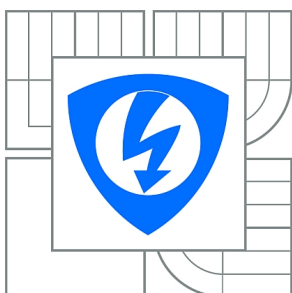




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

ANALÝZA AUDIO KODEKŮ UŽÍVANÝCH PŘI IP TELEFONII

ANALYSIS OF AUDIO CODECS APPLIED IN IP TELEPHONY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MICHAL HLAVICA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. VLADISLAV ŠKORPIL, CSc.

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Telekomunikační a informační technika

Student: Bc. Michal Hlavica

ID: 98054

Ročník: 2

Akademický rok: 2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Analýza audio kodeků užívaných při IP telefonii

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s protokoly (SCCP a SIP) a s kodeky používanými v IP telefonii (podle doporučení ITU-T G.711 – G.729). Z ITU-T doporučení vyberte kodeky aktuálně nepoužívanější a dále nové perspektivní kodeky, které již byly implementovány. Navrhněte vhodné kodeky pro různé aplikace. V Laboratoři komunikačních systémů na CISCO vysokorychlostním systému nakonfigurujte IP telefonii. Navrhněte parametry vhodné k porovnávání kodeků a protokolů jako např. ztráta paketů, zpoždění, jitter, ozvěna, šířka pásma, věrnost reprodukce zvuku, apod. Porovnejte různé kodeky a protokoly, které budete mít v síti CISCO k dispozici. Analyzátozem VeEX realizujte analýzu navržené IP telefonie. Vypracujte srovnávací grafy a tabulky, výsledky podrobte diskusi. Navrhněte metodiku analýzy. Testování připravte také k využití ve výuce, tj. navrhněte zadání pro studenty a připravte vzorový protokol.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] WALLACE, K. Cisco VoIP. CPRESS, Brno 2009, ISBN 978-80-251-2228-0

[2] ODOM, W., HEALY, R., MEHTA, N. Směrování a přepínání sítí. CPRESS, Brno 2009, ISBN 978-80-251-2520-5

[3] BLUNÁR, K., IVIŠ, Z. Telekomunikační sítě, 2.díl. VŠB-TU, Ostrava 2006. ISBN 80-248-1077-8

Termín zadání: 6.2.2012

Termín odevzdání: 24.5.2012

Vedoucí práce: doc. Ing. Vladislav Škorpil, CSc.

Konzultanti diplomové práce:

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Problematika této diplomové práce je zaměřena na analýzu audio kodeků využívaných při IP telefonii. Pozornost teoretické části je věnována především rozboru audio kodeků podle doporučení ITU-T, dále také signalizačním protokolům zde využívaných.

Pro praktickou část analýzy je zvolen směrovač Cisco 2821 a IP telefony Cisco 7975G. Konfigurace je prováděna přes operační systém Cisco IOS. Signalizační protokol je vybrán SCCP. K samotné analýze jsou zvoleny 2 analyzátoři – LE-580FX a Fluke NetTool. Tyto jsou využity v kombinaci s programem Wireshark. Parametry, které jsou analyzovány, jsou zpoždění, ztrátovost, šířka pásma, jitter a věrnost reprodukce zvuku. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v grafech a tabulkách a podrobeny diskuzi. Výstupem práce je dále laboratorní úloha zabývající se analýzou audio kodeků.

KLÍČOVÁ SLOVA

IP telefonie, VoIP, ITU-T, kodek, standard, analýza, Cisco, směrovač, laboratorní úloha.

ABSTRACT

Issue of this diploma thesis is focused on analysis of audio codecs used within IP telephony. Attention of teoretical part is given mostly to audio codecs according to ITU-T recommendations, but also to signaling protocols used here.

For practical part of analysis is chosen router Cisco 2821 and IP phones Cisco 7975G. Configuration is done over operating system Cisco IOS. Chosen signaling protocol is SCCP. For analysis itself are chosen 2 analysers – L-580FX and Fluke NetTool. These are used in combination with program Wireshark. Analysed parameters are latency, packet lost, bandwidth, jitter and mean opinion score. Measured values are presented in graphs and tables and they are discussed.

Next output of the thesis is laboratory excercise, which deals with analysis of audio codecs.

KEY WORDS

IP telephony, VoIP, ITU-T, codec, standard, analysis, Cisco, router, laboratory excercise.

HLAVICA, M. Analýza audio kodeků užívaných při IP telefonii. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 53 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Vladislav Škorpil, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Analýza audio kodeků užívaných při IP telefonii jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

.....
podpis autora

Poděkování

Tímto děkuji vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Vladislavu Škorpilovi, CSc. za odbornou a metodickou pomoc při zpracování této práce. Dále velice děkuji Ing. Michalu Polívkovi za věcnou a trpělivou konzultaci problematiky. Děkuji rodičům, za umožnění studia a podporu.

Výzkum popsáný v této diplomové práci byl realizován v laboratořích podpořených z projektu SIX; registrační číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operační program Výzkum a vývoj pro inovace.

Obsah

1. Úvod:	11
2. Audio kodeky	12
3. ITU-T	12
4. VoIP	12
4.1. Kvalita hovorů.....	15
4.2. Lineární prediktivní kódování (LPC).....	15
5. Signalizační protokoly VoIP	17
5.1. Protokol SCCP	17
5.2. Protokol SIP	17
6. Standardy	18
6.1. Standard G.711.....	18
6.2. Standard G.712.....	20
6.3. Standard G.718.....	21
6.3.1. CELP	22
6.3.2. MDCT	23
6.4. Standard G.719.....	23
6.5. Standard G.722.....	23
6.5.1. ADPCM.....	25
6.6. Standard G.723.....	25
6.6.1. Standard G.723.1.....	26
6.7. Standard G.726.....	27
6.8. Standard G.727.....	28
6.9. Standard G.728.....	29
6.10. Standard G.729.....	29
7. CISCO	31
7.1. Cisco IOS a jeho nasazení	31
7.1.1. Dial-peery	32
7.2. Konfigurační režimy	33
7.3. Konfigurace linky	33
7.3.1. Konfigurace v rámci paketové sítě	33
7.3.2. Konfigurace v rámci směrovače CE-VoIP.....	35
8. Analýza kodeků.....	37
8.1. Analýza pomocí LAN analyzátoru LE-580FX	38

8.1.1.	Výsledky analýzy - Wireshark	38
8.2.	Analýza pomocí síťového analyzátoru FLUKE.....	42
9.	Laboratorní úloha	45
9.1.	Laboratorní úloha 1 – Analýza IP telefonie – LE-580FX.....	45
9.1.1.	Laboratorní úloha 1 – Analýza IP telefonie – LE-580FX – verze pro učitele	47
10.	Závěr	50

Seznam obrázků

Obrázek 6.1 – kompresní charakteristika s vyznačenými segmenty	19
Obrázek 6.1 – blokový diagram kodéru G.722	24
Obrázek 7.1 – dial-peer a etapy volání.....	32
Obrázek 7.2 – schéma volání přes paketovou síť.....	34
Obrázek 7.3 – schéma volání v rámci směrovače CE-VOIP	35
Obrázek 8.1 – analyzátor sítě LE-580FX	38
Obrázek 8.2 – ukázka zachycených SCCP paketů	39
Obrázek 8.3 – šířka pásma hovoru při použití kodéku G.711.....	40
Obrázek 8.4 – šířka pásma hovoru při použití kodéku G.729.....	40
Obrázek 8.5 – šířka pásma hovoru při použití kodéku iLBC	40
Obrázek 8.6 – zpoždění a jitter při použití kodéku G.711	41
Obrázek 8.7 – RTP proud při použití kodéku G.711	41
Obrázek 8.8 – zpoždění a jitter při použití kodéku G.729	42
Obrázek 8.9 – RTP proud při použití kodéku G.729	42
Obrázek 8.10 – Fluke NetTool Series 2 Inline network	43
Obrázek 8.11 – report VoIP logu	43
Obrázek 8.12 – report VoIP Monitor	44
Obrázek 9.1 – schéma zapojení – lab. úloha	46
Obrázek 9.2 – schéma zapojení – lab. úloha (učitelská verze).....	47
Obrázek 9.3 – tělo SCCP paketu v programu Wireshark	49

Seznam tabulek

Tabulka 4.1 – parametr MOS a kvalita hovoru.....	15
Tabulka 4.2 – přehled vlastností standardů	15
Tabulka 5.1– specifikace G.712	20
Tabulka 6.1 – základní operační módy G.722.....	25
Tabulka 9.1 – šířka pásma kodeků – lab. úloha.....	49

1. Úvod:

Cílem teoretické části této práce je v první řadě rozebrat problematiku IP telefonie, konkrétně oblast VoIP (Voice over Internet Protocol). Dále se lehce dotknout samotného principu této technologie, její historie a prvního nasazení. A protože digitální přenos takto velkých objemů dat se neobejde bez jejich komprese, hlavní teoretický rozbor se zabývá kodeky, které jsou zde nasazovány, avšak vesměs pouze těmi, které jsou standardizovány podle doporučení ITU-T. Jedná se o doporučení G.710 – G.729. Tyto jsou rozebrány z hlediska funkce, přenosových parametrů a nasazení.

V rámci praktické části si tato práce klade za cíl nakonfigurovat IP telefonii na směrovači Cisco. K tomu je využit operační systém Cisco IOS, což je systém, který je nasazován téměř na všech přepínačích a směrovačích firmy Cisco v dnešní době. Hardwarem použitým k tomuto účelu jsou IP telefony Cisco 7975G a směrovač Cisco 2821.

Po správném nakonfigurování telefonie je třeba analyzovat audio kodeky použité pro kódování hlasu. Konkrétní kodeky jsou vybrány na základě teoretických podkladů této práce. K analýze je využito dvou síťových analyzátorů a programu Wireshark, který se jeví jako velice vhodný pro tento účel. Parametry analýzy, které jsou zvoleny pro porovnání jednotlivých kodeků, jsou ztrátovost paketů, zpoždění, jitter, šířka pásma a věrnost reprodukce zvuku.

Dále je také součástí praktické části vypracována laboratorní úloha, která se zabývá právě analýzou audio kodeků pro VoIP telefonii. Je v ní použito analyzátoru LE-580FX v kombinaci s programem Wireshark. Úloha si dále klade za cíl nahlédnout do signalizačních protokolů využívaných v tomto odvětví a také základů konfigurace v operačním systému IOS.

2. Audio kodeky

Audio kodeky jsou ve svém významu rozlišné matematické modely používané k digitálnímu zakódování a kompresi analogové audio informace. Kodeky ukládají tyto informace do zakódované formy (většinou za účelem přenosu, komprese nebo šifrování), ale častěji se používají naopak pro obnovení přesné nebo alespoň přibližné původní formy dat vhodné pro reprodukci, případně jinou manipulaci.

Protože lidské smyslové orgány nejsou zdaleka dokonalé, mnoho těchto modelů využívá nedokonalosti sluchového ústrojí. Stejně jako tomu je i u ostatních smyslů, tak i zde lidské tělo vychází z určitých předpokladů a zavedených vzorců, což v praxi znamená, že si některé zvuky dokážeme domyslet, navzdory jejich nepřítomnosti v reprodukováném audio signálu.

Dále se také využívá metod, které vychází z předpokládaného průběhu a charakteru audio signálu. Například můžeme určité vzorky signálu „předpovědět“ za pomoci sofistikovaných nástrojů.

Jednotlivé metody mohou výrazně snížit přenosovou šířku pásma, avšak se tak může dít na úkor kvality hovoru nebo také výpočetní náročnosti. Proto je potřeba tyto faktory zvážit a zohlednit při výběru vhodného kodeku pro konkrétní aplikaci. Metody budou podrobně probrány v rámci jednotlivých specifikací a jsou určeny hlavně požadavky a oblastmi nasazení.

3. ITU-T

Telekomunikační standardizační sektor (ITU-T) koordinuje standardy pro telekomunikaci, a to jménem Mezinárodní telekomunikační unie (ITU), která sídlí v Ženevě, ve Švýcarsku.

Z toho plyne, že hlavním produktem ITU-T jsou doporučení (standardy). V současnosti je jich v platnosti více než 3000. Tyto doporučení definují, jak telekomunikační sítě operují a spolupracují. Jedná se o standardy, které jsou hojně využívány v celosvětovém měřítku, a to navzdory faktu, že nejsou závazné. Je to díky vysoké kvalitě a také protože garantují vzájemnou konektivitu sítí a služeb po celém světě.

Audio kodeky, kterými se tato práce bude zabývat, se nachází ve skupině doporučení G (Transmission systems and media, digital systems and networks).

4. VoIP

Voice over IP (rovněž označovaný jako VoIP, IP telefonie nebo internetová telefonie) označuje technologii, která umožňuje přenášet hlasovou komunikaci prostřednictvím Internetu nebo počítačové sítě. Aby mohl uživatel volat prostřednictvím VoIP, potřebuje softwarový nebo hardwarový telefon VoIP (popř. klasický analogový telefon + bránu VoIP). Protokol VoIP umožňuje

volat kamkoli a komukoli - na čísla VoIP i osobám s normálními telefonními čísly. První využívání VOIP se datuje do roku 1995 [1].

Voice over Internet Protocol (VoIP) sítě kombinují to nejlepší z hlasových a datových komunikačních síťových technologií. Ale tato kombinace také přináší některé výzvy, protože se snaží kombinovat to nejlepší ze sítí se spojováním okruhů (ze strany hlasové komunikace) a ze sítí se spojováním paketů (ze strany komunikace datové).

Tradiční hlasové sítě jsou klasifikovány jako spojově orientované sítě, ve kterých je cesta od zdroje k cíli vytvořena ještě před samotnou výměnou informací. Když uživatel zvedne sluchátko, síť je informována, že je požadována služba a vrátí vytáčený tón. Koncový uživatel poté vytočí cílové číslo. Když druhá strana odpoví zvednutím sluchátka end-to-end spojení je vytvořeno. Po zavěšení můžou být prostředky sítě přerozděleny dalším konverzacím. Nevýhodou tohoto procesu je nepružné přidělení pásma a také spotřeba prostředků na pozadí spojení (signalizace). Na druhou stranu je obrovskou výhodou, že po navázání spojení by vlastnosti cesty (zpoždění, sled výměny informací, atd.) měly zůstat neměnné.

Naproti tomu stojí datové sítě, jakožto nespojově orientované sítě. Zde je celá zdrojová i cílová adresa připojena k paketům a ty jsou pak „vhozeny“ do sítě pro doručení na zadanou adresu. Neznáme cestu, kudy bude paket cestovat sítí, než dosáhne cíle, a tak se v závislosti na přenosové cestě může zpoždění značně měnit. Také je možné že se paket na cestě sítí ztratí nebo je špatně doručen. Na tomto principu funguje také IP protokol, který byl původně navržen pouze pro přenos dat.

A tak s příchodem požadavků jako jsou zvuk, video či fax přes IP protokol, které jsou velice citlivé na zpoždění, musely být zavedeny nové protokoly, které zaplnily některé obrovské mezery. Mezi nejdůležitější zavedené protokoly patří:

- **Multicast Internet Protocol**
Multicast umožňuje posílat informace z jednoho zdroje více cílům, což bylo potřeba pro zavedení konferencí.
- **Real - Time Transport Protocol**
RTP zprostředkovává funkce, jako jsou číslování paketů, časové známky a označuje typ obsahu.
- **RTP Control Protocol**
RTCP monitoruje kvalitu RTP spojení.
- **Resource Reservation Protocol**
RSVP požaduje vyhrazení prostředků k zajištění adekvátního pásma mezi odesílatelem a příjemcem.
- **Real-Time Streaming Protocol**
RTSP podporuje doručení dat v reálném čase.
- **Session Description Protocol**
SDP doručuje informace o datových proudech konkrétní relace. Obsahuje jméno relace, čas kdy bude relace aktivní, o jaké médium se jedná (hlas, video,...), potřebnou šířku pásma, atd.
- **Session Announcement Protocol**
SAP pakety jsou periodicky vysílány k identifikaci otevřených relací, které by mohly zajímat koncového uživatele.

Díky těmto protokolům, které podpořily časově citlivé aplikace, mohla být ponechána stávající IP struktura a zároveň do ní nasadit oba typy aplikací – spojově i nespojově orientované.

Při nasazení technologie VoIP mohou být použity tyto 4 základní funkční prvky:

Terminál – jedná se o koncové zařízení, které je schopné přenášet hlas přes internet, resp. kteroukoliv jinou datovou síť, kde je možné nasadit IP protokol. V zásadě rozeznáváme 2 typy terminálů (telefonů).

Prvním z nich jsou telefony založené na hardwaru. Může se jednat o VoIP telefony, SIP telefony nebo IP telefony, ale v principu se jedná o totéž zařízení, které je založeno na principu přenosu hlasu přes IP protokol. Vypadají jako běžné telefonní přístroje, ale namísto PSTN systému využívají pro přenos IP.

Druhým typem jsou telefony založené na softwaru. V podstatě se může jednat o jakýkoliv počítač, který má nainstalovanou aplikaci softwarového telefonu a je schopen zaznamenávat a přehrávat zvuk.

Brána (Gateway) – je to zařízení, které převádí telefonní provoz do protokolu IP, který lze následně přenášet prostřednictvím datové sítě. To umožňuje použití stávajících klasických analogových telefonů pro VoIP telefonii. Naopak lze také pomocí brány přijímat hovory z běžné telefonní sítě. Brána VoIP může existovat jako externí zařízení nebo karta PCI. Jedná se o nepovinné zařízení, které dokáže propojit síť se spojováním okruhů se sítí se spojováním paketů.

Správce (Gatekeeper) – pro určitou skupinu terminálů (tzv. zónu) obvykle existuje zařízení, které vykonává funkci správce. Tento správce by se dal přirovnat k telefonní ústředně, která má informace o všech terminálech v zóně a zprostředkovává sestavování hovorů. Avšak oproti klasické telefonní ústředně správce obvykle zajišťuje pouze sestavení spojení (vyhledání volaného, signalizace a řízení hovoru). Samotný hovor (přenos dat) probíhá pouze mezi koncovými terminály stylem peer-to-peer. V případě potřeby však mohou být hovory vedeny přes správce (např. při velkém zatížení některých cest může takto hovory přesměrovat). Gatekeeper zprostředkovává spojení také do jiných zón, které jsou pod správou jiného správce. Pokud by však hovor měl směřovat do sítě jiného typu (např. PSTN), pak musí být použita brána, jak bylo zmíněno výše v textu.

Správce je hardwarové zařízení nebo softwarová aplikace starající se o udržování a překlad IP adres koncových terminálů a bran, dále směrování hovorů, jejich účtování a přidělování přenosového pásma, čímž se omezuje celková spotřeba přenosové kapacity sítě. To je velmi důležité u rozsáhlých telekomunikačních sítí.

Jedná se o nepovinné zařízení stejně jako u brány. Pokud se správce v síti nenachází, pak terminály komunikují přímo mezi sebou.

4.1. Kvalita hovorů

Použitím různých metod kódování, je ovlivněna také výsledná kvalita hovoru, a tím i parametr MOS (Mean opinion score), který slouží k subjektivnímu hodnocení kvality. Dříve byl určován souborem měření provedených lidmi, v dnešní době se používá ekvivalentního umělého aparátu. Tento parametr může dosáhnout maximálně hodnoty 5 a hraniční hodnotou pro nasazení v oblasti VoIP je 2,6. Kvalita hovoru, která je ohodnocena nižším číslem, se tedy považuje za neuspokojivou.

V dnešní době se velice často používá také parametr R-faktor, který lze na MOS přepočíst pomocí převodního vztahu, avšak vychází z funkcí softwarových prostředků, tedy již se nejedná o parametr subjektivní. R-faktor byl zaveden z důvodu nárůstu komplexnosti a složitosti dnešních moderních sítí a systémů.

V následující tabulce je uveden přehled kvalit hovorů a jim náležícím hodnotám MOS.

MOS	Kvalita	hodnocení
5	Vynikající	Nepostřehnutelné chyby
4	Dobrá	Postřehnutelné, ale nerušící
3	Ucházející	Lehce rušící
2	Bídňá	Rušící
1	Špatná	Velmi rušící

Tabulka 4.1 – parametr MOS a kvalita hovoru

Nejnámější doporučení, jejich náročnost na šířku pásma a kvalita hovoru při nasazení.

Standard	Algoritmus	CBR[Kbps]	NEB[Kbps]	MOS[-]
G.711	PCM	64	87,2	4,1
G.726	ADPCM	32	55,2	3,85
G.728	LD-CELP	16	31,5	3,61
G.729	CS-ACELP	8	31,2	3,92
G.723.1	MP-MLQ	6,3	21,9	3,9
G.723.1	ACELP	5,3	20,8	3,65
iLBC	BI-LPC	15	27,7	4,14

Tabulka 4.2 – přehled vlastností standardů

4.2. Lineární prediktivní kódování (LPC)

Linear Predictive Coding je kódovací algoritmus ztrátové komprese. Jedná se o velice efektivní způsob analýzy a zpětné rekonstrukce hlasového signálu použitelného pro velké množství kodeků s nízkou přenosovou rychlostí. Protože lidská řeč sestává z opakujících se zvukových elementů, je možné sestavit jakousi databázi – kódovací knihu. Zbytek hlasu je pak asociován se záznamy z této knihy. Poté se přenáší pouze odkazy do této databáze + charakteristické informace o hlasu. Zpětnou syntézou pak vznikne vysoce kvalitní podoba původního hlasu.

Signál $\tilde{s}(n)$ je dán lineární kombinací několika předchozích vzorků, považujeme jej za predikci skutečného vzorku $s(n)$. Dále a_i jsou LPC koeficienty a p je řád prediktoru.

$$\tilde{s}(n) = - \sum_{i=1}^p a_i s(n-i).$$

Chyba predikce je pak rozdíl skutečné a predikované hodnoty:

$$e[n] = s[n] - \tilde{s}[n].$$

Samozřejmě platí, že čím je lepší predikce, tím je menší chyba.

K výpočtu LPC koeficientů můžeme použít autokorelační koeficienty $\phi[i,j]$:

$$\phi[i,j] = \sum_n s[n-i]s[n-j],$$

což vede k soustavě snadno řešitelných lineárních rovnic.

Získáme korelační koeficienty $R[k]$, o nichž platí vztah $R[|i-j|] = \phi[i,j] = \phi[j,i]$.

$$R[k] = \sum_{n=0}^{N-1-k} s[n]s[n+k].$$

Na základě těchto korelačních koeficientů můžeme přímo spočítat LPC koeficienty řešením soustavy rovnic:

$$\sum_{n=1}^p R[|n-i|]a_n = -R[i] \text{ pro } 1 \leq i \leq p.$$

V případě maticového zápisu této soustavy rovnic ji můžeme řešit algoritmem Lewinson-Durbin (tzn. že matice je symetrická a Töplitzova):

$$E^{(0)} = R[0],$$

což je inicializace energie chyby predikce. Algoritmus postupně zvyšuje řád prediktoru i od 1 do p :

$$k_i = - \frac{R[i] + \sum_{j=1}^{i-1} a_j^{(i-1)} R[i-j]}{E^{(i-1)}},$$

kde $a_j^{(i)}$ je j -tý koeficient prediktoru řádu i .

$$a_i^{(i)} = k_i \text{ a } a_j^{(i)} = a_j^{(i-1)} + k_i a_{i-j}^{(i-1)} \text{ pro } 1 \leq j \leq i.$$

Výsledkem jsou pak koeficienty a_i filtru $A(z)$.

5. Signalizační protokoly VoIP

Pro technologii VoIP se používá mnoho signalizačních a řídicích protokolů. Mezi takové se řadí např. sada protokolů H.323, protokol MGCP, SIP nebo SCCP. Nicméně v rámci této práce byl použit protokol SCCP, a tak tento bude popsán nejpodrobněji, dále bude zmíněn také velmi často nasazovaný protokol SIP.

5.1. Protokol SCCP

SCCP – celým názvem Skinny Client Control Protocol. Jedná se o proprietární protokol od společnosti Cisco, který je nasazován pro komunikaci koncových zařízení s aplikací Cisco UCM. Z pohledu využití v této práci, je velkou předností tohoto protokolu, že je typu klient-server, což znamená, že každá událost, která nastane na koncovém zařízení (zvednutí sluchátka, zmáčknutí tlačítka, atd.), je ve formě zprávy odeslána do aplikace UCM. UCM pak vyhodnotí tuto zprávu a na základě podnětu odešle příslušnou instrukci zpět do koncového zařízení. Koncová zařízení, která využívají protokol SCCP se nazývají klienti Skinny. Tito klienti mají z logiky věci menší režii zpracování.

Jak již bylo zmíněno, jedná se o protokol proprietární, což je také jeho nespornou výhodou. Znamená to, že je možno poměrně jednoduše přidávat nové funkce a protokol měnit bez velkých potíží. SCCP je hojně využívaný v sítích VoIP, téměř výhradně u IP telefonů společnosti Cisco. Protokol je kompatibilní a může spolupracovat se zařízeními pracujícími s protokolem H.323.

5.2. Protokol SIP

Jedná se o protokol vyvinutý jako alternativa k protokolu H.323. Je založen na principech WWW a tak jej lze velmi snad implementovat. Proto je často používán u bran a proxy serverů pro interní signalizaci a signalizaci koncových uživatelů.

SIP je protokol typu peer-to-peer a funkce je založena na tom, že uživatelští agenti iniciují relace. Ke komunikaci je využíváno kódování znaků ASCII, a proto lze protokol velmi snadno implementovat a řešit jakékoliv nastalé komplikace.

Při využití aplikace Cisco UCM tato neřídí zařízení založená na protokolu SIP a stejně tak se zde tato zařízení neregistrují. UCM pouze potvrzuje, zda je komunikace mezi aplikací Cisco UCM a branou SIP možná.

6. Standardy

6.1. Standard G.711

Oficiální název pro tento standard je Pulse code modulation (PCM) of voice frequencies, což by se dalo přeložit jako Pulzní kódová modulace hlasových frekvencí. Jedná se o standard použitý v mnoha technologiích (H.320, H.323,...), který byl poprvé zaveden v roce 1972 [5].

G.711 je navržen hlavně pro kódování hlasově-frekvenčních signálů, což znamená, že je zaměřen na kódování řeči a je proto primárně používán v IP telefonii (VoIP).

Nominální hodnota doporučená pro vzorkování je 8000 vzorků za sekundu s tolerancí ± 50 částí na milion – ppm (parts per million). Je používána logaritmická kvantizace, kde 8 dvojkových číslic na vzorek by mělo být použito pro mezinárodní okruhy. Z těchto dvou předpokladů vychází výsledná přenosová rychlost 64kbit/s.

Jak již bylo řečeno, standard využívá logaritmického kódování, což vyplývá z předpokladu, že lidské ucho vnímá změnu intenzity mnohem více při nízkých úrovních signálu. To znamená, že vzorky s nižší intenzitou budou zakódovány s větší přesností než vzorky s intenzitou vyšší. Dalším faktorem, který mluví pro volbu tohoto kódování je fakt, že vzorky s nižší intenzitou se obvykle vyskytují v řečovém signálu mnohem častěji.

Existují 2 základní kódovací techniky, které jsou známy jako A-law a μ -law. Digitální cesty mezi zeměmi, které si osvojily různé kódovací metody, by měly být kódovány podle metody A-law. Obě techniky jsou logaritmické, avšak A-law byl upraven pro jednodušší zpracování počítačem.

A-law

Jedná se o algoritmus, používaný v Evropě k upravení dynamického rozsahu analogových signálů pro digitalizaci. Je velice podobný algoritmu μ -law.

Rovnice popisující A-law kódování, pro vstup x .

$$F(x) = \operatorname{sgn}(x) \begin{cases} \frac{A|x|}{1 + \ln(A)}, & |x| < \frac{1}{A} \\ \frac{1 + \ln(A|x|)}{1 + \ln(A)}, & \frac{1}{A} \leq |x| \leq 1, \end{cases}$$

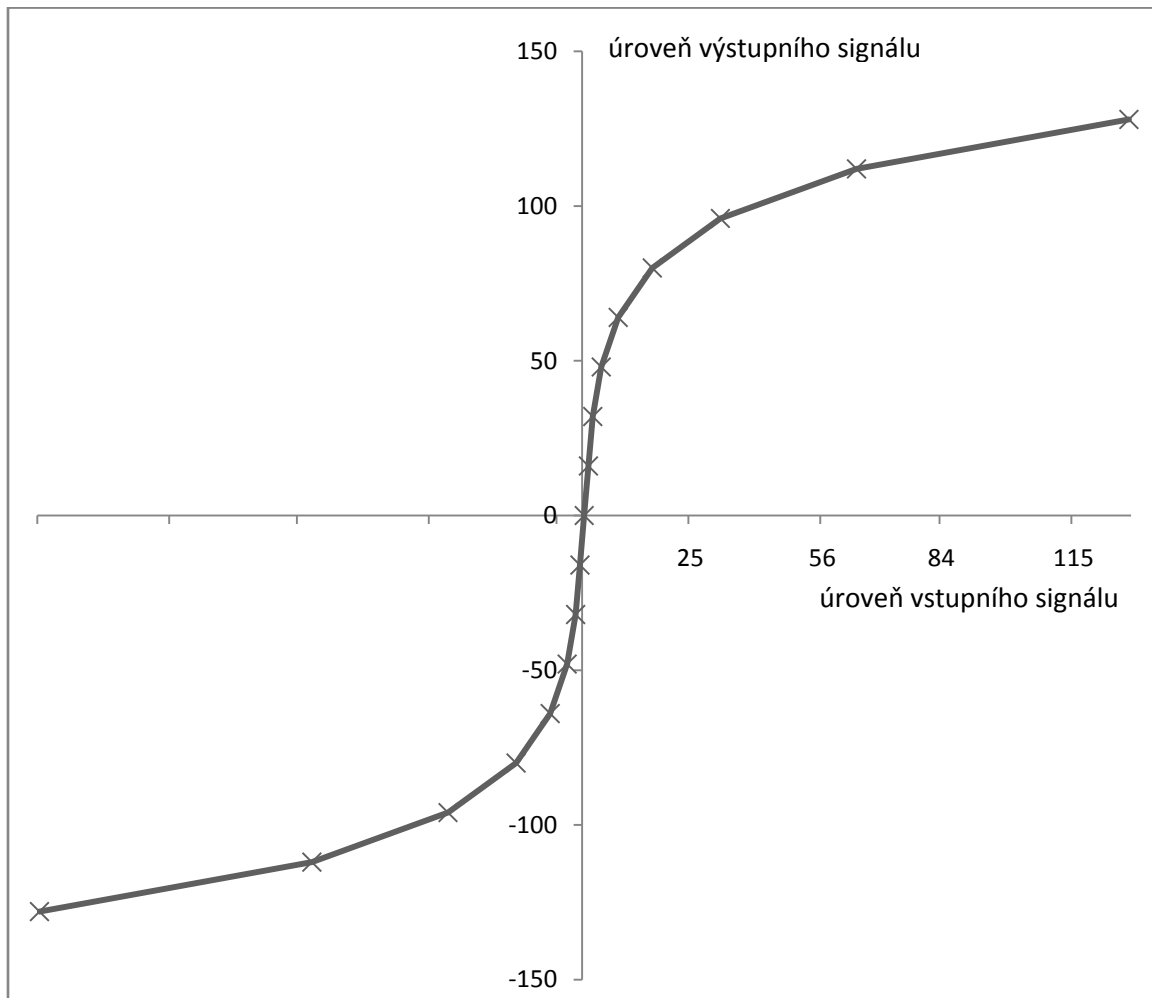
kde A je kompresní parametr. V Evropě, $A = 87,7$, někdy je používána také hodnota 87,6.

Pro expanzi (dekompresi) je dána inverzní funkce.

$$F^{-1}(y) = \operatorname{sgn}(y) \begin{cases} \frac{|y|(1 + \ln(A))}{A}, & |y| < \frac{1}{1 + \ln(A)} \\ \frac{\exp(|y|(1 + \ln(A)) - 1)}{A}, & \frac{1}{1 + \ln(A)} \leq |y| < 1. \end{cases}$$

Důvodem pro toto kódování je, že široké spektrum řeči, dobře nekorresponduje s lineárním digitálním kódováním. A-law algoritmus efektivně redukuje dynamický rozsah signálu a zvyšuje efektivitu kódování.

V praxi je však teoretický vzorec (1) upraven a je používáno dělení kompresní charakteristiky do 13ti lineárních úseků (viz obr.1). Z toho vyplývá, že se jedná o ztrátovou kompresi. Ve skutečnosti je úseků 16, ale 3 centrální úseky jsou spojeny.



Obrázek 6.1 – kompresní charakteristika s vyznačenými segmenty

μ -law

Jedná se o velice podobný algoritmus jako A-law, ale používá se v Japonsku a Severní Americe. V porovnání s A-law poskytuje o něco větší dynamický rozsah, ale za cenu většího poměrného zkreslení u signálů s malou intenzitou.

Pro daný vstup x , je kompresní rovnice popisující μ -law kódování následující:

$$F(x) = \operatorname{sgn}(x) \frac{\ln(1 + \mu|x|)}{\ln(1 + \mu)}, \quad -1 \leq x \leq 1,$$

kde $\mu = 255$ (8 bitů) v Severoamerických a Japonských standardech. Rozsah této funkce je od -1 do 1, jak je vidět z rovnice 3.

Expanze (dekomprese) pro μ -law je dána inverzní rovnicí:

$$F^{-1} = (y) = \text{sgn}(y) \left(\frac{1}{\mu} \right) \left((1 + \mu)^{|y|} - 1 \right), \quad -1 \leq y \leq 1.$$

V mezinárodní komunikaci podle dohody platí, že pokud alespoň jedna ze stran používá algoritmus A-law, pak je tento použit pro spojení.

Použití standardu G.711 pro VoIP dává vynikající hlasovou kvalitu. Jedná se o stejný kodek, který je používán PSTN sítí a ISDN linkami. Proto při použití tohoto standardu hlas zní jako z běžného telefonu. Má také velice malé zpoždění, protože komprese je velice nenáročná na výpočetní zpracování. Nevýhodou je oproti jiným kodekům velká šířka pásma, až 84 kbps (zahrnující všechny další TCP/IP data, která se přenáší). Avšak s narůstající použitelnou šířkou pásma v dnešní době se to nejeví jako velký problém. G.711 je tak podporován většinou poskytovatelů VoIP technologie.

Dodatky:

G.711.0 (G.711 LLC) – Bezeztrátová komprese G.711 pulzní kódové modulace byla schválena v roce 2009 a nabízí až 50ti procentní redukci ve využití šířky pásma

G.711.1 – Dodatek byl uveden v roce 2008. Hlavním cílem je širokopásmová rozšířitelnost pro nejvíce používaný standard G.711. Dodatek je navržen k dosažení ještě nižšího zpoždění a složitosti.

6.2. Standard G.712

Přenosové výkonnostní charakteristiky pulzně kódované modulace kanálů je překlad pro oficiální název Transmission performance characteristics of pulse code modulation channels. Tento standard se zabývá přenosovými výkonnostními charakteristikami PCM kanálů přenášenými skrz digitální přenosová zařízení. Bylo požadováno propojení 4 drátových a 2 drátových analogových portů, stejně jako požadavky na analogově-digitální a digitálně-analogové spojení. Tento souhrnný standard v sobě zahrnuje a tím nahrazuje předchozí standardy G.712, G.713, G.714 a G.715. Konkrétní specifikace jednotlivých, dnes již oficiálně neexistujících, standardů můžeme vidět v tabulce 3.

Kanál	Předchozí ITU-T doporučení
4-drátový na 4-drátový analog	G.712
2-drátový na 2-drátový analog	G.713
4-drátový na digitál	G.714
2-drátový na 4-digitál	G.715

Tabulka 5.1 – specifikace G.712

Výkonnostní charakteristiky, které jsou v tomto standardu definovány, vychází z použití mezi hlasově frekvenčními porty a/nebo mezi hlasově frekvenčními porty a digitálními porty PCM kanálu kódovaných podle standardu G.711.

Výraz "port" je pro toto doporučení definován jako funkční jednotka (např. konektor) PCM zařízení, skrz které signál vstupuje nebo opouští jednotku pod testem.

6.3. Standard G.718

Frame error robust narrow-band (NB) and wideband (WB) embedded variable bit-rate coding of speech and audio from 8-32 kbit/s je název standardu dle doporučení ITU-T. Volně přeloženo se jedná o úzkopásmové (NB) a širokopásmové (WB) kódování řeči a zvuku s proměnnou bitovou rychlostí od 8 do 32kbit/s, které je odolné k chybám rámců.

Tento kodek zprostředkovává nejmodernější úzkopásmovou kvalitu v nejnižších přenosových rychlostech a dále nejmodernější širokopásmovou kvalitu přes celý rozsah přenosových rychlostí. Navíc je standard G.718 nastaven tak, aby byl vysoce odolný k chybám vymazání rámců. A tímto také ovlivňuje hlasovou kvalitu při použití v IP transportních aplikacích na fixních, bezdrátových a mobilních sítích. Navzdory jeho pevně dané povaze (hlasový přenos) kodek také velice dobře pracuje s NB i WB obecnými zvukovými signály.

Kodek má rozšířitelnou strukturu, dovolující maximální flexibilitu v přenosu hlasových paketů skrz IP síť dnešní doby a také budoucích sítí, podléhajícím multimediálním požadavkům. Struktura standardu G.718 umožňuje, aby byl kodek rozšířen k zprostředkování super-širokého (super-wideband 50Hz-14kHz) pásma a schopnost přenosu stereo audia skrz vrstvy, které jsou zatím ve vývoji. Bitový proud může být zkrácen v dekodéru nebo jakýmkoliv komponentem komunikačního systému k okamžité úpravě bitové rychlosti na požadovanou hodnotu bez signalizace mimo pásmo. Kodér produkuje pevně daný bitový proud strukturovaný do 5ti vrstev korespondujícími s 5ti dostupnými bitovými rychlostmi: 8, 12, 16, 24 a 32 kbit/s. G.718 kodér může přijmout WB vzorkované signály o kmitočtu 16kHz nebo NB signály s frekvencí buď 8 nebo 16kHz. Stejně tak, výstup dekodéru může být 16kHz WB nebo 8/16kHz NB. Vstupní signály vzorkované s 16ti kHz bez omezení šířky pásma na NB jsou rozpoznány kodérem.

Potom je výstup tohoto kodeku schopný operovat s šířkou pásma 300-3400Hz při přenosové rychlosti 8 a 12kbit/s a také s 50-7000Hz při 8-32kbit/s.

Vysoce kvalitní jádro kodeku reprezentuje značné vylepšení výkonnosti, poskytující širokopásmový řečově čistý ekvivalent o přenosové rychlosti 8kbit/s k ITU-T kodeku G.722.2 o rychlosti 12,65kbit/s, zatímco 8kbit/s úzkopásmově operující kodek zajišťuje řečovou kvalitu ekvivalentní k ITU-T kodeku G.729E o rychlosti 11,8kbit/s. To znamená značnou úsporu prostředků.

Kodér operuje s 20ms rámci a má maximální algoritmické zpoždění 42,875ms pro WB a 43,875 pro NB. Kodek může být rovněž použit v módu pro nízké zpoždění, kde je maximální bitová rychlost kodéru a dekodéru 12kbit/s. V tomto případě je maximální algoritmické zpoždění redukováno na 10ms.

Obsažené algoritmy jsou založeny na dvou etapové kódovací struktuře o pěti vrstvách: 2 spodní vrstvy pracují na metodě kódování CELP (code-excited linear prediction), kódující pásmo 50-6400Hz. Jádro vrstvy využívá výhody klasifikace signálu k použití optimalizovaných kódovacích módů pro každý rámeček. Vyšší vrstvy (3-5) kódují vážený chybový signál ze spodních vrstev pomocí modifikované diskretní kosinovy transformace (MDCT). Několik technologií je používáno k dekódování MDCT koeficientů pro maximalizaci výkonnosti řeči i hudby.

6.3.1. CELP

Hlavní princip CELP se nazývá analýza-syntéza a znamená, že kódování (analýza) je založeno na učebním optimalizování dekódovaného (syntéza) signálu v uzavřené smyčce. Teoreticky to znamená, že nejlepšího výsledku by bylo dosaženo zkoušením všech možných bitových kombinací a vybráním toho nejlépe znějícího dekódovaného signálu. To však v praxi není možné, jednak z důvodu obrovské požadované komplexnosti, která je za hranicí dostupného hardwaru a dále protože výraz “nejlépe znějící” zahrnuje lidského posluchače.

K zachování kódování v reálném čase je CELP rozložen do menších sekvencí, které používají jednoduchou vjemově váženou funkci. Algoritmus je založen na čtyřech hlavních myšlenkách:

1. Využití zdrojového modelu řečové produkce skrz lineární predikci (LP).
2. Použití adaptivní a fixní kódové knihy jako vstup LP modelu.
3. Vyhledání vjemově vážené domény v uzavřené smyčce
4. Aplikování vektoru kvantizace

K pochopení kódovacího procesu je vhodné nejdříve popsat funkci dekodéru. Výsledný signál (excitace) je produkován jak směs z adaptivní a stochastické (fixní) kódové knihy.

$$e[n] = e_a[n] + e_f[n],$$

kde $e_a[n]$ je příspěvek adaptivní kódovací knihy a $e_f[n]$ je příspěvek kódovací knihy fixní. Fixní kniha je slovník kvantizačních vektorů, který je ať už implicitně nebo explicitně zakódován v kodeku. Vstupy z adaptivní knihy se skládají ze zpožděných verzí excitace. To ji činí efektivní ke kódování periodických signálů, jako jsou signály hlasové.

Funkce kodéru pak sestává z následujících bodů:

1. Lineárně predikční koeficienty jsou sečteny a kvantizovány, většinou jako LSP (lineární spektrální páry – vhodnější pro přenos).
2. Dále je vyhledána adaptivní kódovací kniha a její příspěvek odstraněn.
3. V posledním kroku je nová fixní kniha vyhledána.

Většina moderních audio kodeků se snaží tvarovat kódovací šum tak, aby se objevoval většinou ve frekvenčních oblastech, kde ho lidské ucho nemůže zaznamenat. Ucho je více tolerantní k šumu v částech spektra, které jsou hlasitější a naopak. Proto namísto minimalizování kvadratické chyby, CELP minimalizuje chybu ve vjemově vážených doménách.

6.3.2. MDCT

Modifikovaná diskretní kosinova transformace je založena na typu-IV diskretní kosinovy transformace s přídavným přesahem. Jednotlivé datové bloky přesahují v tom smyslu, že se poslední polovina jednoho bloku kryje s první polovinou bloku následujícího. Jedná se o velice složité procesy a výpočty, které přesahují rámec této práce, takže zde nebude podrobněji tato metoda rozebrána, pouze bude zmíněno, že právě tyto přesahy činí MDCT velice přitažlivou pro kompresní aplikace, speciálně pro moderní ztrátové audio formáty, zahrnující MP3, Vorbis a mnohé další včetně G.718 [7].

6.4. Standard G.719

Low-complexity, full band audio coding for high-quality, conversational applications je oficiální název dle ITU-T. Volný překlad je celopásmové audio kódování s nízkou složitostí pro konverzační aplikace.

Doporučení popisuje kódovací algoritmus pro konverzační řeč a audio s nízkou složitostí a využívající celou šířku pásma.

Vstup kodéru a stejně tak výstup dekodéru jsou vzorkovány na 48kHz. Kodek umožňuje použití celé šířky pásma od 20Hz do 20kHz, kódující řeč, hudbu a obecně audio obsah s přenosovou rychlostí 32-128kbit/s. Kodek operuje na 20ms rámcích a má algoritmické zpoždění 40ms.

Algoritmus je založen na transformačním kódování s adaptivním časovým rozlišením, adaptivní bitovou alokací a mřížkou vektorové kvantizace s nízkou složitostí.

Tento standard s vysokou kvalitou výrazně vybočuje z doporučení série G. Kvalitou může být porovnatelný s audiem ve formátech Vorbis, MPEG-4 Part 3 (ACC) nebo MP3. Je to první audio standard s takto vysokou kvalitou vydaný ITU-T. Umožňuje používat i stereo či vícekanálový zvuk. Standard G.719 vychází ze základů formátu G.722.1.

Ačkoliv bylo primární využití kodeku v interaktivní hlasové komunikaci, existuje několik instancí, ve kterých je ukládání ITU-T G.719 kompresovaného audia nezbytné: Nahrávání telekonferenčních relací, např. pro výuku. Dále je to hlasová pošta, vyzváněcí hudba při čekání na spojení nebo nahrávání online "jam" relací.

Dále je důležité zmínit, že ITU-T G.719 nespécifikuje konkrétní úložný formát, pouze používá ITU-T G.192 bitového proudu pro použití v algoritmických simulacích.

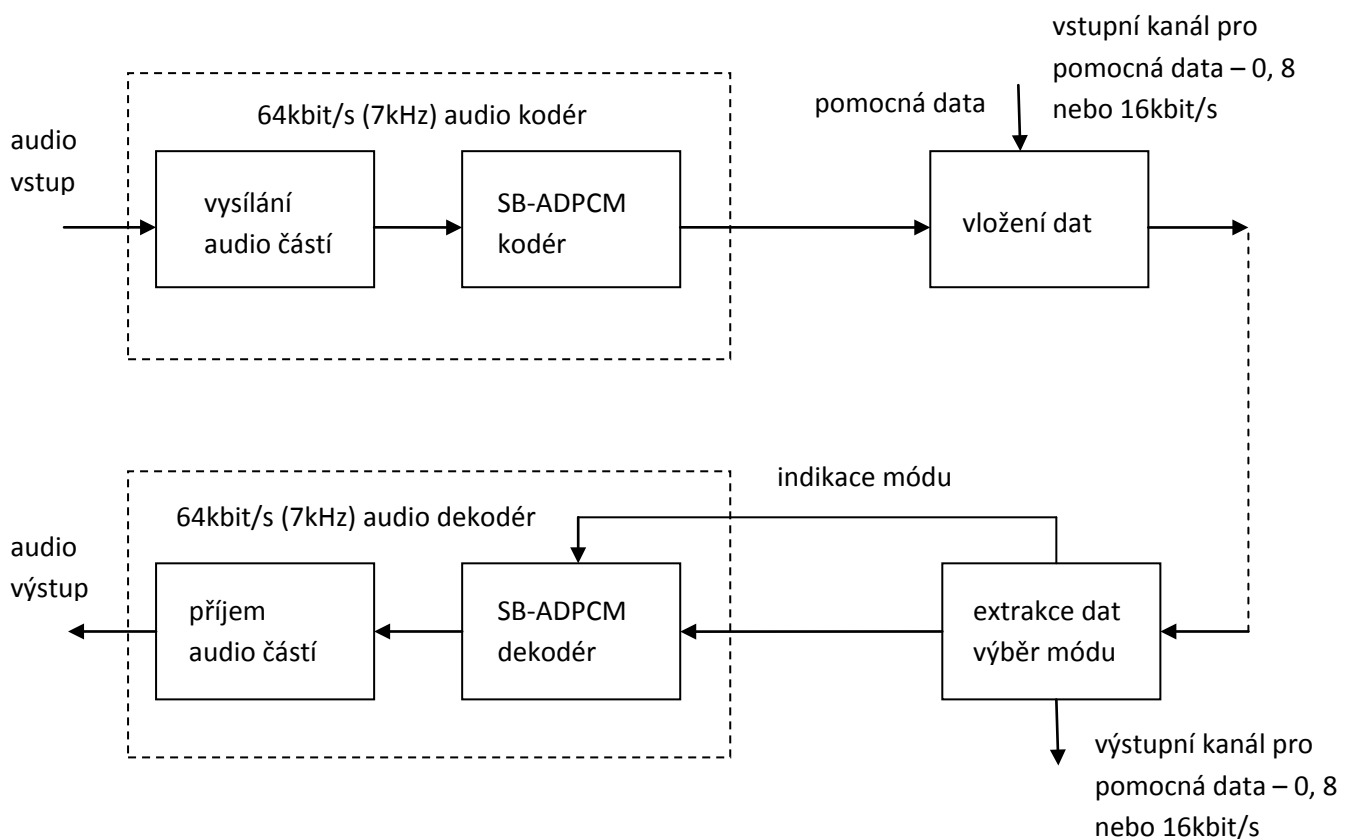
Tento standard je však licencován firmami Polycon Inc. a Ericsson, obě tyto licence jsou nezbytné pro použití, což činí toto doporučení nedostupným pro běžnou veřejnost.

6.5. Standard G.722

Jedná se o poměrně rozšířený standard vydaný roku 1988, který nese název 7kHz Audio-Coding within 64kbit/s (7kHz audio kódování do 64kbit/s) a jeho používání je bezplatné.

Toto doporučení popisuje charakteristiky audio kódování v rozmezí 50-7000Hz, které může být použito pro aplikace s vyšší kvalitou řeči. Kódovací systém používá subpásmovou adaptivní diferenční pulzní kódovou modulaci (SB-ADPCM) do přenosové rychlosti 64kbit/s. Při použití techniky SB-ADPCM je frekvenční pásmo rozděleno do dvou subpásem (vyššího a nižšího), signály v obou těchto

subpásmech jsou kódovány zvlášť klasickým ADPCM a poté spojeny. Systém má 3 základní operační módy korespondující bitovým rychlostem pro 7kHz audio kódování: 64, 56 a 48 kbit/s. Poslední dva módy s nižší přenosovou rychlostí dovolují použití pomocného datového kanálu o přenosové rychlosti 8 a 16 kbit/s, tak aby byla maximální poskytovaná rychlost do 64kbit/s, a to pomocí bitů z nižšího subpásmu.



Obrázek 6.1 – blokový diagram kodéru G.722

Popis blokového diagramu audio kodeku G.722:

Vysílač audio částí konvertuje vstupní audio signál do uniformního digitálního signálu, který je kódován pomocí 14 bitového vzorkování o 16kHz. SB-ADPCM kodér redukuje bitovou rychlost do 64kbit/s. Dále je na konci vysílací strany, pokud je třeba, vložen 1 nebo 2 audio bity na oktet záležíce na operačním módu. Toto je zprostředkováváno pomocným datovým kanálem o 8 nebo 16kbit/s v tomto pořadí, tak aby nebyla překročena přenosová rychlost 64kbit/s.

Na přijímací straně je nejdříve rozhodnuto, který operační mód byl použit a podle toho jsou extrahována data, stejně jako je vysílána informace o použitém módu. Dále jsou v SB-ADPCM

dekodéru prováděny reverzní operace k operacím vstupním, stejně jako v přijímači audio částí, který rekonstruuje uniformní zvukový signál pomocí 14 bitů a vzorkovací frekvenci 16kHz.

Nyní bude uvedena tabulka možných operačních módů a jim náležící přenosové rychlosti (jak samotného audio signálu, tak pomocného datového kanálu).

Mód	7kHz audio kódovaná rychlost [kbit/s]	Pomocný datový kanál-rychlost [kbit/s]
1	64 kbit/s	0 kbit/s
2	56 kbit/s	8 kbit/s
3	48 kbit/s	16 kbit/s

Tabulka 6.1 – základní operační módy G.722

6.5.1. ADPCM

Adaptivní diferenční PCM spočívá v kódování rozdílu (diference) kvantovaného vzorku a predikované hodnoty namísto kódování celých vzorků, čímž vzniká výrazná úspora použitého přenosového pásma a také to přispívá ke kontrolování ztrát při kódování. Adaptivní znamená, že kvantizační krok není určen pevně, ale podle průběhu signálu, aby nedocházelo ke zkreslení vlivem stejného kroku. Pokud má signál velkou strmost, kvantizační krok se zvětší a naopak. Výsledný efekt adaptivních procesů spočívá ve zlepšení poměru signál-quantizační šum o hodnotu 8 až 12 dB vůči PCM.

Dodatky:

G.722.1 – Low-complexity coding at 24 and 32 kbit/s for hands-free operation in systems with low frame loss – byl vydán roku 1999. Není příliš rozšířený a podporovaný, také díky faktu, že je licencován. Používá datové toky 24 a 32kbit/s při vzorkovací frekvenci 16kHz. Nejnovější změna dodatku dovoluje 24, 32 a 48kbit/s při frekvenci 32kHz. Byl vytvořený na základě komerčních kodeků Siren 7 a 14. Na základě tohoto dodatku byl vytvořen standard G.719 jak již bylo zmíněno výše v textu.

G.722.2 – Wideband coding of speech at around 16 kbit/s using Adaptive Multi-Rate Wideband. Používá se téměř výhradně v mobilních sítích 3G a poprvé byl vydán roku 2002. Používá datové toky od 6,6 do 23,85 kbit/s. Je dokonce povinným formátem pro přenos hlasu v sítích 3G pokud je vzorkovací frekvence 16kHz. Dodatek nenavazuje ani na doporučení G.722 ani G.722.1, jediný společný fakt je vzorkovací frekvence 16kHz.

6.6. Standard G.723

Obsah doporučení ITU-T G.723 z roku 1988 je nyní pokryt doporučením G.726

6.6.1. Standard G.723.1

Dual rate speech coder for multimedia communications transmitting at 5.3 and 6.3 kbit/s. Jedná se o standard z roku 1996, který specifikuje kódovou reprezentaci použitelnou pro kompresi řeči nebo jiného zvukového signálu jako komponentu multimediálních služeb s velmi malou přenosovou rychlostí. Při navrhování kodéru byla hlavní uvažovanou aplikací obrazová telefonie s velmi nízkou přenosovou rychlostí jako součást rodiny standardů H.324.

Kodér má asociovány 2 přenosové rychlosti, a to 5,3 a 6,3 kbit/s. Vyšší bitová rychlost má logicky vyšší kvalitu. Nižší bitová rychlost dává dobrou kvalitu a poskytuje systém s přidanou flexibilitou. Obě rychlosti jsou závaznou částí kodéru i dekodéru. Je možné přepínání mezi oběma rychlosti kdykoliv během 30ms dlouhé hranice rámce.

Jak vyplývá z předchozího textu, kodér byl optimalizován pro reprezentaci řeči s vysokou kvalitou pro vyšší přenosovou rychlost při použití omezené složitosti. Hudba a jiné audio signály nejsou reprezentovány stejně věrohodně jako řeč, ale mohou být kompresovány a dekompresovány tímto kodérem.

Co se týče zpoždění, řeč a jiné audio signály jsou kódovány v 30ms rámcích. Navíc je zde rezervováno 7,5ms do budoucnosti, což dává ve výsledku algoritmické zpoždění 37,5ms. Všechna další zpoždění v implementaci a operacích kodéru jsou dána vlivem: Času spotřebovaného na zpracování dat, přenosovým časem přes komunikační linky a přídatným "buffer" zpožděním multiplexovacího protokolu.

Samotný kodér je navržen tak, aby operoval s digitálními signály získanými prvně filtrováním telefonního pásma (G.712) analogového vstupu, poté vzorkován na 8000Hz a poté konvertován do 16ti bitového lineárního PCM pro vstup do kodéru. Výstup dekodéru by měl být konvertován zpět do analogového stejnými postupy. Jiné vstupní/výstupní charakteristiky, jako ty specifikovány pomocí G.711 pro 64kbit/s PCM data by měla být konvertována do 16ti bitového lineárního PCM před samotným kódováním. Bitový tok od kodéru do dekodéru je definován v rámci tohoto doporučení.

Funkce kodéru je založena na principu lineární predikce analýza-syntéza a pokouší se minimalizovat vjemově vážený chybový signál. Kodér pracuje na blocích (rámcích) o 240ti vzorcích. To je výsledek 30ms rámců na vzorkovací frekvenci 8kHz. Každý blok je nejprve filtrován horní propustí k odstranění stejnosměrné složky a poté rozdělen do čtyř subrámců, každý o 60ti vzorcích. Na každý tento subrámeček je aplikován LPC (Linear Prediction Coder) filtr 10. řádu používá nezpracovaný vstupní signál. LPC filtr pro poslední subrámeček je kvantován pomocí PSVQ (Predictive Split Vector Quantizer). Nenakvantované LPC koeficienty jsou použity ke konstrukci krátkodobého vjemově váženého filtru, který je použit k filtrování celého rámce a k získání vjemově váženého signálu.

Pro každé 2 subrámečky (120 vzorků) je pomocí vážených řečových signálů počítána "open-loop" výšková perioda L_{OL} . Odhad výšky je prováděn na blocích o 120ti vzorcích a výškový perioda je hledána v rozmezí 18-142 vzorků. Z tohoto pohledu je řeč zpracovávána na principu 60ti vzorků na subrámeček.

Použitím dříve odhadnuté výškové periody je vytvořen harmonický šumtvarující filtr. Kombinací LPC syntézního filtru, formantového vjemově váženého filtru a harmonického filtru pro tvarování šumu je vytvořena impulzní odezva. Ta je pak dále používána pro výpočty.

Pomocí odhadu výškové periody a impulzní odezvy je spočten "closed-loop" výškový prediktor. Je použit pátý řád prediktoru. Výšková perioda je vypočtena jako malá diferenční hodnota okolo "open-loop" výškového odhadu. Příspěvek výškového prediktoru je potom vyjmut z počátečního cílového vektoru. Jak výšková perioda, tak diferenční hodnota jsou poslány do dekodéru.

V poslední fázi jsou neperiodické komponenty excitace (vybuzení) zprůměrovány. Pro vysokou bitovou rychlost je používána excitace MP-MLQ (Multipulse Maximum Likelihood Quantization), pro nízkou bitovou rychlost pak algebraicky kódovaná excitace (ACELP).

Algoritmus ACELP je založen na výše zmíněném CELP kódovacím modelu, ale algebraická kódová kniha ACELP může být velice obsáhlá (více než 50 bitů) bez časových nebo paměťových problémů.

MP-MPLQ modul průměruje druhotnou excitaci za pomoci několika pulzů. Úkolem tohoto modulu je najít umístění, znaménka a ziskový faktor pro tyto pulzy, které se vzápětí změní na parametry ke kódování.

6.7. Standard G.726

Doporučení G.726 nese oficiální název - 40, 32, 24, 16 kbit/s ADAPTIVE DIFFERENTIAL PULSE CODE MODULATION (ADPCM), kde překlad je zřejmý. Standard byl vydán roku 1990 a nahrazuje starší standardy G.721 a G.723. Používá ADPCM schéma a stejně jako G.711 má kořeny v sítích PSTN. Je primárně nasazováno k ušetření šířky pásma v mezinárodních spojích a bylo původně navrženo jako alternativa ke G.711 s poloviční rychlostí.

Jedná se o doporučení pro konverzi A-law nebo μ -law PCM kanálu o přenosové rychlosti 64kbit/s do nebo z kanálu o rychlosti 40, 32, 24 nebo 16 kbit/s. Konverze je aplikovaná na PCM bitový proud používající ADPCM transkódovací techniku. Vztahy mezi zvukově frekvenčním signálem a PCM kódovacími zákony jsou specifikovány v doporučení ITU-T G.711. Zpoždění je 0,125ms, což vyplývá z použité délky rámce. Není přidávána žádná další rezerva do budoucnosti.

Hlavní aplikace kanálů o rychlosti 24 a 16kbit/s je pro přetížené kanály nesoucí data v DCME (Digital Circuit Multiplication Equipment).

DCME je typ zařízení pro hlasovou kompresi, které je instalováno na konci linek o dlouhé délce (typicky satelitní komunikace nebo podvodní komunikační kabely). Hlavní charakteristiky DCME jsou definovány v doporučení G.763.

Primární aplikací kanálů o rychlosti 40kbit/s je nést signály datových modemů v DCME, speciálně pro modemy pracující na rychlosti vyšší než 4800kbit/s.

Nejvíce používaný mód nasazuje poslední nezmíněnou přenosovou rychlost, a tou je 32kbit/s. Tento mód zdvojuje použitelnou šířku pásma použitím poloviční rychlosti standardu G.711. V tomto módu se jedná o standardní kodek používaný u DECT (Digital Enhanced Cordless Telephony) bezdrátových telefonů.

Používá se synchronní úprava kódování, která zabraňuje rostoucímu zkreslení, které se objevuje u synchronních tandemových kódování (ADPCM-PCM-ADPCM, apod.). Ale to pouze pokud nejsou na lince žádné přenosové chyby a integrita bitového toku je zachována. Toho je dosaženo úpravou PCM výstupního kódu způsobem, který se pokouší eliminovat kvantizační zkreslení v další ADPCM kódovací části.

V přenosově bezchybných podmínkách je dosažená kvalita řeči u 32kbit/s linek jenom o něco nižší než u PCM linek s rychlostí 64kbit/s. Toho je však dosaženo pouze když množství takovýchto linek je použito v tandemu a ne jako jednotlivé linky. Z tohoto důvodu musí být 32kbit/s ADPCM linky kontrolovány na mezinárodních spojeních. Předběžné testy ukazují že pro hlas, 40kbit/s ADPCM kódování je kvalitou srovnatelné s 64kbit/s PCM kódováním standardu G.711.

Tento standard je možné používat bezplatně.

6.8. Standard G.727

5-, 4-, 3- AND 2-bits SAMPLE EMBEDDED ADAPTIVE DIFFERENTIAL PULSE CODE MODULATION (ADPCM) – 5, 4, 3 a 2 bitová ADPCM s pevně danými vzorky. Toto doporučení bylo vydáno roku 1990 a definuje rozšíření pro standard G.726. Jeho účelem je hlavně uvolňování přeplněných linek přenášejších zvuk podle doporučení G.711, přičemž řeší některé problémy, které mohou vznikat při používání G.726 pro tento účel. Stejně jako G.726 používá ADPCM kódování z a do G.711. Také datové toky jsou 40, 32, 24 nebo 16 kbit/s.

Doporučení definuje transkódovací zákony když zdrojový signál je PCM signál s rychlostí 64kbit/s vyroben z hlasově frekvenčního analogového signálu, plně specifikován doporučením G.711.

Jak již bylo řečeno ADPCM algoritmy specifikovány zde jsou rozšíření ADPCM algoritmů definovaných v G.726 a jsou doporučovány pro použití v paketových řečových systémech operujících podle PVP (Packetized Voice Protocol) specifikovaného v konceptu standardu G.764.

PVP je schopen odstranit zahlcení modifikováním velikosti řečového paketu, když tato potřeba nastane. Upravením pevně daných vlastností algoritmu popsáno v tomto doporučení, nejméně významný bit (bity) každého kódového slova může být přehlédnut v paketizačních bodech a/nebo v průběžných uzlech k uvolnění zahlcení. Toto dovoluje redukovat bity v jakémkoliv bodě sítě bez koordinace vysílače a přijímače. To zprostředkovává výrazně lepší výkon než zahazování paketů během zahlcení. Protože uvolnění zahlcení může nastat až po provedení kódování, pevně dané kódování je různé od kódování s proměnnou rychlostí, kde kodér i dekodér musí používat stejné množství bitů na každý vzorek. V obou případech musí být však dekodér informován o počtu bitů v každém vzorku.

Pevně dané algoritmy produkují kódová slova, která obsahují posílené bity a jádrové bity. Dopředná vazba (FF) používá vylepšené i jádrové bity, zatímco zpětná vazba (FB) používá pouze bity jádra. Inverzní kvantizátor a prediktor kodéru i dekodéru používají jádrové bity. S touto strukturou vylepšené bity mohou být zahazeny během zahlcení sítě. Avšak počet jádrových bitů ve zpětné vazbě musí zůstat stejný k vyvarování se špatného směřování.

4 pevně dané ADPCM rychlosti jsou 40, 32, 24 a 16 kbit/s, kde rozhodovací úrovně pro 32, 24 a 16kbit/s kvantizátory jsou podmnožinou úrovní pro 40kbit/s kvantizátor. Pevně dané ADPCM algoritmy jsou dány x-y páry, kde x odkazuje na FF (vylepšené a jádrové) ADPCM bity a y odkazuje na FB (jádrové) ADPCM bity.

Doporučení poskytuje minimální rychlost 16kbit/s, protože nejmenší číslo jádrových bitů je 2. Například (5,2) algoritmus obsahuje 2 jádrové bity a odpovídá přenosové rychlosti 40kbit/s, (4,2) poskytuje 32kbit/s, (3,2) 24kbit/s a již zmíněná nejnižší přenosová rychlost 16kbit/s odpovídá algoritmu (2,2).

4, 8, 16 nebo 32 úrovní kvantizátoru je používáno k přiřazení 2, 3, 4 nebo 5 binárních číslic hodnotě rozdílového signálu pro přenos k dekodéru. Ne všechny bity však musí bezpodmínečně dorazit do dekodéru, protože některé bity mohou být zahozeny k uvolnění zahlcení, jak již bylo zmíněno.

6.9. Standard G.728

CODING OF SPEECH AT 16 kbit/s USING LOW-DELAY CODE EXCITED LINEAR PREDICTION – kódování řeči rychlostí 16kbit/s za pomoci LD-CELP. Jak název napovídá, toto doporučení popisuje algoritmus pro kódování řečových signálů s přenosovou rychlostí 16kbit/s pomocí metody kódování s nízkým zpožděním LD-CELP.

Jak již bylo zmíněno u standardu G.718, principem metody CELP je analýza-syntéza a z toho plynoucí pokrok v hledání v kódové knize. Tohoto principu je zachováno také v LD-CELP, avšak používá zpětnou úpravu prediktorů a zisku k dosažení algoritmického zpoždění 0,0625ms. Pouze index excitační kódové knihy je přenášen. Koeficienty prediktoru jsou aktualizovány skrz LPC analýzu předešle kvantizované řeči. Zisk excitace je aktualizován použitím informace o zisku zakotvené v předchozí kvantizované excitaci. Velikost bloku pro excitační vektor a přizpůsobení zisku je pouze 5 vzorků. Vjemově vážený filtr je aktualizován pomocí LPC analýzy nenakvantované řeči.

Po konverzi z A-Law nebo μ -Law PCM do uniformní PCM je vstupní signál rozdělen do bloků o pěti vzorcích vstupního signálu. Pro každý vstupní blok kodér prochází 1024 možných kódových vektorů (uložených v kódové knize), tyto vektory pak jdou přes řízený zesilovač a vstupují do syntetického filtru, který krátkodobě modeluje spektrální obálku průběhu hovorového signálu.

Z výsledných 1024 možných kvantizovaných vektorů signálu, kodér vybere ten, který má minimální frekvenčně váženou střední kvadratickou odchylku s ohledem na vektor vstupního signálu. 10ti bitový index z kódové knihy odpovídající nejlepšímu vektoru z kódové knihy je přenesen do dekodéru.

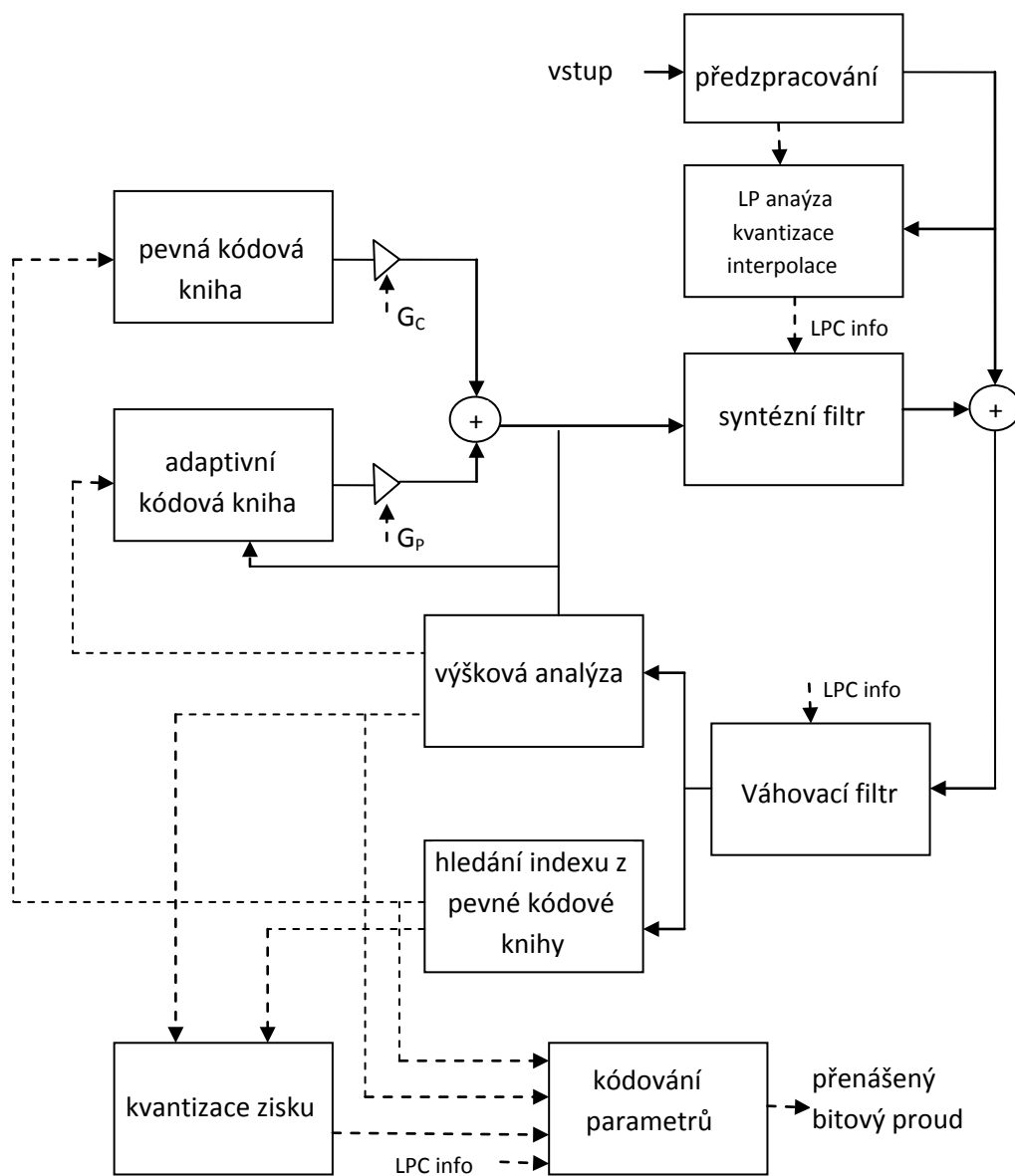
6.10. Standard G.729

Coding of speech at 8 kbit/s using conjugate-structure algebraic-code-excited linear prediction (CS-ACELP) – kódování řeči s výstupní přenosovou rychlostí 8kbit/s pomocí lineární predikce metodou CS-ACELP. Toto doporučení bylo zavedeno v roce 1996.

Kodér je navržen pro operace s digitálním signálem získaným nejdříve pásmovou filtrací (G.712) analogového signálu, poté navzorkováním filtrovaného signálu na 8000Hz. Následuje konverze do 16ti bitového lineárního PCM k dosažení vhodného vstupu pro kodér samotný. Stejně tak výstup

dekodéru by měl být konvertován do analogového signálu stejným principem. Jiné vstupy jako např. ty, které jsou specifikovány pomocí G.711 (64kbit/s) by měly být konvertovány stejně tak do 16ti bitového PCM před kódováním.

CS-ACELP kodér je založen na kódově buzené lineární predikci (CELP). Pracuje na řečových rámcích o délce 10ms, což koresponduje s 80ti vzorky při vzorkovací rychlosti 8000 vzorků za sekundu. Pro každý 10ms dlouhý rámec, je řečový signál analyzován pro extrakci parametrů CELP modelu (koeficienty filtru lineární predikce, indexy adaptivní a fixní kódovací knihy a zisk – viz kapitola CELP). Tyto parametry jsou kódovány a následně přenášeny. V dekodéru jsou tyto parametry použity k obnově excitace a syntéze parametrů filtru. Řeč je rekonstruována filtrací této excitace skrz krátkodobý syntézni filtr. Tento filtr je založen na filtru lineární predikce desátého řádu. Dlouhodobý nebo výškový filtr je implementován pomocí tzv. postupu adaptivní kódovací knihy. Po rekonstrukci řeči je dále signál prohnán postfiltrem ke zvýšení kvality.



Obrázek 6.2 – blokový diagram kodéru G.729

Jak již bylo řečeno, kodér kóduje řeč a jiné audio signály pomocí 10ms dlouhých rámců. Navíc je zde přidána rezerva 5ms jako rezerva do budoucnosti, což činí celkové výsledné algoritmické zpoždění 15ms. Všechna další zpoždění jsou dána časem zpracování potřebnému ke kódování a dekódování, přenosovému času přes komunikační linky a multiplexováním audio dat s jinými daty.

7. CISCO

Cisco Systems je jedna z dominujících společností v oblasti síťových prvků. V oblasti hardwaru vyrábí přepínače, směrovače, VoIP brány a IP telefony. Dále se Cisco zabývá také přípravou studentů a odborníků zabývajících se telekomunikacemi, ve velké míře ve spojení právě se zařízeními Cisco. Pro úspěšné absolventy je výstupem takovýchto kurzů několik typů certifikátů, které jsou uznávány po celém světě. Posledním z hlavních odvětví, kterými se Cisco zabývá, je oblast softwaru. Jsou to programy a aplikaci podporující vesměs prvky společnosti Cisco, dále však bude probrám pouze operační systém Cisco IOS, který je stěžejní pro tuto práci[10].

7.1. Cisco IOS a jeho nasazení

Jedná se o operační systém firmy Cisco, který pod svou zkratkou skrývá název Internetwork Operating System. Tento je používán na Cisco směrovačích, přepínačích, atd. Jedná se v podstatě o pevně dané funkce, seskupené do jednotného systému.

Nejběžnějším a nejobecnějším způsobem konfigurace tohoto systému je příkazový řádek (CLI), který byl také použit v rámci této práce, nicméně v laboratoři VUT je také možno využít konfiguračních nástrojů Cisco Network Assistant, Cisco Configuration Professional a webového rozhraní. Tyto další nástroje však skýtají různá úskalí a omezení, proto při zpracování této práce bylo využito pouze velice pohodlné možnosti zálohování a obnovování konfigurace pomocí nástroje Cisco Network Assistant.

V první řadě je pro úspěšné započítí konfigurace nutno se připojit k terminálovému serveru Cisco laboratoře. Pomocí konzole tohoto serveru je umožněno konfigurovat všechna zařízení dostupná v laboratoři VUT. Pro tuto práci bylo potřeba přistoupit ke směrovači CE-VOIP (Cisco 2821), který je řídicím prvkem tří IP telefonů Cisco 7975G. Tyto IP telefony také byly použity pro analýzu audio kodeků. K připojení ke konzole byl pak využit klient Putty.

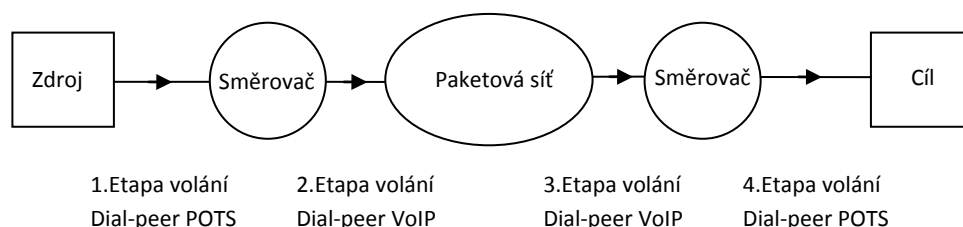
Jádrem každého telefonního systému je ústředna, která je v síti Cisco reprezentována pomocí Cisco Unified Communications Manager (UCM) nebo Call Managers. Tento Call manager může být samostatným serverem nebo se může jednat v podstatě o jakousi aplikaci, která je provozována na směrovačích. Tato druhá možnost je také možností využitou v našem případě[9].

Systémy Cisco umožňují nasazení signalizačních protokolů SIP, H.323 a nebo MGCP. Avšak pro naše potřeby je nejvhodnější použití proprietárního protokolu SCCP (Skinny Client Control Protocol) od firmy Cisco. Výhoda spočívá v přístupu tohoto protokolu, kde na rozdíl od ostatních zmíněných (až na

MGCP), jež jsou typu peer-to-peer (rovný s rovným), je SCCP typu klient-server. To znamená, že každá událost, která nastane na telefonu, je odeslána do UCM. Odtud jsou pak příslušné instrukce odeslány zpět do koncového zařízení. Největší předností tohoto přístupu je jednotná konfigurace závislá na serveru (UCM). Na druhou stranu to samozřejmě klade větší nároky na tento centrální prvek. Další nevýhodou je, že závislost systému na funkčnosti tohoto prvku je absolutní[8].

7.1.1. Dial-peery

Dial-peery slouží k vyjednávání parametrů hovoru a odpovídají jednotlivým etapám hovoru. Při klasickém (myšleno přes IP síť) uskutečnění hovoru existují vždy 4 etapy volání a tomu odpovídají 4 dial-peery. Dial-peery se používají při zakládání spojení, jakmile je spojení navázáno, dial-peery se už dále nepoužívají[8].



Obrázek 7.1 – dial-peer a etapy volání

Pokaždé, když je uskutečňován hovor, je koncovým zařízením generována signalizace ve formě vytáčených číslic. Je to jakási adresace, která vstupuje do hlasového portu směrovače, kde se rozhodne o dalším směrování hovoru. To se tak stane na základě prohledání seznamu dial-peerů.

Z toho vyplývá, že dial-peer je adresovatelný koncový bod volání. Tato adresa je označována jako destination pattern a je třeba ji bezpodmínečně nakonfigurovat v každém dial-peeru. Je více způsobů jak tuto adresaci provést, nicméně pro nás je důležitá forma přímo zadaných číslic.

Jak již bylo zmíněno, dále dial-peery slouží k definování parametrů hovorů. Těmi jsou například kódování a dekódování hovoru, zapnutí detekce hlasové aktivity nebo preferenční zpracování zadáním vyšší priority. Existuje 5 typů dial-peerů, nicméně nás budou zajímat pouze 2 základní a těmi jsou POTS a VoIP.

Dial-peer POTS

Zajišťují spojení s tradiční telefonní sítí, jako je JTS nebo PBX, nebo s okrajovým telefonním zařízením, jako je telefon či fax. Dial-peery POTS tedy zajišťují adresu okrajové sítě nebo zařízení a dále určují hlasový port, který spojuje okrajovou síť či přístroj.

Dial-peer VoIP

Spojují se v rámci IP sítě a vykonávají funkce jako zajištění cílové adresy – nejčastěji okrajovému zařízení umístěnému na druhé straně sítě a přiřazení cílové adresy ke koncovému směrovači.

7.2. Konfigurační režimy

Rozhraní IOS rozlišuje několik konfiguračních režimů. Tyto jsou zavedeny hlavně z důvodu bezpečnosti, kde někteří uživatelé nemají přístup do určitých režimů (přechod do režimu je pod heslem) a tím je zajištěna nemožnost změny daných parametrů. Dále režimy slouží také k zpřehlednění celého rozhraní[9].

Uživatelský režim: základní režim po přihlášení. Je zde možnost pouze prohlížet konfiguraci, nelze nic měnit. Tento režim je indikován znakem > hned za jménem směrovače.

Privilegovaný režim: režim obecné konfigurace. Výchozí režim pro vstup do konkrétních konfiguračních módů. Lze zde ukládat a obnovovat konfiguraci směrovače. Je indikován znakem #.

Konfigurační režim: globální konfigurační režim. Při aktivaci tohoto režimu je nutno udat, která část se bude konfigurovat. Může se jednat o memory, network, terminal. V rámci této práce se setkáváme pouze s konfigurací terminálu, vstupuje se do něj příkazem *conf t* a je indikován textem *(config)#* za jménem směrovače. Dále pak z tohoto režimu lze vstupovat do režimů konfigurace konkrétních součástí. V této práci se lze setkat například s konfigurací linky, zařízení nebo dial-peeru. Příkazy lze vidět dále v samotném kódu.

Každý režim lze opustit příkazem *exit*, čímž se vždy posuneme o jeden režim nahoru z pohledu konfigurační struktury.

7.3. Konfigurace linky

Cílem konfigurování směrovače bylo vytvořit 2 telefonní linky, které budou mít přiřazené koncové zařízení – IP telefon Cisco. Dále bylo nutno nakonfigurovat změnu kodeku, který je použit pro hovor mezi těmito telefony. Nejprve je popsána možnost obecné konfigurace, která by byla nasazena v praxi – tzn. 2 telefony připojené ke dvěma vzdáleným směrovačům propojených v rámci IP sítě. Nicméně pro naše potřeby analýzy kodeků v laboratoři VUT je situace jiná, a tak je dále přiložena konfigurace odpovídající tomuto prostředí – tzn. 2 telefony jsou připojeny přímo k jednomu směrovači (CE-VoIP) a IP síť zde není vůbec uvažována.

7.3.1. Konfigurace v rámci paketové sítě

Jak již představa napovídá, konfigurace pro tuto situaci je značně složitější než konfigurace v rámci jednoho směrovače. Je zde třeba zpracovat a modifikovat tzv. dial-peery, což jsou v podstatě linky, propojující koncová zařízení. Tato problematika je podrobněji popsána v předchozí kapitole. Dále je třeba vytvořit třídu kodeků a do ní vložit jednotlivé kodeky (v pořadí preference), které mají být použity pro přenášení dat hovoru. Tuto třídu je pak nutno přiřadit konkrétnímu dial-peeru[8],[9]. Nyní bude přiloženo schéma konfigurace a samotný kód (jednotlivé příkazy - funkce), který byl vepsán do příkazového řádku konzole. Každý důležitý příkaz je doplněn o příslušný komentář.



Obrázek 7.2 – schéma volání přes paketovou síť

Směrovač 10:

```

S10#conf t //vstup do konfiguračního modu
S10(config)#ephone-dn 1 dual-line //vytvoření linky
S10(config-ephone-dn)#number 100 //přiřazení čísla koncovému zařízení
S10(config-ephone-dn)#label Zarizeni 100 //přiřazení označení
S10(config-ephone-dn)#exit

S10(config)#ephone 1 //vstup do konfigurace linky 1
S10(config-ephone)#mac-address 9724.484C.654A //nastavení MAC adresy
S10(config-ephone)#type 7975 //určení typu koncového zařízení
S10(config-ephone)#exit

S10(config)#dial-peer voice 100 pots //vytvoření dial-peeru pots
S10(config-dialpeer)#destination-pattern 100 //nastavení telefonního čísla
S10(config-dialpeer)#port 50/0/1 //přiřazení hlasového portu
S10(config-dialpeer)#exit

S10(config)# voice class codec 1 //vytvoření třídy kodeků

S10 (config-class)#codec preference 1 g723r63 //seznam kodeků podle preference
S10 (config-class)#codec preference 2 g729br8
S10 (config-class)#codec preference 3 g711ulaw
S10 (config-class)#codec preference 4 g726r32 bytes 240
S10 (config-class)#exit

S10(config)#dial-peer voice 101 voip //vytvoření dial-peeru voip
S10(config-dialpeer)#voice-class codec 1 //přiřazení třídy kodeků dial-peeru
S10(config-dialpeer)#destination-pattern 200 //číslo na vzdáleném směrovači
S10(config-dialpeer)#session target ipv4:172.17.20.2 //IP adresa vzdáleného směrovače
S10(config-dialpeer)#exit

```

Směrovač 20:

```

S20#conf t //konfigurace na směrovači 20
S20(config)#ephone-dn 2 dual-line //princiálně odpovídá konfiguraci
S20(config-ephone-dn)#number 200 //na směrovači 10
S20(config-ephone-dn)#label Zarizeni 200
S20(config-ephone-dn)#exit

S20(config)#ephone 2
S20(config-ephone)#mac-address 0024.9734.0EEB

```

```
S20(config-ephone)#type 7975
S20(config-ephone)#exit
```

```
S20(config)#dial-peer voice 200 pots
S20(config-dialpeer)#destination-pattern 200
S20(config-dialpeer)#port 50/1/1
S20(config-dialpeer)#exit
```

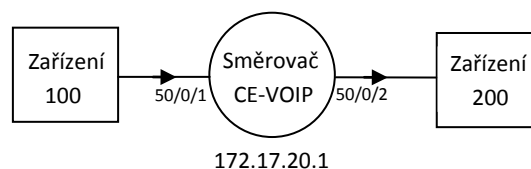
```
S20(config)# voice class codec 2
```

```
S20 (config-class)#codec preference 1 g723r63
S20 (config-class)#codec preference 2 g729br8
S20 (config-class)#codec preference 3 g711ulaw
S20 (config-class)#codec preference 4 g726r32 bytes 240
S20 (config-class)#exit
```

```
S20(config)#dial-peer voice 201 voip
S20(config-dialpeer)#voice-class codec 2
S20(config-dialpeer)#destination-pattern 100
S20(config-dialpeer)#session target ipv4:172.17.20.1
S20(config-dialpeer)#exit
```

7.3.2. Konfigurace v rámci směrovače CE-VoIP

V tomto případě je situace zjednodušena tím, že se není třeba zabývat přenosem dat přes IP síť a také tím, že jsou oba telefony připojeny na jediný směrovač CE-VoIP. To znamená, že není třeba modifikovat dial-peery (ty jsou vytvořeny automaticky při založení linky, nicméně pro přehlednost jsou příkazy k vytvoření přiloženy v kódu), ale použitý kodek je přímo vnucen lince, která je vytvořena pro příslušný telefon. Nyní opět následuje schéma a samotný kód konfigurace doplněný o komentáře.



Obrázek 7.3 – schéma volání v rámci směrovače CE-VoIP

Směrovač CE-VoIP:

```
CE-VoIP#conf t
CE-VoIP(config)#ephone-dn 1 dual-line
CE-VoIP(config-ephone-dn)#number 100
CE-VoIP(config-ephone-dn)#label Zarizeni 100
CE-VoIP(config-ephone-dn)#exit
```

```
CE-VoIP(config)#ephone 1
CE-VoIP(config-ephone)#mac-address 9724.484C.654A
CE-VoIP(config-ephone)#type 7975
```

```
CE-VOIP(config-ephone)# codec g729r8 //přiřazení kodeku koncovému
CE-VOIP(config-ephone)#exit //zařízení
CE-VOIP(config)#ephone-dn 2 dual-line //pozn.: kodek může být zvolen
CE-VOIP(config-ephone-dn)#number 200 //libovolně dle specifikace
CE-VOIP(config-ephone-dn)#label Zarizeni 200 //koncového zařízení
CE-VOIP(config-ephone-dn)#exit
```

```
CE-VOIP(config)#ephone 2
CE-VOIP(config-ephone)#mac-address 9724.484C.654A
CE-VOIP(config-ephone)#type 7975
CE-VOIP(config-ephone)# codec g729r8
CE-VOIP(config-ephone)#exit
```

```
CE-VOIP(config)#dial-peer voice 100 pots
CE-VOIP(config-dialpeer)#destination-pattern 100
CE-VOIP(config-dialpeer)#port 50/0/1
CE-VOIP(config-dialpeer)#exit
```

```
CE-VOIP(config)#dial-peer voice 200 pots
CE-VOIP(config-dialpeer)#destination-pattern 200
CE-VOIP(config-dialpeer)#port 50/0/2
CE-VOIP(config-dialpeer)#exit
```

Na konec této kapitoly jsou přiloženy některé důležité příkazy, které slouží k ověření správné konfigurace a pomáhají se lépe orientovat.

```
CE-VOIP#show voice call summary //ukáže přehledně v tabulce seznam
//právě probíhajících hovorů s
//některými parametry (i kodek)
```

```
CE-VOIP#show ephone 7975 //vypíše podrobnosti o všech
// konfigurovaných zařízeních
//typu 7975 s důležitými parametry
//a to i zvoleném kodeku
```

```
CE-VOIP#show dial-peer voice summary //přehled nakonfigurovaných
//dial-peerů i s parametry
```

8. Analýza kodeků

Dalším bodem této práce bylo analyzovat vybrané kodeky. Protože specifikace použitého IP telefonu (Cisco 7975G) umožňuje použití pouze kodeků G.711, G.722, G.729 a iLBC, byly kromě kodeku G.722 analyzovány všechny vypsané[10]. K tomuto účelu byly použity 2 metody. První metodou je využití LAN analyzátoru LE-580FX spolu s programem Wireshark. Druhou níže popsanou metodou je analýza Voip telefonie za pomoci síťového testeru Fluke NetTool Series 2. Tyto nástroje byly zvoleny namísto původně plánovaného analyzátoru VeEX, jakožto vhodnější pro tuto problematiku. Zvláště pak použití programu Wireshark se ukázalo jako velice efektivní.

Relevantní parametry v rámci VoIP telefonie, které by mohly ovlivnit kvalitu hovoru, a které jsou také měřeny pomocí těchto nástrojů[8]:

- **Latence (zpoždění):** Jedná se o celkové zpoždění mezi zahájením řeči na jedné straně a doručení tohoto hlasového projevu na straně druhé. Všeobecně je považováno za přípustné zpoždění v rámci VoIP telefonie zpoždění do 150ms. Je zde zahrnuto více aspektů a obecně lze rozdělit zpoždění ve VoIP telefonii na 2 druhy – pevné a proměnné zpoždění.
 - pevné zpoždění: Jedná se o zpoždění, které se v průběhu hovoru téměř nemění a je dáno kódováním zvukového signálu na signál digitální, paketizací digitálních informací, serializací (vkládání jednotlivých bitů na linku), zpožděním na přepínačích, atd.
 - proměnné zpoždění: Závisí na aktuálním stavu sítě a je dáno zpožděním ve frontách ve vyrovnávacích pamětech, které se nacházejí na sériovém připojení k WAN síti. Dále vzdáleností, kterou musí paket urazit, atd.
- **Jitter:** Tímto pojmem je označováno proměnlivé zpoždění, v podstatě je to odchylka doručování paketů od očekávané doby doručení. To může být způsobeno zahlcením sítě nebo různou trasou paketů v síti, výsledkem je že jitter může způsobit problémy při rekonstrukci signálu na druhé straně. Jitter se dá odstranit použitím vyrovnávací paměti (buffer).
- **Ztrátovost:** Hlasové pakety mohou být ztraceny například vlivem zahlcení sítě nebo příliš velkého proměnlivého zpoždění. Žádost o opětovné poslání ztracených paketů se nezasílá, výsledkem je částečný výpadek hovoru.
- **Ozvěna:** Ozvěna je zanášena do hovoru vždy, ale ne vždy je slyšitelná. Je dána vlivem neshod elektrické impedance na vedení. Je ovlivněna amplitudou signálu a zpožděním.
- **Věrnost reprodukce zvuku:** Jedná se v podstatě o poměr mezi vstupním hlasovým signálem a signálem reprodukováným na druhé straně. Obecně lze říci, že šířka přenosového pásma vždy omezuje šířku pásma mluveného slova. Je to dáno tím, že lidská řeč vyžaduje šířku pásma od cca 100Hz do 3kHz. Nicméně převážná část lidské řeči probíhá v pásmu do 3kHz, proto lze tento aspekt zanedbat.

8.1. Analýza pomocí LAN analyzátoru LE-580FX

LE-580FX je analyzátor sítě, který umožňuje získat celkovou kopii provozu procházejícího porty analyzátoru. Jak je vidět z obrázku, analyzátor je vybaven dvěma porty RJ-45, kde jeden slouží jako vstupní a druhý jako výstupní port zachytávané komunikace. Analyzátor je možno připojit k počítači pomocí rozhraní USB.

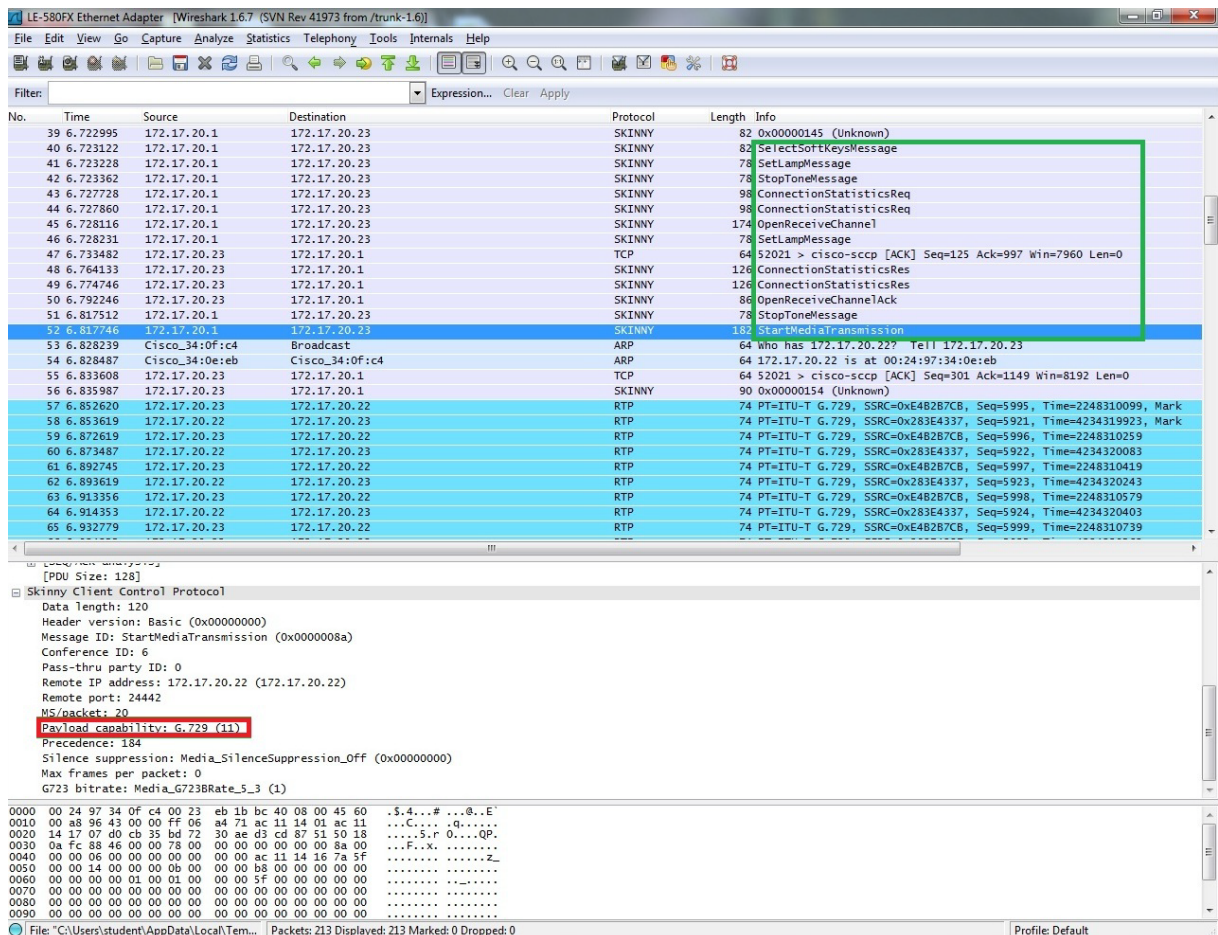


Obrázek 8.1 – analyzátor sítě LE-580FX

Mezi funkce analyzátoru patří například kontrolování použitých protokolů a dat, analýza provozu, zprostředkování statistických informací jako chybovost nebo šířka pásma, generování testovacích paketů pro síťový test nebo měření parametrů QoS[11]. Provoz je možno zachytávat pomocí softwarového protokolového analyzátoru Wireshark. Při analýze pomocí programu Wireshark se LE-580FX chová jako klasická síťová karta. Pro úplnou funkci analýzy je třeba mít nainstalovanou nejnovější verzi Wireshark, v době této práce to byla verze 1.6.7.

8.1.1. Výsledky analýzy - Wireshark

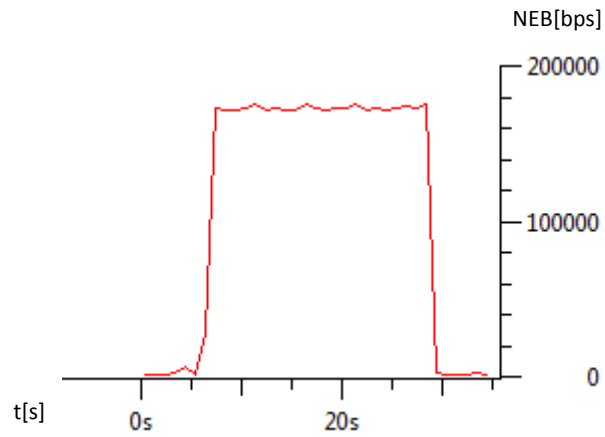
Analyzátor LE-580FX byl zapojen mezi jeden z použitých IP telefonů a směrovač CE-VOIP. Protože jsou telefony Cisco 7975G napájeny pomocí technologie Power over Ethernet, bylo nutno po zapojení analyzátoru použít síťového napájení. Jak již bylo zmíněno v úvodu této kapitoly, v programu Wireshark se analyzátor chová jako síťová karta. Po aktivaci zachytávání provozu byl proveden klasický hovor mezi telefony (zvednutí sluchátka, vytočení čísla, atd.). Z principu protokolu SCCP je každá takováto akce odeslána do aplikace UCM a proto je možno veškerou komunikaci mezi telefonem a UCM sledovat v programu Wireshark. Po uskutečnění samotného hovoru bylo zachytávání provozu zastaveno a jednotlivé pakety byly podrobeny analýze. Poté byl pomocí konzole na směrovači CE-VOIP změněn použitý kodek a celý proces se opakoval.



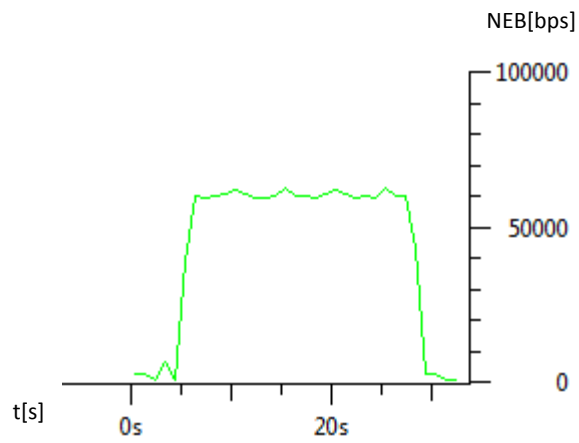
Obrázek 7.2 – ukázka zachycených SCCP paketů

V zeleně vyznačeném poli je vidět vyjednávání hovoru mezi koncovými zařízeními a UCM. Jak již bylo zmíněno výše, každá dílčí událost, která se stane, je přenášena pomocí protokolu SCCP. Konkrétně je zde vidět zmáčknutí tlačítka číslic, zastavení oznamovacího tónu, výpis na displej a vyjednávání parametru přenosového kanálu. Posledním paketem v zeleně označeném poli je paket, ve kterém lze nalézt informaci o použitém kodeku pro tento hovor. V tomto konkrétním případě se jedná o kodek G.729 a toto je vyznačeno v těle paketu červenou barvou.

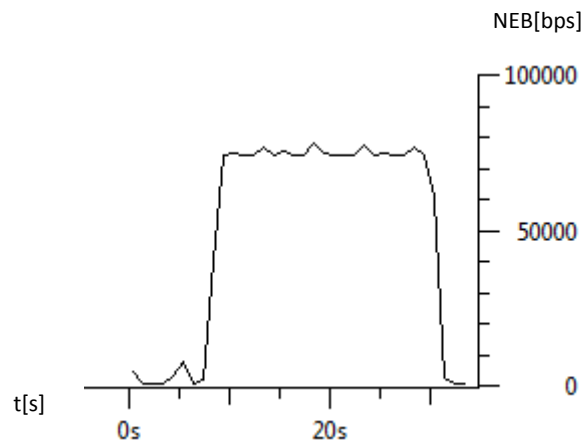
Další možností programu Wireshark je vytvořit výstupní grafy některých měřených parametrů, v tomto případě je možno do grafu zpracovat šířku použitého pásma pro volání. Jedná se tedy o závislost celkové použité šířky pásma NEB[kbps] na čase t[s]. Jak je vidět z grafů použitá šířka pásma odpovídá dvěma směrům volání a odpovídá přibližně teoretickým hodnotám podle tabulky 2. Nicméně při bližším prozkoumání hodnot u kodeků iLBC a G.729 je vidět rozpor oproti zmíněné tabulce. To je dáno faktem, že u kodeku iLBC se vychází z předpokladu délky rámce 30ms. V této práci však byla použita délka přenášeného rámce 20ms a to způsobilo celkovou vyšší režii zpracování těchto paketů. To vede k celkové vyšší šířce pásma hovoru.



Obrázek 8.3 – šířka pásma hovoru při použití kodeku G.711



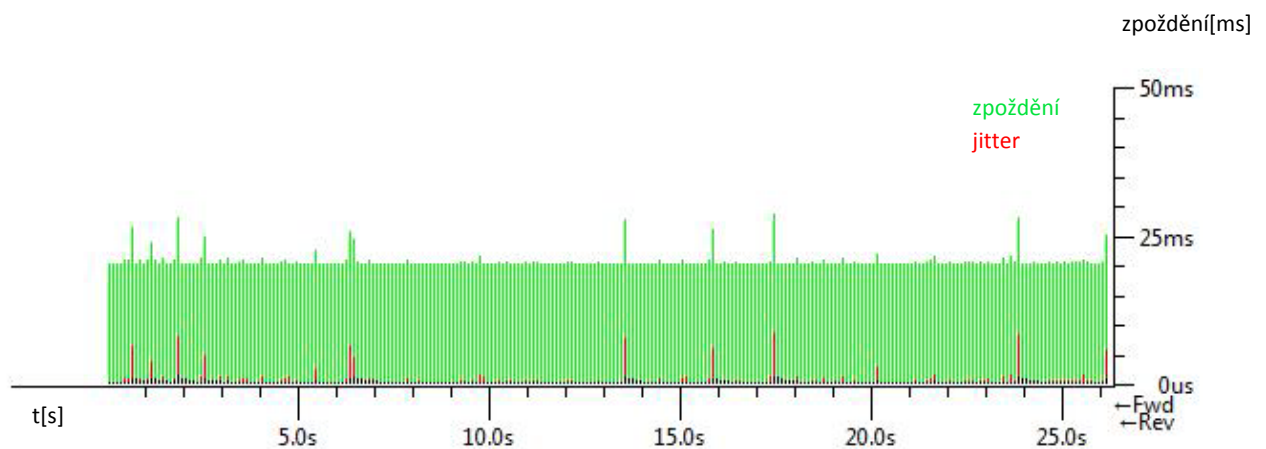
Obrázek 8.4 – šířka pásma hovoru při použití kodeku G.729



Obrázek 8.5 – šířka pásma hovoru při použití kodeku iLBC

Pomocí programu Wireshark byla dále provedena analýza proudu RTP paketů. Tato funkce nám umožňuje získat hodnoty o zpoždění a jitteru. To lze vidět na následujících obrázcích. Nicméně z důvodu, že kodek iLBC není zatím implementován do programu Wireshark, není možno u tohoto kodeku informace z RTP paketu vyčíst.

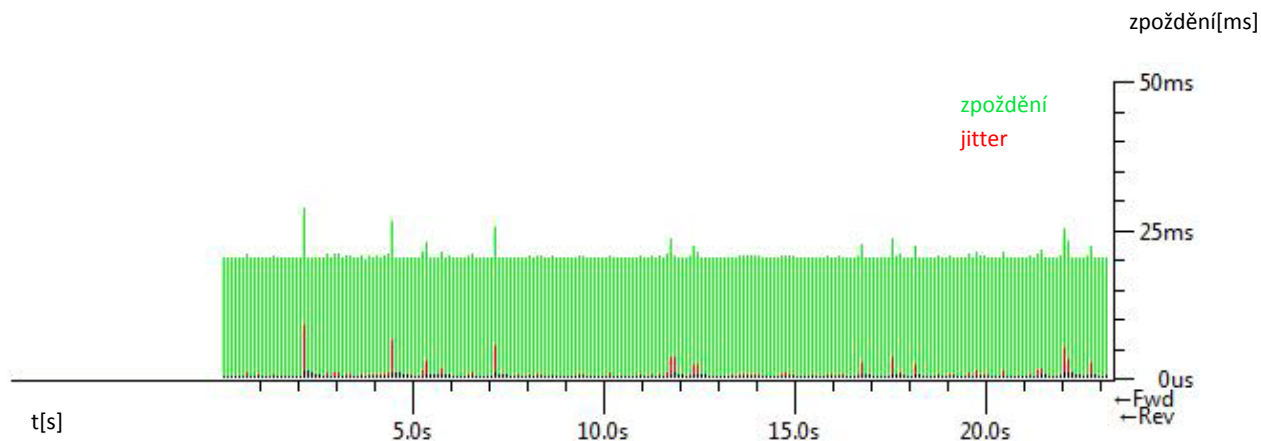
Následují 4 obrázky. Obrázek grafu v obou případech zachycuje závislost zpoždění[ms] a jitteru[ms] na čase[s]. Zpoždění je značeno zelenou barvou, jitter červenou. Za každým z obou grafů následuje výpis RTP proudů v tabulce, jak jej zobrazuje program Wireshark. Můžeme zde vidět oba proudy, každý pro jeden směr hovoru. U obou proudů můžeme vidět IP adresu + port zdroje a cíle, použitý kodek, počet přenesených a zahozených paketů. Následují pro nás nejdůležitější hodnoty, a těmi jsou maximální zpoždění (značeno jako Max Delta) a maximální jitter (Max Jitter).



Obrázek 8.6 – zpoždění a jitter při použití kodeku G.711

Wireshark: RTP Streams										
Detected 2 RTP streams. Choose one for forward and reverse direction for analysis										
Src IP addr	Src port	Dst IP addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)
172.17.20.22	20100	172.17.20.23	18712	0x283E4323	g711U	1314	0 (0,0%)	28,63	1,30	0,24
172.17.20.23	18712	172.17.20.22	20100	0xE4B2B7B7	g711U	1313	0 (0,0%)	28,28	1,26	0,26

Obrázek 8.7 – RTP proud při použití kodeku G.711



Obrázek 8.8 – zpoždění a jitter při použití kodeku G.729

Wireshark: RTP Streams										
Detected 2 RTP streams. Choose one for forward and reverse direction for analysis										
Src IP addr	Src port	Dst IP addr	Dst port	SSRC	Payload	Packets	Lost	Max Delta (ms)	Max Jitter (ms)	Mean Jitter (ms)
172.17.20.22	27754	172.17.20.23	26366	0x283E4328	g729	1166	0 (0,0%)	28,57	1,20	0,20
172.17.20.23	26366	172.17.20.22	27754	0xE4B2B7BC	g729	1165	0 (0,0%)	28,14	1,42	0,19

Obrázek 8.9 – RTP proud při použití kodeku G.729

Jako závěr z těchto hodnot lze vyvodit, že zpoždění je téměř neměnné, a to z důvodu, že zkušební hovory byly prováděny v rámci lokální sítě. Proto se do těchto údajů nepromítly vlivy, jako jsou ztráta paketů vlivem zahlcení sítě, doručení paketů v jiném pořadí než byly vyslány, čas průchodu přes WAN síť, atd. – obecně řečeno proměnné zpoždění průchodem přes WAN síť. Zpoždění okolo 20ms lze považovat za zanedbatelné a můžeme jej označit za pevné zpoždění. Toto je dáno kódováním zvukového signálu, paketizací digitální informace, serializací a zpožděním dejitter bufferu.

Dále lze z analýzy vyvodit, že pevné zpoždění se nasazením různých kodeků příliš nemění, pouze doba kódování je různá, ale ta je v řádu μ s, což je doba v rámci tolerovaného zpoždění VoIP hovorů (150ms) naprosto zanedbatelná. Více teorie o problematice zpoždění lze nalézt v úvodu této kapitoly.

8.2. Analýza pomocí síťového analyzátoru FLUKE

Fluke NetTool Series 2 Inline network tester je v první řadě nástroj na vyhledávání poruch v síti a zařízeních do sítě připojených. Kombinuje testování přenosového média, sítě, IP telefonů a konfigurace do jednoho zařízení. Mimo jiné umí diagnostikovat i VoIP komunikaci, čímž se stává vhodným nástrojem pro tuto práci. Dokáže nahlédnout do hovoru VoIP a ve formě reportu vypsát do připojeného počítače veškeré důležité parametry hovoru. Toto lze provádět buď přímo v průběhu hovoru nebo lze report uložit do analyzátoru a později jej pouze odeslat do počítače[12].



Obrázek 8.10 – Fluke NetTool Series 2 Inline network

Analyzátor je vybaven dvěma porty RJ-45, portem mikro USB a vstupem pro síťový zdroj. V našem případě bude jeden port RJ-45 sloužit k připojení IP telefonu, druhý k připojení ke směrovači CE-VOIP. Přes mikro USB bude analyzátor připojen k počítači.

Po provedení tohoto zapojení je IP telefon restartován. Po následné úvodní inicializaci je třeba spustit funkci AutoTest pro správné nastavení analyzátoru. Tím analyzátor zjistí, jaká zařízení jsou připojena k portům RJ-45.

Pak již pouze stačí v položce Applications zvolit aplikaci VoipLog, která slouží k sledování parametrů VoIP hovorů. Zde je možno v reálném čase sledovat kvalitu hovorů pomocí měření RTP proudu - zobrazením počtu rámců, zahozených rámců a jitteru. Dále je možno vidět čas sestavení hovoru, použitý kodek. Analyzátor zobrazuje tyto informace jak pro stranu telefonu, tak pro stranu sítě.

Další možností, která však pro tuto práci nebyla využita, je použít speciální software k tomuto zařízení, který dokáže data zobrazit do grafů. Pro naši práci byly dostačující reporty, které zařízení dokáže generovat ve formátu pdf.

VoIP Log

```
05/06/12 04:36:44
SCCP CM:172.017.020.001
OFF HOOK
CONNECTED
START MEDIA XMIT
G711 Ulaw64k
OPEN RECV ACK
Call Setup:64ms
RTP streaming...
172.017.020.022:24242
VLAN:untag TOS:0xb8
172.017.020.023:29686
VLAN:untag TOS:0xb8
```

Obrázek 8.11 – report VoIP logu

Z reportu VoIP logu lze vyčíst informace o použitém signalizačním protokolu, IP adrese call manageru, použitém kodeku, době potřebné k sestavení hovoru, atd.

Níže uvedený report VoIP Monitor dokáže vyčíst informace o počtu odeslaných RTP paketů, kolik jich bylo zahazeno, a jitter těchto paketů. Stejně informace dokáže zobrazit o RTCP paketech. Nicméně v rámci lokální sítě tyto funkce nejsou natolik zajímavé jako by byly v rámci hovoru přes WAN síť. Tady bychom totiž viděli jak jitter a ztráta paketů ovlivní kvalitu hovoru. Nicméně i tak byl cenným nástrojem pro tuto práci a potvrdil hodnoty získané programem Wireshark.

VoIP Monitor

	Phone	Network
RTP Frames	784	702
RTP Dropped Frames	0	0
RTP Jitter	686us	424us
RTP Sequence Errors	0	0
RTCP Frame	0	0
RTCP Dropped Frames	0	0
RTCP Jitter	0s	0s

Obrázek17.12 – report VoIP Monitor

Síťový analyzátor FLUKE je možno zapojit sériově s LAN analyzátozem LE-580FX a spolu se tak stávají velice účinným nástrojem pro monitoring a odstranění problémů ve VoIP telefonii. FLUKE dokáže totiž nalézt problémy i na nižších vrstvách, jako je např. porucha na kabeláži, atd. Tam, kde FLUKE nestačí, nastupuje LAN analyzátor, který ve spolupráci s programem Wireshark dokáže nahlédnout do těla jednotlivých paketů, odhalit proč jsou pakety zahazovány, atd.

9. Laboratorní úloha

Dalším výstupem této práce bylo vytvořit laboratorní úlohu, která se bude zabývat právě analýzou audio kodeků pro VoIP telefonii.

Úloha se zabývá analýzou kodeků pomocí LAN analyzátoru FE-580FX skrz program Wireshark.

9.1. Laboratorní úloha 1a – Analýza IP telefonie – LE-580FX

ZADÁNÍ ÚLOHY

Cílem této úlohy je nakonfigurovat směrovač Cisco 2821 (CE-VOIP) pro komunikaci mezi dvěma telefony Cisco 7975G. Po ověření funkčnosti dále nakonfigurovat změnu audio kodeku použitého při hovoru a toto ověřit a analyzovat pomocí LAN analyzátoru LE-580FX.

1. Proveďte konfiguraci dvou IP telefonů 7975G pomocí konzole terminálového serveru Cisco.
2. Proveďte konfiguraci změny použitého audio kodeku.
3. Proveďte analýzu dostupných audio kodeků a signalizačního protokolu.

TEORETICKÝ ÚVOD

V dnešní době jsou produkty firmy Cisco velice často používány pro IP neboli VoIP telefonii. V laboratoři VKS je pro tyto účely připraven směrovač [Cisco 2821](#), který je řízen pomocí operačního systému IOS. Tento operační systém je možno konfigurovat několika způsoby, nicméně nejvíce obecným a vhodným nástrojem je konfigurace pomocí příkazového řádku (CLI) přes konzoli terminálového serveru Cisco. Postup připojení k terminálovému serveru je popsán v laboratorní úloze "[Úvod do Cisco IOS](#)". Jako koncová zařízení jsou použity telefony [Cisco 7975G](#).

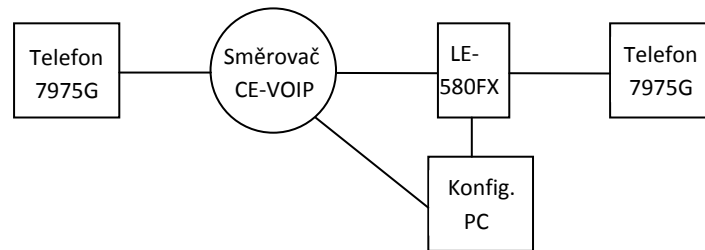
V sítích Cisco lze nasadit několik signalizačních protokolů. Mezi tyto patří nejvíce rozšířené protokoly SIP a H.323, dále protokol MGCP nebo SCCP (Skinny Client Control Protocol). První dva zmíněné jsou založeny na principu peer-to-peer, další dva na principu klient-server. Primární účel těchto protokolů je však stejný, a to vytvořit obousměrný datový proud RTP paketů mezi koncovými body IP telefonie.

[LE-580FX](#) je analyzátor sítě, který umožňuje získat celkovou kopii provozu procházejícího porty analyzátoru. Jak je vidět z obrázku, analyzátor je vybaven dvěma porty RJ-45, kde jeden slouží jako vstupní a druhý jako výstupní port zachytávané komunikace. Analyzátor je možno připojit k počítači pomocí rozhraní USB. Zachytávanou komunikaci je možno analyzovat pomocí softwaru "[LE-580FX F2544](#)" nebo pomocí oblíbeného programu Wireshark.

PRACOVNÍ POSTUP

Pro představu je schéma zapojení laboratorní úlohy na obr.1. Dva telefony Cisco 7975G jsou připojeny ke směrovači CE-VOIP (Cisco 2821). Mezi jeden z telefonů a směrovač je vložen LAN analyzátor LE-580FX. Ten však zapojte až po nakonfigurování směrovače – před samotnou analýzou. Dále je součástí pracoviště PC, který slouží ke konfiguraci směrovače přes terminálový server a také k následné analýze pomocí softwaru "LE-580FX F2544" a programu Wireshark. Nutno poznamenat, že

při zapojení analyzátoru do cesty telefonu, jakožto pasivního zařízení, nebude napájení telefonu přes technologii Power over Ethernet fungovat, a tak je třeba použít síťového zdroje.



Obrázek 9.18– schéma zapojení – lab. úloha

Provedte zálohu konfigurace směrovače CE-VOIP, za pomoci nástroje Cisco Network Assistant. Tento nástroj je dostupný po připojení přes vzdálenou plochu na adrese cna.utko.feec.vutbr.cz. Login: student ; heslo: stud02C

Připojte se k terminálovému serveru za pomoci některého volně dostupného klienta SSH. Na konfiguračním PC je nainstalován klient Putty, který lze pro tuto potřebu použít. Terminálový server je dostupný na adrese ccs.utko.feec.vutbr.cz a portu 22. Bližší popis připojení lze nalézt v úloze "[Připojení k laboratoři - Cisco](#)". Přihlašovací údaje jsou login: user ; heslo: user.

Z nabídky zvolte směrovač, který chcete konfigurovat. V tomto případě je to směrovač CE-VOIP, který je v seznamu pod volbou 5. Přihlašovací údaje ke směrovači jsou login: admin ; heslo: admin.

Nakonfigurujte 2 telefonní linky, každé lince přiřadte jedno koncové zařízení v podobě Cisco telefonu 7975G pomocí mac adresy. Dále určete typ koncového zařízení – 7975. Potřebné příkazy naleznete v úloze "Úvod do Cisco".

Prostudujte možnost změny kodeku. Po vstupu do konfiguračního režimu linky k tomu slouží příkaz:

```
CE-VOIP(config-ephone)# codec
```

Zjistěte zde jaké kodeky je možno podle specifikace telefonu 7975G použít a provedte konfiguraci tak, aby byl kodek změněn. Toto se musí provést na obou zúčastněných zařízeních, resp. linkách.

Nyní provedte zkušební hovor a v průběhu tohoto hovoru napište v privilegovaném režimu příkaz:

```
CE-VOIP#show voice call summary
```

Tento příkaz slouží k vypsání právě probíhajících hovorů na směrovači. Je zde také vidět jaký kodek je pro hovor použit. Tím ověříte správné nastavení.

Následuje část analýzy hovoru. Zapojte analyzátor dle schématu zapojení, zapněte na konfiguračním PC program Wireshark a v seznamu síťových rozhraní vyberte analyzátor FE-580FX (v programu Wireshark se analyzátor chová jako síťová karta). Spusťte zachytávání paketů a uskutečňte hovor na nakonfigurovaných zařízeních. Po dokončení hovoru zastavte zachytávání paketů.

Nyní podle zachycených paketů zjistěte, jaký signalizační protokol byl použit pro sestavení tohoto hovoru. Bližší informace naleznete v teoretickém úvodu této úlohy. Až tak rozhodnete, prostudujte tělo těchto paketů a naleznete informaci o použitém kodeku.

Dále volbou Statistics -> IO Graphs zobrazte graf datového toku a určete, jakou šířku pásma použitý kodek využívá. Hodnotu zaznamenejte.

Proveďte analýzu RTP proudu v záložce Telephony -> RTP. Nechte si vykreslit graf tohoto proudu a určete z něj hodnoty zpoždění a jitteru pro daný kodek.

Analýzu proveďte pro všechny kodeky, které je možno zvolit při konfiguraci linky.

Nyní proveďte porovnání získaných hodnot a vyvoďte z něj závěry. Co určuje celkovou šířku použitého pásma pro hovor? Ovlivní změna kodeku zásadně zpoždění RTP paketů a proč?

Po ukončení práce nahrajte původní zálohovanou konfiguraci do směrovače CE-VOIP za pomoci nástroje Cisco Network Assistant.

9.1.1. Laboratorní úloha 1b – Analýza IP telefonie – LE-580FX – verze pro učitele

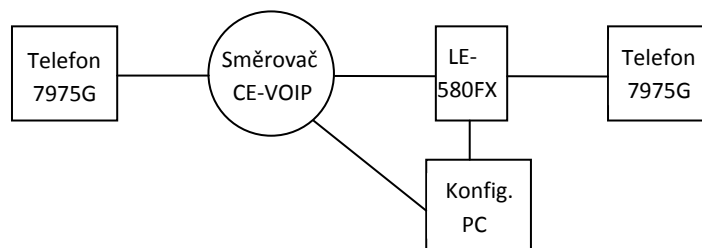
ZADÁNÍ ÚLOHY

Cílem této úlohy je nakonfigurovat směrovač Cisco 2821 (CE-VOIP) pro komunikaci mezi dvěma telefony Cisco 7975G. Po ověření funkčnosti dále nakonfigurovat změnu audio kodeku použitého při hovoru a toto ověřit a analyzovat pomocí LAN analyzátoru LE-580FX.

1. Proveďte konfiguraci dvou IP telefonů 7975G pomocí konzole terminálového serveru Cisco.
2. Proveďte konfiguraci změny použitého audio kodeku.
3. Proveďte analýzu dostupných audio kodeků a signalizačního protokolu.

PRACOVNÍ POSTUP

Pro představu je schéma zapojení laboratorní úlohy na obr.1. Dva telefony Cisco 7975G jsou připojeny ke směrovači CE-VOIP (Cisco 2821). Mezi jeden z telefonů a směrovač je vložen LAN analyzátor LE-580FX. Ten však zapojte až po nakonfigurování směrovače – před samotnou analýzou. Dále je součástí pracoviště PC, který slouží ke konfiguraci směrovače přes terminálový server a také k následné analýze pomocí softwaru "LE-580FX F2544" a programu Wireshark. Nutno poznamenat, že při zapojení analyzátoru do cesty telefonu, jakožto pasivního zařízení, nebude napájení telefonu přes technologii Power over Ethernet fungovat, a tak je třeba použít síťového zdroje.



Obrázek 9.19– schéma zapojení – lab. úloha (učitelská verze)

1. Proveďte konfiguraci dvou IP telefonů 7975G pomocí konzole terminálového serveru Cisco.
2. Proveďte konfiguraci změny použitého audio kodeku.

```
CE-VOIP#conf t
CE-VOIP(config)#ephone-dn 1 dual-line
CE-VOIP(config-ephone-dn)#number 100
CE-VOIP(config-ephone-dn)#label Zarizeni 100
CE-VOIP(config-ephone-dn)#exit

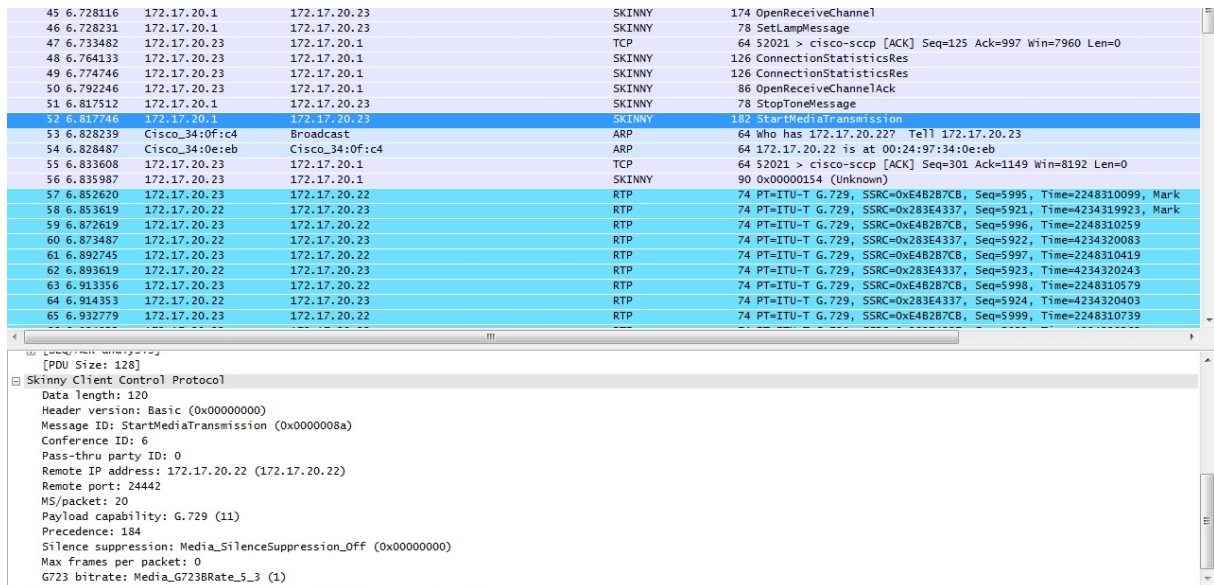
CE-VOIP(config)#ephone 1
CE-VOIP(config-ephone)#mac-address 9724.484C.654A
CE-VOIP(config-ephone)#type 7975
CE-VOIP(config-ephone)# codec g729r8 //přiřazení kodeku koncovému
CE-VOIP(config-ephone)#exit //zařízení
CE-VOIP(config)#ephone-dn 2 dual-line //pozn.: kodek může být zvolen
CE-VOIP(config-ephone-dn)#number 200 //libovolně dle specifikace
CE-VOIP(config-ephone-dn)#label Zarizeni 200 //koncového zařízení
CE-VOIP(config-ephone-dn)#exit

CE-VOIP(config)#ephone 2
CE-VOIP(config-ephone)#mac-address 9724.484C.654A
CE-VOIP(config-ephone)#type 7975
CE-VOIP(config-ephone)# codec g729r8
CE-VOIP(config-ephone)#exit
```

3. Proveďte analýzu dostupných audio kodeků a signalizačního protokolu.

Následuje část analýzy hovoru. Zapojte analyzátor dle schématu zapojení, zapněte na konfiguračním PC program Wireshark a v seznamu síťových rozhraní vyberte analyzátor FE-580FX (v programu Wireshark se analyzátor chová jako síťová karta). Spusťte zachytávání paketů a uskutečňte hovor na nakonfigurovaných zařízeních. Po dokončení hovoru zastavte zachytávání paketů.

Nyní podle zachycených paketů zjistěte, jaký signalizační protokol byl použit pro sestavení tohoto hovoru. **Jedná se o protokol SCCP (SKINNY)** viz. následující obrázek, kde je také vidět, který paket nese informaci o použitém kodeku.



Obrázek 9.3 – tělo SCCP paketu v programu Wireshark

Dále volbou Statistics -> IO Graphs zobrazte graf datového toku a určete, jakou šířku pásma použité kódek využívá. Hodnotu zaznamenejte. **Hodnoty by měly přibližně odpovídat následující tabulce.**

kódek	NEB[kbps]
G.711	175
G.729	62
iLBC	65

Tabulka 9.1 – šířka pásma kodeků – lab. úloha

Proveďte analýzu RTP proudu v záložce Telephony -> RTP. Nechte si vykreslit graf tohoto proudu a určete z něj hodnoty zpoždění a jitteru pro daný kódek.

Hodnoty zpoždění by se měly pohybovat okolo 20ms pro všechny kodeky, jitter v rámci jednotek ms.

Analýzu proveďte pro všechny kodeky, které je možno zvolit při konfiguraci linky.

Nyní proveďte porovnání získaných hodnot a vyvoďte z něj závěry. Co určuje celkovou šířku použitého pásma pro hovor? Ovlivní změna kodeku zásadně zpoždění RTP paketů a proč?

Šířku pásma určují 2 proudy RTP (1 pro každý směr) + režie hlaviček. Změna kodeku zásadně zpoždění neovlivní, protože se jedná řádově o μ s, a to je v rámci celkového zpoždění hodnota zanedbatelná.

10. Závěr

Účelem této práce bylo rozebrat problematiku audio kodeků používaných při technologii VoIP (Voice over Internet Protocol). Nahlédnout do historie a problémů při nasazování internetové telefonie obecně a dále konkrétně shrnout kodeky, které jsou pro tuto oblast používány dle doporučení telekomunikačního standardizačního sektoru ITU-T, a to standardy G.710 – G.729. Tato doporučení byla rozebrána z hlediska funkce, oblasti nasazení, náročnosti na šířku pásma a dalších parametrů. Posledním bodem teoretické části byl náhled do problematiky Cisco IOS, což je operační systém používán na směrovačích a přepínačích firmy Cisco.

Praktickou částí této práce bylo v první řadě nakonfigurovat IP telefonii v rámci vysokorychlostního systému Cisco, který je k dispozici v laboratoři VUT. Konkrétně se jednalo o konfiguraci směrovače Cisco 2821 přes již zmíněný operační systém IOS. Jako koncové zařízení byly k tomuto vybrány IP telefony Cisco 7975G. Ty dle specifikace podporují použití audio kodeků G.711, G.722, G.729 a iLBC. Kromě kodeku G.722 byly všechny ostatní zmíněné kodeky podrobeny analýze, což bylo dalším cílem této práce. Samotná analýza se skládala ze dvou částí.

První částí byla analýza pomocí LAN analyzátoru FE-580FX, který umožňuje kopírovat síťový provoz ze vstupního na výstupní port a tento provoz sledovat pomocí vybraného softwaru. Pro tento účel byl zvolen hojně používaný program Wireshark, který se ukázal jako výborný nástroj pro analýzu. Pomocí něj byl zachycen a sledován tok paketů VoIP hovoru. Bylo možno vidět průběh vyjednávání parametru hovoru a dále parametry relevantní pro tuto práci – jako zpoždění, ztrátovost, jitter nebo šířka pásma potřebná pro přenos. Program dokonce umožňuje analýzu samotného proudu RTP paketů, což bylo také provedeno a zaznamenáno. Výstupem byly grafy a tabulky uvedené v kapitole 8.1.

Druhou částí byla analýza pomocí síťového analyzátoru Fluke NetTool, který je v první řadě nástrojem pro hledání poruch na síti, nicméně pomocí funkce VoIP monitor umožňuje sledovat průběh probíhajícího VoIP hovoru. Umožňuje sledovat zpoždění, jitter a počet přijatých/zahozených RTP paketů a některé další doplňující informace.

Protože analýza proběhla v rámci lokální sítě a nebyly tudíž do výsledků zaneseny rušivé vlivy WAN sítě, není analýza zatížena tímto proměnným prostředím. Například z hlediska zpoždění se tak ukázalo, že zvolený kodek nemá významný vliv na celkové zpoždění hovoru, protože samotná část kódování hlasu probíhá v čase stovek μs . Ve srovnání s naměřenou celkovou pevnou dobou zpoždění okolo 20ms a maximálním přípustným zpožděním u VoIP hovorů (150ms) je tato doba naprosto zanedbatelná.

Z hlediska věrnosti reprodukce zvuku nelze subjektivním poslechem rozeznat rozdíl mezi hovory při použití kodeku G.711 a iLBC. A to i přesto, že potřebná šířka pásma přenosu v obou směrech je okolo 170 kbps u kodeku G.711 a pouze 65 kbps u kodeku iLBC. Kodek iLBC se velice dobře dokáže vyrovnat také se ztrátou paketů, což jsou fakta, díky kterým je označen za perspektivní kodek z hlediska VoIP telefonie. Nicméně v dnešní době je stále nepoužívanějším kodekem právě zmíněný G.711.

Použitá literatura

- [1] *Daktela.com* [online]. 2010 [cit. 2010-12-04]. Daktela s.r.o. - Asterisk™ VoIP Business Řešení. Dostupné z WWW: <<http://www.daktela.com/>>.
- [2] MILLER, Mark. *Voipplanet.com* [online]. 2005 [cit. 2010-12-04]. EnterpriseVoIPplanet. Dostupné z WWW: <<http://www.voipplanet.com/backgrounders/article.php/3495186>>.
- [3] *3cx.cz* [online]. www.3cx.cz [cit. 2010-12-04]. VoIP & SIP FAQ. Dostupné z WWW: <2010>.
- [4] *Cisco.com* [online]. 2010 [cit. 2010-12-04]. IP Telephony/Voice over IP (VoIP). Dostupné z WWW: <www.cisco.com>.
- [5] *Standardization (ITU-T)* [online]. 2010 [cit. 2010-12-04]. Telecommunication Standardization Sector (ITU-T). Dostupné z WWW: <<http://www.itu.int/ITU-T/index.html>>.
- [6] *Voip-info.org* [online]. 2010 [cit. 2010-12-04]. A reference guide to all things VOIP. Dostupné z WWW: <<http://www.voip-info.org/>>.
- [7] ČERNOCKÝ, Jan. *Zpracování řečových signálů - studijní opora* [online]. Ústav počítačové grafiky a multimédií - Fakulta informačních technologií, VUT v Brně : Jan Černocký, 2006 [cit. 2010-12-04]. Dostupné z WWW: <http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/ZRE/public/opora/zre_opora.pdf>.
- [8] WALLACE, K. Cisco VoIP. Brno: CPRESS, 2009. ISBN 978-80-251-2228-0
- [9] *Samuraj-cz.com*. [online]. [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: <http://www.samuraj-cz.com>
- [10] Cisco Systems, Inc. [online]. [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <http://www.cisco.com/>
- [11] LINEEYE CO., LTD. [online]. [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <http://www.lineeye.com/>
- [12] Fluke Networks. [online]. [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <http://www.flukenetworks.com/>

Seznam použitých symbolů a zkratk

IP	Internet Protocol
VoIP	Voice over Internet Protocol
ITU	International Telecommunication Union
ITU-T	Telecommunication Standardization Sector
RTP	Real - Time Transport Protocol
RTCP	Real - Time Transport Control Protocol
RSVP	Resource Reservation Protocol
RTSP	Real-Time Streaming Protocol
SDP	Session Description Protocol
SAP	Session Announcement Protocol
SIP	Session Initiation Protocol
PSTN	Public switched telephone network
PCI	Peripheral Component Interconnect
MOS	Mean opinion score
PCM	Pulzní kódová modulace
ADPCM	Adaptivní diferenční pulzní kódová modulace
ACELP	Algebraic Code Excited Linear Prediction
LD-CELP	Low-delay code excited linear prediction
CS-ACELP	Conjugate-Structured Algebraic Code Excited Linear Prediction
MP-MLQ	Multi-Pulse - Maximum Likelihood Quantization
CBR	Constant Bitrate
NEB	Nominal Ethernet Bandwidth
LPC	Linear predictive coding
ISDN	Integrated Services Digital Network
TCP	Transmission Control Protocol
NB	úzkopásmé
WB	širokopásmé
MDCT	Modifikovaná diskrétní kosinova transformace
CELP	Code-excited linear prediction
LP	Lineární predikce
LSP	Lineární spektrální páry
SB-ADPCM	Subpásmová adaptivní diferenční pulzní kódová modulace
PSVQ	Predictive Split Vector Quantizer
DCME	Digital Circuit Multiplication Equipment
DECT	Digital Enhanced Cordless Telephony
PVP	Packetized Voice Protocol
FF	Dopředná vazba
FB	Zpětná vazba
UCM	Unified Communications Manager
SCCP	Skinny Client Control Protocol
MGCP	Media Gateway Control Protocol
POTS	Plain old telephone service
JTS	Jednotná telefonní síť

PBX	Private branch exchange
BI-LPC	Block independent LPC
LAN	Local area network