

IP protokol v profesionalnih sistemih radijskih zvez

Boštjan Tavčar, Ministrstvo za obrambo, Uprava RS za zaščito in reševanje

Povzetek — Članek opisuje zmožnosti paketnega prenosa podatkov v profesionalnih snopovnih sistemih radijskih zvez TETRA in profesionalnih sistemih radijskih zvez DMR. Opisana sta mehanizma prenosa paketnih podatkov po IP protokolu v obeh sistemih. Predstavljene so slabosti mehanizma prenosa IP paketov prek sistemov TETRA. Predstavljene so tudi meritve hitrosti in kvalitete prenosa UDP datagramov v komercialnem sistemu TETRA v Grčiji. Na koncu je izražen dvom o smiselnosti uporabe IP protokola v V+D radijskem vmesniku sistemov TETRA.

Ključne besede — TETRA, DMR, profesionalna radijska omrežja, prenos podatkov, IP

Abstract — The article describes the possibility of packet data transfer in professional trunk radio systems TETRA and professional radio systems DMR. The mechanism of data transfer through IP protocol in both systems is described. The weaknesses of mechanism of IP packets transfer through TETRA systems are also described. Measurements of speed and quality of UDP datagram transfer in commercial TETRA system in Greece are presented. Finally the doubt about reasonableness of use IP protocol in V+D TETRA radio interface is expressed.

Keywords — TETRA, DMR, MESA, professional radio networks, data transfer, IP

I. UVOD

V preteklosti je bila osnovna naloga profesionalnih sistemov radijskih zvez prenos govornih sporočil. Prenos podatkov je bil drugotnega pomena, saj sta bili zaradi analogne tehnologije sistemov močno omejeni hitrost in funkcionalnost prenosa. Standard druge generacije profesionalnih sistemov radijskih zvez TETRA je bil za tiste čase zelo ambiciozen in napreden. Predvidel je dva načina prenosa podatkov: vodovni način V+D in paketni način PDO. Oba načina sta predvidela za tiste čase relativno visoke hitrosti primerljive s hitrostmi na telefonskih vodih. Vodovni način prenosa podatkov je pomenil nadaljevanje filozofije prenosa podatkov poznane že iz analognih sistemov radijskih zvez. Novost je bila zmožnost združevanja več kanalov oziroma časovnih oken. Paketni način PDO je bil nekaj novega, vendar v praksi žal nikoli ni zaživel. Razlog je v IP protokolu, ki je v tem času postal dejanski standard za paketni prenos podatkov. IP protokol je bil zato naknadno vključen v standard TETRA kot protokol za paketni prenos podatkov. Sistemi TETRA so v osnovi digitalni sistemi, ki ne predvidevajo paketne komunikacije med posameznimi elementi sistema. Centralni del sistemov TETRA so praviloma klasične komutacijske centrale, ki so z drugimi elementi sistema, kot so bazne postaje,

dispečerji in drugo, povezane prek E1 komunikacijskih povezav. Posamezni proizvajalci so razvili tako imenovane različice sistemov TETRA over IP, ki zgolj na nivoju omrežne infrastrukture uporabljajo IP protokol kot transportni protokol.

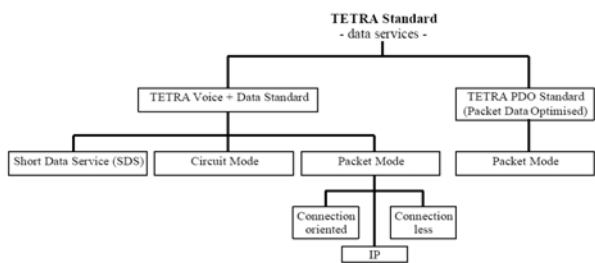
Povsem drugačno je stanje pri profesionalnih sistemih radijskih zvez DMR. Pri njih je IP protokol za paketni prenos podatkov že vključen v osnovni standard. Poleg tega pri sistemih DMR celotna infrastruktura, vključno s terminali, medsebojno komunicira prek IP protokola.

Sodobni profesionalni sistemi radijskih zvez so vse kompleksnejši. To močno otežuje njihovo načrtovanje, nadgrajevanje in vzdrževanje. Odprava raznih pomanjkljivosti in napak terja stalne programske nadgradnje, ki zaradi kompleksnosti prepogosto vnašajo nove napake. Najbolj učinkoviti način obvladovanja in premagovanja tovrstnih težav je hierarhično strukturiranje sistema na elemente, ki delujejo samostojno in so med seboj povezani z omejenimi in preprostimi povezavami. Strukturiranje sistema v tako imenovane protokolne sklade močno izboljša njegovo obvladljivost in logičnost oziroma pravilnost delovanja, žal pa zmanjšuje njegovo učinkovitost, ki se meri predvsem s hitrostjo in kvaliteto prenosa podatkov. V profesionalnih sistemih radijskih zvez, ki so že zaradi naravnih fizikalnih omejitev močno omejeni pri hitrostih prenosa podatkov, to lahko pomeni še dodatne težave. Situacijo praviloma še poslabša naknadno vključevanje raznih vmesnih protokolov v protokolni sklad. Prihaja celo do absurdnih situacij, ko je večina prenesenih podatkov v sistemu kontrolnih podatkov iz različnih protokolov, le manjši del je koristnih podatkov. Na tem mestu si zato lahko upravičeno postavimo vprašanje, ali je uporaba IP protokola v profesionalnih sistemih radijskih zvez druge generacije sploh smiselna.

II. IP PROTOKOL V SISTEMIH TETRA

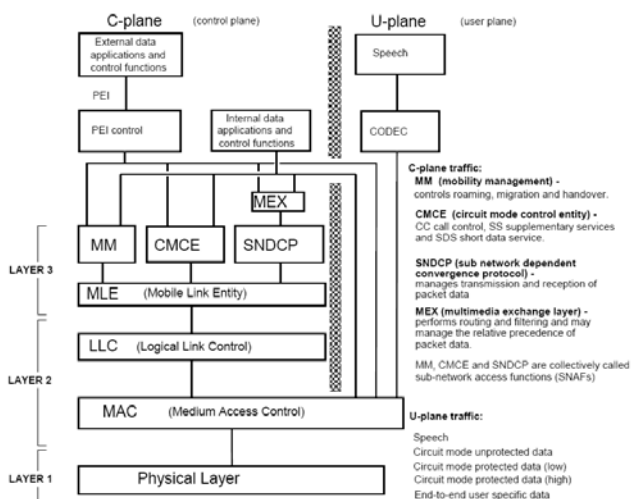
A. Možnost paketnega prenosa podatkov v sistemih TETRA

Sistemi TETRA delujejo v tehnologiji časovnega sodostopa TDMA na radijskih kanalih pasovne širine 25 kHz s štirimi časovnimi okni. Uporabljena je $\pi/4$ – DQPSK modulacija. Teoretična najvišja hitrost prenosa podatkov je 50 kbit/s. V praksi je ta hitrost manjša, saj kanala ni mogoče v celoti izkoristiti. Bruto hitrost prenosa podatkov v sistemih TETRA je tako 36 kbit/s. Če odštejemo signalizacijo, ostane neto hitrost prenosa podatkov 28,8 kbit/s oziroma 7,2 kbit/s v enem časovnem oknu.



Slika 1: TETRA podatkovne storitve (VIR: ETSI)

IP protokol je bil v standard TETRA vnesen naknadno v obstoječi radijski vmesnik in je neposrečno nadomestil dotodanji PDO paketni protokol, ki v praksi ni nikoli zaživel.

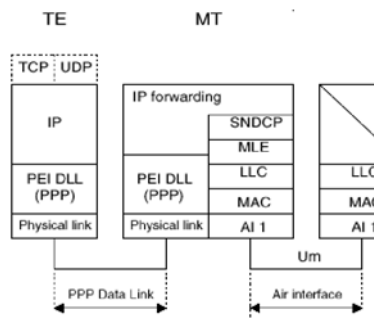


Slika 2: IP protokol v sistemu TETRA (VIR: ETSI)

Za usmerjanje IP paketov je bil dodan nov MEX sloj, ki med drugim skrbi za usmerjanje IP paketov. Znotraj podomrežja mora imeti vsak gostitelj edinstveno identiteto (host id). V sistemu TETRA so naslovi IP povezani z identifikacijskimi številkami radijskih postaj (ITSI), ki omogočajo usmerjanje datagramov preko radijskega vmesnika do gostitelja. Naslov IP

gostitelja na radijski postaji je lahko statičen ali dinamičen. Sistem TETRA na nivoju radijskega vmesnika uporablja za usmerjanje datagrama identifikacijsko številko radijske postaje (ITSI).

Zunanje naprave se na radijske postaje TETRA povezujejo prek PEI vmesnika. PEI vmesnik je serijska v.24 (RS232) povezava, na kateri teče PPP protokol.



Slika 3: Protokol prek PEI vmesnika (VIR: ETSI)

Neposredni način delovanja DMO med dvema ali več postajami ne podpira paketnega načina prenosa podatkov.

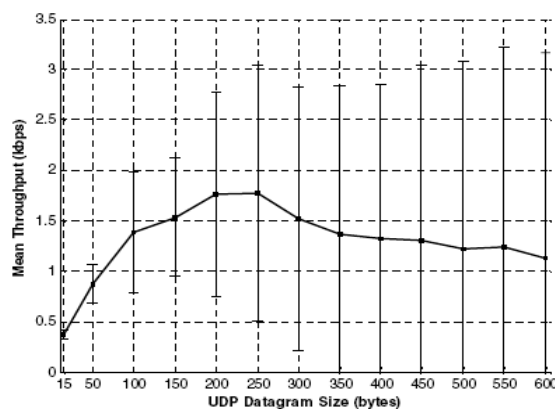
B. Hitrosti paketnega prenosa podatkov v sistemih TETRA

Teoretične hitrosti paketnega prenosa podatkov po protokolu IP v sistemih TETRA so:

Tabela 1: Hitrosti prenosa podatkov po IP protokolu

1 čas. okno	4 čas. okna
2,5 – 3,5 kbit/s	~9 kbit/s

Praktične meritve na omrežju proizvajalca OTE v Grčiji so pokazale, da so te hitrosti približno polovico nižje.



Slika 4: Povprečne hitrosti prenosa UDP datagramov (vir:[6])

Pri največji hitrosti prenosa se izgubi med 5 in 10 % paketov. Optimalna dolžina paketov je med 150 in 250

bajtov. Največja povprečna dosežena hitrost prenosa je 1,7 kbit/s, povprečna uporabna hitrost prenosa je 1,5 kbit/s. Trepetanje zakasnitve je med 1200 in 1700 ms. Sprejem paketov v napačnem vrstnem redu je do 10 %. Poudariti je potrebno, da so bile meritve opravljene pri relativno visokih močeh signala -77 dBm.

Meritve se dokaj dobro ujemajo z meritvam, na poskusnem omrežju TETRA proizvajalca Nokia na Ministrstvu za obrambo.

C. IP protokol na omrežnem nivoju sistemov TETRA

Sistem TETRA za medsebojno komunikacijo med posameznimi deli omrežja in radijskimi postajami v osnovi ne uporablja IP protokola.



Slika 5: Klasično in IP omrežje TETRA (Vir: THALES)

Posamezni proizvajalci so razvili tako imenovane sisteme »TETRA over IP«, ki na nivoju povezav med posameznimi elementi omrežja uporabljajo IP protokol. Ta se uporablja na nestandardiziranih vmesnikih omrežja zgolj kot transportni protokol. Radijski vmesnik je ostal enak kot pri klasičnih sistemih TETRA.

III. IP PROTOKOL V SISTEMIH DMR

A. Možnosti prenosa podatkov v sistemih DMR

Sistemi DMR uporabljajo tako kot sistemi TETRA tehnologijo časovnega sodostopa TDMA na radijskih kanalih pasovne širine 12,5 kHz. Uporabljena je štirinivojska fazna digitalna modulacija 4FSK. Teoretična najvišja hitrost prenosa podatkov je 25 kbit/s. V praksi je ta hitrost manjša, saj kanala ni mogoče v celoti izkoristiti. Bruto hitrost prenosa podatkov v sistemu DMR je tako 19,2 kbit/s. Če odštejemo signalizacijo, ostane neto hitrost prenosa podatkov 14,3 kbit/s oziroma 7,15 kbit/s v enem časovnem oknu.

IP protokol je del standarda DMR. Zagotavlja nepovezaven način prenosa podatkovnih datagramov s kakovostjo najboljše možne storitve. Za prenos IP protokola prek radijskega vmesnika neposredno skrbi protokol radijskega vmesnika. Ta skrbi za drobitev in sestavljanje podatkov, detekcijo in odpravo napak ter

potrditev sprejema. Vse periferne naprave, ki komunicirajo med seboj, morajo imeti IP naslove iz istega IP podomrežja. Za medsebojno povezavo

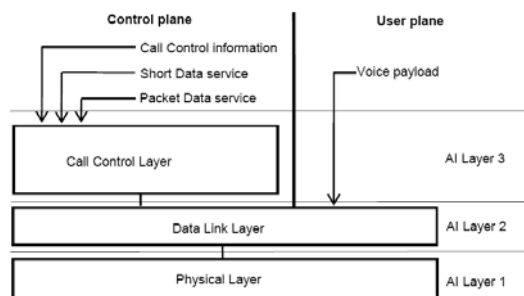


Figure 4.1: DMR protocol stack

Slika 2: IP protokol v sistemu DMR (Vir: ETSI)

podomrežij in povezavo z drugimi omrežji ter omrežjem Internet se uporablja NAT prevedba. Za razliko od TETRA postaj, ki se v omrežju identificirajo z identifikacijskimi številkami (ITSI), imajo DMR postaje za identifikacijo v omrežju IP naslove. Ti morajo biti iz istega podomrežja kot naslovi perifernih naprav priključenih na radijske postaje.

Zunanje naprave se na radijske postaje DMR povezujejo prek standardnega USB vmesnika. USB vmesnik je serijska povezava, na kateri v DMR radijskih postajah teče »IP over USB« protokol.

Neposredni način delovanja med dvema postajama podpira paketnega načina prenosa podatkov. Dve radijski postaji DMR zato lahko neposredno uporabimo za podatkovni most za povezavo dveh IP omrežij.

B. Hitrosti paketnega prenosa podatkov v sistemih DMR

Paketni prenos podatkov temelji na IP protokolu. Možni sta dve hitrosti prenosa podatkov odvisno od števila uporabljenih časovnih oken.

Tabela 2: Hitrosti prenosa podatkov pri paketnem načinu

1 čas. okno	2 čas. okni
~2 kbit/s	~4 kbit/s

Hitrost ~2 kbit/s velja pri visoki stopnji zaščite podatkov. Pri nižjih stopnjah zaščite je hitrost lahko tudi višja. Na DMR omrežju še nismo opravili meritev. Prvi praktični preizkusi kažejo, da so dejanske hitrosti blizu napovedanim oziroma celo nekoliko višje.

C. IP protokol na omrežnem nivoju sistemov DMR

Medsebojna komunikacija med DMR napravami na nivoju omrežja v standardu ni definirana. Definiran je

le radijski vmesnik, prek katerega teče IP protokol. V praksi se za medsebojno povezovanje baznih postaj uporabljajo klasični Ethernet priključki in IP protokol. Bazne postaje se med seboj povezujejo v »peer to peer« omrežje. Radijske postaje se ob vklopu prijavijo na najbližjo bazno postajo iz pregledovalne liste. Bazne postaje si izmenjujejo podatke o tem, kje je prijavljena posamezna radijska postaja. To omogoča dostopnost radijskih postaj v celotnem omrežju.

IV. SMISELNOST UPORABE IP PROTOKOLA

Tehnologija profesionalnih radijskih zvez druge generacije v osnovi omogoča mnogo hitrejšo prenoso podatkov, kot jih dejansko izkoriščamo. Pri standardizaciji paketnega prenosa podatkov so se odločili za IP protokol, ki se v praksi ni izkazal za optimalnega.

Prvotno je standard TETRA predvidel za paketni prenos podatkov ločen radijski vmesnik, ki bi na celotni pasovni širini prenašal podatke po PDO protokolu. Naknadno so v standard uvedli IP protokol in ga vključili v obstoječi radijski vmesnik V+D. To je omogočilo prenos podatkov v enem časovnem oknu na obstoječih radijskih postajah. Žal se je hitrost prenosa podatkov drastično znižala na komaj še uporabni nivo. Meritve na omrežju OTE v Grčiji so pokazale, da je uporabna hitrost paketnega prenosa podatkov 1,5 kbit/s pri moči signala -77 dBm. Poleg majhne hitrosti je zaskrbljujoča potrebna jakost signala, vprašljivi pa so tudi ostali parametri kakovosti storitve. Da bi izboljšali hitrosti prenosa so v standardu TETRA 2 predvideli drugačne tipe modulacije na sicer nespremenjenem radijskem vmesniku in poleg osnovnega 25 kHz kanala še kanale večjih pasovnih širin. Novi tipi modulacije povečujejo hitrosti prenosa podatkov, žal pa zahtevajo večje jakosti signala in s tem posledično gostejšo radijsko omrežje.

Osnovna težava sistemov radijskih zvez TETRA je vztrajanje na zastarelem radijskem vmesniku, ki po svoji zasnovi ni optimiziran za paketni prenos podatkov po IP protokolu. Druga bistvena težava je, da sistemi TETRA v osnovi niso IP sistemi.

V sistemih radijskih zvez DMR je hitrost paketnega prenosa podatkov relativno nizka. Kljub temu se je v praksi izkazala za boljše in kvalitetnejšo kot v sistemih TETRA. Bistvena prednost je da pri tem potrebujejo nižje moči signala, kar pomeni posledično večji domet baznih postaj in s tem redkejšo omrežje. Sistemi DMR so v skladu s standardom zasnovani kot povsem IP sistemi na vseh nivojih. To jim omogoča dokaj enostavno nadgradnjo iz obstoječega konvencionalnega načina delovanja na bodoči snopovni način delovanja zgolj s programsko nadgradnjo obstoječih baznih in radijskih postaj.

V. ZAKLJUČEK

Uporaba IP protokola za paketni prenos podatkov v sistemih TETRA prek V+D radijskega vmesnika ni smiselna, saj preslabo izkorišča osnovne zmožnosti radijskega vmesnika. Dosežene hitrosti so komajda uporabne, nezadovoljiva je tudi kakovost prenosa. V sistemih TETRA 2 situacija ni dosti boljša. Hitrosti na radijskem vmesniku so sicer višje vendar za ceno občutno višje potrebne moči signala.

V sistemih DMR je situacija boljša, saj ti že v osnovi nimajo ambicije po hitrih prenosih podatkov. Dosežene hitrosti so primerljive s hitrostmi v sistemih TETRA vendar z boljšo kakovostjo in manjšo potrebno močjo signala. Sistemi DMR so povsem IP sistemi, kar je njihova bistvena prednost pred sistemi TETRA. S tega stališča je tudi smiselna uporaba protokola IP za paketni prenos podatkov.

LITERATURA

- [1] Boštjan Tavčar, Ali je nov standard Digitalnega mobilnega radija DMR konkurenca Prizemnega snopovnega radia TETRA, Ministrstvo za obrambo, Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje, VITEL, 2007
- [2] ETSI, TS 102 361-1 V1.4.1 (2006-12), DMR Air Interface (AI) protocol, december 2006
- [3] ETSI, TS 102 361-3 V1.1.3 (2006-09), DMR data protocol, september 2006
- [4] ETSI EN 300 392-2 V3.2.1 (2007-09), Terrestrial Trunked Radio (TETRA), Voice plus Data (V+D), Part 2: Air Interface (AI), september 2007
- [5] MOTOROLA, TDMA Technology, Bringing Increased Capacity and Functionality to Professional Digital Two-Way Radio, maj 2006
- [6] D. I. Axiontis, D. Xenikos, UDP Performance Measurements over TETRA IP, Telecommunications Laboratory, School of Electrical and Communications Engineering, National Technical University of Athens Greece, Mobile Communications Planning Dept. OTE S. A. Greece, 2007
- [7] D. Hercog, (Ne)primernost protokola s ponavljanjem N sporočil v protokolnem skladu z med seboj neodvisnimi sloji, Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani, ERK, 2007



Boštjan Tavčar je diplomiral na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani na univerzitetni smeri telekomunikacije. Od leta 1994 je zaposlen na Ministrstvu za obrambo, na Upravi za zaščito in reševanje. Med leti 2001 in 2007 je vodil Sektor za opazovanje obveščanje in alarmiranje, od leta 2008 vodi Sektor za informatiko in komunikacije, kjer je zadolžen za strategijo razvoja informacijsko telekomunikacijskih sistemov, sistemov opazovanja, obveščanja in alarmiranja ter tehnologije centrov za obveščanje. Je tudi predavatelj na Višji strokovni šoli za telekomunikacije, Šolskega centra za pošto ekonomijo in telekomunikacije. Bil je član več medresorskih delovnih skupin za uvedbo sistema radijskih zvez druge generacije (TETRA) v Republiki Sloveniji. Boštjan Tavčar je tudi avtor več strokovnih člankov s področja profesionalnih radijskih zvez, med katerimi je potrebno še posebej omeniti članek z naslovom: »Model za izračun oddaljenosti istokanalnih celic v celičnih radijskih omrežjih«.