



Πανεπιστήμιο Μακεδονίας

University of Macedonia

ΔΠΜΣ Πληροφοριακά Συστήματα

Master Information Systems

“Τα Χαρακτηριστικά της Εικονικοποίησης ενός Δικτύου και η ανάλυσή τους”

“Network Virtualization’s Attributes and its Analysis”

Μάθημα:

Course:

Δίκτυα Υπολογιστών

Computer Networks

Καθηγητής: Α.Α. Οικονομίδης

Professor: Α.Α. Economides

Θεσσαλονίκη 2011

Thessaloniki 2011

Περίληψη

Η Εικονικοποίηση ενός Δικτύου, είναι μία καινούργια έννοια, ιδιαίτερα χρήσιμη σήμερα. Μέσα από την εργασία αυτή, θα γίνει μία προσπάθεια ανάλυσης του όρου και της σημασίας του, μέσα από μία βιβλιογραφική εργασία. Αρχικά θα δοθεί η παρουσίαση του θέματος, όπου θα παρουσιασθούν κάποιες εισαγωγικές γνώσεις, ενώ μετά θα ακολουθήσει η κύρια ανάλυση. Εκεί θα παρουσιασθεί μία μικρή ιστορική αναδρομή του όρου.

Στη συνέχεια θα αναλυθεί το περιβάλλον της Εικονικοποίησης του δικτύου, όπου θα παρουσιασθούν και τα κύρια συστατικά που το αποτελούν. Παρατίθενται κάποια από τα πιο σημαντικά έργα πάνω στην Εικονικοποίηση, μέσω πινάκων, ενώ η κύρια ανάλυση τελειώνει με την αξιολόγηση του όρου. Περιγράφονται τα πλεονεκτήματά, τα μειονεκτήματα που υπάρχουν, αλλά και τι πρέπει να γίνει για να βελτιωθεί.

Τέλος γράφονται τα συμπεράσματα της εργασίας και παρατίθεται η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε. Οι πηγές προέρχονται από ξένα και Ελληνικά συγγράμματα, άρθρα και σελίδες του διαδικτύου.

Abstract

Network Virtualization, is a new concept, particularly useful today. Through this paper, there will be an effort of analysis of the term and his importance, through a bibliographic work. Initially there will be a presentation of the subject, certain introductive knowledge, while afterwards follows the main analysis. There will be presented a small historical retrospection of the term.

Afterwards the environment of network virtualization will be analyzed, and its main components will be presented. There are also mentioned the most important projects on network virtualization via tables, while the main analysis finishes with the evaluation of the term. The advantages and the disadvantages are described, but also what should become in order to it is improvement. Finally there are given the conclusions and the references that were used. The sources emanate from foreigner and Greek books, articles and pages from the internet.

1. Παρουσίαση της Εικονικοποίησης Δικτύου

Πρόσφατα η ιδέα της Εικονικοποίησης ενός Δικτύου, χαίρει μεγάλης προσοχής σε μία αντιπαράθεση σχετικά με το πώς θα πρέπει να γίνετε η μοντελοποίηση της διαδικτύωσης τύπου «νέας γενιάς» (Next-Generation Networking Paradigm), η οποία θα αντικαταστήσει το τωρινό διαδίκτυο (Internet). Οι υπέρμαχοι της αρχιτεκτονικής «καθαρεύουσας» του διαδικτύου (Architectural Purists), χαρακτηρίζουν την εικονικοποίηση του Δικτύου, απλά ως ένα μέσο αξιολόγησης νέων αρχιτεκτονικών (Anderson, 2005). Αντίθετα οι πλουραλιστές, αντιλαμβάνονται την εικονικοποίηση σαν μία βασική ιδιότητα διαφοροποίησης της εξελιγμένης αρχιτεκτονικής του δικτύου. Οι τελευταίοι πιστεύουν ότι η εικονικοποίηση δικτύου μπορεί να «διαβρώσει» ή να εξαλύψει τις δυνάμεις αποστέωσης του τωρινού διαδικτύου που χρησιμοποιείται, μέσα από την εισαγωγή διασπαστικών τεχνολογιών. (J.Turner, 2005)

Η Εικονικοποίηση Δικτύου προσδιορίζεται από τον διαχωρισμό των ρόλων των παρόχων υπηρεσιών, του παραδοσιακού διαδικτύου (Internet service Providers- ISPs), σε δύο ανεξάρτητες οντότητες. Τους Παροχείς Υποδομής (Infrastructure Providers- InPs), οι οποίοι διαχειρίζονται την φυσική υποδομή του δικτύου και τους Παροχείς Υπηρεσιών (Service Providers- SPs), οι οποίοι δημιουργούν τα εικονικά δίκτυα (Virtual Networks- VNs). Οι SPs επιτυγχάνουν την λειτουργία τους αθροίζοντας πόρους από διαφορετικά InPs και παρέχοντας από άκρο σε άκρο (end-to-end) υπηρεσίες.

Σχετίζεται ακόμη, με την ευελιξία, την άμεση και έγκαιρη μεταφορά πόρων, καθώς τα παραδοσιακά δίκτυα δεν μπορούν να διαχειριστούν αυτή τη αυξημένη κίνηση. Παράλληλα η ασφάλεια των πληροφοριών κατά τη μεταφορά τους είναι άλλο ένα θέμα στο οποίο η εικονικοποίηση του δικτύου έχει προχωρήσει πολύ. (IBM, 2010)

Έτσι θα δημιουργηθεί ένα περιβάλλον που θα επιτρέπει την ανάπτυξη των συνυπαρχόντων, ετερογενών αρχιτεκτονικών δικτύου, όπου οι τελευταίες δεν θα περιορίζονται από τους έμφυτους περιορισμούς του διαδικτύου που χρησιμοποιείται σήμερα.

2. Η Ανάλυση της Εικονικοποίησης του Δικτύου

2.1 Η Ιστορική Αναφορά

Η έννοια των πολλαπλών συνηπαρχόντων λογικών διαδικτύων, εμφανίστηκε στην βιβλιογραφία του διαδικτύου πολλές φορές στο παρελθόν και μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε τέσσερις κυρίως κλάσεις. Τα Εικονικά Τοπικά Δίκτυα (Virtual Local Area Networks, VLANs), τα Εικονικά Ιδιωτικά Δίκτυα (Virtual Private Networks, VPNs), τα Προγραμματιζόμενα Δίκτυα και τα Επιστρωμένα Δίκτυα. Παρακάτω θα περιγραφούν δύο από αυτές.

2.1.1 Εικονικά Τοπικά Δίκτυα (Virtual Area Network)

Ένα VLAN, είναι μία ομάδα από λογικά, διαδικτυωμένους παροχείς συνδέσεων, με μία μοναδική διεύθυνση εκπομπής σήματος, ανεξάρτητοι από φυσική συνδεσιμότητα. Κάθε πλαίσιο σε ένα VLAN, διαθέτει ένα VLAN ID στην επικεφαλίδα ελέγχου πρόσβασης μέσου (Medium Access Control- MAC), καθώς και επίσης διακόπτες VLAN οι οποίοι χρησιμοποιούν τόσο την διεύθυνση προορισμού του MAC και το ID του VLAN για την προώθηση άλλων πλαισίων.

Τα τελευταία, στηρίζονται περισσότερο σε λογικές παρά φυσικές συνδέσεις, η διαχείριση του δικτύου, η διοίκηση και η επανεγκατάσταση των VLANs είναι πιο απλές διαδικασίες από τις αντίστοιχες κινήσεις που θα έπρεπε να γίνουν σε μία φυσική σύνδεση. Παράλληλα τα VLANs προσφέρουν περισσότερο εξελιγμένα επίπεδα σε θέματα απομόνωσης. (WD Sincoskie, 2002)

2.1.2 Εικονικά Ιδιωτικά Δίκτυα (Virtual Private Network)

Ένα Εικονικό Ιδιωτικό Δίκτυο, ή VPN, είναι αφιερωμένο στην σύνδεση πολλών ιστοσελίδων, χρησιμοποιώντας ιδιωτικές και ασφαλείς διόδους, μέσα από δημόσια δίκτυα επικοινωνίας όπως το Internet. Στις περισσότερες φορές, ένα VPN συνδέει γεωγραφικά απομακρυσμένες ιστοσελίδες μίας συγκεκριμένης, κάθε φορά ενός ομίλου ή επιχείρησης. Σκοπός του είναι η δημιουργία μιας υποδομής η οποία ενσωματώνει ταυτόχρονα τα πλεονεκτήματα ενός δημόσιου και ιδιωτικού δικτύου. (Διακονικολάου, 2007)

Κάθε VPN έχει μία συσκευή συνδεδεμένη στον χρήστη/πελάτη (Customer Edge- CE) και μία ή περισσότερες συνδεδεμένες με τον προμηθευτή του συστήματος.

Με βάση τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιήθηκαν για την διαχείριση των δεδομένων, ένα VPN μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε κάποιες κατηγορίες. Το πρώτο επίπεδο, VPN ή L1VPN εμφανίστηκε πρόσφατα από την ανάγκη αναβάθμισης του επιπέδου 2/3 (L2/L3), αλλάζοντας τις ιδιότητες του VPN για πιο εξελιγμένους διακόπτες. Παρέχει μία βάση με περισσότερες υπηρεσίες, όπου οι χρήστες μπορούν να παρέχουν και τις δικές τους, οι οποίες μπορούν να ανοίκουν σε διαφορετικά επίπεδα. Αυτό διασφαλίζει ότι κάθε υπηρεσιακό δίκτυο έχει ανεξάρτητο χώρο διευθύνσεων, δυνατότητα προβολής των πόρων μέσα από το L1, ξεχωριστές πολιτικές αντιμετώπισης ανά περίπτωση και πλήρης απομόνωση από άλλα VPNs.

Το δεύτερο επίπεδο VPN μεταφέρει πλαίσια L2 (κυρίως Ethernet) ανάμεσα σε συμμετέχοντες ιστοσελίδες. Το πλεονέκτημα βρίσκεται στο γεγονός ότι δεν θεωρεί ως δεδομένα τα πρωτόκολλα υψηλότερου επιπέδου και άρα είναι πιο ευέλικτο από το L3 VPN. Από την άλλη πλευρά δεν υπάρχει μία διάσταση ελέγχου η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την διευκόλυνση της επικοινωνίας κατά μήκος του VPN.

Το τρίτο επίπεδο είναι ένα πλαίσιο το οποίο χαρακτηρίζεται από την χρήση πρωτοκόλων L3 στην βάση του VPN, ώστε να διεξαχθούν δεδομένα ανάμεσα στα διαμοιρασμένα CEs. Υπάρχουν δύο είδη αυτού του τύπου.

Σε μία προσέγγιση βασισμένη στη συσκευή συνδεδεμένη στον χρήστη/πελάτη, ο πάροχος του δικτύου δεν γνωρίζει την ύπαρξη ενός Εικονικού Ιδιωτικού Δικτύου. Οι συσκευές αυτές δημιουργούν και διαχειρίζονται τις μεταξύ τους συνδέσεις. Ο αποστολέας ενθυλακώνει τα πακέτα της πληροφορίας και τα οδηγεί μέσα στο δίκτυο του αποστολέα, που θα χρησιμοποιηθεί για τη μεταφορά τους. Μόλις φτάσουν στο δίκτυο του παραλήπτη, αποσπώνται και τα βασικά πακέτα συνεχίζουν τη μεταφορά τους.

Σε μία προσέγγιση βασισμένη στη συσκευή συνδεδεμένη στον παροχέα, το δίκτυο του παροχέα είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση του Εικονικού Ιδιωτικού Δικτύου. Μία συσκευή συνδεδεμένη στον χρήστη μπορεί να συμπεριφέρεται σαν να ήταν συνδεδεμένη με ένα ιδιωτικό δίκτυο. (N. M. Mosharaf Kabir, 2009)

2.2 Διαχωρισμός της Εικονικοποίησης του Δικτύου

2.2.1 Εξωτερική Εικονικοποίηση Δικτύου (External network virtualization)

Στην περίπτωση αυτή, ένα ή περισσότερα τοπικά δίκτυα συνδυάζονται ή υποδιαιρούνται σε εικονικά δίκτυα, με στόχο την αποτελεσματικότητα ενός μεγαλύτερου δικτύου. Τα βασικά συστατικά μίας Εξωτερικής Εικονικοποίησης είναι το Εικονικό τοπικό Δίκτυο και Διακόπτης του Δικτύου (Network Switch). Χρησιμοποιώντας της τεχνολογία του διακόπτη, ο διαχειριστής του συστήματος, μπορεί να εγκαταστήσει συστήματα, φυσικά συνδεδεμένα στο ίδιο τοπικό δίκτυο, σε άλλα Εικονικά Δίκτυα. Από την άλλη πλευρά, ένα VLAN, επιτρέπει στον διαχειριστή του συστήματος να συνδυάσει συστήματα από διαφορετικά τοπικά δίκτυα, γεφυρώνοντάς τα τελευταία σε ένα μεγάλο δίκτυο. (Jim Duffy, 2011)

Η Cisco Systems Service-Oriented Network Architecture, εφαρμόζει Εικονικοποίηση Δικτύου, μέσα από τη χρήση ενός δικτυακού διακόπτη ως τεχνικό εξοπλισμό (Hardware) και ένα VLAN για λογισμικό (Software). Εδώ, συστήματα φυσικά συνδεδεμένα στον ίδιο διακόπτη μπορούν να διαχειρίζονται από μέλη ενός άλλου τοπικού δικτύου. (W. David Gardner, 2010)

2.2.2 Εσωτερική Εικονικοποίηση Δικτύου (Internal network virtualization)

Υπάρχουν πάροχοι που προσφέρουν εσωτερική Εικονικοποίηση, όπου ένα σύστημα διαμορφώνεται από περιέκτες (Containers) και προγράμματα ελέγχου, για να δημιουργήσουν ένα εσώκλειστο διαδίκτυο (Network in a box). Αυτή η μέθοδος αυξάνει την αποτελεσματικότητα ενός συστήματος, απομονώνοντας εφαρμογές σε ξεχωριστούς περιέκτες και ψευδο- περιβάλλοντα (pseudo interfaces).

Ο Εικονικός Server της Microsoft, χρησιμοποιεί εικονικό εξοπλισμό, για τη δημιουργία ενός εσώκλειστου δικτύου. Οι περιέκτες του μπορούν να τρέξουν διαφορετικά λειτουργικά συστήματα, όπως τα Windows ή τα Linux μαζί είτε ξεχωριστά από τον Ελεγκτή Διεπαφής Δικτύου (network interface controller- NIC) του συστήματος. Ο τεχνικός εξοπλισμός, που συνδέει τον υπολογιστή με το δίκτυο. (WD Sincoskie, 2002)

3. Περιβάλλον Δικτυακής Εικονικοποίησης

Αντίθετα με το internet και την χρήση IP διευθύνσεων, ένα περιβάλλον εικονικής δικτύωσης είναι μία συλλογή από πολλαπλές ετερογενείς αρχιτεκτονικές δικτύου από διαφορετικούς παρόχους υπηρεσιών (SPs). Κάθε πάροχος «νοικιάζει» πόρους από έναν ή περισσότερους παροχείς υποδομής (InPs) για τη δημιουργία Εικονικών Δικτύων και την εφαρμογή πρότυπων πρωτοκόλων και υπηρεσιών.

3.1 Επιχειρησιακό Μοντέλο

Η κύρια διαφορά ανάμεσα στο Μοντέλο Εικονικοποίησης Δικτύου και του παραδοσιακού μοντέλου είναι η παρουσία δύο διαφορετικών ρόλων στο πρώτο, των Παροχέων Υποδομής (InPs) και των Παροχέων Υπηρεσιών (SPs), αντίθετα με την ύπαρξη μόνο του Παροχέα Υπηρεσιών Διαδικτύου (ISPs). (M. Boucadair, 2007)

3.1.1 Πάροχοι Υποδομής (InP)

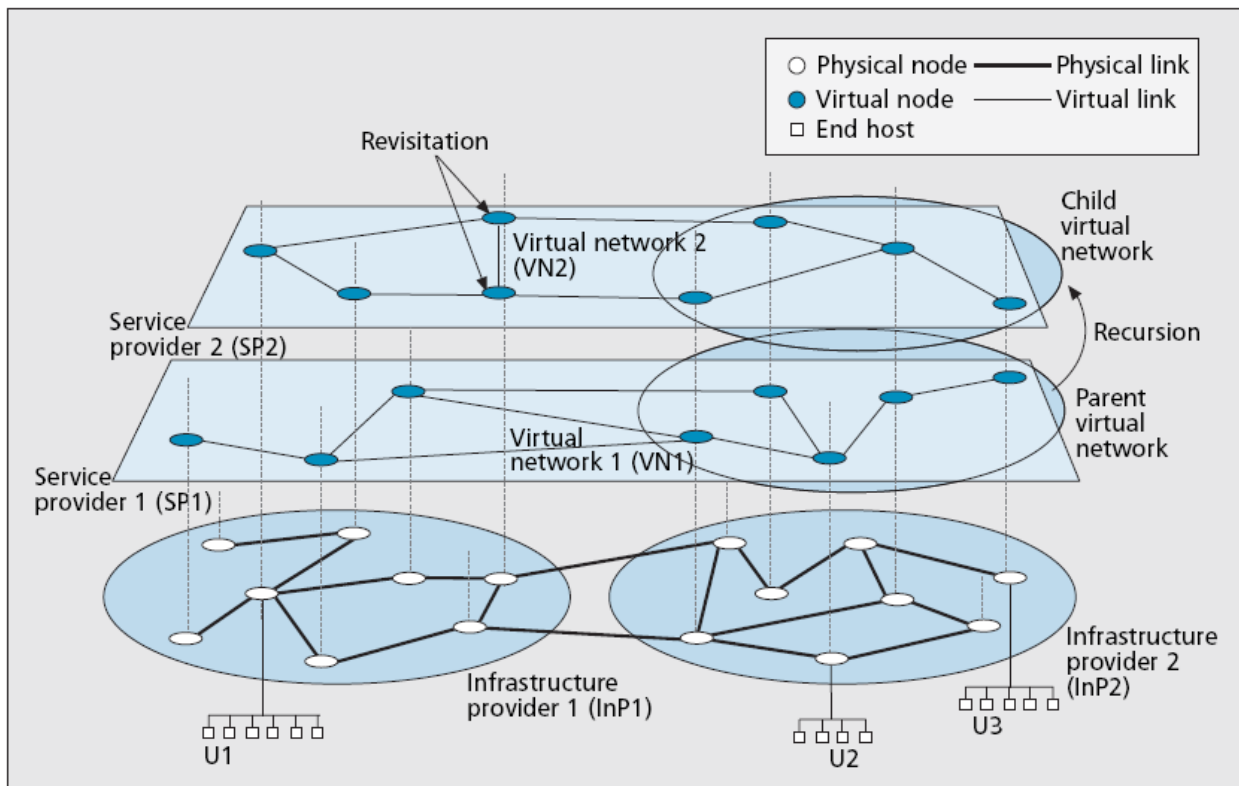
Οι πάροχοι υποδομής αναπτύσσουν και διαχειρίζονται τους φυσικούς πόρους του διαδικτύου. Τους προσφέρουν μέσα από προγραμματιζόμενες επαφές με διαφορετικούς παροχείς υπηρεσιών. Οι πάροχοι υποδομής διαφοροποιούνται μέσω της ποιότητας των πόρων, της οποίας προσφέρουν, της ελευθερίας που παρέχουν στους χρήστες και τα εργαλεία που χρησιμοποιούν για την καλύτερη χρήση αυτής της ελευθερίας.

3.1.2 Πάροχοι Υπηρεσιών (SP)

Οι πάροχοι υπηρεσιών μισθώνουν πόρους από διαφορετικούς παρόχους υποδομής για τη δημιουργία και εφαρμογή ενός Εικονικού Δικτύου, μέσα από τον προγραμματισμό επιμερισμένων πόρων του διαδικτύου, ώστε να προσφέρουν υπηρεσίες από άκρο σε άκρο ή αλλιώς “End- to End”, στους τελικούς χρήστες. Ένας παροχέας υπηρεσιών, μπορεί ακόμα να προσφέρει τις υπηρεσίες του και σε άλλους παρόχους. Μπορεί ακόμα να δημιουργήσει μικρότερα Εικονικά Δίκτυα, τα λεγόμενα «παιδικά» (Child Virtual Networks), παρέχοντας κάποιους από τους πόρους τους και δρώντας σαν ένα εικονικό InP μέσα από την μίσθωση των μικρότερων αυτών δικτύων, σύμφωνα και με το σχήμα 1.

3.1.3 Τελικός Χρήστης

Οι τελικοί χρήστες σε ένα μοντέλο εικονικοποίησης δικτύου είναι παρόμοιοι με αυτούς στο υπάρχον διαδίκτυο, με τη διαφορά ότι η ύπαρξη πολλαπλών εικονικών δικτύων από τον ανταγωνισμό των SPs, παρέχει στα πρώτα ένα μεγαλύτερο εύρος επιλογών. Κάθε τελικός χρήστης μπορεί να συνδεθεί σε πολλά εικονικά δίκτυα από διαφορετικούς παρόχους υπηρεσιών, για διαφορετικές υπηρεσίες κάθε φορά.



Σχήμα 1. Το περιβάλλον Εικονικοποίησης του Δικτύου, (N. M. Mosharaf Kabir Chowdhury and Raouf Boutaba, 2009, σελ. 22) (N. M. Mosharaf, 2009)

3.2 Αρχιτεκτονική Δικτύου

Σε ένα περιβάλλον εικονικοποίησης δικτύου, η βασική οντότητα είναι το Εικονικό Δίκτυο (VN). Ένα εικονικό δίκτυο είναι μία συλλογή από εικονικούς κόμβους συνδεδεμένοι σε μία ομάδα εικονικών συνδέσμων δικτύου (Virtual Links), σχηματίζοντας έναν εικονικό χώρο, που στην πραγματικότητα ανοίκει σε έναν ευρύτερο φυσικό χώρο. Κάθε εικονικός κόμβος φιλοξενείται

από έναν συγκεκριμένο φυσικό, ενώ ένας εικονικός σύνδεσμος λειτουργεί ως δίοδος στο φυσικό δίκτυο και επιτρέπει την είσοδο ένα μέρους των πόρων του τελευταίου μέσα της.

Κάθε Εικονικό Δίκτυο λειτουργεί και διαχειρίζεται από έναν συγκεκριμένο Πάροχο Υπηρεσιών (SP), αν και οι υποκείμενοι φυσικοί πόροι συλλέγονται από πολλαπλούς παρόχους υποδομής (InPS). Το σχήμα 1 αποτυπώνει δύο Εικονικά Δίκτυα, το VN1 και το VN2, τα οποία δημιουργήθηκαν από τους παρόχους Υπηρεσιών, SP1 και SP2, αντίστοιχα. Το SP1 συνέθεσε το NV1 πάνω στους φυσικούς πόρους, οι οποίες διαχειρίζονται από δύο διαφορετικά InPs (InP1 και InP2) και παρέχουν από άκρη σε άκρη υπηρεσίες στους τελικούς χρήστες U2 και U3. Το SP2 από την άλλη πλευρά, ανέπτυξε το VN2 συνδυάζοντας πόρους και πληροφορίες από τον παροχέα υποδομής InP1 και ένα παιδικό εικονικό δίκτυο από τον παροχέα υπηρεσιών SP1. Οι τελικοί χρήστες U1 και U3 συνδέονται μέσα από το VN2.

Ο ιδιοκτήτης ενός Εικονικού Δικτύου μπορεί να εφαρμόσει υπηρεσίες από άκρη σε άκρη με την εφαρμογή πρότυπων πακέτων formats, πρωτόκολλων, μηχανισμούς προώθησης. Οι τελικοί χρήστες έχουν τη δυνατότητα να επιλέξουν οποιοδήποτε VN. (N. M. Mosharaf, 2009)

3.3 Αρχιτεκτονικές Αρχές

Η Εικονικοποίηση Δικτύου διατυπώνει τις παρακάτω αρχές για την εφαρμογή της δικτύωσης της νέας γενιάς.

Συνύπαρξη- Η συνύπαρξη πολλών διαφορετικών Εικονικών Δικτύων είναι βασικό χαρακτηριστικό ενός NVE. Πρόκειται για την δυνατότητα συνύπαρξης, διαφορετικών VNs από διαφορετικά SPs, όπου τα πρώτα τρέχουν κατά βάση ή εξολοκλήρου στα υποκείμενα φυσικά δίκτυα που παρέχουν ένα ή περισσότερα InPs. Στο σχήμα 1, το VN1 και το VN2 είναι δύο συνυπάρχοντα VN.

Αναδρομικότητα - Όταν ένα ή παραπάνω VNs γεννούνται από ένα μεγαλύτερο, δημιουργώντας μία ιεράρχηση με σχέσεις γονέα και απογόνου, δημιουργείται η έννοια της αναδρομικότητας ή αλλιώς γνωστή και ως εμφώλευση Εικονικών Δικτύων (M. Kounavis, 2001). Οι πάροχος υπηρεσιών SP1 στο σχήμα 1, μίσθωσε ένα μέρος των καταμερισμένων του πόρων στο SP2, στον οποίο εμφανίζεται απλά ως ένας εικονικός παροχέας δομής (InP).

Κληρονομικότητα- Τα «Παιδικά» Εικονικά Δίκτυα (Child VNs) σε ένα VNE μπορούν να κληρονομήσουν χαρακτηριστικά, άρα οι περιορισμοί του αρχικού VN θα μεταφερθούν σε παρόμοιους περιορισμούς στον νέο δίκτυο (M. Kounavis, 2001). Για παράδειγμα οι περιορισμοί που εφαρμόζονται από το InP2 θα μεταφερθούν άμεσα στα VN2 και VN1 μέσω της κληρονομικότητας. Η τελευταία επιτρέπει σε έναν πάροχο υπηρεσιών SP να προσθέσει λειτουργική αξία σε ένα γόνο του, πριν τον μεταπουλήσει σε άλλα SPs (N. Feamster, 2007).

Δυνατότητα Επανάληψης Επίσκεψης- Η δυνατότητα αυτή ή Revisitation, επιτρέπει σε ένα φυσικό κόμβο να φιλοξενεί πολλαπλούς εικονικούς κόμβους ενός μόνο Εικονικού Δικτύου. Η χρήση πολλών λογικών routers για την δημιουργία πολυσχιδής λειτουργικότητας σε ένα ευρύ και πολύπλοκο δίκτυο επιτρέπει σε έναν πάροχο υπηρεσιών επαναπροσδιορίζει λογικά την δικτυακή του δομή και να απλοποιήσει την διοίκηση ενός εικονικού δικτύου.

Σχεδιαστικοί Στόχοι- Οι σχεδιαστικοί στόχοι για μία επιτυχημένη εφαρμογή της Εικονικοποίησης ενός Δικτύου, προσδιορίζονται από διαφορετικές κάθε φορά ομάδες ερευνητών.

Ευελιξία- Η εικονικοποίηση ενός δικτύου πρέπει να παρέχει ελευθερία σε κάθε πλευρά της δικτύωσης. Κάθε Παροχέας Υπηρεσιών, θα πρέπει να μπορεί να εφαρμόζει αυθαίρετα, τοπολογία δικτύου, routing και να προωθεί την λειτουργικότητά του και τα στάνταρ πρωτόκολλα ελέγχου, ανεξάρτητα από υποκείμενο φυσικό δίκτυο και τα ήδη υπάρχοντα Εικονικά Δίκτυα. Σε ένα Εικονικό Περιβάλλον ο ιδιοκτήτης του, θα πρέπει να προσφέρει πηγή routing, χωρίς τον συντονισμό με άλλες ομάδες.

Διαχειριστικότητα- Με το διαχωρισμό των SPs από τους InPs, η εικονικοποίηση δικτύων θα εφοδιάσει την δικτυακή διαχείριση και θα εισάγει την δυνατότητα ελέγχου σε κάθε βαθμίδα της διαδικτύωσης (N. Feamster, 2007). Πρέπει να παρέχει στους Παροχείς Υπηρεσιών, πλήρη έλεγχο από άκρο σε άκρο του Εικονικού Δικτύου, καθιστώντας περιττές τις ανάγκες συντονισμού κατά μήκος των διοικητικών ορίων του παρόντος διαδικτύου (Internet).

Διασκελισμός (Scalability)- Η συνύπαρξη πολλαπλών δικτύων είναι βασική στην εικονικοποίηση του δικτύου. Ο διασκελισμός είναι ένα αναντικατάστατο κομμάτι αυτής της εξίσωσης. Οι InPs σε ένα περιβάλλον εικονικού δικτύου πρέπει να διασκελιστούν ώστε να

στεριάζουν έναν αυξανόμενο αριθμό Εικονικών δικτύων που πρέπει να συνηπάρξουν χωρίς να επηρεάζεται η απόδοσή τους. (Beth Schultz, 2011)

Απομόνωση Δικτύου (Isolation)- Η Εικονικοποίηση πρέπει να διασφαλίσει τον διαχωρισμό των VNs για την βελτίωση της αντιμετώπισης λαθών, της ασφάλειας και των προσωπικών πληροφοριών. Τα πρωτόκολα δικτύου είναι επιρρεπή σε λάθη δομής και εφαρμογής. Η εικονικοποίηση πρέπει να φροντίσει τα λάθη αυτά, να μην επηρεάσουν τα υπόλοιπα.

Σταθερότητα και Επαναφορά- Τα διάφορα λάθη στο φυσικό δίκτυο, μπορούν να αποσταθεροποιήσουν ένα περιβάλλον εικονικής δικτύωσης. Αυτό μπορεί να οδηγήσει στην αστάθεια όλων των Εικονικών Δικτύων που φιλοξενούνται. Πρέπει άρα να διασφαλιστεί σταθερότητα και η δυνατότητα επαναφοράς του δικτύου στην σταθερή του μορφή.

Προγραμματιστικότητα- Για την διασφάλιση της ευελιξίας και της διαχειρισιμότητας του δικτύου, οι Παροχείς Υπηρεσιών (SPs) θα πρέπει να μέσα από το σωστό προγραμματισμό να εφαρμόζουν στάνταρ πρωτόκολα και να παρέχουν πολυποίκιλες υπηρεσίες. Πρέπει να γίνει με προσοχή, ώστε να είναι εύκολη, αποτελεσματική και ασφαλής ταυτόχρονα.

Ετερογένεια- Η ετερογένεια εφαρμόζεται μέσα από δύο κύρια μέρη με πρώτο να βρίσκονται οι δικτυακές τεχνολογίες και δεύτερο τα Εικονικά Δίκτυα, από άκρη σε άκρη, κατασκευασμένα με βάση τους συνδυασμούς που προσφέρει η ετερογένεια. Οι SPs πρέπει να μπορούν να συνθέσουν και να τρέξουν από άκρο σε άκρο, Εικονικά Δίκτυα, πολλαπλών Πεδίων (Cross-Domains), χωρίς την ανάγκη άλλων τεχνολογικών μεσών. Είναι, ανάγκη η δομή, να υποστηρίζει ετερογενείς πρωτόκολα και αλγορίθμους που εφαρμόζονται από διαφορετικούς SPs. Τέλος πρέπει να ληφθεί υπόψη και η ετερογένεια των τελικών χρηστών.

Υποστήριξη Κληρονομικότητας- Η υποστήριξη κληρονομικότητας, μπορεί εύκολα να ενσωματωθεί στην Εικονικοποίηση του δικτύου, αν ληφθεί το Internet σαν ένα ακόμη Εικονικό Δίκτυο, κάτι το οποίο σήμερα θεωρείται ακόμα πρόκληση. (N. M. Mosharaf ,2009)\

4. Έργα Εικονικής Δικτύωσης

Ο όρος Εικονική Δικτύωση, χρησιμοποιήθηκε για να περιγράψει πολλά διαφορετικά έργα πάνω στα VPNs, στα επικαλυμμένα ή ενεργά δίκτυα. Στον πίνακα 1 συνοψίζονται μερικά από τα πιο σημαντικά έργα που έγιναν ή τρέχουν σήμερα πάνω στην Εικονικοποίηση Δικτύου ή επηρεάστηκαν σε μεγάλο βαθμό από αυτή, χωρισμένα στα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Τεχνολογία Δικτύου (Networking Technology)
- Βαθμίδα Εικονικοποίησης (Layer of Virtualization)
- Αρχιτεκτονική Περιοχή (Architectural Domain)
- Επίπεδο Εικονικοποίησης (Level of Virtualization)

(N. M. Mosharaf ,2009)

Project	Architectural Domain	Networking Technology	Layer of Virtualization	Level of Virtualization
VNRMS [7]	Virtual network management	ATM/IP		Node/Link
Tempest [8]	Enabling alternate control architectures	ATM	Link	
NetScript [9]	Dynamic composition of services	IP	Network	Node
Genesis [5]	Spawning virtual network architectures		Network	Node/Link
VNET [10]	Virtual machine Grid computing		Link	Node
VIOLIN [11]	Deploying on-demand value-added services on IP overlays	IP	Application	Node
X-Bone [6]	Automating deployment of IP overlays	IP	Network	Node/Link
PlanetLab [12]	Deployment and management of overlay-based testbeds	IP	Application	Node
UCLP	Dynamic provisioning and reconfiguration of lightpaths	SONET	Physical	Link
AGAVE [4]	End-to-end QoS-aware service provisioning	IP	Network	
GENI	Creating customized virtual network testbeds	Heterogeneous		
VINI [13]	Evaluating protocols and services in a realistic environment		Link	
CABO [3]	Deploying value-added end-to-end services on shared infrastructure	Heterogeneous		Full

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά Διαφορετικών Έργων Εικονικοποιημένης Δικτύωσης (N. M. Mosharaf ,2009)

Η ανάλογη ανάπτυξη της Εικονικοποίησης δημιούργησε και άλλα έργα τα οποία αναφέρονται περιληπτικά παρακάτω.

Project	Originated	Link
4WARD	Europe	http://www.4ward-project.eu/
AKARI	Japan	http://akari-project.nict.go.jp/
CABO	United States	http://www.cs.princeton.edu/~jrex/virtual.html
Clean Slate	United States	http://cleanslate.stanford.edu/
GENI	United States	http://www.geni.net/
NouVeau	Canada	http://netlab.cs.uwaterloo.ca/virtual/
PlanetLab	United States	http://www.planet-lab.org/
Trilogy	Europe	http://www.trilogy-project.org/
UCLP	Canada	http://www.uclp.ca/
VINI	United States	http://www.vini-veritas.net/
X-Bone	United States	http://www.isi.edu/xbone/

Πίνακας 2. Πρόσφατα Έργα σχετιζόμενα με την Εικονικοποίηση Δικτύου και οι πηγές τους (N. M. Mosharaf ,2009)

5. Αξιολόγηση της Εικονικοποίησης Δικτύων

5.1 Πλεονεκτήματα

Μέσα από τη χρήση ενός Εικονικού Δικτύου επιτυγχάνονται ορισμένες ευνοϊκές καταστάσεις, οι οποίες μπορούν να βοηθήσουν τον τελικό χρήστη ή κάποια επιχείρηση.

Αρχικά μειώνονται τα συνολικά, λειτουργικά έξοδα στο κέντρο δεδομένων χάρη στις βελτιστοποιημένες και συνεχείς διαδικασίες μεταξύ των διαχειριστών των servers και των διαχειριστών των δικτύων. Παράλληλα, δεν χρειάζεται η αγορά πρόσθετου εξοπλισμού, ενώ υπάρχει ταυτόχρονη μείωση των τηλεπικοινωνιακών κοστών, λόγω οικονομίας κλίμακας. (Standardizing Data Center,2010)

Η διαχείριση, η παρακολούθηση και η συντήρηση των Εικονικών δικτύων παρέχεται συνήθως από τους παρόχους, κάτι που μειώνει το κόστος συντήρησης για την επιχείρηση, σε προσωπικό και τεχνογνωσία. (Διακονικολάου, 2007)

Πρέπει φυσικά να αναφερθούν οι βελτιώσεις τόσο πάνω στην ευελιξία, έτσι ώστε η δομή του δικτύου να μπορεί να προσαρμόζεται εύκολα, όσο και στην αποτελεσματικότητα ανθρώπων και

λογισμικού, ενώ παράλληλα μειώνονται οι πιθανότητες λαθών. (Standardizing Data Center,2010)

5.2 Μειονεκτήματα

Η έρευνα πάνω στην Εικονικοποίηση, περιγράφεται σαν προσπάθεια διόρθωσης υπαρχόντων προβλημάτων, παρά σαν μία συνεχής και συγκεντρωμένη κίνηση κατασκευής ένα πλήρες Περιβάλλον Δικτυακής Εικονικοποίησης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα πολλά σημεία να μείνουν ανεξερεύνητα, ενώ πολλά άλλα να χρειάζονται τροποποιήσεις και βελτιώσεις.

Κάθε InP πρέπει να παρέχει τη δυνατότητα, σε κάθε SP να επικοινωνήσει με τον πρώτο και να εκφράσει τις ανάγκες του. Επιπρόσθετα, απαραίτητες είναι οι ενέργειες ώστε η δυνατότητα προγραμματισμού των στοιχείων του δικτύου, να είναι διαθέσιμα στους SPs. Παρομοίως, η συσχέτιση τελικού χρήστη ή ενός InPs και του SP, πρέπει να προσδιορίζεται και ακολουθεί συγκεκριμένους κανόνες.

Παράλληλα πριν από τη δημιουργία ενός VN, ένας SP πρέπει ήδη να είναι συνδεδεμένος με έναν InP, ώστε να εκφράσει τα αιτήματά του. Αυτό δημιουργεί ένα παράδοξο, αφού η συνδεσιμότητα του δικτύου είναι προαπαιτούμενη για τη δημιουργία της (N. Feamster, 2007). Την ίδια στιγμή όρος “bootstrapping”, χρησιμοποιείται για να περιγράψει την ικανότητα που πρέπει να έχει ένας SP να προσαρμόζει τους εικονικούς κόμβους και συνδέσμους που εκχωρήθηκαν σε αυτούς μέσα από τις κατάλληλες διαδικασίες. Οι δύο αυτές προαπαιτήσεις έχουν ανάγκη ένα άλλο δίκτυο το οποίο θα εξυπηρετεί, προσφέροντας την αναγκαία συνδεσιμότητα για να αντιμετωπιστούν τα ζητήματα αυτά, ή ένα εκτός του συστήματος μηχανισμό ο οποίος θα εκτελεί την αποστολή των πληροφοριών (σηματοδότηση- Signaling) και την προσαρμογή του δικτύου.

Για να μπορέσει, όμως να γίνει ο εντοπισμός των πηγών, των αιτήσεων από τους SPs, ο InP πρέπει να μπορεί να προσδιορίσει την τοπολογία των δικτύων που διαχειρίζονται, όπως και την κατάσταση των αντίστοιχων στοιχείων του δικτύου, όπως κόμβους, συνδέσμους ή χωρητικότητα. Ακόμη, δύο γειτονικοί InPs πρέπει να μπορούν να δημιουργούν εικονικούς συνδέσμους (links) πολλαπλών περιοχών (Cross- Domain), ώστε να πραγματοποιείται ένα από άκρο σε άκρο (end- to end), εικονικό δίκτυο.

Από την πλευρά ενός SP, ένα εικονικό δίκτυο θα πρέπει να εντοπίζει την παρουσία και την τοπολογία, άλλων συνυπαρχόντων εικονικών δικτύων. Αυτό θα επιτρέψει την επικοινωνία, την αλληλεπίδραση και τη συνεργασία μεταξύ τους, ώστε να προσφέρουν καλύτερες υπηρεσίες. (N. M. Mosharaf ,2009)

Η αποτελεσματική κατανομή των πηγών και ο προγραμματισμός των φυσικών πόρων, των πολλαπλών απαιτήσεων, είναι μεγάλης σημασίας για την μεγιστοποίηση του αριθμού των υπαρχόντων Εικονικών Δικτύων και την αύξηση της χρήσης και της αποτελεσματικότητας των InPs. Η σωστή κατανομή των πόρων, με τους περιορισμούς των εικονικών κόμβων και συνδέσμων (πρόβλημα ενσωμάτωσης), μπορεί να παρουσιασθεί με τη χρήση ενός Προγράμματος Μικτών Ψηφίων (Mixed- Integer Program- MIP) (N. M. K. Chowdhury, 2009)

Λύσεις προβλέπονται με δύο κύριες εκδοχές του προβλήματος σε ένα σενάριο InP. Η πρώτη είναι αυτή της εκτός σύνδεσης, όπου όλες οι αιτήσεις του SP είναι γνωστές από την αρχή και αυτή της σύνδεσης όπου συμβαίνει το αντίθετο. Πολλοί περιορισμοί και προϋποθέσεις κάνουν το συγκεκριμένο ζήτημα πολύπλοκο, ο μεγάλος αριθμός ευκαιριών και διαφορετικών τοπολογιών, αφήνουν ανοικτό το θέμα της καλύτερης διερεύνησης των λύσεων.

Παράλληλα στην εγκατάσταση ενός Εικονικού Δικτύου, είναι πιθανό ένας SP να χρειάζεται συγκεκριμένες δικλίδες ασφαλείας για τα εικονικά του χαρακτηριστικά και συνδέσμους. Πιο συγκεκριμένα, ένας InP, πρέπει να εκτελεί ακριβείς, λογιστικές πράξεις, έλεγχο πρόσβασης και να παραδίδει αλγόριθμους που να ενισχύουν την πολιτική ασφαλείας του δικτύου, και τα φιλοξενούμενα VNs να μην υπερβαίνουν τις προκαθορισμένες τοπικές ή διεθνείς πηγές. Παρ' όλα αυτά οι αλγόριθμοι πρέπει να αναπτύσσονται για ολόκληρο το δίκτυο και όχι τμηματικά για κόμβους ή συνδέσμους του δικτύου.

Οι εικονικοί κόμβοι επιτρέπουν σε πολλαπλούς SPs να μοιράζονται τους ίδιους φυσικούς πόρους αλλά να εφαρμόζουν διαφορετικά προσαρμοσμένα πρωτόκολλα ελέγχου στον καθένα ξεχωριστά. Μέχρι τώρα οι προμηθευτικοί δρομολογητές προωθούσαν τους εικονικούς κόμβους σαν εργαλείο απλοποίησης του σχεδιασμού του πυρήνα του δικτύου, για τη μείωση των δαπανών κεφαλαίου και σκοπούς Ιδιωτικών Εικονικών Δικτύων. Μία παρόμοια ιδέα μπορεί να αναπτυχθεί έτσι ώστε οι SPs να προσαρμόζουν τους εικονικούς τους κόμβους (nodes). Ο διασκελισμός του εικονικού περιβάλλοντος είναι πολύ κοντά στα φυσικά συστατικά που

χρησιμοποιούνται από έναν InP. Η έρευνα σε αυτή την περιοχή πρέπει να επικεντρωθεί στην αύξηση των αριθμών των εικονικών κόμβων, τους οποίους μπορεί να στηρίζει ένας δρομολογητής.

Παράλληλα, οι σύνδεσμοι ανάμεσα στους εικονικούς κόμβους πρέπει να είναι Εικονικοί. Η ικανότητα δημιουργίας διόδων, μέσα σε πολλαπλούς, φυσικούς συνδέσμους ήδη υπάρχει στην έννοια ενός PVN. Παρόμοιοι μηχανισμοί δημιουργίας διόδων μπορεί να χρησιμοποιηθούν και στα VN. Η ταχύτητα των μεταφερόμενων πακέτων μέσω ενός εικονικού συνδέσμου πρέπει να είναι να έχει το μικρότερο κόστος πολυπλεξίας και ενθυλάκωσης. Η ταχύτητα των μηχανημάτων πρέπει να υποστηρίζεται μαζικά και όχι με αυτοσχέδιες λύσεις, όπως γίνεται σήμερα στο internet. Η εύρεση συγκεκριμένων τοποθεσιών, συσκευών, ανά πάσα στιγμή και η δρομολόγηση των αντίστοιχων πακέτων είναι ένα πολύπλοκο θέμα. Επιπρόσθετα, οι τελικοί χρήστες που μπορεί να κινηθούν, σε διαφορετικά VN, για να επιλέξουν νέες υπηρεσίες, επιδεινώνει το πρόβλημα. (N. M. Mosharaf, 2009)

Η χαρτογράφηση μεταξύ διαφορετικών διευθύνσεων περιβάλλοντος είναι ένα ακόμη πολύ γνωστό πρόβλημα στην υπάρχουσα βιβλιογραφία., Συχνά, όμως ασύνδετες, προαπαιτήσεις διευθυνσιοδότησης, κάνουν το πρόβλημα πιο περίπλοκο. (N.M. M. K. Chowdhury, 2009)

Η ονομασία και η διευθυνσιοδότηση του δικτύου θα πρέπει να είναι ανεξάρτητες σε ένα NVE έτσι ώστε οι τελικοί χρήστες να μπορούν να κινηθούν από έναν SP στον άλλον, με ένα προφίλ. Ακόμα και αν η έννοια της ταυτόχρονης σύνδεσης σε πολλά VN από διαφορετικούς παρόχους, θυμίζει πολλαπλής παλιννόστησης (multihoming), το πρόβλημα επιδεινώνεται από την πιθανή ετερογένεια ανάμεσα στα πολλαπλά Εικονικά Δίκτυα. (N.M. M. K. Chowdhury, 2009)

5.3 Έλεγχος, Σύνθεση και Αντιμετώπιση Λαθών

Για τον έλεγχο, την σύνθεση και την αντιμετώπιση των λαθών των VNs, από τους αντίστοιχους SPs, τα λειτουργικά κέντρα, πρέπει να μετατραπούν σε έξυπνους μεσολαβητές, συστατικών του δικτύου. Η χρήση των Κατανεμημένων Βάσεων Διαχείρισης Πληροφοριών (Partition Management Information Bases- MIBs), για τη συλλογή και διαχείριση των στοιχείων σχετικά με την απόδοση των VNs αντί του απλού MIB είναι μία καλή εξέλιξη. Αλλά για ένα ασφαλές πλαίσιο ελέγχου , χρειάζεται μεγαλύτερος έλεγχος και προσπάθεια. (W. Ng et al, 1999)

Οι αποτυχίες στα συστατικά ενός φυσικού δικτύου, μπορούν να δημιουργήσουν μία σειρά αποτυχιών σε όλα τα VNs τα οποία φιλοξενούν. Ο εντοπισμός, η γνωστοποίηση, η απομόνωση των λαθών αυτών, η ταυτόχρονη προστασία και διόρθωσή τους είναι προκλήσεις που απαιτούν μεγαλύτερη μελέτη.

Η απομόνωση ανάμεσα στα VNs μπορεί να προσφέρει ένα μέρος της ασφάλειας, χρησιμοποιώντας ασφαλείς διόδους και κρυπτογραφήσεις. Αυτά όμως δεν διασφαλίζουν απειλές και παραβιάσεις στο φυσικό επίπεδο και στα VNs.

Τα VNs από άκρο σε άκρο εκτίνονται σε πολλές διοικητικές περιοχές, με ετερογενείς δικτυακές τεχνολογίες και πλαίσια διοίκησης. Η χρήση της εικονικοποίησης σε κάθε μία από τις τεχνολογίες αυτές απαιτεί συγκεκριμένες λύσεις σε ζητήματα πρόβλεψης αναγκών, λειτουργίας και συντήρησης. Η διαχείριση των αλληλεπιδράσεων ανάμεσα σε αυτές τις δομικές έννοιες, ενώ παρέχεται ταυτόχρονα ένα γενικό και διαφανή πλαίσιο διοίκησης για τους SPs, παραμένει ένα πολύ δύσκολο εγχείρημα.

5.4 Η Οικονομία στην Εικονικοποίηση του Δικτύου

Αντίθετα με τα παραδοσιακά δίκτυα, όπου το φάσμα της συχνότητας (bandwidth) ήταν το βασικό αγαθό, οι εικονικοί κόμβοι είναι εξίσου σημαντικοί με τους εικονικούς συνδέσμους σε ένα NVE. Σε αυτό το είδος της οικονομίας, οι SPs είναι οι αγοραστές, ενώ οι InPs οι πωλητές. Μπορούν ακόμη, να υπάρξουν χρηματιστές, που δρουν ως διαμεσολαβητές ανάμεσα στους δύο. Οι τελικοί χρήστες στην ουσία είναι οι τελικοί αγοραστές των υπηρεσιών, από διαφορετικούς SPs.

Υπάρχουν δύο ειδών αγορές, οι κεντροποιημένες και η απόκεντροποιημένες. Οι πρώτες είναι αποτελεσματικές, αλλά ευάλωτες και δύσκολα αναπτυσσόμενες. Από την άλλη πλευρά, οι πλήρως αποκεντροποιημένες αγορές είναι εύκολα διευρυνόμενες και πιο ανθεκτικές. Το μειονέκτημά τους βρίσκεται στο γεγονός ότι είναι ευάλωτες σε τακτικές δολιοφθοράς. Για να γίνει σωστή χρήση των δύο συστημάτων πρέπει οι υπάρχουσες peer-to-peer αγορές να διευρυνθούν στην φάση της εικονικοποίησης του δικτύου. (N. M. Mosharaf ,2009)

Συμπεράσματα

Τα Εικονικοποιημένα Δίκτυα θεωρούνται ένα από τα πιο αποδοτικά, αποτελεσματικά και ευέλικτα μέσα σύνδεσης απομακρυσμένων σημείων. Μέσα από αυτά, καλύπτονται οι ανάγκες για επικοινωνία, ενώ παράλληλα εκτελούνται οι διαδικασίες που έχουν ως βάση το διαδίκτυο.

Γίνεται αντιληπτό ότι ανάμεσα στις τάσεις που θέλουν τις Εικονικοποίηση ως την εξέλιξη των παλαιών υπολογιστικών συστημάτων, όπως λειτουργικά συστήματα, κέντρα δεδομένων, η εικονικοποίηση του δικτύου είναι από μόνη της μοναδική στο ζήτημα αυτό. Από την μία πλευρά είναι απαραίτητο να υπάρχει ένα δίκτυο ώστε να μπορεί να διασύνδεει όλες τις άλλες εικονικοποιημένες εφαρμογές ώστε να δώσει σε κάθε εικονικοποιημένη οντότητα, την ομοιότητα των εγγενών αντίστοιχών τους (native counterparts).

Από την άλλη πλευρά, μετά την απολαβή πολλών χρόνων ανάπτυξης, το internet και η δικτυακή του ανάπτυξη έχουν φτάσει στο όριό τους. Οι περισσότεροι ερευνητές τώρα συμφωνούν ότι μία ανασχεδίαση είναι απαραίτητη κίνηση και όχι απλά μία πολυτέλεια. Η Εικονικοποίηση, σύμφωνα με τον N. M. Mosharaf (2009), μπορεί να έχει ηγετικό ρόλο στο σενάριο της ανάπτυξης της καινοτομίας μέσα από διασπαστικές τεχνολογίες (Disruptive Technologies). Η συνειδητοποίηση αυτή έχει δημιουργήσει πολλά έργα παγκοσμίως, έμμεσα ή άμεσα σχετιζόμενα με την εικονικοποίηση των δικτύων.

Η υλοποίηση ενός περιβάλλοντος εικονικού δικτύου πρέπει να πληροί τα απαραίτητα χαρακτηριστικά και τους σχεδιαστικούς στόχους, κάτι ιδιαίτερα απαιτητικό. Γενικό συμπέρασμα είναι ότι οι προκλήσεις, που αντιμετωπίζει η εικονικοποίηση δικτύου, πρέπει να διερευνηθούν περαιτέρω ώστε να δημιουργηθεί ένα ευέλικτο και ετερογενές δικτυακό περιβάλλον.

Βιβλιογραφία

1. Anderson et al. 2005, “Overcoming the internet Impasse through Virtualization,” *computer*, vol. 38, no 4 , pp.34-41.
2. Boucadair M. et al.,2007 “A Framework for end-to-end Service Differentiation: Network Planes and Pararell Internets,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 45, no 9, September, pp. 134-43
3. Chowdhury, N. M. K. . Ranham M. R,and Boutaba, R. 2009, “Virtual Network Embedding with Coordinated Node and Link Mapping,” *IEEE INFOCOM*.
4. Chowdhury N.M. M. K., Zaheer F., and Boutaba R., 2009, “iMark: An Identity Management Frmaework for Network Virtualization Environment,” *IFIP/ IEEE Int’l. Symp. Integrated Net. Mgmt.*
5. Διακονικολάου Γεώργιος, Αγιακάτσικα Αθανασία, Μπούρας Ηλίας, 2007, “Επιχειρησιακή Διαδικτύωση”, 7^η Έκδοση, Εκδόσεις κλειδάριθμος, σελ. 239- 284 και 327-339.
6. Duffy Jim, 2011, “2011 tech priorities: Are you ready to flatten your data center network?” Retrieved January 5, 2011, from, http://www.networkworld.com/news/2011/010311-outlook-tech-priorities-data-center.html?source=nww_rss
7. Feamster N., Gao L., and Rexford J., 2007, “How to lease the internet in your spare time,” *SIGCOMM Comp. Commun. Revi.*, Vol. 37, no.1 , pp. 61-64.
8. Gardner W. David, 2010, “Cisco To Acquire Network Management Software Provider LineSider”, Retrieved December 18, 2010, from http://www.informationweek.com/news/global-cio/trends/showArticle.jhtml?articleID=228500039&cid=RSSfeed_IWK_All
9. Garey R. Michael and Johnson S. David (1979). “Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness.” W.H. Freeman. ISBN 0-7167-1045-5.
10. Kounavis M. et al., 2001, “The Genesis Kernei: A Programming System for Spawning Network Architectures,” *IEEEJSAC*, vol. 19, no. 3 , pp. 511-26
11. Mosharaf N. M. Kabir Chowdhury and Raouf Boutaba, 2009“Network Virtualization: State of the Art and Research Challenges”, *IEEE Communications Magazine*, July 2009, pp. 20- 26
12. Ng W. et al, 1999, “MIBlets: A Practical Approach to Virtual Network Management,” *Proc. 6th IFIP/ IEEE Int’l. Symp. Integrated Net. Mgmt.*, pp.20-28.
13. Ruth P. et al., 2005, “Virtual Distributed Environments in a Shared Infrastructure,” *Computer*, vol.38, no. 5, pp.63-69.

14. Schultz Beth, 2011, "How management technologies will fulfill cloud and virtualization promises", Retrieved January 3, 2011 from, http://www.networkworld.com/newsletters/nsm/2011/010311nsm1.html?source=nww_rs
15. Sincoskie WD, 2002, "Broadband packet switching: a personal perspective." IEEE Commun 40: 54-66
16. Standardizing Data Center Server-Network Edge Virtualization (2010), Retrieved October 25, 2010, from <http://www.juniper.net/us/en/local/pdf/whitepapers/standardizing-datacenter-server-network.pdf>
17. Turner J. and Taylor D., 2005 "Diversifying the Internet", Proc.GLOBECOM '05, vol. 2.
18. Van der Merwe J. E. et al., 1998, "The tempest: A Practical Framework for Network Programmability", IEEE Network, vol. 12 no.3, pp 20-28
19. Virtual Networking, *IBM WWW user survey*. (n.d.). Retrieved December 19, 2010, from http://www-03.ibm.com/systems/virtualization/infrastructure/network_optimization/
20. Xu Howie, 2010, "5 Predictions: How Virtual Networking Will Change the Network Industry", Retrieved December 5, 2010 from http://www.cio.com/article/645344/5_Predictions_How_Virtual_Networking_Will_Change_the_Network_Industry?source=rss_virtualization&utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+cio%2Ffeed%2Ftopic%2F168354+%28CIO.com+-+Virtualization%29