



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**& ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΑΜΗΝΟΥ**

*ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ*

**<ΤΗΛΕΜΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΝΕΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ>**

---

**<Network Virtualization>**

---

**<ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ>**

**A.M <1047318>**

*ΔΙΔΑΣΚΩΝ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΜΠΟΥΡΑΣ*

**ΠΑΤΡΑ 2019**



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: &lt;ΕΙΣΑΓΩΓΗ&gt;</b>	<b>1</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: &lt;ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ&gt;</b>	<b>2</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: &lt;ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ&gt;</b>	<b>4</b>
<b>3.1 ΚΙΝΗΤΡΑ ΓΙΑ VIRTUALIZATION</b>	<b>4</b>
<b>3.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ NETWORK VIRTUALIZATION</b>	<b>6</b>
<b>3.3 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ NETWORK VIRTUALIZATION</b>	<b>7</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: &lt;ΣΧΕΛΙΑΣΤΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ&gt;</b>	<b>10</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: &lt;VIRTUAL NETWORK EMBEDDING&gt;</b>	<b>13</b>
<b>5.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ</b>	<b>13</b>
<b>5.2 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ</b>	<b>15</b>
5.2.1 STRESS BASED ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	15
5.2.2 PATH SPLITTING ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	16
5.2.3 COORDINATED NODE AND LINK MAPPING ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	17
5.2.4 SUBGRAPH ISOMORPHISM DETECTION ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	18
5.2.5 HIDDEN HOPS ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	18
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: &lt;VIRTUAL NETWORKS&gt;</b>	<b>20</b>
<b>6.1 OVERLAY NETWORK</b>	<b>20</b>
<b>6.2 VIRTUAL PRIVATE NETWORK(VPN)</b>	<b>23</b>
<b>6.3 VLAN</b>	<b>25</b>

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: <ΠΛΑΤΦΟΡΜΕΣ VIRTUALIZATION> .....27**

**7.1 PLANETLAB..... 27**

**7.2 GENI..... 28**

# ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

---

IEEE = Institute of Electrical and Electronics  
Engineers

LAN = Local Area Network

VNE = Virtual Network Embedding

CPU = Central Processing Unit

IP = Internet Protocol

VPN = Virtual Private Network

ISP = Internet Service Provider



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: <ΕΙΣΑΓΩΓΗ>

---

Ζούμε σε μια εποχή όπου όλη μας η καθημερινότητα περιτριγυρίζεται γύρω από δίκτυα. Μικρά, μεγάλα, ιδιωτικά, δημόσια, τα δίκτυα έχουν στην κυριολεξία πλυμμηρίσει τις ζωές μας. Σε αυτή την εργασία θα ασχοληθούμε με τα ιδιωτικά δίκτυα και με μια έννοια που ονομάζεται network virtualization.

Ας δώσουμε όμως πρώτα έναν ορισμό για την έννοια αυτή. **Network Virtualization** ονομάζεται η διαδικασία κατά την οποία συνεννώνονται πόροι του δικτύου (υλικοί και λογισμικοί) σε μια software-based οντότητα. Η οντότητα αυτή ονομάζεται **εικονικό δίκτυο**. [1]

Οι ανάγκες των χρηστών να έχουν ένα εικονικό δίκτυο είναι αυτές που γέννησαν το network virtualization. Μέρα με τη μέρα, ο τομέας αυτός εξελίσσεται όλο και περισσότερο, και όλο και περισσότερες πλατφόρμες virtualization έρχονται στην επιφάνεια.

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι να εισάγει τον αναγνώστη στο βασικά χαρακτηριστικά του network virtualization, καθώς και να αναδείξει κάποια από τα δημοφιλέστερα εικονικά δίκτυα, καθώς και τις πιο διαδεδομένες πλατφόρμες virtualization.

## *ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: <ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ>*

---

Το virtualization άρχισε να ανθίζει σαν έννοια στον τομέα των υπολογιστών το μακρινό 1960, περιγράφοντας τρόπους διαχωρισμού των πόρων του συστήματος μεταξύ εφαρμογών. Λίγο αργότερα άρχισε να βρίσκει τη θέση του σε διάφορες κατηγορίες, γεννώντας έννοιες όπως το database virtualization και το network virtualization.

Το network virtualization όμως δεν μπορούμε να πούμε ότι απλά “εμφανίστηκε” απ'την μια στιγμή στην άλλη. Το 1981, ο καθηγητής David Sincoskie πειραματιζόταν με τη μετάδοση τμήματος ήχου μέσω Ethernet σύνδεσης, χωρίς όμως κάποια αξιοσημείωτα αποτελέσματα. Έπρεπε να περάσουν σχεδόν 10 χρόνια, όταν το 1990 η IEEE άρχισε να αναπτύσσει το 802.11 και επιτέλους, το 1998, όπου επικυρώθηκε.

Απ'το 2000 και μετά, τα εικονικά δίκτυα αρχίζουν να πλημμυρίζουν τις αγορές, μιας και υπερτερούσαν σε θέματα απόδοσης απο τις τότε δικτυακές συσκευές(hubs, repeaters, bridges). Την σημερινή εποχή, ένα LAN που δεν περιέχει



εικονική διεπαφή είναι σχεδόν αδιανόητο και δεν συναντάται εύκολα. [2]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: <ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ>

---

Με το network virtualization να έχει κυριολεκτικά κυριεύσει τις ζωές μας, αξίζει να δοθεί σημασία στα κίνητρα-στόχους του, στα πλεονεκτήματά του, καθώς και τι είναι αυτό που το αποτρέπει απ'το να αποκαλείται “τέλειο”.

### 3.1 Κίνητρα για Virtualization

1) *Παρέχει μια όλα-σε-ένα λύση.*

Ένας απ'τους λόγους που έχει διαδοθεί τόσο πολύ, είναι η πρακτικότητά του. Με την δυνατότητα να περιέχει μια λύση για κάθε πρόβλημα-δυσκολία, δεν το καθιστά μόνο πρακτικό, αλλά και ιδιαίτερα χρήσιμο, τόσο για εξοικονόμηση χρόνου, όσο και για μείωση του κόστους για πόρους που, εάν δεν υπήρχε αυτό το όλα-σε-ένα χαρακτηριστικό, θα είμασταν αναγκασμένοι να ξοδέψουμε.

2) *Ανοιχτό και επεκτάσιμο μοντέλο.*

Το network virtualization δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες να τροποποιήσουν τις δυνατότητές του, ώστε να καλύπτει τις δικές τους ανάγκες, χάρη

στο open-source και επεκτάσιμο μοντέλο που διαθέτει.

3) *Πολλαπλές ετερογενείς αρχιτεκτονικές σε ένα κοινό φυσικό υπόστρωμα.*

Έχοντας τη μετα-αρχιτεκτονική που επιτρέπει τη χρήση πολλών αρχιτεκτονικών, σε συνδυασμό με την τεχνολογία testbed που επιτρέπει τη χρήση μιας νέας αρχιτεκτονικής στο σύστημα, επιτρέπει την αρμονική χρήση τους για τη δημιουργία δυναμικών λογικών δικτύων.

4) *Προωθεί την καινοτομία και τις εξατομικευμένες υπηρεσίες/εφαρμογές*

Το Network virtualization, δίνει τη δυνατότητα σε εφαρμογές, που μέχρι τώρα δεν μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν, να αποκτήσουν ένα πρωταγωνιστικό ρόλο στην αγορά, γεγονός που ωθεί τους προγραμματιστές σε νέες, δημιουργικές ιδέες.

5) *Προσφέρει πλατφόρμες δοκιμών για την ανάπτυξη/αξιολόγηση νέων αρχιτεκτονικών δικτύου και πρωτόκολλων*

Εκτός απ'τη δυνατότητα της απευθείας χρήσης ενός δικτύου, παρέχεται και η δυνατότητα ανάπτυξης

ενός απ'το μηδέν, χωρίς να υπάρχει εξάρτηση απο δευτερεύοντα ή υποστηρικτικά λογισμικά. [3]

### **3.2 Πλεονεκτήματα του Network Virtualization**

#### *1) Είναι φθηνό.*

Επειδή είναι καθαρά λογισμικό κομμάτι, δεν απαιτείται κάποιο hardware, ούτε για την χρήση ούτε για την εγκατάσταση ενός εικονικού δικτύου. Λιγότερο υλικό, σημαίνει επίσης και λιγότερο ρεύμα, οπότε επιτυγχάνεται και εξοικονόμηση ενέργειας.

#### *2) Το κόστος είναι προβλέψιμο.*

Σαν συνέχεια του προηγούμενου πλεονεκτήματος, μην έχοντας την πίεση του υλικού τομέα με τα υπέρογκα ποσά π.χ. για την εγκατάσταση server, είναι δυνατή η ελεγχόμενη ροή του κόστους πληρώνοντας μηνιαία την άδεια ενός ψηφιακού δικτύου απο κάποιον πάροχο.

#### *3) Μείωση του φόρτου εργασίας.*

Με τους περισσότερους παρόχους “εικονικών υπηρεσιών” να αναβαθμίζουν απο μόνοι τους το λογισμικό που χρησιμοποιείται, οι χρήστες των υπηρεσιών αυτών μπορούν να επικεντρωθούν καθαρά στον τομέα αρμοδιοτητάς τους.

#### *4) Γρηγορότερη ανασύνταξη απο καταστροφές.*

Καταστροφές πάντα συμβαίνουν και συνήθως είναι γρήγορες και απρόβλεπτες. Με την απουσία υλικού, ο κίνδυνος για απώλεια δεδομένων αυτόματα εξαλείφεται. Ακόμα και σε επίπεδο λογισμικού, π.χ. Κυβερνοεπιθέσεις, η χρήση εικονικών δικτύων παρέχει γρήγορη και ακριβέστερη ανάκτηση των δεδομένων που χάθηκαν/επρόκειτο να χαθούν.

#### *5) Επαγγελματική συνοχή και αλληλουχία.*

Το network virtualization δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες να έχουν άμεση πρόσβαση σε αρχεία, λογισμικό και επικοινωνία όπου και όποτε θέλουν. Καταπολεμώντας τα προηγούμενα προβλήματα βοηθά τις επιχειρήσεις στην μείωση της ασυνέχειας και αυξάνει την παραγωγικότητα των εργαζομένων. [4]

### **3.3 Μειονεκτήματα του Network Virtualization**

#### *1) Υπάρχουν ακόμα περιορισμοί.*

Πολλές εφαρμογές δεν μπορούν να υποστηρικτούν σε εικονικά περιβάλλοντα. Αυτό σημαίνει πως ένας

χρήστης ίσως χρειαστεί να καταφύγει σε ένα υβριδικό σύστημα, πράγμα που γεννά ένα αίσθημα ανασφάλειας όταν λαμβάνεται η απόφαση εγκατάστασης ενός καθαρά εικονικού συστήματος.

*2) Δεν είναι ασφαλές.*

Σύμφωνα με έρευνες το 2017 διαπιστώθηκε πως η πιθανότητα εμφάνισης ρήγματος στην ασφάλεια ενός virtual network είναι 25%, ποσοστό αρκετά μεγάλο σε σύγκριση με τα αντίστοιχα νούμερα των “πραγματικών” δικτύων. Ναι μεν η ανάκτηση από κάποια απώλεια μπορεί να είναι ταχύτατη, δεν μπορεί όμως ένας τόσο μεγάλος κίνδυνος ασφάλειας να αγνοηθεί, πόσο μάλλον να παραβλεφθεί.

*3) Είναι χρονοβόρο.*

Αν και γλυτώνεις πολύ χρόνο κατά την υλοποίηση, χρειάζεται να αφιερωθεί παραπάνω χρόνος απ'τους χρήστες, σε σύγκριση με τον αντίστοιχο χρόνο που απαιτείται στα τοπικά δίκτυα για την επίτευξη του ίδιου αποτελέσματος. Αυτό συμβαίνει διότι υπάρχουν επιπλέον βήματα που πρέπει να γίνουν μέχρι να φτάσεις στο επιθυμητό αποτέλεσμα.

*4) Χρειάζεται εξειδίκευση.*

Για την εγκατάσταση αλλά και την διαχείριση ενός εικονικού περιβάλλοντος απαιτείται προσωπικό με

ειδίκευση στο virtualization. Επίσης, υπάρχουν εφαρμογές που δεν λειτουργούν σωστά σε εικονικά περιβάλλοντα. Το προσωπικό θα πρέπει να γνωρίζει αυτά τα περιστατικά και να είναι σε θέση να τα αντιμετωπίσει.

#### *5) Άδειες λογισμικού.*

Όσο περνάει ο καιρός το πρόβλημα τείνει να εξαλείφεται, καθώς όλο και περισσότεροι developers λογισμικού προσαρμόζονται στην ραγδαία αύξηση του virtualization. Ωστόσο, πρέπει πάντοτε να δίνεται προσοχή για το πως ο κάθε προγραμματιστής επιθυμεί να χρησιμοποιείται το λογισμικό του μέσα σε ένα εικονικό περιβάλλον. [5]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: <ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ>

---

Το network virtualization φαίνεται να απασχολεί ολοένα και περισσότερους. Η πληθώρα πλεονεκτημάτων το κάθιστά ως ένα ιδανικό εργαλείο στον τομέα των δικτύων. Αυτό που το έχει κάνει περιζήτητο είναι οι σχεδιαστικές αρχές που το διακρίνουν, που είναι πάντοτε με γνώμονα το χρήστη. Κατά την ανάπτυξή του, τέθηκαν κάποιοι στόχοι οι οποίοι συνέβαλαν στο να εγκαθιδρύνουν στην αγορά το virtualization ακριβώς εκεί που βρίσκεται σήμερα.

Ευελιξία: παρέχεται τεράστια ευελιξία στους πάροχους, δίνοντάς τους την ευκαιρία να επιλέξουν την ανάλογη τοπολογία δικτύου που εξυπηρετεί τις ανάγκες τους. Ακόμα, οι λειτουργίες ελέγχου μπορούν να τροποποιηθούν ανα πάσα στιγμή, ενώ το ίδιο ισχύει και για τις λειτουργίες λήψης και προώθησης σημάτων.

Ευκολία χειρισμού: Υπάρχει ξεκάθαρος διαχωρισμός σχετικά με το τι είναι “πολιτική” και τι είναι “μηχανισμός”. Επίσης, ο κάθε πάροχος υπηρεσιών έχει καθορισμένες υποχρεώσεις απέναντι στον πάροχο



υποδομών, και το αντίστροφο. Με λίγα λόγια, όλα τα τμήματα διαχείρισής του είναι απόλυτα αλληλένδετα.

Επεκτασιμότητα: Δίνεται εξ αρχής η δυνατότητα επέκτασης του εκάστοτε συστήματος, με την επιπλέον προσθήκη virtual networks. Επιπρόσθετα, αυξάνεται η αποδοτικότητα της χρήσης των πόρων.

Ασφάλεια και Ιδιωτικότητα: Κάθε εικονικό δίκτυο είναι πλήρως απομονωμένο από το άλλο, γεγονός που συμβάλλει στην ολική ασφάλεια του δικτύου. Η τεχνική της απομόνωσης εφαρμόζεται και στην αντιμετώπιση σφαλμάτων, bugs και ανθρώπινων παρεμβάσεων.

Ευκολία Προγραμματισμού: Πολλά στοιχεία του δικτύου είναι εύκολα προγραμματίσιμα (όπως π.χ. Τα router). Ο εύκολος προγραμματισμός έχει και πρακτική σημασία, μιας και δίνει πολύ γρήγορα απαντήσεις σε ερωτήματα όπως “ποσο θα κοστίσει;” και “πως θα υλοποιηθεί;”. Ο συνδυασμός εύκολου αλλά και αποτελεσματικού προγραμματισμού οδηγεί σε δίκτυα τα οποία δεν είναι ευάλωτα σε απειλές.

Προωθεί την ανομοιογένεια: Μπορεί να ακούγεται σαν κατι που θα λειτουργούσε σαν τροχοπέδι για την σχεδίαση ενός virtual network, όμως η δυνατότητα συνδυασμού διαφορετικών τεχνολογιών δικτύου (ασύρματη, οπτική ινα κ.α.) λύνει στην κυριολεξία τα

χέρια στους κατασκευαστές των virtual network. Με αυτό τον τρόπο, μπορούν να προσαρμόζονται σε οποιεσδήποτε απαιτήσεις που θα αντιμετωπίσουν επιτυγχάνοντας το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Απ'την παραγωγή στην κατανάλωση: Το network virtualization περιλαμβάνει πολλές πλατφόρμες στις οποίες μπορείς να προσομοιώσεις, να τεστάρεις, ακόμα και πειραματικά να λειτουργήσει οποιαδήποτε “υπηρεσία” έχει κατασκευαστεί. Οι πλατφόρμες αυτές(PlanetLab,GENI) παίζουν ιδιαίτερα καθοριστικό ρόλο, καθώς μέσω αυτών επιτυγχάνεται η απευθείας τοποθέτηση του κάθε συστήματος,από την δοκιμαστική φάση στην αγορά, χωρίς μεσάζοντες, χωρίς μεταβατικά στάδια. [6]

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: <VIRTUAL NETWORK EMBEDDING>

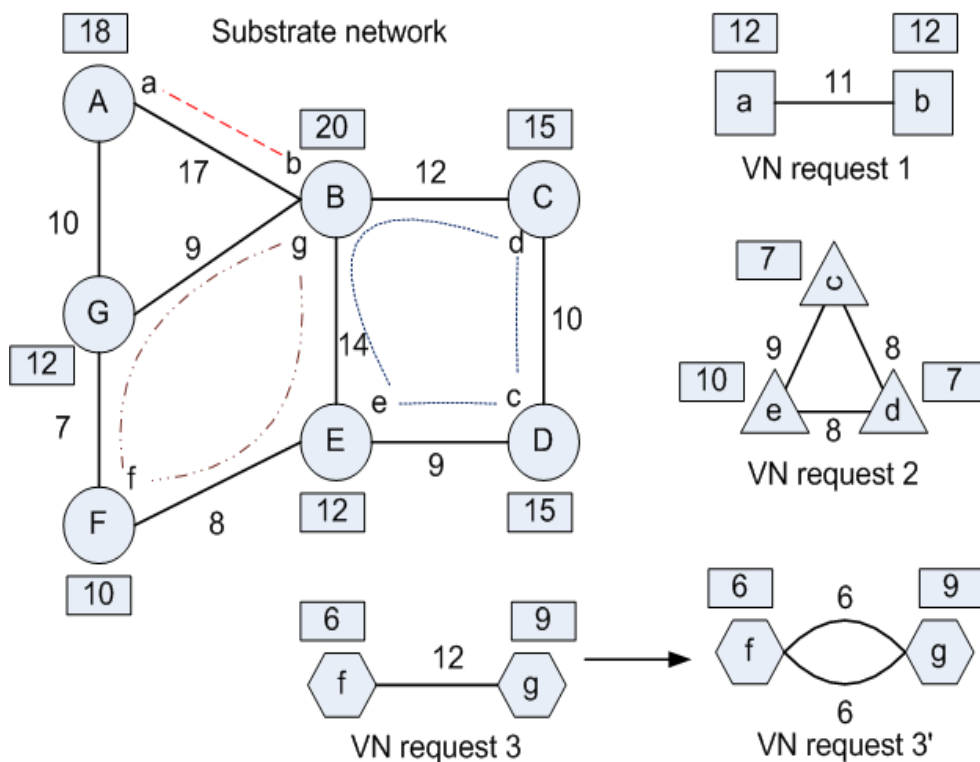
---

## 5.1 Ορισμός του προβλήματος

Το πρόβλημα του Virtual Network Embedding είναι ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης της αποδοτικής λειτουργίας των Virtual Networks. Αναφέρεται στην ανάπτυξη αλγορίθμων που κατανέμουν αποδοτικά τους εικονικούς πόρους στη φυσική υποδομή. Αξίζει να σημειωθεί πως το VNE είναι ένα NP-hard πρόβλημα, που σημαίνει πως δεν υπάρχει γνωστός πολυωνυμικός αλγόριθμος που να το επιλύει. Επομένως, ο χρόνος επίλυσης αυτού του προβλήματος αυξάνεται εκθετικά με το μέγεθός του.

Ας περιγράψουμε λίγο όμως με ποιον τρόπο εμφανίζεται αυτό το πρόβλημα. Από προηγούμενο κεφάλαιο είναι γνωστό πως μια απ'τις σχεδιαστικές αρχές του network virtualization είναι η ικανότητα συνδυασμού διαφορετικών τοπολογιών δικτύου. Οι συνδυασμοί αυτοί παράγουν εικονικούς κόμβους και εικονικούς συνδέσμους. Δημιουργώντας τόσο εικονικούς κόμβους όσο και συνδέσμους παράγονται εικονικές δικτυακές τοπολογίες με διαφορετικά όμως

χαρακτηριστικά οι οποίες φιλοξενούνται στην ίδια φυσική δικτυακή υποδομή. Έτσι, δημιουργείται ένα δίκτυο που μπορεί να αναπαρασταθεί από έναν κατευθυνόμενο γράφο, όπου οι εικονικοί κόμβοι αντιστοιχούν στις κορυφές και οι εικονικοί σύνδεσμοι



Εικόνα 1: Παράδειγμα ενός Virtual Network Embedding

Πηγή: [https://www.researchgate.net/figure/An-example-of-virtual-network-embedding\\_fig1\\_224249789](https://www.researchgate.net/figure/An-example-of-virtual-network-embedding_fig1_224249789)  
στις ακμές του.

## 5.2 Προσέγγιση του προβλήματος

Το πρόβλημα προσεγγίζεται απο 2 κατηγορίες αλγορίθμων, τους **offline** αλγορίθμους, που απαιτούν να έχουν όλες τις πληροφορίες πριν ξεκινήσει να “τρέχει” και τους **online** αλγορίθμους, όπου μπορούν να δεχθούν οποια πληροφορία χρειάζεται κατά την εκτέλεσή τους.

Παρακάτω παραθέτονται ορισμένες προσεγγίσεις του προβλήματος αυτού. Οι προσεγγίσεις θα είναι αρκετά περιληπτικές και σύντομες. Δεν θα εμβαθύνουμε σε αυτές, διότι, όπως καταλαβαίνετε, η εργασία θα ήταν αρκετά μακροσκελής και θα παρέκλυνε του σκοπού της.

### 5.2.1 Stress based προσέγγιση

Πρόκειται για έναν offline αλγόριθμο. Πρόκειται για έναν Ευρετικό αλγόριθμο που χωρίζει ένα VNR (Virtual Network Request) σε ένα πλήθος από συνδεδεμένα υπό-VNs. Το καθε ένα υποδίκτυο είναι τοπολογίας αστέρα.

Μετά από το διαχωρισμό, η αντιστοίχιση των εικονικών κόμβων και συνδέσμων γίνεται στο επίπεδο κάθε υποδικτύου. Για την απεικόνιση των κόμβων χρησιμοποιείται ένας άπλειστος αλγόριθμος και στη συνέχεια η απεικόνιση των συνδέσμων επιλύεται

χρησιμοποιώντας μία προσέγγιση συντομότερου μονοπατιού ανάμεσα στους κόμβους που έχουν απεικονιστεί .

### **5.2.2 Path splitting προσέγγιση**

Πρόκειται για έναν online αλγόριθμο. Στην συγκεκριμένη προσέγγιση του προβλήματος, εισάγεται ο όρος **revenue**, δηλαδή ένα ζυγισμένο άθροισμα όλων των απαιτήσεων (CPU, bandwidth, κλπ) του VN.

Ο αλγόριθμος διαχειρίζεται μία ουρά από εισερχόμενα αιτήματα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό παράθυρο τα οποία κατατάσσει ανάλογα με το revenue και προσπαθεί να τα αντιστοιχίσει αποδοτικά. Εάν ένα αίτημα δεν γίνει αποδεκτό τότε επιστρέφει στην ουρά για να ξαναεπεξεργαστεί ορίζοντας ταυτόχρονα ένα timeout. Μετά το πέρας και του timeout, απορρίπτεται οριστικά.

Η αντιστοίχιση των κόμβων και των συνδέσμων πραγματοποιείται ξεχωριστά σε αυτόνομα βήματα. Όσο αφορά την αντιστοίχιση των κόμβων, γίνεται με τη χρήση ενός άπληστου αλγορίθμου, ανάλογα με το revenue του κάθε κόμβου. Η αντιστοίχιση των συνδέσμων γίνεται με 2 τρόπους: είτε με επιλογή του μικρότερου μονοπατιού, είτε με επιλογή πολλαπλών μονοπατιών.

### 5.2.3 Coordinated Node and Link Mapping Προσέγγιση

Πρόκειται για έναν online αλγόριθμο. Στόχος του είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους που ορίζεται από το εύρος ζώνης και το CPU που δεσμεύεται στο φυσικό δίκτυο. Χρησιμοποιεί μεθόδους από τον τομέα του γραμμικού προγραμματισμού και προτείνει τόσο μία ντετερμινιστική αλλά και μία πιθανοτική προσέγγιση.

Στην συγκεκριμένη προσέγγιση για την απεικόνιση των κόμβων χρησιμοποιεί έναν ενισχυμένο γράφο, εισάγοντας ένα σύνολο από meta-κόμβους, έναν ανά κόμβο ο οποίος συνδέεται με ένα σύνολο από υποψήφιους φυσικούς κόμβους ανάλογα με την τοποθεσία και τη χωρητικότητα κάθε κόμβου. Οσο για την απεικόνιση των εικονικών συνδέσμων, γίνεται ακριβώς με τον ίδιο τρόπο όπως στην προσέγγιση Path splitting.

Μπορεί να έχει κάποια πλεονεκτήματα έναντι του path splitting(ελαχιστοποίηση κόστους, ντετερμινιστική και πιθανοτική προσέγγιση), όμως έχει και 2 σοβαρά μειονεκτήματα:

- 1) Οι meta-κόμβοι που εισάγονται αυξάνουν την πολυπλοκότητα του προβλήματος, επομένως ο χρόνος επίλυσης του αυξάνεται σημαντικά
- 2) Η χρήση του είναι ιδιαίτερα περιορισμένη, καθώς εξαρτάται άμεσα απ'την τοποθεσία των φυσικών πόρων.

#### 5.2.4 Subgraph isomorphism detection Προσέγγιση

Στην συγκεκριμένη προσέγγιση ένας ευρετικός αλγόριθμος κατασκευάζει έναν ισομορφικό υπογράφο, ο οποίος αναπαριστά το αίτημα για ένα εικονικό δίκτυο και φροντίζει να πληρούνται οι απαιτήσεις του αιτήματος για το γράφο που αναπαριστά τους φυσικούς πόρους.

Σημαντικό γνώρισμα αυτής της προσέγγισης είναι ότι έχει τη δυνατότητα να πραγματοποιεί την αντιστοίχιση των κόμβων και των συνδέσμων **ταυτόχρονα** στο ίδιο βήμα. Η δυνατότητα αυτή προσφέρει ισχυρά πλεονεκτήματα όσον αφορά το κόστος εκτέλεσης της αντιστοίχισης τόσο κατά τον αρχικό υπολογισμό της αντιστοίχισης όσο και κατά τους πιθανούς επαναυπολογισμούς. Ως αποτέλεσμα, επιτυγχάνεται(υπό περιπτώσεις) η μείωση του χρόνου επίλυσης του προβλήματος.



### 5.2.5 Hidden hops Προσέγγιση

Πρόκειται για έναν offline αλγόριθμο. Αξίζει να σημειωθεί πως η προσέγγιση αυτή **δεν** εξετάζει την απεικόνιση των εικονικών κόμβων αλλά επικεντρώνεται στην απεικόνιση των εικονικών συνδέσμων. Η απεικόνιση των εικονικών συνδέσμων γίνεται με χρήση της τεχνικής του **k-shortest path**.

Η προσέγγιση αυτή λαμβάνει υπόψιν της και την περίπτωση των κρυμμένων hops που μπορεί να υπάρχουν κατά την απεικόνιση των συνδέσμων. Τα κρυμμένα hops αναφέρονται σε πιθανούς ενδιάμεσους κόμβους στον κατευθυνόμενο γράφο που μπορεί να εμφανίζονται κατά την απεικόνιση ενός εικονικού συνδέσμου. Ένα κρυφό hop συνεπάγεται την απαίτηση για κάποιον πόρο του δικτύου καθώς θα πρέπει να εκτελεί προώθηση της κίνησης για το συγκεκριμένο εικονικό σύνδεσμο.

Χαρακτηριστικό αυτής της προσέγγισης είναι πως δίνει προτεραιότητα σε αιτήματα με καθορισμένα χαρακτηριστικά του εικονικού δικτύου. Μετά την εξυπηρέτηση κάθε αιτήματος, προσπαθεί να μεγιστοποιήσει τους εναπομείναντες διαθέσιμους πόρους. Τέλος, αιτήματα που δεν καθορίζουν

απαιτούμενα χαρακτηριστικά αντιμετωπίζονται απλοϊκά ισοκατανέμοντας τους φυσικούς πόρους σε αυτά. [3]

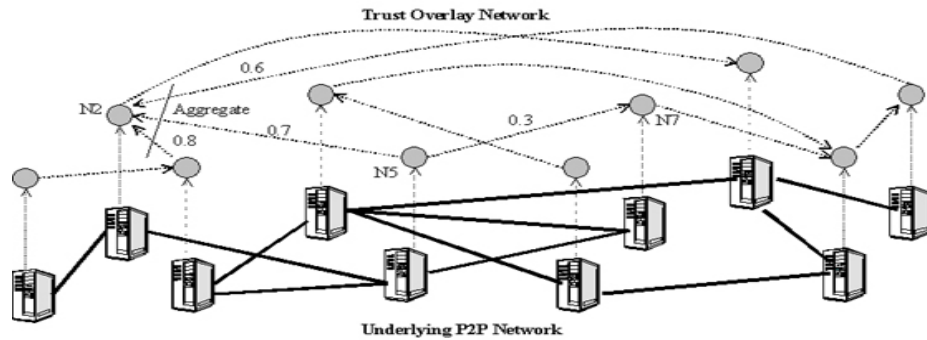
## *ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: <VIRTUAL NETWORKS>*

---

### *6.1 Overlay Network*

Στην ουσία πρόκειται για ένα δίκτυο, το οποίο έχει κατασκευαστεί πάνω σε ένα άλλο δίκτυο. Για παράδειγμα, το Ίντερνετ αρχικά είχε κατασκευαστεί σαν ένα “επικάλλυμα” πάνω στο τηλεφωνικό δίκτυο. Σήμερα γίνεται το αντίστροφο, με το τηλεφωνικό δίκτυο να έχει μετατραπεί, στο μεγαλύτερο τμήμα του, σε ένα overlay network.

Πιο συγκεκριμένα, ένα **overlay network** δημιουργείται ενώνοντας δύο “τελικά σημεία” των δικτύων, δημιουργώντας έτσι μια εικονική σύνδεση. Αυτά τα endpoints μπορεί να είναι είτε πραγματικές τοποθεσίες, όπως για παράδειγμα μια δικτυακή θύρα, είτε λογικές διευθύνσεις κάποιου λογισμικού ή κάποιου cloud.



Εικόνα 2: Παράδειγμα ενός overlay network.

Πηγή:

<https://www.sdxcentral.com/networking/sdn/definitions/what-is-overlay-networking/>

Οι χρήσεις του overlay network είναι πολλές. Ας δούμε όμως τις δύο σημαντικότερες, στον τομέα των τηλεπικοινωνιών και του ίντερνετ.

Όπως έγινε και παραπάνω σαφές, το μεγαλύτερο τμήμα του τηλεφωνικού δικτύου έχει μετατραπεί σε overlay network πάνω στο Ίντερνετ. Χρησιμοποιούνται κυρίως για την διαθεσιμότητα τους τόσο σε μηχανισμούς οπτικής ίνας όσο και σε ψηφιακούς διακόπτες.

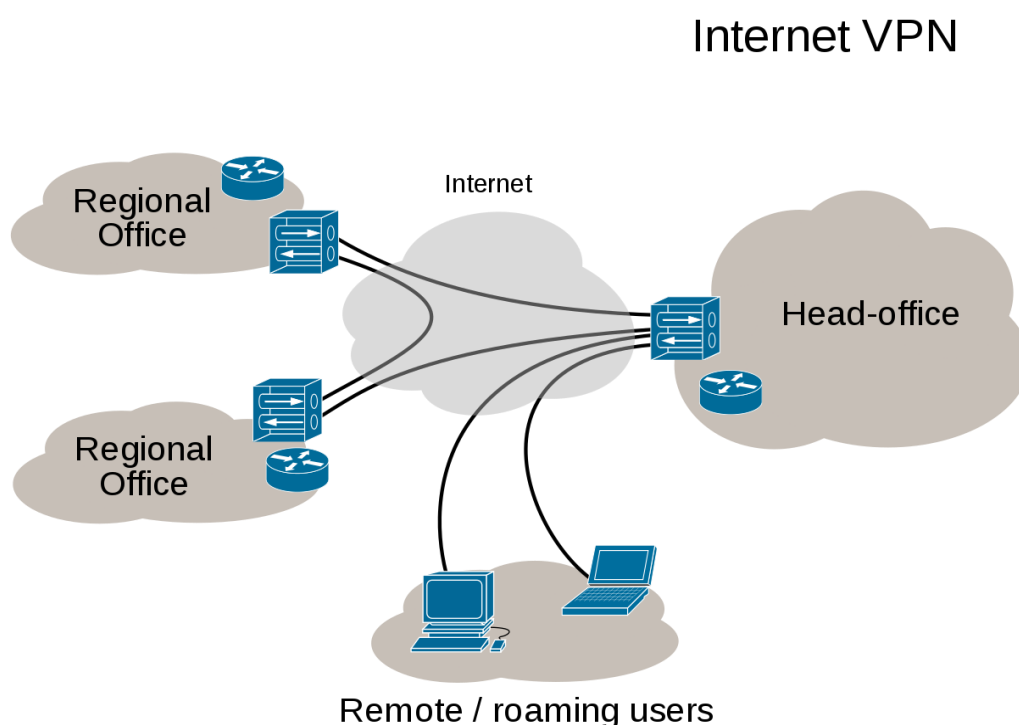
Όσον αφορά την χρήση των overlay networks στο Ίντερνετ, αρκεί να αναφέρουμε πως είναι η βάση για τα περισσότερα δίκτυα που επιτρέπουν την διευθυνσιοδότηση μνημάτων σε προορισμούς που δεν έχουν συγκεκριμένη διεύθυνση IP.

Κατά καιρούς έχει προταθεί η χρήση των overlay networks ως έναν τρόπο βελτίωσης της δρομολόγησης, μέσα απο εγγυήσεις quality-of-service με σκοπό την επίτευξη καλύτερης ποιότητας μετάδοσης.

Η επικάλυψη αυτή των δικτύων όμως φέρνει και κάποια μειονεκτήματα. Ένα απο αυτά είναι πως η διάδοση των δεδομένων γίνεται πολύ αργά. Αυτό συμβαίνει διότι τα δεδομένα πρέπει να περάσουν απο όλα τα “στρώματα” δικτύων μέχρι να φτάσουν στον επιθυμητό προορισμό τους. Η διαβίβαση μεταξύ πολλαπλών δικτύων, φέρνει και ένα ακόμα μειονέκτημα. Σε συγκεκριμένα στάδια της μετάδοσης των δεδομένων, υπάρχει ο κίνδυνος να δημιουργηθούν αντίγραφα για κάποια πακέτα, με αποτέλεσμα να προκαλείται σύγχυση στο δίκτυο. Ένα τελευταίο μειονέκτημα είναι πως υπάρχει μεγάλο latency. [7]

## 6.2 Virtual Private Network(VPN)

Ένα **Virtual Private Network** δεν είναι τίποτα άλλο παρά ένα γκρουπ απο υπολογιστές που είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους μέσω Ίντερνετ. Δημιουργεί μία πιο ασφαλή και κρυπτογραφημένη σύνδεση, σε σύγκριση με το δημόσιο Ίντερνετ. Με αυτόν τον τρόπο είμαστε σε θέση να προστατευτούμε απο πιθανούς κινδύνους, να αποκρύψουμε τις δραστηριότητες και κινήσεις μας στον Παγκόσμιο Ιστό καθώς και να αποκλείσουμε οποιαδήποτε πιθανότητα υποκλοπής συζητήσεων μας απο τρίτους.



Εικόνα 3: Παράδειγμα ενός VPN.

Πηγή: [https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual\\_private\\_network](https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_private_network)

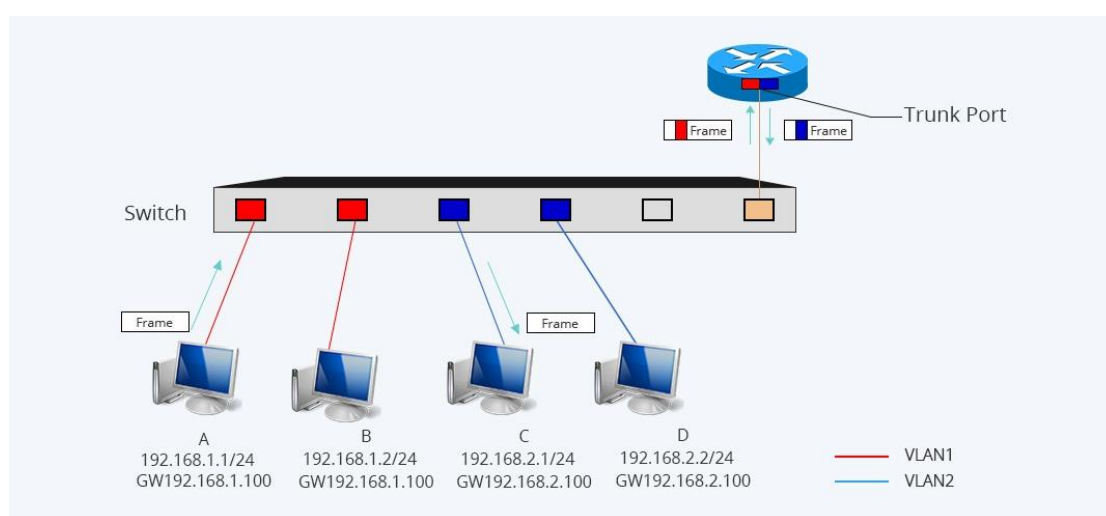
Αυτό που κάνει ένα VPN είναι να δρομολογεί όλη την κίνηση του εκάστοτε υπολογιστή ή δικτύου σε διάφορους άλλους server εντελώς ανώνυμα. Όλα αυτά συμβαίνουν πρώτου το πακέτο δεδομένων φτάσει στο ISP του δικτυου. Εκείνη τη στιγμή, το VPN προσθέτει μια επιπλέον στάση στη διαδρομή, περιμένοντας να επιβεβαιωθεί πως και οι δύο πλευρές βρίσκονται σε ασφαλές κανάλι. Μόλις και οι δύο πλευρές επιβεβαιωθούν για την ταυτότητα και την ασφάλεια του άλλου, τότε όλες οι δραστηριότητες είναι κρυπτογραφημένες και ασφαλείς. [8]

Τα προνόμια ενός VPN επιτυγχάνονται χάρη σε κάποια **πρωτόκολλα ασφαλείας**:

- Internet Protocol Security(IPsec). Κρυπτογραφεί και αποκτυπτογραφεί ένα IP πακέτο στην αρχή και τέλος της διαδρομής αντίστοιχα.
- Transport Layer Security(TLS). Λειτουργεί ως συνέχεια του Ipsec όταν αυτό αδυνατεί να προσπεράσει κάποια firewalls.
- Datagram Transport Layer Security(DTLS).
- Microsoft Point-to-Point Encryption(MPPE)
- Secure Socket Tunneling Protocol(SSTP). [9]

## 6.3 VLAN

Ένα εικονικό LAN είναι ένα λογικό υποδίκτυο που μπορεί να ενώσει διάφορες συσκευές από διαφορετικά LAN, σε ένα ενιαίο LAN ανεξάρτητο γεωγραφικής τοποθεσίας. Σκοπός του VLAN είναι η επικοινωνία μεταξύ των υπολογιστών του εικονικού δικτύου μέσω ενός περιβάλλοντος προσομοίωσης.



Εικόνα 4: Παράδειγμα ενός VLAN.

Πηγή: <https://www.fs.com/vlan-how-does-it-change-your-network-management-aid-601.html>

Τα πλεονεκτήματα που παρέχει η χρήση ενός VLAN είναι τα εξής:

- Περισσότερη ασφάλεια στις επικοινωνίες μεταξύ του δικτύου
- Η επέκταση του δικτύου είναι ευκολότερη
- Καλύτερη απόδοση, μιας και υπάρχει μικρότερο latency [10]

Πέραν όμως των πλεονεκτημάτων, υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα, καθώς και κάποιοι περιορισμοί:

- Υπάρχει μεγάλος κίνδυνος σπο ιούς, καθώς αν προσβληθεί ένα σύστημα θα επεκταθεί σε όλο το δίκτυο
- Σε μεγάλα δίκτυα, υπάρχουν περιορισμοί σε θέματα εξοπλισμού. Για να εξυπηρετηθεί το φόρτο εργασιών του δικτύου, απαιτούνται παραπάνω routers, με αποτέλεσμα να αυξάνεται το κόστος.
- Συγκρατάλεγεται στη “βαθμίδα της μετριότητας”, μιας και μπορεί και ελέγχει καλύτερα το latency σε σχέση με ενα WAN, αλλά χειρότερα απ'ότι ένα LAN. [11]



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: <ΠΛΑΤΦΟΡΜΕΣ VIRTUALIZATION>

---

## 7.1 PlanetLab

Πρόκειται για μια Overlay πλατφόρμα δοκιμών για γεωγραφικώς κατανεμημένες δικτυακές υπηρεσίες. Όλες οι συσκευές που συμμετέχουν στο PlanetLab είναι συνδεδεμένες στο διαδίκτυο και οι περισσότερες εξ αυτών βρίσκονται σε ερευνητικά κέντρα. Στόχος του είναι, μέχρι το 2020, να αριθμεί πάνω από 1000 “κομβους υπηρεσιών” διανεμημένων σε όλα τα μήκη και πλάτη της γης.

Πρόκειται για μια δικτυακή αρχιτεκτονική προσανατολισμένη στις εφαρμογές. Όλες οι συσκευές του PlanetLab χρησιμοποιούν ένα πολύ απλό πακέτο λογισμικού βασισμένο πάνω στο λειτουργικό σύστημα των Linux. Κύριος στόχος αυτού του λογισμικού είναι η υποστήριξη μιας κατανεμημένης εικονικοποίησης, δηλαδή την ικανότητα διανομής ενός slice του δικτύου του PlanetLab σε μια εφαρμογή. Ουσιαστικά είναι η πρώτη πλατφόρμα που εισήγαγε την έννοια του slice και οι εφαρμογές εκτελούνται ανα slice, δηλαδή

τηρείται σειρά προτεραιότητας βάση του τμήματος του δικτύου του PlanetLab που χρησιμοποιείται.

Πέραν όμως της ερευνητικής χρήσης του, το PlanetLab χρησιμοποιείται και ως μια πλατφόρμα ανάπτυξης. Ουσιαστικά δίνει τη δυνατότητα υποστήριξης μιας εφαρμογής σε όλα τα στάδιά της. Η αξία της ως πλατφόρμα ανάπτυξης, αλλά και δοκιμών, είναι πως παρέχει μια άμεση τεχνολογική μεταφορά από τις δοκιμές σε δημοφιλείς νέες υπηρεσίες. [12]

## 7.2 GENI

Η GENI(**G**lobal **E**nvironment for **N**etwork **I**nnovations) είναι μια ανοιχτή, μεγάλης κλίμακας πειραματική πλατφόρμα. Δημιουργήθηκε ένα “εικονικό εργαστήριο” όπου δόθηκε η ευκαιρία σε μηχανικούς,ερευνητές και developers να έχουν πρόσβαση σε:

1) *Προγραμματιζόμενα Δίκτυα*: Routers ειδικά σχεδιασμένα ώστε να μπορούν να επαναπρογραμματιστούν για να αντέχουν πακέτα δεδομένων που μεταδίδονται με σύγχρονους τρόπους

2) *Υψηλές ταχύτητες*: Πρόσβαση σε δίκτυα που είναι 250 φορές γρηγορότερα από οτιδήποτε είναι διαθέσιμο στην αγορά

3) *Virtual Machines*: Εικονικά περιβάλλονται για να εκτελούνται οι εφαρμογές εκμεταλλευόμενες τις γρήγορες ταχύτητες και τα επαναπρογραμματιζόμενα δίκτυα

Πέραν όμως των πλεονεκτημάτων που δίνει στους ερευνητές, το GENI είναι ιδανικό και για τους χρήστες. Όλες οι εργασίες γίνονται online, οπότε υπάρχει άμεση συνδεσιμότητα στο διαδίκτυο. Τέλος, εκμεταλλευόμενη την έννοια των slices, προσφέρονται στο χρήστη πόροι οι οποίοι είναι χωρισμένοι τόσο χρονικό όσο και χωρικά. Με αυτόν τον τρόπο, μέσω μιας πλατφόρμας που επιδίδεται στο virtualization, είναι δυνατόν και αντικατοπτρίζεται η πραγματική κίνηση των δεδομένων. [13]

### **7.3 VINI/Trellis**

Πρόκειται για μια ακόμα πλατφόρμα “εικονικοποίησης”, η οποία φιλοξενεί εικονικά δίκτυα σε κοινόχρηστους υλικούς πόρους. Με λίγα λόγια προσφέρει τη δυνατότητα για τη φυσική δικτυακή υποδομή αλλά και για δημιουργία Virtual Network.

Η Trellis επιτρέπει σε κάθε virtual network να ορίσει τη δικιά του τοπολογία, καθώς και τα δικα του πρωτόκολλα ελέγχου. Το κόστος αυτής της ελευθερίας ισοσταθμίζεται απ'τη χρήση των κοινόχρηστων υλικών πόρων. [14]

Εκτός των παραπάνω, η VINI/Trellis έχει καταφέρει να επεκτείνει τη σκοπιά της PlanetLab, με τους εξής τρόπους:

- 1) Κάθε εικονικός κόμβος είναι ένας router
- 2) Προσφέρει εργαλεία για τη δημιουργία tunnels μεταξύ των εικονικών κόμβων
- 3) Προσφέρει τη δυνατότητα ρεαλιστικών προσομοιώσεων καθώς μπορεί να μεταφέρει πραγματική κίνηση [3]

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

- [1] [https://en.wikipedia.org/wiki/Network\\_virtualization](https://en.wikipedia.org/wiki/Network_virtualization)
- [2] <https://learningnetwork.cisco.com/blogs/vip-perspectives/2016/06/10/a-brief-history-of-network-virtualization>
- [3] “Τηλεματική και Νέες Υπηρεσίες”, διαφάνειες μαθήματος, επιμέλεια: Χ. Μπούρας
- [4] <https://milner.com/company/blog/technology/2015/07/14/the-advantages-and-disadvantages-of-virtualization>
- [5] <https://vittana.org/14-advantages-and-disadvantages-of-virtualization>
- [6] “Εισαγωγή στο Network Virtualization”, Μ. Chowdhury, University of Waterloo, 2008.
- [7] [https://en.wikipedia.org/wiki/Overlay\\_network](https://en.wikipedia.org/wiki/Overlay_network)
- [8] <http://nst.com.au/virtual-private-networks/>
- [9] [https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual\\_private\\_network](https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_private_network)
- [10] <https://www.lifewire.com/virtual-local-area-network-817357>
- [11] <https://www.techopedia.com/definition/4804/virtual-local-area-network-vlan>

[12] <https://www.planet-lab.org/about>

[13] <https://media.readthedocs.org/pdf/geni-app-developer-documentation/latest/geni-app-developer-documentation.pdf>

[14] S. Bhatia, M. Motiwala, “Trellis: A platform for building flexible, fast virtual networks on commodity hardware” in *Proc Conference on Emerging Network Experiment and Technology*, Madrid, Spain, 2008.