

Sladan Svrzić,
pukovnik, dipl. inž.
VP 7833 Zemun
Sc Dragan Čosović,
potpukovnik, dipl. inž.
VP 4578 Beograd

UPOREDNI PREGLED STANDARDA ZA DIGITALNE TRANKING SISTEME FUNKCIONALNIH MOBILNIH RADIO-VEZA

UDC : 621.396.6 : 006.7

Rezime:

Za izgradnju funkcionalnih sistema mobilnih radio-veza danas se koriste trunking sistemi analognih i digitalnih mobilnih radio-veza. Zbog niza prednosti, trunking sistemi digitalnih mobilnih radio-veza sve više potiskuju analogne trunking sisteme. Digitalni trunking sistemi proizvode se i grade na terenu, na osnovu određenih standarda. Najpoznatiji i najzastupljeniji standardi u svetu su EDACS, TETRA, APCO 25, TETRAPOL i iDEN. U radu su opisane i karakteristike navedenih standarda, kao i njihov uporedni pregled i analiza.

Ključne reči: digitalni trunking sistemi mobilnih radio-veza, standardi EDACS, TETRA, APCO 25, TETRAPOL, iDEN, analiza standarda.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE STANDARDS FOR DIGITAL TRUNKED MOBILE RADIO SYSTEMS

Summary:

For building Private Mobile Radio (PMR), analogous and digital trunked mobile radio systems are used today. Due to many advantages, trunked systems of digital mobile radio are gradually pushing out analogous trunked systems. Digital trunked systems are produced and built in the field, according to specific standards. The most famous and spread standards of the world are: „EDACS“, „TETRA“, „APCO 25“, „TETRAPOL“ and „iDEN“. A short description and characteristics of the above mentioned standards are given in the paper, as well as their comparative analysis.

Key words: digital trunked mobile radio systems, standards „EDACS“, „TETRA“, „APCO 25“, „TETRAPOL“, „iDEN“, standards analysis.

Uvod

U poslednje vreme konvencionalne sisteme¹ mobilnih radio-veza (MRV) ma-

¹ Kod konvencionalnih sistema MRV koristi se otvoreni radio-kanal koji je striktno dodeljen jednoj grupi učesnika, gde svi učesnici prate radio-saobraćaj koji se odvija u simpleksu (direktni režim rada) ili semidupleksu (režim rada sa repeto-rom). Dok taj kanal zauzimaju dva učesnika, svi drugi učesnici (koji imaju podešene radio-terminale za rad po tom kanalu) moraju da čekaju na oslobađanje kanala za komuniciranje.

sovno zamenjuju sistemi trunking MRV. To su, u stvari, radijalno-čelijski sistemi UHF MRV u kojima se vrši automatska komutacija raspoloživih saobraćajnih radio-kanala baznih radio-stanica, kako bi se ostvarivale veze između mobilnih učesnika međusobno, i mobilnih učesnika sa drugim učesnicima iz sistema i van nje-ga. Oni spadaju u klasu sistema MRV

koji su, pre svega, orijentisani na formiranje različitih funkcionalnih i korporativnih radio-mreža, u kojima se predviđa postojanje virtuelnih mreža i aktivna primena režima rada mobilnih korisnika po različitim grupama.

Njih, za sada, uglavnom koristi policija i ostale specijalizovane službe za društvenu bezbednost i zaštitu, kompanije koje se bave zemaljskim automobilskim i železničkim transportom, veliki proizvođači i distributeri svih vrsta energenata (nafte, gasa, električne energije, itd.), aerodromi i velike luke, itd. Postoje i, namenski specijalno urađeni, sistemi ove vrste MRV za ekskluzivnu primenu u vojne svrhe, kao i sistemi koji se mogu koristiti za pružanje usluga u javnoj mobilnoj telefoniji i prenosu podataka.

Za funkcionalne i javne trunking sisteme MRV definisan je čitav niz različitih standarda koji se međusobno razlikuju po primenjenim metodama za obradu i prenos govornih signala (analognih i digitalnih), po tipovima mrežnog pristupa (FDMA – frekventni multipleks, TDMA – vremenski multipleks, CDMA – kodni multipleks), po načinu dodeljivanja i određivanja saobraćajnog radio-kanala (sa decentralizovanim i centralizovanim upravljanjem), po tipu kontrolnog kanala (izdvojen i distribuiran) i po drugim karakteristikama.

Danas su u svetu još uvek široko rasprostranjeni neki ranije proizvedeni analogni trunking sistemi MRV, kao što su SMART TRUNK, zatim sistemi sa standardom MPT-1327 (ACCESSNET, ACTIONET i drugi),² sistemi proizvođača MO-

TOROLA (STARTSITE, SMARTNET, SMARTZONE) i sistemi sa distribuiranim kontrolnim kanalom (LTR i MULTI-NET proizvođača F. F. JOHNSON Co i ESAS proizvođača UNIDEN). Neke od ovih sistema danas koriste službe za državnu bezbednost i zaštitu.

Tranking sistemi MRV koji se zasnivaju na digitalnim standardima još nisu široko primenjeni pre svega zbog veoma visoke cene opreme.³ Međutim, bez obzira na to, u svetu se konstantno širi krug korisnika digitalnih trunking sistema MRV, što se objašnjava čitavim nizom nezaobilaznih prednosti u odnosu na analogne trunking sisteme, kao što su: bolja spektralna efikasnost, povećani kapacitet veza u sistemu i izjednačavanje kvaliteta prenosa govornih signala u cejoj servisnoj zoni bazne radio-stanice.

Digitalni trunking sistemi MRV, u odnosu na analogne, obezbeđuju čitav niz značajnih prednosti koje su postignute uspešnom realizacijom zahteva za povišenu operativnost veza, zbog zaštićenosti veza, pružanja širokih mogućnosti za integrisani (sa govorom ili samostalni) prenos signala podataka, mnogo šireg spektra usluga veze (uključujući specifične usluge veze za realizaciju specijalnih potreba službi društvene bezbednosti i zaštite), kao i zbog mogućnosti realizacije veza između učesnika različitih mreža (mobilnih i stacionarnih).

Razvoj svetskog tržišta trunking sistema MRV danas se karakteriše široko rasprostranjenom implementacijom digitalnih tehnologija. Vodeći svetski proizvođači opreme za analogne trunking

² O trunking sistemu MRV ACCESSNET proizvođača ROHDE & SCHWARTZ Bick Mobilfunk i otvorenom standardu MRT-1327, na kome je ovaj sistem zasnovan, isti autori su objavili opširan tekst koji je kao specijalni dodatak bio štampan uz Novi glasnik br. 1 od 2000. godine.

³ Procenjuje se da su investicije za izgradnju digitalnih trunking sistema MRV desetak puta veće od investicija za analogne sisteme.

sisteme MRV uveliko najavljuju prelaz na digitalne standarde, podrazumevajući pri tom, bilo proizvodnju principijelno potpuno nove opreme, bilo adaptaciju analognih sistema na sisteme digitalnih veza.

Za izgradnju i funkcionisanje digitalnih trunking sistema MRV više standarda donele su različite institucije ili svetski proizvođači.

Međutim, najpopularniji standardi za digitalne trunking MRV, koji su do danas dobili međunarodni značaj i na osnovu kojih su u mnogim zemljama izgrađeni digitalni trunking sistemi mobilnih radio-veza, su:

– EDACS, koji je razvila firma L. M. ERICSSON iz Švedske,

– TETRA, koji je razvio Evropski institut za telekomunikacione standarde (ETSI),

– APCO-25, koji je razvilo Međunarodno udruženje oficijelnih predstavnika veze organa i službi za opštu bezbednost i zaštitu (APCOI),

– TETRAPOL, koji je razvila firma MATRA COMMUNICATIONS iz Francuske,

– iDEN, koji je razvila firma MOTOROLA iz SAD.

Svi navedeni standardi odgovaraju (istina, neki manje, neki više) navedenim savremenim zahtevima koji se postavljaju pred digitalne trunking sisteme MRV. Oni dozvoljavaju da se izgrade mreže digitalnih MRV različitih konfiguracija: od najprostijih, jednočelijskih mreža lokalnog značaja, do veoma kompleksnih višćelijskih mreža regionalnog ili nacionalnog nivoa. Sistemi MRV, izgrađeni na osnovu navedenih standarda, obezbeđuju

različite režime digitalnog prenosa i komutacije govornog signala (individualni poziv, grupni poziv, difuzni poziv i slično) i signala podataka (komutacijom paketa, prenos podataka komutacijom kola, prenos kratkih poruka i slično), kao i mogućnost organizacije veze sa drugim različitim sistemima veza preko standardizovanih interfejsa (sa digitalnom mrežom integrisanih službi – ISDN, sa javnom telefonskom mrežom – PSTN, sa funkcionalnim, kućnim ATC-PABX i drugim). U sistemima digitalnih trunking MRV primenjuju se najsavremeniji načini za konverziju analognih signala govora, koji koincidiraju sa zaista efektivnim metodama primenjenim pri kodovanju informacija radi zaštite od različitih vrsta smetnji (zaštitno kodovanje). Svi sistemi navedenih standarda dozvoljavaju svojim korisnicima mogućnost korišćenja dupleksne radio-veze. Proizvođači radio-opreme za ove sisteme, obezbeđuju njihovu usklađenost sa standardom MIL STD 810 za različite klimatske i mehaničke uticaje.

Danas je najperspektivniji standard TETRA (TErestrial Trunked RAdio), koji je razvio Evropski institut za telekomunikacione standarde (ETSI) kao otvoreni standard za svetsko tržište, i ima realne šanse da u funkcionalnim primenama dostigne isti uspeh kao i GSM standard za javni globalni sistem mobilne telefonije.

Da bi se na adekvatan način mogao ostvariti uporedni pregled navedenih standarda i potkrepila izrečena tvrdnja, u daljem tekstu članka ukratko su prikazani neki od sistema digitalnih trunking MRV koji po njima funkcionišu.

Digitalni trunking sistem MRV tipa EDACS

Jedan od prvih standarda za digitalne trunking MRV bio je standard EDACS (Enhanced Digital Access Communication System). Mada je u početku standard predviđao samo analogni prenos govora, kasnije je razrađena i specijalna modifikacija sistema za digitalni prenos koji je dobio naziv EDACS Aegis.

Sistem EDACS je u skladu sa zatvorenim protokolom firme Ericsson, koji odgovara zahtevima za bezbednost korišćenja trunking sistema mobilnih radio-veza, koji je razradio niz proizvođača opreme za MRV, zajedno sa organima za javnu bezbednost i zaštitu (Dokument APS 16).

Digitalni sistemi MRV EDACS izrađuju se za frekventne opsege 138–174 MHz, 403–423 MHz, 450–470 MHz i 806–870 MHz, sa razmakom frekvencija od 30 kHz, 25 kHz i 12,5 kHz.

U sistemima EDACS primenjuje se frekventna raspodela kanala veze (FDMA) uz korišćenje izdvojenog radio-kanala upravljanja sa velikom brzinom prenosa (9600 bit/s), koji je namenjen za razmenu digitalnih informacija između radio-stanica i uređaja za upravljanje radom sistema. Ovakvo rešenje obezbeđuje visoku operativnost veze, tako da vreme uspostave kanala veze u sistemima sa jednom radio-zonom ne prelazi 0,25 sekundi. Brzina prenosa informacija u saobraćajnom radio-kanalu takođe iznosi 9600 bit/s.

Kodiranje govora u sistemu vrši se putem kompresije impulsno-kodnih nizova čija je brzina 64 kbit/s. Ovi impulsno-kodni nizovi dobijaju se pomoću analogno-digitalne konverzije govornih signala, koja se obavlja frekvencijom odabiranja

od 8 kHz i formiranjem kodnih reči sa 8 bita. Algoritam kompresije, koji primenjuje metod adaptivnog višenivojskog kodovanja (razrađen u firmi Ericsson), obezbeđuje dinamičku adaptaciju prema individualnim karakteristikama govora učesnika i formira digitalni niz male brzine, koji se nakon toga podvrgava kodovanju otpornom na smetnje, tako da brzina digitalnog protoka na kraju ovog procesa iznosi 9,2 kbit/s. Formirani niz dalje se deli na pakete, pa se u svaki paket dopunski uključuju signali sinhronizacije i upravljanja. Na takav način formira se rezultujuć digitalni niz koji se predaje u saobraćajni kanal veze brzinom od 9600 bit/s.

U osnovne funkcije standarda EDACS, koji omogućuju potrebne specifičnosti službama javne bezbednosti i zaštite, spadaju različiti režimi poziva (grupni, individualni, hitni, statusni), dinamičko upravljanje prioritetom poziva (u sistemu se može koristiti do 8 nivoa prioriteta), dinamička modifikacija grupa učesnika (pregrupisanje) i distanciono isključenje radio-stanica (pri gubljenju ili krađi mobilnog radio-uređaja).

Sistemi MRV po standardu EDACS obezbeđuju mogućnost rada radio-uređaja kako u digitalnom tako i u analognom režimu, što dozvoljava korisnicima da na određenoj etapi razvoja sistema mogu iskoristiti i starije tipove radio-uređaja. Takođe, moguće je prolazno šifrovanje informacija od izvora do prijema. Međutim, u vezi sa zatvorenim protokolom, može se primeniti ili standardni algoritam zaštite, koji predlaže firma Ericsson, ili da se sa njom usaglasi mogućnost korišćenja sopstvenih softversko-hardverskih modula, koji realizuju originalne algoritme. Pri tome, oni moraju biti kom-

patibilni sa sistemskim protokolom koji je primenjen u sistemu EDACS.

Danas u svetu postoji veliki broj izgrađenih radio-mreža po standardu EDACS među kojima postoje i višeceljske radio-mreže, koje koriste službe javne bezbednosti i zaštite različitih zemalja. Recimo, samo u Rusiji je realizovano oko deset radio-mreža ovog standarda, koje koriste državne strukture i organi javne bezbednosti i zaštite.

Digitalni trunking sistem MRV tipa TETRA

TETRA standard za digitalne trunking MRV koji se sastoji od niza specifikacija, razrađenih od strane Evropskog instituta za telekomunikacione standarde ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Projektovan je kao jedini opšteevropski digitalni standard za trunking MRV.

Međutim, zbog sve većeg interesovanja za ovaj standard i u drugim regionima sveta, teritorija njegove primene nije ograničena samo na Evropu. Zbog toga, danas skraćenica TETRA ima značenje koje asocira na to da se radi o svezemaljskom trunking sistemu (Terrestrial Trunked RAdio).

Standard TETRA je razrađen na osnovu tehničkih rešenja i preporuka standarda za javnu mobilnu telefoniju GSM, ali je prvenstveno orijentisan na izgradnju funkcionalnih sistema veza koji efikasno i ekonomično podržavaju zajedničko iskorišćenje mreža MRV od strane različitih grupa korisnika, obezbeđuju tajnost informacija i visoku zaštićenost veza. Posebna pažnja u standardu je posvećena interesima različitih službi

javne bezbednosti i zaštite. TETRA je otvoren standard, što znači da se u sistemu može zajedno koristiti oprema različitih proizvođača. Pristup TETRA specifikacijama je slobodan za sve zainteresovane zemlje koje stupe u udruženje „Memorandum o razumevanju TETRA“ (MoU TETRA). Udruženje okuplja projektante, proizvođače, ispitne laboratorije i korisnike iz različitih zemalja.

Standard TETRA se sastoji iz dva dela. Prvi deo standarda – TETRA V+D (TETRA Voice+Data), predstavlja deo standarda za integrisani prenos govora i podataka, dok drugi deo standarda – TETRA PDO (TETRA Packet Data Optimized), predstavlja deo standarda koji opisuje specijalnu varijantu trunking sistema koji je orijentisan samo na prenos podataka.

Standard TETRA daje specifikacije za radio-interfejs, kao i za različite interfejsne između TETRA radio-mreže i javne ili funkcionalne digitalne mreže sa integrisanim uslugama (ISDN), javne telefonske mreže (PSTN), javne ili funkcionalne mreže za prenos podataka, funkcionalne ATC (PABX), itd. Takođe, standard sadrži opis svih osnovnih i dopunskih usluga kao i opis interfejsa za lokalno i spoljnje centralizovano upravljanje mrežom.

Radio-interfejs standarda TETRA predviđa da se rad odvija u standardnoj frekvencijskoj raspodeli nosilaca sa korakom od 25 kHz. Neophodni, minimalni dupleksni razmak između predajne i prijemne frekvencije radio-kanala iznosi 10 MHz.

Za sistem MRV standarda TETRA mogu se koristiti različiti podopsezi frekvencija u okviru opsega od 150 do 900 MHz s tim, što je u zemljama Evrope za službe javne bezbednosti i zaštite defini-

san podopseg 380–385/390–395 MHz, dok je za komercijalne organizacije predviđen podopseg 410–430/450–470 MHz i 870–876/915–921 MHz.

U sistemu standarda TETRA V+D koristi se tehnika pristupa sa vremenskom raspodelom kanala TDMA (Time Division Multiple Access). Na jednom paru fizičkih frekvencija (jednom radio-nosiocu) organizuju se četiri nezavisna vremenska – saobraćajna (komunikaciona) radio-kanala koji formiraju osnovni TDM ram (slika 1).

Osnovni TDM ram ima dužinu 56,67 ms i sadrži četiri intervala (time slots). U svakom od njih predaje se informacija jednog vremenskog (komunikacionog) radio-kanala. Vremenski interval ima dužinu 510 bita, od kojih su 432 informaciona (dva bloka po 216 bita). Preko dotičnog radio-nosioca saopštenja se predaju u multiramovima dužine 1,02 s. Multiram sadrži 18 osnovnih TDM ramova, od kojih se jedan obavezno koristi kao kontrolni.

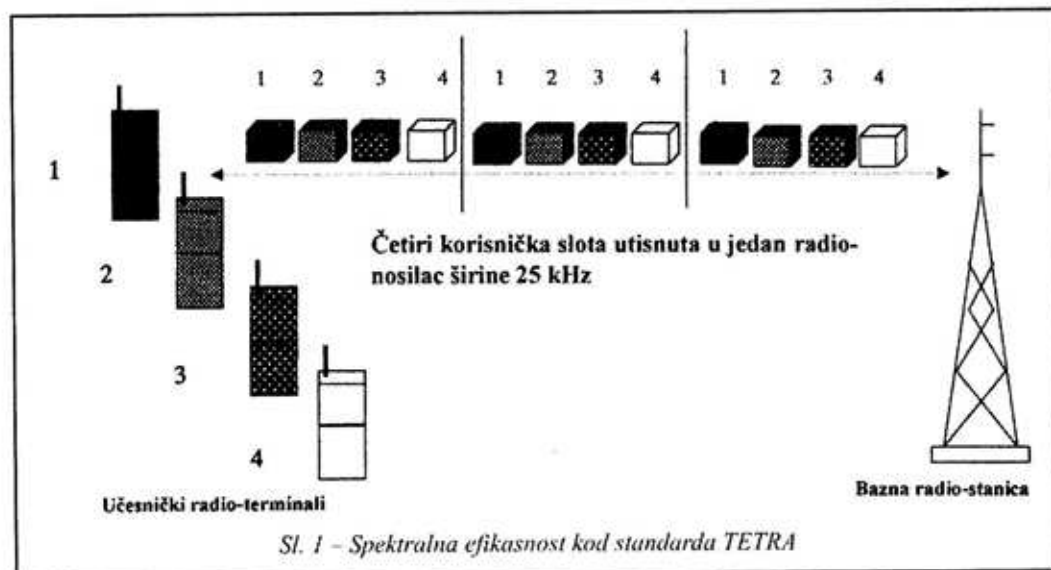
U sistemima standarda TETRA koristi se diferencijalna fazna modulacija tipa

$\pi/4$ – DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying) sa brzinom modulacije od 36 kbit/s. Za analogno/digitalnu konverziju signala govora po standardu koristi se KODEK (CODEC) koji primenjuje adaptivni CELP (Code Excited Linear Prediction) algoritam. Brzina digitalnog protoka na izlazu KODEKA iznosi 4,8 kbit/s.

Formirani digitalni podaci sa izlaza govornog KODEKA podvrgavaju se blokovskom i simbolskom kodovanju, premeštanju redosleda i šifrovanju, posle čega se dobijaju formirani saobraćajni (informacioni) kanali.

Propusna moć jednog saobraćajnog kanala iznosi 7,2 kbit/s, dok brzina ukupnog digitalnog informacionog protoka podataka na jednom radio-nosiocu iznosi 28,8 kbit/s. (Pri tome, ukupna brzina prenosa simbola u radio-kanalu, na račun dopunskih službenih informacija i kontrolnog rama u multiramu, odgovara brzini modulacije i iznosi 36 kbit/s).

Sistem MRV standarda TETRA može raditi u režimima: trunking veze, sa otvorenim kanalom i režimu direktne veze.



U režimu trunking veze teritorija koja se opslužuje sistemom TETRA prekriva se zonama pokrivanja njegovih baznih primopredajnih radio-stanica (BRS). Kada je u pitanju organizacija kanala za upravljanje, standard TETRA dozvoljava izgradnju sistema, bilo sa izdvojenim frekventnim radio-kanalom upravljanja, bilo sa dodeljenim (raspoređenim) kanalom upravljanja.

Pri radu trunking mreže sa izdvojenim kanalom upravljanja BRS obično nude mobilnim učesnicima nekoliko frekventnih radio-kanala, od kojih je jedan obavezno radio-kanal upravljanja, koji je specijalno namenjen za razmenu službenih informacija između BRS i mobilnih učesnika. Pri radu trunking mreže sa dodeljenim kanalom upravljanja službene informacije se prenose, bilo u specijalno izdvojenom vremenskom radio-kanalu (jedan od četiri kanala, organizovanih na jednom radio-nosiocu), bilo u kontrolnom TDM ramu multirama (18. primami TDM ram).

Kada je u pitanju organizacija saobraćajnih radio-kanala za prenos saopštenja u režimu trunking veze, može ih dodeljivati BRS mobilnim učesnicima na jedan od sledećih načina:

- kao trunking saopštenja (message trunking), pri čemu se kanal zauzima u trenutku uspostavljanja veze i oslobađa tek po njenom okončanju;

- kao trunking predaje (transmission trunking), kada se kanal zauzima samo za vreme jednog ciklusa (perioda predaja/prijem), posle čega se oslobađa. Za sledeći ciklus predaja/prijem u istoj vezi može biti dodeljen novi kanal;

- kao trunking kvazi predaje (quasi-transmission trunking), kada se kanal, kao kod trunkinga predaje, oslobađa posle jedne transakcije predaja/prijem, ali

sa nekim kašnjenjem, što omogućava smanjenje broja signala upravljanja.

U režimu rada sa otvorenim kanalom formirana grupa mobilnih učesnika ima mogućnost uspostavljanja veze po tipu „tačka – više tačaka“ bez bilo kakve procedure uspostavljanja. Svaki učesnik koji je u sastavu grupe može u svakom momentu koristiti taj kanal. U režimu sa otvorenim kanalom radio-stanice rade u dvofrekventnom simpleksu.

U režimu neposredne (direktne) veze između mobilnih radio-terminala uspostavlja se dvojna ili višestruka veza po vremenskim radio-kanalima (koji nisu povezani sa kanalom upravljanja mreže) i bez prenosa signala preko baznih primopredajnih radio-stanica. To znači da mobilni radio-terminali za posebne korisnike mogu da funkcionišu i van zone pokrivanja BRS (tuneli, rudnici, nenaseļeni predeli i slično).

U sistemu standarda TETRA mobilni radio-uređaji mogu raditi u tzv. režimu „dvojnog nadgledanja“ (Dual Watch), pri kome se obezbeđuje prijem saopštenja od učesnika, koji rade kako u režimu trunkinga tako i u režimu direktne veze.

U sistemu standarda TETRA po delu TETRA V+D podržavaju se dva osnovna vida prenosa informacija: prenos govora i prenos podataka.

Pri tome je veoma važno da se govor i podaci mogu prenositi istovremeno sa jednog mobilnog radio-terminala, po različitim saobraćajnim, vremenskim (logičkim) radio-kanalima.

Za prenos govora koriste se službe govorne veze (teleslužbe) koje obezbeđuju sledeće režime:

- govorna veza sa individualnim pozivom učesnika;

- višestruka govorna veza, koja pretpostavlja grupni poziv učesnika;
- cirkularna veza sa difuznim pozivom.

Svi režimi govorne veze predviđaju mogućnost prenosa, otvorenih govornih informacija, i govora zaštićenog pomoću određenih algoritama šifrovanja.

Za prenos signala podataka po delu standarda TETRA V+D opisuju se sledeće vrste prenosa podataka:

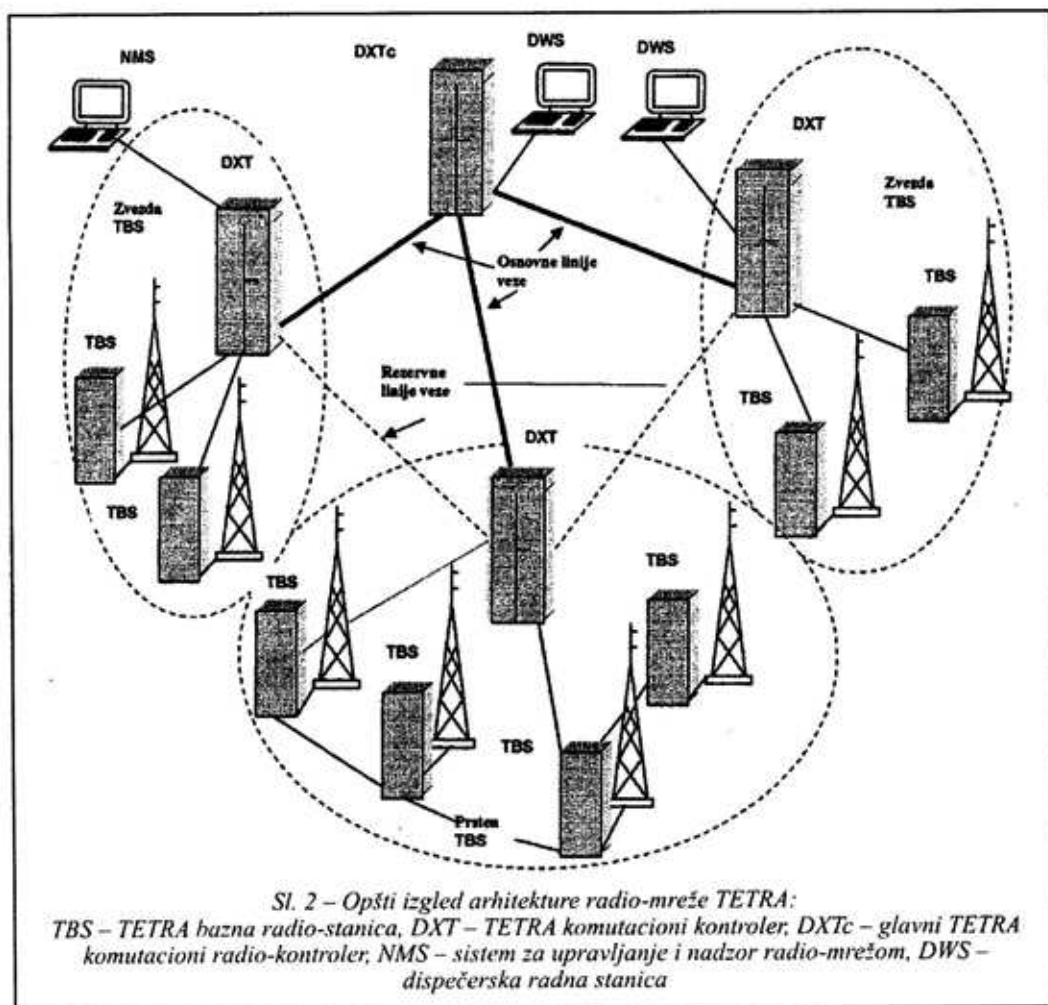
- prenos podataka sa komutacijom kola (vodova);

- prenos podataka sa komutacijom paketa;
- prenos kratkih saopštenja (dužine do 2048 bita).

Opšti izgled arhitekture TETRA radio-mreže prikazan je na slici 2.

U okviru digitalnih trunking sistema MRV koje su zasnovane na standardu TETRA korisnicima se nudi veliki broj usluga od kojih su neke bazne – osnovne, dok su ostale dopunske i dodatne.

Osnovne usluge služe za opsluživanje mreže i zovu se mrežne procedure.



Ove usluge se obezbeđuju standardizovanim servisima TETRA, i njihov izbor za konkretnu mrežu vrši operator – imalac sistema veza.

U osnovne usluge – mrežne procedure spadaju:

- registracija mobilnih učesnika i roaming (procedura „vezivanja“ učesnika za jednu ili nekoliko baznih radio-stanica i obezbeđenje mogućnosti premeštanja iz jedne u drugu zonu pokrivanja bez gubitka veze);

- ponovno uspostavljanje veze (obezbeđenje mogućnosti zamene bazne radio-stanice mreže koju koristi učesnik u slučaju pogoršanja uslova veze);

- identifikacija učesnika (provera identiteta učesnika);

- isključenje/uključenje učesnika (procedura isključenja/uključenja učesnika iz mreže/u mrežu na osnovu njegove inicijative);

- isključenje učesnika od strane operatora mreže (procedura blokiranja rada učesničkog terminala od strane operatora mreže);

- upravljanje protokom podataka (obezbeđenje mogućnosti da mreža pre-spoji na sebe protok podataka koji je usmeren određenom učesniku).

Po standardu TETRA sistem mobilnih radio-veza specijalnim korisnicima može nuditi niz dopunskih usluga, koje je ETSI u standard uključio po zahtevima asocijacije evropskih policija (Schengen Group).

U dodatne usluge sistema digitalnih trunking MRV po standardu TETRA, spadaju sve one funkcije koje se, inače, već uspešno koriste u stacionarnim digitalnim mrežama automatske telefonije (definisanje spojnog puta, identifikacija pozivajućeg učesnika, preusmeravanje poziva, povratni poziv, poziv na čekanju i mnoge druge).

Kada je u pitanju zaštita prenošenih informacija, u digitalnim trunking sistemima MRV koje rade po standardu TETRA, obezbeđuju se dva njena nivoa, i to:

- standardni nivo, pri kojem se koristi šifrovanje u radio-interfejsu (obezbeđuje se isti nivo zaštite informacije kao i kod višćelijske mreže koja radi po GSM standardu);

- visoki nivo, pri kojem se koristi prolazno šifrovanje (od izvora informacije do prijemnika informacije).

Pri standardnom nivou zaštite primenjuju se različiti mehanizmi za zaštitu radio-interfejsa kao što su identifikacija, sa jedne strane samih korisnika i, sa druge strane, infrastrukture mreže, a zatim razmena pseudonima (umesto jedinstvenih identifikacionih brojeva učesnika) i specifično šifrovanje informacija, što u ukupnom rezultatu dovodi do značajnog doprinosa tajnosti saobraćaja.

Visok nivo zaštite informacija je kao po pravilu neophodna potreba (i privilegija) nekih specijalnih imalaca (ili grupa korisnika) sistema. Prolazno šifrovanje obezbeđuje zaštitu prenošenog govora i signala podataka u bilo kojoj tački ostvarene veze između mobilnih učesnika i učesnika stacionarnih mreža (znači, ne samo na radio-delu spojnog puta). Po standardu TETRA definiše se samo interfejs za primenu prolaznog šifrovanja, čime se, u stvari, obezbeđuje mogućnost za iskorišćenje originalnih algoritama kriptozastite informacija.

Na osnovu podataka organizacije TETRA MoU, standard TETRA prihvatili su skoro svi vodeći proizvođači opreme za sisteme MRV. Najpoznatiji digitalni trunking sistemi mobilnih radio-veza u kojima se primenjuje standard TE-

TRA, su: ACCESSNET-T (proizvođač ROHDE & SCHWARZ iz Nemačke), NOKIA TETRA (proizvođač NOKIA iz Finske), DIMETRA (proizvođač MOTO-ROLA iz SAD) i ELETTRA (proizvođač OTE MARCONI iz Velike Britanije).

Danas su već realizovani, ili je njihova realizacija u toku, projekti za izgradnju velikih digitalnih trunking sistema MRV ovog standarda u Velikoj Britaniji, Finskoj, Norveškoj, Švedskoj, Nemačkoj, Austriji, Danskoj, Mađarskoj, Singapuru i tako dalje.⁴

Digitalni trunking sistem MRV tipa APCO 25

Standard APCO 25, za digitalne funkcionalne MRV, razradilo je Međunarodno udruženje oficijelnih predstavnika za telekomunikacije u organima javne bezbednosti i zaštite (Association of Public safety Communications Official International), koje objedinjava one korisnike sistema veza, koji se nalaze u različitim službama javne bezbednosti i zaštite SAD, Australije, Srednje i Južne Amerike.

Rad na stvaranju standarda započeo je krajem 1989. godine, a poslednji dokumenti za ovaj standard utvrđeni su i potpisani u avgustu 1995. godine na međunarodnoj konferenciji i izložbi APCO u Detroitu. Danas standard poseduje sva osnovna dokumenta, koji određuju principe izrade radio-interfejsa i drugih interfejsa, protokole šifrovanja, metode kodovanja govora itd., za proizvodnju i izgradnju funkcionalnih sistema digitalnih trunking MRV.

⁴ Što se tiče Jugoslavije, autorima ovog članka je prisutna informacija da javna preduzeća EPS i NIS već imaju izrađene koncepcije za izgradnju svojih novih sistema mobilnih radio-veza, koji će biti zasnovani na standardu TETRA.

Tokom 1996. godine doneto je rešenje o podeli svih specifikacija standarda na dve etape realizacije, koje su bile označene kao faza I i faza II. Sredinom 1998. formirani su funkcionalni i tehnički zahtevi za obe faze standarda, koji su posebno naglasili nove mogućnosti faze II i njene razlike u odnosu na fazu I.

Osnovni, polazni principi za razradu standarda APCO 25, sadržali su zahteve za:

- obezbeđenje postepenog prelaska na digitalnu opremu za radio-veze (to jest, mogućnost zajedničkog rada, u početnoj etapi, baznih radio-stanica ovog standarda za digitalne veze sa analognim učesničkim radio-uređajima koje se sada koriste);

- obezbeđenje otvorene arhitekture sistema, radi stimulacije konkurencije među postojećim proizvođačima radio-opreme;

- obezbeđenje mogućnosti uzajamnog rada različitih podsistema službi javne bezbednosti i zaštite, pri uzajamnom delovanju i provođenju zajedničkih preventivnih mera.

Sistemska arhitektura standarda podržava kako trunking, tako i konvencionalne sisteme radio-veza, u kojima učesnici međusobno rade bilo u režimu direktne veze, bilo preko retranslatora – mobilnih radio-stanica. Osnovni funkcionalni blok sistema APCO 25 čini radio-podsystem, koji predstavlja funkcionalnu radio-mrežu, izgrađenu na osnovu jedne ili više baznih radio-stanica. Pri tome, svaka od baznih radio-stanica mora da podržava zajednički radio-interfejs (CIA – Common Radio Interface), kao i druge standardizovane interfejse (međusistemski interfejs, interfejs sa PSTN – javna telefonska komutaciona mreža, sa portom za

prenos podataka, sa mrežom za prenos podataka i mrežnim upravljanjem).

Standard APCO 25 predviđa mogućnost rada u svakom od standardnih podopsega frekvencija koji se koriste u sistemima MRV, i to: 138–174, 406–512 ili 746–869 MHz. U standardu se, kao osnovni metod za raspodelu kanala veze, primenjuje višestruki pristup sa frekventnom raspodelom radio-kanala (FDMA), mada je na zahtev firme Ericsson, kroz fazu II, u standard uključena i mogućnost za korišćenje višestrukog pristupa sa vremenskom raspodelom radio-kanala (TDMA).

Fazom I standarda definisan je razmak nosećih frekvencija od 12,5 kHz, dok je kroz fazu II u standard uključen i razmak od 6,25 kHz. Pri tome, za rad sa razmakom nosećih frekvencija od 12,5 kHz koristi se četvorostruka frekventna modulacija digitalnih signala C4FM, koja definiše digitalni protok po kanalu od 4800 simbola u sekundi. Za rad sa razmakom nosećih frekvencija od 6,25 kHz koristi se digitalna modulaciona tehnika po metodi CQPSK (Continuous Quaternary Phase Shift Keying). Ovakva kombinacija metoda modulacije digitalnih signala omogućuje da se mogu koristiti jednaki radio-prijemnici, za radio-opremu po obe faze standarda, koji se tada doopremaju različitim pojačavačima snage (za opremu po fazi I potrebni su jednostavniji pojačavači snage, ali sa visokim koeficijentom korisnog dejstva, dok su za opremu po fazi II potrebni selektivni pojačavači snage visoke linearnosti). Pri tome, kod ovih prijemnika demodulator uspešno obavlja demodulaciju signala modulisanih kako po C4FM, tako i po CQPSK metodi.

Za kodovanje i dekodovanje govornih signala (analogno/digitalna konverzija) u ovom standardu se koristi KODEK tipa IMBE (Improved MultiBand Excitation), koji se inače koristi i u sistemu satelitskih veza Inmarsat. Brzina kodovanja pri konverziji je 4400 bit/s, ali se posle zaštitnog kodovanja signala, radi otpornosti na smetnje brzina informacionog protoka povećava na 7700 bita/s. Na kraju se, usled formiranja primarnog rama za prenos po radio-kanalu i dodavanja službenih informacija, brzina informacionog protoka govornih signala podiže na 9600 bita/s. To znači da se govorna informacija kroz radio-kanal prenosi u obliku primarnih ramova dužine trajanja 180 ms, pri čemu se grupišu dva takva rama.

U standardu APCO 25 definisan je moćan sistem za identifikaciju učesnika, koji omogućuje da se u jednoj mreži mobilnih radio-veza može adresirati više od 2 miliona radio-uređaja i do 65 hiljada grupa korisnika. Pri tome, u skladu sa funkcionalnim i tehničkim zahtevima, vreme potrebno za uspostavu kanala veze u radio-podsystemu ne sme biti duže od 500 ms (u režimu direktnog rada 250 ms, a u režimu rada preko retranslatora 350 ms).

Po ovom standardu svi digitalni trunking sistemi MRV moraju da obezbede četiri nivoa kriptozastite informacija. Koristi se protočna metoda šifrovanja informacija (bit po bit) uz primenu nelinearnih algoritama za formiranje šifrujućeg niza. Ako se koristi specijalni režim rada za prenos šifrovane informacije OTAR (Over-The-Air-Rekeying), tada se i ključevi za šifrovanje mogu prenositi po radio-kanalu.

Bez obzira na to što APCO predstavlja međunarodnu organizaciju čija se predstavništva nalaze u Kanadi, Australiji, karipskom regionu itd., osnovnu ulogu za implementaciju tog standarda u praksi imaju američke firme koje podržava vlada SAD. U članstvo zajedničkog – društvenog sektora ove asocijacije ulaze FBI, Ministarstvo odbrane SAD, Federalni komitet za vezu, policije iz niza država SAD, tajna služba i mnoge druge državne organizacije. Sa druge strane, vodeći proizvođači opreme po standardu APCO 25 su poznate firme iz ove oblasti telekomunikacija, kao što su MOTOROLA (glavna firma za razvoj standarda), E. F. Johnson, Transcrypt, Stanlite Electronics i drugi. MOTOROLA je već proizvela i postavila svoj prvi sistem zasnovan na standardu APCO 25 koji je dobio naziv ASTRO.

Digitalni trunking sistem MRV tipa TETRAPOL

Aktivnosti na izgradnji standarda za funkcionalne digitalne trunking radio-veze TETRAPOL počele su 1987. godine, kada je firma Matra Communications sklopila ugovor sa francuskom žandarmerijom da projektuje i uvede u eksploataciju funkcionalnu mrežu digitalnih radio-veza pod nazivom RUBIS. Navedena mreža digitalnih radio-veza bila je puštena u eksploataciju 1994. godine. Po podacima firme Matra, danas ta radio-mreža obuhvata više od polovine teritorije Francuske i opslužuje više od petnaest hiljada učesnika. Iste godine firma Matra je organizovala forum Tetrapol, pod čijim okriljem su razrađene specifikacije

Tetrapol PAS (Publicly Available Specifications), koje određuju standard za digitalne trunking MRV.

Standard TETRAPOL opisuje digitalni trunking sistem MRV koji radi sa izdvojenim kanalom upravljanja i primenjuje metodu frekventne raspodele kanala. Standard dozvoljava izgradnju, kako jednočelijskih, tako i višćelijskih radio-mreža različite konfiguracije, takode omogućuje direktnu vezu između mobilnih učesnika na fiksnim kanalima, bez korišćenja infrastrukture mreže i retranslacije signala.

Sistemi digitalnih MRV standarda TETRAPOL imaju mogućnost rada u opsegu frekvencija od 70 do 520 MHz. Opseg se, u skladu sa standardom, sastoji od dva podopsega: prvi – do 150 MHz (VHF) i drugi – preko 150 MHz (UHF). Veći deo radiointerfejsa za sistem jednog i drugog podopsega je zajednički, a razlika se javlja jedino u korišćenju različitih metoda kodovanja za zaštitu od smetnji. U UHF podopsegu u radio-kanalu se preporučuje dupleksni razmak između prijemne i predajne frekvencije od 10 MHz.

Frekventni razmak između susednih kanala može iznositi 12,5 ili 10 kHz. U budućnosti se predlaže da razmak između radio-kanala bude 6,25 kHz. U sistemima sa standardom TETRAPOL podržava se širina podopsega od 5 MHz, što omogućuje da se u mreži koristi 400 (pri razmaku 12,5 kHz) ili 500 (pri razmaku od 10 kHz) radio-kanala. Pri tome, u svakoj radio-zoni može se koristiti od 1 do 24 radio-kanala.

Brzina predaje informacija u kanalu veze iznosi 8000 bit/s. Predaja informacija se organizuje po primarnim ramovi-

ma dužine 160 bita sa trajanjem od 20 ms. Ramovi se objedinjuju u superramove dužine 4 s (200 ramova). Informacija se podvrgava složenoj obradi, uključujući i bitsko kodovanje, premeštanje, (interliving), skremblovanje, diferencijalno kodovanje i završno formatiranje rama.

U sistemima MRV standarda TETRAPOL koristi se GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) modulacija sa $VT=0,25$ (proizvod propusnog opsega niskofrekventnog filtera i vremenskog trajanja bitskog intervala).

Za analogno/digitalnu konverziju govora u standardu se primenjuje KODEK sa algoritmom koji koristi metod analize preko sinteze tipa RPELP (Regular Pulse Code Excited Linear Prediction). Brzina konverzije signala govora iznosi 6000 bit/s. U standardu su definisane tri osnovna režima radio-veze: tranking, direktne veze i retranslacije.

U tranking režimu (ili mrežnom režimu) uzajamni rad mobilnih učesnika odvija se pomoću baznih radio-stanica (BRS), koje iz svog kapaciteta raspoređuju i komutiraju radio-kanale za vezu između učesnika. Pri tome, signali upravljanja se emituju u posebnom, za svaku baznu radio-stanicu, specijalno izdvojenom frekventnom radio-kanalu (kontrolni kanal). U režimu direktne veze razmena informacija između mobilnih učesnika vrši se direktno bez učešća baznih radio-stanica. U režimu retranslacije veza između učesnika se odvija preko retranslatora, koji ima fiksne kanale predaje i prijema informacija.

U tranking radio-sistemima MRV standarda TETRAPOL podržavaju se dva osnovna oblika razmene informacija: prenos govora i prenos podataka.

Službe prenosa govora omogućavaju ostvarivanje sledećih vrsta veza (poziva): difuzni poziv, poziv za uspostavu otvorenog kanala, grupni poziv, individualni poziv, višestruki poziv sa korišćenjem spiska učesnika i hitni poziv.

Službe prenosa podataka nude niz usluga prikladnog nivoa, koje se podržavaju memorisanim funkcijama u radio-terminalima, kao što su: razmena poruka između učesnika po protokolu X.400, pristup centralizovanim bazama podataka, pristup stacionarnim mrežama u skladu sa TCP/IP protokolom, predaja poruka putem faksimila, razmena fajlova, predaja signala ličnog poziva, predaja kratkih poruka, predaja statusnih poruka, podrška režima predaje podataka o lokaciji objekta (koji su dobijeni od GPS prijemnika) i prenos video signala.

U standardu TETRAPOL predviđene su standardne mrežne procedure koje obezbeđuju savremeni nivo opsluživanja učesnika: dinamičko pregrupisanje, identifikaciju učesnika, roving, prioritetni poziv, upravljanje predajnikom učesnika, upravljanje „profilom“ učesnika (distančna promena parametara koji su memorisani u učesničkom radio-terminalu prilikom programiranja), itd.

Sistemi standarda TETRAPOL nude korisnicima i niz dopunskih usluga, koje zajedno sa redovnim servisnim uslugama omogućavaju efikasnu realizaciju specifičnih tranking radio-mreža za službe javne bezbednosti i drugih državnih organa. Zbog toga što je od samog početka standard TETRAPOL bio orijentisan da zadovolji specifične zahteve organa državne bezbednosti i zaštite, u njemu su predviđeni različiti mehanizmi za zaštitu

veza, usmereni da spreče moguće neregularnosti kao što su: neautorizovani (nelegalni) pristup u sistem, preslušavanje govora po ostvarenim vezama, stvaranje namernih smetnji i analiza radio-saobraćaja konkretnih učesnika, itd.

U različite mehanizme za zaštitu veza u ovom sistemu spadaju automatska rekonfiguracija mreže, upravljanje pristupom u sistem, prolazno šifrovanje informacija, identifikacija učesnika, korišćenje vremenski promenljivih identifikatora učesnika, imitacija aktivnosti učesnika, distanciono isključivanje radio-terminala i dostavljanje kripto ključeva po radio-kanalu.

Tranking sistemi digitalnih MRV zasnovani na standardu TETRAPOL široko su rasprostranjeni u Francuskoj (žandarmerija, policija i nacionalna železnica). Navedeni standard koristi se i u nekoliko država Evrope (policija u Madridu i Kataloniji, jedinice bezbednosti i zaštite Češke Republike, aerodromske službe u Frankfurtu, berlinsko transportno preduzeće).

Takođe, postoje podaci o izgradnji nekoliko sličnih sistema u dve zemlje Jugoistočne Azije, a poznato je da se i policija Meksika i Tajlanda interesuje za izgradnju sistema MRV po ovom standardu.

Digitalni tranking sistem MRV tipa iDEN

Tehnologiju proizvodnje i izgradnje digitalnih tranking sistema MRV tipa iDEN (integrated Digital Enhanced Network) razvila je firma MOTOROLA, početkom devedesetih godina. Prvi komercijalni funkcionalni sistem MRV na bazi

ove tehnologije izradila je već 1994. godine u SAD kompanija NEXTEL. Prema statusu, iDEN se može okarakterisati kao korporativni standard sa otvorenom arhitekturom. To znači da kompanija MOTOROLA za sebe zadržava sva prava po pitanju modifikacije sistemskog protokola, kada različitim proizvođačima radio-opreme daje licence za proizvodnju komponenti iz arhitekture sistema.

Navedeni standard razraden je da bi se mogli realizovati integrisani sistemi, koji će omogućiti ostvarivanje svih vrsta MRV, kao što su: dispečerska radio-veza, mobilna telefonska radio-veza, radioprenos tekstualnih poruka i paketa podataka. Pri tome je tehnologija ovog standarda prvenstveno orijentisana na izgradnju korporativnih radio-mreža velikih organizacija ili komercijalnih sistema uslužnih delatnosti za firme i privatna lica.

Pri organizaciji dispečerskih mreža MRV po standardu iDEN pretpostavlja se mogućnost grupnog i individualnog poziva a, takođe, i režim signalizacije propuštenih poziva pri kojem se, u slučaju da je učesnik nedostupan, pozivi pamte u sistemu, a zatim predaju učesniku kada ponovo postane dostupan. Ukupan broj mogućih grupa učesnika u sistemu iDEN je 65 535, tako da ne postoji potreba da sistem ima mogućnost dinamičkog pregrupisanja. Vreme potrebno za uspostavljanje veze pri organizaciji grupnog poziva u semidupleksnom režimu nije veće od 0,5 sekundi.

Sistem iDEN omogućuje da se telefonska radio-veza može organizovati kako po tipu „mobilni učesnik – mobilni učesnik“, tako i po tipu „mobilni – učesnik PSTN“. Pri tome se telefonska

radio-veza obavlja u potpunom dupleksu. U ovom sistemu postoji mogućnost organizacije elektronske pošte.

Učesnici u sistemu MRV iDEN imaju mogućnost da preko svojih radio-terminala primaju i predaju tekstualne poruke, kao i signale podataka (brzinom 9,6 kbit/s primenom komutacije kola i brzinom do 32 kbit/s primenom komutacije paketa). To dozvoljava da se može organizovati veza faksimila i elektronske pošte, kao i uzajamni rad sa fiksnim mrežama za prenos podataka kao što je Internet. Pri paketskom prenosu podataka podržan je TCP/IP protokol.

U digitalnom trunking sistemu MRV iDEN primenjuje se višestruki pristup sa vremenskom raspodelom kanala (TDMA), pri čemu se na jednom frekventnom radio-kanalu (po jednom radio-nosiocu) organizuje 6 vremenskih – saobraćajnih radio-kanala. To se postiže organizacijom šestokanalnog vremenskog multipleksa sa primarnim ramom od 90 ms, u okviru kojeg svaki vremenski kanal prenosi sopstvenu informaciju i traje 15 ms.

Za analogno/digitalnu konverziju govornih signala koristi se KODEK koji radi po algoritmu tipa SELP (Self Excited Linear Prediction). Brzina prenosa informacije u jednom vremenskom kanalu iznosi 7,2 kbit/s, a ukupna brzina digitalnog protoka po jednom radio-nosiocu iznosi 64 kbit/s, na račun primene zaštitnog kodovanja od smetnji i pridruživanja upravljačke informacije. Ovako veliku brzinu prenosa informacije u okviru širine frekventnog opsega radio-kanala od 25 kHz moguće je postići zbog primene 16-tostruke kvadraturne amplitude modulacije digitalnih signala tipa M16-QAM.

Za ovaj standard koristi se opseg frekvencija 805-821/855-866 MHz koji je inače standardan u Americi i Aziji. Treba primetiti da se primenom iDEN standarda postiže najveća spektralna efikasnost, u odnosu na sve druge pomenute digitalne trunking sisteme MRV, pošto dozvoljava da se u okviru širine opsega od 1 MHz organizuje ukupno 240 vremenskih – informacionih radio-kanala. Zbog toga su širine zona pokrivanja baznih radio-stanica (radio-ćelija) u ovom sistemu znatno manje u odnosu na sisteme MRV po drugim standardima. Time se objašnjava i mala snaga u učesničkim radio-terminalima, koja iznosi 0,6 W za ručni radio-uređaj i 3 W za prevozni radio-uređaj.

U arhitekturi sistema iDEN prisutne su karakteristike koje se pojavljuju, kako kod trunking, tako i kod ćelijskih sistema MRV, što potvrđuje orijentaciju ovog standarda za opsluživanje (servisiranje) velikog broja korisnika i za podršku veoma gustog saobraćaja. Pri izgradnji komercijalnih sistema za opsluživanje većeg broja različitih organizacija i preduzeća, po standardu iDEN može se realizovati do 10 000 virtuelnih radio-mreža, a u okviru svake od tih mreža može biti do 65 500 korisnika koji se, po potrebi, mogu objedinjavati u maksimalno 255 grupa. Pri tome, svaka od navedenih grupa može koristiti resurse kompletne integrisane zone radio-veze koju obezbeđuje izgrađeni sistem.

Prvi komercijalni sistem izgradila je kompanija NEXTEL 1994. godine, a danas ima opštenacionalni karakter (kako po teritorijalnom tako i po kvantitativnom principu), pošto trenutno u njemu postoji oko 5500 lokacija baznih radio-stanica i

oko 2,7 miliona učesnika. Pored ovog operatora, još jedan operator u SAD, kompanija SOUTHERN Co, za potrebe provajdinga izgradila je svoj sistem digitalnih MRV zasnovan na iDEN standardu. Pored toga, manje mreže (uslovno rečeno) digitalnih MRV po iDEN standardu izgrađene su i u Kanadi, Brazilu, Meksiku, Kolumbiji, Argentini, Japanu, Singapuru, Kini, Izraelu i drugim zemljama.

Ukupan broj učesnika u digitalnim trunking sistemima MRV po iDEN standardu danas u svetu prevazilazi 3 miliona.

Uporedni pregled prikazanih standarda za digitalne trunking MRV

Pregled opštih i tehničkih karakteristika digitalnih trunking sistema MRV koji se grade po specifikacijama standarda EDACS, TETRA, APCO 25, TETRAPOL i iDEN, prikazan je u tabeli 1, a pregled funkcionalnih mogućnosti sistema digitalnih MRV navedenih standarda u tabeli 2. Združeni pregled nekih od specifičnih (dodatnih) usluga, koje su prvenstveno namenjene različitim službama državne bezbednosti i zaštite, prikazan je u tabeli 3. Pri tome, zbog nedostatka podataka, ovde nije uzet u obzir standard iDEN.

Na osnovu prikazanih uporednih pregleda moguće je sprovesti uporednu analizu razmatranih standarda za digitalne trunking MRV.

Analiza tehničkih karakteristika i funkcionalnih mogućnosti prikazanih standarda

Razmatrajući tehničke karakteristike i funkcionalne mogućnosti predstavljenih

standarda digitalnih trunking MRV, može se primetiti da svi standardi imaju visoke tehničke performanse (u skladu sa odgovarajućom klasom koju imaju sistemi mobilnih radio-veza). Oni omogućavaju izgradnju radio-mreža sa različitim konfiguracijama, obezbeđuju raznovrsne režime za prenos signala podataka, omogućavaju vezu sa PSTN i drugim stacionarnim mrežama veza. Standardi omogućuju da se u njihovim sistemima digitalnih MRV mogu koristiti dupleksni radio-uređaji u svojstvu učesničkih radio-terminala. U uređajima za digitalne MRV koriste se zaista efikasne metode analognog/digitalne konverzije govornog signala i zaštitnog kodovanja informacija, radi otpornosti na smetnje. Svi navedeni standardi obezbeđuju veoma visoku operativnost radio-veze.

Međutim, ipak se može primetiti da EDACS ima nešto manju spektralnu efikasnost u odnosu na druge standarde. Pored toga, mnogi stručnjaci smatraju da se zbog nekorišćenja digitalnih metoda modulacije, o ovom standardu može govoriti kao o standardu u kome se prenos već formiranih digitalnih signala govora vrši po analognom kanalu veze. Kada su u pitanju funkcionalne mogućnosti, standard EDACS u određenoj meri ustupa mesto preostalim standardima, prvenstveno zbog toga što je on bio razrađen nešto ranije od drugih standarda.

Sa druge strane, standardi TETRA, APCO 25, TETRAPOL i iDEN specificiraju široki spektar standardnih korisničkih usluga veze, koje su po nivou u potpunosti međusobno samerljive. Kao po pravilu, spisak potrebnih korisničkih usluga veze definiše se tek pri projektovanju konkretnog digitalnog trunking sistema MRV.

Pregled opštih i tehničkih karakteristika digitalnih trunking sistema MRV

R. br.	Karakteristika standarda MRV	EDACS	TETRA	APCO 25	TETRAPOL	iDEN
1.	Tvorac standarda	ERICSSON (Švedska)	ETSI	APCO	MATRA COMMUNICATIONS (Francuska)	MOTOROLA (SAD)
2.	Status standarda	Korporativni	Otvoreni	Otvoreni	Korporativni	Korporativni sa otvorenom arhitekturom
3.	Glavni proizvođači radio-uređaja	ERICSSON	NOKIA, MOTOROLA, ALCATEL, R&S, OTE	MOTOROLA, E. F. JOHNSON Inc., TRANSCRYPT, ADILIMITED	MATRA COMMUNICATIONS, NORTEL, CS TELECOM	MOTOROLA
4.	Mogući poddijapazon radnih frekvencija, u MHz	138-174; 403-423; 450-470; 806-870;	Teoretski 150-900; Izdvojeno u Evropi za službe državne bezbednosti i zaštite 380-385/ 390-395	138-174; 406-512; 746-869;	70-520	805-821/ 855-866
5.	Frekventni razmak između radio-nosilaca (radio-kanala) u kHz	25; 12,5 (za prenos podataka)	25	12,5; 6,25	12,5; 10,0	25
6.	Efektivna širina frekventnog opsega jednogovornog kanala, u kHz	25	6,25	12,5; 6,25	12,5; 10,0	4,167
7.	Vrsta modulacije	FM	$\pi/4$ -DQPSK	C4FM (12,5 kHz) CQPSK (6,25 kHz)	GMSK (BT=0,25)	M16-QAM
8.	Metod i brzina analognog/digitalne konverzije govornih signala	Adaptivno višeni-vojsko kodovanje (konverzija brzine 6 kbit/s i kompresija do 9,2 kbit/s)	ACELP (4,8 kbit/s)	IMBE (4,4 kbit/s)	RPCELP (6 kbit/s)	VSELP (7,2 kbit/s)
9.	Brzina prenosa informacije saobraćajnom kanalu, kbit/s	9600	7200 (28 800 pri korišćenju sva četiri saobraćajna kanala na jednom radio-nosioču)	9600	8000	9600 (do 32 000 pri paketskom prenosu podataka)
10.	Vreme potrebno za uspostavu kanala veze, u sek.	0,25 s (u jednozonskoj radio-mreži)	min. 0,2 s za individualni i min. 0,1 s za grupni poziv	0,25 s u režimu direktne veze; 0,35 s u režimu retranslacije; 0,5 s u radio-podsystemu	manje od 0,5 s	manje od 0,5 s
11.	Metod raspodele saobraćajnih kanala	FDMA	TDMA (uz korišćenje frekventne raspodele višezonskim radio mrežama)	FDMA	FDMA	TDMA
12.	Tip kontrolnog kanala	Izdvojeni	Izdvojeni ili dodeljeni (u zavisnosti od konfiguracije mreže)	Izdvojeni	Izdvojeni	Izdvojeni ili dodeljeni (u zavisnosti od konfiguracije mreže)
13.	Mogućnosti za kriptozastitu informacija	Standardni algoritmi proizvođača za prolazno šifrovanje	1) Standardni algoritmi 2) Prolazno šifrovanje	4 nivoa kriptozastite informacija	1) Standardni algoritmi 2) Prolazno šifrovanje	Nema podataka

Pregled funkcionalnih mogućnosti digitalnih sistema MRV

R. br.	Funkcionalne mogućnosti sistema MRV	EDACS	TETRA	APCO 25	TETRAPOL	iDEN
1.	Ostvarivanje osnovnih vrsta poziva (individualni, grupni, difuzni)	+	+	+	+	+
2.	Povezivanje sa PSTN	+	+	+	+	+
3.	Prenos podataka i povezivanje sa centralizovanim bazama podataka	+	+	+	+	+
4.	Režimi direktne veze	+	+	+	+	Nema podataka
5.	Automatska registracija mobilnih učesnika	+	+	+	+	+
6.	Personalni poziv	-	+	+	+	+
7.	Povezivanje na stacionarne mreže za prenos podataka sa IP	+	+	+	+	+
8.	Prenos statusnih poruka	+	+	+	+	+
9.	Prenos kratkih poruka	+	+	+	+	+
10.	Mogućnost sprezanja sa GPS radi određivanja lokacije	+	+	Nema podataka	+	Nema podataka
11.	Faksimil veza	-	+	+	+	+
12.	Mogućnost uspostave otvorenog kanala	-	+	Nema podataka	+	-
13.	Višestruki distup uz korišćenje spiska učesnika	-	+	+	+	+
14.	Mogućnost realizacije standardnog režima retranslacije signala	Nema podataka	+	+	+	Nema podataka
15.	Mogućnost rada u režimu „dvojnog nadgledanja“	-	+	Nema podataka	+	Nema podataka

Tabela 3

Pregled specifičnih (dodatnih) usluga digitalnih sistema MRV

R. br.	Specijalne usluge veze	EDACS	TETRA	APCO 25	TETRAPOL
1.	Prioritet u dostupu	+	+	+	+
2.	Sistem prioriternih poziva	+	+	+	+
3.	Dinamičko pregrupisavanje	+	+	+	+
4.	Selektivno preslušavanje	+	+	+	+
5.	Distanciono slušanje	-	+	Nema podataka	+
6.	Identifikacija pozivajućeg učesnika	+	+	+	+
7.	Poziv sankcionisan od dispečera	+	+	+	+
8.	Prenos šifro ključeva po radio-kanalu (OTAR)	-	+	+	+
9.	Imitacija aktivnosti učesnika	-	-	-	+
10.	Distanciono isključivanje učesnika	Nema podataka	+	+	+
11.	Autentifikacija učesnika	Nema podataka	+	+	+

Analiza resursa radio-frekventnog spektra iz okvira prikazanih standarda

Mogućnost iskorišćenja što većih resursa iz postojećeg radio-frekventnog spektra, za izgradnju sistema radio-veza, predstavlja najvažniji kriterijum za izbor konkretnog sistema. Najperspektivniji su oni standardi koji omogućavaju projektovanje i izgradnju sistema digitalnih MRV u što širem frekventnom opsegu.

Na tom planu standard EDACS omogućuje realizaciju sistema u podopsezima 138–174, 403–423, 450–470 i 806–870 MHz, pri čemu postoje praktični pokazatelji o realizaciji i radu mreža digitalnih MRV u svim od navedenih podopsega.

Po standardu TETRA teoretski se obezbeđuje izuzetno širok opseg radio-frekventnog spektra za rad sistema digitalnih MRV 150–900 MHz. U vezi sa tim, proizvođači opreme, ipak, u osnovi predlažu korišćenje radio-uređaja koji rade samo u podopsezima izdvojenim u Evropi za rad sistema TETRA, 380–385/390–395 i 410–430/450–470 MHz, mada se već danas privode kraju projekti za rad sistema u podopsegu 800 MHz.

Standard APCO 25, u vezi da odgovarajućim funkcionalnim i tehničkim potrebama, omogućuje svojim sistemima digitalnih MRV rad na bilo kom od frekventnih podopsega propisanih za MRV.

Standard TETRAPOL ograničava gornju frekvenciju podopsega radio-frekventnog spektra svojih sistema digitalnih MRV, na nivou od 520 MHz.

Po standardu iDEN, sistemi digitalnih MRV mogu da funkcionišu samo u podopsegu frekvencija od 800 MHz, što ograničava mogućnost njihove primene

kod čitavog niza potencijalnih korisnika (imalaca sistema). Međutim, neke zemlje su upravo ovaj podopseg predvidele za ovu namenu. Tako je u Rusiji deo podopsega 800 MHz širine 815–820/860/865 MHz u kojem mogu raditi sistemi digitalnih MRV iDEN, definisan baš za trunking sisteme MRV.

Analiza mogućnosti realizacije specijalnih zahteva u digitalnim trunking sistemima MRV za potrebe službi državne bezbednosti i zaštite

Zbog toga što su se, u krajnjoj meri, prva četiri od pet razmatranih standarda razrađivali sa velikim uvažavanjem interesa službi državne bezbednosti i zaštite, svi oni obezbeđuju ispunjavanje velikog broja postavljenih zahteva koji su karakteristični za specijalne sisteme veza, što se jasno uočava u tabeli 3. Svi prikazani standardi za digitalne MRV obezbeđuju visoku operativnost veza (vreme pristupa u svakom sistemu nije veće od 0,5 sekundi) i predviđaju mogućnost povećanja otpornosti na otkaze u radio-mreži veza, na račun formiranja fleksibilne arhitekture.

Svi standardi predviđaju da se može realizovati zaštita prenošenih informacija i to:

– u sistemima TETRA i TETRAPOL predviđa se korišćenje kako standardnih algoritama za kriptozastitu informacija, tako i originalnih algoritama korisnika u vezi od „tačke-do tačke“, za račun primene prolazne kriptozastite;

– u sistemu EDACS moguće je koristiti standardni Ericssonov algoritam ili se može posebno dogovoriti primena

sopstvenih podsistema za kriptozastitu prenošenih informacija;

– u vezi sa funkcionalnim i tehničkim zahtevima, u sistemima APCO 25 obavezno je obezbediti četiri nivoa kriptozastite informacija (od kojih se samo jedan može koristiti u sistemima, koji se isporučuju za eksport).

Kada se pogledaju specijalne usluge, koje svaki od standarda nudi za potrebe organizacija državne bezbednosti i zaštite, može se zaključiti da standardi TETRA, APCO 25 i TETRAPOL međusobno imaju samerljiv nivo ponuđenih usluga, koji je nešto viši nego kod standarda EDACS.⁵

Analiza ekonomske efikasnosti prikazanih standarda

U današnje vreme oprema za izgradnju trunking sistema digitalnih MRV znatno je skuplja u odnosu na opremu trunking sistema analognih MRV. Mada, kao po pravilu, vrednost zaključenih ugovora predstavlja komercijalnu tajnu, treba shvatiti da se za izgradnju bilo kog od navedenih sistema digitalnih MRV, koji će opsluživati više stotina učesnika, mora da odvoje novčana sredstva čija se vrednost izražava u milionima dolara. Sudeći po reklamnim informacijama svetskih proizvođača, cena učesničkih radio-terminala, koji rade po standardu za digitalne radio-veze, može da se kreće od 800 do 4000 dolara, pri čemu se konkretna vrednost definiše u zavisnosti od opremljenosti modulima ili programske podrške za kriptozastitu prenošenih informacija.

⁵ Bez obzira na to što se zbog nedostatka podataka ne može izvršiti uporedna analiza standarda iDEN po ovom kriterijumu, to ne znači da se i sistemi digitalnih MRV tog standarda ne mogu koristiti za sisteme sa specijalnim namenama.

Upoređivanje ekonomske efikasnosti sistema digitalnih MRV različitih standarda ne treba vršiti odvojeno od kategorije sistema mobilnih radio-veza. Kako se navodi u publikacijama, za izgradnju mreže MRV sa ne baš velikim operativnim saobraćajnim opterećenjem, širokim teritorijalnim obuhvatom i ukupno 10 radio-kanala (10 radio-nosilaca), optimalna varijanta je (u tom smislu i cena izgradnje) korišćenje sistema u kojem je zastupljena FDMA, kao što su EDACS, APCO 25 (faza I) i TETRAPOL. To se objašnjava suštinskim većim prečnikom radio-zone pokrivanja kvalitetnim radio-signalima kod sistema sa FDMA nego kod sistema sa TDMA. Po ocenama, koje su date u tehničkom izveštaju standarda TETRAPOL PAS, cena bazne opreme jedne višecelijske mreže digitalnih MRV na principu TDMA biće za 30–50% viša, u poređenju sa cenom iste takve radio-mreže sa frekventnom raspodelom radio-kanala (pri jednakoj ceni jedinice opreme).

Međutim, za izgradnju mreža digitalnih MRV sa intenzivnim radio-saobraćajem i više od 15 saobraćajnih radio-kanala u jednoj radio-zoni, preporučuje se korišćenje sistema sa vremenskom raspodelom kanala, čiji su predstavnici TETRA i iDEN.

Treba istaći, da je standard APCO 25 (Faza II) univerzalan, pošto daje mogućnost za izgradnju sistema digitalnih MRV sa frekventnom i sa vremenskom raspodelom saobraćajnih radio-kanala.

Analiza statusa standarda otvoren/zatvoren

Prilikom izbora standarda, po kome će se graditi digitalni trunking sistem

MRV, svaki korisnik treba da ima u vidu da li je navedeni standard otvoren ili predstavlja korporativno rešenje proizvođača (zatvoren).

Korporativni, odnosno zatvoreni standardi EDACS i TETRAPOL predstavljaju specifičnost sopstvenih stvaralaca. Zbog toga je nabavka potrebne radio i druge opreme za izgradnju sistema, moguća samo u ograničenom krugu proizvođača. Kod standarda iDEN postoji mogućnost da se proizvode neke od komponenti iz sistema, međutim sve konce za izgradnju masovnih trunking mreža digitalnih MRV po tom standardu, u svojim rukama, i dalje čvrsto drži kompanija MOTOROLA.

Otvoreni standardi TETRA i APCO 25 stvaraju mogućnost za postojanje konkurentne sredine, odnosno privlače veći broj proizvođača bazne opreme, učesničkih radio-terminala, ispitne opreme da proizvode kompatibilnu radio-opremu, što obavezno dovodi i do smanjenja njihove cene. Svaka proizvođačka firma ili organizacija koja pristupi u odgovarajuće udruženje MoU TETRA, odnosno APCO, ima potpuno otvoren i kompletan pristup specifikacijama standarda.

Prema tome, oni potencijalni korisnici koji za svoj budući digitalni trunking sistem mobilnih radio-veza odaberu otvoreni standard TETRA ili APCO 25, neće zavisiti samo od jednog proizvođača i mogu menjati isporučioce opreme.

Otvorene standarde za izgradnju digitalnih trunking sistema MRV podržali su državni organi, organi bezbednosti i zaštite i slične strukture, kao i velike kompanije i vodeći svetski proizvođači pojedinih komponenti radio-opreme i opreme čvornih kontrolera (radio-trunking kontrolera).

Može se primetiti da će sa velikom verovatnoćom u perspektivi svetskim tržištem digitalnih trunking sistema MRV dominirati otvoreni standardi (prvenstveno TETRA⁶ i APCO 25).

Zaključak

Uporednom analizom došlo se do određenih zaključaka koji su istaknuti u analizi pojedinih kriterijuma. Međutim, treba imati na umu da je praktično nemoguće definisati potpuno precizne kriterijume po kojima bi se izvršio izbor najboljeg standarda. Kako je to u praksi, u velikom broju slučajeva, izbor varijante za izgradnju nekog sistema veze (posebno sistema veze za potrebe državnih organa) određuje se ne samo na osnovu tehničkih karakteristika sistema, već i drugim faktorima, među kojima prvo mesto zauzimaju cena realizacije i ekonomska efikasnost projekta. Pored toga, određenu ulogu u izboru sistema često imaju i političke konotacije, tradicija u saradnji sa proizvođačem radio-opreme, mogućnost kupovine opreme na kredit i mnogi drugi faktori.

Zbog toga, uporedna analiza prikazanih standarda digitalnih trunking sistema MRV provedena je samo u formi diskusije, na osnovu nekoliko faktora, koji uključuju ne samo tehničke već i druge aspekte za izgradnju tih sistema veza.

Mada nema mnogo publikovanih podataka, jasno je da će primena ovih sistema (možda specifično dopunjenih) biti veoma interesantna i za primene u vojsci.

⁶ Autori ovog članka posebno su izdvojili standard TETRA i detaljno ga prikazali u tekstu koji je objavljen kao specijalni dodatak u Novom glasniku br. 2-3/2002. godine.

Literatura:

- [1] Ovčinnikov, A. M.; Vorobev, S. V.; Sergeev S. I.: Otkritie standarti radiosvjazi, Moskva, 2000.
- [2] ACCESSNET – T Digital Trunked Radio Network from Rohde & Schwarz, Rohde & Schwarz BICK Mobilfunk GmbH, 2000.
- [3] TETRA Terrestrial Trunked Radio for Profesional Cellular Systems, Rohde & Schwarz BICK Mobilfunk GmbH, 2000.
- [4] Svrzić S.; Cosović D.: Analogni trunking sistemi mobilnih radio-veza, Novi glasnik 1/2000 – specijalni prilog.
- [5] Članci i prospektni materijal firme NOKIA, 1997–2000.
- [6] Članci i prospektni materijal firme MOTOROLA, 1997–2000.
- [7] Članci i prospektni materijal firme SIMOCO, 1997–2000.
- [8] Tetra News br. 2/99 Information for the Tetra MoU Group Nexus Media UK.
- [9] Mobilne radio-komunikacije, Centar za telekomunikacije FTN, Novi Sad, jun 2000.