

**FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY
UNIVERZITY KOMENSKÉHO
BRATISLAVA**



**IP TELEFÓNIA
DIPLOMOVÁ PRÁCA**

AUTOR: PETER FRLIČKA
VEDÚCI: RNDR. MARTIN DOMÁNY

BRATISLAVA
MÁJ 2006

Čestne vyhlasujem, že túto diplomovú prácu som vypracoval samostatne len s použitím uvedenej literatúry.

V Bratislave

14. mája 2006

Abstrakt

FRLIČKA, Peter. *IP telefónia*. [Diplomová práca]. Univerzita Komenského. Fakulta matematiky, fyziky a informatiky. Katedra informatiky.

Školiteľ: RNDr. Martin Domány. Obhajoba: Bratislava, 2006.

V našej práci sme sa snažili obsiahnuť čo najširšiu časť a poskytnúť čo najucelenejší pohľad na problematiku IP telefónie. Na začiatku sme poskytli komplexný prehľad technológie, architektúry, protokolov, komponentov a služieb. Sú to najmä protokoly: SIP, H.323 a RTP; softvérové komponenty: *Asterisk* a *Sip Express Router*; hardvérové komponenty: VoIP brány a IP telefóny; služby: ENUM, transfer hovoru a spoplatňovanie. V druhej, praktickej časti práce, sme sa zaoberali implementáciou IP telefónie v prostredí Univerzity Komenského. Je to v prvom rade implementácia SIP-H.323 prekladača a testovacia prevádzka SIP-H.323 prekladača, ďalej analýza informácií z CDR databázy, a zdokumentovanie aktuálnej situácie IP telefónie na Univerzite Komenského.

Kľúčové slová: IP telefónia, VoIP, ENUM, SIP, H.323, SIP-H.323 prekladač, Asterisk, E.164, oh323

Na tomto mieste by som sa rád poďakoval svojim rodičom, ktorým vďačím naozaj za veľa.

Tiež by som sa chcel poďakovať svojmu vedúcemu diplomovej práce, RNDr. Martinovi Dománymu za cenné rady a pripomienky pri písaní tejto práce, a za trpezlivosť s ktorou sa mi venoval.

Ďalej by som sa chcel poďakovať Ing. Ladislavovi Ivančíkovi za ochotu pomôcť pri konfigurovaní sieťových prvkov a zapožičanie testovacieho zariadenia.

Za tipy týkajúce sa grafickej a jazykovej úpravy diplomovej práce ďakujem Mgr. Martinovi Perneckému.

Obsah

1	ÚVOD	10
2	ÚVOD DO IP TELEFÓNIE	12
3	ZÁKLADNÉ CHARAKTERISTIKY PRENOSU HLASU	13
3.1	KOMPRESIA A KÓDOVANIE.....	13
3.2	QUALITY OF SERVICE (QoS)	15
3.2.1	<i>Stratovosť</i>	16
3.2.2	<i>Oneskorenie</i>	17
3.2.3	<i>Časová nestabilita oneskorenia</i>	18
3.2.4	<i>Ozvena</i>	18
3.2.5	<i>QoS mechanizmy</i>	19
3.2.6	<i>Mean Opinion Score (MOS)</i>	19
3.2.7	<i>QoS protokoly</i>	20
3.2.7.1	RSVP (Resource Reservation Protocol).....	20
3.2.7.2	IntServ (Integrated Services)	20
3.2.7.3	DiffServ (Differentiated Services)	20
4	PROTOKOLY V IP TELEFÓNII	22
4.1	SESSION INITIATION PROTOCOL (SIP)	22
4.1.1	<i>Adresácia</i>	23
4.1.2	<i>Komponenty SIP</i>	24
4.1.2.1	SIP User Agent	24
4.1.2.2	SIP registračný server.....	25
4.1.2.3	SIP proxy server	25
4.1.2.4	SIP presmerovací server	25
4.1.3	<i>Kontaktovanie SIP servera</i>	26
4.1.4	<i>SIP transakcia</i>	26
4.1.5	<i>Registrácia účastníka</i>	27
4.1.6	<i>Určenie polohy účastníka</i>	27
4.2	H.323 NORMA	28
4.2.1	<i>H.323 terminál</i>	28
4.2.2	<i>H.323 gatekeeper</i>	28
4.2.3	<i>H.323 brána</i>	28
4.2.4	<i>H.323 MCU (Multipoint Control Unit)</i>	29
4.2.5	<i>H.323 štandardy a protokoly</i>	29
4.3	RTP (REAL-TIME TRANSPORT PROTOCOL)	30
4.4	DOPLŇUJÚCE PROTOKOLY, ODPORÚČANIA A INÉ.....	30
4.4.1	G.711, G.728, G.723.1, G.729 a G.729A.....	30
4.4.2	TAPI, TSPI.....	31
4.4.3	<i>Media Gateway Control Protocol (MGCP)</i>	31
4.4.4	<i>Skinny</i>	31
4.4.5	<i>Virtual Room Videoconferencing System (VRVS)</i>	32
5	SLUŽBY	33
5.1	SPOPLATŇOVANIE	33
5.1.1	<i>Spoplatňovanie v sieťach operátorov</i>	33
5.1.2	<i>Základné pojmy</i>	33
5.1.3	<i>CDR</i>	34
5.1.4	<i>Open Settlement Protocol (OSP)</i>	35
5.1.5	<i>Remote Authentication Dial In User Service (RADIUS)</i>	35
5.2	ENUM.....	36
5.2.1	<i>Alternatívne ENUM stromy</i>	39
5.2.2	<i>ENUM pre Slovensko</i>	39

5.2.3	<i>E.164</i>	41
5.3	TRANSFER HOVORU	41
5.4	NAPÁJANIE CEZ ETHERNET	43
6	KOMPONENTY RIEŠENÍ	44
6.1	HARDVÉROVÉ IP TELEFÓNY	44
6.1.1	<i>Cisco</i>	44
6.1.2	<i>Ostatné</i>	45
6.2	SOFTVÉROVÉ IP TELEFÓNY	46
6.2.1	<i>SIP a H.323 softvérové telefóny</i>	46
6.2.2	<i>Skype</i>	48
6.3	SERVERY	49
6.3.1	<i>Asterisk</i>	49
6.3.2	<i>Sip Express Router</i>	50
6.3.3	<i>Cisco CallManager</i>	50
6.3.4	<i>Alcatel Omni PCX</i>	51
6.4	FXO A FXS BRÁNY	52
7	IMPLEMENTÁCIA IP TELEFÓNIE NA UK	53
7.1	AKTUÁLNY STAV	53
7.2	IDENTIFIKOVANIE VHODNÝCH CIEĽOV PRE PRAKTICKÚ ČASŤ PRÁCE	55
8	INFRAŠTRUKTÚRA IP TELEFÓNIE NA UK	57
8.1	CIELE	57
8.2	POPIS	57
8.3	SIP EXPRESS ROUTER	57
8.4	ASTERISK	58
8.5	HARDVÉR.....	58
8.6	PREPOJENIE NA ENUM	58
8.7	PREPOJENIE NA VEREJNÚ TELEKOMUNIKAČNÚ SIET'	59
8.8	INFRAŠTRUKTÚRA.....	59
8.9	ZHODNOTENIE	61
9	ŠTRUKTÚRA VOIP HOVOROV UK	62
9.1	CIELE	62
9.2	POPIS	62
9.3	RIEŠENIE	62
9.4	GRAF ODCHÁDZAJÚCICH VOLANÍ VZHLADOM NA DESTINÁCIU.....	63
9.5	POČET USKUTOČNENÝCH TELEFONÁTOV V JEDNOTLIVÝCH MESIACHOCH.....	64
9.6	ZHODNOTENIE	65
10	SIP-H.323 PREKLADAČ NA UK	66
10.1	CIELE	66
10.2	POPIS	67
10.3	ASTERISK	67
10.4	ASTERISK-OH323.....	68
10.4.1	<i>Inštalácia PWLib</i>	68
10.4.2	<i>Inštalácia OpenH323</i>	68
10.4.3	<i>Inštalácia asterisk-oh323</i>	69
10.5	ASTERISK CLI (COMMAND LINE INTERFACE)	69
10.6	KONFIGURAČNÉ SÚBORY ASTERISKU	70
10.6.1	<i>Hlavný konfiguračný súbor asterisku</i>	70
10.6.2	<i>Kanálové konfiguračné súbory</i>	70
10.6.3	<i>Konfigurácia logovacieho mechanizmu</i>	71
10.7	LOGOVÉ SÚBORY ASTERISKU	72
10.8	PRIDANIE H.323 VOLACIEHO SMERU	72
10.9	ZHODNOTENIE	72

11	TESTOVACIA PLATFORMA PRE SIP-H.323 PREKLADAČ	73
11.1	CIELE	74
11.2	POPIS	74
11.2.1	<i>Syntetický záťažový test</i>	74
11.2.2	<i>Spätná odozva z testovacej prevádzky</i>	76
11.3	ZHODNOTENIE	76
12	ZÁVER	77
13	SLOVNÍK SKRATIEK A VÝRAZOV	79
14	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	80
15	PRÍLOHY	82
15.1	PRÍLOHA A.....	82
15.2	PRÍLOHA B.....	83
15.3	PRÍLOHA C	86
15.4	PRÍLOHA D	87

Zoznam obrázkov

OBR. 4-1 SIP TRANSAKCIA.....	27
OBR. 4-2 POUŽITIE MGCP	31
OBR. 5-1 SCHÉMA SIGNALIZÁCIE TRANSFERU NA SLEPO [14].....	42
OBR. 5-2 SCHÉMA SIGNALIZÁCIE KONZULTAČNÉHO TRANSFERU [14]	42
OBR. 5-3 ZAPOJENIE NAPÁJACIEHO PANELA	43
OBR. 6-1 CISCO IP PHONES 7902G, 7912G, 7970G.....	45
OBR. 6-2 INTERBELL IB-302A A GRANDSTREAM BUDGETONE 102.....	46
OBR. 6-3 ARCHITEKTÚRA SKYPE	49
OBR. 6-4 ARCHITEKTÚRA OMNIPCX.....	51
OBR. 8-1 SIEŤOVÁ INFRAŠTRUKTÚRA VOIP NA UK.....	60
OBR. 8-2 VOIP INFRAŠTRUKTÚRA UK	61
OBR. 9-1 PODIEL JEDNOTLIVÝCH DESTINÁCIÍ NA VŠETKÝCH ODCHÁDZAJÚCICH HOVOROCH	63
OBR. 9-2 VÝVOJ OBJEMU ODCHÁDZAJÚCICH VOIP HOVOROV	64
OBR. 11-1 TESTOVACIA PLATFORMA PRE SIP-H.323 PREKLADAČ	73
OBR. 11-2 VYŤAŽENIE PROCESORU PRI SIP-H.323 TRANSLÁCIÍ.....	76
OBR. 12-1 VYUŽITIE SIP-H.323 PREKLADAČA.....	77

Zoznam tabuliek

TABUĽKA 3-1 PREHLAD NIEKTORÝCH KÓDEKOV [4].....	14
TABUĽKA 3-2 INTERPRETÁCIA MOS SKÓRE[1].....	19
TABUĽKA 4-1 OSI MODEL PRE IP TELEFÓNIU	22
TABUĽKA 4-2 PREHLAD ŠTANDARDOV, PROTOKOLOV A KÓDEKOV V RÔZNYCH ITU-T ODPORÚČANIACH	29
TABUĽKA 5-1 FORMÁT E.164 ČÍSLA.....	41
TABUĽKA 6-1 PREHLAD SOFTVÉROVÝCH IP TELEFÓNOV	47

Zoznam výpisov

VÝPIS 4-1 KOMPLETNÝ FORMÁT SIP URI [4],[5].....	24
VÝPIS 5-1 UKÁŽKA OSP SPRÁVY.....	35
VÝPIS 5-2 UKÁŽKOVÝ ENUM ZÁZNAM V KONFIGURAČNOM SÚBORE	37
VÝPIS 5-3 UKÁŽKOVÝ ENUM DOTAZ.....	37
VÝPIS 5-4 SKRÁTENÝ VÝPIS PRVEJ ÚROVNE E164.ARPA STROMU.....	38
VÝPIS 5-5 AUTORITA PRE DOMÉNU 1.2.4.E164.ARPA.....	39
VÝPIS 5-6 DELEGOVANÉ DOMÉNY PRE 1.2.4.E164.ARPA	40

1 Úvod

Za počiatok telefónie sa dajú považovať pokusy Grahama Bella o zlepšenie telegrafu, 14. februára 1876 podal žiadosť o patent s názvom „Zdokonalenie telegrafie“, je označovaný za najhodnotnejší patent a týka sa rozšírenia telegrafie o prenos hlasu. Postupne nasledovalo vylepšovanie a rozmach tejto technológie, vznik telekomunikačných spoločností, telefonovanie sa stalo pevnou súčasťou nášho života.

Paralelne s telefóniou sa po nástupe počítačov začala rozvíjať dátová infraštruktúra. V 70-tych rokoch 20. storočia sa uskutočnili prvé pokusy s prenosom hlasu cez dátové siete, neskôr prišlo aj na praktické využitie v X.25 sieťach s cieľom ušetriť náklady. So vznikom internetu vznikol aj IP protokol, ktorý sa stal takmer okamžite prvou voľbou pre väčšinu sietí. Je úspešný pretože je jednoduchý a môže byť použitý ako štandard medzi rôznorodými sieťami. S rýchlym rastom internetu sa začali v 90-tych rokoch objavovať PC aplikácie na prenos hlasu po tomto médiu, čo dalo podnet na vytvorenie štandardov ktoré sú dnes súčasťou IP telefónie.

Konvergencia infraštruktúr sietí dátovej a hlasovej komunikácie je v budúcnosti veľmi pravdepodobná. Tento fakt začína mať obrovský dopad na telekomunikačné odvetvia. Dnes majú podniky vlastnú okruhovo prepínanú PBX ústredňu, v budúcnosti by mohli byť za hlasové služby zodpovedné IT oddelenia podnikov, čím by sa mohli výrazne znížiť prevádzkové náklady. Lepšia integrácia služieb umožní nové komunikačné aplikácie a zavedenie nových technológií.

Pod pojmom IP telefónia (*Voice over IP – VoIP*) rozumieme prenos hlasu pomocou datagramov cez dátovú paketovo prepínanú sieť, ako je napr. LAN, internet, v prípade iných protokolov, ako napríklad ATM, hovoríme o *Voice over ATM*. Takáto infraštruktúra priamo umožňuje okrem hlasu prenášať aj obraz pre videokonferencie, streamované video a iné služby ktoré vznikajú ako priamy dôsledok neustáleho zvyšovania prenosových kapacít IP sietí. Jedna z najväčších výhod IP telefónie je veľmi dobrá škálovateľnosť vrstiev na ktorých je prevádzkovaná.

Alternatívny telekomunikační operátori si často volia túto technológiu ako primárnu technológiu svojej telekomunikačnej siete, a existujúci poskytovatelia klasických dátových služieb majú možnosť bez väčších investícií rozšíriť ponuku svojich poskytovaných služieb o hlasové služby. Dôsledkom sú demonopolizácia telekomunikačného trhu a s tým spojené skvalitnenie služieb a zmena cenovej politiky.

Zrejmé výhody IP telefónie sú napr. nižšia potrebná šírka pásma oproti klasickej telefónii (záleží od kompresie), rádovo nižšie náklady na sieťové zariadenia, veľké množstvo funkcií a dodatkových služieb ktoré bežná telefónia neposkytuje. Medzi tieto služby patrí napr.: neviazanosť telefónneho čísla na fyzický terminál, pozdržaný fax, fax do mailu, výber najvhodnejšej cesty atď.

Rodina štandardov H.320 dovoľovala telekonferenčným systémom od rôznych výrobcov spolupracovať cez ISDN (*Integrated Services Digital Network*) linky. Vývoj konferenčných služieb smeruje ku ich komfortnému využívaniu priamo z PC, čo umožňuje softvér spĺňajúci požiadavky na štandardy ako H.323, ako napr. Microsoft Net-Meeting.

Výhody IP telefónie popísané v predchádzajúcich odsekoch, najmä nižšie celkové náklady, dávajú podnet na vznik lokálnych projektov s cieľom prepojiť existujúcu infraštruktúru s IP sieťou. Takéto projekty vznikajú aj v akademickom prostredí, s hlavným cieľom znížiť náklady pri medzimestských hovoroch.

Za optimálny cieľ práce považujeme oboznámiť čitateľa so základmi VoIP technológie a na príklade návrhu riešenia pre UK aj s problematikou návrhu a realizácie nasadenia IP telefónie vo veľkých podnikoch, čo zahŕňa: popísať a zhodnotiť existujúcu infraštruktúru, možnosti integrácie fakultných PBX¹ ústrední a existujúcej IP siete UK, a navrhnúť riešenia tejto integrácie.

V prvých šiestich kapitolách predstavujeme IP telefóniu a základne pojmy a technológie. Ďalej analyzujeme doterajšiu situáciu na UK a určujeme si ciele pre praktickú časť práce. V nasledujúcich kapitolách sa pokúsime navrhnúť vhodné riešenia a implementovať ich. Ku koncu zhodnotíme prínos našej práce a ďalšie možnosti jej využitia.

Za prínos považujeme využitie práce pri ďalšom rozvoji VoIP na UK.

¹ Private Branch eXchange, pobočková ústredňa

2 Úvod do IP telefónie

Hlavná myšlienka IP telefónie je paketizácia² hlasu do malých dátových dávok - paketov, ich prenášanie cez sieť, a skladanie v rovnakom poradí na strane príjemcu. Bližšie sa paketizácií a princípom prenosu hlasu pomocou datagramov venujeme v kapitole 3.

IP telefónia má výnimočné postavenie v tom, že po prvýkrát v histórii postačuje konečnému používateľovi jediné vysokorýchlostné pripojenie do internetu aby mohol využívať hlasové, dátové a video služby. Dá sa povedať, že video komunikácia a iné služby v reálnom čase sú zahrnuté v definícii IP telefónie, v zmysle princípu prenášania dát a nadväzovania spojenia majú tieto služby k dispozícii rovnaké protokoly ako IP telefónia. Na prenos dát v reálnom čase je určený protokol RTP, ale predtým ako môžeme začať prenášať akékoľvek hlasové dáta je potrebné vytvoriť spojenie s volaným účastníkom. Jedná sa o protokoly SIP, H.323 a iné protokoly s ktorými nejakým spôsobom spolupracujú, ako napríklad DNS, ENUM. Bližšie sa protokolom venujem v kapitole 4.

Bez ohľadu na použitý protokol zahŕňa IP telefónia určité obvyklé komponenty. V základnej infraštruktúre IP telefónie je to okrem samotných telefónnych aparátov aj viacero iných komponentov.

Lokalizačný server so stálou IP adresou alebo doménovým menom na ktorý sa telefón pri zapnutí prihlási, a na ktorý môže volajúci smerovať dotaz ohľadom aktuálnej polohy volajúceho. Signalizácia hovoru prebieha cez tento server.

Brána do iných sietí umožňuje dovolať sa napríklad do verejnej telekomunikačnej siete, alebo do sietí s iným signalizačným protokolom. Môže sa nachádzať lokálne v mieste používania IP telefónie, ale podľa cieľových sietí je niekedy potrebný špecializovaný hardware. Je tiež možné využiť bránu nejakého VoIP poskytovateľa. Cez tento server prechádza dátový hlasový tok. Bližšie sa jednotlivým komponentom a porovnaníu aktuálnej ponuky VoIP poskytovateľov venujeme v kapitolách 4. a 6.

² Pod pojmom paketizácia rozumieme rozdeľovanie dát do paketov

3 Základné charakteristiky prenosu hlasu

Technológie na digitalizáciu a prenos hlasu v digitálnych a dátových sieťach priamo kontrastujú s technológiami na prenos hlasu v okruhovo prepínaných sieťach. Používajú sa v nich okrem iného techniky na kódovanie a kompresiu hlasu, a techniky zabezpečujúce kvalitu a dostupnosť služieb.

3.1 Kompresia a kódovanie

Prenos komprimovaných dát trvá kratší čas ako prenos nekomprimovaných údajov po linke rovnakej rýchlosti. V prípade komunikácie v reálnom čase sa neskracuje čas prenosu (teda dĺžka hovoru), ale znižujú sa nároky na prenosovú kapacitu linky, teda je možné efektívnejšie využívať linky.

V súčasnosti sa v digitálnych okruhovo prepínaných sieťach používa PCM modulácia, čo je zastaraná technológia ktorá potrebuje 64kbit/s v oboch smeroch komunikácie.

IP telefónia používa moderné komprimačné techniky ktoré potrebujú iba zlomok prenosovej kapacity oproti PCM modulácii. Hlasové kódeky komprimujú hlas vzhľadom na požadovanú kvalitu a teda vzhľadom na QoS poskytovanú IP sieťou. Enkóder konvertuje digitalizovaný signál po analóg-digital konverzii na bitový tok, ktorý je paketizovaný a posielaný IP sieťou. Dekóder rekonštruuje pôvodný hlasový signál, ktorý je aproximáciou pôvodného signálu. Hlasové kódeky sa implementujú na koncových zariadeniach a teda priamo určujú dosiahnuteľnú kvalitu v ideálnej sieti bez faktorov degradujúcich kvalitu.

Iné faktory určujúce kvalitu kódeku sú napr. spracovávanie rozdielnych hlasov alebo nehlasových signálov ako šum pozadia.

Bitový tok (bits/s) produkovaný enkóderom ovplyvňuje zaťaženie kapacity siete. Kvalita rozhovoru sa z pravidla zväčšuje so vzrastajúcim bitovým tokom.

Kódek musí počítať so stratenými paketmi, mal by byť dostatočne robustný. Táto vlastnosť určí kvalitu zvuku v zaťaženej sieti a v situáciách zahltenia, kde je pravdepodobná strata paketov.

Oneskorenie, ktorým prispieva kódovanie k celkovému oneskoreniu môžeme rozdeliť na algoritmické a oneskorenie vnesené spracovaním. Algoritmické oneskorenie vzniká rámcovaním, teda enkóder produkuje postupnosť bitov reprezentujúcich časť hovoru. Niektoré blokové kóдеры s predvídacou funkciou, predtým ako zakódujú blok hlasových vzoriek, ukladajú tieto vzorky do vyrovnávacej pamäte, kým nemajú dost informácií o nasledujúcich vzorkách, čo zväčšuje algoritmické oneskorenie. Oneskorenie vnesené spracovaním je čas potrebný na zakódovanie a dekodovanie blokov.

Komplexnosť kódovacieho algoritmu určuje potrebný výpočtový výkon a pamäťové nároky. Je preto dôležitým faktorom ovplyvňujúci implementačné náklady, ktoré sa z pravidla zvyšujú s so znižujúcim sa bitovým tokom. Prehľad niektorých kódekov s uvedením kľúčových parametrov zobrazuje tabuľka.

ITU-T	Bitový tok (kb/s)	Vzorková frekvencia(kHz)	Veľkosť rámca (ms)	Použitá metóda	Komplexnosť algoritmu
G.711	64	8	Vzorka	PCM	Stredná
G.721	32	8	Vzorka	ADPCM	
G.722	64	16	Vzorka	ADPCM	
G.722.1	24/32	16	20		
G.723	24/40	8	Vzorka	ADPCM	Vysoká
G.723.1	5.6/6.3	8	30	MP-MLQ / ACELP	
G.726	16/24/32/40	8	Vzorka	ADPCM	Stredná
G.727	var.		Vzorka	ADPCM	
G.728	16	8		Low delay CELP	Vysoká
G.729	8	8	10	CS-ACELP (vokóder)	Stredná
G.729a	8			hybridný	Nižšia ako u G.729

Tabuľka 3-1 Prehľad niektorých kodekov [4]

Pulse Code Modulation (PCM) kódeky sú najjednoduchšie kódeky na kódovanie hlasu. Konvertuje analógový signál so vzorkovou frekvenciou 8kHz na digitálny. Pri použití neuniformného kvantovania vzoriek dostávame bitový tok 64kbit/s. V IP telefónii je jeho použitie neefektívne pre jeho vysoký bitový tok.

Bežne používaná technika v kódovaní hlasu je predvídanie nasledujúcej vzorky na základe predchádzajúcich vzoriek. Pri efektívnej predikcii je rozdiel medzi predpovedanou vzorkou a aktuálnou vzorkou menší ako rozdiel medzi originálnymi vzorkami, takže sme schopný zakódovať tento chybový signál menej bitmi ako originálny signál. Toto je základ *Differential Pulse Code Modulation (DPCM)* kódovania.

Výsledok tejto techniky sa dá vylepšiť ak kóder a prediktor sú adaptívny a prispôbujú sa charakteristikám hovoru. Táto technika je využitá v *Adaptive Differential PCM (ADPCM)* kódovaní.

Ďalšou kategóriou prediktívnych kódekov sú vokódere – kódeky založené na simulácii tvorby reči v hlasových orgánoch. Vokóderové techniky sa snažia determinovať parametre o tom ako bol hlasový signál vytvorený, a na základe týchto parametrov zakódovať signál. Na rekonštrukciu tohto signálu sa tieto parametre použijú ako vstup do algoritmu ktorý modeluje ľudský hlasový orgán.

Treťou kategóriou sú hybridné kódeky, ktoré sa snažia eliminovať nevýhody predchádzajúcich dvoch kategórií. Diferenciálne kódeky dosahujú veľmi dobrú kvalitu zvuku, ale pri nižších prenosových rýchlostiach sa táto zhoršuje. Na druhej strane vokódery dosahujú aj pri veľmi nízkych prenosových rýchlostiach stále zrozumiteľnú úroveň hlasu, majú však problémy so zvukmi z pozadia a občas s parametrizáciou hlasového signálu. Do tejto kategórie patria napríklad kódeky Celp a Acelp. Používajú techniku nazývanú analýza syntézou, ktorá analyzuje signál tak, že syntetizuje viacero možností a vyberie tú možnosť, ktorá sa najmenej líši od analyzovaného signálu.

3.2 Quality of Service (QoS)

Internet protokol bol vyvinutý s cieľom naviazať spojenie v každej situácii (prerušenie nejakej časti infraštruktúry, zhoršené prenosové podmienky ...) a, ak je to možné, doručiť paket do jeho konečného cieľa. Na základe cieľovej adresy paketu hľadá sieť

akúkoľvek vhodnú cestu, a čas a doručenia je až druhoradé kritérium. Ak žiadna cesta neexistuje, či sa jedná o dlhodobý alebo krátkodobý výpadok, paket môže byť zrušený bez akejkolvek notifikácie zdroja o úspechu alebo neúspechu doručenia. Ak je nutné garantované doručenie, musí zdroj aj cieľ využívať iné *end-to-end* mechanizmy na zaručenie doručenia, poprípade retransmisie nedoručeného paketu (napr. TCP).

Na QoS existujú dva pohľady: zo strany prevádzkovateľa siete, teda dlhodobá dostupnosť a spoľahlivosť siete (koľko hodín do mesiaca je služba nedostupná), a zo strany používateľa ktorého zaujíma stav siete len počas trvania jeho spojenia (rýchlosť, variabilita, správne poradie doručenia paketov, stratovosť).

3.2.1 Stratovosť

Príčiny straty paketov môžu byť rôzne:

- fyzické zlyhanie prepojenia
- vysoká preťaženosť siete ktorá vedie k pretečeniu vyrovnávacej pamäti na smerovači
- problémy s nižšou vrstvou
- zle smerovaný paket
- *Random Early Detection (RED)*³ na smerovači

Každý kódek sa dokáže ináč vyrovnat' so stratenými paketmi, kvalitné kódeky ako napríklad G.711Enhanced si udržiava PSTN kvalitu aj pri stratách až 30 %, oproti tomu kódek G.711 si vyžaduje stratu menej ako 1 %, a G.729 robí problémy strata 1 % až 3 % paketov. Za normu môžeme považovať práve hranicu 1 % až 3 %, aj keď všeobecná norma neexistuje, pretože každá sieť sa svojimi parametrami líši podľa použitých technológií.

Dôležitú úlohu zohráva aj priebeh straty paketov, tj. či sa jedná o jeden stratený paket alebo väčšiu dávku po sebe idúcich paketov, čo opäť vyplýva z charakteristiky konkrétnej siete.

³ RED je algoritmus na manažovanie fronty, ktorý zahadzuje pakety čakajúce vo fronte smerovača na spracovanie, ešte pred vznikom zahltenia siete na základe štatistických pravdepodobností

3.2.2 Oneskorenie

Oneskorenie v paketovo prepínanej sieti je merané dvomi spôsobmi. Jednosmerné oneskorenie je čas od začatia vysielania paketu zo zdroja a ukončenia prijatia paketu v cieľi. Obojsmerné oneskorenie je merané ako čas vyslania paketu zo zdroja, prijatia paketu v cieľi, a jeho vyslanie naspäť ku zdroju. Obojsmerné oneskorenie je v meraniach používané častejšie, pretože sa dá veľmi ľahko odmerať z miesta vysielania paketu službami IP protokolu (*ICMP*). Oneskorenie sa do prenosu hlasu vnáša dvomi spôsobmi.

Oneskorenie na strane vysielateľa je vnesené vysielateľom, ktorý vykonáva pred odoslaním paketu obsahujúceho vzorku hlasu viacero činností:

- konverziu z analógového signálu na digitálny a kódovanie
- kompresiu
- paketizáciu alebo vocoding

Oneskorenie spôsobené sieťou môžeme rozdeliť do oneskorenia spôsobeného prenosom a oneskorenia spôsobeného zariadeniami, napr. zosilňovaním signálu a smerovaním paketov.

Rýchlosť šírenia signálu v elektrických a optických sieťach je približne 2/3 rýchlosti svetla vo vákuu, teda približne 200 000 km/h. V najlepšom prípade trvá prenos dát medzi dvomi najvzdialenejšími bodmi na Zemi, čo je približne polovica obvodu zeme, teda 20 000 km, približne 100 ms. Táto rýchlosť sa z fyzikálneho hľadiska už nedá omnoho zväčšiť, a teda s týmto oneskorením treba počítať ako s pevnou zložkou celkového oneskorenia.

Oneskorenie vnášané sieťovými zariadeniami môže byť rôzneho druhu. Paket musí čakať vo fronte na spracovanie a skôr ako ho môže zariadenie začať preposielať ďalej musí z jeho hlavičky vyčítať cieľovú adresu.

Rôzne špecifikácie uvádzajú ako maximálne oneskorenie 150 ms jednosmerne resp. 250 ms obojsmerne [11]. Pri prekročení tejto hranice sa hovor stáva neinteraktívny a volajúce strany si začnú skákať do reči. V sieťach, v ktorých sa počíta s väčším oneskorením, ako sú napríklad vojenské komunikačné siete, sú jej účastníci inštruovaní používať slovo (“stop”), ktoré oznamuje že dohovorili a môže pokračovať druhá strana.

3.2.3 Časová nestabilita oneskorenia

Variabilita časového oneskorenia nastáva ak sú pakety odosielané a prijímané s časovými variáciami. Teda ak napríklad oneskorenie posledného prijatého paketu bolo 100 ms, a ďalší prijatý paket má vďaka vyššiemu vyťaženiu siete oneskorenie 120 ms, je veľkosť časovej variability 20 ms. Variabilita spôsobuje zvláštne zvukové efekty a môže viesť aj k zahodeniu paketov.

Eliminácia časového oneskorenia je sa zväčša deje na strane prijímača, ktorý si vytvorí niekoľko sekundová vyrovnávacia pamäť, ktorá pozdrží prichádzajúce pakety, čím získava čas v prípade ak by sa nejaký paket oneskoril. Pakety, ktoré prichádzajú s variabilným oneskorením väčším ako je veľkosť vyrovnávacej pamäte sú zahodené. Táto vyrovnávacia pamäť môže mať dynamickú veľkosť, a samozrejme tým, že pridrižiava pakety pred ďalším spracovaním, prispieva k celkovému časovému oneskoreniu.

3.2.4 Ozvena

Ozvena môže byť do VoIP spojenia vnesená dvomi spôsobmi.

Hybridná ozvena je lineárny odraz elektrického signálu vyskytujúci sa na prevodníkoch v PSTN sieťach. Do VoIP siete sa môže vnieť ak je VoIP sieť prepojená s PSTN.

Akustická ozvena je nelineárna a je spôsobovaná nedokonalou akustickou izoláciou medzi mikrofónom a reproduktorom v koncovom zariadení.

VoIP sieť má oproti PSTN vyššie oneskorenie, čo má negatívny vplyv na následky prípadného výskytu ozveny. Práve vyššie oneskorenie môže aj slabé echo natoľko zvýrazniť, že to, čo by sa v PSTN sieti považovalo za malé echo v bežnom hovore, sa vo VoIP sieti stane dostatočným dôvodom na ukončenie hovoru.

Pre zaujímavosť spomenieme, že jeden zo spôsobov dokazovania hluchoty u človeka súvisí s ozvenou. Testovanému subjektu ktorý, číta nahlas nejaký text sa pustí jeho vlastná reč s oneskorením 200 ms, a za hluchého sa považuje iba vtedy ak nezačne kokať. Z toho vyplývajú aj negatívne dopady ozveny pri telefonickom hovore na kvalitu hovoru.

3.2.5 QoS mechanizmy

Úloha QoS mechanizmov je zabezpečiť optimálne využitie zdrojov siete. Každá sieť má k dispozícii prenosovú kapacitu, ktorá môžu využívať viacero počítačov súčasne. Ak je sieť napríklad vytážená iba na 20 %, nehrajú QoS mechanizmy žiadnu úlohu, pretože pri tak málo vytáženej sieti nie sú potrebné.

QoS zabraňuje, aby dátová premávka ako napríklad sťahovanie veľkých súborov, zahltala prenosové pásmo potrebné pre dávkovú premávku, potrebnú pre aplikácie v reálnom čase.

Implementácia QoS mechanizmov je v praxi náročná z finančného aj administrátorského hľadiska, a často sa skôr pristupuje k predimenzovaniu siete. Vzhľadom na to že ceny sieťových komponentov sú dnes nízke a vychádza to výhodnejšie ako plošne implementovať QoS.

3.2.6 Mean Opinion Score (MOS)

MOS skóre vyjadruje číselné ohodnotenie kvality prijímanej ľudskej reči na strane prijímateľa. Na získavanie MOS sú potrebné individuálne ohodnotenia od viacerých užívateľov ktoré sú aritmeticky sprimerované. Používateľ hodnotí celkový dojem z komunikácie známkou od 1 do 5, kde 1 je najhoršia a 5 najlepšia.

MOS skóre je užitočné hlavne v situáciách, kde sú použité komprimačné techniky na zníženie potrebného prenosového pásma (teda kódeky, DSP⁴ procesory).

MOS	Užívateľská spokojnosť
4.34	Veľmi spokojný
4.03	Spokojný
3.60	Niektorý používatelia nespokojní
3.10	Veľa užívateľov nespokojných
2.58	Skoro všetci používatelia nespokojní

Tabuľka 3-2 Interpretácia MOS skóre[1]

⁴ Digital Signal Processor

3.2.7 QoS protokoly

QoS je rozsiahla téma, a preto sa nemôžeme venovať všetkým jej aspektom. V praxi QoS pracuje tak, že pred vytvorením spojenia si klient vyžiada od siete prostriedky (šírka pásma, oneskorenie, ...), a sieť sa mu ich pokúsi zarezervovať. Tieto zdroje sú potom sieťou garantované počas celého spojenia pre toto spojenie.

Za určitý druh QoS sa považuje aj orezávanie pásma pripadajúceho na jedného používateľa, poprípade statické nastavenie na smerovači uprednostňujúce dáta smerujúce na určité porty.

Stručne spomenieme niektoré používané protokoly.

3.2.7.1 RSVP (*Resource Reservation Protocol*)

RSVP je nezávislý signalizačný protokol, ktorý umožňuje koncovým zariadeniam vyžiadať si zdroje od siete. RSVP je signalizovaný po dĺžke celej prenosovej cesty a nastavuje rezervačný stav pre každý smerovač na tejto ceste.

Fáza vybudovania RSVP zahŕňa rezerváciu zdrojov po celej dĺžke cesty. Teda dostupnosť zdrojov sa kontroluje na každom smerovači počas iniciačnej fázy.

3.2.7.2 IntServ (*Integrated Services*)

IntServ model integruje rezervovanie zdrojov pomocou rezervačného protokolu, môže to byť napríklad spomenutý RSVP, alebo nejaký iný rezervačný protokol, a mechanizmy na kontrolu prenosového pásma, čím umožňuje špeciálne spracovanie individuálnych dátových tokov. Problém IntServ je, že každý smerovač na trase si musí pamätať veľa stavov, čoho dôsledkom je, že síce funguje v menších sieťach, ale vzhľadom na slabú škálovateľnosť je napríklad v chrbtovej sieti internetu nepoužiteľný. Smerovače v chrbtovej sieti by si totiž museli uchovávať tisíce stavov pre rôzne toky.

3.2.7.3 DiffServ (*Differentiated Services*)

DiffServ používa mechanizmy na kontrolu prenosového pásma na zabezpečenie špeciálneho spracovania agregovaných dátových tokov. Podstata DiffServ je rozdelenie premávky do viacerých tried ktoré potom spravujem rozdielne.

Na rozdiel od IntServ je DiffServ škálovateľný a poskytuje jednoduchú metódu poskytovania QoS služieb v IP sieťach. Využíva TOS pole v hlavičke IP paketu TOS⁵ na prenos informácie o požiadavkách služby. Pracuje výlučne na vrstve 3 ISO/OSI modelu⁶.

⁵ *Type of Service* je jedno z polí v hlavičke IP paketu, ktoré identifikuje typ služby.

⁶ ISO/OSI je štandardný model pre sieťové protokoly a distribuované aplikácie.

4 Protokoly v IP telefónii

Táto kapitola pokrýva protokoly ktoré sa využívajú v IP telefónii. Bližšie sa venujeme dvom najrozšírenejším signalizačným protokolom, SIP a H.323.

Ďalej rozoberáme špecifikáciu a nasadenie RTP transportného protokolu, a v poslednej časti stručne charakterizujeme aj iné štandardy s ktorými je možné stretnúť sa v oblasti IP telefónie, ale z dôvodu nenasadenia týchto protokolov v prostredí UK nepovažujeme za nutné im venovať viac priestoru.

Nasledujúca tabuľka priradzuje jednotlivé protokoly konkrétnej vrstve ISO/OSI modelu.

Vrstva	IP telefónia
Aplikačná	Skype, X-Lite
Prezentačná	G.711, G.729A
Session	H.323, SIP
Transportná	RTP/UDP/TCP
Sieťová	IP
Linková	ATM, Frame Relay, Ethernet
Fyzická	AMI/HDB3/CMI

Tabuľka 4-1 OSI model pre IP telefóniu

4.1 Session Initiation Protocol (SIP)

SIP je textový protokol navrhnutý a štandardizovaný v RFC 3261 organizáciou *IETF*¹ tak, aby dokázal jednoducho spolupracovať s inými internetovými protokolmi ako napríklad HTTP. *IETF* zvolila iný prístup pri navrhovaní tohto protokolu ako *ITU* pri navrhovaní H.323. Pri H.323 sa použili niektoré aspekty z tradičnej okruhovo prepí-

¹ *Internet Engineering Task Force* je otvorená medzinárodná komunita sieťových profesionálov zaoberajúca sa evolúciou internetovej architektúry a hladkého chodu internetu

nanej telefónie. Napríklad signalizácia pre nadviazanie a ukončenie hovoru je v H.323 založená na štandarde Q.931, ktorý sa používa aj pri ISDN. SIP nie je zaťažený ťažkopádnymi špecifikáciami aké sa používajú v telekomunikačnom prostredí. IETF tak navrhla alternatívny signalizačný protokol pre IP telefóniu, ktorého vlastnosti boli odvodené z protokolov ako HTTP a SMTP [5]. Veľa z funkcionality SIP závisí od iných dopĺňajúcich protokolov, dá sa povedať že SIP používa internetovo orientovaný prístup, je viac otvorený a menej detailnejšie definovaný ako H.323. SIP definuje nadviazanie, ukončenie a modifikovanie hovoru a používa iné protokoly ako napr. RTP na transport dát, RTSP na kontrolu doručenia stremovaného média, MGCP na kontrolu brán do verejných telekomunikačných sietí a SDP² na popis *session* [5].

4.1.1 Adresácia

Objekty, ktoré SIP adresuje sú identifikované pomocou unikátnych *SIP Uniform Resource Identifier* (SIP URI). SIP URI formát má základný tvar

sip:pouzivatel:heslo@host:port;uri-parametre?hlavicky

a je teda podobný emailovej adrese. Časť používateľ je buď meno používateľa alebo telefónne číslo. SIP URI dodržiava charakteristiky definované v RFC 2396 [6]. Adresy v tvare *meno_pouzivatela@host* z ktorých sa dá odvodiť meno užívateľa, na rozdiel od numerických telefónnych čísel neposkytujú anonymitu.

Pre bezpečné nadviazanie spojenia je v schéme SIPS použitý *Transport Layer Security* (TLS), podobne ako v HTTPS.

SIP-URI	= "sip:" [userinfo "@"] hostport url-parameters [headers]
Userinfo	= user [":" password]
User	= *(unreserved escaped "&" "=" "+" "\$" ";")
Password	= *(unreserved escaped "&" "=" "+" "\$" ";")
Hostport	= host [":" port]
Host	= hostname IPv4address
Hostname	= *(domainlabel ".") toplabel ["."]
domainlabel	= alphanum alphanum *(alphanum "-") alphanum
toplabel	= alpha alpha *(alphanum "-") alphanum
IPv4address	= 1*digit "." 1*digit "." 1*digit "." 1*digit
port	= *digit
url-parameters	= *(";" url-parameter)
url-parameter	= transport-param user-param method-param ttl-param maddr-param other-param
transport-param	= "transport=" ("udp" "tcp")

² *Session Description Protocol*, RFC 2327, protokol na popis session

ttl-param	= "ttl=" ttl
ttl	= 1*3DIGIT ; 0 to 255
maddr-param	= "maddr=" host
user-param	= "user=" ("phone" "ip")
method-param	= "method=" Method
tag-param	= "tag=" UUID
UUID	= 1*(hex "-")
other-param	= (token (token "=" (token quoted-string)))
headers	= "?" header *("&" header)
header	= hname "=" hvalue
hname	= 1*uric
hvalue	= *uric
uric	= reserved unreserved escaped
reserved	= ";" "/" "?" ":" "@" "&" "=" "+" "\$" ","
digits	= 1*DIGIT

Výpis 4-1 Kompletný formát SIP URI [4],[5]

4.1.2 Komponenty SIP

SIP riešenie funguje na základe štyroch hlavných komponent: SIP user agent, registračný server, proxy server a presmerovací server. Tieto komponenty navzájom komunikujú pomocou SDP správ za účelom nadviazania SIP session. V praxi sa všetky serverové komponenty (proxy, registračný a presmerovací³) nachádzajú v jednej implementácii, ktorej sa zvykne hovoriť SIP server. V tejto kapitole bližšie popíšeme jednotlivé typy serverov, ale ďalej budeme hovoriť už iba o jednom SIP serveri.

4.1.2.1 SIP User Agent

User agent je aplikácia skladajúca sa z *SIP User Agent* klienta (UAC) a *SIP User Agent* servera (UAS). UAC je klientska aplikácia ktorá iniciuje SIP požiadavku. UAS je serverová aplikácia ktorá kontaktuje používateľa keď prijme SIP požiadavku a vráti odpoveď na základe rozhodnutia užívateľa. Odpoveďou môže akceptovať, odmietnuť alebo presmerovať požiadavku.

IP softvérový alebo hardvérový telefón sa v terminológii SIP nazýva *SIP User Agent*.

V terminológii SIP je UAS komponent ktorý sa nachádza v každej SIP entite ktorá prijíma požiadavky alebo odpovede, a UAC komponent ktorý sa nachádza v každej SIP entite ktorá posielala požiadavky alebo odpovede.

³ V našom kontexte je rozdiel medzi výrazom presmerovať a výrazom preposlať taký, že preposlanie označuje úkon, ktorým prijaté niečo (paket, požiadavku, ...) posielam ďalej na inú adresu, a presmerovanie je úkon, ktorým pôvodcovi správy oznámim, že tieto pakety (požiadavky,...) má posielat' na inú adresu ktorú mu oznámime, a nie nám

4.1.2.2 SIP registračný server

Registrácia je bežná operácia v SIP. Je to jedna z možností ako sa môže SIP klient dozvedieť aktuálnu polohu volaného účastníka. Po inicializácii posiela každý SIP telefón REGISTER správy entite ktorá sa v SIP terminológii nazýva SIP registračný server. REGISTER správy asociujú SIP URI účastníka s jeho aktuálnou polohou. V praxi je veľakrát SIP registračný server a SIP server koncipovaná ako jedna entita.

4.1.2.3 SIP proxy server

SIP proxy sú elementy ktoré smerujú SIP požiadavky na SIP UAS a odpovede na SIP UAC. Požiadavka môže na svojej ceste k SIP UAS traverzovať viacerými proxy servermi. Každý proxy server na tejto ceste predtým ak prepošle požiadavku ďalej, urobí smerovacie rozhodnutie. Odpovede sú posielané späť obrátenou postupnosťou tých istých proxy serverov.

Jeho základná funkcionálna spočíva v nasledujúcich krokoch:

- 1) Validuj požiadavku
- 2) Predspracuj smerovaciu informáciu
- 3) Zisti ciele na preposlanie požiadavky
- 4) Prepošli požiadavku všetkým cieľom
- 5) Spracuj všetky odpovede

4.1.2.4 SIP presmerovací server

V niektorých architektúrach môže byť užitočné redukovať záťaž SIP proxy serveru ktorý je zodpovedný za smerovanie požiadaviek, spoliehaním sa na presmerovanie.

Presmerovací server umožňuje odpovedať na požiadavku klienta smerovacími informáciami v odpovedi, čím sa jeho úloha v tejto transakcii aj skončila. Keď odosielateľ požiadavky dostane túto informáciu o presmerovaní, pošle novú požiadavku založenú na informáciách, ktoré dostal v odpovedi presmerovacieho serveru.

Logicky obsahuje napojenie na nejakú formu lokalizačnej služby ktorá mapuje jednu URI na jednu alebo viac polôh, na ktorých sa je možné zastihnúť cieľ mapovanej URI.

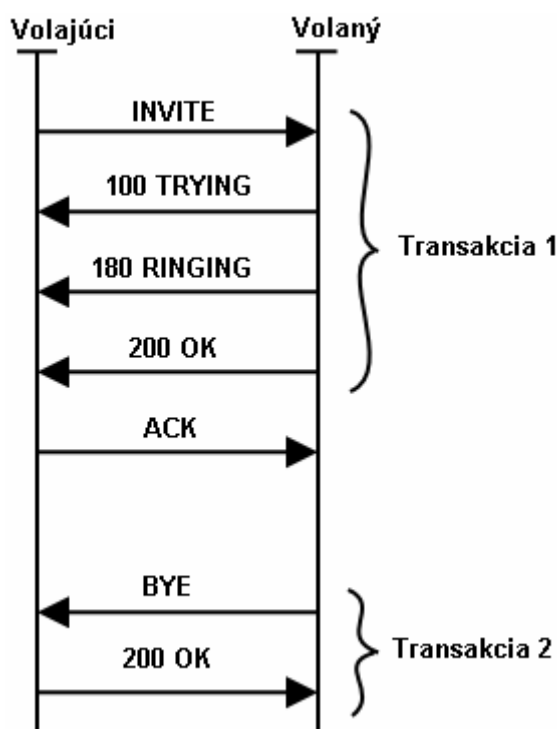
4.1.3 Kontaktovanie SIP servera

Vzhľadom na podobnosť protokolu SIP s protokolom HTTP budem v ďalšom texte používať pojem klient pre SIP entity ktoré posielajú požiadavky a prijímajú odozvy. Klient môže byť UAC alebo SIP proxy server. Pojem server bude označovať SIP entitu ktorá prijíma požiadavky za účelom ich spracovania a posiela naspäť odozvy.

Ak chce klient poslať požiadavku má dve možnosti ako to urobiť. Môže požiadavku poslať lokálne nakonfigurovanému SIP proxy serveru nezávisle od URI požiadavky (podobne ako funguje HTTP proxy server), ktorý sa postará o jej správne preposlanie. Druhá možnosť je priame poslanie požiadavky priamo na IP adresu servera, ktorú si ale klient musí predtým ešte zistiť.

4.1.4 SIP transakcia

Po nadviazaní spojenia klienta so serverom môže klient poslať jednu alebo viac požiadaviek, na ktoré po spracovaní server odpovedá jedným alebo viacerými odozvami. Táto postupnosť požiadaviek a odoziev sa nazýva SIP transakcia. O tom či bude na transportnej vrstve použitý UDP alebo TCP protokol rozhoduje klient. Server však odpovedá tým istým protokolom aký zvolil klient. V prípade TCP protokolu je pre každú SIP transakciu nutné nadviazať nové TCP spojenie, avšak cez jedno TCP spojenie je možné poslať ľubovoľný počet požiadaviek. V prípade použitia UDP protokolu je potrebné sa spoliehať na mechanizmy ako retransmisiu v prípade nezodpovedaných požiadaviek.



Obr. 4-1 SIP transakcia

4.1.5 Registrácia účastníka

SIP telefón posiela po inicializácii v periodických intervaloch REGISTER správy na registračný server v doméne určenej v SIP URI. Tieto správy priradujú aktuálnu polohu účastníka k jeho SIP URI, ktorú si zapisujú do databázy.

4.1.6 Určenie polohy účastníka

Koncepcia mobility v SIP systéme poskytuje možnosť účastníkovi sa prihlásiť do SIP siete z ľubovoľného miesta. V rámci architektúry SIP však neexistuje žiadny centrálny server ktorý si udržiava polohy účastníkov. SIP teda nemá možnosť zistiť si polohy účastníkov. Musia sa preto spoliehať na tzv. *Location Service* [5].

Location Service sa môže pokúsiť vyhľadať účastníka svojpomocne cez mechanizmy ako *Finger*, *LDAP* a iné. Druhá možnosť je už spomínaný mechanizmus registrácie účastníka na registračnom serveri.

4.2 H.323 norma

H.323 je zastrešujúci štandard zavedený úradom *ITU*⁴ poskytujúci dobre definovanú systémovú architektúru a implementačné postupy, ktoré zahŕňajú nadviazanie, kontrolu a prenos hovoru. H.323 nie je samostatný protokol, ale skupina protokolov, ktorá definuje komponenty H.323 systému: terminály, brány, *gatekeeper*, MCU a iné. Každý komponent systému má svoju vlastnú funkciu.

4.2.1 H.323 terminál

Terminály sú klientske koncové zariadenia. Terminály musia podporovať hlasovú komunikáciu: video a dáta sú nepovinné. Povinná funkcionálna zahŕňa H.245 signalizačný protokol, RAS⁵ protokol, RTP/RTCP a H.225.0. Medzi nepovinné komponenty H.323 terminálov patria video kódeky, T.120 protokoly na dátové konferencie a MCU.

4.2.2 H.323 gatekeeper

Gatekeeper (ďalej len GK) poskytuje centrálny smerovací mechanizmus pre definovanú skupinu terminálov. GK vykonávajú dve dôležité skupiny funkcií pre kontrolu hovorov. Do prvej skupiny patria služby ako je preklad užívateľských aliasov na IP adresy podľa RAS špecifikácie alebo kontrolu prístupu pre H.323 terminály, brány a MCU. Všetci používatelia sa k danému GK registrujú pomocou aliasu. Druhá funkcia obsahuje pridelovanie šírky pásma (čo je tiež navrhnuté v rámci RAS), spoplatňovanie, volacie plány. GK prideluje šírku pásma jednotlivým hovorom. GK je nepovinný komponent H.323 siete [7].

4.2.3 H.323 brána

H.323 brána umožňuje H.323 zariadeniam pracovať v heterogénnych sieťach. Poskytuje napr. rozhranie na PSTN, spracováva hlasové a faxové signály pomocou kódekov na konverziu medzi okruhovo prepínanými a paketovo prepínanými formátmi. Spolupracuje s GK pomocou RAS protokolu na smerovanie hovorov cez sieť.

⁴ International Telecommunication Union

⁵ Registration, admission and status protocol

4.2.4 H.323 MCU (Multipoint Control Unit)

MCU je koncový bod v LAN sieti ktorý poskytuje možnosť trom alebo viac terminálom a bránam zúčastňovať sa konferencie. Kontroluje a upravuje video, audio a dátové toky z terminálov. Niektoré terminály majú v sebe už zabudovaný MCU, čím sa môžu stať hosťiteľmi konferencie.

4.2.5 H.323 štandardy a protokoly

H.323 špecifikácia obsahuje množstvo protokolov ktorých stručný prehľad a kategorizáciu a ich využitie aj v iných ITU štandardov ako H.323 ukazuje Tabuľka 4-2. Takýto prehľad považujeme v kontexte tejto práce a jej cieľov za dostačujúci, a v prípade hlbšieho záujmu čitateľa odkazujeme na publikácie ITU-T, ktoré sú dostupné na internete za poplatok.

Media	Narrow Band (H.320)	Low Bitrate (H.324)	ISO-Ethernet (H.322)	Ethernet (H.323)	ATM (H.321)	High Res ATM (H.310)
Video	H.261	H.261 H.263	H.261	H.261 H.263	H.261	MPEG-2 H.261
Audio	G.711 G.722 G.728	G.723	G.711 G.722 G.723 G.728	G.711 G.722 G.723 G.728 G.729	G.711 G.722 G.728	MPEG-1 MPEG-2
Data	T.120	T.120 T.434 T.84 iné	T.120	T.120	T.120 H.281 (H.224)	T.120
Multiplex	H.221	H.223	H.221	H.221	H.221	H.222.1 H.221
Signaling	H.230 H.242	H.245	H.230 H.242	H.230 H.225.0 H.245	H.230 H.242	H.245
Multi-point	H.243	–	H.243	–	H.243	–
Encryption	H.233 H.234	H.233/324 H.234	H.320	TBD	H.233 H.234	–

Tabuľka 4-2 Prehľad štandardov, protokolov a kódekov v rôznych ITU-T odporúčaníach

4.3 RTP (Real-time Transport Protocol)

RTP je transportný protokol navrhnutý na spojenie dvoch koncových bodov schopný *unicast* aj *multicast* prenosu dát v reálnom čase.

Návrh RTP protokolu sleduje dva hlavné princípy:

- Rámcovanie na úrovni aplikácie je kľúčový princíp architektúry RTP protokolu. Myšlienka spočíva v tom, že samotná aplikácia je zodpovedná za rozdeľovanie dát na menšie časti tak, aby boli zmysluplné pre aplikáciu a nezávislé od použitej sieťovej technológie. Tieto časti sa nazývajú *Application Data Units (ADU)*. Pravidlá, podľa ktorých aplikácia určuje veľkosť ADU sú, že aplikácia musí byť schopná spracovať ADU jednotlivo a nezávisle od poradia voči ostatným ADU. Preto je každý ADU označený sekvenčným číslom a časovou pečiatkou. ADU je tiež hlavná jednotka zotavenia sa z poškodených alebo stratených ADU. Samotná aplikácia rozhoduje ako sa vyrovná so situáciou, či si vyžiada retransmisiu alebo si môže dovoliť nekompletné dáta ignorovať.
- Integrované vrstevné spracovanie je inžiniersky princíp označujúci spracovanie dát v jednom kroku z dôvodu optimalizácie. Keďže aplikácia dokáže spracovávať ADU jednotlivo nezávisle od ostatných, je možné uplatniť tento princíp.

RTP sa používa v kombinácií s inými sieťovými alebo transportnými protokolmi, typicky ako vrstva nad UDP.

4.4 Doplnujúce protokoly, odporúčania a iné

Pre úplnejší pohľad na protokoly v IP telefónii sme považovali za vhodné spomenúť a objasniť aj funkciu iných protokolov, ktorým sme sa však v praxi nevenovali.

4.4.1 G.711, G.728, G.723.1, G.729 a G.729A

G.711, G.728, G.723.1, G.729 a G.729A sú označenia niektorých často používaných kódexov v IP telefónii. Bližšie sa kódexom sa venujeme v kapitole 3.

4.4.2 TAPI, TSPI

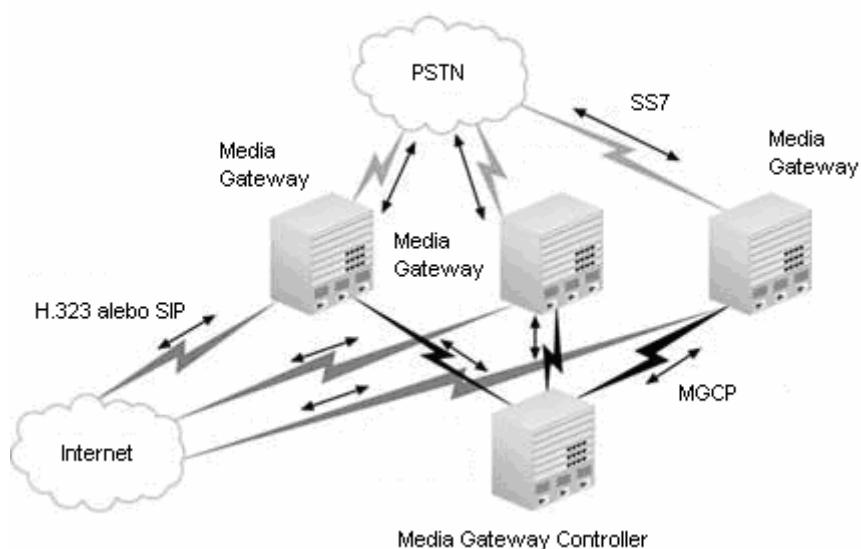
TAPI (Telephony Application Programming Interface) je programátorské rozhranie (API) pre prístup k telekomunikačnému vybaveniu navrhnuté firmou Microsoft. Je určené pre programátorov používateľských aplikácií.

TAPI primárne umožňuje integráciu VoIP riešenia a iných aplikácií ktoré podporujú *TAPI* štandard. Ako príklad uvedieme možnosť volať kontakty priamo z aplikácie ako Microsoft Outlook.

TSPI je obdobné API, určené však pre vývoj ovládačov k hardvéru.

4.4.3 Media Gateway Control Protocol (MGCP)

MGCP je klient-server protokol umožňujúci kontrolovanie VoIP brán z externých elementov VoIP siete. Typické je použitie telekomunikačným operátorom na ovládanie a kontrolu *Media Gateway*.



Obr. 4-2 Použitie MGCP

4.4.4 Skinny

Skinny je proprietárny Cisco signalizačný protokol používaný medzi Skinny klientmi a Cisco CallManagerom.

VoIP riešenia firmy Cisco obsahujú mnoho chránených proprietárnych protokolov v oblastiach signalizácie (Skinny) a smerovania (IGRP). Aj keď Cisco do svojich pro-

duktov zavádza rozmáhajúci sa protokol SIP, kompletne riešenie skladajúce sa z Cisco komponentov si vyžaduje použitie Skinny protokolu. Typický scenár použitia Skinny protokolu je komunikácia koncových zariadení s Cisco CallManagerom s použitím Skinny protokolu, kde CallManager slúži ako proxy pre signalizačné protokoly ako SIP, H.323, ISDN alebo MGCP, a tieto nemusia byť implementované v koncových zariadeniach.

4.4.5 Virtual Room Videoconferencing System (VRVS)

VRVS je nízkonákladové, efektívne a globálne škálovateľné riešenie na multipointové audio/video konferencie a vzdialenú kolaboráciu cez web. VRVS vznikalo v komunite jadrovej fyziky, a je dnes používané ako prostriedok na vzdialenú kolaboráciu tisícok výskumných pracovníkov v rôznych inštitúciách. Ako klient postačuje PC s pripojením na internet, ale umožňuje aj pripojenie iného telekomunikačného vybavenia.

5 Služby

Každá nová telekomunikačná technológia so sebou prináša nové služby, alebo sú od nej očakávané minimálne tie služby, ktoré poskytovala staršia technológia.

Služieb poskytovaných technológiami zahrnutými v pojme IP telefónia je veľa. Tým že sa jedná o technológiu ktorej značná funkcionálnosť je implementovaná softvérovou, protokoly ako SIP sú ľahko rozširiteľné, a veľa produktov je vyvíjaných na báze *open-source*, dostávame možnosť vytvárať si vlastné služby, ktorú nám staršie technológie neposkytovali.

Venujeme sa len niektorým vybraným službám, ktoré momentálne pokladáme v kontexte projektu IP telefónie na UK za aktuálne.

5.1 Spoplatňovanie

V prípade ak spolu telefonujú dvaja účastníci toho istého poskytovateľa hlasových služieb, je signalizácia tohto hovoru vedená cez jeden gatekeeper. Tento GK teda má k dispozícii všetky potrebné informácie ktoré si ukladá do databázy vo forme *CDR (Call Detail Records)* záznamov, bližšie v 5.1.3. V prípade ak hovor prebieha cez siete viacerých operátorov je situácia komplikovanejšia.

5.1.1 Spoplatňovanie v sieťach operátorov

Vyrovňovanie si účtov za hovory prechádzajúce sieťami operátorov závisí od ich spoločnej dohody. Všeobecné odporúčenia sú definované v ITU D.196. V praxi sa namiesto toho, aby mal každý operátor stovky zmlúv s inými operátormi, používa sa klíringový operátor, ktorý poskytuje centrálnu miesto na kontrakt medzi jednotlivými operátormi.

5.1.2 Základné pojmy

Samostatné spoplatňovanie sa môže uskutočňovať vo viacerých fázach, pričom závisí od zložitosti a vyžadovanej funkcionality konkrétneho systému.

Vedenie záznamov (*accounting*) je zahŕňa vedenie a archivovanie záznamov kto s kým a ako dlho telefonoval. Ukladá sa v *backend* systéme, môže byť implementované ako databáza a slúži ako základ ďalších služieb spoplatňovania.

Ocenenie (*rating*). Pre spoplatnenie je potrebné vypočítať pre každý uskutočnený hovor poplatok. Tento proces sa označuje ako Rating a môže závisieť od viacerých faktorov ako dĺžka, čas hovoru, tarifa a iné.

Fakturácia (*billing*). Zákazník dostáva od svojho poskytovateľa hlasových služieb v pravidelných časových intervaloch faktúru. *Billing* je priradenie jednotlivých položiek Ratingu ku konkrétnemu zákazníkovi. V tomto kroku sa môžu zohľadniť rôzne zľavy alebo predplatené minúty.

Klíring (*clearing*). Poplatok za telefonát sa účtuje na ťarchu volajúcemu. Ak prináleží aj operátorovi volaného časť poplatkov, je potrebné ich vypočítať, čo sa deje v clearingu.

Dohoda (*settlement*). Vyrovnanie poplatkov medzi poskytovateľmi hlasových služieb. Nekoná sa ihneď po klíringu, ale až v dlhších časových intervaloch, keď sa poplatky nahromadia.

5.1.3 CDR

CDR je formát na ukladanie záznamov o vykonaných hovoroch. U rôznych operátorov sa môže líšiť, niektoré programy umožňujú nakonfigurovať si vlastný CDR formát. Základné údaje ktoré obsahuje sú:

- čas hovoru
- identifikátor volajúceho
- identifikátor volaného
- čas trvania hovoru
- čas počas ktorého sa hovor spoplatňuje
- priebeh hovoru (obsadené, nedostupný, uskutočnený, ...)
- náklady

CDR záznamy tvoria základ databázy nad ktorou sa vykonávajú spoplatňovacie operácie.

5.1.4 Open Settlement Protocol (OSP)

OSP je protokol navrhnutý organizáciou *Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks (TIPHON)* pod špecifikáciou ETSI TS 101 321. Po ukončení hovoru OSP klient na oboch bránach (alebo gatekeeperoch) odošle report týkajúci sa ukončeného hovoru na OSP server, ktorý je zvyčajne vlastnený operátorom klíringového centra. OSP server vyexportuje OSP dáta ktoré potom môže použiť na vygenerovanie XML správy o volaniach [8].

```
HTTP Header
POST scripts/settlements HTTP/1.0
content-type: multipart/signed;
protocol="application/pkcs7-signature";
micalg=sha1;
boundary=bar
content-length: 844
Message Content --bar
Content-Type: text/plain
Content-Length: 524

<?xml version='1.0'?>
<Message messageId="123454321" random="12345678">
  <AuthorizationRequest componentId="9876567890">
    <Timestamp>1998-04-24T17:03:00Z</Timestamp>
    <CallId>1234432198766789</CallId>
    <SourceInfo type="e164">81458811202</SourceInfo>
    <DestinationInfo type="e164">4766841360</DestinationInfo>
    <Service/>
    <MaximumDestinations>5</MaximumDestinations>
  </AuthorizationRequest>
</Message>
```

Výpis 5-1 Ukážka OSP správy

5.1.5 Remote Authentication Dial In User Service (RADIUS)

RADIUS je protokol poskytujúci autentifikáciu, autorizáciu a vedenie záznamov o spojeniach pre aplikácie vyžadujúce si prístup do siete alebo mobilitu. Bežne sa používa v bezdrôtových sieťach spolu s 802.1x bezpečnostným štandardom. V IP telefónii sa môže nasaďovať ako súčasť spoplatňovacieho riešenia.

5.2 ENUM

Integráciou okruhovo prepínaných (PSTN) sietí a paketovo prepínaných sietí (internet) vznikla technická otázka ako adresovať hovory prechádzajúce z jednej siete do druhej. ENUM vznikol s cieľom, ktorého predpoklad bol, že by bolo vhodné ak by bol používateľ dosiahnuteľný pod jedným E.164 telefónnym číslom bez ohľadu na to či sú použité okruhovo alebo paketovo prepínané technológie [3].

Prevodom E.164 čísla na doménové meno v špeciálnom tvare môžeme použiť existujúce funkcie DNS ako napr. delegáciu a použitím NAPTR⁶ záznamov v DNS⁷ je možné decentralizovane zistiť aké služby sú dostupné pre konkrétnu doménu.

Na prevod E.164 čísla na doménové meno je potrebné vykonať nasledujúci algoritmus [9] ktorý uvádzame aj s príkladom pre číslo +421260295111:

- 1) máme úplné E.164 číslo vrátane kódu krajiny a prefixu + (+421260295111)
- 2) odstránime z E.164 čísla všetky nenumerické znaky (421260295111)
- 3) medzi číslice vložíme bodky (4.2.1.2.6.0.2.9.5.1.1.1)
- 4) otočíme poradie číslic (1.1.1.5.9.2.0.6.2.1.2.4)
- 5) pridáme suffix ".e164.arpa" (1.1.1.5.9.2.0.6.2.1.2.4.e164.arpa)

Vstup pre algoritmus je E.164 číslo, výstup je doména. Následným dotazom na NAPTR záznamy pre doménu zistíme existujúce NAPTR záznamy.

NAPTR záznam je DNS záznam prostriedku, ktorý špecifikuje prepisovací regulárny výraz a pravidlo, ktoré keď sa použijú na existujúci reťazec vytvorí nový doménový názov alebo URI. Je zadaný v RFC 2915. Formát NAPTR záznamu obsahuje nasledujúce údaje [10]:

- Doména – doména pre ktorej tento záznam prislúcha
- TTL – Time to Live (ako v DNS)
- Class (ako v DNS)

⁶ Naming Authority Pointer Record

⁷ Domain Name System

- Typ – typ pre NAPTR je 35
- Poradie v ktorom sa porovnávajú záznamy
- Preferencia – postupnosť v ktorej sa vyhodnocujú záznamy s rovnakou hodnotou pre údaj Poradie
- Flags – určujú aspekty prepisovania a interpretáciu políček
- Service – určuje službu pre tento prepisovací regulárny výraz, má tvar


```
service_field = [ [protocol] *("+" rs)]
protocol      = ALPHA *31ALPHANUM
rs            = ALPHA *31ALPHANUM
```
- Regexp – regulárny výraz
- Replacement – nasledujúce doménové meno v poradí, záleží od políčka Flags

Ukázkový ENUM záznam v konfiguračnom súbore DNS vyzerá nasledovne:

```
@      38400  SOA      sepia.fns.uniba.sk. domany.rec.uniba.sk. (2004120901 10800 3600
432000 38400 )

38400  NS      sepia.fns.uniba.sk.
38400  NS      nic.fns.uniba.sk.
$TTL   3600   ; 1 hour
*      NAPTR  100 10 "u" "E2U+sip" "!^(\\+421260295.*)$!sip:\\1@uniba.sk!" .
      NAPTR  100 10 "u" "sip+E2U" "!^(\\+421260295.*)$!sip:\\1@uniba.sk!" .
```

Výpis 5-2 Ukázkový ENUM záznam v konfiguračnom súbore

Tento záznam hovorí, že pre službu SIP majú byť všetky E.164 čísla s prefixom 421260295 prekladané na URI “sip:<číslo>@uniba.sk”. Dotazovať sa na neho môžeme napríklad cez príkazy *nslookup* alebo *dig*:

```
[root@localhost dns]# dig 1.1.1.5.9.2.0.6.2.1.2.4.e164.arpa NAPTR

1.1.1.5.9.2.0.6.2.1.2.4.e164.arpa. 3563 IN NAPTR 100 10 "u" "sip+E2U"
"!^(\\+421260295.*)$!sip:\\1@uniba.sk!" .

1.1.1.5.9.2.0.6.2.1.2.4.e164.arpa. 3563 IN NAPTR 100 10 "u" "E2U+sip"
"!^(\\+421260295.*)$!sip:\\1@uniba.sk!" .

5.9.2.0.6.2.1.2.4.e164.arpa. 38363 IN NS nic.fns.uniba.sk.
5.9.2.0.6.2.1.2.4.e164.arpa. 38363 IN NS sepia.fns.uniba.sk.

nic.fns.uniba.sk. 80703 IN A 158.195.45.10
sepia.fns.uniba.sk. 81956 IN A 158.195.40.1
```

Výpis 5-3 Ukázkový ENUM dotaz

V prípade ak DNS server má zapnutú možnosť verejného doménového transferu, je možné si nechať vypísať všetky NAPTR záznamy ktoré spravuje. Konkrétne pre príkaz *dig* sa to robí nasledujúcim spôsobom:

```
[root@localhost dns]# dig e164.arpa @ns-pri.ripe.net axfr
```

čo by malo za následok výpisanie prvej úrovne e164.arpa ENUM stromu:

```
;-;<<>> DiG 9.2.4 <<>> e164.arpa @ns-pri.ripe.net axfr
;; global options: printcmd
e164.arpa.      14400 IN      SOA  ns-pri.ripe.net. e164-contacts.ripe.net. 2006041182
14400 3600 2419200 14400

... výpis skrátenej ...
0.2.4.e164.arpa. 14400 IN      NS   ns.tld.cz. // záznamy pre Českú republiku
0.2.4.e164.arpa. 14400 IN      NS   ns.ripe.net.
0.2.4.e164.arpa. 14400 IN      NS   ns2.nic.fr.
0.2.4.e164.arpa. 14400 IN      NS   sunic.sunet.se.
0.2.4.e164.arpa. 14400 IN      NS   ns-ext.vix.com.
1.2.4.e164.arpa. 14400 IN      NS   ns.cvt.stuba.sk. // záznamy pre Slovenskú republiku
1.2.4.e164.arpa. 14400 IN      NS   ns.ripe.net.
1.2.4.e164.arpa. 14400 IN      NS   ns.tuke.sk.
1.2.4.e164.arpa. 14400 IN      NS   sun.uakom.sk.
3.4.e164.arpa.   14400 IN      NS   a.enum.at. // záznamy pre Rakúsko
3.4.e164.arpa.   14400 IN      NS   b.enum.at.
3.4.e164.arpa.   14400 IN      NS   c.e164.at.
3.4.e164.arpa.   14400 IN      NS   d.e164.at.
... výpis skrátenej ...
```

Výpis 5-4 Skrátenej výpis prvej úrovne e164.arpa stromu

Každý NAPTR záznam obsahuje URI nejakej služby, nemusí sa jednať len o hlasové služby, ale napríklad email, video, WWW. To o URI akej služby sa jedná identifikuje Service záznam NAPTR záznamu. V prípade SIP URI je to "E2U+sip" a "sip+E2U" [10].

Praktický význam ENUM stromu je, že doménový záznam pre ľubovoľný E.164 prefix môže byť delegovaný na inštitúciu, ktorej zodpovedajú PSTN telefónne čísla pre daný prefix.

ENUM strom sa dá považovať sa centrálnu autoritu s centrálnou kontrolou ale decentralizovanou správou záznamov, keďže každá krajina, mesto, inštitúcia, alebo ten na koho je daný ENUM záznam smerovaný si ďalej záznamy spravuje sám.

5.2.1 Alternatívne ENUM stromy

Nahradením suffixu v poslednom kroku algoritmu suffixom iného ENUM stromu dostávame alternatívu k oficiálnemu *e164.arpa* ENUM stromu. Tieto alternatívne ENUM stromy môžu mať viaceré využitia:

- inštitúcie ich môžu použiť ako číslovací plán pre vnútorne použitie
- VoIP operátor môže mať zriadený takýto strom pre využitie svojimi zákazníkmi
- iné

Niektoré alternatívne ENUM služby si verifikujú či ich záznamy naozaj zodpovedajú reálnemu PSTN číslu, a tieto môžu byť využité ako doplňujúce ENUM stromy k ENUM stromu *e164.arpa*. Ako dôvod môže slúžiť optimalizácia cien hovorov.

Alternatívnym ENUM stromom je napríklad *e164.org* alebo na Slovensku *e164.bts.sk*, ktorý momentálne obsahuje ENUM záznamy pre niektoré E.164 čísla na ktoré sa dá volať bezplatne.

5.2.2 ENUM pre Slovensko

Autoritatívny *nameserver* pre doménu *1.2.4.e164.arpa* je *sun.uakom.sk*.

```
[root@localhost dns]# dig 1.2.4.e164.arpa
;; QUESTION SECTION:
;1.2.4.e164.arpa.      IN      A

;; AUTHORITY SECTION:
1.2.4.e164.arpa.      891     IN      SOA     sun.uakom.sk. hostmaster.uakom.sk. 2006030301
10800 3600 604800 86400
```

Výpis 5-5 Autorita pre doménu *1.2.4.e164.arpa*

K dnešnému dňu sú z neho delegované nasledujúce subdomény pre viaceré inštitúcie:

```
[root@localhost dns]# dig @sun.uakom.sk 1.2.4.e164.arpa axfr
1.2.4.e164.arpa. 86400 IN SOA sun.uakom.sk. hostmaster.uakom.sk. 2006030301
10800 3600 604800 86400
1.2.4.e164.arpa. 86400 IN NS ns.cvt.stuba.sk.
1.2.4.e164.arpa. 86400 IN NS ns.ripe.net.
1.2.4.e164.arpa. 86400 IN NS ns.tuke.sk.
1.2.4.e164.arpa. 86400 IN NS sun.uakom.sk.
2.1.2.4.e164.arpa. 86400 IN NS ns.cvt.stuba.sk.
2.1.2.4.e164.arpa. 86400 IN NS ns2.cvt.stuba.sk.
1.1.5.5.3.3.1.2.4.e164.arpa. 86400 IN NS ns.cvt.stuba.sk.
1.1.5.5.3.3.1.2.4.e164.arpa. 86400 IN NS ns2.cvt.stuba.sk.
8.0.5.6.7.3.1.2.4.e164.arpa. 86400 IN NS uvt.nr.sanet.sk.
8.0.5.6.7.3.1.2.4.e164.arpa. 86400 IN NS afnet.uniag.sk.
8.0.5.6.7.3.1.2.4.e164.arpa. 86400 IN NS quanto.nr.sanet.sk.
3.1.5.1.4.1.2.4.e164.arpa. 86400 IN NS nic.utc.sk.
3.1.5.1.4.1.2.4.e164.arpa. 86400 IN NS proxy.utc.sk.
6.0.2.5.5.4.1.2.4.e164.arpa. 86400 IN NS uvt.tuzvo.sk.
6.0.2.5.5.4.1.2.4.e164.arpa. 86400 IN NS vsld.tuzvo.sk.
6.7.8.1.3.1.4.8.4.1.2.4.e164.arpa. 86400 IN NS ns.umb.sk.
6.7.8.1.3.1.4.8.4.1.2.4.e164.arpa. 86400 IN NS sun.uakom.sk.
4.2.3.4.8.4.1.2.4.e164.arpa. 86400 IN NS ns.umb.sk.
4.2.3.4.8.4.1.2.4.e164.arpa. 86400 IN NS sun.uakom.sk.
4.6.3.4.8.4.1.2.4.e164.arpa. 86400 IN NS ns.umb.sk.
4.6.3.4.8.4.1.2.4.e164.arpa. 86400 IN NS sun.uakom.sk.
6.4.4.8.4.1.2.4.e164.arpa. 86400 IN NS ns.umb.sk.
6.4.4.8.4.1.2.4.e164.arpa. 86400 IN NS sun.uakom.sk.
5.1.1.7.4.8.4.1.2.4.e164.arpa. 86400 IN NS ns.umb.sk.
5.1.1.7.4.8.4.1.2.4.e164.arpa. 86400 IN NS sun.uakom.sk.
1.9.7.8.7.2.5.1.2.4.e164.arpa. 86400 IN NS sun.uakom.sk.
1.9.7.8.7.2.5.1.2.4.e164.arpa. 86400 IN NS savba.savba.sk.
1.9.7.8.7.2.5.1.2.4.e164.arpa. 86400 IN NS auriga.ta3.sk.
1.4.3.2.5.5.1.2.4.e164.arpa. 86400 IN NS ns.upjs.sk.
1.4.3.2.5.5.1.2.4.e164.arpa. 86400 IN NS kosice.upjs.sk.
2.0.6.5.5.1.2.4.e164.arpa. 86400 IN NS ns.ke.sanet.sk.
2.0.6.5.5.1.2.4.e164.arpa. 86400 IN NS ns.tuke.sk.
1.5.9.1.2.2.6.5.5.1.2.4.e164.arpa. 86400 IN NS gw.srobarka.sk.
1.5.9.1.2.2.6.5.5.1.2.4.e164.arpa. 86400 IN NS sun.uakom.sk.
6.7.8.5.2.2.6.5.5.1.2.4.e164.arpa. 86400 IN NS gw.srobarka.sk.
6.7.8.5.2.2.6.5.5.1.2.4.e164.arpa. 86400 IN NS sun.uakom.sk.
2.1.7.2.7.5.5.1.2.4.e164.arpa. 86400 IN NS ns.upjs.sk.
2.1.7.2.7.5.5.1.2.4.e164.arpa. 86400 IN NS kosice.upjs.sk.
2.2.9.7.5.5.1.2.4.e164.arpa. 86400 IN NS ns.saske.sk.
2.2.9.7.5.5.1.2.4.e164.arpa. 86400 IN NS sun.uakom.sk.
```

Výpis 5-6 Delegované domény pre 1.2.4.e164.arpa

Doménový záznam pre Slovenskú republiku bol pridaný do ENUM stromu *e164.arpa* dňa 10. júna 2003 na žiadosť Ministerstva dopravy, pôšt a telekomunikácií SR (bližšie v Prílohe C).

5.2.3 E.164

E.164 je označenie pre formát klasických telefónnych čísel. Tento pojem sa vyskytuje tiež IP telefónií a zohráva dôležitú rolu práve pre zachovanie kompatibility pri integrácií PSTN a VoIP.

E.164 je ITU-T odporúčanie určujúce medzinárodný číslovací plán a štruktúru medzinárodných telefónnych čísel. Maximálna dĺžka telefónneho čísla je 15 číslic (bez kódu krajiny) [12].

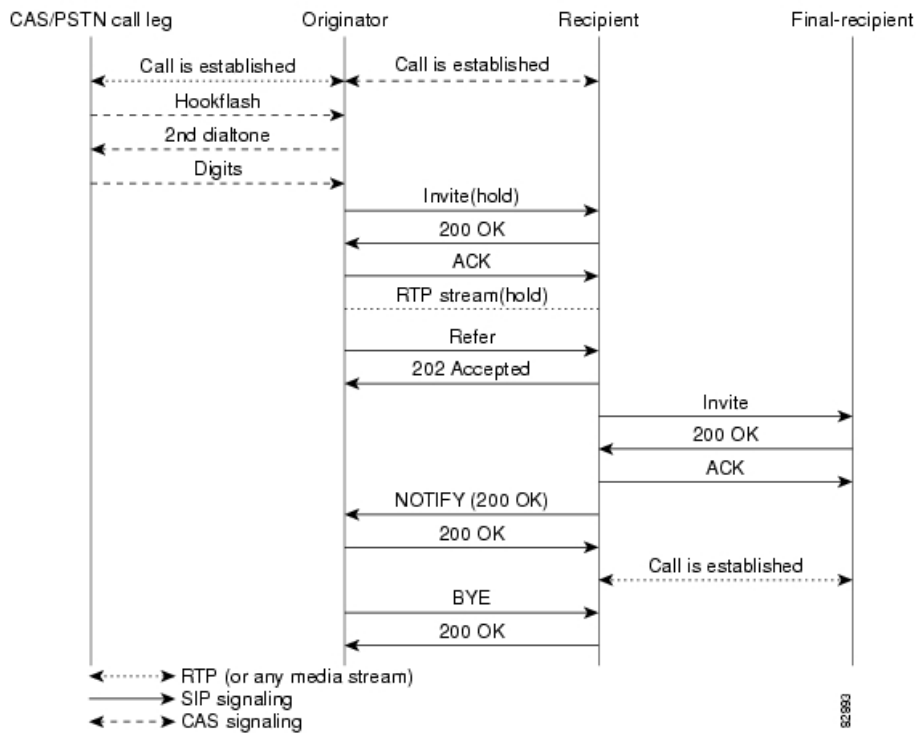
Kód krajiny	Predvoľba pre geografickú oblasť	Číslo účastníka
1 až 3 číslice	N číslic	(15-N) číslic

Tabuľka 5-1 Formát E.164 čísla

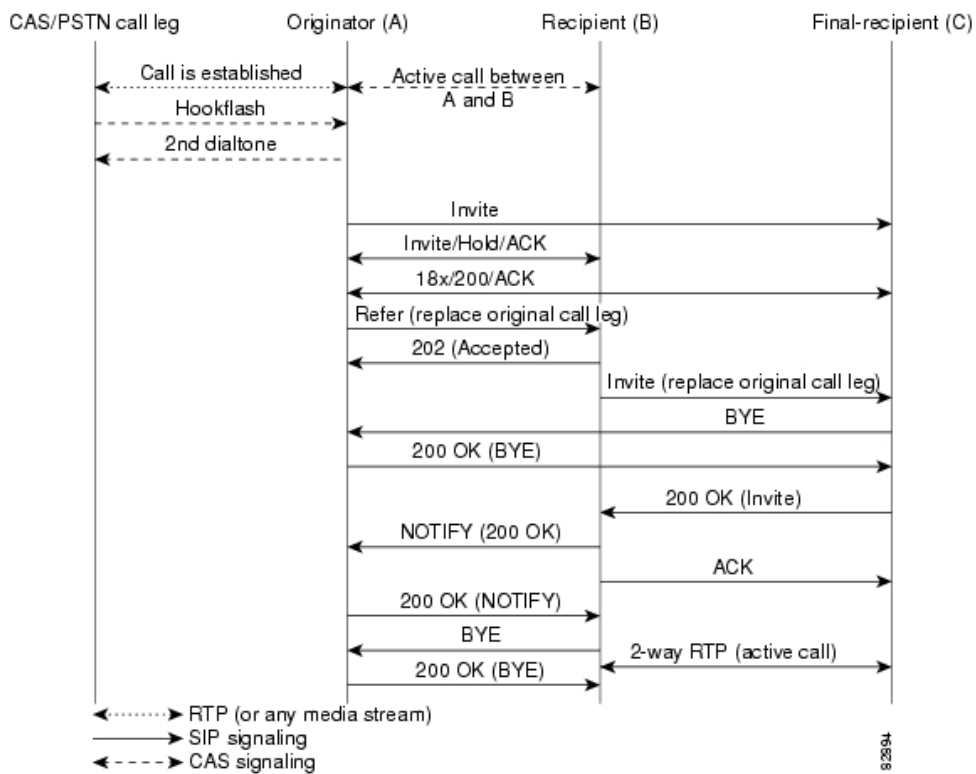
5.3 Transfer hovoru

Protokol SIP umožňuje prevedenie prebiehajúceho hovoru na ľubovoľné iné číslo. Je viacero spôsobov ako sa to dá uskutočniť:

- transfer naslepo (*refer* metóda) znamená prepojiť volajúceho na tretiu stranu bez toho aby som predtým nadväzoval spojenie s treťou stranou, a zrušenie spojenia s volajúcim hneď po inicializovaní pokusu o prepojenia
- konzultatívny transfer nastáva ak volajúceho prepnem do HOLD módu, nadviažem úspešné spojenie s treťou stranou, a volajúceho transferujem z HOLD módu už do existujúceho hovoru
- prezváňací transfer je podobný konzultatívne transferu, s tým rozdielom že nečakám na zdvihnutie telefónu treťou stranou ale za dostatočný dôvod na transfer volajúceho považujem, ak telefón tretej strane začne zvoniť



Obr. 5-1 Schéma signalizácie transferu na slepo [14]

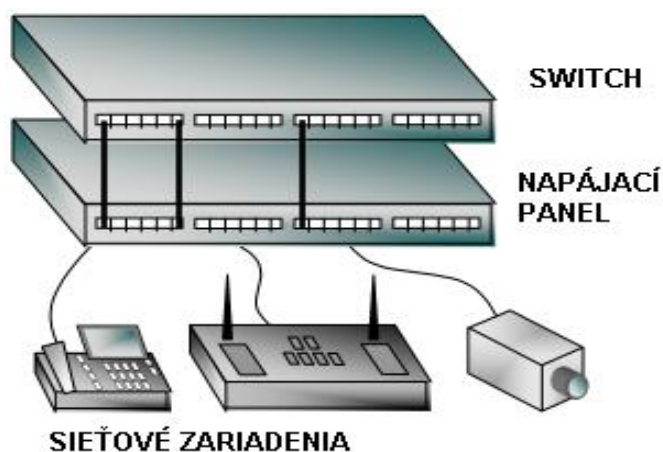


Obr. 5-2 Schéma signalizácie konzultačného transferu [14]

5.4 Napájanie cez Ethernet

Nejedná sa priamo o VoIP službu, ale v kontexte VoIP považujeme za vhodné sa zmieniť o možnosti vzdialeného napájania telefónneho IP aparátu cez *ethernet*, čo umožňuje používať aparáty bez nutnosti napájacích káblov. S tým spojená decentralizácia sieťového napájania zjednodušuje vybudovanie záložného napájania pre prípad výpadku hlavného napájania.

Realizované môže byť priamo na sieťovom komponente (smerovači, prepínači, VoIP bráne), ale existujú aj panely špeciálne pre tento účel, ktoré sú pre sieťové protokoly transparentné.



Obr. 5-3 Zapojenie napájacieho panela

6 Komponenty riešení

V tejto kapitole sa bližšie venujeme konkrétnym implementáciám jednotlivých komponentov VoIP siete.

Pre širší rozhľad stručne spomeniem aj komerčné komponenty ktoré sa nevyskytujú a v blízkej budúcnosti neplánujú implementovať v rámci infraštruktúry UK. Jedná sa o rozšírený Cisco CallManager a Alcatel OmniPCX. Informácie o Cisco CallManager a Alcatel OmniPCX sme prebrali z propagačných materiálov firiem Cisco a Alcatel.

6.1 Hardvérové IP telefóny

Hardvérové IP telefóny sú plnohodnotnou náhradou za analógové alebo digitálne telefónne aparáty. Navyiac poskytujú používateľovi funkcionality ktorá nebola pri klasických telefónoch dostupná, alebo bola dostupná iba pri najvyšších radoch modelov digitálnych telefónov. Na trhu je dostupných niekoľko desiatok až stoviek modelov od rôznych výrobcov. Charakterizujeme a porovnáme reprezentatívne vybrané modely z nižšej, strednej a vyššej triedy, pričom identifikujeme oblasti nasadenia jednotlivých modelov.

6.1.1 Cisco

Firma Cisco ponúka kompletnú škálu VoIP zariadení medzi ktorými nechýbajú ani IP telefóny. Sú známe svojim kvalitným spracovaním a dizajnom. V závislosti od modelu ponúkajú LCD displej s dynamickými programovateľnými tlačidlami, podporu pre informačné služby vrátane XML schopností, možnosť vytvárania XML služieb pre poskytovanie informácií ako firemný adresár, burzové kurzy, a iné. Všetky možnosti Cisco telefónov je možné využiť iba v spojení s Cisco CallManagerom.



Obr. 6-1 Cisco IP Phones 7902G, 7912G, 7970G

Cisco Unified IP Phone 7902G je model najnižší model z Cisco IP telefónov, neobsahuje LCD display, má podporu pre jednu vstupnú linku a je primárne určený ako nízko nákladový model pre nasadenie vo výrobných halách alebo laboratóriách. Podporuje iba Skinny protokol. Medzi podporovanými funkciami sú: čakanie na hovor, pozdržanie hovoru, konferencia troch účastníkov a transfer prebiehajúceho hovoru.

Cisco Unified IP Phone 7912G je model strednej triedy s LCD displejom, XML, dynamickými programovateľnými tlačidlami, podporou pre základné biznis aplikácie a možnosť presmerovania hovoru. Má vstavaný ethernetový prepínač určený na pripojenie počítača, čím znižuje potrebu ďalšej kabeláže. Typické nasadenie je vo firemných kanceláriách. Asi najdôležitejší rozdiel oproti 7902G je podpora protokolu SIP.

Cisco Unified IP Phone 7970G sa od predchádzajúcich modelov líši farebným podsvieteným dotykovým LCD displejom, podporou ôsmich vstupných liniek, vstavaným reproduktorom na hlasitý hovor a možnosť pripojenia handsfree zariadenia. Typické nasadenie tohto modelu je v kanceláriách riadiacich pracovníkov alebo na pracoviskách s vyšším objemom telefonátov. Tento model podporuje iba Skinny protokol.

6.1.2 Ostatné

V prostredí UK sa neráta s nasadením Cisco CallManagera, a z tohto dôvodu sa neuvažuje o širšom nasadzovaní telefónov značky Cisco. Pri práci na projekte sme mali

možnosť stretnúť sa s dvomi modelmi IP telefónov a to InterBell IB-302A a Grandstream Budgetone 102. Oba modely patria do cenovo dostupnej triedy.



Obr. 6-2 InterBell IB-302A a Grandstream Budgetone 102


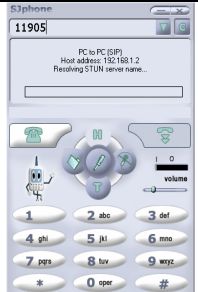
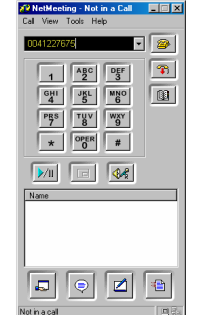

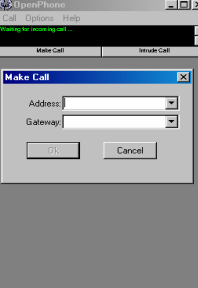
6.2 Softvérové IP telefóny

Alternatívou k hardvérovým IP aparátom sú softvérové IP telefóny. Sú to bežné počítačové programy ktoré sa používajú s *headsetmi*⁸ alebo s kombináciou slúchadiel a mikrofónu.

6.2.1 SIP a H.323 softvérové telefóny

Nasledujúca tabuľka obsahuje prehľad štyroch rozšírených softvérových telefónov pre platformy Windows, Linux a Macintosh.

⁸ Headset je kombinácia mikrofónu a slúchatok

Produkt	Používateľské rozhranie	Kodeky	Podporované protokoly	Call transfer	Platforma	poznámky
X-Lite		G.711u, G.711a, GSM, iLBC, Speex	SIP	vo voľnej verzii nie	Windows, Linux, Mac	umožňuje širokú škálu nastavení
SJPhone		G711a, G711u, GSM 6.10, G723.1, iLBC, Speex, G729, G729a	SIP, H.323	ano	Windows, Linux	podporuje aj SIP aj H.323, nie však súčasne
Microsoft NetMeeting		G.711, G.723	H.323	nie	Windows	
KPhone		G711u, GSM, iLBC	SIP	ano	Linux	
Open-Phone		G711a, G711u, GSM 6.10, G723.1, G.726, Speex, G729, G729a	H.323	ano	Windows, Linux	postavený na OpenH.323 implementácií

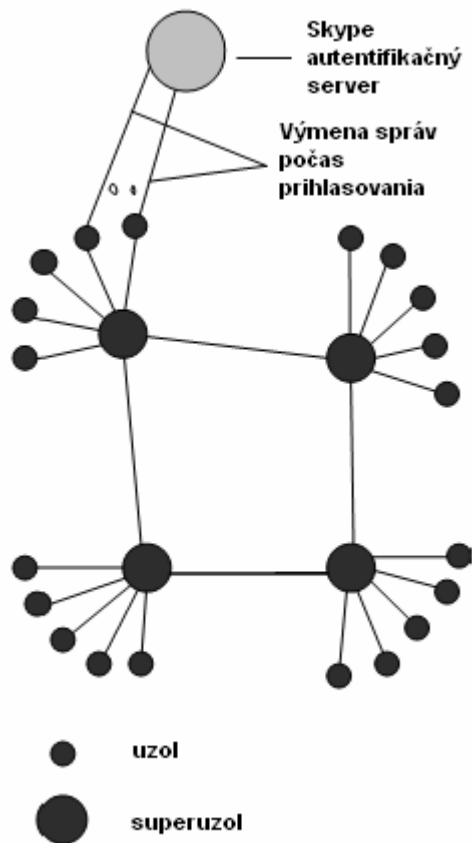
Tabuľka 6-1 Prehľad softvérových IP telefónov

6.2.2 Skype

Osobitnú pozornosť venujeme komerčnému programu Skype. Skype sa vyhýba používaniu štandardných protokolov ako SIP, H.323, RTP a používa vlastné uzavreté proprietárne protokoly. Tým sa Skype úplne izoluje od ostatného VoIP okolia, v budúcnosti by tento stav mohla zmeniť brána podporujúca Skype protokoly.

Skype je *peer-to-peer* sieť skladajúca sa z dvoch druhov uzlov: obyčajné uzly a superuzly (*supernode*). Uzol je každý počítač na ktorom beží Skype aplikácia. Uzol, ktorý má verejnú IP adresu, rýchle pripojenie, dostatočnú pamäť a výkon sa môže stať superuzlom bez toho aby o tom používateľ vedel. Superuzol slúži ostatným uzlom ktoré nie sú superuzly (napríklad ak nemajú verejnú IP adresu), na pripojenie sa do Skype siete. Superuzly smerujú datagramy medzi jednotlivými uzlami. Skype sieť obsahuje jeden autentifikačný server, kde sú uložené autorizačné údaje užívateľov [13].

Keďže Skype nepoužíva štandardné protokoly, je často problém kontrolovať, monitorovať alebo zakázať Skype .



Obr. 6-3 Architektúra Skype

6.3 Servery

Rôzne implementácie VoIP serverov sa líšia svojimi vlastnosťami a účelom použitia. Medzi rozšírené patria Asterisk, Sip Express Router, Asterisk a Cisco CallManager.

6.3.1 Asterisk

Asterisk je softvérová pobočková ústredňa s podporou viacerých protokolov. Venujeme sa jej v kapitole 8.4 a 10.

6.3.2 Sip Express Router

Sip Express Router (SER) je vysokovýkonný konfigurovateľný SIP server. SER je voľne šíriteľná implementácia SIP registračného serveru, proxy serveru a presmerovacieho serveru v jednej aplikácii pod licenciou GPL.

SER podporuje IPv6, a taktiež preklad medzi IPv4 a IPv6 SIP správami, čím v budúcnosti môže prispieť k prípadnej hladkej migrácii na IPv6.

Taktiež implementuje mechanizmy na zbieranie detailných informácií o použitých službách a ukladanie týchto informácií do CDR. Tieto potom obsahujú informácie na základe ktorých je možné vykonávať spoplatňovanie služieb jednotlivým účastníkom.

Je súčasťou infraštruktúry IP telefónie na UK ktorou sa zaoberá kapitola 8.

6.3.3 Cisco CallManager

Cisco CallManager softvér je rozšírená softvérová pobočková ústredňa, poskytujúca tradičné vlastnosti a funkcie pobočkovej ústredne (základné spracovanie hovorov, signalizáciu a služby spojovania) pre IP telefónne zariadenia, ako sú napr. Cisco IP telefóny a VoIP brány. Okrem toho ponúka aj dodatočné a rozširujúce služby - pridržanie hovoru, predanie hovoru, presmerovanie hovoru, konferenčný hovor, automatická voľba trasy, rýchle vytáčanie, opakovanie posledného čísla a ďalšie funkcie. Riadenie príjmu hovorov zaisťuje, že kvalita poskytovanej hlasovej služby ostáva zachovaná aj pri prípadných problémoch na WAN spojoch; v prípade nedostupnosti WAN je možné automatické presmerovanie na VTS.

CallManager je centrálny prvok VoIP riešení založených na platforme Cisco. Pri nasadzovaní riešení obsahujúcich Cisco CallManager sa počíta najmä s použitím Cisco IP telefónov, ktoré komunikujú s CallManagerom pomocou proprietárneho protokolu Skinny (kapitola 4.4.4). Podporované sú aj protokoly SIP a H.323.

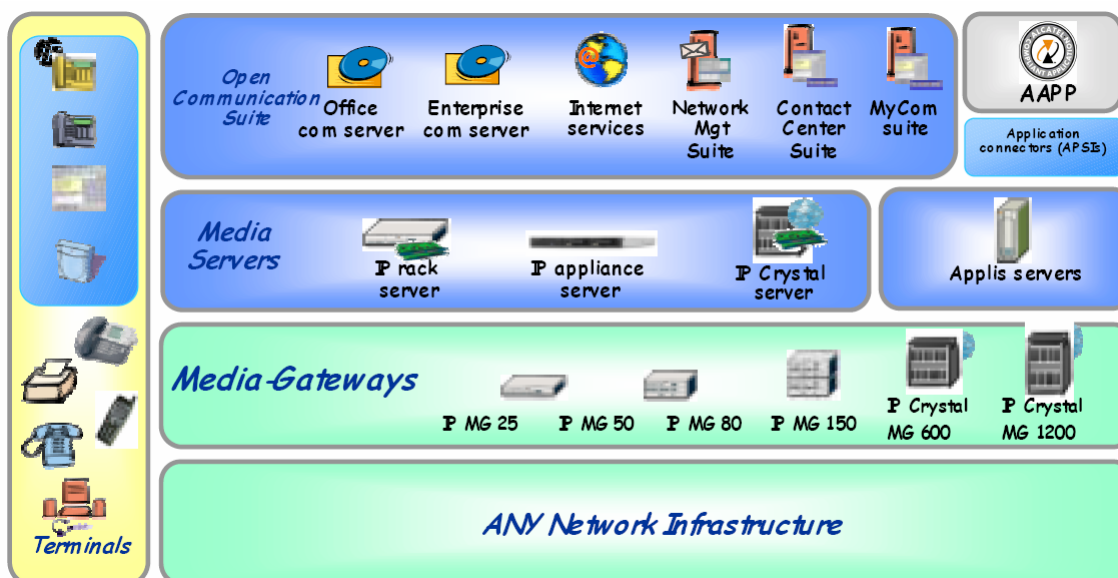
Informácie sú prevzaté z informačných dokumentov ktoré nám boli poskytnuté firmou Hewlett-Packard.

6.3.4 Alcatel Omni PCX

Alcatel OmniPCX Enterprise je svojím výrobcom charakterizovaný ako „nová generácia *Carrier-class* intranetových komunikačných serverov a aplikácií“. Táto charakteristika v sebe zahŕňa niekoľko vlastností :

- Komunikačný server je novým vývojovým štádiom osvedčeného systému Alcatel OmniPCX4400
- Systém je postavený na modeli MEGACO architektúry: Server-Media Gateways a klienti pripojení cez TDM alebo FULL IP siete (alebo zmiešané hybridné architektúry na základe požiadaviek zákazníka)
- Komunikačný server podporuje kompletnú radu Omni-Solutions aplikácií: OmniTouch, MySoftphone, OmniVista 4760 Network Management, atď.
- Podporuje otvorené komunikačné protokoly: H.323, SIP, LDAP, atď.

Takýto vývoj smerom k novej modulárnej architektúre umožňuje stavať riešenia s centrálnym prvkom OmniPCX Enterprise ako súhrn stavebných modulov otvoreného komunikačného modelu:



Obr. 6-4 Architektúra OmniPCX

V centre návrhu komunikačných riešení pre stredné a veľké spoločnosti je situovaný OmniPCX Enterprise komunikačný server.

„Komunikačný server“ môže byť charakterizovaný ako riadiace centrum, poskytujúce:

- Jeden alebo viac Media Gateways podporujúcich pripojenie;
- Digitálne drôtové REFLEXTM alebo analógové tel. prístroje;
- Externé linky ISDN alebo analógové pre pripojenie do VTS;
- Bázové stanice pre pripojenie mobilného bunkového systému DECT;
- Sériové rozhrania pre dátové zariadenia;
- DSP zdroje pre Media services: hlasové nápovede, konferenčné obvody, ...
- IP komunikačné rozhrania (e-REFLEXES, multimedialne PC, SIP alebo H323 terminály);
- Systémy lokálneho alebo sieťového manažmentu;
- Konektivita pre Alcatel alebo aplikácie tretích strán.

Informácie sú prevzaté z reklamných informačných dokumentov poskytnutých distribútorom tohto produktu na Slovensku.

6.4 FXO a FXS brány

FXO brána je rozširujúca karta alebo externé zariadenie, ktoré umožňuje pripojiť na analógovú telefónnu linku VoIP zariadenie, a poskytuje rozhranie medzi telefónnou linkou a VoIP systémom.

FXS brána umožňuje pripojiť PSTN telefónne aparáty na IP sieť. Jedným z takýchto zariadení je aj štvorportová FXS brána *Welltech WellGate 3504A* s podporou protokolov SIP aj H.323. Podporuje funkcie pridržania a presmerovania hovoru, vzdialenú administráciu cez web a telnet, a iné funkcie. Okrem štandardných kódekov G.711 a G.723 podporuje aj G.729(A).

7 Implementácia IP telefónie na UK

Táto kapitola slúži ako úvod do IP telefónie v prostredí Univerzity Komenského a nasledujúce kapitoly obsahujú výsledky praktickej časti tejto práce. Praktická časť bola realizovaná zásahmi do infraštruktúry dátovej siete a do konfigurácií sieťových zariadení na UK.

7.1 Aktuálny stav

Na začiatkoch zavádzania IP telefónie bola situácia na všetkých jej fakultách približne rovnaká. Pre hlasové služby fakulty mali svoje vlastné pobočkové ústredne pripojené do VTS⁹, pre dátové služby boli pripojené do akademickej siete SANET¹⁰. Predsa však bolo možné nájsť aj dosť výrazné a nezanedbateľné rozdiely v oblastiach, ktoré sú pre zavádzanie IP telefónie kľúčové, napríklad v kvalite pripojenia do siete SANET alebo v technológií použitej pre internú sieť.

Prvý používatelia IP telefónie na UK boli zamestnanci výpočtového centra, ktorí v rámci pracovnej náplne experimentovali s touto novou technológiu, a vedecký pracovníci ktorí potrebovali IP telefóniu na pripojenie sa na zahraničné telekonferencie, napríklad cez multiprotokolový systém VRVS¹¹ spomenutý v kapitole 4.4.5.

Celosvetový rozmach IP telefónie a vznik a vývoj kvalitných *open-source* implementácií VoIP serverov otvoril priestor pre vznik projektu IP telefónie na UK, bez nutnosti zakupovať drahé proprietárne softvérové a hardvérové vybavenie.

Prvý krok smeroval k vybudovaniu VoIP infraštruktúry paralelne k VTS infraštruktúre, teda bolo nutné nainštalovať servery, zvýšiť priepustnosť dátovej siete tam, kde existujúca sieť nespĺňala požiadavky pre hlasovú komunikáciu, a urobiť rozhodnutia ohľadom protokolov a číslovacích plánov.

⁹ Verejná telekomunikačná sieť

¹⁰ Slovak Academic Network

¹¹ Virtual Room Videoconferencing System

Tieto zmeny umožňovali telefonovanie v rámci UK, ďalšie kroky smerovali k rozširovaniu VoIP konektivity na iné inštitúcie. Tu zohrávali dôležitú úlohu použité signalizačné protokoly. V skratke by sa dalo povedať, že VoIP svet je rozdelený podľa toho, na akých signalizačných protokoloch sa rozhodli vybudovať svoju infraštruktúru. Konkrétne môžeme hovoriť o dvoch najrozšírenejších protokoloch, novší SIP a starší H.323, bližšie v kapitole 4.1 a 4.2. Projekt IP telefónie na UK už od vzniku počítal s nasadením protokolu SIP, čo považujeme za dobré rozhodnutie.

VoIP konektivita UK na inštitúcie používajúce SIP protokol spočíva v nakonfigurovaní správneho smerovania E.164 prefixov na SIP serveri. Konektivita na H.323 inštitúcie si vyžaduje použité SIP-H.323 brány s protokolovým prekladom. Toto je témou kapitoly 10.

Ďalší dôležitý krok v nasadzovaní IP telefónie je prepojenie VoIP infraštruktúry s VTS. Na tento účel momentálne využíva UK služby firmy Dial Telecom, ktorá poskytuje možnosť smerovať hovory cez SIP bránu na strane Dial Telecomu. Týmto prepojením sa dá dovolať na ľubovoľné číslo nezávisle od toho, či volaná strana používa IP telefóniu alebo je účastníkom verejnej telekomunikačnej siete.

Súčasťou IP telefónie UK sú aj služby ako spoplatňovanie, automatické zasielanie emailov o uskutočnených hovoroch, WWW aplikácia na spravovanie záznamov o hovoroch ktoré sú vyvíjané priamo pod „taktovkou“ CIT UK¹².

Projekt sa momentálne nachádza vo fáze plošného inštalovania VoIP vybavenia na vybrané pracoviská univerzity. Na tento účel boli zakúpené FXS brány poskytujúce VoIP konektivitu až štyrom analógovým telefónom a IP telefóny na nasadenie na miestach kde sú vyžadované širšie služby. Takouto službou je napríklad transfer hovoru na tretiu osobu. Táto služba je potrebná pre spojovateľky alebo kontaktné osoby v rámci jednotlivých pracovísk s verejným exponovaným telefonickým kontaktom. Transferu hovoru je bližšie popísaný v kapitole kapitoly 5.3.

V doterajších krokoch projektu IP telefónie ostala infraštruktúra pripojenia do VTS po jednotlivých krokoch nasadzovania VoIP v plnej miere funkčná, došlo iba k pridaniu nových zariadení do existujúcej infraštruktúry. Súčasný kroky však smerujú

¹² Centrum informačných technológií univerzity Komenského

k cieľenému nahradzovaniu existujúcich VTS zariadení VoIP zariadeniami, a uvažuje sa o tom, že by niektoré pracoviská boli vybavené výhradne IP telefónmi.

7.2 Identifikovanie vhodných cieľov pre praktickú časť práce

Z predchádzajúcich odsekov vyplývajú ako vhodné ciele implementácia SIP-H.323 prekladača, analýza štruktúry hovorov a služby transferu prebiehajúcich hovorov. Uvažovali sme aj o iných aktivitách ktoré by mohli prispieť k rozvoju IP telefónie na UK.

Pripojením niektorých neoficiálnych ENUM stromov by sme mohli rozšíriť počet lokalít, na ktoré je možné sa dovolať cez internet. ENUM je protokol umožňujúci jednoducho sprístupňovať a spravovať preklad telefónnych čísiel na adresy používané v IP telefónii. Bližšie sa ENUMu venujeme v kapitole 5.2.

Za ďalší zaujímavý projekt považujeme implementáciu *media gateway*. Táto by nám umožnila používať pre niektoré pracoviská univerzity kódeky¹³ ktoré by viac vyhovovali charakteristikám použitej sieťovej linky, najmä pre pracoviská ktoré sú pripojené bezdrôtovou sieťovou technológiu. Bezdrôtové pripojenie prináša okrem veľa výhod aj nevýhody vo forme väčšej odozvy, pravdepodobnejšej straty paketov a nižšej šírky prenosového pásma oproti káblovému ethernetu. *Media gateway* by robil konverziu medzi kódekmi, kde pre bezdrôtové spojenie by bol použitý kódek vyžadujúci menšiu šírku pásma. Tento kódek nemusí byť podporovaný všetkými klientmi, čo by mohlo viesť k problémom pri nadväzovaní spojenia s inými inštitúciami. *Media gateway* by ho konvertoval na bežný kódek ako je napr. G.711.

S touto problematikou úzko súvisia aj QoS¹⁴ techniky, ktoré sú popísané v kapitole 3.2. V prípade QoS sa jedná o rozsiahlu problematiku ktorá nemohla byť dostatočne spracovaná v tejto práci, preto v prípade záujmu čitateľovi odporúčame literatúru zaoberajúcu sa QoS [1].

Analýzou získaných informácií uvedených v predchádzajúcich odsekoch sme identifikovali oblasti ktorým by bolo vhodné sa ďalej venovať v tomto štádiu implementácie VoIP na UK. Ako aktuálne sa nám javí:

¹³ kóder / dekóder, bližšie v kapitole 3.1

¹⁴ Quality of Service, bližšie v kapitole 3.2

-
- navrhnuť, implementovať a otestovať prepojenie účastníckych staníc v heterogénnych VoIP sieťach (SIP a H.323)
 - zdokumentovať aktuálny stav projektu IP telefónie na UK
 - interpretovať štruktúru odchádzajúcich hovorov
 - zistiť možnosti služby presmerovania prebiehajúcich hovorov
 - navrhnuť možnosť konferenčných hovorov
 - analyzovať použitie *media gateway*
 - venovať sa rozširovaniu číslovacieho plánu (pripojiť ďalšie ENUM stromy)

Z týchto oblastí sme vybrali prvé tri ako ciele praktickej časti tejto práce.

8 Infraštruktúra IP telefónie na UK

IP telefónia na UK sa prevádzkuje pomocou softvéru na báze *open-source*. V prvom rade je to Sip Express Router (SER), ktorý spravuje CIT UK¹⁵, a slúži ako SIP server. Ako brána do iných sietí slúži Asterisk server. Nasledujúca kapitola zachytáva aktuálny stav projektu IP telefónie na UK.

8.1 Ciele

- Popísať funkciu jednotlivých komponentov
- Zdokumentovať infraštruktúru IP telefónie a súvisiace infraštruktúry

8.2 Popis

Počas práce na projekte IP telefónie sme priamo pracovali s viacerými komponentmi infraštruktúry a boli v kontakte s odborníkmi zodpovednými za projekt. Získané poznatky zachytávame v tejto kapitole. Na zachytenie detailnej infraštruktúry používame diagramy sieťovej topológie.

8.3 Sip Express Router

Medzi komponenty patrí Sip Express Router (SER) slúžiaci primárne ako registračný a proxy server pre celú UK pod doménou *sip.uniba.sk*. Všetky univerzitné IP telefóny sa prihlasujú na tento server. Každý používateľ IP telefónu má svoje vlastné konto na tomto serveri. Autentifikuje sa pomocou prihlasovacieho mena a hesla.

SER obsahuje napojenie na databázu, ktorou sa autentifikujú používatelia pri prihlasovaní do systému. Databáza obsahuje okrem prihlasovacích údajov aj e-mailové adresy, na ktoré sa posielajú týždenne výpisy hovorov jednotlivým používateľom. Celý

¹⁵ Centrum informačných technológií univerzity Komenského

system je napojený na webové rozhranie umožňujúce používateľom klasifikovať svoje hovory ako firemné alebo súkromné.

Hovory, ktoré sú smerované mimo univerzitu, SER presmeruje na príslušnú SIP bránu. V prípade že si volaný smer vyžaduje konverziu signalizácie alebo niektoré funkcie ktoré SER neposkytuje, je hovor smerovaný na univerzitný Asterisk server. Toto smerovanie je pre používateľov transparentné.

8.4 Asterisk

Asterisk je v infraštruktúre UK použitý primárne ako brána do VTS. Sú na neho smerované hovory ktoré nie je zatiaľ možné smerovať cez internet. Asterisk sa na rozdiel od SER nešpecializuje len na protokol SIP, a s prídavným hardvérom je možné ho využiť na špeciálne účely. Asterisk server je tiež použitý ako H.323 prekladač.

Ak by sa v budúcnosti plánovala implementácia *media gateway* do univerzitného VoIP systému, jeden z kandidátov na túto funkciu by mohol byť práve Asterisk server.

8.5 Hardvér

Servery na ktorých beží SER a Asterisk sú bežné počítače na platforme x86. Ako koncové IP telefóny sú použité hardvérové IP telefóny značiek Cisco, GrandStream a InterBell¹⁶, softvérové klienty, hlavne X-lite a KPhone¹⁷ a klasické analógové telefóny v spojení so SIP-FXS bránou Welltech WellGate, popísanou v kapitole 6.4.

8.6 Prepojenie na ENUM

Pre smer, ktorý nemá pevný záznam v číslovacom pláne v SER, sa vykoná dotaz na ENUM stromy, postupujúc v tomto poradí: `e164.arpa`, `e164.uniba.sk`, `e164.bts.sk`, `e164.org` a `freenum.org`. Ak je záznam nájdený v nejakom ENUM strome, ďalšie sa už neprehľadávajú. Ako sme už spomenuli v kapitole 5.2,

¹⁶ hardvérové IP telefóny, bližšie v kapitole 6.1

¹⁷ softvérové IP telefóny, bližšie v kapitole 0

ENUM stromy umožňujú spravovať veľké množstvo volaných smerov delegovaním záznamov na nižšie authority.

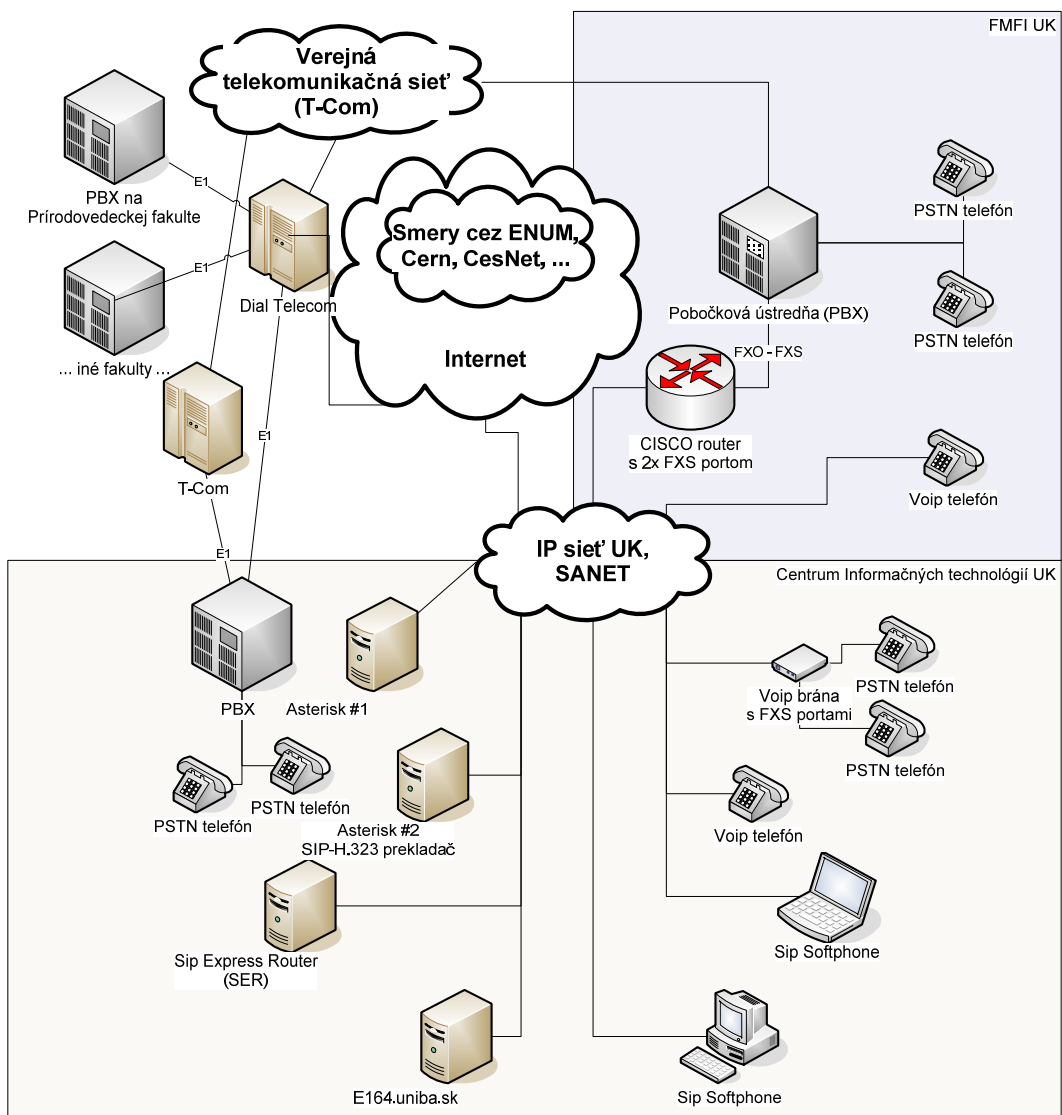
8.7 Prepojenie na verejnú telekomunikačnú sieť

Hovory na čísla, pre ktoré neexistuje ani záznam v číslovacom pláne ani v ENUM stromoch, sú smerované cez univerzitný Asterisk server na poskytovateľa hlasových služieb Dial Telecom. VoIP prepojenie na Dial Telecom je realizované protokolom SIP cez internet.

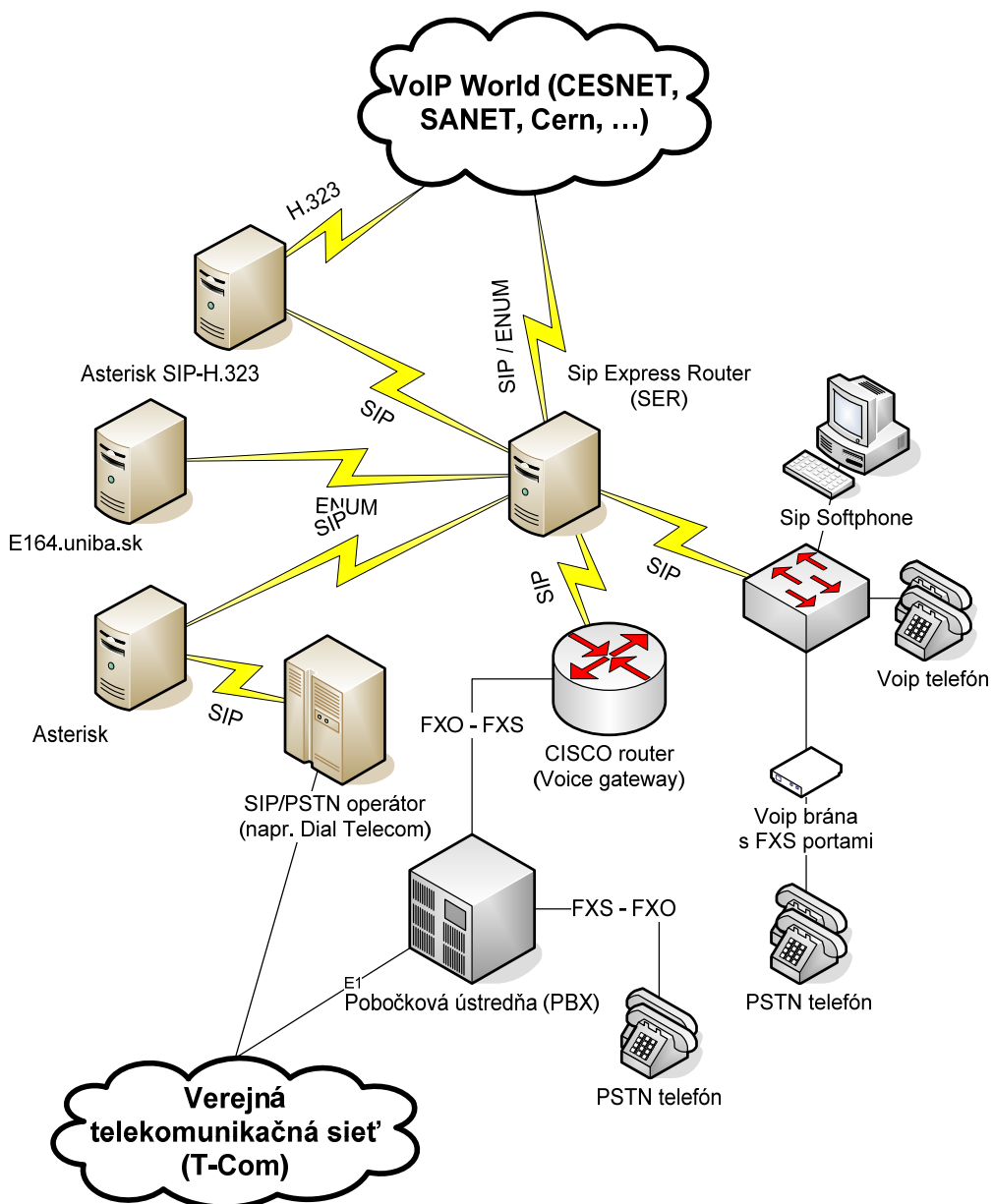
Ďalšie prepojenie s VTS je realizované linkami typu E1 do Dial Telekomu a T-COM z univerzitných pobočkových ústrední.

8.8 Infraštruktúra

Vyššie spomínané komponenty sú prepojené v rámci univerzitnej siete. Sieťový diagram zachytáva aktuálny stav.



Obr. 8-1 Sieťová infraštruktúra VoIP na UK



Obr. 8-2 VoIP infraštruktúra UK

8.9 Zhodnotenie

Diagramy sieťovej topológie a popis komponentov môžu byť v budúcnosti použité pri implementácii nových komponentov, či už ako predloha pri navrhovaní alebo prehľad do prezentácie, prípadne môžu poslúžiť ako súčasť dokumentácie.

9 Štruktúra VoIP hovorov UK

Táto kapitola analyzuje štruktúru hovorov prechádzajúcich cez VoIP bránu UK. Využívame na to informácie z CDR databázy na univerzitnom SER servery. Tieto údaje je možné použiť na vytvorenie grafov alebo štatistík, čo demonštrujeme na dvoch vygenerovaných grafoch.

9.1 Ciele

Cieľom je zistiť možnosti, ktoré nám poskytujú údaje z CDR¹⁸ databázy, a spracovať niektoré metódy na generovanie štatistík alebo grafov z týchto údajov.

9.2 Popis

Prístup k niektorým údajom z CDR databázy hlavného SIP servera nám umožňuje analyzovať štruktúru odchádzajúcich hovorov ktoré prechádzajú cez VoIP bránu. Sme si vedomí, že tieto údaje nezodpovedajú celouniverzitnej štruktúre hovorov, keďže zatiaľ projekt IP telefónie nie je plošne nasadený. Môžu však poslúžiť ako zdroj údajov pri rozhodnutiach týkajúcich sa škálovania VoIP infraštruktúry, a použité metódy je možné znovu použiť pri vytváraní aktuálnejších štatistík.

9.3 Riešenie

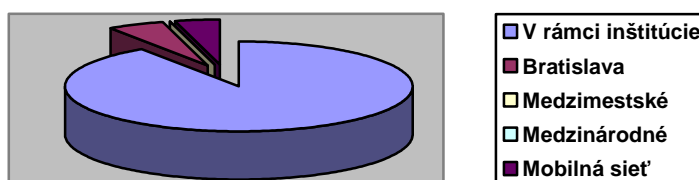
Ako databázový server pre CDR databázu je použitý MySQL server. K údajom pristupujeme cez MySQL klient aplikáciu, v našom prípade sme požili program MysqlFront. Získavanie dát sa uskutočňuje navrhnutím vhodného SQL dotazu, ktorý po vykonaní vráti dáta už spriemerované alebo zgrupované podľa hľadaných údajov, vo for-

¹⁸ Call Details Record, bližšie v kapitole 5.1.3

me priamo použiteľnej ako vstup do generátoru grafu. V našom prípade sme použili na tvorbu grafov priamo vstavanú funkčnosť aplikácie Microsoft Excel.

9.4 Graf odchádzajúcich volaní vzhľadom na destináciu

Pre odchádzajúce volania prechádzajúce cez Sip Express Router sme zostavili koláčový graf znázorňujúci podiel jednotlivých volaných oblastí.



Obr. 9-1 Podiel jednotlivých destinácií na všetkých odchádzajúcich hovoroch

Výsledné údaje sme z CDR databázy získali zostavením nasledujúcich dotazov.

Pre hovory smerujúce do mobilnej siete:

```
select
    count(*), sum(duration), sum(price)
from
    cdr
where
    dst like '%090%'
group by
    worked
```

Pre hovory v rámci inštitúcie:

```
select
    count(*), sum(duration), sum(price)
from
    cdr
where
    way != 'sip'
    or LENGTH(called) < 8
group by
    worked
```

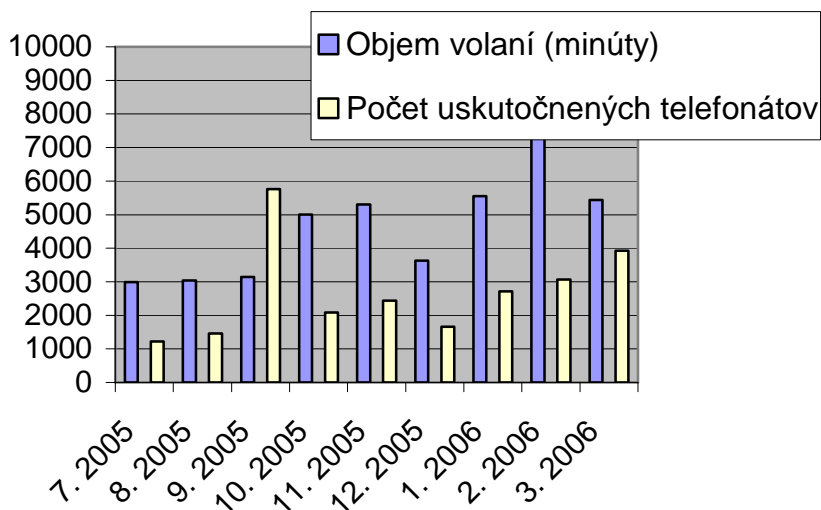
Pre hovory v rámci Bratislavy:

```
select
    count(*), sum(duration), sum(price)
from
    cdr
where
    called like '02%'
group by
    worked
```

9.5 Počet uskutočnených telefonátov v jednotlivých mesiacoch

Graf znázorňujúci objem hovorov a celkový počet minút za jednotlivé mesiace sme získali použitím nasledujúceho SQL dotazu:

```
select
    concat(month(calldate), '.', year(calldate)),
    round(sum(duration)/60), sum(price), count(*)
from
    cdr
group by
    month(calldate), year(calldate)
order by
    calldate
```



Obr. 9-2 Vývoj objemu odchádzajúcich VoIP hovorov

9.6 Zhodnotenie

Štruktúra odchádzajúcich hovorov dáva informáciu o tom, ktorý volací smer má potenciál na optimalizáciu nákladov. Tiež sa pomocou nej dá včas spoznať narastajúci trend hovorov, čo môže včas upozorniť na prípadné nutné rozšírenie kapacít systému. Údaje v CDR databáze obsahujú aj nemalý počet testovacích hovorov, a toto treba brať do úvahy pri interpretovaní výsledných grafov.

10 SIP-H.323 prekladač na UK

Po konzultáciách s odborníkmi zodpovednými za IP telefóniu na UK a po preskúmaní predchádzajúcich aktivít v tejto oblasti sme sa začali zaujímať o možnosti a prínosy realizácie SIP-H.323 prekladača.

Vzhľadom na konkrétne potreby Fakulty Matematiky, Fyziky a Informatiky ale aj iných fakúlt a univerzít, a snahy v minulosti podobné prepojenie realizovať, sa nám ako najaktuálnejšie javí implementácia prepojenia VoIP siete Univerzity Komenského (a teda aj FMFI UK) na inštitúciu CERN vo Švajčiarsku, ktorá využíva protokol H.323. Realizácie tohto prepojenia umožní v budúcnosti pripojenie na iné inštitúcie využívajúce H.323 protokol.

10.1 Ciele

Hlavný cieľ je realizácia SIP-H.323 prekladača na UK. Na uskutočnenie tohto cieľa sme si stanovili nasledujúce podúlohy:

- zistiť viacero alternatív realizácie prekladača, teda spraviť prieskum medzi dostupnými riešeniami, ktoré by sa na náš účel hodili
- zistiť výhody a nevýhody nájdených alternatív
- inštalácia a konfigurácia zvoleného riešenia
- uskutočniť lokálne testovania prekladača
- napojiť prekladač na existujúci systém, ktorý cez neho bude smerovať hovory podliehajúce SIP-H.323 prekladu
- spustenie a vyhodnotenie testovacej prevádzky

10.2 Popis

Primárny účel prekladača je zabezpečiť preklad medzi signalizačnými protokolmi SIP a H.323. Po zvážení situácie v úvahu prichádzajú dvaja kandidáti, ktorí sú schopný zabezpečiť plnohodnotné prekladanie:

- voľne šíriteľný program pod licenciou GPL Asterisk
- Cisco smerovač s IOS verziou 12.2(2)XB a vyššou [16]

Asterisk umožňuje komplexnejšiu integráciu do existujúcej infraštruktúry, je prístupnejší pre administráciu a doladovanie, umožňuje viac nastavení, a má ešte iné výhody pre ktoré sme sa rozhodli ako prvé vyskúšať práve toto riešenie, a v prípade problémov by sme siahli aj k druhej alternatíve.

10.3 Asterisk

Asterisk je softvérová PBX ústredňa postavená na dôslednom návrhu, ktorý spočíva vo flexibilitě dosiahnutej cez dodatočné moduly pripojiteľné k Asterisku cez štyri rôzne API. Samotné jadro Asterisku sa stará iba o základné úlohy: prepínanie, spúšťanie externých aplikácií, prekladanie kódokov, plánovač úloh a nahrávanie externých modulov do pamäte. Ďalšia funkcionálna je prístupná vo forme prídavných modulov.

Preto pre každý protokol ktorý má Asterisk obsluhovať, musí byť doinštalovaný a nakonfigurovaný prídavný modul, ktorý musí implementovať všetky potrebné funkcie na správne fungovanie konkrétneho protokolu, a cez pevne nadefinované rozhranie špecifikované v Asterisk API sa pripojiť na Asterisk. Vďaka dobre navrhnutým rozhraniám Asterisku je možné kombinovať prekladanie medzi rôznymi protokolmi bez nutnosti upravovať ich implementáciu pri požiadavke napojiť sa na iný protokol. V prípade implementácie protokolu do Asterisku formou modulu sa v Asteriskovej terminológii hovorí o kanály.

Keďže sa jedná o *open-source* software, je špecifikácia k rozhraniám voľne dostupná, a každý si môže naprogramovať svoj vlastný modul do Asterisku. V prípade H.323 kanálu vznikli až štyri pracovné skupiny pracujúce na H.323 podpore do Asterisku, a momentálne sú dostupné štyri implementácie H.323 kanálu. Všetky tieto imple-

mentácie sú momentálne v štádiu vývoja, niektoré sú viac iné menej stabilné, poprípade sa nesprávajú štandardne v kombinácií s inými modulmi alebo hardvérovými zariadeniami.

Existujúce implementácie H.323 kanálu sú softvérové balíky oh323, h323, ooh323c a woomera.

10.4 Asterisk-oh323

V čase návrhu tohto riešenia sa nám z dôvodov stability javila ako najlepšia implementácia na báze OpenH323. V prípade zdrojových kódov asterisk-oh323 sa jedná iba o vrstvu zaobalujúcu Asteriskové API pre knižnicu OpenH323. Preto na jeho úspešnú kompiláciu je nutné mať k dispozícii zdrojový kód k nasledujúcim komponentom:

- OpenH323 knižnica – implementácia H.323
- PWLib – Portable Windows Library

10.4.1 Inštalácia PWLib

PWLib je triedová knižnica umožňujúca spúšťanie aplikácií pod viacerými operačnými systémami. K dispozícii sú triedy pre *I/O portability*, *multithreading portability*, triedy užitočné pri písaní portabilných NT a Unix služieb a iné. Kompilácia a inštalácia do systému je priamočiara:

```
[root@asterisk src]# cd pwlib
[root@asterisk pwlib]# make clean; make install
```

Zdrojové kódy budeme ešte potrebovať, vyžaduje ich kompilácia OpenH323.

10.4.2 Inštalácia OpenH323

OpenH323 vyžaduje pri inštalácii správne nastavenú cestu k zdrojovým súborom PWLib v *Makefile*.

```
[root@asterisk src]# cd openh323
[root@asterisk openh323]# make clean; make install
```

Výsledkom kompilácie je okrem samotnej knižnice asi 150MB súborov ktoré sú vyžadované pri kompilácii asterisk-oh323.

10.4.3 Inštalácia asterisk-oh323

Teraz môžeme prísť k samotnej inštalácii asterisk-oh323. Po rozbalení prispôsobíme v *Makefile* cesty k openh323 a PWLib a nastavíme cieľový adresár pre knižnicu. Kompilácia sa spustí obvyklou postupnosťou príkazov:

```
[root@asterisk src]# cd asterisk-openh323
[root@asterisk asterisk-openh323]# make clean; make install
```

Ak sme ako cieľový adresár zvolili cestu ktorá sa nenachádza medzi cestami ktoré sú prehadzované pri *run-time* linkovaní knižníc, upravíme súbor */etc/ld.so.conf* pridaním cieľového adresára a spustíme príkaz

```
[root@asterisk src]# ldconfig
```

10.5 Asterisk CLI (Command Line Interface)

CLI je konzola s príkazovým riadkom umožňujúca zadávať príkazy, pomocou ktorých je možné pristupovať k informáciám a spravovať systém za behu. Pristupuje sa k nej príkazom

```
[root@asterisk /]# asterisk -r
Asterisk 1.0.7-BRIstuffed-0.2.0-RC7k, Copyright (C) 1999-2004 Digium.
Written by Mark Spencer <markster@digium.com>
=====
Connected to Asterisk 1.0.7-BRIstuffed-0.2.0-RC7k currently running on asterisk (pid = 23533)
asterisk*CLI>
```

Podobne ako v linuxovom príkazovom riadku, kláves tabulátor ukazuje ďalšie legitímne parametre napísaného príkazu, čo nám uľahčuje prácu s konzolou. Príkaz *help* zobrazí všetky hlavné príkazové skupiny (príloha B).

Každý prídavný modul do Asterisku môže rozšíriť sadu príkazov o špecifické príkazy týkajúce sa jeho funkcionality. Modul asterisk-oh323 vytvorí nový príkaz 'oh323' umožňujúci výpis rôznych informácií o aktuálnom stave modulu:

```
oh323 debug toggle Toggle on/off debug info for OpenH323 channel driver
oh323 show channels Show info about active OpenH323 channel(s)
oh323 show conf Show config info of OpenH323 channel driver
oh323 show established Show the number of established H.323 channels
oh323 show stats Show statistics of OpenH323 channel driver
oh323 show vars Variables of running OpenH323 channels
```

10.6 Konfiguračné súbory Asterisku

Adresár */etc/asterisk* obsahuje všetky konfiguračné súbory asterisku a všetkých jeho nainštalovaných modulov. Konfiguračné súbory majú rovnakú syntax:

- Komentáre sa začínajú prefixom ‘;’
- Grupovanie parametrov sa označuje ‘[názov_odseku]’
- Názvy parametrov sa od hodnôt oddeľujú ‘=’ alebo ‘=>’
- Väčšina konfiguračných súborov obsahuje [general] odsek v ktorom sa definujú globálne nastavenia. Lokálne nastavenia sa definujú v prislúchajúcich odsekoch podľa konkrétneho súboru.

Stručne popíšeme konfiguračné súbory zodpovedné za podstatnú časť konfigurácie Asterisku v našom konkrétnom prípade. Všetkých konfiguračných súborov je niekoľko desiatok, ale keďže v rámci tohto konkrétneho projektu hrajú iba podriadenú rolu, nebudeme sa všetkými v tejto práci zaoberať. Nasledujúce podkapitoly vysvetľujú niektoré konfiguračné súbory, ktoré môžeme rozdeliť do viacerých skupín podľa toho čo konfigurujú.

10.6.1 Hlavný konfiguračný súbor asterisku

Asterisk.conf definuje adresáre, v ktorých sa nachádzajú všetky komponenty: ostatné konfiguračné súbory, moduly, knižnice, logy a iné.

10.6.2 Kanálové konfiguračné súbory

Prichádzajúce aj odchádzajúce SIP kanály sú definované v súbore *Sip.conf* v tvare:

```
[sip_kanal_1]
type=peer
secret=heslo
username=pouzivatel
host=sip.xxx.sk
fromdomain=sip.uniba.sk
nat=yes
context=poskytovatel

[sip_kanal_2]
type=friend
secret=blah
```

```
host=dynamic
dtmfmode=inband
defaultip=192.168.0.59
mailbox=1234,2345
disallow=all
allow=ulaw
allow=alaw
```

Každý protokol má vlastné parametre ktoré potrebuje mať nakonfigurované, a preto aj každý Asteriskový modul má individuálne parametre vo svojom konfiguračnom súbore. Konfigurácia k modulu *asterisk-oh323* sa nachádza v súbore *oh323.conf*:

```
[general]
listenAddress=158.195.35.19
listenPort=1720
tcpStart=10000
tcpEnd=10100
udpStart=10000
udpEnd=10100
fastStart=no
h245Tunnelling=no
h245inSetup=no
inBandDTMF=no
jitterMin=20
jitterMax=100
ipTos=none
outboundMax=10
inboundMax=10
simultaneousMax=15
gatekeeperTTL=600
userInputMode=TONE
amaFlags=default
accountCode=H323
context=voip-h323

[codecs]
codec=G711A
frames=20
codec=G711U
frames=20
codec=GSM0610
frames=4
codec=G7231
frames=2
codec=G729
frames=2
```

10.6.3 Konfigurácia logovacieho mechanizmu

Súbor *Logger.conf* definuje aké typy správ chceme dostávať na ktorý výstup. Typy správ sú *debug*, *notice*, *warning*, *error* a *verbose*. Formát súboru je:

```
console => notice,warning,error
messages => notice,warning,error
```

10.7 Logové súbory Asterisku

Adresár `/var/log/asterisk` obsahuje všetky logové súbory.

Súbor `event.log` obsahuje systémové hlásenia o stave logovacieho mechanizmu.

Súbor `messages` obsahuje správy vygenerované samotným Asteriskom. Jedná sa hlavne o rôzne varovania a upozornenia: chyby v konfiguračných súboroch (logické alebo parsovanie), varovania pri signalizácií hovorov, chybové hlásenia (kritické alebo nekritické) a iné.

V podadresári `cdr-csv` sa ukladajú informácie o volajúcom, volanom, dĺžke času hovoru, a iné údaje potrebné pre spoplatňovanie.

10.8 Pridanie H.323 volacieho smeru

Volací smer sme pridali upravením súboru `extensions.conf`. Konkrétne pre inštitúciu CERN sme do súboru pridali nasledujúce príkazy:

```
exten => _h32394122767.,1,Dial(OH323/${EXTEN:5}@cphone-ext.cern.ch)
exten => _h32394122767.,2,Hangup
```

Toto zabezpečí, že hovory smerované na náš prekladač s prefixom `_h32394122767` budú ďalej smerované do CERNU. Na to, aby sa hovory vôbec dostali až na prekladač, je nutné upraviť smerovanie na univerzitnom SER serveri. Toto sa dosiahne upravením `ser.cfg`:

```
if (uri=~"^sip:004122767[0-9]*@") {
    prefix("h323");
    rewritehostport("e-learn.uniba.sk:5060");
    route(1);
    break;
};
```

10.9 Zhodnotenie

Softvér sa podarilo nainštalovať bez väčších problémov. Výsledkom je nový aktívny prvok vo VoIP infraštruktúre UK.

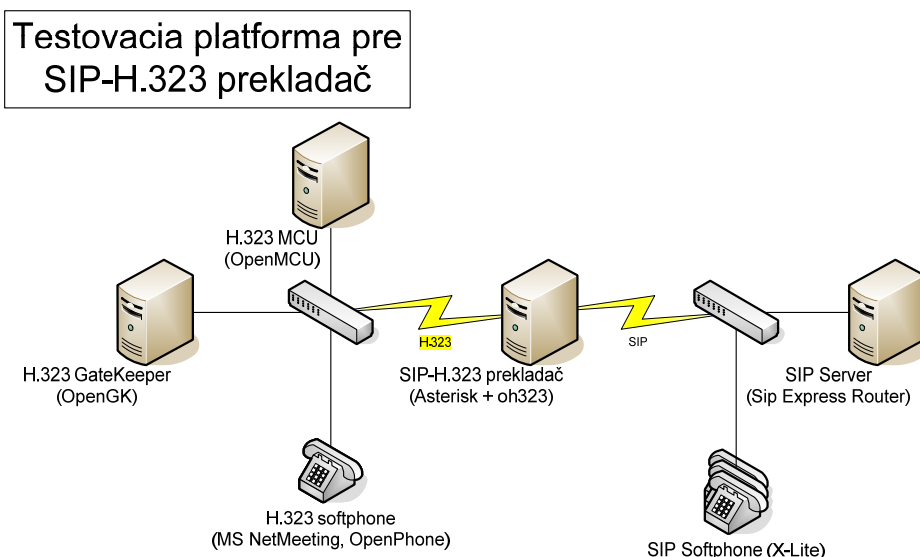
11 Testovacia platforma pre SIP-H.323 prekladač

Telefónna ústredňa v živej prevádzke patrí medzi kritické systémy fungovania inštitúcie, a z tohto dôvodu sme sa rozhodli pred samotným prepojením dvoch ústrední v plnej prevádzke vytvoriť si testovaciu platformu na ktorej by bolo možné identifikovať a diagnostikovať prípadné problémové situácie, bez ohrozenia fungovania inštitúcie.

Vzhľadom na cieľ nášho projektu musí platforma obsahovať minimálne tieto komponenty:

- H.323 Gatekeeper
- H.323 klienti
- H.323-sip gateway
- SIP Server
- SIP klienti

Zapojenie je znázornené na diagrame.



Obr. 11-1 Testovacia platforma pre SIP-H.323 prekladač

11.1 Ciele

Cieľom testovacej platformy je preveriť funkčnosť celého systému pri umelo vygenerovanej záťaži. Tiež si chceme overiť predpoklad, že záťaž systému bude pri 15-tich prebiehajúcich hovoroch minimálna.

11.2 Popis

Objem hovorov ktoré budú smerované cez SIP-H.323 konvertor by sa nemal výrazne odlišovať od objemu hovorov momentálne smerujúcich na inštitúcie ktoré sa chystáme pripojiť pomocou konvertoru. Limit ktorý by v blízkej budúcnosti nemal byť prekročený, sme stanovili na 15 súčasne prebiehajúcich hovorov.

Stabilitu systému sme sa rozhodli otestovať dvomi metódami:

- Syntetickým testom v ktorom sa na konvertor pripojí 15 *command-line* klientov a tieto budú konvertor zaťažovať tak isto ako by ho zaťažovalo 15 súčasne prebiehajúcich hovorov.
- Spätnou odozvou od všetkých účastníkov testovacej prevádzky. Na tento účel sme pripravili formuláre (príloha A), ktoré budú distribuované medzi účastníkov testovacej prevádzky. Formulár bol navrhnutý tak, aby zachytával objektívne ukazovatele kvality spojenia (napr. či bol hovor prerušený), ale vyžaduje od účastníka aj aby oznámkoval kvalitu hovoru známkou podľa štandardu MOS (*Mean Opinion Score*) z rozsahu 1-5, čo nám umožňuje zachytiť subjektívnu kvalitu prekladania tak, ako ju vníma účastník hovoru, a porovnať s MOS hodnotou pre hovory ktoré nie sú prekladané cez SIP-H.323 prekladač.

11.2.1 Syntetický záťažový test

Pre účel syntetického testovania existujú špecializované komerčné softvérové nástroje. Keďže žiaden z nich neponúka voľne prístupnú demoverziu, ani bezplatnú licenciu pre školy alebo študentov, pokúsili sme sa nájsť vhodnú alternatívu medzi *open-source* softvérom.

Väčšina *open-source* testovacích nástrojov (*Nasty*, *SIP bomber*, *sipsak*, *SIPTest Harness*) ponúka len možnosť testovania samotného SIP protokolu, teda generovanie SIP správ, ale samotným dátovým tokom sa nijako nezaobrá.

Ako východisko sme zvolili program *PlaySIP* zo softvérového balíka *LIVE* [www.live555.com]. Po stiahnutí nasleduje rozbalenie a kompilácia. Inštalácia nie je nutná keďže chceme využívať iba samostatnú utilitu *playSIP* a nepotrebujeme v systéme ostatnú funkcionálnu ponúkanú balíkom *LIVE*.

```
frlo@e-learn:~$ cd live
frlo@e-learn:~/live$
frlo@e-learn:~/live$ ./genMakefiles linux
frlo@e-learn:~/live$ make
frlo@e-learn:~/live$ cd testProgs
frlo@e-learn:~/live/testProgs$ ./playSIP
Usage: ./playSIP [-p <startPortNum>] [-r|-q|-4|-i] [-a|-v] [-V] [-e <endTime>] [-E <max-inter-packet-gap-time>] [-c] [-s <offset>] [-n] [-O] [-u <username> <password> [<proxy-server> [<proxy-server-port>]]] [-A <audio-codec-rtp-payload-format-code>]-D <mime-subtype-name> [-w <width> -h <height>] [-f <frames-per-second>] [-y] [-H] [-Q [<measurement-interval>]] [-F <filename-prefix>] [-b <file-sink-buffer-size>] [-B <input-socket-buffer-size>] [-I <input-interface-ip-address>] [-m <url>] (or ./playSIP -o [-V] <url>)
```

Napíšeme si jednoduchý *shellovský* skript ktorý nám spustí požadovaný počet SIP klientov bežiacich na pozadí, a po stlačení klávesy ich korektne ukončí. Prichádzajúci zvukový stream ukladá do súborov *teststream\$i.mov* vo formáte QuickTime.

```
#!/bin/bash

# skript spusti $POCETKLIENTOV sip klientov
# pripajajucich sa na $SIPURI
# a zapisuje prichadzajuci zvukovy stream
# do prislusneho suboru vo formate QuickTime

# pocet klientov
POCETKLIENTOV=10
# SIP URI volaneho cisla
SIPURI=323601@localhost

COUNTER=0
echo Spustam $POCETKLIENTOV klientov
while [ $COUNTER -lt $POCETKLIENTOV ]; do
  echo Spustam klienta $COUNTER
  ./playSIP -q sip:$SIPURI > teststream$COUNTER.mov &
  let COUNTER=COUNTER+1
done

echo Na ukoncenie testu stacte Enter
read
pkill -HUP playSIP
```

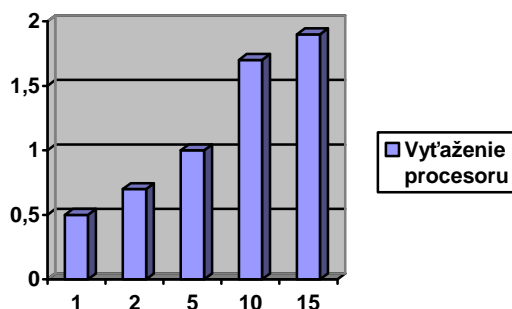
11.2.2 Spätná odozva z testovacej prevádzky

Získavanie spätnej odozvy z testovacej prevádzky sme si naplánovali do viacerých etáp:

1. Navrhnutie formulárov;
2. Distribúcia formulárov medzi účastníkov testovacej prevádzky;
3. Zozbieranie formulárov;
4. Vyhodnotenie údajov.

11.3 Zhodnotenie

Syntetický záťažový test ukázal, že pri pätnástich prebiehajúcich hovoroch je záťaž prekladača pod 2%. Kvalita hovoru nebola počas testovania znížená



Obr. 11-2 Vytáženie procesoru pri SIP-H.323 translácií

Spätná odozva s použitím formulárov neobsahovala dostatočný počet záznamov na to, aby mohla byť ohodnotená MOS hodnotením. Pristúpili sme k získavaniu hodnotenia testovacej prevádzky osobným kontaktom so zúčastnenými. S hovormi do CERNU na bežné čísla neboli hlásené žiadne problémy, a celkovo boli hodnotené ako „veľmi dobré“. S konferenčnými hovormi o viacerých účastníkoch sme zaznamenali ojedinelý výskyt problémov, celkovo však bolo hodnotené ako „dobré“. (Príloha D).

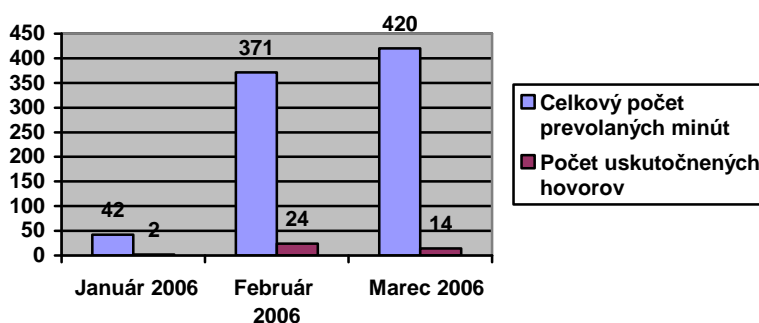
12 Záver

IP telefónia je značne rozsiahla a rýchlo sa rozvíjajúca oblasť. Za hlavné prínosy tejto práce považujeme podanie uceleného pohľadu na túto problematiku a praktickú časť realizovanú v rámci projektu IP telefónie na Univerzite Komenského.

Metodickým zavedením SIP-H.323 prekladača ako nového prvku do existujúcej infraštruktúry sme získali poznatky o postupe pri zavádzaní nových sieťových prvkov v IP telefónii. Táto práca môže poslúžiť ako čiastočný návod pri zavádzaní VoIP prvkov do existujúcich infraštruktúr. Čitateľ má možnosť sa v práci oboznámiť s analýzou, návrhom, realizáciou a testovaním takéhoto riešenia.

Za ďalší prínos považujeme rozšírenie podporovaných protokolov a s tým spojenú možnosť pružnejšie reagovať na potreby používateľov. Rozšírili sme množinu inštitúcií na ktoré je možné pripojiť VoIP systémy UK. Výsledkom práce je pridanie volacieho smeru do CERNu medzi bezplatné volacie smery, čím vzniká potenciál ušetrenia finančných prostriedkov.

Najväčším uspokojením pre nás je spokojnosť používateľov, čoho dôkazom je aj poďakovanie zo strany katedry fyziky (Príloha D).



Obr. 12-1 Využitie SIP-H.323 prekladača

Vzhľadom na to, že sa jedná o rozsiahlu tému, nebolo v našich silách sa venovať každej oblasti spadajúcej pod IP telefóniu. Myslíme si však, že oblasti pokryté v našej práci zodpovedajú aktuálnemu vývoju v tejto problematike. Medzi oblasti ktorým sme sa nemohli venovať patria:

-
- V práci sme sa nevenovali bezpečnosti VoIP systémov. Je to dôležitá súčasť IP telefónie a myslíme si že táto rozsiahla oblasť by mohla byť osobitnou témou samostatnej diplomovej práce.
 - Nerozvinuli sme problematiku konverzie kódekov a *media gateway*, o ktorej implementácií sme v rámci projektu IP telefónie na UK uvažovali. Implementácia *media gateway* je zároveň zaujímavý námet na praktickú diplomovú prácu v prostredí UK.
 - V práci spomenutému transferu prebiehajúceho hovoru sme venovali málo priestoru.

13 Slovník skratiek a výrazov

Skratka	Celý názov v angličtine	Slovenský popis
backend		zadná, alebo databázová časť systému, nie je prístupná klientovi, využíva ju prevádzkovateľ systému na jeho interné potreby
circuit-switched	circuit-switched	okruhovo-prepínaná
ENUM	Electronic Number Mapping	
FXO	Foreign Exchange Office	rozhranie ktoré sa pripája na analógovú PBX ústredňu, alebo na iné FXS rozhraniegeneruje indikátory ' položený ' a ' zdvihnutý ' na signalizáciu uzavretosti okruhu; nachádza sa napríklad na analógovom telefóne alebo na VOIP bráne ktorú potrebujeme pripojiť na PBX
FXS	Foreign Exchange Subscriber	rozhranie ktoré sa pripája priamo na FXS rozhranie (napríklad priamo do analógového telefónu)poskytuje zvonenie, elektrické napätie a volací tónnachádza sa na PBX alebo na VOIP bráne na ktorú chceme pripojiť analógové telefóny
GSM	Global System for Mobile Communication	
NAPTR	Naming Authority Pointer	
NAT	Network Address Translation/Translator	
packet-switched	packet-switched	paketovo-prepínaná
PBX	Private Branch Exchange	menšia, súkromne vlastnená telefónna ústredňa (v podnikoch, inštitúciách)poskytuje FXS a FXO rozhraniaumožňuje účastníkom komunikovať medzi sebou (klapky) a s vonkajším svetom
PIN	Personal Identification Number	
PSTN	Public Switched Telephone Network	Klasická telefónna sieť
Radius	Remote Authentication Dial-In User Server/Service	Protokol na autentifikáciu a logovania prístupov
SIP	Session Initiation Protocol	
URI	Uniform Resource Identifier	
VoIP	Voice over IP (Internet Protocol)	
WLAN	Wireless Local Area Network	Bezdrôtová sieť

14 Zoznam použitej literatúry

- [1] K. Dinh: "*Perceived QoS in VoIP with Different Usage Patterns*". Master Thesis. Department of Telematics, NTNU, Jún 2004
- [2] ITU-T: "*ITU-T Recommendation G.113, Transmission Impairments Due to Speech Processing*". ITU-T, 2001
- [3] ITU-T: "*GLOBAL IMPLEMENTATION OF ENUM: A TUTORIAL PAPER*", ITU-T, Február 2002; dostupné na internete: <http://www.itu.int/itudoc/itu-t/com2/infodocs/010.html>
- [4] Cisco: "*Understanding Codecs: Complexity, Hardware Support, MOS, and Negotiation*"; dostupné na internete: http://www.cisco.com/warp/public/788/voip/codec_complexity.htm
- [5] IETF, RFC 3261: "*SIP: Session Initiation Protocol*". IETF, Jún 2002; dostupné na internete: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3261.txt?number=3261>
- [6] IETF, RFC 2396: "*Uniform Resource Identifiers (URI): Generic Syntax*". IETF, August 1998; dostupné na internete: <http://rfc.sunsite.dk/rfc/rfc2396.html>
- [7] Cisco: "*Understanding H.323 Gatekeepers*"; dostupné na internete: <http://www.cisco.com/warp/public/788/voip/understand-gatekeepers.html#h225rassiggate>
- [8] Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks (TIPHON): "*Open Settlement Protocol (OSP) for Inter-Domain pricing, authorization and usage exchange*", November 2003; ; dostupné na internete: http://www.transnexus.com/OSP%20Toolkit/ts_101321v040101p.pdf
- [9] IETF, RFC 2916: "*E.164 number and DNS*", September 2000; dostupné na internete: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2916.txt>
- [10] IETF, RFC 2915: "*The Naming Authority Pointer (NAPTR) DNS Resource Record*", dostupné na internete: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2915.txt>

-
- [11] Cisco: “*Understanding Delay in Packet Voice Networks*”; dostupné na internete: <http://www.cisco.com/warp/public/788/voip/delay-details.html>
- [12] Telekomunikačný úrad Slovenskej republiky: “*Číslovací plán*”, 1991; dostupné na internete: <http://www.teleoff.gov.sk/sk/Cislovanie/cisl-plan.html>
- [13] Salman A. Baset and Henning Schulzrinne: “*An Analysis of the Skype Peer-to-Peer Internet Telephony Protocol*”. Department of Computer Science, Columbia University, New York NY 10027, September 15, 2004; dostupné na internete: <http://www1.cs.columbia.edu/~library/TR-repository/reports/reports-2004/cucs-039-04.pdf>
- [14] Cisco: “*SIP Call Transfer and Call Forwarding Supplementary Services*”; dostupné na internete: <http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/software/ios122/122newft/122limit/122y/122yt/122yt11/ftsipcal.htm#wp1027184>
- [15] Cisco: “*H.323 and SIP integration*”; dostupné na internete: [http://www.sipcenter.com/sip.nsf/html/WEBB5YP4SU/\\$FILE/Cisco_sh23g_wp.pdf](http://www.sipcenter.com/sip.nsf/html/WEBB5YP4SU/$FILE/Cisco_sh23g_wp.pdf)
- [16] Cisco: “*Cisco IOS X-Release 12.2(2)XB*”; dostupné na internete: http://www.cisco.com/en/US/products/sw/iosswrel/ps1835/prod_bulletin09186a0080091f4f.html

15.2 Príloha B

```
asterisk*CLI> help
    ! Execute a shell command
    abort halt Cancel a running halt
    add extension Add new extension into context
    add ignorepat Add new ignore pattern
    add indication Add the given indication to the country
    add queue member Add a channel to a specified queue
    agi debug Enable AGI debugging
    agi no debug Disable AGI debugging
    bri debug span Enables BRI debugging on a span
    bri intense debug span Enables REALLY INTENSE BRI debugging
    bri no debug span Disables BRI debugging on a span
    database del Removes database key/value
    database deltree Removes database keytree/values
    database get Gets database value
    database put Adds/updates database value
    database show Shows database contents
    debug channel Enable debugging on a channel
    devstate Set the device state on one of the "pseudo devices".
    dont include Remove a specified include from context
    dump agihtml Dumps a list of agi command in html format
    extensions reload Reload extensions and *only* extensions
    help Display help list, or specific help on a command
    include context Include context in other context
    init keys Initialize RSA key passcodes
    load Load a dynamic module by name
    local show channels Show status of local channels
    logger reload Reopens the log files
    logger rotate Rotates and reopens the log files
    meetme Execute a command on a conference or conferee
    mgcp audit endpoint Audit specified MGCP endpoint
    mgcp debug Enable MGCP debugging
    mgcp no debug Disable MGCP debugging
    mgcp reload Reload MGCP configuration
    mgcp show endpoints Show defined MGCP endpoints
    no debug channel Disable debugging on a channel
    odbc connect Connect to ODBC DSN
    odbc disconnect Disconnect from ODBC DSN
    odbc show Show ODBC DSN(s)
    oh323 debug toggle Toggle on/off debug info for OpenH323 channel driver
    oh323 show channels Show info about active OpenH323 channel(s)
    oh323 show conf Show config info of OpenH323 channel driver
    oh323 show established Show the number of established H.323 channels
    oh323 show stats Show statistics of OpenH323 channel driver
    oh323 show vars Variables of running OpenH323 channels
    pri debug span Enables PRI debugging on a span
    pri intense debug span Enables REALLY INTENSE PRI debugging
    pri no debug span Disables PRI debugging on a span
    pri show span Displays PRI Information
    reload Reload configuration
    remove extension Remove a specified extension
    remove ignorepat Remove ignore pattern from context
    remove indication Remove the given indication from the country
```

```

remove queue member Removes a channel from a specified queue
restart gracefully Restart Asterisk gracefully
  restart now Restart Asterisk immediately
restart when convenient Restart Asterisk at empty call volume
save dialplan Save dialplan
  set debug Set level of debug chattiness
  set verbose Set level of verbosity
show agents Show status of agents
  show agi Show AGI commands or specific help
show applications Shows registered applications
show application Describe a specific application
show audio codecs Shows audio codecs
show autoanswer Lists autoanswer channels
show channels Display information on channels
show channel Display information on a specific channel
show codecs Shows codecs
  show codec Shows a specific codec
show conferences Show status of conferences
show config handles Show Config Handles
  show dialplan Show dialplan
show file formats Displays file formats
show image codecs Shows image codecs
show image formats Displays image formats
show indications Show a list of all country/indications
  show keys Displays RSA key information
show manager command Show manager command
show manager commands Show manager commands
show manager connected Show connected manager users
  show modules List modules and info
show parkedcalls Lists parked calls
  show queue Show status of a specified queue
  show queues Show status of queues
  show switches Show alternative switches
show translation Display translation matrix
  show uptime Show uptime information
  show version Display version info
show video codecs Shows video codecs
show voicemail users List defined voicemail boxes
show voicemail zones List zone message formats
  sip debug Enable SIP debugging
  sip debug ip Enable SIP debugging on IP
  sip debug peer Enable SIP debugging on Peername
  sip history Enable SIP history
  sip no debug Disable SIP debugging
  sip no history Disable SIP history
  sip reload Reload SIP configuration
sip show channels Show active SIP channels
sip show channel Show detailed SIP channel info
sip show history Show SIP dialog history
sip show inuse List all inuse/limit
  sip show peer Show details on specific SIP peer
  sip show peers Show defined SIP peers
  sip show peers begin Show defined SIP peers
  sip show peers exclude Show defined SIP peers
  sip show peers include Show defined SIP peers
  sip show registry Show SIP registration status
sip show subscriptions Show active SIP subscriptions
  sip show users Show defined SIP users

```

skinny debug Enable Skinny debugging
skinny no debug Disable Skinny debugging
skinny show lines Show defined Skinny lines per device
soft hangup Request a hangup on a given channel
stop gracefully Gracefully shut down Asterisk
stop now Shut down Asterisk immediately
stop when convenient Shut down Asterisk at empty call volume
unload Unload a dynamic module by name
... výpis skrátěny

15.3 Príloha C



Ministry of Transport, Posts and Telecommunications
of the Slovak Republic Post and Telecommunications Division
Nám. slobody 6, P.O.Box 100, 810 05 Bratislava 15

Fax message

To: The Director of ITU/ TSB
ITU
Geneva Switzerland

Tel.:
Fax: +41 22 730 58 53
co: richard.hill@itu.int
enum-request@ripe.net

From: Eva Sumbalová
Telecommunications Dept.

Tel.: +421 2 5949 4268
Fax.: +421 2 5273 1437
E-mail: eva.sumbalova@telecom.gov.sk

Date:

Number of pages: 1 + 3

Re: Request for delegation of the Slovak country code zone 1.2.4.e164.arpa for ENUM trial

Dear Sir,

The Ministry of Transport, Posts and Telecommunications of the Slovak Republic (MDPT SR), responsible for E.164 country code 421, hereby requests you to delegate the ENUM country code zone 1.2.4.e164.arpa (that corresponds to the Slovak Republic Country Code (CC) 421) for the Slovak Republic. The purpose is to enable interested parties in the Slovak Republic to start ENUM field trials.

Please find attached the completed ENUM Request Form Template from RIPE NCC.

This attachment replaces - after discussions between the MDPT SR and the Slovak Academic Network Association - the one sent by Mr. Martin Stanislav to RIPE NCC on 30th April 2003

Yours sincerely,

Viliam Podhorsky
Director General
Post and Telecommunications Division

15.4 Príloha D



UNIVERZITA KOMENSKÉHO
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky
Mlynská dolina, 842 48 Bratislava

Pod'akovanie

Fakulta matematiky, fyziky a informatiky si týmto dovoľuje vyjadriť pod'akovanie študentovi piateho ročníka informatiky Petrovi Frličkovi za inštaláciu softwaru pre zabezpečenie spojenia medzi protokolmi SIP a H.323, ktorý je potrebný pre realizáciu VoIP spojenia najmä do CERNu, ale aj do iných inštitúcií používajúcich pre VoIP volania protokol H.323. Vzhľadom na premanentnú potrebu účasti na telefonických konferenciách, ktoré trvajú spravidla 2 - 4 hodiny nám táto služba šetrí nemalé finančné prostriedky. Služba funguje bez problémov. Ďalej by sme sa chceli spomínanému študentovi pod'akovať aj za mnohé cenné informácie, ktoré nám o danej problematike poskytol, technickú pomoc a podporu pri riešení vzniknutých drobných problémov a trvalý záujem o to, aby tieto služby naplno prispôsobil našim požiadavkam.

Prof. RNDr. Jozef Masarik, DrSc.
(prodekan pre vedu a výskum)