

Nadgradnja E-modela za objektivno ocenjevanje vpliva potresavanja na zaznano kakovost govora v paketnih omrežjih

Iztok Humar, Primož Lamovšek, Uroš Bogataj, Brane Meglič in Janez Bešter

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška c. 25, 1000 Ljubljana, Slovenija

E-mail: iztok.humar@fe.uni-lj.si

Povzetek. Razcvet gorovne komunikacije v omrežjih z internetnim protokolom spodbuja narašča nje potreb po analizi zaznane kakovosti govora v paketnih omrežjih. V prispevku predstavimo motnje, ki jih občutijo prenašani podatki v paketnih omrežjih. Predstavimo metode, ki so razvite in standardizirane za vrednotenje prejete kakovosti govora. Osredotočimo se na E-model, ki se pogosto uporablja za objektivno vrednotenje kakovosti govora in poudarimo njegovo pomanjkljivost: ne omogoča vrednotenja vpliva potresavanja na izmerjeno oceno. Za odpravo navedene pomanjkljivosti smo E-model nadgradili glede zmožnosti vrednotenja vpliva potresavanja v t.i. nadgrajeni E-model in ga v praksi implementirali v telefonskem vozlišču. Evalvacija je bila izvedena v sintetičnem okolju po primerjalni metodi z referenčno merilno opremo za objektivno ocenjevanje kakovosti govora. Rezultati kažejo na dobro ujemanje izračunanih ocen po nadgrajenem E-modelu z izmerjenimi ocenami referenčne merilne opreme.

Ključne besede: prenos govora po internetnem protokolu, vpliv omrežja na kakovost, ocenjevanje zaznane kakovosti, vpliv potresavanja na kakovost, E-model, srednja ocena mnenja (MOS)

Extention of the E-model for Objective Assessment of the Jitter Impact on the Perceived Voice Quality in Packet Networks

Povzetek. Popularisation of voice communication in packet networks has induced the need for assessing the perceived voice quality. In the paper, we first focus on the possible disturbances to which the packet networks are exposed. We then introduce methods for assessing the perceived voice quality that have been developed and standardised. Our implementation is based on the E-model frequently used for objective assessments of the perceived voice quality. The model major disadvantage is its inability to correctly assess the jitter impact. In order to avoid this deficiency, we extended the E-model functionality by assesment of the jitter impact. Our extended E-model was implemented in a communication node. The evaluation was made in a synthetic environment by using a comparative approach with a reference measurement equipment for objective voice quality assessment. The results show high agreement of the estimated scores with the scores provided by the reference equipment.

Ključne besede: Voice over Internet Protocol, Impact of Packet Network on Perceived Quality, Perceptual Quality Assessment, Influence of Jitter on Quality, E-model, Mean Opinion Score (MOS)

1 Uvod

Prenos govora po paketnih omrežjih z internetnim protokolom (VoIP - Voice over IP) je možnost za konvergenco klasičnih telefonskih storitev s storitvami sodobnih omrežij IP, ki omogoča uporabo številnih aplikacij iz sveta IP v okviru koncepta omrežij naslednje generacije (NGN - Next Generation Networks). Omrežja IP imajo v primerjavi s klasičnimi telefonskimi omrežji izrazito pomanjkljivost: prenašanim podatkom sama po sebi ne zagotavljajo kakovosti storitev (QoS - Quality of Service). Zaradi te pomanjkljivosti prenašani podatki pri prehajanju skozi omrežje občutijo različne vplive, ki se kažejo kot motnje pri reproduciranju govora na strani uporabnikov.

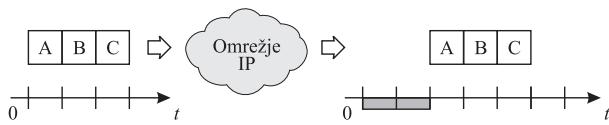
Za upravljevalca omrežja je torej nujno, da ima možnost nadzirati kakovost prejete gorovne storitve uporabnikov, še posebno pa je dobrodošlo, če je tovrstni nadzor kakovosti izведен v telefonskem vozlišču, ker to omogoča avtomatsko in dosledno zbiranje in shranjevanje podatkov za vse vzpostavljenje zveze. Zbrani podatki o kakovosti omogočajo alarmiranje upravljevalcev in posledično izvedbo ustreznih akcij za izboljšanje kakovosti ter so osnova za analizo, načrtovanje in vodenje telekomunikacijskega omrežja.

Potrebno je, da sistem za nadzor kakovosti upošteva čim širši spekter vplivov paketnih omrežij na kakovost govora. V tej luči v drugem poglavju najprej predstavimo vplive paketnih omrežij na prenašane podatke. V tretjem poglavju predstavimo metode, ki so bile razvite in standardizirane za vrednotenje prejete kakovosti govora. V četrtem poglavju se osredotočimo na E-model, ki se pogosto uporablja za merjenje kakovosti in je za izvedbo v telefonskem vozlišču izbran zato, ker omogoča najpreprostejšo implementacijo. Njegova pomanjkljivost je, da ne omogoča vrednotenje vpliva potresavanja na oceno kakovosti. Zato ga v tem pogledu nadgradimo v model z razširjeno funkcionalnostjo, ki ga v prispevku poimenujemo *nadgrajeni E-model*. Ta model je v praksi implementiran v telefonsko vozlišče. Evalvacija, predstavljena v petem poglavju, je bila izvedena v sintetičnem okolju po primerjalni metodi z referenčno merilno opremo za merjenje kakovosti govora v paketnem omrežju. V šestem poglavju predstavimo rezultate evalvacije; sledi sklep.

2 Vplivi omrežja na prenašane podatke

Na postopek prenosa govornih podatkov v paketnih omrežjih med izvorom in ponorom vplivajo različni dejavniki: kodiranje, način zlaganja zajetih govornih podatkov v okvire in vpliv omrežja na prenos samih paketov. Prva dva vpliva sta stalna in za konkretnne kodeke oziroma vrste uokvirjanj tudi vnaprej določljiva; podrobnejše pa opišimo vplive, ki jih vnašajo paketna omrežja in ki neposredno vplivajo na zaznano kakovost govornega signala, torej zakasnitev, potresavanje zakasnitve, izgubljanje paketov in podvajanje paketov.

Zaradi načina delovanja omrežij IP se paketi, ki potujejo skozenje, zakasnijo (slika 1). Zakasnitev je sestavljena iz prispevka algoritemsko zakasnitve, procesne zakasnitve in zakasnitve prenosa po omrežju. Algoritemska zakasnitev je vsota zakasnitve samega okvira in zakasnitve predvpogleda v naslednji okvir, torej prispevek v skupni velikosti 10 – 30 ms. Procesna zakasnitev je čas, potreben za izvedbo kodiranja in združevanja vzorcev v paket. Odvisna je od zmogljivosti procesorja in od tipa paketizacije (10 ms, 20 ms, 30 ms). Zakasnitev prenosa je odvisna od uporabljenih fizičnih medijev, protokolov za prenos podatkov in uporabljenih predpomnilnikov za izločanje potresavanja zakasnitve.

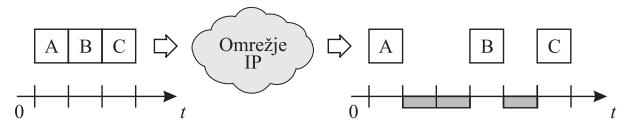


Slika 1. Zakasnitev paketov

Zakasnitve povzročajo dve neprijetnosti: odnev in prekrivanje govora. Za sogovornika so nemoteče zakasnitve velikosti 0 – 15 ms, zakasnitve do 150 ms zahtevajo nadzor odneva, pri zakasnitvah v območju 200 – 400 ms je prekrivanje opazno, a nemoteče, zakas-

nitve, večje od 400 ms, pa otežujejo interaktivni pogovor in zahtevajo uporabo pogovornih pravil.

Zakasnitev ponavadi ni za vse pakete enaka (slika 2). To pomeni, da zaporedno oddani paketi k ponoru ne pridejo z enakimi časovnimi razmiki, kot jih je oddal izvor. Še več, paketi včasih prispejo celo v drugačnem vrstnem redu. Spremenljiva zakasnitev se imenuje potresavanje zakasnitve (ang. *jitter*). Vzrok za potresavanje zakasnitve so spremenjajoče se dolžine čakalnih vrst v stikalih in usmerjevalnikih, različne poti, po katerih potujejo posamezni paketi, in okvare v omrežju zaradi nasičenosti ali izpada povezav.

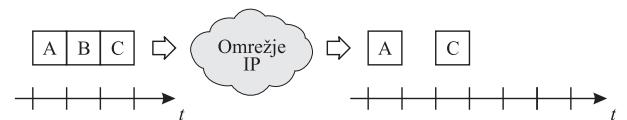


Slika 2. Potresavanje zakasnitve paketov

Interaktivne gorovne storitve v nasprotju z zgoraj predstavljenimi zmožnosti paketnih omrežij zahtevajo konstantno (in čim manjšo) zakasnitev, saj govorni predvajalniki za kontinuirano predvajanje potrebujejo konstanten tok glasovnih okvirov. Če v trenutku predvajanja kateri izmed paketov (še) ni bil dostavljen, pride do napake, ki se odraža v slabši kakovosti govora. Prepozno dostavljen paket povzroči povsem enak rezultat kot izgubljeni paket.

Vpliv potresavanja zakasnitve se odpravlja s predpomnilnikom, v katerem se paketi zberejo, razporedijo v pravilno časovno zaporedje in čakajo na dostavo predvajalniku v obdelavo. Pristop omogoča enakomerno in kontinuirano predvajanje govora, ima pa slabo stran, ker za odpravo potresavanja vnaša še dodatno zakasnitev.

Omenili smo že, da izgubljeni paketi (slika 3) vplivajo na kakovost sintetiziranega govora. Problematiko izgubljanja paketov na splošno sicer odpravlja transportni nivo (npr. TCP - Transport Control Protocol), vendar pa je ta – zaradi zahteve gorovne komunikacije za delovanje v realnem času – nemočen in neuporaben, saj ponovno poslaní paketi navadno k sprejemniku prispejo prepozno za reprodukcijo.

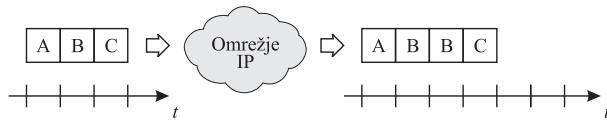


Slika 3. Izgubljanje paketov

Na splošno velja ocena [11], da je izguba govornih paketov nad 10 % nedopustna, za uporabnike pa je lahko neprijetna že 5-odstotna izguba paketov. Podatek o povprečnem odstotku izgubljenih paketov pa sam po sebi ni dovolj zgovoren, ker je pomembnejša kot odstotek tudi porazdelitev izgubljenih paketov: govor je namreč veliko bolj občutljiv na izgube v izbruhih kot pa na enakomerno porazdeljene izgube.

Aplikacije se na izgubljene pakete odzivajo na različne načine: (a) izgubljen paket se preprosto ne predvaja, temveč se v primeru njegove odsotnosti predvaja tišina; (b) izgubljen paket nadomesti njemu predhodni paket, torej se isti del govora predvaja dvakrat. Ta metoda je preprosta, učinkovita in deluje, dokler ni izgubljenih paketov veliko in se ti ne pojavljam zaporedoma.

Kot zadnji vpliv predstavimo še podvajanje paketov (*slika 4*), do česar lahko pride ob uporabi protokolov za zagotavljanje zanesljivega prenosa podatkov s potrjevanjem (npr. protokol TCP). Lahko se zgodi, da se potrditev, s katero sprejemnik oddajniku potrdi sprejem paketa, med prenosom izgubi; zato oddajnik ponovno pošlje že poslani paket. Sprejemnik, ki sprejme dva enaka paketa, nastali problem identificira tako, da primerja zaporedni številki prispelih paketov s pričakovano zaporedno številko in podvojen paket zavrne. Ker se pri prenosu govora v paketnih omrežjih navadno ne uporabljajo protokoli za zagotavljanje zanesljivega prenosa podatkov, se podvojeni paketi ne pojavljam.



Slika 4. Podvajanje paketov

Predstavili smo osnovne vplive na pretok podatkov, ki jih vnese omrežje IP, niso pa znane neposredne funkcionalnosti prejete kakovosti govornega signala od opisanih motenj. Za potrebo vrednotenja teh odvisnosti se razvijajo pristopi vrednotenja zaznane kakovosti govornega signala, ki so temelj za pridobivanje podatkov, gradnjo modelov, podpora pri načrtovanju, upravljanju in vodenju omrežij ter alarmiranju ob identifikaciji napak v omrežjih. Predstavimo pristope vrednotenja zaznane kakovosti za govorni signal, prenašan po omrežju IP.

3 Vrednotenje zaznane kakovosti VoIP

Definicija pojma *subjektivne ocene zaznane kakovosti govora* določa, da je subjektivna ocena zaznane kakovosti govorne storitve tista vrednost, ki jo na lestvici od 1 do 5 oceni statistično povprečen udeleženec v telefonskem pogovoru [7]. Čeprav ta definicija zbuja številne pomisleke, saj z njo kakovost govora ni eksaktno določena, je subjektivna izvedba najbolj verodostojen pristop k vrednotenju.

Ker je vrednotenje po tej metodi zamudno in potratno, se iščejo in razvijajo ekvivalentne metode ocenjevanja subjektivno zaznane kakovosti govora prek merjenja fizičnih parametrov - t.j. *objektivno ocenjevanje kakovosti*.

3.1 Subjektivna ocena zaznane kakovosti

Subjektivna ocena zaznane kakovosti je sestavljena iz več parametrov in vključuje tako kakovost terminala kot lastnosti omrežja. Načeloma ločimo dve metodi pridobivanja te ocene.

a) **Vrednotenje mnenja** posameznikov v skladu s priporočilom ITU-T P.800 [1], ki določa, da je zmogljivost testiranega sistema lahko vrednotena neposredno – po kategoriji absolutnih ocen (ACR - Absolute Category Rating) ali prek vrednotenja degradacije glede na referenčni sistem (DCR - Degradation Category Rating). Pri prvem, pogosteje uporabljenem pristopu, zaznano kakovost ocenjujemo z oceno MOS (Mean Opinion Score) [2] na lestvici: (1) zelo slabo, (2) slabo, (3) dobro, (4) zelo dobro in (5) odlično. Glede na način komunikacije, ki se uporablja pri testiranju, se vrednotenje subjektivne kakovosti deli na *slušno kakovost* in *pogovorno kakovost*. Medtem ko drugo vrednotenje temelji na dvosmerni komunikaciji, zaradi česar daje zgovornejšo oceno, prvo vključuje zgolj poslušanje vnaprej posnetega govornega gradiva, kar še vedno zadostuje za vrednotenje nekaterih značilnosti, npr. vpliva izgubljenih paketov pri predvajanju govora.

b) **Metoda ekvivalentnega mnenja** nadgrajuje prej predstavljeno metodo, katere glavna pomajnjivost je od pogojev in kraja testiranja odvisna izmerjena ocena. Od tod izvira želja po izločitvi vpliva zunanjih pogojev na merjeno oceno MOS, kar zagotavlja metoda ekvivalentnega mnenja (Opinion Equivalent-Q Method) [8]. Pri tej metodi se kakovost testiranega signala primerja s signalom, popačenim s šumom Q-decibelov in išče ekvivalentno občutenje zaznane kakovosti. Rezultati so navadno bolj ponovljivi kot pri metodi vrednotenja mnenja.

3.2 Objektivna ocena zaznane kakovosti

Vrednotenje s subjektivnimi metodami je zamudno in potratno, zato se razvijajo alternativne metode ocenjevanja zaznane kakovosti prek merjenja značilnosti terminalske opreme in omrežja, imenovane *objektivne metode*. Razvrstiti jih je mogoče v tri glavne skupine: (a) *mnenjski modeli* omogočajo določitev ocene za pogovorni MOS iz parametrov terminala in omrežja, (b) *objektivni modeli govornega nivoja* izvedejo oceno na podlagi govornega signala, uporabljenega za izvedbo meritev in (c) *objektivni modeli paketnega nivoja*, ki izvedejo meritev ocene na podlagi izmerjenih lastnosti paketnega omrežja. Zadnja dva modela ocenjujeta zgolj slušno kakovost.

Oglejmo si značilnosti naštetih metod nekoliko podrobnejše in se podrobnejše posvetimo E-modelu, katerega nadgradnjo in praktično implementacijo bomo predstavili v nadaljevanju.

- a) **Mnenjski modeli** so bili prvič predlagani v standardizacijske postopke ITU-T že leta 1980. Njihov osrednji predstavnik – E-model, standardiziran v devedesetih letih, je sestavljen iz vsote dvajsetih parametrov, kot so zakasnitev, odmev, glasnost, napake, ki izvirajo iz kodiranja govora, bitnih napak ali izgube paketov in so odgovorni za degradacijo kakovosti, skupaj zbranih v faktorju poslabšanja opreme. Ta faktor se odšteje od referenčne vrednosti. Dobijeni rezultat se imenuje R-vrednost in je v korelaciji z oceno pogovornega MOS in je uporaben parameter za nadzor kakovosti v omrežju v skladu s priporočilom G.107, žal pa ni nujno dobra ocena za subjektivno zaznano kakovost VoIP.
- b) **Objektivni modeli govornega nivoja** delujejo tako, da v testiran sistem injicirajo referenčni govorni signal, prejet rezultat pa primerjava z referenco. Prve standardizirane verzije (P.861, Perceptual Speech Quality Measure) so bile sposobne vrednotiti samo neprekinitvene motnje in so odpovedale v primeru izgube paketov, zato se je pozneje razvil standard P.862 (Perceptual Evaluation of Speech Quality), ki odpravlja navedeno pomanjkljivost in omogoča testiranje pri uporabi specifične terminalne opreme ali pri izračunih upošteva standardno terminalno opremo.
- c) **Objektivni modeli paketnega nivoja** ponujajo možnost vrednotenja kakovosti, temelječ izključno na (objektivno izmerjenih) podatkih omrežnega nivoja; pri tem pa ni potrebno, da analizirani paketi prenašajo gorovne podatke. Pристоп objektivnega ocenjevanja na podlagi podatkov paketnega nivoja se imenuje PVTQ, konkretna predstavnika pa sta PsyVoIP [5] in VQmon [6]. Postopek ocenjevanja kakovosti temelji na zbiranju podatkov o številu izgubljenih paketov, vzorcu porazdelitve izgubljenih paketov, zakasnitvi in potresavanju, pridobljenih od protokolov RTP in RTCP, ki se uporabljajo za določitev ocene MOS. Nekatere podatke je mogoče pridobiti tudi iz razširjenega poročila RTCP-XR (Extended Report) [12], če je ta storitev vključena v analiziranem sistemu VoIP. Problem pristopa objektivnih modelov paketnega nivoja je v tem, da ne morejo predvideti, kako bo terminalska oprema upoštevala pakete različnih zakasnitev, ker ne poznajo velikosti predpomnilnika potresavanja. Nekateri pristopi upoštevajo specifike terminalske opreme prek vnaprej pripravljenih kalibracijskih datotek, ki se superponirajo h končni oceni.

4 E-model

Glede na to, da je osnovni cilj implementirati pristop za celovito vrednotenje vplivov paketnih omrežij na zaznano kakovost za konkretno telefonsko vozlišče z

vnaprej določenim procesorjem in programsko opremo, pri praktični implementaciji ni smiseln dopolnjevati ali spremeniti funkcionalnosti celotnega sistema, pač pa izbrati takšen pristop, da bo omogočil čim lažjo in učinkovito implementacijo. Zato smo se med pregledanimi rešitvami odločili za E-model, ki je bil v danem trenutku po vložku najcenejša izbira in ni zahteval dodatnih strojnih predelav, temveč samo programske dopolnitve sistema, zavedajoč se njegove pomankljivosti pri merjenju vpliva potresavanja.

Glede na izbiro bomo v tem poglavju E-model opisali nekoliko podrobnejše in predstavili njegovo razširitev za merjenja vpliva potresavanja na oceno zaznane kakovosti govora.

4.1 Predstavitev E-modela

E-model je računski model, ki se relativno pogosto uporablja pri načrtovanju omrežij za prenos govornega signala oziroma kot pomoč pri vrednotenju rezultatov meritev. Standardiziran je v ITU-T G.107 [7]. E-model temelji na domnevi, da se lahko anomalije pri prenosu pretvorijo v t.i. psihološke faktorje, ki se na t.i. psihološki lestvici seštevajo. Zato na podlagi karakteristik prenosnega medija in lastnosti signala, ki se po njem prenaša, računsko oceni stopnjo zadovoljstva uporabnikov govornih storitev na številski lestvici od 0 do 100, kar pomeni *R vrednost*:

$$R = R_o - I_s - I_d - I_{eff} + A, \quad (1)$$

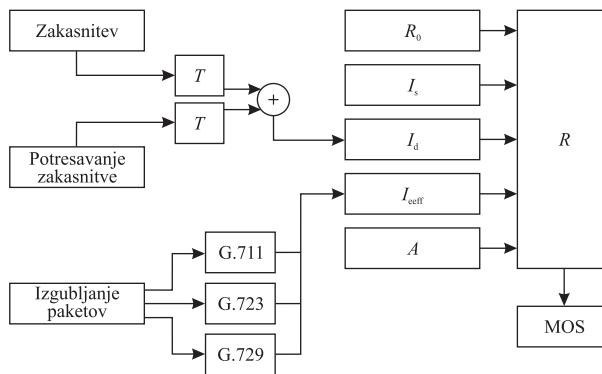
kjer je parameter R_o osnovna vrednost kakovosti, določena z razmerjem signal/šum (vključujuč šume na liniji in v okolici), I_s pomeni anomalije, povezane s prenosom govora: slabljenje signala med usti govorca in ušesi poslušalca, lokalen presluh in kvantizacijsko popačenje, I_d pomeni anomalije zaradi prevelikih zakasnitev: pojava odmeva, idealno izločanje odmeva, I_{eff} je merilo popačenja zaradi zgoščevanja signala, izgub paketov in ni odvisen le od parametrov omrežja, temveč tudi od človekovega zaznavanja govora; določen na podlagi ocen MOS. Parametra R_o in I_s opisujeta popačenje prenesenega signala, I_d in I_{eff} pa lastnosti prenosnega medija. Parameter A pomeni stopnjo uporabnikove strpnosti do navedenih anomalij, upoštevajoč druge (ne-tehnične) ugodnosti, ki jih je deležen pri uporabi določene aplikacije (npr.: toleranco uporabnika mobilne telefonije, ki je udobje mobilnosti pripravljen plačati s slabšo kakovostjo gorovne storitve).

Ti osnovni parametri so sestavljeni iz podparametrov, od katerih bomo poudarili samo parameter T , ker ga bomo uporabili pri razširitvi E-modela za vrednotenje vpliva potresavanja na zaznano kakovost. Parameter T pomeni povprečno zakasnitev pri prenosu v eno smer. Kot smo povedali že v drugem poglavju, signal na poti skozi omrežje potuje skozi različne naprave, kjer se zadržuje v čakalnih vrstah, te pa v prenašani govor vnašajo različne zakasnitve. Prav tako imajo vgrajene raz-

lične predpomnilnike za odpravljanje vplivov potresavanja, ki v prenašani govor vnašajo še dodatne zakasnitve. Ker ne poznamo vplivov posameznih zunanjih dejavnikov na prenašani signal, je najbolj smiselno združeno upoštevati vpliv zakasnitve in potresavanja, kot to predlagamo v nadgrajenem E-modelu.

4.2 Nadgrajen E-model

Z željo po nadgraditvi osnovnega E-modela s funkcionalnostjo vrednotenja vpliva potresavanja smo v nadgradjenem E-modelu [10] razširili pomen parametra T , ki je naprej vključen v izračun parametra I_d (slika 5).



Slika 5. Izračun parametra R po nadgrajenem E-modelu

Nadgrajeni E-model izhaja iz predpostavk, da zakasnitvam (med 0 ms in 150 ms) in potresavanjem (med 0 ms in 40 ms) priredimo parameter T med 0 ms in 244 ms (tabela 1). Preostale vrednosti so izračunane in preverjene na podlagi testiranj [10].

Kakovost	Vrednost R	Zakasnitev	Potresavanje	T
dobra	80–93,21	0 ms–150 ms	0 ms–40 ms	0
srednja	70–80	150 ms–250 ms	40 ms–75 ms	244
slaba	< 70	> 250 ms	> 75 ms	322

Tabela 1. Predpostavke za nadgrađeni E-model

Parametra T , ki ju dobimo z izračunom vpliva zaksnitve in potresavanja, med seboj seštejemo, kot je razvidno iz slike 5, njuno vsoto pa uporabimo za izračun I_d , po splošni enačbi E-modela [7]. Enačba za izračun parametra R je sestavljena še iz več podparametrov, ki so med seboj povezani. Ker so enačbe zahtevne in z željo, da bi čim manj obremenjevali procesor, so vrednosti nekaterih parametrov (R_o in I_s) v praktični implementaciji nadgrajenega E-modela na telefonskem vozlišču preračunane vnaprej in tabelirane v programske kodi [9], [10]. Ostane samo še parameter I_{eff} , ki ga izračunamo s pomočjo naslednje enačbe:

$$I_{eff} = I_e + (95 - I_e) \cdot \frac{P_{pl}}{P_{pl} + B_{pl}}. \quad (2)$$

Za izračun parametra I_{eff} (slika 5) potrebujemo število izgubljenih paketov in podatek o uporabljjenem

kodirnem postopku. Z zgoraj navedenim ciljem smo za najpogosteje uporabljene kodirne postopke, izračune za ta parameter, izvedli vnaprej. Parameter A je bil v skladu s predpostavkami E-modela nastavljen na 0. Zaradi večje zgovornosti rezultata izračunano vrednost R pretvorimo v oceno MOS po enačbi:

$$\text{MOS} = 1 + 0,035 \cdot R + 7 \cdot 10^{-7} R \cdot (R - 60) \cdot (100 - R). \quad (3)$$

5 Analiza sistema in rezultati

Natančnost delovanja implementiranega sistema za določanje kakovosti je bila ovrednotena v emulacijskem okolju po primerjalni metodi z (referenčno) merilno opremo za merjenje kakovosti govora - Malden DSLA II (Digital Speech Level Analyzer). Ta omogoča merjenje kakovosti govora v paketnih omrežjih po metodi z objektivnim modeliranjem na govornem nivoju: v omrežje pošilja referenčne govorne vzorce, rezultančne signale pa primerja z referenčnimi in tako izmeri kakovost govora. Za primerjanje sta bila uporabljena algoritma PESQ [3] in P.862.1 [4]. Metoda objektivnih modelov govornega nivoja je za primerjavo ustrezna zato, ker omogoča tako meritev vplivov šumov, zakasnitev, izgub, kot tudi potresavanja zakasnitve, ki je za vrednotenje nadgrajenega E-modela še posebno zanimiva.

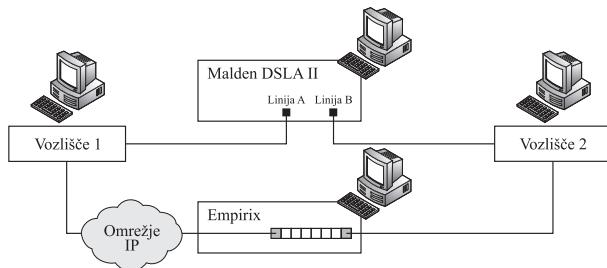
5.1 Metoda

Scenarij emulacije je prikazan na sliki 6. Povezava vsake izmed central s paketnim omrežjem je speljana prek spojnika, stikala in usmerjevalnika. Pri testiranju zveze je uporabljena paketizacija 30 ms in kodni algoritem ITU-T G.711. Preostalo zakasnitev doda procesiranje in usmerjanje na telefonskem vozlišču, v stikalih in na usmerjevalniku.

Testiranje izvaja programska oprema, ki avtomatično kliče ciljno številko in tako vzpostavlja povezave med telefonskima centralama. Pri testiranju so bili uporabljeni ženski in moški govorni vzorci v različnih jezikih (angleški, nemški, italijanski ipd.), različnih dolžin in amplitud. Po vsaki vzpostavljeni zvezi se na centrali izračuna ocena MOS, hkrati pa se prenese podatek o kakovosti, izmerjeni na referenčnem inštrumentu. Oba podatka se shranita v datoteko in se pozneje primerjata med seboj z namenom, da se preveri ujemanje izračunanega parametra zaznane kakovosti po nadgrajenem E-modelu.

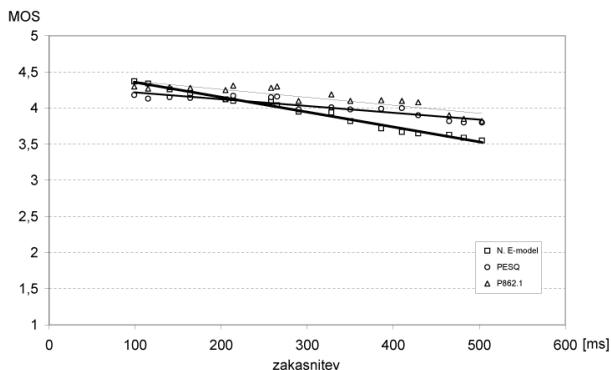
Rezultati so analizirani ločeno za različne vplive.

- a) **Vpliv zakasnitve.** Za verifikacijo smo najprej preverili pravilnost izračuna ocene MOS, tako da v omrežje nismo vnašali dodatne zakasnitve, torej so na kakovost govora vplivali samo tisti dejavniki, ki so bili prisotni v samem omrežju IP. V ta namen smo na emulatorju vse vrednosti nastavili na nič; referenčna merilna oprema je izmerila zakasnitev 99 ms, nadgrajeni E-model, implementiran v



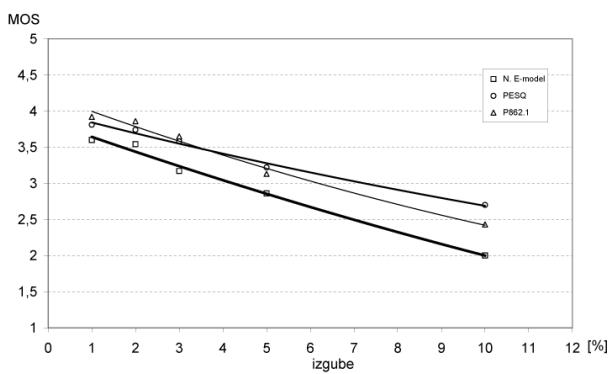
Slika 6. Vrednotenje delovanja sistema

telefonskem vozlišču pa 89 ms. Nato smo korakoma povečevali dodano zakasnitev od 0 ms do 400 ms ter beležili izmerjeno (PESQ, P.862.1) in izračunano oceno MOS pri vseh zakasnitvah; rezultati so zbrani v grafu 1. Očitno je, da vse tri vrednosti dobrosovpadajo.



Slika 7. Graf 1: Primerjava odvisnosti MOS od zakasnitve

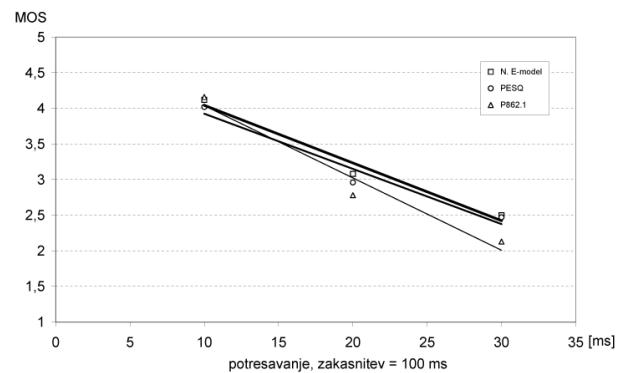
b) **Vpliv izgubljanja paketov.** Na emulacijskem sistemu smo nastavili naključno izgubljanje paketov, začenši z enim odstotkom in korakoma do deset odstotkov. Rezultati za izračunano oceno MOS in izmerjeni oceni PESQ in P.862.1 so zbrani v grafu 2. Opazimo lahko, da se krivulje gibljejo vzporedno, izračunani MOS pa je po vrednosti nižji od referenčnih vrednosti, ker smo v nadgrajeni E-model vgradili strožji kriterij glede izgubljanja paketov.



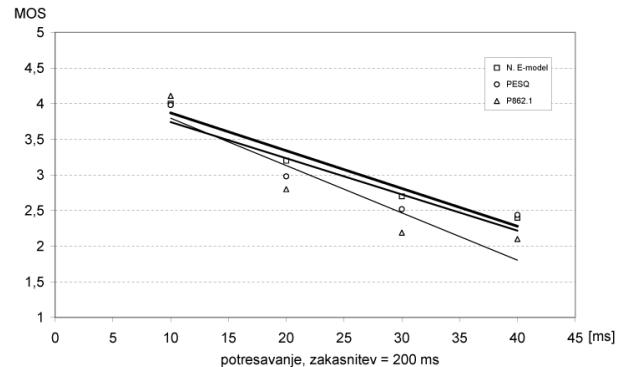
Slika 8. Graf 2: Primerjava odvisnosti MOS od odstotka izgubljenih paketov

c) **Vpliv potresavanja zakasnitve** Le-tega ni mogoče meriti samostojno, ampak ob hkrati nastavljeni zakasnitvi. Predstavili bomo tri primerjave, izračunane (E-model) in izmerjene (PESQ, P.862.1) ocene MOS pri naslednjih vrednostih:

- zakasnitev 100 ms, potresavanje 10 – 30 ms, graf 3;
- zakasnitev 200 ms, potresavanje 10 – 40 ms, graf 4;
- zakasnitev 300 ms, potresavanje 10 – 50 ms, graf 5.



Slika 9. Graf 3: Primerjava odvisnosti MOS od potresavanja (pri zakasnitvi 100 ms)

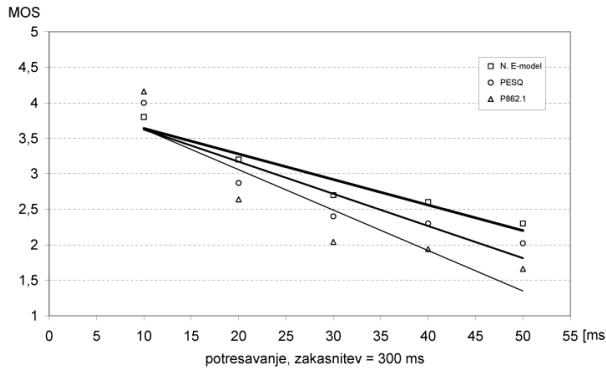


Slika 10. Graf 4: Primerjava odvisnosti MOS od potresavanja (pri zakasnitvi 200 ms)

Vsem trem grafom je skupno to, da ocena, izmerjena po metodi P.862.1 (razen pri nižjih vrednostih potresavanja), odstopa navzdol, zaradi strožjega upoštevanja potresavanja v algoritmih izračuna, kot pri drugih dveh metodah. Ocena, izmerjena po metodi PESQ in izračunana z nadgrajenim E-modelom, povečini sovpadata. Odstopanja opazimo predvsem pri velikih zakasnitvah, kjer pridejo do izraza različnosti algoritmov za izračun ocene MOS.

6 Sklep

Trendi narekujejo prehajanje govornih komunikacij na paketna omrežja, kar omogoča razvoj novih storitev



Slika 11. Graf 5: Primerjava odvisnosti MOS od potresavanja (pri zakasnitvi 300 ms)

(Next Generation Networks, IP Multimedia Subsystems). Paketna omrežja niso pisana na kožo tovrstni komunikaciji: zaradi obdelave podatkov vnašajo dodatne zakasnitve, potresavanje ter izgube in podvanjanje paketov, kar povzroča probleme pri zagotavljanju kakovosti govornim storitvam. Meritve kakovosti govora v paketnih omrežjih so razmeroma nova, a nujna veja ugotavljanja kakovosti govornih storitev. Razvijajoče se metode imajo še marsikatero pomanjkljivost, saj postopki standardizacije še niso končani.

V prispevku smo napravili pregled pristopov k ocenjevanju kakovosti. Zaradi ustreznosti smo se osredotočili na E-model, njegovo nadgradnjo in implementacijo v resno vozlišče.

S pomočjo metod PESQ [22] in P.862.1 [33], ki sta najbolj primerni za objektivno ocenjevanje kakovosti govora, smo preverili pravilnost izračunavanja ocene MOS z nadgrajenim E-modelom. Z rezultati meritev smo dokazali dokaj točen izračun ocene MOS z nadgrajenim E-modelom, ki je bil prvič preizkušen v praksi. Rezultati meritev bodo pripomogli k nadaljnemu razvoju algoritma, cilj pa je natančnejše izračunavanje ocene MOS.

7 Literatura

- [1] Rec. ITU-T P.800: Methods for Subjective Determination of Transmission quality, Geneva, 1996.
- [2] Rec. ITU-T P.800.1: Mean Opinion Score (MOS) Terminology, 2003.
- [3] Rec. ITU-T P.862: Perceptual Evaluation of Speech Quality (PESQ), an Objective Method for End-to-end Speech Quality Assessment of Narrowband Telephone Networks and Speech Codecs, 2001.
- [4] Rec. ITU-T P.862.1: Mapping Function for Transforming P.862 Raw Result Scores to MOS-LQO, 2003.
- [5] S. Broom, M. Hollier, Speech Quality Measurement Tools for Dynamic Network Management. MESAQIN, 2003.
- [6] A. Clark, Modeling the Effects of Purst Packet Loss and Recency on Subjective Voice Quality. IP Telephony Workshop, 2001.
- [7] Rec. ITU-T G.107: The E-model, a Computational Model for Use in Transmission Planning, 2003.
- [8] A. Takahashi, H. Yoshino, Perceptual QoS Assessment Technologies for VoIP. IEEE Communications Magazine, July, 2004.
- [9] P. Lamovšek, Objektivno ocenjevanje kakovosti govora v paketnih omrežjih z uporabo E-modela. Diplomsko delo, FE, Ljubljana, 2006.
- [10] P. Lamovšek, B. Meglič, RTCP - Nadzor kakovosti RTP prometa, Funkcijska specifikacija, Iskratel, Kranj, 2005
- [11] D. Uršič, Internetna telefonija, Diplomsko delo, FE, Ljubljana, 2001.
- [12] RFC 3611: RTCP XR - RTP Control Protocol Extended Reports, November, 2003.

Iztok Humar je diplomiral leta 2000 in magistriral leta 2003 na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Od leta 2000 je tam tudi zaposlen kot asistent pri predmetih Načrtovanje, vodenje in modeliranje telekomunikacijskih omrežij in Osnove elektrotehnike. Njegovo raziskovalno področje obsega merjenje in analizo prometa in protokolov širokopasovnih hrbteničnih in dostopovnih telekomunikacijskih omrežij, načrtovanje, razvoj, nadzor, upravljanje in vodenje le-teh in razvoj globalnih telekomunikacijskih sistemov, novih storitev in aplikacij. Ukvarja se tudi s področjem zagotavljanja kakovosti storitev ter njihovo evalvacijo. Je član IEEE in IEICE.

Primož Lamovšek je diplomiral leta 2006 na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Od leta 2004 je v podjetju Iskratel, d.o.o., opravljal praktično izobraževanje in študentsko delo. Ukvarjal se je z razvojem in implementacijo prilagojenega E-modela v sisteme nove generacije. Od leta 2006 je zaposlen v podjetju Landis+Gyr, d.o.o. Ukvarja se s sistemmi za odčitavanje električnih števcov prek PLC, GSM/GPRS, Ethernet, M-Bus omrežij. Posebej ga zanimajo AMR (Automatic Meter Reading) in AMI (Advanced Metering Infrastructure) sistemi.

Uroš Bogataj je diplomiral leta 1982, magistriral leta 1987 in doktoriral leta 1994 na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani. Od leta 1982 je bil zaposlen na Inštitutu Jožef Stefan v Ljubljani, kjer se je ukvarjal z raziskavami na področju biomedicinske tehnike in medicinske rehabilitacije s pomočjo električne stimulacije. Na tem področju je izdal več odmevnih člankov v mednarodnih strokovnih revijah. Od leta 1997 je zaposlen v Iskratelu, d.o.o. Ukvarja se predvsem s problematiko in razvojem diagnostike na telekomunikacijskih sistemih. Posebej ga zanima odkrivanje in odpravljanje napak v širokopasovnih omrežjih nove generacije na prenosni ravni in na ravni kakovosti storitev.

Brane Meglič se je po šolanju, leta 1979, zaposlil v tedanji Iskri Telematiki in v telekomunikacijski branži ostal vse do danes. Trenutno je zaposlen v razvojnem oddelku podjetja Iskratel, d.o.o. Zadnjih nekaj let se ukvarja z razvojem programske opreme za nadzor omrežij in spremljanje pravilnosti delovanja različnih sklopov materialne opreme. Njegovo področje je tudi razvoj

programske opreme analogne in digitalne PLL zanke za podporo sinhronizaciji telekomunikacijskih sistemov.

Janez Bešter je doktoriral leta 1995 in je zaposlen na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani kot profesor in predstojnik Laboratorija za telekomunikacije. Njegovo raziskovalno, razvojno in pedagoško delo je povezano s področjem načrtovanja, realizacije in vodenja telekomunikacijskih sistemov in storitev ter uporabo informacijskih tehnologij in telekomunikacij na področju e-izobraževanja. Kot predsednik projektnega sveta Tehnološke mreže ICT aktivno deluje pri povezovanju raziskovalnih institucij z gospodarstvom. Je član IEEE, ACM, IEICE ter številnih drugih strokovnih organizacij s področja elektronskih komunikacij.