



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ
& ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

Επισκόπηση Συστημάτων Συστάσεων Υπηρεσιών Ιστού

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ονοματεπώνυμο: Νικολαΐδη Ανδριάννα

A.M.: 3212016127

Επιβλέπων καθηγητής: Αναπλ. Καθηγητής Κρητικός Κυριάκος

Μέλη εξεταστικής επιτροπής:

Αναπλ. Καθηγητής Συμεωνίδης Παναγιώτης

Αναπλ. Καθηγητής Κωστούλας Θεόδωρος

Σάμος, 2024

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη.....	6
Abstract	7
1. Εισαγωγή	8
1.1 Υπηρεσίες Ιστού	8
1.2 Συστήματα Συστάσεων για Υπηρεσίες Ιστού	9
1.3 Συνεισφορά Διπλωματικής.....	9
1.4 Δομή της Αναφοράς	10
2. Υπόβαθρο.....	11
2.1 Υπηρεσίες ιστού.....	11
2.1.1 Ορισμός και βασικά χαρακτηριστικά υπηρεσιών ιστού	11
2.1.2 Κύκλος ζωής υπηρεσιών ιστού και βασικές δραστηριότητες	12
2.1.3 Βασικές τεχνολογίες υπηρεσιών ιστού	15
2.1.4 Αρχιτεκτονικές Υπηρεσιών Ιστού.....	20
2.1.5 Είδη υπηρεσιών ιστού	26
2.2 Συστήματα Συστάσεων	37
2.2.1 Ορισμός και βασικά χαρακτηριστικά συστημάτων συστάσεων	37
2.2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα συστημάτων συστάσεων.....	38
2.2.3 Κατηγορίες συστημάτων συστάσεων	42
2.2.4 Πίνακας σύγκρισης συστημάτων συστάσεων	53
2.2.5 Διαδικασία δημιουργίας συστημάτων συστάσεων.....	56
3. Μεθοδολογία επιλογής άρθρων	62
3.1 Βασικά εργαλεία αναζήτησης.....	63
3.2 Μοτίβο επερώτησης/αναζήτησης	63
3.3. Κριτήρια φιλτραρίσματος	64
3.4 Ποσοτική ανάλυση	65
4. Ανάλυση.....	68
4.1 Ιεραρχική κατηγοριοποίηση.....	68
4.2 Ανάλυση άρθρων.....	73
4.3 Σύγκριση άρθρων.....	103
5. Προκλήσεις.....	111
5.1 Κρύα εκκίνηση.....	111
5.2 Κλιμακωσιμότητα	112
5.3 Ανεπάρκεια δεδομένων	114
5.4 Έλλειψη εμπιστοσύνης.....	115
5.5 Αλλαγές στις προτιμήσεις των χρηστών.....	116
5.6 Πρόβλεψη των τιμών QoS	117

6. Συμπεράσματα.....	119
Βιβλιογραφία	120

Λίστα Εικόνων:

Εικόνα 2.1: Κύκλος ζωής της υπηρεσίας.....	14
Εικόνα 2.2: Επικοινωνία πελάτη-εξυπηρετητή μέσω πρωτοκόλλου HTTP	16
Εικόνα 2.3: Παράδειγμα XML εγγράφου.....	18
Εικόνα 2.4: Το δένδρο XML για το XML έγγραφο της εικόνας 2.3	20
Εικόνα 2.5: Το τρίγωνο της SOA	23
Εικόνα 2.6: Εσωτερική και εξωτερική αρχιτεκτονική υπηρεσιών ιστού.....	24
Εικόνα 2.7: Στοίβα αρχιτεκτονικής υπηρεσιών ιστού SOAP.....	26
Εικόνα 2.8: Δομικά στοιχεία ενός SOAP μηνύματος	28
Εικόνα 2.9: Παράδειγμα ενός SOAP HTTP αιτήματος	29
Εικόνα 2.10: Παράδειγμα μιας SOAP HTTP απάντησης	30
Εικόνα 2.11 : Παράδειγμα μιας περιγραφής υπηρεσίας ιστού (web service description) με χρήση WSDL 2.0	32
Εικόνα 2.12: Παράδειγμα REST API αιτήματος.....	35
Εικόνα 2.13: Παράδειγμα REST API απάντησης.....	35
Εικόνα 2.14: Πίνακας σύγχυσης.....	59
Εικόνα 2.15: Τύποι μετρικών.....	59
Εικόνα 2.16: Οι φάσεις και στάδια τους για τη δημιουργία συστήματος σύστασης.....	61
Εικόνα 3.1: Ποσοτικό διάγραμμα με βάση τα είδη των άρθρων που τελικά χρησιμοποιήθηκαν	65
Εικόνα 3.2: Ποσοτικό διάγραμμα με βάση τους εκδότες των άρθρων που τελικά επιλέχθηκαν	66
Εικόνα 3.3: Ποσοτικό διάγραμμα με βάση τα έτη των άρθρων που τελικά χρησιμοποιήθηκαν	67
Εικόνα 4.1: Ιεραρχική κατηγοριοποίηση	72

Λίστα Πινάκων:

Πίνακας 2.1: Πίνακας σύγκρισης	54
Πίνακας 3.1: Πίνακας ερευνητικών ερωτήσεων	62
Πίνακας 3.2: Πίνακας ερευνητικών ερωτήσεων και ενοτήτων απάντησης.....	67
Πίνακας 4.1: Διάσταση Rationale	73
Πίνακας 4.2: Διάσταση Operation.....	75
Πίνακας 4.3: Διάσταση Approach > User Model.....	77
Πίνακας 4.4: Διάσταση Approach > Personalization.....	81
Πίνακας 4.5: Διάσταση Approach > Domain Model	84
Πίνακας 4.6: Πίνακας σύγκρισης άρθρων.....	105

Περίληψη

Η τεράστια αύξηση του συνολικού αριθμού διαθέσιμων υπηρεσιών ιστού ωθεί όλο και περισσότερους ερευνητές να προτείνουν ως λύση τα συστήματα συστάσεων, με σκοπό να βοηθήσουν τους χρήστες να ανακαλύψουν και να επιλέξουν τις υπηρεσίες ιστού που ταιριάζουν κατάλληλα με τις προτιμήσεις τους. Τα συστήματα συστάσεων έχουν αποδειχθεί ως μια βέλτιστη και αποτελεσματική λύση για τη διαδικασία ανακάλυψης και επιλογής υπηρεσιών ιστού, όμως αντιμετωπίζουν ταυτόχρονα αρκετές προκλήσεις / προβλήματα. Στην παρούσα εργασία, εντοπίζονται και συγκρίνονται πρωτότυπες λύσεις σύστασης υπηρεσιών ιστού ώστε να αναδειχθούν οι καλύτερες και να καθοδηγηθούν οι αναγνώστες στην επιλογή της καλύτερης με βάση τις δικές τους προτιμήσεις. Με βάση την ανάλυση αυτή αλλά και την βιβλιογραφία, ανιχνεύεται ένα σύνολο προκλήσεων που θα πρέπει να αντιμετωπισθούν καθώς και ορισμένες πολλά υποσχόμενες κατευθύνσεις προς αντιμετώπιση της κάθε πρόκλησης. Ως εκ τούτου, το ερευνητικό αναγνωστικό κοινό καθοδηγείται ώστε να ακολουθήσει τις κατευθύνσεις αυτές με σκοπό να συμβάλει από την δική του μεριά στην μελλοντική βελτίωση των συστημάτων συστάσεων για υπηρεσίες ιστού.

Λέξεις-κλειδιά: υπηρεσίες ιστού, συστήματα συστάσεων, ανακάλυψη υπηρεσιών, επιλογή υπηρεσιών, προκλήσεις, προτιμήσεις χρηστών, μελλοντικές ερευνητικές κατευθύνσεις

Abstract

The substantial increase in the total number of available web services is driving more and more researchers to propose recommendation systems as a solution to assist users in discovering and selecting web services that appropriately match their preferences. Recommendation systems have proven to be an optimal and effective solution for the process of discovering and selecting web services, but they simultaneously face several challenges. In this paper, original web service recommendation solutions are identified and compared to highlight the globally best ones and guide readers in choosing the best solution based on their own preferences. Based on this analysis and the available literature, a set of challenges that need to be addressed is identified, along with some promising directions for tackling each challenge. Consequently, the research audience is guided to follow these directions to contribute to the future improvement of web service recommendation systems.

Key-words: *web services, recommender systems, web service discovery, web service selection, challenges, user preferences, future research directions*

1. Εισαγωγή

1.1 Υπηρεσίες Ιστού

Οι υπηρεσίες ιστού (web services) είναι λογισμικά συστήματα που αλληλεπιδρούν με εφαρμογές πελατών και άλλες υπηρεσίες μέσω ανοικτών προτύπων (open standards) προκειμένου να ανταλλάξουν δεδομένα και να προσφέρουν ή καταναλώσουν λειτουργικότητα. Αυτές οι αλληλεπιδράσεις βασίζονται στην αρχή του πελάτη-εξυπηρετητή. Η υπηρεσία ιστού, δρώντας ως εξυπηρετητής, παρέχει στους πελάτες της μια σειρά από λειτουργίες (π.χ. πρόσβαση σε πόρους και λειτουργίες επεξεργασίας), σε μορφή αρθρωτών ενθυλακωμένων υπηρεσιών. Αυτές οι λειτουργίες καθίστανται διαθέσιμες και ανακαλύψιμες μέσω μηχανισμών διάδοσης, οι οποίοι περιλαμβάνουν τη χρήση κατάλληλα μορφοποιημένων εγγράφων, αναγνώσιμων από μηχανήματα (machine-readable), που περιγράφουν όλες τις λειτουργίες που παρέχονται από την υπηρεσία. Επιπλέον, οι υπηρεσίες ιστού χαρακτηρίζονται από την υψηλή τους διαλειτουργικότητα και επεκτασιμότητα, η οποία επιτυγχάνεται με την εφαρμογή τυποποιημένων τεχνολογιών του Παγκόσμιου Ιστού (standardized Web technologies), όπως η Επεκτάσιμη Σημασιολογική Γλώσσα (XML) και το Πρωτόκολλο Μεταφοράς Υπερκειμένων (HTTP).

Υπάρχουν δύο εκδοχές υπηρεσιών ιστού, οι οποίες ονομάζονται RESTful και SOAP-based υπηρεσίες ιστού. Μια SOAP υπηρεσία ιστού χρησιμοποιεί μια XML αρχιτεκτονική μηνυμάτων, καθώς και μορφοποιήσεις μηνύματος που βασίζονται στο πρότυπο SOAP. Στις RESTful υπηρεσίες ιστού χρησιμοποιείται ως βάση το REST (Representational State Transfer) αρχιτεκτονικό πρότυπο, το οποίο περιγράφει μια αρχιτεκτονική σχεδιασμού χαλαρά συνδεδεμένων εφαρμογών μέσω του πρωτοκόλλου HTTP. (Sunyaev, 2020)

Η ανακάλυψη υπηρεσιών είναι η διαδικασία που περιλαμβάνει τον εντοπισμό υπαρχόντων υπηρεσιών ιστού με βάση τις λειτουργικές και μη-λειτουργικές απαιτήσεις του χρήστη, καθώς και την ανάκτηση των ήδη δημοσιευμένων περιγραφών των υπηρεσιών αυτών από τους παρόχους τους. Οι πάροχοι υπηρεσιών μοιράζονται τα δεδομένα της υπηρεσίας τους (περιγραφές και προδιαγραφές υπηρεσίας ιστού), ώστε να αποθηκευτούν για μελλοντικά αιτήματα από χρήστες υπηρεσίας. Ο αντιστοιχιστής υπηρεσίας (service matcher) ταιριάζει το αίτημα ενός χρήστη με τις διαθέσιμες υπηρεσίες ιστού και προτείνει ένα σύνολο υπηρεσιών ιστού, το οποίο ικανοποιεί τις ανάγκες του χρήστη αυτού. Τελικό βήμα αποτελεί η επιλογή της καλύτερης υπηρεσίας ιστού, η οποία συνήθως πραγματοποιείται από τον ίδιο τον χρήστη με βάση τα αποτελέσματα της ανακάλυψης.

Οι λειτουργικές απαιτήσεις αναφέρονται στα στοιχεία που υποδεικνύουν τις δυνατότητες του συστήματος, όπου περιλαμβάνουν διεπαφές, λειτουργίες και πρωτόκολλα σύνδεσης (Obidallah Waeal, Bijan, & Umar, 2019). Οι μη λειτουργικές απαιτήσεις αφορούν την ποιότητα υπηρεσίας (Quality of Service - QoS) (Lin, Hou, & Mahony, 2022).

Οι υπηρεσίες περιγράφονται (τεχνικά) μέσω αρχείων που συμμορφώνονται με τη Γλώσσα Περιγραφής Υπηρεσίας Ιστού (WSDL) ενώ συνήθως ανακαλύπτονταν μέσω

των καταλόγων της Παγκόσμιας Περιγραφής Ανακάλυψης και Ενσωμάτωσης (Universal Description, Discovery and Integration - UDDI). Ωστόσο, το UDDI δεν υποστηρίζει την πλευρά της ποιότητας υπηρεσίας για τη δημοσίευση και την υποβολή αιτημάτων (ανακάλυψης) των υπηρεσιών ιστού για αυτό και θεωρείται κατηργημένο (deprecated) πρότυπο. Άρα, τυπικά, μια υπηρεσία ιστού μπορεί να αναζητηθεί από τους χρήστες μόνο με βάση τις λειτουργικές απαιτήσεις τις οποίες διαθέτει. Συνεπώς, οι χρήστες δεν έχουν τη δυνατότητα να αναζητήσουν υπηρεσίες ιστού με βάση τις απαιτήσεις σε μη λειτουργικά χαρακτηριστικά, όπως το κόστος, τον χρόνο απόκρισης, την ταχύτητα, την αξιοπιστία, και τη διαθεσιμότητα, τα οποία περιλαμβάνονται στην ποιότητα υπηρεσίας (QoS). Επομένως, η επιλογή της καλύτερης υπηρεσίας ιστού με βάση ιδιαίτερα τις μη λειτουργικές απαιτήσεις του χρήστη, είναι μια δύσκολη διεργασία, καθώς παρόμοιες υπηρεσίες είναι διαθέσιμες για την ίδια λειτουργικότητα ενώ, όπως προαναφέρθηκε, δεν είναι συνήθως διαθέσιμη η περιγραφή των μη λειτουργικών τους ικανοτήτων/χαρακτηριστικών. (Retna Raj & Sasipraba, 2011)

1.2 Συστήματα Συστάσεων για Υπηρεσίες Ιστού

Τα συστήματα συστάσεων είναι μια διαισθητική άμυνα ενάντια στον κατακλυσμό του καταναλωτή από την πολυάριθμη ποικιλία επιλογών (consumer over-choice). Λαμβάνοντας υπόψη την εκρηκτική ανάπτυξη των πληροφοριών που είναι διαθέσιμες στον ιστό, οι χρήστες συχνά έρχονται αντιμέτωποι με αμέτρητα προϊόντα ή υπηρεσίες. Έτσι η εξατομίκευση που προσφέρουν τα συστήματα συστάσεων αποτελεί ουσιαστική στρατηγική για τη διευκόλυνση μιας καλύτερης εμπειρίας χρήστη. Τα συστήματα αυτά, παίζουν έναν ζωτικό και αναπόσπαστο ρόλο σε διάφορα συστήματα πρόσβασης πληροφοριών για την ενίσχυση των επιχειρήσεων και τη διευκόλυνση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων. Επίσης, είναι ευρέως διαδεδομένα σε πολλούς τομείς του διαδικτύου. (Zhang, Yao, Sun, & Tay, 2019)

Οι χρήστες χρειάζονται μέσα που μπορούν να κατανοήσουν τα ενδιαφέροντά τους και να τους προτείνουν χρήσιμες υπηρεσίες. Σε αυτήν την περίπτωση, τα συστήματα συστάσεων, τα οποία μπορούν να παρέχουν στους χρήστες τα πιο κατάλληλα αντικείμενα (όπως υπηρεσίες) σύμφωνα με τα ενδιαφέροντά τους, έχουν θεωρηθεί ως μία από τις καλύτερες λύσεις. Μάλιστα, προτείνονται πολλές προσεγγίσεις στην εφαρμογή συστημάτων συστάσεων, οι οποίες έχουν στόχο τη βελτίωση της ανακάλυψης υπηρεσιών ιστού. (Chan, Gaaloul, & Tata, 2012)

1.3 Συνεισφορά Διπλωματικής

Η κύρια συνεισφορά της παρούσας διπλωματικής εργασίας αφορά την επισκόπηση συστημάτων συστάσεων, τα οποία, μέσα από τεχνικές, τεχνολογίες και πρότυπα που χρησιμοποιούν, βοηθούν στην ανακάλυψη και την επιλογή υπηρεσιών ιστού. Σκοπός είναι η ανάλυση, αλλά και η σύγκριση, αυτών των συστημάτων συστάσεων με στόχο την εύρεση της είτε της καλύτερης καθολικά λύσης είτε διαφορετικών καλύτερων λύσεων σύστασης ανάλογα με τα κριτήρια και τις προτιμήσεις του χρήστη. Θα αποτυπωθούν σε αυτήν την έρευνα και προσεγγίσεις συστάσεων που ενσωματώνουν λύσεις σε γνωστά προβλήματα του τομέα των Συστημάτων Συστάσεων, όπως είναι το cold start problem. Επομένως, θα πραγματοποιηθεί σύγκριση μεταξύ των

επιλεγμένων προσεγγίσεων σύστασης και υπό αυτό το πρίσμα ώστε να αναδειχθούν καλές πρακτικές αλλά και λύσεις που μπορεί να είναι πιο αποτελεσματικές και με λιγότερα προαπαιτούμενα. Τέλος, αναλύονται ζητήματα και προκλήσεις που δεν έχουν ακόμη αντιμετωπιστεί από τις υπάρχουσες προσεγγίσεις σύστασης καθώς και δυνητικά κατάλληλες κατευθύνσεις έρευνας προς αντιμετώπισή τους.

1.4 Δομή της Αναφοράς

Το υπόλοιπο της τρέχουσας αναφοράς ακολουθεί της εξής δομή.

- Το δεύτερο κεφάλαιο, αυτό του υποβάθρου, αναλύει τις βασικές έννοιες των υπηρεσιών ιστού και των συστημάτων συστάσεων καθώς και άλλες σχετικές λεπτομέρειες, όπως κατηγοριοποιήσεις, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους, καθώς και τις τεχνολογίες - πρότυπα που χρησιμοποιούν.
- Ακολουθεί στη συνέχεια το κεφάλαιο της μεθοδολογίας επιλογής άρθρων, στην οποία αναφέρονται οι κύριοι στόχοι της επισκόπησης, οι πηγές από τις οποίες αντλήθηκαν τα άρθρα, καθώς και τα κριτήρια αποδοχής ή αποκλεισμού για το φιλτράρισμα των άρθρων αυτών.
- Έπειτα, στο κεφάλαιο της ανάλυσης, κατηγοριοποιούνται, αναλύονται αλλά και συγκρίνονται τα επιλεγμένα άρθρα (που σχετίζονται με συστήματα συστάσεων για υπηρεσίες ιστού) με βάση συγκεκριμένα κριτήρια, καταλήγοντας έτσι σε ανάλογα συμπεράσματα.
- Το προτελευταίο κεφάλαιο αναφέρεται στις προκλήσεις, τις οποίες καλείται να αντιμετωπίσει η μελλοντική έρευνα, αλλά και σε πολλά υποσχόμενες ερευνητικές κατευθύνσεις για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων.
- Τέλος, η διπλωματική εργασία ολοκληρώνεται με το τελευταίο κεφάλαιο, το οποίο συνοψίζει την συνεισφορά της σε συνδυασμό με τα κύρια αποτελέσματά της, ενώ παρέχει τα βασικότερα συμπεράσματα από την ανάλυση που επιτελέστηκε καθώς και την όλη εμπειρία που αποκομίσθηκε από την εκπόνησή της.

2. Υπόβαθρο

2.1 Υπηρεσίες ιστού

2.1.1 Ορισμός και βασικά χαρακτηριστικά υπηρεσιών ιστού

Οι υπηρεσίες ιστού (web services) είναι λογισμικά συστήματα που αλληλεπιδρούν με εφαρμογές πελατών και άλλες υπηρεσίες μέσω ανοικτών προτύπων (open standards) προκειμένου να ανταλλάξουν δεδομένα και να προσφέρουν ή καταναλώσουν λειτουργικότητα. Αυτές οι αλληλεπιδράσεις βασίζονται στην αρχή του πελάτη-εξυπηρετητή. Η υπηρεσία ιστού, δρώντας ως εξυπηρετητής, παρέχει στους πελάτες της μια σειρά από λειτουργίες (π.χ. πρόσβαση σε πόρους και λειτουργίες επεξεργασίας), σε μορφή αρθρωτών ενθυλακωμένων μεθόδων υπηρεσίας. Αυτές οι λειτουργίες καθίστανται διαθέσιμες και ανακαλύψιμες μέσω μηχανισμών διάδοσης, οι οποίοι περιλαμβάνουν τη χρήση κατάλληλα μορφοποιημένων εγγράφων, αναγνώσιμων από μηχάνημα (machine-readable), που περιγράφουν όλες τις λειτουργίες που παρέχονται από την υπηρεσία. Ωστόσο, παρά το όνομά της, μια υπηρεσία ιστού μπορεί να τοποθετηθεί σε οποιαδήποτε υποδομή δικτύου, όχι μόνο στο Παγκόσμιο Ιστό (World Wide Web - WWW). Επιπλέον, οι υπηρεσίες ιστού χαρακτηρίζονται από την υψηλή τους διαλειτουργικότητα και επεκτασιμότητα, η οποία επιτυγχάνεται με την εφαρμογή τυποποιημένων τεχνολογιών του Παγκόσμιου Ιστού (standardized Web technologies), όπως η Επεκτάσιμη Σημασιολογική Γλώσσα (XML) και το Πρωτόκολλο Μεταφοράς Υπερκειμένων (HTTP). Αξιοποιώντας αυτές τις καλά θεμελιωμένες τεχνολογίες, περιορίζονται οι εξαρτήσεις από τα ιδιωτικά δίκτυα, τα λειτουργικά συστήματα και τις πλατφόρμες, κάτι που καθιστά τις υπηρεσίες ιστού ιδανικές για τη σύνδεση λογισμικών εφαρμογών που τρέχουν σε ποικίλες πλατφόρμες και πλαίσια και τα οποία μπορεί να έχουν συγγραφεί σε διαφορετικές γλώσσες προγραμματισμού.

Επίσης, οι υπηρεσίες μπορεί να είναι χαλαρά συνδεδεμένες. Συνεπώς, κάθε υπηρεσία ιστού είναι εύκολα αντικαταστάσιμη, καθώς οι παλιές και νέες υπηρεσίες παρέχουν διεπαφές που βασίζονται στις ίδιες τυποποιημένες τεχνολογίες ιστού. Επομένως, δεν είναι ασυνήθιστο να συντίθενται μεταξύ τους αρκετές απλές υπηρεσίες για την παροχή προηγμένων υπηρεσιών με προστιθέμενη αξία. Η χαλαρή σύζευξη επιτρέπει στις διεπαφές να αναπτυχθούν με την πάροδο του χρόνου χωρίς να διακόπτουν την δυνατότητα του καταναλωτή υπηρεσίας στο να επικοινωνήσει μαζί τους. Αντίθετα, ένα στενά συνδεδεμένο σύστημα συνεπάγεται έναν στενά συνδεδεμένο πελάτη και λογική διακομιστή, αφήνοντας να εννοηθεί ότι οι αλλαγές σε μια διεπαφή (π.χ. την υπηρεσία) απαιτούν την ενημέρωση του άλλου στενά συνδεδεμένου συστατικού (π.χ. του πελάτη της υπηρεσίας). Επομένως, η χρήση μιας χαλαρά συζευγμένης αρχιτεκτονικής οδηγεί συχνά σε ένα πιο διαχειρίσιμο λογισμικό σύστημα και επιτρέπει ευκολότερα την ενσωμάτωση σε πολλαπλά συστήματα.

2.1.2 Κύκλος ζωής υπηρεσιών ιστού και βασικές δραστηριότητες

Η ποιότητα των υπηρεσιών μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο κατά τη διάρκεια πολλών φάσεων του κύκλου ζωής της υπηρεσίας, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.1. Αρχικό στάδιο του κύκλου ζωής μιας υπηρεσίας αποτελεί η δημοσίευση (publishing), κατά την οποία οι αιτούντες και οι πάροχοι δημοσιεύουν ή ανταλλάσσουν αιτήματα (service requests) και προσφορές (service offers) υπηρεσιών, οι οποίες περιλαμβάνουν αιτήματα ποιότητας (service quality requests) και προσφορές ποιότητας (service quality offers) υπηρεσιών, αντίστοιχα, όσον αφορά την πλευρά της ποιότητας υπηρεσίας (quality of service - QoS). Αυτά τα έγγραφα ποιότητας (quality documents), ονομάζονται εν γένει περιγραφές υπηρεσίας βασισμένες στην ποιότητα (Quality-Based Service Descriptions). Τονίζουμε βέβαια πως τα αιτήματα και προσφορές υπηρεσιών περιλαμβάνουν και περιεχόμενο που αφορά τις λειτουργικές ικανότητες των υπηρεσιών, δηλαδή την λειτουργική πλευρά στην περιγραφή μιας υπηρεσίας.

Έπειτα, ακολουθεί η ανακάλυψη της υπηρεσίας (service discovery), η οποία χωρίζεται σε δύο υπο-δραστηριότητες: (1) το ταίριασμα υπηρεσιών (service matching) και (2) την επιλογή υπηρεσιών (service selection). Το ταίριασμα υπηρεσιών αφορά το φιλτράρισμα των δημοσιευμένων υπηρεσιών σύμφωνα με τις λειτουργικές απαιτήσεις και τις απαιτήσεις ποιότητας του αιτούντος, οι οποίες περιλαμβάνονται στο αίτημα υπηρεσίας του. (Kritikos, et al., 2013)

Η επιλογή υπηρεσιών ιστού (web service selection) είναι η διαδικασία επιλογής της κατάλληλης υπηρεσίας που ταιριάζει με τις απαιτήσεις και προτιμήσεις του πελάτη. Η επιλογή της καλύτερης υπηρεσίας ιστού για τις απαιτήσεις ενός πελάτη είναι μια δύσκολη διαδικασία, καθώς μπορεί να υπάρχουν πολλές υπηρεσίες με την ίδια λειτουργικότητα. Για αυτό το λόγο, θα πρέπει να καταφύγει κανείς στην ποιότητα υπηρεσίας (Quality of Service - QoS) που διαφοροποιείται από μια υπηρεσία σε μια άλλη. Η ποιότητα υπηρεσίας μιας υπηρεσίας ιστού αναφέρεται σε μη λειτουργικά χαρακτηριστικά της υπηρεσίας, όπως ο χρόνος απόκρισης, το εύρος ζώνης, η διαθεσιμότητα, το κόστος, και η ασφάλεια. Ουσιαστικά αφορά τις δυνατότητες ή περιορισμούς που παρέχει ή ικανοποιεί η υπηρεσία, αντίστοιχα, ως προς αυτά τα χαρακτηριστικά.

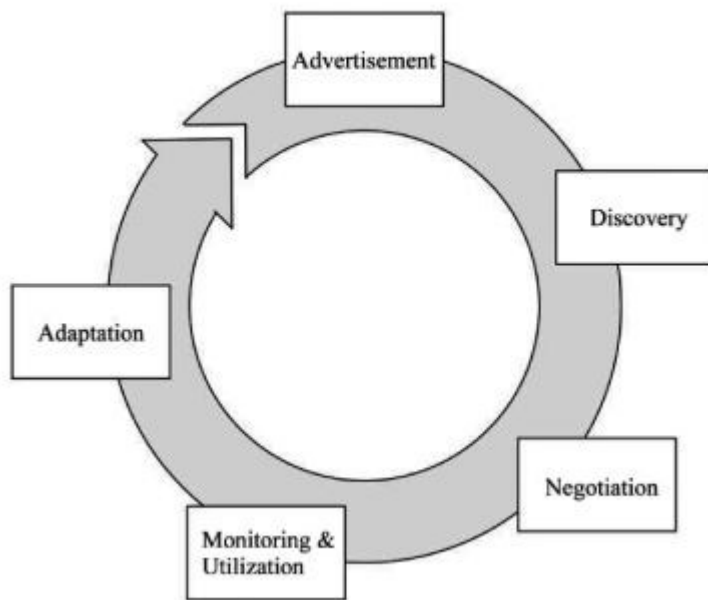
Υπάρχουν δύο περιπτώσεις επιλογής υπηρεσίας: (1) η επιλογή απλής υπηρεσίας (single service selection) και (2) η επιλογή σύνθετης υπηρεσίας (composite service selection). Στην πρώτη περίπτωση, επιλέγονται υπηρεσίες που υλοποιούν μια συγκεκριμένη λειτουργικότητα (δηλ. αυτήν που απαιτεί ο πελάτης), ενώ στη δεύτερη περίπτωση η επιλογή μιας σύνθετης υπηρεσίας αφορά την επιλογή υπηρεσιών ανά μέρος/λειτουργία της σύνθετης υπηρεσίας. Ειδικότερα, θα πρέπει να επιλεχθεί η καλύτερη δυνατή υπηρεσία ανά λειτουργία, έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι περιορισμοί ποιότητας υπηρεσίας για την σύνθετη υπηρεσία που θα δημιουργηθεί. Η δυσκολία σε αυτή την δεύτερη περίπτωση έγκειται σε δύο παράγοντες: (α) πως

υπολογίζεται η ποιότητας υπηρεσίας της σύνθετης υπηρεσίας από την ποιότητα υπηρεσίας των υπηρεσιών που θα επιλεγούν για να την συνθέσουν - αυτό εξαρτάται από την ροή ελέγχου (control flow) της σύνθετης υπηρεσίας, τα αιτούμενα/επιλεγμένα χαρακτηριστικά ποιότητας υπηρεσίας και τον τρόπο που αυτά μπορούν να συντεθούν και (β) επειδή έχουμε πολλαπλές επιλογές υπηρεσιών, θα πρέπει να επιλυθεί ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης με συγκεκριμένο στόχο, πράγμα που ανεβάζει την πολυπλοκότητα της διαδικασίας επιλογής. (Retna Raj & Sasipraba, 2011)

Σε επόμενη φάση, περνάμε στο κομμάτι της διαπραγμάτευσης υπηρεσιών (service negotiation), όπου περιγραφές QSD ανταλλάσσονται μεταξύ των παρόχων των υπηρεσιών και των αιτούντων. Η πιθανή συμφωνία που αφορά τα επίπεδα ποιότητας μεταξύ των εμπλεκομένων, οδηγεί στον ορισμό ενός άλλου εγγράφου ποιότητας, το οποίο ονομάζεται Service-Level Agreement (SLA). Το έγγραφο αυτό προσδιορίζει ποια είναι τα συμβαλλόμενα μέρη (δηλ. ο πάροχος και πελάτης της υπηρεσίας), ποιες είναι οι υποχρεώσεις που έχουν (πχ. η υπηρεσία του παρόχου θα πρέπει να παρέχει κατάλληλο επίπεδο υπηρεσίας προς τον πελάτη) και ποιες είναι οι ποινές από τη μη τήρηση των υποχρεώσεων αυτών.

Ακολουθούν έπειτα οι δραστηριότητες της αξιοποίησης και παρακολούθησης της υπηρεσίας, οι οποίες είναι αλληλένδετες. Κατά την αξιοποίηση της υπηρεσίας, ο πελάτης μπορεί να καταναλώνει την υπηρεσία (πχ. καλώντας τις μεθόδους της) με βάση τους όρους του SLA (πχ. δεν μπορεί να ξεπεράσει κάποιο όριο κλήσεων ανά δευτερόλεπτο). Κατά την παρακολούθηση μιας υπηρεσίας (service monitoring) , τα επίπεδα υπηρεσίας στο αντίστοιχο SLA παρακολουθούνται με σκοπό να ανακαλυφθούν τυχόν παραβιάσεις πελατών ή/και παρόχων, όσον αφορά τους λειτουργικούς και ποιοτικούς όρους του εγγράφου αυτού, και να εφαρμοστούν οι αντίστοιχες ποινές. . Επιπλέον, ένα SLA μπορεί να έχει και προληπτικό χαρακτήρα, επιτρέποντας την αντίδραση σε πιθανώς επικίνδυνες μελλοντικές καταστάσεις που μπορεί να οδηγήσουν σε παραβίαση ενός ή παραπάνω όρων του SLA, έτσι ώστε να αποφευχθούν ποινές καθώς και η δυσαρέσκεια από κάποιο από τα συμβαλλόμενα μέρη (δηλ. αυτό που ζημιώνεται από την παραβίαση) ή η αυτόματη πρόωρη παύση του SLA λόγω σοβαρής παραβίασης.

Τελική φάση στο κύκλο ζωής των υπηρεσιών αποτελεί η προσαρμογή (service adaptation). Η προσαρμογή μπορεί να οδηγεί στην εκτέλεση ενεργειών, όπως είναι η επαναδιαπραγμάτευση του SLA, ή η αντικατάσταση μιας εσωτερικής υπηρεσίας από μία άλλη εναλλακτική υπηρεσία (με την ίδια λειτουργικότητα αλλά καλύτερη ποιότητα υπηρεσίας) στα πλαίσια αποφυγής παραβίασης του σχετικού SLA ή μετρίασης της παραβίασης αυτής, αλλά μπορεί να αφορά και μια μόνιμη αλλαγή της υπηρεσίας στα πλαίσια εξέλιξής της (πχ. λόγω ανάγκης υιοθέτησης νέων τεχνολογιών ή ικανοποίησης μεταβαλλόμενων απαιτήσεων)απαιτήσει. (Kritikos, et al., 2013)



Εικόνα 2.1: Κύκλος ζωής της υπηρεσίας

Πηγή: A Survey on Service Quality Description (Kritikos, et al., 2013)

Με βάση την παραπάνω ανάλυση του κύκλου ζωής των υπηρεσιών, αναδεικνύεται πως η σύσταση υπηρεσιών ιστού αποτελεί μια σημαντική διαδικασία, καθώς μέσω των συστημάτων συστάσεων υπηρεσιών ιστού οι καταναλωτές διευκολύνονται στη διαδικασία της επιλογής υπηρεσιών ιστού, όπου τα χαρακτηριστικά ποιότητας υπηρεσίας (QoS) παίζουν σημαντικό ρόλο στην κατάταξη των υπηρεσιών αυτών. Επειδή πολλές υπηρεσίες ιστού έχουν παρόμοιες λειτουργίες, ο αιτώντας χρήστης πρέπει να επιλέξει την κατάλληλη υπηρεσία ιστού χωρίς να έχει ιδιαίτερη, προηγμένη γνώση για κάθε υποψήφια υπηρεσία ιστού που του προτείνεται από μια υπηρεσία ανακάλυψης/ταιριάσματος, ή που ο ίδιος ανακαλύπτει χειρωνακτικά ψάχνοντας στο διαδίκτυο. Τα συστήματα συστάσεων υπηρεσιών ιστού βοηθούν με αυτοματοποιημένο τρόπο τους αιτούντες υπηρεσιών κατά τη διαδικασία επιλογής, προτείνοντας και κατατάσσοντας τις υπηρεσίες ιστού. Τα συστήματα αυτά θα αναλυθούν στο επόμενο κεφάλαιο. (Obidallah Waeal, Bijan, & Umar, 2019)

2.1.3 Βασικές τεχνολογίες υπηρεσιών ιστού¹

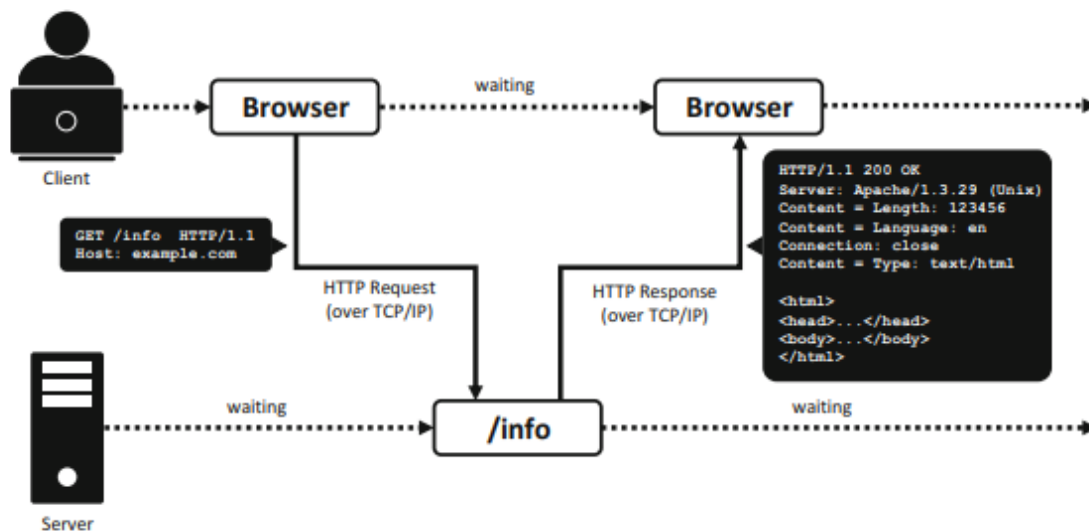
2.1.3.1 Πρωτόκολλο μεταφοράς υπερκειμένου (HyperText Transfer Protocol - HTTP)

Το HTTP είναι ίσως το πιο σημαντικό τεχνολογικό θεμέλιο του Παγκόσμιου Ιστού (World Wide Web - WWW) και το πιο συχνά χρησιμοποιημένο πρωτόκολλο επικοινωνίας για αλληλεπιδράσεις με υπηρεσίες ιστού. Το HTTP είναι ένα απλοϊκό, βασισμένο σε κείμενο (text-based) πρωτόκολλο αίτησης-απόκρισης (request-response) για κατανεμημένα πληροφοριακά συστήματα. Παρέχει ένα σύνολο από κανόνες που επιτρέπουν σε δύο ή περισσότερες οντότητες να ανταλλάσσουν δεδομένα, τα οποία ενσωματώνονται σε μορφή μηνύματος, μέσω ενός δικτύου υπολογιστών, όπως το Διαδίκτυο.

Ένα μήνυμα HTTP αποτελείται από μια γραμμή έναρξης, μια προαιρετική κεφαλίδα και ένα προαιρετικό σώμα. Η γραμμή εκκίνησης ορίζει είτε την μέθοδο αιτήματος είτε την κατάσταση απόκρισης ανάλογα με το είδος του μηνύματος (αίτηση ή απόκριση HTTP, αντίστοιχα). Η κεφαλίδα του μηνύματος αποτελείται από ζεύγη ονόματος-τιμής (name-value), τα οποία περιγράφουν πρόσθετες παραμέτρους και ορίσματα που απαιτούνται για τη μετάδοση δεδομένων. Το σώμα του μηνύματος μεταφέρει το ωφέλιμο φορτίο δεδομένων (data payload).

Ως παράδειγμα του τρόπου χρήσης του HTTP, η Εικ.1 απεικονίζει πώς μια εφαρμογή προγράμματος περιήγησης (ένας πελάτης) ανακτά το περιεχόμενο του ιστοτόπου (web site) με τη διεύθυνση <http://example.com/info> από τον αντίστοιχο διακομιστή ιστού (web server). Από τη στιγμή που ένας χρήστης εισάγει το URL του ιστοτόπου στη γραμμή διεύθυνσης του προγράμματος περιήγησής του και πατήσει το πλήκτρο enter, αποστέλλεται ένα μήνυμα αιτήματος HTTP (HTTP request message) μέσω μιας σύνδεσης TCP/IP με τον διακομιστή ιστού, που σχετίζεται με το όνομα της ιστοσελίδας (domain) example.com. Το μήνυμα αυτό αφορά τη χρήση της μεθόδου GET του HTTP. Στη συνέχεια, ο διακομιστής ιστού θα προσπελάσει τον πόρο που προσδιορίζεται από το μονοπάτι URL /info και θα επιστρέψει τα σχετικά δεδομένα της ιστοσελίδας μέσω μηνύματος HTTP απάντησης (HTTP response message).

¹ Η ενότητα βασίζεται στο βιβλίο Internet Computing (Sunyaev, 2020)



Εικόνα 2.2: Επικοινωνία πελάτη-εξυπηρετητή μέσω πρωτοκόλλου HTTP

Πηγή: *Internet Computing* (Sunyaev, 2020)

Όπως φαίνεται από το παραπάνω παράδειγμα, υπάρχει διάκριση μεταξύ των μηνυμάτων HTTP αίτησης (που στέλνονται από τον client στον server) και των μηνυμάτων HTTP απάντησης (που στέλνονται από τον server προς τον client ως απάντηση σε μια HTTP αίτηση). Σε περίπτωση ενός μηνύματος HTTP αίτησης, η αρχική γραμμή καθορίζει ποια λειτουργία (στον προσδιοριζόμενο πόρο /info) θα πρέπει να εκτελέσει ο server. Η μέθοδος HTTP GET χρησιμοποιείται για να ζητηθεί μια αναπαράσταση του πόρου /info. Από την άλλη μεριά, η μέθοδος HTTP POST χρησιμοποιείται για την δημιουργία ενός νέου πόρου, η PUT/PATCH για την ανανέωση ενός πόρου και η DELETE για την διαγραφή του.

Για να καθοριστεί ο πόρος στον οποίο πρέπει να εκτελεστεί η λειτουργία, χρησιμοποιείται ένα Μοναδικό Αναγνωριστικό Πόρου (Uniform Resource Identifier - URI). Στην περίπτωση του HTTP, αυτό το μοναδικό αναγνωριστικό έχει την μορφή: `http://host/path/to/resource?query`. Το τμήμα εξυπηρετητή (host part) του URI καθορίζει την τιμή του πεδίου κεφαλίδας του εξυπηρετητή (ουσιαστικά το όνομα του εξυπηρετητή το οποίο θα επιλυθεί σε μια IP διεύθυνση), το οποίο ο πελάτης θα χρησιμοποιήσει στο αίτημα HTTP. Το σχετικό μονοπάτι (μέρος /path/to/resource στο URI) του εξυπηρετητή (host-relative path) μετά από το τμήμα εξυπηρετητή, καθορίζει την τοποθεσία του ζητούμενου πόρου στο σύστημα του εξυπηρετητή. Τέλος, ένα URI μπορεί να περιέχει ένα ερώτημα (query), το οποίο επισημαίνεται από ένα ερωτηματικό (λατινικού χαρακτήρα) μετά από το μονοπάτι (path). Αυτό το κομμάτι του ερωτήματος, αντιστοιχεί σε μια σειρά από παραμέτρους επερώτησης (query parameters) της μορφής ζεύγους κλειδιού-τιμής (πχ. `key1=value1`), οι οποίες διαχωρίζονται με '&' (δηλαδή έχουμε πως `query == key1=value1&key2=value2...`) και θα χρησιμοποιηθούν για το φιλτράρισμα της αναπαράστασης του πόρου, ειδικά σε αιτήσεις τύπου GET.

Ένα βασικό χαρακτηριστικό που συμβάλλει στην επιτυχία του HTTP και στην ιδιαίτερη χρησιμότητά του για ορισμένους τύπους υπηρεσιών ιστού είναι η υποστήριξη του πρωτοκόλλου αυτού σε στρατηγικές κρυφής μνήμης (caching strategies). Το Caching² είναι μία από τις κύριες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή κλιμακώσιμων υπηρεσιών ιστού. Η βασική του ιδέα είναι να απαλλάσσει τους διακομιστές ιστού από την αντιμετώπιση όλων των αιτημάτων HTTP των χρηστών, εισάγοντας ενδιάμεσα συστήματα (Web caches), τα οποία αποθηκεύουν προηγούμενες HTTP απαντήσεις, για να απαντήσουν σε μελλοντικά αντίστοιχα HTTP αιτήματα (προφανώς για τον ίδιο πόρο). Επίσης, το caching, δεν βοηθά απλώς στην άμεση απάντηση στα πιο συνηθισμένα αιτήματα (λήψης πόρων), αλλά επιπροσθέτως διευκολύνει τις στρατηγικές ισορροπίας φόρτου (τα αιτήματα κατανέμονται μεταξύ πολλαπλών διακομιστών caching). Τέλος, μειώνει την κίνηση στο δίκτυο/Διαδίκτυο, ιδιαίτερα αν ο μηχανισμός κρυφής μνήμης βρίσκεται στη μεριά του πελάτη.

2.1.3.2 Extensible Markup Language (XML) - Επεκτάσιμη Γλώσσα Σήμανσης

Η Επεκτάσιμη Γλώσσα Σήμανσης (XML) είναι μια γλώσσα περιγραφής δεδομένων (data-description language) που δομεί τα δεδομένα έτσι ώστε να μπορούν εύκολα να κατανοηθούν, να ανακτηθούν και να κοινοποιηθούν (W3C 2008). Εφόσον η XML αποθηκεύει τα δεδομένα ως απλό κείμενο, αντί ιδιωτικού bytcode, το λογισμικό ανάλυσης δεδομένων μπορεί να υλοποιηθεί σε οποιαδήποτε γλώσσα προγραμματισμού και να εκτελεστεί σε οποιοδήποτε υπολογιστικό σύστημα. Συνεπώς, η XML χρησιμοποιείται ευρέως για την ανεξάρτητη μηχανής (machine-independent), ανεξάρτητη-οργανισμού (organization-independent) και ανεξάρτητη-εφαρμογής(application-independent) ανταλλαγή δεδομένων. Αυτό το υψηλό επίπεδο πολυχρηστικότητας έχει καταστήσει την XML ως έναν από τους πιο κοινούς τύπους μορφοποίησης, που χρησιμοποιούνται για την ανταλλαγή δεδομένων στο Διαδίκτυο.

Στο πλαίσιο των υπηρεσιών ιστού, η XML χρησιμοποιείται συχνά για να περιγράψει τη λειτουργικότητα της υπηρεσίας και για να μορφοποιήσει τα μηνύματα αιτήσεων και απαντήσεων, τα οποία αποστέλλονται μεταξύ των υπηρεσιών και των καταναλωτών τους. Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 2.3) απεικονίζεται ένα απλό μήνυμα XML, όπου το στοιχείο-ρίζα (root element) είναι το book (δηλ. ένα βιβλίο) και περιέχει τα στοιχεία-παιδιά (child elements) isbn (id-βιβλίου), αριθμός σελίδων (pages), έτος (year), καθώς και ένα στοιχείο συγγραφέας (author), το οποίο έχει όνομα (firstname) και επώνυμο (lastname). Επίσης, επισυνάπτεται στην περιγραφή του βιβλίου και μια προσάρτηση (attachment) που μπορεί να αφορά είτε το περιεχόμενο του βιβλίου είτε τον πίνακα περιεχομένων του σε raw PDF μορφή. Ουσιαστικά, το μήνυμα αυτό αναπαριστά την οντότητα ενός βιβλίου, η οποία μπορεί εσωτερικά να αναφέρεται στην οντότητα ενός συγγραφέα. Το μήνυμα αυτό θα μπορούσε να είναι το σώμα HTTP POST αίτησης για

² Caching: αποθήκευση δεδομένων στην κρυφή μνήμη (cache)

την δημιουργία ενός νέου πόρου βιβλίου σε μια υπηρεσία ιστού. Το πως αυτό το μήνυμα ενσωματώνεται σε μια αίτηση εξαρτάται όμως και από το είδος της υπηρεσίας ιστού προς χρήση, όπως θα δούμε στην συνέχεια.

```
1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2 <book title="Principles of Internet Computing">
3   <isbn>978-3-86680-192-9</isbn>
4   <pages>483</pages>
5   <year>2019</year>
6   <author>
7     <firstname>Ali</firstname>
8     <name>Sunyaev</name>
9   </author>
10  <!-- here goes a binary file -->
11  <appendix format="pdf">
12    HGh7Vu2NzW...
13  </appendix>
14 </book>
```

Εικόνα 2.3: Παράδειγμα XML εγγράφου

Πηγή: Internet Computing (Sunyaev, 2020)

Ομοίως με την HTML, η XML είναι μια περιγραφική γλώσσα σήμανσης. Η σήμανση περιγράφει το κείμενο που προστίθεται σε ένα έγγραφο και παρέχει πληροφορίες σχετικά με το έγγραφο αυτό (Goldfarb & Rubinsky, 1991). Επιπλέον, καθορίζει ένα σύνολο συμβόλων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να διαχωρίσουν, να δομήσουν και να χαρακτηρίσουν τμήματα ενός εγγράφου κειμένου. Ωστόσο, δεν προκαθορίζει τη σήμανση, αλλά μόνο τη σύνταξη και τους βασικούς κανόνες ερμηνείας της. Συνεπώς, επιτρέπει τη δημιουργία αυτοπεριγραφικών στοιχείων, που ονομάζονται ετικέτες (tags) και σχηματίζουν ένα ειδικό ως προς μια εφαρμογή (application-specific) λεξιλόγιο καθώς και τη δομή εγγράφου. Αυτό καθιστά την XML μια μετα-γλώσσα (meta-language), που επιτρέπει τη δημιουργία και καθορισμό άλλων γλωσσών που προσαρμόζονται σε συγκεκριμένες περιπτώσεις εφαρμογής.

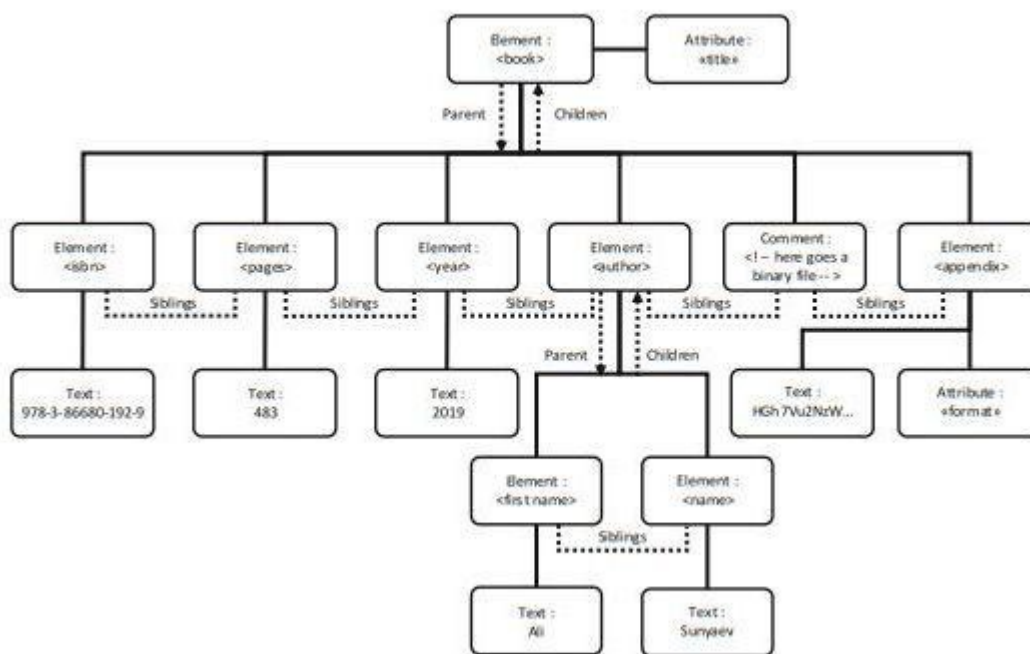
Η δυνατότητα να προσδιοριστούν επίσημα κανόνες συμμόρφωσης για τα έγγραφα είναι πολύ σημαντική, καθώς επιτρέπει τον ορισμό μορφών δεδομένων βασισμένων σε XML. Αυτοί οι κανόνες συνήθως προσδιορίζονται στη μορφή ενός σχήματος XML (XML schema). Η πιο διαδεδομένη γλώσσα για τον ορισμό ενός σχήματος XML είναι ο ορισμός σχήματος XML (XML Schema Definition - XSD), ο οποίος επιτρέπει τον ορισμό τύπων δεδομένων και δομών ενός εγγράφου XML. Επειδή το XSD είναι μια γλώσσα βασισμένη σε XML, κάθε έγγραφο XSD είναι εκφύσεως ένα XML έγγραφο και μπορεί να επεξεργαστεί με τον ίδιο τρόπο με ένα XML έγγραφο. Επίσης, τα έγγραφα XML μπορούν να αναφέρουν ένα σχήμα XSD για να ενεργοποιηθεί η αυτόματη επικύρωση αυτών των εγγράφων XML, σε σχέση με τους κανόνες του σχήματος, κατά την επεξεργασία τους. Ένα XSD σχήμα μπορεί να αναφερθεί μέσα από ένα XML έγγραφο με την προσθήκη του χαρακτηριστικού `xmlns: xsi:schemaLocation` στο στοιχείο-ρίζα του εγγράφου.

Βασική Δομή Εγγράφου XML

Όπως φαίνεται στο παράδειγμα παραπάνω (Εικόνα 2.3), ένα καλά-διαμορφωμένο έγγραφο XML ξεκινά με δήλωση προλόγου που καθορίζει τις πληροφορίες που απαιτούνται για την ερμηνεία του εγγράφου, όπως η έκδοση XML και η κωδικοποίηση του εγγράφου (γραμμή 1). Το υπόλοιπο κομμάτι ενός εγγράφου XML αποτελεί ένα ιεραρχικό δέντρο που αποτελείται από κόμβους XML (Εικόνα 2.4). Αυτοί οι κόμβοι ανήκουν πάντοτε σε έναν από τους τέσσερις δυνατούς τύπους:

- **Στοιχείο XML (XML Element):** Σήμανση ή περιεχόμενο που περικλείεται από μια αρχική και μια τελική ετικέτα (tag). Τα Στοιχεία XML μπορεί να έχουν κόμβους-παιδιά με βάση τα 4 είδη που αναφέραμε πριν (άρα ένα στοιχείο XML μπορεί να περιλαμβάνει και άλλα στοιχεία XML). Οι ετικέτες εν γένει είναι σημασιολογικές κατασκευές που αρχίζουν με ανοικτό σύμβολο αγκύλης (<) και τελειώνουν με κλειστό σύμβολο αγκύλης (>). Ένα στοιχείο XML συνήθως αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη οντότητα του πεδίου (domain) που καλύπτεται από το XML έγγραφο.
- **Χαρακτηριστικό XML (XML Attribute):** Προαιρετικό ζεύγος κλειδιού-τιμής που ενσωματώνεται σε αρχικές ετικέτες στοιχείων, και δεν μπορεί να έχει κόμβους-παιδιά. Ένα ζεύγος κλειδιού-τιμής αντιπροσωπεύει ένα χαρακτηριστικό / μια ιδιότητα και την τιμή του / της για την οντότητα που το περιλαμβάνει (δηλ. το αντίστοιχο στοιχείο XML που το περικλείει).
- **Σχόλιο XML:** Κείμενο αγνοούμενο από το λογισμικό που επεξεργάζεται τα έγγραφα XML. Το κείμενο επιτρέπει την αφήγηση ενός αναγνώσιμου σημειώματος σχετικά με το έγγραφο. Το σημείωμα αυτό συνήθως αφορά το σημείο του εγγράφου στο οποίο τοποθετείται (δηλ. επεξηγεί έναν συγκεκριμένο κόμβο του εγγράφου). Τα σχόλια XML δεν μπορούν να έχουν κόμβους-παιδιά.
- **Κείμενο XML:** Περιέχει το περιεχόμενο κειμένου εντός ενός στοιχείου και δεν μπορεί να έχει κόμβους-παιδιά. Τα δυαδικά δεδομένα πρέπει να κωδικοποιούνται επιπρόσθετα. Τα δεδομένα συνήθως αποτελούν τη κειμενική περιγραφή της οντότητας που περιβάλλουν.

Το δέντρο XML μπορεί να περιλαμβάνει δύο διαφορετικές κλάσεις κόμβων: (1) κόμβους που μπορεί να έχουν κόμβους-παιδιά και (2) φύλλα κόμβων χωρίς άλλους κόμβους κάτω από αυτούς στη δομή του εγγράφου (π.χ. κόμβοι σχολίων, κειμένου και χαρακτηριστικών) (Le Hors et al. 2004). Κάθε μη-φύλλο κόμβος μπορεί να έχει πολλαπλούς κόμβους-παιδιά, ξεκινώντας με ακριβώς ένα ριζικό στοιχείο XML στο υψηλότερο επίπεδο ιεραρχίας του εγγράφου.



Εικόνα 2.4: Το δένδρο XML για το XML έγγραφο της εικόνας 2.3

Πηγή: *Internet Computing* (Sunyaev, 2020)

Στο τρέχων παράδειγμα (Εικόνα 2.4), το στοιχείο book (δηλ. ένα συγκεκριμένο βιβλίο / συγκεκριμένη οντότητα βιβλίου) αντιπροσωπεύει τη ρίζα του εγγράφου, που δηλώνεται ή ανοίγει με την αρχική ετικέτα <book ...> (γραμμή 2) και κλείνει με την τελευταία ετικέτα </book> (γραμμή 13), η οποία εγκλωβίζει ολόκληρο το περιεχόμενο του εγγράφου. Τα στοιχεία XML έχουν πάντα αρχική και τελική ετικέτα. Αν το στοιχείο έχει κάποιο είδος περιεχομένου (π.χ. κόμβοι-παιδιά ή κείμενο), το περιεχόμενο τοποθετείται μεταξύ δύο ετικετών στη μορφή <όνομαΕτικέτας> ... </όνομαΕτικέτας>.

Ένα στοιχείο XML μπορεί να ανοίξει και να κλείσει ταυτόχρονα με την ίδια ετικέτα (<όνομαΕτικέτας/>), και, ως εκ τούτου, ο κόμβος-στοιχείο δεν θα έχει περιεχόμενο σε αυτήν την περίπτωση, αλλά μπορεί να έχει κόμβους χαρακτηριστικά. Εάν ένα στοιχείο έχει κόμβους-παιδιά, οι σχετικές ετικέτες πρέπει να είναι σωστά εμφωλευμένες, δηλαδή οι ετικέτες πρέπει να ανοίγουν και να κλείνουν με αντίστροφη σειρά (δηλ. ανοίγουμε ετικέτες ιεραρχικά προς τα κάτω και τις κλείνουμε ιεραρχικά προς τα πάνω).

2.1.4 Αρχιτεκτονικές Υπηρεσιών Ιστού³

Αναλύονται παρακάτω τα αρχιτεκτονικά θεμέλια των υπηρεσιών ιστού, συμπεριλαμβανομένου του πρότυπου σχεδιασμού αρχιτεκτονικής που βασίζεται σε υπηρεσίες (service-oriented), καθώς και οι εσωτερικές και εξωτερικές προοπτικές αρχιτεκτονικής υπηρεσιών ιστού. Επίσης, ερευνώνται και συγκρίνονται δύο ευρέως διαδεδομένες παραλλαγές υπηρεσιών ιστού, δηλαδή οι υπηρεσίες ιστού που

³ Η ενότητα βασίζεται στο βιβλίο *Internet Computing* (Sunyaev, 2020)

βασίζονται στο αρχιτεκτονικό πρότυπο REST και αυτές που βασίζονται στο πρότυπο SOAP.

2.1.4.1 Αρχιτεκτονική προσανατολισμένη στις υπηρεσίες (Service-Oriented Architecture - SOA)

Η ιδέα της υπηρεσίας Ιστού είναι στενά συνδεδεμένη με ένα πρότυπο σχεδιασμού συστήματος που ονομάζεται αρχιτεκτονική προσανατολισμένη στις υπηρεσίες (SOA), η οποία μπορεί να υλοποιηθεί μέσω τεχνολογιών υπηρεσίας Ιστού. Ειδικότερα, η SOA αντιστοιχεί σε μια περιληπτική αρχιτεκτονική πληροφοριακών συστημάτων, που παραδίδει υπηρεσίες μέσω δημοσιευμένων και ανιχνεύσιμων διεπαφών πελατών. Οι πελάτες μπορούν να είναι είτε εφαρμογές που καταναλώνουν άμεσα τους παρεχόμενους πόρους ή άλλες υπηρεσίες που συνθέτουν διαφορετικούς πόρους σε νέες προσφορές πιο σύνθετων υπηρεσιών προστιθέμενης αξίας. Η SOA ουσιαστικά ορίζει τις υπηρεσίες, τα σχετικά δομικά στοιχεία και την υποδομή πληροφορικής, που καθιστά δυνατή τη σύνθεση εφαρμογών από υπηρεσίες γραμμένες σε διαφορετικές γλώσσες προγραμματισμού, που παρέχονται από διαφορετικούς παραγωγούς ή έχουν αναπτυχθεί σε διάφορες πλατφόρμες υλικού και λογισμικού.

Μια υπηρεσία στο πλαίσιο SOA, μπορεί να περιγραφεί ως αναπαράσταση μιας επαναληπτικής επιχειρηματικής δραστηριότητας που έχει ένα καλά καθορισμένο αποτέλεσμα, ενώ είναι αυτόνομη και μπορεί να αποτελείται από άλλες υπηρεσίες. Μια υπηρεσία αποτελεί μαύρο κουτί («black box»⁴) για τους καταναλωτές της υπηρεσίας (The Open Group 2009) διότι δεν είναι διαθέσιμος ο πηγαίος κώδικάς της αλλά είναι δυνατή η εκτέλεσή της γνωρίζοντας μόνο το URL της και την τεχνική της διεπαφή. Στην πράξη, αυτός ο ορισμός συνήθως μεταφράζεται σε ένα μέρος λογισμικού που εκτελεί μια επαναλαμβανόμενη δραστηριότητα με ένα καλά καθορισμένο αποτέλεσμα.

Με στόχο να διευκολύνουν την ενσωμάτωσή τους, η συμπεριφορά αυτών των υπηρεσιών πρέπει να είναι αυτοπεριγραφική σε σχέση με την απαιτούμενη είσοδο προς εκτέλεσή τους και την αναμενόμενη έξοδο που αυτές παράγουν. Για παράδειγμα, μια εταιρεία πιστωτικών καρτών μπορεί να παρέχει μια υπηρεσία που ελέγχει την εγκυρότητα του αριθμού μιας πιστωτικής κάρτας, όπου η εκτεθειμένη περιγραφή της υπηρεσίας θα καθόριζε μια είσοδο για την υπηρεσία, δηλαδή έναν αριθμό πιστωτικής κάρτας και η έξοδος θα ήταν μια απλή εκτίμηση, όπως ένα έγκυρο ή μη αποτέλεσμα. Η βάση δεδομένων όπου γίνεται η πρόσβαση ή το πώς υλοποιείται η διαδικασία ανάκτησης, δεν είναι τεκμηριωμένο γεγονός, ούτε ενδιαφέρει ιδιαίτερα τον καταναλωτή της υπηρεσίας. Το μόνο πράγμα που έχει σημασία είναι πως η υπηρεσία έχει αναμενόμενο αποτέλεσμα για μια συγκεκριμένη είσοδο. Κατά συνέπεια, σε αντίθεση με τις εκτεθειμένες διεπαφές της υπηρεσίας, η πραγματική υλοποίηση της υπηρεσίας συνήθως παραμένει ως ένα μαύρο κουτί, δηλαδή οι είσοδοι και οι έξοδοι είναι ευδιάκριτες, ενώ οι εσωτερικές λειτουργίες είναι κρυμμένες.

⁴ black box: όταν μια συσκευή, σύστημα ή αντικείμενο παράγει χρήσιμες πληροφορίες χωρίς να αποκαλύπτει καμία πληροφορία σχετικά με την εσωτερική λειτουργία του

Πέρα από μια προβλέψιμη λειτουργικότητα, οι υπηρεσίες δεν περιορίζονται σε σχέση με το βαθμό λεπτομέρειας (granularity). Μια υπηρεσία μπορεί να εκτελεί μια απλή επιχειρηματική λειτουργία ή μια υψηλού επιπέδου πολύπλοκη (επιχειρηματική) διαδικασία, που αποτελείται από πολλές άλλες υπηρεσίες. Ωστόσο, σημαντική είναι η αρθρότητα (modularity) της υποκείμενης λειτουργικότητας. Αυτό σημαίνει ότι η λειτουργικότητα είναι χρήσιμη για πολλαπλούς πελάτες ή σε διαφορετικές περιπτώσεις εφαρμογών, ώστε να μπορεί να υλοποιηθεί ως αυτοτελής, επαναλαμβανόμενο κομμάτι λογισμικού. Για παράδειγμα, στην επικύρωση αριθμού πιστωτικής κάρτας μπορεί επίσης να περιλαμβάνεται έλεγχος της συσχέτισης του πελάτη με τον αριθμό της πιστωτικής κάρτας και της εγκυρότητας στοιχείων του τραπεζικού λογαριασμού, κάτι που απαιτεί να αιτηθούν πληροφορίες από άλλο σύστημα.

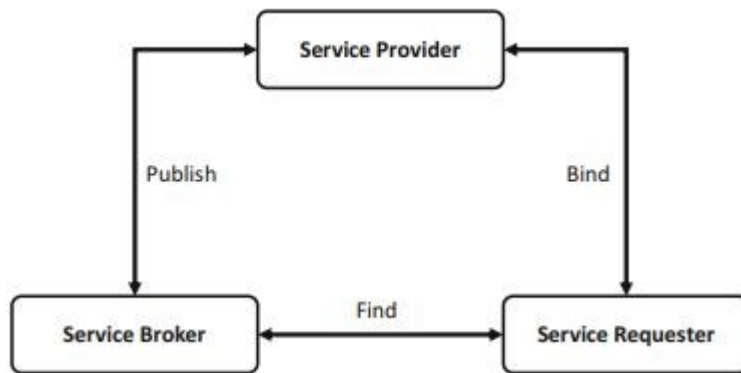
Εκτείνοντας την έννοια της υπηρεσίας, η SOA περιγράφει μια πρότυπη αρχιτεκτονική δομή που διευκολύνει την ανακάλυψη και τη χρήση υπηρεσιών, διατηρώντας τη χαλαρή σύνδεση μεταξύ παρόχων υπηρεσιών και καταναλωτών (Huhns & Singh, 2005). Η δομή αυτή, το επονομαζόμενο τρίγωνο της SOA (SOA triangle), αποτελείται από τρία στοιχεία: (1) τον πάροχο υπηρεσίας (service provider), (2) τον μεσολαβητή υπηρεσίας (service broker) και (3) τον αιτούντα της υπηρεσίας (service requester).

Ο πάροχος υπηρεσίας φιλοξενεί υπηρεσίες και εκθέτει διεπαφές που επιτρέπουν στον αιτούντα της υπηρεσίας να έχει πρόσβαση σε αυτές τις υπηρεσίες. Η περιγραφή αυτών των διεπαφών των υπηρεσιών και όλων των άλλων μέσων που απαιτούνται για την πρόσβαση στην υπηρεσία, δημοσιεύεται σε καταλόγους που φιλοξενούνται από τον μεσολαβητή υπηρεσιών. Ένας αιτούντας υπηρεσίας, μπορεί να θέσει ερωτήματα στον κατάλογο του μεσολαβητή για να βρει μια προσφορά υπηρεσιών με τα χαρακτηριστικά που ταιριάζουν στις ανάγκες και προτιμήσεις του.

Μόλις υπάρξει ένα ταίριασμα, ο μεσολαβητής υπηρεσιών περνά τις απαραίτητες πληροφορίες σχετικά με την υπηρεσία στον αιτούντα, ο οποίος μπορεί στη συνέχεια να δεσμεύσει (bind) τη διεπαφή της υπηρεσίας και να καλέσει την υπηρεσία αυτή. Αυτή η διαχωριστική προσέγγιση των παρόχων υπηρεσιών και των αιτούντων υπηρεσιών είναι αυτό που καθιστά την Αρχιτεκτονική Υπηρεσιών (SOA) ιδιαίτερα επικεντρωμένη στις υπηρεσίες, αντί στον πάροχο, καθώς το τελευταίο θα σήμαινε μια περιορισμένη ικανότητα επαναχρησιμοποίησης επιχειρηματικών διαδικασιών. Με βάση αυτήν την δομή, είναι εφικτό να υπάρχουν πολλοί πάροχοι που προσφέρουν την ίδια υπηρεσία, καθώς και να προστίθενται ή να αντικαθίστανται διάφοροι παροχείς υπηρεσιών που προσφέρουν την ίδια υπηρεσία χωρίς να επηρεάζεται ο αιτούντας της υπηρεσίας.

Επισημαίνεται πως ένας οργανισμός μπορεί να διαδραματίζει έναν ή παραπάνω από τρεις προαναφερόμενους ρόλους, (1) το ρόλο του παρόχου, προσφέροντας μια σχετική υπηρεσία, (2) το ρόλο του αιτούντα, καταναλώνοντας έτσι κάποια άλλη υπηρεσία και (3) το ρόλο του μεσολαβητή, φιλοξενώντας κάποια υπηρεσία. Επιπλέον, οι αιτούντες υπηρεσιών μπορούν να εντοπίζουν αυτόματα τις σχετικές υπηρεσίες και τους παρόχους υπηρεσιών που πραγματικά χρειάζονται εφόσον ο μεσολαβητής παρέχει κατάλληλες υπηρεσίες ανακάλυψης (service discovery services). Αυτό το

δυναμικό τρίγωνο δημοσίευσης-εύρεσης-δέσμευσης που περιγράφεται από την SOA (εικ. 2.4), επιτρέπει την κατασκευή εξαιρετικά ευέλικτων και αξιόπιστων υποδομών πληροφορικής, ιδανικών για τον συνδυασμό ή την ολοκλήρωση διαφορετικών συστημάτων (Parazoglou & Georgakopoulos, 2008) . Επιπλέον, με τον τρόπο αυτό, μειώνεται η προσπάθεια παροχής και κατανάλωσης υπηρεσιών στον Παγκόσμιο Ιστό.

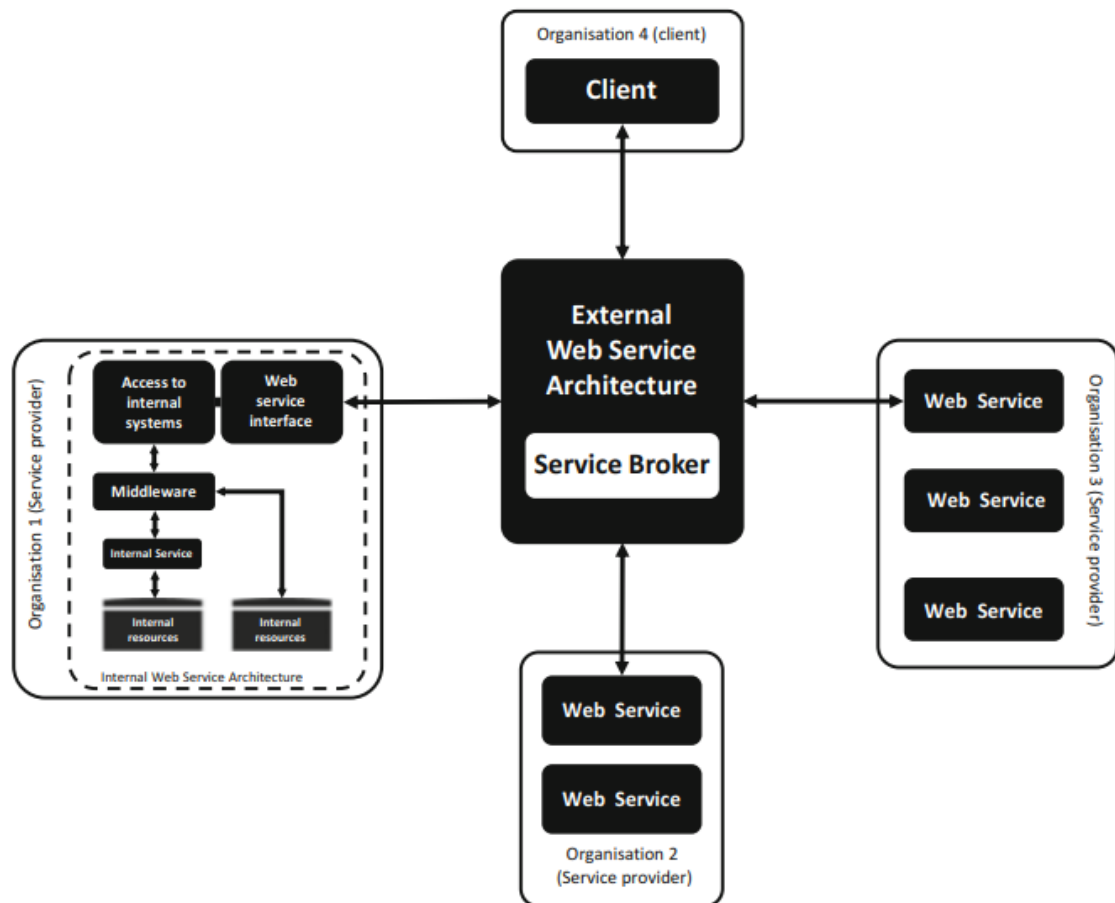


Εικόνα 2.5: Το τρίγωνο της SOA

Πηγή: Internet Computing (Sunyaev, 2020)

2.1.4.2 Προοπτικές εσωτερικής και εξωτερικής αρχιτεκτονικής υπηρεσιών Ιστού

Ο κύριος σκοπός της υπηρεσίας ιστού είναι να εκθέσει τις εξωτερικές λειτουργίες ή τους πόρους ενός συστήματος πληροφορικής, έτσι ώστε οι πελάτες να μπορούν να τις/τους επικαλούνται ή να τις/τους ανακτούν μέσω δικτύου. Επομένως, οι υπηρεσίες ιστού χρειάζονται για τη δυνατότητα λήψης εισερχόμενων αιτημάτων καθώς και για τη μετάδοση αυτών των αιτημάτων σε ένα υποκείμενο σύστημα πληροφορικής. Στο σύστημα αυτό, εσωτερικές υπηρεσίες, εφαρμογές και πόροι χρησιμοποιούνται για την εκπλήρωση του αιτήματος και παράγουν μια εξερχόμενη απόκριση. Από αρχιτεκτονική άποψη, αυτή η σύντομη περιγραφή αποκαλύπτει δύο προοπτικές, δηλαδή την εσωτερική και την εξωτερική. Όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 2.6, η εσωτερική αρχιτεκτονική της υπηρεσίας Ιστού ενσωματώνει τις εσωτερικές λειτουργίες και τους πόρους που περιγράφονται από τη διεπαφή της υπηρεσίας ιστού, ενώ η εξωτερική αρχιτεκτονική διευκολύνει την πρόσβαση των εξωτερικών πελατών σε αυτή τη διεπαφή. Η αρχιτεκτονική μπορεί, επομένως, να περιγραφεί ως ο συνδυασμός δύο διαφορετικών ενδιάμεσων αρχιτεκτονικών, που μοιράζονται μια κοινή διεπαφή υπηρεσίας.



Εικόνα 2.6: Εσωτερική και εξωτερική αρχιτεκτονική υπηρεσιών ιστού

Πηγή: *Internet Computing* (Sunyaev, 2020)

Η εσωτερική αρχιτεκτονική των υπηρεσιών ιστού χρησιμοποιεί συμβατικές έννοιες ενδιαμέσου λογισμικού για την πρόσβαση στις εσωτερικές λειτουργίες και τους πόρους του υποκείμενου συστήματος. Οι αλληλεπιδράσεις με αυτές τις λειτουργίες και οι πόροι συνήθως δεν εκτελούνται (άμεσα) από τις υπηρεσίες Ιστού διεπαφής, αλλά μέσω των μεταγενέστερων επιπέδων ενδιαμέσου λογισμικού. Μια διεπαφή υπηρεσίας Ιστού συνήθως δέχεται μόνο εισερχόμενα μηνύματα. Η άμεση προγραμματιστική λογική πίσω από τον χειρισμό της συσκευασίας (packaging) και της αποσυσκευασίας (unpackaging) των μηνυμάτων, τα μεταφράζει σε κατανοητή μορφή σε σχέση με εκείνη του παρακείμενου ενδιαμέσου λογισμικού επιπέδου.

Αυτό το ενδιαμέσο λογισμικό είτε έχει άμεση πρόσβαση στις εσωτερικές λειτουργίες και στους πόρους, είτε αλληλεπιδρά με πρόσθετα αφηρημένα επίπεδα υπηρεσιών, τα οποία μπορεί να αποτελούν σύνθεση υψηλότερης τάξης υπηρεσιών και πόρων. Η εσωτερική αρχιτεκτονική της υπηρεσίας ιστού, μπορεί να περιγράφει ένα πολύπλοκο σύστημα πολλαπλών επιπέδων, στο οποίο οι υπηρεσίες στοιβάζονται πάνω από άλλες υπηρεσίες, εφαρμογές και πόρους. Ωστόσο, από αρχιτεκτονική άποψη, εφαρμόζοντας μια εσωτερική αρχιτεκτονική υπηρεσίας ιστού, απαιτείται ένα επιπλέον

επίπεδο πάνω από τα υπάρχοντα επίπεδα ενδιάμεσου λογισμικού, για την παροχή της δυνατότητας επικοινωνίας μέσω πρότυπων πρωτοκόλλων ιστού και ερμηνείας των μορφών των μηνυμάτων ιστού (δηλ. το επίπεδο των διεπαφών των εξωτερικών υπηρεσιών ιστού που εκτίθενται).

Η αρχιτεκτονική εξωτερικών υπηρεσιών Ιστού διευκολύνει την πρόσβαση στις εσωτερικές υπηρεσίες που εκτίθενται από τη διεπαφή της υπηρεσίας ιστού. Παρόμοια με την εσωτερική, η εξωτερική αρχιτεκτονική μπορεί ουσιαστικά να περιγραφεί ως ενδιάμεσο λογισμικό που λειτουργεί ως μεσολαβητής μεταξύ παρόχων υπηρεσιών και καταναλωτών υπηρεσιών. Για την απόκτηση πρόσβασης σε μια συγκεκριμένη υπηρεσία ιστού, ο καταναλωτής πρέπει να διαβιβάσει ένα αίτημα στον πάροχο. Ο πάροχος μπορεί στη συνέχεια να αποδεχτεί το αίτημα και να εκτελέσει τις επιθυμητές υπηρεσίες. Θεωρητικά, αυτή η ανταλλαγή απαιτεί μόνο μία αρχική σύμβαση (initial contract) μεταξύ του παρόχου και του καταναλωτή που ορίζει τις απαραίτητες παραμέτρους ανταλλαγής (π.χ. τοποθεσία εξυπηρέτησης, διαθέσιμες λειτουργίες, μορφή μηνύματος). Σε αυτή την περίπτωση, τυχόν πρόσθετοι μεσάζοντες θα μπορούσαν να θεωρηθούν περιττοί (αν και σημειώνουμε πως μπορεί να χρειαστεί η ανακάλυψη των υπηρεσιών που παρέχεται από έναν μεσολαβητή). Επιπλέον, η εξωτερική αρχιτεκτονική μπορεί να αποτελείται μόνο από μια υποδομή πρωτοκόλλου που συντονίζει τις αλληλεπιδράσεις και τη σύνθεση διαφόρων υπηρεσιών ιστού (π.χ. πρωτόκολλα peer-to-peer).

Ωστόσο, όπως περιγράφηκε προηγουμένως, η SOA παρέχει πειστικά επιχειρήματα για πρόσθετες οντότητες που αποσυνδέουν τις υπηρεσίες από τους καταναλωτές τους για αυξημένη αξιοπιστία, ευελιξία και ευκολία. Αυτές οι οντότητες, οι οποίες μπορούν να θεωρηθούν ένα μέρος της εξωτερικής αρχιτεκτονικής μιας υπηρεσίας Ιστού, μπορεί να λάβουν τη μορφή ενός κεντρικού μεσολαβητή υπηρεσιών (central service broker). Ο ρόλος του μεσολαβητή υπηρεσιών ποικίλλει ανάλογα με την ιδιαίτερη εφαρμογή του. Επίσης, μπορεί να μειώσει τις αλληλεξαρτήσεις μεταξύ των υπηρεσιών Ιστού και των καταναλωτών υπηρεσιών, μέχρι ένα σημείο στο οποίο οποιαδήποτε αλλαγή σε μια υπηρεσία Ιστού (π.χ. τοποθεσία δικτύου), ή ακόμα και οι διακοπές παρόχου, μπορεί να είναι επανορθώσιμες χωρίς παρεμβάσεις των καταναλωτών, προσαρμόζοντας την προγραμματιστική λογική των μεσολαβητών (π.χ. ανακατεύθυνση αιτημάτων σε διαφορετική τοποθεσία ή διαφορετική υπηρεσία Ιστού).

Η κατανόηση της διαφοράς μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής αρχιτεκτονικής είναι σημαντική για την κατανόηση της έννοιας της υπηρεσίας Ιστού και των εφαρμογών της. Όπως φαίνεται παραπάνω, και οι δύο αρχιτεκτονικές προοπτικές έχουν ξεχωριστούς σκοπούς, οι οποίοι έχουν ως αποτέλεσμα διακριτές τεχνολογικές απαιτήσεις. Ενώ ορισμένες τεχνολογίες υπηρεσιών Ιστού στοχεύουν ουσιαστικά σε θέματα εσωτερικής αρχιτεκτονικής (πχ. Web Services Security framework (Oracle)), άλλες τεχνολογίες (πχ. CommunicationBitTorrent⁵) είναι περισσότερο κατάλληλες για την υλοποίηση εξωτερικών αρχιτεκτονικών υπηρεσιών Ιστού. Η απρόσκοπτη

⁵ <https://iq.opengenus.org/bittorrent-architecture/>

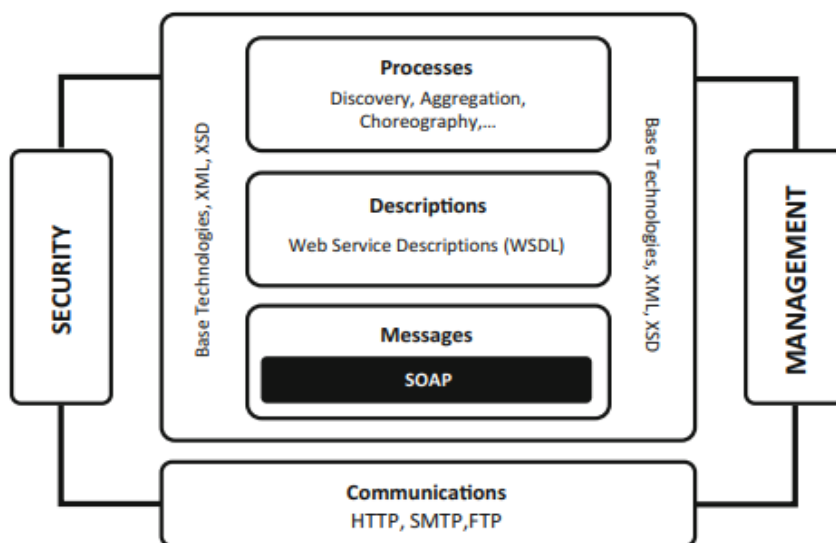
αλληλεπίδραση μεταξύ αυτών των αρχιτεκτονικών συνήθως επιτυγχάνεται με τη χρήση καθιερωμένων προτύπων Ιστού, όπως XML και HTTP.

2.1.5 Είδη υπηρεσιών ιστού⁶

2.1.5.1 Υπηρεσίες ιστού βασισμένες στο SOAP

Μια SOAP (Simple Object Access Protocol) υπηρεσία ιστού, χρησιμοποιείται για την ανταλλαγή μηνυμάτων όπου η δομή και μορφή τους διαμορφώνεται από την XML. Η περιγραφή της υπηρεσίας, ειδικότερα όσον αφορά την τεχνική διεπαφή της, βασίζεται στην Γλώσσα Περιγραφής Υπηρεσιών Ιστού (Web Service Description Language - WSDL). Η αρχιτεκτονική της υπηρεσίας ιστού SOAP επιτρέπει επίσης τη σύγχρονη και την ασύγχρονη αλληλεπίδραση μεταξύ πελατών και υπηρεσιών ενώ παρέχει πρόσθετες δυνατότητες που διευκολύνουν τη δρομολόγηση, επεξεργασία συναλλαγών κ.α.

Το πρωτόκολλο μηνυμάτων SOAP αναπτύχθηκε στη Microsoft το 1998 και έγινε πρότυπο Internet Engineering Task Force (IETF) τον Σεπτέμβριο του 1999. Η έκδοση 1.2 έγινε σύσταση του W3C τον Ιούνιο του 2003. Με την κυκλοφορία της έκδοσης 1.2, το SOAP δεν είναι πλέον ακρωνύμιο, αλλά το πραγματικό όνομα του πρωτοκόλλου. Το ακρωνύμιο εγκαταλείφθηκε, καθώς το SOAP έγινε πιο περίπλοκο και μπορεί να έχει πρόσβαση σε οποιοδήποτε τύπου πόρο, όχι μόνο σε κατανεμημένα αντικείμενα, όπως υποδηλώνει το αρχικό του όνομα. Η Εικόνα 2.7 παρέχει μια εννοιολογική απεικόνιση της στοίβας της αρχιτεκτονικής υπηρεσιών ιστού SOAP.



Εικόνα 2.7: Στοίβα αρχιτεκτονικής υπηρεσιών ιστού SOAP

Πηγή: *Internet Computing* (Sunyaev, 2020)

⁶ Η ενότητα αυτή βασίζεται στο βιβλίο *Internet Computing* (Sunyaev, 2020)

Η στοίβα αρχιτεκτονικής υπηρεσιών ιστού SOAP απεικονίζει τα επίπεδα και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ διαφορετικών εννοιών και τεχνολογιών υπηρεσιών (W3C 2004). Τα μηνύματα τοποθετούνται στο κέντρο της αρχιτεκτονικής, από τη στιγμή που οι αλληλεπιδράσεις της υπηρεσίας Ιστού SOAP βασίζονται κυρίως σε μηνύματα. Τα αιτήματα και οι απαντήσεις από μια υπηρεσία ιστού ακολουθούν μια τυποποιημένη μορφή μηνύματος.

Το πρότυπο SOAP περιλαμβάνει τη μεταφορά μηνυμάτων (π.χ. HTTP, SMTP, FTP), τη κωδικοποίηση μηνυμάτων (SOAP) και την περιγραφή υπηρεσίας (WSDL). Πρόσθετα πρότυπα που ανήκουν στο επίπεδο της αρχιτεκτονικής, ορίζουν μέσα για την ασφαλή ανταλλαγή μηνυμάτων (π.χ. Web Services Security - WS Security), τη διαχείριση υπηρεσιών (π.χ. Web Service Management - WS Management), και την ανακάλυψη υπηρεσίας (UDDI). Σχετικά με τη διαχείριση υπηρεσιών, τα πρόσθετα πρότυπα προσφέρουν πλαίσια (frameworks), οδηγούς (guidelines) και βέλτιστες πρακτικές με σκοπό την αποτελεσματική διαχείριση τους. Επιπλέον, στο κομμάτι της ανακάλυψης της υπηρεσίας, αυτά τα πρότυπα διευκολύνουν την συνεχή ανακάλυψη υπηρεσιών και την πρόσβαση τους σε κατανεμημένα περιβάλλοντα, επιτρέποντας τη διαλειτουργικότητα και την ενοποίηση μεταξύ ετερογενών συστημάτων και συσκευών.

2.1.5.1.1 Ανάλυση SOAP

Μεταφορά μηνυμάτων SOAP

Για τη μεταφορά μηνυμάτων SOAP, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορα πρωτόκολλα δικτύου. Η προδιαγραφή SOAP δεν καθορίζει αυστηρά πώς θα ανταλλάσσονται τα μηνύματα, αλλά πώς θα δομηθούν. Κατά συνέπεια, το SOAP προδιαθέτει έναν επεκτάσιμο μηχανισμό σύνδεσης, ο οποίος του επιτρέπει να χρησιμοποιεί οποιοδήποτε υποκείμενο πρωτόκολλο μεταφοράς. Τα πλαίσια SOAP συνήθως προσφέρουν δεσμεύσεις για καθιερωμένα πρωτοκολλα, όπως HTTP, SMTP και FTP. Για τη δέσμευση HTTP (HTTP binding), υπάρχει δυνατότητα χρήσης των μεθόδων HTTP GET και POST κατά την ανταλλαγή των μηνυμάτων. Ωστόσο, εφόσον χρησιμοποιείται η μέθοδος HTTP GET, τότε το μήνυμα αίτησης δεν μπορεί να έχει ουσιαστικό σώμα - αυτό αποκλείει επομένως τη χρήση της για την ανταλλαγή μηνυμάτων μέσω SOAP. Επομένως, δεν υπάρχει υποστήριξη για τη χρήση της μεθόδου αυτής από τις περισσότερες πλατφόρμες ενδιάμεσου λογισμικού. Οι διαθέσιμες δεσμεύσεις προσδιορίζονται στην περιγραφή μιας συγκεκριμένης υπηρεσίας ιστού (δηλ. στο WSDL αρχείο της).

Επεξεργασία μηνυμάτων SOAP

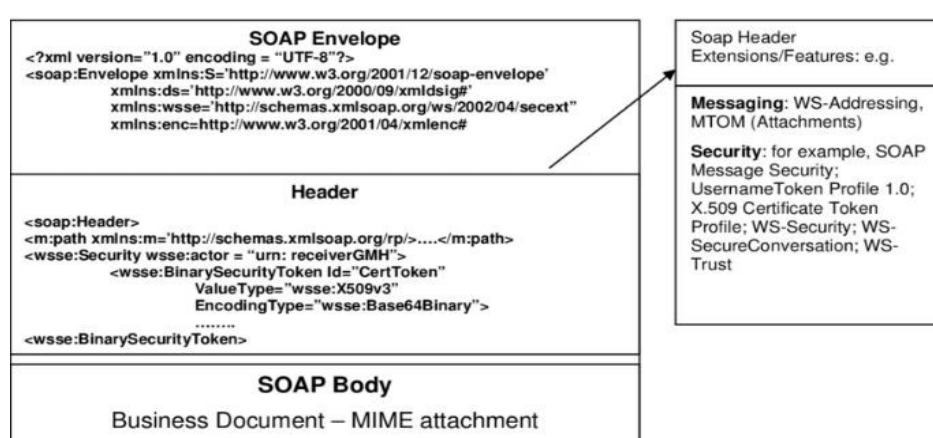
Οι SOAP υπηρεσίες ιστού λειτουργούν σύμφωνα με ένα μοντέλο κατανεμημένης επεξεργασίας που αποτελείται από πολλά στοιχεία. Οι πελάτες δημιουργούν μηνύματα SOAP που αποστέλλονται σε υπηρεσίες ιστού. Αυτά τα μηνύματα

αποτελούνται από ένα σώμα και μια προαιρετική κεφαλίδα. Ένα μήνυμα SOAP μπορεί να περάσει από πολλούς μεσολαβητές, οι οποίοι κάνουν λήψη, επεξεργασία και πιθανή αλλαγή του μηνύματος. Αυτοί οι μεσολαβητές μπορούν να ταξινομηθούν σε προωθούμενους μεσολαβητές (forwarding intermediaries) και σε ενεργούς μεσολαβητές (active intermediaries). Ένας προωθούμενος μεσολαβητής αναμεταδίδει το μήνυμα στη διαδρομή προς τον τελικό δέκτη, το οποίο μπορεί δυναμικά να καθορίζεται με βάση μια συγκεκριμένη στρατηγική δρομολόγησης. Ένας τέτοιος ενδιάμεσος κόμβος μπορεί να επεξεργαστεί και να αλλάξει ορισμένες κεφαλίδες (αλλά όχι το σώμα του μηνύματος). Καθορίζοντας ένα πρόσθετο χαρακτηριστικό ρόλου στο πεδίο κεφαλίδας, ο αποστολέας μπορεί να ελέγξει ποιος μεσολαβητής (αυτού του είδους) θα πρέπει να επεξεργαστεί ποια κεφαλίδα.

Από την άλλη μεριά, ένας ενεργός μεσολαβητής, μπορεί να αλλάξει το σώμα ενός SOAP μηνύματος, πράγμα το οποίο μπορεί να μην έχει καθοριστεί στην κεφαλίδα. Ουσιαστικά, οι υπηρεσίες που μπορεί να παρέχει ένας τέτοιος μεσολαβητής είναι η καταγραφή, η τροποποίηση περιεχομένου, η ιχνηλάτηση και η ασφάλεια (Web Services Architecture, 2004).

Μορφή μηνύματος SOAP

Ένα μήνυμα SOAP, το οποίο μπορεί να είναι αίτημα πελάτη ή απόκριση υπηρεσίας Ιστού, είναι έγκυρο XML έγγραφο που χρησιμοποιεί τον προεπιλεγμένο φάκελο (envelope) SOAP (<http://www.w3.org/2003/05/SOAP-envelope>) στον χώρο ονομάτων (namespace). Το ριζικό στοιχείο του εγγράφου είναι ο φάκελος (envelope) SOAP, ο οποίος πρέπει να αντιστοιχιστεί στον επώνυμο χώρο ονομάτων και να έχει την ετικέτα envelope. Ο φάκελος εσωκλείει την κεφαλίδα και το σώμα του μηνύματος, τα οποία είναι επίσης στοιχεία XML πιστοποιημένα από τον χώρο ονομάτων φακέλου SOAP. Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 2.8) εμφανίζεται η μορφή ενός μηνύματος SOAP.



Εικόνα 2.8: Δομικά στοιχεία ενός SOAP μηνύματος

Πηγή: *Securing SOAP Messages with a Global Message Handler and a Standardized Envelope* (Pather & Venter, 2005)

Το **στοιχείο κεφαλίδας SOAP** είναι προαιρετικό και χρησιμοποιείται για την διατήρηση συγκεκριμένων μη λειτουργικών πληροφοριών, όπως δεδομένα ελέγχου ταυτότητας και δρομολόγησης. Όταν το στοιχείο της κεφαλίδας ορίζεται, πρέπει να τοποθετηθεί αμέσως κάτω από το ριζικό στοιχείο (δηλ. το envelope), ως πρώτο παιδί του ριζικού στοιχείου. Τα παιδιά του στοιχείου κεφαλίδας πρέπει να χαρακτηρίζονται από έναν χώρο ονομάτων.

Το **στοιχείο σώματος SOAP** είναι πάντα υποχρεωτικό, καθώς περικλείει το πραγματικό περιεχόμενο του μηνύματος. Ο φορέας περιλαμβάνει, είτε τις απαιτούμενες πληροφορίες για το αίτημα που θα επικαλεστεί μια συγκεκριμένη υπηρεσία (αίτημα πελάτη), ή τα δεδομένα που δημιουργήσε ως απόκριση (απάντηση υπηρεσίας ιστού) μια τέτοια επίκληση. Τα SOAP στοιχεία του σώματος δεν πρέπει απαραίτητα να χαρακτηρίζονται από έναν χώρο ονομάτων. Η πραγματική δομή του περιεχομένου του σώματος εξαρτάται από το στυλ αλληλεπίδρασης (δηλ. RPC ή document), το πρωτόκολλο μεταφοράς που χρησιμοποιείται και τις προδιαγραφές της μεμονωμένης υπηρεσίας ιστού που προσδιορίζονται μέσω του WSDL αρχείου της.

Στο παρακάτω παράδειγμα (Εικόνα 2.9), ένας πελάτης στέλνει ένα μήνυμα στη SOAP υπηρεσία ιστού που παρέχει λειτουργίες ψηφιακής βιβλιοθήκης. Ο πελάτης ζητά το όνομα του πρώτου ατόμου που αναφέρεται ως συγγραφέας του βιβλίου με το ISBN καλώντας την λειτουργία GetFirstAuthor, της οποίας η υλοποίηση δεν είναι εμφανίσιμη στον πελάτη. Αφού ο διακομιστής (δηλ. η υπηρεσία) επεξεργαστεί το αίτημα και βρεθεί ένα αντίστοιχο βιβλίο, ένα στοιχείο με το όνομα του πρώτου συγγραφέα επιστρέφεται στον πελάτη (Εικόνα 2.10). Μέσα στην κεφαλίδα HTTP, η απάντηση περιέχει έναν κωδικό κατάστασης που υποδεικνύει την επιτυχία της αίτησης, δηλαδή 200 OK.

```
1 POST /Library HTTP/1.1
2 Host:example.org
3 Content-Type: application/soap+xml; charset=utf-8
4 Content-Length: 1234
5
6 <?xml version="1.0"?>
7 <soap:Envelope
8   xmlns:soap="http://www.w3.org/2003/05/soap-envelope/"
9   <soap:Body xmlns:lib="http://www.example.org/library">
10     <lib:GetFirstAuthor>
11       <lib:ISBN>978-3-86680-192-9</lib:ISBN>
12     </lib:GetFirstAuthor>
13   </soap:Body>
14 </soap:Envelope>
```

Εικόνα 2.9: Παράδειγμα ενός SOAP HTTP αιτήματος

Πηγή: Internet Computing (Sunyaev, 2020)


```
1 HTTP/1.1 200 OK
2 Content-Type: application/soap+xml; charset=utf-8
3 Content-Length: 1234
4
5 <?xml version="1.0"?>
6 <soap:Envelope
7   xmlns:soap="http://www.w3.org/2003/05/soap-envelope/"
8   <soap:Body xmlns:lib="http://www.example.org/library ">
9     <lib:GetFirstAuthorResponse>
10       <lib:Author>Sunyaev, Ali</lib:Author>
11     </lib:GetFirstAuthorResponse>
12   </soap:Body>
13 </soap:Envelope>
```

Εικόνα 2.10: Παράδειγμα μιας SOAP HTTP απάντησης

Πηγή: Internet Computing (Sunyaev, 2020)

2.1.5.1.2 Γλώσσα Περιγραφής SOAP Υπηρεσιών (WSDL)

Οι υπηρεσίες Ιστού SOAP συνήθως παρέχουν μια αυτο-περιγραφή τους χρησιμοποιώντας την WSDL. Η βασική ιδέα της έννοιας της WSDL, είναι ότι δεν καθιστάται απαραίτητο για τους πελάτες να έχουν οποιαδήποτε γνώση σχετικά με την πραγματική εφαρμογή της υπηρεσίας Ιστού. Αναλυτικότερα, το μόνο που οι πελάτες πρέπει να γνωρίζουν είναι τι είδους μηνύματα μπορούν να στέλνουν και τι είδους απαντήσεις μπορεί να αναμένουν. Επισημαίνεται, λοιπόν, ότι όλες οι λεπτομέρειες της μορφής του μηνύματος, καθώς και οι μηχανισμοί μέσω των οποίων είναι δυνατή η πρόσβαση στην υπηρεσία Ιστού, δηλαδή το υποκείμενο πρωτόκολλο και η τοποθεσία της υπηρεσίας, πρέπει να καθοριστούν. Κατά συνέπεια, η WSDL είναι πιο λεπτομερής από άλλες γλώσσες περιγραφής διεπαφών, όπως η διεπαφή Γλώσσας περιγραφής (IDL).

Ένα αρχείο WSDL είναι ένα έγγραφο XML που παραθέτει και εξηγεί τις μεμονωμένες λειτουργίες/μεθόδους που παρέχονται από μια υπηρεσία Ιστού. Μια περιγραφή υπηρεσίας περιλαμβάνει το όνομα και τη συγκεκριμένη τοποθεσία της υπηρεσίας, την αναμενόμενη μορφή μηνύματος αιτήματος και την αναμενόμενη μορφή μηνύματος απάντησης (W3C 2007). Όπως φαίνεται στο παράδειγμα στην Εικόνα 2.11, η ρίζα του εγγράφου WSDL είναι ένα απλό στοιχείο περιγραφής, το οποίο καθορίζει τον προεπιλεγμένο χώρο ονομάτων <http://www.w3.org/ns/wSDL>.

Το **στοιχείο τύπου** περιγράφει τους σύνθετους τύπους δεδομένων που κατανοεί μια υπηρεσία Ιστού και χρησιμοποιούνται για την ανταλλαγή δεδομένων με τους πελάτες της. Καθορίζοντας αυστηρά όλους τους τύπους δεδομένων, τα έγγραφα WSDL διασφαλίζουν ότι τα δεδομένα που αποστέλλονται ή λαμβάνονται, ερμηνεύονται σωστά από τον αποστολέα και τον αποδέκτη. Δεδομένου ότι τα έγγραφα WSDL βασίζονται σε XML, απλοί τύποι δεδομένων μπορούν να αναφέρονται απευθείας οπουδήποτε στο έγγραφο. Πιο πολύπλοκοι τύποι δεδομένων, όπως δομές και ακολουθίες, πρέπει να οριστούν στην ενότητα <τύποι> (<types>) με τη βοήθεια ενός σχήματος XSD, το οποίο μπορεί να καθοριστεί απευθείας στην ενότητα τύπων (inline)

ή να αναφέρεται σε ένα ξεχωριστό αρχείο XSD. Στην περίπτωση που μια υπηρεσία ιστού χρησιμοποιεί μόνο απλούς τύπους δεδομένων, η ενότητα τύπων μπορεί να παραληφθεί από το έγγραφο WSDL.

Το **στοιχείο διεπαφής** (interface) περιγράφει όλες τις λειτουργίες που προσφέρει μια υπηρεσία ιστού στους πελάτες. Ένα στοιχείο <διεπαφή> περιλαμβάνει στοιχεία-παιδιά λειτουργιών. Κάθε στοιχείο <λειτουργία> περιλαμβάνει ένα ή περισσότερα μηνύματα, τα οποία είναι ομαδοποιημένα σε εισερχόμενα αιτήματα πελατών (<είσοδος>), απαντήσεις εξερχόμενων υπηρεσιών(<έξοδος>), καθώς και εισερχόμενα και εξερχόμενα μηνύματα σφάλματος (<infault> ή <outfault>). Για να γίνει αναφορά και επίκληση, οι λειτουργίες απαιτούν ένα μοναδικό αναγνωριστικό που ορίζεται από το χαρακτηριστικό του ονόματός τους.

Το **στοιχείο δέσμευσης** (binding) περιγράφει τις απαραίτητες τεχνικές λεπτομέρειες που απαιτούνται από τους πελάτες για πρόσβαση σε λειτουργίες της διεπαφής της υπηρεσίας ιστού. Τρία χαρακτηριστικά ενός στοιχείου <δέσμευσης>, δηλαδή η διεπαφή, το πρωτόκολλο και ο τύπος, δημιουργούν ένα σύνδεσμο αναφοράς μεταξύ μιας προκαθορισμένης διεπαφής, ενός πρωτοκόλλου μεταφοράς (πχ. HTTP) και ενός τύπου μορφής μηνύματος (πχ. SOAP). Οι διεπαφές υπηρεσιών ιστού SOAP συνήθως συνδέονται με HTTP και χρησιμοποιούν το SOAP ως μορφή μηνύματος.

Τέλος, το **στοιχείο υπηρεσίας** καθορίζει το όνομα (ιδιότητα name) της υπηρεσίας και ορίζει τελικά σημεία (endpoints). Τα τελικά σημεία είναι στοιχεία-παιδιά του στοιχείου υπηρεσίας όπου αναφέρεται μια συγκεκριμένη σύνδεση διεπαφής (ιδιότητα binding) με ένα URI/URL (ιδιότητα address). Οι πελάτες μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιήσουν αυτό το URI για πρόσβαση σε όλες τις λειτουργίες που περιγράφονται από τη σχετική διεπαφή.

Το ακόλουθο παράδειγμα (Εικόνα 2.11) δείχνει ένα έγγραφο WSDL που ορίζει και εκθέτει την λειτουργία getFirstAuthor που χρησιμοποιείται στην Εικόνα 2.9.

```

1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2 <description
3   xmlns="http://www.w3.org/ns/wsdl"
4   targetNamespace="http://example.com/library"
5   xmlns:lib="http://example.com/library"
6   xmlns:slib="http://example.com/library/schema"
7   xmlns:soap="http://www.w3.org/ns/wsdl/soap"
8   xmlns:soap="http://www.w3.org/2003/05/soap-envelope">
9
10 <types>
11   <xs:schema
12     xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
13     targetNamespace="http://example.com/library/schema"
14     xmlns="http://example.com/library/schema">
15     <xs:element name="firstAuthorRequest" type="xsd:string"/>
16     <xs:element name="firstAuthorResponse" type="xsd:string"/>
17     <xs:element name="serviceError" type="xs:string"/>
18   </xs:schema>
19 </types>
20
21 <interface name="libraryServiceInterface">
22   <fault name="serviceFault" element="slib:serviceError"/>
23   <operation name="getFirstAuthor"
24     pattern="http://www.w3.org/ns/wsdl/in-out">
25     <input messageLabel="In" element="slib:firstAuthorRequest"/>
26     <output messageLabel="Out" element="slib:firstAuthorResponse"/>
27     <outfault messageLabel="Out" ref="lib:serviceFault"/>
28   </operation>
29 </interface>
30
31 <binding name="libraryServiceSOAPBinding"
32   interface="lib:libraryServiceInterface"
33   type="http://www.w3.org/ns/wsdl/soap"
34   soap:protocol="http://www.w3.org/2003/05/soap/bindings/HTTP/">
35   <operation ref="lib:getFirstAuthor"
36     soap:mep="http://www.w3.org/2003/05/soap/mep/soap-response"/>
37   <fault ref="lib:serviceFault" soap:code="soap:Sender"/>
38 </binding>
39
40 <service name="libraryService"
41   interface="lib:libraryServiceInterface">
42   <endpoint name="libraryServiceEndpoint"
43     binding="lib:libraryServiceSOAPBinding"
44     address="http://example.com/libraryservice"/>
45 </service>
46 </description>
47
48
49

```

Εικόνα 2.11 : Παράδειγμα μιας περιγραφής υπηρεσίας ιστού (web service description) με χρήση WSDL 2.0

Πηγή: Internet Computing (Sunyaev, 2020)

2.1.5.2 RESTful Υπηρεσίες ιστού

Το Representational State Transfer (REST) είναι ένα αρχιτεκτονικό στυλ για τον σχεδιασμό των εφαρμογών που είναι χαλαρά συνδεδεμένες μέσω του πρωτοκόλλου HTTP. Όταν αυτό χρησιμοποιείται ως βάση για τις υπηρεσίες ιστού, αυτές αναφέρονται ως RESTful. Παρόμοια με τις υπηρεσίες ιστού τύπου SOAP, οι RESTful υπηρεσίες βασίζονται στο πρότυπο αρχιτεκτονικής πελάτη-εξυπηρετητή. Οι πελάτες στέλνουν αιτήματα σε μια RESTful υπηρεσία ιστού και ανάλογα με την αιτούμενη λειτουργία, μπορεί να λάβουν μια αντίστοιχη απάντηση. Σε αντίθεση με τις υπηρεσίες SOAP, οι RESTful υπηρεσίες ιστού είναι επικεντρωμένες στην παροχή βασικών λειτουργιών ανάγνωσης, διαγραφής, ανανέωσης και δημιουργίας στους πόρους που παρέχει μια υπηρεσία. Ένας πόρος μπορεί να είναι οποιαδήποτε λογική και με νόημα έννοια, όπως δομημένα δεδομένα, κείμενα, εικόνες, επιχειρησιακά αντικείμενα, καθώς και συλλογές άλλων πόρων. Ωστόσο, οι πελάτες συνήθως δεν αλληλεπιδρούν απευθείας με τα πραγματικά ακατέργαστα δεδομένα των πόρων, αλλά με τις

αναπαραστάσεις τους. Η μετατροπή μεταξύ διαφορετικών καταστάσεων αναπαράστασης είναι καθοριστικό χαρακτηριστικό των RESTful υπηρεσιών ιστού. Η υπηρεσία μετατρέπει τους πόρους σε ένα μορφότυπο που αντιστοιχεί στις δυνατότητες και τις ανάγκες του πελάτη, καθώς και στα χαρακτηριστικά του πόρου. Δεδομένου ότι η διεπαφή της υπηρεσίας κρύβει αυτήν τη διαδικασία, οι πελάτες δεν μπορούν, ή δεν χρειάζεται, να διακρίνουν μεταξύ των πραγματικών μορφοποιήσεων των πόρων και των αναπαραστάσεών τους, που αποκαλύπτονται από τις RESTful υπηρεσίες ιστού.

Το αρχιτεκτονικό στυλ REST παρουσιάστηκε στη διατριβή του Roy Thomas Fielding με τίτλο "Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures" (Fielding, 2000), όπου εκεί περιγράφονται έξι περιορισμοί που καθορίζουν το αρχιτεκτονικό στυλ αυτό και βοηθούν στην περιγραφή των RESTful υπηρεσιών ιστού:

Πελάτης-Εξυπηρετητής (Client-server): Τα συστήματα RESTful βασίζονται σε μια αρχιτεκτονική πελάτη-εξυπηρετητή, η οποία διαχωρίζει τους πελάτες και τους εξυπηρετητές, διακρίνοντας έτσι τα θέματα της διεπαφής χρήστη από τα θέματα αποθήκευσης και επεξεργασίας δεδομένων. Η χαλαρή σύνδεση που προκύπτει μεταξύ των στοιχείων του συστήματος, επιτρέπει σε κάθε στοιχείο να κλιμακωθεί και να εξελιχθεί ανεξάρτητα. Ο εξυπηρετητής παρέχει πρόσβαση σε πληροφορίες μέσω μιας αποτελεσματικής και τυποποιημένης διεπαφής. Ο πελάτης ανακτά αυτές τις πληροφορίες και τις παρουσιάζει κατάλληλα στους χρήστες ή άλλα συστήματα. Αυτός ο περιορισμός βασίζεται σημαντικά στην παροχή μιας αξιόπιστης διεπαφής μεταξύ των στοιχείων.

Ομοιόμορφη διεπαφή (Uniform interface): Οι RESTful υπηρεσίες ιστού παρέχουν μια ομοιόμορφη διεπαφή επικοινωνίας μεταξύ των συστατικών. Ως αποτέλεσμα, οι διεπαφές των συστατικών υλοποιούνται συνήθως μέσω των URIs, τα οποία αντιστοιχούν σε πόρους και επιτρέπουν την πρόσβαση, τη δημιουργία και τον χειρισμό των πόρων αυτών του εξυπηρετητή (δηλ. της υπηρεσίας) με βάση την HTTP μέθοδο που προσδιορίζεται στο σχετικό αίτημα του πελάτη. Αυτοί οι πόροι (πχ. raw data αποθηκευμένα σε βάση δεδομένων) εκτίθενται μέσω της διεπαφής στους πελάτες, οι οποίοι μπορούν να χειριστούν τους πόρους κατά την παρουσίασή τους στους χρήστες. Επιπλέον, η ενιαία διεπαφή εξασφαλίζει ότι τα αιτήματα του πελάτη και οι απαντήσεις της υπηρεσίας είναι αυτοπεριγραφικά και παρέχουν επαρκείς πληροφορίες για να εξηγήσουν πώς πρέπει να επεξεργαστούν αυτά τα αιτήματα και απαντήσεις. Η αποτελεσματική επικοινωνία μεταξύ των συστατικών των διεπαφών, διευκολύνει την κατανόηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των στοιχείων εντός μιας RESTful υπηρεσίας ιστού και μεταξύ υπηρεσιών και πελατών.

Ακαστάτατες αλληλεπιδράσεις (stateless interactions): Οι αλληλεπιδράσεις με τις RESTful υπηρεσίες ιστού είναι ακατάστατες, καθώς η υπηρεσία δεν αποθηκεύει πληροφορίες πελατών ή συγκεκριμένα πλαίσια, ούτε διατηρεί μια διαρκή κατάσταση συνόδου με τον πελάτη. Επομένως, όλες οι πληροφορίες που αφορούν το πλαίσιο ή

τον πελάτη και απαιτούνται για την εκτέλεση μιας ζητούμενης υπηρεσίας ή την παροχή απαιτούμενων πόρων πρέπει να συμπεριληφθούν στο σχετικό αίτημα του πελάτη.

Αποθηκευτική ικανότητα (Cacheable): Τα RESTful συστήματα έχουν τη δυνατότητα να αποθηκεύουν τις απαντήσεις του εξυπηρετητή προκειμένου να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα του δικτύου, την κλιμακωσιμότητα και την απόδοση. Οι πελάτες, οι εξυπηρετητές και όλα τα ενδιάμεσα συστατικά του συστήματος μπορούν να αποθηκεύουν προσωρινά απαντήσεις εάν αυτές ορίζονται ως αποθηκευτικές (cacheable), είτε ρητά είτε άρρητα. Μια απάντηση μπορεί να αποθηκευτεί από έναν πελάτη και να χρησιμοποιηθεί για συνεχόμενα ισοδύναμα αιτήματα χωρίς να στέλνεται ξανά το αντίστοιχο (ίδιο) αίτημα στην υπηρεσία ιστού.

Στρωματοποιημένο Σύστημα (Layered system): Τα RESTful συστήματα αποτελούνται από δύο ή περισσότερα επίπεδα συστατικών, συμπεριλαμβανομένων ξεχωριστών επιπέδων για πελάτες και εξυπηρετητές. Κάθε συστατικό μπορεί να αλληλεπιδρά μόνο με τα συστατικά των επιπέδων που βρίσκονται αμέσως πάνω ή κάτω από αυτό. Αυτός ο περιορισμός διευκολύνει την αντικατάσταση και την ατομική επέκταση των συστατικών, καθώς οι αλλαγές που προκύπτουν για άλλα συστατικά θα περιοριστούν στα γειτονικά επίπεδα.

Αλληλεπιδράσεις RESTful υπηρεσιών ιστού

Η βασική ιδέα των RESTful HTTP αλληλεπιδράσεων είναι ότι κάθε πόρος μπορεί να αναγνωρίζεται χρησιμοποιώντας ένα μοναδικό URI, που είναι συνήθως της ακόλουθης μορφής: <πρωτόκολλο>://<όνομα-υπηρεσίας>/<Τύπος-Πόρου>/< id-Πόρου>. Για παράδειγμα το URI: <http://example.com/users/1> ανακτά πληροφορίες για έναν χρήστη με id=1 από μια συγκεκριμένη υπηρεσία, το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται είναι το HTTP, το όνομα υπηρεσίας είναι example.com, ο τύπος πόρου είναι το users και το id (αναγνωριστικό) του πόρου είναι το 1. Στην εννοιολογική αρχιτεκτονική των RESTful υπηρεσιών ιστού, διάφοροι πελάτες αλληλεπιδρούν με μία ή περισσότερες RESTful υπηρεσίες μέσω HTTP. Οι υπηρεσίες αυτές εσωτερικά μπορεί να περιλαμβάνουν ισορροπιστές φόρτου (load balancers) για τη διανομή των αιτημάτων και μπορεί να υπάρχουν πολλαπλές περιπτώσεις εξυπηρετητών και βάσεων δεδομένων για τη διαχείριση των λειτουργιών των πόρων. Επίσης, ενδέχεται να χρησιμοποιούνται μηχανισμοί κρυφού αποθηκευτικού χώρου (caching mechanisms) για την ενίσχυση της απόδοσης. Για να αλληλεπιδράσει με έναν πόρο, ο πελάτης στέλνει ένα αίτημα HTTP στο συγκεκριμένο URI. Η λειτουργία που πραγματοποιείται από την υπηρεσία καθορίζεται από τη μέθοδο HTTP του αιτήματος που προσδιορίζεται στην κεφαλίδα του: create (POST), read (GET), update (PUT/PATCH) και delete (DELETE). Το σώμα του αιτήματος μπορεί να περιλαμβάνει επιπλέον παραμέτρους, όπως δεδομένα που απαιτούνται για τη δημιουργία ενός νέου πόρου (πχ. ένα όνομα χρήστη και ένας κωδικός πρόσβασης κατά τη δημιουργία ενός νέου λογαριασμού χρήστη). Το πεδίο κεφαλίδας "accept" του HTTP καθορίζει τον επιθυμητό τρόπο αναπαράστασης του πόρου στην απάντηση της υπηρεσίας ιστού

που θα επιστραφεί μετά από ένα αίτημα GET ενώ το πεδίο κεφαλίδας “Content-Type” καθορίζει τον τρόπο αναπαράστασης του πόρου στο αίτημα προς την υπηρεσία ιστού (σε περιπτώσεις αιτημάτων HTTP POST/PUT/PATCH)

Για παράδειγμα, για την αποστολή ενός αιτήματος REST API σε ένα διακομιστή με δεδομένα JSON (αυτός είναι ένας τύπος πολυμεσικού περιεχομένου αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοσδήποτε υποστηρίζεται από το API/υπηρεσία), πρέπει να συμπεριληφθούν τα δεδομένα στο σώμα του μηνύματος HTTP και να οριστεί κατάλληλος τύπος περιεχομένου για το σώμα του αιτήματος (προσθήκη στην κεφαλίδα του αιτήματος Content-Type: application/json). Σε περίπτωση όπου αναμένονται δεδομένα JSON και από το διακομιστή, προστίθεται στην κεφαλίδα του αιτήματος Accept: application/json.

Παρακάτω (Εικόνα 2.12) παρουσιάζεται ένα παράδειγμα αποστολής ενός αιτήματος REST API στο URI <https://reqbin.com/echo/post/json> για την προσθήκη ενός αντικειμένου (ας υποθέσουμε ότι θέλουμε να καταχωρήσουμε ένα προϊόν σε ένα REST API που αφορά το απόθεμα προϊόντων (product inventory) μιας εταιρείας) με Id=78912, Quantity= 1 και Price=18.00 με χρήση της μεθόδου HTTP POST.

```
POST /echo/post/json HTTP/1.1
Host: reqbin.com
Accept: application/json
Content-Type: application/json
Content-Length: 42

{"Id": 78912, "Quantity": 1, "Price": 18.00}
```

Εικόνα 2.12: Παράδειγμα REST API αιτήματος

Πηγή: <https://reqbin.com/req/nxtbvm4f/rest-api-example>

Σε αυτό το παράδειγμα αιτήματος POST στο REST API, ο διακομιστής ενημερώνει τον πελάτη του REST API ότι θα επιστρέψει απάντηση σε μορφή JSON με το Content-Type: application/json στην απάντησή του. Παρακάτω (Εικόνα 2.13) εμφανίζεται η απάντηση του διακομιστή (η οποία προσδιορίζει επιτυχή προσθήκη του αντικειμένου).

```
HTTP/1.1 200 OK
Content-Type: application/json
Content-Length: 19

{"success": "true"}
```

Εικόνα 2.13: Παράδειγμα REST API απάντησης

Πηγή: <https://reqbin.com/req/nxtbvm4f/rest-api-example>

Πλεονεκτήματα υπηρεσιών REST

- **Ανεξάρτητες γλώσσας και πλατφόρμας:** Με τη βοήθεια των RESTful υπηρεσιών, διαδικτυακές εφαρμογές που είναι γραμμένες σε διαφορετικές γλώσσες προγραμματισμού και που μπορούν να βρίσκονται σε διαφορετικά περιβάλλοντα, έχουν την δυνατότητα να επικοινωνούν μεταξύ τους.⁷
- **Ευελιξία:** Οι RESTful υπηρεσίες ιστού, υποστηρίζουν την απόλυτη διάκριση μεταξύ πελάτη και εξυπηρετητή. Συγκεκριμένα, απλοποιούν και διαχωρίζουν διάφορα συστατικά του εξυπηρετητή, έτσι ώστε κάθε μέρος να μπορεί να εξελιχθεί ανεξάρτητα. Τεχνολογικές αλλαγές ή αλλαγές στην πλατφόρμα της εφαρμογής του εξυπηρετητή, δεν επηρεάζουν την εφαρμογή του πελάτη. Η δυνατότητα να δομούνται σε επίπεδα οι λειτουργίες εφαρμογής αυξάνει ακόμα περισσότερο την ευελιξία.⁸
- **Υποστήριξη ποικίλων μορφών δεδομένων:** Οι RESTful υπηρεσίες επιτρέπουν τη χρήση διαφόρων μορφών δεδομένων όπως HTML, XML, απλό κείμενο, JSON, κλπ.⁹
- **Απόδοση:** Το REST είναι πιο γρήγορο και αποδοτικό (συγκριτικά με το SOAP) λόγω μικρότερων μεγεθών των μηνυμάτων του. Οι απαντήσεις REST είναι επίσης δυνατό να αποθηκεύονται στην κρυφή μνήμη, με αποτέλεσμα ο διακομιστής να μπορεί να αποθηκεύει τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται συχνά σε μια κρυφή μνήμη για ακόμα μικρότερους χρόνους φόρτωσης σελίδας.¹⁰

2.1.5.3 Διαφορές μεταξύ RESTful και SOAP υπηρεσιών ιστού

Υπάρχουν αρκετές σημαντικές διαφορές μεταξύ των RESTful και SOAP υπηρεσιών ιστού, οι οποίες πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τη λήψη αρχιτεκτονικών αποφάσεων σε περιπτώσεις συγκεκριμένης εφαρμογής.

Μια κύρια διαφορά μεταξύ των SOAP υπηρεσιών ιστού και των RESTful υπηρεσιών ιστού είναι ότι τα αιτήματα υπηρεσιών RESTful συνήθως περιορίζονται σε ένα ομοιόμορφο σύνολο λειτουργιών HTTP, που επικεντρώνονται αυστηρά σε διεργασίες ανάκτησης και μεταχείρισης βασικών δεδομένων. Από την άλλη μεριά, οι υπηρεσίες ιστού SOAP, μπορούν να παρέχουν ένα σύνολο λειτουργιών που μπορεί να προσαρμοστεί για τη συγκεκριμένη περίπτωση εφαρμογής ενώ μπορεί να υλοποιούν

⁷ <https://www.guru99.com/restful-web-services.html>

⁸ <https://aws.amazon.com/what-is/restful-api/>

⁹ <https://www.geeksforgeeks.org/restful-web-services/>

¹⁰ <https://aws.amazon.com/compare/the-difference-between-soap-rest/>

επιχειρηματικές διαδικασίες και δραστηριότητες. Επομένως, οι RESTful υπηρεσίες ιστού, θεωρούνται περισσότερο βασισμένες στα δεδομένα, ενώ το SOAP είναι ένα πρωτόκολλο περισσότερο βασισμένο στις λειτουργίες για τη μεταφορά δομημένων πληροφοριών (Web Services Architecture, 2004). Επιπλέον, το REST αρχιτεκτονικό στιλ αντιτίθεται ρητά στην ιδέα των stateful κατανεμημένων αντικειμένων, ενώ το SOAP στοχεύει σε ένα σενάριο στο οποίο τέτοια κατανεμημένα αντικείμενα είναι προσβάσιμα μέσω HTTP.

Όσον αφορά την ασφάλεια, τόσο οι RESTful όσο και οι SOAP υπηρεσίες ιστού επιτρέπουν την κρυπτογράφηση της μετάδοσης από άκρο σε άκρο, μέσω του πρωτοκόλλου TLS. Όμως, οι SOAP υπηρεσίες ιστού μπορούν επιπλέον να υλοποιήσουν το WS-Security, το οποίο παρέχει υποστήριξη στο επίπεδο μεταφοράς και είναι πιο περιεκτικό από το TLS ή το HTTP μέσω TLS (HTTPS). Συμπερασματικά θα μπορούσαν να είναι πιο κατάλληλες για την ενσωμάτωση κοινών υποδομών ασφάλειας και εργαλείων επιχειρησιακού-επιπέδου.

Τέλος, το SOAP διαμορφώνει μια στενή σύζευξη (close coupling) μεταξύ πελατών και εξυπηρετητή, λόγω της αυστηρά ορισμένης διεπαφής (προδιαγραφή WSDL), η οποία επιτρέπει στο διακομιστή (δηλ. την υπηρεσία) να έχει περισσότερο έλεγχο στις αλληλεπιδράσεις. Αντίθετα, οι πελάτες και οι RESTful υπηρεσίες ιστού είναι χαλαρά συνδεδεμένοι (loosely coupled), λόγω της ελαφριάς (light-weight) διεπαφής μεταξύ τους, κάτι που καθιστά τις διεπαφές RESTful λιγότερο ισχυρές, αλλά επιτρέπει περισσότερη ευελιξία κατά τον σχεδιασμό των πελατών.

2.2 Συστήματα Συστάσεων

2.2.1 Ορισμός και βασικά χαρακτηριστικά συστημάτων συστάσεων

Τα συστήματα συστάσεων είναι μια διαισθητική άμυνα ενάντια στον κατακλυσμό του καταναλωτή από την πολυάριθμη ποικιλία επιλογών (consumer over-choice) και χρησιμοποιούνται ευρέως για να παρέχουν στους χρήστες συστάσεις βασισμένες στις προτιμήσεις τους. Στα κύρια χαρακτηριστικά τους περιλαμβάνονται η εξατομίκευση των προτάσεων που βασίζεται στις προτιμήσεις και στις ανάγκες του χρήστη, η αποτελεσματικότητα και η βελτίωση των σχετικών προτάσεων, η ευρεία κάλυψη των αναγκών του χρήστη, καθώς επίσης η διαφάνεια και η ερμηνευτικότητα της λειτουργία τους. Επίσης, τα συστήματα αυτά είναι προσαρμοστικά, καθώς ενημερώνονται συνεχώς μέσα από νέες αξιολογήσεις και ανατροφοδοτήσεις χρηστών (user feedbacks).

Το διαδίκτυο και οι σύγχρονες υπηρεσίες ιστού έχουν αυξηθεί τις τελευταίες δεκαετίες. Λόγω του αυξημένου όγκου πληροφοριών που είναι προσβάσιμος σε όλους, η

διαχείριση όλης αυτής της πληροφορίας και η εξαγωγή ουσιαστών στοιχείων μπορεί να αποτελέσει για τους χρήστες μια διαδικασία-πρόκληση (challenging process). Πολλές εταιρείες ηλεκτρονικού εμπορίου συνιστούν προϊόντα στους χρήστες τους, πουλώντας εκατομμύρια προϊόντα σε μια πλατφόρμα. Για έναν καθημερινό χρήστη, η περιήγηση μέσα από όλες τις δυνατότητες, μπορεί να είναι καταπονητική ενώ αυτό το γεγονός μπορεί να προκαλέσει υπερφόρτωση πληροφοριών (information overload). Τα συστήματα συστάσεων σκοπεύουν να επιλύσουν το πρόβλημα της υπερφόρτωσης πληροφοριών, ενώ παράλληλα προσαρμόζουν την εμπειρία του χρήστη παρέχοντας ακριβείς, προσαρμοσμένες προτάσεις αντικειμένων/προϊόντων στους χρήστες σύμφωνα με τις προτιμήσεις τους.

Ένα σύστημα συστάσεων έχει σκοπό να προβλέψει αν ένα αντικείμενο θα είναι χρήσιμο για ένα χρήστη βάσει δεδομένων πληροφοριών. Η χρήση αυτών των συστημάτων έχει αυξηθεί σταθερά τα τελευταία χρόνια, καθώς χρησιμοποιούνται σε εταιρείες λιανικού και ηλεκτρονικού εμπορίου. Οι εταιρείες αυτές αποκτούν μαζικά δεδομένα χρηστών και προσαρμόζουν τα συστήματα συστάσεων για να ικανοποιήσουν τις ανάγκες των χρηστών και της επιχείρησης. Επιπλέον, εκτός από τους τομείς ηλεκτρονικού και λιανικού εμπορίου, χρησιμοποιούνται και σε πολλούς άλλους κλάδους, όπως η υγεία, ο τομέας των μεταφορών και η γεωργία. Τα συστήματα συστάσεων υψηλής ποιότητας, έχουν θετική επίδραση στην εμπειρία των χρηστών και στα συνολικά έσοδα ή τις αποφάσεις των επιχειρήσεων.

2.2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα συστημάτων συστάσεων

Τα συστήματα συστάσεων αναδεικνύονται ως ισχυρά εργαλεία στον ψηφιακό κόσμο, προσφέροντας μια πληθώρα πλεονεκτημάτων που επιδρούν θετικά στην εμπειρία των χρηστών και την απόδοση των επιχειρήσεων. Από την εξατομικευμένη παρουσίαση προϊόντων έως την αύξηση της συνολικής απόδοσης στις πωλήσεις, διαμορφώνουν ένα περιβάλλον όπου οι χρήστες ανακαλύπτουν με ευκολία τα προϊόντα και τις υπηρεσίες, που ταιριάζουν ακριβώς στις ανάγκες και τις προτιμήσεις τους. Συγχρόνως, παρέχουν στις επιχειρήσεις εκτιμήσεις και γνώσεις που οδηγούν σε βελτιωμένη κατανόηση των πελατών και αποφάσεις που οδηγούν σε αύξηση των εσόδων και της ικανοποίησης των πελατών. Παρακάτω, αναφέρονται τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα τους.

- **Εξατομίκευση:** Τα συστήματα συστάσεων παρέχουν εξατομικευμένες προτάσεις στους χρήστες, βασισμένα στην προηγούμενη συμπεριφορά, τις προτιμήσεις και τις αλληλεπιδράσεις τους με το σύστημα. Αυτό το γεγονός, επιτρέπει στους χρήστες να λαμβάνουν προτάσεις που προσαρμόζονται στις ατομικές τους ανάγκες και ενδιαφέροντα.

- **Βελτίωση της εμπειρίας του χρήστη:** Τα συστήματα αυτά μπορούν να βελτιώσουν συνολικά την εμπειρία των χρηστών, κάνοντας ευκολότερη την εύρεση του περιεχομένου, των προϊόντων ή των υπηρεσιών που αυτοί αναζητούν.
- **Αύξηση των εσόδων:** Τα συστήματα συστάσεων μπορούν να βοηθήσουν τις επιχειρήσεις να αυξήσουν τα έσοδά τους παρέχοντας εξατομικευμένες συστάσεις, οι οποίες οδηγούν σε αυξημένες πωλήσεις. Επιπλέον, παρέχοντας στους χρήστες προϊόντα ή υπηρεσίες που είναι πιθανότερο να τους ενδιαφέρουν, οι επιχειρήσεις μπορούν να βελτιώσουν τις πιθανότητες των πωλήσεων τους.
- **Καλύτερη κατανόηση συμπεριφοράς χρήστη:** Τα συστήματα συστάσεων μπορούν να βοηθήσουν τις επιχειρήσεις να αποκτήσουν μια καλύτερη κατανόηση των συμπεριφορών και των προτιμήσεων των χρηστών. Οι πληροφορίες που θα αντληθούν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ενημέρωση των στρατηγικών μάρκετινγκ, την ανάπτυξη καλύτερων προϊόντων, την βελτίωση υπαρχόντων προϊόντων και τη λήψη κατάλληλων επιχειρηματικών αποφάσεων.¹¹

Παρά τα πολλαπλά οφέλη που προσφέρουν, τα συστήματα συστάσεων αντιμετωπίζουν διάφορα προβλήματα και προκλήσεις, ιδιαίτερα στον τομέα της τεχνολογίας, όπως η ανεπάρκεια δεδομένων, η απώλεια προσωπικού ελέγχου των χρηστών και η περιορισμένη ακρίβεια των συστάσεων. Επιπλέον, η ανάπτυξη και η συντήρηση των συστημάτων συστάσεων μπορεί να απαιτεί σημαντικούς πόρους και εξειδικευμένες γνώσεις. Παρακάτω, αναφέρονται τα σημαντικότερα μειονεκτήματα των συστημάτων συστάσεων.

- **Cold start (Κρύα Εκκίνηση):** Ένα τέτοιου είδους πρόβλημα συμβαίνει όταν το σύστημα συστάσεων δεν μπορεί να δημιουργήσει μια συσχέτιση μεταξύ χρηστών και αντικειμένων λόγω σημαντικής έλλειψης σχετικών δεδομένων. Αυτό μπορεί να συμβεί ειδικότερα στην αρχή της λειτουργίας ενός τέτοιου συστήματος όπου δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα, πχ. από προηγούμενες αλληλεπιδράσεις με χρήστες.
- **Προβλήματα ιδιωτικότητας:** Χωρίς την ευαίσθητη ή προσωπική πληροφορία των χρηστών είναι αδύνατη η παροχή προσωποποιημένων συστάσεων (customized/personal recommendations) και η επίτευξη υψηλής ακρίβειας σύστασης. Όμως, η ανάγκη αυτή μπορεί να προκαλέσει ανησυχίες απορρήτου (δηλ. ότι τα δεδομένα των χρηστών αποκαλύπτονται ή διατίθενται σε μη εξουσιοδοτημένα άτομα ή οργανισμούς). Επομένως, η εμπιστοσύνη των

¹¹ <https://www.aporia.com/learn/recommender-systems/what-are-recommender-systems-use-cases-types-and-techniques/>

καταναλωτών, ειδικότερα ως προς αυτό το σημείο, είναι ουσιαστική για τη λειτουργία αυτών των συστημάτων, τα οποία θα πρέπει να καθησυχάσουν τους καταναλωτές πως δεν παραβιάζουν την ιδιωτικότητα των δεδομένων τους.

- **Εμπιστοσύνη (trust):** Με βάση το προηγούμενο ζήτημα αλλά και το γεγονός πως πολλές φορές ένα σύστημα συστάσεων μπορεί να παρέχει συστάσεις χωρίς κάποια αιτιολόγηση και χωρίς να εξηγεί τον τρόπο παραγωγής τους, η εμπιστοσύνη των χρηστών ως προς αυτό μπορεί να είναι αρκετά μειωμένη. Όσο όμως μικρότερη είναι η εμπιστοσύνη, τόσο λιγότερο θα χρησιμοποιείται ένα τέτοιο σύστημα, πράγμα το οποίο θα μειώσει την αποτελεσματικότητα και ακρίβειά του.
- **Κλιμακωσιμότητα (Scalability):** Στα συστήματα συστάσεων, η κλιμακωσιμότητα των αλγορίθμων σε σχέση με τα δεδομένα που πρέπει να επεξεργαστούν αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα, καθώς ένας μεγάλος όγκος μεταβαλλόμενων δεδομένων παράγεται από τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ χρηστών και αντικειμένων στη μορφή αξιολογήσεων και κριτικών.
- **Ανεπάρκεια δεδομένων (Sparsity):** Η ανεπάρκεια δεδομένων στα συστήματα συστάσεων προκαλεί δυσκολίες που μπορεί να οδηγήσουν σε μείωση της ακρίβειας συστάσεων, καθώς περιορίζονται οι πιθανότητες εύρεσης μιας ομάδας χρηστών με συγκρίσιμες/παρόμοιες αξιολογήσεις ή ενδιαφέροντα.
- **Ευρωστία (Robustness):** Αποτελεί πρόκληση η ικανότητα ενός συστήματος συστάσεων να διακρίνει “κακόβουλους” χρήστες έτσι ώστε να μην λογαριάζει τα δεδομένα τους στην παραγωγή συστάσεων. Έχει διαπιστωθεί πως όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό αυτών των χρηστών, τότε αυξάνει και η πιθανότητα μειωμένης ακρίβειας σύστασης.
- **Αναπαραγωγιμότητα (Reproducibility):** Λόγω των διαφορετικών μεθόδων και μετρικών αποτίμησης των συστημάτων συστάσεων, την ύπαρξη διαφορετικών, πολλές φορές μη προτυποποιημένων συνόλων δεδομένων ως προς αυτό τον σκοπό, τη μη τήρηση καλών πρακτικών και βέλτιστων διαδικασιών κατά την αποτίμηση και της μη ανοικτότητας του κώδικα των συστημάτων αυτών, είναι αρκετά δύσκολο να αναπαραχθούν απόπειρες και πειράματα αποτίμησης/αξιολόγησης (evaluation experiments) καθώς και να διακριθεί ένα σύστημα συστάσεων ως καλύτερο σε σχέση με άλλα.
- **Προκατάληψη με βάση την δημοφιλία (popularity bias):** Η προκατάληψη με βάση την δημοφιλία είναι μία από τις προκαταλήψεις που εντοπίζονται στα συστήματα συστάσεων. Αφορά το φαινόμενο όπου σε ένα σύστημα συστάσεων προτείνεται μόνο ένα μικρό υπο-σύνολο όλων των διαθέσιμων προϊόντων/αντικειμένων που αντιστοιχεί στα πιο δημοφιλή από αυτά τα

προϊόντα. Από την μια πλευρά, αυτή η προσέγγιση αποτελεί μια καλή επιλογή για μη-προσωποποιημένα (non-personalized) συστήματα, ή για περιπτώσεις όπου οι αλληλεπιδράσεις χρηστών-αντικειμένων δεν είναι συχνές. Ωστόσο από την άλλη, για εξατομικευμένα συστήματα κατά τα οποία η ικανοποίηση του χρήστη μπορεί να αυξηθεί με την εισαγωγή νέων και ποικίλων επιλογών, η σύσταση των δημοφιλών προτάσεων αποτελεί μειονέκτημα. (Ahanger, Syed Aalam, Rasool Bhat, & Assad, 2022)

- **Πρόβλημα υπερ-ειδίκευσης (Over Specialization):** Το πρόβλημα αυτό δημιουργείται όταν η σύσταση ενός στοιχείου προς τους χρήστες βασίζεται μόνο σε αυτά που είναι ήδη γνωστά ή ορίζονται από το προφίλ χρήστη, χωρίς να ανακαλύπτονται νέα στοιχεία και άλλες διαθέσιμες επιλογές, οι οποίες θα μπορούσαν να είναι κοντά στις προτιμήσεις του χρήστη. (Mohamed, Khafagy, & Ibrahim, 2019) Ειδικότερα, το σύστημα συστάσεων σε αυτή την περίπτωση εστιάζει κυρίως σε ορισμένες μόνο προτιμήσεις χρηστών ή εξειδικευμένα αντικείμενα/στοιχεία, αγνοώντας πιο ευρείς προτιμήσεις ή ενδιαφέροντα χρηστών. Αυτό σημαίνει πως το σύστημα βασίζεται αρκετά σε ανατροφοδοτήσεις ή ιστορικά δεδομένα από ένα περιορισμένο σύνολο από χρήστες, οδηγώντας σε συστάσεις που ταιριάζουν σε ένα μόνο κομμάτι του πληθυσμού των χρηστών.
- **Περιορισμένος βαθμός καινοτομίας:** Η καινοτομία στα συστήματα συστάσεων αναφέρεται στο πόσο διαφορετικά είναι τα προτεινόμενα αντικείμενα με βάση αυτά που οι χρήστες έχουν ήδη δει στο παρελθόν. Ο απλούστερος τρόπος για να μετρηθεί σε ποσότητα η ικανότητα ενός αλγορίθμου να δημιουργεί νέα και απρόβλεπτα αποτελέσματα, είναι η μέτρηση της μέσης δημοτικότητας των προτεινόμενων αντικειμένων. Η χαμηλή δημοτικότητα υποδηλώνει υψηλότερη καινοτομία των αποτελεσμάτων (Lü, et al., 2012). Το πρόβλημα αυτό μπορεί να οφείλεται σε διάφορους παράγοντες, όπως η μη σωστή/κατάλληλη σχεδίαση του συστήματος, η μη κατάλληλη / ελλιπής αλγοριθμική προσέγγιση ή τα περιορισμένα χαρακτηριστικά του συνόλου δεδομένων. Αντιθέτως, στην περίπτωση της προκατάληψης με βάση τη δημοφιλία, το πρόβλημα οφείλεται στον τρόπο σύνθεσης των δεδομένων χρηστών όπου τα πιο δημοφιλή στοιχεία λαμβάνουν περισσότερη έκθεση και έτσι οι (εξειδικευμένες) προτιμήσεις των χρηστών δεν λαμβάνονται πάντοτε υπόψιν.
- **Στερεότυπα & προκαταλήψεις:** Αναφέρεται στην τάση των συστημάτων συστάσεων να παρέχουν συστάσεις με βάση προσχεδιασμένες έννοιες ή θεωρήσεις σε σχέση με τους χρήστες, τα αντικείμενα και τις αλληλεπιδράσεις. Οι προκαταλήψεις αυτές μπορεί να οδηγήσουν σε άδικες ή ανακριβείς συστάσεις, οι οποίες μπορεί να επιβάλλουν στερεότυπα, να περιορίζουν την ποικιλία (diversity) και την καινοτομία ή να διαιωνίζουν τις διακρίσεις (πχ. μεταξύ φύλων). Μάλιστα, μπορεί να δημιουργηθεί σε αυτή την περίπτωση ένας

βρόγχος ανατροφοδότησης (feedback loop), στον οποίο οι προκαταλημμένες συστάσεις θα επηρεάζουν την συμπεριφορά και τις προτιμήσεις των χρηστών, διαιωνίζοντας ακόμη περισσότερο τις υπάρχουσες προκαταλήψεις και περιορίζοντας ακόμη περισσότερο την ποικιλία. Ένα παράδειγμα προκατάληψης αφορά την φυλετική διάκριση στην εργασία όπου ένα σύστημα συστάσεων μπορεί να προτείνει καλές δουλειές με υψηλούς μισθούς σε άνδρες και “κακές” δουλειές με χαμηλό μισθό στις γυναίκες. Ένα άλλο παράδειγμα αφορά ένα σύστημα συστάσεων ταινιών που βασίζεται σε στερεότυπα, το οποίο προτείνει ταινίες μόνο από μια συγκεκριμένη φυλή ή εθνικότητα, πράγμα που μπορεί να ενισχύσει τις υπάρχουσες προκαταλήψεις και να περιορίσει τα είδη στις επιλογές ταινιών.¹²

- **Πρόβλημα δυναμικότητας/προσαρμοστικότητας:** Το πρόβλημα αυτό δημιουργείται όταν οι προτιμήσεις, τα ενδιαφέροντα και η συμπεριφορά του χρήστη, η διαθεσιμότητα, η δημοφιλία, τα χαρακτηριστικά ή το περιεχόμενο των αντικειμένων, οι περιβαλλοντικοί παράγοντες (contextual factors) (πχ. χώρος, τοποθεσία, τύπος συσκευής) ή οι απαιτήσεις του συστήματος αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου. Για παράδειγμα, οι προτιμήσεις των χρηστών εξελίσσονται με βάση διάφορους παράγοντες, όπως οι προσωπικές τους εμπειρίες ή οι αλλαγές στα ενδιαφέροντά τους. Οπότε, το σύστημα συστάσεων πρέπει να είναι σε θέση να ενημερώνει τις προτάσεις που παρέχει στον χρήστη ανάλογα με αυτές τις αλλαγές. Αυτή η δυνατότητα να προσαρμόζεται το σύστημα σε οποιοδήποτε είδος αλλαγής είναι κρίσιμη για τη διατήρηση της αποτελεσματικότητας και της ακρίβειας των συστάσεων του.

2.2.3 Κατηγορίες συστημάτων συστάσεων

Τα συστήματα συστάσεων κατηγοριοποιούνται ως εξής: (α) με συνεργατικό φιλτράρισμα (collaborative filtering), (β) βασισμένα στο περιεχόμενο (content-based), (γ) βασισμένα στη χρησιμότητα (utility-based), (δ) δημογραφικά (demographic-based), (ε) γνωστικά (knowledge-based) και (στ) υβριδικά (hybrid-based). Οι προσεγγίσεις/τεχνικές φιλτραρίσματος (ως προς την πληροφορία/δεδομένα προς επεξεργασία) που χρησιμοποιούνται περισσότερο είναι οι βασισμένες στο περιεχόμενο και το συνεργατικό φιλτράρισμα με μια τάση ταυτόχρονης χρήσης και των δύο.

2.2.3.1 Συστήματα συστάσεων συνεργατικού φιλτραρίσματος (Collaborative-Filtering Recommendation Systems)

Το Συνεργατικό Φιλτράρισμα αξιολογεί προϊόντα χρησιμοποιώντας τις αξιολογήσεις των χρηστών (σαφείς ή μη) από ιστορικά δεδομένα. Λειτουργεί δημιουργώντας μια βάση δεδομένων με τις προτιμήσεις του κάθε χρήστη για αντικείμενα. Οι ενεργοί

¹² <https://www.red-gate.com/simple-talk/development/python/beyond-personalization-overcoming-bias-in-recommender-systems/>

χρήστες αντιστοιχίζονται σε αυτή τη βάση δεδομένων με σκοπό την εμφάνιση των γειτόνων τους, οι οποίοι έχουν παρόμοιες αγοραστικές προτιμήσεις.¹³

Πιο συγκεκριμένα, το συνεργατικό φιλτράρισμα βασίζεται στην υπόθεση ότι τα άτομα που συμφώνησαν στο παρελθόν θα συμφωνήσουν στο μέλλον και στο ότι θα τους αρέσουν παρόμοια είδη αντικειμένων, όπως τους άρεσαν στο παρελθόν. Επομένως, τα συστήματα αυτά εντοπίζουν παρόμοιους χρήστες/στοιχεία με παρόμοιο ιστορικό αξιολόγησης, παράγοντας ομάδες χρηστών (user clusters) ή αντικειμένων χρησιμοποιώντας διαφορετικές μεθόδους συσχέτισης.¹⁴

Τέλος, πραγματοποιούν υπολογισμούς προβλέψεων ή συστάσεων για τα αντικείμενα που ο χρήστης δεν έχει αξιολογήσει, αλλά οι γείτονές του στην ίδια ομάδα έχουν αξιολογήσει. Οι υπολογισμένες συστάσεις παρουσιάζονται στον χρήστη με φθίνουσα σειρά προτίμησης. (Rao & Talwar, 2008)

Οι τεχνικές βάσει μνήμης και οι τεχνικές βάσει μοντέλου είναι οι δύο πιο κοινές μορφές των συστημάτων συνεργατικού φιλτραρίσματος.

- **Προσέγγιση βασισμένη στη μνήμη (Memory-based):** Οι αξιολογήσεις ζεύγων χρήστη-στοιχείου (user-item) προβλέπονται απλώς με βάση την εγγύτητα (proximity) μεταξύ τους. Το συνεργατικό φιλτράρισμα κατηγοριοποιείται περαιτέρω σε 2 τύπους: το συνεργατικό φιλτράρισμα βασισμένο στον χρήστη (user-based) και το συνεργατικό φιλτράρισμα βασισμένο στο στοιχείο (item-based).
 - ❖ **User-based:** Το συνεργατικό φιλτράρισμα βασισμένο στον χρήστη κάνει προτάσεις με βάση τις προτιμήσεις του χρήστη που είναι παρόμοιες με άλλους χρήστες. Για παράδειγμα, αν ένας χρήστης x δίνει παρόμοια αξιολόγηση σε ταινίες με έναν άλλο χρήστη y, μπορούμε να υποθέσουμε ότι έχουν παρόμοια ενδιαφέροντα. Έτσι, αν ο άλλος χρήστης y έχει δει μια ταινία που του άρεσε, την οποία ο χρήστης x δεν έχει δει, αυτή η ταινία θα προταθεί επίσης στον χρήστη x.
 - ❖ **Item-based:** Το συνεργατικό φιλτράρισμα βασισμένο στα αντικείμενα προτείνει αντικείμενα που είναι παρόμοια με άλλα αντικείμενα που άρεσαν στον ενεργό χρήστη. Για παράδειγμα, αν σε έναν χρήστη άρεσε ένα βιβλίο του Άρχοντα των Δαχτυλιδιών, τότε θα προτείναμε σε αυτόν ένα άλλο βιβλίο του Άρχοντα των Δαχτυλιδιών. (Lalitha Chirravuri & Immidi, 2022)
- **Προσέγγιση βασισμένη στο μοντέλο (Model-based):** Σε αυτή την προσέγγιση χρησιμοποιούνται τεχνικές μηχανικής μάθησης (Machine learning) και εξόρυξης δεδομένων (data mining). Ειδικότερα, το σύστημα, αντί να συγκρίνει απευθείας χρήστες ή στοιχεία, δημιουργεί ένα μοντέλο με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα (όπως αλληλεπιδράσεις χρήστη-στοιχείου ή αξιολογήσεις).

¹³ https://en.wikipedia.org/wiki/Recommender_system#Collaborative_filtering

¹⁴ https://en.wikipedia.org/wiki/Recommender_system#Approaches

Αυτό το μοντέλο αντιπροσωπεύει τα υποκείμενα μοτίβα ή σχέσεις μεταξύ χρηστών και στοιχείων. Το μοντέλο αυτό θα μπορούσε να είναι ένα στατιστικό μοντέλο, ένα μοντέλο μηχανικής μάθησης ή κάποιος τύπος μαθηματικής αναπαράστασης (Lalitha Chirravuri & Immidi, 2022). Επομένως, για την εύρεση προτύπων από δεδομένα εκπαίδευσης (training data), εφαρμόζονται τεχνικές εξόρυξης δεδομένων και μηχανικής μάθησης. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν, με σκοπό να κάνουν προβλέψεις για άγνωστες αξιολογήσεις και να αποκαλύψουν κρυφούς παράγοντες (latent factors), οι οποίοι εξηγούν τις αξιολογήσεις που παρατηρούνται. (Terán, Mensah, & Estorelli, 2018)

Η βασική ιδέα είναι να δημιουργηθούν μοντέλα που μπορούν να προβλέπουν το μέλλον. Για παράδειγμα, θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε υπάρχουσες αλληλεπιδράσεις χρήστη-στοιχείου (user-item) για να εκπαιδεύσουμε ένα μοντέλο που προβλέπει τα 5 κορυφαία αγαπημένα στοιχεία ενός χρήστη. Συγκριτικά με άλλες μεθόδους, όπως η μέθοδος βασισμένη στη μνήμη, αυτές οι μέθοδοι έχουν την επιπλέον δυνατότητα να προτείνουν ένα μεγαλύτερο αριθμό στοιχείων σε ένα σημαντικό αριθμό ατόμων.

Το συνεργατικό φιλτράρισμα είναι η συνήθης επιλογή για τα συστήματα συστάσεων και δεν απαιτεί γνώση πάνω σε αυτόν τον τομέα (Domain knowledge), διότι οι ενσωματώσεις (embeddings) (δηλ. οι ειδικές γνώσεις του τομέα) μαθαίνονται αυτόματα. Η ενσωμάτωση των αντικειμένων σε ένα σύστημα συστάσεων αναφέρεται στην αντιστοίχισή τους σε μια ακολουθία αριθμών. Αυτός ο τρόπος αναπαράστασης των αντικειμένων με γνωστικά διανύσματα, χρησιμοποιείται για να εκπαιδεύσει τους αλγόριθμους να βρουν τη σχέση μεταξύ των αντικειμένων και να εξάγουν τα (σημαντικότερα) χαρακτηριστικά τους. Με αυτό τον τρόπο, μπορεί να καλυφθούν διάφορα είδη αντικειμένων, ακόμη και πολύπλοκα, όπως είναι τα βίντεο. Επίσης, ένα πλεονέκτημα του συνεργατικού φιλτραρίσματος είναι ότι δημιουργεί μοντέλα που βοηθούν τους χρήστες να ανακαλύπτουν νέα ενδιαφέροντα.

Τέλος, το συνεργατικό φιλτράρισμα αποτελεί σπουδαίο σημείο εκκίνησης για άλλα συστήματα συστάσεων, καθώς απαιτεί μόνο τον πίνακα αξιολογήσεων R για την ανάπτυξη ενός μοντέλου παραγοντοποίησης (factorization model). Ο πίνακας αξιολογήσεων R είναι ένας δισδιάστατος πίνακας με n χρήστες και m αντικείμενα και κάθε είσοδος σε αυτόν τον πίνακα r_{ij} αντιπροσωπεύει τη βαθμολογία που έχει δώσει ο χρήστης i στο αντικείμενο j . (Fayyaz, Ebrahimian, Nawara, Ibrahim, & Kashef, 2020)

Σημειώνουμε εδώ πως το μοντέλο παραγοντοποίησης είναι ένα μοντέλο μηχανικής μάθησης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκμάθηση αναπαραστάσεων χρηστών και αντικειμένων που έχουν λίγες διαστάσεις (low-dimensional representation) από τον πίνακα αξιολογήσεων.

Παρόλο που το συνεργατικό φιλτράρισμα είναι ευνοϊκό σε πολλά σημεία, έχει και αρκετά μειονεκτήματα, όπως τα προβλήματα cold start, ανεπάρκειας δεδομένων

(sparsity), κλιμακωσιμότητας (scalability) και το πρόβλημα της προκατάληψης με βάση την δημοφιλία (popularity bias), τα οποία προαναφέρθηκαν στο γενικό κομμάτι μειονεκτημάτων των συστημάτων συστάσεων (ενότητα 2.2.2).

2.2.3.2 Συστήματα συστάσεων βασισμένα στο περιεχόμενο (Content-Based Recommendation Systems)

Τα συστήματα συστάσεων βασισμένα στο περιεχόμενο επιχειρούν να κατασκευάσουν ένα προφίλ χρήστη για να προβλέψουν βαθμολογίες σε αντικείμενα που δεν είναι ορατά. Το βασικό θεμέλιο σε αυτό το είδος συστημάτων συστάσεων είναι πως τα αντικείμενα έχουν ιδιότητες και άρα το προφίλ χρήστη θα πρέπει να κατασκευαστεί με βάση τις ιδιότητες αυτές και τις προηγούμενες προτιμήσεις του χρήστη ως προς ορισμένα αντικείμενα. Επομένως, αν ένα νέο αντικείμενο έχει παρόμοιες τιμές στις ιδιότητες σε σχέση με ένα άλλο που αρέσει στον χρήστη, τότε και το νέο αυτό αντικείμενο λογικά θα αρέσει στο χρήστη. Εδώ ουσιαστικά τονίζεται και η ειδοποιός διαφορά σε σχέση με το φιλτράρισμα με βάση τα στοιχεία/αντικείμενα. Ενώ στο τελευταίο φιλτράρισμα λογαριάζεται μόνο η εν γένει ομοιότητα ενός αντικειμένου με ένα άλλο (η οποία μπορεί να είναι και υποκειμενική), στο φιλτράρισμα με βάση το περιεχόμενο η ομοιότητα υπολογίζεται με έναν αντικειμενικό τρόπο με βάση τις ιδιότητες των αντικειμένων.

Οι επιτυχείς μέθοδοι βασισμένες στο περιεχόμενο χρησιμοποιούν ετικέτες και λέξεις-κλειδιά. Η μέτρηση της χρηστικότητας αυτού του είδους φιλτραρίσματος, υπολογίζεται συνήθως χρησιμοποιώντας ευρετικές συναρτήσεις (heuristic functions), όπως η μετρική ομοιότητας συνημιτόνου (cosine similarity measure). Επίσης, το φιλτράρισμα βασισμένο στο περιεχόμενο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές περιπτώσεις, όπου οι τιμές των χαρακτηριστικών μπορούν να εξαχθούν εύκολα, ενώ αντίθετα δεν χρησιμοποιείται συνήθως σε περιπτώσεις όπου οι τιμές των χαρακτηριστικών πρέπει να εισαχθούν χειροκίνητα. Συμπερασματικά, μπορεί να είναι διαχειρίσιμο για μικρά σύνολα δεδομένων (small datasets), όμως όταν προστίθενται χιλιάδες νέα προϊόντα καθημερινά, αυτή η διαδικασία καθίσταται αδύνατη.

Το συγκεκριμένο φιλτράρισμα δεν απαιτεί δεδομένα άλλων χρηστών, καθώς οι προβλεπόμενες συστάσεις είναι συγκεκριμένες στον χρήστη, με αποτέλεσμα να κλιμακώνουν το σύστημα ώστε να χειριστεί πολλούς χρήστες. Επιπλέον, αυτή η μέθοδος φιλτραρίσματος είναι ανεξάρτητη από τον χρήστη, εφόσον το σύστημα απαιτεί για τις συστάσεις μόνο την ανάλυση των αντικειμένων και το προφίλ του χρήστη, το οποίο δημιουργείται αυτόματα από προηγούμενες προτιμήσεις/αξιολογήσεις που είχε κάνει ο χρήστης στο παρελθόν. Το προφίλ του χρήστη συνήθως περιλαμβάνει ηλικία, φύλο, εθνικότητα, τοποθεσία, καριέρα κ.λπ. και μπορεί να εφαρμοστεί για να επιδείξει την ομοιότητα μεταξύ των χρηστών, με βάση την υπόθεση ότι δύο χρήστες είναι παρόμοιοι, στην περίπτωση που έχουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά (Lü, et al., 2012). Σε αντίθεση με το συνεργατικό φιλτράρισμα,

δεν αντιμετωπίζει cold start προβλήματα. Επιπλέον, ακόμη και νέα αντικείμενα ή προϊόντα μπορούν να προταθούν χωρίς να υπάρχει κάποια αξιολόγηση για αυτά, σε αντίθεση πάλι με το συνεργατικό φιλτράρισμα που χρειάζεται οπωσδήποτε τις αξιολογήσεις των νέων προϊόντων.

Τα μειονεκτήματα που έχει το φιλτράρισμα αυτό είναι αρχικά, ότι η σύσταση δεν θα είναι ακριβής στην περίπτωση που δεν παρέχεται αρκετή πληροφορία όσον αφορά περιεχόμενο για να διακρίνει ακριβώς τα προϊόντα, καθώς αυτές οι τεχνικές απαιτούν εκτεταμένη γνώση του κλάδου (domain). Επιπλέον, είναι δύσκολη η εφαρμογή γνώσης για ένα είδος αντικειμένων (πχ. άρθρα περιοδικών) σε άλλο (πχ. ταινίες) λόγω του ότι η γνώση είναι ειδική προς ένα κλάδο. Επίσης, τα συστήματα αυτά προσφέρουν έναν περιορισμένο βαθμό καινοτομίας, διότι πρέπει να ταιριάζουν τα χαρακτηριστικά των προφίλ χρηστών και των αντικειμένων. Επομένως, δεν μπορούν να προτείνουν νεωτεριστικά ή μη αναμενόμενα προϊόντα στους χρήστες. Τέλος, ένα άλλο ζήτημα που σχετίζεται με τα προηγούμενα είναι η υπερ-ειδίκευση (over-specialization) όπου ένας χρήστης εκτίθεται μόνο σε ένα πολύ μικρό υπο-σύνολο των προϊόντων με βάση τις αξιολογήσεις που έχει πραγματοποιήσει στο παρελθόν.

2.2.3.3 Δημογραφικά Συστήματα συστάσεων (Demographic-Based Recommendation Systems)

Οι τεχνικές συνεργατικού φιλτραρίσματος μπορούν να βελτιωθούν με τη δημογραφική συσχέτιση, όπως έχουν δείξει ποικίλες ερευνητικές εργασίες (Vozalis & Margaritis, 2004). Τα δημογραφικά συστήματα συστάσεων, μπορούν να δημιουργήσουν συστάσεις κατηγοριοποιώντας τους χρήστες με βάση τα δημογραφικά τους χαρακτηριστικά (πχ. ηλικία, φύλο, γλώσσα). Είναι ιδιαίτερα χρήσιμα όταν ο όγκος των πληροφοριών για τα προϊόντα είναι περιορισμένος και στοχεύουν στο να αντιμετωπίσουν αλλά και να επιλύσουν τα προβλήματα κλιμακωσιμότητας (scalability) και cold start. Το κύριο πλεονέκτημα τους είναι η ταχύτητα και η απλότητα στην απόκτηση αποτελεσμάτων χρησιμοποιώντας λίγες παρατηρήσεις.

Επιπλέον, βελτιώνουν την εμπειρία του χρήστη παρέχοντας εξατομικευμένες συστάσεις προσαρμοσμένες σε ατομικά χαρακτηριστικά, προτιμήσεις και ανάγκες, αυξάνοντας την ικανοποίηση και την αφοσίωση τους. Επίσης, προσφέρουν συναφείς συστάσεις λαμβάνοντας υπόψη δημογραφικούς παράγοντες, συσχετίζοντας τις προτάσεις με τα προφίλ των χρηστών. Στον τομέα των επιχειρήσεων, αυτό επιτρέπει στις επιχειρήσεις στοχευμένες προσπάθειες μάρκετινγκ, οδηγώντας σε αποτελεσματικότερες καμπάνιες και υψηλότερη ικανοποίηση πελατών.

Άλλο ένα πλεονέκτημα των συστημάτων αυτών, είναι το γεγονός ότι οι εξατομικευμένες συστάσεις βασισμένες σε δημογραφικά στοιχεία ενισχύουν τη συμμετοχή των χρηστών, οδηγώντας τους στο να κάνουν περισσότερες αξιολογήσεις/αλληλεπιδράσεις. Εν τέλη, συμβάλλουν σε μια βελτιωμένη εμπειρία

πελατών και παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες, για την κατανόηση της συμπεριφοράς των χρηστών και την ενημερωμένη λήψη αποφάσεων στην ανάπτυξη προϊόντων.

Οι τεχνικές φιλτραρίσματος που είναι βασισμένες στα δημογραφικά χαρακτηριστικά έχουν διάφορα μειονεκτήματα, όπως το γεγονός ότι η πλήρης συλλογή πληροφοριών για τους χρήστες δεν είναι εφικτή, λαμβάνοντας υπόψη τα θέματα ασφάλειας και απορρήτου τα οποία εμπλέκονται. Πιο συγκεκριμένα η συλλογή πληροφοριών, περιλαμβάνει τη συγκέντρωση ευαίσθητων στοιχείων που σχετίζονται με την ταυτότητα, τα χαρακτηριστικά και τη συμπεριφορά των χρηστών. Ως αποτέλεσμα, οι χρήστες μπορεί να διστάζουν να μοιραστούν τις δημογραφικές τους πληροφορίες λόγω ανησυχιών για την διασφάλιση απορρήτου, οδηγώντας έτσι σε έλλειψη δεδομένων ή ανακριβή προφίλ χρηστών.

Επιπλέον, ο σχηματισμός δημογραφικών συστάδων, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία μοντέλων, βασίζεται σε μια γενίκευση των ενδιαφερόντων του χρήστη, οπότε οδηγούμαστε στο ζήτημα της υπερ-γενίκευσης (over-generalization). Ειδικότερα, τα δημογραφικά συστήματα προσπαθούν να συστήσουν το ίδιο στοιχείο σε άτομα με παρόμοια δημογραφικά προφίλ και οι συστάσεις που κάνουν μπορεί να είναι υπερβολικά γενικές. Αυτό σημαίνει ότι τα συστήματα αυτά μπορεί να μην λαμβάνουν υπόψη τις προσωπικές προτιμήσεις και τα εξατομικευμένα ενδιαφέροντα του κάθε χρήστη, καθώς επικεντρώνονται αποκλειστικά σε δημογραφικά χαρακτηριστικά. Τα ενδιαφέροντα και η συμπεριφορά των χρηστών επηρεάζονται και από διάφορους άλλους παράγοντες, όπως τα προσωπικά τους ενδιαφέροντα, οι αξίες και οι εμπειρίες ζωής, τα οποία ενδεχομένως να μην καταγράφονται επαρκώς μόνο με δημογραφικά δεδομένα (Rao & Talwar, 2008). Επίσης, υπάρχουν περιπτώσεις όπου ένας χρήστης μπορεί να ανήκει σε πολλαπλές και όχι μόνο μια δημογραφική ομάδα, κάτι το οποίο δεν καλύπτεται από τέτοια συστήματα και μπορεί να οδηγήσει σε αντιφατικές συστάσεις.

Ένα άλλο πρόβλημα, είναι η δυσκολία τροποποίησης του προφίλ ενός πελάτη όταν οι προτιμήσεις αλλάζουν - πρόκειται για το ήδη ανελυμένο πρόβλημα της προσαρμοστικότητας. Με βάση το γεγονός ότι τα δημογραφικά χαρακτηριστικά δεν είναι στατικά και μπορεί να αλλάξουν με την πάροδο του χρόνου (συνήθως λόγω προσωπικών συνθηκών), τα δημογραφικά συστήματα συστάσεων μπορεί να δυσκολευτούν να προσαρμοστούν σε αυτές τις αλλαγές και να αποτυγχάνουν να αντικατοπτρίσουν με ακρίβεια τις εξελισσόμενες προτιμήσεις και ανάγκες των χρηστών.

Τέλος, τα δημογραφικά συστήματα συστάσεων εμπίπτουν στον κίνδυνο να διαιωνίζουν στερεότυπα και προκαταλήψεις βασισμένες σε χαρακτηριστικά όπως η ηλικία, το φύλο, η εθνικότητα κλπ. Έτσι, οι προτάσεις ενδέχεται να αντικατοπτρίζουν υποθέσεις ή γενικεύσεις σχετικά με τις προτιμήσεις των χρηστών, οδηγώντας σε προκατειλημμένα αποτελέσματα.

2.2.3.4 Συστήματα συστάσεων βασισμένα στην χρησιμότητα (Utility-Based Recommendation Systems)

Τα συστήματα αυτά, κάνουν προτάσεις με βάσει τον υπολογισμό της χρησιμότητας κάθε αντικειμένου i για ένα χρήστη x , για τον οποίο πρέπει να αποθηκευτεί μια συνάρτηση χρησιμότητας. Για το σκοπό αυτό, ορίζεται μια συνάρτηση χρησιμότητας που μετρά την καταλληλότητα της σύστασης ενός στοιχείου i σε έναν χρήστη x . Στα περισσότερα συστήματα συστάσεων, η συνάρτηση χρησιμότητας συνήθως λαμβάνει υπόψη της ένα χαρακτηριστικό ενός στοιχείου, όπως η συνολική του αξιολόγηση ή βαθμολογία. Ωστόσο, η χρησιμότητα μπορεί να εμπλέκει περισσότερα από ένα χαρακτηριστικά ενός στοιχείου, με αποτέλεσμα το πρόβλημα συστάσεων να γίνεται πολυ-χαρακτηριστικό (multi-attribute). (Manouselis & Costopoulou, 2007)

Τα συστήματα συστάσεων που βασίζονται στη χρησιμότητα προσφέρουν εξατομικευμένες συστάσεις, ενσωματώνοντας τις προτιμήσεις των χρηστών, οδηγώντας σε μεγαλύτερη ικανοποίηση του χρήστη, με διαφανή και ευέλικτη διαδικασία. Πιο συγκεκριμένα, παρέχουν διαφανείς αιτιολογήσεις για τις συστάσεις με την άμεση μοντελοποίηση της χρησιμότητας ή αξίας, που αποδίδουν οι χρήστες σε κάθε αντικείμενο. Ως αποτέλεσμα, βοηθούν τους χρήστες να κατανοήσουν το λόγο που προτείνονται σε αυτούς συγκεκριμένα αντικείμενα, ενισχύοντας έτσι την εμπιστοσύνη και την αποδοχή των συστάσεων.

Επίσης, τα συστήματα αυτά είναι ευέλικτα, καθώς μπορούν να βελτιστοποιήσουν τις συστάσεις σε κριτήρια οριζόμενα από τους χρήστες, επιτρέποντας την προσαρμογή τους σύμφωνα με τις προτιμήσεις και τους περιορισμούς των χρηστών. Επιπλέον, αξιοποιούν σαφείς αξιολογήσεις χρηστών ή ανατροφοδοτήσεις (feedbacks) για τη μοντελοποίηση των προτιμήσεων, με αποτέλεσμα να παράγουν πιο ακριβείς συστάσεις σε σύγκριση με άλλες προσεγγίσεις.

Άλλο ένα σημαντικό πλεονέκτημα, αποτελεί η αντιμετώπιση του προβλήματος cold-start, κατά το οποίο νέοι χρήστες ή αντικείμενα έχουν περιορισμένα διαθέσιμα ιστορικά δεδομένα για τις συστάσεις. Αυτό συμβαίνει επειδή μπορούν να παρέχουν ακριβείς συστάσεις για νέους χρήστες ή αντικείμενα, χωρίς να βασίζονται αποκλειστικά σε παλαιότερες αλληλεπιδράσεις. Η προσαρμοστικότητα που διαθέτουν επιτρέπει στο σύστημα να εξελιχθεί, καθώς μπορεί να μάθει και να ενημερώνει συνεχώς τις προτιμήσεις των χρηστών μέσα από νέες αξιολογήσεις και ανατροφοδοτήσεις.

Τα συστήματα συστάσεων βασισμένα στη χρησιμότητα είναι πολύτιμα για την εξατομίκευση και τη βελτίωση της ακρίβειας των συστάσεων. Ωστόσο, αντιμετωπίζουν προκλήσεις όπως η αποτελεσματική συλλογή αξιολογήσεων από τους χρήστες, καθώς οι χρήστες ενδέχεται να μην είναι πρόθυμοι ή συνεπείς στο να παρέχουν αξιολογήσεις. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ανεπαρκή δεδομένα προτίμησης χρήστη, επηρεάζοντας την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα του συστήματος.

Επιπλέον, τείνουν να δίνουν προτεραιότητα σε αντικείμενα που ταιριάζουν στις προτιμήσεις των χρηστών, παραβλέποντας πιθανώς διαφορετικά ή νέα αντικείμενα που ενδέχεται να αρέσουν στους χρήστες, μειώνοντας έτσι την εμπειρία του χρήστη και περιορίζοντας την εξερεύνηση νέου περιεχομένου.

Επιπλέον, δυσκολεύονται να ενσωματώσουν στη διαδικασία σύστασης παράγοντες περιεχομένου, όπως χρόνο, τοποθεσία ή καταστάσεις προτίμησης, καθώς εστιάζουν συνήθως στις ατομικές προτιμήσεις των χρηστών, οι οποίες ενδέχεται να μην αντικατοπτρίζουν το δυναμικό χαρακτήρα των προτιμήσεων των χρηστών σε διαφορετικά πλαίσια.

Τέλος, τα συστήματα συστάσεων βασισμένα στην χρησιμότητα είναι ευάλωτα στην παραπληροφόρηση από τους χρήστες, οι οποίοι μπορεί να παρέχουν παραπλανητικές ή μη ειλικρινείς αξιολογήσεις για να επηρεάσουν τις συστάσεις προς όφελός τους. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αλλοιώσεις στις λειτουργίες χρησιμότητας και να υπονομεύσει την εγκυρότητα και τη δικαιοσύνη του συστήματος.

2.2.3.5 Γνωστικά Συστήματα Συστάσεων (Knowledge-Based Recommendation Systems)

Τα γνωστικά συστήματα συστάσεων συνιστούν αντικείμενα στους χρήστες με βάση τη γνώση του τομέα (domain knowledge) που αφορά το πώς τα αντικείμενα ικανοποιούν τις προτιμήσεις των χρηστών. Επίσης, πρέπει να χρησιμοποιούν τρία είδη γνώσης: (1) γνώση για τους χρήστες, (2) γνώση για τα αντικείμενα και (3) γνώση για την αντιστοίχιση μεταξύ του αντικειμένου και της ανάγκης του χρήστη. Οι προτάσεις τους δεν συνδέονται με αξιολογήσεις, αλλά χρησιμοποιούν την γνώση του τομέα, σε αντίθεση με τα συστήματα συνεργατικού φιλτραρίσματος και βασισμένο στο περιεχόμενο. (Tarus, Niu, & Mustafa, 2017)

Επίσης, παρέχουν εξατομικευμένες προτάσεις, που βασίζονται στις σαφείς προτιμήσεις των χρηστών και την τομεακή γνώση, με αποτέλεσμα να ταιριάζουν στις μοναδικές ανάγκες και ενδιαφέροντα των χρηστών. Πιο συγκεκριμένα, δίνουν διαφανείς εξηγήσεις στους χρήστες, εκμεταλλευόμενα την τομεακή γνώση και τις προτιμήσεις τους, καθιστώντας τη διαδικασία των συστάσεων πιο ερμηνεύσιμη και κατανοητή, αυξάνοντας έτσι την ικανοποίηση και συμμετοχή των χρηστών. Επιπλέον, ξεχωρίζουν στον χειρισμό πολύπλοκων περιορισμών και απαιτήσεων των χρηστών, οι οποίοι δεν μπορούν να αποδοθούν εύκολα από κλασικές προσεγγίσεις συστάσεων.

Άλλο ένα πλεονέκτημα που κατέχουν, είναι η αντιμετώπιση του προβλήματος Cold-start, καθώς λαμβάνουν υπόψιν τις σαφείς προτιμήσεις του χρήστη και την τομεακή γνώση, παρέχοντας ακριβείς προτάσεις για νέους χρήστες ή αντικείμενα χωρίς να εξαρτώνται αποκλειστικά από προηγούμενες αλληλεπιδράσεις. Επίσης, τα συστήματα

είναι ευέλικτα, καθώς μπορούν συνεχώς να μαθαίνουν από τα σχόλια των χρηστών, την ενημέρωση γνώσεων του τομέα, ή τις αλλαγές στις προτιμήσεις τους, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα και τη σχετικότητα των προτάσεων.

Τα συστήματα προτάσεων βασισμένα στη γνώση αποτελούν ισχυρό εργαλείο για την παροχή προσαρμοσμένων προτάσεων στους χρήστες, αλλά αντιμετωπίζουν ορισμένες προκλήσεις. Κατά την αντιμετώπιση μεγάλων ή δυναμικών συνόλων δεδομένων, πολύπλοκων τομέων ή ομοιογενών προτιμήσεων χρηστών, μπορούν να οδηγηθούν σε προβλήματα απόδοσης και περιορισμούς κλιμακωσιμότητας (scalability).

Παρόλο που η διαφάνεια και η ερμηνευτικότητα θεωρούνται συχνά ως πλεονεκτήματα, η πολυπλοκότητα της τομεακής γνώσης μπορεί να επιβαρύνει τους χρήστες με υπερβολικές πληροφορίες, οδηγώντας τους σε σύγχυση ή αποχώρηση.

Επίσης, η καινοτομία τους είναι περιορισμένη, καθώς οι συστάσεις βασίζονται στις σαφείς προτιμήσεις των χρηστών και την τομεακή γνώση, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε συντηρητικές προτάσεις, οι οποίες να παραβλέπουν νέα αντικείμενα. Επιπλέον, μπορεί να αντιμετωπίζουν προκλήσεις στην απόκτηση, επικύρωση και ενημέρωση της γνώσης του τομέα, οδηγώντας σε ξεπερασμένες ή ατελείς αναπαραστάσεις της τομεακής γνώσης. Η απόκτηση, η αναπαράσταση και η διατήρηση αυτής της τομεακής γνώσης μπορεί να είναι προβληματική και απαιτητική σχετικά με τους πόρους, ειδικότερα σε πολύπλοκους ή γρήγορα εξελισσόμενους τομείς.

Τέλος, τα γνωστικά συστήματα συστάσεων είναι ευάλωτα στην υποκειμενικότητα και τις προκαταλήψεις που πηγάζουν από την τομεακή γνώση (domain knowledge), τους κανόνες ή τους περιορισμούς που έχουν κωδικοποιηθεί στο σύστημα. Ως αποτέλεσμα, οι προκαταλήψεις στην τομεακή εξειδίκευση (domain expertise) ή τους κανόνες μπορεί να οδηγήσουν σε προκατειλημμένες συστάσεις.

2.2.3.6 Υβριδικά συστήματα συστάσεων (Hybrid-Based Recommendation Systems)

Τα υβριδικά συστήματα συστάσεων συνδυάζουν δύο ή περισσότερες τεχνικές (σύστασης) για να επιτύχουν καλύτερη απόδοση, καθώς ο κύριος στόχος τους είναι να εξαλείψουν τα μειονεκτήματα των μεμονωμένων τεχνικών. Ουσιαστικά, πολλά συστήματα συστάσεων χρησιμοποιούν μια υβριδική προσέγγιση, συνδυάζοντας τεχνικές βασισμένες στο περιεχόμενο και συνεργατικού φιλτραρίσματος, προκειμένου να αποφύγουν ορισμένους περιορισμούς και μειονεκτήματα των συστημάτων που βασίζονται σε αυτά. Για το λόγο αυτό, τα υβριδικά συστήματα συστάσεων είναι αρκετά σημαντικά και θα διαδραματίσουν ζωτικό ρόλο στην επόμενη γενιά των συστημάτων συστάσεων. (Rao & Talwar, 2008)

Επιπλέον, τα υβριδικά συστήματα χρησιμοποιούν υβριδικές μεθόδους, οι οποίες συνδυάζουν επαρκώς τις συστάσεις που προέρχονται από διαφορετικές μεθόδους, με αποτέλεσμα να ξεπερνούν τη δυσκολία ανταπόκρισης σε διαφορετικές ανάγκες των χρηστών, την οποία αντιμετωπίζουν ακόμη και οι καλύτεροι αλγόριθμοι συστάσεων. Οι μέθοδοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να γίνει ο συνδυασμός συστάσεων είναι 1) μέθοδοι συνόλου (Ensemble methods) και 2) Meta-level fusion (συγχώνευση μετα-επιπέδου). Στην πρώτη περίπτωση, οι μέθοδοι συνόλου συνδυάζουν προβλέψεις από πολλαπλούς αλγόριθμους ή μοντέλα συστάσεων με σκοπό τη δημιουργία των τελικών συστάσεων. Οι τεχνικές όπως το stacking, blending ή weighted averaging μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να συνδυάσουν προβλέψεις από διαφορετικές προσεγγίσεις συστάσεων, αξιοποιώντας τις συμπληρωματικές τους δυνατότητες για τη βελτίωση της ακρίβειας και της κάλυψης (Coverage)¹⁵.

Από την άλλη πλευρά, οι μέθοδοι Meta-level fusion χρησιμοποιούν τεχνικές, οι οποίες συνδυάζουν συστάσεις που δημιουργούνται από διαφορετικούς αλγόριθμους ή μοντέλα σε ένα υψηλότερο επίπεδο. Οι μέθοδοι τους, αντί να συνδυάζουν άμεσα προβλέψεις, χρησιμοποιούν meta-learners ή μηχανισμούς λήψης αποφάσεων (decision-making mechanisms), για να επιλέξουν και να συγχωνεύσουν προτάσεις από τις ατομικές προσεγγίσεις συστάσεων δυναμικά, βασιζόμενοι στο προφίλ ή το περιεχόμενο του χρήστη.

Οι υβριδικές μέθοδοι, μπορεί να κυμαίνονται από τις πιο απλές, όπως η χρήση γραμμικού συνδυασμού αξιολογήσεων (linear combination of ratings) που προέρχονται από διαφορετικές μεθόδους, έως και πολύπλοκες, όπως η χρήση μεθόδων Markov chain ή Monte Carlo για την μοντελοποίηση συνδυαστικών συνεργατικών δεδομένων και δεδομένων περιεχομένου. Μερικές βασικές τεχνικές που χρησιμοποιούν τα υβριδικά συστήματα είναι οι εξής:

Υβριδική σύσταση με επιβάρυνση (Weighted) : Σε αυτό το σύστημα, ο βαθμός ενός προτεινόμενου αντικειμένου υπολογίζεται από τα αποτελέσματα όλων των διαθέσιμων τεχνικών/προσεγγίσεων προτάσεων που υπάρχουν στο σύστημα.

Υβριδική σύσταση εναλλαγής (Switching) : Το σύστημα αυτό πραγματοποιεί εναλλαγές μεταξύ των τεχνικών συστάσεων βάσει συγκεκριμένων κριτηρίων ή περιβαλλοντικής πληροφορίας (contextual information). Για παράδειγμα, αν συνδυάσουμε τα συστήματα συστάσεων βασισμένα σε περιεχόμενο και συνεργατικού φιλτραρίσματος, το υβριδικό σύστημα συστάσεων με εναλλαγές μπορεί να επιλέξει σύστημα συστάσεων βασισμένο στο περιεχόμενο στην τρέχουσα περιβαλλοντική

¹⁵ Η κάλυψη (coverage) ενός συστήματος συστάσεων ορίζεται από το κλάσμα των αντικειμένων που προτάθηκαν σε τουλάχιστον έναν χρήστη προς τον συνολικό αριθμό των αντικειμένων.

κατάσταση και το σύστημα συστάσεων βασισμένο στο συνεργατικό φιλτράρισμα σε μια επόμενη περιβαλλοντική κατάσταση.

Μικτή υβριδική σύσταση (Mixed): Σε περιπτώσεις όπου είναι δυνατόν να γίνουν πολλαπλές συστάσεις ταυτόχρονα, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν τα μικτά συστήματα συστάσεων, καθώς παρουσιάζονται μαζί συστάσεις από περισσότερες από μία τεχνικές, ώστε ο χρήστης να μπορεί να επιλέξει από ένα ευρύ φάσμα συστάσεων (Lü, et al., 2012).

Τα υβριδικά συστήματα προτάσεων προσφέρουν αρκετά οφέλη που ενισχύουν την αποτελεσματικότητα και την εμπειρία των χρηστών. Με τη συνδυασμένη χρήση πολλαπλών τεχνικών προτάσεων, αξιοποιούνται οι δυνατότητες κάθε μεθόδου για την παραγωγή ακριβέστερων και πιο σχετικών προτάσεων. Επίσης, η ενσωμάτωση πληροφοριών από διάφορες πηγές, βοηθά στην αντιμετώπιση των περιορισμών των μεμονωμένων προσεγγίσεων πρότασης και οδηγεί σε πιο ακριβείς προβλέψεις, στο κομμάτι που αφορά τις προτιμήσεις των χρηστών.

Επιπλέον, παρέχουν ευρύτερη κάλυψη (coverage) των προτεινόμενων αντικειμένων, επειδή ενσωματώνουν πολλαπλές στρατηγικές συστάσεων, με αποτέλεσμα οι χρήστες να έχουν μια ποικιλόμορφη σειρά επιλογών, αυξάνοντας τις πιθανότητες εύρεσης αντικειμένων που τους ενδιαφέρουν.

Τα συστήματα αυτά, είναι ευέλικτα και προσαρμοστικά, αφού προσαρμόζουν δυναμικά τις συστάσεις στις μεταβαλλόμενες ανάγκες και συνθήκες του συστήματος. Μπορούν να βελτιστοποιήσουν την ποιότητα των προτάσεων δυναμικά, προσαρμόζοντας τεχνικές weighting ή συνδυασμούς διαφορετικών τεχνικών, βασιζόμενα σε ανατροφοδότηση χρηστών, μετρικές απόδοσης ή παράγοντες περιεχομένου. Αυτή η διαδικασία εξασφαλίζει την συνεχή βελτίωση των συστάσεων, αλλά και την αποτελεσματικότητα στην ικανοποίηση των αναγκών του χρήστη.

Τέλος, αποτελούν αποτελεσματική λύση για την αντιμετώπιση των προβλημάτων Cold-start και Data Sparsity, όπου νέοι χρήστες ή αντικείμενα έχουν περιορισμένα ιστορικά δεδομένα. Αυτό συμβαίνει επειδή μπορούν να αξιοποιήσουν τα διαθέσιμα δεδομένα με πιο αποτελεσματικό τρόπο και να παρέχουν σημαντικές προτάσεις ακόμα και σε καταστάσεις με ελλιπή δεδομένα. Αυτό βέβαια εξαρτάται και από τις τεχνικές σύστασης που ενσωματώνουν.

Όμως, τα υβριδικά συστήματα προτάσεων αντιμετωπίζουν εξίσου και πολλές προκλήσεις, οι οποίες περιλαμβάνουν κυρίως την πολυπλοκότητα, το αυξημένο υπολογιστικό κόστος, καθώς και την ερμηνευσιμότητα και διαφάνεια.

Η πολυπλοκότητα αφορά την ανάγκη για συντονισμό, βελτιστοποίηση και συνδυασμό πολλαπλών τεχνικών συστάσεων. Η σχεδίαση, υλοποίηση και συντήρηση τέτοιων συστημάτων μπορεί να απαιτεί πολύτιμους πόρους καθώς και εξειδίκευση σε πολλούς

τομείς, όπως μηχανική μάθηση (machine learning), η ενσωμάτωση δεδομένων (data integration) και η αρχιτεκτονική συστήματος (system architecture).

Το αυξημένο υπολογιστικό κόστος, συνδέεται με την απαίτηση των συστημάτων αυτών για επιπλέον πόρους, με σκοπό την εκτέλεση και συντήρησή τους. Μπορεί να απαιτούν μεγαλύτερη ισχύ επεξεργαστή, μνήμη και αποθηκευτικό χώρο, για να εκτελέσουν και να διατηρήσουν πολλαπλούς αλγόριθμους συστάσεων συγχρόνως.

Το κομμάτι της ερμηνευσιμότητας και της διαφάνειας, επηρεάζεται από την αυξημένη πολυπλοκότητά τους, καθώς οι χρήστες ενδέχεται να δυσκολευτούν να κατανοήσουν πώς δημιουργούνται οι συστάσεις, μειώνοντας την εμπιστοσύνη και την αποδοχή των συστάσεων από τους χρήστες.

Επιπλέον, η αξιολόγηση της απόδοσης των υβριδικών συστημάτων συστάσεων είναι περίπλοκη, καθώς περιλαμβάνει την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας πολλαπλών τεχνικών και αντίκτυπου αυτών στην ποιότητα των συστάσεων. Η επιλογή κατάλληλων μετρικών αξιολόγησης είναι επίσης ένα ζήτημα. Επιπρόσθετα, η ενσωμάτωση πολλαπλών τεχνικών συστάσεων, αυξάνει τον κίνδυνο υπερπροσαρμογής (overfitting)¹⁶, ειδικά σε περιπτώσεις όπου το σύστημα είναι υπερβολικά πολύπλοκο ή τα δεδομένα εκπαίδευσης είναι περιορισμένα. Τέλος, μπορεί να υπάρξουν δυσκολίες στον εντοπισμό του βέλτιστου συνδυασμού παραμέτρων, καθώς η διαδικασία αυτή απαιτεί εκτεταμένα πειράματα και αξιολογήσεις σε διαφορετικές τεχνικές και σύνολα δεδομένων.

2.2.4 Πίνακας σύγκρισης συστημάτων συστάσεων

Παρακάτω ακολουθεί ένας πίνακας με σκοπό τη σύγκριση των συστημάτων συστάσεων που προαναφέρθηκαν. Η πρώτη στήλη αντιπροσωπεύει το είδος του συστήματος, ενώ στη δεύτερη ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή του. Έπειτα στις επόμενες στήλες παρέχονται τα θετικά και τα αρνητικά του κάθε είδους συστήματος που προαναφέρθηκε στην Ενότητα 2.2.3.

¹⁶ Υπερπροσαρμογή (overfitting): Η υπερπροσαρμογή συμβαίνει όταν το μοντέλο δεν μπορεί να γενικεύσει συστάσεις και προσεγγίζει στο σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης.

Πίνακας 2.1: Πίνακας σύγκρισης

Σύστημα σύστασης	Περιγραφή	Θετικά	Αρνητικά
Συνεργατικό φιλτράρισμα	Προτείνει προϊόντα με βάση προηγούμενες αξιολογήσεις από παρόμοιους χρήστες ή σε παρόμοια προϊόντα	- Δεν απαιτείται γνώση τομέα / κλάδου - Κάλυψη διαφόρων ειδών αντικειμένων (ακόμη και πολύπλοκων) - Βοηθά στην ανακάλυψη νέων ενδιαφερόντων - Σημαντικό σημείο εκκίνησης για άλλα είδη συστημάτων συστάσεων	- Κρύα εκκίνηση - Ανεπάρκεια δεδομένων - Κλιμακωσιμότητα - Προκατάληψη με βάση την δημοφιλία
Βασισμένο στο περιεχόμενο	Κατασκευάζει προφίλ χρηστών για να προβλέψει αξιολογήσεις με βάση το περιεχόμενο/περιγραφή των αντικειμένων ακόμη και για νέα αντικείμενα	- Διαχειρίσιμο για μικρά σύνολα δεδομένων - Ανεξαρτησία από τα δεδομένα άλλων χρηστών - Κλιμάκωση ως προς το μέγεθος των χρηστών - Δεν υποφέρει από cold-start - Ικανότητα σύστασης και για νέα προϊόντα	- Κλιμακωσιμότητα - Απαιτείται εντατική γνώση τομέα - Δύσκολη μεταφορά γνώσης από ένα είδος αντικειμένου στο άλλο - Περιορισμένος βαθμός καινοτομίας - Υπερ-ειδίκευση
Δημογραφικό	Κατηγοριοποιεί τους χρήστες μέσω δημογραφικών στοιχείων. Έπειτα, μπορεί να χρησιμοποιήσει content-based ή collaborative filtering ή κάποια άλλη προσέγγιση/μέθοδο για την παροχή των συστάσεων.	- Χρήσιμο για προϊόντα με περιορισμένη πληροφορία - Καλύτερη κλιμακωσιμότητα - Απλή & γρήγορη ανάκτηση αποτελεσμάτων - Αποφυγή προβλήματος κρύας εκκίνησης - Παροχή εξειδικευμένων συστάσεων - Βελτιστοποίηση εμπειρίας χρήστη - Καλύτερη κατανόηση συμπεριφοράς χρήστη - Ενίσχυση συμμετοχής χρήστη - Στοχευμένο marketing	- Θέματα ασφάλειας & απορρήτου - Υπερ-γενίκευση (over-generalization) - Περιορισμένη προσαρμοστικότητα - Στερεότυπα & προκατάληψη

Βασισμένο στην χρησιμότητα	Δημιουργεί συναρτήσεις χρησιμότητας για κάθε χρήστη και με βάση αυτές αξιολογεί τα αντικείμενα και επιστρέφει αυτό με την υψηλότερη χρησιμότητα	• Παροχή εξατομικευμένων συστάσεων • Ευελιξία & προσαρμοστικότητα • Ακρίβεια συστάσεων • Ερμηνευτικότητα • Αντιμετώπιση cold-start	• Ανεπάρκεια δεδομένων • Περιορισμένος βαθμός καινοτομίας • δυναμικότητα και προσαρμοστικότητα • ευρωστία
Γνωστικό	Χρηση γνωσεων σχετικων με τους χρήστες/προϊόντα ειδικές ως προς τον τομέα/κλάδο για τη δημιουργία συστασεων	• Εξατομικευμένες συστάσεις • Αντιμετώπιση πολύπλοκων περιορισμών και προτιμήσεων • Διαφάνεια & ερμηνευτικότητα προς τους χρήστες • Αντιμετώπιση προβλήματος cold-start • Ευελιξία & ενημέρωση τομεακής γνώσης και προτιμήσεων του χρήστη • Βελτιστοποίηση ποιότητας συστάσεων	• Κλιμακωσιμότητα • Πολυπλοκότητα τομεακής γνώσης • Προκλήσεις στην απόκτηση, επικύρωση και ενημέρωση της γνώσης του τομέα • Περιορισμένος βαθμός καινοτομίας • Προκατειλημμένες συστάσεις
Υβριδικό	Συνδυάζει δύο ή περισσότερες τεχνικές συστημάτων συστάσεων	• Ελαχιστοποιεί τα μειονεκτήματα των CF και Content-based συστημάτων • Υψηλή ακρίβεια συστάσεων • Βελτίωση εμπειρίας χρήστη • Βελτίωση αποδοσης • Ευελιξία & προσαρμοστικότητα • Βελτιστοποίηση ποιότητας συστάσεων • Αποτελεσματική λύση για cold-start & data sparsity • Καλύτερη κάλυψη (coverage)	• Αυξημενη πολυπλοκότητα • Εξειδίκευση σε μηχανική μάθηση, ενσωμάτωση δεδομένων, αρχιτεκτονική συστήματος • Αυξημένο υπολογιστικό κόστος • Ερμηνευτικότητα & Διαφάνεια • Περίπλοκη & Δύσκολη αξιολόγηση • Δυσκολεύονται να προσφέρουν το βέλτιστο συνδυασμό παραμέτρων • Δυσκολία στην επιλογή μετρικών αξιολόγησης • Υπερ-προσαρμογή

Από τον παραπάνω πίνακα σύγκρισης είναι εύκολο να παρατηρηθεί το γεγονός πως δεν υπάρχει κάποιο σύστημα συστάσεων που να ξεχωρίζει σε σχέση με τα υπόλοιπα. Μάλιστα κάθε σύστημα συστάσεων μπορεί να υπερτερεί έναντι των άλλων με βάση ένα υποσύνολο όλων των δυνατών κριτηρίων που μπορούν να τεθούν και τα οποία μπορούν να αφορούν την απόδοση, κλιμακωσιμότητα, ακρίβεια, προσαρμοστικότητα, ευρωστία, προστασία της ιδιωτικότητας, την έλλειψη προκαταλείψεων, τον βαθμό καινοτομίας, τον βαθμό εμπιστοσύνης και την ερμηνευτικότητα καθώς και την ικανότητα αντιμετώπισης των προβλημάτων κρύας εκκίνησης και έλλειψης δεδομένων.

Επιπλέον, με βάση την παρατήρηση, εντοπίζονται ως πιο συχνά πλεονεκτήματα των συστημάτων συστάσεων η εξατομίκευση (εξειδικευμένες συστάσεις), η βελτίωση εμπειρίας χρήστη, η διαφάνεια και η ερμηνευτικότητα, η ακρίβεια συστάσεων, η προσαρμοστικότητα, η κλιμακωσιμότητα και η αντιμετώπιση της κρύας εκκίνησης. Από τα πλεονεκτήματα αυτά, το πιο συχνό είναι η αντιμετώπιση της κρύας εκκίνησης και έπειτα έπονται οι εξατομίκευση και η ευελιξία/προσαρμοστικότητα. Από την άλλη μεριά, τα πιο συχνά μειονεκτήματα είναι αυτά της ανεπάρκειας δεδομένων, κλιμακωσιμότητας, προκατειλημμένων συστάσεων, περιορισμένου βαθμού καινοτομίας, προσαρμοστικότητας και εντατικής γνώσης τομέα. Από τα μειονεκτήματα αυτά, τα περισσότερα συχνά είναι η κλιμακωσιμότητα και ο βαθμός καινοτομίας.

2.2.5 Διαδικασία δημιουργίας συστημάτων συστάσεων

Η δημιουργία ενός συστήματος προτάσεων απαιτεί πολλά στάδια, από τη συλλογή και προεπεξεργασία των διαφόρων ειδών δεδομένων έως τη κατασκευή, αξιολόγηση και εξέλιξη των μοντέλων. Στη συνέχεια, αναλύουμε τα πιο βασικά από τα βήματα αυτά.

2.2.5.1 Συλλογή Δεδομένων

Αρχικά, το πρώτο βήμα είναι η συλλογή δεδομένων, τα οποία μπορεί να περιλαμβάνουν αλληλεπιδράσεις χρηστών (π.χ. αξιολογήσεις, κλικ, αγορές), χαρακτηριστικά αντικειμένων (π.χ. περιγραφές, κατηγορίες, χαρακτηριστικά), προφίλ χρηστών (π.χ. δημογραφικά στοιχεία, προτιμήσεις) και περιβαλλοντικές πληροφορίες (π.χ. χρόνος, τοποθεσία, συσκευή).

2.2.5.2 Επεξεργασία & Προετοιμασία Δεδομένων

Έπειτα, απαιτείται η προεπεξεργασία και προετοιμασία των δεδομένων αυτών, για να χρησιμοποιηθούν στο σύστημα συστάσεων. Αυτή η διαδικασία μπορεί να περιλαμβάνει μια σειρά από πράξεις που πρέπει να γίνουν, όπως η εκκαθάριση των δεδομένων, η αντιμετώπιση τιμών null, η κωδικοποίηση κατηγορηματικών δεδομένων (categorical data), και η κανονικοποίηση ή κλιμάκωση αριθμητικών χαρακτηριστικών (scaling/normalizing numerical features).

Η εκκαθάριση των δεδομένων απευθύνεται στη διαδικασία επιδιόρθωσης ή αφαίρεσης εσφαλμένων, κατεστραμμένων, εσφαλμένα μορφοποιημένων, καθώς και διπλών δεδομένων μέσα σε ένα σύνολο δεδομένων (dataset).¹⁷ Τα κατηγορηματικά δεδομένα δημιουργούνται για πληροφορίες που έχουν λίγες πιθανές τιμές, όπως κατηγορίες ή ετικέτες, και αναπαρίστανται ως συλλογή αριθμών. Αυτό μπορεί να επιταχύνει ορισμένες λειτουργίες, αλλά και να οδηγήσει σε εξοικονόμηση μνήμης, σε σύγκριση με τον αντίστοιχο τύπο δεδομένων αντικειμένου.¹⁸

Η κανονικοποίηση χαρακτηριστικών είναι μια τεχνική προεπεξεργασίας δεδομένων που χρησιμοποιείται για τη μετατροπή των τιμών των χαρακτηριστικών, ή μεταβλητών, σε ένα ενιαίο επίπεδο κλίμακας, με στόχο να διασφαλιστεί ότι όλα τα χαρακτηριστικά συνεισφέρουν ισότιμα στο μοντέλο και να αποφευχθεί η κυριαρχία χαρακτηριστικών με μεγαλύτερες τιμές.¹⁹

2.2.5.3 Μηχανική Χαρακτηριστικών

Αφού ολοκληρωθεί η προεπεξεργασία και η προετοιμασία των δεδομένων, ακολουθεί η διαδικασία που αφορά τη μηχανική χαρακτηριστικών (Feature Engineering). Η διαδικασία αυτή σχετίζεται με την εξαγωγή σχετικών χαρακτηριστικών, από τα αρχικά δεδομένα (raw data), που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία μοντέλων συστάσεων. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τη δημιουργία πινάκων αλληλεπίδρασης χρήστη-αντικειμένου (user-item), τον υπολογισμό ομοιότητας αντικειμένων, την εξαγωγή προτιμήσεων του χρήστη και την ενσωμάτωση περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών (contextual features).

2.2.5.4 Μοντελοποίηση

Επόμενο βήμα είναι η μοντελοποίηση, κατά την οποία τα μοντέλα συστάσεων εκπαιδεύονται χρησιμοποιώντας τα προετοιμασμένα δεδομένα (prepared data) και τα αποτελέσματα της μηχανικής χαρακτηριστικών (feature engineering). Μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες τεχνικές μοντελοποίησης, συμπεριλαμβανομένων του συνεργατικού φιλτραρίσματος, του φιλτραρίσματος βασισμένου στο περιεχόμενο, της παραγοντοποίησης πινάκων (matrix factorization), της βαθιάς μάθησης (deep learning), των μεθόδων συνόλου (ensemble methods) και των υβριδικών προσεγγίσεων. Η επιλογή του μοντέλου εξαρτάται από παράγοντες, όπως είναι τα χαρακτηριστικά των δεδομένων, η επιθυμητή στρατηγική συστάσεων και οι υπολογιστικοί πόροι.

¹⁷ <https://www.tableau.com/learn/articles/what-is-data-cleaning>

¹⁸ <https://www.datacamp.com/tutorial/categorical-data>

¹⁹ <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2020/04/feature-scaling-machine-learning-normalization-standardization/#h-what-is-feature-scaling>

2.2.5.5 Αξιολόγηση Μοντέλων

Μετά την εκπαίδευση των μοντέλων συστάσεων, πρέπει να γίνει μια αξιολόγηση των μοντέλων αυτών, για να εκτιμηθεί η απόδοσή τους και η αποτελεσματικότητά τους. Μετρικές αξιολόγησης όπως η ακρίβεια (precision), η ανάκληση (recall), η συνολική ακρίβεια (accuracy), η F1-score και η μέση ανώτερη ακρίβεια (mean average precision – MAP), χρησιμοποιούνται συνήθως για τη μέτρηση της ποιότητας των συστάσεων. Παρακάτω εξηγούμε την σημασιολογία των μετρικών αυτών:

- ❖ Ακρίβεια (precision): αναπαριστά τον αριθμό των σχετικών στοιχείων²⁰ προς τον αριθμό όλων των στοιχείων που έχουν προταθεί σε έναν χρήστη.
- ❖ Ανάκληση (recall) : αναπαριστά τον αριθμό των σχετικών προτεινόμενων στοιχείων προς τον συνολικό αριθμό στοιχείων που πρέπει να προτείνονται.
- ❖ Συνολική ακρίβεια (accuracy): είναι ο αριθμός των επιτυχημένων συστάσεων προς τον συνολικό αριθμό των συστάσεων.
- ❖ F1-score : βοηθά στην απλοποίηση της ακρίβειας (precision) και της ανάκλησης (accuracy) σε μια ενιαία μέτρηση. Υπολογίζεται ως ο αρμονικός μέσος (harmonic mean) της ακρίβειας και ανάκλησης, άρα αποτελεί μια συνθετική μετρική που υπολογίζεται με βάση άλλες.
- ❖ Μέση ανώτερη ακρίβεια (mean average precision – MAP): είναι ο μέσος όρος της μέσης ακρίβειας κατά μήκος όλων των χρηστών.²¹

Ο πίνακας σύγχυσης (confusion matrix) είναι ένα εργαλείο αξιολόγησης απόδοσης στη μηχανική μάθηση, που αντιπροσωπεύει την ακρίβεια ενός μοντέλου ταξινόμησης. Εμφανίζει τον αριθμό των πραγματικών θετικών (True Positive - TP), των πραγματικών αρνητικών (True Negative - TN) και αντίστοιχα τον αριθμό των ψευδώς θετικών (False Positive - FP) και των ψευδώς αρνητικών (False Negative - FN).

- Πραγματικό θετικό (TP): Η προβλεπόμενη τιμή/κατηγορία ταιριάζει με την πραγματική τιμή/κατηγορία. Η πραγματική τιμή ήταν θετική και το μοντέλο προέβλεψε μια θετική τιμή.
- Πραγματικό αρνητικό (TN): Η προβλεπόμενη τιμή/κατηγορία ταιριάζει με την πραγματική τιμή/κατηγορία. Η πραγματική τιμή ήταν αρνητική και το μοντέλο προέβλεψε μια αρνητική τιμή.
- Ψευδές θετικό (FP): Η προβλεπόμενη τιμή είχε προβλεφθεί λανθασμένα. Η πραγματική τιμή ήταν αρνητική, αλλά το μοντέλο προέβλεψε μια θετική τιμή.
- Ψευδές αρνητικό (FN): Η προβλεπόμενη τιμή είχε προβλεφθεί λανθασμένα. Η πραγματική τιμή ήταν θετική, αλλά το μοντέλο προέβλεψε μια αρνητική τιμή.²²

²⁰ Σχετικό στοιχείο είναι αυτό που ο χρήστης το βρίσκει ενδιαφέρον.

²¹ <https://neptune.ai/blog/recommender-systems-metrics>

²² <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2020/04/confusion-matrix-machine-learning/>

		ACTUAL VALUES	
		POSITIVE	NEGATIVE
PREDICTED VALUES	POSITIVE	TP	FP
	NEGATIVE	FN	TN

Εικόνα 2.14: Πίνακας σύγχυσης

Πηγή: <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2020/04/confusion-matrix-machine-learning/>

Με τη βοήθεια του παραπάνω πίνακα υπολογίζονται οι μετρικές που προαναφέρθηκαν. Παρακάτω απεικονίζονται οι μαθηματικοί τύποι των μετρικών αυτών.

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN}$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$F1 = 2 * \frac{Precision * Recall}{Precision + Recall}$$

$$MAP = \frac{\sum_{q=1}^Q AveP(q)}{Q}$$

Εικόνα 2.15: Τύποι μετρικών

Σημειώνεται πως μπορεί σε αυτό το στάδιο να εφαρμοστούν τεχνικές κατά μήκος επικύρωσης (cross-validation) για να εξασφαλιστεί η ευρωστία και γενίκευση των παραγόμενων μοντέλων.

2.2.5.6 Μετα-Επεξεργασία & Φιλτράρισμα

Αφού υλοποιηθεί το στάδιο της εκπαίδευσης των μοντέλων συστάσεων και της αξιολόγησή τους, μπορούν να εφαρμοστούν τεχνικές μετα-επεξεργασίας (post-processing) για να φιλτράρουν ή να βελτιώσουν τις συστάσεις. Αυτή η διαδικασία μπορεί να περιλαμβάνει την αφαίρεση μη σχετικών ή χαμηλής ποιότητας προτάσεων, την ενσωμάτωση επιχειρησιακών κανόνων (Business rules) ή περιορισμών, καθώς

και την βελτιστοποίηση των συστάσεων, με βάση τις ανατροφοδοτήσεις χρηστών ή των μετρικών απόδοσης (performance metrics).

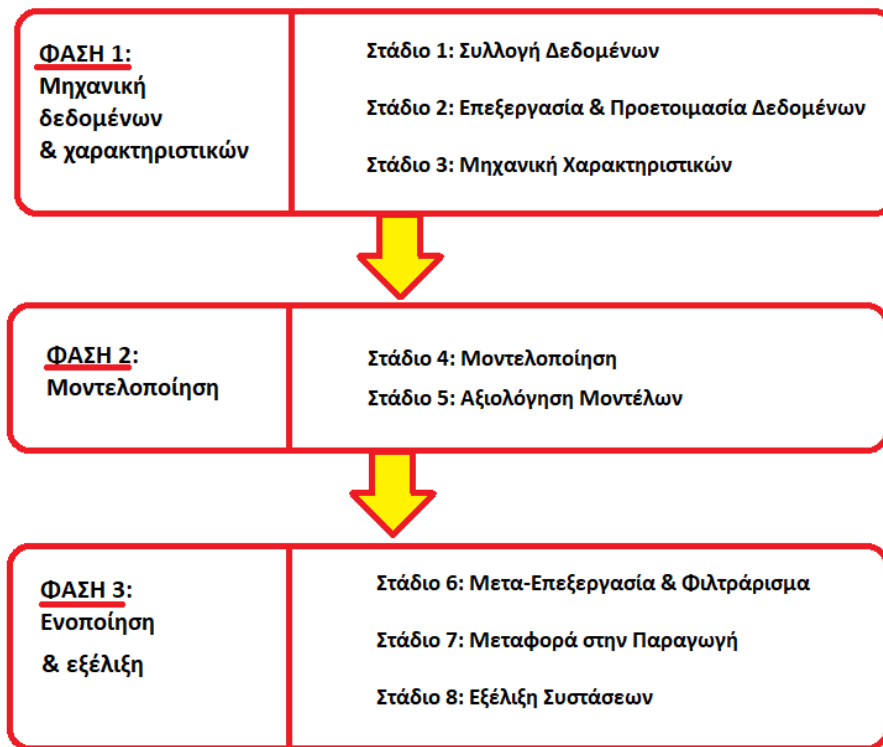
2.2.5.7 Μεταφορά στην Παραγωγή

Στη συνέχεια, τα εκπαιδευμένα μοντέλα συστάσεων αναπτύσσονται σε περιβάλλοντα παραγωγής (production environments) και ενσωματώνονται στην εφαρμογή ή την πλατφόρμα για την οποία προορίζονται. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τη δημιουργία APIs ή υπηρεσιών για την παροχή πραγματικού χρόνου (real-time) συστάσεων, την ενσωμάτωση με διεπαφές χρήστη (user interfaces) ή εφαρμογές και την παρακολούθηση της απόδοσης του συστήματος συστάσεων στην παραγωγή.

2.2.5.8 Εξέλιξη Συστάσεων

Τέλος, τα συστήματα συστάσεων λειτουργούν συνήθως σε δυναμικά περιβάλλοντα όπου οι προτιμήσεις των χρηστών, η διαθεσιμότητα των στοιχείων και οι απαιτήσεις του συστήματος αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου. Επομένως, είναι σημαντικό να δημιουργηθεί ένας βρόγχος αλληλεπίδρασης (feedback loop), με στόχο τη συνεχή παρακολούθηση και ενημέρωση των μοντέλων συστάσεων που βασίζονται σε νέα δεδομένα, στην αλληλεπίδραση του χρήστη (user feedback) και στις μετρικές απόδοσης. Αυτή η επαναληπτική διαδικασία βοηθά στη βελτίωση της ακρίβειας, της σχετικότητας και της αποτελεσματικότητας του συστήματος συστάσεων με την πάροδο του χρόνου.

Θα λέγαμε πως χονδρικά μπορούμε να χωρίσουμε τα στάδια σε 3 γενικές φάσεις: την μηχανική δεδομένων και χαρακτηριστικών (data & feature engineering) (3 πρώτα στάδια), την μοντελοποίηση (2 επόμενα στάδια), και την ενοποίηση & εξέλιξη (τελευταία 3 στάδια). Οι φάσεις αυτές εκτελούνται σειριακά σε ένα βρόγχο ελέγχου με σκοπό την συνεχή βελτίωση και εξέλιξη των συστάσεων. Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 2.16) διακρίνονται οι φάσεις με τα αντίστοιχα στάδιά τους.



Εικόνα 2.16: Οι φάσεις και στάδια τους για τη δημιουργία συστήματος σύστασης

3. Μεθοδολογία επιλογής άρθρων

Η μεθοδολογία επιλογής άρθρων εστιάζει στη συλλογή ενός πλήρους και κατάλληλου ακαδημαϊκού και ερευνητικού υλικού, όπως επιστημονικά άρθρα, βιβλία, άρθρα βιβλίων και διδακτορικές διατριβές (PhD thesis), από αξιόπιστες πηγές, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την επίτευξη του βασικού στόχου της διπλωματικής εργασίας και την απάντηση σημαντικών ερευνητικών ερωτήσεων που απορρέουν από αυτόν. Ειδικότερα, ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 3.1) παρουσιάζει επτά ερευνητικές ερωτήσεις, οι οποίες στοχεύουν στην παροχή μιας λεπτομερής ανασκόπησης διαφόρων ευρύτερων πτυχών των υπηρεσιών ιστού, αλλά και των συστημάτων συστάσεων.

Πίνακας 3.1: Πίνακας ερευνητικών ερωτήσεων

Περιγραφή: Ο πίνακας ερευνητικών ερωτήσεων παρουσιάζει τις ερευνητικές ερωτήσεις στις οποίες απαντάει η παρούσα διπλωματική εργασία.

E1	<i>Πώς μπορούμε να κατηγοριοποιήσουμε τα συστήματα συστάσεων για την επιλογή υπηρεσιών ιστού;</i>
E2	<i>Πώς κυμαίνεται χρονικά η έρευνα στα συστήματα συστάσεων για την επιλογή υπηρεσιών ιστού;</i>
E3	<i>Ποιά είδη συστημάτων συστάσεων χρησιμοποιούνται περισσότερο για την επιλογή υπηρεσιών ιστού;</i>
E4	<i>Ποιές τεχνικές/μέθοδοι σύστασης χρησιμοποιούνται περισσότερο για την επιλογή υπηρεσιών ιστού;</i>
E5	<i>Ποιές είναι οι καλύτερες τεχνικές/μέθοδοι/προσεγγίσεις συστημάτων συστάσεων για την βέλτιστη επιλογή υπηρεσιών ιστού;</i>
E6	<i>Ποιές είναι οι βασικές προκλήσεις που αφορούν τα συστήματα συστάσεων για την επιλογή υπηρεσιών ιστού;</i>
E7	<i>Ποιές ερευνητικές κατευθύνσεις θα πρέπει να ακολουθηθούν στο μέλλον για την αντιμετώπιση των βασικών προκλήσεων όσον αφορά τα συστήματα συστάσεων για την επιλογή υπηρεσιών ιστού;</i>

3.1 Βασικά εργαλεία αναζήτησης

Ως βασικά εργαλεία αναζήτησης, χρησιμοποιήθηκαν δύο ευρέως χρησιμοποιούμενα και καθολικώς αναγνωρισμένα, το IEEE Xplore και το Google Scholar. Το IEEE Xplore είναι μια πρωτότυπη ψηφιακή πλατφόρμα για την ανακάλυψη και την πρόσβαση σε επιστημονικό και τεχνικό περιεχόμενο, το οποίο δημοσιεύεται από το IEEE (Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών) και τους εκδοτικούς του εταίρους. Επίσης, περιέχει περισσότερα από 6 εκατομμύρια έγγραφα και επιπλέον υλικό από κάποιες από τις πολυαναφερόμενες δημοσιεύσεις στον τομέα της ηλεκτρολογίας, της επιστήμης των υπολογιστών και των συναφών επιστημών.²³ Ο μελετητής Google (Google Scholar) παρέχει έναν απλό τρόπο ευρείας αναζήτησης επιστημονικής βιβλιογραφίας, καθώς είναι δυνατή η αναζήτηση σε πολλούς κλάδους και πηγές, όπως άρθρα, διατριβές, βιβλία και περιλήψεις από ακαδημαϊκούς εκδότες, επαγγελματικές εταιρείες, διαδικτυακά αποθετήρια, πανεπιστήμια και άλλους ιστότοπους.²⁴

3.2 Μοτίβο επερώτησης/αναζήτησης

Το μοτίβο επερώτησης/αναζήτησης σχεδιάστηκε προσεκτικά βάσει των ερευνητικών ερωτήσεων, όπως αυτές προδιαγράφηκαν στον Πίνακα 3.1. Έπειτα, το μοτίβο αυτό εφαρμόστηκε στα δύο εργαλεία αναζήτησης, προχωρώντας σε μια εξεζητημένη αναζήτηση (advanced search) λαμβάνοντας παράλληλα υπόψιν τις ιδιαιτερότητες του εκάστοτε εργαλείου. Το μοτίβο αναζήτησης που χρησιμοποιήθηκε είναι το εξής:

- ❖ “web service” AND (“discovery” OR “selection” OR “recommendation” OR “filtering” OR “sorting” OR “ranking” OR “endorsement” OR “suggestion” OR “advice” OR “judgment” OR “proposal” OR “clustering” OR “classification”)

Με το παραπάνω μοτίβο σχετίζεται η έννοια των υπηρεσιών ιστού με την ανακάλυψή τους, την επιλογή και τη σύστασή τους μέσω των συστημάτων συστάσεων, με αποτέλεσμα να αντλούνται πληροφορίες, οι οποίες βοηθούν στο να αποδοθούν απαντήσεις για τις ερωτήσεις που αναφέρονται στον πίνακα ερευνητικών ερωτήσεων (Πίνακας 3.1).

²³ <https://ieeexplore.ieee.org/Xplorehelp/#/overview-of-ieee-xplore/about-ieee-xplore>

²⁴ <https://scholar.google.com/intl/el/scholar/about.html>

3.3. Κριτήρια φιλτραρίσματος

Επόμενο βήμα μετά από την εφαρμογή του μοτίβου επερώτησης/αναζήτησης στα δύο επιλεγμένα εργαλεία αναζήτησης, είναι ο προσδιορισμός των κριτηρίων επιλογής των άρθρων για την σωστή επιλογή των μελετών που σχετίζονται με την έρευνα σε σχέση με αυτές που αρχικά εντοπίστηκαν. Το κύριο κριτήριο επιλογής για την επιλογή ενός άρθρου ήταν η συνάφειά του με τις ερευνητικές ερωτήσεις.

Κριτήρια αποδοχής

- *Συνάφεια*: επιλογή άρθρων που σχετίζονται με τις ερευνητικές ερωτήσεις
- *Πληρότητα*: πλήρεις εργασίες (full papers), οι οποίες παρέχουν μια ολοκληρωμένη ερευνητική προσέγγιση ή μελέτη που σχετίζεται με την σύσταση των υπηρεσιών ιστού
- *Τύπος άρθρων*: Άρθρα συνεδρίου, άρθρα περιοδικού, βιβλία, διδακτορικές διατριβές
- *Αξιολόγηση*: Αν τα άρθρα είναι συνεδρίου ή περιοδικού, θα πρέπει να έχουν οπωσδήποτε υποβληθεί σε αξιολόγηση
- *Έτος δημοσίευσης*: Εργασίες που δημοσιεύθηκαν από το 2007 και έπειτα, καθώς τα περισσότερα σύγχρονα άρθρα χρησιμοποιούν ως βάση/πηγές άρθρα από αυτό το έτος και έπειτα.

Κριτήρια Αποκλεισμού

- *Γλώσσα συγγραφής*: αφαίρεση άρθρων που έχουν γραφτεί σε άλλες γλώσσες πλην των αγγλικών και των ελληνικών
- *Πλεονασμός*: αφαίρεση διπλότυπων άρθρων
- *Αξιοπιστία πηγών*: αφαίρεση άρθρων από αναξιόπιστες πηγές (ανώνυμες/ανεπίσημες πηγές)
- *Παραπεμπσιμότητα*: αφαίρεση άρθρων που δεν περιλαμβάνουν βιβλιογραφικές παραπομπές

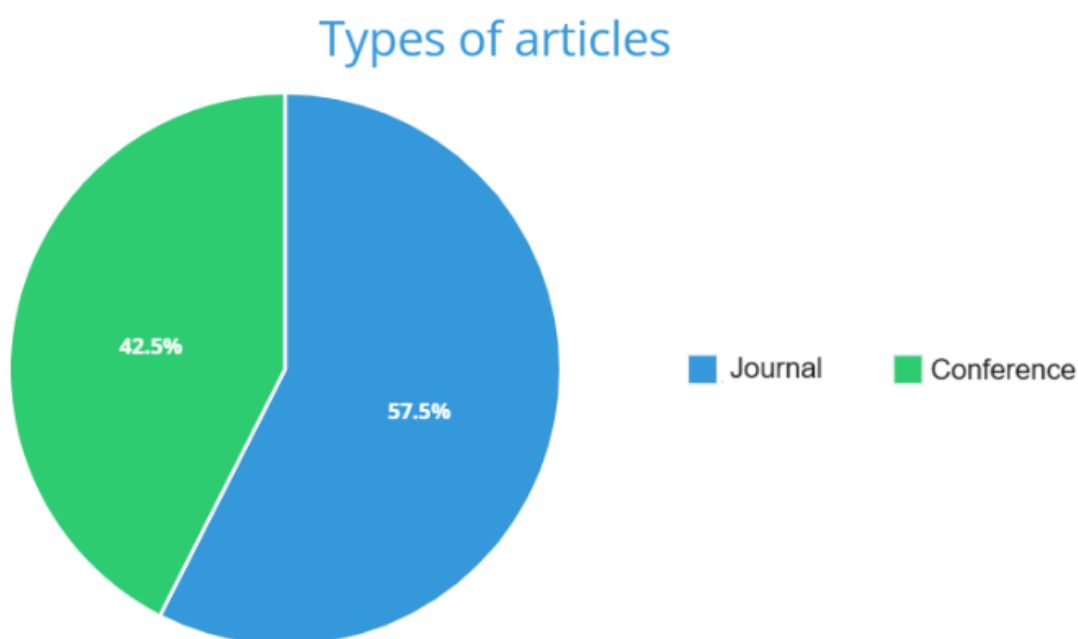
Κριτήρια ποιότητας

- *Εγκυρότητα δεδομένων*
- *Εφαρμογή κατάλληλης ερευνητικής μεθοδολογίας*
- *Αντικειμενικότητα* των αναλύσεων από τους ερευνητές
- *Αξιολόγηση*: αφαίρεση άρθρων που δεν αξιολογούν την μέθοδο/προσέγγιση που προτείνεται
- *Βαθμός κατανόησης*: αποκλεισμός άρθρων που δεν είναι κατανοητά
- *Στόχοι έρευνας*: αποκλεισμός άρθρων που δεν διατυπώνουν το σκοπό της έρευνάς τους

3.4 Ποσοτική ανάλυση

Αρχικά εντοπίστηκαν από τις ψηφιακές βιβλιοθήκες/εργαλεία αναζήτησης 35.628 επιστημονικά άρθρα/βιβλία, τα οποία φιλτραρίστηκαν με βάση τα παραπάνω κριτήρια αποδοχής και αποκλεισμού, με αποτέλεσμα να επιλεχθούν για μελέτη και να εξεταστούν προσεκτικά 89 άρθρα. Έπειτα, με βάση τα κριτήρια ποιότητας, τα οποία απαιτούν την πλήρη ανάγνωση των άρθρων, διατηρήθηκαν εν τέλει 40 άρθρα. Παρακάτω παραθέτονται τα ποσοτικά διαγράμματα, τα οποία αφορούν τα είδη (Εικόνα 3.1), τους εκδότες (Εικόνα 3.2) και τα έτη δημοσίευσης (Εικόνα 3.3) των άρθρων που τελικά επιλέχθηκαν.

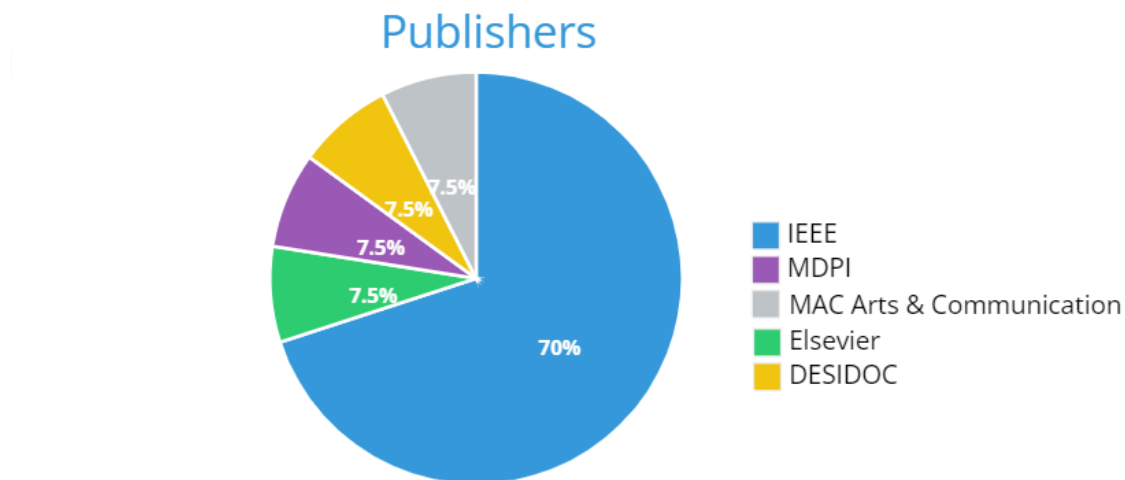
Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 3.1) έχει δημιουργηθεί ένα διάγραμμα πίτας με ποσοστά ανά τύπο άρθρων σε σχέση με τον συνολικό αριθμό των άρθρων που τελικά επιλέχθηκαν (40). Στα δεξιά του διαγράμματος εμφανίζονται τα ονόματα των τύπων των άρθρων με το χρώμα που αντιστοιχεί στον κάθε τύπο. Στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν δύο τύποι άρθρων: τα άρθρα περιοδικού και τα άρθρα συνεδρίου. Παρατηρούμε ότι ο πιο συχνός τύπος είναι τα άρθρα περιοδικού.



Εικόνα 3.1: Ποσοτικό διάγραμμα με βάση τα είδη των άρθρων που τελικά χρησιμοποιήθηκαν

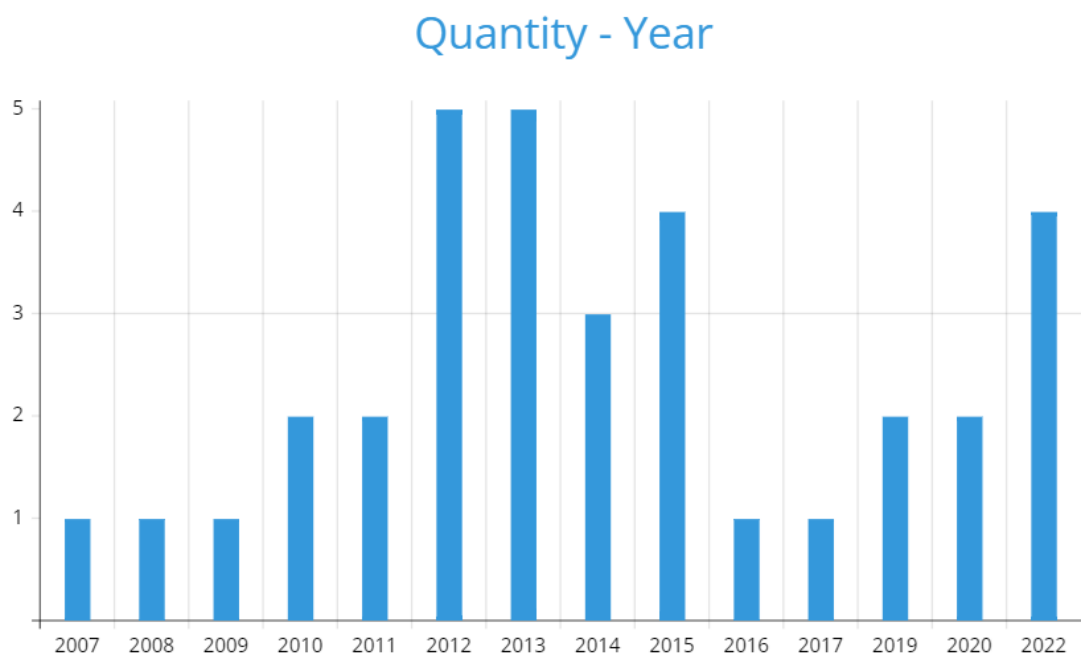
Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 3.2) έχει δημιουργηθεί ένα διάγραμμα πίτας με ποσοστά ανά εκδότη άρθρων (πάλι όσον αφορά το σύνολο των άρθρων που έχουν

τελικώς επιλεχθεί). Στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν άρθρα από πέντε εκδότες. Στα δεξιά εμφανίζονται τα ονόματα των εκδοτών με το χρώμα που αντιστοιχεί στον κάθε έναν. Το σύνολο των εκδοτών που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι εξής: IEEE, Elsevier, DESIDOC, MAC Arts & Communication και Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). Από το παρακάτω διάγραμμα φαίνεται πως ο πιο συχνός εκδότης στα επιλεγμένα άρθρα είναι ο IEEE.



Εικόνα 3.2: Ποσοτικό διάγραμμα με βάση τους εκδότες των άρθρων που τελικά επιλέχθηκαν

Παρακάτω (Εικόνα 3.3) απεικονίζεται ένα διάγραμμα μπάρας, το οποίο έχει στον άξονα y την ποσότητα (quantity) των άρθρων και στον άξονα x τις χρονολογίες (year) των άρθρων που δημοσιεύτηκαν. Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα, τα περισσότερα από τα επιλεγμένα άρθρα δημοσιεύτηκαν το 2012 και το 2013 ενώ οι χρονολογίες δημοσίευσης των επιλεγμένων άρθρων κυμαίνονται συνολικά μεταξύ 2007 - 2022. Εν γένει, μπορούμε να πούμε πως από το 2010 κι έπειτα (με εξαίρεση το 2016-2017), υπάρχει μια αυξητική τάση στον αριθμό των άρθρων. Βέβαια, αυτό περιορίζεται ως προς τον αριθμό των επιλεγμένων άρθρων. Οπότε, για καλύτερη επικύρωση του συμπεράσματος αυτού, θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν όλες οι δυνατές και σχετικές δημοσιεύσεις στην χρονική περίοδο 2007-2022.



Εικόνα 3.3: Ποσοτικό διάγραμμα με βάση τα έτη των άρθρων που τελικά χρησιμοποιήθηκαν

Οι απαντήσεις για τις *ερευνητικές* ερωτήσεις του Πίνακα 3.1 δίνονται με τη βοήθεια του παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3.2), όπου η πρώτη στήλη αντιστοιχίζεται στο αναγνωριστικό της ερώτησης, ενώ η δεύτερη στήλη αντιστοιχίζεται στην ενότητα/ες (κεφάλαιο/α) όπου βρίσκεται η απάντηση στην ερώτηση αυτή.

Πίνακας 3.2: Πίνακας ερευνητικών ερωτήσεων και ενοτήτων απάντησης

Ερώτηση	Ενότητα / Κεφάλαιο
E1	4. Ανάλυση
E2	3.4 Ποσοτική Ανάλυση
E3	4. Ανάλυση
E4	4. Ανάλυση
E5	4. Ανάλυση
E6	5. Προκλήσεις
E7	5. Προκλήσεις

4. Ανάλυση

4.1 Ιεραρχική κατηγοριοποίηση

Η κατηγοριοποίηση είναι ένα κρίσιμο εργαλείο στον τομέα της επιστημονικής έρευνας και ανάλυσης δεδομένων, που χρησιμοποιείται για να οργανώσει και να δομήσει τις πληροφορίες σε διαφορετικά επίπεδα και κατηγορίες. Στο πεδίο των συστημάτων συστάσεων, η κατηγοριοποίηση αποτελεί κρίσιμο βήμα για την κατανόηση της ποικιλίας των μεθόδων και προσεγγίσεων που χρησιμοποιούνται για την παροχή εξατομικευμένων συστάσεων. Μέσω μιας καλά δομημένης κατηγοριοποίησης, μπορούμε να αναδείξουμε τις κοινές τάσεις, τις διαφορές και τις εξελίξεις σε αυτό τον τομέα, καθώς και να διευκολύνουμε τη σύγκριση, την ανάλυση και την αξιολόγηση των διαφόρων προσεγγίσεων.

Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 4.1), η οποία έχει αντληθεί από το άρθρο *Analysis and Classification of Multi-Criteria Recommender Systems* (Manouselis & Costopoulou, 2007) και επιλέχθηκε διότι παρουσιάζει μια εκτενή κατηγοριοποίηση των συστημάτων συστάσεων όπου λαμβάνονται υπόψιν διάφορες διαστάσεις, όπως ο τύπος του συστήματος, οι μέθοδοι/τεχνικές που χρησιμοποιούν, οι αλγόριθμοι και άλλες σημαντικές παράμετροι που επηρεάζουν την απόδοση και την αποτελεσματικότητα των συστημάτων συστάσεων. Σημειώνουμε πως η ταξινόμηση αυτή αφορά εν γένει τα συστήματα συστάσεων και όχι ειδικότερα τα συστήματα συστάσεων υπηρεσιών ιστού. Αλλά την έχουμε επιλέξει διότι μέσω αυτής μπορεί να πραγματοποιηθεί και κατάλληλη κατηγοριοποίηση των συστημάτων συστάσεων υπηρεσιών ιστού αλλά μπορούν επίσης να αναδειχθούν επακριβώς οι πλευρές και διαστάσεις στις οποίες εστιάζουν τα συστήματα αυτά.

Ειδικότερα, η δενδρική δομή που απεικονίζεται στην Εικόνα 4.1 αποτελείται από τρεις βασικές διαστάσεις: την λογική, την προσέγγιση και την λειτουργία του συστήματος σύστασης.

- Η διάσταση της λογικής (rationale), δηλαδή το σκεπτικό για την ύπαρξη και τη δημιουργία του συστήματος συστάσεων, αποτελείται από 2 υπο-διαστάσεις: (1) τις υποστηριζόμενες εργασίες (Supported tasks), οι οποίες αναφέρονται σε 4 κατηγορίες που διακρίνουν τα συστήματα συστάσεων ανάλογα με τις εργασίες/προβλήματα χρήστη που προορίζονται να υποστηρίξουν. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι εξής:
 - Σχολιασμός στο περιεχόμενο (Annotation in context): Αυτή η εργασία πραγματοποιείται όταν το σύστημα συστάσεων ενσωματώνεται σε ένα υπάρχον εργασιακό περιβάλλον του χρήστη, προκειμένου να παρέχει πρόσθετη υποστήριξη ή πληροφορίες, π.χ. μια σύσταση για την

καταλληλότητα ενός αντικειμένου που ο χρήστης βλέπει αυτή τη στιγμή ή συνδέσμους σε μια ιστοσελίδα που συνιστάται να ακολουθήσει ο χρήστης.

- Βρες καλά αντικείμενα (Find good items): Αυτή η εργασία αναφέρεται στην πρόταση συγκεκριμένων αντικειμένων σε έναν χρήστη που θεωρούνται “καλά”, π.χ. παρουσιάζοντας μια ταξινομημένη λίστα προτεινόμενων αντικειμένων. Το πότε είναι καλό ένα αντικείμενο εξαρτάται από τις προτιμήσεις και απαιτήσεις του χρήστη και το πεδίο εφαρμογής. Αλλά συνήθως προϋποθέτει πως τα προτεινόμενα αντικείμενα σίγουρα ικανοποιούν τις προτιμήσεις του χρήστη.
- Βρες όλα τα καλά αντικείμενα (Find all good items): Αυτή η εργασία συμβαίνει σε σενάρια χρήσης όπου ο χρήστης θέλει να εντοπίσει όλα τα αντικείμενα που μπορεί να είναι ενδιαφέροντα και όχι μόνο ένα υποσύνολο αυτών. Για παράδειγμα, σε βάσεις δεδομένων με μεγάλο αριθμό ιατρικών ή νομικών περιπτώσεων, είναι πολύ σημαντικό να μην παραλείπεται η σύσταση κάποιων πιθανώς σχετικών περιπτώσεων, καθώς μπορεί να περιέχουν κρίσιμες πληροφορίες.
- Λήψη ακολουθίας αντικειμένων (Receive sequence of items): Αυτή η εργασία συμβαίνει σε σενάρια χρήσης όπου μια ακολουθία σχετικών αντικειμένων προτείνεται στον χρήστη, π.χ. σε εφαρμογές ψυχαγωγίας (πχ. σειρά εκτέλεσης μουσικών κομματιών) ή εκπαίδευσης (πχ. σειρά παρακολούθησης μαθημάτων). Η ακολουθία αυτή βασίζεται στην αναμενόμενη σειρά “κατανάλωσης” των αντικειμένων αυτών από τον χρήστη.

(2) από την προβληματική της απόφασης (decision problematic), που αναφέρεται στο συγκεκριμένο είδος λειτουργίας σύστασης που ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων ή σύστασης στοχεύει να υποστηρίξει πάνω στο πρόβλημα/εργασία προς επίλυση και αποτελείται από τις εξής 4 κατηγορίες:

- Επιλογή (Choice): η οποία περιλαμβάνει την επιλογή ενός αντικειμένου από ένα σύνολο υποψηφίων.
 - Ταξινόμηση (Sorting): η οποία περιλαμβάνει την κατηγοριοποίηση αντικειμένων σε προκαθορισμένες κατηγορίες με βάση ένα ή παραπάνω κριτήρια.
 - Κατάταξη (Ranking): η οποία περιλαμβάνει την κατάταξη αντικειμένων από το καλύτερο στο χειρότερο με βάση το σχετικό τους σκορ.
 - Περιγραφή (Description): η οποία περιλαμβάνει την περιγραφή όλων των αντικειμένων με βάση το πως αξιολογούνται σε κάθε κριτήριο.
-
- Η διάσταση της λειτουργίας (operation) αναφέρεται στη λειτουργία του συστήματος σύστασης και αποτελείται από 3 υπο-διαστάσεις: (1) την αρχιτεκτονική του συστήματος σύστασης (κεντροποιημένη ή αποκεντρωμένη), (2) την τοποθεσία της (λειτουργίας της) σύστασης (στην πηγή

πληροφοριών, στον εξυπηρετητή σύστασης ή στην πλευρά του χρήστη) και (3) την κατάσταση (mode), η οποία καθορίζει πώς και πότε οι χρήστες λαμβάνουν συστάσεις, επηρεάζοντας την αλληλεπίδρασή τους με το σύστημα συστάσεων και την αποτελεσματικότητα των παρεχόμενων συστάσεων. Πιο συγκεκριμένα, οι συστάσεις μπορεί να στέλνονται ενεργά στον χρήστη χωρίς να το ζητήσει (π.χ μέσω email), ή μπορεί να παράγονται και να παρουσιάζονται ενεργά στον χρήστη μόνο όταν ο χρήστης τις ζητήσει ρητά (π.χ όταν ο χρήστης επισκέπτεται μια ενότητα μιας ιστοσελίδας για να δει προτεινόμενα προϊόντα), ή μπορεί παθητικά να παράγονται ως μέρος της κανονικής λειτουργίας του συστήματος και να παρουσιάζονται ως μέρος της συνηθισμένης εμπειρίας του χρήστη (π.χ προτάσεις προϊόντων που εμφανίζονται όταν ο χρήστης περιηγείται σε μια ηλεκτρονική αγορά).

- Η διάσταση της προσέγγισης (approach) προσδιορίζει μεθοδολογικά τον τρόπο που πραγματοποιείται η σύσταση και αποτελείται από τις εξής δύο υπο-διαστάσεις:

(1) Το μοντέλο χρήστη (ή προφίλ χρήστη), το οποίο αναφέρεται στους τρόπους με τους οποίους οι χαρακτηριστικές πληροφορίες του χρήστη αναπαρίστανται, αποθηκεύονται και ενημερώνονται σε ένα σύστημα συστάσεων. Μπορούν να προσδιοριστούν οι ακόλουθες υπο-υπο-διαστάσεις:

- Η αναπαράσταση (Representation) του μοντέλου χρήστη, η οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους τύπους (Measurable, Ordinal / Features, Fuzzy, Probabilistic) ή μεθόδους (history-based models, vector space models, semantic networks, associative networks, classifier-based models, demographic features).
- Η δημιουργία (Generation), στην οποία τα χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τη δημιουργία του αρχικού μοντέλου χρήστη διακρίνονται ως προς τους τρόπους δημιουργίας των αρχικών τιμών τους και στους τρόπους μάθησης των αρχικών τιμών τους, εφόσον αυτές δεν προκύπτουν άμεσα από σχετικά, συλλεγμένα δεδομένα. Το αρχικό μοντέλο χρήστη σε ένα σύστημα προτεινόμενων:
 - (α) μπορεί να είναι κενό και να συμπληρώνεται σταδιακά καθώς ο χρήστης αρχίζει να αλληλεπιδρά με το σύστημα (Empty).
 - (β) μπορεί να παρέχεται χειροκίνητα από τον χρήστη (Manual).
 - (γ) μπορεί να συμπληρώνεται σύμφωνα με κάποιο στερεότυπο που περιγράφει την κατηγορία στην οποία ανήκει ο χρήστης (Stereotyping).
 - (δ) μπορεί να αποτελείται από ένα σύνολο παραδειγμάτων εκπαίδευσης (Training Set) που ζητείται να δημιουργηθεί από τον χρήστη με σκοπό να κατασκευαστεί το προφίλ του.
 - (στ) μπορεί να χρησιμοποιεί ευρετικές (heuristic) προσεγγίσεις, οι οποίες είναι πιο γρήγορες και αποτελεσματικές (με ίσως σχετικά λίγο πιο μικρή ακρίβεια).

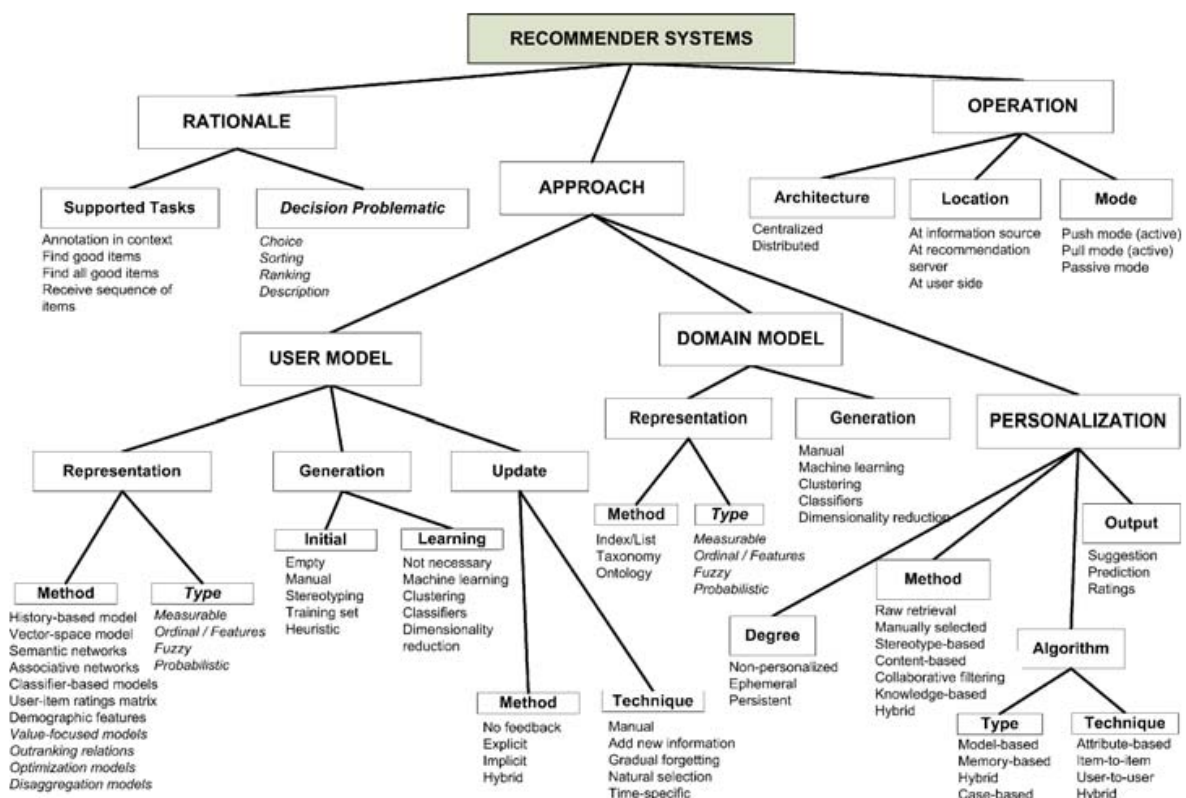
Σε μερικές από τις παραπάνω περιπτώσεις (αλλά όχι σε όλες - κατηγορία-φύλλο Not necessary), η δημιουργία του μοντέλου χρήστη απαιτεί μια φάση εκμάθησης, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει διάφορες τεχνικές για την παραγωγή του μοντέλου χρήστη από τα αρχικά συλλεχθέντα δεδομένα, όπως τεχνικές μηχανικής μάθησης, συσταδοποίησης ή ταξινόμησης (πχ. δέντρα αποφάσεων, νευρωνικά δίκτυα και δίκτυα Bayesian). Σε ορισμένες περιπτώσεις (κατηγορία-φύλλο Dimensionality reduction), μπορεί απλώς το σύνολο των δεδομένων για το μοντέλο χρήστη να είναι πολύ μεγάλο οπότε εφαρμόζεται σε αυτό κάποια τεχνική μείωσης διαστάσεων.

- Η ενημέρωση (update) του μοντέλου χρήστη, όπου μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσα από μεθόδους και τεχνικές. Στην πλειοψηφία των συστημάτων, η ενημέρωση του μοντέλου χρήστη γίνεται ρητά με ανατροφοδότηση που παρέχεται από τον χρήστη (μέθοδος Explicit). Υπάρχει όμως και ένας μικρός αριθμός συστημάτων όπου είτε η ενημέρωση πραγματοποιείται έμμεσα (Implicit) παρατηρώντας τη συμπεριφορά του χρήστη, ή χρησιμοποιείται ένας συνδυασμός ρητής-έμμεσης μεθόδου, δηλαδή την υβριδική (hybrid). Επίσης, άλλη μια περίπτωση είναι να μην λαμβάνεται υπόψιν η ανατροφοδότηση από τον χρήστη (no feedback), με αποτέλεσμα το μοντέλο να μην ενημερώνεται και να παραμένει στατικό. Η τεχνική που χρησιμοποιείται στα περισσότερα συστήματα για την ενημέρωση του μοντέλου χρήστη είναι η χειροκίνητη (manual), ενώ άλλα συστήματα ενημερώνουν το μοντέλο χρήστη αυτόματα, καθώς εισέρχεται στο σύστημα νέα πληροφορία για τις ενέργειες του χρήστη με την τεχνική προσθήκης νέας πληροφορίας (Add new information). Άλλες τεχνικές δίνουν αξία περισσότερο σε νέες πληροφορίες και όχι σε παλαιότερες (gradually forgetting), για να λαμβάνονται υπόψιν οι πρόσφατες προτιμήσεις του χρήστη, ή εξελίσσονται με βάση την φυσική επιλογή (Natural Selection), δηλαδή τη γνωστή βιολογική διεργασία εξέλιξης (πχ. εξέλιξη του μοντέλου χρήστη με βάση το πόσο ταιριάζει με τις καλύτερες συστάσεις που έχουν γίνει), ή μπορεί άλλες τεχνικές να εστιάζουν σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα των προτιμήσεων του χρήστη για την ενημέρωση του μοντέλου ώστε να λαμβάνεται υπόψιν η εξέλιξη των προτιμήσεων και της συμπεριφοράς του χρήστη (Time-Specific Intervals).

2) Το μοντέλο πεδίου (domain model), το οποίο απαιτείται για να αναπαρασταθούν τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων που σχετίζονται με το πεδίο εφαρμογής του συστήματος συστάσεων. Το μοντέλο πεδίου αποτελείται επίσης από τις υπο-διαστάσεις της αναπαράστασης (Representation), κατά την οποία τα αντικείμενα στον τομέα (domain) μπορούν να αναπαρασταθούν χρησιμοποιώντας μεθόδους (όπως λίστες αντικειμένων/οντοτήτων, ταξινομήσεις και οντολογίες) ή/και τύπους (ακριβώς αυτοί που

χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση του μοντέλου χρήστη), αλλά και της δημιουργίας (Generation), όπου οι περιγραφές των αντικειμένων συνήθως δημιουργούνται χρησιμοποιώντας ορισμένες τεχνικές (μηχανική μάθηση, συσταδοποίηση, κατηγοριοποίηση, μείωση διαστάσεων). Το μοντέλο πεδίου συνήθως δημιουργείται με έναν χειροκίνητο (Manual) τρόπο, καθώς μόνο λίγα από τα συστήματα συστάσεων χρησιμοποιούν κάποια τεχνική για να εξάγουν αυτόματα πληροφορίες για τα αντικείμενα από υπάρχουσες πηγές.

3) Την προσωποποίηση (Personalization), η οποία αναφέρεται σε διαστάσεις που απεικονίζουν τον τρόπο με τον οποίο το σύστημα παρέχει τις συστάσεις του, όσον αφορά τον βαθμό προσωποποίησης (degree) που παρέχει το σύστημα συστάσεων (κανένας, εφήμερος ή επίμονος), τη μέθοδο (method) σύστασης που χρησιμοποιεί (όπως αυτές που έχουν αναλυθεί στην Ενότητα 2.2), την έξοδο (output) που παράγει (δηλ. την μορφή της εξόδου, όπως συστάσεις, προβλέψεις ή σκορ) και τους αλγόριθμους σύστασης που χρησιμοποιεί, οι οποίοι μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σύμφωνα με τον τύπο (με βάση το μοντέλο, τη μνήμη, τις περιπτώσεις ή υβριδικός) ή/και την τεχνική τους (με βάση τα γνωρίσματα, από στοιχείο σε στοιχείο, από χρήστη σε χρήστη και υβριδικός). (Manouselis & Costopoulou, 2007)



Εικόνα 4.1: Ιεραρχική κατηγοριοποίηση

Πηγή: *Analysis and Classification of Multi-Criteria Recommender Systems* (Manouselis & Costopoulou, 2007)

4.2 Ανάλυση άρθρων

Παρακάτω ακολουθεί η ανάλυση των άρθρων που επιλέχθηκαν για την παρούσα εργασία, τα οποία αφορούν τα συστήματα συστάσεων για την επιλογή των υπηρεσιών ιστού. Αυτά τα άρθρα παρέχουν διάφορες προσεγγίσεις και μεθόδους για την ανάλυση, την κατηγοριοποίηση και την βελτίωση των συστημάτων συστάσεων, προκειμένου να ανταποκρίνονται καλύτερα στις ανάγκες των χρηστών και να καταφέρουν να προτείνουν την κατάλληλη ή βέλτιστη υπηρεσία. Πιο συγκεκριμένα, ακολουθούν παρακάτω οι πίνακες των άρθρων με την κατηγορία στην οποία ανήκουν με βάση την ιεραρχική κατηγοριοποίηση που έγινε στην ενότητα 4.1 και στη συνέχεια, εξηγείται συνοπτικά η συνεισφορά του κάθε άρθρου, καθώς και τα πλεονεκτήματα /μειονεκτήματα του.

Πίνακας 4.1: Διάσταση Rationale

Περιγραφή: Ο πίνακας απευθύνεται στη διάσταση rationale με βάση την ιεραρχική κατηγοριοποίηση από την Ενότητα 4.1

Τίτλος άρθρου	Supported Tasks	Decision Problematic
A recommender system based on historical usage data for web service discovery	Find good items	Ranking
Recommender systems on web service selection problems using a new hybrid approach	Find good items	Sorting
Diversifying Web Service Recommendation Results via Exploring Service Usage History	Find good items	Choice
QoS-Aware Web Service Recommendation by Collaborative Filtering	Find good items	Choice
Personalized Web Service Recommendation via Normal Recovery Collaborative Filtering	Find good items	Ranking
Unified Collaborative and Content-Based Web Service Recommendation	Find good items	Ranking

Time Aware and Data Sparsity Tolerant Web Service Recommendation Based on Improved Collaborative Filtering	Find good items	Ranking
An Effective Web Service Ranking Method via Exploring User Behavior	Find good items	Ranking
An Effective Web Service Recommendation Method based on Personalized Collaborative Filtering	Find good items	Ranking
A data-centric and machine based approach towards fixing the cold start problem in web service recommendation	Find good items	Choice
Collaborative filtering based web service recommender system using users' satisfaction on QoS attributes	Find good items	Choice
RegionKNN: A Scalable Hybrid Collaborative Filtering Algorithm for Personalized Web Service Recommendation	Find good items	Ranking
Combining Collaborative Filtering and Semantic Content-based Approaches to Recommend Web Services	Annotation in context	Choice
Hybrid Collaborative Filtering algorithm for bidirectional Web service recommendation	Find good items	Choice
AWSR: Active Web Service Recommendation Based on Usage History	Find good items	Ranking
Recommending Web Service Based on User Relationships and Preferences	Find good items	Ranking
Location-Aware Collaborative Filtering for QoS-Based Service Recommendation	Find good items	Ranking
Location-based Hierarchical Matrix Factorization for Web Service Recommendation	Find good items	Ranking
Personalized QoS aware Web service recommendation and visualization	Find good items	Ranking

Πίνακας 4.2: Διάσταση Operation

Περιγραφή: Ο πίνακας απευθύνεται στη διάσταση operation με βάση την ιεραρχική κατηγοριοποίηση από την Ενότητα 4.1

Τίτλος άρθρου	Architecture	Location	Mode
A recommender system based on historical usage data for web service discovery	Centralized	At User Side	Passive Mode
Recommender systems on web service selection problems using a new hybrid approach	Centralized	At Recommendation Server	Passive Mode
Diversifying Web Service Recommendation Results via Exploring Service Usage History	Centralized	At Recommendation Server	Passive Mode
QoS-Aware Web Service Recommendation by Collaborative Filtering	Centralized	At Recommendation Server	Passive Mode
Personalized Web Service Recommendation via Normal Recovery Collaborative Filtering	Centralized	At Recommendation Server	Passive Mode
Unified Collaborative and Content-Based Web Service Recommendation	Centralized	At Recommendation Server	Passive Mode
Time Aware and Data Sparsity Tolerant Web Service Recommendation Based on Improved Collaborative Filtering	Centralized	At Recommendation Server	Passive Mode
An Effective Web Service Ranking Method via Exploring User Behavior	Centralized	At Recommendation Server	Passive Mode
An Effective Web Service Recommendation Method based on Personalized Collaborative Filtering	Centralized	At Recommendation Server	Passive Mode

A data-centric and machine based approach towards fixing the cold start problem in web service recommendation	Centralized	At Recommendation Server	Passive Mode
Collaborative filtering based web service recommender system using users' satisfaction on QoS attributes	Centralized	At Recommendation Server	Passive Mode
RegionKNN: A Scalable Hybrid Collaborative Filtering Algorithm for Personalized Web Service Recommendation	Centralized	At Recommendation Server	Passive Mode
Combining Collaborative Filtering and Semantic Content-based Approaches to Recommend Web Services	Centralized	At Recommendation Server	Pull mode
Hybrid Collaborative Filtering algorithm for bidirectional Web service recommendation	Centralized	At Recommendation Server	Pull mode
AWSR: Active Web Service Recommendation Based on Usage History	Distributed	At Recommendation Server	Push mode
Recommending Web Service Based on User Relationships and Preferences	Centralized	At Recommendation Server	Pull mode
Location-Aware Collaborative Filtering for QoS-Based Service Recommendation	Centralized	At Recommendation Server	Pull mode
Location-based Hierarchical Matrix Factorization for Web Service Recommendation	Centralized	At Recommendation Server	Passive Mode
Personalized QoS aware Web service recommendation and visualization	Centralized	At Recommendation Server	Passive Mode

Πίνακας 4.3: Διάσταση Approach > User Model

Περιγραφή: Ο πίνακας απευθύνεται στη υποδιάσταση User Model της διάστασης Approach με βάση την ιεραρχική κατηγοριοποίηση από την Ενότητα 4.1

Τίτλος άρθρου	Representation : Method	Representation: Type	Generation: Initial	Generation: Learning	Update: Method	Update: Technique
A recommender system based on historical usage data for web service discovery	History-based model	Measurable	Training set	Clustering	Implicit	Add new info
Recommender systems on web service selection problems using a new hybrid approach	Vector-space models	Measurable	Training set	Clustering	Implicit	Add new info
Diversifying Web Service Recommendation Results via Exploring Service Usage History	History-based model	Measurable	Training set	Clustering	Implicit	Add new info
QoS-Aware Web Service Recommendation by Collaborative Filtering	Vector-space models	Measurable	Training set	Classifiers	Implicit	Add new info

Personalized Web Service Recommendation via Normal Recovery Collaborative Filtering	Vector-space models	Measurable	Training set	Clustering	Implicit	Add new info
Unified Collaborative and Content-Based Web Service Recommendation	Vector-space models	Probabilistic	Training set	Machine Learning	Hybrid	Add new info
Time Aware and Data Sparsity Tolerant Web Service Recommendation Based on Improved Collaborative Filtering	Vector-space models	Measurable	Heuristic	Machine Learning	Hybrid	Add new info
An Effective Web Service Ranking Method via Exploring User Behavior	History-based model	Measurable	Training set	Machine Learning	Hybrid	Add new info
An Effective Web Service Recommendation Method based on Personalized Collaborative Filtering	Vector-space models	Measurable	Heuristic	Machine Learning	Hybrid	Add new info

A data-centric and machine based approach towards fixing the cold start problem in web service recommendation	Vector-space models	Measurable	Training Set	Machine Learning	Implicit	Add new info
Collaborative filtering based web service recommender system using users' satisfaction on QoS attributes	Vector-space models	Ordinal / Features	Initial Empty	Clustering	Hybrid	Add new info
RegionKNN: A Scalable Hybrid Collaborative Filtering Algorithm for Personalized Web Service Recommendation	Vector-space models	Ordinal / Features	Initial Empty	Clustering	Implicit	Add new info
Combining Collaborative Filtering and Semantic Content-based Approaches to Recommend Web Services	Value-focused models	Ordinal / Features	Manual	Classifiers	Hybrid	Natural selection
Hybrid Collaborative Filtering algorithm for bidirectional	Vector-space models	Ordinal / Features	Training set	Clustering	Hybrid	Natural selection

Web service recommendation						
AWSR: Active Web Service Recommendation Based on Usage History	History-based model	Measurable	Training set	Classifiers	Hybrid	Add new info
Recommending Web Service Based on User Relationships and Preferences	Demographic features	Measurable	Training set	Classifiers	Hybrid	Add new info
Location-Aware Collaborative Filtering for QoS-Based Service Recommendation	Vector-space models	Measurable	Initial Empty	Classifiers	Hybrid	Add new info
Location-based Hierarchical Matrix Factorization for Web Service Recommendation	User-item ratings	Probabilistic	Initial Empty	dimensionality reduction	Implicit	Add new info
Personalized QoS aware Web service recommendation and visualization	Vector-space models	Measurable	Training set	dimensionality reduction	Implicit	Add new info

Πίνακας 4.4: Διάσταση Approach > Personalization

Περιγραφή: Ο πίνακας απευθύνεται στη υποδιάσταση Personalization της διάστασης Approach με βάση την ιεραρχική κατηγοριοποίηση από την Ενότητα 4.1

Τίτλος άρθρου	Degree	Method	Algorithm: Type	Algorithm: Technique	Output
A recommender system based on historical usage data for web service discovery	Persistent	Collaborative filtering	Memory-based	User-to-user	Suggestions
Recommender systems on web service selection problems using a new hybrid approach	Persistent	Hybrid	Hybrid	Hybrid	Suggestions
Diversifying Web Service Recommendation Results via Exploring Service Usage History	Persistent	Collaborative filtering	Model-based	Attribute-based	Suggestions
QoS-Aware Web Service Recommendation by Collaborative Filtering	Persistent	Collaborative filtering	Hybrid	attribute based	Predictions
Personalized Web Service Recommendation via Normal Recovery Collaborative Filtering	Persistent	Collaborative filtering	Hybrid	Attribute-based	Predictions

Unified Collaborative and Content-Based Web Service Recommendation	Persistent	Hybrid	Hybrid	Attribute-based	Suggestions
Time Aware and Data Sparsity Tolerant Web Service Recommendation Based on Improved Collaborative Filtering	Ephemeral	Hybrid	Hybrid	Hybrid	Suggestions
An Effective Web Service Ranking Method via Exploring User Behavior	Persistent	Hybrid	Hybrid	User-to-user	Ranked
An Effective Web Service Recommendation Method based on Personalized Collaborative Filtering	Persistent	Hybrid	Hybrid	Attribute-based	Suggestions
A data-centric and machine based approach towards fixing the cold start problem in web service recommendation	Ephemeral	Knowledge-based	Model-based	Attribute-based	Predictions
Collaborative filtering based web service recommender system using	Persistent	Collaborative filtering	Memory-based	User-to-user	Predictions

users' satisfaction on QoS attributes					
RegionKNN: A Scalable Hybrid Collaborative Filtering Algorithm for Personalized Web Service Recommendation	Persistent	Collaborative filtering	Hybrid	Attribute-based	Predictions
Combining Collaborative Filtering and Semantic Content-based Approaches to Recommend Web Services	Persistent	Hybrid	Hybrid	Hybrid	Suggestions
Hybrid Collaborative Filtering algorithm for bidirectional Web service recommendation	Persistent	Hybrid	Hybrid	Attribute-based	Predictions
AWSR: Active Web Service Recommendation Based on Usage History	Ephemeral	Hybrid	Hybrid	Attribute-based	Suggestions
Recommending Web Service Based on User Relationships and Preferences	Persistent	Hybrid	Hybrid	Attribute-based	Suggestions
Location-Aware Collaborative Filtering for QoS-Based Service Recommendation	Persistent	Hybrid	Hybrid	Attribute-based	Predictions

Location-based Hierarchical Matrix Factorization for Web Service Recommendation	Persistent	Hybrid	Model-based	Attribute-based	Ratings
Personalized QoS aware Web service recommendation and visualization	Persistent	Hybrid	Hybrid	Attribute-based	Predictions

Πίνακας 4.5: Διάσταση Approach > Domain Model

Περιγραφή: Ο πίνακας απευθύνεται στη υποδιάσταση Domain Model της διάστασης Approach με βάση την ιεραρχική κατηγοριοποίηση από την Ενότητα 4.1

Τίτλος άρθρου	Representation: Method	Representation: Type	Generation
A recommender system based on historical usage data for web service discovery	Index/List	Measurable	Clustering
Recommender systems on web service selection problems using a new hybrid approach	Index/List	Measurable	Clustering
Diversifying Web Service Recommendation Results via Exploring Service Usage History	Taxonomy	Measurable	Clustering

QoS-Aware Web Service Recommendation by Collaborative Filtering	Index/List	Measurable	Classifiers
Personalized Web Service Recommendation via Normal Recovery Collaborative Filtering	Index/List	Measurable	Clustering
Unified Collaborative and Content-Based Web Service Recommendation	Ontology	Probabilistic	Machine Learning
Time Aware and Data Sparsity Tolerant Web Service Recommendation Based on Improved Collaborative Filtering	Ontology	Measurable	Machine Learning
An Effective Web Service Ranking Method via Exploring User Behavior	Taxonomy	Measurable	Machine Learning
An Effective Web Service Recommendation Method based on Personalized Collaborative Filtering	Index/List	Measurable	Machine Learning
A data-centric and machine based approach towards fixing the cold start problem in web service recommendation	Index/List	Measurable	Machine Learning
Collaborative filtering based web service recommender system using users' satisfaction on QoS attributes	Index/List	Ordinal / Features	Clustering
RegionKNN: A Scalable Hybrid Collaborative Filtering	Taxonomy	Ordinal / Features	Clustering

Algorithm for Personalized Web Service Recommendation			
Combining Collaborative Filtering and Semantic Content-based Approaches to Recommend Web Services	Index/List	Ordinal / Features	Classifiers
Hybrid Collaborative Filtering algorithm for bidirectional Web service recommendation	Taxonomy	Ordinal / Features	Clustering
AWSR: Active Web Service Recommendation Based on Usage History	Taxonomy	Measurable	Classifiers
Recommending Web Service Based on User Relationships and Preferences	Taxonomy	Measurable	Classifiers
Location-Aware Collaborative Filtering for QoS-Based Service Recommendation	Taxonomy	Measurable	Classifiers
Location-based Hierarchical Matrix Factorization for Web Service Recommendation	Ontology	Probabilistic	dimensionality reduction
Personalized QoS aware Web service recommendation and visualization	Ontology	Measurable	dimensionality reduction

A recommender system based on historical usage data for web service discovery (Chan, Gaaloul, & Tata, 2012)

Σε αυτήν την έρευνα, παρουσιάζεται μια προσέγγιση στην οποία λαμβάνονται υπόψιν τα ιστορικά δεδομένα χρήσης (historical usage data), αντί της ανάλυσης βασισμένη σε κείμενο (text-based). Εφαρμόζεται η τεχνική συνεργατικού φιλτραρίσματος (collaborative filtering) στις αλληλεπιδράσεις του χρήστη, καθώς προτείνονται και υλοποιούνται τέσσερις αλγόριθμοι (user– user filtering (UUF), operation–operation filtering (OOF), combination filtering (CoF), Priority Assignment) για να επιβεβαιωθεί η προσέγγιση, μέσω των αποτελεσμάτων την αξιολόγησης της απόδοσης των αλγορίθμων αυτών. Πιο συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος UUF μπορεί να επιστρέψει συστάσεις βάσει των ιστορικών δεδομένων μόνο με το ID του χρήστη, ανεξαρτήτως του αναγνωριστικού της επιλεγμένης λειτουργίας της υπηρεσίας ιστού, ενώ ο αλγόριθμος OOF υπολογίζει τις ομοιότητες βάσει των σχέσεων όλων των λειτουργιών της υπηρεσίας ιστού. Επίσης, ο αλγόριθμος CoF λαμβάνει υπόψιν τόσο το ID του χρήστη όσο και το ID της λειτουργίας της υπηρεσίας ιστού ως είσοδό του, ενώ ο αλγόριθμος Priority Assignment αναθέτει υψηλότερη πιθανότητα επιλογής στις λιγότερο χρησιμοποιούμενες λειτουργίες υπηρεσιών ιστού. Τέλος, χρησιμοποιήθηκαν μετρικές αξιολόγησης με τη χρήση της ακρίβειας (precision) και ανάκλησης (recall), για την επιβεβαίωση της αποδοτικότητας των αλγορίθμων, με πειράματα τα οποία σχετίζονται με το μέγεθος των επιλεγμένων χρηστών σε σχέση με τους τέσσερις προαναφερόμενους αλγόριθμους.

Θετικά: Η προσέγγιση αποφεύγει τα προβλήματα συνωνυμίας (synonymum)²⁵ και πολυσημίας (polysemy)²⁶, καθώς δεν χρησιμοποιεί τεχνικές βασισμένες στο περιεχόμενο, αλλά τεχνικές συνεργατικού φιλτραρίσματος. Παρέχει στους χρήστες τις πιο κατάλληλες λειτουργίες υπηρεσιών ιστού για τις ανάγκες τους, καθώς οι αλληλεπιδράσεις αντικατοπτρίζουν τα ενδιαφέροντα του χρήστη. Καταφέρνει να αποκτήσει την έμμεση γνώση (implicit knowledge), η οποία είναι οι σχέσεις μεταξύ των χρηστών και των λειτουργιών των υπηρεσιών ιστού.

Αρνητικά: Βασίζεται αποκλειστικά σε ιστορικά δεδομένα και σε αλληλεπιδράσεις χρηστών, συνεπώς αν τέτοια δεδομένα δεν υπάρχουν καθόλου ή είναι ελάχιστα, θα επηρεαστεί αρνητικά και η απόδοση του συστήματος. Δε λαμβάνονται υπόψιν οι φορές που ένας χρήστης έχει πρόσβαση στο σύστημα, καθώς η πληροφορία αυτή θα βοηθούσε στη μέτρηση του βαθμού ικανοποίησης του χρήστη. Ο βαθμός ικανοποίησης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως ένα είδος ανατροφοδότησης στο σύστημα για την βελτίωση της απόδοσης/ακρίβειάς του.

²⁵ Πρόβλημα συνωνυμίας (synonymum): η ύπαρξη διαφορετικών λέξεων ή φράσεων που έχουν την ίδια ή σχεδόν την ίδια σημασία.

²⁶ Πρόβλημα πολυσημίας (polysemy): η ύπαρξη μιας λέξης που έχει πολλές διαφορετικές σημασίες.

Recommender systems on web service selection problems using a new hybrid approach (Shahriyary & Aghabab, 2014)

Το άρθρο αυτό προτείνει ένα νέο υβριδικό σύστημα συστάσεων, το οποίο συνδυάζει την έξοδο έξι στρατηγικών, οι οποίες χρησιμοποιούν μεθόδους συνεργατικού φιλτραρίσματος, βασισμένη στο περιεχόμενο και TOPSIS, για την αντιμετώπιση του προβλήματος κρύας εκκίνησης για νέους χρήστες. Επιπλέον, χρησιμοποιεί έναν δυναμικό αλγόριθμο (K-means), για την αντιμετώπιση του προβλήματος της κλιμάκωσιμότητας, ο οποίος με την ομαδοποίηση των δεδομένων των υπηρεσιών ιστού, μειώνει τον χρόνο εκτέλεσης (runtime) χωρίς όμως να μειώνεται η ακρίβεια. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων δείχνουν ότι η προτεινόμενη προσέγγιση παρέχει συστάσεις με μεγαλύτερη ακρίβεια από άλλες προσεγγίσεις, μέσω της μετρικής ακρίβειας precision.

Θετικά: Η προσέγγιση αυτή συστήνει υπηρεσίες με υψηλότερη ποιότητα, αντιμετωπίζοντας τα προβλήματα κλιμακωσιμότητας, με την υλοποίηση του δυναμικού αλγορίθμου K-means. Επίσης, αντιμετωπίζονται τα προβλήματα κρύας εκκίνησης, αλλά και της ανεπάρκειας δεδομένων με τη βοήθεια ενός νέου υβριδικού συστήματος, στο οποίο τα δεδομένα χωρίζονται σε εκπαιδευτικά και δοκιμαστικά σύνολα, με τους χρήστες των δοκιμαστικών δεδομένων να ανατίθενται σε φάσεις για την αξιολόγηση διαφόρων μεθόδων προτεραιότητας συστήματος συστάσεων.

Αρνητικά: Δεν έχουν γίνει δοκιμές σε ασαφή σύνολα δεδομένων, καθώς επίσης δεν έχει γίνει και χρήση αβέβαιων γλωσσικών μεταβλητών. Αν είχε επιτευχθεί αυτό θα μπορούσε να βελτιωθεί η ακρίβεια και η αποτελεσματικότητα των συστάσεων, καθώς τα ασαφή σύνολα δεδομένων επιτρέπουν την καλύτερη αναπαράσταση και επεξεργασία ασαφών και αβέβαιων πληροφοριών, που συχνά εμφανίζονται σε πραγματικά δεδομένα. Αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε πιο ευέλικτα και ακριβή συστήματα συστάσεων που ανταποκρίνονται καλύτερα στις ανάγκες των χρηστών. Επιπλέον, άλλο ένα αρνητικό είναι ότι χρησιμοποιείται μια μόνο και αρκετά απλή μετρική για την αξιολόγηση της ακρίβειας του συστήματος .

Diversifying Web Service Recommendation Results via Exploring Service Usage History (Kang, Tang, Liu, Liu, & Cao, 2015)

Οι υπάρχουσες προσεγγίσεις επικεντρώνονται κυρίως στην πρόβλεψη των ελλειπόντων τιμών QoS χρησιμοποιώντας μεθόδους συνεργατικού φιλτραρίσματος, βασισμένου στο περιεχόμενο ή τον συνδυασμό τους. Αυτές οι μέθοδοι συχνά υποθέτουν ότι οι προτεινόμενες υπηρεσίες δεν συσχετίζονται, κάτι που μπορεί να μην ισχύει στην πράξη, οδηγώντας σε παρόμοιες, ισοδύναμες ή περιττές υπηρεσίες (ως προς τόσο την λειτουργικότητά τους) στη λίστα

συστάσεων. Αυτό σημαίνει ότι η παρουσία πολλών παρόμοιων υπηρεσιών στη λίστα συστάσεων δεν προσθέτει αξία στον χρήστη, καθώς δεν προσφέρει ποικιλία επιλογών, με αποτέλεσμα η έλλειψη ποικιλίας στις προτάσεις να οδηγήσει σε μια μη ικανοποιητική εμπειρία χρήστη. Το άρθρο προτείνει μια νέα προσέγγιση που ενσωματώνει τις πιθανές προτιμήσεις QoS του χρήστη και την ποικιλία των ενδιαφερόντων του, μέσω του ιστορικού χρήσης των υπηρεσιών ιστού και επιπλέον, κατασκευάζει ένα γράφημα βασισμένο στη λειτουργική ομοιότητα μεταξύ των υπηρεσιών ιστού. Η προτεινόμενη προσέγγιση προσπαθεί να διασφαλίσει ότι η λίστα συστάσεων περιλαμβάνει ποικίλες υπηρεσίες, αποφεύγοντας τον πλεονασμό και ενισχύοντας την ικανοποίηση των χρηστών με το να εισάγει απροσδόκητες αλλά σχετικές υπηρεσίες. Τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν δείχνουν ότι η προτεινόμενη μέθοδος βελτιώνει σημαντικά την ποιότητα των προτάσεων σε σύγκριση με τις υπάρχουσες μεθόδους σύστασης υπηρεσιών.

Θετικά: Η μεθοδολογία εξορύσσει τόσο τα ιστορικά όσο και τα πιθανά ενδιαφέροντα των χρηστών, προσφέροντας μια πιο ολοκληρωμένη κατανόηση όσον αφορά τις προτιμήσεις τους. Επίσης, πραγματοποιεί τον υπολογισμό βαθμολογίας για κάθε υποψήφια υπηρεσία ιστού, μετρώντας τη συνάφειά τους με τα ιστορικά και τα πιθανά ενδιαφέροντα του χρήστη, αλλά και με τη χρησιμότητα QoS ως προς τις απαιτήσεις QoS του χρήστη. Τέλος, τα αποτελέσματα των πειραμάτων δείχνουν ότι η προτεινόμενη προσέγγιση που χρησιμοποιείται στο άρθρο βελτιώνει σημαντικά την ακρίβεια των αποτελεσμάτων σύστασης σε σύγκριση με τις υπάρχουσες μεθόδους.

Αρνητικά: Το άρθρο θα έπρεπε να συγκρίνει εκτενώς την προτεινόμενη μέθοδο με άλλες υπάρχουσες μεθόδους διαφοροποιημένης κατάταξης ώστε να ενισχύσει την αξιοπιστία των ευρημάτων του. Επιπλέον, θα μπορούσαν να είχαν χρησιμοποιηθεί μέθοδοι συσταδοποίησης υπηρεσιών ιστού (web service clustering), για τη βελτίωση του υπολογισμού ομοιότητας, η οποία ως τώρα υπολογίζεται με βάση τις εγγραφές κλήσεων σε υπηρεσιών ιστού (web service invocation records) για ένα σύνολο χρηστών. Οι χρήστες που είναι παρόμοιοι συνήθως έχουν κοινά ενδιαφέροντα, άρα είναι πιθανόν να χρησιμοποιούν υπηρεσίες ιστού με την ίδια λειτουργικότητα, συμπερασματικά όσο περισσότερες κοινές υπηρεσίες ιστού έχουν στις εγγραφές κλήσεων τους δύο χρήστες, τόσο μεγαλύτερη είναι η ομοιότητα μεταξύ τους. Προφανώς, η προσέγγιση αυτή είναι ανακριβής και για αυτό και απαιτείται η χρήση κάποιας τεχνικής ταιριάσματος των υπηρεσιών επιπρόσθετα για να προκύψουν πιο ακριβή αποτελέσματα ομοιότητας. Τέλος, η έρευνα δεν έχει αξιολογηθεί με πραγματικούς χρήστες, ώστε να αξιολογηθεί περαιτέρω η χρησιμότητα της προτεινόμενης μεθόδου.

QoS-Aware Web Service Recommendation by Collaborative Filtering (Zheng, Ma, Lyu, & King, 2010)

Αυτό το άρθρο παρουσιάζει μια προσέγγιση συνεργατικού φιλτραρίσματος για την πρόβλεψη QoS τιμών των υπηρεσιών ιστού, αλλά και για την παροχή συστάσεων. Συλλέγοντας δεδομένα QoS από διαφορετικούς χρήστες υπηρεσιών, η προσέγγιση αυτή προβλέπει τις τιμές QoS των υπηρεσιών ιστού με ακρίβεια. Έπειτα, υλοποιείται ένα πρωτότυπο σύστημα που ονομάζεται WSRec σε γλώσσα Java και αναπτύσσεται στο διαδίκτυο για τη διεξαγωγή πειραμάτων στον πραγματικό κόσμο.

Θετικά: Το άρθρο παρουσιάζει μια καινοτόμα προσέγγιση που συνδυάζει δύο διαφορετικές μεθόδους συνεργατικού φιλτραρίσματος (user-based και item-based), γεγονός που βελτιώνει την ακρίβεια πρόβλεψης των τιμών QoS. Επίσης, τα πειράματα πραγματοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα, με αποτέλεσμα να οδηγούν στην παραγωγή μιας ισχυρής βάσης δεδομένων (για τη περιγραφή της ποιότητας των υπηρεσιών) και να αποδεικνύουν την αποτελεσματικότητα της προτεινόμενης μεθόδου.

Αρνητικά: Οι τιμές QoS των υπηρεσιών ιστού μπορεί να αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου, με αποτέλεσμα να χρειάζεται περισσότερη έρευνα για την αντιμετώπιση αυτών των αλλαγών, κάτι που υποδηλώνει ότι η τρέχουσα προσέγγιση μπορεί να μην είναι πλήρως αποτελεσματική μακροπρόθεσμα. Ακόμη μπορεί να μην είναι αποτελεσματική και βραχυπρόθεσμα εφόσον οι τιμές QoS μιας υπηρεσίας μπορεί να αλλάζουν ακόμη και μέσα στην ημέρα (λόγω αλλαγής φόρτου εργασίας της υπηρεσίας ή/και της υποδομής που την φιλοξενεί). Επίσης, σημειώνεται η ανάγκη για τη συλλογή περισσότερων δεδομένων από περισσότερες υπηρεσίες και χρήστες, κάτι που δείχνει ότι η μελέτη μπορεί να μην είναι πλήρως αντιπροσωπευτική των πραγματικών συνθηκών και όχι τόσο εκτενής όσο θα έπρεπε για να καλύψει όσο γίνεται περισσότερο τον όγκο των υπηρεσιών που είναι διαθέσιμες στις μέρες μας. Επιπλέον, εκτός από το γεγονός ότι η ποιότητας μιας υπηρεσίας μπορεί να αλλάξει στο μέλλον, υπάρχει η πιθανότητα μια υπηρεσία να σταματήσει να προσφέρεται και άλλες υπηρεσίες να γίνουν διαθέσιμες. Συνεπώς, η βάση δεδομένων που έχει κατασκευαστεί δεν είναι αντιπροσωπευτική όσον αφορά την τρέχουσα κατάσταση και θα πρέπει να ανανεώνεται συνεχώς.

Personalized Web Service Recommendation via Normal Recovery Collaborative Filtering (Sun, Zheng, Chen, & Lyu, 2012)

Το άρθρο παρουσιάζει ένα νέο μέτρο ομοιότητας (similarity measure), το οποίο βρίσκει παρόμοιους χρήστες (ή υπηρεσίες ιστού), καθώς και μια προσέγγιση συνεργατικού φιλτραρίσματος, η οποία λαμβάνει υπόψιν χαρακτηριστικά της ποιότητας (QoS) των υπηρεσιών ιστού, με σκοπό την εξατομικευμένη σύσταση υπηρεσιών ιστού. Πραγματοποιούνται πειράματα μεγάλης κλίμακας, με τα αποτελέσματα να δείχνουν ότι η προτεινόμενη μέθοδος επιτυγχάνει καλύτερη ακρίβεια από τις υπάρχουσες προσεγγίσεις.

Θετικά: Η προτεινόμενη προσέγγιση συνεργατικού φιλτραρίσματος (NRCF), διερευνά τα χαρακτηριστικά των τιμών QoS των υπηρεσιών ιστού και προτείνει ένα νέο μέτρο ομοιότητας, το οποίο βρίσκει παρόμοιους χρήστες (ή υπηρεσίες ιστού), οδηγώντας έτσι σε καλύτερη ακρίβεια πρόβλεψης για τις τιμές QoS των υπηρεσιών. Τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι η μέθοδος αυτή βελτιώνει σημαντικά την ακρίβεια πρόβλεψης των τιμών QoS σε σύγκριση με άλλες υπάρχουσες προσεγγίσεις.

Αρνητικά: Δεν λαμβάνεται υπόψιν το γεγονός ότι το περιβάλλον του διαδικτύου είναι εξαιρετικά δυναμικό και η τιμή QoS των υπηρεσιών ιστού μπορεί να αλλάζει με την πάροδο του χρόνου. Επιπλέον, η μελέτη επικεντρώνεται σε συγκεκριμένα QoS χαρακτηριστικά (round-trip time (RTT) τιμές) χωρίς να εξετάζει άλλες σημαντικές παραμέτρους που μπορεί να επηρεάσουν την απόδοση των υπηρεσιών ιστού. Επομένως, θα μπορούσαν να είχαν διερευνηθεί επιπρόσθετες ιδιότητες QoS των υπηρεσιών ιστού. Επίσης, δεν φαίνεται να αντιμετωπίζει γνωστές προκλήσεις, όπως π.χ το πρόβλημα της κρύας εκκίνησης, που είναι γνωστές πως ισχύουν για τις μεθόδους συνεργατικού φιλτραρίσματος, όπως αυτή που προτείνεται στο άρθρο.

Unified Collaborative and Content-Based Web Service Recommendation (Yao, Sheng, Ngu, Yu, & Segev, 2014)

Σε αυτό το άρθρο, προτείνεται μια νέα προσέγγιση που ενοποιεί τις συστάσεις συνεργατικού φιλτραρίσματος και τις συστάσεις που είναι βασισμένες στο περιεχόμενο. Η προσέγγιση λαμβάνει ταυτόχρονα υπόψιν τα δεδομένα αξιολόγησης (π.χ. QoS) και τα δεδομένα σημασιολογικού περιεχομένου (π.χ. λειτουργικότητες) των υπηρεσιών ιστού χρησιμοποιώντας ένα πιθανοτικό μοντέλο. Στο μοντέλο αυτό, οι προτιμήσεις του χρήστη που δεν είναι ευδιάκριτες αναπαριστώνται με την παρουσίαση ενός συνόλου από μη ευδιάκριτες μεταβλητές, οι οποίες μπορούν να εκτιμηθούν στατιστικά.

Θετικά: Προτείνει μια καινοτόμο προσέγγιση που συνδυάζει το συνεργατικό φιλτράρισμα και το βασισμένο σε περιεχόμενο για τη σύσταση των υπηρεσιών ιστού, το οποίο μπορεί να αντιμετωπίζει τα μειονεκτήματα του κάθε ξεχωριστού φιλτραρίσματος. Μέσω πειραμάτων με βάση πραγματικά δεδομένα, η νέα προσέγγιση αποδεικνύει ότι βελτιώνει σημαντικά την ακρίβεια σύστασης υπηρεσιών ιστού σε σύγκριση με άλλες μεθόδους, χρησιμοποιώντας τις μετρικές ακρίβειας micro-F1 και macro-F1.

Αρνητικά: Χρειάζεται περισσότερη εξερεύνηση όσον αφορά το κομμάτι των πιο εξειδικευμένων/προσαρμοσμένων συστάσεων υπηρεσιών ιστού, λαμβάνοντας

υπόψιν συγκεκριμένα πλαίσια, όπως στόχους που θέλει να πετύχει ο τελικός χρήστης, φυσικές καταστάσεις κλπ. Επιπλέον, η ενοποίηση μεθόδων συνεργατικού φιλτραρίσματος και μεθόδων βασισμένων στο περιεχόμενο, είναι τεχνικά σύνθετη και δύσκολη στην υλοποίηση διαδικασία, καθώς απαιτεί εξειδικευμένη γνώση και περισσότερους υπολογιστικούς πόρους. Επίσης, η ακρίβεια της σύστασης της μεθόδου αξιολογήθηκε εξετάζοντας τις Top-N κατατάξεις για όλους τους χρήστες με χειρωνακτικό, μη τυπικό τρόπο χωρίς τη χρήση μιας κατάλληλης μετρικής. Τέλος, καλό θα ήταν να εξεταστεί και η βιωσιμότητα/καταλληλότητα της προτεινόμενης προσέγγισης σε άλλους τομείς εφαρμογής (application domains), διερευνώντας την προσαρμογή ή την επέκταση της προσέγγισης ώστε να λαμβάνει υπόψη τις ιδιαιτερότητες ή τις απαιτήσεις ενός νέου τομέα εφαρμογής, με στόχο τη βελτίωση της απόδοσης ή της ακρίβειας της, και άρα και της καταλληλότητάς της. Με την ικανότητα εφαρμογής της μεθόδου σε πολλαπλούς τομείς, εξασφαλίζεται σε μεγάλο βαθμό η βιωσιμότητά της.

Time Aware and Data Sparsity Tolerant Web Service Recommendation Based on Improved Collaborative Filtering (Hu, Peng, Hu, & Yang, 2014)

Η προτεινόμενη προσέγγιση ενσωματώνει πληροφορίες χρόνου, ορίζοντας δύο συναρτήσεις χρόνου, με σκοπό τη σύσταση υψηλής ποιότητας υπηρεσιών ιστού, τόσο στη μέτρηση ομοιότητας όσο και στην πρόβλεψη QoS. Επιπλέον, για να αντιμετωπίσει το πρόβλημα της αραιότητας δεδομένων, σχεδιάζεται ένας υβριδικός αλγόριθμος, ο οποίος εκτελεί μια εξατομικευμένη τυχαία διαδρομή τόσο στο γράφημα των χρηστών όσο και στο γράφημα των υπηρεσιών, για να ανακαλύψει ακόμη περισσότερους γείτονες (χρήστες) για έναν στοχευμένο χρήστη (target user), αλλά και για κάθε υποψήφια υπηρεσία ιστού. Τέλος, παρέχονται πειράματα για την επιβεβαίωση της αποτελεσματικότητας της προτεινόμενης προσέγγισης, όπου για τη μέτρηση της ακρίβειας της πρόβλεψης χρησιμοποιείται η μετρική Μέσου Απόλυτου Σφάλματος (Mean Absolute Error).

Θετικά: Το άρθρο παρουσιάζει μια βελτιωμένη προσέγγιση συνεργατικού φιλτραρίσματος που ενσωματώνει πληροφορίες με βάση το χρόνο, βελτιώνοντας έτσι την ακρίβεια των προβλέψεων QoS, σε σύγκριση με παραδοσιακές μεθόδους που δεν περιλαμβάνουν αυτή τη σημαντική παράμετρο. Επίσης, η προσέγγιση χρησιμοποιεί έναν υβριδικό αλγόριθμο για να μετριάσει το πρόβλημα της αραιότητας δεδομένων, βελτιώνοντας έτσι την αξιοπιστία των συστάσεων των υπηρεσιών ιστού σε οποιαδήποτε περίπτωση (ακόμη δηλαδή και με την αρχική εκκίνηση του συστήματος συστάσεων).

Αρνητικά: Το άρθρο επισημαίνει ότι δεν λαμβάνει υπόψιν τις διαφορές μεταξύ συγκεκριμένων χρονικών στιγμών. Για παράδειγμα, δεν εξετάζει αν η απόδοση μιας υπηρεσίας τη Δευτέρα είναι διαφορετική από την απόδοσή της την Κυριακή. Αυτό μπορεί να είναι σημαντικό γιατί η χρήση και η απόδοση των υπηρεσιών μπορεί να

διαφέρει ανάλογα με την ημέρα και την ώρα. Αυτό σημαίνει ότι η τρέχουσα προσέγγιση δεν μπορεί να αναγνωρίσει αν συγκεκριμένες ημέρες ή ώρες έχουν επαναλαμβανόμενα μοτίβα ή χαρακτηριστικά που θα μπορούσαν να βελτιώσουν την πρόβλεψη της ποιότητας των υπηρεσιών. Επιπλέον, ο χρόνος πρέπει να εξεταστεί όχι μόνο σε επίπεδο ημέρας ή ώρας αλλά και σε σχέση με την τοποθεσία. Η απόδοση μιας υπηρεσίας μπορεί να επηρεάζεται από τη γεωγραφική τοποθεσία των χρηστών, καθώς και από την ώρα της ημέρας. Για παράδειγμα, η απόδοση μιας υπηρεσίας μπορεί να διαφέρει σε μια περιοχή λόγω διαφορετικών χρονικών ζωνών ή τοπικών γεγονότων. Ως ένα άλλο παράδειγμα, η δικτυακή καθυστέρηση στην αποστολή αιτημάτων και την λήψη απαντήσεων από μια υπηρεσία αυξάνεται με την απόσταση μεταξύ της τοποθεσίας του χρήστη και της υπηρεσίας.

An Effective Web Service Ranking Method via Exploring User Behavior (Kang, Liu, Tang, Cao, & Xu, 2015)

Σε αυτή τη μελέτη προτείνεται μια προσέγγιση κατάταξης υπηρεσιών ιστού, η οποία χρησιμοποιεί το συνεργατικό φιλτράρισμα, τη λειτουργική σχετικότητα των υπηρεσιών και τη χρησιμότητα QoS, συνδυάζοντας τη συμπεριφορά των χρηστών και την ποιότητα των υπηρεσιών (QoS). Χρησιμοποιούνται τεχνικές συνεργατικού φιλτραρίσματος για την εξαγωγή συμπεριφορικών προτιμήσεων των χρηστών από το ιστορικό τους.

Θετικά: Ενσωματώνει την πληροφορία του ιστορικού χρήσης των υπηρεσιών από τους χρήστες, καθώς και την ποιότητα των υπηρεσιών, για την παροχή εξατομικευμένων συστάσεων των υπηρεσιών ιστού. Έτσι, μέσω αυτής της προσέγγισης, η αντιστοίχιση βάσει λειτουργικών απαιτήσεων, το φιλτράρισμα και η κατάταξη βάσει μη λειτουργικών απαιτήσεων γίνονται ταυτόχρονα σε ένα βήμα. Επομένως, η επιλογή υπηρεσιών ιστού λαμβάνει υπόψιν τρεις διαστάσεις (λειτουργική συνάφεια, βαθμολογία βάσει συνεργατικού φιλτραρίσματος, χρησιμότητα QoS) και άρα γίνεται πιο αποτελεσματική και προσαρμοσμένη στις ανάγκες των χρηστών. Τα πειράματα σε πραγματικά δεδομένα υπηρεσιών ιστού επιβεβαιώνουν την ακρίβεια (ακόμη και ως προς την θέση των αποτελεσμάτων) της προτεινόμενης προσέγγισης, με τη χρήση της μετρικής discounted cumulative gain (DCG).

Αρνητικά: Βασίζεται αποκλειστικά σε συγκεκριμένα κριτήρια, όπως η συμπεριφορά των χρηστών και η ποιότητα των υπηρεσιών (QoS), κάτι το οποίο μπορεί να μειώσει την απόδοση αν δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία για αυτές τις 2 πλευρές πληροφορίας. Επίσης, δεν αναφέρονται τυχόν προκλήσεις που θα μπορούσαν να προκύψουν, όπως π.χ το πρόβλημα κρύας εκκίνησης, καθώς η προσέγγιση χρησιμοποιεί μεθόδους συνεργατικού φιλτραρίσματος. Τέλος, οι χρήστες που καλούν τις ίδιες υπηρεσίες

λαμβάνονται υπόψιν ως παρόμοιοι χρήστες, κάτι το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε παραμετροποιημένες ή παραπλανητικές συγκρίσεις μεταξύ των χρηστών.

An Effective Web Service Recommendation Method based on Personalized Collaborative Filtering (Jiang, Liu, Tang, & Liu, 2011)

Το άρθρο παρουσιάζει μια εξατομικευμένη μέθοδο συνεργατικού φιλτραρίσματος, που συνδυάζει τον προσωποποιημένο αλγόριθμο με βάση τον χρήστη και τον προσωποποιημένο αλγόριθμο με βάση αντικείμενο για τη σύσταση υπηρεσιών στον Παγκόσμιο Ιστό. Πιο συγκεκριμένα, λαμβάνεται υπόψιν η προσωποποιημένη επιρροή των υπηρεσιών κατά τον υπολογισμό της μέτρησης ομοιότητας μεταξύ των χρηστών.

Θετικά: Η υβριδική μέθοδος λαμβάνει υπόψιν τις προτιμήσεις των χρηστών καθώς και την ομοιότητα των χρηστών και των αντικειμένων (υπηρεσιών), βελτιώνοντας την ακρίβεια των προτεινόμενων υπηρεσιών. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων δείχνουν με τη βοήθεια της μετρικής κανονικού μέσου απόλυτου σφάλματος (Normalized Mean Absolute Error) ότι η προτεινόμενη μέθοδος υπερτερεί των παραδοσιακών μεθόδων και έχει σημαντική βελτίωση στην ακρίβεια των συστάσεων των υπηρεσιών ιστού.

Αρνητικά: Το άρθρο περιορίζεται σε συγκεκριμένες μεθόδους και τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη σύσταση των υπηρεσιών, παραβλέποντας άλλες πιθανές προσεγγίσεις (π.χ φιλτράρισμα βασισμένο στο περιεχόμενο, μηχανική μάθηση) που μπορεί να είναι εξίσου αποτελεσματικές. Επίσης, δεν παρέχει επαρκείς συγκρίσεις με άλλες μεθόδους ή προσεγγίσεις, καθιστώντας δύσκολη την αξιολόγηση της συνολικής απόδοσης και ακρίβειάς της.

A data-centric and machine based approach towards fixing the cold start problem in web service recommendation (Tanveer & Abhishek, 2014)

Στο άρθρο χρησιμοποιείται το εργαλείο αλγορίθμων μηχανικής μάθησης WEKA για την εντοπισμό της πιο κατάλληλης προσέγγισης βασιζόμενης σε δεδομένα (data-driven) που μπορεί να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά το πρόβλημα "κρύας εκκίνησης" στην πρόβλεψη της ποιότητας υπηρεσιών ιστού. Προς αυτό τον σκοπό, αναπτύσσεται ένα πρωτότυπο που μπορεί να εκτελεί προβλέψεις σε πραγματικό χρόνο και συγκρίνονται διάφοροι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης σε πραγματικά δεδομένα υπηρεσιών ιστού για να εντοπιστεί ο καλύτερος προς χρήση (σε ένα τέτοιο πρωτότυπο σύστασης υπηρεσιών).

Θετικά: Παρουσιάζεται μια τεχνική μηχανικής μάθησης, διαμορφώσιμη ως προς την χρήση διαφορετικών αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, για την αντιμετώπιση του προβλήματος "κρύας εκκίνησης" στην πρόβλεψη της ποιότητας υπηρεσιών του ιστού, η οποία εφαρμόζεται σε πραγματικά δεδομένα υπηρεσιών ιστού (ένα σύνολο

δεδομένων που αποτελείται από 150 υπηρεσίες ιστού, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν από 100 χρήστες σε όλο τον κόσμο), δείχνοντας την βιωσιμότητά της σε πρακτικές εφαρμογές. Επίσης, επισημαίνεται ότι η προσέγγιση αυτή είναι καλύτερη από το να παρέχεται μια προεπιλεγμένη τιμή στα κενά κελιά του πίνακα χρήστη-υπηρεσίας, καθώς ο πίνακας αυτός περιέχει συγκεκριμένες αριθμητικές τιμές των ιδιοτήτων ποιότητας, οι οποίες είτε παρέχονται άμεσα είτε υπολογίζονται από την προσέγγιση. Επομένως, η ακρίβεια των συστάσεων που θα παράγονται θα είναι λογικά καλύτερη.

Αρνητικά: Η μέθοδος επικεντρώνεται κυρίως στην επίλυση του προβλήματος cold start και στη βελτίωση της πρόβλεψης QoS, χωρίς να εξετάζει περεταίρω προκλήσεις που μπορεί να αντιμετωπίζουν οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης (κόστος χρήσης τους, ύπαρξη επαρκών δεδομένων για την πρόβλεψη). Επίσης, δεν παρέχεται εκτενή σύγκριση με άλλες υπάρχουσες μεθόδους ή τεχνικές για τη σύσταση υπηρεσιών ιστού, κάτι που θα μπορούσε να προσφέρει μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα της αποτελεσματικότητας της προτεινόμενης μεθόδου.

Collaborative filtering based web service recommender system using users' satisfaction on QoS attributes (Vadivelou, 2017)

Το άρθρο εστιάζει στη βελτίωση της διαδικασίας επιλογής υπηρεσιών ιστού. Βασίζεται στην προτίμηση των χρηστών να εξατομικεύουν τα μη λειτουργικά χαρακτηριστικά των υπηρεσιών ιστού, όπως η αξιοπιστία. Παρουσιάζεται μια μέθοδος σύστασης υπηρεσιών που χρησιμοποιεί το συνεργατικό φιλτράρισμα. Η μέθοδος περιγράφει τη χρήση της μεθόδου Top-K για την εύρεση παρόμοιων γειτόνων (χρηστών) και την αναλυτική πρόβλεψη των τιμών που λείπουν με βάση την ικανοποίηση των χρηστών ως προς τα μη λειτουργικά χαρακτηριστικά των υπηρεσιών.

Θετικά: Προτείνεται μια καινοτόμος μέθοδος σύστασης υπηρεσιών ιστού που βελτιώνει την εμπειρία χρήστη και αναγνωρίζει τη σημασία της εξατομικεύσης των μη λειτουργικών χαρακτηριστικών από τους χρήστες, καθιστώντας τη διαδικασία επιλογής πιο προσαρμοσμένη στις ανάγκες τους. Επίσης, η εφαρμογή της μεθόδου Top-K στην αναζήτηση παρόμοιων χρηστών ή υπηρεσιών βοηθά στην εξαγωγή σημαντικών πληροφοριών για την σύσταση υπηρεσιών.

Αρνητικά: Η προτεινόμενη μέθοδος βασίζεται αποκλειστικά στις ατομικές προτιμήσεις των χρηστών για τα μη λειτουργικά χαρακτηριστικά, ενώ θα μπορούσε να λάβει υπόψιν και άλλους παράγοντες όπως π.χ το ιστορικό χρήσης. Επιπλέον, κατά τη διαδικασία επιλογής υπηρεσιών ιστού, διαφορετικοί χρήστες μπορεί να ακολουθούν διαφορετικές στρατηγικές λήψης αποφάσεων (ανταποδοτικές και μη), ορισμένες από τις οποίες είναι ανταποδοτικές και άλλες μη ανταποδοτικές. Επομένως, το άρθρο δεν λαμβάνει υπόψιν τις στρατηγικές λήψης αποφάσεων στη διαδικασία κατάταξης υπηρεσιών ιστού, οι οποίες θα μπορούσαν να έχουν ενσωματωθεί σε αυτή τη

διαδικασία, καθώς είναι ζωτικής σημασίας για τη δημιουργία ακριβών αποτελεσμάτων κατάταξης για μεμονωμένους χρήστες.

RegionKNN: A Scalable Hybrid Collaborative Filtering Algorithm for Personalized Web Service Recommendation (Chen, Liu, Huang, & Sun, 2010)

Παρουσιάζεται ο RegionKNN, ένας καινοτόμος αλγόριθμος συνεργατικού φιλτραρίσματος, ο οποίος έχει σχεδιαστεί για σύσταση υπηρεσιών ιστού μεγάλης κλίμακας. Αυτός ο αλγόριθμος έχει δύο φάσεις: τη δημιουργία του μοντέλου περιοχής (offline) και τη δημιουργία πρόβλεψης QoS (online). Το μοντέλο περιοχής είναι ένα διαισθητικό μοντέλο για τη συμπίεση δεδομένων QoS μέσω της ομαδοποίησης των χρηστών σε διαφορετικές περιοχές. Ορίζεται μια περιοχή ως μια ομάδα χρηστών που βρίσκονται κοντά ο ένας στον άλλον και έχουν παρόμοια προφίλ χρόνου απόκρισης (RTT). Η online πρόβλεψη, σχετίζεται άμεσα με την εμπειρία του χρήστη, καθώς όταν ένας ενεργός χρήστης απαιτεί μια υπηρεσία ιστού με συγκεκριμένη λειτουργική περιγραφή, θα του προταθεί η υπηρεσία με την καλύτερη προβλεπόμενη τιμή QoS με βάση την περιοχή του και τις τιμές QoS που έχει δώσει.

Θετικά: Ο RegionKNN είναι ένα υβρίδιο των αλγορίθμων συνεργατικού φιλτραρίσματος με βάση το μοντέλο και τη μνήμη, διατηρώντας τα πλεονεκτήματα και των δύο τύπων. Επίσης, τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι, εκτός από το ότι είναι ιδιαίτερα επεκτάσιμος, ο RegionKNN παρέχει σημαντική βελτίωση στην ακρίβεια των συστάσεων σε σύγκριση με άλλους γνωστούς αλγόριθμους συνεργατικού φιλτραρίσματος. Ειδικότερα, ο αλγόριθμος αυτός συγκρίνεται με τρεις άλλες προσεγγίσεις μέσω της μετρικής μέσου απόλυτου σφάλματος (Mean Absolute Error - MAE): τον αλγόριθμο βασισμένο σε χρήστες χρησιμοποιώντας Pearson Correlation Coefficient (UPCC), τον αλγόριθμο βασισμένο σε αντικείμενα χρησιμοποιώντας Pearson Correlation Coefficient (IPCC) και την μέθοδο WSRec.

Αρνητικά: Θα ήταν καλό να εξεταστούν περισσότερες ιδιότητες QoS (π.χ. διαθεσιμότητα) καθώς και η παραλλαγή τους με το χρόνο. Επιπλέον, καθώς ορισμένες ιδιότητες QoS είναι συσχετισμένες (π.χ. διαθεσιμότητα και χρόνος απόκρισης), θα χρειαστεί να διεξαχθεί περισσότερη έρευνα στις εσωτερικές τους σχέσεις.

Combining Collaborative Filtering and Semantic Content-based Approaches to Recommend Web Services (Lécué, 2010)

Το άρθρο προτείνει μια προσέγγιση που προσφέρει δυναμικά υπηρεσίες που ταιριάζουν στα ενδιαφέροντα των τελικών χρηστών. Η προσέγγιση αυτή είναι υβριδική, συνδυάζοντας αμιγείς (pure) μεθόδους συνεργατικού φιλτραρίσματος, καθώς και μια σημασιολογική μέθοδο βασισμένη στο περιεχόμενο. Οι μέθοδοι συνεργατικού φιλτραρίσματος χρησιμοποιούνται για να προτείνουν αυτόματα υπηρεσίες ανάλογα με άλλους παρόμοιους χρήστες, βάσει του προφίλ, των προτιμήσεων και του ιστορικού εμπειρίας. Ενώ, η σημασιολογική προσέγγιση βασισμένη στο περιεχόμενο εκτελεί

συλλογισμούς λογικής περιγραφής (Description Logic reasoning) στις σημασιολογικές περιγραφές των υπηρεσιών, προκειμένου να αναλύσει τη σημασιολογική ομοιότητα των υπηρεσιών.

Θετικά: Οι μέθοδοι συνεργατικού φιλτραρίσματος προτείνουν εντελώς διαφορετικές υπηρεσίες σε σχέση με αυτές με τις οποίες ο χρήστης έχει ήδη αλληλεπιδράσει στο παρελθόν, ώστε να οδηγήσουν σε ανακάλυψη νέων και ενδιαφερόντων υπηρεσιών που δεν θα μπορούσε να εντοπίσει ο χρήστης από μόνος του. Επίσης, οι μέθοδοι συνεργατικού φιλτραρίσματος συνδυάζονται με μια σημασιολογική προσέγγιση, η οποία χρησιμοποιεί τη λογική περιγραφής (Description Logic) για την ανάλυση της σημασιολογικής ομοιότητας των υπηρεσιών, με αποτέλεσμα να παρέχει εξατομικευμένες συστάσεις, οδηγώντας σε πιο σχετικές και χρήσιμες συστάσεις για τους χρήστες.

Αρνητικά: Αν και η προσέγγισή είναι κατάλληλη για να προτείνει υπηρεσίες με ακριβή τρόπο και υψηλό επίπεδο σημασιολογικών περιγραφών, υπάρχουν κάποια ζητήματα που σχετίζονται με την επεκτασιμότητά της, καθώς το μέρος του συλλογισμού στη λογική περιγραφής (DL reasoning) είναι η πιο χρονοβόρα διαδικασία στην αρχιτεκτονική της προσέγγισης. Επίσης, δεν έχουν γίνει πειράματα σε εφαρμογές με πραγματικά δεδομένα, ώστε να εξεταστεί η πολυπλοκότητα σε σχέση με τη χρηστικότητα και να βελτιστοποιηθεί η λογική περιγραφής (DL reasoning). Τέλος, τα σημασιολογικά δεδομένα μπορεί να μην υπάρχουν ή να παρέχονται για τις υπηρεσίες (πχ. από τους παρόχους τους) διότι απαιτούν γνώσεις σημασιολογικών τεχνολογιών ενώ τα δεδομένα (σχετιζόμενα με τα προφίλ χρηστών) που απαιτεί η μέθοδος για την λειτουργία της είναι εκτεταμένα οπότε σίγουρα δεν είναι σίγουρο πόσο βιώσιμη μπορεί να είναι αλλά και πως μπορεί να αντιμετωπίσει ζητήματα όπως η κρύα εκκίνηση.

Hybrid Collaborative Filtering algorithm for bidirectional Web service recommendation (Cao, Wu, Wang, & Zhuang, 2012)

Στο άρθρο παρουσιάζεται μια υβριδική μέθοδος. Από την μια μεριά, αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί το συνεργατικό φιλτράρισμα βασισμένο σε Τυπική Απόκλιση (Standard Deviation based Hybrid Collaborative Filtering - SD-HCF), μια τεχνική που μπορεί να διακριθεί σε τρεις φάσεις: υπολογισμός ομοιότητας των υπηρεσιών και των καταναλωτών, επιλογή των k πλησιέστερων γειτόνων των υπηρεσιών και των καταναλωτών και την πρόβλεψη του άγνωστου διανύσματος QoS για τη σύσταση των υπηρεσιών ιστού. Από την άλλη μεριά, χρησιμοποιεί την τεχνική συνεργατικού φιλτραρίσματος βασισμένη στην Αντίστροφη Συχνότητα Καταναλωτή (Inverse consumer Frequency based User Collaborative Filtering - IF-UCF) που εκμεταλλεύεται την αντίστροφη συχνότητα καταναλωτών, (δηλαδή τη σπανιότητα της χρήσης ενός παρόχου υπηρεσιών από τους καταναλωτές) για να προσαρμόσει το βάρος των παρόχων, το οποίο καθορίζει το πόσο θα επηρεάσει ένας συγκεκριμένος πάροχος την

ομοιότητα μεταξύ δύο καταναλωτών, για τη σύσταση αντίστροφων καταναλωτών ²⁷. Κατά τη φάση των πειραμάτων, αποδεικνύεται ότι το SD-HCF είναι καλύτερο συγκριτικά με υπάρχουσες μεθόδους (συνεργατικό φιλτράρισμα βασισμένο στο χρήστη/στοιχείο, υβριδικό συνεργατικό φιλτράρισμα) στην ποιότητα των συστάσεων, αλλά και ότι η IF-UCF είναι πιο αποτελεσματική από την UCF.

Θετικά: Η προτεινόμενη προσέγγιση SD-HCF βελτιώνει τη διαδικασία σύστασης υπηρεσιών. Πρώτον, διότι προσθέτει ένα βάρος (δηλαδή αυτό που προσδιορίζει το πόσο σημαντικό είναι το κάθε χαρακτηριστικό ποιότητας) στον υπολογισμό της ομοιότητας των υπηρεσιών και των καταναλωτών, για να λυθεί η υπερεκτίμηση της μέτρησης του Συντελεστή Συσχέτισης Pearson (Pearson Correlation Coefficient - PCC), ο οποίος χρησιμοποιείται στον υπολογισμό της ομοιότητας. Η υπερεκτίμηση αυτή μπορεί να προκύψει σε περίπτωση που οι καταναλωτές χρησιμοποιούν συχνά την ίδια δημοφιλή υπηρεσία, υποδεικνύοντας ότι έχουν παρόμοιες προτιμήσεις σε όλες τις υπηρεσίες, κάτι που μπορεί να μην ισχύει. Δεύτερον, απορρίπτει μη συναφείς χρήστες από τους k πλησιέστερους γείτονες με βάση τον υπολογισμό ομοιότητας για να βελτιώσει την ακρίβεια, ενώ προσθέτει υπηρεσίες με τον ίδιο πάροχο στους k πλησιέστερους γείτονες για να βελτιωθεί η ακρίβεια της προσέγγισης, καθώς οι υπηρεσίες του ίδιου παρόχου έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά και πιθανόν παρόμοιους γείτονες. Τρίτον, προτείνεται η μέθοδος IF-UCF για την σύσταση αντίστροφων καταναλωτών, η οποία βασίζεται σε έναν πίνακα καταναλωτή-παρόχου και χρησιμοποιεί την αντίστροφη συχνότητα καταναλωτή για να προσαρμόσει το βάρος των παρόχων, ώστε να παρέχει πιο ακριβείς και εξατομικευμένες προτάσεις. Τα πειράματα για να αξιολογήσουν την απόδοση των προσεγγίσεων SD-HCF και IF-UCF και να την συγκρίνουν με αυτή των HCF & UCF, αντίστοιχα, χρησιμοποιούν τη μετρική του μέσου απόλυτου σφάλματος (Mean absolute error - MAE) καθώς και το F Measure που συνδυάζει την ακρίβεια (precision) και την ανάκληση (recall).

Αρνητικά: Οι προτεινόμενες προσεγγίσεις, μπορεί να είναι αρκετά πολύπλοκες και να απαιτούν σημαντικούς υπολογιστικούς πόρους, ιδιαίτερα σε μεγάλα σύνολα δεδομένων. Επίσης, η ανάλυση της αξιοπιστίας του αντιληπτού διανύσματος QoS και ο εντοπισμός κακόβουλων χρηστών αναγνωρίζεται ως μελλοντική εργασία, γεγονός που υποδηλώνει ότι η τρέχουσα μέθοδος μπορεί να είναι ευάλωτη σε κακόβουλες επιθέσεις ή ανακριβή δεδομένα. Επίσης, δεν εξετάζονται τυχόν προκλήσεις που μπορεί να αντιμετωπίζει η μέθοδος συνεργατικού φιλτραρίσματος SD-HCF, όπως για παράδειγμα το πρόβλημα κρύας εκκίνησης.

²⁷ Αντίστροφος καταναλωτής: είναι ένας καταναλωτής που επιλέγει παρόχους που δεν είναι συχνά επιλεγμένοι από πολλούς άλλους καταναλωτές.

AWSR: Active Web Service Recommendation Based on Usage History (Kang, et al., 2012)

Παρουσιάζεται μια ενεργή προσέγγιση (AWSR) σύστασης υπηρεσιών ιστού, με σκοπό να βρεθούν οι επιθυμητές υπηρεσίες ιστού για τους ενεργούς χρήστες με βάση το ιστορικό χρήσης τους. Το AWSR κατατάσσει τις δημόσια διαθέσιμες υπηρεσίες ιστού, ώστε να δημιουργηθεί μια λίστα σύστασης με τις κορυφαίες υπηρεσίες ιστού για έναν χρήστη. Επίσης, μπορεί να υπολογίσει και να συνδυάσει τη λειτουργική και μη λειτουργική ομοιότητα των υπηρεσιών ιστού. Η λειτουργική ομοιότητα υπολογίζεται με βάση την τεχνική Ανάκτησης Πληροφορίας Term Frequency/Inverse Document Frequency (TF/IDF) μαζί με μια μετρική ομοιότητας συνημιτόνου (Cosine Similarity), ενώ η μη λειτουργική υπολογίζεται μέσω μιας φόρμουλας με βάση τις προτιμήσεις QoS του χρήστη και τις ικανότητες QoS των υπηρεσιών. Επιπλέον, εξάγει τα ενδιαφέροντα και τις προτιμήσεις των χρηστών από το ιστορικό χρήσης των υπηρεσιών ιστού, βασισμένο στα έγγραφα WSDL των υπηρεσιών ιστού που χρησιμοποιήθηκαν από τον εκάστοτε χρήστη και τα αρχεία προτιμήσεων του. Για να μελετηθεί η απόδοση του πρωτότυπου AWSR διεξήχθησαν μεγάλης κλίμακας πειράματα με πραγματικά δεδομένα σε ένα καταναμεμημένο περιβάλλον.

Θετικά: Το AWSR καταφέρνει, εξάγωντας τα ενδιαφέροντα και τις προτιμήσεις των χρηστών από το ιστορικό χρήσης, να προτείνει υπηρεσίες ιστού που είναι σύμφωνες με τα ενδιαφέροντα και τις προτιμήσεις του. Συνδυάζοντας τη λειτουργική ομοιότητα με τη μη λειτουργική ομοιότητα, παρέχει μια πιο ολοκληρωμένη αξιολόγηση των υπηρεσιών ιστού, διασφαλίζοντας ότι οι προτεινόμενες υπηρεσίες ανταποκρίνονται τόσο στις συγκεκριμένες λειτουργικές ανάγκες όσο και στις προσδοκίες ποιότητας του χρήστη. Επιπλέον, η απόδοση του πρωτότυπου AWSR αξιολογήθηκε πειραματικά με τη βοήθεια της μετρικής DCG (Discounted Cumulative Gain), καθώς έγιναν συγκρίσεις με baseline προσεγγίσεις: (α) την προσέγγιση QoS-based, η οποία εστιάζει αποκλειστικά στις μη λειτουργικές απαιτήσεις και προτείνει υπηρεσίες ιστού που έχουν υψηλές τιμές QoS, και (β) την Interest-based, η οποία εστιάζει αποκλειστικά στις λειτουργικές απαιτήσεις, προτείνοντας υπηρεσίες που είναι πολύ σχετικές με τα ενδιαφέροντα του χρήστη.

Αρνητικά: Θα μπορούσαν να σχεδιαστούν αλγόριθμοι συσταδοποίησης για τον υπολογισμό της ομοιότητας και της προτίμησης, προκειμένου να βελτιωθεί η ακρίβεια της αξιολόγησης των ενδιαφερόντων και των προτιμήσεων του χρήστη. Επίσης, θα μπορούσαν να συμπεριληφθούν περισσότερα χαρακτηριστικά QoS (π.χ ασφάλεια), ώστε να παρέχονται ακόμη πιο ακριβείς και εξατομικευμένες προτάσεις υπηρεσιών για τους χρήστες. Επιπλέον, προκλήσεις που μπορεί να προκύψουν από έλλειψη δεδομένων ιστορικού χρήσης (π.χ. αραιότητα δεδομένων) δεν φαίνεται να αντιμετωπίζονται. Τέλος, δεν χρησιμοποιείται κάποιο κατώφλι, γεγονός που σημαίνει ότι επιστρέφονται πολλά δεδομένα από το σύστημα που μπορεί να μην ενδιαφέρουν τελικά τον χρήστη ή να ταιριάζουν στις προτιμήσεις και ανάγκες του.

Recommending Web Service Based on User Relationships and Preferences (Gong, Xu, Xu, Li, & Chen, 2013)

Στο άρθρο, παρουσιάζεται ένας αλγόριθμος ομαδοποίησης και σύστασης με βάση τις σχέσεις και τις προτιμήσεις του χρήστη (User Relationships & Preferences Clustering and Recommendation - URPC-Rec). Ο αλγόριθμος αυτός είναι υβριδικός διότι συνδυάζει μεθόδους συνεργατικού φιλτραρίσματος και δημογραφικά στοιχεία. Ειδικότερα, ομαδοποιεί τους χρήστες με βάση το ιστορικό τους και στη συνέχεια παρέχει εξατομικευμένες συστάσεις, λαμβάνοντας υπόψιν τα αποτελέσματα της ομαδοποίησης και τις βασικές πληροφορίες/δημογραφικά στοιχεία και σχέσεις του χρήστη (φύλο, ηλικία, επάγγελμα, ετικέτες προτίμησης κλπ). Ο αλγόριθμος αξιολογήθηκε πειραματικά μέσω των μετρικών ακρίβειας (precision), ανάκλησης (recall) και F-measure σε ένα σύνολο δεδομένων υπηρεσιών ιστού μεγάλης κλίμακας. Συγκρίθηκε επίσης με βάση τα πειράματα αυτά με έναν αλγόριθμο συνεργατικού φιλτραρίσματος με βάση τα στοιχεία (δηλ. έναν αλγόριθμο βάσης)

Θετικά: Ο αλγόριθμος URPC-Rec συνδυάζει τα πλεονεκτήματα από την μεθοδο συνεργατικού φιλτραρίσματος και τη χρήση δημογραφικών δεδομένων, παρέχοντας πιο ακριβείς και προσωποποιημένες συστάσεις για τους χρήστες. Επίσης, για να βελτιώσει την ποιότητα των συστάσεων χρησιμοποιεί δεδομένα από κοινωνικά δίκτυα, τα οποία μπορεί να παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για τις προτιμήσεις και τις σχέσεις των χρηστών. Τέλος, τα πειράματα δείχνουν ότι ο αλγόριθμος URPC-Rec με τις σχέσεις και τις αναφορές των χρηστών έχει καλύτερα αποτελέσματα συστάσεων σε σύγκριση με εκείνον που δεν λαμβάνει υπόψιν τις πληροφορίες του χρήστη και την προσέγγιση συνεργατικού φιλτραρίσματος.

Αρνητικά: Επειδή το σύνολο δεδομένων είναι αρκετά μεγάλο, η σύγκριση του αλγόριθμου γίνεται μόνο με ένα αλγόριθμο βάσης συνεργατικού φιλτραρίσματος με βάση τα στοιχεία, ενώ αυτός θα μπορούσε να συγκριθεί state-of-the-art προσεγγίσεις συνεργατικού φιλτραρίσματος, με προσεγγίσεις άλλων ειδών τεχνικών και υβριδικές προσεγγίσεις. Επίσης, θα μπορούσαν να ενσωματωθούν στο προτεινόμενο σύστημα συστάσεων υπηρεσιών ιστού περισσότερες πληροφορίες χρηστών και σχέσεις από κοινωνικά δίκτυα, ώστε να εντοπιστούν περισσότερα πιθανά ενδιαφέροντα των χρηστών και να βελτιωθεί η ακρίβεια των προτεινόμενων υπηρεσιών ιστού.

Location-Aware Collaborative Filtering for QoS-Based Service Recommendation (Tang, Jiang, Liu, & Liu, 2012)

Σε αυτό το άρθρο προτείνεται μία σύνθετη μέθοδος για τη σύσταση υπηρεσιών ιστού, η οποία συνδυάζει δύο διαφορετικές μεθόδους: μια μέθοδο συνεργατικού φιλτραρίσματος με επίγνωση τοποθεσίας UPCC (User-based Pearson Correlation Coefficient), η οποία λαμβάνει υπόψιν τις τοποθεσίες των χρηστών, και μια μέθοδο συνεργατικού φιλτραρίσματος με επίγνωση τοποθεσίας IPCC (Item-based Pearson Correlation Coefficient) που λαμβάνει υπόψιν τις τοποθεσίες των υπηρεσιών. Για την

επικύρωση της μεθόδου, διεξήχθη μια σειρά πειραμάτων μεγάλης κλίμακας, βασισμένων σε ένα πραγματικό σύνολο δεδομένων QoS υπηρεσιών ιστού, στα οποία χρησιμοποιήθηκαν οι μετρικές μέσου απόλυτου σφάλματος (Mean Absolute Error - MAE) και κανονικού απόλυτου σφάλματος (Normalized Mean Absolute Error - NMAE) Για την μέτρηση της ποιότητας και της ακρίβειας της πρόβλεψης. Στα πειράματα αυτά η μέθοδος συγκρίθηκε με άλλες 6 μεθόδους: UPCC (User-based Pearson Correlation Coefficient), IPCC (Item-based Pearson Correlation Coefficient), PCC (Pearson Correlation Coefficient), LA-IPCC (Location-Aware Item-based Pearson Correlation Coefficient), LACF (Location-Aware Collaborative Filtering), και WSRec (Web Service Recommendation).

Θετικά: Η υβριδική μέθοδος συνεργατικού φιλτραρίσματος για να βρει παρόμοιους χρήστες χρησιμοποιεί τη μέτρηση ομοιότητας χρηστών, η οποία υπολογίζεται με βάση τα ιστορικά δεδομένα QoS των χρηστών που είναι κοντά με τον ενεργό χρήστη. Αντίστοιχα, για να βρει παρόμοιες υπηρεσίες, υπολογίζεται η μέτρηση ομοιότητας υπηρεσιών με βάση τα αρχεία QoS των υπηρεσιών που βρίσκονται κοντά στη στοχευμένη υπηρεσία. Συνεπώς, υπάρχει περισσότερη ακρίβεια στην τελική σύσταση λόγω της επίγνωσης της τοποθεσίας των υπηρεσιών και χρηστών. Για του λόγου το αληθές, τα πειραματικά αποτελέσματα επιδεικνύουν τη σημαντική βελτίωση της απόδοσης που συντελείται από την προτεινόμενη μέθοδο σε σχέση με τις άλλες 6 με τις οποίες συγκρίνεται.

Αρνητικά: Δεν έχει ληφθεί υπόψιν η μελέτη των σχέσεων μεταξύ των μετρικών/ιδιοτήτων QoS και η ενσωμάτωσή τους στις προβλέψεις, καθώς αυτό είναι σημαντικό για την ανάπτυξη πιο αποδοτικών και αξιόπιστων συστημάτων σύστασης υπηρεσιών ιστού. Επίσης, η μέθοδος βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην ακρίβεια και τη διαθεσιμότητα δεδομένων τοποθεσίας τόσο για τους χρήστες όσο και για τις υπηρεσίες, συνεπώς αν αυτά τα δεδομένα δεν είναι ακριβή ή διαθέσιμα, η απόδοση του αλγορίθμου μπορεί να επηρεαστεί σημαντικά. Τέλος, μπορεί να υπάρχουν πολλές υπηρεσίες με χαμηλή διαθεσιμότητα ή αξιοπιστία, και επομένως οι τιμές QoS τους να είναι πολύ χαμηλές για όλους τους χρήστες (π.χ., ο χρόνος απόκρισης είναι πολύ μεγάλος λόγω λήξης χρόνου ή η διαθεσιμότητα είναι σχεδόν μηδενική), κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε υπερεκτιμημένη υψηλή ομοιότητα μεταξύ αυτών των υπηρεσιών καθώς και μεταξύ των χρηστών που έχουν χρησιμοποιήσει αυτές τις υπηρεσίες.

Location-based Hierarchical Matrix Factorization for Web Service Recommendation (He, Zhu, Zheng, Xu, & Lyu, 2014)

Σε αυτό το άρθρο, σχεδιάζεται μια μέθοδος ιεραρχικής παραγοντοποίησης πίνακα (hierarchical matrix factorization - HMF) βασισμένη στην τοποθεσία, για την πραγματοποίηση εξατομικευμένων προβλέψεων QoS, μέσω των οποίων μπορούν να γίνουν αποτελεσματικές συστάσεις υπηρεσιών. Για την μέτρηση της ακρίβειας της πρόβλεψης του μοντέλου διεξήχθησαν εκτενή πειράματα σε ένα σύνολο πραγματικών

δεδομένων QoS υπηρεσιών ιστού, χρησιμοποιώντας τις μετρικές μέσου απόλυτου σφάλματος (Mean Absolute Error -MAE) και κανονικού απόλυτου σφάλματος (Normalized Mean - NMAE). Σε αυτά τα πειράματα γίνονται συγκρίσεις της προτεινόμενης μεθόδου με άλλες επτά μεθόδους: UMEAN (User Mean), IMEAN (Item Mean), UPCC (User-based Pearson Correlation Coefficient), IPCC (Item-based Pearson Correlation Coefficient), WSRec (Web Service Recommendation), PMF (Probabilistic Matrix Factorization), και LBR2 (Location-based Recommendation).

Θετικά: Η ιεραρχική παραγοντοποίηση πίνακα έχει στόχο την βελτίωση της πρόβλεψης της ακρίβειας και αποτελείται από δύο βήματα, το βήμα της ομαδοποίησης, όπου οι χρήστες και οι υπηρεσίες ομαδοποιούνται σε διαφορετικές ομάδες χρηστών-υπηρεσιών σύμφωνα με τις πληροφορίες τοποθεσίας τους, και το βήμα πρόβλεψης, όπου το μοντέλο εκπαιδεύεται ιεραρχικά με βάση ιστορικές εγγραφές κλήσεων (invocation records) των υπηρεσιών. Η βελτίωση της πρόβλεψης υποδεικνύεται από τα πειραματικά αποτελέσματα όπου η μέθοδος HMF επιτυγχάνει υψηλότερη ακρίβεια πρόβλεψης σε σχέση με τις επτά υπάρχουσες μεθόδους που συγκρίνονται με αυτήν.

Αρνητικά: Το μοντέλο βασίζεται σε γεωγραφικές πληροφορίες, οι οποίες σε περίπτωση που είναι ανακριβείς ή λανθασμένες μπορεί να επηρεάσουν την ακρίβεια του συστήματος. Επίσης, η αποδοτικότητα του μοντέλου μπορεί να μειωθεί σε περίπτωση που υπάρχουν λίγες ιστορικές εγγραφές κλήσεων, με αποτέλεσμα να πρέπει να παρακινούνται οι χρήστες ώστε να αναφέρουν περισσότερες τιμές QoS. Επιπλέον, θα μπορούσαν να επιτρέψουν σε έναν κόμβο χρήστη ή σε έναν κόμβο υπηρεσίας να ανήκει σε περισσότερες από μία ομάδες, καθώς ένας χρήστης/υπηρεσία μπορεί να έχει χαρακτηριστικά που ταιριάζουν σε πολλές διαφορετικές ομάδες χρηστών/υπηρεσιών.

Personalized QoS aware Web service recommendation and visualization

(Chen, Zheng, Liu, Huang, & Sun, 2011)

Προτείνεται ένας νέος αλγόριθμος συνεργατικού φιλτραρίσματος βασισμένος στο μοντέλο και τη μνήμη, σχεδιασμένος για συστάσεις υπηρεσιών ιστού μεγάλης κλίμακας, ο οποίος χρησιμοποιεί τα χαρακτηριστικά QoS και την φυσική τοποθεσία του χρήστη, βελτιώνοντας την ακρίβεια των συστάσεων. Για να κατανοήσουν καλύτερα οι χρήστες των υπηρεσιών τη λογική της σύστασης, χρησιμοποιείται μια τεχνική οπτικοποίησης (visualization). Για την αξιολόγηση της απόδοσης της πρόβλεψης, συγκρίθηκε η προτεινόμενη προσέγγιση με τον αλγόριθμο συνεργατικού φιλτραρίσματος βασισμένο στο χρήστη και στο στοιχείο χρησιμοποιώντας PCC (UPCC και IPCC) και με το WSRec μέσω της διεξαγωγής εκτεταμένων πειραμάτων μεγάλης κλίμακας με αρχεία QoS πραγματικών κλήσεων υπηρεσιών ιστού. Η μετρική που χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση είναι η μετρική μέσου απόλυτου σφάλματος (Mean Absolute Error - MAE).

Θετικά: Μέσω του συνδυασμού των αλγορίθμων συνεργατικού φιλτραρίσματος που βασίζονται στο μοντέλο και τη μνήμη για σύσταση υπηρεσίας ιστού, βελτιώνεται σημαντικά η ακρίβεια των συστάσεων και η χρονική πολυπλοκότητα. Επίσης, σχεδιάζεται μια διεπαφή οπτικοποίησης για την περιήγηση των προτεινόμενων υπηρεσιών ιστού, η οποία βοηθά τους χρήστες να κατανοήσουν τη λογική πίσω από τις συστάσεις και την απόδοση της υπηρεσίας, αυξάνοντας με αυτό τον τρόπο την εμπιστοσύνη και την ικανοποίηση των χρηστών. Τέλος, με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα παρατηρείται ότι η προτεινόμενη μέθοδος βελτιώνει σημαντικά την ακρίβεια πρόβλεψης σε σχέση με τις άλλες προσεγγίσεις με τις οποίες συγκρίθηκε.

Αρνητικά: Υπάρχουν ορισμένες περιπτώσεις που οι χρήστες που έχουν την ίδια φυσική τοποθεσία μπορεί να παρατηρήσουν διαφορετική απόδοση QoS της ίδιας υπηρεσίας ιστού, κάτι το οποίο μπορεί να μειώσει την ακρίβεια του συστήματος και την ικανοποίηση των χρηστών. Επίσης, εκτός από την φυσική τοποθεσία του χρήστη, θα μπορούσαν να ληφθούν υπόψιν περισσότερες πληροφορίες που επηρεάζουν την απόδοση QoS όπως λαμβάνεται στην πλευρά του πελάτη (client-side), όπως για παράδειγμα ο φόρτος εργασίας των υπηρεσιών και οι συνθήκες δικτύου. Τέλος, για την καλύτερη οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων της σύστασης, θα μπορούσαν να προστεθούν περισσότερες αλληλεπιδράσεις χρήστη, όπως η αναζήτηση υπηρεσιών ιστού στον χάρτη QoS (QoS map), η μεγέθυνση και σμίκρυνση (του χάρτη), καθώς θα μπορούσε να υπάρχει ένας γραφικός χάρτης (όπως google map) με σκοπό να βοηθήσει τους χρήστες να περιηγηθούν σε παρόμοιους χρήστες και παρόχους υπηρεσιών ιστού.

4.3 Σύγκριση άρθρων

Για την καλύτερη κατανόηση και αξιολόγηση των παραπάνω άρθρων που αναλύθηκαν, δημιουργήθηκε ένας πίνακας σύγκρισης (Πίνακας 4.6) με βασικά κριτήρια αξιολόγησης. Ο πίνακας περιλαμβάνει τις εξής στήλες: τίτλος άρθρου, συγκρίσεις, πειράματα, πολυπλοκότητα, και προκλήσεις. Κάθε κελί του πίνακα (εκτός από αυτά που αφορούν την πρώτη στήλη) βαθμολογείται με έναν αριθμό από το 1 έως το 5 (1: χειρότερο - 5: καλύτερο), αντιπροσωπεύοντας την απόδοση του άρθρου κάθε γραμμής (που έχει τον τίτλο του στην πρώτη στήλη/κελί) σε σχέση με το αντίστοιχο κριτήριο. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει μια συστηματική και αντικειμενική σύγκριση των άρθρων, βοηθώντας να απαντηθούν τα ερωτήματα από τον πίνακα ερευνητικών ερωτήσεων που τέθηκαν στο Κεφάλαιο 3. Ακολουθεί παρακάτω μια ανάλυση για τις τιμές που ανατίθενται στο κάθε κριτήριο.

Πρώτο κριτήριο: Συγκρίσεις

Το κριτήριο αυτό αφορά την ύπαρξη σύγκρισης της προτεινόμενης προσέγγισης με άλλες από την βιβλιογραφία με σκοπό να αναδειχθεί η ανωτερότητα της προσέγγισης

αυτής καθώς και ενδεχόμενα μειονεκτήματα που αυτή έχει σε σχέση με τις ανταγωνιστικές της προσεγγίσεις. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των προσεγγίσεων με τις οποίες συγκρίνεται μια προσέγγιση, τόσο περισσότερο αποδεικνύεται οποιοσδήποτε ισχυρισμός ανωτερότητάς της.

- Βαθμός 1: Δεν γίνεται καμία σύγκριση με άλλες προσεγγίσεις
- Βαθμός 2: Γίνεται σύγκριση με 1-2 προσεγγίσεις
- Βαθμός 3: Γίνεται σύγκριση με 3-4 προσεγγίσεις
- Βαθμός 4: Γίνεται σύγκριση με 5-6 προσεγγίσεις
- Βαθμός 5: Γίνεται σύγκριση με περισσότερες από 6 προσεγγίσεις

Δεύτερο κριτήριο: Κλίμακα πειραμάτων

Η κλίμακα πειραμάτων αφορά τον όγκο των χρηστών/υπηρεσιών που λαμβάνονται υπόψιν στα πειράματα που χρησιμοποιούνται από την βιβλιογραφία. Όσο μεγαλύτερος είναι ο όγκος αυτός τόσο περισσότερο αποδεικνύεται η κλιμακωσιμότητα της προσέγγισης.

- Βαθμός 1: Τα πειράματα έχουν 0-99 καταγραφές υπηρεσιών / χρήστες
- Βαθμός 2: Τα πειράματα έχουν 100-999 καταγραφές υπηρεσιών / χρήστες
- Βαθμός 3: Τα πειράματα έχουν 1000-9999 καταγραφές υπηρεσιών / χρήστες
- Βαθμός 4: Τα πειράματα έχουν 10000-99999 καταγραφές υπηρεσιών / χρήστες
- Βαθμός 5: Τα πειράματα έχουν 100000-άπειρες καταγραφές υπηρεσιών / χρήστες

Τρίτο κριτήριο: Πολυπλοκότητα

Η πολυπλοκότητα αφορά τον αριθμό των τεχνικών/μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν στην βιβλιογραφία, καθώς μια προτεινόμενη προσέγγιση μπορεί να συνδυάζει πολλαπλές μεθόδους. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των προσεγγίσεων που συνδυάζει τόσο μεγαλύτερη είναι και η πολυπλοκότητα της προτεινόμενης προσέγγισης.

- Βαθμός 1: Χρησιμοποιούνται πάνω από 7 τεχνικές/μέθοδοι
- Βαθμός 2: Χρησιμοποιούνται 6-7 τεχνικές/μέθοδοι
- Βαθμός 3: Χρησιμοποιούνται 4-5 τεχνικές/μέθοδοι
- Βαθμός 4: Χρησιμοποιούνται 2-3 τεχνικές/μέθοδοι
- Βαθμός 5: Χρησιμοποιείται 1 τεχνική/μέθοδος

Τέταρτο κριτήριο: Προκλήσεις

Οι προκλήσεις αφορούν τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι προτεινόμενες προσεγγίσεις από τη βιβλιογραφία. Όσο μικρότερος είναι ο αριθμός των προκλήσεων που αντιμετωπίζει τόσο καλύτερη είναι η προτεινόμενη μέθοδος.

- Βαθμός 1: Η προσέγγιση αντιμετωπίζει περισσότερες από 6 προκλήσεις.
- Βαθμός 2: Η προσέγγιση αντιμετωπίζει 5-6 προκλήσεις.

- Βαθμός 3: Η προσέγγιση αντιμετωπίζει 3-4 προκλήσεις.
- Βαθμός 4: Η προσέγγιση αντιμετωπίζει 1-2 προκλήσεις.
- Βαθμός 5: Η προσέγγιση δεν φαίνεται να αντιμετωπίζει προκλήσεις.

Πίνακας 4.6: Πίνακας σύγκρισης άρθρων

Περιγραφή: Ο πίνακας αυτός συγκρίνει τα άρθρα με βάση τα τέσσερα κριτήρια που αναλύθηκαν παραπάνω.

Τίτλος άρθρου	Συγκρίσεις	Κλίμακα Πειραμάτων	Πολυπλοκότητα	Προκλήσεις
A recommender system based on historical usage data for web service discovery	1 (γίνονται μεταξύ των αλγορίθμων όχι με άλλες μεθόδους)	1 (10 υπηρεσίες)	5 (CF)	4 (Ανεπάρκεια δεδομένων, cold start)
Recommender systems on web service selection problems using a new hybrid approach	5 (ICF, TOP, TOP-ICF, OWA, TOP-CB, CB, CB-ICF)	3 (1200 users)	2 (CB, ICF, TOPSIS, CB+CF, CF+TOPSIS, CB+TOPSIS)	4 (Ευρωστία, προκατάληψη)
Diversifying Web Service Recommendation Results via Exploring Service Usage History	2 (CF , Grasshopper)	3 (1,982 υπηρεσίες)	5 (CF)	3 (Πρόβλημα υπερενδίκευσης, cold start, ευρωστία, δυναμικότητα/προσαρμοστικότητα)
QoS-Aware Web Service Recommendation by Collaborative Filtering	3 (UPCC, IPCC, UMEAN, IMEAN)	5 (1.5 εκ)	5 (CF)	3 (Ανεπάρκεια δεδομένων, δυναμικότητα/προσαρμοστικότητα, cold start, ευρωστία)
Personalized Web Service Recommendation via Normal Recovery Collaborative Filtering	4 (UPCC, IPCC, UMEAN, IMEAN, WSRec)	3 (5,825 υπηρεσίες)	5 (CF)	3 (cold start, δυναμικότητα/προσαρμοστικότητα, ευρωστία, ανεπάρκεια δεδομένων)
Unified Collaborative and Content-Based Web Service Recommendation	3 (UCF, ICF, LFM)	3 (3,693 υπηρεσίες)	4 (CF και CB)	3 (κλιμακωσιμότητα, δυναμικότητα/προσαρμοστικότητα, αναπαραγωγικότητα)

				)
Time Aware and Data Sparsity Tolerant Web Service Recommendation Based on Improved Collaborative Filtering	2 (WSRec with hybrid random walk)	3 (4,532 υπηρεσίες)	4 (CF και hybrid algorithm)	4 (Πρόβλημα δυναμικότητας/προσαρμοστικότητας, κλιμακωσιμότητα)
An Effective Web Service Ranking Method via Exploring User Behavior	3 (QoS, FR + QoS, CF + QoS ,CF + QoS)	3 (1982 υπηρεσίες)	5 (CF)	3 (κρύα εκκίνηση, ευρωστία, προκατάληψη με βάση τη δημοφιλία, προκατάληψη/στερεότυπα)
An Effective Web Service Recommendation Method based on Personalized Collaborative Filtering	2 (UPCC,IPCC)	5 (1,5 εκ υπηρεσίες)	4 (UPCC, IPCC)	3 (cold start, ανεπάρκεια δεδομένων, ευρωστία, προκατάληψη με βάση τη δημοφιλία)
A data-centric and machine based approach towards fixing the cold start problem in web service recommendation	1	2 (150 υπηρεσίες)	5 (ML)	3 (Κλιμακωσιμότητα, ανεπάρκεια δεδομένων, ευρωστία, προκατάληψη με βάση τη δημοφιλία)
Collaborative filtering based web service recommender system using users' satisfaction on QoS attributes	2 (WSRec)	3 (2,507 υπηρεσίες)	5 (CF)	3(cold start, ευρωστία, προκατάληψη με βάση τη δημοφιλία, υπερ-ειδίκευση)
RegionKNN: A Scalable Hybrid Collaborative Filtering Algorithm for Personalized Web Service Recommendation	3 (UPCC,IPCC, WSRec)	5 (1,5 εκατ υπηρεσίες)	5 (CF)	2 (Προσαρμοστικότητα /Δυναμικότητα,ευρωστία, προκατάληψη/στερεότυπα,προκατάληψη με βάση τη δημοφιλία, ανεπάρκεια δεδομένων)
Combining Collaborative Filtering and Semantic	1	1	4 (CF, CB)	2 (Κλιμακωσιμότητα,

Content-based Approaches to Recommend Web Services				cold start, data sparsity, προσαρμοστικότητα/δυναμικότητα, ευρωστία)
Hybrid Collaborative Filtering algorithm for bidirectional Web service recommendation	3 (HCF, UCF ,ICF)	2 (100 υπηρεσίες)	4 (SD-HCF, IF-UCF)	4 (ευρωστία, cold start)
AWSR: Active Web Service Recommendation Based on Usage History	2 (QoS Based, Interest Based)	3 (2000 υπηρεσίες)	5 (CF)	3 (cold start, ανεπάρκεια δεδομένων, προσαρμοστικότητα/δυναμικότητα)
Recommending Web Service Based on User Relationships and Preferences	2 (Domain, ItemCF)	5 (1 εκ. υπηρεσίες)	4 (CF, Demographic)	2 (cold start, κλιμακωσιμότητα, προκατάληψη με βάση την δημοφιλή, δυναμικότητα/προσαρμοστικότητα, προκατάληψη/στερεότυπα)
Location-Aware Collaborative Filtering for QoS-Based Service Recommendation	4 (UPCC, IPCC, PCC ,LA-IPCC, LACF, WSRec)	3 (5.825 υπηρεσίες)	4 (UPCC ,IPCC)	3 (Ευρωστία, ανεπάρκεια δεδομένων, προκατάληψη με βάση την δημοφιλή, προσαρμοστικότητα/δυναμικότητα)
Location-based Hierarchical Matrix Factorization for Web Service Recommendation	5 (UMEAN, IMEAN, UPCC, IPCC, WSRec, PMF, LBR2)	5(1,974,675 υπηρεσίες)	5 (HMF)	2 (ευρωστία, cold start, έλλειψη καινοτομίας, προκατάληψη με βάση την δημοφιλή, ανεπάρκεια δεδομένων, υπερειδίκευση)
Personalized QoS aware Web service recommendation and visualization	3 (UPCC, IPCC, WSRec)	5 (1,5 εκ. υπηρεσίες)	5 (CF)	2 (ευρωστία, έλλειψη καινοτομίας, προκατάληψη με βάση την δημοφιλή, ανεπάρκεια δεδομένων, υπερειδίκευση, cold start)

Από την ανάλυση του παραπάνω πίνακα προκύπτουν ορισμένα βασικά συμπεράσματα σχετικά με τις συγκρίσεις, τα πειράματα, τις προκλήσεις, την πολυπλοκότητα που αφορούν τις προσεγγίσεις των συστημάτων συστάσεων για υπηρεσίες ιστού.

Από τις προσεγγίσεις οι καλύτερες που διακρίνονται είναι οι εξής:

- **Location-based Hierarchical Matrix Factorization for Web Service Recommendation:** συγκρίσεις (5), κλίμακα πειραμάτων (5), πολυπλοκότητα (5), προκλήσεις (2).
- **QoS-Aware Web Service Recommendation by Collaborative Filtering:** συγκρίσεις (3), κλίμακα πειραμάτων (5), πολυπλοκότητα (5), προκλήσεις (3)

Ενώ από τις χειρότερες προσεγγίσεις είναι οι εξής:

- **A recommender system based on historical usage data for web service discovery:** συγκρίσεις (1), κλίμακα πειραμάτων (1), πολυπλοκότητα (5), προκλήσεις (4).
- **Combining Collaborative Filtering and Semantic Content-based Approaches to Recommend Web Services:** συγκρίσεις (1), κλίμακα πειραμάτων (1), πολυπλοκότητα (4), προκλήσεις (2).

Οι προσεγγίσεις με την καλύτερη βαθμολογία (5) στις συγκρίσεις είναι οι εξής:

- **Location-based Hierarchical Matrix Factorization for Web Service Recommendation**
- **Recommender systems on web service selection problems using a new hybrid approach**

Ενώ, οι προσεγγίσεις με την χειρότερη βαθμολογία (1) στις συγκρίσεις είναι οι εξής:

- **Combining Collaborative Filtering and Semantic Content-based Approaches to Recommend Web Services**
- **A data-centric and machine based approach towards fixing the cold start problem in web service recommendation**
- **A recommender system based on historical usage data for web service discovery**

Οι προσεγγίσεις με την μεγαλύτερη κλίμακα πειραμάτων (5) είναι οι εξής:

- **QoS-Aware Web Service Recommendation by Collaborative Filtering**
- **An Effective Web Service Recommendation Method based on Personalized Collaborative Filtering**
- **RegionKNN: A Scalable Hybrid Collaborative Filtering Algorithm for Personalized Web Service Recommendation**
- **Recommending Web Service Based on User Relationships and Preferences**
- **Location-based Hierarchical Matrix Factorization for Web Service Recommendation**
- **Personalized QoS aware Web service recommendation and visualization**

Οι προσεγγίσεις με την μικρότερη κλίμακα πειραμάτων (1) είναι οι εξής:

- **A recommender system based on historical usage data for web service discovery**
- **Combining Collaborative Filtering and Semantic Content-based Approaches to Recommend Web Services**

Οι προσεγγίσεις με την καλύτερη βαθμολογία (5) στην πολυπλοκότητα είναι οι εξής:

- **A recommender system based on historical usage data for web service discovery**
- **Diversifying Web Service Recommendation Results via Exploring Service Usage History**
- **QoS-Aware Web Service Recommendation by Collaborative Filtering**
- **Personalized Web Service Recommendation via Normal Recovery Collaborative Filtering**
- **An Effective Web Service Ranking Method via Exploring User Behavior**
- **A data-centric and machine based approach towards fixing the cold start problem in web service recommendation**
- **Collaborative filtering based web service recommender system using users' satisfaction on QoS attributes**
- **RegionKNN: A Scalable Hybrid Collaborative Filtering Algorithm for Personalized Web Service Recommendation**
- **AWSR: Active Web Service Recommendation Based on Usage History**
- **Location-based Hierarchical Matrix Factorization for Web Service Recommendation**
- **Personalized QoS aware Web service recommendation and visualization**

Οι προσεγγίσεις με την χειρότερη βαθμολογία (1) στην πολυπλοκότητα είναι οι εξής:

- **Recommender systems on web service selection problems using a new hybrid approach**

Σημειώνεται, ότι δεν υπάρχουν προσεγγίσεις, οι οποίες δεν αντιμετωπίζουν καμία πρόκληση (5).

Ενώ οι προσεγγίσεις με την χειρότερη βαθμολογία (2) στις προκλήσεις είναι οι εξής:

- **RegionKNN: A Scalable Hybrid Collaborative Filtering Algorithm for Personalized Web Service Recommendation**
- **Combining Collaborative Filtering and Semantic Content-based Approaches to Recommend Web Services**
- **Recommending Web Service Based on User Relationships and Preferences**
- **Location-based Hierarchical Matrix Factorization for Web Service Recommendation**
- **Personalized QoS aware Web service recommendation and visualization**

Από τον πίνακα παρατηρείται ότι το κριτήριο με την καλύτερη απόδοση είναι η πολυπλοκότητα. Αυτό σημαίνει ότι ο βαθμός δυσκολίας και ο αριθμός των παραμέτρων ή υπολογιστικών διαδικασιών που απαιτούνται για την εφαρμογή ή λειτουργία ενός συγκεκριμένου συστήματος συστάσεων είναι χαμηλοί, ενδεχομένως δηλαδή το σύστημα που χρησιμοποιείται να είναι πιο εύχρηστο και κατανοητό για τους χρήστες. Έπειτα, το επόμενο με καλή απόδοση είναι η κλίμακα πειραμάτων, αποδεικνύοντας την κλιμακωσιμότητα της κάθε προσέγγισης. Από την άλλη πλευρά, ακολουθεί με μέτρια απόδοση το κριτήριο των συγκρίσεων, υποδηλώνοντας ότι οι περισσότερες προσεγγίσεις δεν έχουν συγκριθεί εκτενώς με πολλές μεθόδους, ενώ αυτό θα μπορούσε να αυξήσει την ανωτερότητά τους. Τέλος, το κριτήριο με την χαμηλότερη απόδοση είναι οι προκλήσεις, κάτι το οποίο σημαίνει ότι στις περισσότερες περιπτώσεις επηρεάζεται αρνητικά η απόδοση, η ακρίβεια και η αποτελεσματικότητα των συστημάτων συστάσεων, λόγω των προκλήσεων που αντιμετωπίζουν.

Συνοψίζοντας, οι προσεγγίσεις που χρησιμοποιούν μια μόνο τεχνική τείνουν να έχουν καλύτερη βαθμολογία στην πολυπλοκότητα και τις προκλήσεις, αλλά μπορεί να υστερούν σε συγκρίσεις και κλίμακα πειραμάτων. Από την άλλη, οι υβριδικές προσεγγίσεις, αν και πιο περίπλοκες, έχουν καλύτερες επιδόσεις σε συγκρίσεις, όμως έχουν και περισσότερες προκλήσεις να αντιμετωπίσουν. Τέλος, φαίνεται από τον πίνακα ότι δεν υπάρχει καμία προσέγγιση η οποία δεν αντιμετωπίζει καμία πρόκληση.

Επομένως, κάθε προσέγγιση παρουσιάζει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, με κάποιες να είναι πιο αποτελεσματικές σε συγκεκριμένα κριτήρια, όπως η πολυπλοκότητα ή η κλίμακα πειραμάτων, αλλά να υστερούν σε άλλους τομείς, όπως οι συγκρίσεις ή οι προκλήσεις. Συνεπώς, απαιτείται μεγαλύτερη διερεύνηση και περαιτέρω έρευνα για την ανάπτυξη μεθόδων που θα μπορούν να προσφέρουν καλύτερη απόδοση σε όλα τα κριτήρια, συμπεριλαμβανομένου να μην αντιμετωπίζουν λιγότερα προβλήματα ή προκλήσεις.

5. Προκλήσεις

Η ραγδαία εξέλιξη των συστημάτων συστάσεων για υπηρεσίες ιστού έχει προσφέρει σημαντικές βελτιώσεις στην ανακάλυψη και επιλογή υπηρεσιών. Ωστόσο, παρά τα επιτεύγματα αυτά, υπάρχουν αρκετές προκλήσεις που παραμένουν και απαιτούν περαιτέρω έρευνα. Παρακάτω αναλύονται μερικές από τις προκλήσεις που αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο (2.2.2), αλλά και μερικές που προέκυψαν από το κεφάλαιο της ανάλυσης (Κεφάλαιο 4), οι οποίες φαίνεται να απασχολούν ολοένα και περισσότερο τους ερευνητές. Επίσης, επισημαίνονται για κάθε μία πρόκληση και οι αντίστοιχες ερευνητικές κατευθύνσεις για την αντιμετώπισή τους.

5.1 Κρύα εκκίνηση

Ο όρος «cold start» προέρχεται από τα αυτοκίνητα. Όταν ο κινητήρας είναι κρύος, έχει δυσκολία να ξεκινήσει, αλλά δεν έχει πρόβλημα να λειτουργήσει μόλις φτάσει στην βέλτιστη θερμοκρασία του. Αντίστοιχα, το ίδιο πρόβλημα μπορεί να εφαρμοστεί και στα συστήματα συστάσεων, όταν δεν υπάρχει επαρκής πληροφορία ή διαθέσιμα μεταδεδομένα, με αποτέλεσμα να μην λειτουργούν βέλτιστα. Το πρόβλημα κρύας εκκίνησης μπορεί να χωριστεί σε δύο κατηγορίες: την κρύα εκκίνηση προϊόντων και την κρύα εκκίνηση χρηστών.

Πιο συγκεκριμένα, όταν μια νέα υπηρεσία ιστού εμφανίζεται σε μια πλατφόρμα, περνά από το πρόβλημα κρύας εκκίνησης προϊόντος, που σημαίνει ότι δεν υπάρχουν κριτικές (για αυτήν) λόγω έλλειψης αλληλεπίδρασης χρηστών. Για παράδειγμα, αν μια νέα υπηρεσία streaming video προστεθεί σε μια ιστοσελίδα, δεν θα υπάρχουν αρχικά κριτικές ή βαθμολογίες χρηστών για αυτήν, με αποτέλεσμα το σύστημα συστάσεων να μην ξέρει πότε και σε ποιους να προβάλλει/προτείνει αυτήν την υπηρεσία.

Το πρόβλημα κρύας εκκίνησης εμφανίζεται επίσης όταν ένας χρήστης δημιουργεί έναν λογαριασμό για πρώτη φορά και δεν έχει διαθέσιμες προτιμήσεις υπηρεσιών ή ιστορικό πάνω από τις οποίες το σύστημα να βασίσει τις συστάσεις του. Το πρόβλημα αυτό, υπάρχει πάντα για νέους χρήστες. Για παράδειγμα, όταν ένας χρήστης δημιουργεί έναν λογαριασμό σε μια πλατφόρμα streaming μουσικής, η πλατφόρμα αρχικά δεν γνωρίζει τις προτιμήσεις του και δεν μπορεί να του προτείνει κατάλληλες λίστες εκτέλεσης (playlists) ή τραγούδια. Μετά από λίγο καιρό, όταν ο χρήστης ακούει διάφορα είδη μουσικής, το σύστημα συστάσεων θα προσαρμόσει τις προτάσεις του με βάση τις προτιμήσεις που αυτός εμφανίζει. (Fayyaz, Ebrahimian, Nawara, Ibrahim, & Kashef, 2020)

Οι ερευνητικές κατευθύνσεις για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού επικεντρώνονται στην ανάπτυξη υβριδικών συστημάτων, την ενσωμάτωση εξωτερικών πηγών δεδομένων, τη χρήση γνωστικών προσεγγίσεων και την αξιοποίηση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης. Αυτές οι προσεγγίσεις συμβάλλουν στη

βελτίωση της ποιότητας των συστάσεων και στην παροχή μιας πιο εξατομικευμένης εμπειρίας στους χρήστες.

- **Υβριδικά Συστήματα Συστάσεων:** Συνδυάζουν δύο ή περισσότερες τεχνικές συστημάτων συστάσεων (π.χ σύσταση βασισμένη στο περιεχόμενο για νέους χρήστες και συλλογή δημογραφικών δεδομένων), ώστε να εκμεταλλευτούν τα πλεονεκτήματα κάθε μεθόδου και να μειώσουν τα μειονεκτήματα της κάθε μιας ξεχωριστά. Επομένως, μέσω του συνδυασμού αυτού και της χρήσης τεχνικής που δεν υποφέρει από την κρύα εκκίνηση μπορούμε να αντιμετωπίσουμε την τρέχουσα πρόκληση.
- **Γνωστικά Συστήματα Συστάσεων:** Αξιοποιούν την τομεακή γνώση και την εφαρμογή σύνθετων περιορισμών και προτιμήσεων, προκειμένου να προσφερθούν εξατομικευμένες συστάσεις. Τα συστήματα αυτά εκμεταλλεύονται, για παράδειγμα, τις πληροφορίες που δίνει ο χρήστης ώστε να εξάγουν περισσότερα χαρακτηριστικά για αυτόν (εκτός από αυτά που δηλώνει ρητά ο ίδιος ο χρήστης). Με αυτό τον τρόπο, μπορεί να λυθεί το πρόβλημα της κρύας εκκίνησης,
- **Αλγόριθμοι Μηχανικής Μάθησης:** Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μπορούν να εκμεταλλεύονται ποικίλα δεδομένα, να μαθαίνουν/εκπαιδεύονται από τα χαρακτηριστικά των χρηστών και των αντικειμένων και να προσαρμόζονται δυναμικά στις νέες πληροφορίες. Αυτό καθιστά τους αλγόριθμους ικανούς στην αντιμετώπιση του προβλήματος της κρύας εκκίνησης.
- **Ενσωμάτωση εξωτερικών πηγών δεδομένων:** Η χρήση εξωτερικών δεδομένων για την ενίσχυση των συστάσεων, όπως δεδομένα από κοινωνικά δίκτυα ή άλλες πλατφόρμες, γίνεται με σκοπό να εμπλουτιστεί η βάση δεδομένων και να μειωθεί η έλλειψη δεδομένων στην αρχή της λειτουργίας του συστήματος.

5.2 Κλιμακωσιμότητα

Ένα ζωτικό πρόβλημα των συστημάτων συστάσεων σήμερα είναι η κλιμακωσιμότητα των αλγορίθμων με μεγάλα πραγματικά σύνολα δεδομένων. Γίνεται ολοένα και πιο δύσκολο να διαχειριστεί κανείς τεράστια και δυναμικά σύνολα δεδομένων που παράγονται από τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ αντικειμένων και χρηστών, όπως προτιμήσεις, βαθμολογίες και κριτικές.

Ειδικότερα, είναι πιθανόν όταν ορισμένοι αλγόριθμοι συστάσεων εφαρμόζονται σε σχετικά μικρά σύνολα δεδομένων, να παρέχουν τα καλύτερα αποτελέσματα, αλλά να παρουσιάζουν μη αποτελεσματική ή χειρότερη συμπεριφορά σε πολύ μεγάλα σύνολα

δεδομένων (Kumar & Sharma, 2016). Για παράδειγμα, αν μια πλατφόρμα παροχής υπηρεσιών έχει δεκάδες χιλιάδες δεδομένα για έναν χρήστη, μπορεί να είναι δύσκολο και επίπονο (υπολογιστικά) να βρεθεί ένας σχετικός γείτονας για έναν δεδομένο γείτονα, όπως τον χρήστη αυτό (Fayyaz, Ebrahimian, Nawara, Ibrahim, & Kashef, 2020). Επομένως, απαιτούνται ορισμένες προηγμένες μέθοδοι σύστασης μεγάλης κλίμακας για να αντιμετωπιστεί αυτό το ζήτημα.

Παρακάτω αναφέρονται μερικές ερευνητικές κατευθύνσεις με στόχο την αντιμετώπιση του προβλήματος της κλιμακωσιμότητας.

- **Βελτιστοποίηση και Αποδοτικότητα Μοντέλων:** Οι αποδοτικοί αλγόριθμοι σύστασης και οι δομές δεδομένων είναι σχεδιασμένοι για να εκτελούν υπολογισμούς πιο γρήγορα και με λιγότερους πόρους. Αυτό μειώνει τον χρόνο και την επεξεργαστική ισχύ που απαιτούνται για την επεξεργασία μεγάλων όγκων δεδομένων, βελτιώνοντας έτσι την κλιμακωσιμότητα. Επιπλέον, υπάρχουν και τεχνικές (μηχανική μάθηση, συσταδοποίηση, κατηγοριοποίηση, μείωση διαστάσεων) που μειώνουν την πολυπλοκότητα των αλγορίθμων, εξασφαλίζοντας ότι το σύστημα μπορεί να διαχειριστεί αυξανόμενα σύνολα δεδομένων, χωρίς εκθετική αύξηση των υπολογιστικών πόρων που απαιτούνται.
- **Μείωση διαστάσεων:** Οι τεχνικές μείωσης διαστάσεων (dimensionality reduction) μειώνουν τον αριθμό των χαρακτηριστικών που πρέπει να επεξεργαστεί το σύστημα, καθιστώντας τη διαδικασία σύστασης πιο αποδοτική και λιγότερο απαιτητική από πλευράς υπολογιστικής ισχύος. Μερικές από αυτές τις τεχνικές είναι οι PCA, KPCA, LDA, MDS, SVD, LLE, ISOMAP, LE, ICA, t-SNE (Anowar, Sadaoui, & Selim, 2021) .
- **Συνεχής μάθηση:** Η συνεχής μάθηση επιτρέπει την ενημέρωση του μοντέλου με νέα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, αποφεύγοντας την ανάγκη πλήρους επανεκπαίδευσης. Αυτή η διαδικασία μειώνει τους υπολογιστικούς πόρους και τον χρόνο που απαιτείται για τη διατήρηση της ακρίβειας του συστήματος. Επίσης, με την αποτελεσματική ενσωμάτωση νέων δεδομένων, το σύστημα μπορεί να συνεχίσει να λειτουργεί αποδοτικά καθώς αυξάνεται ο όγκος των δεδομένων.
- **Υβριδικές Προσεγγίσεις:** Ο συνδυασμός διαφόρων αλγορίθμων εκμεταλλεύεται τα πλεονεκτήματα κάθε μεθόδου, εξισορροπώντας το φορτίο και βελτιώνοντας την απόδοση. Αυτό το γεγονός επιτρέπει στο σύστημα να διαχειρίζεται μεγαλύτερα σύνολα δεδομένων πιο αποτελεσματικά.

5.3 Ανεπάρκεια δεδομένων

Η ανεπάρκεια των δεδομένων προκύπτει από το γεγονός ότι οι χρήστες τείνουν να βαθμολογούν περιορισμένες υπηρεσίες ιστού. Τα περισσότερα συστήματα συστάσεων ομαδοποιούν τις βαθμολογίες παρόμοιων χρηστών, ωστόσο ο πίνακας χρήστη-υπηρεσίας έχει κενές ή άγνωστες βαθμολογίες (έως και 99%), λόγω έλλειψης κινήτρων ή γνώσης των χρηστών να βαθμολογήσουν υπηρεσίες. Επομένως, τα συστήματα συστάσεων μπορούν να παρέχουν εντελώς διαφορετικές συστάσεις σε αυτούς τους χρήστες που δεν παρέχουν ανατροφοδότηση ή βαθμολογίες.

Για παράδειγμα, υποθέτουμε ότι μια πλατφόρμα παροχής υπηρεσιών ιστού προσφέρει δύο εκατομμύρια διαφορετικές υπηρεσίες, με X αριθμό χρηστών (ενεργών ή νέων). Σε αυτή την περίπτωση, κάθε χρήστης αναπαρίσταται από έναν πίνακα χαρακτηριστικών ακέραιων τιμών με 2 εκατομμύρια στοιχεία και η τιμή κάθε χαρακτηριστικού αντιστοιχεί στη βαθμολογία που δίνει ο χρήστης σε μια συγκεκριμένη υπηρεσία. Αυτός ο πίνακας ονομάζεται πίνακας αλληλεπίδρασης χρήστη-υπηρεσίας. Στις περισσότερες εφαρμογές μεγάλης κλίμακας, τόσο οι αριθμοί των καταναλωτών όσο και των υπηρεσιών είναι τεράστιοι. Επομένως, η πλειονότητα (έως και 99%, κατά μέσο όρο) αυτών των στοιχείων του πίνακα είναι 0. Συγκρίνοντας δύο χρήστες για μια συγκεκριμένη υπηρεσία, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα οι βαθμολογίες που έχουν δώσει δύο χρήστες για την συγκεκριμένη υπηρεσία να είναι και οι δύο μηδέν, με αποτέλεσμα να προκύπτει ένας πίνακας με ελλιπή δεδομένα και έτσι να μην μπορούμε να υπολογίσουμε εύκολα την ομοιότητα μεταξύ χρηστών/υπηρεσιών. (Fayyaz, Ebrahimian, Nawara, Ibrahim, & Kashef, 2020)

Μερικές μέθοδοι που συμβάλλουν στην αύξηση της ακρίβειας των συστάσεων και στη βελτίωση της απόδοσης του συστήματος συστάσεων, αντιμετωπίζοντας αποτελεσματικά τα προβλήματα που προκύπτουν από την ανεπάρκεια των δεδομένων αποτυπώνονται παρακάτω.

- **Υβριδικά συστήματα:** Τα υβριδικά συστήματα συνδυάζουν διαφορετικές τεχνικές για να βελτιώσουν την ακρίβεια των συστάσεων, αλλά μπορούν επίσης να αξιοποιήσουν τα διαθέσιμα δεδομένα με πιο αποτελεσματικό τρόπο και να παρέχουν προτάσεις ακόμα και σε περιπτώσεις με ελλιπή δεδομένα.
- **Χρήση πρόσθετων πηγών δεδομένων:** Η ενσωμάτωση δεδομένων από εξωτερικές πηγές, όπως κοινωνικά δίκτυα ή τομείς δεδομένων (data domain), μπορεί να εμπλουτίσει το σύστημα με νέα γνώση και να μειώσει το πρόβλημα της ανεπάρκειας των δεδομένων.
- **Γνωστικά συστήματα:** Τα γνωστικά συστήματα μπορούν να αξιοποιήσουν την τομεακή γνώση και την εφαρμογή σύνθετων περιορισμών και προτιμήσεων, ενσωματώνοντας επιπλέον πληροφορίες στο σύστημα για την αντιμετώπιση της κλιμακωσιμότητας.

- **Εμπιστοσύνη:** Πολλές τεχνικές αποσκοπούν στην παραγωγή αξιόπιστων συστάσεων και ορισμένες φορές επεξηγήσιμων. Με αυτό τον τρόπο, αυξάνεται η εμπιστοσύνη των χρηστών στο σύστημα. Εφόσον οι χρήστες εμπιστεύονται περισσότερο το σύστημα συστάσεων, είναι πιο πιθανό να παρέχουν (περισσότερη) ανατροφοδότηση, όπως βαθμολογίες, σχόλια και προτιμήσεις. Αυτή η ανατροφοδότηση αυξάνει το πλήθος και την ποιότητα των δεδομένων που μπορεί να χρησιμοποιήσει το σύστημα, μειώνοντας έτσι την ανεπάρκεια δεδομένων.

5.4 Έλλειψη εμπιστοσύνης

Η εμπιστοσύνη στα συστήματα συστάσεων αναφέρεται στην εκτίμηση ή την αξιολόγηση της αξιοπιστίας ή της ποιότητας των προτάσεων που παρέχονται από το σύστημα στον χρήστη. Οι χρήστες επιθυμούν να είναι σίγουροι ότι οι συστάσεις που λαμβάνουν είναι αξιόπιστες και κατάλληλες για αυτούς, αλλά και να κατανοήσουν τη λογική και τη διαδικασία που χρησιμοποιεί το σύστημα για τη δημιουργία των συστάσεων. Με άλλα λόγια, η εμπιστοσύνη επηρεάζει την απόφαση των χρηστών να υιοθετήσουν και να χρησιμοποιήσουν το σύστημα συστάσεων, καθώς αν ένας χρήστης εμπιστεύεται το σύστημα, είναι πιθανότερο να δέχεται και να ενσωματώνει τις προτεινόμενες συστάσεις στις αποφάσεις του. Συμπερασματικά, η εμπιστοσύνη είναι ένας παράγοντας ο οποίος μπορεί να παίξει σημαντικό ρόλο στο ζήτημα της ανεπάρκειας δεδομένων, δίνοντας κίνητρα στους χρήστες να χρησιμοποιούν ολοένα και περισσότερο το σύστημα, παράγοντας με αυτό τον τρόπο περισσότερα δεδομένα.

Η έλλειψη εμπιστοσύνης μπορεί να οδηγήσει σε ανεπαρκείς εκτιμήσεις και αστάθεια στις προτάσεις που παρέχονται στους χρήστες, επηρεάζοντας την ακρίβεια και αποτελεσματικότητα των συστημάτων συστάσεων. Παρακάτω αναφέρονται μερικές από τις προτεινόμενες λύσεις για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος.

Βελτίωση της ακρίβειας των συστάσεων: Η βελτίωση της ακρίβειας των συστάσεων είναι ίσως ο σημαντικότερος παράγοντας για την αύξηση της εμπιστοσύνης, καθώς αν οι συστάσεις που παρέχονται είναι ακριβείς και κατάλληλες για τον χρήστη, τότε ο χρήστης είναι πιο πιθανό να εμπιστευτεί το σύστημα. Για παράδειγμα, όταν το σύστημα συστάσεων βελτιώνει την ακρίβεια των προτάσεων του (π.χ. με τη χρήση υβριδικών μεθόδων), προσφέροντας προϊόντα (π.χ. μοντέλα κινητών) που πραγματικά ταιριάζουν στις προτιμήσεις του χρήστη (π.χ. προτάσεις για συγκεκριμένα μοντέλα κινητών τηλεφώνων που έχουν υψηλές βαθμολογίες από άλλους χρήστες με παρόμοιες προτιμήσεις), τότε ο χρήστης είναι πιθανότερο να εμπιστευτεί το σύστημα και να είναι ευχαριστημένος από την αγοραστική εμπειρία του. Επίσης, εκτός από τη χρήση υβριδικών μεθόδων, μια άλλη κατεύθυνση για την αύξηση της ακρίβειας των

συστάσεων μπορεί να είναι το φιλτράρισμα των "κακών" ή "αναξιόπιστων" δεδομένων, ώστε να παράγονται

Γνωστικά συστήματα συστάσεων: Τα γνωστικά συστήματα συστάσεων μπορούν να προσφέρουν βαθύτερη κατανόηση του τρόπου που γίνεται η παραγωγή των προτάσεων στα συστήματα συστάσεων. Αυτό μπορεί να συμβάλει στην αύξηση της εμπιστοσύνης και της διαφάνειας των χρηστών, καθώς οι χρήστες μπορούν να κατανοήσουν καλύτερα τον λόγο για τον οποίο τους παρέχονται συγκεκριμένες προτάσεις.

- **Τεχνικές οπτικοποίησης (visualization):** Η οπτικοποίηση μπορεί να παρέχει μια ξεκάθαρη εικόνα στους χρήστες σχετικά με το πώς λαμβάνονται οι προτάσεις στα συστήματα συστάσεων. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει γραφήματα ή διαγράμματα που εξηγούν τις μεθόδους ανάλυσης και τις παραμέτρους που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των συστάσεων, ενισχύοντας με αυτόν τον τρόπο την εμπιστοσύνη των χρηστών προς το σύστημα.

5.5 Αλλαγές στις προτιμήσεις των χρηστών

Το πρόβλημα των αλλαγών στις προτιμήσεις των χρηστών αποτελεί ένα σημαντικό θέμα στα συστήματα συστάσεων και αναφέρεται στη δυναμική φύση των ατομικών προτιμήσεων και αναγκών των χρηστών, καθώς αυτές εξελίσσονται με την πάροδο του χρόνου. Οι χρήστες μπορεί συχνά να αλλάζουν τις προτιμήσεις τους για υπηρεσίες, επηρεαζόμενοι από διάφορους παράγοντες, όπως προσωπικές ανάγκες, νέες εμπειρίες ή αλλαγές στο περιβάλλον τους.

Για τα συστήματα συστάσεων, η αντιμετώπιση αυτών των αλλαγών αποτελεί πρόκληση, καθώς το μοντέλο πρέπει να είναι ευέλικτο και να ανταποκρίνεται δυναμικά στις νέες προτιμήσεις προκειμένου να παράγει προσαρμοσμένες και συνεχώς ενημερωμένες προτάσεις. Παρακάτω αναφέρονται οι τεχνικές για τη διαχείριση αυτών των αλλαγών.

- **Αυτόματη ενημέρωση των προτιμήσεων:** Ένας τρόπος να αντιμετωπιστούν οι αλλαγές στις προτιμήσεις των χρηστών είναι η αυτόματη ανίχνευση αυτών των αλλαγών και η ενημέρωση του προφίλ τους στο σύστημα συστάσεων. Αυτό μπορεί να γίνει μέσω αλγορίθμων που παρακολουθούν τη συμπεριφορά του χρήστη και ανιχνεύουν νέες προτιμήσεις ή αλλαγές στις υπάρχουσες, ή μέσω συστημάτων εκμάθησης με ενίσχυση (reinforcement learning), ή άλλων μεθόδων μηχανικής μάθησης που είναι ευέλικτα στην προσαρμογή.
- **Ενεργητική αλλαγή προτιμήσεων από τον χρήστη:** Οι χρήστες μπορούν να έχουν τη δυνατότητα να αλλάξουν ενεργά τις προτιμήσεις τους στο σύστημα συστάσεων, είτε μέσω ρυθμίσεων στο προφίλ τους είτε μέσω αλληλεπίδρασης

με το σύστημα για να ενημερώνουν τις προτιμήσεις τους. Επίσης, θα μπορούσε το σύστημα περιοδικά να ρωτάει τους χρήστες για ενδεχόμενες αλλαγές, καθώς και να τους δίνει κίνητρα για την ενεργή αλλαγή των προτιμήσεών τους.

- **Δημογραφικά συστήματα:** Τα δημογραφικά συστήματα μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην πρόβλεψη και την παρακολούθηση των αλλαγών στις προτιμήσεις του χρήστη. Τα δημογραφικά στοιχεία, όπως ηλικία, φύλο, επαγγελματική κατάσταση, τοποθεσία και οικογενειακή κατάσταση, μπορούν να παρέχουν πολύτιμες ενδείξεις για την κατανόηση των προτιμήσεων του χρήστη και των πιθανών αλλαγών πάνω σε αυτές.
- **Γνωσιακά συστήματα:** Τα γνωσιακά συστήματα μπορούν να παρακολουθήσουν και να προσαρμόσουν τις αλλαγές στις προτιμήσεις των χρηστών, καθώς αυτά μπορεί να χρησιμοποιούν τεχνητή νοημοσύνη, μηχανική μάθηση, ανάλυση δεδομένων καθώς και άλλες τεχνικές για να κατανοήσουν και να προβλέψουν τις προτιμήσεις και τις ανάγκες των χρηστών (με βάση την καταγεγραμμένη τομεακή γνώση).

5.6 Πρόβλεψη των τιμών QoS

Η πρόβλεψη των τιμών QoS αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την αξιοπιστία και την απόδοση των συστημάτων που εξαρτώνται από την υποδομή και τις υπηρεσίες ιστού, αφού στις περισσότερες περιπτώσεις ελάχιστα δεδομένα ποιότητας είναι διαθέσιμα για μια υπηρεσία. Τα δεδομένα αυτά δεν πληθαίνουν κατά την χρήση του συστήματος εκτός και αν μπορεί να παραχθούν επιπλέον δεδομένα με βάση την εμπειρία των χρηστών. Επομένως, είναι σημαντικό το σύστημα συστάσεων να μπορεί να προβλέπει την τιμή των δεδομένων αυτών.

Η ανάγκη για ακριβείς προβλέψεις τιμών QoS είναι επιτακτική, όχι μόνο για την πρόβλεψη των αρχικών τιμών QoS μιας υπηρεσίας αλλά και διότι οι αλλαγές στις συνθήκες του δικτύου, οι διακυμάνσεις στη ζήτηση των χρηστών και άλλοι δυναμικοί παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν τις τιμές QoS για μια υπηρεσία, καθιστώντας την πρόβλεψή τους μια σημαντική πρόκληση. Παρακάτω αναφέρονται μερικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη των τιμών QoS.

Συνεργατικό Φιλτράρισμα (Collaborative Filtering): Χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη των τιμών QoS με βάση τα δεδομένα (π.χ. αντιδράσεις, αξιολογήσεις, ιστορικά δεδομένα, δεδομένα παραδιδόμενης ποιότητας υπηρεσίας, τοποθεσία, χρόνος) που συλλέγονται από διαφορετικούς χρήστες υπηρεσιών. Αυτή η μέθοδος προβλέπει τις τιμές QoS των υπηρεσιών ιστού με ακρίβεια και βελτιώνει την απόδοση των συστημάτων συστάσεων.

Χρονική ανάλυση: Η ανάλυση των χρονικών δεδομένων επιτρέπει την πρόβλεψη των αλλαγών στις τιμές QoS που μπορεί να εξαρτώνται από την ώρα της ημέρας ή

την εποχή. Αυτό βοηθά στην προσαρμογή των προβλέψεων στις συγκεκριμένες χρονικές συνθήκες.

- **Γεωγραφική ανάλυση:** Η γεωγραφική ανάλυση επιτρέπει την προσαρμογή των προβλέψεων ανάλογα με την τοποθεσία των χρηστών, η οποία μπορεί να επηρεάσει τις τιμές QoS λόγω διαφορετικών χαρακτηριστικών του δικτύου σε διαφορετικές περιοχές. Επίσης, οι προσεγγίσεις που λαμβάνουν υπόψιν τοποθεσίες βοηθούν στην βελτίωση της ακρίβειας των προβλέψεων σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές (όπου πχ. μπορεί να υπάρχει υψηλός πληθυσμός χρηστών και άρα ενδεχόμενη υψηλή κίνηση στο δίκτυο αλλά και περισσότερο φόρτο εργασίας για μια υπηρεσία).

6. Συμπεράσματα

Οι υπηρεσίες ιστού αυξάνονται ολοένα και περισσότερο με την πάροδο του χρόνου, καθιστώντας την ανακάλυψή και την επιλογή τους από τους χρήστες μια δύσκολη διαδικασία. Τα συστήματα συστάσεων είναι μια διαισθητική άμυνα ενάντια στον κατακλυσμό του καταναλωτή από την πολυάριθμη ποικιλία επιλογών και αποτελούν βέλτιστη λύση για να διευκολύνουν τους χρήστες στο να ανακαλύψουν και να επιλέξουν τις υπηρεσίες ιστού που ταιριάζουν ανάλογα με τις προτιμήσεις του.

Στην παρούσα εργασία αρχικά αναλύθηκαν οι έννοιες των υπηρεσιών ιστού και των συστημάτων συστάσεων, και έπειτα εξετάστηκαν διάφορες προσεγγίσεις και τεχνικές σύστασης για υπηρεσίες ιστού, αναδεικνύοντας τα πλεονεκτήματα αλλά και τα μειονεκτήματά τους. Μέσα από την ανάλυση και τη σύγκριση των προσεγγίσεων αυτών, αναδείχθηκαν οι πιο καλές προσεγγίσεις σύστασης υπηρεσιών ιστού (ανά υποσύνολο των κριτηρίων) καθώς και σημαντικά σημεία (βελτίωσης) που πρέπει να ληφθούν υπόψιν για την ανάπτυξη πιο αποτελεσματικών και αποδοτικών συστημάτων.

Τα συστήματα συστάσεων μπορεί να είναι μια βέλτιστη λύση για τη σύσταση υπηρεσιών ιστού, ωστόσο φαίνονται να έρχονται αντιμέτωπα με ορισμένες προκλήσεις. Πιο συγκεκριμένα, με βάση την προαναφερόμενη ανάλυση και την διαθέσιμη βιβλιογραφία διαπιστώθηκε ότι οι κύριες προκλήσεις που αντιμετωπίζουν τα συστήματα συστάσεων για υπηρεσίες ιστού είναι το πρόβλημα της κρύας εκκίνησης, η ανεπάρκεια δεδομένων, η κλιμακωσιμότητα, οι αλλαγές στις προτιμήσεις των χρηστών και η προβλεψιμότητα των τιμών QoS. Μερικές από τις προτεινόμενες λύσεις, όπως το συνεργατικό φιλτράρισμα, οι υβριδικές προσεγγίσεις, τα μοντέλα μηχανικής μάθησης, οι προσεγγίσεις που λαμβάνουν υπόψιν παραμέτρους όπως ο χρόνος και η τοποθεσία, αποδεικνύονται αποτελεσματικές στη βελτίωση της ακρίβειας των συστημάτων συστάσεων και την αντιμετώπιση των προαναφερόμενων προκλήσεων.

Οι μελλοντικές έρευνες πρέπει να επικεντρωθούν στην αντιμετώπιση των προαναφερόμενων προκλήσεων. Συγκεκριμένα, πρέπει να γίνει εστίαση στον καλύτερο υπολογισμό της ομοιότητας υπηρεσίας/χρήστη (πχ. μέσω της χρήσης μεθόδων συσταδοποίησης υπηρεσιών ιστού) στη συλλογή περισσότερων δεδομένων από εξωτερικές πηγές (π.χ κοινωνικά δίκτυα), στη χρήση δημογραφικών και τομεακών στοιχείων, στην εξέταση των αλλαγών στις τιμές QoS, καθώς και στη δυναμικότητα του όλου περιβάλλοντος των υπηρεσιών και ειδικότερα του διαδικτύου. Επίσης, θα πρέπει να γίνει έρευνα για τη μείωση της πολυπλοκότητας των υβριδικών μεθόδων, καθώς αυτές οι μέθοδοι χρησιμοποιούνται όλο πιο συχνά στα συστήματα συστάσεων. Τέλος, τονίζεται η αναγκαιότητα της συνεχούς καινοτομίας και έρευνας για την περαιτέρω ενίσχυση της απόδοσης, της αξιοπιστίας και του νεωτερισμού (serendipity) των συστημάτων συστάσεων, προσφέροντας πιο εξατομικευμένες και ακριβείς υπηρεσίες στους χρήστες που σίγουρα θα τους ενθουσιάσουν.

Βιβλιογραφία

- Ahanger, A. B., Syed Aalam, W., Rasool Bhat, M., & Assad, A. (2022). Popularity Bias in Recommender Systems - A Review. *ICETCE* (pp. 431–444). IEEE.
- Anowar, F., Sadaoui, S., & Selim, B. (2021). Conceptual and empirical comparison of dimensionality reduction algorithms (PCA, KPCA, LDA, MDS, SVD, LLE, ISOMAP, LE, ICA, t-SNE). *Computer Science Review*, 1-13.
- Cao, J., Wu, Z., Wang, Y., & Zhuang, Y. (2012). Hybrid Collaborative Filtering algorithm for bidirectional Web service recommendation. *Knowledge and Information Systems*, 608-626.
- Chan, N. N., Gaaloul, W., & Tata, S. (2012). A recommender system based on historical usage data for web service discovery. *Service Oriented Computing and Applications*, 51-63.
- Chen, X., Liu, X., Huang, Z., & Sun, H. (2010). RegionKNN: A Scalable Hybrid Collaborative Filtering Algorithm for Personalized Web Service Recommendation. *2010 IEEE International Conference on Web Services* (pp. 9-16). Miami, FL, USA: IEEE.
- Chen, X., Zheng, Z., Liu, X., Huang, Z., & Sun, H. (2011). Personalized QoS aware Web service recommendation and visualization. *IEEE Transactions on Services Computing*, 35 - 47.
- Fayyaz, Z., Ebrahimian, M., Nawara, D., Ibrahim, A., & Kashef, R. (2020). Recommendation Systems: Algorithms, Challenges, Metrics, and Business Opportunities. *Applied Sciences*, 1-20.
- Fielding, R. (2000). *Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures*. California: University of California, Irvine.
- Goldfarb, C. F., & Rubinsky, Y. (1991). *The SGML Handbook*. Oxford University Press.
- Gong, M., Xu, Z., Xu, L., Li, Y., & Chen, L. (2013). Recommending Web Service Based on User Relationships and Preferences. *2013 IEEE 20th International Conference on Web Services* (pp. 380-386). Santa Clara, CA, USA: IEEE.
- He, P., Zhu, J., Zheng, Z., Xu, J., & Lyu, M. R. (2014). Location-based Hierarchical Matrix Factorization for Web Service Recommendation. *2014 IEEE International Conference on Web Services* (pp. 297-304). Anchorage, AK, USA: IEEE.
- Hu, Y., Peng, Q., Hu, X., & Yang, R. (2014). Time Aware and Data Sparsity Tolerant Web Service Recommendation Based on Improved Collaborative Filtering. *IEEE Transactions on Services Computing*, 782 - 794.
- Huhns, M., & Singh, M. (2005). Service-oriented computing: key concepts and principles. *IEEE Internet Computing*, 75 - 81.
- Jiang, Y., Liu, J., Tang, M., & Liu, X. (2011). An Effective Web Service Recommendation Method based on Personalized Collaborative Filtering. *IEEE International Conference on Web Services* (pp. 211-218). Washington, DC, USA: IEEE.
- Kang, G. (X.X.). *Active Web Service Recommendation Based on Usage History*.
- Kang, G., Liu, J., Tang, M., Cao, B., & Xu, Y. (2015). An Effective Web Service Ranking Method via Exploring User Behavior. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 554 - 564.

- Kang, G., Liu, J., Tang, M., Liu, X., Cao, B., & Xu, Y. (2012). AWSR: Active Web Service Recommendation Based on Usage History. *2012 IEEE 19th International Conference on Web Services* (pp. 186-193). Honolulu, HI, USA: IEEE.
- Kang, G., Tang, M., Liu, J., Liu, X., & Cao, B. (2015). Diversifying Web Service Recommendation Results via Exploring Service Usage History. *IEEE Transactions on Services Computing*, 566 - 579.
- Kritikos, K., Pernici, B., Plebani, P., Cappiello, C., Comuzzi, M., Benrernou, S., . . . Carro, M. (2013). A survey on service quality description. *ACM Computing Surveys*, 1-58.
- Kumar, B., & Sharma, N. (2016). Approaches, Issues and Challenges in Recommender Systems: A Systematic Review. *Indian Journal of Science and Technology*, 1-12.
- Lalitha Chirravuri, S. N., & Immidi, K. P. (2022). Major Challenges of Recommender System and Related Solutions. *International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology*, 10-18.
- Lécué, F. (2010). Combining Collaborative Filtering and Semantic Content-based Approaches to Recommend Web Services. *2010 IEEE Fourth International Conference on Semantic Computing* (pp. 200-205). Pittsburgh, PA, USA: IEEE.
- Lin, S.-W., Hou, Z., & Mahony, B. (2022). *Formal Methods and Software Engineering*. Springer.
- Lü, L., Medo, M., Yeung, C. H., Zhang, Y.-C., Zhang, Z.-K., & Zhou, T. (2012). Recommender systems. *Physics Reports*, 1-49.
- Manouselis, N., & Costopoulou, C. (2007). Analysis and Classification of Multi-Criteria Recommender Systems. *World Wide Web*, 415-440.
- Mohamed, M. H., Khafagy, M. H., & Ibrahim, M. H. (2019). Recommender Systems Challenges and Solutions Survey. *International Conference on Innovative Trends in Computer Engineering (ITCE)* (pp. 149-155). Aswan, Egypt: IEEE.
- Obidallah Waeal, J., Bijan, R., & Umar, R. (2019). Clustering and Association Rules for Web Service Discovery and Recommendation: A Systematic Literature Review. *SN Computer Science*.
- Oracle. (χ.χ.). Ανάκτηση από <https://docs.oracle.com/cd/E19681-01/820-3740/ghczr/index.html>
- Papazoglou, M., & Georgakopoulos, D. (2008). *Overview of Service-Oriented Computing*. MIT Press.
- Pather, M., & Venter, L. (2005). Securing SOAP Messages with a Global Message Handler and a Standardized Envelope. *ISSA*. Sandton, South Africa.
- Rao, K. N., & Talwar, V. G. (2008). Application Domain and Functional Classification of Recommender Systems—A Survey. *DESIDOC Journal of Library & Information Technology*, 17-35.
- Retna Raj, R. J., & Sasipraba, T. (2011). Web service selection based on QoS Constraints. *Trends in Information Sciences & Computing (TISC 2010)* (pp. 156-162). IEEE.
- Retna Raj, R. J., & Sasipraba, T. (2011). Web service selection based on QoS constraints. *Trends in Information Sciences & Computing (TISC2010)* (pp. 156-162). Chennai, India: IEEE.
- Shahriyary, S., & Aghabab, M. P. (2014). Recommender systems on web service selection problems using a new hybrid approach. *International Conference on Computer and Knowledge Engineering (ICCKE)* (pp. 177-182). Mashhad, Iran: IEEE.
- Sun, H., Zheng, Z., Chen, J., & Lyu, M. R. (2012). Personalized Web Service Recommendation via Normal Recovery Collaborative Filtering. *IEEE Transactions on Services Computing*, 573 - 579.

- Sunyaev, A. (2020). *Internet Computing Principles of Distributed Systems and Emerging Internet-Based Technologies*. Springer.
- Tang, M., Jiang, Y., Liu, J., & Liu, X. (2012). Location-Aware Collaborative Filtering for QoS-Based Service Recommendation. *2012 IEEE 19th International Conference on Web Services* (pp. 202-209). Honolulu, HI, USA: IEEE.
- Tanveer, A., & Abhishek, S. (2014). A data-centric and machine based approach towards fixing the cold start problem in web service recommendation. *2014 IEEE Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science* (pp. 1-6). Bhopal, India: IEEE.
- Tarus, J. K., Niu, Z., & Mustafa, G. (2017). Knowledge-based recommendation: a review of ontology-based recommender systems for e-learning. *Artificial Intelligence Review*, 21–48.
- Terán, L., Mensah, A. O., & Estorelli, A. (2018). A literature review for recommender systems techniques used in microblogs. *Expert Systems with Applications*, 63-73.
- Vadivelou, G. (2017). Collaborative filtering based web service recommender system using users' satisfaction on QoS attributes. *2016 International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT)* (pp. 1-5). Coimbatore, India: IEEE.
- Vozalis, M. G., & Margaritis, K. G. (2004). Collaborative Filtering enhanced by Demographic Correlation. *Web Services Architecture*. (2004). Ανάκτηση από W3C: <https://www.w3.org/TR/ws-arch/>
- Yao, L., Sheng, Q. Z., Ngu, A. H., Yu, J., & Segev, A. (2014). Unified Collaborative and Content-Based Web Service Recommendation. *IEEE Transactions on Services Computing*, 453 - 466.
- Zhang, S., Yao, L., Sun, A., & Tay, Y. (2019). Deep Learning based Recommender System: A Survey and New Perspectives. *ACM Computing Surveys*, 1-35.
- Zheng, Z., Ma, H., Lyu, M. R., & King, I. (2010). QoS-Aware Web Service Recommendation by Collaborative Filtering. *IEEE Transactions on Services Computing*, 140 - 152.