

# Primena TDMoIP tehnologije i analiza kašnjenja u IRITEL KTP sistemu

Aleksandar Milić, Rade Rađenović, *Member, IEEE*, Vladimir Popović

**Sadržaj** — Rad se bavi TDMoIP (Time Division Multiplexing over IP) tehnologijom prenosa koja pruža postepenu migraciju ka novim generacijama mreža, bez radikalnih zahvata. U prvom delu je predstavljen osnovni koncept i izazovi koji su morali da budu prevaziđeni kako bi se obezbedio visok kvalitet servisa. Drugi deo rada prikazuje seriju IRITEL KTP konvertora, zasnovanih na ovoj tehnologiji i analizu rezultata koji su dobijeni merenjem na ovom sistemu, vezanih za kašnjenja i potreban bitski protok ka paketskoj mreži.

**Ključne reči** — AAL1, AAL2, MPLS, TDMoIP.

## I. UVOD

U PRINCIPU, postoje dva osnovna načina pomoću kojih mogu da se integrišu TDM servisi unutar IP mreža. S jedne srtane, moguće je upotpunosti zameniti kompletnu TDM mrežu i krajnju korisničku opremu novom infrastrukturom koja podržava inovativne mehanizme za prenos glasa i signalizacije. Drugi pristup obezbeđuje tunelovanje TDM podataka kroz paketsku mrežu, ostavljajući krajnju korisničku opremu i protokole netaknutim.

TDMoIP emulira T1, E1, T3, E3 i N\*64K linkove, vršeći odgovarajuću enkapsulaciju i prilagođavajući TDM saobraćaj na izlazne IP mreže.

Prilagođavanje podrazumeva odgovarajuće mehanizme pomoću kojih je moguće preneti informaciju o signalizaciji i taktu uz istovremeno zadržavanje visokih performansi. Definisane TDMoIP enkapsulacije su za UDP/IP, MPLS, L2TP/IP i MEF mrežne protokole.

TDMoIP koncept može da koristi nekoliko različitih tehnika adaptacije, u zavisnosti od karakteristika TDM saobraćaja. Kad god je to moguće, koriste se provereni adaptacioni mehanizmi razvijeni za ATM mreže.

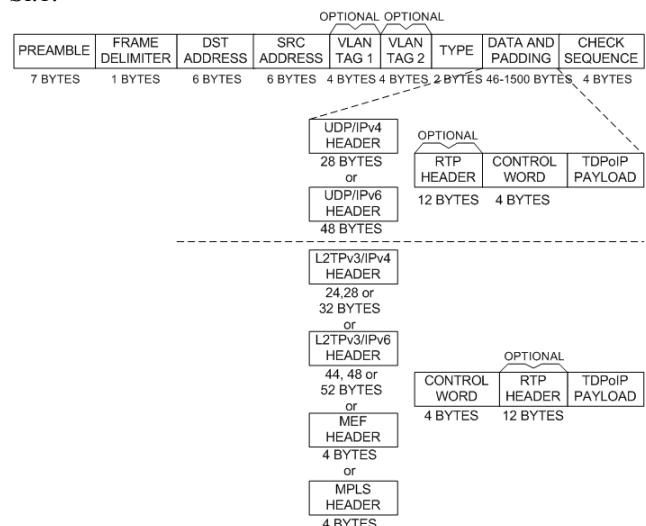
Za statički alocirane TDM linkove sa konstantnim bitskim protokom (CBR), TDMoIP koristi AAL1 (ATM adaptation layer 1). Ovaj mehanizam definisan je standardima ITU-T I.363.1 i ATM Forum specification atm-vtoa-0078 [1]. ALL1 segmentira kontinualni TDM tok signala u male 48 bajtvske ćelije, ubacujući

informaciju o deljenju, tajmingu i sinhronizaciji. Primera radi, AAL1 metod umeće pokazivač na početak sledećeg nadrama i u slučaju gubitka ćelija, pokazivač će omogućiti oporavak, počevši od narednog nadrama. TDMoIP omogućava spajanje proizvoljnog broja AAL1 ćelija unutar IP paketa (imajući u vidu da AAL1 ćelije nisu isto što i ATM ćelije, odnosno ne uključuju zaglavlje od pet bajtova). Dopuštajući proizvoljan broj ćelija po paketu, TDMoIP omogućava fleksibilnost u kašnjenju i protoku, gde se kašnjenje smanjuje sa smanjenjem broja ćelija po paketu a protok povećava zbog paketskog overhead-a.

Za dinamički alocirane TDM linkove, TDMoIP koristi ALL2 (ATM adaptation layer 2), mehanizam definisan standardom ITU-I I.366.2, razvijen za servise preko ATM sa promenljivom bitskom brzinom.

U TDMoIP paketima, podacima prethodi kontrolna reč koja je 32-bitna. Sastoji se od rednog broja paketa, informacije o tipu podataka koji se prenose, količini podataka i indikacije alarma.

U IP mrežama, UDP i IP zaglavlja prethode kontrolnoj reči. Odredišni UDP port uzima posebnu vrednost dodeljenu za TDMoIP (0x085E) [2] i [3], dok se izvorišni port koristi kao identifikator između različitih bandlova (svežnjeva 64Kb kanala). Format paketa je prikazan na Sl.1.



Sl. 1. TDMoIP enkapsulacija u Ethernet paketu.

U MPLS mrežama, kontrolnoj reči i podacima prethodi zaglavlje sa spoljašnjom i unutrašnjom MPLS labelom. Spoljašnja labela je opciona (može ih biti do dve) i služi za identifikaciju putanje paketa kroz MPLS mrežu, MPLS LSP (Label Switched Path) [4]. Broj labela može biti

Aleksandar Milić, IRITEL, Batajnički put 23, 11080 Beograd, Srbija (tel:381-11-3073-436; faks: 381-11-3073-434; e-mail: [alekm@iritel.com](mailto:alekm@iritel.com))

Rade Rađenović, IRITEL, Batajnički put 23, 11080 Beograd, Srbija (tel:381-11-3073-433; faks: 381-11-3073-434; e-mail: [rade@iritel.com](mailto:rade@iritel.com))

Vladimir Popović, IRITEL, Batajnički put 23, 11080 Beograd, Srbija (tel:381-11-3073-433; faks: 381-11-3073-434; e-mail: [vladap@iritel.com](mailto:vladap@iritel.com))

dodeljen bilo manualno bilo preko MPLS kontrolnog protokola. Unutrašnja labela (poznata i kao PW (Pseudowire) labela) predstavlja identifikator bandla i uvek sledi nakon spoljašnjih opcionih labela.

## II. TDMoIP KONCEPT

Na prvi pogled čini se da ne bi bilo teško prenositi govor ili druge TDM podatke posredstvom IP mreže. Podaci su podaci, a mreže su dizajnirane da prenose podatke.

Ipak ovaj pojednostavljeni pogled na stvari previđa mnoge značajne detalje kao što su: paketske mreže nemaju TDM signalizacione mehanizme, mogu uneti mnogo veća kašnjenja nego TDM mreže, ne mogu da prenose informaciju o tajmingu potrebnu TDM opremi na udaljenoj strani i povremeno gube pakete. Razmotrićemo svaki problem po naosob.

### A. Signalizacija

Pošto se razni tonovi u in-band signalizaciji prenose kao zvučni signali, TDMoIP ih isporučuje kao nepromenjene odbirke, pa dodatni mehanizmi nisu potrebni kao u slučaju VoIP sistema. Kako se CAS biti prenose u istom E1 signalu, TDMoIP ih spremno dočekuje čak i za frakcione E1 linkove, dok se za signalizaciju po zajedničkom kanalu, problem svodi na dodatni paketski saobraćaj u PSN mreži.

### B. Kašnjenje

Za kvalitetan prenos govora, po preporukama ITU-T G.114/G.131 kašnjenja do 150ms su prihvatljiva, podrazumevajući da je obezbeđena adekvatna kontrola eha. Ove smetnje nisu problematične za TDM mreže gde je glavna komponenta end-to-end kašnjenja vreme propagacije električnog signala. To je zato što tipična TDM mreža (Sonet/SDH, PBX, ...) dodaje samo 125 $\mu$ s kašnjenja po liniji.

Nasuprot ovome, G.723.1 kompresija govora, koja se uglavnom koristi u VoIP sistemima, dodaje kašnjenje koje dostiže i do 100ms bez uračunavanja dodatnog kašnjenja usled rutiranja.

TDMoIP mapira TDM oktete direktno unutar korisnog sadržaja paketa, ne zahtevajući algoritme za kompresiju pa nema ni rezultujućeg algoritamskog kašnjenja. Kašnjenje usled baferisanja koje se javlja u TDMoIP sistemima zavisi od broja ćelija po paketu ali je uglavnom u rasponu od par milisekundi.

### C. Tajming

Kao što smo ranije pomenuli paketi u paketskim mrežama stižu do svog odredišta sa zakašnjenjem koje ima slučajnu komponentu PDV (Packet Delay Variation). Kada se emulira TDM transport u ovakvoj mreži, pojava te slučajne komponente može biti prevaziđena smeštanjem TDM paketa u jitter bafer iz koga se podaci mogu čitati konstantnom brzinom i isporučivati TDM opremi krajnjeg korisnika. Problem je što TDM izvor referentnog takta više nije dostupan, tako da precizna brzina kojom podaci treba da napuštaju jitter bafer nije poznata.

U određenim slučajevima kao što je "toll-bypass" link krajnje tačke TDMoIP tunela su kompletne TDM mreže i tajming se može izvesti iz respektivnih mrežnih klockova. Kako je svaki od njih visoke tačnosti svi su u skladu sa onima višeg reda.

U slučajevima kada samo jedna strana TDMoIP tunela ima izvor referentnog takta visoke tačnosti, dizajneri bi trebalo da obezbede nezavisne izvore takta, kao što su atomski časovnici ili GPS prijemnici, za sve TDMoIP uređaje kako bi se paketska mreža oslobodila slanja sinhronizacionih informacija. Ovaj pristup bi verovatno bio skup u realizaciji.

Nova mogućnost bila bi da se obezbede paketske mreže za prosljeđivanje sinhro takta. Ovaj pristup bi zahtevao razvoj i održavanje dve odvojene mreže.

Za ATM mreže kod kojih je definisan fizički sloj za prenos tajminga primenljiv je SRTS (Synchronous residual time stamp) metod. IP/MPLS mreže nemaju definisan fizički sloj i zbog toga nemaju specificiranu tačnost takta.

Obično je jedina alternativa pokušaj da se vrši podešavanje samo onog takta koji je baziran na TDMoIP saobraćaju. Ovo je moguće jer izvorišni TDM uređaj generiše bite konstantnog protoka, zadate od strane njegovog takta. Nažalost ovi biti se primaju u paketima i time trpe izvesne promene zbog paketskog kašnjenja, koje je slučajni proces. Rekonstruisanje takta je otud proces usrednjavanja koji poništava efekte slučajnog PDV-a i zadržava srednju brzinu prenosa originalnog bitskog signala. PLL dobro odgovara ovoj svrsi, jer može da se lokuje na srednji bitski protok regenerišući čist signal takta koji aproksimira originalni bitski protok.

Opšte uzev, podešavanje takta podrazumeva adaptaciju lokalnog takta koji se bazira na nivou prijemnog jitter bafera. Da bismo razumeli ovaj mehanizam, pretpostavimo na trenutak da nema PDV-a ali da je lokalni takt inicijalno niže frekvencije od izvornog takta. Jitter bafer se puni bitima brže nego što se prazni tako da nivo popunjenosti raste. Ovaj rast se detektuje i kompenzuje povećanjem lokalne frekvencije.

Kada se PDV pojavi zajedno sa ovom razdešenošću takta, nivo jitter bafera se više ne menja postepeno već odstupa mnogo od svog srednjeg nivoa. Korišćenjem PLL-a koji se lokuje na srednju bitsku brzinu, bilo koja razdešenost takta na izvoru i odredištu biva kompenzovana. Prijemni jitter bafer će se podesiti na precizno poravnatu frekvenciju između dva takta.

PLL metod ima dve mane, prva je da PLL-u treba dosta vremena da se lokuje na izvorni takt. Druga je da se nivo jitter bafera može zaustaviti na poziciji koja je daleko od željene pozicije na centru bafera, čineći ga ranjivim na uslove overflow-a i underflow-a. U tom slučaju moguće je povećati veličinu jitter bafera da bi se smanjila verovatnoća underflow-a/overflow-a ali ovo povećanje veličine bafera neminovno povećava kašnjenje.

Koristeći sofisticiranije algoritme za podešavanje takta, rekonstruisani TDM takt može biti u saglasnosti sa ITU-T G.823 i G.824 preporukama za E1 jitter i wander [5], ukoliko se kroz mrežu obezbedi optimalno kašnjenje paketa.

### D. Gubitak paketa

Iako se od valjano projektovane mreže očekuje visok kvalitet servisa, paketi će s vremena na vreme stizati na odredište mimo reda, pa čak i biti izgubljeni unutar mreže. TDMoIP kontrolna reč obuhvata 16-bitni redni broj za detekciju i obradu izgubljenih i zakasnelih paketa. U slučaju izgubljenih paketa TDMoIP zahteva ubacivanje interpoliranih paketa zarad očuvanja TDM takta. Paketi

koji su došli mimo očekivanog reda mogu biti ili vraćeni na svoje mesto ili odbačeni pa interpolirani.

Ubacivanje proizvoljnih paketa može biti dovoljno za očuvanje TDM tajminga, ali kada je glas u pitanju, gubitak paketa može dovesti do grešaka koje rezultuju iseckanim, nerazgovetnim čak i potpuno nerazumljivim govorom.

Ovom problematikom i odgovarajućim rešenjima bavilo se dosta u VoIP studijama ali su one neprimenljive u TDMoIP. Razlog tome je što VoIP paketi sadrže između 80 i 240 odbiraka govornog signala, dok TDMoIP paketi mogu sadržati samo mali broj odbiraka.

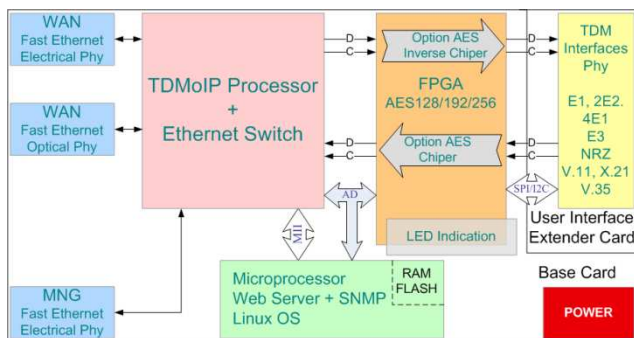
Pošto su tako mali, prihvatljivo je umetnuti neku konstantnu vrednost na mesto izgubljenog odbirka. Minimalna distorzija se postiže kada se ova konstanta postavi na nulu.

Može se usvojiti i pristup da se umesto izgubljenog uzorka ubaci isti kao prethodni. Možda je to primerenije u slučaju VoIP gde kvazistacionarnost govornog signala znači da je izgubljeni bafer verovatno sličan prethodnom. Čak i u slučaju jednog jedinog uzorka bolje je od umetanja nule zbog tipično low-pass quality govornog signala i zbog činjenice da će tokom intervala u kojima je sadržaj dosta visoke frekvencije, greška biti manje uočljiva.

TDMoIP proglašava gubitak paketa u trenutku kada mu je na raspolaganju sledeći paket, tako da su tada dostupna oba i onaj koji prethodi i onaj koji sledi izgubljenom paketu. Ovo omogućava estimaciju izgubljenog paketa a u najprostijem slučaju to bi bila linearna interpolacija. Naprednije metode ovo rešavaju modelom baziranim na predikciji.

### III. FUNKCIONALNI OPIS UREĐAJA

IRITEL KTP serija uređaja omogućava emulaciju prenosa TDM kanala preko lokalnih ili magistralnih paketski komutiranih Ethernet L2/L3 mreža za različite tipove korisničkih interfejsa [6]. Zahvaljujući modularnom pristupu u realizaciji ovih konvertora, jednostavnom zamenom dodatne kartice, podržani su sledeći tipovi interfejsa na TDM strani: E1, 2xE1, 4xE1, E3, NRZ (NATO), V.11/X.21 i V.35. Sa strane IP mreže, postoje 3 Ethernet porta, od toga jedan optički 100BaseFx, jedan električni i jedan menadžment port preko koga se pristupa uređaju, bilo preko SNMP agenta ili EWS (Embedded Web Server), koristeći neki od standardnih web browser-a.



Sl. 2. KTP blok šema.

Zbog transparentnosti za sve tipove TDM protokola, uređaj je pogodan za povezivanje: GSM baznih stanica i baznih stanica kontrolera u mobilnoj telefoniji, udaljenih PBX ili pretplatničkih jedinica sa centralnim

komutacionim sistemom, udaljenih MSAN-ova na bazi V5.2 protokola, povezivanje različitih tipova TDM multipleksera itd.

Omogućeno je adaptivno izdvajanje takta, diferencijalni takt (zajednički takt uz upotrebu RTP (Real-time Transport Protocol)) i eksterni takt.

Podržan je QoS (Quality of Service) preko potpuno konfigurabilnog ToS (Type of Service) bajta, kojim se definiše nivo IP prioriteta i koji je isti za sve pakete, kao i redundantnost saobraćaja i VLAN funkcionalnost (IEEE 802.1Q), Q-in-Q dvostruko tagovanim frejmovima (IEEE 802.1ad) [7].

U smislu generisanja i beleženja, podržani su svi standardni alarmi (LOS (Loss Of Signal), AIS (Alarm Indication Signal), LOF (Loss Of Frame), RDI (Remote Defect Indication)) i BIST (Built In Self Test)(obavlja proveru kvaliteta realizovane veze).

### IV. ANALIZA KAŠNJENJA

U IRITEL KTP seriji konvertora, broj TDM bajtova po frejmu je konfigurabilan parametar što omogućuje promenu protoka na izlaznim Ethernet portovima. S druge strane, povećanje broja TDM bajtova po paketu, izaziva paketizaciono kašnjenje, unutrašnje kašnjenje paketa (iPDV), što doprinosi većem end-to-end kašnjenju. Ono može da bude veoma značajno kod frejmovanog prenosa, kada se prenosi samo nekoliko E1 vremenskih kanala. Da bi se obezbedio kvalitetan servis, neophodno je definisati sledeće: 1) broj TDM bajtova po paketu, 2) izračunati broj paketa u sekundi, 3) izračunati unutrašnji PDV, 4) odrediti veličinu jitter bafera, i 5) end-to-end i round-trip kašnjenja.

Ako je u pitanju Gigabitna ili Fast Ethernet mreža u kojoj propusni opseg nije ograničavajući faktor, broj bajtova po paketu biće minimalan, 32. U slučaju bežičnog prenosa ili rutera sa ograničenim performansama, broj bajtova po paketu će morati da se poveća. Broj paketa u sekundi za 2Mb link sa UDP enkapsulacijom je dat u Tabeli 1. Ako je broj bajtova veći od 32, tada koristeći jednačinu (1), može da se izračuna unutrašnja varijacija kašnjenja paketa.

$$iPDV(ms) = \frac{(n - 1) * 1000}{packet\ per\ sec * n} \quad (1)$$

gde je n:

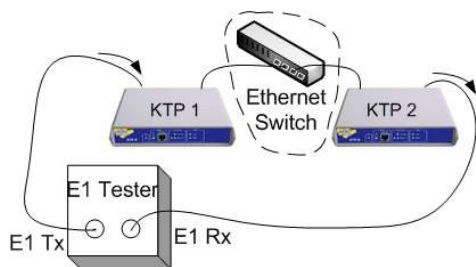
$$n = \frac{TDM\ bytes\ per\ packet}{32} \quad (2)$$

Veličina jitter bafera je zbir procenjenog ili izmerenog PDV paketske mreže i unutrašnjeg kašnjenja paketa, iPDV. Za računanje end-to-end kašnjenja paketa, može se koristiti formula (3), gde je NTS (Number Time Slots) broj vremenskih kanala koji se prenose a NetworkEEDelay, end-to-end kašnjenje koje unosi paketska mreža.

$$EEDelay(\mu s) = \frac{32 * n}{NTS} * 125(\mu s) + jitter\_buf(\mu s) + 300(\mu s) + NetworkEEDelay(\mu s) \quad (3)$$

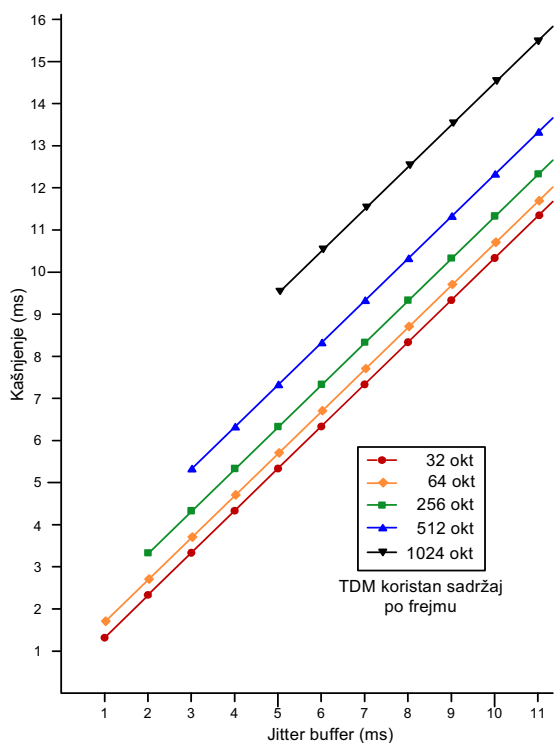
Merenje kašnjenja izvršeno je između dva KTP konvertora koji su povezani direktno kratkim UTP

kablom, kako bi se eliminisao uticaj kašnjenja paketa u mreži, sl. 3. Mereno je kašnjenje s kraja na kraj E1 linka, u zavisnosti od veličine jitter bafera za različite veličine TDM bajtova po IP/UDP paketu.



Sl. 3. Blok šema povezivanja pri merenjima kašnjenja i protoka.

Analizom grafika pokazuje se da je kašnjenje koje unose uređaji usled obrade signala gotovo konstantno i iznosi oko 0.3ms. Dominantno kašnjenje signala nastaje zbog baferisanja tj. veličine jitter bafera (pogotovo za vrednosti veće od 3ms). Takođe se vidi, da se srazmerno povećanju broja okteta u korisnom sadržaju frejma povećava i kašnjenje, u skladu sa (1), s tim da treba voditi računa da veličina jitter bafera ne bude manja od graničnih vrednosti datih na sl. 4, kako ne bi dolazilo do odbacivanja paketa.



Sl. 4. Izmereno kašnjenje za različite veličine paketa.

Za merenje protoka na Ethernet portovima korišćen je upravljivi switch kojim je ograničavan protok u koracima od po 1Kbps, sve dok nisu detektovane bitske greške ili gubitak frejma. Tabela 1. pokazuje izmereni minimalan protok koji je potrebno obezbediti u IP mreži u zavisnosti od dužine frejma, za jedan E1 link, da ne bi dolazilo do

grešaka u prenosu. Naravno, ovaj protok je nešto veći od protoka koji čine paketi sa TDM saobraćajem zbog mehanizma kontrole protoka gde se šalju ramovi pauze koji nose u sebi informaciju da treba napraviti pauzu u slanju podataka zbog preopterećenosti linka.

TABELA 1: PROPUSNI OPSEG NA ETHERNET-U ZA E1

TDM okt/paketu [ bytes ]	Dužina Paketa [ bytes ]	Over-head [ bytes]	Paket/Sek	TDM Protok (Mbps)	Izmereni Protok (Mbps)
32	90	58	8000	5,62	7,2
64	122	58	4000	3,81	4,5
128	186	58	2000	2,91	3,3
256	314	58	1000	2,45	2,9
512	570	58	500	2,23	2,6
1024	1082	58	250	2,11	2,4

## V. ZAKLJUČAK

Pored rezultata koji se mogu primeniti u podešavanju optimalnih parametara za rad IRITEL KTP konvertora, pokazana je još jedna osobina TDMoIP prenosa u pogledu kvaliteta servisa. Povećavajući prihode od postojeće IP infrastrukture, smanjujući troškove održavanja uz brzu i jednostavnu instalaciju [9], TDMoIP prenos unosi kašnjenja od par milisekundi koja su i za red veličine manja u odnosu na neke druge tehnologije.

## LITERATURA

- [1] ATM Forum: atm-vtoa-0078 (CES 2.0) "Circuit Emulation Service Interoperability Specification Ver. 2.0"
- [2] RFC 5087: "Time Division Multiplexing over IP (TDMoIP)"
- [3] IETF: draft-anavi-tdmoip.txt "TDM over IP"
- [4] RFC 3031: "Multiprotocol Label Switching Architecture"
- [5] ITU-T: G.823 "The Control of Jitter and Wander Which Are Based on the 2048 kbit/s Hierarchy"
- [6] IRITEL KTP Series, Technical Description, IRITEL 2009. Belgrade
- [7] IEEE: 802.1q "Virtual VLANs"
- [8] Yaakov Stein and Eitan Schwartz: "Circuit Extension over IP: The Evolutionary Approach to Transporting Voice and Legacy Data over IP Networks" White Paper, TDMoIP Technical Documentation, RAD Data Communications, Inc
- [9] Nebojša Lukić, Marko Vezmar "Sistem za prenos tehnologijom TDMoIP u mobilnoj telefoniji", TELFOR 2003, Beograd

## ABSTRACT

This paper presents TDMoIP (Time Division Multiplexing over IP) transmission technology that provides a gradual migration to new generation networks, without the revolutionary approach. The first part presents the fundamental concept and challenges that had to be overcome in order to ensure a high quality of service. The second part presents a series of IRITEL KTP converters, based on this technology and analysis of results obtained in measurements on this system, which are related to delays and required packet network throughput.

## TDMoIP TECHNOLOGY APPLIANCE AND ANALYSIS OF DELAY IN IRITEL KTP SYSTEM

Aleksandar Milić, Rade Rađenović, Member IEEE,  
Vladimir Popović