinbrecher, S. (2010). Privacy and Liveliness for Reputation Systems. Lecture Notes in Computer Science, 209–224. doi:10.1007/978-3-642-16441-5_14

Sharma, A., Pilli, E. S., Mazumdar, A. P., & Gera, P. (2020). Towards trustworthy Internet of Things: A survey on Trust Management applications and schemes. Computer Communications, 160, 475–493. doi:10.1016/j.comcom.2020.06.030

Wang, E. K., Chen, C.-M., Zhao, D., Ip, W. H., & Yung, K. L. (2019). A dynamic trust model in internet of things. Soft Computing. doi:10.1007/s00500-019-04319-2

Wang, B., Li, M., Jin, X., & Guo, C. (2020). A Reliable IoT Edge Computing Trust Management Mechanism for Smart Cities. IEEE Access, 8, 46373–46399. doi:10.1109/access.2020.2979022

Wang, T., Qiu, L., Xu, G., Sangaiah, A. K., & Liu, A. (2019). Energy-efficient and Trustworthy Data Collection Protocol Based on Mobile Fog Computing in Internet of Things. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 1–1. doi:10.1109/tii.2019.2920277

Wang, P. , Xu, N., Zhang, H. Sun, W., and Benslimane, A.. (2022) .Dynamic Access Control and Trust Management for Blockchain-Empowered IoT. In IEEE Internet of Things Journal, vol. 9, no. 15, pp. 12997-13009, 1 Aug.1, 2022, doi: 10.1109/JIOT.2021.3125091.

Yahyaoui, H., Maamar,Z, Al-Khafajiy, Al-Hamadi, H (2022). Trust-based management in IoT federations (2022).Future Generation Computer Systems, vol. 136, Pages 182-192.doi: 10.1016/j.future.2022.06.003

Yang, Z., Yang, K., Lei, L., Zheng, K., & Leung, V. C. M. (2018). Blockchain-based Decentralized Trust Management in Vehicular Networks. IEEE Internet of Things Journal, 1–1. doi:10.1109/jiot.2018.2836144

Yu, B., & Singh, M. P. (2002). An evidential model of distributed reputation management. Proceedings of the First International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems Part 1 - AAMAS ’02. doi:10.1145/544741.544809

Yu, Y., Liu, S., Guo, L., Yeoh, P. L., Vucetic, B., & Li, Y. (2020). CrowdR-FBC: A Distributed Fog-Blockchains for Mobile Crowdsourcing Reputation Management. IEEE Internet of Things Journal, 1–1. doi:10.1109/jiot.2020.2996229

Zhou, R. & Hwang, K. (2007). PowerTrust: A robust and scalable reputation system for trusted peer-to-peer computing. IEEE Trans. Parall. Distrib. Syst. 18, 4, 460--473.

Παράρτημα 1 – Επισκόπηση Βιβλιογραφίας σε Συστήματα Φήμης και Εμπιστοσύνης

Επισκόπηση πλαισίων συστημάτων Φήμης και Εμπιστοσύνης σε άλλους τεχνολογικούς τομείς

A next generation reputation system based on the Blockchain. Μία από τις πρώτες εφαρμογές υλοποίησης ενός μηχανισμού φήμης, ο οποίος βασίζεται σε τεχνολογία blockchain πραγματοποιήθηκε από τους Dennis & Owen (2015). Ο στόχος ήταν να επιλυθεί το ζήτημα της ποσοτικοποίησης της φήμης αφαιρώντας την προσωπική γνώμη από τη συναλλαγή σε ένα δίκτυο ομότιμων κόμβων (P2P). Οι συγγραφείς του άρθρου εισήγαγαν βαθμολογίες φήμης είτε ως 0 είτε ως 1, έτσι ώστε μια αρνητική φήμη να συμβολίζεται με 0 και μια θετική φήμη να συμβολίζεται με 1. Βασίζονται σε μια αριθμητική διάσταση φήμης για να ποσοτικοποιήσουν την αξιοπιστία των χρηστών τους. Στο σύστημά τους, μία θετική συναλλαγή ταξινομείται ως συναλλαγή στην οποία ο χρήστης έλαβε το ζητούμενο αρχείο. Για να μειώσουν τις κακόβουλες συναλλαγές στο δίκτυο, προτείνουν μια προσέγγιση PoS, όπου ένας χρήστης με χαμηλή ή καθόλου φήμη βάζει ως ποντάρισμα ένα μικρό ποσό νομίσματος (bitcoins). Η φήμη αποθηκεύεται στο Blockchain και ο πελάτης υπολογίζει τη βαθμολογία φήμης με βάση τις παραμέτρους του και μόνο για σύντομο χρονικό διάστημα λόγω της ακρίβειας των υπολογισμών.

A Trustless Privacy-Preserving Reputation System. Οι Schaub et al. (2016) χρησιμοποίησαν το σχήμα τυφλών υπογραφών που προτάθηκε από τον David Chaum (Chaum,1983) για τον σχεδιασμό ενός πλήρως αποκεντρικοποιημένο συστήματος φήμης υποστηριζόμενο από το δημόσιο δίκτυο Ethereum Blockchain, για την επίτευξη ελεγχόμενης διατήρησης της ανωνυμίας των καταναλωτών/πελατών σε πραγματικές εφαρμογές ηλεκτρονικού εμπορίου. Με δεδομένο ότι η πραγματική ταυτότητα ενός καταναλωτή θα αποκαλυφθεί στον πάροχο υπηρεσιών κατά τη διάρκεια μιας συναλλαγής, αντί της πλήρους ανωνυμίας, το προτεινόμενο σύστημα φήμης δίνει έμφαση στην ανωνυμία των καταναλωτών ειδικά κατά το στάδιο υποβολής αναδράσεων αξιολόγησης (feedback submission) και σχολίων από πλευρά τους σχετικά με την αγορά προϊόντων. Οι στόχοι της πρότασης κυρίως σχετίζονται με α) την προστασία της ταυτότητας των αξιολογητών για την αποτροπή αντιποίνων από τους παρόχους υπηρεσιών λόγω υποβολής αρνητικής αξιολόγησης, β) την παροχή ενός αξιόπιστου υπολογισμού φήμης σε αποκεντρωμένες εφαρμογές ηλεκτρονικού εμπορίου που θα είναι εύρωστο έναντι διαφόρων επιθέσεων, και γ) ένα μηχανισμό ανταλλαγής αξιολογήσεων που θα βασίζεται σε δαπάνες κρυπτονομισμάτων από τους παρόχους υπηρεσιών για να λάβουν αξιολογήσεις.

Βασιζόμενο σε μία λύση trustless (δηλαδή, μη βασιζόμενη στην εμπιστοσύνη προς τρίτους/χωρίς εμπιστοσύνη), το προτεινόμενο μοντέλο φήμης ορίζει σαν επιμέρους σχεδιαστικές προϋποθέσεις που πρέπει να πληρούνται για την ενίσχυση της ιδιωτικότητας του καταναλωτή τις εξής: τη μη-συνδεσιμότητα (Unlinkability) του καταναλωτή με την αξιολόγηση και την μη-συνδεσιμότητα (Unlinkability) της αξιολόγησης σε σχέση με την συναλλαγή καθώς και σε σχέση με τις προηγούμενες ή επόμενες αναδράσεις αξιολογήσεων από τον ίδιο καταναλωτή. Με την αξιοποίηση του σχήματος των «τυφλών υπογραφών», εκτελείται ένας αλγόριθμος «τυφλών κουπονιών» , με τη βοήθεια του οποίου εκδίδονται τυφλά κουπόνια από τους παρόχους υπηρεσιών για τις συναλλαγές με καταναλωτές συναλλαγές. Στη συνέχεια, ο καταναλωτής εφαρμόζει τον αλγόριθμο «*αποτύφλωσης*» για να επαληθευτεί η συμμετοχή του σε μια συναλλαγή πριν επιτραπεί στον εν λόγω καταναλωτή να υποβάλλει αναδράσεις αξιολόγησης. Καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας οι πάροχοι δεν γνωρίζουν ποια συναλλαγή σχετίζεται με το συγκεκριμένο κουπόνι. Για να λάβει αξιολόγηση από έναν καταναλωτή/πελάτη, ο πάροχος υπηρεσιών πρέπει να ξοδέψει ένα ορισμένο ποσό

κρυπτονομισμάτων, γεγονός που παρέχει κίνητρο για την εξόρυξη και τη συντήρηση του blockchain.

Ο βαθμός φήμης ενός συγκεκριμένου παρόχου υπηρεσιών υπολογίζεται από τον καταναλωτή με βάση τις διαθέσιμες πληροφορίες από τις άμεσες και έμμεσες συναλλαγές που είναι αποθηκευμένες στο Blockchain. Για την ανάκτηση των αξιολογήσεων σχετικά με έναν συγκεκριμένο πάροχο υπηρεσιών, αρκεί η πρόσβαση του καταναλωτή στο τελευταίο μπλοκ που διατηρεί αποθηκευμένη μία αξιολόγηση σχετικά με το SP, του οποίου τη φήμη αναζητά προκειμένου να γίνει η προσπέλαση στο Blockchain με χρήση κατάλληλων δεικτών. Για τον υπολογισμό της φήμης μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε πιθανοτική (π.χ. μέση, διάμεση, beta-reputation) συνάρτηση συνάθροισης της επιλογής του καταναλωτή. Για κάθε αξιολόγηση, ο υποψήφιος καταναλωτής μπορεί επίσης να επαληθεύσει την ορθότητα των «τυφλών κουπονιών» και να διαβάσει τα σχόλια προκειμένου να φιλτράρει τις ακραίες αξιολογήσεις (τις ιδιαίτερα υψηλές ή, πιθανότατα, ιδιαίτερα χαμηλές αξιολογήσεις). Μειονέκτημα της πρότασης αποτελεί η περιορισμένη δυνατότητα των παρόχων να εκδίδουν κουπόνια φήμης για τους πελάτες, γεγονός που περιορίζει το επιχειρηματικό μοντέλο.

Anonymous and Verifiable Reputation System for E-Commerce Platforms Based on Blockchain. Ομοίως με τις προτάσεις των Schaub et al. (2016), οι Li et al. (2021) ανέπτυξαν ένα σύστημα φήμης, που ονόμασαν RepChain, με βάση την τεχνολογία Blockchain για τον υπολογισμό των τιμών φήμης βάσει της υποβολής ανώνυμων αξιολογήσεων σε πλατφόρμες ηλεκτρονικού εμπορίου.

Το εν λόγω σύστημα επιτρέπει την πρόσβαση στον βαθμό φήμης για κάθε πάροχο αγαθών/υπηρεσιών σε πολλαπλές και ετερογενείς πλατφόρμες ηλεκτρονικού εμπορίου ανεξάρτητα της πλατφόρμας που ανήκει ο εκάστοτε πάροχος, διατηρώντας παράλληλα την ιδιωτικότητα και το απόρρητο των αξιολογήσεων για κάθε πελάτη. Επιπλέον το σύστημα RepChain, πραγματοποιεί συνεργασίες μεταξύ διαφορετικών πλατφορμών του ηλεκτρονικού εμπορίου. Για την υλοποίηση της λύσης εφαρμόζονται συνδυαστικά οι εξής τεχνικές και τεχνολογίες:

α. υιοθετείται ο αλγόριθμος απόδειξης Μηδενικής Γνώσης με παρόμοιο τρόπο όπως στην προτεινομένη λύση των Azad et al. (2018b) ως αμυντικός μηχανισμός σε επιθέσεις «*μη συνεπής συμπεριφοράς» από τους πελάτες* στην υποβολή αξιολογήσεων, όπου ο πελάτης αλλάζει συμπεριφορά ξαφνικά ή περιοδικά επιθυμώντας να μειώσει την αξιοπιστία του συστήματος, καθώς και για τη διαπίστωση της ορθότητας κάθε αξιολόγησης.
β. εφαρμόζεται ένα σχήμα τυφλών υπογραφών δυο κινήσεων[4] για την προστασία του απόρρητου της ταυτότητας του κάθε πελάτη που υποβάλλει τις αξιολογήσεις και για την ευρωστία του συστήματος έναντι των πολλαπλών επιθέσεις αξιολόγησης, όπου το διαπιστευτήριο (credential) σχετικά με το αποτέλεσμα μίας συναλλαγής χρησιμοποιείται περισσότερες από μία φορές για την αξιολόγηση προς έναν πάροχο.
γ. σχεδιάζεται το πρωτόκολλο ασφαλών υπολογισμών αθροίσματος που είναι υποκλάδος του Πρωτοκόλλου Ασφαλών Υπολογισμών Πολλών Συμμετεχόντων (Secure Multiparty Computation) το οποίο σε συνδυασμό με Blockchain εγγυάται αυξημένη ιδιωτικότητα και συμμετέχει στην ενημέρωση του βαθμού φήμης. Στην παρούσα λύση χρησιμοποιήθηκε το κρυπτοσύστημα Paillier Threshold που έχει ομομορφικές ιδιότητες προκειμένου να εξασφαλιστεί η απόκρυψη/κρυπτογράφηση των

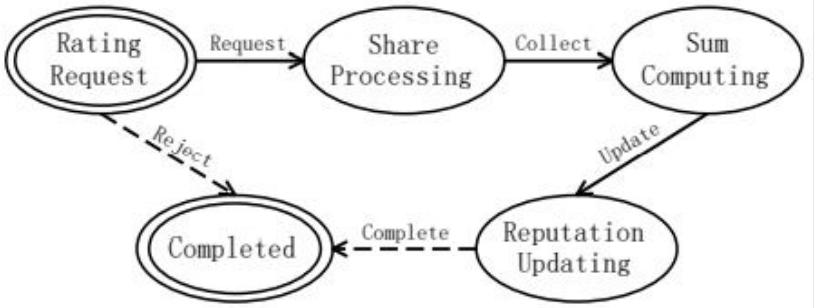
[4] http://www0.cs.ucl.ac.uk/staff/E.Ghadafi/Slides/BSISC12.pdf

αξιολογήσεων και η εξαγωγή του αθροίσματος των αξιολογήσεων κατά την ενημέρωση της τιμής της φήμης.

δ. εφαρμόζεται μία κρυπτογραφική συνάρτηση κατακερματισμού συναίνεσης (consensus hashing) για την επαλήθευση των συναλλαγών αξιολόγησης.

ε. χρησιμοποιείται ένα Blockchain κοινοπραξίας για το διαμοιρασμό και συνδυασμό των αξιολογήσεων που αναθέτουν οι πελάτες στις πλατφόρμες του ηλεκτρονικού εμπορίου. Σημειώνεται, ότι οι πλατφόρμες θεωρούνται κόμβοι στο Blockchain κοινοπραξίας και είναι υπεύθυνες για να λαμβάνουν και να επαληθεύουν τις συναλλαγές αξιολόγησης.

στ. εκτελείται μία διαδικασία υπολογισμού και ενημέρωσης του βαθμού φήμης του κάθε παρόχου, η οποία μοντελοποιείται ως μηχανή πεπερασμένης κατάστασης (finite state machine) σε έξυπνα συμβόλαια όπως απεικονίζεται στην παρακάτω Εικόνα 56. Το συγκεκριμένο μοντέλο μηχανής καταστάσεων συνίσταται από τις ακόλουθες καταστάσεις: την κατάσταση «*Αίτημα αξιολόγησης» (Rating Request)* που αναφέρεται στην πρόσβαση και στην αξιολόγηση της επίδοσης του παρόχου, τις καταστάσεις «*Διαμοιρασμός επεξεργασίας» (Share Processing)* και «*Υπολογισμός αθροίσματος» (Sum Computing)* που αντιστοιχούν στην συλλογή και συνάθροιση των αξιολογήσεων, την «Ενημέρωση του βαθμού φήμης» (Reputation Updating) και τέλος την κατάσταση «Ολοκλήρωση (Completed)» που πραγματοποιεί την επαλήθευση των αξιολογήσεων.



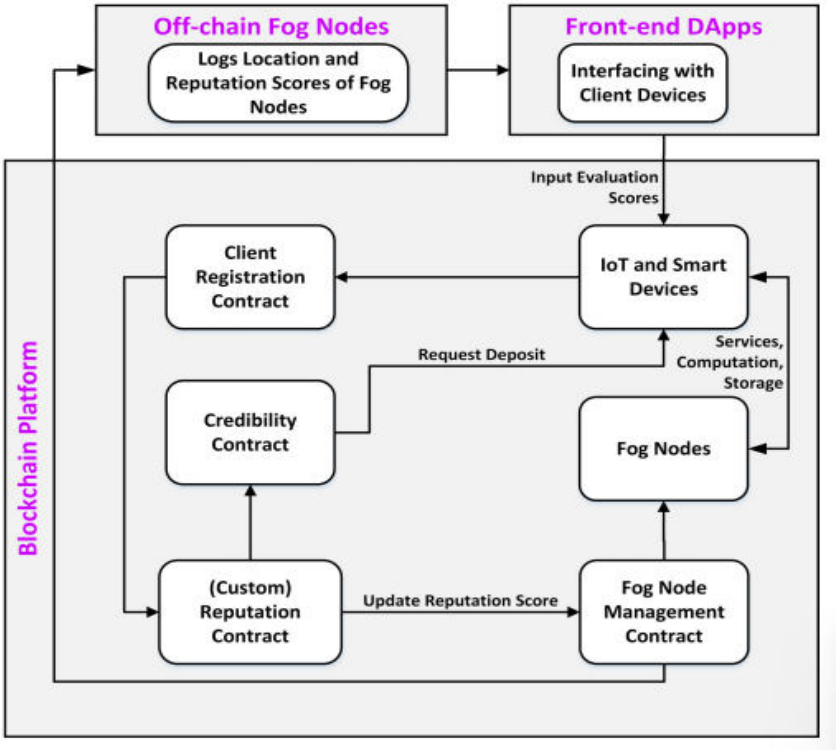
Εικόνα 56: Το μοντέλο μηχανής καταστάσεων για το σύστημα φήμης.

IoT Public Fog Nodes Reputation System: A Decentralized Solution Using Ethereum Blockchain. Οι Debe et al. (2019) υλοποίησαν ένα σύστημα φήμης που αξιοποιεί το δημόσιο δίκτυο του Ethereum Blockchain και ειδικότερα τη δυνατότητα λειτουργικότητας πολλαπλών και διαφορετικών έξυπνων συμβολαίων για να διασφαλιστεί η αξιοπιστία των δημόσιων κόμβων ομίχλης όταν οι συσκευές IoT στα άκρα του δικτύου χρησιμοποιούν τις παρασχεθείσες υπηρεσίες των εν λόγω κόμβων. Απώτερος στόχος του προτεινόμενου συστήματος φήμης είναι η εύρεση των πιο αξιόπιστων και διαθέσιμων κόμβων ομίχλης χρησιμοποιώντας ως κριτήριο επιλογής την τιμή φήμη τους.

Το πλαίσιο του αποκεντρικοποιημένου συστήματος αποτελείται από τους κόμβους ομίχλης που πρόκειται να αξιολογηθούν, τις συσκευές IoT στα άκρα του δικτύου, σε ρόλους πελατών, οι οποίοι υποβάλλουν αναδράσεις αξιολόγησης μετά τις συναλλαγές τους με τους κόμβους ομίχλης και τα έξυπνα συμβόλαια Ethereum τα οποία διέπουν τη διάδραση μεταξύ των κόμβων ομίχλης και των συνδεδεμένων IoT συσκευών-πελατών τους.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 57, στην προτεινόμενη προσέγγιση εκτελούνται πέντε έξυπνα συμβόλαια μεταξύ των πελατών και των κόμβων ομίχλης που είναι τα εξής: το συμβόλαιο «εγγραφής πελάτη» (Client Registration Contract), το συμβόλαιο «διαχείρισης κόμβων ομίχλης» (fog Node Management Contract), το «συμβόλαιο φήμης» (Reputation Contract), το συμβόλαιο «αξιοπιστίας» (Credibility Contract), και το συμβόλαιο «προσαρμοσμένης φήμης» (Custom Reputation Contract). Τόσο ο κόμβος ομίχλης όσο και ο πελάτης IoT εγγράφονται

πρώτα στα αντίστοιχα συμβόλαια «εγγραφής πελάτη» (Client Registration Contract), και «διαχείρισης κόμβων ομίχλης». Κατά την αρχικοποίηση, ο κόμβος ομίχλης λαμβάνει έναν αρχικό βαθμό φήμης ο οποίος ανανεώνεται συνεχώς ανάλογα με τις τρέχουσες αναδράσεις αξιολογήσεις που παρέχονται από τους IoT πελάτες. Κατά κύριο λόγο, τα δεδομένα των κόμβων ομίχλης (δηλαδή οι λογαριασμοί τους και τα μεταδεδομένα) αποθηκεύονται σε βάση δεδομένων εκτός αλυσίδας. Αυτή η βάση δεδομένων περιέχει επίσης πληροφορίες σχετικά με τις καταθέσεις πελατών για την εγγραφή στο δημόσιο δίκτυο του Ethereum blockchain καθώς και για τα δικαιώματα πρόσβασής τους στους κόμβους ομίχλης.



Εικόνα 57: Ροή εργασίας για τον υπολογισμό της φήμης των κόμβων ομίχλης (fog nodes).

Μετά την εγγραφή των πελατών και των κόμβων ομίχλης, το συμβόλαιο «φήμης» λαμβάνει ως είσοδο τις αναδράσεις αξιολόγησης των πελατών IoT για τις διαφορετικές μετρικές της ποιότητας υπηρεσίας που κάθε κόμβου ομίχλης ξεχωριστά. Συγκεκριμένα οι πελάτες αναθέτουν βαθμολογήσεις στους κόμβους όσον αφορά την καθυστέρηση, το κόστος ή/και οποιαδήποτε άλλη τεχνική ή μη τεχνική μετρική με βάση τις προσωπικές ανάγκες τους. Η παρακάτω εξίσωση (Εξισ. 20) αναπαριστά πως οι τιμές φήμης προσαρμόζονται σε κάθε συναλλαγή πελάτη-κόμβου ομίχλης. Η αξιοπιστία των πελατών IoT λαμβάνεται επίσης υπόψη για να εξασφαλιστεί η ειλικρινής αξιολόγηση τους. Ως εκ τούτου ο συνολικός βαθμός φήμης κάθε κόμβου ομίχλης δίνεται συναθροίζοντας βαθμολογήσεις μεμονωμένων συναλλαγών που παρέχουν οι πελάτες σε συνδυασμό με τις βαθμολογήσεις αξιοπιστίας τους.

$$Rep(f_n) = \sum_{n=0}^{N} Cr(n)\ Rep_n(f_n) \qquad (26),$$

όπου, f_n είναι ο κόμβος ομίχλης προς αξιολόγηση. $Rep_n\ (f_n)$είναι ο βαθμός φήμης του κόμβου f_n που αναθέτει ο πελάτης n. $Rep(f_n)$είναι η συνολική φήμη του κόμβου f_n. $Cr(n)$είναι η αξιοπιστία του πελάτη n. N είναι ο αριθμός των πελατών που αξιολογούν την επίδοση του κόμβου ομίχλης f_n. Η κανονικοποίηση του βαθμού φήμης προκύπτει από την διαίρεση της τελευταίας με τη συνολική αξιοπιστία των πελατών-βαθμολογητών σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση (21):

$$Rep(f_n) = \frac{Rep(f_n)}{\sum_{n=0}^{N} Cr(n)} \quad (27),$$

Η προτεινόμενη λύση δεν ορίζει αρχικές τιμές φήμης για τους κόμβους ομίχλης καθώς θεωρεί πως δεν επηρεάζονται από το πρόβλημα της ψυχρής εκκίνησης βαθμολογιών που παρέχουν οι πελάτες. Επιπλέον, το επίπεδο ειλικρίνειας των πελατών δεν επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τις αρχικές τιμές φήμης, καθώς όλοι οι πελάτες είναι ακόμη νέοι στο σύστημα.

Με το ζήτημα της αξιοπιστίας των αναδράσεων αξιολόγησης των πελατών, στη συνέχεια ασχολείται το ομώνυμο συμβόλαιο. Συγκεκριμένα, προτείνεται η υλοποίηση ενός κατάλληλου μηχανισμού κινήτρων για την προώθηση της υποβολής ειλικρινών αναδράσεων αξιολόγησης από τους πελάτες, που συνίσταται από τη σύγκριση των βαθμολογήσεων του κάθε πελάτη με άλλους πελάτες με συνέπεια την συμβολή του κάθε πελάτη στο σύστημα φήμης. Ο μηχανισμός αυτός ομαδοποιεί τις τιμές φήμης που παρέχονται για κάθε κόμβο ομίχλης σε συστάδες, επιλέγοντας ως επικεφαλής συστάδας το κεντροειδές των τιμών φήμης και κάνοντας χρήση της ευκλείδειας απόστασης για τον υπολογισμό της απόστασης των τιμών φήμης που συμμετέχουν στη συστάδα. Η αξιοπιστία της κάθε συστάδας υπολογίζεται από την αξιοπιστία των μελών της. Το κεντροειδές της συστάδας της οποίας οι πελάτες έχουν την υψηλότερη αξιοπιστία θεωρείται ότι είναι η φήμη της πλειοψηφίας και ως εκ τούτου χρησιμοποιείται ως σημείο αναφοράς για κάθε αξιολόγηση. Η συνέπεια του πελάτη στην υποβολή αξιολογήσεων αποτελεί απόδειξη της φήμης του, καθώς το QoS ενός κόμβου ομίχλης δεν αναμένεται να αυξομειώνεται τακτικά. Για τον εντοπισμό κακόβουλων πελατών και την προστασία των κόμβων ομίχλης από τις απόπειρες χειραγώγησης του βαθμού φήμης τους, ο προτεινόμενος μηχανισμός ελέγχου της αξιοπιστίας εισάγει έναν συντελεστή προσαρμογής. Η αύξηση αυτού του συντελεστή σημαίνει ότι οι πελάτες κερδίζουν την εμπιστοσύνη πιο αργά, ενώ η μείωση αυτού του συντελεστή έχει ως αποτέλεσμα να επιβραβεύονται γενναιόδωρα οι ειλικρινείς βαθμολογήσεις. Επιπρόσθετα, ένας πελάτης IoT τιμωρείται εάν παρέχει ψευδείς αναδράσεις αξιολόγησης σε έναν κόμβο ομίχλης καταβάλλοντας χρηματικό αντίτιμο, το οποίο μπορεί να επιστραφεί μόνο όταν υπάρξει απόδειξη της ειλικρίνειας των αναδράσεων αξιολόγησης.

Το συμβόλαιο «προσαρμοσμένης φήμης» χρησιμοποιείται για την υποβολή τιμών φήμης με βάση τις υποκειμενικές προτιμήσεις του πελάτη για κάθε μετρική. Ο βαθμός φήμης υπολογίζεται σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:

$$\mathrm{Rep}(f_n) = \sum_{n=0}^{N} p_n(0) Rep_n(f_n, 0) + p_n(1) Rep_n(f_n, 1) + \cdots + p_n(M) Rep_n(f_n, M) \quad (28),$$

όπου, $p_n(m)$ είναι η βαθμολόγηση που προκύπτει από την υποκειμενική προτίμηση του n για την μετρική m. $Rep_n(f_n, m)$ είναι ο βαθμός φήμης του κόμβου f_n που δίνει ο πελάτης n για τη μετρική m. M είναι ο αριθμός των μετρικών προς αξιολόγηση.

Trust management in a Blockchain based fog computing platform with trustless smart oracles. Οι Kochovski et al. (2019) παρουσίασαν μια αρχιτεκτονική διαχείρισης της εμπιστοσύνης πολλαπλών επιπέδων που βασίζεται στην τεχνολογία Blockchain και ειδικότερα στον τύπο του δικτύου Ethereum για την πλατφόρμα υπολογιστικής ομίχλης DECENTER[5]. Η συγκεκριμένη πλατφόρμα ενσωματώνει τεχνολογίες IoT, Τεχνητή Νοημοσύνη, Blockchain και υπολογιστικού νέφους για να διευκολύνει τη διαδικασία δημιουργίας έξυπνων εφαρμογών σε δυναμικά δημιουργούμενα ομοσπονδιακά περιβάλλοντα. Είναι υπεύθυνη για την κατανομή των υπολογιστικών πόρων, την παρακολούθηση και την ενορχήστρωση σε όλη τη συνέχεια

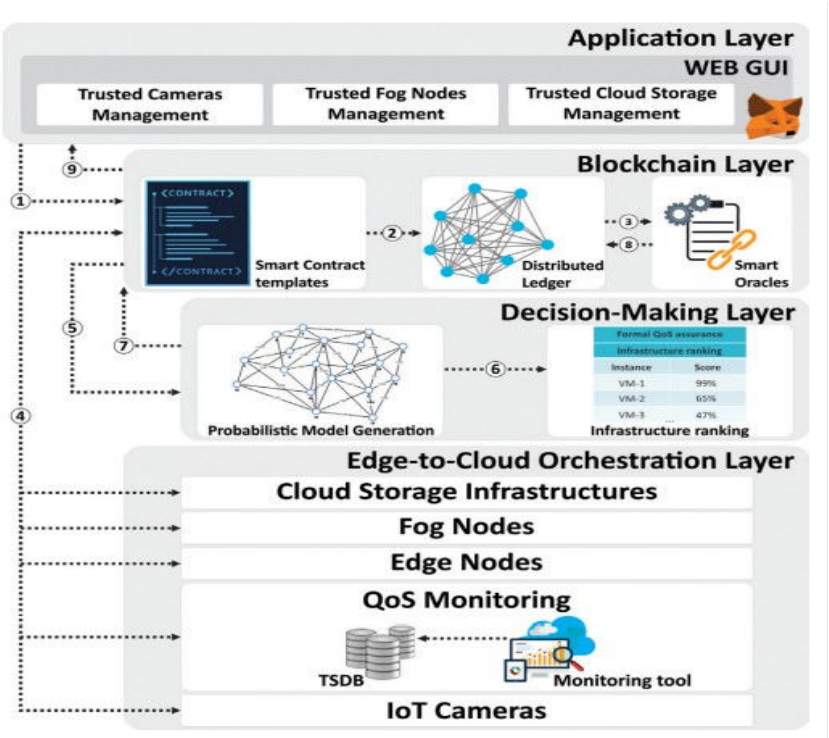
[5] https://www.decenter-project.eu/

του πλήρους κύκλου από τις παρυφές του δικτύου (IoT συσκευές) -κόμβος ομίχλης-νέφος (Edge-Fog-Cloud computing). Επιπλέον υποστηρίζει την ενορχήστρωση μικρο-υπηρεσιών μηδενικής επαφής για εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης με βάση τις ειδικές απαιτήσεις τους για QoS καθώς και την εφαρμογή μοντέλων ποιότητας υπηρεσιών για την επίτευξη υψηλής ποιότητας υπηρεσιών και γρήγορων χρόνων απόκρισης σε αυτές τις έξυπνες εφαρμογές.

Η υποκείμενη υποδομή αξιοποιεί τα έξυπνα συμβόλαια που εκτελούνται σε Blockchain για να επιτύχει αξιόπιστες, αυτόνομες και αυτοματοποιημένες συναλλαγές μεταξύ των οντοτήτων και των ενδιαφερόμενων μερών που περιλαμβάνονται σε όλο το φάσμα του υπολογιστικού περιβάλλοντος παρυφές IoT-ομίχλης-νέφους. Επιπλέον, μέσω των έξυπνων συμβολαίων επιτρέπεται στους παρόχους υπηρεσιών να καταχωρούν πόρους (π.χ. εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης, υπηρεσίες εφαρμογών, υπολογιστικές υποδομές) σε Blockchain. Από την άλλη πλευρά, οι χρήστες/καταναλωτές υπηρεσιών μπορούν να τις χρησιμοποιήσουν ένα άλλο σύνολο έξυπνων συμβολαίων για να επιλέξουν έναν πόρο που θα ικανοποιεί τις απαιτήσεις σε QoS της εφαρμογής τους. Ταυτόχρονα, με το σχεδιασμό και την υλοποίηση λύσεων χωρίς εμπιστοσύνη όπως είναι τα Smart Oracles επιτυγχάνεται η μείωση του κόστους των συναλλαγών και η εξισορρόπηση της χρήσης των δεδομένων όπως οι μετρικές QoS εντός και εκτός blockchain.

Το σύστημα διαχείρισης εμπιστοσύνης της πλατφόρμας DECENTER αποτελείται από τέσσερα κύρια επίπεδα: εφαρμογή, Blockchain, ενορχήστρωση και πλατφόρμα, και λήψη αποφάσεων (Εικόνα 58).

- Το επίπεδο εφαρμογής αναλαμβάνει τη σύνθεση εφαρμογών αξιοποιώντας διάφορες μεθόδους και μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης που εφαρμόζονται σε υπολογιστικούς πόρους από το νέφος ως τις παρυφές του IoT δικτύου (π.χ. κάμερες, κόμβους ομίχλης ή μέσα αποθήκευσης).
- Το επίπεδο Blockchain συνίσταται από τα έξυπνα συμβόλαια και τα Smart Oracles, όπου το έξυπνο συμβόλαιο επικοινωνεί με τους κόμβους ομίχλης και τα εργαλεία παρακολούθησης της επίδοσης των μετρικών QoS μέσω αποκεντρωμένων διεπαφών API που συνδέονται με τις εξωτερικές υπηρεσίες, ώστε να καταστεί εφικτή η διαθεσιμότητα των δεδομένων παρακολούθησης της επίδοσης των μετρικών QoS στο Blockchain μέσω των Smart Oracles.
- Το επίπεδο ενορχήστρωσης είναι υπεύθυνο για την ενορχήστρωση των πόρων σε όλη τη συνέχεια του κύκλου ζωής από παρυφές του δικτύου (IoT συσκευές) ως το νέφος (cloud-to-edge continuum) και έχει ως κύρια μέριμνα την ανάπτυξη μικρο-υπηρεσιών και την παρακολούθηση της επίδοσης των μετρικών QoS των συγκεκριμένων στοιχείων του δικτύου και των IoT συσκευών (π.χ. κάμερες).
- Το επίπεδο λήψης αποφάσεων χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενός καταλόγου κατάταξης επιλογών των διαθέσιμων παρόχων κόμβων/ νέφους για την ανάπτυξη εφαρμογών. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται στοχαστικά μοντέλα Markov που διευκολύνουν μια αυτοματοποιημένη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Μέσω Smart Oracles, συλλέγονται δεδομένα παρακολούθησης διάφορων μετρικών QoS, τιμές κατωφλίου QoS και μια μετρική που σχετίζεται με τον χρήστη, προκειμένου να δημιουργηθεί αυτόματα ένα πιθανοτικό μοντέλο το οποίο χρησιμοποιείται περαιτέρω για την παραγωγή του καταλόγου κατάταξης των επιλογών διαθέσιμων παρόχων κόμβων/νέφους. Ο πρώτος στην κατάταξη κόμβος θεωρείται ως η βέλτιστη επιλογή για την ανάπτυξη της ΤΝ της εφαρμογής.



Εικόνα 58: Η αρχιτεκτονική του συστήματος διαχείρισης εμπιστοσύνης.

Στην προτεινόμενη λύση εφαρμόζονται τρία σενάρια παροχής εμπιστοσύνης και διαχείρισης της ενορχήστρωσης και ανάπτυξης της επικοινωνίας μεταξύ οντοτήτων και υπηρεσιών στο περιβάλλον της πλατφόρμας υπολογιστικού νέφους DECENTER, τα οποία καταδεικνύουν τα οφέλη που παρέχονται στις εφαρμογές (π.χ. υψηλό QoS). Τα σενάρια αυτά βασίζονται στα έξυπνα συμβόλαια για την επίτευξη ροής δεδομένων μεταξύ των στοιχείων της εφαρμογής (π.χ. από την IoT συσκευή σε έναν κόμβο ομίχλης και από έναν κόμβο ομίχλης στην αποθήκευση νέφους (cloud storage) ενώ περιλαμβάνουν την εγγραφή συμμετεχόντων (χρηστών και παρόχων) για διαφάνεια και ιχνηλασιμότητα, την πρόσβαση σε αποκεντρωμένους πόρους, συμπεριλαμβανομένων των IoT συσκευών , ομίχλης και νέφους και την ιχνηλασιμότητα της ροής δεδομένων μεταξύ των πόρων (IoT συσκευή ομίχλη, νέφος) όσον αφορά την ασφάλεια και την απαιτήσεις διατήρησης της ιδιωτικής ζωής.

Collaborative SLA and reputation-based trust management in cloud federations. Οι *Vlachopapadopoulos* et al. (2019) παρουσιάζουν μία λύση συνεργατικών Συμφωνιών Επίπεδου Υπηρεσιών (Service Level Agreements - SLAs) και μηχανισμών για την διαχείριση εμπιστοσύνης βάσει φήμης σε περιβάλλοντα ομοσπονδιών υπολογιστικής νέφους (cloud federations).

Τα SLAs ορίζονται με βάση βασικούς δείκτες απόδοσης (Key Performance Indicators - KPIs) τους νέφους για την παροχή εγγυήσεων σχετικά με τις επιδόσεις των υπηρεσιών υποδομής νέφους και των εφαρμογών που αναπτύσσονται στο νέφος. Η αξιολόγηση της επίδοσης αυτών των υπηρεσιών από τους χρήστες (εφεξής καταναλωτές) λαμβάνει υπόψη ως κριτήρια τα QoS και QoE, συνδυάζοντας δεδομένα παρακολούθησης όπως και υποκειμενικές προτιμήσεις των καταναλωτών. Η διαχείριση εμπιστοσύνης βάσει της φήμης (Reputation-based Trust Management - RTM) χρησιμοποιεί την αξιολόγηση της επίδοσης των υπηρεσιών με βάση τα παραπάνω κριτήρια, για να παράγει έναν συνολικό βαθμό φήμης, ο οποίος αντιπροσωπεύει την αξιοπιστία μια υπηρεσίας. Κατά συνέπεια, ο βαθμός φήμης διευκολύνει την επιλογή των κατάλληλων υπηρεσιών και πόρων από τον καταναλωτή-χρήστη του υπολογιστικού νέφους σύμφωνα με τις μοναδικές απαιτήσεις του.

Για την ποσοτικοποίηση της εμπιστοσύνης και τον υπολογισμό του αντίστοιχης βαθμού φήμης, η προτεινόμενη προσέγγιση υιοθετεί την πολυκριτηριακή μέθοδο λήψης αποφάσεων (Multi-Criteria Decision Making - MCDM), λόγω της δυνατότητας που προσφέρει η συγκεκριμένη μέθοδος να συνδυάζει πολλαπλές μετρικές της QoS και της QoE. Το συγκεκριμένο σύστημα φήμης εφαρμόζει δύο μεθόδους, οι οποίες βασίζονται στην ασαφή λογική (Fuzzy Logic), την Fuzzy VIKOR και την Fuzzy Analytic Hierarchical Process (FAHP)[6], οι οποίες συγκρίνονται μεταξύ τους ως προς τις επιδόσεις τους. Και για τις δύο μεθόδους, αναπτύσσεται ένας μηχανισμός αξιοπιστίας (credibility mechanism) για την αντιμετώπιση των κακόβουλων χρηστών και των αξιολογήσεων κατά τον υπολογισμό του βαθμού φήμης.

Η αξιολόγηση κάθε καταναλωτή συγκρίνεται με την ιδανική αξιολόγηση ενός εικονικού καταναλωτή. Στη συνέχεια, η ιδανική αξιολόγηση χρησιμοποιείται ώστε να μετρηθεί η απόσταση της πραγματικής επίδοσης της υπηρεσίας με την τέλεια επίδοση με βάση τις προτιμήσεις του χρήστη. Για την αξιολόγηση του παρόχου, η τιμή της φήμης υπολογίζεται σε συνάρτηση με τις δύο παραπάνω επιδόσεις, ενώ για την ενημέρωση της συνολικής φήμης του λαμβάνεται υπόψιν η ιστορικότητα των αξιολογήσεων για τις συναλλαγές που είχε με τους καταναλωτές.

Επισκόπηση συστημάτων Φήμης και Εμπιστοσύνης με δυνητική εφαρμογή σε τεχνολογία Blockchain

Στην παρούσα ενότητα έχουν επιλεγεί μετά από προσεκτική μελέτη τις πρόσφατης βιβλιογραφίας δύο σημαντικές προτάσεις για την υλοποίηση μηχανισμών φήμης σε συστήματα IoT, που εστιάζουν αποκλειστικά στην υιοθέτηση μίας μεθοδολογίας ή κάποιου αλγορίθμου για την επίλυση ζητημάτων εμπιστοσύνης και/ή ιδιωτικότητας. Παρά το γεγονός ότι στις συγκεκριμένες μελέτες δεν προτείνεται κάποιος συγκεκριμένος τρόπος υλοποίησης των επιμέρους λειτουργιών των μηχανισμών φήμης, η χρήση της τεχνολογίας Blockchain είναι στην πράξη εφαρμόσιμη.

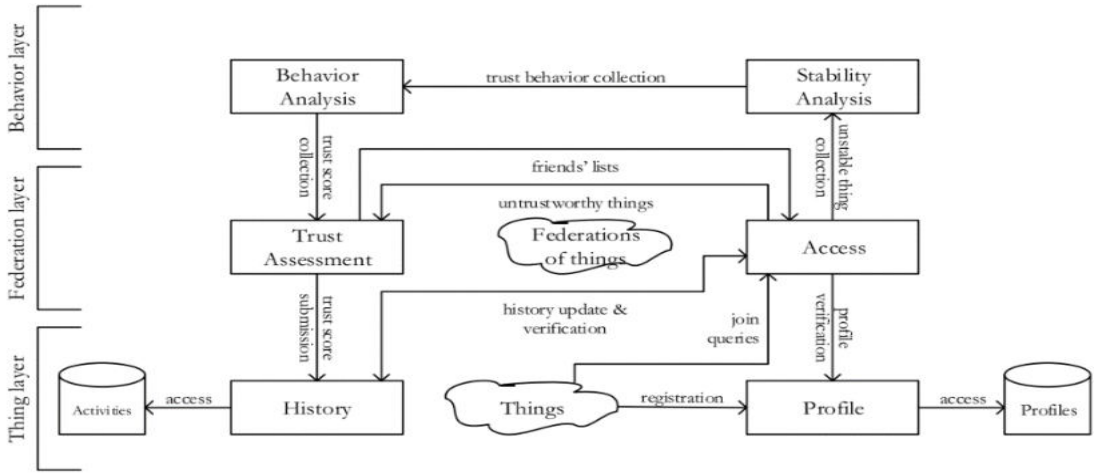
Trust-based management in IoT federations. Οι *Yahyaoui et al. (2022)* παρουσίασαν ένα εξελικτικό μοντέλο παιγνίων για την διαχείριση της εμπιστοσύνης σε IoT ομοσπονδίες (Trust-based Management of IoT Federations-TMIF). Συγκεκριμένα, το εν λόγω μοντέλο υιοθετεί την καταβολή αντισταθμιστικών πληρωμών/ανταμοιβών βάσει τιμών εμπιστοσύνης για να επιβραβεύσει ή να τιμωρήσει την συμπεριφορά των συναλλασσόμενων IoT συσκευών ως προς την παροχή αποδεκτής η μη αποδεκτής ποιότητας δεδομένων αντίστοιχα. Η προτεινόμενη προσέγγιση την παρακολούθηση αυτών των συμπεριφορών για να διασφαλίσει ότι το μερίδιο αναξιόπιστων συσκευών IoT σε μία ομοσπονδία δεν αποσταθεροποιεί τις λειτουργία της. Ο συνολικός βαθμός εμπιστοσύνης μίας συσκευής IoT συνίσταται από α) την άμεση εμπιστοσύνη που βασίζεται στις άμεσες συναλλαγές μίας συσκευής IoT με ομότιμες για να καθοριστεί το επίπεδο αξιολόγησης της, και β) την έμμεση εμπιστοσύνη που βασίζεται στις συστάσεις που προτείνονται από τους παρόχους συστάσεων (άλλες συσκευές IoT) για την συγκεκριμένη συσκευή. Η προτεινόμενη διαδικασία υπολογισμού ο βαθμός εμπιστοσύνης ενσωματώνεται σε στρατηγικές παιγνίων, οι οποίες στόχο έχουν να αποτυπώσουν τη δυναμική φύση των ομοσπονδιών με δεδομένο ότι ο πληθυσμός των αξιόπιστων έναντι των αναξιόπιστων συσκευών IoT μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου.

Στο παρόν άρθρο, προτείνεται ένα μοντέλο αρχιτεκτονικής (Εικόνα 59) για την εφαρμογή του εξελεγκτικού μοντέλου παιγνίων βάσει εμπιστοσύνης στις IoT ομοσπονδίες, που αποτελείται

[6] Chang, D.-Y. (1996). *Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. European Journal of Operational Research, 95(3), 649–655.* doi:10.1016/0377-2217(95)00300-2

από τρία επίπεδα, οργανωμένα σε αποθηκευτικούς χώρους (repositories) και σε επιμέρους στοιχεία λογισμικού (software modules) για την αξιολόγηση των συσκευών IoT.

- Επίπεδο «*IoT συσκευής*»: Είναι το χαμηλότερο επίπεδο και αποτελείται από έξυπνα αντικείμενα ενσωματωμένα με αισθητήρες. Είναι επιφορτισμένο με τη συλλογή πληροφορίων σχετικά με την ιδιότητες των συσκευών IoT για τη δημιουργία του προφίλ» τους , την παρακολούθηση της διαθεσιμότητας και της αξιοπιστίας τους και την αποθήκευση σε αρχεία καταγραφής του ιστορικού συμπεριφοράς των συσκευών αυτών όπως και των δραστηριοτήτων εγγραφής και αποχώρησης τους σε/από ομοσπονδίες.
- Επίπεδο «ομοσπονδίας»: Είναι υπεύθυνο για την δημιουργία και την διαγραφή ομοσπονδιών. Αποτελείται από δύο υποσυστήματα : το υποσύστημα «πρόσβασης» (access module) και το υποσύστημα «αξιολόγησης της εμπιστοσύνης» (trust assessment module). Το πρώτο υποσύστημα , της «πρόσβασης» , λαμβάνει αιτήματα συμμετοχής στην ομοσπονδία από τις συσκευές IoT στο χαμηλότερο επίπεδο και επιστρέφει μηνύματα αποδοχής/απόρριψης με βάση τους κανόνες που ορίζονται σε κάθε ομοσπονδία. Οι κανόνες αυτοί μπορεί να αναφέρονται, για παράδειγμα, σε περιορισμό του πλήθους των IoT συσκευών που εγγράφονται σε μία ομοσπονδία, στην σταθερότητα (stability) της ομοσπονδίας, όπως αυτή καθορίζεται βάσει των τιμών εμπιστοσύνης των μελών της καθώς και στην ιστορικότητα των IoT συσκευών. Το υποσύστημα «αξιολόγησης της εμπιστοσύνης» αναφέρεται: α) στην συλλογή δεδομένων παρακολούθησης βάσει μετρικών της ποιότητας υπηρεσίας των IoT (Quality of Things-QoT) (Sharma et al., 2020), και β) στη συνάθροιση έμμεσης εμπιστοσύνης.
- Επίπεδο «*συμπεριφοράς*»: Αναλαμβάνει την αξιολόγηση της επίδοσης των μελών της ομοσπονδίας (δηλ., τις συσκευές IoT) για την παροχή υπηρεσιών με γνώμονα τον βαθμό εμπιστοσύνης. Επιπλέον πραγματοποιεί ανάλυση της σταθερότητας των ομοσπονδιών με βάση τις μακροπρόθεσμες συμπεριφορές των IoT συσκευών.



Εικόνα 59:Αρχιτεκτονική τριών επιπέδων του TMIF.

Για τον υπολογισμό του βαθμού εμπιστοσύνης (Tr_{ji})μίας συσκευής IoT i σε σχέση με μια συσκευή j, το υποσύστημα της αξιολόγηση εμπιστοσύνης (trust assessment module) συνδυάζει τον βαθμό της άμεσης και της έμμεσης εμπιστοσύνης καθώς και τον σταθμισμένο μέσο όρο των τιμών κάθε παραμέτρου της QoT (Εξίσωση 24) που αναφέρεται στην συγκεκριμένη συσκευή i για μία μεμονωμένη συναλλαγή με την συσκευή j τη δεδομένη χρονική στιγμή t (εξίσωση 23).

$$Tr_i^j\ (t) = \lambda_1\, Tr_i^j\ (t-1) + \lambda_2\, \overline{QoT_i^J}\ (t) + \lambda_3\, \overline{R_i^J}\ (t)\ (1), \quad (29),$$

όπου,

$$\overline{QoT_i}^j = \sum_{k=1}^{n} w_k\ QoT_i^j \quad (30),$$

$$\overline{R_i^J}(t) = \frac{\sum_{k=1}^{n} R_i^j(k) Cr_k^i}{\sum_{k=1}^{m} Cr_k^j} \quad (31),$$

Σημειώνεται πως η έμμεση εμπιστοσύνη (R) (Εξ. 25) ορίζεται ως συνάρτηση της αξιοπιστίας (Cr) του k-οστού παρόχου σύστασης ανάμεσα σε m παρόχους για την συσκευή i. Η αξιοπιστία αντικατοπτρίζει σε ποιο βαθμό μία σύσταση είναι ακριβής και ενημερώνεται από το υποσύστημα αξιολόγησης εμπιστοσύνης. Μπορεί να αυξηθεί ή να μειωθεί μετά ανάλογα με την απόσταση που βρίσκεται η σύσταση από την άμεση εμπιστοσύνη προκειμένου να μετριαστούν οι ανακριβείς συστάσεις. Στον υπολογισμό του συνολικού βαθμού εμπιστοσύνης εισάγεται ως συνθήκη η αντισταθμιστική πληρωμή ως ανταμοιβή ή επιβάρυνση για να αυξάνει ή να μειώνει την αξιοπιστία ανάλογα με την ποιότητα της σύστασης.

Επιπρόσθετα, το προτεινόμενο μοντέλο προάγει τη σταθερότητα των IoT συσκευών σε μία ομοσπονδία, καθώς μπορεί να ανιχνεύει τις ασταθείς συμπεριφορές τους, κάνοντας χρήση του υπολογισμένου βαθμού εμπιστοσύνης. Συγκεκριμένα, η σταθερότητα μίας ομοσπονδίας υπολογίζεται σύμφωνα με το παρακάτω τύπο (Εξ.26):

$$stdev\ (Bi) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{n} Tri(k) - avgTri(k)}{n-1}} \quad (32),$$

όπου, stdev είναι η standard deviation της συμπεριφοράς μίας συσκευής IoT. Όσο η μικρότερη είναι η απόκλιση της συμπεριφοράς της συναλλασσόμενης συσκευής σε σχέση με τις υπόλοιπες στην ομοσπονδία τόσο μεγαλύτερη είναι η σταθερότητα της ομοσπονδίας. Επιπλέον, εάν ο αριθμός των συσκευών IoT σε μια ομοσπονδία που παρουσιάζουν ασταθή συμπεριφορά είναι μεγαλύτερος από ένα κατώφλι σταθερότητας, καθορισμένο από τον διαχειριστή της ομοσπονδίας, τότε η ομοσπονδία θεωρείται ασταθής και πρέπει να διαλυθεί. Εάν επίσης μία συσκευή έχει ασταθή συμπεριφορά σε μια για κάποια χρονική περίοδο, αποβάλλεται. από την ομοσπονδία.

Ως προς την ανάλυση συμπεριφοράς σχετικά με την ποιότητα των υπηρεσιών που προσφέρουν οι IoT συσκευές στις συναλλαγές μεταξύ τους, το προτεινόμενο μοντέλο ακολουθεί αναλυτική μελέτη σε βραχυπρόθεσμό επίπεδο και μακροπρόθεσμα. Απώτερος στόχος είναι να καθοριστεί το ύψος της ανταμοιβής που θα λάβουν οι συσκευές IoT ως ένδειξη αξιοπιστίας και ειλικρινείας. Ως εκ τούτου για την περίπτωση της βραχυπρόθεσμης ανάλυσης συμπεριφοράς γίνεται υπόθεση πως εάν ο βαθμός εμπιστοσύνης μίας συσκευής IoT με βάση μία μεμονωμένη συναλλαγή είναι μεγαλύτερη από κάποιο καθορισμένο κατώφλι του βαθμού εμπιστοσύνης τότε η συσκευή θεωρείται αξιόπιστη. Διαφορετικά, θεωρείται πως ακολουθεί αναξιόπιστη στρατηγική. Στην μακροπρόθεσμη ανάλυση συμπεριφοράς ο βαθμός εμπιστοσύνης για κάθε συναλλασσόμενη συσκευή IoT υπολογίζεται συναθροίζοντας τις βαθμολογήσεις εμπιστοσύνης των μεμονωμένων συναλλαγών εντός μία χρονικής ακολουθίας που συνίσταται από διακριτές χρονικές στιγμές. Η αξιολόγηση της συμπεριφοράς μίας συσκευής IoT μετατρέπεται σε συνολικό βαθμό εμπιστοσύνης χρησιμοποιώντας τον αριθμητικό μέσο όρο των τελευταίων συναθροιζόμενων βαθμολογιών εμπιστοσύνης εντός μίας προκαθορισμένης χρονικής περιόδου. Για τις τιμές εκείνες που κυμαίνονται μεταξύ μίας μέγιστης τιμής αριθμητικού μέσου όρου και του κατωφλίου εμπιστοσύνης, η συμπεριφορά της συσκευής IoT αξιολογείται ως ικανοποιητική. Σε αντίθετη περίπτωση, θεωρείται μη αποδεκτή συμπεριφορά και η συσκευή IoT υπεισέρχεται σε καθεστώς τιμωρίας. Κύρια πρόθεση της μακροπρόθεσμης ανάλυσης είναι

να "εξαναγκάσει" μία συσκευή IoT να υιοθετήσει μια αξιόπιστη συμπεριφορά στην ομοσπονδία.

Energy-efficient and Trustworthy Data Collection Protocol Based on Mobile Fog Computing in Internet of Things. Μία μέθοδος αξιολόγησης της εμπιστοσύνης για την συλλογή δεδομένων σε ασύρματους/ κινητούς αισθητήρες(ή κόμβους) στα άκρα του δικτύου IoT, με βάση την τεχνολογία υπολογιστικής ομίχλης (IoT fog computing), μελετάται από τους Wang et al. (2019). Ο προτεινόμενος αλγόριθμος συλλογής δεδομένων χρησιμοποιεί τις τιμές εμπιστοσύνης των κινητών κόμβων αισθητήρων που είναι αριθμητικές τιμές για την δημιουργία του συντομότερου μονοπατιού συλλογής των δεδομένων τους στον ασύρματο κόμβο ομίχλης (mobile fog node) λαμβάνοντας υπόψη την ενεργειακή επίδοση και την αξιοπιστία των δεδομένων. Στόχος είναι να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας και η καθυστέρηση (delay) κατά τη μεταφόρτωση δεδομένων από τους ασύρματους κόμβους αισθητήρων στον κόμβο ομίχλης ελαχιστοποιώντας την επικοινωνία με αναξιόπιστους κόμβους. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιούνται αντικειμενικές μετρικές αξιολόγησης στον υπολογισμό της τιμής εμπιστοσύνης των ασύρματων κόμβων, όπως η υπολειπόμενη ενέργεια (residual energy) και το ρυθμό απώλειας πακέτων (packet loss rate).

Αναλυτικά, το προτεινόμενο μοντέλο εμπιστοσύνης υπολογίζει μια συνολική τιμή εμπιστοσύνης για κάθε ασύρματο κόμβο αισθητήρα, η οποία συνίσταται από : α) την άμεση εμπιστοσύνη που βασίζεται στις άμεσες συναλλαγές/αλληλεπιδράσεις των κόμβων και τις αντικειμενικές μετρικές, δηλαδή την υπολειπόμενη ενέργεια και το ποσοστό απώλειας πακέτων, όπου η αξιολόγηση της κάθε συναλλαγής όπως και οι επιμέρους αντικειμενικές μετρικές σταθμίζονται με σταθερά βάρη, και β) την έμμεση εμπιστοσύνη που υπολογίζεται με βάση την άμεση εμπιστοσύνη των γειτονικών κόμβων αισθητήρων που παρέχουν συστάσεις για τον συνιστώμενο κόμβο (recommended node). Σε έναν συνιστώμενο κόμβο αποδίδεται ένα βάρος για τον μετριασμό των κακόβουλων συστάσεων, που είναι συνάρτηση του αριθμού των γειτονικών κόμβων , του αθροίσματος των τιμών άμεσης εμπιστοσύνης των γειτονικών κόμβων προς τον συνιστώμενο και των τιμών άμεσης εμπιστοσύνης του κόμβου πηγής και του συνιστώμενου κόμβου Η συνολική έμμεση εμπιστοσύνη του κόμβου πηγής που λαμβάνεται στον συνιστώμενο κόμβο είναι η μέση τιμή των τιμών εμπιστοσύνης των συνιστώμενων διαδρομών.

Σημειώνεται, ότι κατά τον υπολογισμό της τιμής εμπιστοσύνης, ελέγχεται αν ο κόμβος αισθητήρα περιλαμβάνεται στο κατάλογο γειτονικών κόμβων όπως και αν το πακέτο δεδομένων που έλαβε ο κόμβος πληροί τις απαιτήσεις στη βάση ενός κατωφλίου. Ο κόμβος που ικανοποιεί τις παραπάνω προϋποθέσεις υπολογίζει την άμεση τιμή εμπιστοσύνης- διαφορετικά, λαμβάνεται υπόψη η έμμεση τιμή εμπιστοσύνης για την αξιολόγηση της αξιοπιστίας.

Η τιμή εμπιστοσύνης χρησιμοποιείται επίσης για την εκλογή του επικεφαλής κόμβου της συστάδας των ασύρματων κόμβων αισθητήρων . Στην αρχή της λειτουργίας του δικτύου, εφαρμόζεται συσταδοποίηση των ασύρματων κόμβων αισθητήρα. Με το πέρας ενός χρονικού διαστήματος, εκλέγεται ο επικεφαλής κόμβος κάθε συστάδας που έχει την υψηλότερη αξιοπιστία, ο οποίος επιπρόσθετα παρέχει εγγύηση ως προς την επάρκεια της υπολογιστικής ισχύος και της ενέργειας του. Για να επιτευχθεί ο στόχος της συλλογής των πιο αξιόπιστων δεδομένων από τα μέλη-κόμβοι της συστάδας από τους επικεφαλής κόμβους, μέσω της συντομότερης διαδρομής χρησιμοποιείται η Ευκλείδεια απόσταση. Στη συνέχεια ο ασύρματος/ κινητός κόμβος ομίχλης καλείται να προσπελάσει διαδοχικά όλους τους αξιόπιστους επικεφαλής κόμβους συστάδων για να συλλέξει δεδομένα εντός μίας υπολογισμένης δυναμικά απόστασης που εξαρτάται από τον αριθμό μεταπηδήσεων των μη επικεφαλής κόμβων ως προς τον επικεφαλής της συστάδας.

Παράρτημα 2 – Μέθοδος AHP για τον υπολογισμό βαρών των QoS και QoE προφίλ

Τα βασικά βήματα της AHP τον υπολογισμό των αντικειμενικών και υποκειμενικών μετρικών είναι τα ακόλουθα:

Βήμα 1: Η ομοσπονδία αναθέτει τιμές από τον Πίνακας 13 για κάθε πιθανό ζευγάρι από τις μετρικές QoS (ή QoE).

Πίνακας 13: Τιμές ανάθεσης σχετικής σημασίας για τις μετρικές ποιότητας

Τιμή σχετικής σημασίας	Ορισμός	Definition
1	Όταν οι οντότητες i , j είναι εξίσου σημαντικές	Equal Importance
3	Όταν η οντότητα i είναι ελάχιστα σημαντικότερη της οντότητας j	Moderate Importance
5	Όταν η οντότητα i είναι αρκετά σημαντικότερη της οντότητας j	Strong Importance
7	Όταν η οντότητα i είναι πολύ πιο σημαντική από την οντότητα j	Very Strong Importance
9	Όταν η οντότητα i είναι η πλέον πιο σημαντική	Extreme Importance
2,4,6,8	Ενδιάμεσες τιμές για την απόδοση σχετικής σημασίας	

Βήμα 2: Πίνακας σύγκρισης ανά ζεύγη. Οι καταχωρήσεις στον πίνακα σύγκρισης (Πίνακας 14) είναι οι τιμές που προβλέπονται στον Πίνακας 13, σε κλίμακα 1-9, όπου καθεμία τιμή κλίμακας αντιπροσωπεύει την σπουδαιότητα μίας μετρικής i έναντι μιας άλλης μετρικής j, και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των σχετικών βαρών των μετρικών στην AHP. Για παράδειγμα, εάν υπάρχουν n διαθέσιμες μετρικές QoS, τότε ο πίνακας σύγκρισης θα έχει μέγεθος $n \times n$. Η σύγκριση του i-οστού χαρακτηριστικού QoS με το j-οστό χαρακτηριστικό QoS θα δώσει το QoS_{ij} που είναι η σχετική σημασία της μετρικής i σε σχέση με την παράμετρο j. Το ίδιο ισχύει για τις μετρικές QoE .

Πίνακας 14: Πίνακας σύγκρισης μετρικών ανά ζεύγη

$$\mathrm{QoS} = (\mathrm{QoS}_{ij})_{n\times n} = \begin{bmatrix} \mathrm{QoS}_{11} & \cdots & \mathrm{QoS}_{1n} \\ \mathrm{QoS}_{21} & \cdots & \mathrm{QoS}_{2n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathrm{QoS}_{n1} & \cdots & \mathrm{QoS}_{nn} \end{bmatrix}, \text{ where } \mathrm{QoS}_{ij} = 1 \text{ and } \mathrm{QoS}_{ji} = \frac{1}{\mathrm{QoS}_{ij}}$$

Υποθέτοντας τρεις αντικειμενικές μετρικές QoS και 8 υποκειμενικές μετρικές QoE διαμορφώνουμε κατά ζεύγη δύο πίνακες σύγκρισης βαρύτητας ανά ζεύγη (Pairwise Importance Comparison Matrix - PICM) αντίστοιχα με σκοπό τον υπολογισμό των σχετικών βαρών των μετρικών. Κάνοντας χρήση του Πίνακας 13 και του Πίνακας 14, οι αντίστοιχοι πίνακες σύγκρισης βαρύτητας των QoS και QoE μετρικών κατά ζεύγη διαμορφώνονται όπως φαίνεται στους Πίνακες Πίνακας 15 και Πίνακας 16:

Πίνακας 15: Σύγκριση βαρύτητας των αντικειμενικών μετρικών QoS κατά ζεύγη

	Precision	Availability	Response Time
Precision	**1**	1	2
Availability	1	**1**	3
Response time	1/2	1/3	**1**

Πίνακας 16: Σύγκριση βαρύτητας των υποκειμενικών μετρικών QoE κατά ζεύγη

	Ease of Use	Value for Money	Business Enablement	Correctness	Completeness	Relevance	Response Time	Precision
Ease of Use	**1**	1/4	1/4	1/5	1/5	1/6	4	3
Value for Money	4	**1**	1/3	1/4	1/5	1/5	4	3
Business Enablement	4	3	**1**	1/3	1/3	1	5	5
Correctness	5	4	3	**1**	1/2	1	5	5
Completeness	5	5	3	2	**1**	1	5	5
Relevance	6	5	1	1	1	**1**	5	5
Response Time	1/4	1/4	1/5	1/5	1/5	1/5	**1**	1/3
Precision	1/3	1/3	1/5	1/5	1/5	1/5	3	**1**

Βήμα 3: Υπολογισμός του σχετικού βάρους των μετρικών, αντικειμενικών και υποκειμενικών αντίστοιχα, σύμφωνα με την προσέγγιση του Saaty (1987) (Πίνακας 18, Πίνακας 19).

Πίνακας 17: Σχέση μεταξύ μέγεθος πίνακα μετρικών και Random Index

Size of matrix (*n*)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Random index (RI)	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Πίνακας 18: Ορισμός σχετικών βαρών για μετρικές QoS σύμφωνα με τη μέθοδο AHP και αναλογία συνοχής (Consistency Ratio)

Μετρικές QoS	Σχετικά βάρη	λmax, CI, RI	CR
Precision	0.47	λmax=3.018	CR=0.015
Availability	0.35	RI=0.58	
Response time	0.18	CI=0.009	

Πίνακας 19: Ορισμός σχετικών βαρών για μετρικές QoE σύμφωνα με τη μέθοδο AHP και αναλογία συνοχής (Consistency Ratio)

Μετρικές QoE	Σχετικά βάρη	λmax, CI, RI	CR
Ease of Use	0.0505	λmax=8.833	CR=0.0844
Value for Money	0.0775	RI=1.41	
Business Enablement	0.141	CI=0.119	
Correctness	0.208		
Completeness	0.255		
Response Time	0.026		
Precision	0.036		

Βήμα 4: Έλεγχος της συνοχής του πίνακα σύγκρισης κατά ζεύγη . Προσδιορίζεται η αναλογία συνοχής (Consistency Ratio - CR) για τους Πίνακες 14 και 15, η οποία είναι ο λόγος μεταξύ του δείκτη συνοχής (Consistency index-CI) και του τυχαίου δείκτη (Random Index -RI) (Εξ. 28) (Πίνακας 17). Ο τυχαίος δείκτης (RI) έχει διαφορετική τιμή με βάση το μέγεθος του πίνακα σύγκρισης βαρύτητας, δηλαδή τον αριθμό των μετρικών.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (33),$$

$$CR = \frac{Consistency\ Index\ (CI)}{Random\ Index\ (RI)} \quad (34),$$

Η CR πρέπει να έχει τιμή μικρότερη από 0.10, για να είναι έγκυρα τα βάρη των μετρικών. Αν CR>0.10, τότε τα βάρη θα πρέπει να αναθεωρηθούν, και να επαναληφθεί η διαδικασία από το βήμα 1 για να επιτευχθεί η αναλογία συνοχής. Στους Πίνακες Πίνακας 18 και Πίνακας 19 παρουσιάζονται, εκτός από τα σχετικά βάρη για τις μετρικές QoS και QoE, αντίστοιχα, οι τιμές CR, CI, RI και λ_{max}.