ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σύγχρονες πρακτικές στον έλεγχο συμφόρησης στα δίκτυα δεδομένων: μια βιβλιομετρική ανάλυση

Σφρίντζερη Κωνσταντίνα

Επιβλέπουσα: Δρ. Μαργαρίτη Σπυριδούλα

Άρτα, Δεκέμβριος 2024

Contemporary practices in congestion control in data networks: a bibliometric analysis

Δήλωση Μη Λογοκλοπής

Δηλώνω υπεύθυνα και γνωρίζοντας τις κυρώσεις του Ν. 2121/1993 περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας, ότι η παρούσα πτυχιακή εργασία είναι εξ ολοκλήρου αποτέλεσμα δικής μου ερευνητικής εργασίας, δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν για τη συγγραφή της περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία.

Σφρίντζερη Κωνσταντίνα

Υπογραφή

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτριά μου την κυρία Σπυριδούλα Μαργαρίτη, που με βοήθησε μετά από τόσα χρόνια να ολοκληρώσω τις υποχρεώσεις μου στην σχολή, που ήταν δίπλα μου τον τελευταίο χρόνο και με υποστήριζε σε κάθε στάδιο της πτυχιακής μου εργασίας. Επίσης, την οικογένεια μου τον άντρα μου, την αδερφή μου που χωρίς αυτούς δεν θα τα είχα καταφέρει. Και τέλος τα παιδιά μου που για να ολοκληρώσω αυτό το βήμα έπαιρνα χρόνο από την φροντίδα τους.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

ACK=Acknowledgment

CTCP= Compound TCP

CWND= Congestion window

ISN= Initial Sequence Number

RED= Random early detection

RTT= Round Trip Time and Timeout

SYN= Sequence Number

TCP= Transmission Control Protocol

TCP BIC= TCP Binary Increase Congestion

TCPW= TCP Westwood

TCP BBR= Bottleneck Bandwidth and Round-trip propagation time

TCP ECN= Explicit Control Notification

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η υπηρεσία της αξιόπιστης μεταφοράς στα δίκτυα δεδομένων προσφέρεται μέσω του «Πρωτοκόλλου Ελέγχου Μετάδοσης (Transmission Control Protocol, TCP)», το οποίο αποτελεί ένα σύγχρονο, έμπιστο και εστιασμένο στη σύνδεση πρωτόκολλο. Βασικό γνώρισμα του πρωτοκόλλου αυτού αποτελεί ένας μηχανισμός που στοχεύει στον έλεγχο της συμφόρησης (congestion control). Η μελέτη της σύγχρονης αυτής πρακτικής του ελέγχου συμφόρησης στα δίκτυα δεδομένων πραγματοποιήθηκε στην παρούσα εργασία μέσω βιβλιομετρικής ανάλυσης. Η βιβλιομετρική ανάλυση συνήθως αφορά έρευνες που εξερευνούν και αναλύουν μεγάλο μέγεθος δεδομένων, μέσω της βιβλιομετρίας γίνεται ανάλυση, επεξεργασία και καταγραφή των συμπερασμάτων. Οι τεχνικές της ανάλυσης διακρίνονται σε δύο κατηγορίες οι οποίες είναι η επιστημονική χαρτογράφηση και η ανάλυση απόδοσης.

Σκοπό της παρούσας πτυχιακής εργασίας αποτελεί η βιβλιομετρική ανάλυση ενός πλήθους επιστημονικών δημοσιεύσεων που περιστρέφονται γύρω από το πρωτόκολλο ελέγχου μετάδοσης TCP μέσω της αξιοποίησης μίας έγκριτης βάσης δεδομένων. Τα δεδομένα συγκεντρώθηκαν από τη βάση δεδομένων Scopus, όπου προέκυψαν αρχικά 20,117 εγγραφές, από το 1964 έως το 2023. Ακολούθησε η εξαγωγή λέξεων κλειδιών και η επεξεργασία των δεδομένων. Στη συνέχεια, τα δεδομένα χαρτογραφήθηκαν ανά συγγραφείς, ανά οργανισμούς, ανά χώρες και ανά λέξεις κλειδιά. Βιβλιομετρικό εργαλείο για τη δημιουργία χαρτών και την οπτικοποίηση των δεδομένων αποτέλεσε το λογισμικό VOSviewer.

Από την βιβλιομετρική ανάλυση των λέξεων – κλειδιών και τη χαρτογράφηση των δεδομένων ως κυριότερες αναδείχθηκαν λέξεις που αφορούν την διαχείριση και την ασφάλεια των δικτύων, τον έλεγχο και την αποφυγή της συμφόρησης, την απόδοση του πρωτοκόλλου και τα ασύρματα δίκτυα.

Λέξεις κλειδιά: πρωτόκολλο ελέγχου μετάδοσης, δίκτυα δεδομένων, βιβλιομετρική ανάλυση, βάσεις δεδομένων.

ABSTRACT

The service of reliable transport in data networks is offered through the "Transmission Control Protocol (TCP)", which is a modern, reliable and connection-focused protocol. A key feature of this protocol is a mechanism aimed at controlling congestion. The study of this modern practice of congestion control in data networks was carried out in this paper through bibliometric analysis. Bibliometric analysis usually concerns research that explores and analyzes a large amount of data, through bibliometrics analysis, processing and recording of conclusions is analyzed. The analysis techniques are divided into two categories which are scientific mapping and performance analysis.

The purpose of this thesis is the bibliometric analysis of a number of scientific publications revolving around the TCP transmission control protocol using a reputable database. The data was gathered from the Scopus database, where 20,117 records were initially generated, from 1964 to 2023. This was followed by keyword extraction and data processing. The data was then mapped by authors, by organizations, by countries and by keywords. The bibliometric tool for creating maps and visualizing data was the VOSviewer software.

From the bibliometric analysis of keywords and data mapping, words related to network management and security, congestion control and avoidance, protocol performance and wireless networks emerged as the main ones.

Keywords: transmission control protocol, data networks, bibliometric analysis, databases.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Το Πρωτόκολλο Ελέγχου Μετάδοσης (Transmission Control Protocol – TCP) έχει αναδειχθεί σε έναν από τους σημαντικότερους πυλώνες της τεχνολογικής υποδομής του διαδικτύου. Αν και έχουν δημιουργηθεί και άλλα πρωτόκολλα ευρείας χρήσης, κανένα άλλο δεν έχει αποδειχθεί αποτελεσματικότερο. Η εξασφάλιση της αξιόπιστης μεταφοράς δεδομένων, μάλιστα, το καθιστά, όχι μόνο απαραίτητο για τη διασύνδεση υπολογιστών ή εφαρμογών, αλλά συγχρόνως και το πιο κοινό πρωτόκολλο μεταφοράς. Βασικό πλεονέκτημα του συγκεκριμένου πρωτοκόλλου αποτελεί η διαχείριση της συμφόρησης (congestion control), δηλαδή η αντιμετώπιση της υπερφόρτωσης του δικτύου λόγω των υπερβολικών επαναμεταδόσεων, που μπορεί να οδηγήσει σε καθυστέρηση, απώλεια πακέτων και κατάρρευση του δικτύου.

Στο πλαίσιο ενός περιβάλλοντος όπου τα δίκτυα εξελίσσονται με ραγδαίο ρυθμό, η διαχείριση της συμφόρησης ανάγεται σε ζήτημα υψίστης σημασίας. Η ταχύτατη αύξηση του όγκου των πληροφοριών, η δημιουργία εφαρμογών πραγματικού χρόνου, όπως τα διαδικτυακά παιχνίδια, αλλά και η εμφάνιση νέων τεχνολογιών, όπως τα δίκτυα 5G, αυξάνουν τις προκλήσεις που σχετίζονται με τη διαχείριση της συμφόρησης. Ως εκ τούτου, το ερευνητικό ενδιαφέρον γύρω από τη βελτιστοποίηση του TCP και ειδικότερα την ύπαρξη αποτελεσματικότερων μηχανισμών για τον έλεγχο της συμφόρησης έχει παρουσιάσει σημαντική αύξηση τις τελευταίες δεκαετίες.

1.2 Σκοπός και Αναγκαιότητα της Εργασίας

Για τη μελέτη της επιστημονικής παραγωγής και της εξέλιξης του ερευνητικού αυτού πεδίου εύχρηστο και σημαντικό εργαλείο μπορεί να αποτελέσει η βιβλιομετρική ανάλυση. Με το εργαλείο αυτό καθίσταται δυνατή η διαχείριση από τους ερευνητές μεγάλου όγκου δεδομένων που αφορούν επιστημονικές δημοσιεύσεις, καθώς και η καταγραφή των επιπτώσεών τους στην έρευνα. Μέσω της ανάλυσης δημοσιεύσεων, είναι δυνατή η αποτύπωση μίας συνολικής εικόνας του ερευνητικού πεδίου, ο εντοπισμός των βασικών παραγόντων επιρροής και των νέων τάσεων, καθώς και η αξιολόγηση της απόδοσης των ερευνητικών μελετών στον τομέα της έρευνας.

Η ανάλυση και η ερμηνεία του τεράστιου όγκου των επιστημονικών δεδομένων μέσω της βιβλιομετρίας γύρω από το TCP και τους νέους μηχανισμούς για τον έλεγχο της συμφόρησης αποτελεί και το επίκεντρο της παρούσας εργασίας. Ειδικότερα, σε σκοπό της παρούσας μελέτης ανάγεται η χρήση της βιβλιομετρικής ανάλυσης για την αποτύπωση της συνολική εικόνας του υπό μελέτη επιστημονικού πεδίου, η συγκέντρωση γνώσεων, η ανάδειξη τυχόν ερευνητικών κενών, αλλά και ο εντοπισμός νέων προτάσεων για περαιτέρω έρευνα.

Αναλυτικότερα, επιδιώκεται:

- Η ανάδειξη της εξέλιξης στον χρόνο των μελετών σχετικά με το TCP και τον έλεγχο συμφόρησης
- Ο εντοπισμός των επιστημονικών δημοσιεύσεων ανά περιοχή/ χώρα
- Ο εντοπισμός των συνεργασιών για τη διεξαγωγή επιστημονικών ερευνών
- Η ανάδειξη των επιστημόνων που έχουν συνεισφέρει σημαντικά στο ερευνητικό πεδίο
- Ο εντοπισμός των δημοσιεύσεων που εμφανίζουν τον υψηλότερο δείκτη απήχησης
- Η ανάλυση των ερευνητικών τάσεων και η κατανόηση της κατεύθυνσης που ακολουθεί η ερευνητική κοινότητα αναφορικά με την αντιμετώπιση του ζητήματος της συμφόρησης στο TCP.

1.3 Διάρθρωση της Εργασίας

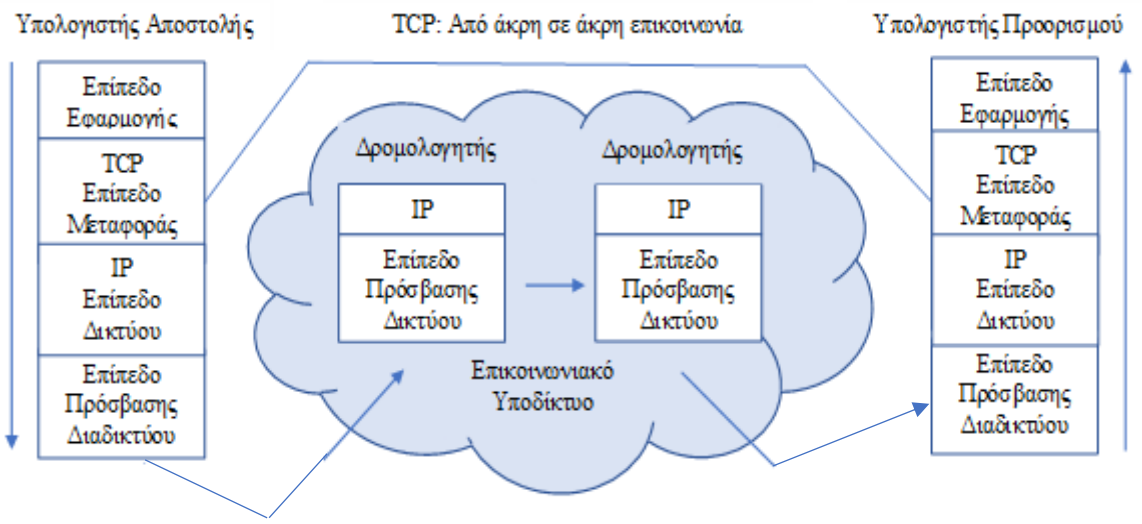
Το πρώτο κεφάλαιο αυτής της εργασίας ξεκινά με την εισαγωγή όπου γίνεται αναφορά στο θέμα της έρευνας, καθώς και στον σκοπό και τους στόχους. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται η τεχνολογία του πιο σημαντικού και εμπίστου πρωτοκόλλου TCP. Ειδικότερα, αναλύεται η λειτουργία του πρωτοκόλλου, το μοντέλο του, τα επίπεδα και η τριπλή χειραψία, η έννοια του πακέτου, το πρόβλημα της συμφόρησης, οι εκδοχές του πρωτοκόλλου, αλλά και τα ζητήματα που σχετίζονται με το TCP. Συνεχίζοντας στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η βιβλιομετρία ως μέθοδος ανάλυσης. Πιο συγκεκριμένα, περιγράφεται η έννοια της βιβλιομετρίαε, οι κυριότερες βάσεις δεδομένων, το πρόγραμμα λογισμικού VOSViewer και η μέθοδο ανάλυσης του. Στην συνέχεια, στο τέταρτο κεφάλαιο υπάρχει συγκεντρωμένη η μεθοδολογία και η συλλογή δεδομένων τις συγκεκριμένης εργασίας. Το πέμπτο κεφάλαιο περιέχει τα αποτελέσματα της έρευνάς αυτής της εργασίας.

Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο αναλύθηκαν τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία.

2. Πρωτόκολλο Ελέγχου Μετάδοσης (TCP)

2.1 Το Πρωτόκολλο TCP

Στην οικογένεια των πρωτοκόλλων TCP/IP, η υπηρεσία της αξιόπιστης μεταφοράς προσφέρεται μέσω του «*Πρωτοκόλλου Ελέγχου Μετάδοσης (Transmission Control Protocol, TCP)*». Με τον όρο Πρωτόκολλο Ελέγχου Μετάδοσης περιγράφεται ένα έμπιστο πρωτόκολλο, στο οποίο αναφέρονται με σαφή σειρά τα επίπεδα εγκαθίδρυσης της σύνδεσης, μετάδοσης των δεδομένων και τερματισμού της σύνδεσης (Forouzan, 2022). Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο περιγράφεται ως εστιασμένο στη σύνδεση ή διαφορετικά συνδεσμοστραφές (connection-oriented), καθώς χρειάζεται να δημιουργηθεί μία σύνδεση TCP για επικοινωνία μεταξύ των δύο εφαρμογών, προτού αυτές προχωρήσουν στην ανταλλαγή των δεδομένων (Stevens & Fall , 2012)



Εικόνα 1. TCP: Από άκρη σε άκρη επικοινωνία

Για την επίτευξη της αξιοπιστίας, το TCP αξιοποιεί αναμετάδοση των απολεσθέντων ή ελαττωματικών πακέτων, συνολικές και αποκλειστικές επιβεβαιώσεις, άθροισμα ελέγχου για τον εντοπισμό σφαλμάτων και χρονοδιακόπτες (Forouzan, 2022). Ειδικότερα, το TCP προσφέρει τη δυνατότητα σε μία ακολουθία byte ενός μηχανήματος να αποσταλεί σε ένα άλλο μηχάνημα στο διαδίκτυο, χωρίς την ύπαρξη σφαλμάτων. Την ακολουθία αυτή των byte την κατακερματίζει σε ξεχωριστά και εμφανή μηνύματα και στη συνέχεια τα μεταφέρει από το επίπεδο μεταφοράς(transport layer), στο οποίο έχει οριστεί το TCP, στο επίπεδο δικτύου

(network layer). Μόλις τα μηνύματα αυτά φτάσουν στον προορισμό τους, συγκεντρώνονται από την αντίστοιχη διαδικασία του TCP στην προγενέστερη ακολουθία των byte. Συγχρόνως, το TCP εξετάζει τη ροή με την οποία μεταδίδονται τα δεδομένα, προκειμένου ένας αργός δέκτης να μην υπερφορτωθεί από έναν ταχύ αποστολέα με περισσότερο όγκο μηνυμάτων από όσο είναι σε θέση να διαχειριστεί (Tanenbaum, 2011).

Παρόλο που έχουν δημιουργηθεί και άλλα πρωτόκολλα, κανένα άλλο πρωτόκολλο μετάδοσης ευρείας χρήσης δεν έχει αποδειχθεί αποτελεσματικότερο. Για το λόγο αυτό, η πλειονότητα των εφαρμογών διαδικτύου βασίζεται στη χρήση του TCP, καθιστώντας το έτσι το πιο κοινό πρωτόκολλο μεταφοράς (Forouzan, 2022).

2.2 Η λειτουργία του Πρωτοκόλλου TCP

2.2.1 Το μοντέλο Λειτουργίας του TCP

Το πρωτόκολλο ελέγχου μετάδοσης TCP έχει διαμορφωθεί με τέτοιο τρόπο, προκειμένου να αποδίδει μία αξιόπιστη και από άκρη σε άκρη ροή byte σε ένα μη αξιόπιστο διαδίκτυο. Το διαδίκτυο δεν ταυτίζεται με ένα δίκτυο μεμονωμένο, αλλά αντίθετα αποτελείται από μέρη με διαφορετικά χαρακτηριστικά, όπως για παράδειγμα διαφορετικές καθυστερήσεις, διαφορετικές τοπολογίες, διαφορετικά μεγέθη πακέτων ή διαφορετικό εύρος καναλιού. Ειδικότερα, το TCP τροποποιείται για να ταιριάξει στα ιδιαίτερα γνωρίσματα του διαδικτύου, ενώ συγχρόνως διαφαίνεται να διαθέτει ανθεκτικότητα κατά τη διαχείριση διαφόρων ζητημάτων και αστοχιών (Tanenbaum, 2011).

Το λογισμικο σύστημα που υποστηρίζουν το συγκεκριμένο πρωτόκολλο διαθέτουν και μία οντότητα μεταφοράς TCP, ως διαδικασία βιβλιοθήκης, ως διεργασία ενός χρήστη ή πιο συνηθισμένα ως τμήμα του πυρήνα (kernel). Σε κάθε περίπτωση, η οντότητα αυτή μεταφοράς ρυθμίζει τόσο τις ροές του TCP, όσο και τις διεπαφές με το επίπεδο IP. Ειδικότερα, λαμβάνει ορισμένες ροές δεδομένων χρήστη που προέρχονται από τοπικές εκτελέσεις προγραμμάτων και στη συνέχεια τις διασπά σε τμήματα, τα οποία δεν ξεπερνούν τα 64 KB. Βέβαια, στην πράξη αποστέλλει συνήθως 1460 byte. Έπειτα, καθένα από τα ανωτέρω αυτά τμήματα το μεταδίδει ως ένα διακριτό πακέτο IP (datagram IP). Μόλις τα πακέτα αυτά, τέλος, φτάσουν σε ένα μηχάνημα, μεταβιβάζονται στην οντότητα μεταφοράς του TCP, με σκοπό να αναδομήσει τις αρχικές ροές των byte. Αξίζει να σημειωθεί ότι το επίπεδο δικτύου IP δεν διασφαλίζει την ορθή παράδοση των πακέτων ή την σωστή ακολουθία αποστολής τους, ούτε υποδεικνύει τον ρυθμό μετάδοσής τους. Αντιθέτως, τόσο

η αποστολή των πακέτων σε σωστή σειρά χωρίς την δημιουργία συμφόρησης, όσο και η επαναμετάδοση των χαμένων πακέτων αποτελούν υποχρέωση του TCP (Tanenbaum, 2011).

2.2.2. Επίπεδα Πρωτοκόλλου TCP και Τριπλή Χειραψία

Όπως προαναφέρθηκε, το πρωτόκολλο μετάδοσης TCP προσανατολίζεται στη σύνδεση. Με αυτόν τον τρόπο, διαμορφώνει μία λογική διαδρομή ανάμεσα στην πηγή των δεδομένων και τον προορισμό, διαμέσου της οποίας στη συνέχεια αποστέλλεται το σύνολο των τμημάτων που περιλαμβάνει ένα μήνυμα. Η αξιοποίηση της λογικής αυτής διαδρομής για το σύνολο του μηνύματος ενισχύει σημαντικά, όχι μόνο τη διεργασία επιβεβαίωσης, αλλά και την αναμετάδοση τυχόν χαμένων ή κατεστραμμένων πακέτων (Farouzan, 2022).

Αναλυτικότερα, στη λειτουργία του πρωτόκολλο TCP διακρίνονται τρία στάδια: η εγκαθίδρυση της σύνδεσης (connection establishment), η μεταφορά των δεδομένων (data transfer) και ο τερματισμός της σύνδεσης (connection terminator).

• *Εγκαθίδρυση σύνδεσης*

Το πρωτόκολλο TCP μεταφέρει τα δεδομένα σε διπλή κατεύθυνση (full-duplex). Κατά τη σύνδεση δύο μηχανών με τη χρήση του πρωτοκόλλου TCP, είναι δυνατή η ταυτόχρονη και αμφίδρομη αποστολή τμημάτων δεδομένων (segmnents), γεγονός που προϋποθέτει την προετοιμασία της επικοινωνίας και τη λήψη έγκρισης από τα δύο μέρη πριν την αποστολή των δεδομένων. Η εγκαθίδρυση αυτής της σύνδεσης στο TCP περιγράφεται ως τριπλή χειραψία (3-way handshake), καθώς μεταδίδονται τρία μηνύματα με χρήσιμες πληροφορίες και για τα δύο μέρη της σύνδεσης (Farouzan, 2022). Η τριπλή αυτή ανταλλαγή μηνυμάτων κρίνεται ως απαραίτητη, προκειμένου να εγκατασταθεί μια αξιόπιστη σύνδεση μεταξύ δύο οντοτήτων, ενός client και ενός server (Comer, 2014).

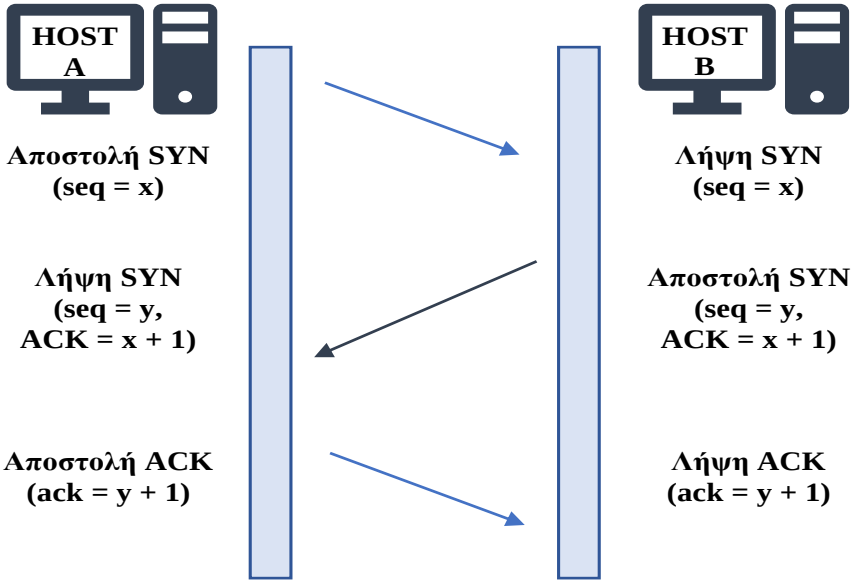
Ειδικότερα, για να εγκατασταθεί η σύνδεση:

1. Ο client (active opener) αποστέλλει ένα τμήμα συγχρονισμού ή διαφορετικά SYN, ένα πακέτο TCP δηλαδή με το SYN bit ενεργοποιημένο στην κεφαλίδα TCP (TCP header). Έτσι, καθορίζει τόσο τον αριθμό της θύρας του peer με τον οποίο επιθυμεί σύνδεση, όσο και τον αρχικό αριθμό της σειράς του client ή διαφορετικα ISN(c) (Initial Sequence Number) (τμήμα 1).
2. Ο διακομιστής (server), στη συνέχεια, απαντάει με ένα δικό του τμήμα SYN, στο οποίο περιλαμβάνεται ο αρχικός του αριθμός ακολουθίας ISN(s). Παράλληλα, αναγνωρίζει το SYN του client μέσω της επιβεβαίωσης ή αλλιώς ACK (που είναι

το ISN(c) + 1). Κάθε SYN καταναλώνει έναν αριθμό ακολουθίας και μεταδίδεται ξανά σε περίπτωση που χαθεί (τμήμα 2).

3. Ο client, τέλος, χρειάζεται να αναγνωρίσει το τμήμα SYN του server, μέσω ενός μηνύματος ACK (που είναι ISN (s) + 1) (τμήμα 3).

Με τα τρία αυτά τμήματα ολοκληρώνεται η εγκαθίδρυση της σύνδεσης (Fall & Stevens, 2012).



Εικόνα 2. Η διαδικασία της τριπλής χειραψίας του πρωτοκόλλου TCP.

• *Μεταφορά δεδομένων*

Μετά την εγκαθίδρυση της σύνδεσης μεταξύ των δύο μερών, ακολουθεί η πραγματοποίηση της αμφίδρομης μεταφοράς των δεδομένων, όπου τα δύο μέρη, ο client και ο server, δύνανται να αποστείλουν αμφίδρομα τόσο δεδομένα όσο και επιβεβαιώσεις (Farouzan, 2022). Τα δεδομένα αυτά γίνονται αποδεκτά, όμως δεν επεξεργάζονται μέχρι την ολοκλήρωση της τριπλής χειραψίας. Παράλληλα, τα δεδομένα συχρονισμού SYN αξιοποιούνται για τον υπολογισμό του χρόνου μετ' επιστροφής (που αποτελεί σημαντικό τμήμα του ελέγχου ροής του TCP), καθώς και για τον εντοπισμό τυχόν εισβολής στο δίκτυο (Goralski, 2017).

Δεν είναι απαραίτητο ο client να λαμβάνει επιβεβαίωση ACK για κάθε τμήμα ξεχωριστά, με τον server να μπορεί να συνεχίσει να αποστέλλει για όσο το καθορισμένο παράθυρο λήψης δεδομένων δεν έχει γεμίσει. Σε μία ιδανική περίπτωση, μία επιβεβαίωση

ACK για ένα γεμάτο παράθυρο λήψης μεταφέρεται στον server ακριβώς μόλις γεμίσει το παράθυρο, προσφέροντας με αυτόν τον τρόπο τη δυνατότητα στον server να διατηρήσει με σταθερό ρυθμό την αποστολή των δεδομένων (Goralski, 2017).

Σε ορισμένες περιπτώσεις, ωστόσο, είναι δυνατό κάποιο τμήμα να «χαθεί».

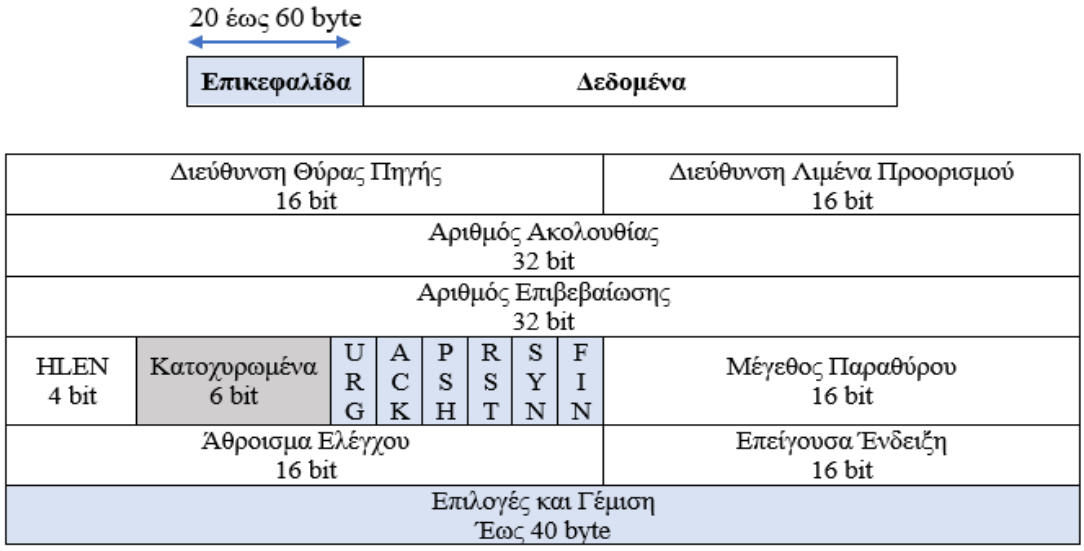
• *Τερματισμός Σύνδεσης*

Ο τερματισμός της σύνδεσης είναι δυνατό να ξεκινήσει από οποιονδήποτε συμμετέχει στην ανταλλαγή των δεδομένων, είτε δηλάδη από τον client είτε από τον server. Συνήθως, βέβαια, τη σύνδεση τερματίζει ο client μέσω μίας τριπλής χειραψίας (Farouzan, 2022).

2.2.3. Το Πακέτο του Πρωτοκόλλου TCP

Τα πακέτα του πρωτοκόλλου TCP καλούνται segments (τμήματα) και, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3, ένα από τα κυριότερα μέρη ενός segment είναι η επικεφαλίδα TCP (TCP header), η οποία παρέχει συγκεκριμένες πληροφορίες για το πρωτόκολλο TCP. Ειδικότερα, το τμήμα συγκροτείται από μία σταθερή επικεφαλίδα μεγέθους 20 έως 60 byte, η οποία ακολουθείται από τα δεδομένα του προγράμματος εφαρμογής.

Εάν δεν περιέχονται επιλογές στην επικεφαλίδα, το μέγεθός της είναι 20 byte, ενώ



Εικόνα 3. Μορφή Τμήματος TCP

εάν περιέχονται επιλογές, τότε κυμαίνεται έως 60 byte. Το μέγεθος αυτό του τμήματος καθορίζεται από το ίδιο το λογισμικό TCP. Παράλληλα, είναι δυνατό είτε να περιλαμβάνει

δεδομένα από πληθώρα εγγραφών σε ένα μόνο τμήμα είτε να επιμερίσει τα δεδομένα μίας εγγραφής σε πολλά τμήματα (Forouzan, 2022; Tanenbaum, 2011).

Ορισμένα από τα πεδία της επικεφαλίδας είναι τα εξής:

- *Διεύθυνση θύρας πηγής (Source port address):* Αποτελεί ένα πεδίο μεγέθους 16 bit, το οποίο καθορίζει τον αριθμό της θύρας του προγράμματος εφαρμογής στον κεντρικό υπολογιστή που αποστέλλει το τμήμα.
- *Διεύθυνση θύρας προορισμού (Destination port address):* Αποτελεί ένα πεδίο μεγέθους 16 bit, το οποίο καθορίζει τον αριθμό της θύρας του προγράμματος εφαρμογής στον κεντρικό υπολογιστή που λαμβάνει το τμήμα.
- *Αριθμός ακολουθίας (Sequence number):* Είναι ένα πεδίο μεγέθους 32 bit, το οποίο καθορίζει και στη συνέχεια μεταδίδει στον προορισμό ποιο είναι το πρώτο byte της ακολουθίας στο συγκεκριμένο τμήμα.
- *Αριθμός επιβεβαίωσης (Acknowledgment number):* Αποτελεί ένα πεδίο μεγέθους 32 bit, το οποίο καθορίζει τον αριθμό byte που περιμένει να λάβει ο δέκτης του τμήματος από τον αποστολέα.
- *Μήκος επικεφαλίδας (Header length):* Είναι ένα πεδίο 4 bit, το οποίο δείχνει τον αριθμό των λέξεων στην επικεφαλίδα του TCP. Κυμαίνεται από 20 μέχρι 60 bit.
- *Έλεγχος (Control):* Ρυθμίζει έξι ξεχωριστά bit ελέγχου ή σημαίες (flags), τα οποία επιτρέπουν την εγκατάσταση και τον τερματισμό της σύνδεσης, καθώς και τον έλεγχο ροής.
- *Μέγεθος παραθύρου (Window size):* Το πεδίο αυτό ρυθμίζει το μέγεθος του παραθύρου του TCP αποστολής, το οποίο έχει μήκος 16 bit, φτάνοντας ως εκ τούτου σε μέγεθος το πολύ μέχρι 65.535 byte.
- *Άθροισμα ελέγχου (Checksum):* Έχει μέγεθος 16 bit και η χρήση του είναι υποχρεωτική στο TCP.
- *Επείγουσα ένδειξη (Urgent pointer):* Το πεδίο αυτό, με μέγεθος 16 bit, ισχύει όταν ορίζεται μία σημαία επείγουσας ανάγκης, και αξιοποιείται όταν το τμήμα διαθέτει επείγοντα δεδομένα.
- *Επιλογές (Options):* Στην επικεφαλίδα TCP είναι δυνατό να περιλαμβάνονται έως 40 byte προαιρετικών δεδομένων (Forouzan, 2022).

2.3. Το Πρόβλημα της Συμφόρησης

Σε ένα από τα πιο αξιοσημείωτα γνωρίσματα του TCP ανάγεται ένας μηχανισμός που στοχεύει στον *έλεγχο της συμφόρησης (congestion control).* Τόσο η απώλεια πακέτων όσο και η καθυστέρησή τους δύναται να αποτελέσει απότοκο περισσότερο της συμφόρησης παρά μίας βλάβης στο υλικό. Αναλυτικότερα, τα πρωτόκολλα μεταφοράς, τα οποία αξιοποιούν την επαναμετάδοση, είναι δυνατό να οξύνουν το ζήτημα της συμφόρησης, καθώς εισάγουν επιπλέον αντίγραφα ενός μηνύματος. Η δημιουργία υπερβολικών, ωστόσο, αναμεταδόσεων, δύναται να οδηγήσει το σύνολο του συστήματος σε μία κατάσταση γνωστή ως *συμφορητική κατάρρευση (congestion collapse)*, η οποία ομοιάζει με την κυκλοφοριακή συμφόρηση που συναντάται σε ένα οδικό δίκτυο (Comer, 2014).

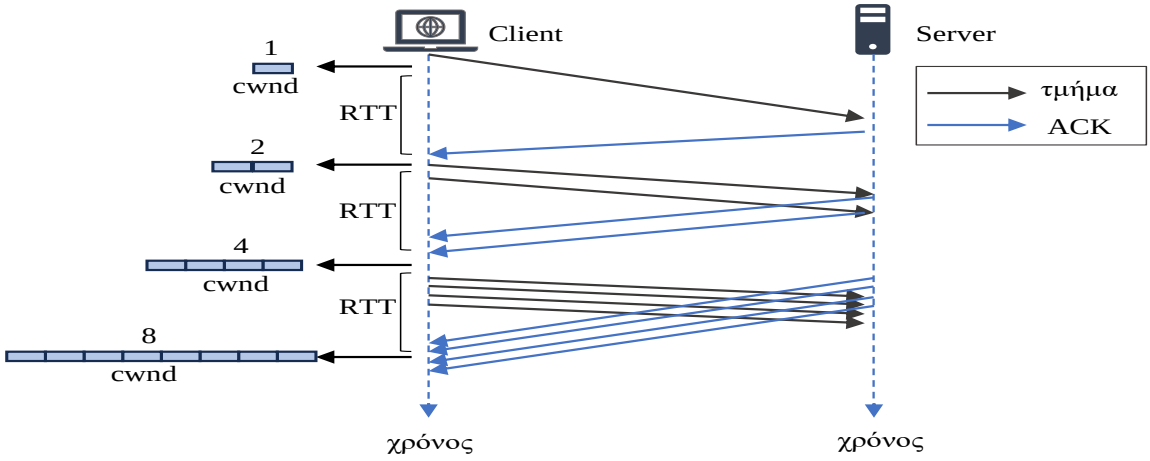
Η ιδιαίτερη σημασία του μηχανισμού ελέγχου της συμφόρησης που διαθέτει το TCP έγκειται στην ικανότητά του να ανταποκριθεί επαρκώς στη μεγαλύτερη κυκλοφορία που συναντάται σε κάποιο δίκτυο, καθώς με την ταχεία μείωση που συμβαίνει, το TCP είναι δυνατό να ελαττώσει τα επίπεδα της συμφόρησης. Συγχρόνως, λόγω της αποφυγής των πρόσθετων επαναμεταδόσεων σε ένα δίκτυο που έχει υπερφορτωθεί, ο μηχανισμός αυτός για τον έλεγχο της συμφόρησης συμβάλλει στην αποφυγή της συμφορητικής κατάρρευσης (Comer, 2014).

Αναλυτικότερα, για την αντιμετώπιση των προβλημάτων συμφόρησης έχουν προταθεί οι ακόλουθοι μηχανισμοί:

- slow-start,
- congestion avoidance,
- fast retransmit και
- fast recovery (Forouzan, 2022).

Αλγόριθμος αργής εκκίνησης – εκθετικής αύξησης (slow-start - exponential increase): Ο μηχανισμός αυτός στηρίζεται στην ιδέα ότι, αν και το παράθυρο συμφόρησης (cwnd) αρχικά έχει την τιμή ένα (ένα μέγιστο μέγεθος τμήματος (MSS)), αυξάνεται κατά ένα (MSS) κατά τη λήψη κάθε επιβεβαίωσης. Με άλλα λόγια, ο αλγόριθμος αρχίζει αργά, αλλά σταδιακά αυξάνεται. Το μέγεθος του παραθύρου, αρχικά, ορίζεται σε “1”, (cwnd = 1) και σε κάθε θετική επιβεβαίωση το μέγεθός του διπλασιάζεται. Λαμβάνοντας υπόψη, και τον

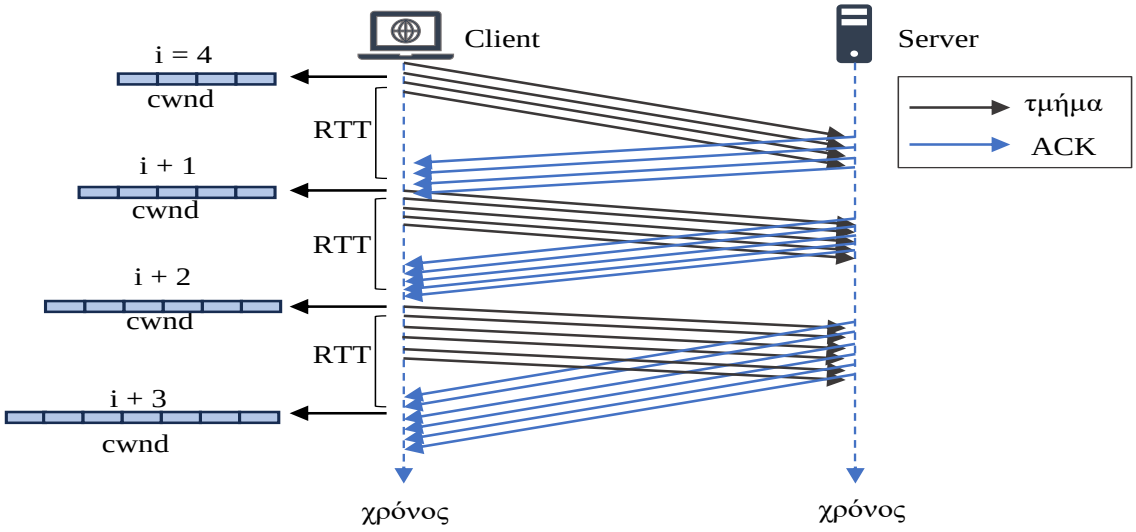
χρόνο μετ' επιστροφής (RTT) γίνεται φανερό ότι ο ρυθμός ανάπτυξης του παραθύρου είναι εκθετικός. Μια τέτοιου είδους αργή εκκίνηση και εκθετική αύξηση, ωστόσο, δεν είναι δυνατόν να συνεχίζεται επ' αόριστον, καθώς θα δημιουργηθεί συμφόρηση. Αντίθετα,



Εικόνα 4. Μηχανισμός αργής εκκίνησης, εκθετικής αύξησης

κρίνεται αναγκαία η ύπαρξη ενός ορίου. Μόλις το μέγεθος του παραθύρου αγγίξει και υπερβεί το όριο αυτό, το οποίο ονομάζεται ssthresh (slow – start threshold / κατώφλι αργής εκκίνησης), η αργή εκκίνηση διακόπτεται και μεταβάλλεται σε προσθετική αύξηση. (Forouzan, 2022; Tanenbaum, 2011).

Αλγόριθμος αποφυγής συμφόρησης (congestion avoidance): Δεύτερος μηχανισμός που χρησιμοποιείται από το TCP είναι η αποφυγή συμφόρησης, η οποία αυξάνει το cwnd προσθετικά και όχι εκθετικά. Ειδικότερα, αφού αναγνωριστεί ολόκληρο το «παράθυρο» των τμημάτων, ακολουθεί η αύξηση του μεγέθους του παραθύρου συμφόρησης κατά 1, με το μέγεθος αυτό να αποτελεί συνάρτηση του πλήθους των επιβεβαιώσεων ACK που έχουν ληφθεί. Διαφαίνεται, συνεπώς, αφενός ότι ο ρυθμός ανάπτυξης στον μηχανισμό αυτόν είναι γραμμικός σε σχέση με τον χρόνο μετ' επιστροφής (RTT), αφετέρου ότι η αύξηση του μεγέθους του παραθύρου συμφόρησης



Εικόνα 5. Μηχανισμός αποφυγής συμφόρησης, προσθετικής αύξησης(additive increase)

είναι προσθετική. Σε αντίθεση, με τον μηχανισμό της αργής εκκίνησης – εκθετικής αύξησης, ο γραμμικός ρυθμός αύξησης του μεγέθους του παραθύρου είναι σημαντικά πιο αργός, γεγονός που μπορεί να μη γίνεται αντιληπτό σε μικρά παράθυρα, έχει όμως σημαντική διαφοροποίηση στον απαιτούμενο χρόνο αύξησης μεγάλων παραθύρων (Forouzan, 2022; Tanenbaum, 2011).

Αλγόριθμος γρήγορης αναμετάδοσης (fast retransmit): Με τη χρήση του μηχανισμού αυτού, είναι δυνατό να εντοπίσει την απώλεια των πακέτων μέσω της λήψης διπλών επιβεβαιώσεων και να ενεργοποιήσει τη γρήγορη αναμετάδοση του απόντος πακέτου. Με τον τρόπο αυτόν ελαττώνεται ο χρόνος που δαπανάται προσβλέποντας σε μία λήξη χρονικού ορίου. Πιο συγκεκριμένα, με την ενεργοποίηση του μηχανισμού αυτού, το κατώφλι αργής εκκίνησης ορίζεται στο ήμισυ του μεγέθους του τρέχοντος παραθύρου συμφόρησης, όπως ακριβώς συμβαίνει και με ένα χρονικό όριο. Ακολούθως, η αργή εκκίνηση ενεργοποιείται ξανά ορίζοντας το cwnd σε ένα πακέτο. Συγχρόνως, αποστέλλεται ένα καινούργιο πακέτο μετά τον χρόνο μετ' επιστροφής που χρειάζεται για να αναγνωριστεί τόσο το αναμεταδιδόμενο πακέτο, όσο και τα δεδομένα που είχαν μεταδοθεί προτού γίνει αντιληπτή η απώλεια των πακέτων (Tanenbaum, 2011).

Αλγόριθμος ταχείας ανάκαμψης (fast recovery): Ο μηχανισμός αυτός της ταχείας ανάκτησης έχει προαιρετικό χαρακτήρα στο TCP, με τις παλαιότερες εκδοχές του πρωτοκόλλου μάλιστα να μην τον χρησιμοποιούν. Η χρήση του αρχίζει μόλις φτάσουν στο

δίκτυο τρεις διπλότυπες επιβεβαιώσεις ACK και ερμηνευτούν ως ήπια συμφόρηση. Μετά τη λήψη των τριών διπλών αυτών ACK, εάν φτάσει στο δίκτυο ένα ακόμη, τότε το μέγεθος του παραθύρου συμφόρησης αυξάνεται. Διαφαίνεται, ότι όπως και στον αλγόριθμο αποφυγής συμφόρησης, έτσι και εδώ το μέγεθος του παραθύρου αυξάνεται προσθετικά. Με άλλα λόγια, εάν ληφθεί ένα αντίγραφο επιβεβαίωσης ACK, τότε το μέγεθος του παραθύρου (cwnd) ισούται με cwnd + (1 / cwnd) (Forouzan, 2022).

Οι ανωτέρω αλγόριθμοι αντιμετώπισης της συμφόρησης ενσωματώθηκαν στις εκδοχές του πρωτοκόλλου TCP, και συνοπτικά περιγράφονται στη συνέχεια.

2.4. Εκδοχές του Πρωτοκόλλου TCP

2.4.1. TCP New Reno

Ο αλγόριθμος ελέγχου συμφόρησης New Reno TCP αποτελεί μία βελτιωμένη έκδοση του μοναδικού αλγόριθμου Reno[1], με σκοπό την προσπέλαση ορισμένων εμποδίων που είχαν εντοπιστεί σε αυτόν. Αναλυτικότερα, δημιουργήθηκε προκειμένου να ενισχύσει την απόδοση του TCP στις περιπτώσεις που υφίσταται απώλεια των πακέτων.

Τα γνωρίσματα του αλγορίθμου ελέγχου συμφόρησης New Reno TCP είναι:

1. Ταχεία αναμετάδοση

Όπως και ο αλγόριθμος Reno, έτσι και ο αλγόριθμος New Reno διαθέτει μηχανισμό ταχείας αναμετάδοσης.

2. Ταχεία Ανάκτηση

Ο νέος αυτός αλγόριθμος προχωρεί σε βελτιώσεις πάνω στον μηχανισμό γρήγορης ανάκτησης που περιέχει το Reno. Ειδικότερα, αφού εντοπίσει την απώλεια των πακέτων, το New Reno στοχεύει στη γρήγορη ανάκτηση, μειώνοντας συγχρόνως το παράθυρο συμφόρησης, με τη χρήση του 1/2 μετά το οποίο οδηγείται στο σημείο αποφυγής της συμφόρησης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ταχύτερη ανάκαμψη από τη συμφόρηση σε αντιπαραβολή με την παραδοσιακή τεχνική της σταδιακής εκκίνησης μετά τον εντοπισμό της απώλειας πακέτων.

3. Μερικές Επιβεβαιώσεις

[1] Ο αλγόριθμος Reno TCP εισήγαγε στο FSM (Μηχανή πεπερασμένων καταστάσεων) του ελέγχου συμφόρησης τον μηχανισμό της ταχείας ανάκτησης. Παράλληλα, διαχειρίστηκε σημαντικά τα δύο βασικά ζητήματα της συμφόρησης, την άφιξη διπλότυπων επιβεβαιώσεων ACK και την ύπαρξη χρονικού ορίου (time out) (Tanenbaum, 2011).

Ο αλγόριθμος New Reno διαχειρίζεται ορισμένες μόνο επιβεβαιώσεις για τη λήψη μερικών και όχι όλων των αναμενόμενων πακέτων από τον δέκτη. Αναλυτικότερα, προσφέρει τη δυνατότητα για μεγαλύτερες και λεπτομερείς διορθώσεις στο παράθυρο της συμφόρησης, βελτιώνοντας την ικανότητα του αλγορίθμου για ανάκτηση από την απώλεια των πακέτων δίχως να υπάρξει άσκοπη ελάττωση του ρυθμού αποστολής.

4. Μείωση της συχνότητας της λήξης χρονικού ορίου

Ο νέος αυτός αλγόριθμος στοχεύει στη μείωση της συχνότητας των άσκοπων λήξεων χρονικού ορίου. Ειδικότερα, αξιοποιώντας με ορθό τρόπο τόσο την ταχεία αναμετάδοση όσο και την ταχεία επαναφορά, ο New Reno αποσκοπεί στην ελάττωση του ποσοστού εμφάνισης των περιπτώσεων λήξης χρονικού ορίου, καταλήγοντας σε μία αποδοτικότερη μεταφορά διαφόρων στατιστικών δεδομένων παρουσία της απώλειας πακέτων.

Τα πλεονεκτήματα του New Reno είναι:

- *Βελτιωμένη ανάκτηση μετά την απώλεια πακέτων*
- *Αποτελεσματική διαχείριση των διπλών επιβεβαιώσεων*
- *Υποστήριξη SACK για περισσότερη αξιοπιστία*
- *Μειωμένα συμβάντα λήξης του χρονικού ορίου*
- *Μικροσκοπική προσαρμογή με επιλεκτικές επιβεβαιώσεις*

Τα μειονεκτήματα του New Reno είναι:

- *Πολυπλοκότητα*
- *Εξάρτηση από την υποστήριξη του παραλήπτη*
- *Ριπή αναμεταδόσεων*
- *Περιορισμένη βελτίωση στις μακροχρόνιες συνδέσεις*
- *Προκλήσεις μετάβασης*

2.4.2. TCP Vegas

Ο αλγόριθμος ελέγχου συμφόρησης TCP Vegas αναγνωρίζει την ύπαρξη συμφόρησης στο δίκτυο προτού λάβει χώρα οποιαδήποτε απώλεια πακέτων και προχωρά σε μείωση του μεγέθους του παραθύρου. Με τον τρόπο αυτό, ο αλγόριθμος TCP Vegas αντιμετωπίζει το ζήτημα της συμφόρησης δίχως να χαθεί κάποιο πακέτο. Ειδικότερα, το TCP Vegas κάνει χρήση του χρόνου μετ' επιστροφής τόσο για την αύξηση του παραθύρου συμφόρησης, όσο και για την ελάττωσή του. Παράλληλα, υπολογίζει την αναμενόμενη,

αλλά και την τρέχουσα διεκπεραίωση, προχωρώντας στη συνέχεια σε αντιπαραβολή της διαφοράς τους με ορισμένες από τις μέγιστες και τις ελάχιστες τιμές κατωφλίου. Με γνώμονα την αντιπαραβολή αυτή, έπειτα, αυξάνει, ελαττώνει ή αφήνει σταθερό το παράθυρο συμφόρησης. Από την ανωτέρω διαδικασία, διαφαίνονται ορισμένα από τα μειονεκτήματα του TCP Vegas, μειονεκτήματα που σχετίζονται με τον εντοπισμό της διαφοράς στην κίνηση των δεδομένων προώθησης, την αναδρομολόγηση κ.ά.

Ο αλγόριθμος TCP Vegas αξιοποιεί τρεις τεχνικές, προκειμένου να αυξήσει το επίπεδο της απόδοσης και να αποφύγει τόσο την απώλεια των πακέτων, όσο και τις επακόλουθες αναμεταδόσεις.

Η πρώτη από αυτές τις τεχνικές, η αποφυγή συμφόρησης (congestion avoidance), ρυθμίζει με γραμμικό τρόπο το παράθυρο της συμφόρησης είτε προς τα πάνω είτε προς τα κάτω, με σκοπό να πραγματοποιείται σταθερή χρήση της ποσότητας του χώρου αποθήκευσης σε μεταγωγείς του δικτύου. Παράλληλα, διατηρεί χαμηλά την ποσότητα των τμημάτων σε διαμετακόμιση. Η δεύτερη τεχνική του Vegas προχωρά σε εντοπισμό της απώλειας των πακέτων πριν το Reno κα αξιοποιεί μια πολλαπλασιαστική μείωση (new Retransmission mechanism) πιο αργή σε σχέση με εκείνη του Reno. Η τρίτη τεχνική, τέλος, ελαττώνει τη ταχύτητα ανάπτυξης της έναρξης στο μισό (modified slow-start), προκειμένου να αποφύγει τόσο την απώλεια των πακέτων, όσο και τους επακόλουθους χρονικούς περιορισμούς.

2.4.3. TCP BIC

Ο Αλγόριθμος Ελέγχου Συμφόρησης TCP Binary Increase Congestion ή εν συντομία BIC TCP είναι σχεδιασμένος ώστε να παράγει αυξημένη απόδοση σε δίκτυα τόσο μεγάλων αποστάσεων όσο και γρήγορου ρυθμού. Έτσι, διαφέρει σημαντικά από την «*προσέγγιση πρόσθετης έκρηξης/ πολλαπλασιαστικής μείωσης (AMD)»,* μία προσέγγιση η οποία καθορίζεται από παραδοσιακούς αλγορίθμους TCP, όπως είναι για παράδειγμα ο Reno.

Γνωρίσματα του Αλγόριθμου Ελέγχου Συμφόρησης – BIC TCP

1. Παράθυρο Δυαδικής Αναζήτησης

Για τον επιτυχή εντοπισμό της καλύτερης και πιο βιώσιμης τιμής αποστολής, το BIC κάνει χρήση μίας μεθόδου δυαδικής αναζήτησης. Αναλυτικότερα, ο αλγόριθμος αναπτύσσεται επιθετικά μέσα στο παράθυρο συμφόρησης, προκειμένου να εντοπίσει ταχύτατα το

διαθέσιμο εύρος ζώνης. Κατόπιν, εάν ανιχνευθεί συμφόρηση, ξεκινά δυαδική αναζήτηση, η οποία αποσκοπεί στον καλύτερο ρυθμό αποστολής.

2. Αναλογική Μείωση του Συντελεστή

Κατά τον εντοπισμό συμφόρησης, το BIC προχωρά με αναλογικό τρόπο σε μείωση της χρέωσης αποστολής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα αφενός να συντελείται ευκολότερα η επίτευξη δικαιοσύνης στην κατανομή του εύρους ζώνης, αφετέρου να δίνεται η δυνατότητα στο BIC να αποκτήσει σε σύντομο χρονικό διάστημα μία σταθερή ταχύτητα αποστολής.

3. Μείωση του Παραθύρου Έπειτα Από Ένα Χρονικό Όριο

Εάν περάσει ένα χρονικό όριο που υποδηλώνει απώλεια, το BIC προχωρά σε μείωση του μήκους του παραθύρου συμφόρησης, προκειμένου να αποφευχθεί η επιδείνωση της συμφόρησης. Ο ανωτέρω αυτός μηχανισμός αποτελεί ένα συντηρητικό μέτρο διαχείρισης των δραστηριοτήτων της απώλειας πακέτων.

4. Επιθετική Αρχική Αύξηση του Παραθύρου

Το πλήθος των κανόνων του BIC έχει ως στόχο τον ταχύτερο εντοπισμό του αδέσμευτου εύρους ζώνης μέσω μίας αιφνίδιας μεγέθυνσης στην τιμή της αποστολής κατά την έναρξη της σύνδεσης.

5. Προσαρμοστικός Έλεγχος Ρυθμού

Με γνώμονα τις προσδιορισμένες συνθήκες του δικτύου, το BIC μεταβάλλει με δυναμικό τρόπο τη χρέωση της αποστολής. Αναλυτικότερα, το πλήθος των κανόνων του μεταβάλλεται με βάση τις εκάστοτε συνθήκες μέσω της τροποποίησης της ταχύτητας αποστολής αντενεργώντας στους δείκτες συμφόρησης.

<u>Τα πλεονεκτήματα του αλγόριθμου ελέγχου συμφόρησης – BIC TCP</u>

- *Αποδοτική αξιοποίηση του εύρους ζώνης*
- *Αναλογική ελάττωση του επιτοκίου δικαιοσύνης*
- *Γρήγορη σύγκλιση σε βέλτιστη ταχύτητα*
- *Καταλληλότητα για δίκτυα υψηλής ταχύτητας*
- *Δυναμική προσαρμογή στις συνθήκες του δικτύου*

<u>Τα μειονεκτήματα του αλγόριθμου ελέγχου συμφόρησης – BIC TCP</u>

- *Πολυπλοκότητα*
- *Δυνατότητα επιθετικής συμπεριφοράς*
- *Ευαισθησία στον χρόνο μετ' επιστροφής (RTT)*

- *Εξάρτηση από τη δυαδική αναζήτηση*
- *Περιορισμένη υιοθέτηση και συμβατότητα*

2.4.4. TCP CUBIC

Το CUBIC συνιστά ένα πρωτόκολλο ελέγχου συμφόρησης για το TCP (πρωτόκολλο ελέγχου μετάδοσης) και τον τρέχοντα αλγόριθμο προεπιλογής TCP στο Linux. Το πρωτόκολλο μετατρέπει τη συνάρτηση γραμμικής ανάπτυξης παραθύρου των υπαρχόντων προτύπων TCP για να προκύψει μια κυβική συνάρτηση με σκοπό τη βελτίωση της επεκτασιμότητας του TCP σε δίκτυα που χαρακτηρίζονται από γρήγορη και μεγάλη απόσταση. Πετυχαίνει επίσης πιο σωστή κατανομή εύρους ζώνης ανάμεσα σε ροές με RTTs που διαφέρουν (χρόνος διαδρομής μετ' επιστροφής) έχοντας ως αποτέλεσμα η ανάπτυξη του παραθύρου να καθίσταται ανεξάρτητη σε σχέση με το RTT - επομένως οι συγκεκριμένες ροές έχουν τη δυνατότητα αύξησης του παραθύρου συμφόρησής τους με την ίδια ταχύτητα. Όσο διαρκεί η σταθερή κατάσταση, το CUBIC προκαλεί επιθετική αύξηση του μεγέθους του παραθύρου όταν αυτό είναι απομακρυσμένο από το σημείο κορεσμού και αργή όταν αυτό βρίσκεται εγγύτερα στο σημείο κορεσμού. Η εν λόγω δυνατότητα καθιστά το CUBIC αρκετά επεκτάσιμο στις περιπτώσεις που το γινόμενο εύρους ζώνης και καθυστέρησης του δικτύου είναι μεγάλο, και παράλληλα ιδιαιτέρως σταθερό και επιπλέον δίκαιο σε ό, τι αφορά τις τυπικές ροές TCP. Η διαδικασία της υλοποίησης του CUBIC στο Linux έχει διέλθει αρκετών αναβαθμίσεων.

Έτσι, προτείνεται μια καινούρια TCP, με το όνομα CUBIC, για γρήγορα και μεγάλων αποστάσεων δίκτυα. Το CUBIC συνιστά μια καλύτερη εκδοχή του BIC-TCP. Βοηθά την απλούστευση του ελέγχου παραθύρου BIC-TCP και τη βελτίωση της φιλικότητας προς την TCP και την RTT δικαιοσύνη. Το CUBIC αξιοποιεί μια συνάρτηση κυβικής αύξησης σε ό,τι αφορά τον παρερχόμενο από το τελευταίο περιστατικό απώλειας χρόνο. Με σκοπό την παροχή δικαιοσύνης στο Standard TCP, το CUBIC παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με το Standard TCP τις στιγμές που η συνάρτηση ανάπτυξης κυβικών παραθύρων κινείται πιο αργά σε σχέση με το Standard TCP. Επιπρόσθετα, η ιδιοσυγκρασία του πρωτοκόλλου σε συνθήκες πραγματικού χρόνου συντηρεί τον ταχύτητα ανάπτυξης του παραθύρου ανεξάρτητη από το RTT, το οποίο κρατά φιλικό το πρωτόκολλο TCP τόσο στο πλαίσιο μικρών όσο και μεγάλων διαδρομών RTT. Παρουσιάζονται οι λεπτομέρειες του αλγόριθμου και της εφαρμογής του Linux CUBIC. Μέσα από εκτενείς πειραματισμούς, επιβεβαιώνεται ότι το CUBIC διαχειρίζεται τα ελλείμματα του BIC-TCP

και πετυχαίνει ικανοποιητική δικαιοσύνη στο πλαίσιο του πρωτοκόλλου RTTfairness και κατάσταση φιλικότητας προς το TCP (Rhee, I., & Xu, L., 2005).

2.4.5. Compound TCP

Το Compound TCP (CTCP) αποτελεί μια νέα προσέγγιση η οποία συνιστά μια συνέργεια προσέγγισης βασισμένης σε καθυστέρηση απωλειών. Ειδικότερα, προστίθεται ένα κλιμακούμενο στοιχείο, βασισμένο σε καθυστέρηση στον κλασικό αλγόριθμο αποτροπής συμφόρησης TCP Reno (που είναι γνωστός και ως το στοιχείο βασισμένο στην απώλεια). Η ταχύτητα αποστολής του CTCP υπόκειται σε έλεγχο εκ μέρους και των δύο στοιχείων. Αυτό το καινούριο, βασισμένο σε καθυστέρηση στοιχείο είναι δυνατόν να προκαλέσει γρήγορη αύξηση του ρυθμού αποστολής σε περιπτώσεις μη χρησιμοποιούμενης διαδρομής δικτύου, αλλά και να υποχωρήσει με χάρη στο πλαίσιο ενός απασχολημένου δικτύου σε συνθήκες δημιουργίας ουράς συμφόρησης.

Ενισχυμένο με αυτή την ιδιότητα που εδράζεται σε καθυστέρηση, το CTCP προσφέρει αρκετά ικανοποιητική επεκτασιμότητα εύρους ζώνης με βελτίωση της δικαιοσύνης RTT και παράλληλα πετυχαίνει καλό βαθμό δικαιοσύνης TCP, άσχετα με το μέγεθος των Windows. Το CTCP κάνει αποτελεσματική χρήση του πόρου του δικτύου οδηγεί σε επίτευξη υψηλής χρήσης ζεύξης. Σε θεωρητικό πλαίσιο, το CTCP μπορεί να έχει μεγάλη ταχύτητα προκειμένου να αποκτήσει ελεύθερο εύρος ζώνης δικτύου, χρησιμοποιώντας έναν κανόνα γρήγορης αύξησης στο πλαίσιο της συνιστώσας που στηρίζεται σε καθυστέρηση, π.χ. αύξηση πολλαπλασιαστικού τύπου. Το CTCP παρουσιάζει παρεμφερή ή και καλύτερης ποιότητας δικαιοσύνη RTT συγκριτικά με το κλασικό TCP. Η ιδιότητά του αυτή οφείλεται στο βασισμένο στην καθυστέρηση στοιχείο που εφαρμόζεται στον αλγόριθμο αποτροπής συμφόρησης CTCP. Ως γνωστόν, η βασισμένη σε καθυστέρηση ροή, π.χ. Vegas, παρουσιάζει βελτιωμένη δικαιοσύνη RTT σε σχέση με το κλασικό TCP.

Το CTCP επιδεικνύει ικανοποιητική δικαιοσύνη TCP. Μέσω της χρήσης του στοιχείου που εδράζεται σε καθυστέρηση, το CTCP είναι δυνατόν να ελέγχει με χάρη την ταχύτητα αποστολής σε συνθήκες πλήρους χρήσης της σύνδεσης. Έτσι, μια ροή CTCP δεν θα οδηγήσει σε μεγαλύτερες απώλειες πακέτων που προκαλούνται από τον εαυτό τους από μια κλασική ροή TCP, και ως εκ τούτου συντηρεί τη δικαιοσύνη σε διαφορετικές ανταγωνιστικού χαρακτήρα τυπικές ροές TCP.

2.4.6. TCP Westwood

Το TCP Westwood (TCPW) αποτελεί μια διαφοροποίηση εκ μέρους του αποστολέα του αλγόριθμου παραθύρου συμφόρησης TCP που προκαλεί τη βελτίωση της απόδοσης του TCP Reno στα πλαίσια ενσύρματων όπως και ασύρματων δικτύων. Η έννοια της βελτίωσης υφίσταται ως πιο κρίσιμη στα ασύρματα δίκτυα με ζεύξεις με απώλειες. Πράγματι, οι επιδόσεις του TCPW δεν είναι ιδιαιτέρως ευαίσθητες σε περιπτώσεις τυχαίων σφαλμάτων, ενώ το TCP Reno παρουσιάζει εφάμιλλη ευαισθησία σε τυχόν απώλεια και απώλεια συμφόρησης και έχει τη δυνατότητα να κάνει τη διάκριση μεταξύ τους. Ως αποτέλεσμα, το TCP Reno έχει μια ροπή υπερβολικής αντίδρασης σε σφάλματα. Ένα χαρακτηριστικό ιδιαίτερης σημασίας του TCP Westwood σε σύγκριση με προηγηθείσες «επεκτάσεις» ασύρματου TCP είναι ότι δεν χρειάζεται επιθεώρηση και/ή υποκλοπή πακέτων TCP σε ενδιάμεσους κόμβους (διαμεσολαβητές). Εν αντιθέσει, το TCPW παρουσιάζει πλήρη συμμόρφωση με την αρχή σχεδίασης TCP από άκρο σε άκρο.

2.4.7. TCP BBR

Το TCP BBR (Bottleneck Bandwidth and Round-trip propagation time) αποτελεί μια καινούρια εκδοχή του TCP που δημοσιεύτηκε στα τέλη του 2016 από τη Google (Chardwell & Cheng, 2017). Η εκδοχή αυτή αξιοποιείται από διάφορους διαδικτυακούς χώρους υπηρεσιών, όπως για παράδειγμα το Google.com και το YouTube, και σε αντιδιαστολή με άλλες παραδοσιακές παραλλαγές του TCP που συχνά χρησιμοποιούνται (βλ. TCP CUBIC), δεν είναι βασισμένη στις απώλειες πακέτων ως γνώμονα της συμφόρησης. Αντίθετα, το TCP BBR υπολογίζει με περιοδικό τρόπο τόσο τον ελάχιστο χρόνο μετ' επιστροφής (RTT), όσο και το διαθέσιμο εύρος ζώνης. Με τον τρόπο αυτό, είναι δυνατό να αποτρέψει τη διαμόρφωση συμφόρησης και συγχρόνως να διατηρήσει χαμηλά τα επίπεδα καθυστέρησης. Παρόλο, όμως, που έχει καταλήξει σε μικρότερο λανθάνοντα χρόνο και αποτελεσματικότερη χρήση του εύρους ζώνης σε δίκτυα σταθερού τύπου, η επίδοσή του στα δίκτυα κυψελωτού τύπου είναι λιγότερο ξεκάθαρη (Atxutegi et al., 2018; Scholz et al., 2018).

Τα πλεονεκτήματα του αλγόριθμου ελέγχου συμφόρησης TCP BBR

- *Υψηλότερη Απόδοση*

Ο νέος αυτός αλγόριθμος ελέγχου συμφόρησης καθιστά δυνατή την υψηλή βελτίωση απόδοσης σε συνδέσεις τόσο υψηλών ταχυτήτων όσο και σε συνδέσεις μεγάλων

αποστάσεων. Ειδικότερα, λόγω της ανθεκτικότητας που τον χαρακτηρίζει αναφορικά με τις απώλειες των πακέτων, μία μεμονωμένη σύνδεση του αλγόριθμου TCP BBR είναι δυνατό να αξιοποιήσει ολοκληρωτικά μία διαδρομή που υπάρχει απώλεια πακέτων. Ως αποτέλεσμα, παρατηρείται ιδιαίτερα αυξημένο εύρος ζώνης, ταχύτερη επισκεψιμότητα στις κορυφές υψηλής ταχύτητας, καθώς και μειωμένος χρόνος λήψης για βίντεο, ιστοσελίδες ή άλλα δεδομένα.

- *Χαμηλότερη Καθυστέρηση*

Ο αλγόριθμος BBR μειώνει σημαντικά τον λανθάνοντα χρόνο σε δίκτυα που συνδέουν τους χρήστες του διαδικτύου μεταξύ τους. Πιο συγκεκριμένα, επιτρέπει τη μείωση της συμφόρησης και τη δημιουργία καθυστερήσεων κατά τη διάρκεια διαφόρων δραστηριοτήτων, όπως είναι για παράδειγμα η λήψη λογισμικού, η παρακολούθηση βίντεο ή η περιήγηση στον ιστό (Cardwell & Cheng, 2017).

2.4.8. TCP RED

Το RED (random early detection) είναι η τυχαία έγκαιρη ανίχνευση “ΚΟΚΚΙΝΟ”, που είναι επιπλέον γνωστή και σαν τυχαία πρόωρη απόρριψη(random early discard) , αποτελεί μια συνθήκη πειθαρχίας στην ουρά (queuing discipline) για έναν προγραμματιστή δικτύου (network scheduler) κατάλληλο για την αποφυγή συμφόρησης (congestion avoidance). Στον πλαίσιο του συμβατικού αλγορίθμου tail drop , ένας δρομολογητής ή κάποιο διαφορετικό στοιχείο δικτύου «σώζει» σε buffer το νούμερο πακέτων που μπορεί και απλά αποτινάσσει όσα από αυτά δεν μπορεί να οδηγήσει σε αποθήκευση. Σε περίπτωση που τα buffer είναι διαρκώς γεμάτα, το δίκτυο παρουσιάζει συμφόρηση . Η πτώση ουράς κάνει άδικη κατανομή του χώρου αποθήκευσης ανάμεσα στις ροές κυκλοφορίας. Η πτώση της ουράς είναι δυνατόν ακόμη να προκαλέσει παγκόσμιο συγχρονισμό TCP(TCP global synchronization), αφού το σύνολο των συνδέσεων TCP "καθυστερούν" παράλληλα κι, εν συνεχεία, προχωρούν εμπρός την ίδια στιγμή. Παρατηρείται υποχρησιμοποίηση των δικτύων και πλημμύρα – με εναλλακτικό τρόπο, κατά κυματισμούς. Το RED διαχειρίζεται αυτά τα θέματα με την προληπτικού χαρακτήρα αποτίναξη πακέτων προτού το buffer καταστεί τελείως γεμάτο. Μεταχειρίζεται προβλεπτικά μοντέλα προκειμένου να καταλήξει ποια πακέτα θα αποβάλει. Η εφεύρεσή του τοποθετείται στην αρχή της δεκαετίας του 1990 από τους Sally Floyd και Van Jacobson . Η λειτουργία του RED μελετά τον μέσο όρο μεγέθους της ουράς και προχωράει στο ρίξιμο (ή καταγράφει σημειώσεις σε περιπτώσεις

που συνδυάζεται με ECN) πακέτων βάσει στατιστικών πιθανοτήτων. Αν το buffer εμφανίζεται περίπου κενό, το σύνολο των εισερχόμενων πακέτων τυγχάνει αποδοχής. Με το μεγάλωμα όμως της ουράς, επιτείνεται και η πιθανότητα αποτροπής ενός πακέτου που εισέρχεται. Όταν γεμίζει το buffer, η πιθανότητα αγγίζει το 1 και το σύνολο των εισερχομένων πακέτων οδηγείται στην απόρριψη.

Το RED χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη δικαιοσύνη σε σχέση με το tail drop, υπό το πρίσμα ότι δεν συνεπάγεται προκατάληψη έναντι της κυκλοφορίας εκρηκτικού τύπου που αξιοποιεί μόνο ελάχιστο από το μέρος του εύρους ζώνης. Όσο μεγαλύτερη είναι η μετάδοση ενός κεντρικού υπολογιστή, τόσο πιθανότερη είναι η απόρριψη των πακέτων του όπως και η πιθανότητα αποβολής του πακέτου ενός κεντρικού υπολογιστή αναλογεί με το ποσό των στοιχείων που διαθέτει σε μια ουρά. Ο εντοπισμός που γίνεται εγκαίρως συμβάλλει στο να αποτραπεί ο παγκόσμιος συγχρονισμός TCP.

2.4.9. TCP ECN

Από τον πρώτο σχεδιασμό του TCP, προέκυψε ένα πλήθος επεκτάσεων που καταρτίστηκαν για την καλυτέρευση της επίδοσης και των χαρακτηριστικών που ελέγχουν τη συμφόρηση. Η ειδοποίηση συμφόρησης (ECN) με ρητό τρόπο αποτελεί μια επέκταση TCP/IP που βοηθά τη σηματοδότηση συμφόρησης δίχως απώλειες πακέτων. Μολονότι υπάρχουν αποδείξεις ότι αποφέρει οφέλη απόδοσης και συνιστά πρότυπο που ανάγεται στο 2001 , η πρόοδος του ECN σημειώνει σημαντική υστέρηση. Τα πρώτα αναπτυξιακά προβλήματα, κατά τα οποία τα μεσαία τοποθετημένα κουτιά προχώρησαν στη διαγραφή των bit ECN IP ή ακόμη και απέρριψαν πακέτα που υποδηλώνουν ικανότητα ECN όπως και προστατευτικά τείχη, συμβάλλουν στην επαναφορά των συνδέσεων με ικανότητα ECN , προκαλώντας αμφιβολία σχετικά με το ECN.

2.5. Ζητήματα σχετικά με το πρωτόκολλο TCP

2.5.1. Ζητήματα Σχετικά με τη Συμφόρηση

Το ζήτημα της συμφόρησης στο πλαίσιο του πρωτοκόλλου TCP εμφανίζεται κατά την υπερφόρτωση του δικτύου λόγω της αποστολής μεγαλύτερου όγκου δεδομένων από αυτά που έχει τη δυνατότητα να διαχειριστεί, καταλήγοντας σε απώλεια πακέτων και αύξηση καθυστερήσεων. Το TCP επιλύει τα ζητήματα της συμφόρησης με δικλείδες ασφαλείες όπως η αργή έναρξη και η αποτροπή συμφόρησης, που διευκολύνουν τη

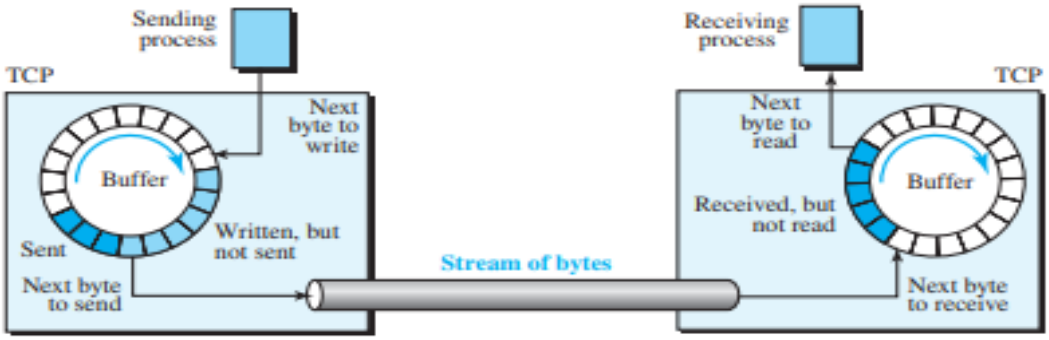
συμμόρφωση της ταχύτητας μετάδοσης ώστε να εμποδιστεί η υπερφόρτωση. Βέβαια, σε περιστατικά υπέρμετρης συμφόρησης, αυτές οι ενέργειες είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε σημαντική επιβράδυνση της σύνδεσης, επιδρώντας στην αποδοτικότητα των εφαρμογών σε συνθήκες πραγματικού χρόνου και στην ευρύτερη επάρκεια του δικτύου.

2.5.2. Ζητήματα Σχετικά με την Επαναμετάδοση

Η επαναμετάδοση κατά τη χρήση του πρωτοκόλλου TCP αφορά την πρακτική επαναποστολής των στοιχείων, σε περίπτωση που εντοπιστεί απώλεια πακέτων, σε περιπτώσεις που δεν εντοπίζεται απόδειξη παραλαβής μέσα σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα. Μολονότι η επαναμετάδοση είναι σημαντική για τη διασφάλιση της εγκυρότητας της σύνδεσης, είναι δυνατόν να οδηγήσει σε καθυστερημένες ανταποκρίσεις και αύξηση φόρτου στο δίκτυο. Το TCP εφαρμόζει στρατηγικούς σχεδιασμούς όπως η άμεση επαναμετάδοση, που λειτουργεί όταν γίνεται λήψη πολλαπλών ACK (επιβεβαιώσεων παραλαβής) που αφορούν στο ίδιο πακέτο, ώστε να επιταχυνθεί η διαδικασία αναγνώρισης και επανεξαγωγής των απωλεσθέντων πακέτων. Ωστόσο, η υπερμετρη επαναμετάδοση που οφείλεται σε συνεχείς απώλειες ή καθυστερήσεις είναι δυνατόν να χειροτερέψει τα ζητήτατα της συμφόρησης, ελαττώνοντας την απόδοση της σύνδεσης και επιδρώντας με αρνητικό τρόπο στην αποτελεσματικότητα των εφαρμογών.

2.5.3. Μέγεθος Buffer

Για την αποθήκευση των δεδομένων, απαραίτητη είναι η ύπαρξη buffer στο TCP, καθώς οι λειτουργίες λήψης και αποστολής είναι δυνατό είτε να μη διαβάσουν είτε να μην εγγράψουν με την ίδια ταχύτητα τα αναγκαία δεδομένα. Αναλυτικότερα, το buffer αυτό διακρίνεται σε δύο είδη, στο buffer λήψης και το buffer αποστολής. Για τη διαμόρφωση ενός τέτοιου buffer, μία προσέγγιση είναι η αξιοποίηση ενός πίνακα θέσεων κυκλικού σχήματος 1 byte, όπως απεικονίζεται παρακάτω. Βέβαια, αν και παρουσιάζονται δύο buffer των 20 byte, στην πλειονότητα τα buffer αποτελούνται από εκατοντάδες ή ακόμη και χιλιάδες byte. Συγχρόνως, στην εικόνα παρουσιάζεται η κίνηση των πληροφοριών προς μία μόνο κατεύθυνση.



Εικόνα 2.2 Η αποστολή και η λήψη με τη χρήση Buffer

Αναφορικά με τον αποστολέα, το buffer παρουσιάζει τρία είδη θαλάμων. Ειδικότερα, το λευκό κομμάτι παρουσιάζει άδειους θαλάμους, οι οποίοι είναι δυνατό να συμπληρωθούν μέσω της διαδικασίας της αποστολής, ενώ το έγχρωμο κομμάτι περιλαμβάνει byte που, αν και έχουν σταλθεί, δεν έχουν επιβεβαιωθεί ακόμη. Τα byte αυτά παραμένουν στο buffer έως ότου ληφθεί επιβεβαίωση. Μετά την επιβεβαίωση των byte αυτών, οι θάλαμοι ανακυκλώνονται και διατίθενται ξανά για χρήση. Τέλος, το σκιασμένο κομμάτι περιλαμβάνει byte που πρόκειται να αποσταλούν από το TCP. Εντούτοις, υπάρχει περίπτωση να αποσταλεί μόνο τμήμα της σκιασμένης περιοχής είτε λόγω της βραδύτητας της διαδικασίας λήψης είτε λόγω της συμφόρησης του δικτύου.

Όσον αφορά τον δέκτη, το κυκλικό buffer αποτελείται από δύο είδη θαλάμων. Πιο συγκεκριμένα, το λευκό κομμάτι περιλαμβάνει άδειους θαλάμους, οι οποίοι χρειάζεται να συμπληρωθούν με τα byte που γίνονται λήψη από το δίκτυο, ενώ το έγχρωμο κομμάτι περιλαμβάνει τα εισερχόμενα byte που είναι δυνατό να διαβαστούν. Μόλις ένα byte διαβαστεί, ο θάλαμος ανακυκλώνεται και κατόπιν προστίθεται στους κενούς θαλάμους.

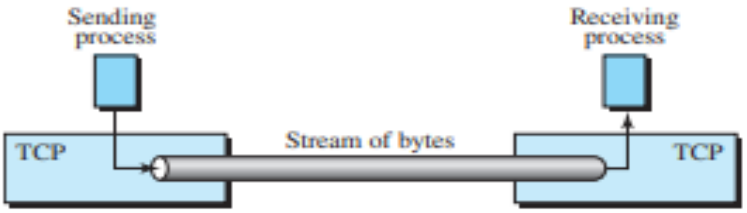
2.5.4. Αξιοπιστία στο TCP

Η αξιοπιστία είναι ευθύνη ενός πρωτοκόλλου μεταφοράς οι εφαρμογές αλληλοεπιδρούν με μια υπηρεσία μεταφοράς για να στέλνουν και να λαμβάνουν δεδομένα. Στην οικογένεια πρωτοκόλλων TCP/IP, η υπηρεσία αξιόπιστης μεταφοράς παρέχεται από το πρωτόκολλο ελέγχου μετάδοσης (Transmission Control Protocol, TCP). Το πρωτόκολλο TCP είναι αξιοσημείωτο, επειδή επιλύει ένα δύσκολο πρόβλημα αποτελεσματικά – αν και έχουν δημιουργηθεί και άλλα πρωτόκολλα, κανένα πρωτόκολλο μεταφοράς γενικής χρήσης δεν έχει αποδειχθεί καλύτερο. Γι' αυτό, οι περισσότερες εφαρμογές διαδικτύου δημιουργούνται με χρήση του TCP. Συνοψίζοντας τα πρωτόκολλα μεταφοράς παρέχουν

αξιοπιστία, η οποία έχει θεμελιώδη σημασία για πολλές εφαρμογές. Το πρωτόκολλο του επιπέδου μεταφοράς, το οποίο παρέχει αξιοπιστία στην οικογένεια πρωτοκόλλων TCP/IP, είναι το πρωτόκολλο ελέγχου μετάδοσης.

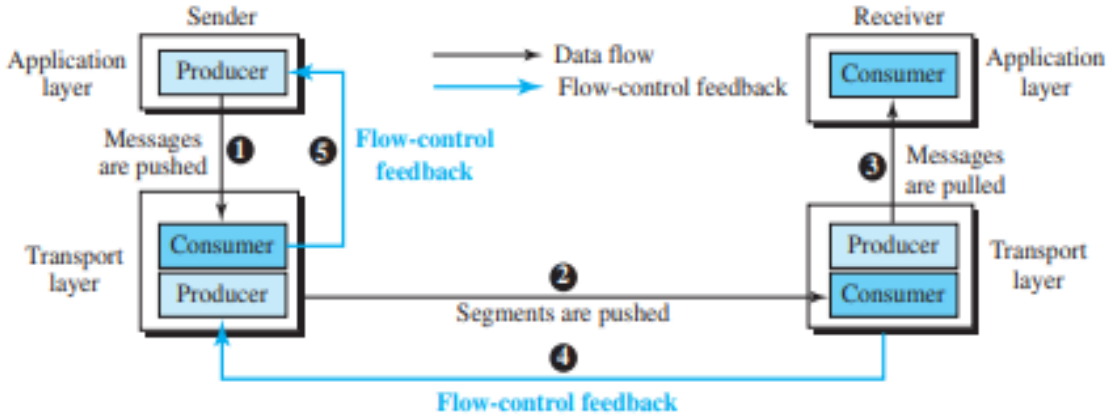
2.5.5. Έλεγχος Ροής

Βασικό γνώρισμα του πρωτοκόλλου TCP αποτελεί ο προσανατολισμός του στη ροή (Forouzan, 2022). Αναλυτικότερα, το συγκεκριμένο πρωτόκολλο δίνει τη δυνατότητα αφενός στη διεργασία της αποστολής να μεταφέρει τα δεδομένα ως ροή byte, αφετέρου στη διεργασία της λήψης να δεχτεί τα δεδομένα αυτά ως ροή byte. Ακόμη περισσότερο, διαμορφώνει ένα πλαίσιο, εντός του οποίου φαίνεται να πραγματοποιείται σύνδεση των δύο αυτών διεργασιών μέσω ενός υποθετικού «σωλήνα» που μεταδίδει τα byte. Με άλλα λόγια, από τη μία πλευρά η διεργασία της αποστολής διαμορφώνει τη ροή, ενώ από την άλλη πλευρά η διεργασία της λήψης την καταναλώνει. Ουσιαστικά, ο έλεγχος ροής εξισορροπεί τον ρυθμό με τον οποίο παράγονται τα δεδομένα με τον ρυθμό με τον οποίο μπορούν να αξιοποιηθούν (Forouzan, 2022).



Εικόνα 2.3 Παράδοση ροής (stream delivery)

Δεδομένου ότι στο TCP ο έλεγχος ροής διαχωρίζεται από τον έλεγχο σφαλμάτων, περιγράφεται παρακάτω για διευκόλυνση της κατανόησης η ροή των δεδομένων χωρίς σφάλματα. Ειδικότερα, απεικονίζεται η μεταφορά δεδομένων μονής κατεύθυνσης μεταξύ του αποστολέα και του δέκτη, με τα δεδομένα να μεταφέρονται διαδοχικά από την διεργασία της αποστολής στο TCP αποστολής, από το TCP αποστολής στο TCP λήψης και από το TCP λήψης στη διεργασία της λήψης (διαδρομές 1,2,3).



Εικόνα 2.4 Ροή δεδομένων και ανατροφοδοτήσεις ελέγχου ροής

Εντούτοις, οι ανατροφοδοτήσεις του ελέγχου ροής μεταφέρονται, επίσης, από το TCP λήψης στο TCP αποστολής και ακολούθως από το TCP αποστολής στη διεργασία της αποστολής (διαδρομές 4, 5). Βέβαια, η πλειονότητα των εφαρμογών του TCP δεν προσφέρουν κάποια ανατροφοδότηση του ελέγχου ροής από τη διεργασία της λήψης έως το TCP λήψης. Αντιθέτως, επιτρέπουν στη διεργασία της λήψης να αντλήσει δεδομένα από το TCP λήψης όποτε είναι έτοιμη. Το TCP λήψης, δηλαδή, ασκεί έλεγχο στο TCP αποστολής, ενώ ακολούθως το TCP αποστολής ασκεί έλεγχο στη διεργασία της αποστολής.

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί ο έλεγχος ροής, το TCP υποχρεώνει τόσο τον αποστολέα όσο και τον δέκτη να τροποποιήσουν καταλλήλως το μέγεθος των παραθύρων τους, με το μέγεθος του buffer και για τις δύο πλευρές να ρυθμίζεται μόλις συναφθεί η σύνδεση (Forouzan, 2022).

2.5.6. Δικαιοσύνη του TCP

Η δικαιοσύνη κατά την εφαρμογή του πρωτοκόλλου TCP αφορά στην κατανομή με όρους ισοτιμίας του διατιθέμενου εύρους ζώνης ανάμεσα στις συνδέσεις που συνυπάρχουν στο πλαίσιο του ίδιου δικτύου. Το TCP εξασφαλίζει δικαιοσύνη μέσα από μηχανισμούς διευθέτησης της συμφόρησης, όπως η αργή έναρξη και η αποτροπή συμφόρησης, που ελέγχουν την ταχύτητα αποστολής στοιχείων ώστε καμία σύνδεση να μην οδηγείται σε κατάσταση μονοπώλησης του δικτύου. Βέβαια, η δικαιοσύνη μπορεί να διασαλευθεί σε συνθήκες κατά τις οποίες οι συνδέσεις παρουσιάζουν διαφορετικό ρυθμό ή καθυστέρηση, με συνέπεια οι συνδέσεις χαμηλότερης ποιότητας να καταλαμβάνουν λιγότερο εύρος ζώνης. Επιπρόσθετα, ο συνδυασμός του TCP με άλλα πρωτόκολλα που δεν

εφαρμόζουν τους ίδιους κανόνες είναι δυνατόν να επιδράσει με αρνητικό τρόπο στην ισότιμη χρησιμοποίηση των παροχών του δικτύου.

3. Η Χρήση της Βιβλιομετρίας ως Μέθοδος Ανάλυσης

Η βιβλιομετρική ανάλυση αποτελεί μια προσφιλή και αυστηρή μέθοδο μελέτης και αξιολόγησης μεγάλου αριθμού επιστημονικών στοιχείων. Μέσα από τη βιβλιομετρική ανάλυση έχουμε τη δυνατότητα να εντοπίσουμε τις εξελικτικές παραμέτρους μιας συγκεκριμένης περιοχής μελέτης, φωτίζοντας ταυτόχρονα τις υφιστάμενες περιοχές αυτού του πεδίου. Η βιβλιομετρική ανάλυση χρησιμοποιείται από τους μελετητές για διαφορετικούς σκοπούς, π.χ. για την αποκάλυψη αναδυόμενων τάσεων, μοτίβων συνεργασίας και επιστημονικών δεδομένων, και για τη μελέτης της πνευματικής δόμησης ενός συγκεκριμένου πεδίου στην υπάρχουσα βιβλιογραφία. Τα στοιχεία που εντοπίζονται μέσω της βιβλιομετρικής ανάλυσης έχουν την τάση να είναι μαζικά (για παράδειγμα εκατοντάδες ή χιλιάδες στον αριθμό) και αντικειμενικής φύσεως (για παράδειγμα πλήθος αναφορών και δημοσιεύσεων, αναδύσεις λέξεων-κλειδιών και θεματικές), μολονότι οι αναλύσεις είναι συχνά βασισμένες αφενός σε αντικειμενικές (για παράδειγμα ανάλυση απόδοσης) αφετέρου σε υποκειμενικές (για παράδειγμα θεματική ανάλυση) εκτιμήσεις που συντελούνται μέσα από εκσυγχρονισμένες τεχνικές και διαδικασίες.

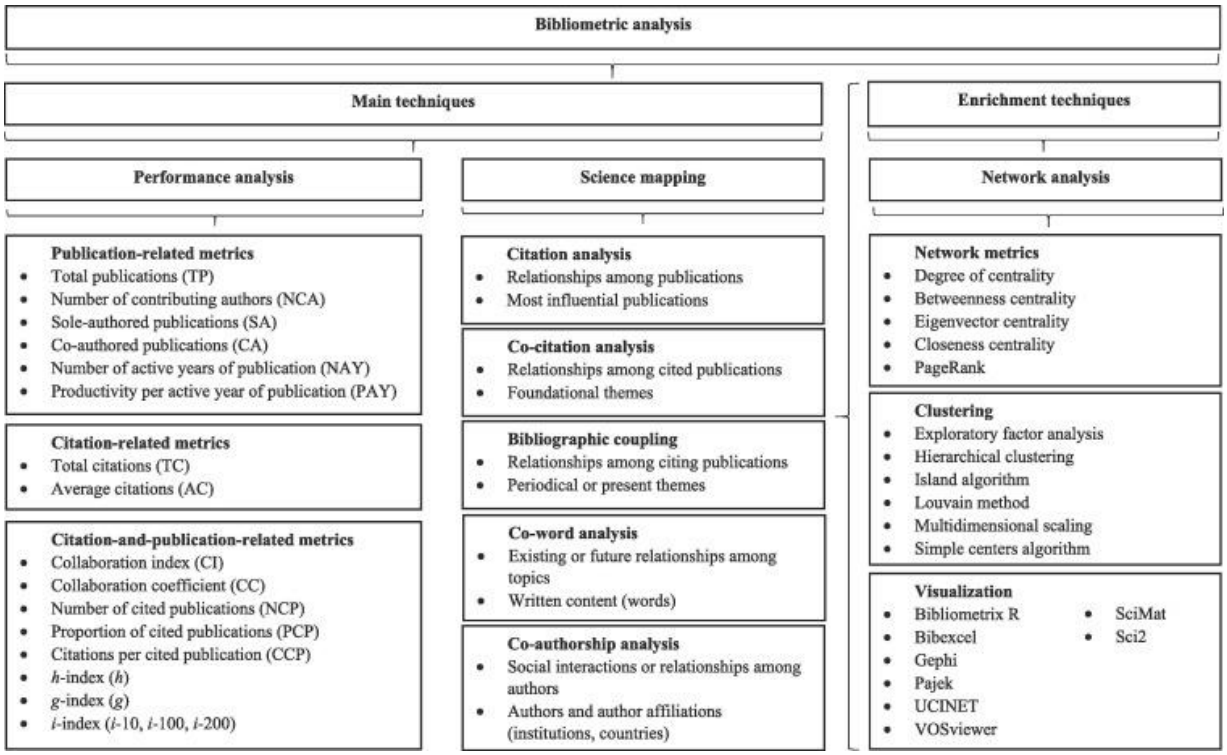
3.1. Η Έννοια της Βιβλιομετρίας

Εν ολίγοις, μέσα από τη βιβλιομετρική ανάλυση μπορεί κάποιος να αποκρυπτογραφήσει και να χαρτογραφήσει τη συσσωρευμένη επιστημονική γνώση και τα εξελικτικά στάδια των στερεοποιημένων αντικειμένων, προσδίδοντας ουσιαστικό νόημα σε μεγάλες ποσότητες δεδομένων που δεν έχουν δομηθεί σ’ ένα αυστηρό πλαίσιο. Επομένως, οι σωστές βιβλιομετρικές αναλύσεις μπορούν να δημιουργήσουν γερές βάσεις για την προαγωγή ενός πεδίου με καινούριους και επουσιώδεις τρόπους—δίνοντας την άδεια και την εξουσιοδότηση στους επιστήμονες να:

1. έχουν πρόσβαση σε μια ενιαία επισκόπηση,
2. ανακαλύψουν τυχόν κενά γνώσης,
3. εμπνευστούν για νέες ερευνητικές προστάσεις και
4. καταθέσουν την αναμενόμενη συμβολή τους στο εκάστοτε αντικείμενο.

Σημαντικό ρόλο στην βιβλιομετρία, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.1, έχουν οι τρείς κατηγορίες, δηλαδή, η ανάλυση απόδοσης (performancy analysis) και η επιστημονική

χαρτογράφηση (science mapping) που είναι οι κύριες τεχνικές ενώ η ανάλυση δικτύου(network analysis) είναι τεχνική εμπλουτισμού της βιβλιομετρικής αξιολόγησης.



Εικόνα 3.1 Οι 3 κατηγορίες της βιβλιομετρικής ανάλυσης

3.1.1 Ανάλυση Απόδοσης

Η ανάλυση απόδοσης ασχολείται με τις συνεισφορές των ερευνητικών συστατικών σε ένα συγκεκριμένο αντικείκενο. Η περιγραφικής φύσεως ανάλυση αποτελεί το σήμα κατατεθέν των βιβλιομετρικών ερευνών. Η ανάλυση απόδοσης είναι δυνατόν να υπάρχει σ' έναν μεγάλο αριθμό κριτικών, και σ' αυτές ακόμη που δεν καταπιάνονται με την ερευνητική χαρτογράφηση, καθώς υφίσταται μια τυπική συνήθεια στο πλαίσιο των κριτικών να γίνεται παρουσίαση επιδόσεων διαφόρων επιστημονικών δεδομένων (για παράδειγμα συγγραφέων, φορέων, κρατών και περιοδικών) του χώρου, κάτι που είναι παρεμφερές με τις βάσεις ή το βιογραφικό όσων συμμετέχουν, που συχνά εμφανίζεται στο πλαίσιο της εμπειρικής μελέτης, αν και με πιο αναλυτικό τρόπο.

Υπάρχουν πολλές παράμετροι για την ανάλυση απόδοσης. Οι πιο βασικές παράμετροι είναι το πλήθος των δημοσιεύσεων και των αναφορών ανά έτος ή ανά επιστημονικό πεδίο, όπου η δημοσίευση συνιστά έναν δείκτη παραγωγικότητας, την ίδια στιγμή που η αναφορά συνιστά μία παράμετρο επηρεασμού και επιδραστικότητας. Άλλες παράμετροι όπως η αναφορά κατά δημοσίευση και το ευρετήριο συνδυάζουν αναφορές και

δημοσιεύσεις για την εκτίμηση της απόδοσης των ερευνητικών στοιχείων. Παρά το ότι η ανάλυση είναι μια περιγραφική διαδικασία, αποδέχεται την αξία των διαφόρων στοιχείων στο πλαίσιο ενός επιστημονικού πεδίου.

3.1.2 Επιστημονική Χαρτογράφηση

Η επιστημονική χαρτογράφηση μελετά τις συσχετίσεις μεταξύ ερευνητικών συστατικών. Η ανάλυση επικεντρώνεται στις αλληλεπιδράσεις πνευματικού χαρακτήρα και στις συνδετικές δόμησεις ανάμεσα στα ερευνητικά συστατικά.

Στις τεχνικές χαρτογράφησης της επιστήμης περιλαμβάνονται η αναλυτική προσέγγιση παραπομπών και συν-παραπομπών, η βιβλιογραφική σύνδεση, η ανάλυση συν-λέξης και συν-συγγραφικής. Ανάλογες τεχνικές, σε συνδυασμό με το δίκτυο ανάλυσης, παίζουν καθοριστικό ρόλο στην αποκάλυψη της βιβλιομετρικής και πνευματικής δομησης του επιστημονικού πεδίου.

- *Ανάλυση Βιβλιογραφικών Παραπομπών*

Η Ανάλυση Βιβλιογραφικών Παραπομπών αποτελεί ιδιαίτερης σημασίας μέθοδο στο πλαίσιο της βιβλιογραφικής ανάλυσης, που επικεντρώνεται στην εξέταση των παραπομπών που περιέχονται στις επιστημονικές εργασίες. Μέσα από τη συγκεκριμένη ανάλυση, μελετώνται οι συσχετίσεις ανάμεσα σε δημοσιεύσεις, αφού οι παραπομπές εκπροσωπούν τις έννοιες της επίδρασης και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των ερευνών. Η συγκεκριμένη μέθοδος διευκολύνει την ανάδειξη των σημαντικότερων και επιδραστικότερων εργασιών σε ένα πεδίο, όπως και τη χαρτογράφηση της γνωστικής εξέλιξης. Επιπρόσθετα, ενισχύει την αντίληψη του τρόπου διαμόρφωσης ερευνητικών τάσεων και του τρόπου με τον οποίο οι επιστήμονες βασίζονται σε παλιότερες δημοσιεύσεις, παρέχοντας ένα πολύτιμο εργαλείο για τη δομική ανάλυση των ερευνητικών αντικειμένων.

- *Ανάλυση Ζεύγους Παραπομπών*

Η ανάλυση Ζευγών Παραπομπών (Co-citation Analysis) συνιστά μια μέθοδο στη βιβλιογραφική ανάλυση που ασχολείται με τη συχνότητα που δύο διαφορετικές εργασίες αναφέρονται ταυτόχρονα σε τρίτες δημοσιεύσεις. Όσο συχνότερα δύο άρθρα παρατίθενται μαζί, τόσο πιο ισχυρή λογίζεται η μεταξύ τους θεματική ή μεθοδολογική σχέση. Η εν λόγω μέθοδος προωθεί την ανάδειξη επιστημονικών ενοτήτων ή τρόπων σκέψης στο πλαίσιο ενός ερευνητικού αντικειμένου, όπως και στον εντοπισμό θεμελιωδών δημοσιεύσεων που καθόρισαν τις εξελίξεις. Η ανάλυση ζεύγους παραπομπών παρουσιάζει

επιπλέον μια δυναμική διάσταση της γνωστικής εξέλιξης, αναδεικνύοντας πώς οι σχέσεις ανάμεσα σε συγκεκριμένες έρευνες μετασχηματίζονται με τα χρόνια, οδηγώντας στη διάπλαση νέων ερευνητικών πεδίων.

- *Ανάλυση Συν-συγγραφέων*

Η Ανάλυση Συν- Συγγραφέων (Co-authorship Analysis) στο πλαίσιο της βιβλιογραφικής ανάλυσης μελετά τις συμπράξεις μεταξύ ερευνητών μέσα από κοινές εργασίες τους. Η τεχνική αυτή ασχολείται με την ανάλυση των δικτύων των συν-συγγραφέων, εντοπίζοντας τις δομές συνεργασίας και τις συσχετίσεις μεταξύ επιστημόνων ή επιστημονικών ομάδων. Μέσα από την ανάλυση συν-συγγραφέων, υπάρχει η δυνατότητα να αναδυθούν οι επιστήμονες με τη μεγαλύτερη επιδραστικότητα, οι επιστημονικοί κόμβοι και οι συγκεντρώσεις συνεργασιών σε επίπεδο γεωγραφίας ή θεματικών. Επίσης, η τεχνική αυτή συμβάλλει στην αντίληψη της συνδεσιμότητας των ερευνητικών κοινοτήτων και της επιστημονικής γνώσης, ενώ χορηγεί στοιχεία για το πως καλλιεργούνται οι επιστημονικές συμπράξεις σε διαφορετικά αντικείμενα.

- *Ανάλυση Λέξεων – Κλειδιών*

Η Ανάλυση Λέξεων-Κλειδιών στη βιβλιογραφική ανάλυση αποτελεί μια προσέγγιση που επικεντρώνεται στην εξέταση των λέξεων-κλειδιών που αναφέρονται σε ερευνητικές εργασίες, για τη δήλωση των θεματικών παραμέτρων και ρευμάτων ενός αντικειμένου έρευνας. Μελετώντας πόσο συχνά εμφανίζονται και συνυπάρχουν οι λέξεις-κλειδιά στο πλαίσιο διαφορετικών δημοσιεύσεων, οι επιστήμονες είναι σε θέση να εντοπίσουν βασικές ερευνητικές ιδέες και το πώς αυτές συνδέονται μεταξύ τους. Η πρακτική αυτή διευκολύνει την ταυτοποίηση θεμάτων και υποαντικειμένων που αναδύονται, ενώ βοηθά την αντίληψη της προόδου και της δυναμικότητας των ερευνητικών πεδίων. Επιπρόσθετα, συμβάλλει στη δομική χαρτογράφηση της γνώσης και στην ανίχνευση προσεχών επιστημονικών τάσεων.

- *Ανάλυση Περιεχομένου*

Η Ανάλυση Περιεχομένου στη βιβλιογραφική ανάλυση συνιστά τόσο ποιοτική όσο και ποσοτική μέθοδο που επικεντρώνεται στη μελέτη του καθ’ εαυτού κειμένου των ερευνητικών εργασιών, με σκοπό να εντοπιστούν βασικές θεματικές, σχήματα και έννοιες. Στο πλαίσιο της εν λόγω μεθόδου, οι επιστήμονες προβαίνουν στην ανάλυση λέξεων, φράσεων, εννοιών και επιχειρημάτων που εμφανίζονται στα σώμα του κειμένου, με

σκοπό τον εντοπισμό θεματικών τάσεων, ιδεολογικών κατευθύνσεων και την ιδεολογική πρόοδο σε ένα ερευνητικό αντικείμενο. Η ανάλυση περιεχομένου προωθεί μια καλύτερη πρόσληψη των θεματικών που καλύπτονται από τη βιβλιογραφία, αποτυπώνοντας ευκολότερα τον τρόπο δόμησης και διαμορφώσης της επιστημονικής γνώσης, την ίδια στιγμή που αποκαλύπτει κρυφά μοτίβα και σχέσεις που δεν γίνονται αμέσως αντιληπτά μέσα από τις παραπομπές ή τις λέξεις-κλειδιά.

3.1.3 Ανάλυση Δικτύου

Οι μετρήσεις δικτύου μπορούν να αξιοποιηθούν προκειμένου να εμπλουτιστεί η αξιολόγηση της βιβλιομετρικής ανάλυσης. Πιο συγκεκριμένα, οι μετρήσεις δικτύου φωτίζουν τη σχετική σημασία των ερευνητικών δεδομένων (για παράδειγμα συγγραφείς, φορείς, κράτη), που μπορεί να μην εμφανίζονται οπωσδήποτε μέσα από δημοσιεύσεις ή παραπομπές. Μεγάλη σημασία έχει ότι οι μετρήσεις δικτύου χρησιμεύουν τις περισσότερες φορές για τον εμπλουτισμό της συζήτησης των επιστημονικών πεδίων στο πλαίσιο των βιβλιομετρικών μελετών, κι επομένως, εκπροσωπούν έναν νόμιμο τρόπο προκειμένου να εμπλουτιστούν οι βιβλιομετρικές αξιολογήσεις. Για να καταστεί αυτό πιο σαφές, χρησιμοποιούνται διαφορετικές μετρικές του δικτύου, όπως βαθμός κεντρικότητας, κεντρικότητας μεταξύ, κεντρική θέση ιδιόδιανυσμα, κεντρικότητα εγγύτητας και κατάταξη σελίδας, μαζί με ένα δείγμα πίνακα όπου κατατάσσονται οι δημοσιεύσεις.

• *Βαθμός κεντρικότητας (Degree Centrality):* αφορά στον αριθμό των σχεσιακών δεσμών που έχει ένα συστατικό έρευνας στο πλαίσιο ενός δικτύου. Παραδείγματος χάριν, σε περίπτωση που κάποιος συγγραφέας στο πλαίσιο ενός δικτύου συνεργασιών έχει συμπράξει με τέσσερις άλλους συγγραφείς, τότε ο βαθμός κεντρικότητας του/της θα υπολογίζεται στους τέσσερις. Το συγκεκριμένο στοιχείο αποτελεί μακράν το πιο απλό μέτρο κεντρικότητας καθώς είναι βασισμένο στον αριθμητικό αριθμό των σχεσιακών δεσμών. Μια άλλη εκδοχή του εν λόγω μέτρου είναι ο σταθμισμένος βαθμός κεντρικότητας, που μετράται βάσει πολλαπλασιασμού του συνολικού αριθμού των σχεσιακών δεσμών με τη δύναμη κάθε ισοπαλίας. Παραδείγματος χάριν, εάν ο συγγραφέας Α έχει δημοσιεύσει δύο φορές με τον συγγραφέα Β και μία με τον συγγραφέα Γ και τον συγγραφέα Δ, στην περίπτωση αυτή ο βαθμός κεντρικότητας του Συγγραφέα Α θα είναι τρεις, όμως ο σταθμισμένος βαθμός κεντρικότητας του/της θα είναι τέσσερις. Παρόλο που ο απλός χαρακτήρας των συγκεκριμένων μέτρων αποτελεί

από μόνος του προτέρημα, τα μέτρα δεν χορηγούν λεπτομέρειες σχετικές με το ρόλο που παίζει ένα συστατικό έρευνας στο επιστημονικό πεδίο.

• *Κεντρικότητα μεταξύ (Betweenness Centrality):* αφορά στην ικανότητα ενός κόμβου να μεταβιβάζει πληροφοριακό υλικό μεταξύ μη συνδεδεμένων ομάδων κόμβων, όπου ο εκάστοτε κόμβος αντιστοιχεί σε ένα συστατικό έρευνας. Μολονότι η μεταξύ τους κεντρική θέση παρουσιάζεται πιο περίπλοκη σε σύγκριση με τον βαθμό κεντρικότητας, το μέτρο παρέχει πληροφοριακό υλικό σχετικό με το ρόλο που παίζει η έρευνα στο πλαίσιο ενός δικτύου. Ειδικότερα, η κεντρικότητα μεταξύ υπολογίζεται με τη μέτρηση του συνολικού αριθμού των πιο σύντομων διαδρομών που περνούν από έναν ορισμένο κόμβο (δv,w(u)) και διαιρώντας με το σύνολο του αριθμού των πιο σύντομων διαδρομών σε όλο το εύρος του δικτύου (δv,w).

• *Ιδιοδιανυσματική κεντρική (Eigenvector Centrality):* εμφανίζεται υψηλότερη για κόμβους που σχετίζονται με άλλους υψηλής σύνδεσης κόμβους, οπότε κάθε κόμβος εκπροσωπεί ένα συστατικό έρευνας. Ειδικότερα, μια πιο υψηλή τιμή της κεντρικότητας του ιδιοδιανύσματος είναι ένας αντικατοπτρισμός της βαρύτητας του κόμβου στο δίκτυο που ευθύνεται για τη διαβίβαση δεδομένων σε άλλους κόμβους με χαρακτηριστικό την υψηλή σύνδεση.

• *Κεντρικότητα εγγύτητας (Closeness Centrality):* αφορά στην δυνατότητα αποτελεσματικής μεταφοράς πληροφοριών από τους κόμβους μέσω της εγγύτητάς τους σε δικτυακούς κόμβους. Το σύνολο της απόστασης ανάλογων κόμβων από έτερους κόμβους στο πλαίσιο του δικτύου φανερώνει την ευκολία που σχετικά διαθέτουν αυτοί οι κόμβοι στην αποτελεσματική μεταφορά πληροφοριών.

• *PageRank:* Η ανάλυση αποτελεί ένα εναλλακτικό μέτρο της επιδραστικότητας μιας δημοσίευσης. Παρόλο που το PageRank είχε καταρχάς σχεδιαστεί προκειμένου να παρέχει πρόκριση στις ιστοσελίδες στο πλαίσιο μιας αναζήτησης λέξεων-κλειδιών, η μέθοδος βρήκε τον προορισμό της στη βιβλιομετρία. Πιο συγκεκριμένα, το PageRank μπορεί να χρησιμεύσει για την εκτίμηση της βαρύτητας των δημοσιεύσεων που σημειώνουν επιδραστικότητα στον επιστημονικό χώρο, με αποτέλεσμα να επηρεάζει τις δημοσιεύσεις υψηλής αναφοράς, μολονότι οι ίδιες δεν διαθέτουν υψηλή αναφορά. Υπό αυτό το πρίσμα, μια δημοσίευση με υψηλό PageRank μπορεί να αξιολογηθεί ως «υψηλής ποιότητας» και έτσι «πρέπει να αναφέρεται» ανάμεσα στις δημοσιεύσεις

υψηλής αναφοράς. Επιπρόσθετα, το PageRank μπορεί να έχει εφαρμογή σε ομαδοποίηση, προκειμένου να φωτίσει τα ζητήματα σε ένα πεδίο κριτικής.

- *Μέθοδος Layer:* Η Μέθοδος Layer στο πλαίσιο της βιβλιομετρικής ανάλυσης συνιστά μια πρακτική με σκοπό να οργανωθεί και να ιεραρχηθεί η επιστημονική γνώση, ώστε να επέλθει αναγνώριση των καταλυτικών δημοσιεύσεων και ανάλυση της προόδου των επιστημονικών πεδίων. Η συγκεκριμένη πρακτική κατανέμει τη βιβλιογραφία σε "στρώματα" ή επίπεδα που διαδέχονται το ένα το άλλο, με βάση την επιδραστικότητα των δημοσιεύσεων και των σχετικών παραπομπών τους. Κάθε επίπεδο εκπροσωπεί διαφορετικούς βαθμούς επιδραστικότητας, με τις σημαντικότερες και συχνότερα αναφερόμενες δημοσιεύσεις να αναρριχώνται ψηλά στην κατανομή, πρακτική που έχει ως αποτέλεσμα την οπτική αναπαράσταση των συσχετίσεων μεταξύ των δημοσιεύσεων και την ανάλυση της δυνατότητας ανάπτυξης της ερευνητικής γνώσης.
- *Μέθοδος Clustering:* Η προσέγγιση clustering στη βιβλιογραφική ανάλυση αξιοποιείται προκειμένου να ομαδοποιηθούν επιστημονικές δημοσιεύσεις ή παραπομπές βάσει ομοιοτήτων στις πληροφορίες τους, π.χ. θεματικές, λέξεις-κλειδιά, ή/και συγγραφείς. Χάρη σ' αυτήν την μεθόδο, οι δημοσιεύσεις χωρίζονται σε κατηγορίες ανά "συστάδες" (clusters), που αντιστοιχούν σε ορισμένα επιστημονικά αντικείμενα ή θεματικά κεφάλαια. Αυτή η κατηγοριοποίηση διευκολύνει τους αναλυτές να διακρίνουν δομές και κλίσεις εντός της βιβλιογραφίας, επισημαίνοντας τις σημαντικότερες ερευνητικές κατευθύνσεις και πιθανόν καινούρια ενδιαφέροντα πεδία. Η πρακτική clustering βοηθά στην ενδελεχέστερη αντίληψη της καλλιέργειας και συσχέτισης διαφορετικών πεδίων γνώσης, όπως και στην ταυτοποίηση βασικών ιδεών καινοτομίας που συνεισφέρουν σε αυτή.

3.3.3 Κυριότερες Βάσεις Δεδομένων

3.3.1 Scopus

Το Scopus αποτελεί μία από τις πιο μεγάλες και πιο έγκυρες βάσεις δεδομένων για ανάλυση βιβλιογραφικής φύσεως, καθώς προσφέρει προσβασιμότητα σε εκτεταμένες συλλογές ερευνητικών εργασιών από διαφορετικά πεδία, όπως οι φυσικές, τεχνολογικές, κοινωνικές και ανθρωπιστικές επιστήμες και σπουδές. Στο πεδίο της βιβλιογραφικής ανάλυσης, το Scopus αξιοποιείται για την ανίχνευση θεμελιωδών ερευνητικών εργασιών, τη

διαδικασία ανάλυσης παραπομπών, τη χαρτογράφηση επιστημονικών δικτύων και την έρευνα συμπράξεων μέσω συν-συγγραφής. Διαθέτει επιπλέον μέσα για την κατάρτιση μετρικών, π.χ. ο δείκτης απήχησης (h-index), και συμβάλλει στην διαρκή καταγραφή της επιδραστικότητας συγκεκριμένων επιστημόνων ή θεματικών. Η εκτεταμένη κάλυψη που προσφέρει το Scopus το αναδεικνύει σε πολύτιμο εργαλείο για επιστήμονες που επιθυμούν να εμβαθύνουν στη δομή και στην εξέλιξη της ερευνητικής γνώσης σε διεθνή εμβέλεια.

3.3.2 Web of Science

Το Web of Science αποτελεί μια από τις πιο γνωστές και έγκυρες βάσεις δεδομένων στο πλαίσιο της βιβλιομετρικής ανάλυσης, η οποία παρέχει πρόσβαση σε ερευνητικές δημοσιεύσεις επιστημονικά άρθρα και βιβλία και ανακοινώσεις σε συνέδρια. Η χρήση του είναι ευρεία για την εκτίμηση της ερευνητικής επιδραστικότητας, αφού διευκολύνει τον υπολογισμό στοιχείων όπως το πλήθος των αναφορών (citations) που αντιστοιχούν σ' ένα δημοσιευμένο έργο και την ανάλυση των h-index και impact factor των ερευνητικών εκδόσεων. Μέσα από τη βιβλιομετρική ανάλυση στο Web of Science, οι επιστήμονες μπορούν να έχουν πρόσβαση στα σημαντικότερα δημοσιεύματα, να ανιχνεύσουν τις νέες κατευθύνσεις σε διαφορετικά επιστημονικά αντικείμενα και να αντιληφθούν τη συνεισφορά των συγγραφέων στην ερευνητική κοινότητα, δια της παροχής χρήσιμων εργαλείων για στρατηγικό σχεδιασμό στο πλαίσιο της έρευνας και της ανάπτυξης.

3.3.3 Google Scholar

Πρόκειται ίσως για τη δημοφιλέστερη μηχανή αναζήτησης ακαδημαϊκών πηγών, που χαρακτηρίζεται από μεγάλο εύρος περιλήψεων ερευνητικών δημοσιεύσεων, επιστημονικών διατριβών και βιβλίων όπως και λοιπών ακαδημαϊκών αρχείων. Στη βιβλιομετρική ανάλυση, το Google Scholar αξιοποιείται για την καταγραφή των αναφορών (citations) σε ακαδημαϊκές εργασίες, την εκτίμηση της απόδοσης των επιστημόνων μέσα από δείκτες όπως το h-index και το i10-index, και την προσέγγιση των νέων ερευνητικών κατευθύνσεων. Αντίθετα με βάσεις δεδομένων που χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη εξειδίκευση, σαν το Web of Science, το Google Scholar περικλείει και πηγές που δεν έχουν αξιολογηθεί κριτικά (non-peer-reviewed), παρέχοντας μεγαλύτερο εύρος κάλυψης, αλλά με μικρότερη αξιοπιστία σε κάποιες περιπτώσεις. Όμως, χάρη στην ευκολία στην πρόσβαση και στο πλήθος των ευρημάτων, συνιστά ένα ανεκτίμητο εργαλείο για τους σκοπούς της βιβλιομετρικής ανάλυσης, ειδικά για την καταγραφή αναφορών σε πρωτόλειο επίπεδο ή σε αντικείμενα με μικρότερο αριθμό δημοσιεύσεων.

3.3.4 ScienceDirect

Η κορυφαία πλατφόρμα διάχυσης επιστημονικού περιεχομένου είναι το Science Direct, με φορέα διαχείρισης την Elsevier που αποτελείται από πάνω από 16 εκατομμύρια άρθρα ερευνητικών περιοδικών και βιβλίων. Για τους σκοπούς βιβλιομετρικής ανάλυσης, το ScienceDirect συνιστά πολύτιμο εργαλείο για την εκτίμηση της ερευνητικής παραγωγής, αφού επιτρέπει την πρόσβαση σε πλήθος peer-reviewed δημοσιευμένων κειμένων από διάφορα ερευνητικά αντικείμενα. Αξιοποιείται για την παρακολούθηση και αναλυτική μελέτη αναφορών (citations), την εκτίμηση της επιδραστικότητας ορισμένων εργασιών και την ανίσχνευση νέων επιστημονικών κατευθύνσεων. Μολονότι το ScienceDirect δεν παρέχει εξειδικευμένα βιβλιομετρικά εργαλεία που διατίθενται από διάφορες άλλες βάσεις δεδομένων, η δυνατότητα πρόσβασης σε ολοκληρωμένες δημοσιεύσεις υψηλού επιπέδου το αναδεικνύει σε σημαντικό μέσο για την ποσοτική και ποιοτική ερευνητική ανάλυση, δίνοντας στους χρήστες τη δυνατότητα να εξάγουν έγκυρα στοιχεία για τη βιβλιομετρική ανάλυση.

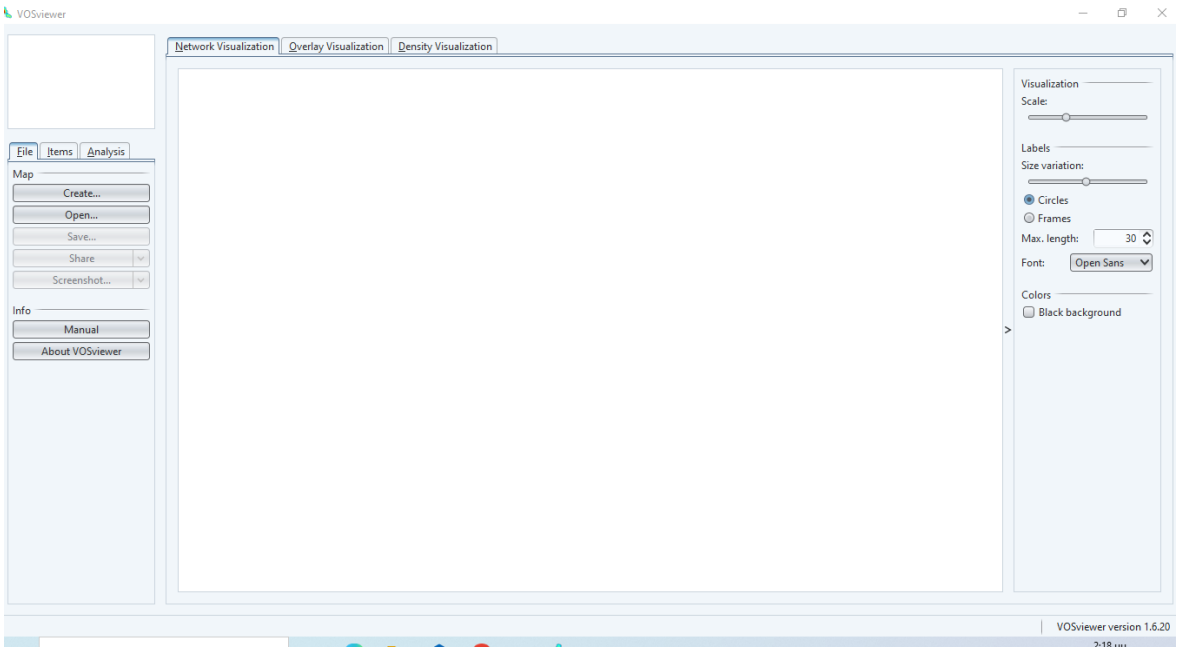
3.4. Προγράμματα Λογισμικού

Τα προγράμματα λογισμικού που αξιοποιούνται στο πλαίσιο τη βιβλιομετρικής ανάλυσης συνιστούν εργαλεία που διευκολύνουν την αυτοματοποίηση και ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων που σχετίζονται με τις ερευνητικές εργασίες και αναφορές. Προγράμματα με μεγάλη δημοφιλία, σαν το VOSviewer, το CiteSpace και το Bibliometrix, προωθούν την οπτικοποίηση δικτύων αναφορών, τη χαρτογράφηση των συσχετίσεων μεταξύ επιστημόνων, θεματικών και ερευνητικών αντικεικένων, και την ενασχόληση με τη μελέτη νέων τάσεων ή συμπράξεων στην ερευνητική κοινότητα. Τα εργαλεία αυτά παρέχουν τη δυνατότητα δημιουργίας γραφημάτων, πινάκων και δικτύων που απεικονίζουν τις δυνατότητες της ερευνητικής παραγωγής, π.χ. μέσω του εντοπισμού των εργασιών και συγγραφέων με τη μεγαλύτερη επίδραση. Τα λογισμικά αυτά συμβάλουν ιδιαιτέρως στη βιβλιομετρική αξιολόγηση, καθιστώντας ευκολότερη την επεξεργασία δεδομένων μεγάλου μεγέθους και την ανάδειξη κρίσιμων πορισμάτων για την πρόοδο και την επιδραστικότητα της έρευνας.

3.4.1 VOSViewer

Το VOSviewer αποτελεί ένα δυνατό εργαλείο λογισμικού για τη βιβλιομετρική αξιολόγηση, με εξειδίκευση στην οπτικοποίηση και μελέτη δικτύων που βασίζονται σε ερευνητικά δεδομένα, όπως αναφορές, συμπράξεις συγγραφέων και λέξεις-

κλειδιά. Χρησιμεύει στη δημιουργία χαρτών που αναπαριστούν τη δόμηση της ερευνητικής διαδικασίας, εντοπίζοντας τις συσχετίσεις μεταξύ επιστημονικών εργασιών, ερευνητών - συγγραφέων ή επιστημονικών αντικειμένων. Με τη συνδρομή του VOSviewer, οι επιστήμονες έχουν τη δυνατότητα να ενημερωθούν για νέες ερευνητικές κατευθύνσεις, να εντοπίσουν τα πιο σημαντικά ιδρύματα ή εργασίες σε ένα ορισμένο αντικείμενο, και να προσχωρήσουν στη χαρτογράφηση συνεργασιών ή θεματικών ενοτήτων. Το λογισμικό προσφέρεται σε φιλικό προς το χρήστη πλαίσιο και διευκολύνει την κατασκευή γραφικών αναπαραστάσεων μεγάλων βιβλιομετρικών δεδομένων. Έτσι, αναδεικνύεται σε ανεκτίμητο μέσο για την ανάλυση της ερευνητικής επιδραστικότητας και των δυνατοτήτων της επιστήμης. Στην Εικονα 3.2 απεικονίζεται το αρχικο περιβάλλον του λογισμικου Vosviewer.



Εικόνα 3.2 Το περιβάλλον του VOSViewer

3.4.2 Μέθοδοι Ανάλυσης Δεδομένων στο VOSViewer

Το VOSviewer ένα εργαλείο λογισμικού που διατίθεται ελεύθερα στο διαδίκτυο, έχει αναπτυχθεί τόσο για την κατασκευή, όσο και για την οπτικοποίηση των βιβλιομετρικών δεδομένων. Το Vosviewer διερευνά τη συν-συγγραφή , τη συν-εμφάνιση, την παράθεση, τη βιβλιογραφική σύζευξη και τους συνδέσμους συν-παραπομπής και αποτυπώνει τα αποτελέσματα σε μια από τις τρεις πιθανές αναπαραστάσεις: οπτικοποίηση δικτύου, επικάλυψης ή πυκνότητας. Σε αντίθεση με τα περισσότερα προγράμματα που

χρησιμοποιούνται για βιβλιομετρική χαρτογράφηση, το VOSviewer εστιάζει περισσότερο στη γραφική αναπαράσταση των βιβλιομετρικών χαρτών. Η λειτουργικότητα του VOSviewer είναι ιδιαιτέρως χρήσιμη για την έκθεση μεγάλων βιβλιομετρικών χαρτών που είναι εύκολα ερμηνεύσιμοι (Nees Jan van Eck & Ludo Waltman, 2010).

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας αξιοποιήθηκε η εκδοχή 1.6.20 περιβάλλοντος windows του λογισμικού VOSViewer. Το εν λόγω εργαλείο παρέχει στον επιστήμονα μία πλήρη σειρά αναλυτικών μεθόδων που στοχεύουν στην διερεύνηση και την κατανόηση σύνθετων μοτίβων, συσχετίσεων και ρευμάτων στην ερευνητική βιβλιογραφία. Μία εκ των βασικών μεθόδων ανάλυσης συνιστά η ανάλυση συνεργασίας (Co-Authorship). Στο πλαίσιο αυτής της μεθόδου ανάλυσης ερευνώνται τα συνεργατικά δίκτυα ανάμεσα στους ερευνητές - συγγραφείς ή τις οργανώσεις ή τις χώρες. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα ανιχνεύει συνεργατικές ομάδες που εμφανίζονται στο πλαίσιο επαναλαμβανόμενων δημοσιεύσεων. Επιπρόσθετα, το VOSViewer παρέχει τη δυνατότητα ανάλυσης συν-παραπομπής (Co-citation). Αναλύοντας τις συσχετίσεις συν-αναφοράς ανάμεσα στα έγγραφα, το λογισμικό εντοπίζει την αλληλοσυσχέτιση των δημοσιεύσεων βάσει κοινών αναφορών σε ένα επιστημονικό αντικείμενο. Η βιβλιογραφική ανάλυση σύζευξης (Bibliographic coupling) για τον εντοπισμό της σύμπτωσης εγγράφων που αφορούν παρεμφερείς παραπομπές είναι ένας επιπλέον τρόπος ανάλυσης που παρέχει το συγκεκριμένο εργαλείο. Η συγκεκριμένη μέθοδος υποβοηθά την ανίχνευση εγγράφων που μοιράζονται κοινές θεματικές, ενισχύοντας την αντίληψη των επιστημονικών συσχετίσεων. Το λογισμικό καταγράφει την συνεμφάνιση λέξεων-κλειδιών(Co-occurrence) σκοπεύοντας στην ανίχνευση και την αποτύπωσή τους σε ένα ερευνητικό αντικείμενο. Επίσης, μία επιπλέον δυνατότητά του είναι να προχωρεί στην ομαδοποίηση όρων, συγγραφέων και εγγράφων βάσει των μοτίβων συν-εμφάνισής τους. Αυτό παρέχει ουσιαστική βοήθεια και διευκολύνει τις σύνθετες θεματικές συσχετίσεις. Για το τέλος, δεν θα γινόταν να παραλειφθεί η μέθοδος της απεικόνισης. Τρία είδη απεικονίσεων διατίθενται από το λογισμικό:

- *Οπτικοποίηση δικτύου*: Με στόχο την κατανόηση των δικτύων, η οπτικοποίηση μεγάλων γραφημάτων έχει αναπτυχθεί εδώ και πολλά χρόνια σε πολλά επιτυχημένα έργα (Batagelj, 1998· Shannon, 2003· Adar, 2006). Οι οπτικοποιήσεις είναι χρήσιμες για την αξιοποίηση των αντιληπτικών ικανοτήτων των ανθρώπων για την εύρεση χαρακτηριστικών στη δομή και τα δεδομένα του δικτύου. Ωστόσο, αυτή η

διαδικασία είναι εγγενώς δύσκολη και απαιτεί στρατηγική εξερεύνησης (Perer, 2006). Εκτός από τεχνικά ακριβή και οπτικά ελκυστικά, τα εργαλεία εξερεύνησης δικτύου πρέπει να κατευθύνονται προς οπτικοποιήσεις και αναλύσεις σε πραγματικό χρόνο για να βελτιώσουν τη διαδικασία διερεύνησης του χρήστη. Οι διαδραστικές τεχνικές έχουν καθοδηγήσει με επιτυχία τους ειδικούς του τομέα στη σύνθετη εξερεύνηση μεγάλων δικτύων. τα στοιχεία παρουσιάζονται στο χώρο με την ταμπέλα τους και από έναν κύκλο. Τα μεγέθη των δύο συγκεκριμένων παραμέτρων εκπροσωπούν και την ισχύ του αντικειμένου. Όσο πιο μεγάλη είναι τόσο ισχυρότερο από άποψη δυναμικής είναι το αντικείμενο. Οι διαφορετικοί χρωματισμοί κύκλων συμβολίζουν τις διάφορες κλάσεις στο πλαίσιο των οποίων εντάσσονται τα σύνολα των αντικειμένων και οι γραμμές ένωσης των κύκλων αναφέρονται στις συνδέσεις.

- *Απεικόνιση επικάλυψης*: είναι παρεμφερής με την προηγηθείσα και διαφέρει μόνο στο χρώμα των αντικειμένων. Στην περίπτωση αυτή το χρώμα σηματοδοτεί το βάρος του αντικειμένου που είναι δυνατόν να υπολογιστεί είτε ως χρονολογία ή ως βαθμολογία. Τα χρώματα προεπιλογής είναι οι ποικιλίες του μπλε-πράσινου και κίτρινου. Το μπλε συμβολίζει την μικρότερη ισχύ και προσεγγίζοντας το κίτρινο σημειώνεται η μεγαλύτερη δυναμική (είτε πρόκειται για κάποια βαθμολογία, είτε για κάποια εξέλιξη σε βάθος χρόνου)
- *Απεικόνιση πυκνότητας:* παρεμφερής με τις προαναφερόμενες. Η βεντάλια των χρωμάτων που έχει προεπιλεγεί συμπεριλαμβάνει κατηγορίες του μπλε-πράσινου και κίτρινου. Ο κόμβος κίτρινου χρώματος σηματοδοτεί την ισχυρή πυκνότητα στην εν λόγω περιοχής.

4. Ανάλυση Δεδομένων

4.1 Μεθοδολογία

Αυτή η μελέτη εφάρμοσε βιβλιομετρική ανάλυση επιστημονικών δημοσιεύσεων σχετικά με τη διαχείριση της συμφόρησης από το πρωτόκολλο TCP επιλέγοντας τόσο την ποσοτική όσο και την ποιοτική προσέγγιση. Έτσι, διενεργήθηκαν οι ακόλουθες διαδικασίες:

- ✓ Συλλογή δεδομένων από την επιστημονική βάση Scopus
- ✓ Καθαρισμός δεδομένων (π.χ., διαγραφή διπλών εγγραφών)
- ✓ Επιλογή εργαλείων βιβλιομετρικής ανάλυσης
- ✓ Παρουσίαση αποτελεσμάτων σχετικά με:

(1) Χαρτογράφηση συν-συγγραφέων,

(2) Χαρτογράφηση κοινής συγγραφής μεταξύ οργανισμών,

(3) Χαρτογράφηση κοινής συνεργασίας μεταξύ χωρών ,

(4) Χαρτογράφησης συνύπαρξης λέξεων κλειδιών,

(5) ποιοτική ανάλυση περιεχομένου.

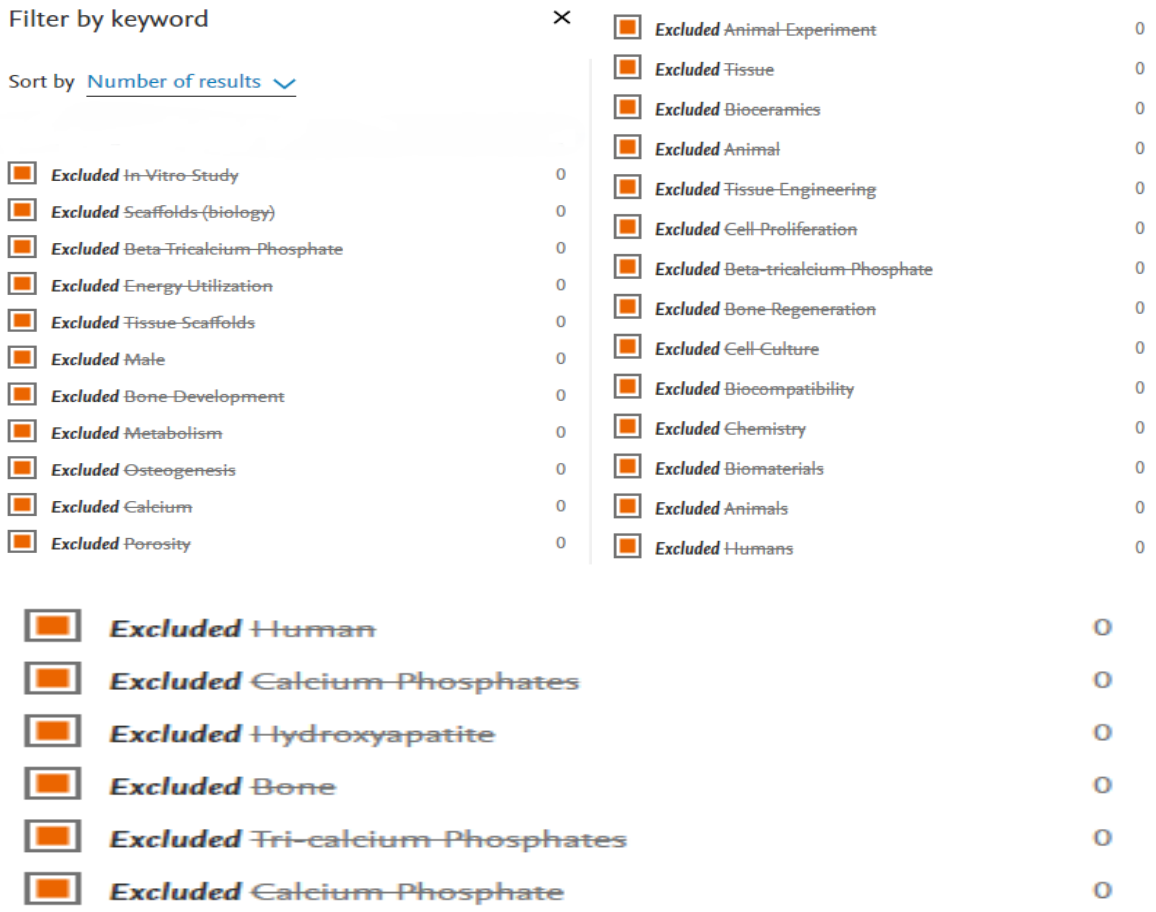
Έγινε βιβλιομετρική ανάλυση χρησιμοποιώντας το VOSviewer και ακολούθησε η ανάλυση περιεχομένου.

Για την συλλογή δεδομένων η βάση δεδομένων Scopus επιλέχθηκε ως λέξη κλειδί το πρωτόκολλο TCP και αναζητήθηκε στη βάση δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήσαμε τις λέξεις-κλειδιά «*data network, congestion, TCP congestion, TCP bbr, TCP reno, TCP variants, TCP bbrv2, TCP cubic, TCP vegas, TCP bbrv3, TCP compound, transmission control protocol, TCP Westwood, TCP red, TCP ecn, TCP new reno, TCP bic*»

Προκειμένου να γίνει κάλυψη μιας ευρείας περιοχής μελετών, δημιουργήθηκε μια αναζήτηση που αντιστοιχεί στους ακόλουθους όρους: *TITLE-ABS-KEY (("data network" AND "congestion") OR "TCP congestion" OR "TCP bbr" OR "TCP reno" OR "TCP variants" OR "TCP bbrv2" OR "TCP cubic" OR "TCP vegas" OR "TCP bbrv3" OR "TCP compound" OR "transmission control protocol" OR "TCP Westwood" OR "TCP red" OR "TCP ecn" OR "TCP new reno" OR "TCP bic")*

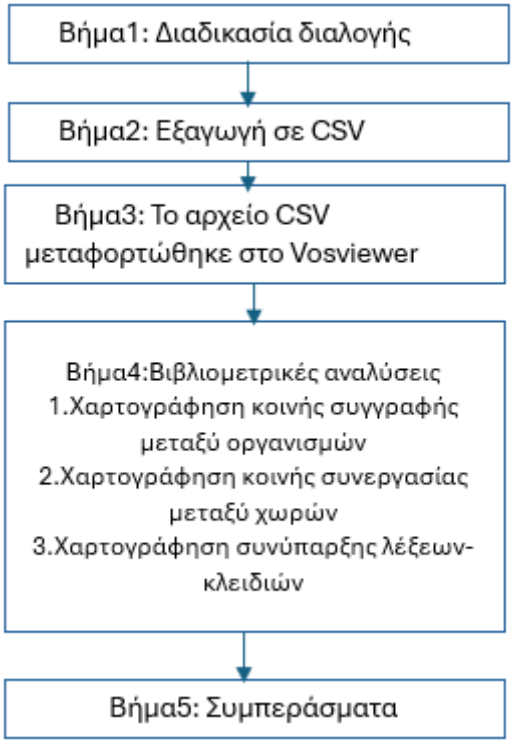
Από την αναζήτηση, που έλαβε χώρα της 15 Μάιου στο Scopus, εντοπίστηκαν συνολικά 20,117 εγγραφές. Ορισμένα αποτελέσματα στα οποία κατέληξε η αναζήτηση δεν

σχετίζονται με το πεδίο της πληροφορικής αλλά αντίθετα σχετίζονται με άλλα επιστημονικά πεδία, όπως για παράδειγμα φυσική, χημεία, μαθηματικά. Για τον λόγο αυτό αποκλείσθηκαν αυτές οι περιοχές ή οι λέξεις κλειδιά και ο αριθμός εγγράφων περιορίστηκε σε 17523. Στην συνέχεια αφαιρέθηκαν οι δημοσιεύσεις οι οποίες δεν είχαν συγγραφείς (περιλήψεις, ανακοινώσεις συνεδρίων, κλπ.)και οι διπλές εγγραφές, οι νέες εγγραφές είναι 17493. Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται οι λέξεις κλειδιά που αφαιρέθηκαν. Επίσης για τον καθαρισμό των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε ο θησαυρός. Ο θησαυρός είναι ένα αρχείο κειμένου το οποίο κάνει καθαρισμό βιβλιογραφικών δεδομένων ή δεδομένων κειμένου για την δημιουργία χάρτη στο λογισμικό VOSviewer. Το αρχείο θησαυρού διαθέτει δύο στήλες, η μία στήλη είναι ετικέτας και η άλλη στήλη είναι αντικατάσταση στήλης.



Εικόνα 4.1 Η εξαγωγή των λέξεων κλειδιών

Οι εργασίες που περιλαμβάνονται σε αυτή τη βιβλιομετρική ανάλυση μετά τον καθαρισμό ήταν 17,493. Μετά τον έλεγχο των δεδομένων, εξήχθησαν σε Common Separated Value (CSV) Excel και ανέβηκε στο VOSviewer για βιβλιομετρικές αναλύσεις.
Τα βήματα εξαγωγής και μετατροπής απεικονίζονται στην Εικόνα 4.2.



Εικόνα 4.2 Βήματα εξαγωγής και μετατροπής

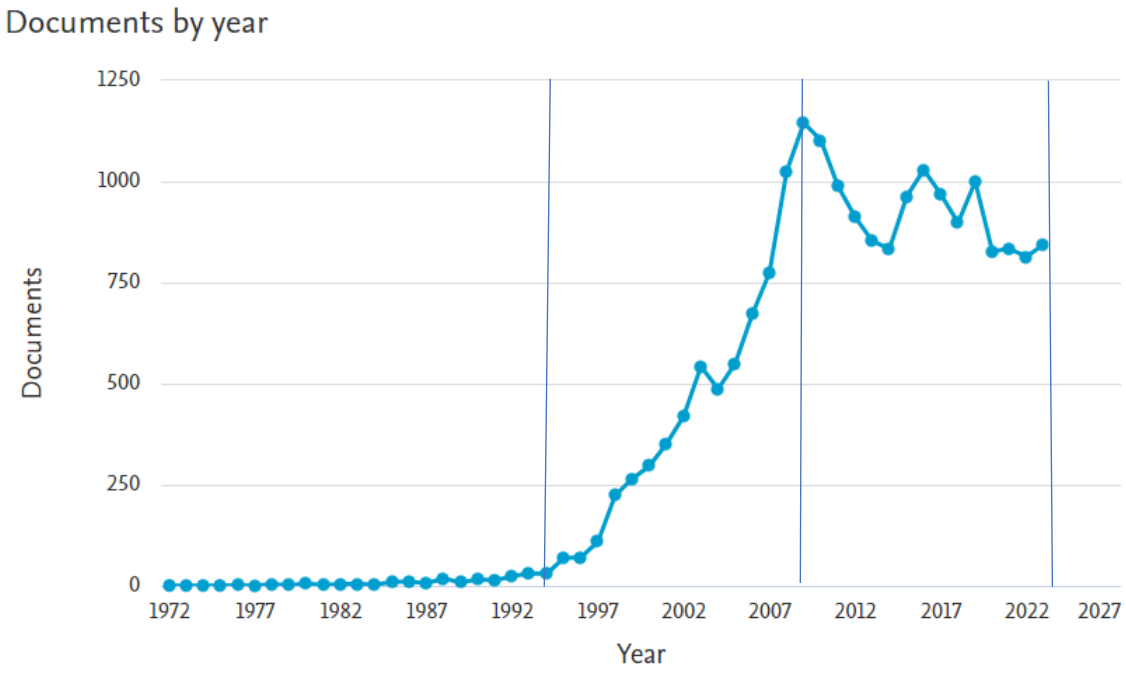
4.2 Ανάλυση απόδοσης

4.2.1 Η εξέλιξη στο χρόνο του επιστημονικού έργου

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων της αναζήτησης των όρων σχετικά με το TCP δείχνει ότι οι ερευνητές ασχολούνται ενεργά με το θέμα από τις αρχές του 1970, που αντιστοιχεί στην εμφάνιση των πρώτων δικτύων έως και το τέλος του 2023. Όπως γίνεται φανερό στην Εικόνα 4.1 η παραγωγή δημοσιεύσεων μπορεί να διακριθεί σε τρεις διαφορετικές περιόδους:

- το αρχικό στάδιο από το 1964 έως το 1993 που το TCP εμφανίζεται ως αντικείμενο μελέτης στην επιστημονική κοινότητα,
- το στάδιο της εξέλιξης από το 1994 και περίπου έως το 2010 όπου παρατηρείται μια εκθετική αύξηση των δημοσιεύσεων

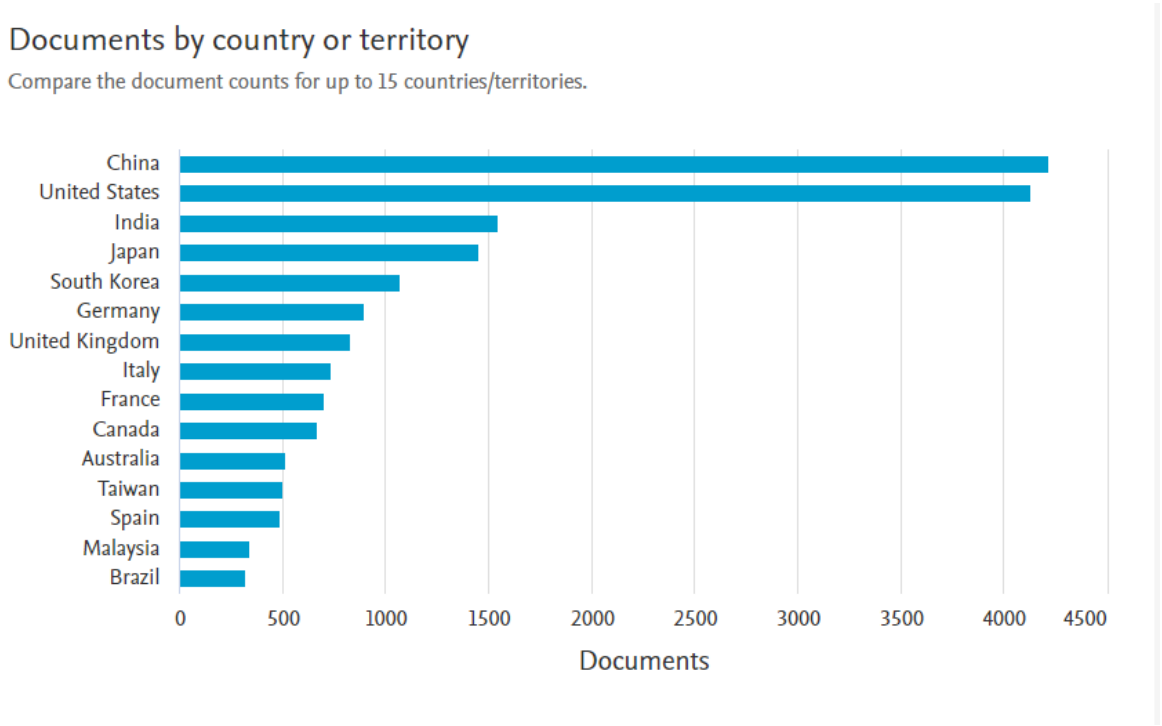
- το στάδιο της ωριμότητας από το 2011 και μετά με το πλήθος των δημοσιεύσεων να σταθεροποιείται.



Εικόνα 4.1: Δημοσιεύσεις με θέμα το TCP από το 1964-2023

4.2.2 Δημοσιεύσεις ανά περιοχή/χώρα

Στο επόμενο διάγραμμα, Εικόνα 4.2, απεικονίζονται οι δημοσιεύσεις ανά χώρα. Η χώρα με τον μεγαλύτερο αριθμό δημοσιεύσεων (4200 δημοσιεύσεις) είναι η Κίνα, και έπονται οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής με 4100 δημοσιεύσεις. Ακολουθούν, η Ινδία και η Ιαπωνία με περίπου 1550 και 1450 δημοσιεύσεις αντίστοιχα, ακολουθούν η Νότια Κορέα με 1050, η Γερμάνια με 900,το Ηνωμένο βασίλειο με 800, η Ιταλία με περίπου 750, η Γαλλία με περίπου 700, ο Καναδάς με 670, η Αυστραλία με 500, η Ταιβάν με 490, η Ισπανία με 480, η Μαλαισία με 400 και η Βραζιλία με περίπου 380.

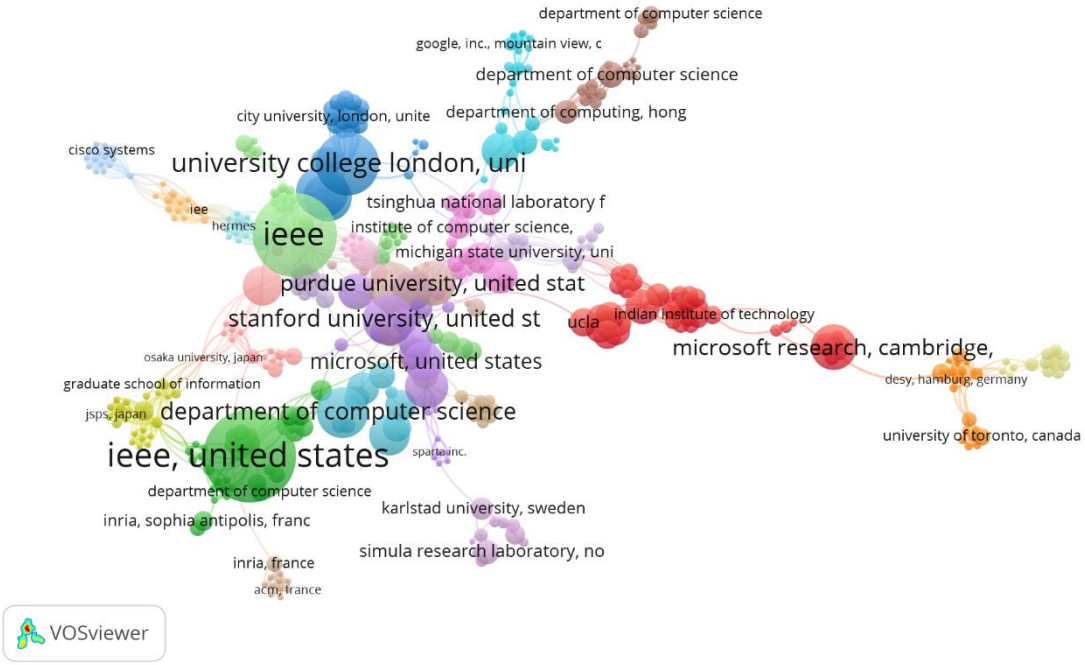


Εικόνα 4.2 Οι χώρες με τις ποιο πολλές δημοσιεύσεις

4.2.3 Χαρτογράφηση συνεργασιών

4.2.3.1 Κοινή συγγραφή μεταξύ οργανισμών (Co- authorship organizations)

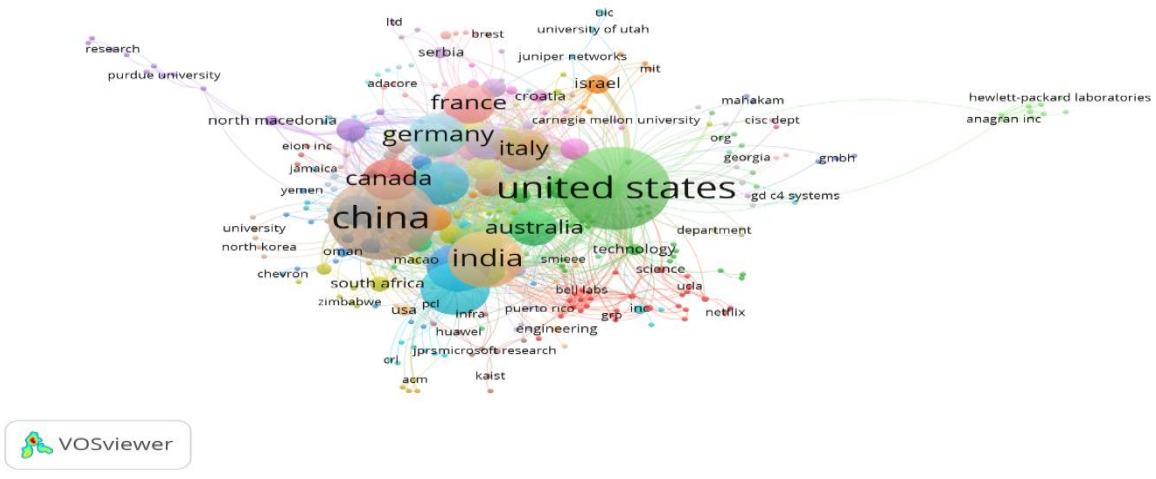
Ο παρακάτω χάρτης (Εικόνα 4.3) δείχνει τις συνεργασίες των οργανισμών της επιστημονικής κοινότητας που εκφράζονται με κοινές δημοσιεύσεις. Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι προεπιλεγμένες του λογισμικού με ελάχιστο αριθμό εγγράφων ενός οργανισμού είναι η τιμή 5, ενώ για τον ελάχιστο αριθμός αναφορών ενός οργανισμού η τιμή 0.



Εικόνα 4.3 Χάρτης κοινής συγγραφής οργανισμών με προεπιλεγμένες τιμές

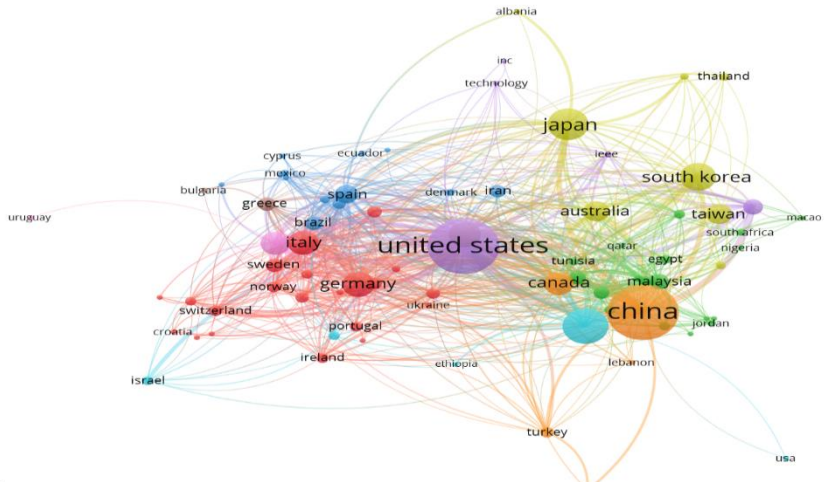
4.2.3.2 Συνεργασίες μεταξύ χωρών

Στις μεθόδους χαρτογράφησης συμπεριλαμβάνεται και η *«χαρτογράφηση κοινής συνεργασίας μεταξύ χωρών»*. Επίκεντρο της μεθόδου αυτής αποτελεί η διερεύνηση των σχέσεων ανάμεσα στις χώρες που συνεργάστηκαν για τη διεξαγωγή μίας επιστημονικής έρευνας. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ο πρωταρχικός χάρτης, όπου έχει γίνει χρήση των προεπιλεγμένων τιμών.



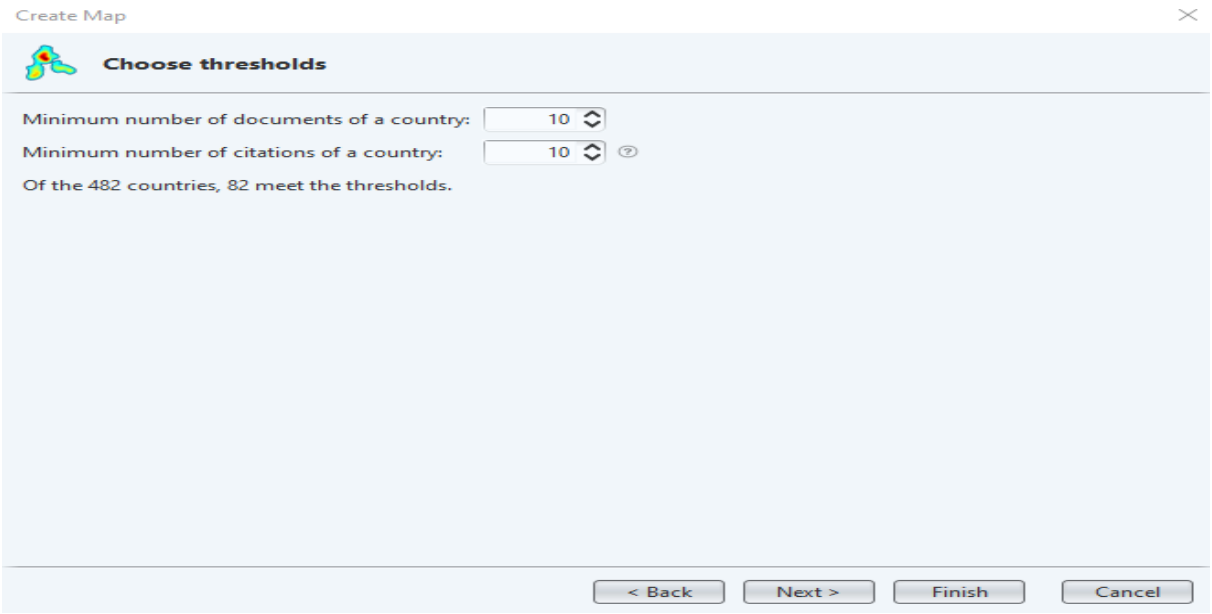
Εικόνα 4.4 Χάρτης που αποτυπώνει τις συνεργασίες χωρών στην παραγωγή δημοσιεύσεων

Κατόπιν πραγματοποιήθηκε αλλαγή της ελάχιστης τιμής των βιβλιογραφικών αναφορών σε 10. Μέσω της επιλογής αυτής, ο χάρτης παρουσιάζεται πιο ευδιάκριτος, καθώς πλέον εστιάζει μόνο στις χώρες που έχουν συνεργαστεί το λιγότερο σε 10 επιστημονικές έρευνες.



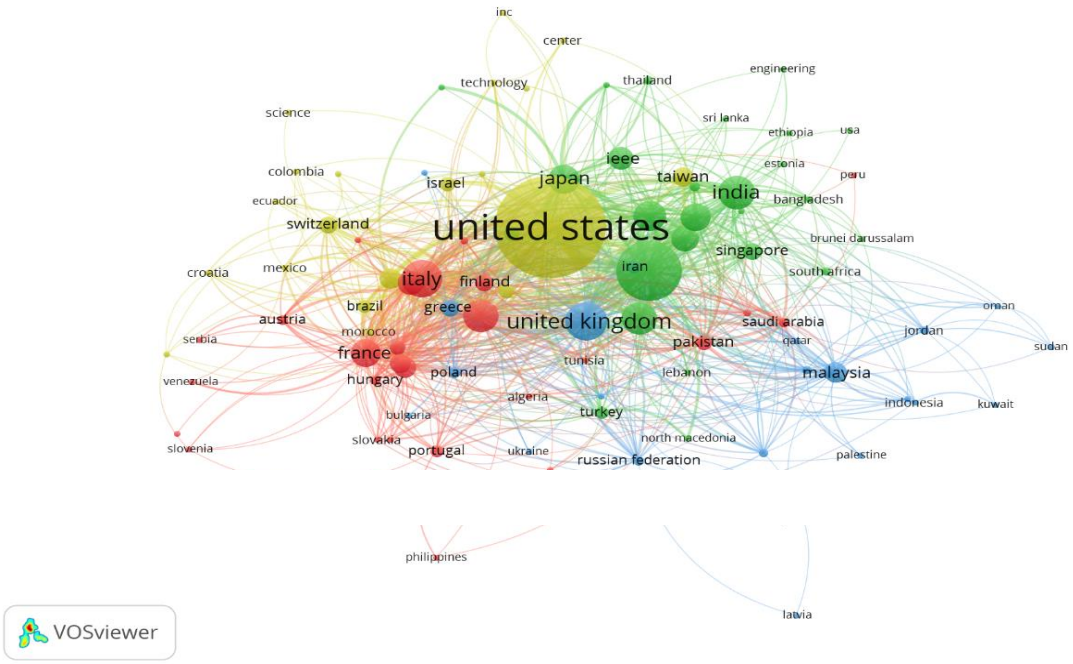
Εικόνα 4.5 Χάρτης Co-authorship countries με τουλάχιστον 10 εμφανίσεις

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε μία ακόμη αλλαγή στις προεπιλεγμένες τιμές. Ειδικότερα, ορίστηκαν σε 10 οι τιμές τόσο στο ελάχιστο πλήθος εγγράφων μίας χώρας, όσο και στο ελάχιστο πλήθος των αναφορών της χώρας αυτής. Όπως γίνεται φανερό και στην παρακάτω εικόνα, μόνο οι 82 από τις 482 χώρες πληρούν τις συγκεκριμένες προϋποθέσεις.



Εικόνα 4.6 Επιλεγμένες τιμές κατωφλίου

Ακολουθεί ο τελικός χάρτης της κοινής συνεργασίας ανάμεσα στις χώρες.

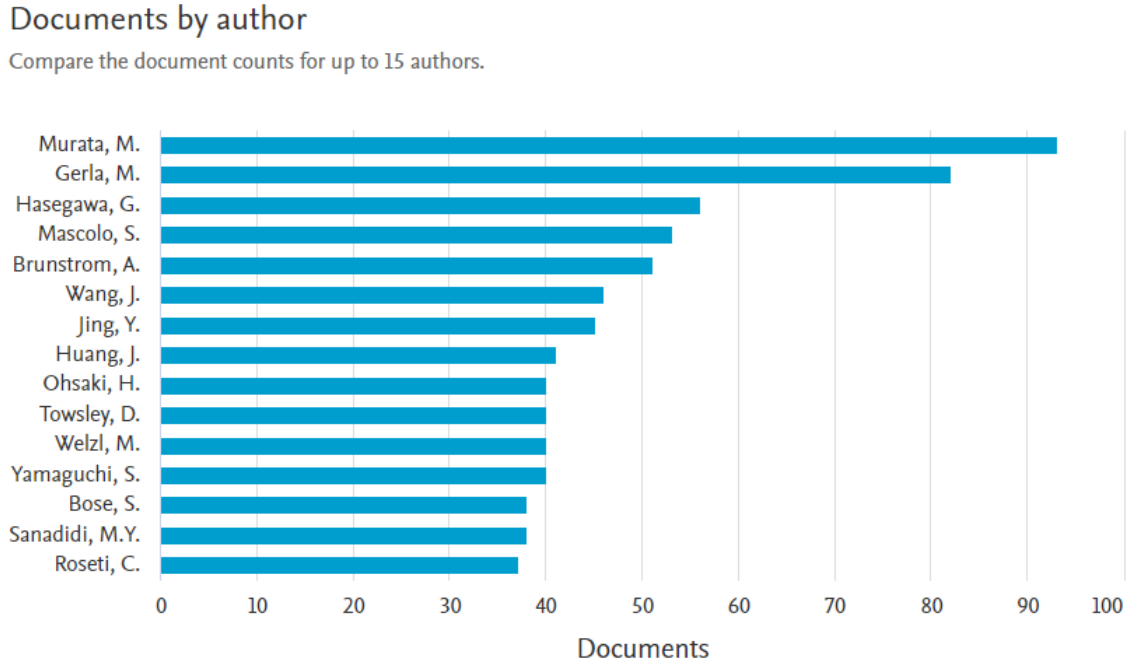


Εικόνα 4.7 Τελικός χάρτης οργανισμών

Για τη διαμόρφωση του τελικού αυτού χάρτη αξιοποιήθηκε η μέθοδος «Fractionalization», η οποία χωρίζει τις συνεργασίες μεταξύ των χωρών σε τμήματα, προκειμένου να εντοπιστούν οι χώρες με τις περισσότερες συνεργασίες. Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε μεταβολή της τιμής «Resolution» σε 5, καθώς όσο μικρότερη παραμένει η συγκεκριμένη τιμή, τόσο μικρότερες παρουσιάζονται οι ομάδες. Παράλληλα, μεταβλήθηκε και η τιμή «Min. Clusterize» σε 11, με αποτέλεσμα να εμφανιστούν μόνο οι σχέσεις των χωρών με τη μεγαλύτερη συχνότητα συνεργασιών.

4.2.4 Συνεισφορά συγγραφέων

4.2.4.1 Παραγωγικότητα συγγραφέων



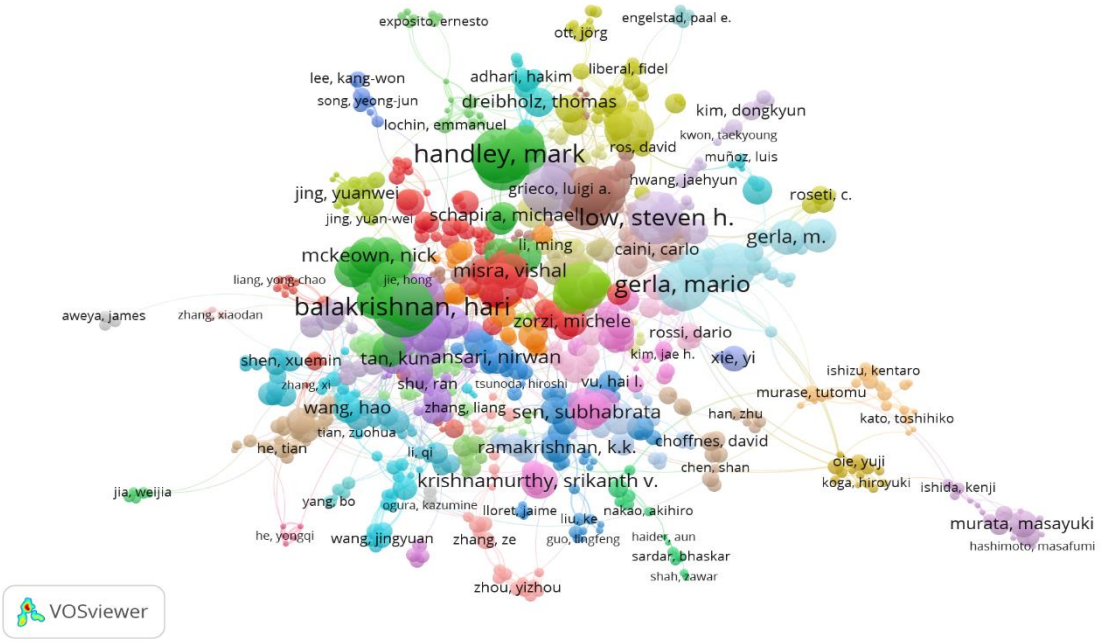
Εικόνα 4.8 Οι 15 συγγραφείς με τις ποιο πολλές δημοσιεύσεις

Το ραβδόγραμμα της Εικόνας 4.8 παρουσιάζει τους 15 πρώτους συγγραφείς ως προς το πλήθος δημοσιεύσεων. Πρώτος συγγραφέας με 93 δημοσιεύσεις είναι ο Murata M. και ακολουθεί ο Gerla M. με 82 δημοσιεύσεις. Ακολουθούν οι υπόλοιποι συγγραφείς που κατατάσσονται στους 10 πρώτους σε δημοσιεύσεις.

4.2.4.2 Χαρτογράφηση συν-συγγραφέων (Co-authorship authors)

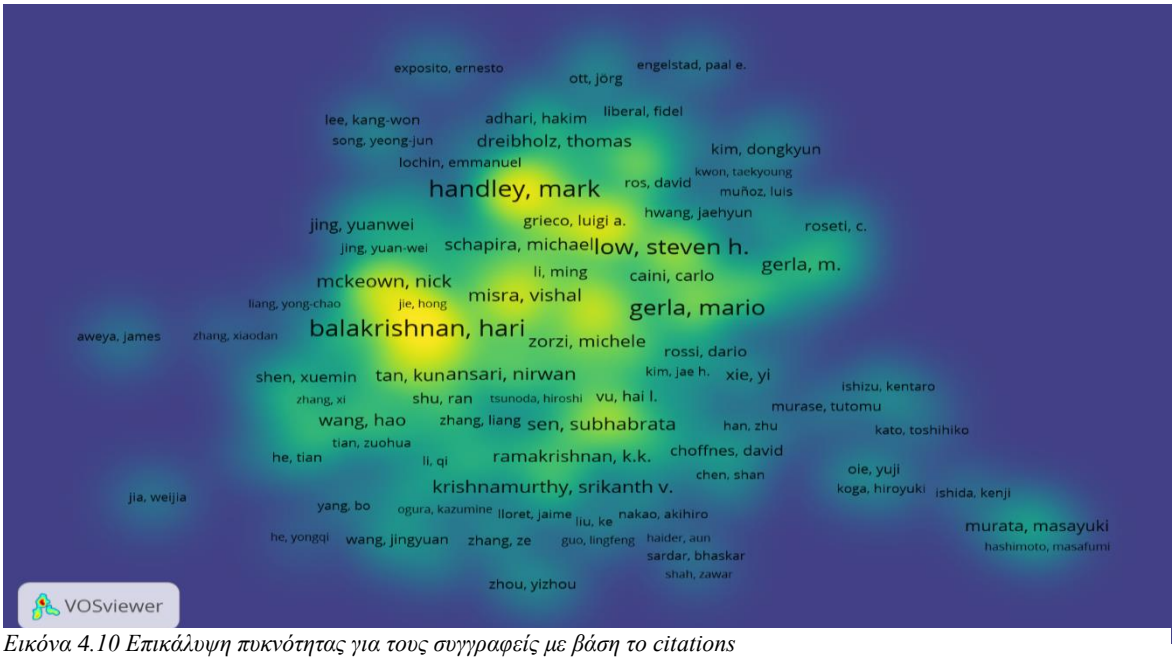
Μία από τις μεθόδους χαρτογράφησης θεωρείται η δημιουργία του χάρτη των συν-συγγραφέων (co-authorship authors). Στον συγκεκριμένο χάρτη διαφαίνονται τα ευρήματα που προέκυψαν από την ανάλυση αναφορικά με την αλληλεπίδραση που παρατηρείται μεταξύ των συγγραφέων. Ειδικότερα, γίνεται φανερή η ύπαρξη πλήθους αλληλεπιδράσεων και συσχετίσεων ανάμεσα στους συγγραφείς, γεγονός που είναι δυνατό να υποδεικνύει την επικέντρωσή τους σε παρόμοιους τομείς έρευνας.

Οι σχέσεις που έχουν ανιχνευθεί παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.9, στο χάρτη αλληλεπίδρασης των συγγραφέων.



Εικόνα 4.9 Χάρτης αλληλεπίδρασης συγγραφέων (Co-authorship authors)

Εκτός από τον βαθμό αλληλεπίδρασης και συσχέτισης των συγγραφέων, γίνονται φανεροί και οι συγγραφείς που χαρακτηρίζονται από τον μεγαλύτερο αριθμό αναφορών. Για τον σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν οι προεπιλεγμένες τιμές του λογισμικού και επιλέχθηκε η οπτικοποίηση πυκνότητας. Οι συγγραφείς αυτοί παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.10.



Εικόνα 4.10 Επικάλυψη πυκνότητας για τους συγγραφείς με βάση το citations

4.2.5 Ταξινόμηση συγγραφέων με βάση τις παραπομπές

4.2.5.1 Απήχηση ανά συγγραφέα

Με κριτήρια τον αριθμό των αναφορών αναδεικνύονται οι συνεγγραφείς που εμφανίζουν την μεγαλύτερη απήχηση στο επιστημονικό πεδίο. Ειδικότερα, με μεγαλύτερη απήχηση είναι ο Balakrishnan Hari με 2993 αναφορές, ακολουθεί με 2573 ο Handley mark, επόμενη είναι η Low Steven H με 2257 αναφορές, πάνω από 1000 αναφορές έχουν επίσης οι Gerla Mario,Padhye Jitendra, Mascolo Saverio με 2133, 2088 και 2017 αναφορές αντίστοιχα. Η απήχηση των συγγραφέων με βάση των αριθμό παραπομπών διαφαίνεται στην εικόνα 4.11 καθώς και στον πίνακα 4.2

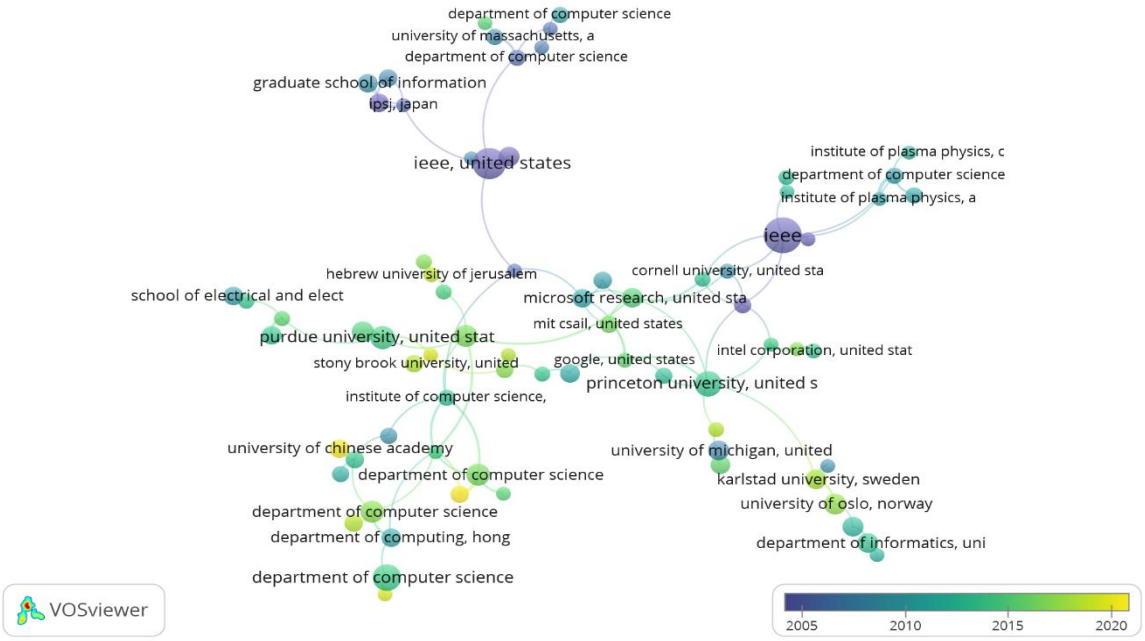
Εικόνα 4.11 Συγγραφείς με πάνω από 1000 αναφορές

Πίνακας 4.2 Ταξινομημένος πίνακας συγγραφέων με βάση τις αναφορές

Author	Citations
Balakrishnan, Hari	2993
Handley, Mark	2573
Low, Steven H.	2257
Gerla, Mario	2133
Padhye, Jitendra	2088
Mascolo, Saverio	2017
Raiciu, Costin	1932
Rhee, Injong	1893
Mo, Jeonghoon	1865
Sanadidi, M.Y.	1807
Katz, Randy H.	1703

Armitage, Grenville	1694
Xu, Lisong	1668
Ha, Sangtae	1622
Towsley, Don	1600
Seshan, Srinivasan	1428
Bonaventure, Olivier	1401
Alizadeh, Mohammad	1372
Wischik, Damon	1151
Yu, F. Richard	1097
Paasch, Christoph	1056
Guo, Chuanxiong	1018
Mckeown, Nick	993
Sen, Subhabrata	924
Misra, Vishal	923
Pan, Rong	919
Chiang, Mung	901
Zhang, Lixia	889
Gerla, M.	886
Krishnamurthy, Srikanth V.	885
Hollot, C.V.	873
Knightly, Edward W.	860
Prabhakar, Balaji	857
Mascolo, S.	842
Ansari, Nirwan	840
Paxson, Vern	838
Wu, Haitao	785
Wang, Ren	783
Cardwell, Neal	778
Spatscheck, Oliver	776
Dukkipati, Nandita	758
Honda, Michio	714
Mao, Z. Morley	707
De Cicco, Luca	695
Winstein, Keith	692
Doyle, John C.	677
Altman, Eitan	673
Cheng, Peng	672
Zhu, Xiaoqing	670
Snoeren, Alex C.	636

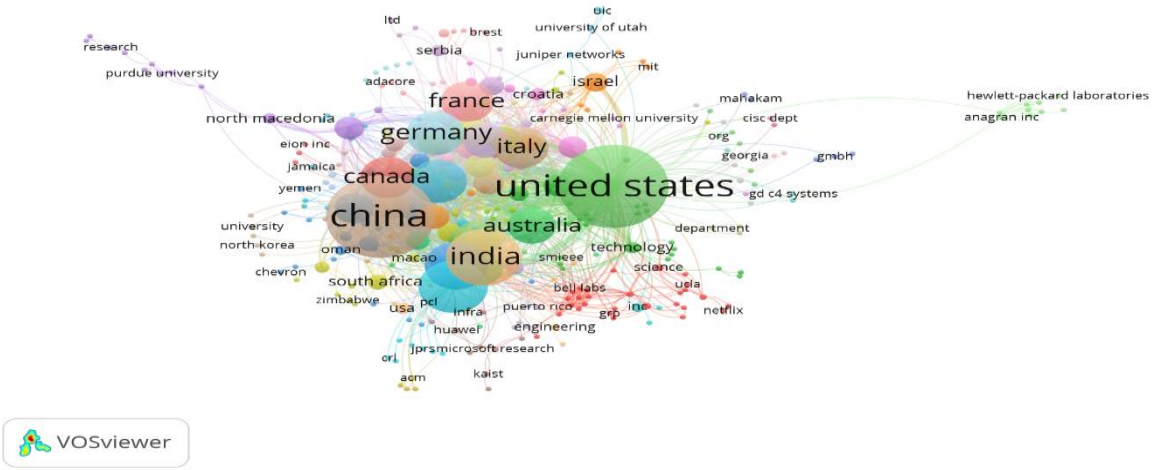
Στην Εικόνα 4.12 φαίνεται ο χάρτης απεικόνισης επικάλυψης μεταξύ συν-συγγραφής και οργανισμών, στον οποίο έχουμε θέσει τον αριθμό 5 στους περιορισμούς(ελάχιστο αριθμό εγγράφων ενός οργανισμού), έτσι ώστε να φαίνονται λιγότερα έγγραφα και λιγότερες αναφορές για κάθε οργανισμό.



Εικόνα 4.12 Χάρτης απεικόνισης επικάλυψης (overlay virtualization)

4.2.5.2 Απήχηση ανά χώρα

Στην Εικόνα 4.13 φαίνεται ο Χάρτης που αποτυπώνει την απήχηση δημοσιεύσεων ανά χώρα. Οι τρείς χώρες με της περισσότερες αναφορές είναι οι Ηνωμένες Πολιτείες με 95271 αναφορές, ακολουθούν η Κίνα με 31227 αναφορές και το Ηνωμένο Βασίλειο με 12975.



Εικόνα 4.13 Χάρτης που αποτυπώνει την απήχηση δημοσιεύσεων ανά χώρα.

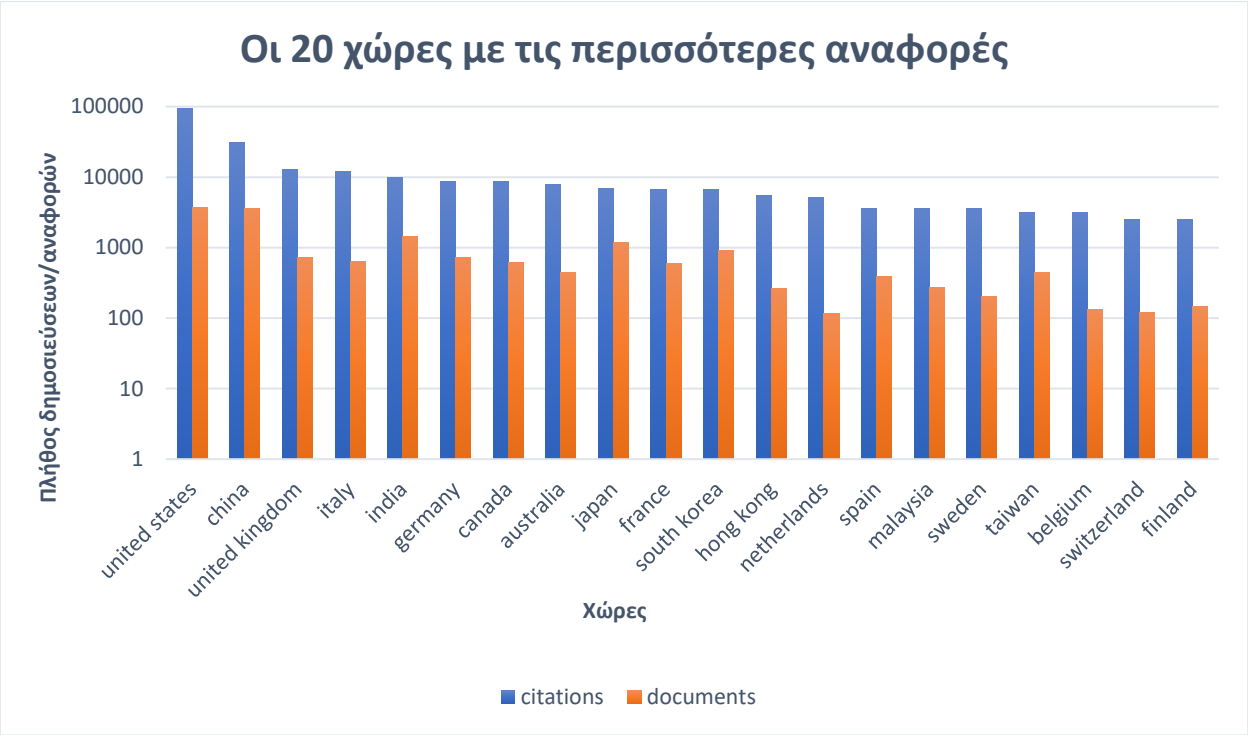
Τα ευρήματα αυτά της ανάλυσης παρατίθενται, επίσης, και στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.3 Χωρών με βάση τα Citations (Αναφορές)

Countries	Documents	Citations	Total link strength
United States	3755	95271	1469
China	3702	31227	895
United Kingdom	722	12975	557
Italy	643	11880	326
India	1458	9963	263
Germany	742	8704	400
Canada	614	8621	315
Australia	452	7783	300
Japan	1178	6928	316
France	605	6674	353
South Korea	928	6640	296
Hong Kong	270	5557	231
Netherlands	119	5057	99
Ieee	43	4221	80
Spain	394	3600	260
Malaysia	281	3598	133
Sweden	206	3570	127
Taiwan	450	3183	68
Belgium	133	3120	97
Switzerland	119	2522	98
Finland	147	2516	76
Singapore	166	2493	94
Greece	192	2360	96

Romania	79	1780	47
Israel	86	1734	51
Ireland	95	1729	78
Pakistan	217	1690	152
Norway	128	1629	103
Iran	176	1538	42
Brazil	213	1381	75
Turkey	130	1238	82
Portugal	112	1185	47
Poland	149	1007	43
Saudi Arabia	109	860	121
Hungary	91	823	57
Austria	82	804	54
New Zealand	90	797	55
Russian Federation	128	691	75
Thailand	74	651	18
Jordan	47	611	30
Iraq	77	601	37
United Arab Emirates	51	536	57
South Africa	47	522	22

Τέλος, στην Εικόνα 4.14 απεικονίζονται οι 20 χώρες με τις περισσότερες αναφορές, συγκριτικά με τον αριθμό των δημοσιεύσεων. Στις πρώτες θέσεις του πίνακα βρίσκονται οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Κίνα και το Ηνωμένο Βασίλειο.



Εικόνα 4.14 Οι 20 χώρες με τις ποιο πολλές αναφορές

4.2.6 Δημοσιεύσεις με υψηλό δείκτη απήχησης

Ο πίνακας 4.4 έχει ταξινομηθεί με γνώμονα το πλήθος των αναφορών δημοσιεύσεων με θέμα το TCP. Αναλυτικότερα, μέσα από τον πίνακα γίνεται φανερό ότι τις περισσότερες αναφορές (1550) έχει η δημοσίευση με τίτλο «Δίκαιος έλεγχος συμφόρησης από άκρο σε άκρο που βασίζεται σε παράθυρο», η οποία έχει δημοσιευτεί το 2000. Η επόμενη δημοσίευση έγινε το 2008 και αφορά μια νέα παραλλαγή του πρωτοκόλλου TCP υψηλής ταχύτητας φιλική προς το TCP με 1406 αναφορές. Ακολουθεί η δημοσίευση με τίτλο «το TCP vegas: από άκρο σε άκρο αποφυγή συμφόρησης σε παγκόσμιο διαδίκτυο», η οποία δημοσιεύτηκε το 1995 και έχει 1284 αναφορές. Στη συνέχεια, περιλαμβάνεται μια έρευνα τεχνικών για την ταξινόμηση της κυκλοφορίας στο Διαδίκτυο με τη χρήση μηχανικής μάθησης, η οποία δημοσιεύτηκε το 2008 και έχει 1280 αναφορές. Η επόμενη δημοσίευση, η οποία χρονολογείται στο 1999, αναφέρεται στην προώθηση της χρήσης του ελέγχου συμφόρησης από άκρο σε άκρο στο Διαδίκτυο με 1226 αναφορές. Ακολουθεί η δημοσίευση για τον έλεγχο και εκτίμησης προβλημάτων σε δίκτυα με απώλειες, η οποία έχει 1177 αναφορές και δημοσιεύτηκε το 2007. Επόμενη δημοσίευση με 1076 αναφορές είναι η μακροσκοπική μελέτη της συμπεριφορά του αλγόριθμου αποφυγής συμφόρησης TCP, η

οποία έχει δημοσιευτεί το 1997. Λιγότερες αναφορές, και πιο συγκεκριμένα 996, έχει η δημοσίευση του 1994, η οποία αναφέρεται στο TCP vegas, με τίτλο «TCP vegas: Νέες τεχνικές για την ανίχνευση και την αποφυγή συμφόρησης». Σε παρόμοια επίπεδα κυμαίνεται τόσο η δημοσίευση του 1997 για τη σύγκριση των μηχανισμών για τη βελτίωση της απόδοσης TCP μέσω ασύρματων συνδέσεων με 926 αναφορές, όσο και η δημοσίευση του 2015 για τον έλεγχο σταθεροποίησης εισροών σε κράτος υπό άρνηση παροχής υπηρεσίας με 906 αναφορές. Ακολουθεί η δημοσίευση για τη μοντελοποίηση απόδοσης TCP Reno: Ένα απλό μοντέλο και η εμπειρική επικύρωσή του 2000 με 885 αναφορές, καθώς και η δημοσίευση για την ανάλυση και τον σχεδιασμό ελεγκτών για δρομολογητές AQM που υποστηρίζουν ροές TCP του 2002 με 769 αναφορές. Με μικρή διαφορά έπεται η δημοσίευση με τίτλο « TCP Westwood: Εκτίμηση εύρους ζώνης για βελτιωμένη μεταφορά μέσω ασύρματων συνδέσεων» του 2001 με 709 αναφορές. Ακολουθούν, με παρόμοιο αριθμό αναφορών, η δημοσίευση του 2003 (686) για τη σχεδίαση πολλαπλών επιπέδων για ασύρματα δίκτυα, η δημοσίευση του 1998 (678) για τη ρητή κατανομή της υπηρεσίας παράδοσης πακέτων βέλτιστης προσπάθειας, η δημοσίευση για τις επιθέσεις δικτύωσης που καθορίζονται από το λογισμικό (SDN) και την κατανεμημένη άρνηση υπηρεσίας (DDOS) σε περιβάλλοντα υπολογιστικού νέφους του 2016 (663) και η δημοσίευση για το κέντρο δεδομένων TCP (DCTCP) του 2010 (647). Μικρότερο αριθμό αναφορών και ειδικότερα 585 έχει η δημοσίευση του 2005 για την εξισορρόπηση των επιπέδων μεταφοράς και των φυσικών επιπέδων σε ασύρματα δίκτυα πολλαπλών δρομολογίων. Έπεται η δημοσίευση του 2003 με τίτλο: «Scalable TCP: Βελτίωση της απόδοσης σε δίκτυα ευρείας περιοχής υψηλής ταχύτητας» με 566 αναφορές, με αμέσως επόμενη την δημοσίευση του 1999 για το RAP, έναν μηχανισμό ελέγχου συμφόρησης με βάση το ρυθμό από άκρο σε άκρο για ροές σε πραγματικό χρόνο στο Διαδίκτυο με 552 αναφορές. Τον μικρότερο αριθμό αναφορών φαίνεται να έχουν δύο δημοσιεύσεις με θέμα το FAST TCP, κίνητρο, αρχιτεκτονική, αλγόριθμοι, απόδοση του 2004 και του 2006, με 551 και 542 αναφορές αντίστοιχα. Το 2011 με αναφορές 525 βρίσκεται η δημοσίευση με τίτλο «Επιθέσεις άρνησης υπηρεσίας σε ασύρματα δίκτυα: Η περίπτωση των επιθέσεων σε ασύρματα δίκτυα έχει 525 αναφορές ενώ την ίδια χρονιά με 516 αναφορές εμφανίζεται η δημοσίευση που αφορά πρωτόκολλα ελέγχου με επίγνωση της εκπνοής της προθεσμίας που είναι προσαρμοσμένο για το περιβάλλον του κέντρου δεδομένων.

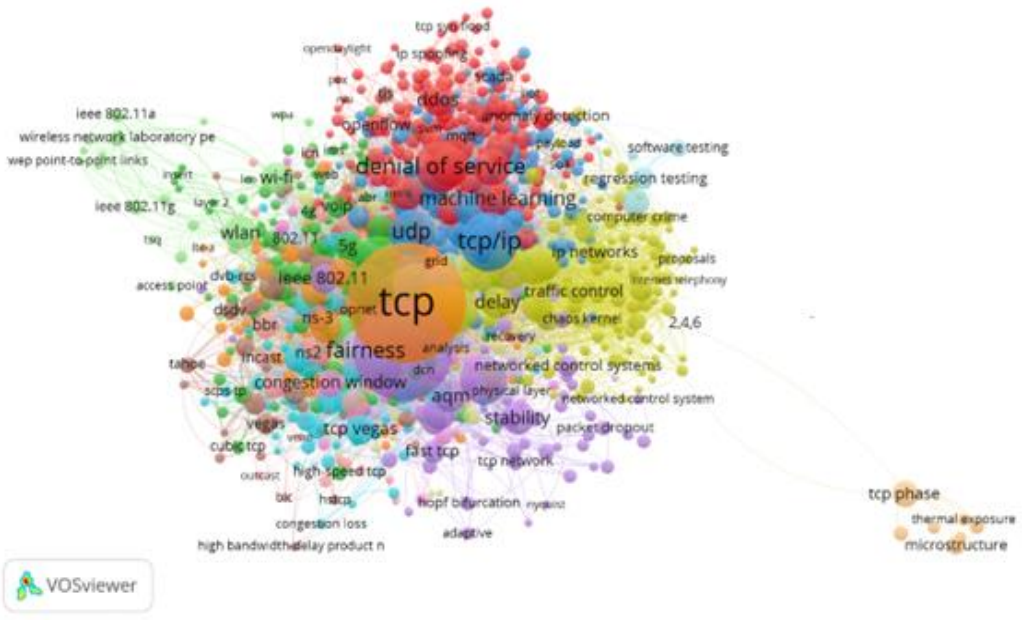
Authors	Year	Title	Cited by
Mo J.; Walrand J.	2000	Fair end-to-end window-based congestion control	1550
Ha S.; Rhee I.; Xu L.	2008	CUBIC: A new TCP-friendly high-speed TCP variant	1406
Brakmo L.S.; Peterson L.L.	1995	TCP Vegas: End to End Congestion Avoidance on a Global Internet	1284
Nguyen T.T.T.; Armitage G.	2008	A survey of techniques for internet traffic classification using machine learning	1280
Floyd S.; Fall K.	1999	Promoting the use of end-to-end congestion control in the Internet	1226
Schenato L.; Sinopoli B.; Franceschetti M.; Poolla K.; Sastry S.S.	2007	Foundations of control and estimation over lossy networks	1177
Mathis M.; Semke J.; Mahdavi J.; Ott T.	1997	The macroscopic behavior of the TCP congestion avoidance algorithm	1076
Brakmo L.S.; O'Malley S.W.; Peterson L.L.	1994	TCP vegas: New techniques for congestion detection and avoidance	996
Balakrishnan H.; Padmanabhan V.N.; Seshan S.; Katz R.H.	1997	A comparison of mechanisms for improving TCP performance over wireless links	926
De Persis C.; Tesi P.	2015	Input-to-state stabilizing control under denial-of-service	906
Padhye J.; Firoiu V.; Towsley D.F.; Kurose J.F.	2000	Modeling TCP Reno performance: A simple model and its empirical validation	885
Hollot C.V.; Misra V.; Towsley D.; Gong W.	2002	Analysis and design of controllers for AQM routers supporting TCP flows	769
Mascolo S.; Casetti C.; Gerla M.; Sanadidi M.Y.; Wang R.	2001	TCP Westwood: Bandwidth estimation for enhanced transport over wireless links	709
Shakkottai S.; Rappaport T.S.; Karlsson P.C.	2003	Cross-layer design for wireless networks	686
Clark D.D.; Fang W.	1998	Explicit allocation of best-effort packet delivery service	678
Yan Q.; Yu F.R.; Gong Q.; Li J.	2016	Software-defined networking (SDN) and distributed denial of service (DDOS) attacks in cloud computing environments: A survey, some research issues, and challenges	663
Alizadeh M.; Greenberg A.; Maltz D.A.; Padhye J.; Patel P.; Prabhakar B.; Sengupta S.; Sridharan M.	2010	Data Center TCP (DCTCP)	647
Chiang M.	2005	Balancing transport and physical layers in wireless multihop networks: Jointly optimal congestion control and power control	585
Kelly T.	2003	Scalable TCP: Improving performance in highspeed wide area networks	566
Rejaie R.; Handley M.; Estrin D.	1999	RAP: An end-to-end rate-based congestion control mechanism for realtime streams in the Internet	552
Jin C.; Wei D.X.; Low S.H.	2004	FAST TCP: Motivation, architecture, algorithms, performance	551
Wei D.X.; Jin C.; Low S.H.; Hegde S.	2006	FAST TCP: Motivation, architecture, algorithms, performance	542
Pelechrinis K.; Iliofotou M.; Krishnamurthy S.V.	2011	Denial of service attacks in wireless networks: The case of jammers	525
Wilson C.; Ballani H.; Karagiannis T.; Rowstron A.	2011	Better never than late: Meeting deadlines in datacenter networks	516

Πίνακας 4.4 Δημοσιεύσεις με υψηλό δείκτη απήχησης

4.3 Ανάλυση περιεχομένου

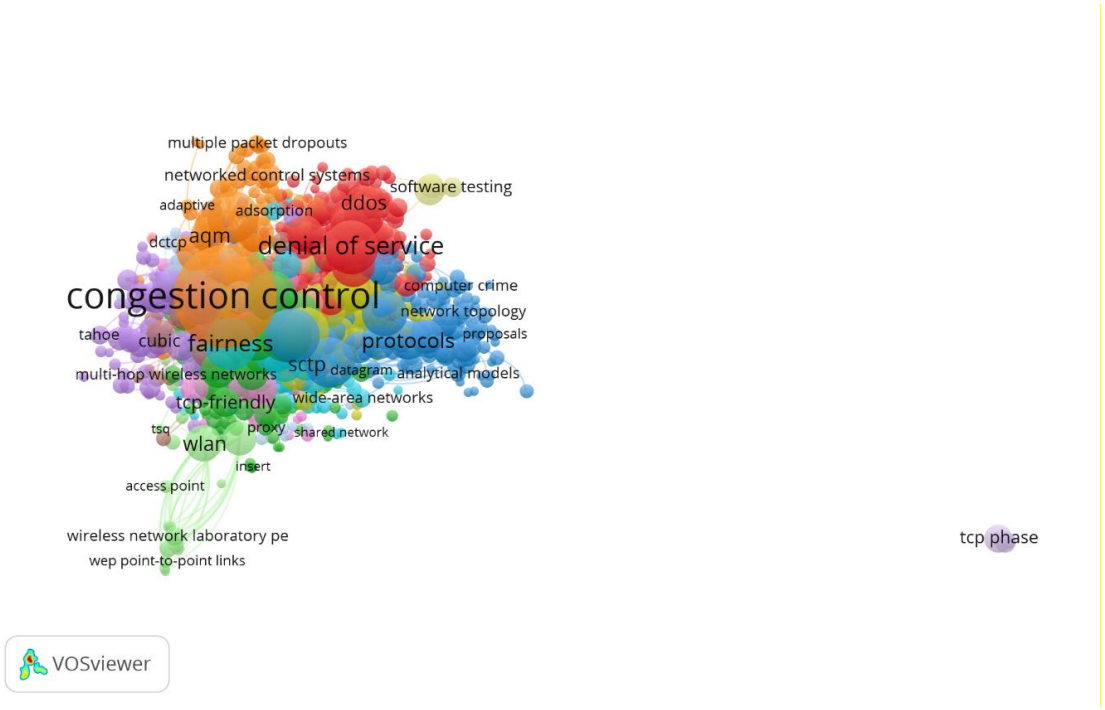
4.3.1 Χαρτογράφηση συνύπαρξης λέξεων-κλειδιών (Co-occurrence of Author of key-words)

Μέσω της μελέτης και της χαρτογράφησης των λέξεων κλειδιών θα επιχειρηθεί η προσέγγιση της παρούσας κατάστασης του πρωτοκόλλου TCP και των εκδοχών του. Ειδικότερα, θα πραγματοποιηθεί άντληση ενός εύρους λέξεων κλειδιών από διάφορες επιστημονικές δημοσιεύσεις. Στην εικόνα 4.15 απεικονίζεται το δίκτυο που σχηματίζεται από τη συνύπαρξη των λέξεων κλειδιών που ορίστηκαν από τους συγγραφείς. Από τις 23.253 λέξεις-κλειδιά συνολικά επιλέχθηκαν αυτές που η συχνότητα εμφάνισης είναι τουλάχιστον 5 με αποτέλεσμα στο γράφημα να εμφανίζονται μόνο οι 1.384 λέξεις. Στο γράφημα διακρίνονται ομάδες λέξεων με διαφορετικό χρώμα, όπως λέξεις κλειδιά σχετικές με τη διαχείριση δικτύων (μωβ χρώμα), τη μεταφορά δεδομένων στο διαδίκτυο (κίτρινο χρώμα), την ασφάλεια (κόκκινο χρώμα), την αποφυγή συμφόρησης (πορτοκάλι χρώμα) με την λέξη κλειδί πρωτόκολλο TCP να έχει τις περισσότερες εμφανίσεις , και τα ασύρματα δίκτυα (πράσινο χρώμα).



Εικόνα 4.15 Βιβλιογραφικός χάρτης λέξεων κλειδιών

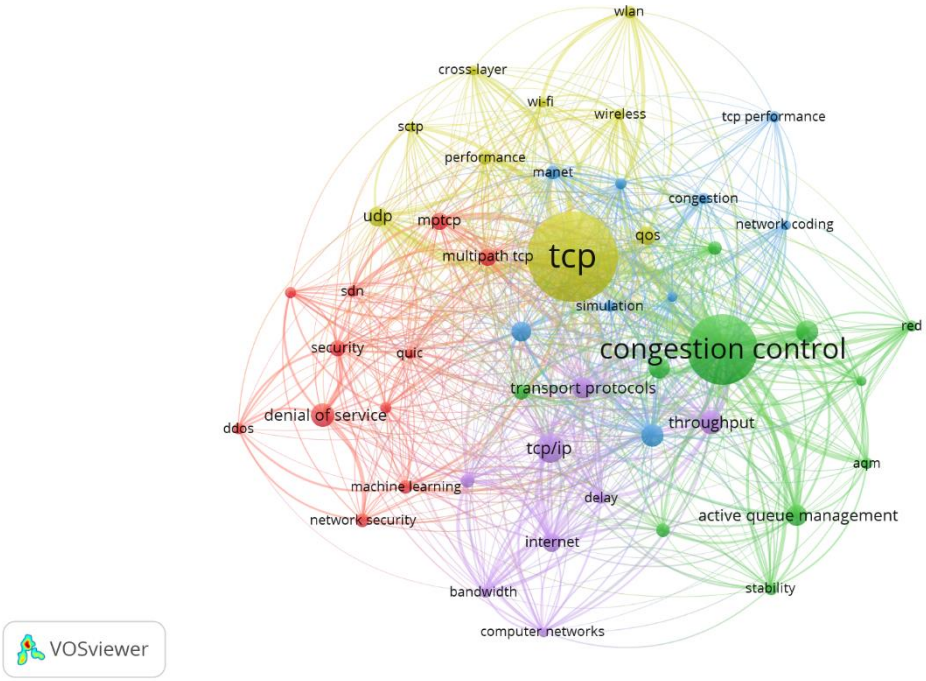
Στην Εικόνα 4.16 αφαιρέθηκε από το γράφημα η λέξη κλειδί TCP η οποία είναι η μεγαλύτερη σε δυναμικότητα για να δειχτούν οι υπόλοιπες κατηγορίες, παρατηρήθηκε ότι η επόμενη σε δυναμικότητα λέξη κλειδί είναι η συμφόρηση (congestion control)



Εικόνα 4.16 Η επόμενη σε δυναμικότητα λέξη "congestion control"

Όπως θα δούμε και παρακάτω, οι κύκλοι με τα διαφορετικά χρώματα που υπάρχουν στον χάρτη ονομάζονται clusters, με το μέγεθος κάθε κύκλου να αναπαριστά τη δύναμη που έχουν οι λέξεις κλειδιά και τις γραμμές να απεικονίζουν τις υπάρχουσες συνδέσεις.

Στην Εικόνα 4.17, παρατηρείται ο ίδιος χάρτης, με τροποποιημένη, ωστόσο, αυτή την φορά μια από τις προεπιλεγμένες τιμές. Ο ελάχιστος αριθμός εμφάνισης, στην προκειμένη περίπτωση, ορίστηκε στο 100, ώστε αφενός το αρχικό πλήθος των δεδομένων να είναι πιο περιορισμένο, αφετέρου η ανάλυση να δώσει έμφαση σε σημαντικότερες αναφορές.



Εικόνα 4.17 Βιβλιογραφικός χάρτης λέξεων κλειδιών με φιλτράρισμα

Ο χάρτης που διαμορφώθηκε παρουσιάζει 5 cluster όπως διακρίνονται παρακάτω που αφορούν την ασφάλεια (Cluster1), έλεγχος συμφόρησης (Cluster2), απόδοση του πρωτοκόλλου και μετρικές απόδοσης, ασύρματα δίκτυα.

- Cluster 1: Το πρώτο cluster έχει χρώμα κόκκινο και εστιάζει στην διαχείριση των δικτύων. Αναλυτικότερα, περιλαμβάνει λέξεις οι οποίες αφορούν την διαχείριση δικτύου, την ασφάλεια δικτύου, αλλά και την επεξεργασία δεδομένων. Ορισμένες από τις λέξεις αυτές είναι οι ddos, mpTCP, sdn,, machine learning και network security.
- Cluster 2: Το δεύτερο cluster εμφανίζεται με χρώμα πράσινο και περιλαμβάνει λέξεις, οι οποίες σχετίζονται τόσο με τον έλεγχο και την αποφυγή της συμφόρησης, όσο και με την δικαιοσύνη, την αξιολόγηση της απόδοσης και τον έλεγχο της μετάδοσης. Στις λέξεις αυτές συγκαταλέγονται οι aqm, congestion control, fairness, performance evulation και transmission control protocol.
- Cluster 3: Το τρίτο cluster διακρίνεται με χρώμα μπλε και αποτελείτε από λέξεις που εμφανίζουν συσχέτιση τόσο με τα ασύρματα και τα ad-hoc δίκτυα, με κωδικοποίηση δικτύου και την προσομοίωση. Ορισμένες απ’ αυτές τις λέξεις είναι ad-hoc networks, manet, network coding και wireless networks.

- Cluster 4: Το τέταρτο cluster διαφαίνεται στον χάρτη με το χρώμα κίτρινο. Στο συγκεκριμένο σύμπλεγμα παρατηρείτε έντονα ο κύκλος με το πρωτόκολλο TCP, ο οποίος είναι μεγαλύτερος, διότι παρουσιάζει περισσότερη δυναμικότητα. Το cluster 4 περιλαμβάνει λέξεις όπως είναι το performance, qos, sctp, udp, οι οποίες σχετίζονται με την εκτέλεση, την μέτρηση της συνολικής απόδοσής μιας υπηρεσίας, με πρωτόκολλα δικτύωσης υπολογιστών στο επίπεδο μεταφοράς, επίπεδο ελέγχου μετάδοσης και πρωτόκολλο επικοινωνίας(αποστολή μηνυμάτων).
- Cluster 5: Το τελευταίο cluster παρουσιάζεται με χρώμα μωβ. Σε αυτό το cluster οι λέξεις περιστρέφονται γύρο από το εύρος ζώνης (bandwidth), τα δίκτυα υπολογιστών (computer networks), την καθυστέρηση (delay), το πρωτόκολλο TCP/ip, καθώς και την διακίνηση (throughput).

Πίνακας 4.5 Πληροφορίες λέξεων κλειδιών ταξινομημένος με βάση το tolal link strength

Keyword	Occurrences	Total link strength	Cluster
TCP	2420	2149	4
congestion control	1665	1667	2
Throughput	356	517	5
Fairness	315	429	2
wireless networks	306	408	3
transport protocols	289	387	5
Udp	262	378	4
active queue management	302	335	2
Internet	234	333	5
TCP/ip	462	315	5
Qos	236	257	4
Protocols	155	228	5
Delay	122	220	5
transmission control protocol	280	218	3
Bandwidth	108	211	5
Manet	166	206	3
Performance	158	192	4
MpTCP	220	187	1
transmission control protocol (TCP)	289	186	2
Red	117	181	2
Security	196	173	1
Wireless	127	171	4
denial of service	341	169	1
performance evaluation	155	169	2
Stability	131	168	2

Aqm	125	165	2
Congestion	124	151	3
quality of service	171	151	2
ad hoc networks	125	150	3
multipath TCP	231	148	1
computer networks	102	146	5
Wlan	131	137	4
wi-fi	110	132	4
cross-layer	101	120	4
Simulation	112	117	3
Sdn	126	114	1
Quic	102	112	1
machine learning	155	110	1
internet of things	121	108	1
TCP vegas	102	105	2
network coding	100	104	3
mobile ad hoc networks	104	103	3
Sctp	109	101	4
network security	163	100	1
wireless sensor networks	113	89	1
TCP congestion control	160	81	2
Ddos	114	73	1
TCP performance	116	61	3

5. Συμπεράσματα

Επίκεντρο της παρούσας πτυχιακής εργασίας αποτέλεσε η ανάλυση και η ερμηνεία του τεράστιου όγκου των επιστημονικών δημοσιεύσεων σχετικά με το TCP και τους νέους μηχανισμούς για τον έλεγχο της συμφόρησης. Αναλυτικότερα, αξιοποιήθηκε η μέθοδος της βιβλιομετρικής ανάλυσης, με σκοπό την αποτύπωση της συνολικής εικόνας του υπό μελέτη επιστημονικού πεδίου, τη συγκέντρωση γνώσεων, την ανάδειξη τυχόν ερευνητικών κενών, καθώς και τον εντοπισμό νέων προτάσεων για περαιτέρω έρευνα. Τα δεδομένα εξήχθησαν από τη βιβλιογραφική βάση SCOPUS και στη συνέχεια με γνώμονα συγκεκριμένες λέξεις κλειδιά και τεχνικές βιβλιομετρικής ανάλυσης, αναδείχθηκε η εξέλιξη στον χρόνο του επιστημονικού πεδίου, εντοπίστηκαν οι επιστημονικές δημοσιεύσεις ανά χώρα/περιοχή, αναδείχθηκε η συνεισφορά των συγγραφέων, καθώς και η ανάλυση των ερευνητικών τάσεων.

Αναφορικά με την εξέλιξη στον χρόνο του επιστημονικού πεδίου γύρω από το TCP και τον έλεγχο συμφόρησης, έγινε φανερό ότι διακρίνεται σε τρία στάδια. Αρχικό στάδιο αποτέλεσε η περίοδος από το 1964 έως το 1993, όπου το TCP εμφανίζεται ως αντικείμενο μελέτης στην επιστημονική κοινότητα. Ακολούθησε το στάδιο της εξέλιξης από το 1994 και περίπου έως το 2010, όπου παρατηρείται μια εκθετική αύξηση των δημοσιεύσεων· μία αύξηση που πιθανότατα να σχετίζεται με την ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας. Σε τελικό στάδιο αναδείχθηκε αυτό της ωριμότητας, από το 2011 και μετά, με το πλήθος των δημοσιεύσεων να σταθεροποιείται.

Όσον αφορά τον εντοπισμό των επιστημονικών δημοσιεύσεων ανά περιοχή/ χώρα, οι περισσότερες δημοσιεύσεις συναντώνται στην Κίνα και στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, γεγονός που υποδηλώνει το μεγάλο ενδιαφέρον των χωρών αυτών για την εξέλιξη των δικτύων και την τεχνολογική ανάπτυξη.

Αναφορικά με την ανάδειξη των επιστημόνων που έχουν συνεισφέρει σημαντικά στο ερευνητικό πεδίο, διαπιστώθηκε η σημαντική απήχηση του συγγραφέα H. Balakrishnan, ο οποίος μάλιστα έχει χρησιμοποιηθεί ως βιβλιογραφική αναφορά εμφανίζεται 2.993 φορές. Υψηλή απήχηση, παράλληλα, παρουσίασαν και οι M. Handley και S. H. Low, με 2.573 και 2.257 βιβλιογραφικές αναφορές αντίστοιχα.

Με βάση τις βιβλιογραφικές αναφορές, διαπιστώθηκε και η επιστημονική συνεισφορά των χωρών πάνω στο υπό μελέτη ερευνητικό πεδίο. Υψηλότερη απήχηση παρουσίασαν οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής με 3.755 μελέτες και 95.271 αναφορές

συνολικά. Ακολούθησε η Κίνα με παρόμοιο όγκο μελετών (3.702), αλλά τις υποτριπλάσιες βιβλιογραφικές αναφορές (31.227). Διαφάνηκε ως εκ τούτου η σημασία της χώρας προέλευσης σχετικά με την απήχηση των αναφορών.

Συγχρόνως, με κριτήριο τις βιβλιογραφικές αναφορές, διαφάνηκαν και οι δημοσιεύσεις με την μεγαλύτερη απήχηση. Πρώτη θέση φάνηκε να καταλαμβάνει η δημοσίευση με τίτλο «Δίκαιος έλεγχος συμφόρησης από άκρο σε άκρο που βασίζεται σε παράθυρο», η οποία έχει δημοσιευτεί το 2000, με 1550 αναφορές. Ακολούθησε μία δημοσίευση του 2008 σχετικά με μία νέα παραλλαγή του πρωτοκόλλου TCP υψηλής ταχύτητας φιλική προς το TCP, με 1406 αναφορές.

Αναφορικά με την ανάλυση των ερευνητικών τάσεων, διαπιστώθηκε ότι το μεγαλύτερο επιστημονικό ενδιαφέρον περιστρέφεται τόσο γύρω από τον έλεγχο και την αποφυγή της συμφόρησης, όσο και με την απόδοση του πρωτοκόλλου. Άλλα ζητήματα που ενδιαφέρουν τους ερευνητές φάνηκε να είναι η ασφάλεια των δικτύων και τα ασύρματα δίκτυα.

Συνοψίζοντας διαπιστώνεται ότι οι νέοι μηχανισμοί στην διαχείριση της συμφόρησης αποτελούν ένα φλέγον ερευνητικό ζήτημα, με το οποίο ενασχολούνται ασταμάτητα τις τελευταίες δεκαετίες οι ερευνητές. Πρωτεία στην μελέτη του ερευνητικού πεδίου κρατούν οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και η Κίνα, όχι μόνο με υψηλό αριθμό δημοσιεύσεων, αλλά και με υψηλή απήχηση, ενώ σε κεντρική ερευνητική τάση ανάγεται η αποφυγή και ο έλεγχος της συμφόρησης.

6. Βιβλιογραφία

Abbasloo, S., Xu, Y., & Chao, H. J. (2019). C2TCP: A flexible cellular TCP to meet stringent delay requirements. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 37*(4), 918-932.

Comer, E. D. (2014). *Δίκτυα και διαδίκτυα υπολογιστών.* Κλειδάριθμος.

Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of business research, 133*, 285-296

Forouzan, B. A. (2022). *Data communications and networking : with TCP/IP protocol suite* (Sixth edition. International student edition). McGraw-Hill.

Goralski, W. (2017). *The illustrated network : how TCP/IP works in a modern network* (Second edition). Morgan Kaufmann.

https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=web+of+science

https://www.sciencedirect.com/

https://scholar.google.com/

https://www.scopus.com/home.uri

Van Eck, N.J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. Scientometrics, 84(2), 523–538. 35

Van Eck, N.J., & Waltman, L. (2014). Visualizing bibliometric networks. In Y. Ding, R. Rousseau, & D. Wolfram (Eds.), Measuring scholarly impact: Methods and practice (pp. 285–320). Springer.

Stevens, W. R., & Fall, K. W. (2012). *TCP/IP illustrated. Volume 1, The protocols* (2nd ed). Addison-Wesley.

Tanenbaum, A. S., & Wetherall, D. (2011). *Computer networks* (5th ed). Pearson Prentice Hall.

Van Eck, N., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *scientometrics, 84*(2), 523-538.

Atxutegi, E., Liberal, F., Haile, H. K., Grinnemo, K. J., Brunstrom, A., & Arvidsson, A. (2018). On the use of TCP BBR in cellular networks. *IEEE Communications Magazine, 56*(3), 172-179.

Casetti, C., Gerla, M., Mascolo, S., Sanadidi, M. Y., & Wang, R. (2002). TCP Westwood: end-to-end congestion control for wired/wireless networks. *Wireless Networks, 8*, 467-479.

Floyd, S., Jacobson, V. (1993). *Random Early Detection (RED) gateways for Congestion Avoidance. IEEE/ACM Transactions on Networking. 1* (4): 397–413. CiteSeerX 10.1.1.147.3833. doi:10.1109/90.251892. S2CID 221977646. Retrieved 2008-03-16.

Ha, S., Rhee, I., & Xu, L. (2008). CUBIC: a new TCP-friendly high-speed TCP variant. *ACM SIGOPS operating systems review, 42*(5), 64-74.

Hafner, K. (2019). Sally Floyd, Who Helped Things Run Smoothly Online, Dies at 69. The New York Times.

Kühlewind, M., Neuner, S., & Trammell, B. (2013). On the State of ECN and TCP Options on the Internet. In *International conference on passive and active network measurement* (pp. 135-144). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Rhee, I., & Xu, L. (2005). CUBIC: A new TCP-friendly high-speed TCP variant. *In Proc. PFLDnet* (Vol. 2005).

Tan, K., Song, J., Zhang, Q., & Sridharan, M. (2006). A compound TCP approach for high-speed and long distance networks. *In Proceedings-IEEE INFOCOM*.

Van Eck, N., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *scientometrics, 84*(2), 523-538

Batagelj, M. (1998). *Pajek - program for large network analysis. Connections 21* (4)

Adar, E. (2006). Guess: a language and interface for graphexploration. In *CHI '06: Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in computing systems*, 791–800.

Perer, S. (2006). Balancing systematic and flexible exploration of social networks. Visualization and Computer Graphics, *IEEE Transactions on 12*(5):693–700

Shannon, M. O. et. al (2003). Cytoscape: a software environment for integrated models of biomolecular interaction networks. *Genome Res 13*(11):2

Van Eck, N., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *scientometrics, 84*(2), 523-538

https://www.geeksforgeeks.org/basic-concept-of-TCP-vegas/

https://www.geeksforgeeks.org/TCP-congestion-control-algorithms-reno-new-reno-bic-cubic/