



**ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΔΙΠΛΩΜΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ (MSc)
στα ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Σχεδιασμός και Αποτίμηση Αρχιτεκτονικής
Δικτύωσης Βασισμένης στο Περιεχόμενο»**

**Δημήτριος Μακρής
M3090015**

ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2011

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΔΙΠΛΩΜΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ (MSc)
στα ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Σχεδιασμός και Αποτίμηση Αρχιτεκτονικής
Δικτύωσης Βασισμένης στο Περιεχόμενο»**

Δημήτριος Μακρής
M3090015

Επιβλέπων Καθηγητής: Γεώργιος Ξυλωμένος
Εξωτερικός Κριτής: Γεώργιος Πολύζος

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2011

Ελληνική Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο σχεδιασμός και η αξιολόγηση μιας προτεινόμενης αρχιτεκτονικής δικτύωσης βασισμένης στο περιεχόμενο. Πιο συγκεκριμένα επικεντρωνόμαστε στην ανάλυση και αποτίμηση της διαδικασίας εκκίνησης ενός δικτύου βασισμένου στην πληροφορία, το οποίο ακολουθεί το publish/subscribe παράδειγμα.

Η συνεχής ανάπτυξη του Διαδικτύου την τελευταία δεκαετία έχει αλλάξει σε σημαντικό βαθμό τον αρχικό στόχο σχεδίασής του: πλέον οι χρήστες ενδιαφέρονται περισσότερο για το «τι» ανταλλάσσεται στο Διαδίκτυο, παρά για να επικοινωνήσουν με έναν συγκεκριμένο χρήστη προκειμένου να αποκτήσουν πρόσβαση στο περιεχόμενο αυτό. Με βάση την παρατήρηση αυτή, η ερευνητική και βιομηχανική κοινότητα, σχετική με τη δικτύωση και τις αρχές αυτής, έχει ξεκινήσει να εξετάζει και να μελετά τις υπάρχουσες αρχιτεκτονικές ούτως ώστε να καθορίσει τις στενωπούς των τρεχουσών υλοποιήσεων και προσεγγίσεων. Τότε, νέες αρχιτεκτονικές προσανατολισμένες στην πληροφορία θα είναι δυνατό να προταθούν με σκοπό να λύσουν τα προβλήματα αυτά.

Έχουν αναπτυχθεί και προταθεί διάφορες αρχιτεκτονικές και ερευνητικές δραστηριότητες, οι οποίες και ακολουθούν την προσανατολισμένη στην πληροφορία προσέγγιση. Μεταξύ άλλων αξίζουν να αναφερθούν οι ακόλουθες: CCN [11], PSIRP [12], 4WARD [13], και πιο πρόσφατα NDN [14], PURSUIT [15] και SAIL [16] είναι μόνο λίγες από αυτές τις πρωτοβουλίες. Το κοινό στοιχείο όλων αυτών είναι ότι τοποθετούν την έννοια της πληροφορίας στον πυρήνα των αρχιτεκτονικών αυτών.

Στις αρχιτεκτονικές αυτές, τα πακέτα δεδομενογράμματος δεν περιέχουν πλέον καμία πληροφορία σχετική με το χρήστη και την τοποθεσία του. Αντ' αυτού, τα πακέτα περιέχουν μια ετικέτα πληροφορίας. Η ετικέτα αυτή παρουσιάζει ιδιαίτερη σημασία, δεδομένου ότι βάση αυτής το δίκτυο είναι σε θέση να παρακολουθεί το τι ανταλλάσσεται μεταξύ των διάφορων δικτυακών στοιχείων. Με βάση τη γνώση αυτή, το δίκτυο είναι σε θέση να εκτελεί ένα σύνολο μηχανισμών οι οποίοι θα επαυξήσουν την λειτουργία του δικτύου, ενώ ταυτόχρονα παρέχουν αυξημένη απόδοση του δικτύου προς τους χρήστες του.

Η παρούσα εργασία μας στηρίζεται σε δουλειά η οποία αρχικά σχεδιάστηκε από τη δραστηριότητα PSIRP, συνεχίζεται στο PURSUIT, και ακολουθεί το publish/subscribe παράδειγμα. Ένα δίκτυο που ακολουθεί το παράδειγμα αυτό παρέχει στους χρήστες του δύο βασικές λειτουργίες: το publish και το subscribe. Συνεπώς οι χρήστες (είτε publishers ή subscribers) χρησιμοποιούν τις δύο αυτές λειτουργίες προκειμένου να επικοινωνήσουν. Το δίκτυο είναι υπεύθυνο για το ταίριασμα των publications και των subscriptions, λειτουργία γνωστή ως rendezvous. Σε περίπτωση όπου ένα publication ταιριάζει επιτυχώς με ένα subscription, τότε το δίκτυο ενημερώνει τον publisher για το ταίριασμα αυτό και καθοδηγεί τη διάδοση της πληροφορίας στο subscriber.

Αναλυτικότερα, στην παρούσα εργασία χρησιμοποιούμε την Rendezvous, Topology, Forwarding and Media αρχιτεκτονική (RTFM) [10]. Στην RTFM υπάρχουν και καθορίζονται συγκεκριμένες διακριτές λειτουργίες: Rendezvous, Topology, Forwarding και Media. Η λειτουργία του Rendezvous σχετίζεται με το ταίριασμα των publications και των subscriptions και τον εντοπισμό των publishers. Η λειτουργία αυτή δεν εμπλέκεται καθόλου με την παράδοση της πληροφορίας. Ο μηχανισμός αυτός είναι ευθύνη της Forwarding λειτουργίας. Προκειμένου όμως να είναι ικανό να παραδώσει επιτυχώς την πληροφορία, χρησιμοποιεί τοπολογική πληροφορία η οποία παρέχεται από την Topology λειτουργία.

Βάση της αρχιτεκτονικής αυτής, τρεις διαφορετικοί τύποι δικτύων θεωρούνται σε ένα δίκτυο, κάθε ένας από τους οποίους εκτελεί συγκεκριμένη λειτουργία: δρομολογητές, σημεία rendezvous και χρήστες. Οι δρομολογητές είναι απλά στοιχεία μεταγωγής πακέτων, τα οποία υπολογίζουν και διατηρούν μια τοπολογική όψη του δικτύου. Στα στοιχεία αυτά έχει ανατεθεί ένα επίπεδο και τοπολογικά ανεξάρτητο αναγνωριστικό. Προκειμένου να υπολογίσουν την τοπολογική αυτή όψη του δικτύου, κάθε δρομολογητής εκτελεί έναν αλγόριθμο δρομολόγησης κατάστασης ζεύξης. Τα Rendezvous σημεία είναι κόμβοι του δικτύου οι οποίοι εκτελούν τη λειτουργία του Rendezvous, δηλαδή αποθηκεύουν και διαχειρίζονται όλα τα διαθέσιμα publications και subscriptions. Τέλος υπάρχουν και οι χρήστες οι οποίοι συνδέονται στο δίκτυο και επικοινωνούν μόνο μέσω των πληρεξούσιων δρομολογητών πρόσβασης. Ο ρόλος των δρομολογητών αυτών είναι να προωθούν για λογαριασμό των χρηστών τα publications και τα subscriptions στο δίκτυο.

Κάθε πακέτο, όπως έχει ήδη αναφερθεί, αναγνωρίζεται στο δίκτυο από ένα ζεύγος αναγνωριστικών, του Scope Id και του Rendezvous Id. Το Scope Id χρησιμοποιείται για να οργανώσει το περιεχόμενο σε μεγαλύτερες συλλογές, ενώ το Rendezvous Id χρησιμοποιείται ως ετικέτα στο πακέτο. Η χρήση και ο συνδυασμός των δύο αναγνωριστικών αυτών επιτρέπει στις εφαρμογές να αναπτύσσουν συσχετισμούς μεταξύ των διαφόρων στοιχείων της πληροφορίας και συνεπώς να εφαρμόζουν διάφορους μηχανισμούς για την διαχείρισή τους.

Όσον αφορά τη Forwarding λειτουργία, η προσέγγιση του LIPSIN [19] έχει υιοθετηθεί. LIPSIN χρησιμοποιεί μια συγκεκριμένη δομή φίλτρων, γνωστά ως bloom filters (zFilters), για την προώθηση των πακέτων σε ένα μονοπάτι. Ένα δίκτυο, το οποίο ακολουθεί την προσέγγιση αυτή, αναθέτει τέτοια φίλτρα, τα οποία θα καλούμε LIDs, σε όλες τις δικτυακές διεπαφές του. Προκειμένου να δημιουργήσει ένα μονοπάτι, κωδικοποιεί όλα τα LIDs των διεπαφών των δρομολογητών του μονοπατιού σε ένα μόνο LID, εκτελώντας τη δυαδική πράξη «H», και το επισυνάπτει στο πακέτο. Όταν το πακέτο αυτό φτάσει σε ένα δικτυακό στοιχείο, το LID αυτό συγκρίνεται με LIDs όλων των διεπαφών του στοιχείου αυτού. Σε περίπτωση επιτυχούς ταιριάσματος το πακέτο προωθείται στη συγκεκριμένη ζεύξη, αλλιώς απορρίπτεται. Επιπλέον, εκτός των LIDs, κάθε δικτυακό στοιχείο έχει ένα τοπικό LID, το VLID. Το αναγνωριστικό αυτό χρησιμοποιείται ούτως ώστε να καθορίσει τον παραλήπτη ενός πακέτου.

Στη συνέχεια της εργασίας μας και έχοντας ορίσει όλα τα παραπάνω, περιγράφουμε τη διαδικασία εκκίνησης ενός δικτύου βασισμένου στην πληροφορία. Αρχικά παρουσιάζουμε την διαδιεργασιακή επικοινωνία στο εσωτερικό ενός κόμβου, επικοινωνία η οποία στηρίζεται στο publish/subscribe παράδειγμα. Η εσωτερική δομή ενός δικτυακού στοιχείου χτίζεται γύρω από το Local Rendezvous Component (LocRC), το οποίο παρέχει το μηχανισμό της διαδιεργασιακής επικοινωνίας στις διάφορες διεργασίες του συστήματος. Περί του LocRC, υπάρχουν οι ακόλουθες διεργασίες του συστήματος: ο Rendezvous Agent (RVA), το Topology Manager Component (TMC), το Forwarding Component (FwdC) και το Link Layer Rendezvous Component (LLRC). Το LocRC εκτελεί τη λειτουργία του Rendezvous εσωτερικά στο στοιχείο, την αποθήκευση και διαχείριση δηλαδή των publications και των subscriptions που αποστέλλονται από άλλες διεργασίες του συστήματος. Το FwdC εκτελεί τη Forward λειτουργία, μεταδίδοντας πακέτα στις δικτυακές διεπαφές μέσω του LLRC.

Προκειμένου μια διεργασία του συστήματος ή του χρήστη να στείλει ένα publication σε κάποιον άλλο χρήστη, η διεργασία αυτή θα πρέπει να περάσει το publication στο FwdC μέσω του LocRC. Το TMC είναι υπεύθυνο για τη διατήρηση της τοπολογικής όψης του δικτύου, ενώ ο ρόλος του RVA είναι ο συντονισμός και η οργάνωση του Rendezvous συστήματος. Έχοντας καθορίσει τις βασικές αυτές λειτουργίες, προχωρούμε στην περιγραφή της διαδικασίας εκείνης βάσει της οποίας δύο διαφορετικά δικτυακά στοιχεία είναι σε θέση να επικοινωνήσουν και να ανταλλάξουν πληροφορία. Βάσει της διαδικασίας αυτής, επεκτείνουμε το μηχανισμό αυτό προκειμένου να μπορούμε να υποστηρίξουμε την επικοινωνία σε ένα ολόκληρο δίκτυο, χρησιμοποιώντας ένα αλγόριθμο δρομολόγησης κατάστασης ζεύξης, ο οποίος εκτελείται στους δρομολογητές.

Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας εκκίνησης του δικτύου, η επόμενη δραστηριότητα σχετίζεται με τον καθορισμό του μηχανισμού για την ανακάλυψη του Rendezvous συστήματος. Κεντρικά στοιχεία του συστήματος αυτού είναι τα Rendezvous Points (RVPs). Τα RVPs, όπως έχουμε ήδη αναφέρει, χρησιμοποιούνται προκειμένου να αποθηκεύουν και διαχειρίζονται publications και subscription τα οποία έχουν αποσταλεί από χρήστες. Εκτελούν τη διαδικασία του ταιριάσματος, και έπειτα εντοπίζουν τον publisher και ενορχηστρώνουν την παράδοση της πληροφορίας από τον publisher στον subscriber. Η διαδικασία για την ανακάλυψη της παρουσίας ενός RVP στο δίκτυο ακολουθεί ένα μηχανισμό πλημμύρας και οργανώνεται από τα RVAs. Δύο περιπτώσεις εξετάζονται σε αυτήν την κατεύθυνση: η εγκατάσταση και ανακοίνωση της παρουσίας είτε ενός μονού RVP είτε πολλαπλών RVPs. Και στις δύο περιπτώσεις περιγράφεται ο μηχανισμός για την ανακάλυψη των RVPs αυτών.

Στη τελική φάση της παρούσας εργασίας, οι προαναφερθέντες μηχανισμοί αξιολογούνται με τη χρήση του προσομοιωτή δικτύων ns-3. Συγκεκριμένες παράμετροι της διαδικασίας αποτίμησης περιλαμβάνουν το μέγεθος των πινάκων δρομολόγησης βάσει του αλγορίθμου δρομολόγησης κατάστασης ζεύξης που έχει υιοθετηθεί, το επίβαρο σηματοδότησης για την ανακάλυψη ενός RVP όπως επίσης και το επίβαρο σηματοδότησης για την επίλυση ενός publication που έστειλε ένας χρήστης. Μελλοντικά βήματα και ανοιχτά θέματα κλείνουν και συνοψίζουν την εργασία μας.

Αγγλική Περίληψη

The scope of this work is to design and evaluate a proposed content-centric network architecture. More specifically, we focus on the bootstrap process of a publish/subscribe information centric network, where a set of proposed mechanisms and approaches are evaluated.

The continuous growth of the Internet over the last decade has changed its initial design goal: nowadays users are more interested in what is exchanged over the Internet rather than communicating with a specific user in order to gain access to content. Based on this critical issue, the networking research and industrial community has started to re-examine and study the current architectures so as to be able to specify the bottlenecks of the current implementations and approaches; new, information-oriented architectures could be proposed in order to face these problems.

Various architectures and research activities, which follow this information centric approach, have been proposed over the last few years. Among other, CCN [11], PSIRP [12], 4WARD [13], and more recently NDN [14], PURSUIT [15] and SAIL [16] are only some of these initiatives. All these approaches place the notion and concept of Information as the core of the new proposed architectures.

In these architectures, datagram packets do not contain anymore any host-related information. Now, they contain an information label; this label is of critical importance, since based on this the network is able to have an overview of what is exchanged among the various network elements. Based on this knowledge the network is now able to perform a set of mechanisms which will enhance the efficiency of the network, whilst providing improved network performance for the users.

Our work is based on the work initially designed by PSIRP and PURSUIT and follows the publish/subscribe paradigm. A network following this paradigm provides users with two basic operations: publish and subscribe. Thus, users (publishers and subscribers respectively) use these two activities in order to communicate. The network is responsible for the matching of publications with subscriptions, an operation known as rendezvous. In case of such a matching, it notifies the publisher of this match and guides the dissemination of information to a subscriber.

More specifically, we use the Rendezvous, Topology, Forwarding and Media architecture (RTFM) [10]. In RTFM, there are specific functions, namely Rendezvous, Topology, Forwarding and Media. Rendezvous operation is related to the matching of publications with subscriptions and locating the publishers. It is not involved in the delivery of information; the delivery of information is the role of the Forwarding function. In order to successfully deliver any information it uses information provided by the Topology function, which has a topological overview of the network.

Based on this architecture, three different types of network elements are considered in a network, each one of them performing specific operations: routers, rendezvous points and hosts. Routers are simple packet switching elements that compute and maintain a topological view of the network and are assigned with a flat, topology-independent identifier. In order to compute this view of the network topology, each router executes a link state routing algorithm. Rendezvous Points are the network nodes that perform the operation of Rendezvous, thus storing and processing all the available publications and subscriptions. Hosts are simple users that connect to the network and communicate only with their gateway routers. The role of these routers is to proxy user publications and subscriptions to the network.

As already mentioned each packet (i.e. publication or subscription) is identified in the network by a pair of two identifiers, the Scope Id and the Rendezvous Id. The role of the Scope Id is to organize content into larger collections, while the Rendezvous Id is used as label for this packet. The usage of these two identifiers provides applications the capability to develop correlations among the information items exchanged, and thus apply various schemes on their management.

Regarding the Forwarding function the LIPSIN [19] approach is adopted. LIPSIN uses bloom filters (zFilters) for the forwarding of packets along a path. A network, that follows this approach, assigns a bloom filter identifier, called LID, to its available links. In order to create a path, it encodes all LIDs of the routers in this path into a single LID, performing binary OR, and attach it to a packet. When this packet reaches a network element, this single LID is compared using binary AND with all LIDs of this element. In case of a successful matching, the packet is forwarded to this link, else it is discarded. In addition, except the LIDs, each network element has a local LID, called VLID. This identifier is used in order to specify the receiver of a packet.

Next, in our work, we describe the bootstrap operation of an information centric network. Initially we present the inter-process communication in a single node, which is based on the publish/subscribe paradigm. The internal structure of a network element is built around the Local Rendezvous Component (LocRC) which provides an inter process communication mechanism to the various system operations. Around LocRC, the Rendezvous Agent (RVA), the Topology Manager Component (TMC), the Forwarding Component (FwdC) and the Link Layer Rendezvous Component (LLRC) are specified. LocRC performs the Rendezvous operation inside the element, storing and processing the publications and subscriptions published by other processes. FwdC performs the Forward function, transmitting packets to the LLRC, and next to the network interfaces.

In order for a system or user process to send a publication to another host, these processes have to pass the publication to the FwdC via the LocRC. The TMC is responsible for maintaining the topological view of the network, whilst the RVA's role is to coordinate and organize the efficient operation of the Rendezvous system. Having specified these basic processes, we continue to the description of the procedure based on which two separate network elements are able to communicate and exchange information. Based on this procedure, we extend our mechanism in order to be able to support the communication for the whole network, using a link state routing algorithm that runs in routers.

Upon bootstrapping the network, the next activity is related to the specification of the mechanism for the discovery of the Rendezvous system. The core elements of this system are the Rendezvous Points (RVPs). RVPs, as already discussed, are used in order to store and manage publications and subscription sent by users. They perform the matching, and then locate the publishers and orchestrate the delivery of information from the publisher to the subscriber. The procedure for the RVP presence in the network follows a flooding mechanism and is organized by the RVAs. Two cases are examined in this direction: the deployment and announcement of presence of either a single RVP or multiple RVPs. In both cases, the mechanism for the discovery of these RVPs is presented.

In the final phase of this work, the aforementioned mechanisms and approaches are evaluated using the network simulator ns-3. Specific parameters of the evaluation include the size of the routing tables based on the adopted link state routing algorithm and the signaling overhead that is required for both the discovery of the Rendezvous Point as well as the signaling overhead for resolving a publication sent by a host. Future steps and open issues are also presented in order to conclude this work.

Περιεχόμενα

Ακρωνύμια	13
Κατάλογος Σχημάτων	14
Κατάλογος Πινάκων	15
1. Εισαγωγή.....	16
1.1. Περιγραφή Προβλήματος.....	16
1.2. Information Centric Networking	19
1.3. Σχετικές Εργασίες	20
2. Περιγραφή της Αρχιτεκτονικής Publish/Subscribe	23
2.1. Η Αρχιτεκτονική RTFM.....	23
2.1.1. Περιγραφή της Λειτουργίας Topology	24
2.1.2. Περιγραφή της Λειτουργίας Rendezvous	24
2.1.3. Περιγραφή της Λειτουργίας Forwarding	24
2.2. Περιγραφή Δικτυακών Οντοτήτων της Αρχιτεκτονικής Publish/Subscribe	25
2.3. Περιγραφή του Μηχανισμού Forwarding	25
3. Περιγραφή της Διαδικασίας Εκκίνησης ενός Publish/Subscribe Δικτύου	28
3.1. Περιγραφή Εσωτερικής Αρχιτεκτονικής ενός Publish/Subscribe Κόμβου ..	28
3.1.1. Local Rendezvous Component	29
3.1.2. Forwarding Component	29
3.1.3. Link Layer Rendezvous Component.....	31
3.1.4. Topology Manager	31
3.1.5. Rendezvous Agent	33
4. Περιγραφή του Μηχανισμού Ανακάλυψης του Rendezvous Συστήματος.....	34
4.1. Περιγραφή Μηχανισμού Ανακάλυψης Rendezvous Point	34
4.2. Περιγραφή Μηχανισμού Επικοινωνίας Χρηστών σε ένα Publish/Subscribe Δίκτυο	36
4.3. Περιγραφή Συστήματος Rendezvous με Πολλαπλά Rendezvous Points.....	38
5. Αξιολόγηση του Προτεινόμενου Πλαισίου με χρήση Προσομοίωσης.....	40
5.1. Περιβάλλον Προσομοίωσης.....	40
5.2. Μεθοδολογία και Αρχιτεκτονική Προσομοίωσης.....	40
5.3. Αποτελέσματα	42
5.3.1. Μέγεθος Πινάκων Δρομολόγησης.....	42
5.3.2. Επίβαρο Σηματοδοσίας στο Δίκτυο για την Ανακάλυψη ενός RVP	43
5.3.3. Επίβαρο Σηματοδοσίας στο Δίκτυο για την Επίλυση ενός Publication	46
6. Σύνοψη και Μελλοντική Εργασία	49
Αναφορές	50

Ακρωνύμια

BF	Bloomfilter
CCN	Content Centric Networking
DDOS	Distributed Denial of Service
DNS	Domain Name System
DONA	Data-Oriented Network Architecture
FwdC	Forward Component
ICN	Information Centric Networking
IP	Internet Protocol
IPC	Inter Process Communication
LLRC	Link Layer Rendezvous Component
LocRC	Local Rendezvous Component
NAT	Network Address Translation
OSI	Open Systems Interconnection
P2P	Peer-to-Peer
Rid	Rendezvous Id
RTMF	Rendezvous, Topology, Forwarding, and physical Media
RVA	Rendezvous Agent
RVP	Rendezvous Point
Sid	Scope Id
TMC	Topology Manager Component
URL	Uniform Resource Locator
WWW	World Wide Web

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1: Φάση κωδικοποίησης zFitter από A $\rightarrow$ Δ	26
Σχήμα 2: Φάση αποκωδικοποίησης zFilter στον κόμβο B	27
Σχήμα 3: Εσωτερική δομή ενός Publish/Subscribe κόμβου	28
Σχήμα 4: Διαδικασία Αποστολής Publication	30
Σχήμα 5: Διαδικασία Λήψης Publication.....	30
Σχήμα 6: Μηχανισμός Ανακάλυψης Rendezvous Point.....	35
Σχήμα 7: Μηχανισμός Επικοινωνίας Χρηστών σε Publish/Subscribe Δίκτυο	37
Σχήμα 8: Τοπολογία Μεγέθους Επτά (7) Κόμβων	41
Σχήμα 9: Τοπολογία Μεγέθους Σαράντα Ενός (41) Κόμβων.....	41
Σχήμα 10: Μέγεθος Πινάκων Δρομολόγησης	42
Σχήμα 11: Επίβαρο Σηματοδοσίας στο Δίκτυο για την Ανακάλυψη ενός RVP.....	44
Σχήμα 12: Επίβαρο Σηματοδοσίας Τοπολογίας 7 Κόμβων	44
Σχήμα 13: Επίβαρο Σηματοδοσίας Τοπολογίας 41 Κόμβων	45
Σχήμα 14: Επίβαρο Σηματοδοσίας Τοπολογίας 295 Κόμβων	45
Σχήμα 15: Επίβαρο Σηματοδοσίας Τοπολογίας 400 Κόμβων	45
Σχήμα 16: Επίβαρο Σηματοδοσίας – Αριθμός Ζεύξεων Δικτύου	46
Σχήμα 17: Επίβαρο Σηματοδοσίας σε Δίκτυο 7 Κόμβων για την Επίλυση ενός Publication	47
Σχήμα 18: Επίβαρο Σηματοδοσίας σε Δίκτυο 41 Κόμβων για την Επίλυση ενός Publication	47
Σχήμα 19: Επίβαρο Σηματοδοσίας σε Δίκτυο 295 Κόμβων για την Επίλυση ενός Publication	48
Σχήμα 20: Επίβαρο Σηματοδοσίας σε Δίκτυο 400 Κόμβων για την Επίλυση ενός Publication	48

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Περιγραφή Αλγόριθμου Δρομολόγησης Κατάστασης Ζεύξης	32
Πίνακας 2: Περιγραφή Σχέσης για τον Υπολογισμό του Μεγέθους Πινάκων Δρομολόγησης	43

1. Εισαγωγή

Η τεράστια ανάπτυξη του Διαδικτύου την τελευταία δεκαετία είχε ως επακόλουθο την μετατροπή του σε ένα καθολικό δίκτυο πληροφορίας, το οποίο όμως αποκλίνει από τον αρχικό του στόχο κατά τη σχεδιάσή του: τη διαμοίραση πόρων μεταξύ δικτύων υπολογιστών. Πλέον, οι χρήστες του Διαδικτύου ενδιαφέρονται περισσότερο για την πληροφορία αυτή καθαυτή η οποία είναι διαθέσιμη, παρά για τον κάτοχο αυτής και την άμεση επικοινωνία μαζί του. Η ανάγκη για την παροχή πρόσβασης στο Διαδίκτυο σε έναν συνεχώς αυξανόμενο αριθμό χρηστών, συνδυαζόμενη με την παράλληλη παροχή αποτελεσματικής και αποδοτικής πρόσβασης στις διαθέσιμες πληροφορίες, έχει οδηγήσει την ερευνητική κοινότητα να επανεξετάσει τις θεμελιώδεις αρχές της δικτύωσης και να προτείνει νέες αρχιτεκτονικές δικτύωσης βασισμένες και προσανατολισμένες πλέον στο περιεχόμενο.

Στις ακόλουθες τρεις υπό-ενότητες παρουσιάζεται αναλυτικότερα το πρόβλημα, τους λόγους και εν γένει την κατάσταση η οποία μας οδηγεί στο να αναζητήσουμε νέες καινοτόμες λύσεις, όπως αυτή του Information Centric Networking, που παρουσιάζεται στην ενότητα 1.2. Τέλος στην ενότητα 1.3 παρουσιάζεται ένα σύνολο αρχιτεκτονικών και ερευνητικών δραστηριοτήτων που ακολουθούν τη συγκεκριμένη προσέγγιση και επιχειρούν να δώσουν λύση στα προβλήματα, τα οποία περιγράφηκαν στην ενότητα 1.1.

1.1. Περιγραφή Προβλήματος

Η επικοινωνία είναι ολοένα και συχνότερα επικεντρωμένη στο διαμοιρασμό ή/και την ανταλλαγή πληροφορίας, και όχι τόσο πλέον στην ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ δύο συγκεκριμένων χρηστών. Αυτή η προσέγγιση συνεπώς της επικοινωνίας με κέντρο την πληροφορία εισάγει και θέτει ένα σύνολο προκλήσεων, οδηγούμενες κατά κύριο λόγο από τα ανθρώπινα ενδιαφέροντα, όπως η αποφυγή λήψης αθέμιτης πληροφορίας, η εξασφάλιση όσο δυνατό μεγαλύτερου επιπέδου ασφάλειας, κ.ά. Με την τοποθέτηση της έννοιας της πληροφορίας ως λύση του προβλήματος αυτού, υποστηρίζουμε ότι μια προσέγγιση δικτύωσης προσανατολισμένη στην πληροφορία είναι δυνατό να δώσει λύσεις στις προκλήσεις αυτές. Λύσεις οι οποίες θα διαχειρίζονται σφαιρικά το θέμα, και δε θα είναι βασισμένες σε επιμέρους εφαρμογές και υπηρεσίες των χρηστών.

Η πρώτη κύρια πρόκληση έγκειται στην παρατήρηση ότι η επικοινωνία πλέον περιστρέφεται γύρω από την πληροφορία, η ανταλλαγή της οποίας είναι κατά κόρον ανεξάρτητη από τις συσκευές, τους δικτυακούς κόμβους και εν γένει το σύνολο του δικτύου που χρησιμοποιείται για αυτήν. Όπως ισχυρίζεται και ο Van Jacobson στο [1] η τεράστια χρήση των δικτύων σήμερα οφείλεται στο γεγονός όπου ένας χρήστης προσπαθεί να αποκτήσει πρόσβαση σε ονοματισμένα δεδομένα. Ο ισχυρισμός αυτός επιβεβαιώνεται από την αυτή καθαυτή υλοποίηση των σημερινών υπηρεσιών, όπως του World Wide Web (WWW), όπου η πρόσβαση της πληροφορίας στους διάφορους χρήστες ή άλλες υπηρεσίες παρέχεται μέσω συγκεκριμένων ονοματισμένων διευθύνσεων, των Uniform Resource Locators (URLs). Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την ανάπτυξη νέων υπηρεσιών οι οποίες θα παρέχουν έναν ολοένα και αυξανόμενο όγκο πληροφοριών (χωρίς απαραίτητα τα δεδομένα αυτά να έχουν συγκεκριμένο παραλήπτη, όπως οι εφαρμογές P2P) οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η πληροφορία θα πρέπει να είναι το κέντρο γύρω από το οποίο θα σχεδιαστούν μελλοντικές λύσεις δικτύωσης.

Προφανώς σημαντικός σκοπός είναι και η διασύνδεση της πληροφορίας αυτής με το σύνολο των διαθέσιμων υπηρεσιών με ένα τρόπο ευέλικτο, αλλά συνάμα συμμορφούμενο στις πολιτικές του φορέα εκμετάλλευσης του δικτύου. Αυτό συνήθως επιτυγχάνεται διαμέσου μιας πληθώρας τεχνικών εξατομικευμένου λογισμικού, το οποίο δίνει προτεραιότητα σε μία γένια λειτουργικότητα του δικτύου βάση της οποίας θα μπορούν να λειτουργήσουν διάφορες εφαρμογές.

Η δεύτερη πρόκληση έγκειται στο γεγονός ότι κατά διάρκεια λειτουργίας ενός δικτύου, υπάρχει ένα μεγάλο πλήθος διαφωνιών (ή και διαμαχών) όσον αφορά τις πολιτικές που εφαρμόζονται κατά τη μετάδοση, αλλά και εν γένει διαχείριση, της πληροφορίας. Για παράδειγμα, υπάρχουν περιπτώσεις κατά τις οποίες διαφορετικές ομάδες χρηστών να επιθυμούν αυξημένο επίπεδο πρόσβασης σε μία ομάδα πληροφοριών, ενώ παράλληλα μια άλλη ομάδα επιθυμεί κάτι άλλο. Παρόμοια κατάσταση μπορεί να παρουσιαστεί και σε θέματα χρήσης πόρων ενός δικτύου, όπου πόροι μιας περιοχής μπορεί να αποκλειστούν από χρήστες προκειμένου να εξυπηρετήσουν μια ειδική περίπτωση.

Με δεδομένες συνεπώς τις παραπάνω συγκρούσεις ενδιαφερόντων μεταξύ διάφορων ομάδων χρηστών, κρίνεται απαραίτητο μια νέα φιλόδοξη αρχιτεκτονική δικτύωσης να είναι σε θέση να χειριστεί αποδοτικά και επαρκώς τέτοιες συγκρούσεις. Το συμπέρασμα αυτό αποτυπώνεται και στο [2], όπου υπογραμμίζεται η σημασία του σωστού και σαφούς διαχωρισμού των ορίων τέτοιων συγκρούσεων ενδιαφερόντων κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού μιας αρχιτεκτονικής δικτύωσης. Επιπλέον στην ίδια εργασία δύο παράμετροι τονίζονται και αναφέρονται ως οι πλέον σημαντικές σε τέτοιες περιπτώσεις: αυτή της εμπίστευσης (trust) και αυτή των οικονομικών των δικτύων (economics).

Όσον αφορά την εμπίστευση, είναι δυνατό να εκφράζει δύο περιπτώσεις. Η πρώτη αφορά το βαθμό στον οποίο δύο τερματικοί χρήστες (ή οποιεσδήποτε οντότητες εν γένει) εμπιστεύονται η μία την άλλη. Η δεύτερη έχει σχέση με το βαθμό στον οποίο μία ή περισσότερες επικοινωνούντες οντότητες εμπιστεύονται τη δικτυακή υποδομή και τους φορείς εκμετάλλευσής της, παρόλα τα αντικρουόμενα συμφέροντα που είναι πιθανό να έχουν. Το θέμα των οικονομικών έχει σχέση με παρόμοιας φύσης καταστάσεις, όπου το διακύβευμα είναι πλέον οι πόροι του δικτύου και η χρήση αυτών. Συνεπώς, μια μελλοντική λύση στο θέμα της δικτύωσης θα πρέπει να παρέχει μέσα ώστε να αντιμετωπίζονται αποδοτικά οι δύο αυτές παράμετροι με τέτοιο τρόπο ώστε να μην απαιτούνται ειδικές λύσεις και μπαλώματα στην υποκείμενη αρχιτεκτονική.

Μία ακόμα σημαντική πρόκληση είναι αυτή της υπολογότητας (ή αλλιώς υποχρέωσης λογοδοσίας - accountability). Δεδομένης της αύξησης του όγκου των διαθέσιμων πληροφοριών, προβλήματα όπως η κακή χρήση των δεδομένων, ρήγματα ασφάλειας ή ακόμα και απώλεια δεδομένων είναι πολύ πιθανό να εμφανίζονται σε συχνότερο βαθμό. Παρόλο που διάφορες προσεγγίσεις, όπως βελτιώσεις στους μηχανισμούς ασφάλειας, κ.ά., είναι πιθανό να δώσουν κάποιες λύσεις, εντούτοις υπάρχει μια προσέγγιση, όπως για παράδειγμα στο [3], όπου προτείνεται τα συστήματα να είναι υπόλογα για τη χρήση και εν γένει τη διαχείριση της πληροφορίας.

Σύμφωνα με την προσέγγιση αυτή, η εισαγωγή του παράγοντα της υπολογότητας σε ένα σύστημα, εκτός της παρακολούθησης της κατάλληλης πληροφορίας, θα δρούσε και ως αποτρεπτικό για πιθανή ανεπιθύμητη συμπεριφορά. Υπάρχει ένα πρόβλημα παρόλα αυτά. Στη συγκεκριμένη προσέγγιση δε λαμβάνεται υπόψη η έννοια της υπολογότητας για την μεταφορά και παράδοση της πληροφορίας, και εν γένει του συνόλου της υποκείμενης υποδομής στην οποία και η πληροφορία μεταδίδεται. Αυτό οφείλεται λόγω του γεγονότος της αποσύνδεσης της σημασιολογίας της πληροφορίας στο επίπεδο εφαρμογής από τα διακριτά πακέτα που μεταφέρονται στο δίκτυο. Η αποσύνδεση αυτή τοποθετεί σημαντικό εμπόδιο στην εισαγωγή της υπολογότητας στη συνολική αρχιτεκτονική ενός δικτύου, το οποίο είναι και ο τελικός στόχος. Δεδομένου μάλιστα ότι συγκεκριμένες λύσεις και μπαλώματα λύνουν μόνο συγκεκριμένα προβλήματα και ταυτόχρονα εισάγουν μεγάλο κόστος (είτε σε θέματα απόδοσης, σηματοδοσίας, κ.α.), κρίνεται απαραίτητη η πρόβλεψη και εν συνεχεία εισαγωγή της υπολογότητας στα μελλοντικές αρχιτεκτονικές δικτύωσης.

Ο τρόπος με τον οποίο θα επιλυθεί το πρόβλημα της ανεπάρκειας της πληροφορίας (information scarcity) είναι ακόμα μια πρόκληση προς μελέτη και αντιμετώπιση. Το παρόν πρόβλημα έγκειται κυρίως σε δύο παραμέτρους: πρώτον, στον ακριβή έλεγχο του είδους, της προέλευσης και του όγκου της πληροφορίας που μια οντότητα λαμβάνει, και δεύτερον στον τρόπο με τον οποίο είναι δυνατό να διακρίνει στο σύνολο της πληροφορίας αυτής, την ανεπιθύμητη πληροφορία.

Αναλυτικότερα, για την αποφυγή υπερφόρτωσης πληροφορίας είναι πολύ σημαντικό μια οντότητα να είναι σε θέση να ξεχωρίζει, να ελέγχει και να αναλύει την πληροφορία αυτή. Δεδομένης μάλιστα της αύξησης του όγκου της διαθέσιμης πληροφορίας, η ανάγκη αυτή γίνεται ολοένα και πιο επιτακτική. Το πρόβλημα αυτό άλλωστε έχει μελετηθεί γενικότερα, με χαρακτηριστικό παράδειγμα την εργασία του Mark Weiser [4]. Κύρια παρατήρηση και συμπέρασμα στην εργασία αυτή είναι ότι απαιτείται ένα σύνολο μηχανισμών οι οποίοι θα επιτρέψουν στους χρήστες ενός δικτύου να παρακολουθούν όση λιγότερη πληροφορία γίνεται και να έχουν πρόσβαση σε όση ακριβώς χρειάζονται και επιθυμούν. Αυτό προϋποθέτει μηχανισμούς οι οποίοι θα είναι δυνατό να περιγράφουν την πληροφορία και τα χαρακτηριστικά αυτής, οι οποίοι και λείπουν από τις σημερινές αρχιτεκτονικές δικτύωσης.

Μηχανισμοί απαιτούνται ακόμα, όχι μόνο για την ουσιαστική έκφραση της πληροφορίας, αλλά και των ενδιαφερόντων και των προτεραιοτήτων των χρηστών. Ενδιαφέροντα τα οποία ο χρήστης θα πρέπει να είναι σε θέση να τα μεταβάλει ανά πάσα στιγμή, γεγονός το οποίο προϋποθέτει την ύπαρξη ευελιξίας στο δίκτυο. Συνεπώς μια μελλοντική αρχιτεκτονική θα πρέπει να είναι σε θέση να υποστηρίξει και τέτοιου είδους μηχανισμούς.

Υποστηρίζεται, όπως για παράδειγμα στο [5], ότι πιθανή λύση σε όλα τα προβλήματα αυτά τα οποία σχετίζονται με τη φύση και τη διαχείριση της πληροφορίας είναι δυνατό δώσει μια αρχιτεκτονική δικτύωσης προσανατολισμένη γύρω από την πληροφορία (Information Centric Networking), αρχιτεκτονική η οποία περιγράφεται αναλυτικότερα στην επόμενη υπό-ενότητα.

1.2. Information Centric Networking

Τα δίκτυα και οι αρχιτεκτονικές οι οποίες ακολουθούν αυτό το παράδειγμα τοποθετούν την πληροφορία στον πυρήνα των πρωτοκόλλων δικτύωσης, αφαιρώντας οποιαδήποτε προσέγγιση σχετική και βασισμένη σε στοιχεία του δικτύου (π.χ. hosts). Στα δίκτυα αυτά, τα πακέτα δεδομένων τα οποία ανταλλάσσονται δεν περιέχουν πλέον διευθύνσεις κόμβων. Αντ' αυτού, η επικεφαλίδα ενός πακέτου δικτύου περιέχει μια ετικέτα πληροφορίας. Με αυτό τον τρόπο, το δίκτυο γνωρίζει συνεχώς την πληροφορία που μεταφέρεται, επιτρέποντας συνεπώς στο κεντρικά δικτυακά στοιχεία να εφαρμόσουν ένα σύνολο μηχανισμών οι οποίοι θα επιτύχουν: α) την αύξηση της απόδοσης των εφαρμογών του χρήστη (π.χ. χρησιμοποιώντας επικοινωνία πολυεκπομπής), β) την ασφαλή πρόσβαση στην πληροφορία (π.χ. εφαρμόζοντας τεχνικές ελέγχου πρόσβασης κατευθείαν στο πακέτο) και γ) την μείωση της ανεπιθύμητης δικτυακής κίνησης (π.χ. αποτρέποντας επιθέσεις DDOS).

Η πληροφορία στις συγκεκριμένες αρχιτεκτονικές οργανώνεται ακολουθώντας μια ιεραρχία σύμφωνα με την οποία μικρά, φαινομενικά ασύνδετα, τμήματα δεδομένων οργανώνονται και συνδυάζονται σε μεγάλα και πολύπλοκα αντικείμενα πληροφορίας. Ένα τέτοιο αντικείμενο πληροφορίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αναφορά σε άλλα αντικείμενα, παρέχοντας πληροφορία και στοιχεία για το μέγεθός τους, την προέλευσή τους, ή ακόμα και τον ιδιοκτήτη τους. Λειτουργούν συνεπώς ως αντικείμενα μετά-πληροφορίας και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ομαδοποίηση και τη συσχέτιση των δεδομένων αυτών.

Οι μηχανισμοί αυτοί αντικειμενοθέτησης (scoring mechanisms) χρησιμοποιούνται ούτως ώστε να περιορίσουν την προσιτότητα της πληροφορίας μόνο σε οντότητες (είτε δικτυακές ή χρήστες) οι οποίες έχουν πρόσβαση σε αυτή. Μέσα σε ένα συγκεκριμένο πεδίο (scope) η αρχιτεκτονική του δικτύου παραμένει ουδέτερη όσον αφορά τη σημασιολογία και τη δομή των δεδομένων. Τα πεδία αυτά παρουσιάζουν ιεραρχικές δομές, σχηματίζοντας ταξινομίες. Κάθε αντικείμενο πληροφορίας έχει προσαρτημένο ένα τουλάχιστον πεδίο εμβέλειας, το οποίο έχει οριστεί από τον αποστολέα της πληροφορίας αυτής. Διάφοροι μηχανισμοί χρησιμοποιούνται για να ελέγξουν το πεδίο εμβέλειας ενός κομματιού πληροφορίας. Τέτοιοι μηχανισμοί περιλαμβάνουν έλεγχο πρόσβασης, πιστοποίηση χρήστη, κ.ά..

Επιπροσθέτως, κάθε αντικείμενο πληροφορίας αναγνωρίζεται με μία στατιστικά μοναδική ετικέτα. Η ετικέτα αυτή χρησιμοποιείται ούτως ώστε τα ενδιαφέροντα του καταναλωτή της πληροφορίας να ελεγχθούν αν ταιριάζουν με την δημοσιευμένη πληροφορία. Η διαδικασία αυτή του ταιριάσματος των ενδιαφερόντων των καταναλωτών της πληροφορίας με τη δημοσιευμένη πληροφορία είναι γνωστή και ως λειτουργία ραντεβού (rendezvous όπως θα χρησιμοποιούμε στο υπόλοιπο του κειμένου). Για το λόγο αυτό η ετικέτα αυτή θα καλείται Rendezvous Id (Rid). Μία υποκλάση του αναγνωριστικού αυτού είναι το αναγνωριστικό της εμβέλειας, το οποίο θα καλούμε στο εξής Scope Id (Sid). Το Scope Id δηλώνει τη συγκεκριμένη σκοπιά (ή εμβέλεια) στην οποία είναι προσβάσιμο ένα αντικείμενο πληροφορίας.

Τόσο τα Rendezvous Ids όσο και τα Scope Ids είναι τελείως ανεξάρτητα από τα τερματικά σημεία του δικτύου που παράγουν ή/και καταναλώνουν τη συσχετισμένη πληροφορία στα αναγνωριστικά αυτά. Η επίπεδη και ανεξάρτητη φύση των αναγνωριστικών αυτών τα καθιστά ως μία αναμενόμενη επιλογή σε αρχιτεκτονικές δικτύωσης προσανατολισμένες στην πληροφορία, καθώς διαχωρίζουν εμφανώς την τοποθεσία από την ταυτότητα της πληροφορίας επιτρέποντας με τον τρόπο αυτό την εισαγωγή στο δίκτυο λειτουργιών όπως κινητικότητα, πολυεκπομπή (multicasting) και πολυεστίαση (multihoming).

Ένα τέτοιο δίκτυο προσανατολισμένο στην πληροφορία θεωρεί τους παραγωγούς της πληροφορίας ως Publishers, ενώ τους καταναλωτές ως Subscribers, παρέχοντας συνεπώς στους χρήστες δύο βασικές δικτυακές λειτουργίες: τη λειτουργία του Publish, δηλαδή τη δημοσίευση πληροφορίας, και τη λειτουργία του Subscribe, την εγγραφή δηλαδή για πληροφορία η οποία είναι είτε δημοσιευμένη είναι πρόκειται να δημοσιευτεί. Με τις δύο αυτές λειτουργίες πλέον, σκοπός του δικτύου είναι να ταιριάξει subscriptions με publications, να ειδοποιήσει τους publishers για πιθανές συσχετίσεις (αν έχουν προκύψει), και τέλος να οργανώσει τη διάδοση της πληροφορίας από τους publishers στους subscribers.

Στην επόμενη υπό-ενότητα ακολουθεί μια περιεκτική περιγραφή σχετικών αρχιτεκτονικών και ερευνητικών δραστηριοτήτων προσανατολισμένων στο Information Centric Networking.

1.3. Σχετικές Εργασίες

Συγκεκριμένα στο [6] οι Gritter και Cheriton προτείνουν μια αρχιτεκτονική για την δρομολόγηση περιεχομένου η οποία στηρίζεται στη δρομολόγηση βάση ονομάτων εκφραζόμενη ως ένα τμήμα ενός διακριτού επιπέδου περιεχομένου στη στοίβα πρωτοκόλλων του Διαδικτύου. Υποστηρίζεται ότι αυτή η λύση όπως εκφράζεται μέσω της δρομολόγησης περιεχομένου είναι μια φυσική εξέλιξη των υπαρχόντων μηχανισμών δρομολόγησης, ικανή να επιλύσει προβλήματα όπως η κλιμακοθέτηση του Διαδικτύου και η αποδοτική τοποθέτηση περιεχομένου.

Στο [7] οι Balakrishnan και Lakshminarayanan υποστηρίζουν και προτείνουν την εισαγωγή τριών επιπέδων για την ανάλυση ονομάτων στο Διαδίκτυο, αντί για το ένα επίπεδο που χρησιμοποιείται στο Domain Name System (DNS): το πρώτο επίπεδο θα αναλύει την αντιστοιχία περιγραφικών επιπέδου χρήστη σε αναγνωριστικά υπηρεσιών, το δεύτερο από αναγνωριστικά υπηρεσιών σε αναγνωριστικά ακροσημεία, τα οποία με τη χρήση του τρίτου επιπέδου θα αναλύονται σε διευθύνσεις του IP. Τα πλεονεκτήματα μιας τέτοιας προσέγγισης είναι ότι επιτρέπουν στις υπηρεσίες και τα δεδομένα να είναι αντικείμενα πρώτης τάξης του Διαδικτύου, υποστηρίζουν αδιαφανώς στο χρήστη υπηρεσίες διαχείρισης κινητικότητας και τέλος ενσωματώνουν ένα σύνολο ενδιάμεσων λύσεων (όπως ο Network Address Translation (NAT) μηχανισμός) στο Διαδίκτυο.

Οι συγγραφείς στο [8] προτείνουν μια αρχιτεκτονική δικτύωσης βασισμένη στα δεδομένα. Πιο συγκεκριμένα, εισάγουν την αρχιτεκτονική «DONA», η οποία περιλαμβάνει ένα ριζικό επανασχεδιασμό των λειτουργιών ονοματοδοσίας και ανάλυσης ονομάτων του Διαδικτύου. Η προσέγγιση αυτή εκτός των άλλων είναι σε θέση να βελτιώσει την ανάκτηση δεδομένων και την πρόσβαση σε υπηρεσίες μέσω της παροχής περισσότερο ισχυρής και αρχιτεκτονικά συνεκτικής υποστήριξης για υπηρεσίες απόκρυψης (caching), διαθεσιμότητα και πιστοποίηση.

Επιπλέον στο [9] προτείνεται μία ακόμα αρχιτεκτονική σχετική με το θέμα. Συγκεκριμένα παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική «CCN» η οποία διαχειρίζεται το περιεχόμενο ως μια σταθερά: αποσυνδέει την τοποθεσία του περιεχομένου από έννοιες όπως η ταυτότητα, η ασφάλεια και η πρόσβαση του περιεχομένου και υποστηρίζει ανάκτηση περιεχομένου βασισμένη στο όνομα. Η προσέγγιση αυτή είναι ικανή να υποστηρίξει και να επιλύσει προβλήματα που σχετίζονται με την κλιμακοθέτηση, ασφάλεια και απόδοση του δικτύου.

Τέλος στο [10] προτείνεται η αρχιτεκτονική «RTMF», στην οποία και στηρίζεται η παρούσα εργασία και θα παρουσιαστεί στην ενότητα 2 σε μεγαλύτερη λεπτομέρεια. Συνοπτικά στην αρχιτεκτονική αυτή, παρουσιάζεται ένα υπόδειγμα διαδικτύωσης βασισμένο σε μεταγωγή πακέτων, το οποίο όμως διαφέρει από υπάρχουσες λύσεις διότι υποστηρίζεται και ακολουθεί την «Publish/Subscribe» προσέγγιση. Κύριος σκοπός της προσέγγισης αυτής είναι να διαμοιραστεί ο έλεγχος για τη λήψη δεδομένων από τα ακροσημεία του δικτύου στο δίκτυο αυτό καθεαυτό, και ταυτόχρονα να συνδυαστεί με τους μηχανισμούς και τη λειτουργία της δρομολόγησης και της προώθησης δεδομένων.

Πλέον των παραπάνω αρχιτεκτονικών που παρουσιάστηκαν, ένα σύνολο ερευνητικών πρωτοβουλιών κινείται επίσης προς την συγκεκριμένη κατεύθυνση. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν οι ακόλουθες πρωτοβουλίες. Το CCNx [11] είναι ένα έργο ανοιχτού κώδικα το οποίο επιχειρεί να προτείνει μια νέα προσέγγιση στη δικτύωση βασισμένη σε μια θεμελιώδη αρχιτεκτονική αλλαγή: την αντικατάσταση της ονοματοδοσίας κόμβων με την ονοματοδοσία περιεχομένου. Το PSIRP [12] στοχεύει επίσης να σχεδιάσει, αναπτύξει και υλοποιήσει μια αρχιτεκτονική διαδικτύωσης με άξονα την πληροφορία βασισμένη στο παράδειγμα της προσέγγισης «Publish/Subscribe». Η πρωτοβουλία 4WARD [13] έχει ως κύριο και πρωτεύον στόχο να καταστήσει το σχεδιασμό και την ανάπτυξη δικτύων και δικτυακών υπηρεσιών ταχύτερες και ευκολότερες διαδικασίες, ούτως ώστε να είναι δυνατή η παροχή νέων εξελιγμένων υπηρεσιών επικοινωνίας. Ο στόχος αυτός είναι δυνατό να επιτευχθεί μέσω του επανασχεδιασμού ενός συνόλου από τους μηχανισμούς των αρχιτεκτονικών διαδικτύωσης.

Οι πλέον πρόσφατες ερευνητικές πρωτοβουλίες, όπως το NDN [14], το SAIL [15] και το PURSUIT [16] ακολουθούν το ίδιο παράδειγμα και προσπαθούν να δώσουν λύση στα παραπάνω προβλήματα. Το NDN στηρίζεται και επενδύει στα πλεονεκτήματα του Διαδικτύου ενώ ταυτόχρονα προσπαθεί να διευθετήσει και να επιλύσει τις αδυναμίες του με σκοπό να φιλοξενήσει τις συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες για επικοινωνία. Το SAIL έχει διπλό στόχο: πρώτον να σχεδιάσει τεχνολογίες για τα μελλοντικά δίκτυα, γνωστά ως «Networks of the Future» και δεύτερον να αναπτύξει τεχνικές για την μετάβαση από την τρέχουσα κατάσταση στα δίκτυα αυτά. Σκοπός του είναι να χτίσει στην αρχιτεκτονικές και τεχνολογίες τελευταίας αιχμής, να τις εξελίξει και να τις συνδυάσει για να επιτύχει το στόχο του. Τέλος το PURSUIT, ως συνέχεια του της πρωτοβουλίας PSIRP, στοχεύει, μεταξύ άλλων, στην αλλαγή του τρόπου δρομολόγησης και προώθησης δεδομένων ούτως ώστε να λειτουργεί πλέον στηριζόμενο στην έννοια της πληροφορίας και των σχετικών με αυτή εννοιών.

Ως συμπέρασμα προκύπτει ότι τόσο οι ερευνητικές πρωτοβουλίες αυτές όσο και οι αρχιτεκτονικές οι οποίες παρουσιάστηκαν παραπάνω αναγνωρίζουν την ανάγκη για την περαιτέρω μελέτη τέτοιου είδους προσεγγίσεων όπως επίσης και την ανάγκη για την βελτίωση και προώθηση της έννοια της δικτύωσης βασισμένης στην πληροφορία (Information Centric Networking).

Στην παρούσα εργασία στηρίζομαστε στην παραπάνω αρχιτεκτονική και περιγράφουμε τη διαδικασία εκκίνησης για ένα publish/subscribe δίκτυο. Θεωρούμε ένα σύνολο διασυνδεδεμένων κόμβων και περιγράφουμε τον τρόπο και τον μηχανισμό βάση του οποίου οργανώνονται σε ένα πλήρως λειτουργικό δίκτυο χρησιμοποιώντας τις δύο κύριες λειτουργίες που αναφέραμε παραπάνω: publish και subscribe. Στην συνέχεια παρουσιάζουμε τον τρόπο με τον οποίο τα δικτυακά στοιχεία δημοσιεύουν και εγγράφονται σε πληροφορία του επιπέδου ελέγχου με σκοπό α) να εγκαθιδρύσουν επικοινωνία από σημείο προς σημείο με γειτονικούς κόμβους, β) να ανταλλάξουν τοπολογική πληροφορία και γ) να εγκαταστήσουν και εκκινήσουν το μηχανισμό του rendezvous, ο οποίος αποθηκεύει publications και διαχειρίζεται subscriptions. Τέλος ακολουθεί η παρουσίαση ενός συνόλου αποτελεσμάτων για τους προτεινόμενους μηχανισμούς με χρήση προσομοίωσης, ενώ η εργασία ολοκληρώνεται με την σύνοψη καθώς και συμπεράσματα για μελλοντική εργασία.

2. Περιγραφή της Αρχιτεκτονικής Publish/Subscribe

2.1. Η Αρχιτεκτονική RTFM

Η συγκεκριμένη εργασία, όπως προαναφέραμε, στηρίζεται στην αρχιτεκτονική RTFM [10]. Στην αρχιτεκτονική αυτή η δημοσίευση της πληροφορίας στο δίκτυο δεν σχετίζεται και δεν περιλαμβάνει την μεταφορά και την παράδοση της πληροφορίας αυτής σε κάποιον χρήστη. Αποτελεί μόνο μια ανακοίνωση για την διαθεσιμότητα κάποιας πληροφορίας η οποία και μπορεί να σταλεί από χρήστες. Το δίκτυο ανιχνεύει τη διαθέσιμη αυτή πληροφορία και όταν ένας χρήστης εγγραφεί για την πληροφορία αυτή, τότε το δίκτυο είναι υπεύθυνο για τον εντοπισμό του publisher, στον οποίο ανήκει η δημοσίευση, όπως επίσης και για ενημέρωση του publisher για τον τρόπο με τον οποίο θα παραδώσει την πληροφορία στον subscriber.

Αυτός ο μηχανισμός rendezvous στον οποίο βασίζεται η αρχιτεκτονική RTFM διαφέρει από διάφορες άλλες αρχιτεκτονικές δικτύωσης βασισμένες στο μηχανισμό αυτό. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η αρχιτεκτονική i3 [17] όπου η δημοσίευση περιεχομένου περιλαμβάνει τη μετάδοση πληροφορίας στο rendezvous σημείο, και εν συνεχεία την προώθηση της στους subscribers. Μια τέτοια προσέγγιση όμως εμφανώς υποφέρει από το πρόβλημα του «network path stretch». Σε αντίθεση με την i3 κι άλλες παρόμοιες αρχιτεκτονικές, η RTFM καθοδηγεί και ενορχηστρώνει την διάδοση της πληροφορίας κατευθείαν από τους publishers στους subscribers βασισμένη και πάνω από βέλτιστα δένδρα παράδοσης, όπως αυτά υπολογίζονται από συγκεκριμένους μηχανισμούς δρομολόγησης.

Τα publications χαρακτηρίζονται από δυο αναγνωριστικά, ένα ιδιωτικό και ένα δημόσιο. Η αρχιτεκτονική δεν περιορίζει τον τρόπο τα δύο αναγνωριστικά αυτά θα σχηματιστούν, αλλά προτείνεται να είναι δεμένα κρυπτογραφικά μαζί. Η ιδέα στα αναγνωριστικά αυτά είναι το ιδιωτικό να είμαι γνωστό μόνο στους publisher(s) της πληροφορίας, ενώ το δημόσιο να είναι γνωστό και να χρησιμοποιείται από τους πιθανούς subscribers της πληροφορίας αυτής. Το ιδιωτικό αναγνωριστικό είναι δυνατό να δημιουργηθεί με διάφορους τρόπους, με χαρακτηριστικό παράδειγμα τον κατακερματισμό του περιεχομένου ή των μεταδεδομένων του publication και μια υπογραφή από το ιδιωτικό κλειδί του publisher. Όσον αφορά το δημόσιο αναγνωριστικό μπορεί να δημιουργηθεί με τον μονόδρομο κατακερματισμό του ιδιωτικού αναγνωριστικού. Η σημασία των δύο αυτών αναγνωριστικών σε κάθε ένα publication είναι εξαιρετικά σημαντική δεδομένου ότι: πρώτον, ο publisher είναι σε θέση να αποδείξει ότι ένα συγκεκριμένο publication είναι δικό του, και δεύτερον ο subscriber να ελέγξει την εγκυρότητα ενός ληφθέντος publication.

Τα δύο παραπάνω αναγνωριστικά καλούνται Scope Id και Rendezvous Id [18]. Το Scope Id (Sid) χρησιμοποιείται προκειμένου να οργανώσει τα στοιχεία της πληροφορίας σε μεγαλύτερες συλλογές, ενώ το Rendezvous Id (Rid) είναι ένα στατιστικά μοναδικό αναγνωριστικό το οποίο χρησιμοποιείται ως ετικέτα σε ένα publication. Ο συνδυασμός και η συσχέτιση των δύο αυτών αναγνωριστικών επιτρέπει στις εφαρμογές του χρήστη να χτίσουν σχέσεις μεταξύ στοιχείων πληροφορίας, όπως για παράδειγμα προκειμένου να δημιουργήσουν ταξινομίες ή ακόμα για τον εντοπισμό της πληροφορίας ή εφαρμογή πολιτικών για τον έλεγχο πρόσβασης.

Η RTFM αρχιτεκτονική διαχωρίζει τις λειτουργίες του δικτύου σε τρεις συγκεκριμένες και διακριτές: τη λειτουργία του Rendezvous, τη λειτουργία του Topology και αυτή του Forwarding. Όλες οι λειτουργίες στο δίκτυο πραγματοποιούνται βάση των τριών αυτών λειτουργιών. Στις επόμενες υπό-ενότητες παρουσιάζουμε σε λεπτομέρεια τα χαρακτηριστικά και το ρόλο των λειτουργιών αυτών.

2.1.1. Περιγραφή της Λειτουργίας Topology

Ο κύριος σκοπός της λειτουργίας του Topology είναι να δημιουργήσει και να διαχειριστεί τα μονοπάτια παράδοσης τα οποία χρησιμοποιούνται για την προώθηση της κίνησης. Σύμφωνα με τη λειτουργία αυτή διακρίνονται δύο περιπτώσεις: στην πρώτη δημιουργεί προληπτικά μονοπάτια παράδοσης σύμφωνα με την πληροφορία για την τοπολογία του δικτύου που έχει αποκτήσει, ενώ στη δεύτερη αντιδραστικά δημιουργεί μονοπάτια, εφόσον τα υπάρχοντα δεν είναι δυνατό να παρέχουν την απαιτούμενη συνδεσιμότητα είτε λόγω της μη διαθεσιμότητας των μονοπατιών, είτε διότι ένα υπάρχον μονοπάτι να μην είναι το πλέον βέλτιστο στην τοπολογία. Σε μία τέτοια περίπτωση θα πρέπει να εξεταστεί εάν είναι αποδοτικότερο για το σύστημα να δημιουργηθεί ένα νέο μονοπάτι, αυξάνοντας το μέγεθος έτσι του πίνακα προώθησης, ή να χρησιμοποιηθεί το ήδη υπάρχον μονοπάτι. Συνεπώς σε κάθε περίπτωση απαιτείται μελέτη της τοπολογίας και των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών αυτής για να αποφασίσει και υιοθετήσει τη μία ή την άλλη προσέγγιση.

2.1.2. Περιγραφή της Λειτουργίας Rendezvous

Όταν ένας κόμβος εγγραφεί για ένα publication, το δίκτυο θα πρέπει να βρει ένα τρόπο για να ανακαλύψει και να εντοπίσει το publication αυτό, όπως επίσης και να ενημερώνει τον publisher για το που θα πρέπει να παραδώσει τα δεδομένα αυτά. Η λειτουργία Rendezvous προσφέρει ακριβώς αυτήν την υπηρεσία. Εκτελεί την αποθήκευση, διαχείριση και ταίριασμα των publications και subscriptions για τη διαθέσιμη πληροφορία σε ένα δίκτυο. Είναι συνήθως μια κατανεμημένη δομή, όπως τα DHTs ή αρχιτεκτονική DONA που παρουσιάστηκε σε προηγούμενη ενότητα. Χρησιμοποιεί τη κατανεμημένη δομή αυτή ούτως ώστε να δρομολογήσει ένα αντίγραφο του ζητούμενου μηνύματος και να συλλέξει την απαιτούμενη πληροφορία ούτως ώστε να η πληροφορία να προωθηθεί στο subscriber.

2.1.3. Περιγραφή της Λειτουργίας Forwarding

Η λειτουργία του Forwarding χρησιμοποιείται προκειμένου τα δεδομένα να μεταφερθούν και εν τέλει να παραδοθούν από μία τοποθεσία σε μία άλλη, από τον publication δηλαδή στον subscriber. Βασίζεται στη μεταγωγή ετικέτας, όπου κάθε πακέτο φέρει μία (ή και περισσότερες) ετικέτα. Ο κάθε ενδιάμεσος παραλήπτης του πακέτου με βάση την ετικέτα αυτή προωθεί το μήνυμα στην κατάλληλη διεπαφή του μέχρις ότου να φτάσει στον τελικό ή τελικούς παραλήπτες του. Μια ετικέτα είναι ακολουθία ενός αριθμού δυφίων τα οποία χρησιμοποιούνται από τους δρομολογητές προκειμένου να παίρνουν τις αποφάσεις για την προώθηση ή μη των πακέτων, και είναι δυνατό να είναι ίδια με το αναγνωριστικό του publication.

2.2. Περιγραφή Δικτυακών Οντοτήτων της Αρχιτεκτονικής Publish/Subscribe

Στο πλαίσιο αυτό, θεωρούμε τρεις τύπους δικτυακών στοιχείων στο σύστημά μας: δρομολογητές, σημεία rendezvous και τερματικούς κόμβους. Οι δρομολογητές είναι απλά δικτυακά στοιχεία μεταγωγής πακέτων, διακρίνονται από χαμηλή πολυπλοκότητα, και διατηρούν τοπολογική πληροφορία για το δίκτυο μέσω ενός πρωτοκόλλου δρομολόγησης κατάστασης ζεύξης. Στους δρομολογητές ανατίθεται ένα επίπεδο, τοπολογικά και εννοιολογικά ανεξάρτητο αναγνωριστικό, το οποίο και θα καλούμε Node Id. Τα Node Ids θα πρέπει να είναι μοναδικά σε μια περιοχή του δικτύου, αλλά δεν είναι υποχρεωτικό να είναι καθολικά μοναδικά.

Τα Rendezvous σημεία (τα οποία εξής θα αποκαλούμε RVPs) είναι ειδικοί δικτυακοί κόμβοι, οι οποίοι ανιχνεύουν τα διαθέσιμα publications. Publications και subscriptions δρομολογούνται στα RVPs, στα οποία και εφαρμόζεται η διαδικασία ταιριάσματος μεταξύ τους. Οι κόμβοι των χρηστών αποκτούν πρόσβαση στο δίκτυο μέσω δρομολογητών πρόσβασης πύλης. Οι χρήστες δεν έχουν καμία πρόσβαση σε τοπολογική πληροφορία. Επικοινωνούν μόνο με τους προαναφερθέντες δρομολογητές οι οποίοι και προωθούν τα publications και τα subscriptions τους στο δίκτυο. Τέλος οι χρήστες παράγουν κίνηση στο δίκτυο μόνο κατ' αίτηση.

2.3. Περιγραφή του Μηχανισμού Forwarding

Όσον αφορά τη λειτουργία της προώθησης, στην παρούσα εργασία χρησιμοποιούμε το μηχανισμό του LIPSIN [19]. Ο LIPSIN είναι ένας μηχανισμός προώθησης πληροφορίας ο οποίος στηρίζεται στη δρομολόγηση πηγής. Ο χρήστης του έγκειται στη κωδικοποίηση των μονοπατιών παράδοσης σε σταθερού μεγέθους φίλτρα, γνωστά ως Bloom Filters, τα οποία καλούνται zFilters [20].

Τα Bloom Filters προτάθηκαν από τον Burton Howard Bloom και αποτελούν μια πιθανοτική και χωρικά-αποδοτική δομή δεδομένων η οποία χρησιμοποιείται προκειμένου να ελέγξει εάν ένα στοιχείο αποτελεί μέλος ενός συνόλου. Το σημαντικό πλεονέκτημα της δομής αυτής είναι ότι είναι πιθανό να από τον έλεγχο να προκύψουν λανθασμένα θετικά αποτελέσματα (false negatives), αλλά αποκλείεται να προκύψουν λανθασμένα αρνητικά. Αυτό για την περίπτωση που εξετάζουμε σημαίνει ότι ενδέχεται να προωθηθεί ένα μήνυμα σε κάποιον που δε έπρεπε, αλλά αποκλείεται να προωθηθεί σε μια δικτυακή οντότητα που δεν έπρεπε. Επίσης αξίζει να αναφερθεί το γεγονός ότι όσο περισσότερα στοιχεία προστίθενται στο σύνολο, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα για λανθασμένα θετικά αποτελέσματα.

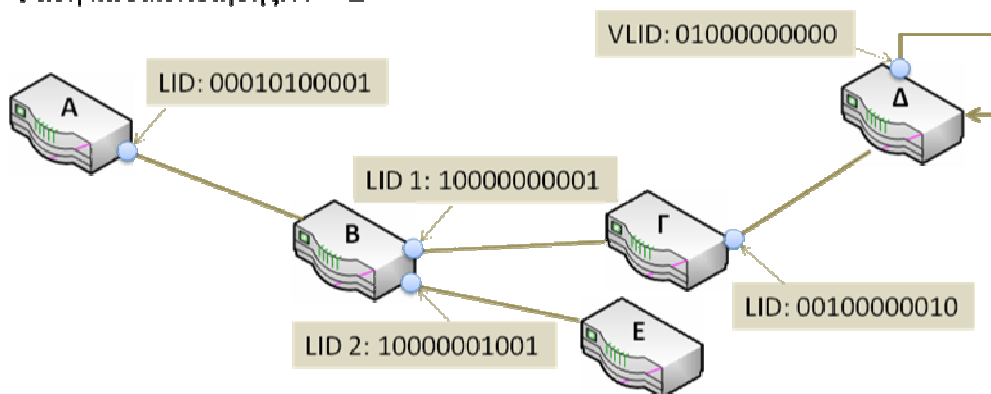
Στο LIPSIN σε κάθε ζεύξη του δικτύου ανατίθεται ένα Bloom filter το οποίο εξής θα αποκαλούμε Link Identifier (LID). Τα LIDs είναι μόνο-κατευθυντικά με την έννοια ότι για μία ζεύξη χρειάζονται δύο LIDs για να την χαρακτηρίσουν πλήρως, ένα για κάθε κατεύθυνση.

Προκειμένου να δημιουργηθεί ένα μονοπάτι για την προώθηση της πληροφορίας μεταξύ δύο κόμβων του δικτύου, το LIPSIN κωδικοποιεί όλα τα LIDs που ανήκουν στο μονοπάτι αυτό σε ένα μόνο Bloom filter χρησιμοποιώντας την δυαδική πράξη «Η» (OR). Στη συνέχεια, τα πακέτα μεταφέρονται στο δίκτυο χρησιμοποιώντας το φίλτρο αυτό ως μια επικεφαλίδα για την δρομολόγηση πηγής. Όταν ένας κόμβος παραλάβει ένα πακέτο, αφαιρεί από την επικεφαλίδα του το zFilter, και ακολούθως το συγκρίνει με όλα τα φίλτρα των εξερχόμενων ζεύξεων του χρησιμοποιώντας την δυαδική «ΚΑΙ» (AND). Στην περίπτωση κατά την οποία το αποτέλεσμα της σύγκρισης αυτής, δηλαδή μεταξύ του zFilter και ενός LID, είναι θετικό – ταιριάζει το ANDed LID -, τότε ο συγκεκριμένος κόμβος θεωρεί ότι αυτό το LID είναι κωδικοποιημένο στο συγκεκριμένο μονοπάτι παράδοσης και μεταδίδει το πακέτο αυτό στη συγκεκριμένη ζεύξη.

Προκειμένου ένας χρήστης να καθορίσει τον τελικό παραλήπτη ενός πακέτου το οποίο μεταφέρεται σε ένα μονοπάτι, στα δικτυακά στοιχεία ανατίθεται ένα ακόμα εικονικό αναγνωριστικό, το οποίο «δείχνει» τα ίδια και το οποίο πλέον θα καλούμε Virtual Link Identifier (VLID). Η διαδικασία συνεπώς της κωδικοποίησης του μονοπατιού με την χρήση των LIDs, η οποία περιγράφηκε παραπάνω, περιλαμβάνει ακόμα και την κωδικοποίηση του VLID. Στην περίπτωση όπου ένας κόμβος παραλάβει ένα πακέτο, συγκρίνει το zFilter και με το VLID του, ούτως ώστε να διαπιστώσει εάν το πακέτο αυτό έχει ως τελικό παραλήπτη τον ίδιο. Η παραπάνω διαδικασία παρουσιάζεται αναλυτικότερα στο Σχήμα 1 και Σχήμα 2.

Συγκεκριμένα στο Σχήμα 1 ο κόμβος Α επιθυμεί να αποστείλει ένα μήνυμα στον κόμβο Δ. Συνεπώς από την τοπολογική πληροφορία που διαθέτει (θα παρουσιάσουμε σε επόμενη ενότητα το πώς συλλέγεται η πληροφορία αυτή), κωδικοποιεί σε ένα μόνο zFilter όλα τα εξερχόμενα LIDs των ενδιάμεσων κόμβων του μονοπατιού από τον Α στο Δ, συμπεριλαμβανομένου του VLID του Δ. Στη συνέχεια αποστέλλει το μήνυμα του στο δίκτυο.

Φάση κωδικοποίησης: Α → Δ

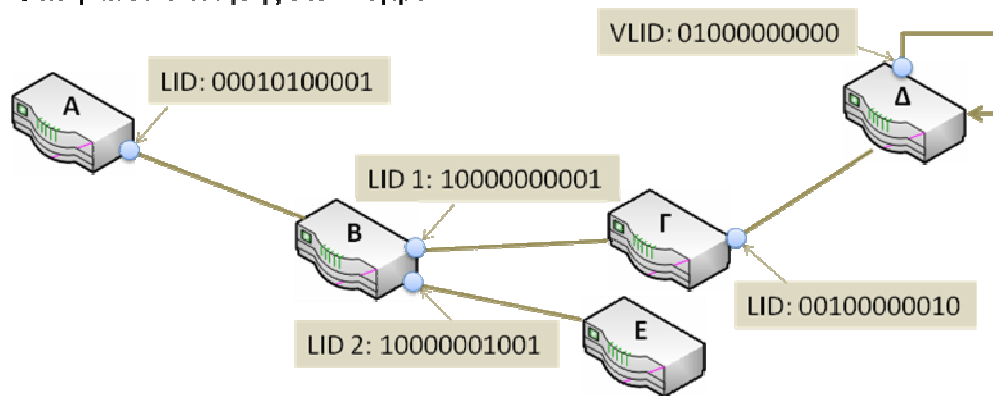


zFilter: 00010100001 OR 10000000001 OR 00100000010 OR 01000000000 → 11110100011

Σχήμα 1: Φάση κωδικοποίησης zFilter από Α → Δ

Κάθε κόμβος που λαμβάνει το μήνυμα αυτό ελέγχει όλα του τα LIDs με το zFilter αυτό. Για παράδειγμα, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2, ο Β ελέγχει και το LID 1 και το LID 2 με το φίλτρο αυτό χρησιμοποιώντας την δυαδική πράξη «ΚΑΙ». Αποτέλεσμα της πράξης αυτής είναι να καταλάβει ότι το παραληφθέν μήνυμα προοριζόταν μόνο για την ζεύξη προς τον κόμβο Γ, και για αυτήν προς τον κόμβο Ε.

Φάση κωδικοποίησης στον κόμβο Β



LID1 AND zFilter: 10000000001 AND 11110100011 → 10000000001

LID2 AND zFilter: 10000001001 AND 11110100011 → 10000000001

Σχήμα 2: Φάση αποκωδικοποίησης zFilter στον κόμβο Β

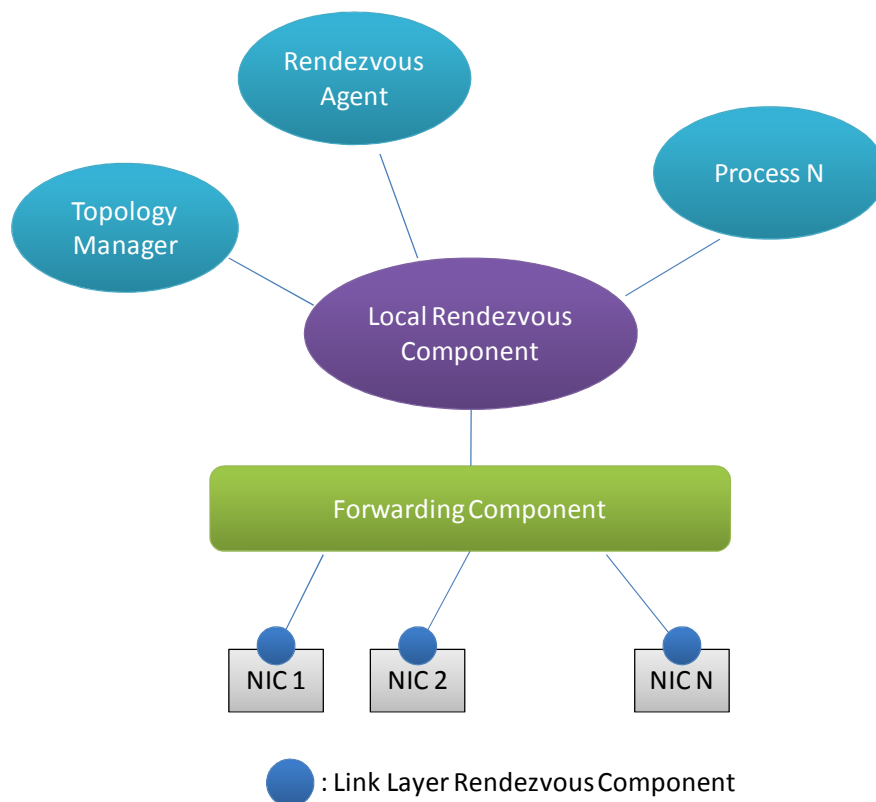
3. Περιγραφή της Διαδικασίας Εκκίνησης ενός Publish/Subscribe Δικτύου

Στην ενότητα αυτή, περιγράφουμε τη διαδικασία εκκίνησης ενός Publish/Subscribe δικτύου, ακολουθώντας μια προσέγγιση «από κάτω προς τα πάνω». Συγκεκριμένα, αρχικά περιγράφουμε τον τρόπο με τον οποίο επικοινωνούν εσωτερικά οι διάφορες διεργασίες ενός δικτυακού στοιχείου χρησιμοποιώντας το παράδειγμα του Publish/Subscribe, ενώ στη συνέχεια αναλύουμε την επικοινωνία αυτή μεταξύ δύο (εν γένει περισσότερων) κόμβων. Τέλος, παρουσιάζουμε και αναλύουμε τον τρόπο λειτουργίας ενός πρωτοκόλλου δρομολόγησης κατάστασης ζεύξης, το οποίο στηρίζεται στο οποίο είναι προσαρμοσμένο στην έννοια του Publish/Subscribe και το οποίο χρησιμοποιείται ούτως ώστε να διαχειριστεί την τοπολογική πληροφορία και να εξυπηρετήσει τις τοπολογικές ανάγκες του δικτύου.

3.1. Περιγραφή Εσωτερικής Αρχιτεκτονικής ενός Publish/Subscribe Κόμβου

Η εσωτερική δομή και αρχιτεκτονική ενός publish/subscribe κόμβου παρουσιάζεται στο Σχήμα 3. Οι κύριες συνιστώσες της δομής αυτής είναι οι ακόλουθες:

- Local Rendezvous Component
- Forwarding Component
- Link Layer Rendezvous Component
- Topology Manager
- Rendezvous Agent



Σχήμα 3: Εσωτερική δομή ενός Publish/Subscribe κόμβου

Οι συνιστώσες αυτές περιγράφονται αναλυτικά μία προς μία στις ακόλουθες υπο-ενότητες.

3.1.1. Local Rendezvous Component

Το Local Rendezvous Component (το οποίο εξής θα αποκαλούμε LocRC) είναι το κεντρικό στοιχείο ή η καρδιά ενός κόμβου. Ο κύριος σκοπός της συνιστώσας αυτής είναι να παρέχει τη διαδιεργασιακή επικοινωνία (IPC) μεταξύ των διεργασιών του συστήματος ακολουθώντας το publish/subscribe παράδειγμα. Το LocRC ουσιαστικά αποθηκεύει subscriptions οι οποίες δημοσιεύονται από τις διάφορες διεργασίες του συστήματος, και προωθεί στις διεργασίες αυτές publications, εφόσον αυτά ταιριάζουν με τα αποθηκευμένα subscriptions. Ο μηχανισμός για το ταίριασμα των subscriptions με τα publications είναι ακριβώς ίδιος με αυτόν ο οποίος περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Οι υπόλοιπες διεργασίες και πρωτόκολλα οργανώνονται και λειτουργούν γύρω από το LocRC, σχηματίζοντας ένα κύκλο πρωτοκόλλων, αντί της παραδοσιακής στοίβας πρωτοκόλλων του OSI [22].

3.1.2. Forwarding Component

Κάτω από το LocRC βρίσκεται το Forwarding Component (το οποίο εξής θα αποκαλούμε FwdC), το οποίο και συνδέεται άμεσα με τις δικτυακές διεπαφές του δικτυακού στοιχείου. Προκειμένου ένας κόμβος να μεταδώσει δεδομένα προς το δίκτυο, οι διάφορες διεργασίες του κόμβου αυτού (π.χ. ο Topology Manager που θα αναλύσουμε παρακάτω) θα πρέπει να περάσουν τα publications τους στον FwdC μέσω της διαδιεργασιακής επικοινωνίας που επιτυγχάνεται χάριν στο LocRC.

Ας θεωρήσουμε, για παράδειγμα, ότι ο κόμβος A επιθυμεί να στείλει ένα publication (*S*, *R*, [*data*]) στον κόμβο B, όπου *S* είναι το ScopeId και *R* το RendezvousId, όπως αυτά έχουν οριστεί σε προηγούμενη ενότητα. Στην περίπτωση αυτή, ο A θα πρέπει να αποκτήσει το μονοπάτι προώθησης των δεδομένων από τον εαυτό του στο B, και εν συνεχεία να ενθυλακώσει το ήδη υπάρχον publication με την πληροφορία αυτή σε ένα νέο, καινούριο publication της μορφής

(Fwd_Sid, Fwd_Rid, [pathXY, (S, R, [data])]),

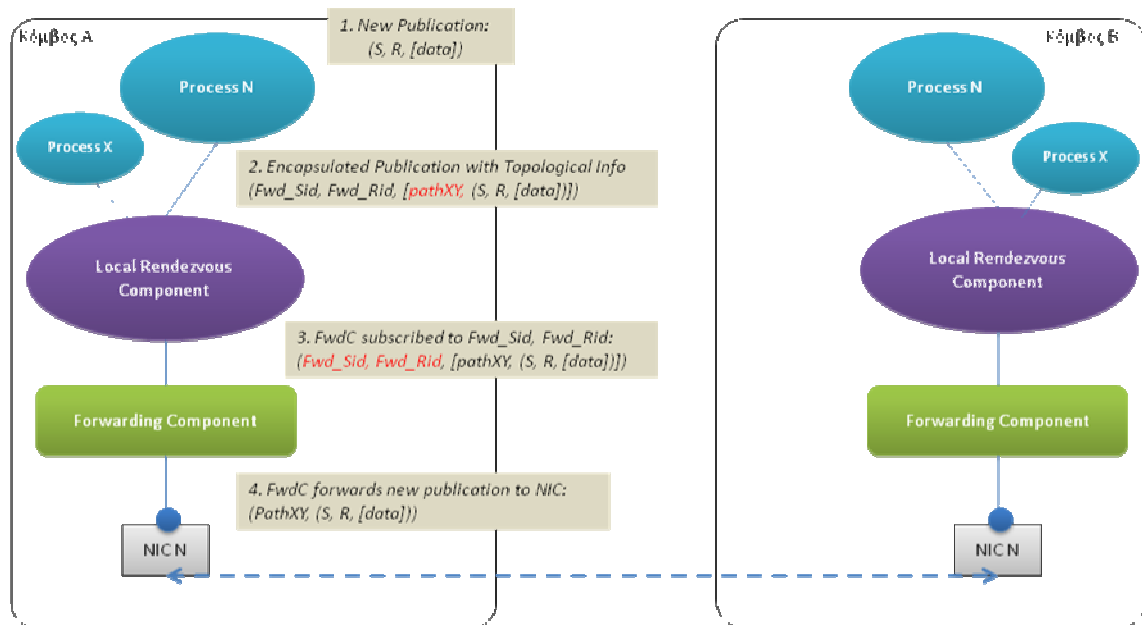
το οποίο και θα προωθήσει στο LocRC.

Ο LocRC διαπιστώνει ότι για υπάρχει ήδη ένα subscription από τον FwdC για publication με ScopeId και RendezvousId, Fwd_Sid/Fwd_Rid αντίστοιχα, συνεπώς έπειτα από την επιτυχή διαδικασία του ταίριασματος προωθεί το συγκεκριμένο publication στον FwdC του κόμβου A. Ο FwdC με τη σειρά του αφαιρεί το ενθυλακωμένο publication και μεταδίδει το πακέτο στην κατάλληλη διεπαφή σύμφωνα με το μονοπάτι δρομολόγησης.

Το πακέτο αυτό τελικώς φτάνει στον FwdC του B, ο οποίος αφού αφαιρέσει την πληροφορία για το μονοπάτι δρομολόγησης, προωθεί το αρχικό publication (*S*, *R*, [*data*]) στο LocRC του B. Η συνιστώσα αυτή ελέγχει εάν υπάρχει κάποια διεργασία του συστήματος η οποία να έχει κάποιο subscription σε (S,R) και προωθεί το publication σε αυτή. Σε διαφορετική περίπτωση απορρίπτει το μήνυμα.

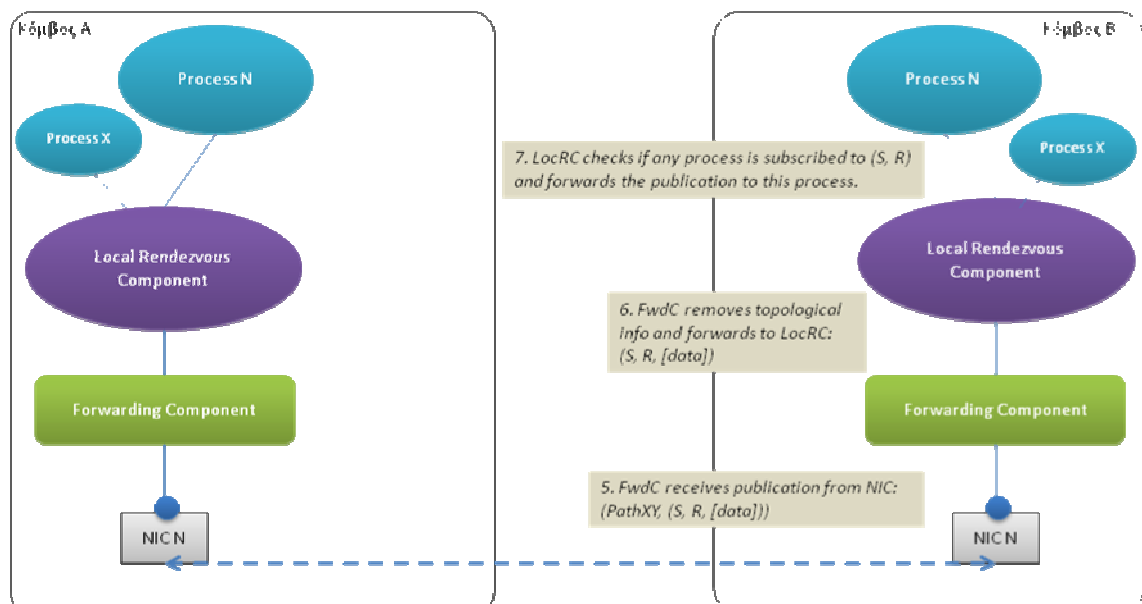
Σχηματικά η παραπάνω ανταλλαγή μηνυμάτων παρουσιάζεται στο Σχήμα 4 και Σχήμα 5.

Διαδικασία Αποστολής



Σχήμα 4: Διαδικασία Αποστολής Publication

Διαδικασία Λήψης



Σχήμα 5: Διαδικασία Λήψης Publication

Όταν ένας publish/subscribe κόμβος συνδέεται σε μία νέα ζεύξη, ο FwdC ευρεσκεμπει ένα publication σε ένα γνωστό ζεύγος Sid/Rid μεταξύ των FwdC, για παράδειγμα Fwd_Sid/Fwd_Link_Connect Rid, με το οποίο και ανακοινώνει το VLID στους γειτονικούς κόμβους. Εάν ένας γειτονικός κόμβος δεχθεί ένα τέτοιο publication, αποθηκεύει το Id αυτό και απαντά πίσω με ένα μήνυμα το οποίο περιέχει το δικό του VLID. Η ανταλλαγή των VLID είναι μια σχετικά απλή προσέγγιση. Στο [21] παρουσιάζεται μια περισσότερο λεπτομερής μελέτη για την εγκατάσταση νέας ζεύξης μεταξύ publish/subscribe κόμβων.

Μετά την ολοκλήρωση της φάσης της ανταλλαγής αυτής, οι FwdC θέτουν ένα νέο LID για τη νέα ζεύξη τους και ανακοινώνουν τη νέα αυτή κατάσταση εσωτερικά με ένα publication της πληροφορίας των LID/VLIDs με ένα ζεύγος Sid/Rid της μορφής Fwd_Sid/Link_Established_Rid.

Με το πέρας της φάσης αυτής, η επικοινωνία μεταξύ των γειτονικών κόμβων είναι πλέον εφικτή, και προϋποθέτει μόνο την κωδικοποίηση των LID και VLID στο μονοπάτι της δρομολόγησης. Προκειμένου να υποστηριχθεί επικοινωνία μεταξύ περισσότερων των δύο κόμβων, χρησιμοποιείται ο Topology Manager, που θα αναλυθεί σε επόμενη ενότητα.

3.1.3. Link Layer Rendezvous Component

Το Link Layer Rendezvous Component (LLRC) αποτελεί μία ακόμα συνιστώσα της εσωτερικής δομής ενός κόμβου. Είναι εγκατεστημένο σε κάθε δικτυακή διεπαφή του κόμβου και εκτελεί λειτουργίες μόνο για τη συγκεκριμένη ζεύξη της διεπαφής.

Η κύρια λειτουργία της συνιστώσας αυτής είναι η ανακάλυψη των γειτονικών κόμβων ενός δικτυακού στοιχείου. Συγκεκριμένα όταν ένας κόμβος συνδέεται σε μια νέα ζεύξη τότε το LLRC αποστέλλει ένα μήνυμα στον γειτονικό του κόμβο το οποίο περιέχει το LID της διεπαφής αυτής μαζί με το ID του κόμβου. Όταν ο γειτονικός κόμβος λάβει το μήνυμα αυτό, αποθηκεύει την πληροφορία αυτή προωθώντας την στο FwdC, ενώ παράλληλα αποστέλλει το δικό του ζεύγος ID/LID. Αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής είναι να γνωρίσουν όλοι οι κόμβοι του δικτύου τους γείτονες τους, πληροφορία η οποία θα χρησιμοποιηθεί από τους Topology Managers για να χτίσουν την τοπολογική πληροφορία του δικτύου.

Εκτός από αυτήν τη λειτουργία, το LLRC είναι σε θέση να εκτελέσει και άλλες ενέργειες όπως πιστοποίηση της ταυτότητας του γειτονικού κόμβου, ή ακόμα και καθορισμό διάφορων παραμέτρων της συγκεκριμένης ζεύξης.

3.1.4. Topology Manager

Το Topology Management Component (TMC) είναι η υλοποίηση της λειτουργίας τοπολογίας του δικτύου και είναι υπεύθυνο για την οργάνωση της τοπολογικής πληροφορίας του δικτύου. Σκοπός του είναι να υπολογίζει και παρέχει τα μονοπάτια δρομολόγησης τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για τη μεταφορά των διάφορων μηνυμάτων στο δίκτυο.

Το TMC διαχειρίζεται το σύνολο αυτό της τοπολογικής πληροφορίας μέσω ενός καταναμεμένου αλγόριθμου δρομολόγησης κατάστασης ζεύξης. Ο καταναμεμένος αλγόριθμος αυτός παρουσιάζεται στον επόμενο Πίνακα 1:

1. Δημιουργούμε το γράφο του δικτύου
2. Θεωρούμε ως αρχικό, το κόμβο στον οποίο εκτελείται ο αλγόριθμος
3. Όσο το πλήθος των κόμβων είναι μεγαλύτερου του 0
 - a. Αφαιρούμε το κόμβο με την μικρότερη απόσταση από την αρχή.
 - b. Βρίσκουμε τους γειτονικούς του κόμβους
 - c. Για κάθε γειτονικό κόμβο
 - i. Επιλέγουμε το γειτονικό κόμβο
 - ii. Υπολογίζουμε την απόσταση μεταξύ αυτού και του κόμβου με τη μικρότερη απόσταση (συνυπολογίζοντας την απόσταση του μικρότερου από την αρχή)
 - iii. Ελέγχουμε αν η απόσταση αυτή είναι μικρότερη από την απόσταση

του γειτονικού αυτού κόμβου από την αρχή

1. Αν ναι, θέτουμε την απόσταση του γειτονικού κόμβου από την αρχή ίση με την απόσταση που υπολογίσαμε
2. Θέτουμε ως προηγούμενο κόμβο του γειτονικού το κόμβο με τη μικρότερη απόσταση από την αρχή (βήμα 3.α)

Πίνακας 1: Περιγραφή Αλγόριθμου Δρομολόγησης Κατάστασης Ζεύξης

Με τη χρήση του αλγόριθμου αυτού επιτυγχάνουμε τον υπολογισμό όλων των μονοπατιών δρομολόγησης πηγής από κάθε δρομολογητή προς όλους τους άλλους.

Δεδομένου ότι διαχείριση της τοπολογίας του δικτύου απαιτείται μόνο στα στοιχεία μεταγωγής του δικτύου (π.χ. δρομολογητές), τα Topology Management Components είναι εγκατεστημένα μόνο στα στοιχεία αυτά. Προκειμένου να επικοινωνήσουν TMCs τα οποία είναι εγκατεστημένα σε διαφορετικά δικτυακά στοιχεία, χρησιμοποιούν publications και subscriptions σε ένα εκ των προτέρων συμφωνηθέν και γνωστό ζεύγος Sid/Rid, για παράδειγμα TMC_Sid/TMC_Rid.

Όταν ένας TMC ξεκινά για πρώτη φορά, εγγράφεται στο ζεύγος Fwd_Sid/Link_Established_Rid, ούτως ώστε να ενημερωθεί στην περίπτωση που ο κόμβος εγκαταστήσει μία νέα ενεργή ζεύξη. Με την ολοκλήρωση της εγκαθίδρυσης της νέας σύνδεσης, το TMC δημιουργεί ένα publication με TMC_Sid/TMC_Rid. Το publication αυτό έχει σχέση με τη συνδεσιμότητα της ζεύξης και περιέχει το ID του δικτυακού στοιχείου, τα LIDs των εξερχόμενων ζεύξεών του καθώς επίσης τα IDs των γειτονικών κόμβων με τους οποίους σχετίζονται τα LIDs αυτά. Το TMC ακολούθως υπολογίζει το μονοπάτι για το γειτονικό κόμβο και στέλνει το publication, όπως έχει περιγραφεί σε προηγούμενη ενότητα.

Όταν ο γειτονικός TMC λάβει το publication αυτό, ενημερώνει τον τοπικό γράφο του δικτύου και απαντά πίσω με ένα αντίστοιχο publication, το οποίο περιέχει τα δικά του στοιχεία, δηλαδή το ID του, τα LIDs των εξερχόμενων ζεύξεών του και τα IDs των γειτονικών κόμβων με τους οποίους σχετίζονται τα LIDs αυτά. Οι TMCs προωθούν τα ληφθέντα αυτά publications στους γείτονές τους εφαρμόζοντας έναν αναδρομικό τρόπο, έτσι ώστε το publication να φτάσει σε όλους τους κόμβους του δικτύου. Προκειμένου να αποφευχθούν καταστάσεις κατά τις οποίες τα publications αυτά θα ταξίδευαν συνεχώς στο δίκτυο, όπως και καταστάσεις όπως διπλότυπα publications θα έφταναν σε έναν κόμβο, το TMC παρακολουθεί τα πιο πρόσφατα publications.

Το σημαντικό στοιχείο της προσέγγισης αυτής είναι ότι τόσο η πολυπλοκότητα ενός δρομολογητή όσο και οι απαιτήσεις σε επεξεργαστική ισχύ είναι σχετικά χαμηλές σε λογικά επίπεδα. Συγκεκριμένα οι δρομολογητές διατηρούν το γράφο της τοπολογίας στη μνήμη, το οποίο είναι ανάλογο με τον αριθμό των δρομολογητών στο δίκτυο, και μη ανάλογο στο σύνολο των διαθέσιμων στοιχείων πληροφορίας, όπως στο [9]. Το δικτυακό επίβαρο το οποίο προκαλείται και οφείλεται από το πρωτόκολλο δρομολόγησης κατάστασης ζεύξης παραμένει ανάλογο του αριθμού των δρομολογητών στο δίκτυο, το οποίο είναι σημαντικά χαμηλότερο από τη μετάδοση πληροφορίας στο δίκτυο με μορφή πλημμύρας για όλα τα διαθέσιμα στοιχεία πληροφορίας στο δίκτυο. Τελευταίο, αλλά εξίσου σημαντικό, είναι το γεγονός ότι τα πακέτα μεταδίδονται με δρομολόγηση πηγής. Το πλεονέκτημα της προσέγγισης αυτής είναι οι δρομολογητές να μην εκτελούν εργασίες ιδιαίτερα έντονες για τον επεξεργαστή, όπως την αναζήτηση στους πίνακες δρομολόγησης για κάθε παραληφθέν πακέτο, όπως συμβαίνει στα κλασικά δίκτυα μεταγωγής.

3.1.5. Rendezvous Agent

Ο Rendezvous agent είναι υπεύθυνος για τη αποθήκευση, διαχείριση και επεξεργασία των publications και subscriptions, τα οποία λαμβάνει είτε από άλλα ομότιμα δικτυακά στοιχεία, είτε από τους χρήστες. Αναλυτικότερα η χρήση του παρουσιάζεται στη επόμενη ενότητα, όπου και περιγράφεται ο μηχανισμός ανακάλυψης ενός Rendezvous συστήματος.

4. Περιγραφή του Μηχανισμού Ανακάλυψης του Rendezvous Συστήματος

Τα publications και τα subscriptions τα οποία αποστέλλονται από τους χρήστες δρομολογούνται σε συγκεκριμένους δικτυακούς κόμβους, οι οποίοι καλούνται Rendezvous Points (RVPs). Τα RVPs παρακολουθούν τα διαθέσιμα publications και εκτελούν τη διαδικασία του ταιριάσματος μεταξύ αυτών και των subscriptions. Θεωρούμε ότι τα RVPs είναι υπολογιστικά συστήματα με αυξημένες δυνατότητες όσον αφορά τη μνήμη και την υπολογιστική ισχύ τους, ούτως ώστε να είναι σε θέση να υποστηρίξουν την εντατική αυτή διαδικασία του ταιριάσματος.

Προκειμένου δύο ή περισσότεροι κόμβοι να επικοινωνήσουν, στο δίκτυο θα πρέπει να υπάρχει τουλάχιστον ένας RVP κόμβος. Η ύπαρξη και παρουσία ενός RVP κόμβου δηλώνεται στους δρομολογητές του δικτύου ακολουθώντας μια προσέγγιση παρόμοια με τον τρόπο όπου τα publications κατάστασης ζεύξης πλημμυρίζουν το δίκτυο.

Για τη διαχείριση της πληροφορίας που σχετίζεται με τους κόμβους αυτούς, διεργασίες συστήματος είναι εγκατεστημένες τόσο στους δρομολογητές όσο και στα RVPs, οι οποίες καλούνται Rendezvous Agents (RVAs). Κύρια λειτουργία των RVAs είναι να αποθηκεύουν την τοποθεσία των RVPs στο δίκτυο. Τα RVAs είναι ακόμα εγκατεστημένα και στους τελικούς δρομολογητές πρόσβασης των χρηστών οι οποίοι και λειτουργούν ως πληρεξούσιοι RVPs: λαμβάνουν τα publications and subscriptions τα οποία αποστέλλονται από τους χρήστες και τα προωθούν προς τα κατάλληλα RVPs. Η συντονισμένη και επιτυχημένη λειτουργία και συνεργασία των RVPs και των RVAs καθιστά το σύστημα Rendezvous σε ένα δίκτυο.

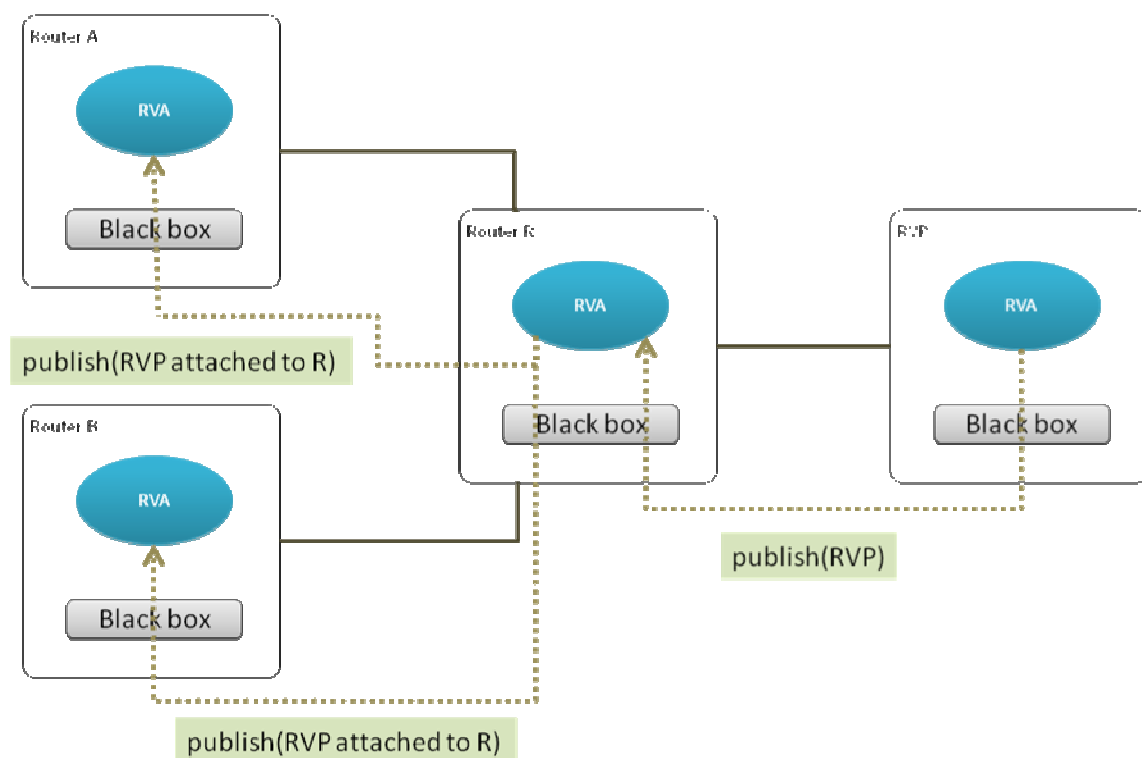
Στην επόμενη ενότητα 4.1, περιγράφουμε το μηχανισμό ανακάλυψης ενός RVP στο δίκτυο, ενώ στην ενότητα 4.2 περιγράφουμε ένα λεπτομερές και πλήρες παράδειγμα το οποίο δείχνει το πώς πραγματοποιείται η επικοινωνία δύο χρηστών στ δίκτυο. Τέλος στην ενότητα 4.3 περιγράφουμε μια επέκταση του μηχανισμού ανακάλυψης του RVP, ώστε να υποστηρίζονται περισσότερα του ενός RVPs σε ένα δίκτυο.

4.1. Περιγραφή Μηχανισμού Ανακάλυψης Rendezvous Point

Στο Σχήμα 6 παρουσιάζεται ένα δίκτυο, το οποίο αποτελείται από τρεις δρομολογητές, τους A, B και R. Στη συνέχεια ο φορέας εκμετάλλευσης του δικτύου αποφασίζει να εγκαταστήσει ένα RVP στο τοπικό δίκτυο του δρομολογητή R. Για το υπόλοιπο της ενότητας θεωρούμε ότι η ανταλλαγή πληροφορίας μεταξύ των RVAs πραγματοποιείται μέσω publications και subscriptions σε ένα γνωστό ζεύγος Sid/Rid, τα οποία ας θεωρήσουμε ότι είναι τα RVA_Sid/RVA_Rid.

Όταν ένας νέος RVP κόμβος εγκαταστήσει μια νέα ζεύξη με ένα δρομολογητή, τον R στην περίπτωση μας, ο RVA του κόμβου αυτού ανακοινώνει την παρουσία του RVP στην RVA διεργασία του δρομολογητή R. Ο RVA του R ζητά από τον Topology Manager του R να του παράσχει ένα μονοπάτι δρομολόγησης για τους γειτονικούς δρομολογητές (A και B), προκειμένου να τους στείλει ένα publication το οποίο θα δηλώνει το γεγονός της σύνδεσης ενός νέου RVP στον R. Οι RVAs των A και B αντίστοιχα αποθηκεύουν με τη σειρά τους το ID του δρομολογητή R μαζί με την πληροφορία για το νέο RVP, και προωθούν το publication στους γειτονικούς δρομολογητές, εάν υπάρχουν τέτοιοι. Σκοπός είναι το publication αυτό να προωθηθεί σε όλους τους δρομολογητές του δικτύου προκειμένου να είναι όλοι ενήμεροι τόσο για την ύπαρξη του RVP όσο και για τη σύνδεσή του με το δρομολογητή R.

Ο δρομολογητής R καλείται πληρεξούσιος δρομολογητής. Οποτεδήποτε ένας νέος δρομολογητής συνδέεται στο δίκτυο, ο RVA του ζητά πληροφορία για πιθανούς RVP ακολουθώντας την ακόλουθη προσέγγιση: αποστέλλει ένα publication στους γειτονικούς RVAs ζητώντας το ID του πληρεξουσίου δρομολογητή του R. Στην περίπτωση που κάποιος RVA λάβει ένα τέτοιο publication απαντά άμεσα πίσω με το ID του πληρεξουσίου δρομολογητή.



Σχήμα 6: Μηχανισμός Ανακάλυψης Rendezvous Point

Προκειμένου ένας χρήστης να μπορεί να στείλει publications και subscriptions στο δίκτυο, οι διεργασίες RVAs, οι οποίες τρέχουν στις τερματικές συσκευές, αποστέλλουν τα μηνύματα αυτά στον RVA του δρομολογητή πρόσβασης του χρήστη. Οι δρομολογητές αυτοί λειτουργούν ως πληρεξούσιοι δρομολογητές πρόσβασης, με την έννοια ότι προωθούν τα μηνύματα αυτά στον πληρεξούσιο δρομολογητή του RVP. Αυτός με τη σειρά του προωθεί τα publications και τα subscriptions στον RVP, ο οποίος και εκτελέσει τη λειτουργία του ταιριάσματος.

Στην περίπτωση όπου κανένας RVP κόμβος δεν είναι γνωστός, οι πληρεξούσιοι δρομολογητές πρόσβασης ενημερώνουν τους χρήστες για την αδυναμία τους να χειριστούν το μήνυμα τους με κατάλληλα μηνύματα λάθους.

Όταν ο RVP λάβει ένα subscription, εκτελεί αναζήτηση στην πληροφορία που διαθέτει ούτως ώστε να εξετάσει εάν υπάρχει κάποιο publication που να ταιριάζει. Στην περίπτωση που αυτό συμβαίνει, το RVP δημιουργεί το μονοπάτι δρομολόγησης ανάμεσα στο publisher και τον subscriber, και ενημερώνει / υποδεικνύει στον publisher να παραδώσει τα δεδομένα στον subscriber διαμέσου του συγκεκριμένου μονοπατιού.

Είναι προφανές ότι για να είναι σε θέση ο RVP να δημιουργήσει αυτό το μονοπάτι δρομολόγησης, θα πρέπει να έχει πρόσβαση σε τοπολογική πληροφορία. Για το σκοπό αυτό, το RVP διατηρεί μια περιορισμένη έκδοση του TMC, στο οποίο επιτρέπεται να αποκτήσει το γράφο της τοπολογίας από τον πληρεξούσιο δρομολογητή. Εν γένει, οι TMCs στους RVPs ούτε δημοσιεύουν πληροφορία για την κατάσταση της ζεύξης, ούτε συμμετέχουν στη λειτουργία του αλγόριθμου δρομολόγησης κατάστασης ζεύξης.

4.2. Περιγραφή Μηχανισμού Επικοινωνίας Χρηστών σε ένα Publish/Subscribe Δίκτυο

Στο Σχήμα 7 περιγράφεται ο μηχανισμός επικοινωνίας δύο χρηστών, για παράδειγμα του Bob και της Alice, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι σε ένα publish/subscribe δίκτυο με έναν μοναδικό RVP, ο οποίος έχει ως πληρεξούσιο δρομολογητή τον R.

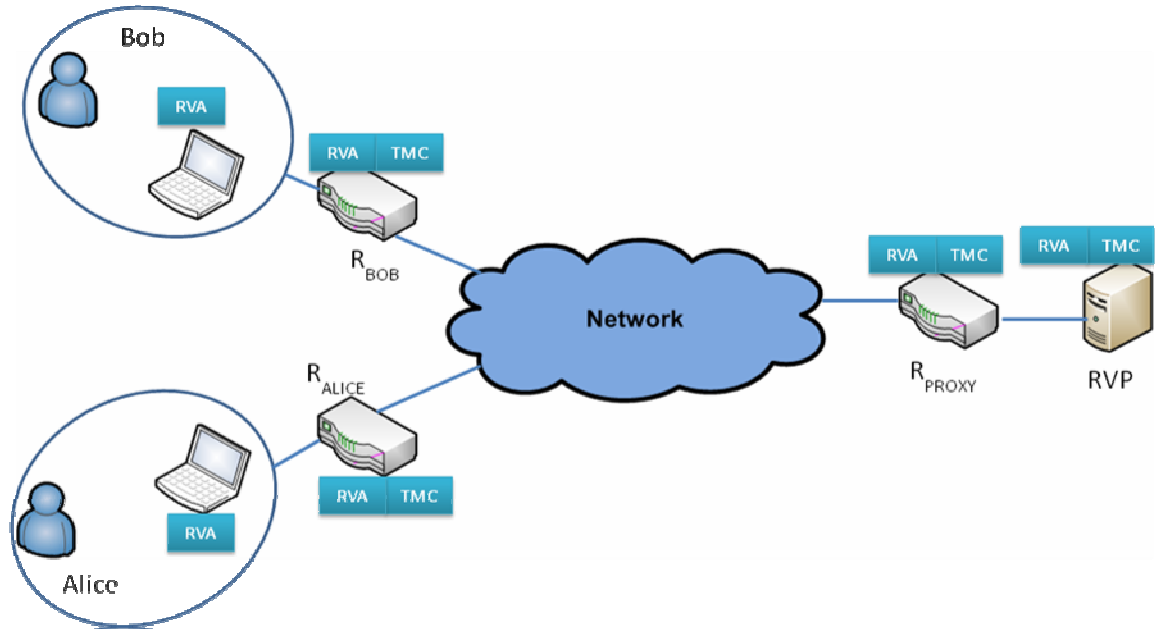
Ας υποθέσουμε ότι ο Bob επιθυμεί να ανακοινώνει ένα publication με την ετικέτα BobSid/BobRid στο δίκτυο. Για το λόγο αυτό ο RVA του τερματικού του Bob δημιουργεί ένα συγκεκριμένο ειδικό publication της μορφής:

(RVA_Sid, Pub_Announce_Rid, [Bob, BobSid/BobRid])

Το publication αυτό αποστέλλεται στο πληρεξούσιο δρομολογητή πρόσβασης του Bob, τον R_{BOB} . Ο RVA του R_{BOB} λαμβάνει το publication αυτό και καταγράφει στην τοπική του βάση ότι ο Bob ανακοίνωσε ένα publication με ετικέτα BobSid/BobRid. Εν συνεχεία, αντικαθιστά την ταυτότητα του Bob με το ID του δρομολογητή R_{BOB} και προωθεί το νέο publication που έχει τη μορφή

(RVA_Sid, Pub_Announce_Rid, [R_{BOB}_nodeid, BobSid/BobRid])

στον πληρεξούσιο δρομολογητή R_{PROXY} , ο οποίος και παραδίδει το publication στο Rendezvous Point. Τελικά, ο RVA του RVP καταγράφει στην τοπική του βάση ότι ένας χρήστης με πληρεξούσιο δρομολογητή πρόσβασης τον R_{BOB} δημοσίευσε ένα publication με ετικέτα BobSid/BobRid.



Σχήμα 7: Μηχανισμός Επικοινωνίας Χρηστών σε Publish/Subscribe Δίκτυο

Σε επόμενο στάδιο, η Alice επιθυμεί να εγγραφεί για publications με ετικέτα BobSid/BobRid. Για το λόγο αυτό, ο RVA του τερματικού της Alice ενθυλακώνει το subscription σε ένα ειδικό publication της μορφής

$(RVA_Sid, Subscribe_Rid, [Alice, BobSid/BobRid])$

το οποίο και αποστέλλει στον πληρεξούσιο δρομολογητή πρόσβασης της Alice, τον R_{ALICE} . Ο RVA του R_{ALICE} λαμβάνει το subscription, το αποθηκεύει στην τοπική του βάση, και αφού αντικαταστήσει την ταυτότητα της Alice με το δικό του ID, το προωθεί στον πληρεξούσιο δρομολογητή R_{PROXY} . Ο τελευταίος το αποστέλλει τελικά στο Rendezvous Point.

Στο σημείο εκείνο ο RVP ταιριάζει το subscription το οποίο εστάλη από τον R_{ALICE} με το publication το οποίο είχε ανακοινωθεί από τον R_{BOB} και ζητά από τη βασική έκδοση του Topology Manager, ο οποίος τρέχει στο RVP, να δημιουργήσει το μονοπάτι δρομολόγησης από τον R_{BOB} στον R_{ALICE} . Μόλις αυτό δημιουργηθεί και ο RVA του RVP αποκτήσει την πληροφορία αυτή, αποστέλλει ένα publication στον R_{BOB} , ειδοποιώντας τον να παραδώσει το publication του στον R_{ALICE} . Για το σκοπό αυτό το RVP δημιουργεί ένα publication της μορφής

$(RVA_Sid, Pub_Instruct_Rid, [path(R_{BOB}, R_{ALICE}), BobSid/BobRid])$

το οποίο και αποστέλλει στον R_{BOB} . Ο RVA του R_{BOB} λαμβάνει το μήνυμα αυτό και το ταιριάζει με τις προηγούμενες ανακοινώσεις του Bob. Εν συνεχεία ο RVA του R_{BOB} ενημερώνει το ληφθέν μονοπάτι δρομολόγησης προσθέτοντας το εξερχόμενο LID του Bob. Με την προσθήκη αυτή το zFilter πλέον περιέχει το μονοπάτι από το τερματικό σταθμό του Bob μέχρι το πληρεξούσιο δρομολογητή πρόσβασης της Alice.

Η οδηγία αυτή παραδίδεται πλέον στο Bob και ο RVA του Bob αποστέλλει το publication στο ενημερωμένο μονοπάτι δρομολόγησης. Όταν ο πληρεξούσιος δρομολογητής πρόσβασης της Alice, R_{ALICE} , παραλάβει το publication, ψάχνει την τοπική του βάση ώστε να ελέγξει εάν το publication αυτό ταιριάζει με κάποιο από τα subscriptions της Alice. Αν ναι, προωθεί το μήνυμα στο τερματικό σταθμό της Alice, ειδάλλως απορρίπτει το μήνυμα.

4.3. Περιγραφή Συστήματος Rendezvous με Πολλαπλά Rendezvous Points

Στην ενότητα αυτή εξετάζουμε την περίπτωση κατά την οποία ο φορέας εκμετάλλευσης ενός δικτύου επιθυμεί να εγκαταστήσει περισσότερων του ενός RVPs. Σε αντίθεση με την προηγούμενη ενότητα όπου υπήρχε μόνο ένα RVP και συνεπώς η λειτουργία του εκφραζόταν ως ένα κεντρικοποιημένο Rendezvous σύστημα, στην περίπτωση που θα εξετάσουμε τώρα η ύπαρξη και λειτουργία περισσότερων RVPs οδηγεί σε ένα καταναμημένο Rendezvous σύστημα.

Οι λόγοι για τους οποίους μια τέτοια επιλογή μπορεί να είναι επιθυμητή από έναν πάροχο είναι ιδιαίτερα σημαντικοί. Ο κυριότερος λόγος αφορά θέματα απόδοσης του δικτύου. Συγκεκριμένα ένα πλήθος RVPs είναι δυνατό να εγκατασταθούν κοντά σε περιοχές με αυξημένο αριθμό χρηστών ούτως ώστε να μειώσουν την καθυστέρηση που υπεισέρχεται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας του rendezvous.

Σε συνάρτηση με την παραπάνω παρατήρηση σημαντική ως προς αυτήν την κατεύθυνση είναι και η δυνατότητα συνεχούς επέκτασης του δικτύου με την προσθήκη ολοένα και περισσότερων κόμβων (scalability). Αναμένεται δε η προσθήκη και τοποθέτηση rendezvous points να αποτελεί σημαντικό τμήμα της διαστασιολόγησης των μελλοντικών δικτύων.

Επιπλέον ένας εξίσου σημαντικός λόγος αφορά περιπτώσεις όπου απαιτείται να εξασφαλίζεται και να παρέχεται εφεδρεία (redundancy) στο σύστημα. Σε τέτοιες περιπτώσεις συνεπώς απαιτείται η ύπαρξη τουλάχιστον ενός επιπλέον RVP ούτως ώστε το σύστημα να είναι σε θέση να αντεπεξέλθει σε περιπτώσεις απώλειας ή δυσλειτουργίας ενός κόμβου.

Όσον αφορά την τεχνική σκοπιά του προβλήματος, στην περίπτωση κατά την οποία όλα τα διαθέσιμα RVPs έχουν τον ίδιο πληρεξούσιο δρομολογητή, δεν παρατηρείται κάποια σημαντική διαφορά στο Rendezvous σύστημα δεδομένου ότι όλα τα publications και τα subscriptions κατευθύνονται στον ίδιο πληρεξούσιο δρομολογητή.

Ωστόσο η περίπτωση αυτή δε θεωρείται τόσο πιθανή. Για τους λόγους τους οποίους αναφέραμε παραπάνω, κρίνεται περισσότερο πιθανό ένα καταναμημένο Rendezvous σύστημα, όπου τα διάφορα διαθέσιμα RVPs θα είναι συνδεδεμένα σε διαφορετικούς πληρεξούσιους δρομολογητές. Υπάρχουν διάφορες στρατηγικές για τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να πραγματοποιηθεί η διαχείριση των publications και των subscriptions όταν υπάρχει ένα καταναμημένο Rendezvous σύστημα σε ένα δίκτυο.

Η πρώτη και απλούστερη προϋποθέτει και εισάγει ένα νέο πεδίο στις ανακοινώσεις των RVPs, το οποίο δηλώνει τον αριθμό των κόμβων που μεσολαβούν μέχρι τα RVP. Η τιμή του πεδίου αυτού αυξάνεται όταν η δημοσίευση διασχίζει ένα κόμβο, όπου οι RVAs των κόμβων αυτών αποθηκεύουν μία δομή της μορφής (RVP proxy router, distance). Όταν δρομολογητές πρόσβασης εισέλθουν στο σύστημα, ανακαλύπτουν τα διαθέσιμα RVPs, ακολουθώντας τη μεθοδολογία που έχει παρουσιαστεί σε προηγούμενη ενότητα, και παραμετροποιούν τα RVAs τους ώστε να είναι ικανά να προωθούν τα publications και τα subscriptions στο κοντινότερο RVP με βάση το νέο πεδίο.

Όταν το μήνυμα φτάσει τελικά στο RVP, είναι πλέον εσωτερικό θέμα διαχείρισης του Rendezvous συστήματος το πώς θα χειριστεί το συγκεκριμένο αίτημα. Για παράδειγμα, μια υλοποίηση ενός τέτοιου κατακευκασμένου συστήματος θα μπορούσε να χωρίσει το σύνολο του χώρου των διαθέσιμων Scope Ids ανάμεσα στα διάφορα διαθέσιμα RVPs, όπως αντίστοιχα τα DHTs συστήματα διαχωρίζουν και μοιράζουν Ids σε ένα σύνολο χρηστών. Σε μία τέτοια περίπτωση, όταν ένα RVP λάμβανε ένα publication ή ένα subscription, θα εξέταζε το Scope Id του και θα προωθούσε το μήνυμα στο RVP το οποίο και είναι υπεύθυνο για το συγκεκριμένο αυτό χώρο των Ids. Η σημαντική διαφορά του μηχανισμού αυτού σε σχέση με τη δρομολόγηση βασισμένη σε κλειδιά DHT, είναι ότι το Rendezvous σύστημα έχει πρόσβαση σε τοπολογική πληροφορία. Συνεπώς είναι να σε θέση προωθήσει τα μηνύματα κατευθείαν στα άλλα RVPs διαμέσου των συντομότερων μονοπατιών, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο το φαινόμενο path stretch.

Μια άλλη προσέγγιση θα μπορούσε να έχει σχέση με την κατάσταση του δικτύου και συγκεκριμένα την κατάσταση των RVPs. Πιο αναλυτικά η δρομολόγηση των publications από έναν πληρεξούσιο δρομολογητή θα μπορούσε να γίνεται προς το rendezvous point με το μικρότερο φόρτο εργασίας. Αυτό θα μπορούσε να επιτευχθεί με τη χρήση ενός μηχανισμού εξισορρόπησης φόρτου ο οποίος θα έτρεχε στο rendezvous σύστημα ενός παρόχου και θα έχει σκοπό το διαμοιρασμό των publications στο RVP με το μικρότερο φόρτο σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

5. Αξιολόγηση του Προτεινόμενου Πλαισίου με χρήση Προσομοίωσης

Οι προτεινόμενοι μηχανισμοί και πλαίσιο ανάπτυξης σχεδιάστηκε, υλοποιήθηκε και αξιολογήθηκε με χρήση προσομοίωσης ούτως ώστε μελετηθούν διάφοροι παράμετροι του συστήματος. Στις επόμενες υπο-ενότητες παρουσιάζονται κατά σειρά το περιβάλλον προσομοίωσης το οποίο χρησιμοποιήθηκε, η μεθοδολογία η οποία ακολουθήθηκε ενώ τέλος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα διάφορων σεναρίων προσομοίωσης.

5.1. Περιβάλλον Προσομοίωσης

Ως περιβάλλον προσομοίωσης χρησιμοποιήθηκε ο Network Simulator 3 (ns-3) [23]. Ο ns-3 είναι ένας δικτυακός προσομοιωτής συμβάντων διακριτού χρόνου, ο οποίος προορίζεται κυρίως για ερευνητική και εκπαιδευτική χρήση. Αποτελεί συνέχεια του γνωστού προσομοιωτή ns-2 και διατίθεται ελεύθερα υπό την άδεια της GNU GPLv2 προς έρευνα, ανάπτυξη και χρήση.

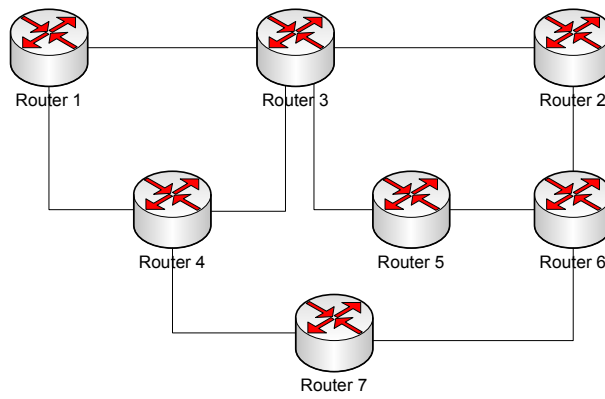
Ο ns-3 επιτρέπει την μελέτη ενός ευρέως συνόλου πρωτοκόλλων διαδικτύου καθώς και συστημάτων μεγάλης κλίμακας σε ένα πλήρως ελεγχόμενο περιβάλλον, ενώ αποτελεί και ένα εργαλείο το οποίο ακολουθεί και είναι σύμφωνο με τις ανάγκες προσομοίωσης της μοντέρνας έρευνας για τα πρωτόκολλα και τις αρχιτεκτονικές δικτύωσης.

5.2. Μεθοδολογία και Αρχιτεκτονική Προσομοίωσης

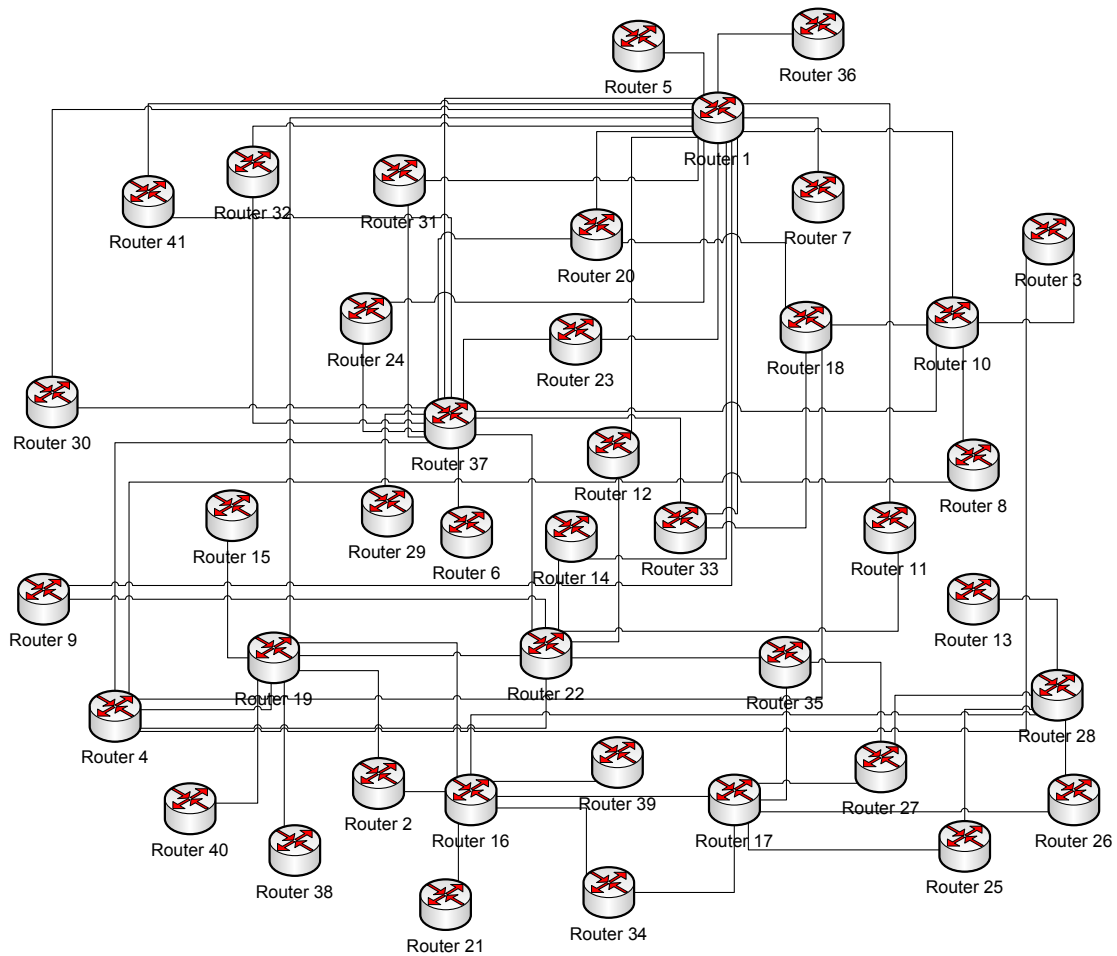
Προκειμένου να αξιολογήσουμε τους προτεινόμενους μηχανισμούς χρησιμοποιούμε αντιπροσωπευτικές τοπολογίες παρόχων υπηρεσιών διαδικτύου, όπως αυτές έχουν προκύψει από το Rocketfuel [24]. Το Rocketfuel είναι μία μηχανή αντιστοίχισης τοπολογίας φορέων εκμετάλλευσης υπηρεσιών διαδικτύου.

Η μεθοδολογία της μηχανής αυτής είναι η εξής: Αρχικά χρησιμοποιείται πληροφορία δρομολόγησης ούτως ώστε να επικεντρωθεί σε ένα φορέα εκμετάλλευσης υπηρεσιών διαδικτύου, και εν συνεχεία χρησιμοποιούνται συμβάσεις ονοματολογίας δρομολογητών του συγκεκριμένου φορέα προκειμένου να γίνει κατανοητή και να καθοριστεί η τοπολογία. Επιπλέον χρησιμοποιείται μια καινοτόμα τεχνική για την επίλυση ψευδωνύμων ούτως ώστε να εντοπιστούν οι διευθύνσεις του πρωτοκόλλου δικτύου οι οποίες αντιπροσωπεύουν διεπαφές του ίδιου δρομολογητή.

Από το σύνολο των τοπολογιών οι οποίες έχουν προταθεί, επιλέξαμε τέσσερις για την αξιολόγηση των προτεινόμενων μηχανισμών. Η πρώτη περιέχει επτά (7) κόμβους, η δεύτερη περιέχει σαράντα ένα (41) κόμβους, η τρίτη τοπολογία είναι μεγέθους 295 δρομολογητών και τέλος η τέταρτη και τελευταία τοπολογία έχει συνολικά 400 δρομολογητές. Οι τοπολογίες αυτές παρουσιάζονται στα ακόλουθα σχήματα, Σχήμα 8 και Σχήμα 9.



Σχήμα 8: Τοπολογία Μεγέθους Επτά (7) Κόμβων



Σχήμα 9: Τοπολογία Μεγέθους Σαράντα Ενός (41) Κόμβων

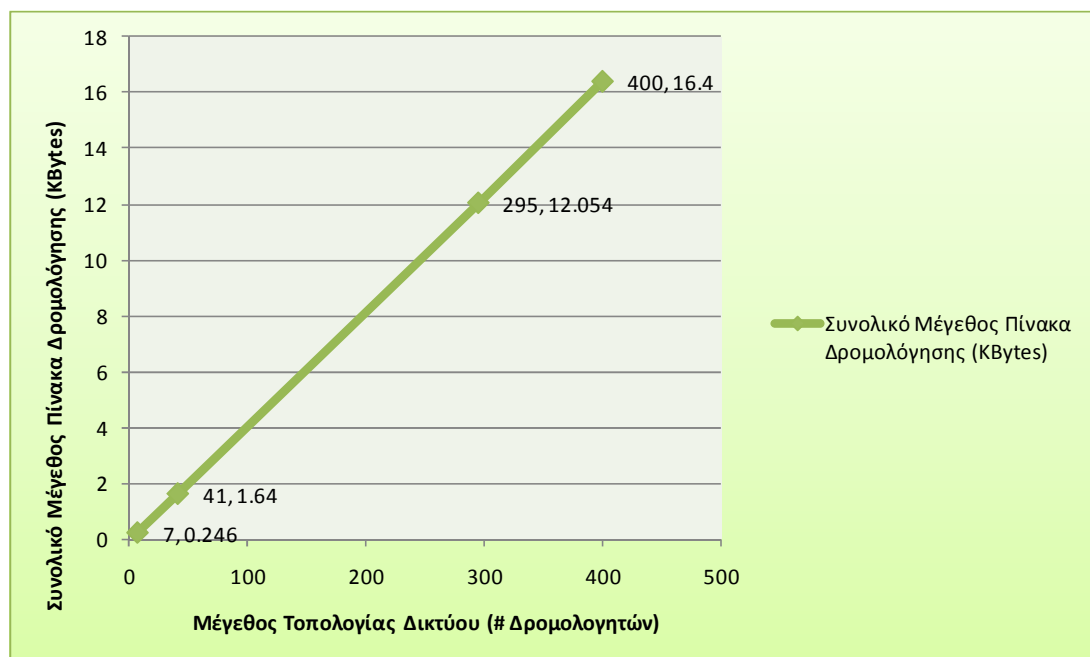
Για προφανείς σχεδιαστικούς λόγους δεν ήταν δυνατή η γραφική αναπαράσταση των δύο εναπομεινάντων τοπολογιών, μεγέθους διακοσίων ενενήντα πέντε (295) και τετρακοσίων (400) κόμβων αντιστοίχως.

5.3. Αποτελέσματα

Δύο είναι τα μεγέθη τα οποία μελετήσαμε στις συγκεκριμένες προσομοιώσεις. Η πρώτη παράμετρος είναι το μέγεθος των πινάκων δρομολόγησης των δρομολογητών βάσει των τεχνικών τις οποίες χρησιμοποιούμε καθώς και το πώς αυτή η παράμετρος επηρεάζεται ανάλογα με το μέγεθος του δικτύου. Η δεύτερη παράμετρος αφορά επίβαρο που εισάγεται στο δίκτυο προκειμένου να επιτευχθεί η ανακοίνωση ενός νέου RVP στο σύστημά μας. Η παράμετρος αυτή επηρεάζεται από την τοπολογία του δικτύου, το μέγεθος του δικτύου όπως επίσης και από την τοποθέτηση του rendezvous σημείου στο δίκτυο.

5.3.1. Μέγεθος Πινάκων Δρομολόγησης

Όσον αφορά το μέγεθος των πινάκων δρομολόγησης, όπως προκύπτει από τις προσομοιώσεις που εκτελέστηκαν, παρουσιάζεται μια γραμμική σχέση μεταξύ του μεγέθους του πίνακα ενός δρομολογητή σε συνάρτηση του πλήθους των δρομολογητών σε ένα δίκτυο. Η σχέση αυτή παρουσιάζεται στο επόμενο διάγραμμα – Σχήμα 10.



Σχήμα 10: Μέγεθος Πινάκων Δρομολόγησης

Σημαντικό στοιχείο αποτελεί η παρατήρηση ότι στη συγκεκριμένη αρχιτεκτονική η κατάσταση (state) στους δρομολογητές είναι ανεξάρτητη από το μέγεθος της διαθέσιμης πληροφορίας στο δίκτυο. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με άλλες αρχιτεκτονικές προσανατολισμένες στην πληροφορία, όπως για παράδειγμα το CCN. Σε αυτές τις αρχιτεκτονικές η κατάσταση στους δρομολογητές έχει άμεση σχέση με μέγεθος της διαθέσιμης πληροφορίας στο δίκτυο.

Δεδομένου ότι τόσο το μέγεθος τόσο των LIDs και των VLIDs των δρομολογητών, όσο και το μέγεθος των Node Ids είναι συγκεκριμένο, η σχέση αυτή είναι δυνατό να μοντελοποιηθεί ως εξής με τη σχέση που παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα.

Έστω ότι:

- NodeNum: Ο αριθμός των δρομολογητών σε ένα δίκτυο
- LIDSize: Το μέγεθος των LIDs και VLIDs (σε KBytes)

- NodeIdSize: Το μέγεθος των Node Ids (σε KBytes)

Η παραπάνω γραμμική σχέση εκφράζεται με τον ακόλουθο τύπο:

$$RoutinTableSize = (NodeNum - 1) * (LIDSize + NodeIdSize)$$

Πίνακας 2: Περιγραφή Σχέσης για τον Υπολογισμό του Μεγέθους Πινάκων Δρομολόγησης

Ο λόγος που προκύπτει η παραπάνω σχέση έχει ως βάση την ανάλυση η οποία πραγματοποιήθηκε στο κεφάλαιο 2. Συγκεκριμένα όπως λεπτομερώς αναφέρθηκε εκεί, το zFilter το οποίο χρησιμοποιούμε για την αποστολή ενός publication είναι το αποτέλεσμα της δυαδικής πράξης “H” στο σύνολο των LIDs και VLIDs των δρομολογητών του μονοπατιού προώθησης ενός publication. Συνεπώς το πλήθος των δικτυακών στοιχείων αυτών δεν επηρεάζει το μέγεθος του πίνακα δρομολόγησης.

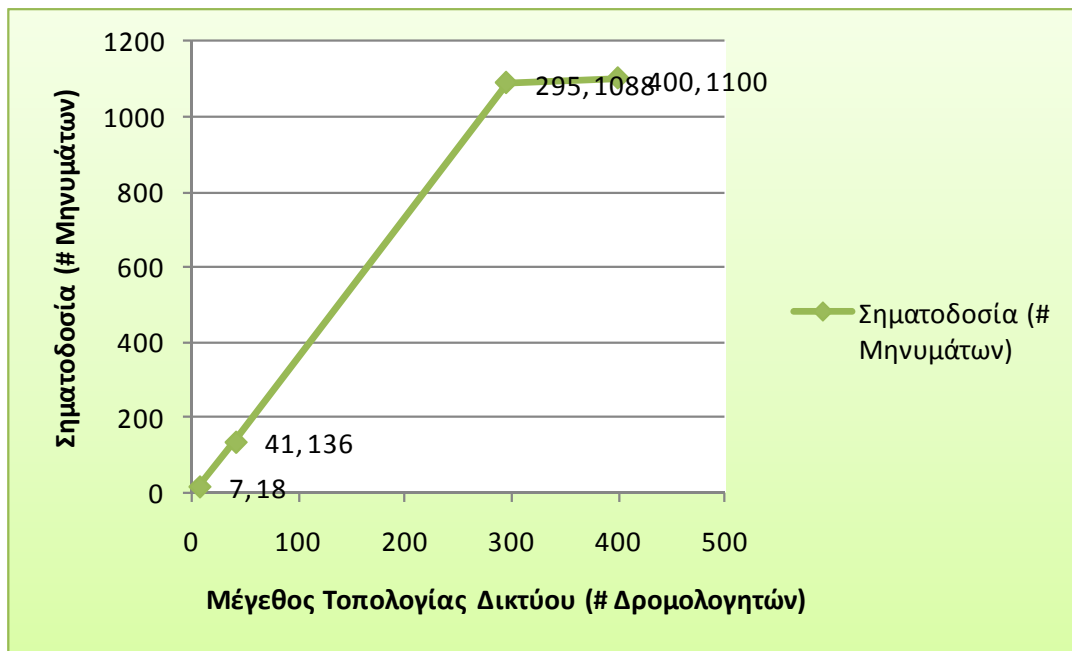
5.3.2. Επίβαρο Σηματοδοσίας στο Δίκτυο για την Ανακάλυψη ενός RVP

Για την αξιολόγηση του επίβαρου σηματοδοσίας για την ανακάλυψη ενός rendezvous point σημαντικό ρόλο αναμένεται να έχουν: το μέγεθος του δικτύου, η τοπολογία του δικτύου καθώς επίσης και η τοποθέτηση των RVPs στο δίκτυο. Βασιζόμενοι στο συμπέρασμα αυτό αξιολογούμε τις τέσσερις προαναφερθείσες τοπολογίες σε τρεις διαφορετικές περιπτώσεις:

- Τυχαία τοποθέτηση RVP
- Πολωμένη κεντρικοποιημένη τοποθέτηση RVP
- Πολωμένη κατανεμημένη τοποθέτηση RVP

Με τη χρήση των τριών αυτών προσεγγίσεων έχουμε ως σκοπό να μελετήσουμε την επίδραση που έχει η τοποθέτηση ενός RVP σε ένα δίκτυο. Συνεπώς αφορά τη γενική ιδέα περί διαστασιολόγησης του δικτύου, αφού όπως έχουμε ήδη προαναφέρει, η τοποθέτηση των RVPs σε ένα μελλοντικό δίκτυο αναμένεται να είναι μια πολύ σημαντική δραστηριότητα.

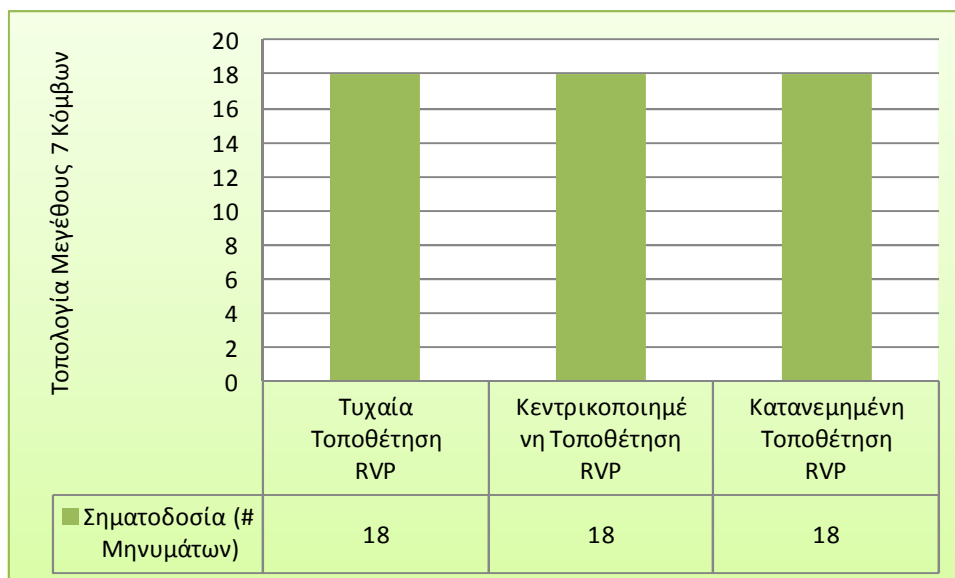
Τα αποτελέσματα των συγκεκριμένων μετρήσεων παρουσιάζονται στα ακόλουθα σχήματα. Αρχικά παρουσιάζεται ο μέσος όρος του όγκου της σηματοδοσίας που απαιτείται για κάθε μία από τα τέσσερις τοπολογίες.



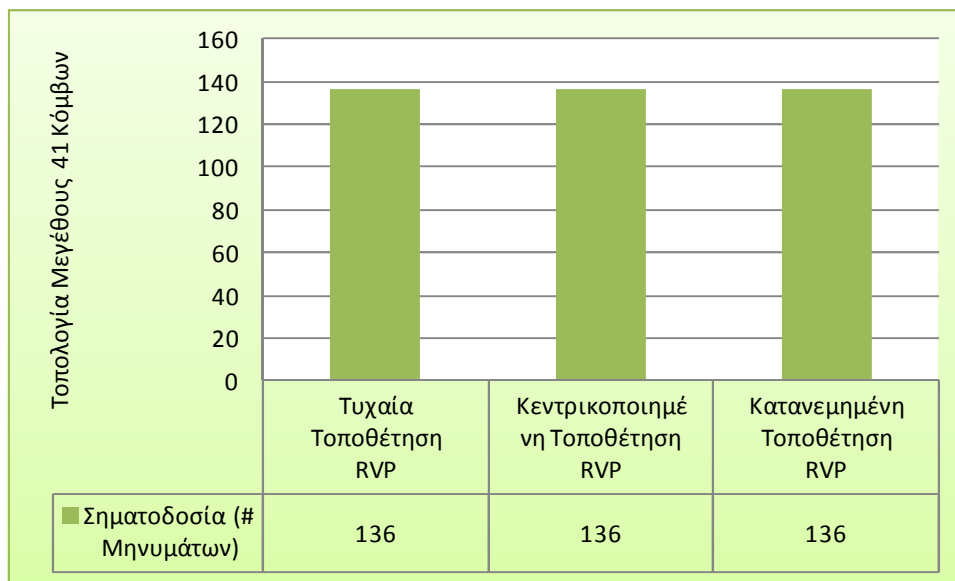
Σχήμα 11: Επίβαρο Σηματοδοσίας στο Δίκτυο για την Ανακάλυψη ενός RVP

Αν εξετάσουμε το αποτέλεσμα της συγκεκριμένης μέτρησης θα παρατηρήσουμε ότι ο αριθμός των μηνυμάτων που απαιτούνται για την ενημέρωση όλων των δρομολογητών αυξάνεται όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος της τοπολογίας, χωρίς ωστόσο να ακολουθεί κάποια συγκεκριμένη σχέση ή ακολουθία.

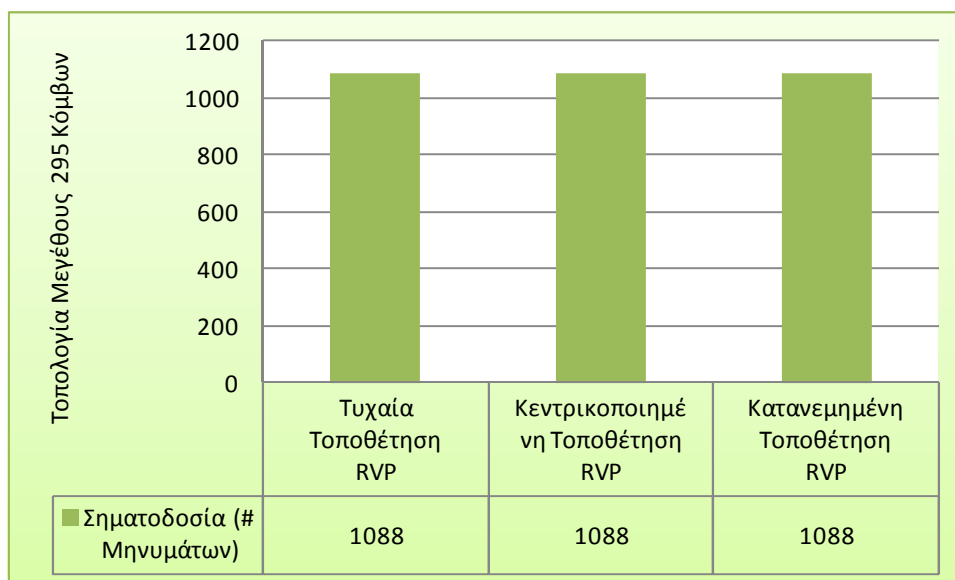
Επιπλέον αν θεωρήσουμε τις τρεις προσεγγίσεις για κάθε μία τοπολογία προκύπτουν τα ακόλουθα διαγράμματα.



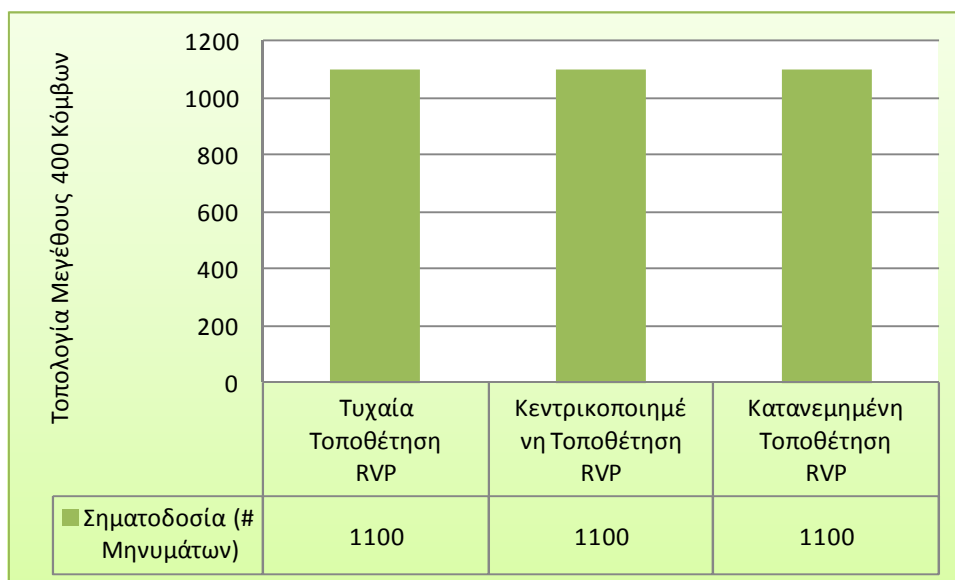
Σχήμα 12: Επίβαρο Σηματοδοσίας Τοπολογίας 7 Κόμβων



Σχήμα 13: Επίβαρο Σηματοδοσίας Τοπολογίας 41 Κόμβων

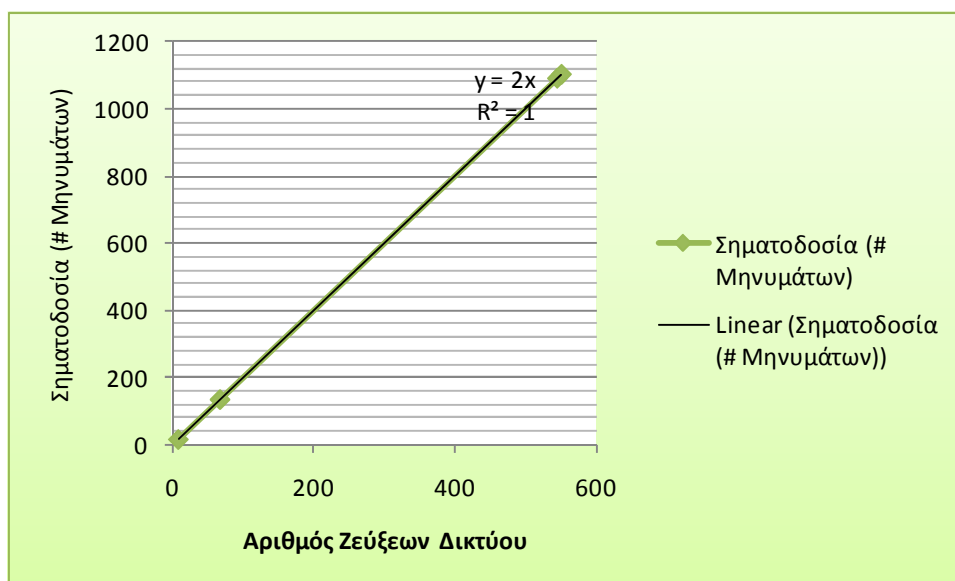


Σχήμα 14: Επίβαρο Σηματοδοσίας Τοπολογίας 295 Κόμβων



Σχήμα 15: Επίβαρο Σηματοδοσίας Τοπολογίας 400 Κόμβων

Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν συνεπώς ότι και για τις τέσσερις τοπολογίες ο συνολικός όγκος της σηματοδοσίας που απαιτείται για την ανακάλυψη ενός Rendezvous Point είναι τελείως ανεξάρτητη από την τοποθέτηση του Rendezvous Point αυτού. Συνεπώς ο όγκος της σηματοδοσίας αυτής θα πρέπει να οφείλεται σε κάποια άλλη παράμετρο η οποία και παραμένει σταθερή σε όλες τις τοπολογίες αυτές. Η παράμετρος αυτή είναι ο αριθμός των ζευξέων σε μια τοπολογία, αριθμός ο οποίος επηρεάζει το επίβαρο της σηματοδοσίας, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, Σχήμα 16:



Σχήμα 16: Επίβαρο Σηματοδοσίας – Αριθμός Ζευξέων Δικτύου

Ως συμπέρασμα της παραπάνω μέτρησης προκύπτει ότι ο όγκος της πληροφορίας ο οποίος θα ανταλλαχθεί μεταξύ των δρομολογητών ενός δικτύου είναι ανάλογος του αριθμού των ζευξέων στο δίκτυο αυτό, και δεν επηρεάζεται από την τοποθέτηση του RVP.

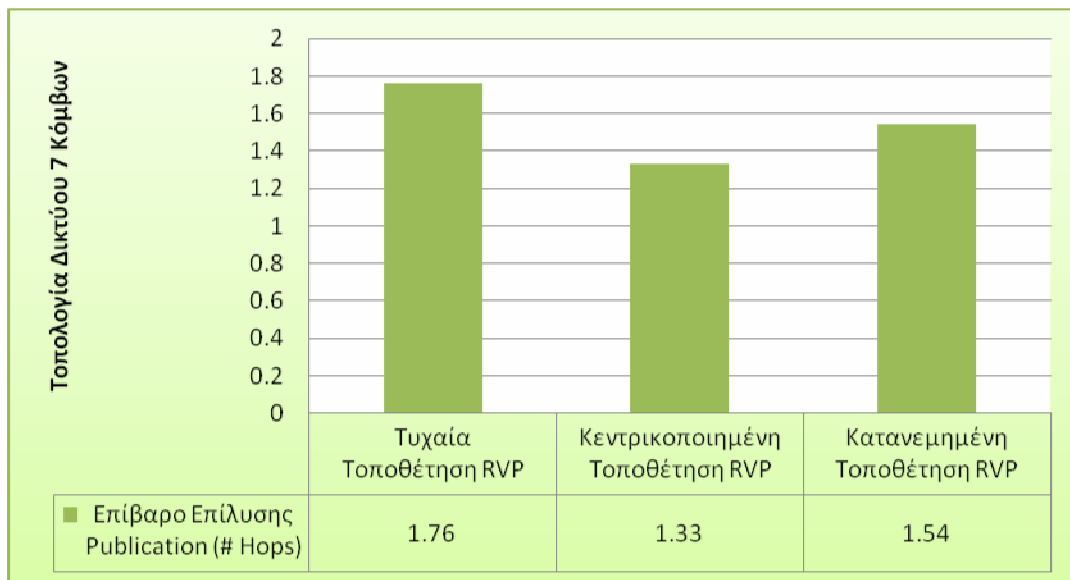
5.3.3. Επίβαρο Σηματοδοσίας στο Δίκτυο για την Επίλυση ενός Publication

Τέλος αξιολογούμε και το επίβαρο σηματοδοσίας στο δίκτυο για την επίλυση ενός publication χρησιμοποιώντας και σε αυτήν την περίπτωση τις τέσσερις προαναφερθείσες τοπολογίες, εξετάζοντας κάθε μία από αυτές στις περιπτώσεις τοποθέτησης ενός RVP, όπως παρουσιάστηκε παραπάνω. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο παρακάτω διαγράμματα. Η αξιολόγηση έχει ως κριτήριο των αριθμό των δρομολογητών (hops) που απαιτούνται προκειμένου ένα publication φτάσει τελικά στο RVP.

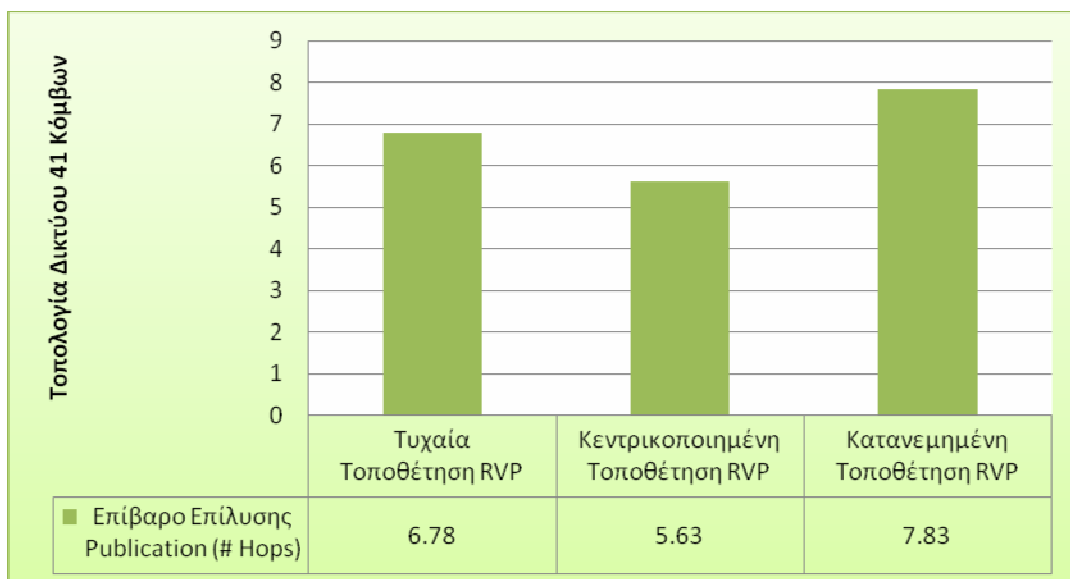
Συγκεκριμένα για τα παρακάτω διαγράμματα βασιστήκαμε στα ακόλουθα στοιχεία. Για κάθε μία από τις τέσσερις τοπολογίες εκτελέσαμε τις μετρήσεις ακολουθώντας κάθε φορά μία από τρεις προσεγγίσεις. Αναλυτικότερα:

- Τυχαία τοποθέτηση RVP
 - Εκτελέσαμε το πείραμα 100 φορές, όπου η επιλογή των κόμβων που κάνουν publish και subscribe είναι τυχαία.
- Πολωμένη κεντριοποιημένη τοποθέτηση RVP

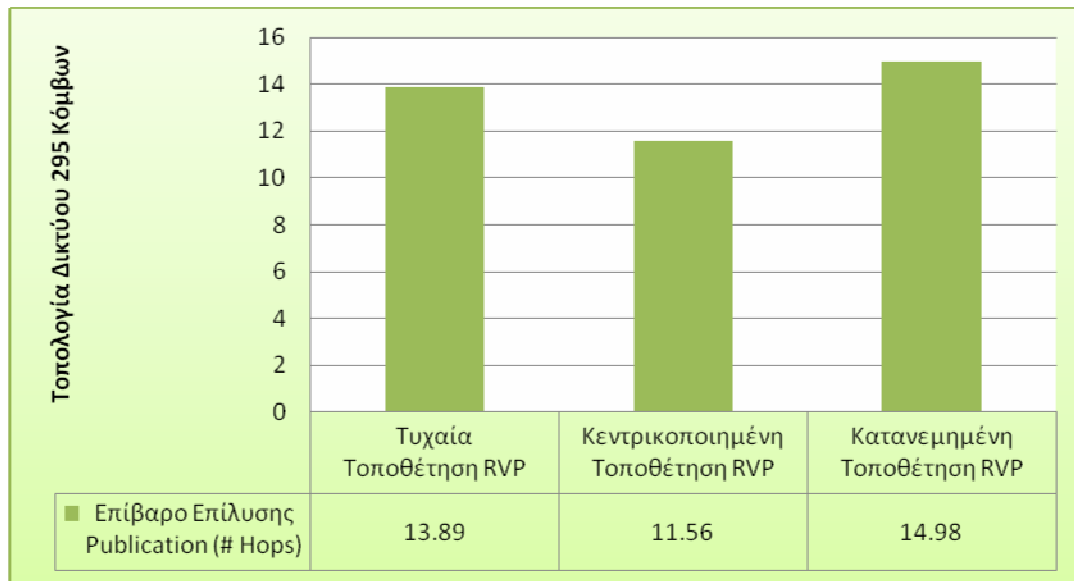
- Εκτελέσαμε το πείραμα 100 φορές, όπου η επιλογή των κόμβων που κάνουν publish και subscribe είναι τυχαία. Η επιλογή του πληρεξούσιου δρομολογητή RVP είναι κεντριοποιημένη, αλλά δεν είναι ίδια για όλες τις εκτελέσεις του πειράματος. Προκειμένου να έχουμε μία καλύτερη εικόνα, έχουν επιλεγθεί περισσότερα από ένα κεντρικά τοποθετημένα RVPs και το τελικό αποτέλεσμα είναι η μέση τιμή των αποτελεσμάτων αυτών.
- Πολωμένη κατανομημένη τοποθέτηση RVP
 - Εκτελέσαμε το πείραμα 100 φορές, όπου η επιλογή των κόμβων που κάνουν publish και subscribe είναι τυχαία. Η επιλογή του πληρεξούσιου δρομολογητή RVP είναι κατανομημένη, αλλά δεν είναι ίδια για όλες τις εκτελέσεις του πειράματος. Προκειμένου να έχουμε μία καλύτερη εικόνα, έχουν επιλεγθεί περισσότερα από ένα κατανομημένα RVPs και το τελικό αποτέλεσμα είναι η μέση τιμή των αποτελεσμάτων αυτών



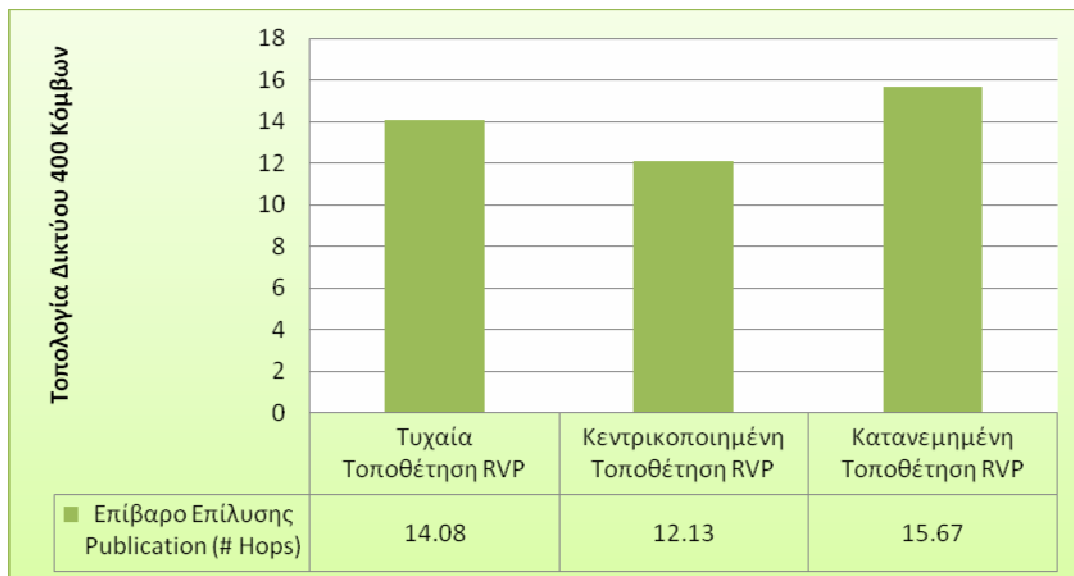
Σχήμα 17: Επίβαρο Σηματοδοσίας σε Δίκτυο 7 Κόμβων για την Επίλυση ενός Publication



Σχήμα 18: Επίβαρο Σηματοδοσίας σε Δίκτυο 41 Κόμβων για την Επίλυση ενός Publication



Σχήμα 19: Επίβαρο Σηματοδοσίας σε Δίκτυο 295 Κόμβων για την Επίλυση ενός Publication



Σχήμα 20: Επίβαρο Σηματοδοσίας σε Δίκτυο 400 Κόμβων για την Επίλυση ενός Publication

Από τις παραπάνω γραφικές παραστάσεις προκύπτει ότι η μη τυχαία τοποθέτηση ενός RVP σε κεντρικό σημείο ενός δικτύου έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του επίβαρου σηματοδοσίας που απαιτείται για την επίλυση ενός publication. Φυσικά σημαντικό ρόλο λαμβάνει η τοπολογία του δικτύου σε κάθε περίπτωση, όπως και η τοποθεσία του χρήστη ο οποίος και αποστέλλει το publication αυτό.

Όσον αφορά τη διαφορά μεταξύ της τυχαίας και της κατανεμημένης τοποθέτησης επηρεάζεται από:

- την τοπολογία του δικτύου και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά αυτής.
- την επιλογή των RVPs στην κατανεμημένη προσέγγιση
- την επιλογή των κόμβων που αποστέλλουν subscriptions και publications.

Συνεπώς είναι πολύ σημαντικό να μελετηθεί η συγκεκριμένη σχέση σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό προκειμένου να καταγραφούν περισσότερα στοιχεία που θα ενισχύσουν τη μία ή την άλλη προσέγγιση.

6. Σύνοψη και Μελλοντική Εργασία

Συνοπτικά, στην εργασία αυτή παρουσιάσαμε μια αρχιτεκτονική δικτύωσης, βασισμένη στην αρχιτεκτονική RTFM, η οποία ακολουθεί τις αρχές του Publish/Subscribe μηχανισμού. Αρχικά περιγράψαμε αναλυτικά το πρόβλημα των σημερινών αρχιτεκτονικών διαδικτύωσης και παρουσιάσαμε μία νέα αρχιτεκτονική προσανατολισμένη στην πληροφορία η οποία και δίνει συγκεκριμένες λύσεις στα προβλήματα που έχουν καταγραφεί. Εν συνεχεία παρουσιάζουμε ένα σύνολο αρχιτεκτονικών και ερευνητικών δραστηριοτήτων σε αυτό το πεδίο ενδιαφέροντος. Ανάμεσα σε άλλες, ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στην αρχιτεκτονική RTFM, στην οποία στηρίζεται και η προτεινόμενη προσέγγιση. Σε σχέση με την αρχιτεκτονική RTFM, περιγράφονται οι επιμέρους λειτουργίες της, Topology, Rendezvous και Forwarding, όπως επίσης και οι διάφορες δικτυακές οντότητες οι οποίες και προσφέρουν τις λειτουργίες αυτές. Ακολουθεί η περιγραφή της διαδικασίας εκκίνησης ενός Publish/Subscribe δικτύου, όπου παρουσιάζεται η εσωτερική αρχιτεκτονική ενός Publish/Subscribe κόμβου. Στη συνέχεια περιγράφεται ο μηχανισμός που χρησιμοποιούμε για την ανακάλυψη του Rendezvous συστήματος, εξετάζοντας τόσο περιπτώσεις που υπάρχει ένα μόνο RVP στο σύστημα όσο και περιπτώσεις πολλαπλών RVPs. Τέλος το προτεινόμενο πλαίσιο αξιολογείται με χρήση προσομοιώσεων στο δικτυακό προσομοιωτή ns-3, όπου ένα σύνολο παραμέτρων αξιολογούνται.

Όσον αφορά πιθανά μελλοντικά βήματα της παρούσας εργασίας, ένα σύνολο προεκτάσεων μπορεί να εξεταστεί. Πιο συγκεκριμένα, ιδιαίτερα ενδιαφέρον παρουσιάζεται η αξιολόγηση ενός Rendezvous συστήματος όπου θα είναι τοποθετημένα πολλαπλά RVPs. Σε ένα τέτοιο σύστημα εκτός από την μελέτη για την τοποθέτηση των διάφορων RVPs, σημαντική κρίνεται και η μελέτη μηχανισμών για την αυτό-οργάνωση του Rendezvous συστήματος. Τέτοιοι μηχανισμοί θα μπορούσαν να μεριμνούν για την εξισορρόπηση φόρτου, για την υποστήριξη ποιότητας υπηρεσίας, κ.ά.

Επιπλέον περαιτέρω μελέτη κρίνεται απαραίτητη όσον αφορά την αξιολόγηση της τοποθέτησης των RVPs σε ένα δίκτυο ούτως ώστε να εξεταστεί σε λεπτομερέστερο βαθμό η επίδραση που έχει η τοποθέτηση ενός (ή και περισσότερων RVPs) στην απόδοση ενός δικτύου.

Τέλος σημαντική κρίνεται και η μελέτη για την επέκταση της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής για την συνύπαρξη πολλαπλών Rendezvous συστημάτων, τα οποία θα παρέχονται από διαφορετικούς παρόχους. Σε τέτοιες περιπτώσεις, ενδιαφέρον παρουσιάζουν πλήθος στοιχείων, όπως μηχανισμοί για τη πιθανή διασύνδεση των συστημάτων αυτών, θέματα ασφάλειας, μηχανισμοί βάση των οποίων ένας χρήστης θα επιλέγει ένα RVP, κ.ά.

Αναφορές

- [1] Van Jacobson, “A new way to look at networking”, at <http://video.google.com/videoplay?docid=-6972678839686672840>
- [2] D. Clark, J. Wroclawski, K. R. Sollins, R. Braden, “Tussle in Cyberspace: Defining Tomorrow’s Internet,” in Proc. ACM Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications, 2002
- [3] D. Weitzner, H. Abelson, T. Berners-Lee, J. Feigenbaum, J. Hendler, , G. J. Sussman, “Information Accountability“, TR-2007-034, MIT CSAIL, June 2007
- [4] M. Weiser, J. S. Brown, ’’Designing Calm Technology“, at <http://www.ubiq.com/weiser/calmtech/calmtech.htm>
- [5] Dirk Trossen, Mikko Sarela, and Karen Sollins. 2010. Arguments for an information-centric internetworking architecture. SIGCOMM Comput. Commun. Rev. 40, 2 (April 2010), 26-33.
- [6] Mark Gritter and David R. Cheriton, "An architecture for content routing support in the internet", in Proceedings of the 3rd conference on USENIX Symposium on Internet Technologies and Systems, 2001
- [7] H. Balakrishnan, K. Lakshminarayanan, et al, "A layered naming architecture for the internet". In ACM SIGCOMM, 2004
- [8] T. Koponen, M. Chawla, B.-G. Chun, et al, "A data-oriented (and beyond) network architecture", In ACM SIGCOMM, 2007.
- [9] V. Jacobson, D. K. Smetters, J. D. Thornton, M. F. Plass, N. H. Briggs, and R. L. Braynard, "Networking Named Content", In ACM CoNEXT, 2009
- [10] Mikko Särelä, Teemu Rinta-aho, Sasu Tarkoma, "RTFM: Publish/Subscribe Internetworking Architecture", In ICT Mobile Summit, 2008
- [11] PARC Content Centric Networking, <http://ccnx.org>
- [12] PSIRP: Publish Subscribe Internet Routing Paradigm , EU FP7 research project, <http://psirp.org>
- [13] 4WARD, EU FP7 research project, <http://www.4ward-project.eu/>
- [14] Named Data Networking, NSF Future Internet Architecture project, <http://www.named-data.net/>
- [15] PURSUIT: Publish Subscribe Internet Technology, EU FP7 research project, <http://fp7-pursuit.eu/>

- [16] SAIL: Scalable and Adaptive Internet Solutions, EU FP7 research project, <http://www.sail-project.eu/>
- [17] I. Stoica, D. Adkins, S. Zhuang, S. Shenker, and S. Surana, "Internet Indirection Infrastructure", In ACM SIGCOMM, 2002
- [18] Nikolaos Fotiou, George C. Polyzos and Dirk Trossen, "Illustrating a Publish-Subscribe Internet Architecture", In the 2nd Euro-NF Workshop on Future Internet Architectures
- [19] Petri Jokela, András Zahemszky, Christian Esteve Rothenberg, Somaya Arianfar, and Pekka Nikander, "LIPSIN: line speed publish/subscribe inter-networking", In ACM SIGCOMM 2009
- [20] Burton H. Bloom. 1970. Space/time trade-offs in hash coding with allowable errors. Commun. ACM 13, 7 (July 1970), 422-426.
- [21] Jimmy Kjallman, "Attachment to a Native Publish/Subscribe Network", In ICC Workshops, 2009
- [22] Petri Jokela (editor), "Progress Report and Evaluation of Implemented Upper and Lower Layer", PSIRP deliverable D3.3, available at <http://psirp.org/publications>
- [23] ns3 network simulator, <http://www.nsnam.org/>
- [24] Rocketfuel: An ISP Topology Mapping Engine, <http://www.cs.washington.edu/research/networking/rocketfuel/>