

Ραδιοδίκτυα Δεδομένων (Data) Τεχνολογίας TCP/IP

Εισηγητές:

Αναστάσιος Ζαχαρίου

Κωνσταντίνος Κράλλης, Δρ. Χημικός Μηχανικός

Δημήτριος Μητράκος, Δρ. Ηλεκτρολόγος Μηχανικός

Περίληψη

Ασύρματα δίκτυα μεταδόσεως πακέτων βασισμένα στα πρωτόκολλα TCP/IP άρχισαν να αναπτύσσονται στην δεκαετία 1980-1990 και οδήγησαν στην δημιουργία του AMPRnet ("Δίκτυο 44") που καλύπτει σήμερα όλη την υδρόγειο και χρησιμοποιεί μια μεγάλη ποικιλία από τεχνολογίες υλικού και λογισμικού για την σύνδεση ραδιοερασιτεχνικών σταθμών τόσο μεταξύ τους όσο και με άλλους κόμβους του Internet. Στον ελληνικό χώρο υφίστανται τέτοια δίκτυα που αποτελούν τμήματα του AMPRnet. Στο άρθρο αυτό εξετάζεται η δομή, η τεχνολογία υλικού και λογισμικού και η διοικητική οργάνωση και υποστήριξη των δικτύων αυτών καθώς και οι προοπτικές στον ελληνικό και διεθνή χώρο.

Abstract

Packet Radio networks based on the TCP/IP protocol suite were first developed in the eighties and led to the establishment of AMPRnet ("Net-44") which covers today the whole world and uses a wide variety of hardware and software technologies to link amateur radio stations to each other and to other Internet hosts. There are two operational TCP/IP packet radio networks today in Greece which are parts of AMPRnet. This article describes the structure, hardware and software technology, the administrative and support structure of these networks and the possibilities of future development in Greece and abroad.

1. Εισαγωγή – Ιστορικό

Οι πρώτες τεχνικές μεταγωγής πακέτων αναπτύχθηκαν γύρω στο 1964, ενώ ο όρος "Packet" προτάθηκε από τον D. W. Davies του National Physical Laboratory της Μεγ. Βρετανίας. Οι έρευνες του εργαστηρίου αυτού οδήγησαν στο σημερινό διεθνές δημόσιο δίκτυο μεταγωγής πακέτων X.25, ενώ το ίδιο έτος ο οργανισμός ARPA (Advanced Research Projects Agency) των Η.Π.Α. άρχισε να χρηματοδοτεί τα προγράμματα που οδήγησαν στη δημιουργία του ARPAnet (πυρήνα του σημερινού Internet) το 1969.

Η τεχνολογία των ασυρμάτων δικτύων μετάδοσης πακέτων άρχισε να αναπτύσσεται στην δεκαετία 1970-1980, αν και η μεγάλη ανάπτυξή της συμπίπτει με την διάδοση των μικροϋπολογιστών στην δεκαετία 1980-1990. Λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του μέσου μεταδόσεως τα ασύρματα δίκτυα χρησιμοποιούν εξειδικευμένα πρωτόκολλα για το υποεπίπεδο πρόσβασης μέσου (Medium Access Control) και το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων (Data Link Layer) και συχνά και για ανώτερα επίπεδα (π.χ. δρομολόγηση πακέτων).

Το πρώτο σύστημα ραδιομεταδόσεως πακέτων (packet radio) ήταν το σύστημα "Aloha" του Πανεπιστημίου της Χαβάης το 1971. Το δίκτυο αυτό είχε τοπολογία αστέρα και χρησιμοποιούσε συχνότητες 407,350 MHz και 413,475 MHz και ταχύτητα μεταδόσεως 9600 bps για να συνδέσει απομακρυσμένους τερματικούς σταθμούς, οι οποίοι ήταν εφοδιασμένοι με ένα πομποδέκτη UHF, με τον κεντρικό υπολογιστή του πανεπιστημίου. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του συστήματος "Aloha" και των παραλλαγών του που αναπτύχθηκαν αργότερα, είναι ότι επιτρέπει τυχαία πρόσβαση κάθε σταθμού στο ραδιοδίαυλο για εκπομπή ενός πακέτου, χωρίς να ελέγχει αν στον δίαυλο εκπέμπει ήδη άλλος σταθμός (TDMA - Time Division Multiple Access). Ο κεντρικός κόμβος ("menehune") όταν λάβει ένα πακέτο, στέλνει στον ανταποκριτή του ένα πακέτο επιβεβαιώσεως λήψεως. Αν ένας σταθμός δεν λάβει την επιβεβαίωση μέσα σε ένα προκαθορισμένο διάστημα, θεωρεί ότι έλαβε χώρα σύγκρουση (collision) με την μετάδοση κάποιου άλλου σταθμού και το επαναμεταδίδει. Διάφορες βελτιώσεις στο σύστημα ALOHA προτάθηκαν αργότερα για να βελτιώσουν τις εγγενείς αδυναμίες του.

Ένα άλλο δίκτυο ραδιομεταδόσεως πακέτων άρχισε να αναπτύσσεται στις αρχές της δεκαετίας 1980-1990 από ραδιοερασιτέχνες, αρχικά στον Καναδά, σε συνέχεια στις Η.Π.Α. και την Γερμανία και τέλος σε πολλές άλλες χώρες, ανάμεσα στις οποίες και η Ελλάδα. Το δίκτυο αυτό είναι σήμερα αρκετά εκτεταμένο, περιλαμβάνει χιλιάδες κόμβους με επίγειες και δορυφορικές ραδιοζεύξεις χαμηλής και μέσης ταχύτητας και χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για μετάδοση προσωπικών μηνυμάτων (electronic mail) και δελτίων (bulletins) για προσωπική χρήση των ραδιοερασιτεχνών. Η μετάδοση σε μεγάλες αποστάσεις γίνεται μέσω βραχέων κυμάτων σε χαμηλή

ταχύτητα (300 bps) ή μέσω ειδικών δορυφόρων χαμηλής τροχιάς (Pacsats) σε ταχύτητες 1200 και 9600 bps, και το όλο δίκτυο έχει χαρακτήρα "αποθήκευση - προώθηση" (store and forward), όσον αφορά την μεταφορά των μηνυμάτων, κατά τρόπο παρόμοιο με τα δίκτυα UUCP και Fidonet.

Οι κόμβοι του δικτύου είναι αυτοτελείς διατάξεις σειριακής επικοινωνίας χαμηλού κόστους βασισμένες συνήθως στον μικροεπεξεργαστή Z-80B της Zilog και ονομάζονται Terminal Node Controllers (TNC). Οι συσκευές αυτές περιγράφονται στην συνέχεια του άρθρου.

Το δίκτυο αυτό χρησιμοποιεί για τα δύο πρώτα επίπεδα OSI τεχνικές πολύ διαφορετικές από το Aloha και τα παράγωγά του. Η πρόσβαση του μέσου μεταδόσεως (του ραδιοδιαύλου δηλαδή) γίνεται με τεχνική CSMA (carrier sense multiple access). Η μέθοδος αυτή επιτρέπει σε ένα σταθμό να εκπέμψει μόνον αφού ακροασθεί στον δίαυλο και βεβαιωθεί ότι αυτός είναι διαθέσιμος. Στο επίπεδο σύνδεσης δεδομένων χρησιμοποιείται ένα πρωτόκολλο που βασίζεται στο HDLC/LAP-B, δηλαδή στο αντίστοιχο επίπεδο του X.25. Το πρωτόκολλο αυτό ονομάζεται AX.25 και καλύπτει μόνο το δεύτερο επίπεδο OSI.

Για τα επίπεδα 3 και 4, δέν καθορίστηκε εξ αρχής κάποιο κοινά αποδεκτό πρωτόκολλο, αλλά η απόφαση αναβλήθηκε επί μακρόν. Αυτό έγινε αιτία να προταθούν διάφορες εναλλακτικές λύσεις. Λόγω μίας αρχικής τάσεως να ενσωματώνονται όλες οι λειτουργίες οι σχετικές με το δίκτυο στο TNC, το οποίο μπορεί να περιέχει έως 64 kbytes μνήμης, οι λύσεις αυτές ήταν απλοϊκές και εξειδικευμένες στην ασύρματη μετάδοση, με αποτέλεσμα οι δυνατότητες διαδικτύωσης με επίγεια δίκτυα και εξέλιξης του πρωτοκόλλου να είναι εξαιρετικά περιορισμένες. Η πλέον διαδεδομένη λύση είναι το πρωτόκολλο Net/Rom που αναπτύχθηκε με την μορφή firmware για τον Z-80 από τους Ron Raikes (WA8DED) και Mike Busch και παρέχει υπηρεσίες που αντιστοιχούν στα επίπεδα OSI 3, 4 και 7. Άλλες εναλλακτικές λύσεις είναι το πρωτόκολλο TexNet από την Texas Packet Radio Society, το Rose κλπ.

Γύρω στο 1984 η σουίτα πρωτοκόλλων TCP/IP, η οποία αναπτύχθηκε για το ARPANET, είχε τύχει πλέον ευρείας αποδοχής και είχε ενσωματωθεί στο λειτουργικό σύστημα Unix, αρχίζοντας από την έκδοση 4.2BSD του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνιας (Μπέρκλεϊ). Το λειτουργικό σύστημα Unix είχε ήδη καθιερωθεί στους μικρούς υπολογιστές (minicomputers) που χρησιμοποιούσαν τα τμήματα πληροφορικής των διάφορων πανεπιστημίων, βιβλιοθήκες και ερευνητικά κέντρα. Ταυτόχρονα είχε αρχίσει και η μεγάλη διάδοση των μικροϋπολογιστών συμβατών με το IBM-PC και τους διαδόχους του, ακόμα και στις κατοικίες των ραδιοερασιτεχνών. Τα συστήματα αυτά έχουν την απαιτούμενη υπολογιστική ισχύ για να υποστηρίξουν τα πρωτόκολλα TCP/IP, αν και το λειτουργικό τους σύστημα MS-DOS κρίνεται γενικά ανεπαρκές.

Την εποχή αυτή ο Phil Karn, KA9Q της Bell Labs πρότεινε η ανάπτυξη του ραδιοερασιτεχνικού δικτύου μεταδόσεως πακέτων να βασισθεί στα πρωτόκολλα TCP/IP για τα επίπεδα 3 και άνω. Η εναλλακτική αυτή λύση παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα και έγινε σταδιακά αποδεκτή από πολλές ομάδες ραδιοερασιτεχνών σε ολό τον κόσμο. Ο Karn επίσης ανέπτυξε ο ίδιος ένα πρόγραμμα, το NET.EXE (το οποίο εξελίχθηκε στο σημερινό NOS.EXE), το οποίο μετατρέπει τον προσωπικό υπολογιστή σε κόμβο ενός δικτύου TCP/IP και ταυτόχρονα υποστηρίζει τόσο το πρωτόκολλο AX.25, που διατηρήθηκε στο επίπεδο 2, όσο και το πρωτόκολλο των επιπέδων 3 και 4 των παραδοσιακών ραδιοερασιτεχνικών δικτύων (Net/Rom). Επίσης υποστηρίζει και όλες σχεδόν τις κατηγορίες υλικού (hardware) που χρησιμοποιούνται στα ενσύρματα τοπικά δίκτυα (LAN).

Οι πρώτες προσπάθειες αναπτύξεως ραδιοδικτύων TCP/IP ήταν πολύ επιτυχημένες και σύντομα ένα τμήμα του Internet (διάδοχος του ARPANET), το δίκτυο 44 (κατηγορίας A) με 16.000.000 διευθύνσεις, καθώς και το domain ".ampr.org", διατέθηκαν αποκλειστικά για χρήση από ραδιοερασιτέχνες και ονομάστηκε AMPRnet (AMateur Packet Radio network). Η ανάπτυξη του AMPRnet από το σημείο αυτό και μετά ήταν αλματώδης, κυρίως χάρη στη συνεργασία της πανεπιστημιακής κοινότητας και των ερευνητικών κέντρων (δημοσίων και ιδιωτικών) που υποστήριξαν με πολλούς τρόπους τους ραδιοερασιτέχνες στην προσπάθειά τους. Λεπτομέρειες για το AMPRnet, όσον αφορά το υλικό, το λογισμικό, τα διοικητικά και τις προοπτικές του αναφέρονται στη συνέχεια.

2. Χαρακτηριστικά ασυρμάτων δικτύων

Τά απλά ραδιοδίκτυα πακέτων μοιάζουν στην σύλληψή τους πολύ με την τοπολογία ethernet και πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν τη σχεδιάσή τους είναι κοινοί και στα δύο συστήματα. Συγκρινόμενα με τα δίκτυα ethernet όμως, τα ραδιοδίκτυα παρουσιάζουν τα εξής σημαντικά μειονεκτήματα:

- α. Παρουσιάζουν πολύ μεγάλη **εξασθένιση** σήματος μεταξύ πομπού και δέκτου.
- β. Εμφανίζουν το πρόβλημα του "**κρυμμένου πομπού**" (Hidden transmitter), το οποίο συνίσταται στο ότι ένας σταθμός A είναι δυνατόν να παρεμβάλλει την επικοινωνία μεταξύ ενός σταθμού B, με τον οποίο έχει καλή επικοινωνία και ενός σταθμού Γ του οποίου δεν λαμβάνει τα σήματα, λόγω μεγάλης αποστάσεως ή παρεμβολής εμποδίων.
- γ. Ο **χρόνος μεταγωγής** ενός πομποδέκτου από την εκπομπή στη λήψη δεν είναι αμελητέος. Παρ'όλο που σε σύγχρονες κατασκευές είναι της τάξεως των 10-50 ms, συχνά καθυστερήσεις της τάξεως των 200-300 ms είναι αναγκαίες για την λειτουργία βοηθητικών συσκευών. Σε υψηλές ταχύτητες (άνω των 2400 bps) οι χρόνοι μεταγωγής είναι συγκρίσιμοι με την διάρκεια του πλαισίου.

δ. Είναι πρακτικά αδύνατο ένας πομποδέκτης να ακροάται στην συχνότητα που εκπέμπει κατά την διάρκεια της εκπομπής. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην μπορεί να διαγνώσει μιά **σύγκρουση** (collision) του σήματός του με ένα πλαίσιο που προέρχεται από άλλο σταθμό, όπως γίνεται στο ethernet. Είναι επομένως αδύνατη η εφαρμογή του πλήρους πρωτοκόλλου CSMA/CD (carrier sense multiple access with collision detection), εκτός αν χρησιμοποιηθούν ειδικές τεχνικές αμφίπλευρης επικοινωνίας.

ε. Ειδικά στα αστικά κέντρα και τις βιομηχανικές περιοχές οι δέκτες δέχονται **παρεμβολές** που οφείλονται σε φαινόμενα ενδοδιαμορφώσεως, σε βιομηχανικό θόρυβο κλπ. με αποτέλεσμα μείωση της αξιοπιστίας της επικοινωνίας.

Όλοι οι παραπάνω λόγοι προκαλούν απώλειες πακέτων τα οποία πρέπει να σταλούν εκ νέου, με αποτέλεσμα την υπερφόρτωση του δικτύου και μείωση του φαινομένου ρυθμού μεταδόσεως δεδομένων.

Ένα επιπρόσθετο πρόβλημα είναι ότι οποιοσδήποτε διαθέτει ένα φθηνό δέκτη VHF είναι σε θέση να παρακολουθεί τις επικοινωνίες, πράγμα που δεν επιτρέπει την χρησιμοποίηση των συνηθών τεχνικών ελέγχου προσβάσεως με password. Για αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού αναπτύχθηκαν ειδικές τεχνικές ελέγχου αυθεντικότητας, παρόμοιες με αυτές που χρησιμοποιούν τα στρατιωτικά δίκτυα ραδιοτηλεφωνίας.

3. Hardware και Software επιπέδων OSI 1 και 2

3.1 CSMA (Carrier sense multiple access)

Τα ραδιοδίκτυα μεταδόσεως data σχεδιάζονται σχεδόν πάντα κατά τέτοιο τρόπο ώστε πολλοί σταθμοί να μπορούν να μοιράζονται το μέσο μεταδόσεως (δηλ. τον ραδιοδιάλυο) με καταμερισμό χρόνου. Η τεχνική που χρησιμοποιείται είναι παρόμοια με την τεχνική των δικτύων "ethernet", και ονομάζεται CSMA (carrier sense multiple access - πολλαπλή πρόσβαση με ανίχνευση φέροντος). Διαφέρει από το καθαρό ethernet το οποίο χρησιμοποιεί την τεχνική ανιχνεύσεως συγκρούσεων πακέτων, διότι ο σταθμός που εκπέμπει δεν είναι εύκολο να λαμβάνει ταυτόχρονα σήματα της αυτής συχνότητας. Πολλά δίκτυα ραδιομεταδόσεως πακέτων χρησιμοποιούν στατιστικές μεθόδους ώστε να γίνει δικαιότερη η κατανομή του διαύλου μεταξύ των ισχυρών και ασθενών σταθμών και να αυξηθεί ο επιτυγχανόμενος ρυθμός μεταδόσεως δεδομένων [STALL88].

3.2 Το πρωτόκολλο AX.25

Το πρωτόκολλο AX.25 υλοποιείται κατά το μεγαλύτερο μέρος του σε επίπεδο υλικού με ειδικά ολοκληρωμένα κυκλώματα. Το AX.25 είναι κατά βάση το HDLC/LAP-B,

δηλαδή το επίπεδο 2 (data link layer) του X.25, του πρωτοκόλλου επικοινωνίας με τα δημόσια δίκτυα μεταγωγής πακέτων. Λόγω των ιδιομορφιών των ασυρμάτων δικτύων, έχουν γίνει αρκετές τροποποιήσεις και προσθήκες. Οι λεπτομέρειες του πρωτοκόλλου AX.25 περιγράφονται αναλυτικά στη σχετική έκδοση της American Radio Relay League (A.R.R.L.) [ARRL84].

3.3 Terminal Node Controllers (TNC)

Ο όρος Terminal Node Controller (TNC) χρησιμοποιείται για να περιγράψει τις τερματικές συσκευές του δικτύου. Αυτές αποτελούνται στην βασική τους μορφή από ένα κύκλωμα σύγχρονης σειριακής επικοινωνίας το οποίο οδηγεί ένα διαμορφωτή/αποδιαμορφωτή (modem) ακουστικών τόνων και ένα κύκλωμα ασύγχρονης επικοινωνίας με τερματικό, τα οποία ελέγχονται από έναν μικροεπεξεργαστή 8 bit, συνήθως ένα Zilog Z-80. Η βασική λειτουργία του μικροεπεξεργαστή είναι ο έλεγχος της ροής χαρακτήρων μεταξύ των δύο θυρών επικοινωνίας. Παράλληλα παρέχουν την δυνατότητα στο τερματικό να ελέγξει τις παραμέτρους της επικοινωνίας και να ξεκινήσει ή να τερματίσει μία σύνδεση AX.25. Συνήθως παρέχονται και άλλες δυνατότητες, όπως η εκπομπή ραδιοφάρου (beacon) σε τακτά χρονικά διαστήματα και ένα στοιχειώδες σύστημα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (mailbox).

Υπάρχουν επίσης διατάξεις TNC που διαθέτουν και δεύτερη σύγχρονη θύρα (KAM της Kamtronics) και επιτρέπουν αναμετάδοση πακέτων από την μία θύρα στην άλλη. Πολλά TNC ενσωματώνουν επίσης δυνατότητες επικοινωνίας με άλλα ψηφιακά συστήματα επικοινωνίας, όπως RTTY, TOR κλπ τα οποία συνήθως χρησιμοποιούνται σε επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων στα βραχεία κύματα (1.6-30 Mhz).

3.4 Το πρωτόκολλο KISS

Το πρωτόκολλο KISS (από τα αρχικά του αγγλικού λογοπαιγνίου: "Keep It Simple, Stupid") αναφέρεται στην επικοινωνία μεταξύ της σειριακής θύρας ενός υπολογιστή και ενός TNC. Αυτό χρησιμοποιείται όταν τα πλαίσια AX.25 παράγονται από τον υπολογιστή και μεταβιβάζονται στο TNC για προσθήκη των σημαιών (flags) και αποστολή τους. Αναπτύχθηκε για να επιτρέψει την χρήση περίποκου λογισμικού το οποίο ξεπερνάει τις δυνατότητες του μικροεπεξεργαστή που βρίσκεται μέσα στο TNC, χωρίς όμως να απαιτείται η αγορά και εγκατάσταση στον υπολογιστή μίας ακριβής κάρτας σύγχρονης επικοινωνίας [CHEP87]. Απαιτείται απλώς η αλλαγή του ενσωματωμένου λογισμικού (firmware) του TNC με λογισμικό KISS το οποίο προφανώς είναι και εξαιρετικά απλό.

Βασικά το πρωτόκολλο KISS είναι όμοιο με το SLIP (serial line internet protocol) [RFC1055], με την διαφορά ότι εκτός από την μετάδοση πακέτων KISS με δεδομένα προς εκπομπή, παρέχει και δυνατότητα αποστολής εντολών προς το TNC ώστε να τροποποιηθούν διάφορα λειτουργικά χαρακτηριστικά του.

Το πρωτόκολλο KISS προτάθηκε σαν προσωρινή λύση για εκμετάλλευση του υπάρχοντος υλικού έως ότου μειωθεί το κόστος καρτών σειριακής επικοινωνίας με δυνατότητες HDLC. Δεν διαθέτει έλεγχο λαθών διότι εκμεταλλεύεται την αντίστοιχη δυνατότητα του TCP. Για διάφορους λόγους το KISS διαδόθηκε ευρέως και χρησιμοποιήθηκε και σε άλλες εφαρμογές ψηφιακών επικοινωνιών.

3.5 Εσωτερικές μονάδες σύγχρονης επικοινωνίας (SCC)

Εκτός από τα TNC πού περιγράφηκαν, μιά διαφορετική προσέγγιση στο θέμα της εκπομπής και λήψεως πλαισίων HDLC είναι η χρήση μιάς εσωτερικής μονάδας σύγχρονης επικοινωνίας (Synchronous Communications Controller ή SCC) σε έναν υπολογιστή IBM PC ή συμβατό. Οι μονάδες αυτές προσαρμόζονται στο bus της κεντρικής μονάδας και χρησιμοποιούν το τροφοδοτικό του συστήματος. Η επικοινωνία τους με τον μικροεπεξεργαστή είναι επομένως ταχύτατη.

Οι μονάδες SCC συνήθως σύγχρονες σειριακές εξόδους. Συχνά έχουν ενσωματωμένο modem και μπορούν να συνδεθούν κατευθείαν με τον πομποδέκτη, διαφορετικά απαιτείται ένα απλό εξωτερικό modem. Οι μονάδες SCC δεν έχουν ενσωματωμένο λογισμικό (firmware) όπως τα TNC αλλά οδηγούνται κατ'ευθείαν από την κεντρική μονάδα με το κατάλληλο λογισμικό (device driver) που τις συνοδεύει.

3.6 Modems

Τα πρώτα TNC σχεδιάσθηκαν στις Η.Π.Α. και τον Καναδά στις αρχές της δεκαετίας 1980 και χρησιμοποιήσαν για οικονομικούς λόγους modems με πρωτόκολλο Bell 202 και διακριτά εξαρτήματα ή απλά αναλογικά ολοκληρωμένα κυκλώματα. Το πρωτόκολλο Bell 202 καθορίζει ταχύτητα μεταδόσεως 1200 baud σε διαμόρφωση FSK με τόνους 1200 Hz (mark) και 2200 Hz (space). Η ταχύτητα αυτή ήταν ικανοποιητική για την εποχή και καθιερώθηκε σαν πρότυπο για τα δίκτυα που χρησιμοποιούν συνήθεις πομποδέκτες FM στις περιοχές συχνοτήτων VHF (άνω των 29 MHz) και UHF.

Όσον αφορά τα ραδιοδίκτυα πακέτων στην περιοχή HF (3.5 έως 29 MHz), χρησιμοποιείται διαμόρφωση FSK με ταχύτητα 300 bps, η οποία συνήθως επιτυγχάνεται με χρήση ενός modem Bell 103 σε συνδυασμό με πομποδέκτη SSB. Η χαμηλότερη ταχύτητα επιβάλλεται τόσο από περιορισμούς στο διαθέσιμο εύρος συχνοτήτων από τους εθνικούς και διεθνείς κανονισμούς ραδιοεπικοινωνιών, όσο και για τεχνικούς λόγους που σχετίζονται με τα προβλήματα της διαδόσεως των βραχέων κυμάτων.

Παράλληλα αναπτύχθηκαν και συστήματα με διαμόρφωση φάσεως (BPSK) στην ταχύτητα 1200 baud τα οποία χρησιμοποιήθηκαν κυρίως στις δορυφορικές επικοινωνίες.

Με την πάροδο του χρόνου και την ανάπτυξη εφαρμογών η ταχύτητα των 1200 bps αποδείχθηκε ανεπαρκής και έγιναν διάφορες προσπάθειες για αύξησή της, χωρίς υπερβολική αύξηση του κόστους του υλικού. Οι προσπάθειες αυτές δεν ήταν συντονισμένες και προέκυψε μιά ποικιλία προτύπων.

Γιά ταχύτητα 9600 bps (και πιά πρόσφατα 19200 bps) χρησιμοποιείται η μέθοδος που ανέπτυξαν οι Steve Goode, K9NG [GOOD85] και James Miller, G3RUH [MILL88]. Σύμφωνα με το σύστημα αυτό, το οποίο είναι αρκετά περίπλοκο και χρησιμοποιείται αποκλειστικά στις ραδιοερασιτεχνικές επικοινωνίες, το αναλογικό σήμα που διαμορφώνει τον πομπό παράγεται ψηφιακά (είναι αποθηκευμένο σε ROM) με αυστηρά καθορισμένα φασματικά χαρακτηριστικά (-6dB @ 4800 Hz και -60db @ 7500 Hz).

Ακόμα όμως και η ταχύτητα αυτή κρίνεται ανεπαρκής για εφαρμογές που απαιτούν μετάδοση μεγάλου όγκου δεδομένων, ειδικά όταν μεσολαβούν πολλοί κόμβοι. Τέτοιες εφαρμογές είναι όσες απαιτούν την μεταβίβαση εικόνας σχετικά υψηλής αναλύσεως και μεταβίβαση φωνής σε πραγματικό χρόνο. Για να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις αυτές αναπτύχθηκε ένα σύστημα 56/112 kbps το οποίο χρησιμοποιεί τεχνικές RF-modem, δηλαδή διαμορφώνει απ'ευθείας μιά φέρουσα ραδιοσυχνότητας 28 MHz, η οποία κατόπιν μετασχηματίζεται στην τελική συχνότητα εκπομπής.

4. Επίπεδο δικτύου - IP πάνω από AX.25 και Net/Rom

Από το επίπεδο αυτό και πάνω δεν υπάρχουν σημαντικές ποιοτικές διαφορές μεταξύ των ασυρμάτων και των ενσυρμάτων δικτύων TCP/IP. Οι διαφορές είναι κυρίως ποσοτικές και γενικά τα ασύρματα δίκτυα χαρακτηρίζονται από σχετικά μεγάλους χρόνους αποκρίσεως. Τυπικός χρόνος μεταδόσεως ενός πακέτου UDP και επιστροφής του στον αποστολέα (ping) είναι 2.1 s για σταθμούς με άμεση επικοινωνία μεταξύ τους σε ταχύτητα 1200 bps και χρήση εξωτερικών TNC.

Η μετάδοση πακέτων IP γίνεται είτε απευθείας πάνω από το AX.25, είτε εκμεταλλεύεται το ήδη υπάρχον παραδοσιακό δίκτυο χρησιμοποιώντας τις υπηρεσίες που παρέχει το πρωτόκολλο Net/Rom.

Επειδή το επίπεδο TCP προσφέρει το ίδιο μιά αξιόπιστη σύνδεση απο άκρου εις άκρον, είναι δυνατόν να χρησιμοποιήσουμε στο επίπεδο AX.25 μιά όχι αξιόπιστη σύνδεση με εκπομπή ασύνδετων πλαισίων (UI-frames). Η επιβεβαίωση παρέχεται πλέον μόνον από το επίπεδο TCP του ανταποκριτού και έτσι απλοποιούνται σημαντικά οι διαδικασίες επιπέδου 2, περιορίζοντας τον αριθμό των μεταδιδόμενων πλαισίων τουλάχιστον κατά το ήμισυ. Ένα πρόσθετο πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι τα ασύνδετα πλαίσια δεν έχουν περιορισμό μεγέθους (στην πραγματικότητα το υλικό θέτει συνήθως κάποιο περιορισμό) και, επομένως, το μέγιστο πακέτο IP που μπορεί να μεταδοθεί χωρίς να υποστεί τεμαχισμό είναι της τάξεως του 1 kbyte. Συνήθως χρησιμοποιούνται πακέτα 512 bytes, έναντι 128 ή 256 χαρακτήρων που επιτρέπουν οι συνδέσεις AX.25.

Η δυνατότητα μεταδόσεως ασύνδετων πλαισίων επιτρέπει επίσης την μεταφορά σε περιβάλλον AX.25 του πρωτοκόλλου ARP (Address Resolution Protocol), το οποίο αρχικά εφαρμόσθηκε στα δίκτυα IP επάνω από ethernet. Το πρωτόκολλο αυτό επιτρέπει σε ένα σταθμό TCP/IP να ερωτά με ένα ασύνδετο πλαίσιο AX.25, το οποίο απευθύνεται "προς όλους", την AX.25 διεύθυνση του σταθμού με τον οποίο επιθυμεί να επικοινωνήσει.

Όσον αφορά την μετάδοση πακέτων IP πάνω από Net/Rom, ή μέθοδος αυτή έχει πολλούς περιορισμούς κυρίως όσον αφορά το μέγεθος του πλαισίου (236 bytes). Παρά τα προβλήματα αυτά, η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε συχνά διότι επιτρέπει χρήση της υπάρχουσας υποδομής δικτύου όταν είναι αντιοικονομική η εγκατάσταση ενός παράλληλου δικτύου τεχνολογίας TCP/IP.

5. Διαδικτύωση - αλγόριθμοι routing

5.1 Στατικοί πίνακες

Γενικά στο AMPRnet οι κόμβοι χρησιμοποιούν στατικούς πίνακες για την μεταγωγή και διόδευση πακέτων ανάμεσα σε διάφορους κόμβους. Αυτό είναι δυνατόν επειδή τα δίκτυα είναι σχετικά μικρά, ενώ το δίκτυο έχει τοπολογία πολλαπλών αστέρων, των οποίων οι κεντρικοί κόμβοι γνωρίζουν όλους τούς άλλους κεντρικούς κόμβους. Ο πίνακας με τους κεντρικούς κόμβους ενημερώνεται από τους διαχειριστές των κόμβων αυτών με βάση πληροφορίες που αποθηκεύονται σε ένα κεντρικό σημείο, ενώ ο πίνακας κάθε σταθμού ενημερώνεται από τον διαχειριστή του ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες.

5.2 RIP

Το πρωτόκολλο RIP (γνωστό και ως routed από το όνομα του αντίστοιχου προγράμματος του λειτουργικού συστήματος Unix) έχει καθιερωθεί στο Internet για χρήση μεταξύ πυλών (gateways) ώστε να υπάρχει αυτόματη ενημέρωση κάθε κόμβου ο οποίος κάνει μεταγωγή πακέτων για τον τρόπο αποστολής πακέτων IP σε διάφορους προορισμούς. Αναλυτική περιγραφή του RIP, όσο και των λοιπών σχετικών πρωτοκόλλων (EGP/gated, OSPF κ.α.) υπάρχει στην βιβλιογραφία [COME91]. Το πρωτόκολλο αυτό χρησιμοποιείται στις πύλες μεταξύ AMPRnet και άλλων δικτύων του Internet καθώς και σε λίγα ασύρματα δίκτυα.

5.3 RSPF

Το πρωτόκολλο RSPF είναι μιά μεταφορά του "αλγορίθμου ελαχίστου δρόμου" (Shortest Path First) που λαμβάνει υπόψιν τις ιδιαιτερότητες των ασύρματων δικτύων [GOLD1989]. Μοιάζει πολύ με το γνωστό πρωτόκολλο OSPF το οποίο περιγράφεται στα κείμενα RFC-1131 και RFC-1247 [COME91]. Μέχρι στιγμής έχει διαπιστωθεί ότι το πρωτόκολλο αυτό παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα εν σχέσει προς το RIP/routed αλλά επιβαρύνει περισσότερο τα σχετικά αργά σημεινά ασύρματα δίκτυα και καταναλώνει περισσότερο χρόνο του επεξεργαστή.

6. Διαθέσιμο λογισμικό – Εφαρμογές

6.1 Περιβάλλον MS-DOS

Το λογισμικό για το λειτουργικό σύστημα MS-DOS αναπτύχθηκε αρχικά από τον Phil Karn το 1984 και ήταν ένα αρχείο εκτελέσιμου κώδικα, ονομαζόμενο NET.EXE, σε μορφή προγράμματος εφαρμογής που ενσωμάτωνε τον απαιτούμενο κώδικα για επικοινωνίες με βάση το πρωτόκολλο TCP/IP. Ο κώδικας αυτός αναπτύχθηκε σε γλώσσα C (Borland Turbo C 1.5) και μερικά τμήματά του σε assembler. Το NET.EXE υποστήριζε επικοινωνίες AX.25, Net/Rom και TCP/IP μέσω ενός TNC διαμορφώσεως KISS και συνδεδεμένου στην ασύγχρονη θύρα. Υποστήριζε επίσης επικοινωνίες TCP/IP πάνω από ethernet.

Λόγω της χρήσεως γλώσσας προγραμματισμού υψηλού επιπέδου, το NET.EXE μεταφέρθηκε εύκολα σε πολλά διαφορετικά συστήματα (CP/M, Amiga, Atari ST, Unix V). Ο R.E.Janssen (PE1CHL) πρόσθεσε οδηγούς για κάρτες σύγχρονης επικοινωνίας βασισμένες στο Z-8530 καθώς και τον απαιτούμενο κώδικα για υποστήριξη των πρωτοκόλλων "broadcast" και "ftl0" τα οποία χρησιμοποιούνται για επικοινωνίες

μέσω ραδιοερασιτεχνικών δορυφόρων.

Με βάση τον αρχικό κώδικα NET.EXE ο P. Karn έγραψε ένα πλήρες multitasking λειτουργικό σύστημα, το Network Operating System (NOS), το οποίο χρησιμοποιεί το MS-DOS μόνο για πρόσβαση στα αρχεία. Το σύστημα αυτό εμφανίζεται με την μορφή ενός εκτελέσιμου αρχείου (NOS.EXE), μέσα στο οποίο ενσωματώνονται τόσο ο kernel και οι οδηγοί συσκευών (device drivers) και ο κώδικας δικτύωσης TCP/IP, όσο και οι διάφορες εφαρμογές που υποστηρίζονται.

Όσον αφορά οδηγούς συσκευών, υποστηρίζονται ασύγχρονες και σύγχρονες σειριακές θύρες σε πρωτόκολλα AX.25, SLIP και PPP, και κάρτες LAN τύπου ethernet, token ring και arcnet όλων σχεδόν των κατασκευαστών.

Από πλευράς εφαρμογών υποστηρίζονται όλες σχεδόν οι συνήθεις εφαρμογές της σουίτας TCP/IP (telnet, ftp, SMTP, POP, rlogin, finger, NNTP/news, rdate, conference κ.λ.π.) καθώς και πολλές εξειδικευμένες που ενδιαφέρουν κυρίως τους ραδιοερασιτέχνες (callbook, weather server, geographical information servers). Είναι σχετικά εύκολη η προσθήκη και άλλων εφαρμογών (πράγμα που γίνεται συνεχώς) αν και απαιτείται προγραμματισμός σε γλώσσα C.

Οι εφαρμογές που χρησιμοποιούνται περισσότερο στα ραδιοερασιτεχνικά δίκτυα είναι το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (SMTP και POP) και η μεταφορά αρχείων με το πρωτόκολλο ftp (file transfer protocol). Οι εφαρμογές remote login (telnet και rlogin) και η αναζήτηση πληροφοριών σε διάφορες βάσεις δεδομένων είναι επίσης αρκετά δημοφιλείς, ιδίως στις Η.Π.Α.

Η υποστήριξη όλων αυτών των εφαρμογών από τα ασύρματα δίκτυα TCP/IP παρέχει πολύ σημαντικές δυνατότητες στους σχεδιαστές πανεπιστημιακών και άλλων ερευνητικών δικτύων. Πρακτικά δίνεται η δυνατότητα σε ερευνητικές ομάδες που ευρίσκονται σε σχετικά απομονωμένες τοποθεσίες ή σε κινητούς σταθμούς να αποκτούν πλήρη πρόσβαση στο Internet και σε όλες τις πηγές πληροφοριών που είναι διαθέσιμες σε αυτό. Αυτή η δυνατότητα γίνεται πολύ σημαντική σήμερα, όπου πολλές πανεπιστημιακές και άλλες βιβλιοθήκες όχι μόνο μηχανογραφούνται αλλά δίνουν στους χρήστες τους δυνατότητα πρόσβασης από το Internet.

Παραδείγματος χάριν, είναι δυνατόν μία αρχαιολογική ανασκαφή να έχει πρόσβαση τόσο στην βιβλιοθήκη του ιδρύματος που την διεξάγει, οπουδήποτε στον κόσμο ευρίσκεται αυτό, όσο και σε όλες τις άλλες πηγές πληροφοριών παγκόσμια, χωρίς να υπάρχουν οι γνωστές δυσκολίες που παρουσιάζει ή χρήση του επιλεγόμενου τηλεφωνικού δικτύου.

Με παρόμοιο τρόπο είναι δυνατόν μιά ερευνητική ομάδα βιολογίας σε ένα απομακρυσμένο σταθμό να στέλνει και να λαμβάνει σε συνεχή βάση τόσο μηνύματα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, όσο και τις επιστημονικές συζητήσεις του "bionet" μέσω των πρωτοκόλλων SMTP, POP και NNTP.

Μία ακόμα σημαντική εφαρμογή του NOS είναι ή χρήση του σαν πύλης (IP router), αφού υποστηρίζει τόσο μία εκτεταμένη σειρά πρωτοκόλλων επικοινωνίας, όσο και διάφορους αλγορίθμους μεταγωγής πακέτων IP. Με βάση τις δυνατότητες αυτές, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν λύση χαμηλού κόστους για διασύνδεση τοπικών δικτύων τεχνολογίας TCP/IP (π.χ. PC-NFS) μέσω ευθειών γραμμών του Ο.Τ.Ε.

6.2 Περιβάλλον Unix*

Γενικά αυτό που απαιτείται σε ένα σύστημα Unix είναι από ένα device driver για κάθε πρωτόκολλο και interface (AX.25, kiss, scc κλπ) που χρησιμοποιούνται στα ασύρματα δίκτυα. Αν διατίθενται αυτά, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ο κώδικας TCP/IP που υπάρχει ενσωματωμένος στο λειτουργικό σύστημα καθώς και όλες οι εφαρμογές που βασίζονται σ'αυτόν.

Οικονομικοί λόγοι επέβαλαν την χρήση προσωπικών υπολογιστών τύπου IBM PC/AT ή 80386 στους περισσότερους ραδιοερασιτέχνες. Οι μέχρι τώρα διατιθέμενες εκδόσεις Unix για επεξεργαστές Intel 80386 ήταν βασισμένες στις εκδόσεις της AT&T (System V), οι οποίες δεν παρέχουν επαρκή υποστήριξη στην ανάπτυξη λογισμικού TCP/IP. Μόνον πρόσφατα εμφανίσθηκαν δύο εκδόσεις Unix για προσωπικούς υπολογιστές που προέρχονται από το BSD Unix και παρέχουν πλήρη υποστήριξη στην ανάπτυξη κώδικα TCP/IP. Πρόκειται για το 386BDS και το Linux, για τα οποία ήδη εμφανίσθηκαν τα πρώτα δείγματα λογισμικού.

Η προσωρινή εναλλακτική λύση για συστήματα Unix System V ήταν μέχρι στιγμή η μεταφορά όλου του πακέτου του NOS από το MS-DOS στο νέο περιβάλλον με την μορφή ενός προγράμματος εφαρμογής. Αυτή η λύση έχει το μειονέκτημα ότι παρακάμπτει τις υπηρεσίες TCP/IP του kernel και τις ενσωματώνει στον κώδικά τους εξ αρχής, με αποτέλεσμα να μην είναι συμβατές με τις ήδη υπάρχουσες εφαρμογές του συστήματος ftp, telnet, SMTP (sendmail, mmdf), κλπ.

Μερικές περιορισμένες προσπάθειες έχουν γίνει στο περιβάλλον SunOS, λόγω της διαδόσεως των υπολογιστών των σειρών Sun 3 και Sun Sparc. Αποτέλεσμα των προσπαθειών αυτών ήταν το πακέτο ax25ip του Theo de Raadt, το οποίο προσθέτει τον απαιτούμενο κώδικα στον kernel του SunOS για λειτουργία TCP/IP πάνω από AX.25. Αυτό περιέχει τον απαιτούμενο οδηγό STREAMS για τον kernel του SunOS και τις απαιτούμενες επεκτάσεις στο πρωτόκολλο ARP ώστε να υποστηρίζει διευθύνσεις δικτύων AX.25.

Λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω, αναμένεται ότι η άμεση υποστήριξη των πρωτοκόλλων ασυρμάτων δικτύων TCP/IP από το Unix θα απαιτήσει ακόμα κάποιο χρόνο για να φθάσει το επίπεδο που προσφέρεται στο MS-DOS.

6.3 Apple Macintosh

Οι προσωπικοί υπολογιστές Macintosh της Apple Computers, Inc. διαθέτουν ήδη το hardware για εκπομπή και λήψη πλαισίων AX.25, αφού η σειριακή τους θύρα ελέγχεται από ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα Z-8530. Αυτό επέτρεψε την εύκολη μεταφορά του NOS στο περιβάλλον αυτό, ενώ ο μόνος πρόσθετος εξοπλισμός που απαιτείται είναι ένα απλό σχετικά modem. Το υλικό και λογισμικό για χρήση του Macintosh περιγράφεται στην βιβλιογραφία [FRAN92].

6.4 Ηλεκτρονικό Ταχυδρομείο

Η διαχείριση μηνυμάτων ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (ανάγνωση, σύνταξη, αποθήκευση, διαγραφή κλπ) δεν γίνεται από το NOS αλλά από εξειδικευμένα ξεχωριστά προγράμματα που μπορούν να καλούνται είτε αυτοτελώς είτε μέσα από το περιβάλλον του NOS. Στην βιβλιογραφία τα προγράμματα της κατηγορίας αυτής αναφέρονται σαν MUA (Mail User Agent). Το παλαιότερο πρόγραμμα αυτής της κατηγορίας είναι το BM (Bdale's Mailer) από τον Barksdale Garbee, N3EUG. Το BM είναι βασικά μιά μεταφορά στο περιβάλλον NOS του αντίστοιχου προγράμματος "mail" ή "mailx" του λειτουργικού συστήματος Unix. Σήμερα διατίθεται στην έκδοση 3.3.2c (B. Garbee, D. Trulli και K. Krallis, 1993). Υπάρχει επίσης ένα πρόγραμμα για σύνταξη και αποστολή άρθρων Usenet news, το Pnews (K. Krallis, 1993).

Παρόμοια προγράμματα αναγνώσεως και αποστολής μηνυμάτων ηλεκτρονικού ταχυδρομείου με πιο εύχρηστο user interface είναι τα VIEW (Mark Bramwell, 1992), το οποίο επιτρέπει παράλληλα χρήση τοπικού δικτύου (LAN) και PCelm (W.Siebeck και M. Freiss, 1991) το οποίο επιτρέπει εναλλακτική χρήση πρωτοκόλλου UUCP. Ένα πρόγραμμα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου υπάρχει και για το περιβάλλον Microsoft Windows 3.1 και ονομάζεται GothaMail (D.S. Anderson, 1992).

6.5 Όροι Χρήσεως Λογισμικού

Εκτός από ελάχιστες εξαιρέσεις, το λογισμικό που αναφέρθηκε διατίθεται δωρεάν για μη κερδοσκοπική χρήση. Για επαγγελματική χρήση ο ενδιαφερόμενος πρέπει να επικοινωνήσει με τον συγγραφέα για διακανονισμό της τιμής, η οποία συνήθως είναι πολύ μικρή και συμβολική.

6.6 Ανταλλαγή ηλεκτρονικού ταχυδρομείου με δίκτυο UUCP

Επειδή η πλήρης φυσική σύνδεση με το Internet είναι σε ορισμένες χώρες δύσκολη ή δαπανηρή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σύνδεση UUCP μέσω του επιλεγμένου τηλεφωνικού δικτύου με ένα κόμβο του Internet. Η σύνδεση αυτή επιτρέπει ανταλλαγή ηλεκτρονικού ταχυδρομείου μόνον, και το απαιτούμενο λογισμικό χορηγείται με το λειτουργικό σύστημα Unix, είναι δε διαθέσιμο για περιβάλλον MS-DOS σε διάφορες εκδόσεις. Πρόσφατα αναπτύχθηκε λογισμικό ("MailGate", K. Krallis 1993), το οποίο απαιτεί περιβάλλον DESQview και επιτρέπει σε ένα κόμβο να διακινεί ηλεκτρονικό ταχυδρομείο μεταξύ AMPRnet και UUCP και προς τις δύο κατευθύνσεις.

7. Εφαρμογές σε Κινητές Βιβλιοθήκες

Τα τελευταία χρόνια μερικοί φορείς τοπικής αυτοδιοίκησης άρχισαν μελέτες ή δοκιμαστική λειτουργία κινητών δανειστικών βιβλιοθηκών. Οι βιβλιοθήκες αυτές λειτουργούν πάνω σε ειδικά διασκευασμένα οχήματα, τα οποία επισκέπτονται διαδοχικά τους σχετικά απομακρυσμένους οικισμούς του δήμου, στους οποίους για διάφορους λόγους δεν είναι συμφέρουσα η ίδρυση βιβλιοθήκης και προσφέρουν σχεδόν όλες τις υπηρεσίες μιάς βιβλιοθήκης στους κατοίκους, χωρίς αυτοί να χρειάζεται να απομακρυνθούν από τον χώρο κατοικίας ή εργασίας τους.

Οι κινητές βιβλιοθήκες είναι φυσικό να έχουν ορισμένες ιδιαιτερότητες σε σχέση με τις συνήθεις μόνιμες εγκαταστάσεις. Ένα πρόβλημά τους είναι ότι δεν συνδέονται με το μηχανογραφικό σύστημα αναζήτησης της κεντρικής βιβλιοθήκης, επομένως ο ενδιαφερόμενος είναι υποχρεωμένος να "παραγγείλει" μιά βιβλιογραφική έρευνα και να παραλάβει τα αποτελέσματά της στην επόμενη επίσκεψη της βιβλιοθήκης.

Μιά καλή λύση είναι η σύνδεση της κινητής βιβλιοθήκης στο δίκτυο που χρησιμοποιεί και η κεντρική βιβλιοθήκη μέσω μιάς ασύρματης ζεύξης. Με τον τρόπο αυτό η κινητή βιβλιοθήκη γίνεται ένας πλήρης κόμβος του δικτύου, και αποκτά πρόσβαση σε όλο τον πλούτο πληροφοριών που διατίθενται και στην κεντρική βιβλιοθήκη, είτε σε οπτικό δίσκο CD-ROM τοπικά, είτε μέσω επίγειου δικτύου (HellasPack, Internet) από άλλες τοποθεσίες.

Παράλληλα δίνεται η δυνατότητα να γνωρίζει το προσωπικό της κινητής βιβλιοθήκης την διαθεσιμότητα οποιουδήποτε υλικού της κεντρικής βιβλιοθήκης και ο ενδιαφερόμενος αναγνώστης να το παραγγέλνει αμέσως, αν αυτό είναι διαθέσιμο.

Στην εφαρμογή αυτή πολλά τεχνικά προβλήματα των ασυρμάτων δικτύων λύνονται σχετικά εύκολα και οικονομικά, διότι η έκταση την οποία πρέπει να καλύπτει το

δίκτυο είναι σχετικά μικρή. Στην βασική του μορφή το σύστημα επεκτείνει το δίκτυο της βιβλιοθήκης, αν αυτό είναι βασισμένο στην τεχνολογία TCP/IP με χρήση μίας πύλης (router) στην κεντρική βιβλιοθήκη και ενός όμοιου συστήματος στο όχημα της κινητής βιβλιοθήκης, επιπλέον από τον υπολογιστή που χρησιμοποιεί το προσωπικό της κινητής βιβλιοθήκης. Τα συστήματα αυτά είναι ηλεκτρονικοί υπολογιστές χαμηλού κόστους (υπολογιστής τύπου IBM AT ή 386sx ή συμβατός) οι οποίοι είναι εφοδιασμένοι με μιά κάρτα σύγχρονης επικοινωνίας για ταχύτητα 2400 ή 9600 bps ανάλογα με τις ανάγκες η οποία οδηγεί ένα πομποδέκτη UHF μέσης ισχύος. Παράλληλα το σύστημα που ευρίσκεται στο χώρο της κεντρικής βιβλιοθήκης είναι συνδεδεμένη και στο τοπικό της δίκτυο (LAN).

8. Το Amprnet σήμερα

Γενικός συντονιστής και υπεύθυνος του δικτύου 44.x.x.x, δηλαδή του AMPRnet είναι ο Brian Kantor (brian@ucsd.edu) του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνιας (San Diego). Αυτός έχει χωρίσει τις διαθέσιμες διευθύνσεις γεωγραφικά, ανά χώρα με βάση το δεύτερο αριθμό. Οι διευθύνσεις για τους ελληνικούς κόμβους έχουν την μορφή 44.154.x.x.

Ο τομέας (domain) ".ampr.org" του Internet υποστηρίζεται από ένα nameserver στο Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνιας, Σαν Ντιέγκο (ucsd.edu), ο οποίος ενημερώνεται είτε από τον συντονιστή του AMPRnet είτε αυτόματα από τους ενδιαφερόμενους διαχειριστές των κόμβων με ένα σύστημα αυτόματης διαχείρισης ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (mailserver). Οι στατικοί πίνακες μεταγωγής πακέτων μεταξύ των πυλών (gateways) ενημερώνονται επίσης αυτόματα μέσω ενός συστήματος ηλεκτρονικού ταχυδρομείου και είναι διαθέσιμοι για ανώνυμη μεταφορά αρχείου στον κόμβο minnie.vk1xwt.ampr.org ή minnie.cs.adfa.oz.au.

Το AMPRnet ή "δίκτυο 44" είναι δίκτυο κατηγορίας A, το οποίο σημαίνει ότι, ενώ καλύπτει όλη την υδρόγειο, τα πακέτα που προέρχονται από άλλους κόμβους του Internet έχουν ένα μοναδικό σημείο εισόδου στο AMPRnet, το οποίο και υποδεικνύεται από τον nameserver. Το σημείο αυτό είναι το host mirrorshades.ucsd.edu [128.54.16.18]. Το σύστημα αυτό γνωρίζει ποιές άλλες πύλες (gateways) υφίστανται μεταξύ των διαφόρων δικτύων που απαρτίζουν το Internet και του AMPRnet. Από το σημείο αυτό, τα πακέτα εγκλείονται μέσα σε άλλα πακέτα IP (encapsulation) τα οποία και αποστέλλονται στο gateway που είναι πλησιέστερα προς τον αποδέκτη, χρησιμοποιώντας τα συνήθη πρωτόκολλα routing του Internet (routed, gated κλπ). Το τοπικό gateway, το οποίο χρησιμοποιεί το λογισμικό NOS εξάγει το αρχικό πακέτο και το μεταβιβάζει στον τελικό αποδέκτη, συνήθως μέσω του τοπικού ασυρμάτου δικτύου TCP/IP. Πακέτα προερχόμενα από κόμβους του AMPRnet και προοριζόμενα είτε για άλλα δίκτυα του Internet, είτε για κόμβους του AMPRnet με τους οποίους ο

αποστολέας δεν έχει άμεση ασύρματη επικοινωνία, αποστέλλονται στο πλησιέστερο gateway και από εκεί στον αποδέκτη τους, χωρίς να απαιτείται η μεσολάβηση του κόμβου mirrorshades.

Εσωτερικά το AMPRnet είναι οργανωμένο σε υποδίκτυα, τα οποία αποτελούνται από τοπικές ομάδες σταθμών με άμεση ασύρματη επικοινωνία μεταξύ τους σε πρωτόκολλο TCP/IP πάνω από AX.25. Δεν υφίσταται ενιαίος τρόπος καθορισμού των τμημάτων "net" και "host" των διευθύνσεων (netmask) αλλά αυτό καθορίζεται ανάλογα με τις ειδικές ανάγκες κάθε περιοχής. Αυτό είναι δυνατόν διότι το λογισμικό KA9Q-NOS παρέχει αυξημένη ευελιξία στον καθορισμό της διαδεύσεως (routing) εν σχέσει προς το λογισμικό TCP/IP που συνοδεύει το λειτουργικό σύστημα Unix [TOOM93].

Η έρευνα και ανάπτυξη του Amprnet υποστηρίζεται από μια λίστα διανομής ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (mailing list), η οποία έχει διεύθυνση tcp-group@ucsd.edu και μέσω της οποίας ανταλλάσσουν απόψεις και πληροφορίες οι ασχολούμενοι με ανάπτυξη λογισμικού TCP/IP για ασύρματα δίκτυα. Συζητήσεις σχετικές με την εφαρμογή του NOS σαν Bulletin Board γίνονται επίσης στην λίστα nos-bbs@hydra.carleton.ca. Γενικότερα θέματα σχετικά με ραδιοδίκτυα πακέτων συμπεριλαμβανομένου του TCP/IP συζητώνται στο Usenet group rec.radio.amateur.digital.misc, το οποίο διανέμεται και μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (ham-digital@ucsd.edu). Ειδικότερα θέματα που αφορούν τα δίκτυα TCP/IP συζητώνται στα groups: comp.protocols.tcp-ip, comp.protocols.tcp-ip.ibmrc, comp.protocols.ppp, comp.protocols.slip κ.α.

9. Η ελληνική πραγματικότητα

Στην Ελλάδα οι πρώτες προσπάθειες ανάπτυξης ενός ασύρματου δικτύου TCP/IP άρχισαν γύρω στο 1989 από ένα μικρό αριθμό αδειούχων ραδιοερασιτεχνών του Λεκανοπεδίου Αττικής σε συχνότητα 144,650 MHz, την οποία χρησιμοποιείται επίσης από το "παραδοσιακό" δίκτυο ραδιομετάδοσης πακέτων και με ταχύτητα μεταδόσεως 1200 bps. Τον Ιούλιο 1992 τό δίκτυο TCP/IP μεταφέρθηκε σε ιδιαίτερο δίαυλο, σε συχνότητα 144,625 MHz, με ένα πυρήνα 4 κόμβων σχεδόν αδιάλειπτης λειτουργίας και περίπου 10 ακόμα κόμβους που κάνουν τακτική χρήση του δικτύου. Το δίκτυο TCP/IP επικοινωνεί με το "παραδοσιακό" δίκτυο για ανταλλαγή ηλεκτρονικού ταχυδρομείου στην συχνότητα 432,625 MHz. Πιό πρόσφατα αναπτύχθηκε και δίκτυο TCP/IP στην περιοχή της Θεσσαλονίκης, ενώ μεμονωμένοι σταθμοί που επικοινωνούν με βραχέα κύματα σε χαμηλές ταχύτητες υπάρχουν στην Κρήτη και την Καλαμάτα.

Το δίκτυο της περιοχής Θεσσαλονίκης και Κεντρικής Μακεδονίας διασυνδέεται με το υπόλοιπο Internet μέσω ενός κόμβου που εκτελεί χρέη πύλης (router). Ο κόμβος αυτός (pigeon.eng.auth.gr [155.207.18.33] ή ipgate.sv2tsl.ampr.org [44.154.2.30]) εγκαταστάθηκε και λειτουργεί από την Ένωση Ραδιοερασιτεχνών Βορείου Ελλάδος (Ε.Ρ.Β.Ε.) σε συνεργασία με το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Λειτουργεί σε συχνότητα 144.625 kHz και επιτρέπει σε σταθμούς που βρίσκονται στην γεωγραφική περιοχή από τον Όλυμπο μέχρι την Θεσσαλονίκη και τα βόρεια σύνορα να έχουν άμεση πρόσβαση μέσω του Internet με όλο τον κόσμο.

Λόγω του μη κερδοσκοπικού χαρακτήρα του υπάρχοντος δικτύου που επιβάλλεται από τους όρους των ερασιτεχνικών αδειών ασυρμάτου, το δίκτυο χρησιμοποιεί τεχνικές χαμηλού κόστους και περιορίζεται σε ταχύτητες 1200 και 2400 bps, ενώ πρόσφατα άρχισε προσπάθεια μεταφοράς σε ταχύτητες 9600 bps σε συχνότητες UHF. Βασική δυσκολία είναι η έλλειψη πομποδεκτών κατάλληλων για συνεργασία με modem υψηλής ταχύτητας στην ελληνική αγορά.

Σημαντικές δυσκολίες παρουσιάζει επίσης η διαδικτύωση των διαφόρων περιοχών της Ελλάδος με ασύρματα δίκτυα TCP/IP. Αυτή η δυσκολία οφείλεται σε γεωγραφικούς κυρίως λόγους. Συγκεκριμένα η ασύρματη επικοινωνία μεταξύ των ελληνικών αστικών κέντρων (ακόμα και γειτονικών) είναι εξαιρετικά δυσχερής χωρίς την μεσολάβηση αναμεταδοτών σε υψηλές τοποθεσίες. Μέχρι πρόσφατα δεν είχε αναπτυχθεί η τεχνολογία κόμβων IP χαμηλού κόστους που να είναι κατάλληλοι για μη επιτηρούμενη λειτουργία. Με την εμφάνιση κατάλληλου λογισμικού για τον επεξεργαστή Z-80 πρόσφατα (TheNet-X1) αυτή η δυσκολία ξεπεράστηκε σε μεγάλο βαθμό και την στιγμή που γράφεται αυτό το κείμενο γίνονται δοκιμές της τεχνολογίας αυτής.

Σύμφωνα με πρόσφατες πληροφορίες, ήδη στην Ελλάδα λειτουργεί επίσης ένα εκμεταλλεύσιμο επαγγελματικό ραδιοδίκτυο TCP/IP το οποίο χρησιμοποιεί ταχύτητα 9600 bps σε συχνότητα 150 MHz και χρησιμοποιείται για μεταφορά αρχείων μετρήσεων με πρωτόκολλο ftp.

10. Ορολογία

Στη σύνταξη του άρθρου αυτού παρουσιάστηκαν μερικές δυσκολίες στην απόδοση της καθιερωμένης τεχνικής ορολογίας από τα αγγλικά στα ελληνικά.

* Ο όρος "byte" χρησιμοποιήθηκε παντού αντί του όρου "octet" που συνιστούν οι δημοσιεύσεις που σχετίζονται με το TCP/IP για να περιγράψει την λέξη των 8 δυαδικών ψηφίων.

* Οι όροι "σταθμός" και "κόμβος" χρησιμοποιήθηκαν εναλλακτικά και προέρχονται:

ο μόν πρώτος από την ορολογία των ραδιοεπικοινωνιών, ο δε δεύτερος από την ορολογία των δικτύων υπολογιστών. Οι αντίστοιχοι όροι της αγγλικής γλώσσας

είναι "station" και "node".

* Ο όρος "πλαίσιο" που είναι απόδοση του αγγλικού "frame" χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά για περιγραφή των μονάδων πληροφορίας του πρωτοκόλλου AX.25 (OSI layer 2). Ο όρος "πακέτο" κανονικά αναφέρεται στη μονάδα πληροφορίας των επιπέδων δικτύου/διαδικτύου και μεταφοράς, αλλά περιστασιακά χρησιμοποιείται και με γενικότερη σημασία, ακόμα και για τα χαμηλότερα επίπεδα.

* Στην διεθνή βιβλιογραφία ο όρος "gateway" χρησιμοποιείται τόσο με μία γενική σημασία για να περιγράψει διατάξεις που συνδέουν ομογενή ή ετερογενή δίκτυα, όσο διατάξεις που συνδέουν δίκτυα TCP/IP σε επίπεδο διαδικτύου (IP layer). Ο ορθός όρος για την τελευταία περίπτωση είναι "router".

* Τα ονόματα των 7 επιπέδων (layer) κατά ISO/OSI χρησιμοποιούνται στο παρόν άρθρο και για το TCP/IP. Αυτή η ορολογία διαφέρει σε σχέση με την καθιερωμένη ορολογία για το TCP/IP που βρίσκεται στην Αμερικανική βιβλιογραφία και περιγράφει το TCP/IP με 4 επίπεδα.

Στο κείμενο αυτό χρησιμοποιούνται μερικές ασυνήθιστες συντμήσεις, που αναλύονται στις αντίστοιχες παραγράφους και συνοψίζονται στη συνέχεια

AMPRNET: AMateur Packet Radio NETwork

ARRL: American Radio Relay League

ftp: File Transfer Protocol (Μεταφορά αρχείων)

IP: Internet Protocol

Modem: MODulator/DEModulator

MUA: Mail User Agent (Πρόγραμμα αναγνώσεως και αποστολής μηνυμάτων)

NOS: Network Operating System

PAD: Packet Assembler Dissassembler

POP: Post Office Protocol (Ηλεκτρονικό ταχυδρομείο)

RSPF: Radio Shortest Path First

SMTP: Simple Mail Transfer Protocol (Ηλεκτρονικό ταχυδρομείο)

TCP: Transmission Control Protocol

TNC: Terminal Node Controller

UUCP: Unix to Unix CoPy

Τέλος, τα ονόματα ραδιοερασιτεχνών που αναφέρονται στον παρόν άρθρο συνοδεύονται και από τα "Διεθνή Διακριτικά Κλήσεως" καθενός, τα οποία συχνά χρησιμοποιούνται και για περιγραφή του λογισμικού ή του πρωτοκόλλου που ανέπτυξε ο καθένας.

11. Βιβλιογραφία

- * [ARRL84] American Radio Relay League: "AX.25 Amateur Packet Radio Link-layer Protocol, Version 2", ARRL, Oct. 1984.
- * [CHEP87] Chepponis, M. and Karn, P.: "The KISS TNC: A simple Host to TNC communications protocol", 1987.
- * [COME91] Comer, D.: "Internetworking with TCP/IP", Vol. 1, 2nd Edition, Prentice Hall, 1991.
- * [FRAN92] Francis, Dexter: "Packet on the Mac", 73 Amateur Radio Today, 385, pp 8-14, October 1992.
- * [GALL92] Gallaher, M.: Multiple personal communications, 1992
- * [GOOD85] Goode, S.: "Modifying the Hamtronics FM-5 for 9600 BPS Packet Operation", Proceedings of Fourth ARRL Amateur Radio Computer Networking Conference, p. 45-51, Mar. 1985.
- * [GOLD89] Goldstein, F.: "The Radio Shortest Path First (RSPF) Routing Protocol for DDN Internet Protocol over Amateur Packet radio", Personal Communication, Oct. 1989.
- * [MILL84] Miller, James: "Telemetry Decoder for Oscar-10", Electronics & Wireless World, Oct. 1984.
- * [MILL88] Miller, James: "A 9600 baud Packet Radio Modem", First RSGB Data Symposium, Harrow, 1988.
- * [RFC1055] Romkey, J.L. "Nonstandard for transmission of IP datagrams over serial lines: SLIP." Request for Comments memo 1055, June 1988.
- * [RFC1226] Kantor, B: "Internet protocol encapsulation of AX.25 frames", Request for Comments memo 1226, May 1991
- * [RFC1241] Woodburn, R.A and Mills, D.L.: "A Scheme for an Internet Encapsulation Protocol", Request for Comments memo 1241, July 1991.
- * [RFC1247] Moy, J. "OSPF version 2." Request for Comments memo 1247, July 1991.
- * [STALL88] Stallings, William: "Data and Computer Communications", 2nd Edition, MacMillan, 1988.
- * [TOOM93] Toomey, W: "Setting up a Packet/Internet Gateway", personal communication, Apr. 1993.