eBusiness Forum

Το Αλφαβητάρι της Τεχνολογίας IPv6

Εισαγωγικό σημείωμα

Φίλε Αναγνώστη,

το Διαδίκτυο έχει μπει για τα καλά στη ζωή του πολίτη. Η εφαρμογή νέων και συχνά σύνθετων τεχνολογιών είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την ανάπτυξη της εμπορικής και οικονομικής δραστηριότητας σε μία χώρα. Η διεθνής εμπειρία και πρόσφατες μελέτες καταδεικνύουν ότι η ανάπτυξη αυτή συναρτάται άμεσα με το βαθμό χρήσης του Διαδικτύου, και το βαθμό αποδοχής των νέων τεχνολογιών.

Ο κεντρικός ρόλος του Διαδικτύου έχει αναγνωριστεί παγκόσμια, και τα τελευταία χρόνια βρίσκεται σε εξέλιξη μια προσπάθεια αναβάθμισης του βασικού πρωτόκολλου επικοινωνίας του Διαδικτύου με σκοπό το Διαδίκτυο να καταστεί ικανό να ανταπεξέλθει στις προκλήσεις του μέλλοντος (όπως για παράδειγμα, η εκρηκτική αύξηση των συσκευών που συνδέονται στο Διαδίκτυο, η ευκολότερη διαχείριση των δικτύων, η μεγαλύτερη ασφάλεια, η καλύτερη εξυπηρέτηση για επικοινωνία με ήχο και βίντεο κ.λπ.). Το νέο αυτό πρωτόκολλο ονομάζεται ***IPv6 (Internet Protocol version 6 – Πρωτόκολλο Διαδικτύου, έκδοση 6)*** και αποτελεί την εξέλιξη της έκδοσης 4 (IPv4) που χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο σήμερα.

Στον παρόν κείμενο θα αναφερθούμε στην τεχνολογία IPv6 και θα εξηγήσουμε με κατανοητό τρόπο τις δυνατότητες που προσφέρει για την ανάπτυξη προηγμένων υπηρεσιών και προϊόντων. Θα προσπαθήσουμε, επίσης, να καταγράψουμε τις υπάρχουσες δραστηριότητες στην Ελλάδα και στον υπόλοιπο κόσμο και θα περιγράψουμε τις προοπτικές που ανοίγονται για τις ελληνικές επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται στο Διαδίκτυο με την υιοθέτηση της τεχνολογίας IPv6. Τέλος θα αναφερθούμε σε στις αλλαγές που θα επηρεάσουν στο μέλλον την καθημερινότητα μας.

Η κατανόηση του παρόντος εντύπου απαιτεί βασικές γνώσεις σε δίκτυα υπολογιστών.

Ομάδα Εργασίας Z4

Περιεχόμενα

Περίληψη 4

Το Διαδίκτυο & το Πρωτόκολλο IPv6 8

Οφέλη από την εφαρμογή της τεχνολογίας IPv6 10

Εφαρμογές & Τεχνολογία IPv6 16

Μηχανισμοί μετάβασης 21

Υποστήριξη λειτουργιών IPv6 από εξοπλισμό και λογισμικό 40

Ενεργοποίηση του πρωτοκόλλου IPv6 σε τελικά συστήματα 44

Προκλήσεις κατά την εφαρμογή της τεχνολογίας IPv6 52

Δράσεις σχετικές με το IPv6 58

Προτάσεις προς τις επιχειρήσεις και την Πολιτεία 64

Διαπιστώσεις 67

Βιβλιογραφία 69

Χρήσιμες διευθύνσεις 73

Περίληψη

Το Διαδίκτυο (Internet) έχει μπει για τα καλά στην καθημερινότητά μας και ολοένα και περισσότεροι από εμάς το χρησιμοποιούν ως πολύτιμο εργαλείο στην εργασία τους, ως μέσο επικοινωνίας και πληροφόρησης ή ως τρόπο ενασχόλησης στον ελεύθερο χρόνο τους.

Ένα δομικό στοιχείο του Διαδικτύου είναι το πρωτόκολλο επικοινωνίας που επιτρέπει τη διασύνδεση όλων των συστημάτων. Αυτό είναι το πρωτόκολλο ***Πρωτόκολλο Διαδικτύου (Internet Protocol - IP)***.

Η έκδοση 4 του πρωτόκολλου IP είναι η πλέον διαδεδομένη σήμερα. Όμως οι σύγχρονες ανάγκες του Διαδικτύου απαιτούν τη χρήση μιας νέας βελτιωμένης έκδοσης του πρωτόκολλου IP.

Η νέα αυτή έκδοση είναι το πρωτόκολλο ***Internet Protocol version 6 - IPv6,*** δηλαδή το ***Πρωτόκολλο Διαδικτύου έκδοση 6***, το οποίο σχεδιάστηκε με σκοπό να ξεπεραστούν οι υπάρχοντες περιορισμοί και να προσφερθούν νέα χαρακτηριστικά.

Έτσι το πρωτόκολλο IPv6, προσφέρει μια σειρά από πλεονεκτήματα που οδηγούν σε αντίστοιχα οφέλη από την εφαρμογή του. Τα σημαντικότερα αυτά είναι:

- Ο αυξημένος αριθμός διαθέσιμων διευθύνσεων IP
- Η ευκολία στη διαχείριση δικτύων υπολογιστών
- Αυξημένη υποστήριξη κινητών σταθμών - Κινητικότητα
- Η υποχρεωτική υποστήριξη μηχανισμών ασφάλειας
- Βελτίωση τεχνικών διασύνδεσης *anycast* και *multicast*
- Η υποστήριξη παροχής υπηρεσιών με εγγυημένο επίπεδο ποιότητας

Με δεδομένα τα παραπάνω πλεονεκτήματα, η τεχνολογία IPv6 είναι η πλέον κατάλληλη για πλήθος εφαρμογές ή υπηρεσίες όπως:

- η διασύνδεση σε ευρυζωνικά δίκτυα με πολλούς μόνιμα συνδεδεμένους χρήστες, οι οποίοι απαιτούν πολλαπλάσιο αριθμό δημόσιων διευθύνσεων,
- η τηλεφωνία με χρήση του πρωτοκόλλου IP, όπου απαιτεί δημόσια διεύθυνση για κάθε τελική τερματική συσκευή,
- η κινητή τηλεφωνία και η παροχή υπηρεσιών διασύνδεσης με το Διαδίκτυο για τους κινούμενους χρήστες,
- η ανταλλαγή πληροφοριών και δεδομένων σε δίκτυα *peer-to-peer*, στα οποία επίσης απαιτούν δημόσιες διευθύνσεις για τους συμμετέχοντες χρήστες
- η τηλεμετρία πλήθους αυτόνομων συσκευών μέτρησης,
- η διαχείριση μεγάλων στόλων οχημάτων, κ.λπ.

Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η τεχνολογία IPv6 καθώς και οι νέες εφαρμογές που θα επιφέρει, καθιστούν επιτακτική την ανάγκη αποδοχής και εφαρμογής της.

Η μετάβαση στο νέο πρωτόκολλο δεν είναι απλό εγχείρημα και δεν μπορεί να γίνει μονομιάς. Αναγκαστικά, θα υπάρχει μια περίοδος μετάβασης που το πρωτόκολλο IPv6 θα συνυπάρχει με το πρωτόκολλο IPv4 και θα πρέπει κατά την περίοδο αυτή να εξασφαλίζεται η επικοινωνία τόσο μεταξύ κόμβων IPv6 όσο και μεταξύ κόμβων IPv6 και κόμβων IPv4.

Προκειμένου να διευκολυνθεί η μετάβαση στην τεχνολογία IPv6 και να ελαχιστοποιηθούν τα προβλήματα κατά τη μεταβατική περίοδο, έχει αναπτυχθεί μία σειρά από τεχνικές μετάβασης που μπορούν να ακολουθηθούν ανάλογα με την εκάστοτε περίπτωση.

Οι μέθοδοι μετάβασης κατηγοριοποιούνται σε τρεις ομάδες:

- *Διπλής στοίβας (Dual Stack)*, που στοχεύουν κύρια στη υποστήριξη και των δύο πρωτοκόλλων από τους κόμβους,
- Tunneling, που στοχεύουν κύρια στην αποκατάσταση επικοινωνίας μεταξύ IPv6 κόμβων όταν στο ενδιάμεσο δίκτυο υπάρχουν τμήματα που δεν υποστηρίζουν το πρωτόκολλο IPv6,

- Τεχνικές μετάφρασης (translators) που στοχεύουν κύρια στην αποκατάσταση επικοινωνίας μεταξύ IPv6 κόμβων και IPv4 κόμβων.

Η μετάβαση στο πρωτόκολλο IPv6 διευκολύνεται από το γεγονός ότι όλα σχεδόν τα σύγχρονα λειτουργικά συστήματα υποστηρίζουν το νέο πρωτόκολλο.

Επιπλέον ολοένα και περισσότερες δικτυακές εφαρμογές υποστηρίζουν το πρωτόκολλο IPv6, ιδιαίτερα εφόσον έχει ενεργοποιηθεί σε επίπεδο λειτουργικού συστήματος η αντίστοιχη υποστήριξη.

Τέλος, όλες σχεδόν, οι σύγχρονες δικτυακές συσκευές υποστηρίζουν το πρωτόκολλο IPv6. Έτσι, από την πλευρά του εξοπλισμού και του λογισμικού δεν μπαίνουν περιορισμοί στην αποδοχή και εφαρμογή του νέου πρωτόκολλου.

Μάλιστα, η ενεργοποίηση του πρωτόκολλου IPv6 στους προσωπικούς υπολογιστές είναι σχετικά απλή και στις περισσότερες περιπτώσεις αποτελείται από μια σειρά από απλά βήματα. Βέβαια για να υπάρχει πλήρης λειτουργικότητα απαιτείται η τεχνολογία IPv6 να υποστηρίζεται και από τον εκάστοτε πάροχο της διασύνδεσης με το Διαδίκτυο.

Οι πάροχοι καλούνται να αντιμετωπίσουν τις σχετικές προκλήσεις και να προωθήσουν τη χρήση του πρωτόκολλου IPv6. Κατ' αρχάς απαιτείται να υιοθετήσουν τις νέες τεχνολογίες και να φροντίσουν να προσφέρουν νέες υπηρεσίες βασισμένες στο πρωτόκολλο IPv6. Για να γίνει βέβαια αυτό πρέπει να διερευνήσουν τα σχετικά επιχειρηματικά μοντέλα και να προβούν σε ικανοποιητικό σχεδιασμό για τη μετάβαση από το πρωτόκολλο IPv4 στο πρωτόκολλο IPv6.

Στην Ελλάδα οι κυριότερες προσπάθειες για εφαρμογή και ανάπτυξη της τεχνολογίας IPv6 γίνονται στον ερευνητικό και ακαδημαϊκό χώρο. Η Ευρωπαϊκή Ένωση δίνει ιδιαίτερη βαρύτητα στο θέμα και χρηματοδοτεί αρκετά σχετικά έργα, ενώ και στον υπόλοιπο κόσμο η χρήση της τεχνολογίας IPv6 εξαπλώνεται με ταχύτατο ρυθμό, κύρια στις χώρες της Άπω Ανατολής.

Η προσπάθεια για υιοθέτηση της τεχνολογίας IPv6 οφείλει να ενταθεί στη χώρα μας τα επόμενα χρόνια. Στην προσπάθεια αυτή μπορούν να συνεισφέρουν τόσο οι επιχειρήσεις, με προγραμματισμό και υλοποίηση της μετάβασης στο πρωτόκολλο

IPv6 και προσφορά νέων προηγμένων υπηρεσιών που χρησιμοποιούν την τεχνολογία IPv6, όσο και το κράτος με ενίσχυση των ερευνητικών δραστηριοτήτων, ενημέρωση των ενδιαφερομένων και ενεργό αποδοχή και χρήση του πρωτοκόλλου IPv6 στα δίκτυα που ελέγχει.

Το Διαδίκτυο & το Πρωτόκολλο IPv6

Αναμφίβολα, το Διαδίκτυο (Internet) έχει μπει για τα καλά στην καθημερινότητά μας. Ολοένα και περισσότεροι από εμάς το χρησιμοποιούν ως πολύτιμο εργαλείο στην εργασία τους, ως μέσο επικοινωνίας και πληροφόρησης ή ως τρόπο ενασχόληση στον ελεύθερο χρόνο τους. Αυτό, όμως, που πολλοί αγνοούν, είναι ο καίριος ρόλος που παίζει το πρωτόκολλο ***IP (Internet Protocol)***.

Το πρωτόκολλο IP ουσιαστικά αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο του Διαδικτύου. Με αυτό επιτυγχάνεται η επικοινωνία μεταξύ των δικτυακών συσκευών. Ο κύριος σκοπός του πρωτόκολλου IP είναι η δρομολόγηση πληροφοριών (υπό την μορφή πακέτων) διαμέσου του δικτύου επιτρέποντας την αποστολή και λήψη πληροφοριών ανάμεσα στους δικτυακά συνδεδεμένους υπολογιστές ή άλλες συσκευές.

Το πρωτόκολλο IPv4, δηλαδή το πρωτόκολλο IP έκδοση 4, αποτελεί τη πλέον διαδεδομένη έκδοση του πρωτοκόλλου, που χρησιμοποιείται σήμερα στο Διαδίκτυο. Το πρωτόκολλο IPv4, όμως, αδυνατεί να καλύψει τις σύγχρονες ανάγκες δικτύωσης καθώς σχεδιάστηκε στα τέλη της δεκαετίας του '80. Το νέο βελτιωμένο πρωτόκολλο ***Internet Protocol version 6 - IPv6,*** δηλαδή το πρωτόκολλο IP έκδοση 6, σχεδιάστηκε και εξελίχθηκε από το Internet Engineering Task Force - IETF (www.ietf.org) με σκοπό να ξεπεραστούν οι υπάρχοντες περιορισμοί στην ανάπτυξη του Διαδικτύου (όπως για παράδειγμα ο περιορισμένος αριθμός διευθύνσεων, οι περιορισμοί που εισάγει η χρήση του NAT για σύγχρονες εφαρμογές όπως η τηλεφωνία πάνω από το Διαδίκτυο, οι περιπλοκές που υπάρχουν με τη χρήση μηχανισμών ασφαλείας και τη μη συνεργασία τους με άλλους μηχανισμούς κ.λπ.). Η σχεδίαση του πρωτοκόλλου IPv6 στηρίχθηκε στην εκτεταμένη εμπειρία που αποκτήθηκε, με το πέρασμα του χρόνου, από τη χρήση του πρωτοκόλλου IPv4. Διατηρώντας ή βελτιώνοντας τα σημαντικότερα λειτουργικά χαρακτηριστικά του πρωτοκόλλου IPv4, αφαιρώντας ότι λειτουργικότητα αποδείχτηκε αναποτελεσματική στη πράξη, και εισάγοντας νέα λειτουργικά χαρακτηριστικά που ήταν φανερό ότι χρειάζονταν για την περαιτέρω εξάπλωση του Διαδικτύου, σχεδιάστηκε και προτυποποιήθηκε το νέο πρωτόκολλο.

Σήμερα μια σειρά από πρότυπα του Διαδικτύου, τα οποία αποκαλούνται Request For Comments – RFCs, περιγράφουν αναλυτικά τα το πρωτόκολλο IPv6 καθώς και μια σειρά λειτουργικές δυνατότητες και υπηρεσίες. Στη συνέχεια του κειμένου θα αποκαλούμε το σύνολο από τα πρότυπα και τις υπηρεσίες σχετικές με το πρωτόκολλο IPv6 ως «***τεχνολογία IPv6***».

Οφέλη από την εφαρμογή της τεχνολογίας IPv6

Είναι ευρέως γνωστό ότι ένα από τα κυριότερα οφέλη από την εφαρμογή της τεχνολογίας IPv6 είναι η σημαντική αύξηση των διαθέσιμων διευθύνσεων IP για τη σύνδεση δικτυακών συσκευών στο Διαδίκτυο. Τα τελευταία χρόνια, η χρήση του πρωτοκόλλου *Network Address Translation – NAT* και της τεχνικής τεμαχισμού των διευθύνσεων IP ανά δίκτυο *Classless Inter-Domain Routing - CIDR* αποτέλεσαν προσωρινές λύσεις για τη συνέχιση της χρήση του πρωτοκόλλου IPv4. Η ανάπτυξη του πρωτόκολλου IPv6, όμως, είχε σκοπό να επιφέρει πολλές άλλες βελτιώσεις στην λειτουργία του Διαδικτύου.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται εν συντομία μερικά από τα σημαντικότερα οφέλη που προκύπτουν από την εφαρμογή της τεχνολογίας IPv6 σχετικές με τη διαχείριση (*administration*) των δικτυακών συσκευών, την κινητικότητα (*mobility*) των χρηστών, την ασφάλεια (*security*) κατά την ανταλλαγή πληροφοριών, τη δρομολόγηση (*routing*) των δεδομένων, την παροχή ποιότητας υπηρεσίας (*Quality of Service*) σε διαφορετικές κατηγορίες δικτυακής κίνησης, κλπ.

Αριθμός διαθέσιμων διευθύνσεων IP

Μία από τις σημαντικότερες τεχνολογικές δυνατότητες του πρωτοκόλλου IPv6 είναι ότι επιτρέπει τη διασύνδεση πρακτικά απεριόριστου αριθμού συσκευών στο Διαδίκτυο. Το πρωτόκολλο IPv6 υποστηρίζει 2^{128} (ή ισοδύναμα, $3,4 * 10^{38}$) ξεχωριστές διευθύνσεις. Για να γίνει κατανοητό το μέγεθος των διαθέσιμων διευθύνσεων IPv6 αρκεί κανείς να αναλογιστεί ότι περίπου 50 τρισεκατομμύρια τρισεκατομμυρίων διευθύνσεων αντιστοιχούν σε κάθε άνθρωπο στον πλανήτη.

Η πληθώρα διαθέσιμων διευθύνσεων IPv6 διευκολύνει σημαντικά τη διασύνδεση στο Διαδίκτυο προσωπικών συσκευών (π.χ. κινητά τηλέφωνα 3ης γενιάς, κάμερες, φωτογραφικές μηχανές), αισθητήρων κάθε μορφής (π.χ. μετρολογικών αισθητήρων, αισθητήρων σε γραμμές παραγωγής), οικιακών συσκευών (π.χ. συστήματα

θέρμανσης, τηλεοράσεις), συστημάτων πλοήγησης σε μέσα μεταφοράς (π.χ. αυτοκίνητα, τρένα, αεροπλάνα), κλπ.

Διαχείριση

Για να συνδεθεί ένας υπολογιστής στο δίκτυο απαιτεί ρυθμίσεις που αφορούν την ονοματολογία του, τη διεύθυνση IP που θα χρησιμοποιήσει, τη μάσκα του δικτύου (*network mask*), τη διεύθυνση IP για τον δρομολογητή-πύλη του δικτύου (*network gateway*) του καθώς και άλλα στοιχεία. Ακόμη και για μικρού μεγέθους δίκτυα, η όλη διαδικασία ρύθμισης και διαχείρισης των δικτυακών συσκευών γίνεται περίπλοκη. Παρόλο που πρόσθετοι μηχανισμοί (π.χ. τα πρωτοκόλλα *Dynamic Host Configuration Protocol - DHCP* και *Bootstrap Protocol - BOOTP*) απλούστευσαν τη συγκρότηση και τη διαχείρισης των δικτυακών συσκευών σε δίκτυα IPv4 εξακολουθούν να υπάρχουν ελλείψεις, π.χ. δεν είναι δυνατόν να οριστούν με αυτόματο τρόπο οι διεύθυνσεις εξυπηρετητών του δικτύου (*network servers*).

Η εύκολη συγκρότηση και διαχείριση των δικτυακών συσκευών αποτέλεσε εξαρχής έναν από τους βασικές αρχές σχεδίασης του πρωτοκόλλου IPv6. Προβλέπονται λειτουργίες με τις οποίες ένας δικτυακός κόμβος μπορεί αυτόματα να συνδεθεί στο δίκτυο και να αποφευχθούν πιθανές δυσλειτουργίες από ανθρώπινα διαχειριστικά λάθη, πχ απόδοση της ίδια διεύθυνσης IP σε δύο συσκευές. Η λειτουργία *stateless auto-configuration,* για παράδειγμα, επιτρέπει σε μία δικτυακή συσκευή να δημιουργήσει αυτόματα τη μοναδική της διεύθυνσή IPv6 κάνοντας χρήση της (μοναδικής) διεύθυνσης Ethernet MAC. Αντιστοίχως, η λειτουργία *statefull auto-configuration* επιτρέπει σε ένα κόμβο να συλλέξει πλήθος από πληροφορίες σχετικές με το δίκτυο διασύνδεσης και τους διαθέσιμους εξυπηρετητές, πχ εξυπηρετητές *NTP (network time protocol).*

Το πρωτόκολλο IPv6 επιτρέπει την συγκρότηση και χρήση περισσοτέρων της ενός διευθύνσεων IPv6. Ανάλογα αν απαιτείται η επικοινωνία με ένα κόμβο στο ίδιο τοπικό δίκτυο, στην ίδια διαχειριστική περιοχή ή γενικά στο Διαδίκτυο, ο κόμβος IPv6 θα χρησιμοποιήσει ανάλογα μία από τις διαθέσιμες διευθύνσεις IPv6 που έχει συγκροτήσει, πχ μία από τις διευθύνσεις *link local*, *ULA* (πρώην *site local*) ή *global*. Η χρήση διαφορετικών τύπων διευθύνσεων IPv6 διευκολύνει την ανάπτυξη δικτυακών υπηρεσιών, αυξάνει την ευρωστία (*robustness*) του δικτύου και την ασφάλεια των δικτυακών κόμβων.

Κινητικότητα Χρηστών

Το IPv6 επιτρέπει την απρόσκοπτη παροχή υπηρεσιών υψηλής ταχύτητας διασύνδεσης σε κινούμενους χρήστες, βελτιώνοντας την «κινητικότητα» (mobility) των χρηστών και διευκολύνοντας την αδιάλειπτη περιαγωγή (roaming) μεταξύ ασύρματων δικτύων (802.11) και δικτύων κινητής τηλεφωνίας (GSM/GPRS, UMTS).

Το IPv6 αντιπροσωπεύει μια πραγματική επανάσταση για την υποστήριξη κινητών χρηστών. Στην πραγματικότητα, το IPv6 έχει προβλέψει την ανάγκη να υποστηριχθούν αποτελεσματικά οι κινητοί χρήστες από το σχεδιασμό του και δεν δεσμεύτηκε από απαιτήσεις συμβατότητας με προηγούμενες εκδόσεις προκειμένου να πετύχει την καλύτερη δυνατή υποστήριξη της κινητικότητας των χρηστών..

Για την υποστήριξη των κινητών χρηστών το IPv6 υιοθέτησε το βασικό κορμό της υποστήριξης κινητών χρηστών που είχε σχεδιαστεί για το IPv4 (Mobile IP). Η υποστήριξη κινητών χρηστών μάλιστα στο IPv6 παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα λόγω των μηχανισμών του σε θέματα όπως τη δυνατότητα αυτόματης ρύθμισης των σταθμών εργασίας.

Σε αναλογία με την υποστήριξη κινητών χρηστών για το IPv4 κάθε κινητός σταθμός έχει μία μόνιμη διεύθυνση που λέγεται οικεία/μόνιμη (home) διεύθυνση και η οποία παραμένει σταθερή ανεξάρτητα από τα δίκτυα που συνδέεται ο κινητός κόμβος. Ο κινητός κόμβος όταν δεν βρίσκεται στο οικείο του (home) υποδίκτυο χρησιμοποιεί μια προσωρινή (care-of) διεύθυνση που είναι μία κανονική IPv6 διεύθυνση που λαμβάνει με το μηχανισμό της αυτόματης ρύθμισης στο ξένο υποδίκτυο (foreign subnet). Στο οικείο υποδίκτυο ένας εξυπηρετητής (που ονομάζεται οικείος πράκτορας) δεσμεύει όλα τα πακέτα που απευθύνονται στην οικεία διεύθυνση του κινητού κόμβου και τα δρομολογεί μέσω tunnel στην προσωρινή του διεύθυνση. Ο κινητός κόμβος απαντά απευθείας στον αποστολέα και έτσι αυτός μαθαίνει την προσωρινή διεύθυνση του κινητού κόμβου και στη συνέχεια επικοινωνεί με αυτόν απευθείας. Έτσι αποφεύγεται ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα δρομολόγησης που είναι γνωστό σαν triangle routing.

Οι κινητοί κόμβοι έχουν λοιπόν πολλαπλές διευθύνσεις που αποκτούν με τη διαδικασία του autoconfiguartion. Έτσι, δεν απαιτείται και δεν υπάρχει ξένος

πράκτορας (foreign agent) και απλοποιείται η όλη λειτουργία. Επίσης είναι δυνατό οι κινητοί κόμβοι να ανακαλύπτουν μόνοι τους τη διεύθυνση του οικείου πράκτορα στέλνοντας ένα μήνυμα τύπου anycast στο οικείο υποδίκτυο.

Η ύπαρξη πολλαπλών διευθύνσεων που μάλιστα αλλάζουν όταν ο κινητός κόμβος μεταβαίνει από ένα ξένο υποδίκτυο σε ένα άλλο, μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα, κύρια στην συντήρηση συνόδων των πρωτοκόλλων μεταφοράς. Το πρωτόκολλο IPv6 αντιμετωπίζει το πρόβλημα με το μεταδίδει και την οικεία διεύθυνση (για την αναγνώριση και συντήρηση των συνόδων) και την εκάστοτε προσωρινή (για την ορθή δρομολόγηση των πακέτων), στα κατάλληλα πεδία της επικεφαλίδας.

Από τα παραπάνω προκύπτει πως το πρωτόκολλο IPv6 υποστηρίζει κινητούς κόμβους πολύ καλύτερα από το IPv4.

Ασφάλεια

Το πρωτόκολλο IPv6 διευκολύνει την ασφαλή ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των δικτυακών συσκευών. Ο κάθε κόμβος IPv6 υποστηρίζει υποχρεωτικά δυνατότητες κρυπτογράφησης κατά τη μεταφορά δεδομένων. Ειδικότερα, η υποστήριξη του πρωτοκόλλου *IPsec* (*IP security*) είναι υποχρεωτική για κάθε κόμβο IPv6. Αντιθέτως, η υποστήριξη του πρωτοκόλλου IPsec σε κόμβους IPv4 είναι προαιρετική και απαιτεί την εγκατάσταση κατάλληλου λογισμικού. Επιπλέον, οι μηχανισμοί ασφάλειας σε ένα δίκτυο IPv6 δεν αναιρούνται από την χρήση άλλων μηχανισμών ή λειτουργιών, σε αντίθεση με ότι συμβαίνει συχνά σε δίκτυα IPv4. Για παράδειγμα, η χρήση λειτουργιών NAT σε δίκτυα IPv4 καταργεί την από άκρο-σε-άκρο ασφάλεια κατά την ανταλλαγή πληροφοριών καθώς η ενδιάμεση πύλη NAT υποχρεωτικά πρέπει να αλλάξει τα πεδία στην επικεφαλίδα των μεταφερόμενων πακέτων.

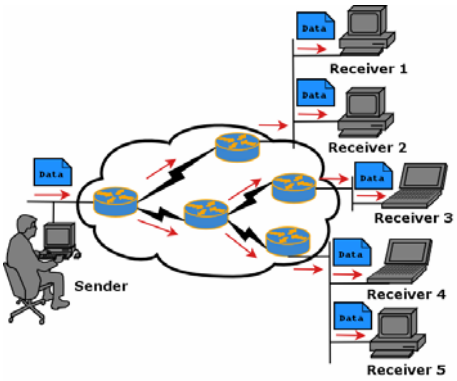
Anycasting

Το πρωτόκολλο IPv6 υποστηρίζει το μηχανισμό *anycast* με τον οποίο ένας κόμβος μπορεί να απευθύνει ένα μήνυμα σε ένα σύνολο από παραλήπτες και το μήνυμα να

παραδοθεί σε έναν από τους παραλήπτες (τον κοντινότερο στον αποστολέα όπως αυτό εκτιμάται με βάση μετρικές του δικτύου). Ο μηχανισμός αυτός επιτρέπει τη υλοποίηση εύρωστων υπηρεσιών αφού μπορούν να υπάρχουν περισσότεροι από ένας εξυπηρετητές που αντιστοιχούν σε μια διεύθυνση και εάν ένας δεν είναι διαθέσιμος τότε το δίκτυο θα φροντίσει να παραδώσει το μήνυμα σε κάποιον άλλο ώστε να εξυπηρετηθεί. Παράλληλα, επιτρέπει την (αυτόματη) κατανομή του φόρτου εργασίας σε περισσότερους από ένα εξυπηρετητές χωρίς να χρειάζεται καν ο αποστολέας να έχει γνωρίζει αν υπάρχει ένας η περισσότεροι εξυπηρετητές.

Multicasting

Το πρωτόκολλο IPv6 έχει καλύτερη υποστήριξη του μηχανισμού multicast, που επιτρέπει τον σε ένα κόμβο να απευθύνει ένα μήνυμα σε ένα σύνολο από παραλήπτες και το μήνυμα να παραδοθεί σε όλους τους παραλήπτες την. Η καλύτερη υποστήριξη είναι εμφανής ειδικά για τους κινητούς κόμβους. Το IPv4 παρουσιάζει προβλήματα στην περίπτωση που ο κινητός κόμβος κάνει χρήση του μηχανισμού multicast. Όταν ο κινητός κόμβος δε βρίσκεται στο οικείο του (home) υποδίκτυο δεν μπορεί να αποστείλει multicast πακέτα. Αντίθετα στο IPv6 η υποστήριξη του μηχανισμού multicast είναι ενσωματωμένη και δεν παρουσιάζονται τέτοια προβλήματα.



Τέλος το IPv6 προσφέρει καλύτερη διαχείριση της κυκλοφορίας των IP πακέτων αφού χρησιμοποιεί την τεχνική multicast καταργώντας την τεχνική broadcast, η χρήση της οποίας έχει αποδειχθεί ότι είναι σημαντικός περιοριστικός παράγοντας στην απόδοση ενός δικτύου.

Ποιότητα Υπηρεσιών - Quality of Service (QoS)

Το IPv4 δεν είχε σχεδιαστεί ώστε να παρέχει εξασφάλιση ποιότητας υπηρεσίας (π.χ. σε δεδομένα τηλεφωνίας που απαιτούν έγκαιρη και συγχρονισμένη μετάδοση για να είναι χρήσιμα και κατανοητά) ή προτεραιότητα στη μετάδοση διάφορων πακέτων ανάλογα με το είδος τους. Επίσης, η χρήση πρωτοκόλλων ανώτερου επιπέδου για να

επιτευχθεί εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας είναι αυτή τη στιγμή ελάχιστη. Τέλος, μικρή εξάπλωση γνώρισε η προσπάθεια να επιτευχθεί εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας και προτεραιότητα στην μετάδοση πακέτων, με τη χρήση των πεδίων είδους υπηρεσίας (Type of Service) και επιλογών IP (IP Options) της επικεφαλίδας του πρωτοκόλλου IPv4.

Το πρωτόκολλο IPv6 περιλαμβάνει επιπλέον μηχανισμούς (όπως το πεδίο ετικέτας ροής - Flow Label) που επιτρέπουν την καλύτερη υποστήριξη μηχανισμών εγγυημένης ποιότητας υπηρεσίας, χωρίς να επιφέρουν κόστος επεξεργασίας στους δρομολογητές.

Επιπλέον, στο πρωτόκολλο IPv6 οι μηχανισμοί παροχής ποιότητας υπηρεσίας δεν "παρεμποδίζονται" από τους μηχανισμούς ασφαλείας (όπως γίνεται στο πρωτόκολλο IPv4, όπου με την ενεργοποίηση του μηχανισμού ασφαλείας κρυπτογραφούνται τα πεδία που αφορούν την ποιότητα υπηρεσίας και έτσι δεν μπορούν να αξιοποιηθούν).

Εφαρμογές & Τεχνολογία IPv6

Πολλοί έχουν προσπαθήσει να προσδιορίσουν την εφαρμογή που θα κάνει επιτακτική την εφαρμογή της τεχνολογίας IPv6. Μια τέτοια εφαρμογή αποκαλείται συχνά ως "killer application". Στις επόμενες παραγράφους θα προσπαθήσουμε να περιγράψουμε μερικές εφαρμογές που μπορούν να εκμεταλλευτούν τις δυνατότητες που προσφέρει το IPv6.

Ευζωνικά δίκτυα πρόσβασης

Σε πολλές χώρες ανά τον κόσμο εγκαθίστανται με γοργούς ρυθμούς ευρυζωνικά δίκτυα πρόσβασης (broadband access networks). Τα δίκτυα πρόσβασης υλοποιούνται με διαφορετικές τεχνολογίες, πχ xDSL, και επιτρέπουν τη συνεχή διασύνδεση (always-on access) με το Διαδίκτυο οικιακών χρηστών ή από χρηστών σε μικρές εταιρίες.

Η σημερινοί κανόνες για την ανάθεση διευθύνσεων IPv4 στους χρήστες είναι συνήθως οι ακόλουθοι:

- Διάθεσε μίας δυναμικής διεύθυνσης IPv4 (dynamic public IPv4 address)
- Διάθεση μίας σταθερής διεύθυνσης IPv4 (static public IPv4 address)
- Διάθεση μερικών σταθερών δημόσιων διευθύνσεων IPv4 (static public IPv4 addresses)
- Διάθεση ιδιωτικής διεύθυνσης IPv4 (private IPv4 address) με παράλληλη χρήση πύλης (gateway) NAT.

Στην πληθώρα των περιπτώσεων οι χρήστες επιλέγουν να συνδεθούν με τη χρήση μίας δυναμικής η σταθερής διεύθυνσης. Η χρήση περισσοτέρων σταθερών δημόσιων διευθύνσεων απαιτεί τη πληρωμή υψηλότερης συνδρομής. Ως αποτέλεσμα, οι χρήστες εγκαθιστούν πύλες (gateways) NAT για τη διασύνδεση περισσοτέρων συσκευών. Η

επιλογή αυτή περιπλέκει την υποστήριξη από άκρο-σε-άκρο (end-to-end) υπηρεσιών, πχ τη εγκατάσταση ενός εξυπηρετητή (server) για κίνηση WWW ή για την ανταλλαγή ηλεκτρονικών μηνυμάτων.

Η τεχνολογία IPv6 επιτρέπει τη διασύνδεση πρακτικά απεριόριστου αριθμού δικτυακών συσκευών με χρήση δημόσιων IP διευθύνσεων. Η χρήση πυλών δεν είναι πλέον αναγκαία γεγονός που μειώνει το διαχειριστικό κόστος για την υποστήριξη υπηρεσιών.

Μετάδοση φωνής πάνω από IP - VoIP

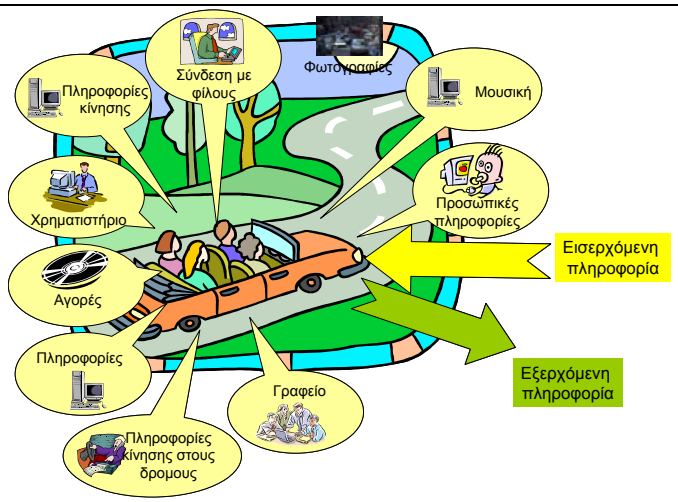
Οι υπηρεσίες σταθερής τηλεφωνίας παρέχονται σήμερα από τους τηλεπικοινωνιακούς οργανισμούς με χρήση αναλογικών (PSTN) ή ψηφιακών (ISDN) συνδέσεων. Η επέκταση των ευρυζωνικών δικτύων πρόσβασης επιτρέπει πλέον τη χρήση του πρωτοκόλλου IP για την μεταφορά κίνησης φωνής πέρα από την παραδοσιακή μεταφορά κίνησης δεδομένων. Η χρήση του πρωτοκόλλου IP για τη μετάδοση φωνής πάνω από ευρυζωνικές συνδέσεις είναι γνωστή με τον όρο Voice over IP (VoIP)

Η χρήση πυλών NAT (βλ. παραπάνω) δημιουργεί σημαντικά προβλήματα στη παροχή και διαχείριση υπηρεσιών VoIP. Αυτό οφείλεται στο γεγονός είναι εξαιρετικά πολύπλοκο να τερματίσεις μια τηλεφωνική κλήση σε μία συσκευή VoIP που βρίσκεται πίσω μία πύλη NAT.

Η τεχνολογία IPv6 επιτρέπει τη διασύνδεση των συσκευών VoIP με χρήση δημόσιων IP διευθύνσεων. Η χρήση πυλών δεν είναι πλέον αναγκαία και η διαχείριση των υπηρεσιών φωνής είναι σχετικά απλή. Επιπλέον, ο Πάροχος είναι ελεύθερος να προσφέρει και άλλες προηγμένες υπηρεσίες, όπως κλήσεις φωνής και εικόνας, κλήσεις μεταξύ πολλαπλών μελών, κλπ.

Δίκτυα κινητής τηλεφωνίας – Κινητικότητα Χρηστών

Τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 3^{ης} γενιάς θεωρήθηκε ένας από τους κύριους μοχλούς για την ευρεία και ταχεία υιοθέτηση της τεχνολογίας IPv6.



Τα πρότυπα (3GPP release 5) υποχρέωναν αρχικά μόνο τη χρήση πρωτοκόλλων IPv6 για το IMS (IP Multimedia Subsystem), δηλαδή το υποσύστημα για την παροχή και διαχείριση των υπηρεσιών προς τους συνδρομητές . Στη συνέχεια, όμως, επιτράπηκε και η χρήση πρωτοκόλλων IPv4 ύστερα από απαίτηση συγκεκριμένων κατασκευαστών και Παρόχων. Ο λόγος για την παραπάνω αλλαγή ήταν η έλλειψης πλήρης γκάμας εξοπλισμού με την απαραίτητη λειτουργικότητα το έτος 2003.

Σήμερα η κατάσταση έχει αλλάξει σημαντικά και πλέον πολλές συσκευές υποστηρίζουν πρωτόκολλα IPv6. Πλέον το βασικό ερώτημα δεν είναι αν θα χρησιμοποιηθεί η τεχνολογία IPv6 στα δίκτυα 3^{ης} γενιάς αλλά το ποιες εφαρμογές θα εκμεταλλευτούν τις νέες δυνατότητες που θα παρέχει το IMS και πως αυτές θα επηρεάσουν την αγορά. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η υιοθέτηση της τεχνολογίας IPv6 στο δίκτυα 3GPP θα επηρεάσει και τα υπόλοιπα δίκτυα δεδομένου ότι οι κινητές συσκευές θα πρέπει να διαλειτουργούν με συσκευές σε ενσύρματα δίκτυα.

Ομότιμα (Peer-to-Peer) δίκτυα

Τα ομότιμα (peer-to-peer) δίκτυα γνωρίζουν τελευταία πολύ μεγάλη εξάπλωση, κύρια για την ανταλλαγή αρχείων μεταξύ των χρηστών. Αν και κάποιες από τις χρήσεις των δικτύων peer-to-peer είναι αμφισβητούμενες (π.χ. η ανταλλαγή αρχείων μουσικής που καλύπτονται από

πνευματικά δικαιώματα), οι μηχανισμοί peer-to-peer χρησιμοποιούνται εκτενώς και για τη διανομή πακέτων λογισμικού που έχουν πολύ μεγάλο μέγεθος (π.χ. διανομές του λειτουργικού συστήματος GNU/Linux), αλλά και για άλλους σκοπούς.

Η χρήσης πυλών NAT δημιουργεί αρκετά προβλήματα σε αυτού του τύπου τα δίκτυα, κύρια γιατί δεν υπάρχει δημόσια διεύθυνση για τους συμμετέχοντες κόμβους που βρίσκονται πίσω από την πύλη NAT και δεν υπάρχει τρόπος για τους άλλους κόμβους να απευθυνθούν σε αυτούς. Έτσι, για να λειτουργήσουν πολλές σχετικές εφαρμογές απαιτούνται ειδικές ρυθμίσεις στην πύλη NAT. Οι ρυθμίσεις αυτές πρέπει να γίνονται χωριστά για κάθε σχετική εφαρμογή και για κάθε κόμβο που βρίσκεται πίσω από την εκάστοτε πύλη NAT.

Η ύπαρξη δημόσιων IP διευθύνσεων για όλους τους κόμβους σε ένα IPv6 δίκτυο, επιτρέπει τη λειτουργία των peer-to-peer δικτύων χωρίς τα παραπάνω προβλήματα.

Τηλεμετρία (telemetry)

Οι συνεχείς εξελίξεις στη δημιουργία όλο και μικρότερων, αλλά και ενεργειακά αυτόνομων, συσκευών λήψης μετρήσεων (sensors) έχει οδηγήσει στη δημιουργία (ακόμη και αυτο-οργανόμενων) δικτύων από τέτοιες συσκευές. Έτσι πλήθος από συσκευές λήψεως μετρήσεων μπορούν να αναπτυχθούν

ακόμη και σε ευρείες περιοχές και να παρέχουν στοιχεία τηλεμετρίας. Οι συσκευές αυτές είναι αυτόνομες (δηλαδή, δεν συνδέονται απευθείας σε κάποιο υπολογιστή) και λειτουργούν ως ανεξάρτητοι κόμβοι σε ένα δίκτυο.

Όταν πρόκειται για πολύ μεγάλο αριθμό τέτοιων συσκευών, είναι φανερό ότι ένα IPv4 δίκτυο δεν μπορεί να διαθέσει αρκετές διευθύνσεις.

Στην περίπτωση, όμως, του πρωτοκόλλου IPv6 δεν υπάρχει πρόβλημα καθώς το πρωτόκολλο IPv6 διαθέτει τόσο μεγάλο αριθμό διευθύνσεων, που είναι αρκετός ώστε να καλύπτεται κάθε ανάγκη.

Επιπλέον, η δυνατότητα χρήσης των λειτουργιών *autoconfiguration* της τεχνολογίας IPv6 επιτρέπει την εύκολη συγκρότηση και ρύθμιση των δικτυακών χαρακτηριστικών της κάθε συσκευής λήψης μετρήσεων ακόμη και σε αυτο-οργανόμενα δίκτυα.

Διαχείριση στόλων (fleet management)

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα στη διαχείριση στόλων είναι η έγκυρη γνώση για την κατάσταση του κάθε οχήματος του στόλου (π.χ. θέση, ταχύτητα, ενδείξεις για συσκευές του οχήματος κ.λπ.) αλλά και η δυνατότητα επικοινωνίας με αυτό.

Αν και ήδη υπάρχουν οι τεχνολογίες για τον υπολογισμό του στίγματος του κάθε οχήματος, αλλά και η δυνατότητα επικοινωνίας με αυτό, ακόμη και όταν αυτό κινείται, η τεχνολογία IPv6 προσφέρει καλύτερη υποστήριξη της κινητικότητας των οχημάτων του στόλου.

Επιπλέον η πληθώρα διαθέσιμων διευθύνσεων επιτρέπει τον χειρισμό στόλων με πολύ μεγάλο πλήθος οχημάτων.

Μηχανισμοί μετάβασης

Λαμβάνοντας υπόψη την εξάπλωσή του πρωτοκόλλου IPv4, θα μπορούσε κανείς να υποστηρίξει κανείς ότι το πρωτόκολλο «δουλεύει» αρκετά καλά και, παρά την «ηλικία» του, νέοι δικτυακοί κόμβοι (IPv4) συνδέονται στο Διαδίκτυο. Είναι αποδεκτό ότι η συντριπτική πλειοψηφία συστημάτων στο Διαδίκτυο σήμερα χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο IPv4 για την ανταλλαγή πληροφοριών. Η αναβάθμιση όλων των συστημάτων —εκτιμήσεις αναφέρουν ότι οι υπάρχουσες δικτυακές συσκευές είναι της τάξης των 100 εκατομμυρίων— ώστε να χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο IPv6 είναι σίγουρα πολύ μεγάλο εγχείρημα (σε χρόνο, προσπάθεια, κόστος κ.λπ.). Τίθεται, λοιπόν, το ερώτημα πως μπορεί να πραγματοποιηθεί η μετάβαση στο πρωτόκολλο IPv6 και ποιο είναι το κόστος της. Στις επόμενες παραγράφους θα ασχοληθούμε με τις τεχνικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε η μετάβαση στο πρωτόκολλο IPv6 να γίνει σταδιακά και με το μικρότερο δυνατό κόστος.

Πως θα γίνει η μετάβαση από το IPv4 στο IPv6

Το ιδανικό θα ήταν η μετάβαση από το IPv4 στο IPv6 να γίνει ταυτόχρονα σε όλα τα συστήματα (ή έστω σε πολύ μικρό χρονικό διάσημα) ώστε να μη χαθεί για μεγάλο διάστημα η διασυνδεσιμότητα. Όμως αυτό είναι πρακτικά ανέφικτο και αν μπορούσε να συμβεί θα είχε τρομακτικά μεγάλο κόστος.

Ευτυχώς, για να δουλέψει το IPv6, δεν χρειάζεται να αναβαθμιστούν όλα τα συστήματα που είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο την ίδια στιγμή. Οι άνθρωποι που εργάζονται πάνω στη μετάβαση στο IPv6 έχουν σχεδιάσει μηχανισμούς για να γίνει αυτή σταδιακά και με μικρό κόστος. Εκτός από το γεγονός ότι η μετάβαση στο IPv6 θα γίνει σταδιακά, θα γίνει επίσης και σχετικά αργά, καθώς λίγοι θα είναι αρχικά οι "τολμηροί" χρήστες που θα έχουν μεγάλη ανάγκη από τις λύσεις που προσφέρει το IPv6.

Είναι, λοιπόν, σαφές ότι για τη μετάβαση θα διανυθεί μια (μεταβατική) περίοδος κατά την οποία το IPv6 θα συνυπάρχει με το IPv4. Η μετάβαση στην τεχνολογία IPv6 θα είναι μια μακρόχρονη διαδικασία, κατά τη διάρκεια της οποίας IPv6 και IPv4

συστήματα θα χρειαστεί να επικοινωνούν μεταξύ τους. Στα αρχικά στάδια της μετάβασης, ο αριθμός των συσκευών IPv6 θα είναι συγκριτικά μικρότερος από τον αριθμό των συσκευών IPv4. Η κατάσταση θα αλλάξει στο απώτερο μέλλον όπου η διασύνδεση συσκευών IPv4 θα ελαττώνεται σταδιακά.

Η συνύπαρξη αυτή είναι πιθανότατα αναγκαία ακόμη και για νέα δίκτυα που υλοποιούνται. Αν και αυτά τα δίκτυα θα μπορούσαν να υλοποιηθούν απευθείας με χρήση του IPv6, η πιθανότητα να χρησιμοποιηθούν υπηρεσίες από άλλα συστήματα, στο Διαδίκτυο, που δεν έχουν κάνει ακόμη τη μετάβαση, ουσιαστικά επιβάλλει και στα νέα δίκτυα να υποστηρίξουν και το IPv4 και επομένως να περάσουν και αυτά από τη μεταβατική κατάσταση.

Για να διευκολυνθεί η διαδικασία μετάβασης έχει αναπτυχθεί μια σειρά από τεχνικές που μπορούν να εφαρμοστούν, ανάλογα με την εκάστοτε περίπτωση.

Τρόποι μετάβασης

Τα προβλήματα που εμφανίζονται κατά τη μεταβατική περίοδο είναι κύρια:

- πώς τα συστήματα που έχουν μεταβεί σε IPv6 θα επικοινωνούν μεταξύ τους, αν τμήματα του ενδιάμεσου δικτύου δεν έχουν κάνει ακόμη τη μετάβαση
- πώς τα συστήματα που έχουν κάνει τη μετάβαση σε IPv6 θα επικοινωνούν με συστήματα που έχουν μείνει στο IPv4

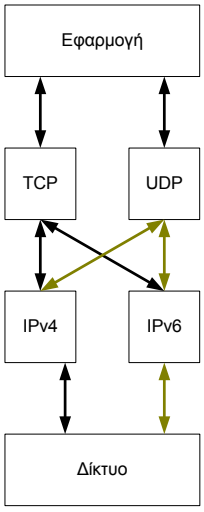
Προκειμένου να επιλυθούν τα παραπάνω προβλήματα και να διευκολυνθεί η μετάβαση σε IPv6 έχουν αναπτυχτεί μια σειρά από τεχνικές οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικά ή/και σε συνδυασμό ανάλογα με το εκάστο πρόβλημα.

Υπάρχουν, λοιπόν, αρκετοί μέθοδοι μετάβασης από το πρωτόκολλο IPv4 στο πρωτόκολλο IPv6, οι οποίες κατηγοριοποιούνται σε τρεις ομάδες ως ακολούθως:

- Διπλής στοίβας (Dual Stack)
- Tunneling
- Τεχνικές μετάφρασης (Translators)

Διπλής στοίβας (Dual Stack)

Καθώς είναι φανερό ότι κατά τη μεταβατική περίοδο οι κόμβοι θα πρέπει να υποστηρίζουν και το IPv4 και το IPv6, στο μηχανισμό Διπλής Στοίβας, οι κόμβοι του δικτύου υλοποιούν και τις δύο στοίβες των δύο εκδόσεων του πρωτοκόλλου (τα δυο πρωτόκολλα συνυπάρχουν πάνω στο ίδιο δίκτυο). Έτσι μπορεί να επιτευχθεί επικοινωνία τόσο σε επίπεδο IPv4 όσο και σε επίπεδο IPv6.



Η ιδέα της διπλής στοίβας δεν είναι καινούρια. Έχει χρησιμοποιηθεί για τη διασύνδεση συστημάτων, με δικτυακό λογισμικό της Novell (που υλοποιούσε το πρωτόκολλο δικτύου IPX), παράλληλα με τη διασύνδεση με το Διαδίκτυο (TCP/IP).

Για την επιτυχή μετάβαση με το μηχανισμό της διπλής στοίβας, είναι απαραίτητο σε ένα δίκτυο ο μηχανισμός αυτό να ενεργοποιηθεί πρώτα στους δρομολογητές του δικτύου (για να εξασφαλίζεται η διασύνδεση), στη συνέχεια στους διάφορους εξυπηρετητές (για να προσφέρονται υπηρεσίες και πάνω από IPv6), και τέλος στους υπολογιστές που ζητάνε τις υπηρεσίες. Εκτός βέβαια από την ενεργοποίηση της στοίβας του IPv6 παράλληλα με αυτή του IPv4 θα πρέπει να αναβαθμιστούν και οι διάφορες εφαρμογές ώστε να χρησιμοποιούν και τη στοίβα του IPv6.

Ένα θέμα που δημιουργείται είναι ποια διεύθυνση (η IPv4 ή η IPv6) θα αντιστοιχίζεται σε ένα όνομα υπολογιστή από το DNS. Όμως υπάρχουν τρόποι να ξεπεραστεί, όπως για παράδειγμα με τη σύσταση να δίνονται και οι δύο διευθύνσεις και να αποφασίζει η εφαρμογή ποια θα χρησιμοποιήσει.

Είναι φανερό ότι ο μηχανισμός της διπλής στοίβας μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα σε μικρότερα δίκτυα αλλά για μεγάλα δίκτυα και το Διαδίκτυο συνολικά δεν μπορεί από μόνος του να δώσει άμεσα τη λύση καθώς είναι φανερό ότι για επιτευχθεί βασική διασυνδεσιμότητα σε επίπεδο IPv6, θα πρέπει να μεταβούν σε αυτό η μεγάλη πλειοψηφία των δρομολογητών (αν όχι όλοι), πράγμα που είναι ανέφικτο στο άμεσο μέλλον.

Όμως ο μηχανισμός αυτός μπορεί να δημιουργήσει νησίδες υπολογιστών (υποδίκτυα) που έχουν πλήρη IPv6 διασυνδεσιμότητα στο εσωτερικό τους. Αυτές οι IPv6 νησίδες μπορούν να διασυνδεθούν με άλλες αντίστοιχες νησίδες με χρήση άλλων τεχνικών.

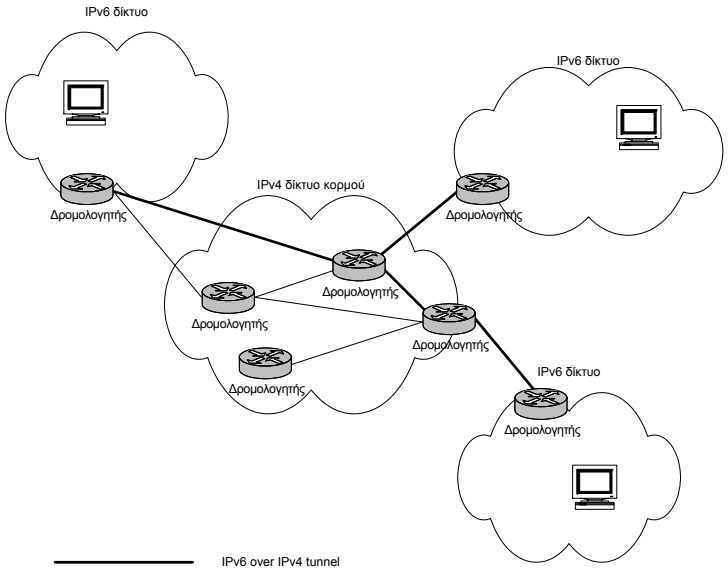
Tunnelling

Για την αντιμετώπιση του παραπάνω προβλήματος, έχουν αναπτυχθεί μια σειρά από τεχνικές που κάνουν χρήση του protocol tunneling, όπου τα IPv6 πακέτα ενθυλακώνονται μέσα σε IPv4 πακέτα για τη μετακίνηση τους μεταξύ απομονωμένων IPv6 δικτύων διαμέσου του IPv4 διαδικτύου.

Τα IPv6 πακέτα "κρύβονται" μέσα σε IPv4 πακέτα και διασχίζουν το IPv4 δίκτυο έως να φτάσουν σε ένα κόμβο που υποστηρίζει το IPv6 και γνωρίζει πώς να τα επεξεργαστεί.

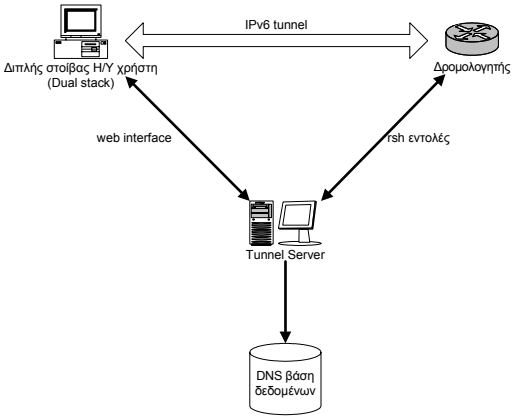
Η βασική αυτή ιδέα του tunnelling εφαρμόζεται σε μια σειρά τεχνικών που διαφοροποιούνται λιγότερο ή περισσότερο ως προς διάφορες λεπτομέρειες.

Το tunneling απαιτεί να υπάρχει ένας κόμβος IPv6, που να μπορεί να μεταδώσει IPv4 πακέτα (κόμβος διπλής στοίβας) σε κάθε μια από τις δυο άκρες του tunnel. Η ενθυλάκωση ενός IPv6 πακέτου μέσα σε ένα IPv4 πακέτο βασικά λειτουργεί όπως η ενθυλάκωση πρωτοκόλλου (protocol encapsulation). Ο κόμβος στην μια άκρη του tunnel παίρνει το IPv6 πακέτο και το μεταχειρίζεται ως τμήμα δεδομένων ενός IPv4 πακέτου, που πρέπει να φτάσει στον κόμβο που βρίσκεται στην άλλη άκρη του tunnel. Ολόκληρο το tunnel πάνω από το IPv4 δίκτυο, είναι (ιδεατά) σαν μια απευθείας IPv6 σύνδεση ανάμεσα στα άρα του tunnel.



Tunnel Broker

Ο μηχανισμός μετάβασης Tunnel Broker δίνει τη δυνατότητα σε απομακρυσμένους χρήστες, που ενδιαφέρονται να συνδεθούν στο IPv6 δίκτυο, να ζητήσουν τον ορισμό ενός tunnel μεταξύ του σταθμού τους και του ενός δρομολογητή, προκειμένου να αποκτήσουν πρόσβαση στο IPv6 εξωτερικό δίκτυο, στο οποίο είναι συνδεδεμένος ο δρομολογητής. Ο Tunnel Broker προϋποθέτει την ύπαρξη από την πλευρά του σταθμού του χρήστη και των δύο πρωτοκόλλων.



Όταν ένας χρήστης επιθυμεί να συνδεθεί στο IPv6 δίκτυο, δηλώνει αυτήν την πρόθεση του στον Tunnel Broker (συνήθως μέσω ενός web interface) και παρέχει τις απαραίτητες διαχειριστικές πληροφορίες.

Ο Tunnel Broker, προκειμένου να εξυπηρετήσει το αίτημα του χρήστη, αποφασίζει σε ποιόν Tunnel Server θα αναθέσει την εξυπηρέτηση του αιτήματος, καθορίζει διάφορες παραμέτρους για το tunnel και φτιάχνει τη διαμόρφωση (configuration) για τον ορισμό του tunnel.

Ο μηχανισμός Tunnel Broker παρουσιάζει αρκετά καλή κλιμάκωση και μπορεί να εξυπηρετήσει αρκετά μεγάλο αριθμό χρηστών μεμονωμένων ή που ανήκουν σε κάποιο υποδίκτυο.

Σχετικός περιορισμός για το πεδίο εφαρμογής του Tunnel Broker είναι η αδυναμία του να εξυπηρετήσει χρήστες, οι οποίοι χρησιμοποιούν ιδιωτικές (private) IPv4 διευθύνσεις και βρίσκονται πίσω από κάποιο NAT μηχανισμό.

Configured tunneling

Η τεχνική της διασύνδεσης IPv6 νησίδων πάνω από το IPv4 δίκτυο με την χρήση configured tunnels είναι ο τρόπος που καταρχήν χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία των IPv6 δικτύων.

Η τεχνική αυτή είναι μια τεχνική tunneling, όπου τα tunnels που χρησιμοποιούνται για να διασυνδέσουν τους δρομολογητές διπλής στοίβας (που υπάρχουν στις IPv6 νησίδες) καθορίζονται από τους διαχειριστές του δικτύου και οι IPv4 διευθύνσεις των άκρων παρέχονται κατά τη δημιουργία του tunnel είτε χειροκίνητα είτε από κάποιο μηχανισμό όπως το DHCP. Έτσι οι διαχειριστές δημιουργούν ένα ιδεατό IPv6 δίκτυο πάνω από την IPv4 υποδομή.

Το μειονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι πως δεν υπάρχει διασυνδεσιμότητα με IPv6 νησίδες για τις οποίες δεν έχει δημιουργηθεί από τους διαχειριστές tunnel που να τις διασυνδέει με τις άλλες IPv6 νησίδες.

Automatic tunneling

Στην τεχνική του αυτόματου tunneling, τα διάφορα tunnels δεν προκαθορίζονται, αλλά χρησιμοποιούνται δρομολογητές διπλής στοίβας με IPv4-compatible διευθύνσεις (δηλαδή διευθύνσεις IPv6 που κατασκευάζονται από τις IPv4 διευθύνσεις συμπληρώνοντας τα επιπλέον bit με μηδενικά, και άρα εμπεριέχουν την IPv4 διεύθυνση).

Με τον τρόπο αυτό οι δρομολογητές μπορούν να εξάγουν την IPv4 διεύθυνση του άλλου άκρου του tunnel και να κατασκευάσουν αυτόματα το tunnel αυτό.

Το πλεονέκτημα είναι ότι τα αυτόματα tunnels δεν χρειάζονται παραμετροποίηση για να δουλέψουν οι IPv4 διευθύνσεις των δρομολογητών διπλής στοίβας.

Το μειονέκτημα είναι ότι πρέπει να χρησιμοποιηθούν οπωσδήποτε IPv4-compatible διευθύνσεις.

Μηχανισμός μετάβασης 6to4

Ο μηχανισμός μετάβασης 6to4 μοιάζει στην βασική του ιδέα με το μηχανισμό του αυτόματου tunneling. Σε αντίθεση όμως με αυτόν, ο μηχανισμός 6to4 χρησιμοποιεί κανονικές IPv6 με το πρόθεμα το (δεκαεξαδικό) 2002. Το πλεονέκτημα είναι ότι οι διευθύνσεις αυτές είναι κανονικές IPv6 διευθύνσεις (όχι της μορφής IPv4-compatible) και συνεπώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διαδικασίες auto configuration (stateless/state full), DHCP, κλπ. Ο μηχανισμός 6to4 περιγράφεται στο RFC 3056.

Όλα τα sites που χρησιμοποιούν τον 6to4 μηχανισμό, δημιουργούν μια "κλάση" στο σύνολο των IPv6 διευθύνσεων, αυτών που η διεύθυνση τους αρχίζει με το prefix 2002::.

Πρέπει να τονιστεί πως η σωστή λειτουργία του 6to4 μηχανισμού εξαρτάται από τον τρόπο, με βάση τον οποίο οι σταθμοί επιλέγουν ποια διεύθυνση θα χρησιμοποιήσουν, από αυτές που επιστρέφονται από την υπηρεσία DNS. Δηλαδή, έστω ένας σταθμός που έχει 6to4 διεύθυνση και ρωτάει για την IPv6 διεύθυνση ενός άλλου σταθμού. Εάν η υπηρεσία DNS του επιστρέψει δύο IPv6 διευθύνσεις, μία native και μια 6to4, είναι αναγκαίο ο σταθμός να χρησιμοποιήσει την 6to4 διεύθυνση στην προσπάθεια του να επικοινωνήσει με τον άλλο σταθμό.

Μέθοδος 6over4

Η μέθοδος 6over4 έχει αναπτυχθεί με κύριο σκοπό να επιτρέψει σε κάποιον απομονωμένο σταθμό IPv6, ο οποίος βρίσκεται πάνω σε φυσικό σύνδεσμο (link) χωρίς την παροχή εγγενούς IPv6 υποστήριξης, να γίνει ένας πλήρως λειτουργικός

IPv6 σταθμός με πρόσβαση στο IPv6 δίκτυο. Ο μηχανισμός 6over4 περιγράφεται στο RFC 2529.

Ο μηχανισμός 6over4 κάνει χρήση του IPv4 multicast διαχειριστικού τμήματος, το οποίο θεωρείται ως το επίπεδο διασύνδεσης πάνω από το οποίο δομείται η IPv6 στοίβα. Προκειμένου να χρησιμοποιηθεί η 6over4 μέθοδος, πρέπει το IPv4 διαχειριστικό τμήμα να υποστηρίζει multicast. Επίσης, εάν απαιτείται να υπάρχει σύνδεση με εξωτερικά sites (IPv6), πρέπει απαραίτητα να υπάρχει και κάποιος δρομολογητής που να εφαρμόζει την ίδια μέθοδο στο link που συνδέεται με το multicast διαχειριστικό τμήμα.

Η 6over4 μέθοδος δεν χρησιμοποιεί IPv4-compatible IPv6 διευθύνσεις ή configured tunnels, και έτσι παρέχει μεγάλη ανεξαρτησία, όσον αφορά την τεχνολογία των συνδέσμων που χρησιμοποιούνται αλλά και την τοπολογία του IPv6 δικτύου που επιχειρείται να εφαρμοστεί. Συχνά η μέθοδος 6over4 αναφέρεται και ως virtual Ethernet.

Ο τρόπος λειτουργίας της συγκεκριμένης τεχνικής είναι σχετικά απλός: Για κάθε IPv6 LAN ορίζεται μία multicast σύνοδος, στην οποία "συμμετέχουν" τόσο οι σταθμοί που συμμετέχουν στο IPv6 υποδίκτυο, όσο και ο δρομολογητής που δρομολογεί την κίνηση του υποδικτύου προς τα έξω. Κάθε φορά που υπάρχει IPv6 πακέτο προς μετάδοση, αυτό ενθυλακώνεται σε ένα IPv4 πακέτο και αποστέλλετε στην multicast διεύθυνση που αντιστοιχεί στην προαναφερόμενη σύνοδο. Ως αποτέλεσμα το πακέτο αυτό φτάνει σε όλους τους σταθμούς που συμμετέχουν στο IPv6 υποδίκτυο, αλλά και το δρομολογητή. Οι σταθμοί και ο δρομολογητής εξετάζουν το IPv6 πακέτο (αφού το βγάλουν από το IPv4 πακέτο) και αν απευθύνεται σε αυτούς το χειρίζονται κατάλληλα. Αν το πακέτο απευθύνεται σε προορισμό εκτός του υποδικτύου το προωθεί κατάλληλα ο δρομολογητής. Δηλαδή η multicast σύνοδος χρησιμοποιείται ως ένα μέσο που έχει δυνατότητα broadcast σε όλα το IPv6 υποδίκτυο. Αυτό εξηγεί και το χαρακτηρισμό της μεθόδου 6over4 ως virtual Ethernet.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην τιμή TTL που δίνεται στα multicast IPv4 πακέτα που μεταφέρουν την IPv6 κίνηση. Η τιμή του πρέπει να είναι αρκετά μικρή προκειμένου να μην υπάρχουν διαρροές IPv6 κίνησης έξω από το multicast διαχειριστικό τμήμα.

IPv6 πάνω από MPLS

Το MPLS (Multi-Protocol Label Switching) είναι ένας μηχανισμός μεταφοράς δεδομένων που λειτουργεί κάτω από το επίπεδο του IP. Ένας τρόπος παροχής IPv6 υπηρεσιών χρησιμοποιώντας την MPLS υποδομή είναι με την χρήση της τεχνικής των L2 MPLS VPNs (επιπέδου 2 ιδεατά ιδιωτικά δίκτυα). Με τον τρόπο αυτό δίνεται η δυνατότητα στους παρόχους υπηρεσιών (Service Providers) να παρέχουν υπηρεσίες IPv6 διασύνδεσης μεταξύ των δικτύων των πελατών τους με χρήση των υπαρχόντων συνδέσεων πάνω ένα MPLS enabled IP δίκτυο. Ειδικότερα, με την εγκατάσταση του νοητού Layer 2 κυκλώματος, οι δρομολογητές των πελατών (Costumer Edge - CE στην ορολογία του MPLS) "νομίζουν" πως βρίσκονται πάνω στο ίδιο data link layer δίκτυο και μπορούν πάνω από αυτό να τρέξουν native IPv6 πρωτόκολλο. Σε αυτήν την περίπτωση ουσιαστικά ο πάροχος δεν παρέχει ουσιαστικά IPv6 υπηρεσίες παρά μόνο επιτρέπει στους πελάτες του να χρησιμοποιήσουν το IPv6 πρωτόκολλο για να διασυνδεθούν μεταξύ τους.

Η λύση αυτή παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα καθώς το κόστος υλοποίησης είναι σχετικά μικρό και απαιτείται μόνο η αναβάθμιση των δρομολογητών με λογισμικό που να υποστηρίζει την υλοποίηση L2 MPLS VPNs. Η παροχή της IPv6 διασύνδεσης γίνεται διάφανα πάνω από το MPLS δίκτυο και δεν επηρεάζει την λειτουργία του.

Από την άλλη μεριά όμως η λύση αυτή δεν είναι κλιμακώσιμη και επεκτάσιμη. Ειδικότερα, καθώς η ζήτηση για παροχή υπηρεσιών θα αυξάνει και όλο και περισσότεροι πελάτες θα ζητάνε την IPv6 διασύνδεσή τους με άλλους πελάτες, η εφαρμογή της λύσης αυτής οδηγεί στην δημιουργία ενός μερικού ή πλήρους δικτύου από L2 MPLS VPNs μεταξύ των πελατών.

6PE

Μια εναλλακτική μέθοδος για την παροχή IPv6 υπηρεσιών σε δίκτυα που χρησιμοποιούν την τεχνολογία MPLS ονομάζεται 6PE (και προέρχεται από την εταιρία κατασκευής δικτυακών συσκευών Cisco). Η προσέγγιση του 6PE έχει πεδίο εφαρμογής τα δίκτυα των παρόχων (ISPs) οι οποίοι ήδη χρησιμοποιούν ή πρόκειται να χρησιμοποιήσουν σύντομα την τεχνολογία MPLS στα δίκτυα τους προκειμένου να παρέχουν υπηρεσίες στους πελάτες τους.

Η μέθοδος 6PE στηρίζεται στην ιδέα της ενεργοποίησης του IPv6 πρωτοκόλλου μόνο στους Provider Edge (PE) δρομολογητές (συνοριακοί δρομολογητές), στους οποίους φιλοξενούνται συνδέσεις πελατών οι οποίοι ζητάνε IPv6 υπηρεσίες. Οι δρομολογητές αυτοί ονομάζονται 6PEs. Με τον τρόπο αυτό οι 6PEs δρομολογητές γίνονται διπλής στοίβας (Dual Stacked) και χρησιμοποιούν το IPv6 πρωτόκολλο για να επικοινωνήσουν με τους CE δρομολογητές (όπου CE στην ορολογία του MPLS είναι οι ακραίοι δρομολογητές των πελατών) ενώ η διασύνδεση τους με το υπόλοιπο MPLS δίκτυο γίνεται μόνο με την IPv4 στοίβα. Το υπόλοιπο δίκτυο (MPLS Core) δεν "γνωρίζει" τίποτα σχετικά με το IPv6 και χρησιμοποιείται μόνο για την προώθηση των IPv6 πακέτων, ενθυλακωμένων σε MPLS frames.

Η τεχνική 6PE ολοκληρώνει με πολύ διάφανο τρόπο την παροχή IPv6 υπηρεσιών πάνω από MPLS δίκτυο. Επίσης κάνει εύκολη την χρήση ενός οικουμενικού συναθροιστικού προθέματος (Global Aggregateble Prefix) από τον πάροχο και παροχή κομματιών από τον χώρο αυτό στους πελάτες του δικτύου.

ISATAP (Intra-Site Automatic Tunnel Addressing Protocol)

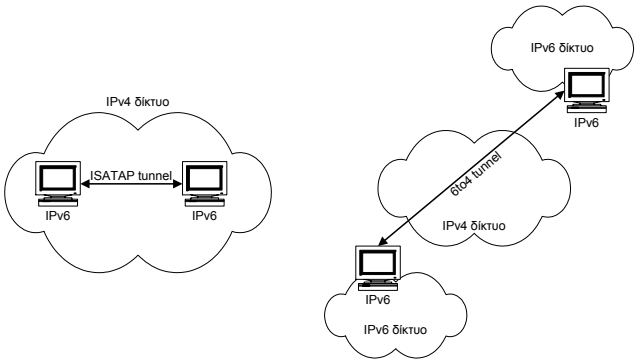
Ο μηχανισμός ISATAP μπορεί να χρησιμοποιηθεί εσωτερικά μέσα σε ένα δίκτυο για να διασυνδέσει απομονωμένους κόμβους διπλής στοίβας με το ευρύτερο IPv6 Διαδίκτυο. Μέσα σε ένα υποδίκτυο χρειάζεται συνήθως μόνο ένας ISATAP δρομολογητής ο οποίος λειτουργεί ως ISATAP server με σύνδεση στο IPv6 Διαδίκτυο για όλους τους κόμβους στο ISATAP υποδίκτυο που εξυπηρετεί.

Ο μηχανισμός ISATAP αντιμετωπίζει το IPv4 δίκτυο ως ένα επίπεδο διασύνδεσης για το IPv6 και θεωρεί όλους τους κόμβους στο δίκτυο ως δυνητικούς IPv6 δρομολογητές. Είναι αυτόματος μηχανισμός με την έννοια ότι εφόσον έχει στηθεί ένας ISATAP δρομολογητής/server χρειάζεται μόνο οι κόμβοι που χρησιμοποιούν το μηχανισμό να διαμορφωθούν ώστε να συνδέονται σε αυτόν.

Ένας κόμβος που χρησιμοποιεί ISATAP χρειάζεται ένα έγκυρο οικουμενικό (global-scope) IPv6 πρόθεμα μήκους 64 bits για να κατασκευάσει τη διεύθυνσή του. Το πρόθεμα αυτό διαφημίζεται από τον δρομολογητή ο οποίος πρέπει να εξασφαλίζει ότι το πρόθεμα αυτό δρομολογείται σε αυτόν.

Ο ISATAP μηχανισμός κατασκευάζει τις διευθύνσεις με παρόμοιο τρόπο με τις IPv4-compatible διευθύνσεις. Έχει όμως το πλεονέκτημα ότι διαθέτει αρκετά μεγαλύτερο χώρο διευθύνσεων των 96 bits. Επιπλέον, διατηρεί το IPv6 πρόθεμα και άρα την ιεραρχική δομή των διευθύνσεων του IPv6 και διαθέτει οικουμενικά μοναδικές IPv6 διευθύνσεις.

Η βασική διαφορά του ISATAP μηχανισμού από τον 6to4 είναι ότι ο ISATAP κάνει δυνατή την εσωτερική στο υποδίκτυο επικοινωνία (intra-site), ενώ ο 6to4 καθιστά δυνατή την επικοινωνία μεταξύ υποδικτύων (inter-site). Έτσι ένα υποδίκτυο μπορεί να χρησιμοποιεί την τεχνική ISATAP για IPv6 επικοινωνία στο εσωτερικό του και την τεχνική 6to4 για την επικοινωνία με άλλα υποδίκτυα.



Teredo

Ο μηχανισμός Teredo έχει σχεδιαστεί ως μια ύστατη λύση σε περιπτώσεις όπου άλλοι τρόποι για την επίτευξη IPv6 διασύνδεσης δεν είναι διαθέσιμοι. Ουσιαστικά ο Teredo απευθύνεται σε κόμβους των οποίων οι πάροχοι του δικτύου δεν είναι διατεθειμένοι να παρέχουν κανενός είδους υποστήριξη για IPv6.

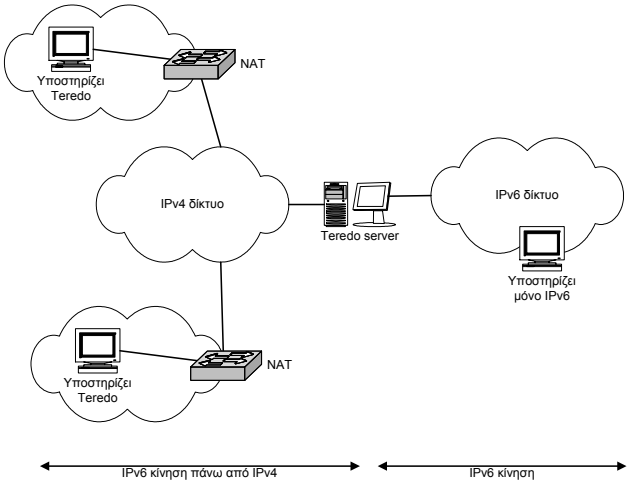
Ο μηχανισμός Teredo βασίζεται στην απόδοση διεύθυνσης και στην αυτόματη δημιουργία tunnel για την παροχή IPv6 διασυνδεσιμότητας πάνω από IPv4 δίκτυα. Σκοπός του είναι να καλύψει το κενό που αφήνει ο μηχανισμός 6to4, όταν δεν υπάρχει η δυνατότητα για έναν 6to4 δρομολογητή στην άκρη του IPv6 υποδικτύου, αλλά αντίθετα είναι διαθέσιμη η υποστήριξη του μηχανισμού NAT για διασύνδεση με το Διαδίκτυο.

Ο μηχανισμός Teredo δημιουργεί tunnels μέσω των οποίων στέλνει την IPv6 κίνηση μεταξύ των συσκευών μέσα στα υποδίκτυα. Το πρόβλημα με τη δημιουργία tunnels

σε αυτή την περίπτωση είναι ότι τα IPv6 πακέτα που ενθυλακώνονται στα IPv4 έχουν το πεδίο Πρωτοκόλλου (Protocol) στην τιμή 41, και η μετάφραση του πρωτοκόλλου 41 δεν είναι ένα συνηθισμένο χαρακτηριστικό των NAT, με αποτέλεσμα η IPv6 κίνηση να μην μπορεί να περάσει από αυτά. Για αυτόν το λόγο, ο Teredo ενθυλακώνει τα IPv6 πακέτα ως IPv4 UDP μηνύματα με IPv4 και UDP επικεφαλίδες, καθώς τα UDP μηνύματα μπορούν να διαπεράσουν όλα τα NAT.

Επομένως, εάν ένα NAT υποστηρίζει μετάφραση UDP, τότε υποστηρίζεται και ο μηχανισμός Teredo, εκτός από την περίπτωση του συμμετρικού NAT, όπου για λόγους αποφυγής υπερφόρτωσης των Teredo servers ο μηχανισμός δεν υποστηρίζεται.

Οι Teredo servers είναι κόμβοι που υποστηρίζουν IPv6 και IPv4 και συνδέονται και στο IPv4 και στο IPv6 δίκτυο και διαθέτουν ένα interface στο οποίο λαμβάνονται τα πακέτα από το Teredo tunnel. Ο ρόλος τους γενικά είναι να βοηθούν στην αρχική επικοινωνία μεταξύ των συσκευών που υποστηρίζουν το Teredo ή μεταξύ μιας Teredo συσκευής και κόμβων που υποστηρίζουν μόνο IPv6.



Dual Stack Transition Mechanism (DSTM)

Η Τεχνική Dual Stack Transition Mechanism (DSTM) έχει αναπτυχθεί, προκειμένου να επιτρέψει την επικοινωνία μεταξύ των IPv6 σταθμών και των IPv4 only δικτύων (υποστηρίζουν μόνο IPv4) που υπάρχουν σήμερα. Είναι μια εναλλακτική πρόταση στις τεχνικές μετάφρασης επικεφαλίδας.

Η τεχνική DSTM βασίζεται στη χρήση ενός DHCPv6 server, ο οποίος αποδίδει προσωρινά global (οικουμενικές) IPv4 διευθύνσεις στους IPv6 σταθμούς που θέλουν να επικοινωνήσουν με κάποιον IPv4 only σταθμό. Τα IPv4 πακέτα ενθυλακώνονται σε IPv6 και μεταφέρονται μέσα στο IPv6 δίκτυο μέχρι το συνοριακό δρομολογητή (border router) που το διασυνδέει με το IPv4 δίκτυο.

Η λειτουργία του μηχανισμού είναι δικατευθυντήρια (bi-directional), δηλαδή η αρχικοποίηση της επικοινωνίας μπορεί να γίνει είτε από την πλευρά του IPv6 σταθμού είτε από την πλευρά του IPv4.

Αυτό αποτελεί και σημαντικό πλεονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου σε σχέση με άλλες τεχνικές, οι οποίες επιτρέπουν την επικοινωνία των IPv6 σταθμών με το IPv4 δίκτυο και απαιτούν την αρχικοποίηση της επικοινωνίας μόνο από τον IPv6 σταθμό (όπως το SOCKS).

Όταν η επικοινωνία αρχικοποιείται από τον IPv6 σταθμό, αυτός ρωτάει την υπηρεσία DNS για τη διεύθυνση του άλλου σταθμού και από την απάντηση αντιλαμβάνεται ότι πρόκειται για IPv4 σταθμό. Τότε ζητά από τον DHCPv6 server μια προσωρινή IPv4 διεύθυνση, προκειμένου να την χρησιμοποιήσει στην επικοινωνία του με τον IPv4 σταθμό.

Όταν η επικοινωνία αρχικοποιείται από τον IPv4 σταθμό, αυτός ρωτάει την υπηρεσία DNS για τη διεύθυνση του IPv6 σταθμού, και ο DNS αναγνωρίζει ότι πρόκειται για IPv6 σταθμό, φροντίζει να του αποδωθεί μια IPv4 διεύθυνση, ενημερώνει τον IPv6 σταθμό για την προσωρινή του IPv4 διεύθυνση και τελικά απαντάει στο σταθμό που αρχικοποίησε την επικοινωνία για τη διεύθυνση αυτή.

Η κύρια δυσκολία εφαρμογής του έγκειται στο γεγονός της μη διαθεσιμότητας του DHCPv6 server, δεδομένου ότι η διαδικασία προτυποποίησης είναι σχετικά πρόσφατη.

Τεχνικές μετάφρασης (Translators)

Οι παραπάνω τεχνικές επιλύουν το πρόβλημα της διασύνδεσης μεταξύ συστημάτων που χρησιμοποιούν το IPv6, αλλά δεν προσφέρουν λύση για την επικοινωνία ανάμεσα σε IPv4 συστήματα και σε IPv6 συστήματα.

Οι τεχνικές μετάφρασης χρησιμοποιούνται γενικά όταν το ζητούμενο είναι η επίτευξη επικοινωνίας μεταξύ δύο σταθμών, οι οποίοι χρησιμοποιούν διαφορετικό πρωτόκολλο.

Συνήθως πρόκειται για ιδέες που είχαν αναπτυχθεί για άλλες δικτυακές εφαρμογές και απλά έχουν μετατραπεί έτσι ώστε να υποστηρίξουν την διαδικασία μετάβασης στο IPv6.

Γενικά οι τεχνικές μετάφρασης μπορούν να χωριστούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Μετάφραση Επικεφαλίδων (Header Conversion), όπου γίνεται προσπάθεια να μεταφραστούν οι IPv4 επικεφαλίδες σε IPv6 επικεφαλίδες και αντίστροφα. Μοιάζει με το ήδη χρησιμοποιούμενο πρωτόκολλο NAT (που κάνει IPv4-to-IPv4 Μετάφραση Επικεφαλίδων). Αν και αυτή η τεχνική είναι αρκετά γρήγορη, υπάρχουν κάποια προβλήματα στην εφαρμογή της, όπως το γεγονός ότι δεν μπορεί να κάνει μετάφραση (translation) των δικτυακών διευθύνσεων που εμφανίζονται σε επίπεδα εφαρμογής.

- Αναμετάδοση Μεταφοράς (Transport Relay), όπου ένας Εξυπηρετητής Αναμεταδότη (Relay Server) μπαίνει ανάμεσα στον αποστολέα και τον παραλήπτη και αναλαμβάνει να δέχεται τα πακέτα του επιπέδου μεταφοράς (που δεν διαφοροποιούνται ανάμεσα στο IPv4 και IPv6 δίκτυα) από τη στοίβα του ενός πρωτοκόλλου και να τα αναμεταδίδει στην άλλη στοίβα. Για να πετύχει το παραπάνω όταν ένα Πακέτο φθάνει στον Εξυπηρετητή Αναμεταδότη, τότε αυτός το προωθεί προς επεξεργασία στο επίπεδο μεταφοράς. Αμέσως ο εξυπηρετητής εγκαθιδρύει μία σύνοδο με τον σταθμό αποστολέα και παράλληλα μια άλλη με τον σταθμό αποδέκτη, με το αντίστοιχο διαφορετικό πρωτόκολλο η καθεμία. Μετά την εγκαθίδρυση και των δύο συνόδων, ο εξυπηρετητής διαβάζει δεδομένα από την μία (σταθμό αποστολής) και τα γράφει στην άλλη (σταθμός προορισμού). Εννοείται πως η μία σύνδεση είναι πάνω από IPv4 και η άλλη πάνω από IPv6 και πως η αναμετάδοση λειτουργεί και προς την αντίστροφη κατεύθυνση.

- Πύλη Επιπέδου Εφαρμογών (Application Level Gateway): Λειτουργεί ως μηχανή caching μεταξύ των εφαρμογών που τρέχουν στο IPv4 και στο IPv6 δίκτυο. Προφανώς ο σταθμός που υλοποιεί το ALG πρέπει να τρέχει και τα δύο πρωτόκολλα.

- Χαρτογράφηση Διευθύνσεων (Address Mapping): Η τεχνική αυτή αναφέρεται στην ένα-προς-ένα αντιστοίχηση μεταξύ μιας IPv6 διεύθυνσης προορισμού και μιας δεδομένης IPv4 διεύθυνσης προορισμού και αντίστροφα. Το ίδιο γίνεται και για τις διευθύνσεις αποστολής.

NAT-PT (Network Address Translation – Protocol Translation)

Ο μηχανισμός NAT-PT έχει διατυπωθεί και οριστεί στο RFC 2766 και ουσιαστικά είναι ένας δρομολογητής/μεταφραστής (translator) από IPv4 σε IPv6 και αντίστροφα. Επιτρέπει σε native IPv6 σταθμούς και εφαρμογές να επικοινωνούν με IPv4 σταθμούς και εφαρμογές αντίστοιχα. Ο σταθμός ο οποίος κάνει τη μετάφραση, συνήθως βρίσκεται στα όρια μεταξύ του IPv4 και IPv6 δικτύου.

Κάθε συσκευή που παίζει το ρόλο του μεταφραστή διευθύνσεων, διατηρεί μια δεξαμενή (pool) με διευθύνσεις οι οποίες χρησιμοποιούνται προκειμένου να αποδοθούν δυναμικά σε IPv6 σταθμούς, καθώς δημιουργείται μία σύνοδος (session) μεταξύ δύο σταθμών που χρησιμοποιούν διαφορετικά πρωτόκολλα. Εκτός από την απλή μετάφραση διευθύνσεων και προκειμένου να είναι δυνατή η επικοινωνία, γίνεται και μετάφραση επικεφαλίδων.

Η συσκευή που κάνει τη μετάφραση μπορεί επίσης να περιέχει και μία επιπλέον μονάδα, η οποία να κάνει τη μετάφραση των διευθύνσεων, όταν αυτές βρίσκονται μέσα στο ωφέλιμο φορτίο (payload) του IP πακέτου (όπως στις δικτυακές εφαρμογές τύπου FTP). Η μονάδα αυτή είναι Application Level Gateway (ALG).

Η εφαρμογή του Network Address Translator είναι αρκετά απλή και δεν απαιτεί καμία επιπλέον ρύθμιση από την πλευρά του σταθμού και προσφέρεται διάφανα σαν υπηρεσία στον χρήστη.

Τα βασικά μειονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι παρόμοια με κάθε άλλη εφαρμογή της ιδέας της μετάφρασης επικεφαλίδας. Πιο συγκεκριμένα δεν είναι δυνατόν να εφαρμοστούν στρατηγικές ασφάλειας από άκρο σε άκρο, αφού η διεύθυνση στην οποία θα μεταφραστεί η αρχική διεύθυνση προορισμού δεν είναι εκ των προτέρων γνωστή. Επίσης μειονέκτημα αποτελεί και το γεγονός ότι η εφαρμογή της απαιτεί την χρήση ενός IPv4 χώρου διευθύνσεων, το οποίο μπορεί να είναι και αρκετά μεγάλο ανάλογα με το φόρτο της χρήσης.

Εξαιτίας των μειονεκτημάτων της μεθόδου και ειδικότερα εξαιτίας των μελλοντικών περιορισμών πάνω στην ανάπτυξη των IPv6 δικτύων που δημιουργεί, υπάρχει η τάση να το NAT-PT να πάψει συστήνεται ως γενικός μηχανισμός μετάβασης για την επικοινωνία IPv6 και IPv4 δικτύων.

SOCKS

Ο SOCKS είναι ένας μηχανισμός πύλης επιπέδου εφαρμογής (application level gateway), ο οποίος υλοποιείται από ένα μηχάνημα που ονομάζεται SOCKS Server και δρα ως μηχανισμός αναμετάδοσης σε επίπεδο συνόδου TCP ή UDP μεταξύ δύο σταθμών, οι οποίοι χρησιμοποιούν διαφορετικό πρωτόκολλο, ο ένας IPv4 και ο άλλος IPv6.

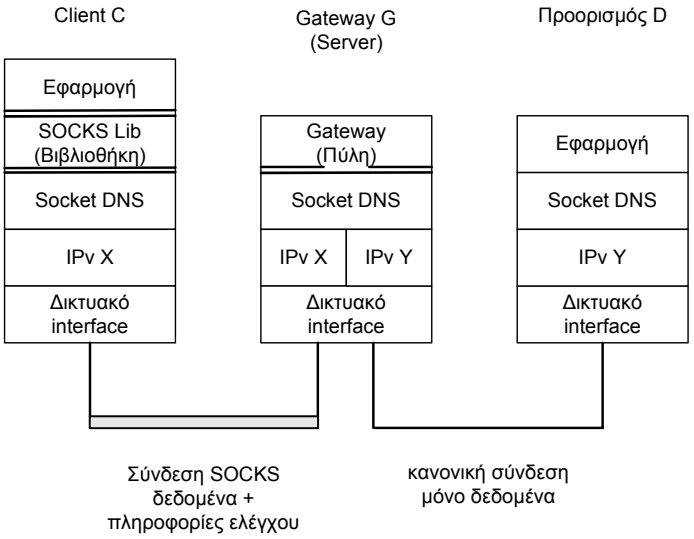
Προκειμένου να επιτευχθεί η επικοινωνία μεταξύ των σταθμών, ο ένας πρέπει να είναι πίσω από τον SOCKS Server και ο άλλος να είναι σε δίκτυο εξωτερικά από τον SOCKS Server. Ο σταθμός που βρίσκεται πίσω από τον SOCKS Server εγκαθιστά μια δικτυακή βιβλιοθήκη, η οποία λειτουργεί ως ενδιάμεσο επίπεδο μεταξύ των εφαρμογών και του επιπέδου μεταφοράς (UDP, TCP). Έτσι κάθε φορά που μια εφαρμογή χρησιμοποιεί κάποιες κλήσεις σε socket, αυτές οι κλήσεις διάφανα προς την εφαρμογή μεταφράζονται στην αντίστοιχη κλήση που υπάρχει στην βιβλιοθήκη που χρησιμοποιεί ο μηχανισμός και υλοποιεί την σύνδεση με τον απέναντι σταθμό με χρήση του SOCKS Server.

Το βασικό μειονέκτημα του συγκεκριμένου μηχανισμού είναι πως πάντα οι συνδέσεις πρέπει να αρχικοποιούνται από τους σταθμούς που βρίσκονται πίσω από τον SOCKS Server. Ετσι ο SOCKS θεωρείται ένας μονοκατευθυντήριος μηχανισμός.

Όταν ένας εσωτερικός σταθμός θέλει να δημιουργήσει μια σύνδεση με κάποιον IPv6 εξωτερικό σταθμό στέλνει ένα αίτημα στον SOCKS Server με όρισμα το Πλήρως Καθορισμένο Όνομα Διαχειριστικού Τμήματος (Fully Qualified Domain Name - FQDN) του IPv6 σταθμού. Με την σειρά του ο SOCKS Server βρίσκει την αντιστοίχηση του ονόματος στην IPv6 διεύθυνση και στέλνει μια ψεύτικη IPv4 διεύθυνση στον εσωτερικό σταθμό, η οποία ουσιαστικά παίζει το ρόλο του αντιπροσώπου του IPv6 σταθμού στον IPv4 σταθμό. Από εκείνη τη στιγμή δημιουργούνται δύο συνδέσεις: μία IPv4 TCP μεταξύ του εσωτερικού σταθμού και

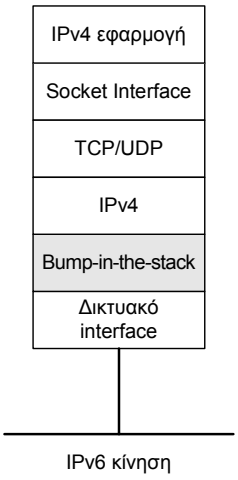
του SOCKS Server και μια TCP ή UDP IPv6 μεταξύ του SOCKS Server και του εξωτερικού IPv6 σταθμού.

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι οι εφαρμογές δεν χρειάζονται καμία μετατροπή προκειμένου να συνεργαστούν με την συγκεκριμένη τεχνική, αφού όλη η δουλειά γίνεται από το ενδιάμεσο επίπεδο δικτυακών κλήσεων (socket calls) που εγκαθίσταται στον εσωτερικό σταθμό.



Bump-in-the-stack

Ο μηχανισμός Bump-in-the-stack (BIS), ο οποίος περιγράφεται στο RFC 2767, λειτουργεί με το να παρεμβαίνει στα IP πακέτα ενός σταθμού μεταξύ της IP στοίβας και της δικτυακής κάρτας, και να τα μεταφράζει από IPv4 σε IPv6 και αντίστροφα, ανάλογα με το αν είναι εισερχόμενα ή εξερχόμενα.



Πρέπει και στα δύο άκρα μιας σύνδεσης να έχουν εγκατασταθεί συγκεκριμένες μονάδες, προσαρμοσμένες στο λειτουργικό σύστημα που χρησιμοποιείται, που θα εκτελούν τη μετάφραση αυτή μεταξύ του IPv4 και του IPv6.

Αποτελείται από τρεις βασικές μονάδες:

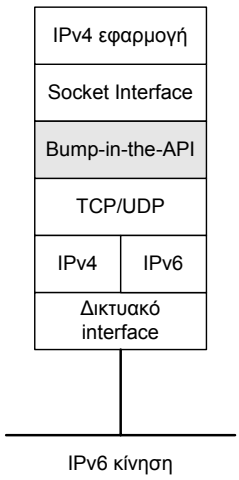
- Μεταφραστής (Translator): Μεταφράζει τα πακέτα από IPv4 σε IPv6 και αντίστροφα.

- Αναλυτής Ονομάτων (Extension Name Resolver): Εξυπηρετεί τα DNS αιτήματα των εφαρμογών.

- Χαρτογράφος Διευθύνσεων (Address Mapper): Διαχειρίζεται τον IPv4 χώρο διευθύνσεων του συστήματος που χρησιμοποιεί τον bump-in-the-stack μηχανισμό.

Bump-in-the-API

Ο μηχανισμός Bump-in-the-API (BIA), ο οποίος περιγράφεται στο RFC 3338, λειτουργεί παρόμοια με το μηχανισμό Bump-in-the-stack, αλλά κάνει τη μετάφραση των εξερχόμενων πακέτων προτού αυτά δημιουργηθούν, επεμβαίνοντας στο API (Application Programming Interface). Είναι πιο «ελαφρύς» μηχανισμός σε σχέση με το bump-in-the-stack.



Και οι δύο μηχανισμοί έχουν το πλεονέκτημα ότι δεν απαιτούν καμία μετατροπή των υπαρχουσών εφαρμογών, και άρα είναι κατάλληλοι για περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει ο κώδικας παλιών IPv4 εφαρμογών ώστε να τροποποιηθούν κατάλληλα για το IPv6.

Η βασική τους διαφορά είναι ότι ενώ ο μηχανισμός bump-in-the-stack είναι κατάλληλος για συστήματα χωρίς καθόλου IPv6 στοίβα, ο bump-in-the-API είναι κατάλληλος για συστήματα που διαθέτουν IPv6 στοίβα, αλλά όπου υπάρχουν βέβαια εφαρμογές που δεν υποστηρίζουν το IPv6.

Και οι δύο μηχανισμοί έχουν σημαντικούς περιορισμούς, όπως το ότι υποστηρίζουν μόνο unicast και όχι multicast επικοινωνία και δεν μπορούν να μεταφράσουν επιλογές του IPv4 σε αντίστοιχες επιλογές του IPv6 και αντίστροφα. Επίσης, όπως συμβαίνει και με το NAT-PT, για εφαρμογές (όπως το FTP) που ενσωματώνουν τις IP διευθύνσεις στο επίπεδο εφαρμογής, χρειάζεται να γίνει μετάφραση των ενσωματωμένων αυτών διευθύνσεων με τη χρήση κατάλληλης Πύλης Επιπέδου Εφαρμογών (Application Level Gateway). Αυτό, αποτρέπει τη χρήση νέων πρωτοκόλλων, που λειτουργούν με αυτόν τον τρόπο, σε συνδυασμό με τον μηχανισμό Bump-in-the-API και έτσι μειώνει την χρησιμότητα του μηχανισμού αυτού.

Επομένως, οι μηχανισμοί bump-in-the-stack και bump-in-the-API είναι σχεδιασμένοι κυρίως για την αρχική φάση της μετάβασης από το IPv4 στο IPv6 και για εφαρμογές του IPv4 οι οποίες για διάφορους λόγους δεν είναι δυνατόν να μετατραπούν ώστε να δουλεύουν με το IPv6.

Υποστήριξη λειτουργιών IPv6 από εξοπλισμό και λογισμικό

Στη παρούσα ενότητα παρουσιάζονται πληροφορίες για συσκευές και λογισμικό που υποστηρίζουν υπηρεσίες IPv6. Παρέχονται επίσης συνοπτικές πληροφορίες για την ενεργοποίηση του πρωτοκόλλου IPv6 σε διάφορα λειτουργικά συστήματα και δρομολογητές.

Λειτουργικά συστήματα

Δεν είναι δύσκολο να συμπεράνει κανείς ότι η πληθώρα των προσωπικών υπολογιστών που βασίζουν τη λειτουργία τους σε γνωστά λειτουργικά συστήματα (*operating systems*) υποστηρίζουν σήμερα πρωτόκολλα IPv6. Οι διαφορετικές εκδόσεις των Windows (Vista, XP, 2000), Mac OS (Jaguar OSX 10.2, Panther OSX 10.3, Tiger OSX 10.4), Sun Solaris (8, 9), οι διανομές GNU/Linux (Fedora Core, RedHat Enterprise, Scientific Linux, κλπ) και οι διανομές BSD (FreeBSD, NetBSD, OpenBSD, κλπ) υποστηρίζουν λειτουργίες IPv6.

Μάλιστα, στα Windows Vista το πρωτόκολλο IPv6 ενεργοποιείται αυτόματα από την εγκατάσταση του λειτουργικού συστήματος (στα Windows XP υπάρχει υποστήριξη του πρωτοκόλλου IPv6, αλλά δεν γίνεται αυτόματη ενεργοποίηση κατά την εγκατάσταση).

Στις περισσότερες διανομές των ελεύθερων λειτουργικών συστημάτων (GNU/Linux και τα διάφορα BSD) η υποστήριξη για το πρωτόκολλο IPv6, ενεργοποιείται αυτόματα).

Λογισμικό - Εφαρμογές

Όπως και με τα λειτουργικά συστήματα, η πλειονότητα των δικτυακών εφαρμογών παρέχει ήδη υποστήριξη για το πρωτόκολλο IPv6.

Βέβαια για να είναι δυνατή η χρήση του πρωτοκόλλου IPv6 από τις εφαρμογές που το υποστηρίζουν πρέπει αυτό να είναι ενεργοποιημένο σε επίπεδο λειτουργικού συστήματος.

Από τα προγράμματα πλοήγησης στο Διαδίκτυο (web browsers), όλοι οι ευρέως διαδομένες εφαρμογές (Internet Explorer, Mozilla Browser, Mozilla Firefox, Opera, Konqueror, κ.λπ.) υποστηρίζουν το πρωτόκολλο IPv6. Μάλιστα, όταν το πρωτόκολλο IPv6 είναι ενεργοποιημένο, οι εφαρμογές αυτές προσπαθούν να εντοπίσουν πρώτα την IPv6 διεύθυνση του εκάστοτε εξυπηρετητή, και αν αποτύχουν τότε δοκιμάζουν την IPv4 διεύθυνση. Το γεγονός αυτό δημιουργεί μια καθυστέρηση όταν ο εκάστοτε εξυπηρετητής δεν υποστηρίζει το πρωτόκολλο IPv6, πράγμα που οδηγεί ορισμένους χρήστες σε απενεργοποίηση του IPv6. Βέβαια η ορθή λύση για το πρόβλημα είναι να κάνουν τη μετάβαση στο πρωτόκολλο IPv6 οι εξυπηρετητές και όχι να απενεργοποιούν το πρωτόκολλο IPv6 οι χρήστες. Ας σημειωθεί ότι οι δημοφιλέστερες εφαρμογές εξυπηρέτησης σελίδων (IIS, Apache κ.λπ.) ήδη υποστηρίζουν το πρωτόκολλο IPv6, και δεν βάζουν εμπόδια στη μετάβαση.

Όπως και με τι εφαρμογές πλοήγησης, έτσι και οι περισσότερες εφαρμογές ανάγνωσης ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (Outlook, Mozilla Mail, Mozilla Thunderbird, Evolution, Kmail κ.λπ.) υποστηρίζουν το πρωτόκολλο IPv6. Αντίστοιχη υποστήριξη υπάρχει και από τα προγράμματα διακίνησης ηλεκτρονικού ταχυδρομείου

Όμως και για όλες τις υπόλοιπες δικτυακές υπηρεσίες (π.χ. μεταφορά αρχείων, απομακρυσμένη πρόσβαση κ.λπ.) η πληθώρα εφαρμογών χρήστη αλλά και η πληθώρα εφαρμογών εξυπηρετητή, υποστηρίζουν πια το πρωτόκολλο IPv6.

Ηλεκτρονικές συσκευές ευρείας κατανάλωσης – Consumer Electronics

Είναι κοινά αποδεκτό ότι δεν υπάρχουν αρκετές ηλεκτρονικές συσκευές ευρείας κατανάλωσης που υποστηρίζουν λειτουργίες διασύνδεσης μέσω IP. Οι εταιρίες, όμως, που αναπτύσσουν το λογισμικό για τις συσκευές αυτές

έχουν ήδη αρχίσει να προσφέρουν κατάλληλο λογισμικό και μια σαφώς επεκτεινόμενη γκάμα προϊόντων προσφέρονται στην αφορά. Ήδη μπορεί κανείς να παραγγείλει PDAs για πλοήγηση στο Διαδίκτυο μέσω IPv6, ψηφιακές κάμερες συνεχώς συνδεμένες με το Διαδίκτυο, φωτογραφικές μηχανές με ασύρματη πρόσβαση και δυνατότητα αποστολής ηλεκτρονικών μηνυμάτων, κλπ.

Δικτυακές Συσκευές

Οι δικτυακές συσκευές, και κύρια οι δρομολογητές, από όλες σχεδόν τις γνωστές εταιρίες του χώρου (Cisco, Juniper, Alcatel, Exterme, κ.λπ.) υποστηρίζουν εδώ και αρκετό χρονικό διάστημα το πρωτόκολλο IPv6.

Ακόμη και παλαιότερα μοντέλα υπάρχουν νεότερες εκδόσεις του αντίστοιχου λογισμικού των δρομολογητών που προσφέρει υποστήριξη του πρωτόκολλου IPv6. Βέβαια για τις παλαιότερες συσκευές η υποστήριξη παρέχεται από το λογισμικό και δεν υπάρχει υποβοήθηση από το υλικό, πράγμα που οδηγεί σε περιορισμένη απόδοση.

Για το λόγο αυτό είναι καλύτερο να χρησιμοποιούνται συσκευές που έχουν υποβοήθηση από το υλικό στην υποστήριξη του πρωτόκολλου IPv6.

Η ύπαρξη, λοιπόν, των κατάλληλων δικτυακών συσκευών δεν αποτελεί τροχοπέδη στην εφαρμογή του πρωτοκόλλου IPv6. Αντίθετα, η υποστήριξη του από τις συσκευές είναι σχεδόν πλήρης και οι εταιρίες κατασκευής δικτυακών συσκευών προωθούν όσο μπορούν την εφαρμογή του.

Πιστοποίηση υποστήριξης λειτουργιών IPv6

Τα προϊόντα που υποστηρίζουν υπηρεσίες IPv6 αυξάνουν σταδιακά στην αγορά. Είναι επομένως επιθυμητός ο διαχωρισμός τους σε ομάδες ανάλογα με τις λειτουργίες IPv6 που υποστηρίζουν. Το έργο *IPv6 Ready Logo Program* (www.ipv6ready.org)

διαχωρίζει τα διαθέσιμα προϊόντα σε κατηγορίες ανάλογα με τις λειτουργίες που υποστηρίζουν και παρέχει εγγυήσεις ότι κάθε προϊόν λειτουργεί απρόσκοπτα με άλλα αντίστοιχα προϊόντα διαφορετικών κατασκευαστών και υλοποιήσεων. Με τον τρόπο αυτό ο τελικός χρήστης με ελάχιστες ή καθόλου τεχνικές γνώσεις μπορεί να προμηθευτεί ένα προϊόν με υποστήριξη IPv6 και να είναι σίγουρος για την λειτουργία του.

Η πιστοποίηση των προϊόντων στο *IPv6 Ready Logo Program* πραγματοποιείται σε τρεις φάσεις. Στην πρώτη φάση πιστοποιείται η υποστήριξη των βασικών λειτουργιών IPv6 και επιβεβαιώνεται η διαλειτουργικότητά (*interoperability*) του με άλλες υλοποιήσεις από διαφορετικούς κατασκευαστές. Στη δεύτερη φάση, πιστοποιείται η συμμόρφωση του προϊόντος με αυστηρότερες τεχνικές προδιαγραφές που έχει θέση η αρμόδια επιτροπή. Τέλος, η φάση τρία πιστοποιεί επιπλέον την υλοποίηση λειτουργιών ασφάλειας IPSec (*IP Security*). Τα προϊόντα ανάλογα με τις προδιαγραφές που ικανοποιούν φέρουν ασημένιο ή χρυσό λογότυπο, όπως εμφανίζονται στις διπλανές εικόνες.

Ενεργοποίηση του πρωτοκόλλου IPv6 σε τελικά συστήματα

Στις επόμενες παραγράφους περιγράφουμε τα βασικά βήματα που πρέπει να ακολουθήσει ο τελικός χρήσης για μια αντιπροσωπευτική ομάδα λειτουργικών συστημάτων ώστε να συνδεθεί σε ένα τοπικό δίκτυο που προσφέρει υπηρεσίες διασύνδεσης IPv6. Στην περίπτωση αυτή, το τελικό σύστημα λειτουργεί ως τελικός δικτυακός κόμβος (*end host*) και τις απαραίτητες λειτουργίες δρομολόγησης αναλαμβάνει ο τοπικά συνδεδεμένος δρομολογητής (με δυνατότητες προώθησης πακέτων IPv6).

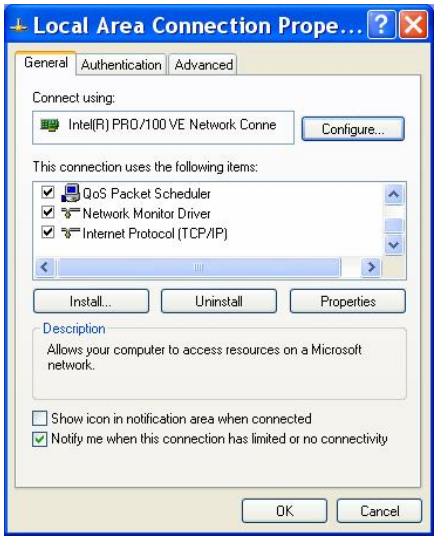
Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι τα σύγχρονα λειτουργικά συστήματα επιτρέπουν τη ρύθμιση ενός συστήματος ώστε να λειτουργεί είτε ως τελικό δικτυακό κόμβο είτε ως δρομολογητής. Αυτό σημαίνει ότι ένα τοπικό δίκτυο IPv6 μπορεί εύκολα να δημιουργηθεί με τη χρήση ενός τυπικού τελικού συστήματος και ενός συνηθισμένου λειτουργικού συστήματος. Σε κάθε περίπτωση, πριν εγκαταστήσουμε υπηρεσίες δρομολόγησης IPv6 σε ένα τοπικό δίκτυο θα πρέπει να έχουμε αποφασίσει εκ των προτέρων με ποιον τρόπο θα συνδεθούμε (βλέπε ενότητα «Μηχανισμοί Μετάβασης») με τον υπόλοιπο (IPv6) Διαδίκτυο. Οι τεχνικές λεπτομέρειες για τη συγκρότηση ενός δρομολογητή IPv6 δεν καλύπτονται στις επόμενες παραγράφους και ο αναγνώστης θα πρέπει να ανατρέξει στα τεχνικά φυλλάδια των κατασκευαστών.

Microsoft Windows XP (Service Pack 2)

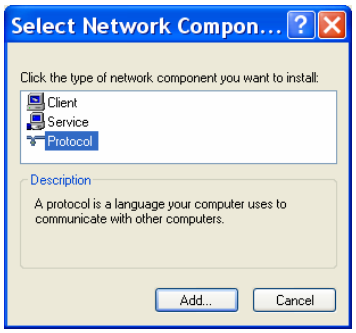
Το πρωτόκολλο IPv6 δεν είναι ενεργοποιημένο εξαρχής στην εγκατάσταση των Microsoft Windows XP. Για να το εγκαταστήσουμε μπορούμε να ακολουθήσουμε δύο διαδικασίες, μία με τη χρήση του γραφικού περιβάλλοντος εργασίας και μία με τη χρήση της γραμμής εντολών (*command line*).

Γραφικό περιβάλλον

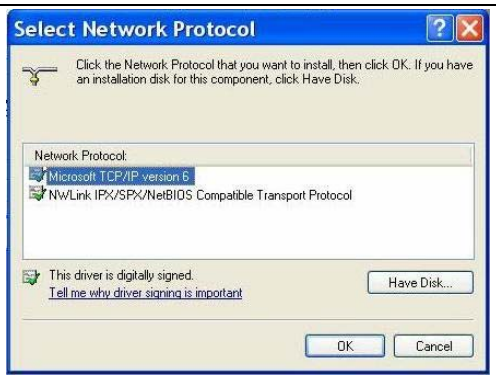
Από το *Control Panel* επιλέγουμε το παράθυρο που αφορά τη συγκρότηση (*configuration*) της κάρτας δικτύου του υπολογιστή. Στις γενικές πληροφορίες για τη κάρτα σύνδεσης μπορούμε να δούμε ότι είναι εξαρχής ενεργοποιημένο το πρωτόκολλο IPv4, το οποίο περιγράφεται ως *Internet Protocol (TCP/IP)*.



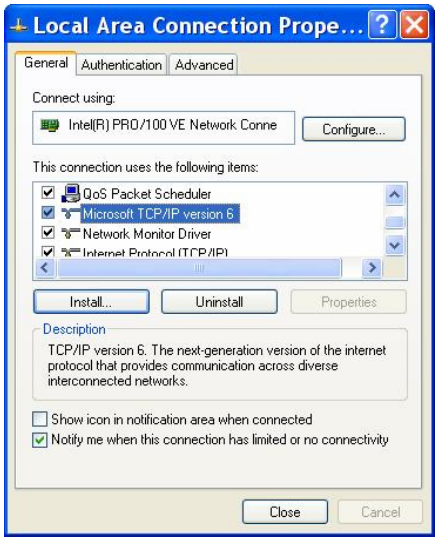
Επιλέγουμε την προσθήκη νέου πρωτοκόλλου, όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα.



Επιλέγουμε την προσθήκη του πρωτοκόλλου IPv6 με την περιγραφή *Microsoft TCP/IP version 6*.

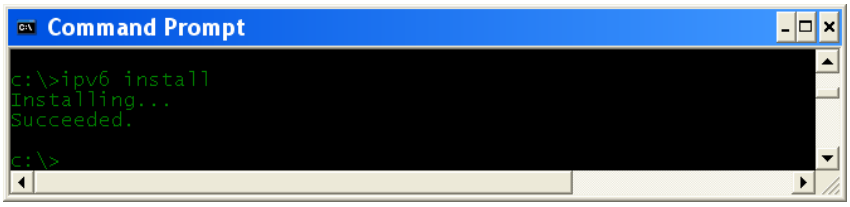


Επιλέγοντας την επιλογή *OK* στο προηγούμενο παράθυρο, επιστρέφουμε στην αρχική εικόνα, όπου και μπορεί να επιβεβαιωθεί η ενεργοποίηση του πρωτοκόλλου IPv6.



Γραμμή εντολών

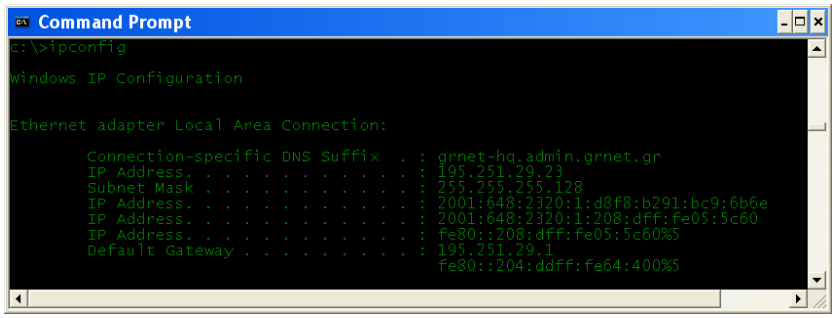
Εναλλακτικός τρόπος ενεργοποίησης του πρωτοκόλλου IPv6 στα Microsoft Windows XP είναι η εκτέλεση της εντολής *ipv6 install* στο παράθυρο γραμμής εντολών (*command prompt*).



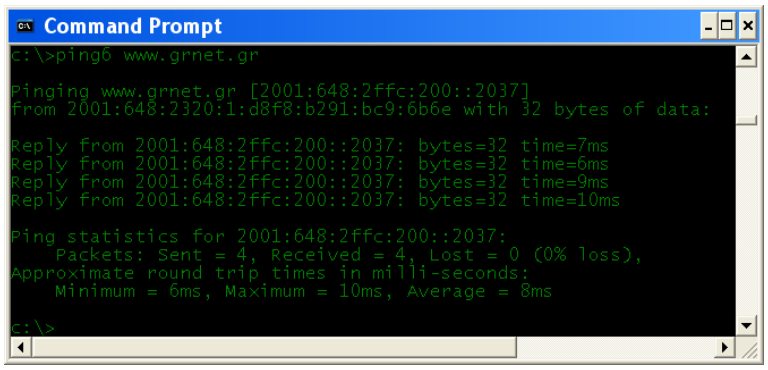
Σημειώνεται ότι και στις δύο περιπτώσεις ενεργοποίηση του πρωτοκόλλου IPv6 δεν απαιτείται η επανεκκίνηση του υπολογιστή.

Επιβεβαίωση διασύνδεσης IPv6

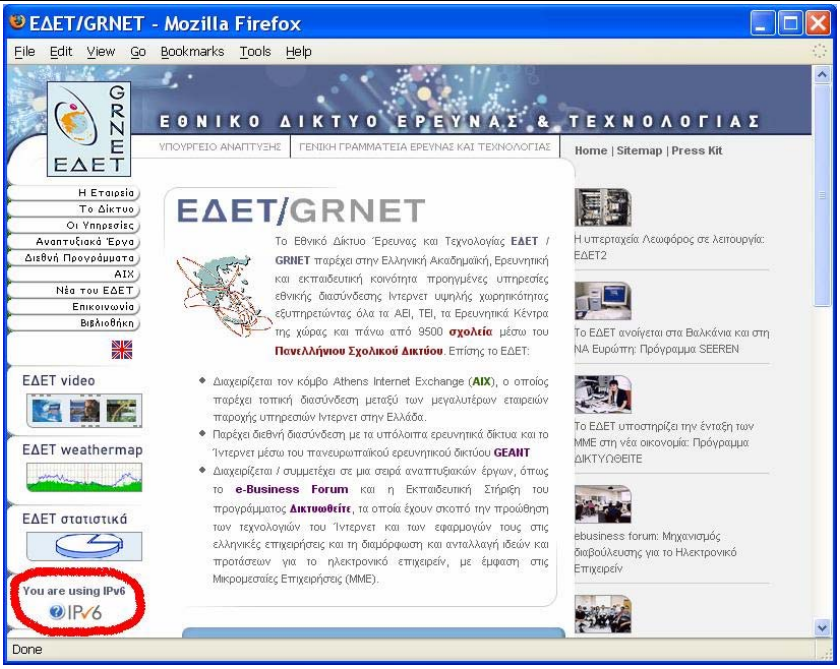
Μπορούμε να δούμε τις διευθύνσεις που αυτομάτως δημιουργεί το λειτουργικό σύστημα με την λήψη μηνυμάτων *route advertisement* από το τοπικό δρομολογητή του δικτύου. Εκτελούμε την εντολή *ipfconfig* στη γραμμή εντολών (*command prompt*).



Για να επιβεβαιώσουμε την επιτυχημένη διασύνδεση IPv6 μπορούμε να εκτελέσουμε την εντολή *ping6* από ένα παράθυρο γραμμής εντολών προς μία διεύθυνση IPv6, πχ *ping6* www.grnet.gr (βλ. επόμενη εικόνα) ή *ping6 ::1*



ή να συνδεθούμε σε ένα δικτυακό τόπο που υποστηρίζει το τρόπο διασύνδεσης IPv6 (βλ. επόμενη εικόνα)

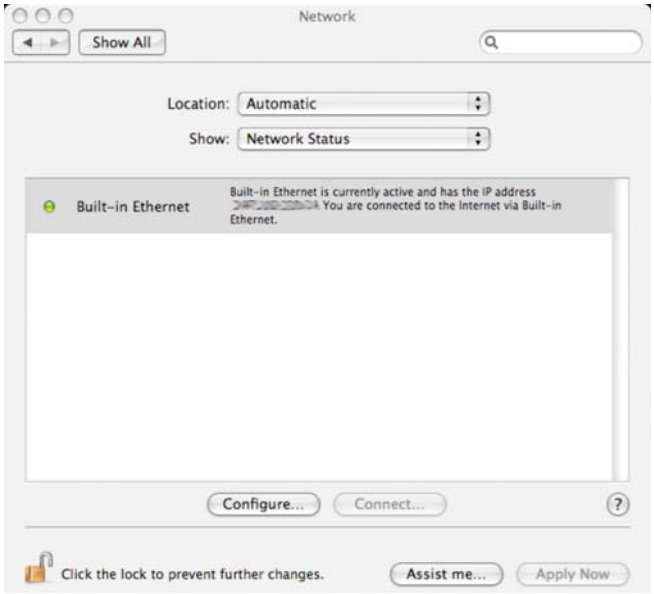


Mac OS 10.4

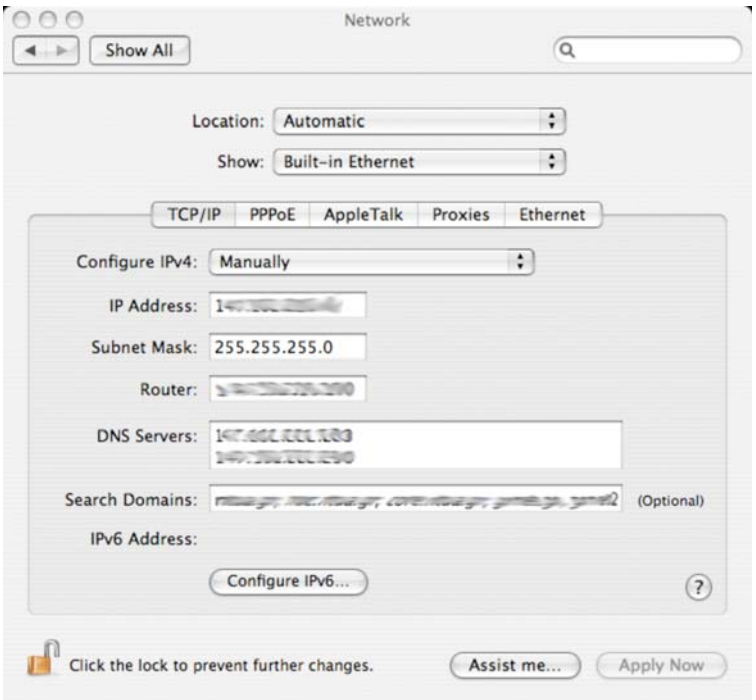
Στα λειτουργικά συστήματα Mac OS το πρωτόκολλο IPv6 είναι εξαρχής εγκατεστημένο και ενεργοποιημένο. Σε περίπτωση που το πρωτόκολλο IPv6 έχει απενεργοποιηθεί στο παρελθόν και επιθυμούμε να το ενεργοποιήσουμε εκ νέου, ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα.

Από το *System Preferences* επιλέγουμε το εικονίδιο *Network*.

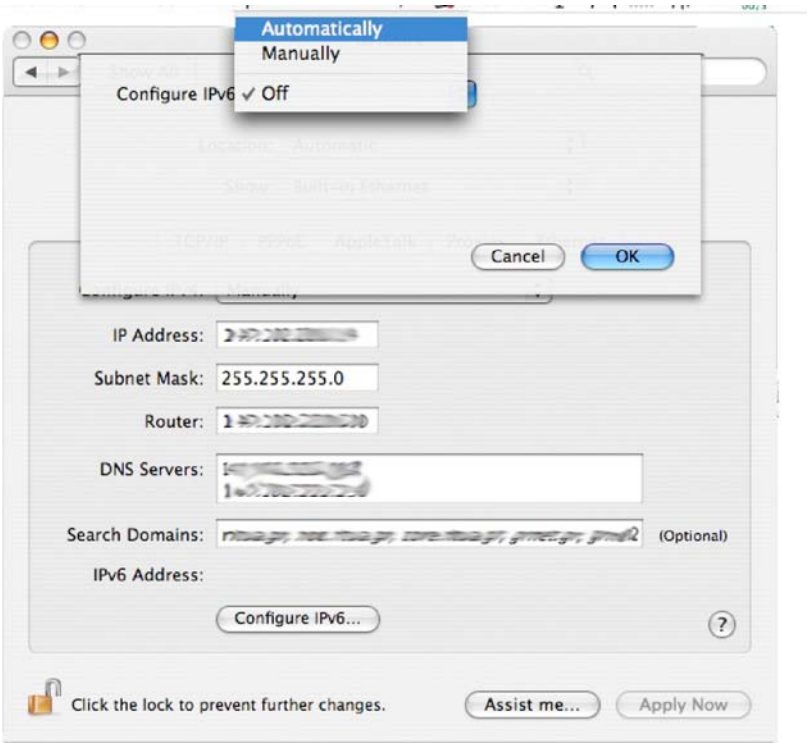
Στο παράθυρο που εμφανίζεται (βλ. επόμενη εικόνα) επιλέγουμε τη κάρτα δικτύου στην οποία θέλουμε να ενεργοποιήσουμε το πρωτόκολλο IPv6.



Επιλέγουμε την επιλογή *Configure* οπότε εμφανίζεται το παράθυρο με τις δικτυακές ρυθμίσεις. Φροντίζουμε να είναι επιλεγμένο το υποφάκελος (tab) *TCP/IP* οπότε εμφανίζονται οι βασικές ρυθμίσεις για το πρωτόκολλο IPv4.



Επιλέγουμε *Configure IPv6* οπότε εμφανίζεται ένα παράθυρο διαλόγου (βλ. επόμενη εικόνα), στο οποίο μας επιτρέπεται να απενεργοποιήσουμε το πρωτόκολλο IPv6 και να το ρυθμίσουμε είτε χρησιμοποιώντας αυτόματες παραμέτρους είτε εισάγοντας παραμέτρους με χειροκίνητο τρόπο.



Αφού συμπληρώσουμε τις επιθυμητές ρυθμίσεις, επιλέγουμε διαδοχικά *OK* και *Quit* στις ρυθμίσεις ώστε να επιβεβαιώσουμε την αποθήκευση των αλλαγών. Οι νέες παράμετροι στη συγκρότηση θα ισχύσουν αμέσως.

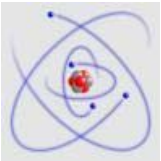
Η υποστήριξη λειτουργιών IPv6 παρέχονται από την έκδοση *Mac OS 10.2 "Jaguar"*.

Sun Solaris 9.0

Κατά τη φάση εγκατάστασης του λειτουργικού συστήματος ο διαχειριστής μπορεί να επιλέξει την εγκατάσταση και ενεργοποίηση του πρωτοκόλλου IPv6. Σε περίπτωση που αυτό δε συμβεί, ο κύριος διαχειριστής του συστήματος (root administrator) θα πρέπει να δημιουργήσει ένα άδειο αρχείο */etc/hostname6(interface)* και να επανεκκινήσει το σύστημα.

Αντίστοιχη διαδικασία μπορεί να εφαρμοστεί από την έκδοση Solaris 8.0 αλλά απαιτείται επιπλέον η εκτέλεση της εντολής *ifconfig (interface) inet6 plumb up* και η εκτέλεση των *scripts* στον κατάλογο */etc/init.d/inetinit*.

Scientific Linux 4.2



Όπως συμβαίνει με όλες τις διανομές λειτουργικών συστημάτων *Linux*, η πιο πρόσφατη έκδοση της διανομής Scientific Linux 4.2 υποστηρίζει εξ αρχής το πρωτόκολλο IPv6 χωρίς ο τελικός χρήστης να χρειαστεί να ακολουθήσει κάποια συγκεκριμένη διαδικασία. Ο κύριος διαχειριστής του συστήματος (root administrator) μπορεί να ανατρέξει στο αρχείο */etc/sysconfig/network* και να αναζητήσει τις τυπικές εγγραφές συγκρότησης *NETWORKING_IPV6=yes* and *IPV6INIT=yes* καθώς και στο αρχείο */etc/sysconfig/network-scripts/ifcfg-eth0* το οποίο ρυθμίζει τη κάρτα δικτύου.

FreeBSD 6.1

Κατά τη φάση εγκατάστασης του λειτουργικού συστήματος ο διαχειριστής μπορεί να επιλέξει την εγκατάσταση και ενεργοποίηση του πρωτοκόλλου IPv6. Σε περίπτωση που αυτό δε συμβεί, ο κύριος διαχειριστής του συστήματος (root administrator) μπορεί να ανατρέξει στο αρχείο */etc/rc.conf* και να εισάγει την εγγραφή συγκρότησης *ipv6_enable="YES"*. Αντίστοιχη διαδικασία μπορεί να εφαρμοστεί από την έκδοση 4.0 και άνω.

NetBSD 3.0

Λειτουργίες IPv6 υποστηρίζονται εξ' αρχής από το λειτουργικό σύστημα από την έκδοση 1.5 και άνω.

OpenBSD 3.9

Λειτουργίες IPv6 υποστηρίζονται εξ' αρχής από το λειτουργικό σύστημα από την έκδοση 2.7 και άνω.

Προκλήσεις κατά την εφαρμογή της τεχνολογίας IPv6

Η επένδυση στην τεχνολογία IPv6 από τις εταιρίες που δραστηριοποιούνται στο χώρο του Διαδικτύου απαιτεί μακροχρόνιο σχεδιασμό και προσεκτικές επενδύσεις. Στις επόμενες παραγράφους θα αναλύσουμε μερικές από τις προκλήσεις που οφείλουν να αντιμετωπίσουν οι εταιρίες στην προσπάθειά τους αυτή

Απαίτηση για νέα προϊόντα ή υπηρεσίες

Δεν θα πρέπει κανείς να αναμένει ότι ο μέσος χρήστη θα δείξει ενδιαφέρον για την τεχνολογία IPv6 μόνο και μόνο επειδή είναι «νέα τεχνολογία»! Ο τελικός χρήστης ενδιαφέρεται κυρίως για τις υπηρεσίες που απολαμβάνει και τις εφαρμογές που του προσφέρονται. Σημαντικός παράγοντας, επίσης, για τον τελικό χρήστη αποτελεί το κόστος από τη χρήση υπηρεσιών και προϊόντων. Αντιστοίχως, δεν θα πρέπει κανείς να αναμένει ότι οι εταιρίες που προσφέρουν προϊόντα και υπηρεσίες θα δείξουν ενδιαφέρον για την τεχνολογία IPv6 μόνο και μόνο επειδή είναι «νέα τεχνολογία»! Οι εταιρίες αποσκοπούν κυρίως στην αύξηση των κερδών τους και την ικανοποίηση των πελατών τους. Υπό αυτό το πρίσμα, η τεχνολογία IPv6 δεν πρόκειται να εφαρμοστεί αν δεν αποδειχτεί ώριμη τεχνολογία κατάλληλη για την παροχή εμπορικών προϊόντων και υπηρεσιών. Δεδομένου, όμως, ότι η τεχνολογία θα ανοίξει στο μεσοπρόθεσμο μέλλον σημαντικές εμπορικές προοπτικές, οι εταιρίες οφείλουν να προετοιμάζονται για να εκμεταλλευτούν την τεχνολογία στο μέλλον.

Υιοθέτηση νέων τεχνολογιών

Η υιοθέτηση της τεχνολογίας IPv6, όπως και κάθε νέας τεχνολογίας, από τις εταιρίες επηρεάζεται από τους ακόλουθους πέντε παράγοντες:

- Σχετικό πλεονέκτημα (*relative advantage*), δηλαδή κατά πόσο το πρωτόκολλο IPv6 υπερτερεί σε σχέση με το υφιστάμενο πρωτόκολλο IPv4.

- Συμβατότητα (*compatibility*), δηλαδή κατά πόσο οι υποδομές IPv6 μπορούν να αναπτυχθούν παράλληλα με τις υφιστάμενες υποδομές IPv4.

- Πολυπλοκότητα (*complexity*), δηλαδή κατά πόσο εύκολο ή δύσκολο είναι να κατανοήσει ή να χρησιμοποιήσει κανείς την τεχνολογία IPv6.

- Δοκιμή (*triability*), δηλαδή κατά πόσο εύκολο είναι να εφαρμοστεί η τεχνολογία IPv6 σε κάποιο δοκιμαστικό περιβάλλον και να εξαχθούν συμπεράσματα.

- Παρατήρηση (*observability*), δηλαδή κατά πόσο είναι ευκρινή τα θετικά αποτελέσματα από την εφαρμογή της τεχνολογίας IPv6.

Μία εταιρία μπορεί να αξιολογήσει σχετικά εύκολα και με μικρό κόστος τους πρώτους δύο παράγοντες. Η συλλογή πληροφοριών και η τεχνική ανάλυση των πλεονεκτημάτων του πρωτοκόλλου IPv6 καθώς και η συμβατότητα του με το πρωτόκολλο IPv4 μπορούν εύκολα να πραγματοποιηθούν. Περισσότερο δύσκολη και επίπονη είναι η εκτίμηση για το πόσο εύκολο εφαρμόζεται η τεχνολογία IPv6 σε μια υφιστάμενη υποδομή, είτε πρόκειται για το δίκτυο κορμού ενός Παρόχου Υπηρεσιών Διαδικτύου (*Internet Service Provider - ISP*), είτε πρόκειται για την πλατφόρμα ανάπτυξης λογισμικού, είτε πρόκειται για για την διαχείριση προσφερόμενων υπηρεσιών, κλπ. Σημαντικό κόστος και χρόνος, επίσης, απαιτείται για την εφαρμογή και αξιολόγηση της τεχνολογίας IPv6 σε δοκιμαστικό περιβάλλον. Παρόλο την απαραίτητη επένδυση σε υλικούς και ανθρώπινους πόρους, σε αυτό το στάδιο μια εταιρία αποκτά συνήθως την απαραίτητη τεχνογνωσία για την ανάπτυξη νέων προϊόντων ή υπηρεσιών. Τέλος, η εξαγωγή ασφαλών αποτελεσμάτων από την εφαρμογή της τεχνολογίας μπορεί να απαιτεί σημαντικό χρόνο και πιθανότατα κόστος για μια εταιρία.

Ανάπτυξη επιχειρηματικών μοντέλων

Το πρώτο βήμα για την ανάπτυξη ενός νέου εμπορικού προϊόντος ή υπηρεσίας είναι η δημιουργία κατάλληλου επιχειρησιακού μοντέλου (*business model*). Η εταιρία θα πρέπει να μελετήσει τα συγκριτικά πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την μετάβαση στο πρωτόκολλο IPv6. Θα πρέπει να εκτιμηθεί το κόστος επένδυσης σε υλικό (*hardware*), λογισμικό (*software*) καθώς και το κόστος για τον σχεδιασμό και την υλοποίηση τους. Παράλληλα θα πρέπει να αξιολογηθεί το κόστος για την

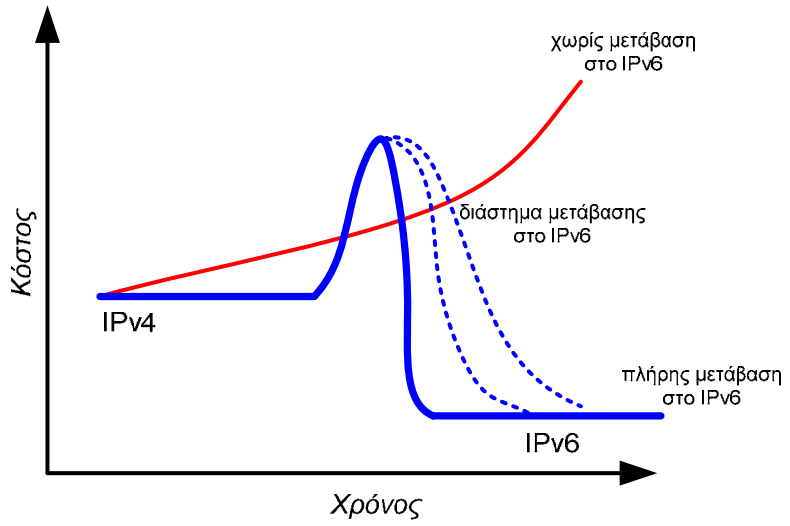
εκπαίδευση υπαλλήλων, προώθηση της νέας τεχνολογίας στους πελάτες κλπ. Όσο αναφορά τον περιορισμό του κόστους, σημαντικοί παράγοντες είναι:

- Μείωση του κόστους για την παροχή των υπαρχόντων υπηρεσιών.
- Νέα έσοδα –και συνεπώς κέρδη– από την παροχή νέων προηγμένων υπηρεσιών.
- Αύξηση της ποιότητας στις προσφερόμενες υπηρεσίες ή προϊόντα.
- Ανάλυση τυχών τεχνικών εμποδίων – Μείωση του επιχειρηματικού ρίσκου.
- Εναλλακτικές τεχνολογίες για την παροχή νέων προηγμένων υπηρεσιών.

Άλλοι παράγοντες που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη αλλά δύσκολα μπορούν να εκτιμηθούν ή κοστολογηθούν είναι:

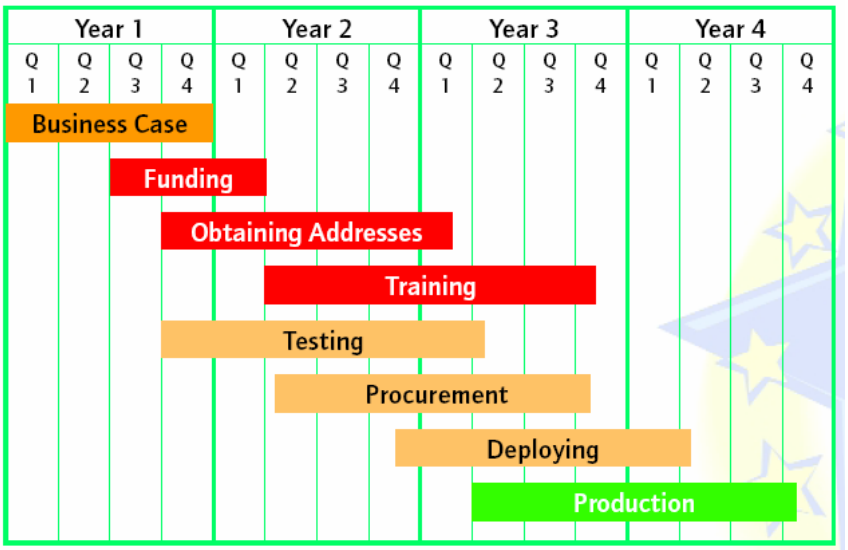
- Αύξηση της προστιθέμενης αξίας της εταιρίας, πχ αύξηση της ευελιξίας κατά την παροχή υπηρεσιών.
- Αντιμετώπιση «συναισθηματικών» ή άλλων ενδοιασμών, κυρίως από όσους δεν γνωρίσουν τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η τεχνολογία IPv6.
- Κατανόηση γιατί η τεχνολογία IPv6 μπορεί να είναι παράγοντας καινοτόμων αλλαγών σε μία εταιρία
- Ευθυγράμμιση με τους στρατηγικούς στόχους της εταιρίας.

Το επόμενο διάγραμμα δείχνει ότι το κόστος για την παροχή υπηρεσιών με χρήση της τεχνολογίας IPv6 αυξάνει κατά την μεταβατική περίοδο, δηλαδή κατά την περίοδο που υποστηρίζονται από κοινού υπηρεσίες IPv4 και IPv6. Στο μέλλον, όταν δηλαδή θα υποστηρίζονται μόνο υπηρεσίες IPv6 το κόστος αναμένεται να μειωθεί σημαντικά. Θα πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη ότι αναβολή μετάβασης στο IPv6 και η χρήση τεχνικών με βάση το πρωτόκολλο IPv4 ενδέχεται να οδηγήσει στην σταδιακή αύξηση του κόστους παραγωγής και επομένως μείωσης του εταιρικού κέρδους.



Μακροχρόνιος σχεδιασμός

Το επόμενο σχεδιάγραμμα δείχνει τα ενδεικτικά βήματα που πρέπει να ακολουθήσει ένα Πάροχος Υπηρεσιών Διαδικτύου για να προσφέρει υπηρεσίες διασύνδεσης στους συνδρομητές του. Όπως προκύπτει από το διάγραμμα, το διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ της απόφασης να προσφερθεί μια νέα υπηρεσία IPv6 και την προσφορά προς τους πελάτες είναι αρκετά μεγάλο. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί από τις εταιρίες στην εκπαίδευση των υπαλλήλων τους και την αναβάθμιση του υλικού και λογισμικού.



Μοντέλο ανάπτυξης

Το μοντέλο υιοθέτησης νέων τεχνολογιών που εφαρμόζει μια εταιρία κατά τη ανάπτυξης της επηρεάζει σημαντικά το χρόνο και το κόστος για τη πλήρη μετάβαση στην τεχνολογία IPv6. Εταιρίες έχουν να επιλέξουν μεταξύ δύο εναλλακτικών μοντέλων:

- Να εφαρμόσουν την τεχνολογία IPv6 με τον ίδιο ακριβώς τρόπο χρησιμοποιούν σήμερα την τεχνολογία IPv4 και σταδιακά να αντικαταστήσουν ολοκληρωτικά την τεχνολογία IPv4.

- Να εφαρμόσουν την τεχνολογία IPv6 εκμεταλλευόμενες τα πλεονεκτήματα που προσφέρει και σταδιακά να περιορίσουν τη χρήση της τεχνολογίας IPv4.

Υπάρχουν αρκετοί λόγοι που μια εταιρία μπορεί να επιλέξει το πρώτο μοντέλο ανάπτυξης, πχ δεν υπάρχει η απαραίτητη τεχνογνωσία για την μετάβαση, το κόστος είναι απαγορευτικό, δεν υπάρχει πλεονέκτημα ως προς τις υπηρεσίες που προσφέρονται, κλπ. Ανάλογοι λόγοι ωθούν μια εταιρία να ακολουθήσει το δεύτερο μοντέλο, πχ η εγκατεστημένη υποδομή μπορεί να αναβαθμιστεί εύκολα, η εταιρία χρηματοδοτεί την ανάπτυξη νέων υπηρεσιών, υπάρχει ανάλογη τεχνογνωσία, κλπ.

Πρότυπα

Η εξάπλωση της τεχνολογίας IPv6 δεν μπορεί να επιτευχθεί χωρίς την υιοθέτηση προτύπων (*standards*), δηλαδή ευρέως αποδεκτών τεχνικών προδιαγραφών που περιγράφουν με ακρίβεια τη συμπεριφορά των συσκευών. Τα πρότυπα εξασφαλίζουν την απρόσκοπτη διαλειτουργικότητα (*interoperability*) υλικού και λογισμικού που έχουν αναπτυχθεί από διαφορετικούς κατασκευαστές. Τα πρότυπα που αφορούν την τεχνολογία IPv6 αναπτύσσονται κυρίως από το *Internet Engineering Task Force - IETF* (www.ietf.og). Το IETF έχει σχηματίσει μια σειρά από ομάδες εργασίας (*working groups*) οι οποίες αναπτύσσουν ανοικτά πρότυπα, δηλαδή πρότυπα που είναι διαθέσιμα χωρίς εμπορικούς ή άλλους περιορισμούς.

Τα σημαντικότερα πρότυπα που αφορούν την τεχνολογία είναι IPv6 έχουν πλέον ολοκληρωθεί την τελευταία πενταετία και μία σειρά από *Internet RFC (Request for Commnets)* είναι πλέον διαθέσιμα. Αυτό επιβεβαιώνεται και από την πληθώρα των

εμπορικών προϊόντων (υλικό και λογισμικό) που βρίσκει κανείς εγκατεστημένα σε υπάρχοντα δίκτυα IPv6. Σήμερα, η διαδικασία προτυποποίησης από τις ομάδες εργασίας του IETF συνεχίζεται καθώς εξακολουθούν να αναπτύσσουν και να προκύπτουν νέα πρότυπα σε εξειδικευμένες θεματικές περιοχές, πχ σχετικά με την κινητικότητα (mobility) χρηστών.

Δράσεις σχετικές με το IPv6

Ελλάδα

Το Εθνικό Δίκτυο Έρευνας & Τεχνολογίας - ΕΔΕΤ (www.grnet.gr) έχει πλήρως αναβαθμίσει το ερευνητικό και εκπαιδευτικό δίκτυο της χώρας, ώστε να υποστηρίζει προηγμένες υπηρεσίες διασύνδεσης με χρήση του πρωτοκόλλου IPv6. Ήδη, από τον Δεκέμβριο του 2003, το μητροπολιτικό δίκτυο της Αθήνας επιτρέπει τη διασύνδεση των εκπαιδευτικών ιδρυμάτων της ευρύτερης περιοχής της Αττικής σε υπερ-υψηλές ταχύτητες, με χρήση πρωτοκόλλων IPv4 και IPv6. Οι προηγμένες υπηρεσίες διασύνδεσης IPv6 επεκτάθηκαν μέσα στο πρώτο εξάμηνο του 2004 σ' ολόκληρη την Ελλάδα, ταυτόχρονα με την υλοποίηση του νέου δικτύου κορμού ΕΔΕΤ2 (www.grnet.gr/grnet2). Η προσπάθεια αυτή θα προσφέρει στην ερευνητική και εκπαιδευτική κοινότητα της χώρας δυνατότητες ισότιμης συνεργασίας με αντίστοιχους φορείς της Ευρώπης, Αμερικής και Ασίας ενώ θα προωθήσει την έρευνα μέσα στα ακαδημαϊκά και ερευνητικά μας ιδρύματα.

Το Πανελλήνιο Σχολικό Δίκτυο - ΠΣΔ (www.sch.gr) αποτελεί το δίκτυο μέσω του οποίου διασυνδέεται η πλειονότητα των σχολείων της πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης καθώς και διοικητικές μονάδες του Υπουργείου Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων (ΥΠΕΠΘ). Το ΠΣΔ προσφέρει σύγχρονες υπηρεσίες τηλεματικής στην εκπαιδευτική κοινότητα ενώ έχει βραβευτεί σε Ευρωπαϊκό επίπεδο για τις υπηρεσίες που προσφέρει. Το ΠΣΔ ξεκίνησε το 2005 την πιλοτική εισαγωγή υπηρεσιών διασύνδεσης IPv6 στα πλαίσια του ευρωπαϊκού προγράμματος Information Society Technologies (IST), και ειδικότερα του έργου *"6NET –Large Scale International IPv6 Pilot Network"* (www.6net.org). Το ΠΣΔ ήταν από τα πρώτα σχολικά δίκτυα (μαζί με το καταλανικό, το πορτογαλικό και μερικά άλλα) που παρείχαν υπηρεσίες διασύνδεσης IPv6. Ένας από τους βασικούς λόγους της προσπάθειας αυτή ήταν η μείωση του κόστους για τη διαχείριση του δικτύου και η αποφυγή τεχνικών προβλημάτων από τη έλλειψη δημόσιων διευθύνσεων IPv4 (public IPv4 addresses). Σήμερα το ΠΣΔ έχει πλήρως ενεργοποιήσει υπηρεσίες διασύνδεσης IPv6 στο δίκτυο κορμού του ενώ

μερικές εκατοντάδες σχολεία συνδέονται με IPv6 πάνω από γραμμές πρόσβασης ADSL. Το ΠΣΔ έχει εισάγει κατάλληλες προδιαγραφές στον εξοπλισμό που προμηθεύεται τα τελευταία χρόνια ώστε να υποστηρίζει τις απαραίτητες λειτουργίες.

Το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – ΕΜΠ (www.ntua.gr) προσφέρει στους χρήστες του ένα σύνολο από υπηρεσίες βασισμένες στο πρωτόκολλο IPv6. Από το 2004, προσφέρονται σε όλα τα εργαστήρια του ΕΜΠ υπηρεσίες διασύνδεσης IPv6 και οι τελικοί χρήστες μπορούν άμεσα να συνδεθούν στα τοπικά δίκτυα χωρίς άλλες διαδικασίες, πχ αίτηση για απόδοση διεύθυνσης IP. Το Κέντρο Δικτύων του ΕΜΠ προσφέρει βασικές υπηρεσίες δικτύου, όπως εφαρμογή φίλτρων περιορισμού κίνησης -με χρήση *access control lists (ACL)*- για την προστασία των συστημάτων, υπηρεσίες ονοματολογίας (*Domain Name Services - DNS*), πρόσβασης IPv6 στους κύριους εξυπηρετητές *WWW*, *FTP* και *NEWS* του Ιδρύματος. Τέλος, η υπηρεσία ασύρματης πρόσβασης (WiFi) υποστηρίζει διασύνδεση IPv6 εφόσον ο χρήστης χρησιμοποιείται τη διαδικασία ταυτοποίησης με βάση τα πρότυπα 802.1x ενώ υπάρχουν πλάνα για την υποστήριξη υπηρεσιών Mobile IPv6 στο άμεσο μέλλον.

Η Ομάδα Εργασίας Z4 για το ηλεκτρονικό επιχειρείν του E-businessForum (www.ebusinessforum.gr) με την συνεργασία εγχώριων εταιριών έχει ως σκοπό τη διερεύνηση των επιχειρηματικών προοπτικών στην Ελλάδα σχετικών με τη χρήση της τεχνολογίας IPv6. Στις συναντήσεις της Ομάδας Εργασίας προβλήθηκαν εφαρμογές που εκμεταλλεύονται τις δυνατότητες της τεχνολογίας IPv6, παρουσιάστηκαν δράσεις και υλοποιήσεις στην Ελλάδα και αναλύθηκε η χρήση της στα ευρυζωνικά δίκτυα πρόσβασης, στην παραγωγή λογισμικού και στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Στόχος της Ομάδας Εργασίας Z4 είναι επίσης η αναζήτηση μοντέλων συνεργασίας μεταξύ εμπορικών εταιριών και ερευνητικών ιδρυμάτων που να αφορούν το σχεδιασμό και παροχή καινοτόμων υπηρεσιών καθώς και η εκπόνηση προτάσεων προς την Πολιτεία για τη προώθηση της τεχνολογίας IPv6 στην επιχειρηματική κοινότητα της χώρας.

Ευρώπη

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει δώσει από καιρό ιδιαίτερη βαρύτητα στην ανάπτυξη της τεχνολογίας IPv6, κρίνοντάς την απαραίτητη για την επίτευξη των στόχων της Κοινωνίας της Πληροφορίας και των δράσεων στο πλαίσιο της πρωτοβουλίας *eEurope* (Σύνοδος Λισσαβόνας) . Τα τελευταία χρόνια δαπανήθηκαν σημαντικά ποσά στη χρηματοδότηση της έρευνας πάνω στην τεχνολογία IPv6 και τα πρώτα θετικά αποτελέσματα είναι εμφανή: Το ευρωπαϊκό ερευνητικό δίκτυο GÉANT2 (www.geant.net), το οποίο διασυνδέει περισσότερα από 3500 πανεπιστήμια σε 30 χώρες, έχει ήδη ενσωματώσει πρωτόκολλα IPv6 στο δίκτυο παραγωγής του, ενώ σημαντικά ερευνητικά προγράμματα, όπως τα *6NET – Large Scale International Pilot Network* (www.6net.org) και *Euro6IX - European IPv6 Internet Exchanges Backbone* (www.euro6ix.net), βοήθησαν στη συστηματική ανάπτυξη και δοκιμή νέων εφαρμογών και υπηρεσιών βασισμένων στην τεχνολογία IPv6. Η συμβολική «ενεργοποίηση» της τεχνολογίας IPv6 στην ΕΕ πραγματοποιήθηκε τον Ιανουάριο 2004 (www.global-ipv6.net), όπου και διακηρύχθηκε η πρόθεση της ΕΕ για την υιοθέτηση της τεχνολογίας IPv6 για την έρευνα και την ανάπτυξη. Σήμερα το *European IPv6 Task Force* (www.ipv6.eu) αποτελεί συμβουλευτικό όργανο στην χάραξη της πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης σχετικά με την τεχνολογία IPv6 και συντονίζει τα *IPv6 Task Forces* που έχουν ήδη δημιουργηθεί στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες. Οι προσπάθειες της ΕΕ επικεντρώνονται πλέον στην εισαγωγή της τεχνολογίας IPv6 στη βιομηχανία χωρίς όμως να έχουν γίνει σημαντικά βήματα προς την κατεύθυνση αυτή.

Κόσμος

Η χρήση της τεχνολογίας IPv6 εξαπλώνεται με ταχύτατο ρυθμό στην Ασία και ειδικότερα στις χώρες Ιαπωνία, Νότιο Κορέα, Κίνα, και Ινδία. Η έλλειψη διαθέσιμων

δημόσιων διευθύνσεων IPv4 (*public IPv4 addresses*) θέλει σημαντικούς περιορισμούς στην ανάπτυξη του Διαδικτύου και κατά προέκταση στην οικονομική ανάπτυξη στις περιοχές αυτές. Για το λόγο αυτό, η εξάπλωση της τεχνολογίας IPv6 είναι συχνά κυβερνητική και εμπορική προτεραιότητα. Σήμερα, δεν είναι υπερβολή να υποστηρίζει κανείς ότι συγκεκριμένες περιοχές στην Ασία έχουν αναπτύξει τις μεγαλύτερες και πλέον προηγμένες υποδομές πάνω στην τεχνολογία IPv6 και πλέον «εξάγουν» την τεχνογνωσία τους προς την Ευρώπη και Αμερική.

Το κυβερνητικό πρόγραμμα *e-Japan Priority Policy Program* στην Ιαπωνία έχει σκοπό την ανάπτυξη των προϋποθέσεων για την ανάπτυξη υποδομής που θα επιτρέπει την εύκολη και ασφαλή ανταλλαγή πληροφοριών σε κάθε σημείο και με κάθε μέσο. Η υποδομή, η οποία αποκαλείται *Ubiquity Network,* θα χρησιμοποιεί την τεχνολογία IPv6 ως συνδετικό κρίκο για τη διασύνδεση ασύρματων δικτύων και δικτύων 3G. Αντίστοιχα σημαντικό έργο συντελείται στο πρόγραμμα *Widely Integrated Distributed Environment – WIDE* (www.wide.ad.jp) με την συμμετοχή περισσοτέρων από επτακοσίων εμπορικών εταιριών, δημόσιων οργανισμών και ερευνητικών ιδρυμάτων. Αποτελέσματα του προγράμματος WIDE αποτέλεσε η ανάπτυξη ελεύθερου λογισμικού για IPv6, IPsec και Mobile IPv6 για πλατφόρμες λογισμικού BSD στο πλαίσιο του έργου KAME (www.kame.net). Αξίζει να σημειωθεί ότι στην Ιαπωνία παρέχονται ήδη εμπορικές υπηρεσίες διασύνδεσης πάνω από ευρυζωνικά δίκτυα από δεκάδες εταιρίες (http://www.ipv6style.jp/en/statistics/services/index.shtml). Αντιστοίχως, η κυβέρνηση της Νότια Κορέας (www.nca.or.kr) υποστηρίζει επίσης πολλές ερευνητικές δραστηριότητες όπως την ανάπτυξη πιλοτικών δικτύων (6NGIX, 6KANET), την ανάπτυξη λογισμικού και εφαρμογών IPv6, εγκαθίδρυση οργανισμού πιστοποίησης (certification angency) για τα προϊόντα και τις υπηρεσίες IPv6 κλπ. Σε αντίθεση με την Ιαπωνία, η Νότιος Κορέα δεν δίνει οικονομικά κίνητρα στις επιχειρήσεις για να αναπτύξουν τις υποδομές τους. Η Κίνα έχει ξεκινήσει το έργο *China Next Generation Internet – CNGI* το οποίο θα συνδέσει ακαδημαϊκά και ερευνητικά ιδρύματα στην χώρα. Επιπλέον, η Κίνα προετοιμάζεται να προσφέρει 3G υπηρεσίες κατά τη διάρκεια των

Ολυμπιακών Αγώνων του 2008 χρησιμοποιώντας την IPv6 υποδομή της. Στην Ινδία, η ρυθμιστική αρχή των τηλεπικοινωνιών (*Telecom Regulatory Authority of India - TRAI*) υποχρέωσε την υποχρεωτική υποστήριξη της τεχνολογίας IPv6 για τα έργα e-Governance και εξέδωσε οδηγίες προς τους εγχώριους Παρόχους ώστε να επιταχύνει την εξάπλωση της τεχνολογίας IPv6.

Στην Βόρειο Αμερική και ειδικότερα στις ΗΠΑ, το ενδιαφέρον για την τεχνολογία IPv6 αυξάνεται με μικρό αλλά συνεχώς αυξανόμενο ρυθμό. Δεδομένου ότι δεν παρατηρείται έλλειψη διευθύνσεων IPv4, πολλές εταιρίες ή ερευνητικά κέντρα ανέβαλαν στο παρελθόν την ανάπτυξη των υποδομών με χρήση της τεχνολογίας IPv6. Στον ερευνητικό χώρο, η ομάδα *North America IPv6 Task Force – NAv6TF* (www.nav6tf.org) προωθεί την εξάπλωση της τεχνολογίας και συντονίζει το ερευνητικό έργο *Moonv6* (www.moonv6.org), Η ομάδα *NAv6TF* συνεργάζεται με δημόσιους και ερευνητικούς οργανισμούς των ΗΠΑ, πχ στο Υπουργείο Άμυνας (*Department of Defence - DoD*) για την ανάπτυξη υποδομών IPv6 στους κυβερνητικούς οργανισμούς.

Τα εθνικά ερευνητικά δίκτυα των ΗΠΑ *Internet2* (www.internet2.edu) και του Καναδά *Canarie* (www.canarie.ca) υποστηρίζουν εδώ και χρόνια υπηρεσίες διασύνδεσης IPv6 προς τα διάφορα πανεπιστήμια και τα περιφερειακά (*regional*) ερευνητικά δίκτυα. Στο εμπορικό χώρο, πολλοί κυβερνητικοί φορείς ή εταιρίες έχουν ξεκινήσει τον σχεδιασμό τους για την μετάβαση στο πρωτόκολλο IPv6. Το αμερικανικό υπουργείο Άμυνας (*Department of Defence - DoD*) και το «Γραφείο Διαχείρισης και Προϋπολογισμού» (*Office of Management and Budget - OMB*) έχουν ζητήσει από όλους τους κυβερνητικού οργανισμούς να αναπτύξουν υποδομές βασισμένες στο πρωτόκολλο IPv6 μέχρι το 2008. Οι περισσότεροι οργανισμοί καταγράφουν τις ελλείψεις ή αδυναμίες στον ήδη εγκατεστημένο δικτυακό εξοπλισμό και προγραμματίζουν την αναβάθμιση του στα επόμενα δύο χρόνια. Ως επακόλουθο, εταιρίες που παρέχουν υπηρεσίες σε κυβερνητικούς οργανισμούς, πχ εθνικής εμβέλειας ISP, παρέχουν ήδη υπηρεσίες IPv6, πχ 6PE, και συνεχίζουν την προετοιμασία τους ώστε να συμμετέχουν στους επόμενους

κυβερνητικούς διαγωνισμούς για νέες υπηρεσίες IPv6. Τέλος, μια άλλη κατηγορία εταιριών αναβαθμίζουν την υποδομή τους για διαφορετικούς εμπορικούς η τεχνικούς λόγους. Για παράδειγμα, Microsoft αναβαθμίζει το παγκόσμια υποδομή της ώστε να δοκιμαστεί το λογισμικό IPv6 που περιλαμβάνεται στα Windows Vista, ενώ μεγάλοι πάροχοι τηλεπικοινωνιακών συνδέσεων – *Cable Operators (US MSOs, COMCAST, Time Warner)* σχεδιάζουν την αναβάθμιση της υποδομής τους για την διευκόλυνση διαχείρισης του εγκατεστημένου εξοπλισμού.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην Αμερική σε αντίθεση με την Ευρώπη, η προώθηση της τεχνολογίας IPv6 στοχεύεις στην ανάπτυξη υποδομών στον εμπορικό χώρο, πχ υποδομές ISPs, παρά στον ερευνητικό χώρο, πχ ερευνητικά δίκτυα.

Μικρότερης σημασίας κινήσεις έχουν κατά καιρούς πραγματοποιηθεί στην Λατινική Αμερική και Αφρική όπου υπάρχουν ελάχιστες διάσπαρτες υποδομές, από ερευνητικούς φορείς. Οι περιοχές αυτές αναμένεται να αναπτύξουν υποδομές που εξαρχής θα βασίζονται στην τεχνολογία IPv6.

Προτάσεις προς τις επιχειρήσεις και την Πολιτεία

Είναι προς το συμφέρον των χρηστών του Διαδικτύου καθώς και των επιχειρήσεων που δραστηριοποιούνται γύρω από αυτό η συνέχιση της εξάπλωσης της τεχνολογίας IPv6. Για τα επόμενα χρόνια οι τεχνολογίες IPv4 και IPv6 θα συνυπάρχουν και ανταγωνιστικές υπηρεσίες θα είναι διαθέσιμες στους τελικούς χρήστες. Είναι σημαντικό, λοιπόν, οι εταιρίες να συνεχίσουν να δίνουν προτεραιότητα στην εφαρμογή της τεχνολογίας IPv6 αποφεύγοντας, όμως, να διαταράξουν τις υπηρεσίες που θα συνεχίζουν να προσφέρονται μόνο μέσω IPv4. Η Πολιτεία οφείλει, από τη μεριά της, να δώσει κίνητρα προς τις εταιρίες ώστε να επενδύσουν στην τεχνολογία IPv6 και σε νέες καινοτόμες εφαρμογές. Δεν θα πρέπει ποτέ να παραγνωρίζεται ότι η υιοθέτηση της τεχνολογίας IPv6 από την αγορά μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο ως κύριο μοχλό την επιχειρηματικότητα των επιχειρήσεων και όχι με μοχλό την κρατική παρέμβαση.

Προτάσεις προς τις επιχειρήσεις

1. Η μετάβαση στο IPv6 απαιτεί καλό σχεδιασμό και κατάλληλη υλοποίηση. Οι διαδικασίες αυτές απαιτούν σημαντικό χρόνο και είναι επομένως απαραίτητος ο κατάλληλος προγραμματισμός.

2. Οι εταιρίες θα πρέπει να εκμεταλλεύονται τις προγραμματισμένες αναβαθμίσεις σε εξοπλισμό (υλικό ή λογισμικό) για να προμηθεύονται προϊόντα που υποστηρίζουν λειτουργίες IPv6. Οι σχετικές προδιαγραφές για τον υπό προμήθεια εξοπλισμό προτείνεται να υπάρχουν ακόμα και όταν δεν υπάρχουν άμεσα σχέδια της εταιρίας για την παροχή νέων προϊόντων.

3. Θα πρέπει να διασφαλιστεί ότι οι ήδη υπάρχουσες υπηρεσίες IPv4 δεν θα επηρεαστούν από τη μετάβαση στο IPv6. Η διατήρηση της ποιότητας και της ασφάλειας είναι σημαντικό να διατηρηθούν καθ' όλη τη διάρκεια της μετάβασης.

4. Οι εταιρίες μπορούν να συνεχίσουν τις προσπάθειες τους για την ενημέρωση των πελατών τους για τα πλεονεκτήματα της νέας τεχνολογίας.

Προτάσεις προς την Πολιτεία

1. Η Πολιτεία οφείλει να επενδύει στη δημιουργία κατάλληλων υποδομών έρευνας και ανάπτυξης για το IPv6, ή την ενίσχυση της δραστηριότητας για το IPv6 σε υπάρχουσες ερευνητικές υποδομές.

2. Η Πολιτεία οφείλει να διευκολύνει και να συντονίζει την ανταλλαγή τεχνογνωσίας για το IPv6 μεταξύ των ακαδημαϊκών και ερευνητικών φορέων.

3. Η Πολιτεία οφείλει να διευκολύνει τη συνεργασία μεταξύ ερευνητικών κέντρων και εταιριών για την εκτέλεση έρευνας ή δοκιμών σε θεματικές περιοχές που εμφανίζουν περιορισμένο εμπορικό ενδιαφέρον για τις εταιρίες αλλά προσφέρουν σημαντικά οφέλη στην κοινωνία, π.χ. η εκτέλεση δοκιμών διαλειτουργικότητας.

4. Η Πολιτεία μπορεί να συμμετέχει ενεργά στην εξάπλωση της τεχνολογίας IPv6, δεδομένου ότι οι προμήθειες των κρατικών οργανισμών καταλαμβάνουν σημαντικό μερίδιο στην αγορά, ζητώντας υποστήριξη του IPv6 τόσο από τις υποδομές, όσο και από τις εφαρμογές. Σε κάθε περίπτωση, οι κρατικοί οργανισμοί θα πρέπει να τεκμηριώσουν ότι χρήση της τεχνολογίας IPv6 συμβάλει στη εύρυθμη λειτουργία τους

5. Η Πολιτεία θα πρέπει να σχεδιάσει και να υλοποιήσει τη μετάβαση των υπαρχουσών υποδομών της και εφαρμογών της σε IPv6.

6. Η Πολιτεία θα πρέπει να απαιτεί υποστήριξη, αλλά και ενεργοποίηση, του IPv6 στις νέες υποδομές που υλοποιεί ή συγχρηματοδοτεί.

7. Η Πολιτεία να προωθεί ενεργά τη χρήση IPv6 προτάσσοντας, στις σχετικές οδηγίες πρόσβασης στις υποδομές και τις εφαρμογές που προσφέρει, τη μέθοδο που χρησιμοποιεί το IPv6, έναντι αυτής που χρησιμοποιεί το IPv4.

8. Η Πολιτεία οφείλει να ενημερώνει τους πολίτες, αλλά και τις επιχειρήσιες για τα πλεονεκτήματα της νέας τεχνολογίας, και τι ευκαιρίες που μπορεί να προσφέρει.

9. Η Πολιτεία οφείλει να δίνει οικονομικά κίνητρα στις επιχειρήσεις να επενδύσουν στην τεχνολογία IPv6 και να αναπτύξουν προηγμένες εφαρμογές ή υπηρεσίες.

Ας σημειωθεί πως η θεσμοθέτηση κανονισμών ή ο ορισμός αυστηρών χρονοδιαγραμμάτων από την Πολιτεία, που επιβάλλουν την ανάπτυξη υποδομών IPv6 μπορεί βραχυπρόθεσμα να επιταχύνουν την εξάπλωση της τεχνολογίας IPv6 αλλά μακροπρόθεσμα λειτουργούν ανασταλτικά εξαιτίας της μη-αποδοτικής χρήσης των διαθέσιμων (ανθρώπινων ή όχι) πόρων.

Είναι καλύτερα τα όποια μέτρα, για επιχειρήσεις και πολίτες, να δίνουν κίνητρα για τη μετάβαση αλλά να μην είναι υποχρεωτικά.

Διαπιστώσεις

Το πρωτόκολλο IPv6 έχει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με το πρωτόκολλο IPv4. Τα πλεονεκτήματα αυτά, που έχουν ήδη αναφερθεί, κα τα οφέλη που αυτά συνεπάγονται είναι ικανοί λόγοι για την αποδοχή του νέου πρωτόκολλου και την ευρεία εφαρμογή του.

Όμως φαίνεται πως η μετάβαση στο πρωτόκολλο IPv6 δεν γίνεται με ικανοποιητικούς ρυθμούς.

Από τους κυριότερους λόγους για αυτό είναι η μεγάλη εξάπλωση του IPv4 και το γεγονός ότι ακόμη «δουλεύει».

Υπάρχει λοιπόν απροθυμία από μεγάλο μέρος παρόχων να κάνουν τη μετάβαση, καθώς δεν υφίστανται και σχετική «πίεση» από τους πελάτες τους. Οι πάροχοι δεν βλέπουν τα άμεσα (οικονομικά) οφέλη, καθώς και το πώς θα επιμερίσουν το κόστος της μετάβασης.

Το κοινό από την πλευρά του, αλλά και οι επιχειρήσεις, δεν είναι κατάλληλα ενημερωμένοι ώστε να γνωρίζουν τα πλεονεκτήματα και τα οφέλη και να διεκδικούν υποστήριξη του πρωτόκολλου IPv6 από τους παρόχους. Επιπλέον, οι επιχειρήσεις αγνοούν τις νέες δυνατότητες για επιχειρηματική δραστηριότητα «γύρω» από την τεχνολογία IPv6 και δεν επιχειρούν να αξιοποιήσουν τη νέα τεχνολογία.

Είναι, βέβαια, αλήθεια πως δεν υπάρχει ακόμη εκείνη η επιτυχημένη εφαρμογή (killer application) που θα είναι από μόνη της ικανή να δώσει ώθηση στην αποδοχή και εφαρμογή του πρωτόκολλου IPv6.

Όμως, είναι ευρέως αποδεκτό πως, αναπόφευκτα, το πρωτόκολλο IPv6 θα αντικαταστήσει το πρωτόκολλο IPv4.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση θέλει να υπάρξει σχετικά άμεση αποδοχή του πρωτόκολλου IPv6 για να μη βρεθεί σε μειονεκτική θέση. Για το λόγο αυτό η Ευρωπαϊκή Επιτροπή χρηματοδοτεί σχετικά έργα.

Στην Ελλάδα η κατάσταση δεν είναι ικανοποιητική, καθώς οι όποιες προσπάθειες υποστήριξης του πρωτόκολλου IPv6 και μετάβασης σε αυτό, γίνονται κύρια στον ερευνητικό και ακαδημαϊκό χώρο.

Το ελληνικό κράτος έχοντας αναγνωρίσει τη σημασία της τεχνολογίας IPv6, κάνει ενέργειες για την προώθηση της εφαρμογής της. Όμως, φαίνεται πως χρειάζονται επιπλέον μέτρα για την προώθηση της ευρείας αποδοχής του πρωτόκολλου IPv6.

Μεταξύ άλλων, τα νέα δίκτυα που υλοποιούνται θα πρέπει να «χτίζονται» πάνω στην τεχνολογία IPv6, ώστε να μην διαιωνίζεται η υπάρχουσα κατάσταση με το πρωτόκολλο IPv4.

Επιπλέον τα υπάρχοντα δίκτυα, στις σχεδιαζόμενες αναβαθμίσεις ή επεκτάσεις τους θα πρέπει να περιλάβουν την μετάβασή τους στο πρωτόκολλο IPv6.

Η μετάβαση αυτή απαιτεί σωστό σχεδιασμό και οργάνωση προκειμένου να γίνει με οικονομικό τρόπο και χωρίς να προκαλέσει προβλήματα στη λειτουργία του δικτύου. Οι τεχνικές και η εμπειρία από αντίστοιχες περιπτώσεις υπάρχουν και η μετάβαση είναι εφικτή.

Αρκεί μόνο να γίνει κατανοητό ότι η μετάβαση θα επιφέρει οφέλη και πως η όποια καθυστέρηση στην αποδοχή και εφαρμογή της τεχνολογίας IPv6, οδηγεί σε μειονεκτική θέση.

Βιβλιογραφία

Βιβλία

W. Stallings, *"Data and Computer Communications"*, Fifth Edition, Prentice Hall International Editions, ISBN 0 -13-571274–2.

W. R. Stevens, *"Network Programming"*, Volume 1, 2nd Edition.

A. Tanenbaum, *"Computer Networks, 4th Edition"*, Prentice Hall, ISBN: 0-13-066102-3, 2003.

Απόστολος Γκάμας, Πέτρος Γανός, Αναστάσιος Καραλιωτας, Χρήστος Μπούρας, Δημήτριος Πρίμπας, Κωνσταντίνος Στάμος, *"IPv6: Το Πρωτόκολλο και οι Τεχνικές Μεταβάσεως και Μεταφερσιμότητας"*, CTIpress, 2005.

Σχετικά RFCs

RFC 1809, *"Using the Flow Label Field in IPv6"*, C. Partridge, June 1995.

RFC 1918, *"Address Allocation for Private Internets"*, Y. Rekhter, B. Moskowitz, D. Karrenberg, G. J. de Groot, E. Lear, February 1996.

RFC 2008, *"Implications of Various Address Allocation Policies for Internet Routing"*, Y. Rekhter, T. Li, October 1996.

RFC 2080, *"RIPng for IPv6"*, G. Malkin, R. Minnear, January 1997.

RFC 2205, *"Resource ReSerVation Protocol (RSVP) - Version 1 Functional Specification"*, R. Braden, L. Zhang, S. Berson, S. Herzog, S. Jamin, September 1997.

RFC 2292, *"Advanced Sockets API for IPv6"*, W. Stevens, M. Thomas, February 1998.

RFC 2373, *"IP Version 6 Addressing Architecture"*, R. Hinden, S. Deering, July 1998.

RFC 2374, *"An IPv6 Aggregatable Global Unicast Address Format"*, R. Hinden, M. O'Dell, S. Deering, July 1998.

RFC 2375, *"IPv6 Multicast Address Assignments"*, R. Hinden, S. Deering, July 1998.

RFC 2401, *"Security Architecture for the Internet Protocol"*, S. Kent, R. Atkinson, November 1998.

RFC 2460, *"Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification"*, S. Deering and R. Hinden, December 1998.

RFC 2461, *"Neighbor Discovery for IP Version 6 (IPv6)"*, T. Narten, E. Nordmark, W. Simpson, December 1998.

RFC 2462, *"IPv6 Stateless Address Autoconfiguration"*, S. Thomson, T. Narten, December 1998.

RFC 2463, *"Internet Control Message Protocol (ICMPv6) for the Internet Protocol Version 6 (IPv6) Specification"*, A. Conta, S. Deering, December 1998.

RFC 2473, *"Generic Packet Tunneling in IPv6 Specification"*, A. Conta, S. Deering, December 1998.

RFC 2474, *"Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers"*, K. Nichols, S. Blake, F. Baker, D. Black, December 1998.

RFC 2529, *"Transmission of IPv6 over IPv4 Domains without Explicit Tunnels"*, B. Carpenter, C. Jung, March 1999.

RFC 2545, *"Use of BGP-4 Multiprotocol Extensions for IPv6 Inter-Domain Routing"*, P. Marques, F. Dupont, March 1999.

RFC 2546 *"6Bone Backbone Routing Guidelines"*, A. Durand, B. Buclin, March 1999

RFC 2553, *"Basic Socket Interface Extensions for IPv6"*, R. Gilligan, S., Thomson, J. Bound, W. Stevens, March 1999.

RFC 2710, *"Multicast Listener Discovery (MLD) for IPv6"*, S. Deering, W. Fenner, B. Haberman, October 1999.

RFC 2732, *"Format for Literal IPv6 Addresses in URL's"*, R. Hinden, B. Carpenter, L. Masinter, December 1999.

RFC 2740, *"OSPF for IPv6"*, R. Coltun, D. Ferguson, J. Moy, December 1999.

RFC 2766, *"Network Address Translation - Protocol Translation (NAT-PT)"*, G. Tsirtsis, P. Srisuresh, February 2000.

RFC 2767, *"Dual Stack Hosts using the Bump-In-the-Stack Technique (BIS)"*, K. Tsuchiya, H. Higuchi, Y. Atarashi, February 2000.

RFC 2893, *"Transition Mechanisms for IPv6 Hosts and Routers"*, R. Gilligan, E. Nordmark, August 2000.

RFC 3031, *"Multiprotocol Label Switching Architecture"*, E. Rosen, A. Viswanathan, R. Callon, January 2001.

RFC 3056, *"Connection of IPv6 Domains via IPv4 Clouds"*, B. Carpenter, K. Moore, February 2001.

RFC 3175, *"Aggregation of RSVP for IPv4 and IPv6 Reservations"*, F. Baker, C. Iturralde, F. Le Faucheur, B. Davie, September 2001.

RFC 3315, *"Dynamic Host Configuration Protocol for IPv6 (DHCPv6)"*, R. Droms, Ed., J. Bound, B. Volz, T. Lemon, C. Perkins, M. Carney, July 2003.

RFC 3338, *"Dual Stack Hosts Using "Bump-in-the-API" (BIA)"*, S. Lee, M-K. Shin, Y-J. Kim, E. Nordmark, A. Durand, October 2002.

RFC 3344, *"IP Mobility Support for IPv4"*, C. Perkins, August 2002.

RFC 3513, *"IP Version 6 Addressing Architecture"*, R. Hinden, S. Deering, April 2003.

RFC 3587, *"IPv6 Global Unicast Address Format"*, R. Hinden, S. Deering, E. Nordmark, August 2003.

RFC 3596, *"DNS Extensions to Support IP Version 6"*, S. Thomson, C. Huitema, V. Ksinant, M. Souissi, October 2003.

RFC 3697, *"IPv6 Flow Label Specification"*, J. Rajahalme, A. Conta, B. Carpenter, S. Deering, March 2004.

Χρήσιμες διευθύνσεις

Διεθνή Forum

www.ipv6forum.org : The IPv6 Forum

www.ipv6tf.org : The IPv6 Portal

www.ap.ipv6tf.org : The Asia Pacific Task Force

www.ipv6style.jp/en/ : IPv6 Style

www.ietf.org : Internet Engineering Task Forces (IETF)

Εκδηλώσεις

www.global-ipv6.net : Global IPv6 Service Launch Event

www.ipv6-convergence-vienna.neglobal-ipv6.net

:IPv6 EU Expert Conference

www.ipv6.net.cn/2006/en/ : Global IPv6 Summit (China 2006)

www.isoc-au.org.au/ipv6summit/

: Global IPv6 Summit (Australia 2006)

www.ipv6-es.com : Global IPv6 Summit (Spain 2005)

www.ipv6.net.cn/summit/2005/: Global IPv6 Summit (China 2005)

www.ipv6.org.tw/summit/ : IPv6 Summit (Taiwan 2004)

Σχετικές Σελίδες στην Ελλάδα

www.grnet.gr : Εθνικό Δίκτυο Έρευνας και Τεχνολογίας

www.sch.gr : Πανελλήνιο Σχολικό Δίκτυο

www.ebusinessforum.gr : E-business Forum

Ερευνητικά δίκτυα – National Research Networks

www.geant.net : Δίκτυο GÉANT

abilene.internet2.edu : Internet2 – Δίκτυο Abilene

www.canarie.ca : Canarie – Δίκτυο Ca*net4

www.edu.cn : Δίκτυο CERNET

Ερευνητικά έργα

www.6net.org : Large-Scale International Pilot Network

www.6diss.org : IPv6 Dissemination & Exploitation

www.6init.org : IPv6 Internet Initiative

www.6link.org : IPv6 Project Linkage Cluster

www.6power.org : IPv6, QoS & Power Integration

www.6qm.org : IPv6 QoS Measurements

www.6winit.org : IPv6 Wireless Internet Initaitive

www.euro6ix.net : European IPv6 IX Backbone

satip6.tilab.com	: Satellite Broadband Multimedia System for IPv6 Access
www.ist-mind.org	: Mobile IP based Network Developments
www.ist-ipv6.org	: IPv6 Cluster – IPv6 Research & Development in Europe
www.wide.ad.jp	:Widely Integrated Distributed Environment – WIDE
www.kame.net	: KAME project

Προϊόντα – Υπηρεσίες

www.cisco.com/ipv6	: Cisco Systems
www.microsoft.com/ipv6	: Microsoft
www.ipv6day.org	: IPv6 Day
wwws.sun.com/software/solaris/ipv6/	:Solaris IPv6
www.tru64unix.compaq.com/internet/ipv6portingassistant	: IPv6 Porting Assistant