

Aplikácia IMS platformy v definovanej infraštruktúre regiónu

Chovan Roman · Elektrotechnika, Informačné technológie

12.12.2011



Prezentovaný projekt sa zaoberá problematikou platformy multimediálneho subsystému IP. Zameriava sa na architektúru tohto systému. Cieľom je pochopiť a vysvetliť architektúru a funkčné bloky multimediálneho subsystému IP a následne využiť nadobudnuté vedomosti pri aplikácii IMS do definovanej infraštruktúry regiónu s použitím produktov spoločnosti Alcatel - Lucent.

1. Úvod

Multimediálny subsystém IP (IP Multimedia Subsystem, IMS) je definovaný (podľa požiadaviek 3GPP TS 22.228 5. vydanie) ako architektonický systém vytvorený za účelom doručenia IP multimediálnych služieb koncovým užívateľom. Tento systém musí spĺňať nasledujúce požiadavky:

- podporovať zahajovanie IP multimediálnych relácií,
- podporovať mechanizmy určovania kvality služby,
- podporovať prepojenie s internetom a so sieťami s prepájaním okruhov,
- podporovať roaming,
- podporovať vysokú úroveň kontroly stanovenú operátorom,
- podporovať rýchle vytváranie nových služieb bez potreby štandardizácie,
- podporovať prístup z rôznych prístupových sietí.

IMS architektúra poskytuje pre používateľa celý rad možností pri výbere koncového zariadenia ako sú počítače, mobilné telefóny, PDA, digitálne telefóny. IMS terminál musí používať IP protokol a mať aktivovanú funkciu SIP klienta. Ďalšou výhodou IMS technológie je, že ako prístupová sieť môže byť použitá ľubovoľná sieť založená na IP protokole. Podporované sú fixné siete (DSL, káblový modem, Ethernet), mobilné siete (GSM, GPRS) aj bezdrôtové siete (WLAN, WiMAX).

Systémy ktoré sú nekompatibilné s IMS (H.323, POTS) môžu byť pripojené pomocou sieťových priechodov. IMS umožňuje poskytovateľom služieb ľahko prijímať služby vytvorené tretími stranami a vytvárať služby, ktoré sa efektívne integrujú s inými službami. Okrem toho služba už nie je poskytovaná iba jedným poskytovateľom. Služby môže poskytovať akýkoľvek poskytovateľ, ktorý implementuje štandardizované rozhrania.

1.1. Funkčné bloky IMS

Výsledkom štandardizácie spoločnosti 3GPP je definícia funkcií, nie jednotlivých zariadení v sieti. Z toho vyplýva, že pri realizáciách jednotlivých výrobcov môže byť viacero funkcií zahrnutých v jednom zariadení, ako aj jedna funkcia rozdelená do niekoľkých zariadení. Ďalej sú rozpísané jednotlivé funkcie IMS architektúry.

HSS

Databáza účastníkov (Home Subscriber Server, HSS) ukladá informácie o používateľoch. Obsahuje všetky potrebné dáta súvisiace s konkrétnym používateľom potrebné pre vytvorenie multimedialnej relácie. Tieto dáta okrem iného obsahujú informácie o polohe účastníka, informácie o zabezpečení (autentifikačné a autorizačné informácie), informácie o predplatených službách účastníka a S-CSCF pridelený účastníkovi.

V prípade, že počet účastníkov je väčší, ako je množstvo ktoré dokáže spravovať jeden HSS server, môže byť v sieti niekoľko HSS serverov, pričom informácie o konkrétnom účastníkovi sú uložené v jednom HSS servery. V tomto prípade je nutné použiť funkciu polohy účastníkov (Subscriber Location Function, SLF), ktorá mapuje adresy účastníkov k jednotlivým HSS serverom. Vstupom SLF je adresa účastníka a výstupom je HSS server, ktorý obsahuje informácie o danom účastníkovi.

CSCF

Funkcia riadenia hovoru/relácie (Call/Session Control Function, CSCF) je základný uzol v IMS architektúre. Je to SIP server ktorý spravuje SIP signalizáciu v IMS sieti. Poznáme tri typy CSCF na základe ich funkcie: Proxy CSCF (Proxy Call/Session Control Function, P-CSCF) je prichodzí a odchodí SIP proxy server. Spravuje SIP signalizáciu medzi účastníkom a IMS. Overuje požiadavky, smeruje ich ďalej k určenému cieľu, spracováva a smeruje odpovede. Počas registrácie je pridelený IMS terminálu jeden P-CSCF a počas celého trvania registrácie sa nemení. P-CSCF určuje bezpečnostné prvky spojenia vyžadované od IMS terminálu, potrebné pre ochranu integrity dát. Keď týmto spôsobom P-CSCF autentifikuje terminál, ostatné uzly v sieti už nemusia vyžadovať ďalšiu autentifikáciu, pretože dôverujú P-CSCF.

Ďalšou funkciou je generovanie informácie o poplatkoch, ďalej overovanie správnosti SIP požiadaviek IMS terminálu,

čím sa zabráňuje vytvoreniu požiadavky, ktorá nie je v súlade s pravidlami SIP komunikácie. V neposlednom rade zabezpečuje P-CSCF ako aj IMS terminál kompresiu a dekompresiu dát, nakoľko SIP správy sú textovo orientované a teda môžu byť relatívne veľké, čo by mohlo cez niektoré spojenia spôsobovať zdĺhavú výmenu dát medzi terminálom a P-CSCF. V IMS sieti môže byť niekoľko P-CSCF kvôli rozšíriteľnosti a redundancii.

Hraničiaca CSCF (Interrogating Call/Session Control unction, I-CSCF) je SIP proxy server nachádzajúci sa na okraji administratívnej domény. Jeho IP adresa sa nachádza v záznamoch DNS servera danej domény. Služi ako vstupný bod pre SIP správy do danej domény pre vzdialené servery. I-CSCF je prepojený s HSS prípadne SLF z ktorého získava informácie o polohe účastníka, na základe ktorých potom smeruje SIP

správy príslušnému S-CSCF pridelenému účastníkovi. Toto prepojenie využíva bezpečnostný protokol Diameter.

Výkonná CSCF (Serving Call/Session Control Function, S-CSCF) je hlavný uzol signalizačnej roviny. Slúži ako SIP server a taktiež vykonáva kontrolu jednotlivých relácií. Ďalej sa využíva ako SIP registrar server, teda priraduje verejnú adresu účastníka k jeho súčasnej adrese. Rovnako ako I-CSCF aj S-CSCF je prepojený s HSS prípadne SLF pomocou protokolu Diameter. Toto spojenie využíva na sťahovanie profilu používateľa, ktorý obsahuje informácie o autentifikácii a podľa ktorého S-CSCF ďalej smeruje SIP správy cez aplikačné servery

Každá správa SIP signalizácie, ktorú IMS terminál posiela a prijíma prechádza cez S-CSCF, ktorý tieto správy skúma a určuje, či majú byť na ceste k cieľovej stanici smerované cez aplikačné servery. Skúmaním jednotlivých správ S-CSCF uplatňuje politiku operátora, pretože môže zabrániť účastníkom vykonávať nedovolené činnosti. S-CSCF je pridelený účastníkovi počas celého trvania registrácie.

AS

Aplikačný server (Application Server, AS) je prostriedok pre poskytovanie služieb v IMS ako napríklad hlasová pošta, služba rýchlych správ atď. AS je pripojený k S-CSCF použitím protokolu SIP. Ak sa vyžadujú špeciálne hlasové alebo video prenosy, aplikačný server vyvolá príslušný MRF server. Ak je pri vykonávaní niektorých služieb potrebné získať ďalšie informácie o účastníkoch, AS sa môže pripojiť k HSS využitím protokolu Diameter.

MRF

Funkcia zdroja médií (Media Resource Function, MRF) je zdrojom médií v domácej sieti. Zabezpečuje prehrávanie médií, zmiešavanie mediálnych tokov pri konferenčných spojeniach, preklad medzi rozdielnymi kodekmi a rôzne analýzy médií. MRF je ďalej rozdelená na ovládač funkcie zdroja médií (Media Resource Function Controller, MRFC), ktorý pracuje v signalizačnej rovine a procesor funkcie zdroja médií (Media Resource Function Processor, MRFP), ktorý pracuje v komunikačnej rovine. MRFP spracováva všetky médiá s ktorými pracujú aplikačné servery pre poskytovanie služieb ako hlasové a video konferencie, hlasová schránka, nahrávanie a spracovanie reči. MRFC riadi činnosť MRFP pomocou protokolu H.248. MRFC komunikuje pomocou protokolu SIP s S-CSCF.

BGCF

Funkcia riadenia hraničiaceho sieťového priechodu (Breakout Gateway Control Function, BGCF) je SIP server, ktorý vykonáva smerovanie na základe telefónneho čísla. Určuje sieť v ktorej sa bude realizovať spojenie s PSTN. Hovor môže smerovať k ďalšiemu BGCF pre ďalšie spracovanie, alebo k MGCF kontrolujúcemu prístup do PSTN.

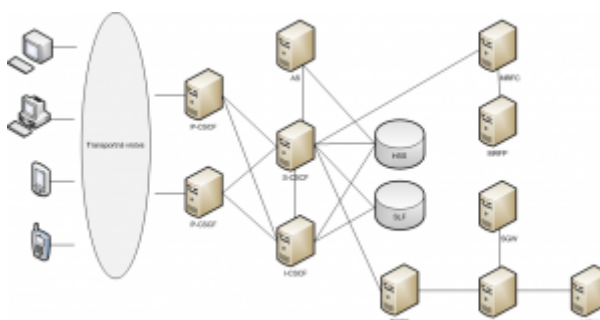
Sieťový priechod médií

Sieťový priechod do sietí s prepájaním okruhov umožňuje IMS terminálom

uskutočňovať hovory s telefónmi verejnej telefónnej siete alebo ľubovoľnej siete s prepájaním okruhov. Takýto sieťový priechod je ďalej rozdelený na viacero funkcií. Sieťový priechod signalizačnej roviny (Signaling Gateway, SGW) vykonáva konverziu signalizačných protokolov zo strany PSTN ako BICC a ISUP do protokolu prenosu kontroly toku (Stream Control Transmission Protocol, SCTP) na strane IMS a naopak. SGW sa ďalej pripája k MGCF ktorá má za úlohu preložiť ISUP alebo BICC na SIP správy šíriace sa v IMS sieti.

Funkcia kontroly mediálneho sieťového priechodu (Media Gateway Control Function, MGCF) je hlavný uzol sieťového priechodu do PSTN. Prekladá signalizáciu siete s prepájaním okruhov na SIP správy a naopak. Taktiež má za úlohu riadiť činnosť MGW. Ako komunikačný protokol medzi MGW a MGCF sa využíva protokol H.248.

Mediálny sieťový priechod (Media Gateway, MGW) konvertuje hlasový tok RTP protokolu na PCM využívanú v PSTN a naopak. Taktiež vykonáva preklad medzi rozdielnymi kodekmi ak IMS terminál nepodporuje kodek používaný na strane PSTN. Na obrázku 1 môžeme vidieť základnú architektúru IMS.



Obr. 1. Architektúra IMS, prevzaté z [2]. str. 30.

2. Definícia infraštruktúry regiónu

V tejto práci sme pre aplikovanie IMS platformy použili teoretickú infraštruktúru regiónu. Tento región je rozdelený podľa spoločných sociologických charakteristík na päť oblastí.

- Oblasť A: Centrum regiónu s prevažne administratívnymi budovami
- Oblasť B: Obytná oblasť
- Oblasť C: Periféria regiónu s prevažujúcou priemyselnou činnosťou
- Oblasť D: Rekreačná oblasť zameraná najmä na turistický ruch
- Oblasť E: Poľnohospodárska oblasť

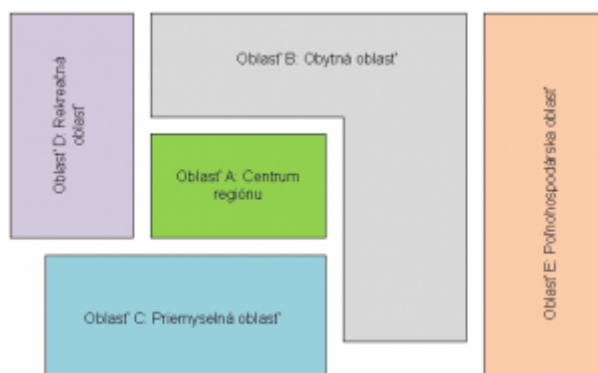
Nasledujúca tabuľka charakterizuje región z hľadiska telekomunikácií. Popisuje súčasný stav bez očakávaných zmien v štruktúre regiónu.

Tab. 1. Región z hľadiska telekomunikácií.

A	Centrum	Typ organizácie	Počet budov	Počítačové pripojenia	Telefónne pripojenia

I	Administratíva a mestská správa	Univerzity	2	400 300	80 60
		Stredné školy	8	8 x 30	8 x 5
		Základné školy	8	8 x 30	8 x 5
		Mestská radnica	1	150	30
		Knižnice	4	4 x 21	4 x 2
		Sídla televíznych staníc, rádii a redakcií novín a časopisov	10	2 x 80 2 x 50 6 x 50	2 x 80 2 x 30 6 x 30
		Zdravotné strediská	3	2 x 100 50	2 x 50 25
		Polícia	2	30 20	25 20
		Pošta	2	25 20	5 5
		Ďalšie zariadenia administratívny	5	5 x 50	5 x 10
II	Služby	Malé spoločnosti	8	8 x 40	8 x 5
		Stredne veľké spoločnosti	3	3 x 100	3 x 20
		Veľké spoločnosti	1	40	80
III	Ubytovanie	Rodinné domy	60	50	60
		Panelové domy	10	10 x 20	10 x 20
B	Obytná oblasť	Typ organizácie	Počet budov	Počítačové pripojenia	Telefónne pripojenia
I	Administratíva a mestská správa	Univerzity	1	200	20
		Stredné školy	10	10 x 30	10 x 5
		Základné školy	14	10 x 20	10 x 5
		Polícia	4	2 x 20 2 x 30	2 x 10 2 x 15
		Miestny úrad	1	30	20
		Hasiči	2	2 x 10	2 x 10
II	Služby	Stredne veľké spoločnosti	9	9 x 100	9 x 15
		Veľké spoločnosti	6	6 x 300	6 x 30
III	Ubytovanie	Rodinné domy	1500	1500	1500
		Panelové domy	60	2000	2000
C	Periféria	Typ organizácie	Počet budov	Počítačové pripojenia	Telefónne pripojenia
I	Priemyselné podniky	Malé spoločnosti	8	8 x 20	8 x 5
		Stredne veľké spoločnosti	17	10 x 80 7 x 100	10 x 15 7 x 20
		Veľké spoločnosti	8	5 x 400 3 x 500	5 x 30 3 x 40

II	Služby	Malé spoločnosti	6	6 x 30	6 x 10
		Stredne veľké spoločnosti	4	4 x 80	4 x 15
		Veľké spoločnosti	1	300	40
III	Ubytovanie	Rodinné domy	200	200	200
		Panelové domy	10	300	300
D	Rekreačná oblasť	Typ organizácie	Počet budov	Počítačové pripojenia	Telefónne pripojenia
I	Služby a maloobchodný predaj	Malé spoločnosti	30	10 x 20 15 x 10 5 x 30	10 x 5 15 x 2 5 x 7
		Stredne veľké spoločnosti	8	8 x 80	8 x 15
		Veľké spoločnosti	4	4 x 250	4 x 20



Obr. 2. Grafická reprezentácia regiónu.

Očakávaný rozvoj regiónu

Pri návrhu aplikácie novej technológie do existujúcej infraštruktúry je dôležité poznať možnosti ďalšieho rozvoja daného regiónu. Musíme počítať s nárastom počtu zákazníkov v blízkej budúcnosti a teda musíme nový systém navrhnuť s istými rezervami. Ak by sme s takýmito rezervami nepočítali, pri budúcom náraste počtu zákazníkov by sme museli vykonať rozšírenie systému, ktoré by bolo oproti rozšíreniu vykonanému už pri nasadení systému do infraštruktúry regiónu finančne omnoho náročnejšie. Je potrebná dôkladná analýza kritérií, ktoré ovplyvňujú rozvoj regiónu. Sú to:

- rozvoj priemyselnej zóny,
- väčší dopyt po ubytovaním
- rozvoj infraštruktúry regiónu (najmä z pohľadu ciest a telekomunikácií),
- príchod zahraničných investorov do regiónu,
- nárast turistického ruchu.

Následkom jednotlivých kritérií sú zmeny v rôznych oblastiach či už služieb, ubytovaní alebo priemyselnej činnosti. Pri návrhu aplikácie platformy IMS z hľadiska kapacity boli zahrnuté všetky hore uvedené kritériá. V najbližších piatich rokoch sú očakávané pre jednotlivé oblasti regiónu nasledujúce projekty:

Oblasť A:

- postavenie nového zdravotného strediska,
- rozširovanie pôsobenia spoločností a príchod nových spoločností v oblasti služieb a bankovníctva – celkovo 10 nových pobočiek.

Oblasť B:

- otvorenie nových podnikov v oblasti predaja tovaru a služieb (relaxačné centrá, kaviarne, reštaurácie, špecializované predajne, stávkové kancelárie) – celkovo 25 nových pobočiek,
- postavenie nových panelových domov – 10 budov,
- postavenie nových rodinných domov – 200 budov.

Oblasť C:

- príchod veľkej spoločnosti – nový automobilový závod,
- rozvoj spoločností z malých na stredne veľké,
- postavenie nových panelových domov s mezonetovými bytmi – celkovo 7 nových budov.

Oblasť D:

- postavenie malých podnikov v oblasti služieb (reštaurácie, kaviarne, masážne salóny, kaderníctva) – celkovo 10 pobočiek,
- otvorenie nového zimného štadiónu, plavárne a nákupného centra.

Oblasť E:

- polia sa najmä pri okrajoch ciest začínajú rozdeľovať na stavebné parcely a predávať. Očakáva sa postavenie 300 nových rodinných domov.

Nasledujúca tabuľka obsahuje súhrn očakávaných zmien v štruktúre regiónu v najbližších piatich rokoch.

Tab. 2. Vývoj v regióne v najbližších piatich rokoch.

A	Centrum	Typ organizácie	Počet budov	Počítačové pripojenia	Telefónne pripojenia
I	Administratíva	Zdravotné stredisko	1	100	20
II	Služby	Malé spoločnosti	7	7 x 30	7 x 2
		Stredne veľké spoločnosti	3	3 x 90	3 x 8
B	Obytná oblasť	Typ organizácie	Počet budov	Počítačové pripojenia	Telefónne pripojenia
I	Služby	Malé spoločnosti	25	25 x 20	25 x 3
II	Ubytovanie	Rodinné domy	200	200	200
		Panelové domy	10	300	200
C	Periféria	Typ organizácie	Počet budov	Počítačové pripojenia	Telefónne pripojenia

I	Priemyselné podniky	Velké spoločnosti	1	400	10
II	Služby	Stredne veľké spoločnosti	3	3×200	20
III	Ubytovanie	Panelové domy	7	250	200
D	Rekreačná oblasť	Typ organizácie	Počet budov	Počítačové pripojenia	Telefónne pripojenia
I	Služby	Malé spoločnosti	10	10 x 10	10 x 2
II	Ostatné	Zimný štadión	1	10	2
		Plaváreň	1	7	2
		Nákupné centrum	1	100	2
E	Poľnohospodárska oblasť	Typ organizácie	Počet budov	Počítačové pripojenia	Telefónne pripojenia
I	Ubytovanie	Rodinné domy	300	300	0

3. Nasadenie platformy IMS

Pre túto prácu sme zvolili produkty firmy Alcatel - Lucent. Alcatel - Lucent je jedna so spoločností ktorá poskytuje celkové IMS riešenie, ktoré sa občas označuje ako IMS v škatuli kvôli snahe integrovať čo najväčšie množstvo funkcií, do čo najmenšieho počtu zariadení. Výsledkom tejto snahy je rad produktov ktoré spája spoločný názov: Koncové IMS riešenie (End-to-End IMS Solution). Sú to tieto produkty:

- 5900 Media Resource Function (MRF) - plní funkciu MRFC a MRFP
- 7515 Media Gateway (MGW) - Plní funkciu MGW a SGW
- 5020 MGC-8 Media Gateway Controller - plní funkciu MGCF
- 5450 IP Session Controller (ISC) - plní funkciu P-CSCF, I-CSCF, S-CSCF a BGCF
- 5420 Converged Telephony Server (CTS) - plní funkciu aplikačného servera
- 5060 IMS Call Server (ICS) - spája dokopy zariadenia 5450 ISC, 5420 CTS, 5020 MGC-8 a taktiež obsahuje databázu HSS a spoplatňovaciu funkciu.
- 7670 Routing Switching Platform (RSP) - centrálné smerovacie a prepínacie zariadenie
- 7470 Multiservice Platform (MP) - Multiservisný prepínač pre prístupové technológie ako sú xDSL, IP, Frame Relay

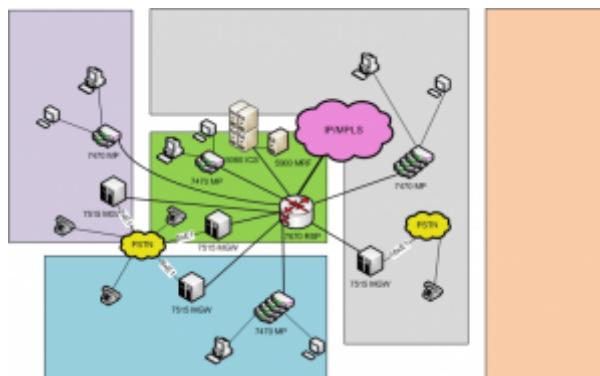
5060 ICS kapacitne vystačí pre 1,8 milióna účastníkov. Kapacita jedného zariadenia 7515 MGW je 16 E1 pripojení, teda 480 DS0 kanálov na strane PSTN a dve 100 Mb/s Ethernet pripojenia na strane IMS. Vďaka malým rozmerom sa dá do jedného stojanu umiestniť až 20 takýchto zariadení. Zariadenie 7670 RSP s prepájacou lištou rýchlosti 450 Gbit/s dokáže obslúžiť až 3000 hovorov za sekundu. Zariadenie 7470 MP má prepínaciu lištu o rýchlosti 12,8 Gbit/s.

Aplikácia jednotlivých komponentov

Ako transportnú sieť sme zvolil vysokorýchlostnú IP sieť s funkciou MPLS. Ako hlavný komponent sme zvolil 5060 ICS, ktorý sme umiestnili do oblasti A, teda do centra regiónu. Do tejto oblasti sme taktiež umiestnili centrálné smerovacie a prepínacie zariadenie 7670 RSP a zariadenie 5900 MRF. Pripojenie s PSTN sme realizovali použitím zariadenia 7515 MGW pomocou piatich E1 prepojení ktoré kapacitne vystačujú pre celú oblasť. Dátová sieť je pripojená pomocou dvoch multiservisných

prepínačov 7470 MP. Oblasť B je najobývanejšia oblasť s najväčším množstvom pripojení. Preto sme použil 4 zariadenia 7470 MP.

Zariadenie 7515 MGW je v tejto oblasti pripojené k sieti PSTN pomocou šiestnástich E1 prepojení. V oblasti C je potrebných päť E1 prepojení zariadenia 7515 MGW so sieťou PSTN a štyri zariadenia 7470 MP. V oblasti D, čiže rekreačnej oblasti stačia 2 E1 prepojenia zariadenia 7515 MGW s PSTN. Dátová sieť je pripojená pomocou dvoch prepínačov 7470 MP. Oblasť E je zatiaľ neobývaná, teda nie je v nej potrebné aplikovať IMS riešenie. Po vybudovaní 300 rodinných domov budú tieto domy pripojené k 7470 MP. Telefónne prípojky tieto nové domy už nebudú obsahovať. Na obrázku 3 je znázornené rozmiestnenie jednotlivých komponentov v regióne.



Obr. 3. Rozmiestnenie jednotlivých komponentov.

4. Zhrnutie

V tejto práci sme aplikovali IMS platformu do definovanej infraštruktúry regiónu. Pre tento účel sme použili produkty spoločnosti Alcatel - Lucent, ktorá sa tejto problematike podrobne venuje a jej produkty sú využívané po celom svete. V našom riešení sme sa zameriavali na dosiahnutie kapacitných požiadaviek v danom regióne s prihliadnutím na budúce rozširovanie jednotlivých oblastí ako aj na vysokú efektivitu siete pre jednoduché nasadzovanie nových služieb bez ďalšej potrebnej modernizácie architektúry.

Treba poznamenať, že toto riešenie nepovažujeme za koncové komplexné riešenie s podrobnými špecifikáciami a postupmi pri implementácii jednotlivých komponentov, ale ako jeden z možných návrhov, ktorý rieši otázky kapacity, použitia jednotlivých produktov a prepojenia s viacerými druhmi prístupových sietí. IMS platforma ukázala pri jej analýze svoje prednosti a preto je hodná ďalšieho skúmania, testovania, pochopenia.

5. Acknowledgement

This contribution is the partial result of the Research & Development Operational Programme for the project Support of Center of Excellence for SMART Technologies, Systems and Services II., ITMS 26240120029, co-funded by the ERDF.

6. Literatúra

1. Baroňák, I., Jánoš, P.: NGN infrastructure in the region. In: 3rd International Conference - New Information and Multimedia Technologies NIMT - 2010, Brno

-
- University of Technology, Czech Republic, September 16, 2010, pp. 24-33 ISBN 978-8-214-3930-2
2. Camarillo, G., García-Martin, M.: The 3G IP Multimedia Subsystem (IMS) : Merging the Internet and the Cellular Phones. Second Edition. Finland; John Wiley & Sons, Ltd, 2006. 427 s. ISBN-13: 978-0-470-01818-7
 3. Mendiratta, Veena B., Pant, H.: Reliability of IMS Architecture. In: Australasian Telecommunication Networks and Applications Conference. Nový Zéland : Bell Labs, Alcatel-Lucent, 2007. s. 1 - 6
 4. Mišuth, T., Chromý, E., Kavacký, M.: Prediction of traffic in the Contact Center, In: ELECO 2009, 6th International Conference on Electrical and Electronics Engineering, Bursa, Turkey, 5-8 November, 2009, ISBN 978-9944-89-820-1, pp. 111-114.
 5. Vozňák, M., Halás, M., Borowik, B., Kocur, Z.: Delay Model of RTP Flows in Accordance with M/D/1 and M/D/2. Kendall's Notation. In: INTERNATIONAL JOURNAL of MATHEMATICS AND COMPUTERS IN SIMULATION, ISSUE 3, Vol. 5, 2011, ISSN 1998-0159, pp. 242-249.
-

Spoluautorom článku je prof. Ing. Ivan Baroňák, PhD., Katedra telekomunikácií, Fakulta Elektrotechniky a Informatiky, Slovenská Technická Univerzita, Ilkovičova 3, Bratislava 812 19

Práca bola prezentovaná na Študentskej vedeckej a odbornej činnosti (ŠVOČ 2011) v sekcii Telekomunikácie I. a získala Diplom dekana, ISBN 978-80-227-3508-7
