

Kvalita hovoru v prostředí VoIP

Technická zpráva 11/2005

Status: V 0.1 Released
Issue date: 30. 10.2005
Author: M. Vozňák, D. Zukal

**Cesnet, z.s.p.o.
Žitkova 4
160 00 Praha**

CESNET © 2005

Obsah

Obsah	2
1 Úvod	2
2 Kvalita hovoru v interakci s VoIP	3
3 E-model	4
4 Vyhodnocení kvality hovoru v síti CESNET2	7
5 Závěr	8
6 Literatura	8

1 Úvod

Pro hodnocení kvality hovoru můžeme nalézt tři základní kategorie. První kategorií je kvalita poslechu hodnocená uživatelem a je závislá především na použitém kódování, dalším hlediskem je kvalita konverzace, kde se posuzuje schopnost vést rozhovor, zde se uplatňují vlivy jako je echo a zpoždění. Třetí kategorií je kvalita přenosu, která je vztažena ke schopnosti sítě přenášet hlas. V IP sítích je hlas přenášen v paketech RTP (Real Time Protocol), tento protokol je založen na datagramové službě, nespojově orientovaném a nespolehlivém přenosu, což ovšem neznamená, že hovor uskutečněný přes IP síť nemůže být kvalitní. Absolutní stanovení kvality hlasové služby není uskutečnitelné, jelikož každý jedinec vnímá kvalitu jinak. Tento článek se zabývá hodnocením kvality hovoru pomocí E-modelu, jeho výstupem je R-faktor, který má vypovídací schopnost o kvalitě hovoru. V úvodní části bude zmíněno několik zásadních vlivů na kvalitu, výběr kódování a vliv zpoždění. V druhé části budou popsány metody pro hodnocení kvality hlasu, dále bude vysvětlen E-model dle doporučení ITU-T G.107 a přiloženy praktické výstupy uskutečněných spojení v síti CESNET2 s naměřenými hodnotami R-faktoru a MOS. V závěru bude zmíněn význam R-faktoru a jeho aplikace v novém protokolu RTCP-XR.

Komunikační standardy a technologie jsou posledních deset let silně ovlivňovány Internetem. Internet ovlivnil vývoj přenosových a spojovacích technologií a telefonní hovor postavil do pozice služby poskytované na IP síti. Tento trend je nepřehlédnutelný a zcela logický. Rostoucí objemy přenášených dat v Internetu změnily charakter sítí, sítě nové generace jsou vysokorychlostní, fungují na principu přepojování paketů a integrují na jediné infrastruktuře služby data, hlas a video. Pro přenos hovoru je nejrozšířenější technologie VoIP (Voice over IP), její základy byly vytvořeny

v polovině 90-tých let a nejznámějšími komunikačními protokoly jsou H.323, SIP a MGCP, někteří výrobci zařízení pro IP telefonii investovali do vývoje proprietárních protokolů.

2 Kvalita hovoru v interakci s VoIP

Z hlediska kvality hovoru přináší VoIP používání různých metod kódování, které mají odlišnou hodnotu parametru MOS (Mean Opinion Score), MOS je stanoven subjektivní metodou hodnocení a může dosáhnout maximálně hodnoty 5. V tabulce 1. jsou uvedeny používané standardy kódování, názvy algoritmů, náročnosti na zpracování vyjádřené parametrem MIPS (počet milionů instrukcí za sekundu), přenosové rychlosti kodeků a jejich kvalita ohodnocená parametrem MOS dle ACR (Absolute Category Rating).

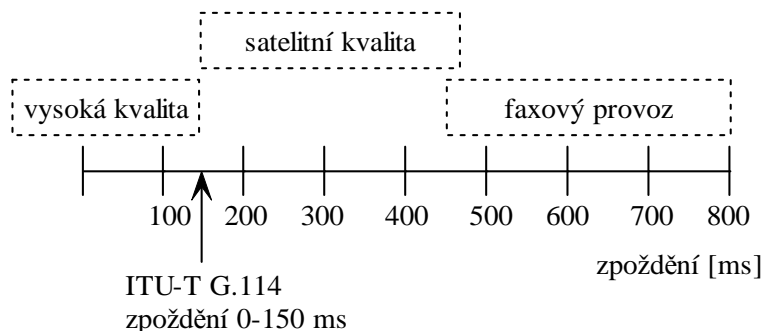
Nejpoužívanějším kodekem je jednoznačně pulzní kódová modulace PCM dle standardu ITU-T G.711. Druhým nejrozšířenějším kodekem je ITU-T G.729 s kódově buzenou lineární predikcí CS-ACELP, který má obdobný MOS jako G.711, menší přenosovou rychlost a vyšší nároky na procesorový výkon. Kódování a dekódování je většinou zajišťováno na signálových procesorech DSP. Ačkoliv pohledem do tabulky se může zdát, že G.729 bude oproti G.711 osmkrát úspornější na pásmo v IP sítích, tak po vytvoření paketů a započtení jejich hlaviček si G.729 nárokuje v síti Ethernet zhruba 35 kbit/s a G.711 až 90 kbit/s.

Tab.1.: Porovnání výkonnosti kodeků.

Standard	Algoritmus	MIPS	přenosová rychlost [kbit/s]	MOS [ACR]
G.711	PCM	0	64	4,1
G.726	ADPCM	1	32	3,85
G.728	LD-CELP	30	16	3,61
GSM 06.10	RPE-LTP	10	13	3,5
G.729	CS-ACELP	20	8	3,92
G.723.1	MP-MLQ	16	6,3	3,9
G.723.1	ACELP	20	5,3	3,65

U kodeku G.729 musíme počítat se zpožděním 10 ms pro každý rámeček a dalších 5 ms tvoří dopředné zpoždění, a protože se většinou do jednoho RTP paketu vkládají dva rámečky, tak musíme počítat se zpožděním 25 ms při kódování. Před dekódováním jsou přicházející pakety shromažďovány v mezipaměti, kde se vyrovnává proměnné zpoždění vznikající při přenosu IP sítí, toto zpoždění se označuje jako *jitter*, velikost mezipaměti je v násobcích časových velikostí přijímaných rámečků.

Zpoždění mezi odesílatelem a příjemcem a jeho vliv na kvalitu hovoru je popsán v doporučení ITU-T G.114, toto zpoždění by se mělo pohybovat do 150 ms, pokud překročí 300 ms, tak degradace kvality hovoru roste exponenciálně s narůstajícím zpožděním. Z pohledu kvality lze zpoždění rozdělit na tři úseky dle obr. 1.



Obr. 1. : Zpoždění mezi odesílatelem a příjemcem.

Na kvalitu hovoru může mít zásadní vliv jitter, který se dá eliminovat použitím nástrojů QoS, označováním hlasových paketů, jejich upřednostňováním ve frontách a fragmentací dlouhých paketů nebo rezervací zdrojů s využitím rezervačního protokolu. Zdroje musí být rezervovány na celé trase, aby byla garantována maximální doba doručení, tím pádem se jedná o rezervaci pásma. Při rychlostech nad 1 Mbit/s se jitter u VoIP téměř neuplatňuje a je tedy vize, že širokopásmová připojení tento problém zcela odstraní.

S použitím VoIP je potřebné věnovat pozornost i ztrátovosti paketů, neboť ztrátovost má u kodeků s predikčními metodami přímo destruktivní účinek na kvalitu hovoru. Ztráty okolo 3% u G.729 pocítí uživatel snížením hodnoty MOS o 0,5 a dostává se na úroveň kvality GSM kodeku používaného v mobilních sítích. V případě, že se jedná o ojedinělé ztráty, tak se může kvalita udržet použitím algoritmu maskování ztracených paketů PLC (Packet Loss Concealment), v případě shluku po sobě se vyskytujících ztrát efektivita algoritmu PLC klesá [1], [2].

3 E-model

Vzhledem ke komplexnosti moderních sítí je při plánování přenosových systémů vyžadováno posuzování mnohých přenosových parametrů a to již nejenom jednotlivě, ale také jejich vzájemné kombinace. Vzhledem ke stále větší komplikovanosti systémů přestal stačit pouze subjektivní parametr MOS (Mean Opinion Score), který byl v počátcích určován souborem měření provedených lidmi a posléze náhradou těchto prostřednictvím umělého ucha a úst. V současné době, kdy je IP telefonie implementována do stále rozsáhlejších IP sítí je nutné tento parametr nahradit parametrem jiným, který bude daný operátor (poskytovatel) nebo správce sítě schopen získat například na základě funkcí softwarových prostředků.

Řešením tohoto problému je parametr R-faktor (Quality rating value). Tento je primárním výstupem tzv. E-modelu dle doporučení ITU-T G.107, který je nástrojem pro hodnocení kombinovaných účinků variant různých přenosových parametrů působících na kvalitu hovoru 3.1 kHz telefonie. Metrika nazvaná R-faktor používá předpis pro zohlednění, jak uživatelského vnímání, tak celkového efektu znehodnocení zařízení pro dosažení numerického vyjádření hlasové kvality. R-faktor nabývá hodnot 0 až 100, kde hodnota nula reprezentuje extrémně špatnou kvalitu a hodnota 100 velmi vysokou kvalitu. Hraniční hodnotou R-faktoru pro použití v oblasti VoIP je hodnota 50, respektive MOS 2.6.

E-model je založen na předpokladu aditivní interakce jednotlivých rušivých vlivů a je popsán rovnicí [1]. Výsledkem této rovnice je R-faktor. R_0 prezentuje základní hodnotu odvozenou z vysílaného odstupu signál/šum SNR (Signal to Noise Ratio). Parametr I_s je lineární zkreslení, které v sobě

zahrnuje přijatou úroveň hovorového signálu a prezentuje znehodnocení, které může nastat přenosem hlasu, jako je pokles úrovně signálu, úroveň zpětné vazby a šum.

$$R = R_0 - I_s - I_d - I_e + A$$

1.

Faktor A (Advantage Factor) může zohledňovat výhody a nabývat hodnoty 0 až 20, označuje se jako faktor očekávání a uplatňuje se u mobilních terminálů, uživatel je schopen tolerovat zhoršení kvality při mobilitě a nabývá hodnot dle tabulky 3.

Tabulka 3: Faktor očekávání

typ terminálu	hodnota faktoru A
pevný terminál	0
pohyblivý DECT	5
mobilní GSM	10

Parametr I_D vyjadřuje zkreslení způsobené zpožděním, vyjadřuje echo na vzdáleném i blízkém konce a efekty zpoždění. Parametr I_E vyjadřuje vliv použitého zařízení (typ kodeku), viz. tabulka 2..

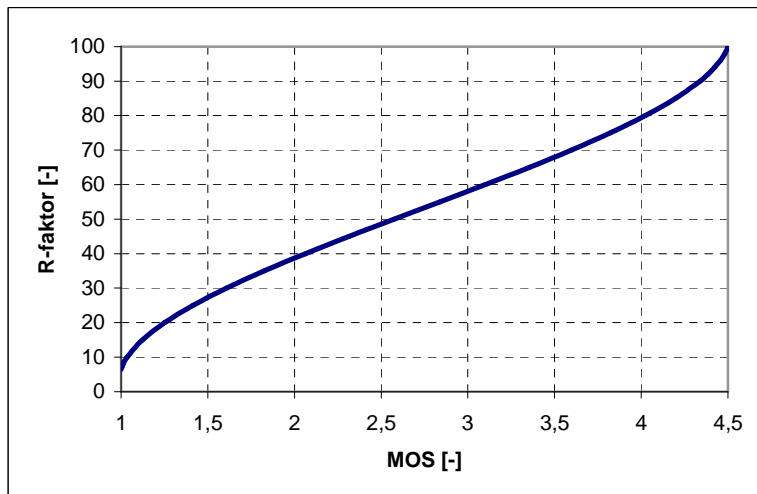
Tabulka 2.: Hodnoty faktoru I_E

Typ kodeku	Přenosová rychlost [kbit/s]	I_e
PCM G.711	64	0
CS-ACELP G.729	8	10
GSM Full-rate (RPE-LTP)	13	20
MP-MLQ G.723.1	6.3	15
ACELP G.723.1	5.3	19

Pokud je potřebné uvést i parametr MOS, tak lze R-faktor jednoduše převést. Pětihodnotová stupnice MOS se používá i pro objektivní měřicí metody PSQM (Perceptual Speech Quality Measurement) a PAMS (Perceptual Analysis Measurement System), doporučení ITU-T P.861 a P.862.

$$MOS = \begin{cases} R \leq 6.5 & 1 \\ 6.5 \leq R \leq 100 & 1 - \frac{7}{1000} \cdot R + \frac{7}{6250} \cdot R^2 - \frac{7}{1000000} \cdot R^3 \\ R \geq 100 & 4.5 \end{cases} \quad 2.$$

Jeden ze způsobů jak převést parametr R-faktor na odhadovanou hodnotu parametru MOS je použit vzorec [2], grafická závislost R-faktoru a parametru MOS je uvedena na obr. 2.



Obr. 2.: R-faktor jako funkce parametru MOS.

Dalším výstupem E-modelu mohou být prostřednictvím Gaussovy chybové funkce (Gaussian Error function) i procentuální parametry GoB (Good or Better) a PoW (Poor or Worse), grafický průběh a výpočet těchto parametrů je uveden v doporučení [2]. Tyto parametry společně s hodnotou MOS mohou být vhodné pro vytvoření dalšího pohledu na kvalitu při návrhu sítí [3], [4].

Tabulka 4: Porovnání jednotlivých parametrů

R-faktor [-]	MOS [-]	GoB [%]	PoW [%]	Spokojenost uživatele
100 - 90	4,5 - 4,34	100 - 97	~ 0	velmi spokojený
90 - 80	4,34 - 4,03	97 - 89	~ 0	Spokojený
80 - 70	4,03 - 3,60	89 - 73	0 - 6	někteří uživatelé nespokojeni
70 - 60	3,60 - 3,10	73 - 50	6 - 17	mnoho uživatelů nespokojeno
60 - 50	3,10 - 2,58	50 - 27	17 - 38	téměř všichni uživatelé nespokojeni

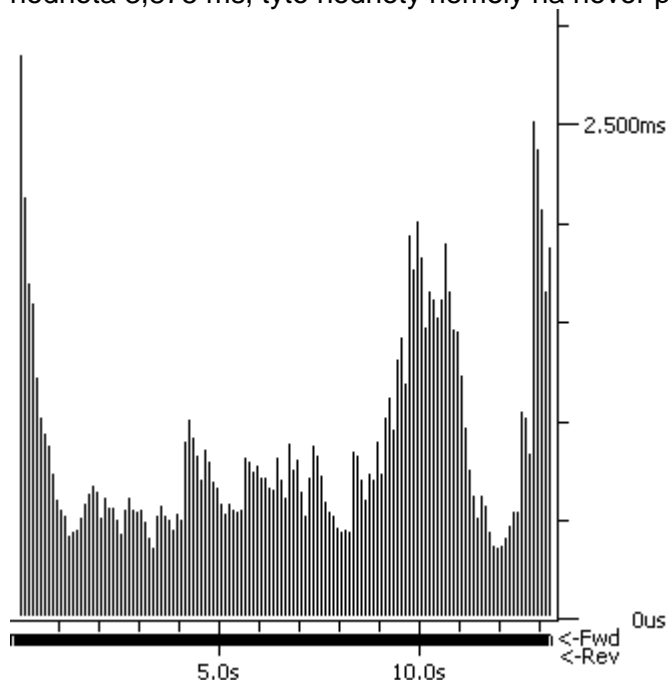
4 Vyhodnocení kvality hovoru v síti CESNET2

Sledování kvality VoIP služeb v síti národního výzkumu a vzdělávání je jedním z úkolů pracovní skupiny IP telefonie v rámci sdružení CESNET. Členové sdružení mají své PBX připojené přes hlasové brány do sítě CESNET2, což jim umožňuje bezplatné volání nejen mezi univerzitami v ČR, ale i do zahraničí, popis této sítě je k dispozici na <http://www.cesnet.cz/iptelefonie/>, další informace lze nalézt v literatuře [voz25]. Pro stanovení hodnoty MOS byl použit softwarový protokolový analyzátor Surveyor V.6.0, který udával jednak R-faktor a přímo jej přepočítával na MOS. Zachycený provoz byl dekodován a kromě parametru MOS Surveyor umožnil zobrazit i statistiky pro jednotlivé hovory a v další úrovni také pro jednotlivé směry hovorů, uživatelský a síťový R-faktor, jitter, RTCP jitter, počet zahozených paketů a dobu procedury sestavení spojení. Postup vyhodnocení a měření R-faktoru a MOS je popsán v literatuře [voz49]. Pro ilustraci uvádím několik hodnot měření z posledních měsíců, tyto měření proběhly za běžných provozních podmínek z univerzity VŠB-TU v Ostravě při použití kódování ITU-T G.711. Maximálně dosažitelná hodnota MOS dle ITU pro kodek G.711 je 4,4. Nejčastěji byla dosahována hodnota MOS=4,23 a odpovídala hodnotě R-faktoru R= 94.

Spojení z VŠB-TU v Ostravě s kódováním G.711 A-law:

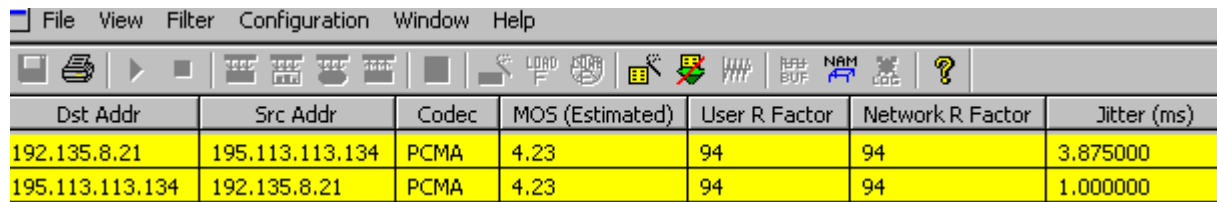
teoreticky dosažitelná hodnota, MOS=4,4
 mezi univerzitami v ČR v rámci sítě CESNET2, MOS=4,2
 destinace Hungarian Academy of Sciences, Budapest, MOS=4,2
 destinace Louisiana State University v USA, MOS=3,7
 destinace Università degli Studi v Miláně, MOS=4,2

Síť CESNET2 je příkladem vysokorychlostní sítě, která poskytuje VoIP přenosové prostředí s minimálním vlivem na kvalitu hovoru. O tom vypovídá obr.4., kde je zachycen jitter u hovoru do Milána, konkrétně toku RTP z Ostravy do Milána, který má průměrnou hodnotu 1ms, to vidíme i na obr.5., kde je zachycena obrazovka analyzátoru a ve zpětném směru byla pro jitter průměrná hodnota 3,875 ms, tyto hodnoty neměly na hovor prakticky žádný vliv



Obr.4. Průběh proměnného zpoždění během spojení.

Na obr.5. vidíme, že byl dosažen stejný MOS v obou směrech RTP toků a kvalita hovoru přes IP do Milána je stejná jako u hovoru v rámci ČR.



File	View	Filter	Configuration	Window	Help	
Dst Addr	Src Addr	Codec	MOS (Estimated)	User R Factor	Network R Factor	Jitter (ms)
192.135.8.21	195.113.113.134	PCMA	4.23	94	94	3.875000
195.113.113.134	192.135.8.21	PCMA	4.23	94	94	1.000000

Obr.5.: Okno analyzátoru s vyhodnocením parametrů spojení.

Naměřené hodnoty MOS v síti CESNET2 jsou nepochybně povzbudivé a korespondují s tím, co již bylo v tomto článku řečeno, rychlé síť řeší problém s proměnným zpožděním.

5 Závěr

Jedním z nových řešení určených pro monitorování parametrů QoS je implementace managementového protokolu RTCP XR (RTP Control Protocol Extended Reports). Tento definuje soubor metrik, které obsahují informace pro hodnocení VoIP kvality volání a určování problémů. IETF publikovalo RTCP jako RFC 3611 [5]. Report blok obsažený v RTCP XR může být aplikován na každou hlasovou aplikaci, pro kterou je specifikováno použití protokolu RTP nebo RTCP. Konkrétně je R-faktor reprezentován 8 bity.

6 Literatura

- [1] ITU-T G.114: General Recommendations on the transmission quality for an entire international telephone connection, Geneva, May 2000
- [2] ITU-T P.861: Objective quality measurement of telephoneband (300-3400 Hz) speech codecs, Geneva, May 2000
- [3] ITU-T G.107: The E-Model, a computational model for use in transmission planning, Geneva, March 2003
- [4] TIA/TSB-116-A : Transmission Requirements for Narrowband Voice over Voice Quality Recommendations for IP Telephony, Telecommunications Industry Association, Arlington USA, January 2005
- [5] RFC 3611 - RTP Control Protocol Extended Reports, <http://www.ietf.org/rfc/rfc3611.txt>
- [voz25] Vozňák, M. - Neuman, M.: The Peering with CESNET VoIP Network, CESNET Technical Report Number 27/2003, http://home1.vsb.cz/~voz29/files/voz_25.pdf
- [voz49] Vozňák, M. - Zukaš, D.: Vyhodnocení kvality hovoru pomocí R-faktoru v sítích VoIP, CESNET, 2004, <http://home1.vsb.cz/~voz29/files/voz49.pdf>.