

# Ραδιοδίκτυα Δεδομένων TCP/IP

**Αναστάσιος Ζαχαρίου**

Εθνική Τράπεζα Ελλάδος - Υπηρεσία Δικτύου Data

Τ.Θ. 3564, 10210 ΑΘΗΝΑ

[svIrd@svIrd.ampr.org](mailto:svIrd@svIrd.ampr.org)

**Κωνσταντίνος Κράλλης**

Κίου 6-8, 11364 ΑΘΗΝΑ

[svIxn@hol.gr](mailto:svIxn@hol.gr)

Πειραιάς, 9 Μαΐου 1996

## Περίληψη

Η εισήγηση παρουσιάζει το ραδιοερασιτεχνικό δίκτυο AMPRnet, ο οποίο είναι τμήμα του Internet και χρησιμοποιεί τεχνικές ραδιομετάδοσης πακέτων, σαν ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα δικτύου του είδους του και μάλιστα πολύ χαμηλού κόστους. Οι τεχνολογίες που αναπτύχθηκαν για το AMPRnet είναι διαθέσιμες για χρήση σε οποιαδήποτε επαγγελματικά ή στρατιωτικά δίκτυα το επιθυμούν, με license.

## 1. Εισαγωγή - Ιστορικό

Το ραδιοερασιτεχνικό Packet Radio είναι ένα σύστημα ραδιομεταδόσεως πακέτων που ξεκίνησε το 1978 στον Καναδά και σε συνέχεια διαδόθηκε στον υπόλοιπο κόσμο. 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 (e-mail) και δελτίων (bulletins) για προσωπική χρήση και ενημέρωση των ραδιοερασιτεχνών. Η μετάδοση σε μεγάλες αποστάσεις γίνεται κυρίως μέσω βραχέων κυμάτων σε χαμηλή ταχύτητα (300 bps).

Το δίκτυο αυτό χρησιμοποιεί για τα δύο πρώτα επίπεδα OSI ιδιαίτερες τεχνικές. Η πρόσβαση του μέσου μεταδόσεως (του ραδιοδιαύλου δηλαδή) γίνεται με τεχνική CSMA (carrier sense multiple access). Στο επίπεδο σύνδεσης δεδομένων (data link) χρησιμοποιείται ένα πρωτόκολλο που βασίζεται στο HDLC/LAP- B, δηλαδή στο αντίστοιχο επίπεδο του X.25. Το πρωτόκολλο αυτό ονομάζεται AX.25 και καλύπτει το δεύτερο επίπεδο OSI.

Γιά τα επίπεδα OSI 3 και 4, δέν καθορίστηκε εξ αρχής κάποιο κοινά αποδεκτό πρωτόκολλο, αλλά αφήθηκε στον πειραματισμό. Αυτό έγινε αιτία να προταθούν διάφορες εναλλακτικές λύσεις. Η πρόταση για χρήση του TCP/IP σαν πρωτόκολλο δικτύου έγινε το 1987 από τον Phil Karn της Bell Labs ο οποίος ανέπτυξε και το πρόγραμμα NOS.EXE, το οποίο μετατρέπει τον προσωπικό υπολογιστή σε κόμβο ενός δικτύου TCP/IP και ταυτόχρονα υποστηρίζει το πρωτόκολλο AX.25 που

διατηρήθηκε στο επίπεδο 2. Επίσης υποστηρίζει και όλες σχεδόν τις κατηγορίες υλικού (hardware) που χρησιμοποιούνται στα ενσύρματα τοπικά δίκτυα (LAN) αλλά και τις ασύγχρονες συνδέσεις SLIP, PPP και αρκετές εφαρμογές. Οι πρώτες δοκιμές ήταν πολύ επιτυχημένες και σύντομα ένα τμήμα του Internet, το δίκτυο 44 (class A), διατέθηκε 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 υποστήριζαν με πολλούς τρόπους τους ραδιοερασιτέχνες στην προσπάθειά τους.

## **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:

- Παρουσιάζουν πολύ μεγάλη εξασθένηση σήματος μεταξύ πομπού και δέκτου.
- Εμφανίζουν το πρόβλημα "Hidden terminal", το οποίο συνίσταται στο ότι ένας σταθμός είναι δυνατόν να παρεμβάλλει την επικοινωνία μεταξύ ενός σταθμού με τον οποίο έχει καλή επικοινωνία και ενός τρίτου, του οποίου δεν λαμβάνει τα σήματα.
- Είναι πρακτικά αδύνατο ένας πομποδέκτης να ακροάται στην συχνότητα που εκπέμπει κατά την διάρκεια της εκπομπής, για τον λόγο αυτό είναι ανέφικτη η διάγνωση των συγκρούσεων πακέτων (collision detection) όπως στο ethernet.
- Οι επικοινωνίες υποκλέπτονται εύκολα με αποτέλεσμα την ανάγκη δημιουργίας ειδικών τεχνικών ελέγχου αυθεντικότητας.

## **3. Υλικό και Λογισμικό επιπέδων OSI 1 και 2**

### **3.1 CSMA (Carrier sense multiple access)**

Τα ραδιοερασιτεχνικά συστήματα ραδιομεταδόσεως πακέτων σχεδιάζονται σχεδόν πάντα κατά τέτοιο τρόπο ώστε πολλοί σταθμοί να μπορούν να μοιράζονται το μέσο μεταδόσεως (ραδιοδίαυλο) με καταμερισμό χρόνου. Η τεχνική που χρησιμοποιείται είναι παρόμοια με την τεχνική των δικτύων "ethernet", και ονομάζεται CSMA (carrier sense multiple access). Όλα τα δίκτυα ραδιομεταδόσεως πακέτων χρησιμοποιούν την στατιστική μέθοδο p-persistent CSMA ώστε να γίνει δικαιότερη η κατανομή του διαύλου μεταξύ των ισχυρών και ασθενών σταθμών και να αυξηθεί ο επιτυγχάνομενος ρυθμός μεταδόσεως δεδομένων. Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή [1], όταν ένας κόμβος επιθυμεί να εκπέμψει ένα πακέτο, παρακολουθεί την έξοδο ενός ανιχνευτή φέροντος (DCD). Όταν ο δίαυλος γίνει διαθέσιμος, παράγει έναν τυχαίο αριθμό μεταξύ 0 και 255. Αν ο

αριθμός είναι μικρότερος της παραμέτρου P (persistense), τότε εκπέμπει αμέσως όλα τα πλαίσια που αναμένουν στην ουρά εκπομπής. Διαφορετικά περιμένει για ένα χρόνο ίσο με το χρόνο σχισμής (slot time) και επαναλαμβάνει την διαδικασία. Αν ο διάυλος ευρεθεί πάλι κατειλημμένος, ο χρόνος αναμονής αυξάνεται με εκθετικό ρυθμό. Εναλλακτικές μέθοδοι για την αποφυγή αλληλοπαρεμβολών είναι το πρωτόκολλο DAMA και η εγκατάσταση συστημάτων full duplex.

### **3.2 Το πρωτόκολλο AX.25**

Το πρωτόκολλο AX.25 υλοποιείται κατά το μεγαλύτερο μέρος του σε επίπεδο υλικού με ειδικά ολοκληρωμένα κυκλώματα, όπως τα Z-8530 και Z-8440 της Zilog και 8273 της Intel. Λόγω των ιδιομορφιών των ασυρμάτων δικτύων, έχουν γίνει ορισμένες σημαντικές τροποποιήσεις και προσθήκες. Οι λεπτομέρειες του πρωτοκόλλου AX.25 περιγράφονται αναλυτικά στη σχετική έκδοση της American Radio Relay League (ARRL) [2].

### **3.3 Hardware υλοποίησης του AX.25**

Για την σύνδεση με το ασύρματο δίκτυο χρησιμοποιείται το Terminal Node Controller (TNC). Αυτό εξωτερικά μοιάζει με ένα modem αλλά στην ουσία είναι ένα σύγχρονο PAD (packet assembler-disassembler) που ελέγχεται συνήθως από ένα μικροεπεξεργαστή Z-80 ή 6803 και ένα modem. Η βασική λειτουργία του μικροεπεξεργαστή είναι ο έλεγχος της ροής χαρακτήρων μεταξύ των δύο θυρών επικοινωνίας. Παράλληλα παρέχει την δυνατότητα στο τερματικό να ελέγξει τις παραμέτρους της επικοινωνίας και να ξεκινήσει ή να τερματίσει μιά σύνδεση AX.25. Συνήθως παρέχονται και άλλες δυνατότητες, όπως η εκπομπή ραδιοφάρου (beacon) σε τακτά χρονικά διαστήματα και ένα στοιχειώδες σύστημα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου.

Μιά από τις δυνατότητες που έχουν τα σύγχρονα TNC είναι η υποστήριξη του πρωτοκόλλου KISS. Στην περίπτωση αυτή το πλαίσιο HDLC παράγεται από τον υπολογιστή και μεταβιβάζεται στο TNC για προσθήκη των σημαιών (flags) και την αποστολή τους. Αναπτύχθηκε γιά να επιτρέψει την χρήση περίπλοκου λογισμικού το οποίο ξεπερνάει τις δυνατότητες του μικροεπεξεργαστή που βρίσκεται μέσα στο TNC, χωρίς όμως να απαιτείται η αγορά και εγκατάσταση στον υπολογιστή μιάς ακριβής κάρτας σύγχρονης επικοινωνίας (SCC) [3].

Εκτός από τα TNC υπάρχουν εσωτερικές μονάδες σύγχρονης επικοινωνίας (Synchronous Communications Controller ή SCC) κατασκευασμένες για υπολογιστές IBM PC ή συμβατούς. Οι μονάδες αυτές προσαρμόζονται στο bus της κεντρικής μονάδας και χρησιμοποιούν το τροφοδοτικό του συστήματος. Η επικοινωνία τους με τον μικροεπεξεργαστή είναι ταχύτατη και ορισμένοι τύποι χρησιμοποιούν DMA. Βασίζονται 1 ή 2 ολοκληρωμένα Z-8530 άρα διαθέτουν δύο ή τέσσερις σύγχρονες σειριακές εξόδους. Συχνά έχουν ενσωματωμένο modem και μπορούν να συνδεθούν κατευθείαν με τον πομποδέκτη, διαφορετικά απαιτείται ένα 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. Τυπικές κάρτες SCC είναι η DRSI, η PC-100, η USCC της Baycom η οποία διαθέτει 4 θύρες. Επίσης η μονάδα HAPN που βασίζεται στο ολοκληρωμένο κύκλωμα 8273 της Intel. Τέλος υπάρχουν οι αυτόνομες μονάδες PacketTen για χρήση σε κόμβους υψηλής ταχύτητας με 5 πόρτες και μικροεπεξεργαστή Motorola.

### 3.4 Modems

Τα συνηθέστερα χρησιμοποιούμενα modems είναι:

- **Bell 103** για διαμόρφωση FSK στην περιοχή HF (1.7 - 30 MHz).
- **Bell 202** για διαμόρφωση AFSK 1200 Baud στις περιοχές VHF, UHF.
- **G3RUH 9600/19200 FSK** στις περιοχές VHF/UHF Εξειδικευμένο για ραδιοεπικοινωνία, χρησιμοποιείται τη μέθοδο που ανέπτυξαν οι Steve Goode, K9NG [4] και James Miller, G3RUH [5].

## 4. Επίπεδο δικτύου - IP πάνω από AX.25

Από το επίπεδο αυτό και πάνω δεν υπάρχουν σημαντικές ποιοτικές διαφορές μεταξύ των ασυρμάτων και των ενσυρμάτων δικτύων. Οι διαφορές είναι κυρίως ποσοτικές και γενικά τα ασύρματα δίκτυα χαρακτηρίζονται από σχετικά μεγάλες καθυστερήσεις επιβεβαίωσης λήψης ενός πακέτου. Τυπικός χρόνος μεταδόσεως ενός πακέτου UDP και επιστροφής του στον αποστολέα (ping) είναι 2.3 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 σε virtual connection είτε σε datagram, χρησιμοποιώντας ασύνδετα πλαίσια πληροφορίας (UI frames). Η επιβεβαίωση παρέχεται πλέον μόνον από το επίπεδο TCP του ανταποκριτού και είναι γρηγορότερη. Το συνηθισμένο MTU είναι 256 ή 576 για τα 1200/9600 bauds.

Η δυνατότητα μεταδόσεως ασύνδετων πλαισίων επιτρέπει επίσης την μεταφορά σε περιβάλλον AX.25 του πρωτοκόλλου ARP (Address Resolution Protocol), η μεταφορά αυτή ήταν απαραίτητη για την αντιστοίχιση διευθύνσεων IP και AX.25 που είναι υποχρεωτικές για την κάθε εκπομπή.

Ο όρος "**axip**" χρησιμοποιείται για να περιγράψει τον εγκλεισμό πλαισίων AX.25 μέσα σε πακέτα IP για την μετάδοσή τους πάνω από το Internet. Η μέθοδος αυτή περιγράφεται στο RFC-1226 και έχει σαν αποτέλεσμα δύο δίκτυα ραδιομεταδόσεως πακέτων που δεν έχουν άμεση επικοινωνία να ανταλλάσσουν πλαίσια και να συμπεριφέρονται σαν ένα δίκτυο με ένα ψηφιακό αναμεταδότη (digipeater) [6].

Για την δρομολόγηση των πακέτων IP εφαρμόζονται είτε στατική δρομολόγηση, είτε χρησιμοποιείται το γνωστό routed (RIP 2.0) το οποίο υποστηρίζεται τόσο από το NOS όσο και από

τις διάφορες εκδόσεις του Unix και τα εμπορικά router (cisco κλπ). Παράλληλα αναπτύχθηκε και ένα πρωτόκολλο OSPF, το Radio Shortest Path First (RSPF), το οποίο όμως για τεχνικούς λόγους δεν έχει γνωρίσει μεγάλη επιτυχία.

## 5. Διαθέσιμο λογισμικό (software)

Υπάρχουν πολλές εκδόσεις προγραμμάτων για τα παρακάτω λειτουργικά συστήματα:

- MS-DOS: Διάφορες εκδόσεις του NOS (KA9Q, PE1CHL, JNOS, WNOS ).
- Linux 1.2.13: Άμεση υποστήριξη από το λειτουργικό σύστημα, καθώς και το TNOS.
- OS/2: PM-NOS
- Windows 3.1+Winsock: ETHRAX25.EXE (Packet Driver)
- Z-80 embeded systems: Thenet X1J Η υλοποίηση εφαρμογών (bulletins, news, e-mail, gopher κλπ) γίνεται είτε μέσα από το NOS είτε από εξωτερικά προγράμματα που έχουν γραφτεί ειδικά.

## 6. Το Amprnet σήμερα

Γενικός συντονιστής και υπεύθυνος του δικτύου 44.x.x.x, δηλαδή του AMPRnet είναι ο B. Kantor *brian@ucsd.edu* του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνιας (San Diego). Οι διευθύνσεις χωρίζονται γεωγραφικά με βάση το δεύτερο αριθμό. Οι διευθύνσεις για τους ελληνικούς κόμβους έχουν την μορφή 44.154.x.x και υπεύθυνος για την κατανομή τους είναι ο Δ. Βαλάρης *svluy@svluy.ampr.org*. Ο τομέας (domain) ".ampr.org" του Internet υποστηρίζεται από ένα nameserver στο Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνιας, Σαν Ντιέγκο (ucsd.edu) ο οποίος ενημερώνεται από τον συντονιστή του AMPRnet.

Το AMPRnet ή "δίκτυο 44" είναι δίκτυο κατηγορίας A, η μοναδική πύλη εισόδου είναι το "mirrorshades.ucsd.edu". Το σύστημα αυτό γνωρίζει ποιά άλλα routers υφίστανται μεταξύ των διαφόρων δικτύων που απαρτίζουν το Internet και το AMPRnet. Από το σημείο αυτό, τα πακέτα εγκλείονται μέσα σε άλλα πακέτα IP (IP- encapsulation [7]) τα οποία και αποστέλλονται στο routers που είναι πλησιέστερα προς τον αποδέκτη. 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 ενιαίο netmask και υπάρχει ελευθερία subneting ανάλογα με τις τοπικές ανάγκες.

Στην Ελλάδα οι πρώτες προσπάθειες ανάπτυξης ενός ασύρματου δικτύου TCP/IP άρχισαν γύρω στο 1989. Αυτή τη στιγμή περιλαμβάνει γύρω στους 60 σταθμούς και 80 κόμβους στην Αθήνα, Θεσ/νίκη, Ξάνθη, Πάτρα και Ηράκλειο, όπου και υφίστανται routers προς το υπόλοιπο Internet. Η συχνότητες εκπομπής είναι 144625 kHz (1200 bps) και 430650 kHz

(9600 bps). Το δίκτυο της Αθήνας αποτελείται σήμερα από 4 application server/router, ένα router που το διασυνδέει με το υπόλοιπο Internet, ένα secondary DNS server και 40 άλλους σταθμούς σαν χρήστες. Σε άλλες πόλεις υφίσταται μόνο ανά ένα router που είναι ταυτόχρονα και application server.

Επειδή όλη η προσπάθεια χρηματοδοτήθηκε αποκλειστικά από τους συμμετέχοντες ραδιοερασιτέχνες, ο εξοπλισμός είναι αρκετά απλός και οικονομικός. Όλοι οι κόμβοι χρησιμοποιούν IBM PC/AT συμβατούς υπολογιστές με NOS ή Linux και πομποδέκτες VHF και UHF μικρής ισχύος και κατακόρυφες κεραιές. Αρκετοί χρήστες χρησιμοποιούν και μικρά LAN, συνδεδεμένα στο κύριο δίκτυο. Όλοι σχεδόν οι σταθμοί χρησιμοποιούν κλασικά TNC σε διαμόρφωση KISS, ορισμένοι όμως διαθέτουν εσωτερικές μονάδες σύγχρονης επικοινωνίας (SCC), ενώ άλλοι πειραματίζονται με τεχνικές παραγωγής τών πλαισίων AX.25 σχεδόν εξ ολοκλήρου με λογισμικό, με την χρήση ειδικού device driver. Οι σταθμοί της τελευταίας κατηγορίας χρησιμοποιούν μόνο ένα απλό modem χαμηλού κόστους για οδήγηση του πομποδέκτη.

Ο έλεγχος της λειτουργικότητας του δικτύου γίνεται σε γραφικό περιβάλλον αλλά με κλασικές τεχνικές του IP (ICMP-ping, traceroute, rpc, finger stats) δεδομένου ότι το ειδικό για την δουλειά αυτό πρωτόκολλο SNMP είναι αρκετά "βαρύ" για τον ήδη βεβαρυμένο κώδικα του NOS.

## 7. Βιβλιογραφία

1. Stallings, William: "Data and Computer Communications", 2nd Edition, MacMillan, 1988.
2. American Radio Relay League: "AX.25 Amateur Packet Radio Link-layer Protocol", Version 2, Oct. 1984.
3. Chepponis, M. and Karn, P.: "The KISS TNC: A simple Host to TNC communications protocol", Personal communication, 1987.
4. 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.
5. Miller, James: "A 9600 baud Packet Radio Modem", *First RSGB Data Symposium*, Harrow, 1988.
6. Kantor, B: "Internet protocol encapsulation of AX.25 frames", Request for Comments memo 1226, May 1991
7. Woodburn, R.A and Mills, D.L.: "A Scheme for an Internet Encapsulation Protocol",

Request for Comments memo 1241, July 1991.