

Objektivna analiza jedne hardverske realizacije algoritama za prenos audio signala ISDN linijom

Mirjana Cvijović, AES Member, Dejan Todorović, AES Member,
RADIO TELEVIZIJA SRBIJE

Sadržaj — U radu je izvršeno poređenje različitih algoritama kompresije audio signala koji se koriste pri prenosu audio signala za emitovanje. Za potrebe merenja izabran je protok od 64 kb/s što je protok koji odgovara kapacitetu ISDN linije koja se često koristi pri prenosu komprimovanog audio signala (reporterska javljanja, komentatorske pozicije i dr.). Očekivano je da će se izmereni parametri razlikovati u zavisnosti od primenjene kompresije. S obzirom na to da su neki algoritmi namenjeni prenosu govora, za ove algoritme je očekivano da će izmereni parametri biti nižeg kvaliteta od drugih, namenjenih prenosu punog opsega audio signala. Rezultati su pokazali da se samo neki od algoritama kompresija mogu koristiti za prenos muzičkog signala dovoljnog kvaliteta, dok drugi unose neprihvatljiva izobličenja pri protoku od 64 kb/s. Kašnjenje signala kroz koder, odnos signal/šum, tranzijentni odziv, amplitudski spektar i fazna karakteristika, se razlikuju, kako za različite primenjene algoritme, tako i za različite pobudne signale za isti algoritam. Sva merenja su urađena u RTS-u, na uređaju MAYAH Centauri II, koji se koristi pri prenosima.

Ključne reči — kompresija sa gubicima, ISDN, prenos audio signala.

I. UVOD

KVALITET prenesenog signala u lancu za emitovanje zavisi od kapaciteta linije veze (maksimalnog protoka podataka). Ograničeni kapacitet linije veze uslovljava primenu algoritama kompresije sa gubicima na signal za potrebe prenosa. Ovi algoritmi omogućavaju redukciju sadržaja tako da ona ne narušava dovoljan kvalitet upotrebljivosti signala. Radi analize, vršena su objektivna merenja različitih algoritama kompresije, hardverski realizovanih, pri čemu je sistem koder-linija za prenos-dekoder posmatran kao četvoropol. Korišćeni su algoritmi kompresije signala sa protokom od 64 kb/s što je minimalni kapacitet ISDN (Integrated Services Digital Network) linije. Način prenosa i kapacitet linije veze su usklađeni sa minimalnim zahtevima za prenos govora sa komentatorskih pozicija preporučenih od strane EBU (European Broadcasting Union) za potrebe prenosa značajnih događaja, npr. Eurosong takmičenje, čiji će realizator 2008. godine biti RTS.

M. C. Autor, Radio Televizija Srbije, Abardareva 1, 11000 Beograd, Srbija; (telefon: 381-63-8220410; e-mail: mirjana.cvijovic@rts.co.yu).

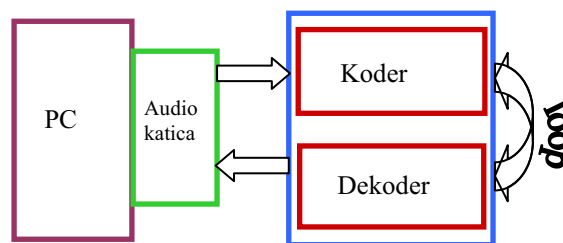
D. T. Autor, Radio Televizija Srbije, Hilendarska 2 11000 Beograd, Srbija; (telefon: 381-63-278841; e-mail: todorovic.dejan@rts.co.yu).

II. MERENJE.

Za potrebe istraživanja generisani su test signali i to *burst* signali – sinusoida frekvencije 1 kHz, beli i roze šum, impulsna pobuda (povorka impulsa) i *sweep sine* i MLS sekvenca. Ovi signali su propušteni kroz hardverski uređaj – koder *MAYAH Centauri II* koji se koristi za prenos audio signala putem ISDN linije. Korišćeni su sledeći algoritmi:

AAC-HE (*Advanced Audio Coding-High Efficiency*),
AAC MPEG4,
AAC MPEG2,
MPEG L2,
MPEG L3,
G.711,
G.722,
Enhanced APT-X 16,
Enhanced APT-X 20,
Enhanced APT-X 24,
APT-X
APT-X SYNC i
Linear PCM.

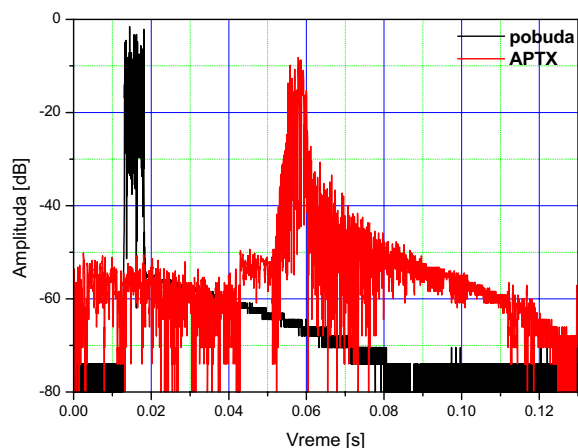
Izabrani protok za sve algoritme je 64 kb/s, a frekvencija odabiranja 48 kHz, osim za APT-X algoritme kod kojih fekvencija odabiranja uslovljava promenu protoka, pa je za APT-X SYNC pri frekvenciji odabiranja od 48 kHz protok 192 kb/s, a APT-X pri frekvenciji odabiranja od 32 kHz zahteva protok od 256 kb/s.



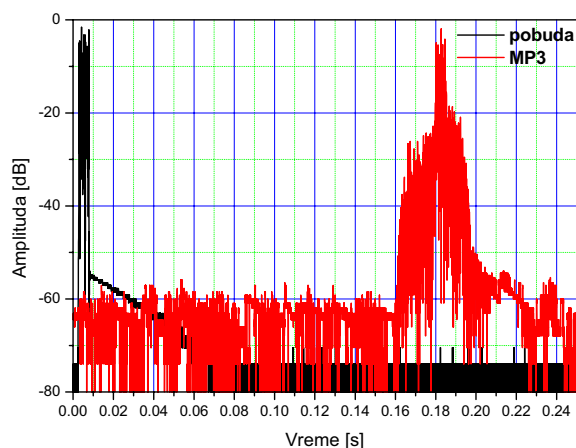
Slika 1. Blok šema merenja

Enhanced APT-X algoritmi pri protoku od 64 kb/s imaju sledeće frekvencije odabiranja: za *Enhanced APT-X 16* $f_s = 16$ kHz, za *Enhanced APT-X 20* $f_s = 12800$ Hz, i za *Enhanced APT-X 24* $f_s = 10660$ Hz. G.711 i G.722 su algoritmi kompresije namenjeni isključivo prenosu govora i propisani su ITU-T standardom [1], dok se MPEG algoritmi mogu koristiti za prenos i storiranje govora i

muzičkog signala. Karakteristike MPEG algoritama su definisane ISO/IEC standardizacijom [2]. APT-X algoritmi razvijeni su od strane kompanije APT [3]. Linearni kod korišćen je kao referentni u odnosu na druge algoritme kompresije, jer je to implementacija algoritma kompresije bez gubitaka. Test signali su generisani u PC-u audio karticom Digigam VX Pocket 440 PCMCIA čiji su analogni izlazi bili povezani na analogne ulaze kodaera MAYAH Centauri II, dok su analogni izlazi kodaera povezani na analogne ulaze Digigram VXPocket 440 audio kartice, pa je koder vezan kao četvoropol (Sl.1).



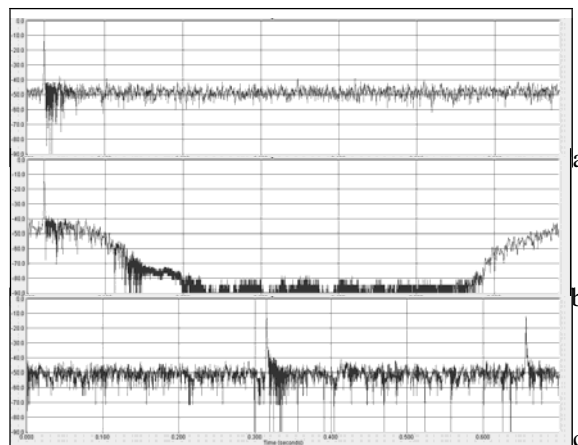
Slika 2. Odziv APTX algoritma na pobudu „burst beli šum“



Slika 3. Odziv MP3 algoritma na pobudu „burst beli šum“

III. ANALIZA REZULTATA MERENJA

Propuštanjem mernih signala kroz ispitivani sistem analizirane su prenosne karakteristike kodaera za svaki algoritam pojedinačno, kao i amplitudska i fazna karakteristika, granične frekvencije, odnos signal šum i kašnjenje algoritama kroz koder. Na slikama 2 i 3 prikazani su odzivi APT-X i MP3 algoritama na pobudu *bust* belim šumom. Sa slika se može videti, poređenjem originalnog signala generisanog audio karticom i signala koji je prošao kroz opisani merni sistem, kašnjenje algoritma pri prolasku kroz koder i izobličenja u odzivu



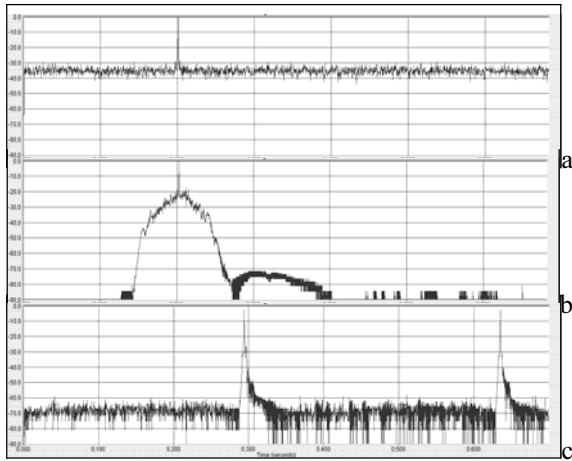
Slika 4. Impulsni odzivi G.722 algoritma dobijeni MLS pobudnim signalom (a), *sweep sine* pobudnim signalom (b) i pobudom u obliku povorke impulsa (c)

koja algoritam unosi. Slike 4 i 5 prikazuju impulsne odzive algoritama AAC-HE definisanog ISO/IEC standardom [4] i G.722 dobijene pomoću tri merne tehnike: MLS, *sweep sine* i odziv na pobudu u obliku povorke impulsa. Na osnovu ovih dijagrama može se zaključiti da se impulsni odzivi algoritama razlikuju za različite merne tehnike, odnosno da algoritami unose različita izobličenja pri različitim pobudama. Ovaj rezultat je posledica dinamičke i vremenske nelinearnosti posmatranog sistema za prenos (algoritma), koji se manifestuje kao pojava šuma ili deformacija idealnog impulsa.

Na slikama 6 i 7 prikazane su amplitudska i fazna karakteristika prenosa kodaera za linearni algoritam kompresije protoka 768 kb/s i frekvencije odabiranja 48 kHz. Ova kompresija je uzeta za referentnu i na osnovu nje moguće je izvesti zaključke o kvalitetu AD i DA konvertora analiziranog hardvera. Rezultat analize pokazuje da je posmatrani hardver dovoljno dobrog kvaliteta, pa se može smatrati da su rezultati predstavljeni u ovom radu isključivo posledica nesavršenosti izabranih algoritama za kompresiju.

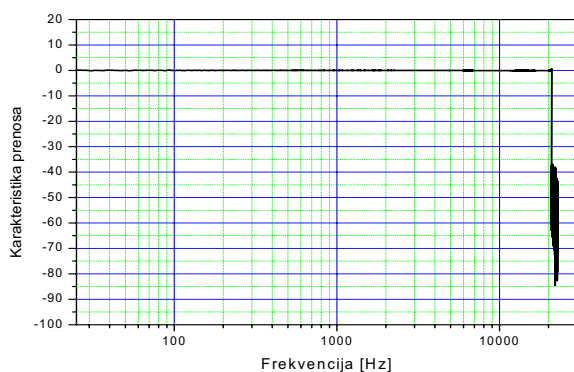
Tabela 1. Kašnjenje, odnos signal/šum i gornja granična frekvencija analiziranih algoritama

Kod	Kašnjenje [ms]	Signal/šum [dB]	Granična frekvencija [kHz]
he-aac	197,6	68,9	20,3
aac mpeg 2	117,5	74,1	15,5
aac mpeg 4	117,5	74,2	15,5
aptx	17,2	65,1	14,4
aptx sync	17,3	65,4	21,5
enh. aptx 16	23,2	66,6	7,1
enh. aptx 20	27,7	72,6	5,7
enh. aptx 24	36,0	73,1	4,8
G.711	22,7	42,4	3,6
mpeg L2	66,2	68,9	5,3
mpeg L3	175,7	69,0	7,0
G.722	17,3	49,0	7,2
Linear	14,7	74,2	21,5



Slika 5. Impulsni odzivi AAC – HE algoritma dobijeni MLS pobudnim signalom (a), *sweep sine* pobudnim signalom (b) i pobudom u obliku povorke impulsa (c)

U tabeli 1 prikazana su kašnjenja algoritama kroz koder, odnos signal/šum i granične frekvencije. Na osnovu analize ovih rezultata vidi se da pri protoku od 64 kb/s neki algoritmi unose izobličenja pri prenosu muzičkog signala, dok zadovoljavaju kriterijume za prenos govora sa aspekta frekventijskog opsega. Pri tom protoku najvišu graničnu frekvenciju ima algoritam AAC-HE - $f_{max} = 20,3$ kHz, dok najvišu izmerenu graničnu frekvenciju ima algoritam APT-X SYNC, ali pri protoku od 194 kb/s, i ona se poklapa sa graničnom frekvencijom Linearnog algoritma. Na osnovu izmerenih vrednosti za gornju graničnu frekvenciju zaključuje se da samo AAC algoritmi mogu preneti signal dovoljnog opsega frekvencija za prenos muzike pri protoku od 64 kb/s, dok MPEG L2 i L3 pri istom protoku imaju niske granične frekvencije 5,3 kHz i 7 kHz, respektivno. *Enhanced* APT-X algoritmi imaju takođe niske gornje granične frekvencije za analizirani protok. Primena MPEG 2 AAC algoritama rezultira najvećim odnosom signal/šum i gornjom graničnom frekvencijom 15,5 kHz.



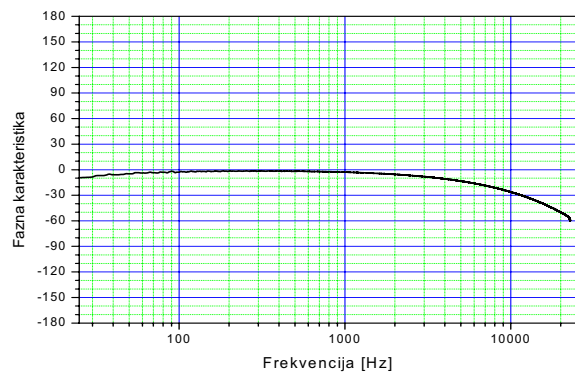
Slika 6. Amplitudska karakteristika Linearnog algoritma

Međutim, kašnjenje i ovog algoritma i algoritma AAC-HE je višestruko veće od kašnjenja *Enhanced* APT-X algoritama i Linearnog algoritma. G.711 i G.722 imaju manji odnos signal/šum, (G.711: 42,4 dB, G.722: 49,0 dB), višestruko manje kašnjenje u odnosu na MPEG algoritme, a približno isto kašnjenje kao i APT-X algoritmi. Ovi algoritmi su namenjeni prenosu signala govora pa granična frekvencija od 7,2 kHz za G.722 u

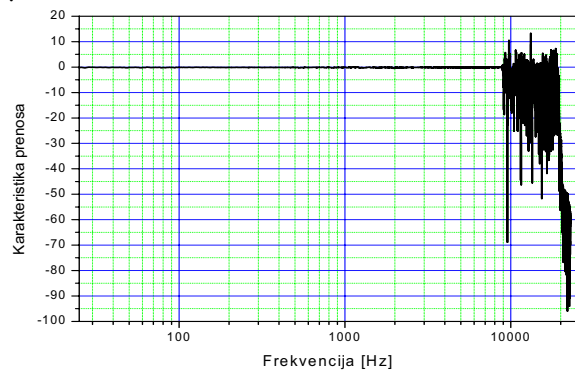
potpunosti zadovoljava kriterijume za tu namenu.

Na slikama 8 i 9 prikazane su amplitudska i fazna karakteristika AAC-HE algoritma. Može se uočiti da je amplitudska karakteristika prenosa ravna u propusnom opsegu do 9 kHz, a isto važi i za faznu karakteristiku.

MPEG algoritmi se baziraju na perceptualnom kodovanju, što znači da se signal deli u podopsege zasnovane na karakteristikama čula sluha, a obrada signala i primena MDCT (*Modified Discrete Cosine Transform*) vrši se na tako dobijenim podopsezima. G.722 algoritam je baziran na ADPCM (*Adaptive Differential Pulse Code Modulation*) algoritmu kodovanja [5]. Ovaj algoritam prenosi razliku između dva susedna odbirka umesto svaki odbirak posebno, a dužina kodne reči je promenljiva u zavisnosti od potrebnog broja bita za kodovanje te razlike. Na slikama 10 i 11 prikazane su amplitudske karakteristike dobijene za tri različita pobudna signala - *sweep sine*, MLS sekvenca i impulsna pobuda algoritama G.722 i AAC-HE.

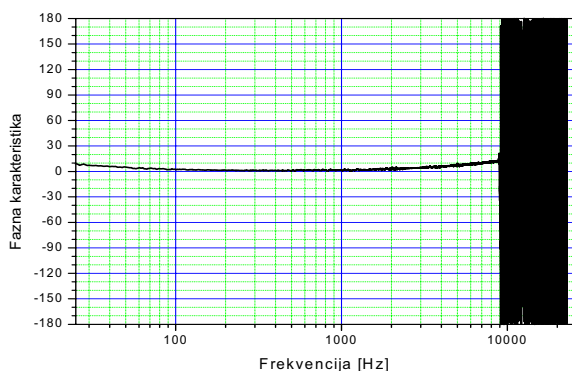


Slika 7. Fazna karakteristika prenosa za Linearni algoritam

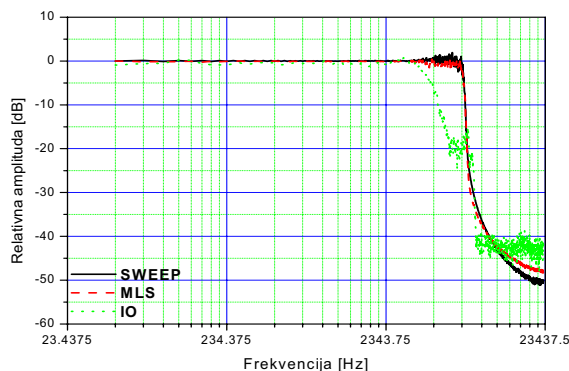


Slika 8. Amplitudska karakteristika AAC-HE algoritma

Sa slika se može primetiti da postoje razlike među amplitudskim karakteristikama istog algoritma za različite pobudne signale, kao što je to konstatovano za impulsne odzive ova dva algoritma. AAC-HE algoritam se bazira na perceptualnom modelu, a na amplitudskoj karakteristici za signal *sweep sine* se može primetiti da iznad 9 kHz podopsezi u koje je originalni signal podeljen postaju vidljivi, odnosno da pri protoku od 64 kb/s postoje vidljive granice podopsega. Razlog za to leži u dinamičkim karakteristikama primenjenog algoritma i konačnoj tačnosti koeficijenata implementiranih transformacija.

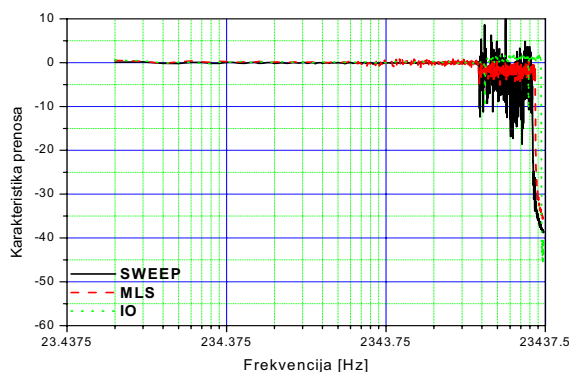


Slika 9. Fazna karakteristika prenosa AAC-HE algoritma



Slika 10. Amplitudska karakteristika G.722 algoritma za tri različita pobudna signala.

Na amplitudskim karakteristikama dobijenim drugim mernim tehnikama se ne mogu videti podopsezi niti granice među njima. Pošto se algoritam G.722 koristi isključivo za prenos signala govora ova izobličenja su bez većeg uticaja na kvalitet prenesenog signala.



Slika 11. Amplitudska karakteristika AAC-HE algoritma za tri različita pobudna signala

G.722 algoritam nije baziran na perceptualnom modelu, ali se mogu primetiti izobličenja na visokim frekvencijama koja takođe potiču od ograničenih dinamičkih performansi ovog adaptivnog algoritma.

IV. ZAKLJUČAK

Na osnovu izvršenih merenja trinaest različitih algoritama i analize rezultata izvodi se zaključak da se ne mogu svi algoritmi kompresije koristiti i za prenos signala govora i za prenos muzičkog signala pri protoku od 64 kb/s. Govor se može preneti zadovoljavajućim

kvalitetom svim algoritmima, ali zbog velikog kašnjenja MPEG kompresije nisu idealne za prenos govora. Zbog malog kašnjenja algoritama i dovoljnog frekventijskog opsega za prenos govora putem ISDN linije obično se koristi G.722 ili neki od APT-X algoritama. Iako je frekvencija odabiranja za sve algoritme na uređaju podešena na 48 kHz, samo jedan od algoritama ima gornju graničnu frekvenciju iznad 20 kHz, a većina ostalih ima gornju graničnu frekvenciju ispod 10 kHz, što je, pre svega, uslovljeno malim izabranim protokom linije veze. AAC algoritmi kojima je izmerena gornja granična frekvencija iznad 7 kHz i samim tim su pogodni za prenos muzičkog signala, imaju višestruko veće kašnjenje (i do 10 puta) od APT-X algoritama čija je gornju graničnu frekvencija znatno niža. Zbog toga pri prenosu signala zahtevani kvalitet i maksimalno dozvoljeno kašnjenje algoritma određuju koji od algoritama je najpogodniji. Prenos putem ISDN-a je danas standard za direktne prenose u radijskim i televizijskim programima, a broj ISDN linija se može multiplicirati u sistemima čiji ukupni kapacitet za prenos to dozvoljava, pa ograničenja koja donosi protok od 64 kb/s pri prenosu muzičkog signala kroz ovakve sisteme nije od primarnog značaja za njegovu primenu.

V. LITERATURA

- [1] ITU-T G.711, G.722 standard, 1988.
- [2] ISO/IEC 11172-3:1993, ISO/IEC 13818-3:1998, Information technology -- Coding of moving pictures and associated audio for digital storage media at up to about 1,5 Mbit/s --Part 3: Audio
- [3] www.aptx.com
- [4] ISO/IEC 13818-7:1997 Information technology -- Generic coding of moving pictures and associated audio information -- Part 7: Advanced Audio Coding (AAC)
- [5] "Digital Audio Broadcasting: Principles and Applications" Edited by Wolfgang Hoeg, Thomas Lauterbach, John Wiley & Sons Ltd, 2001.

Abstract — This work carries out a comparison of different audio signal compression algorithms used in broadcasting. For the good of our measuring we chose signal flow of 64 kb/s, which matches with the capacity of ISDN line that is often used for audio signal transmission from commentary positions. It was expected that the measured parameters would differ depending on the used algorithm. By the fact that some algorithms are used only for transmitting voice, it is expected that the measured parameters for these algorithms will be of inferior quality among others, used for the full-range transmission. The results showed that only few of the algorithms could be used for transmitting music, while other algorithms carried in unacceptable distortions by the signal flow of 64 kb/s. Signal latency through the coder, signal to noise ratio, transient response and spectrum appeared to be different for the various algorithms. Also, various test signals applied to the same algorithm brought in changes in measured parameters. All the measuring is done in Serbian Broadcasting Corporation on the device MAYAH Centauri II.

OBJECTIVE ANALYSIS OF THE HARDWARE REALISATION OF ALGORITHMS FOR ISDN TRANSMISSION OF AUDIO SIGNAL

Mirjana Cvijović
Dejan Todorović