

Jedna realizacija Rice-ovog algoritma za kodovanje zvučnog zapisa na platformi sa ograničenim resursima

Milan M. Ačanski, Robert I. Pečkai-Kovač, Bogdan D. Trivunović, Vladimir Kovačević

Sadržaj — U ovom radu je prikazana jedna realizacija Rice-ovog algoritma za kodovanja zvučnog zapisa na jednoj klasi procesora za digitalnu obradu signala (*Digital Signal Processor, DSP*), uz korišćenje minimalnih resursa. Cilj je bio izmeriti performanse algoritma i opravdati njegovu upotrebu u kodovanju visoko kvalitetnog zvučnog zapisa bez gubitaka. Performanse su merene snimanjem stepena kompresije i broja instrukcija potrebnih za kompresiju i dekodovanje audio sadržaja. U kratkim crtama je prikazana struktura algoritma, dok su detaljnije prikazani delovi koji su bili ključni prilikom realizacije.

Ključne reči — DSP - Digital Signal Processor, PCM - Pulse Code Modulation, MIPS - Million Instructions Per Second, HD DVD - High Definition Digital Versatile Disc, HDMI - High Definition Multimedia Interface.

I. UVOD

Napretkom tehnologije prenosa i skladištenja podataka u poslednjih nekoliko godina stvorili su se uslovi za prenos i skladištenje zvuka koji je kompresovan algoritmom koji omogućuje rekonstrukciju bez gubitaka. Pojavom novih HD DVD i Blue-Ray optičkih diskova i HDMI 1.3 standarda prenosa podataka, počela je promena koncepta kompresovanja audio sadržaja. Činjenica da je u velikoj meri povećan kapacitet medija za skladištenje i protok kanala za prenos podataka opravdala je upotrebu algoritama za kompresiju zvuka bez gubitaka, koji imaju stepen kompresije koji se kreće u granicama od jedan do četiri. Pored prenosa originalnog zvučnog sadržaja, glavna osobina ovih kodeka su dodatne opcije koje, za razliku od nekompresovanog PCM zapisa, korisniku omogućuju interakciju sa audio sadržajem (menjanje broja zvučnika, prilagođavanje zvučnog sadržaja različitim rasporedima zvučnika, izbor jezika, ...).

Jedna realizacija Golomb-Rice algoritma za kodovanje zvučnog zapisa na platformi sa ograničenim resursima

Rad je delimično podržan u okviru projekta TR-6136B Ministarstva za nauku i zaštitu životne sredine Republike Srbije.

Milan M. Ačanski, RT-RK Novi Sad, Srbija (telefon: +381-(0)21-4801-200; e-mail: milan.acanski@rt-rk.com).

Robert I. Pečkai-Kovač, RT-RK Novi Sad, Srbija (e-mail: robert.peckaikovac@rt-rk.com).

Bogdan D. Trivunović, Micronas NIIT Novi Sad, Srbija (e-mail: bogdan.trivunovic@micronasnit.com).

Vladimir Kovačević, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet Tehničkih Nauka, Srbija (e-mail: vladimir.kovacevic@micronasnit.com)

II. TEORIJSKA OSNOVA RADA

Golomb-ov algoritam predstavlja oblik entropijskog kodovanja koji je razvio Solomon W. Golomb. Pogodan je za upotrebu nad alfabetima koji prate geometrijsku raspodelu [1], odnosno raspodelu kod koje je verovatnoća pojavljivanja malih vrednosti veća od verovatnoće pojavljivanja velikih.

Rice-ov algoritam predstavlja specijalan slučaj Golomb-ovog algoritma koji je nezavisno izveo Robert F. Rice. Posebno je pogodan za upotrebu na procesorima za digitalnu obradu signala zbog činjenice da je konfiguracioni parametar uvek stepen broja dva, čime se značajno pojednostavljuje sama implementacija (operacija deljenja se zamenjuje operacijom pomeranja bita udesno).

Kako je cilj ovog rada bio merenje performansi algoritma na procesoru za digitalnu obradu signala u daljem tekstu će biti razmatran samo Rice-ov algoritam.

A. Proces kodovanja

Ukoliko se kompresuju odbirci koji pripadaju skupu brojeva A koji sadrži i pozitivne i negativne brojeve, prvi korak u kodovanju predstavlja preslikavanje svih odbiraka $x \in A$ tog skupa u skup nenegativnih brojeva [2] $x' \in A'$ (1):

$$\forall x \in A \Rightarrow x' = \begin{cases} 2x, & x \geq 0 \\ 2x + 1, & x < 0 \end{cases} \quad (1)$$

Ovako dobijeni brojevi se dalje, uz pomoć konfiguracionog parametra M , dele na unarni i binarni deo [2]. Unarni deo q predstavlja rezultat celobrojnog deljenja reči x' sa M (2), dok binarni deo r predstavlja ostatak pri tom deljenju (3):

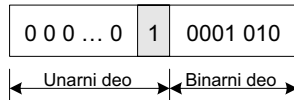
$$\lceil q \rceil \leq \frac{x'}{M} \quad (2)$$

$$r = x' - \lceil q \rceil M \quad (3)$$

Na osnovu dobijenih rezultata za unarni i binarni deo, kodna reč se sastavlja prema sledećem pravilu, Sl. 1:

- Unarni deo se koduje tako što se u binarnoj predstavi brojeva predstavi kao niz od q nula koje se završavaju sa jedinicom, koja označava kraj
- Nakon unarnog dela upisuje se N (4) bita binarnog dela gde je:

$$N = \log_2 M \quad (4)$$



Sl. 1. Primer kodne reči za $M=128$

B. Proces dekodovanja

Proces dobijanja originalne reči može se podeliti u nekoliko koraka [3]: otpakivanje unarnog dela, otpakivanje binarnog dela, združivanje unarnog i binarnog dela u jednu reč (x') i određivanje znaka originalne reči.

Unarna reč se dobija čitanjem i brojanjem bita koji imaju vrednost nula, sve dok se ne naide na prvi bit koji ima vrednost jedan. Broj pročitanih nula ekvivalentan je unarnom delu q .

Da bi se ispravno pročitao binarni deo kodne reči r mora se znati vrednost konfiguracionog parametra M koji je korišćen prilikom kodovanja i na osnovu kojeg se dobija broj bita kojima je predstavljen binarni deo.

Nakon što su pročitani, binarni i unarni deo se sastavljaju (5) u jednu reč [2]:

$$x' = qM + r \quad (5)$$

Poslednji korak u dobijanju originalne reči x predstavlja rekonstrukcija znaka (6):

$$x = \begin{cases} \frac{x'}{2}, & \text{ako je } x' \text{ paran broj} \\ -\frac{x'}{2}, & \text{ako je } x' \text{ neparan broj} \end{cases} \quad (6)$$

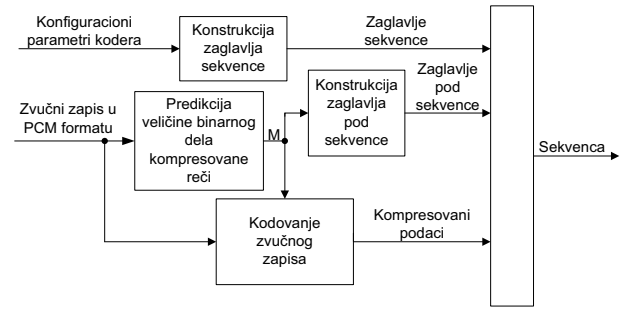
III. OPIS REALIZACIJE KODEKA

U cilju merenja performansi *Rice*-ovog algoritma konstruisan je jednokanalni koder koji je sposoban da koduje signal čija je frekvencija odabiranja 48 kHz i koji podržava rezolucije odbirka od 16 i 24 bit-a. Prvi korak u merenju performansi je bio implementacija kodeka u programskom jeziku C++. Zatim je na osnovu C++ rešenja, koje je služilo kao referentni kod, *Rice*-ov kodek implementiran na *DSP* procesoru i ovo rešenje je služilo kao osnova za dalja merenja.

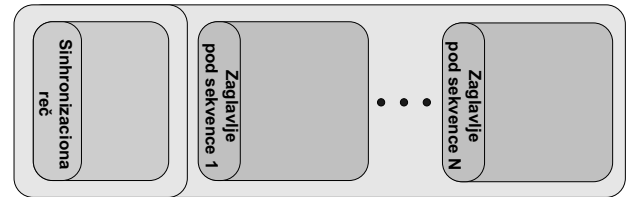
Blok dijagram koder koji je korišćen za merenje performansi dat je na Sl. 2. Ulazni odbirci se dele na maksimalno 32 podsekvence od kojih svaka sadrži jednak broj odbiraka, koji se kreće od 2^4 do 2^{10} . Na osnovu podataka svake podsekvence računa se konfiguracioni parametar M koji služi sa kompresiju odbiraka algoritmom opisanim u poglavlju II.

Kompresovani podaci su organizovani kao niz sekvenci, Sl. 3. Svaka sekvenca počinje sinhronizacionom reči, koja ujedno označava početak sekvence. Sinhronizaciona reč je podeljena na dva dela: glavnu sinhronizacionu reč (0x52542d52) i njeno proširenje (0x4b). Ovakva organizacija svodi verovatnoću pojavljivanja lažne sinhronizacione reči na minimum.

Nakon sinhronizacione reči sledi zaglavlje sekvence, koje sadrži informacije o načinu kodovanja audio sadržaja, Tabela 1. Ove informacije su zajedničke za sve podsekvence unutar jedne sekvence.



Sl. 2. Blok dijagram koder



Sl. 3. Format zapisa jedne sekvence

Svaka podsekvenca je podeljena na dva dela: zaglavlje i kompresovani podaci. Zaglavlje sadrži jedno polje, kodovano sa pet bita, u kojem se nalazi vrednost konfiguracionog parametra M . Nakon zaglavlja slede kompresovani odbirci.

TABELA 1: STRUKTURA ZAGLAVLJA SEKVENCE

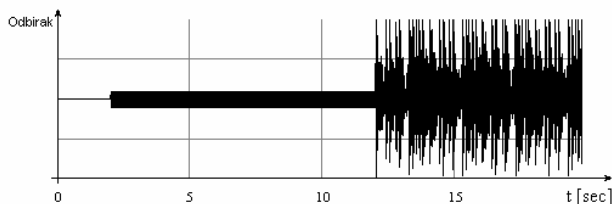
Polje zaglavlja sekvence	Broj bita	Značenje polja
Broj podsekvenci	5	$1 \leq (nPSK+1) \leq 32$
Broj odbiraka u podsekvenci	4	$nOdb = 2^k$, $k=4, 5, 6, \dots, 10$
Rezolucija odbirka	2	$1 \Rightarrow 16 \text{ bita}; 2 \Rightarrow 24 \text{ bita}$

IV. REZULTATI MERENJA

Performanse algoritma merene su snimanjem karakteristika koje su od najvećeg značaja za aplikaciju čiji je cilj kompresija zvučnog sadržaja: stepen kompresije i složenost algoritma. Kako se radi o kompresiji bez gubitaka, gde dekodovani sadržaj mora biti identičan onom na ulazu u koder, prvi uslov za početak merenja bio je uspostavljanje navedene funkcionalnosti kodeka.

Prilikom merenja korišćena su dva test vektora. Prvi test vektor, Sl. 4, predstavlja originalni zvučni zapis, dok drugi predstavlja razliku originalnog vektora i vektora dobijenog kompresijom i dekodovanjem originalnog vektora pomoću jednog od postojećih algoritama za kompresiju zvuka sa gubicima, zasnovanog na psihoakustičnom modelu ljudskog uha.

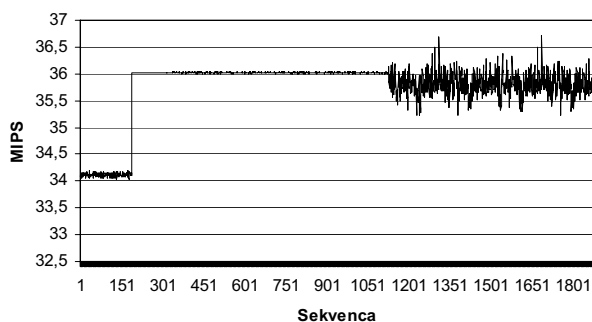
Upotreba test vektora koji u sebi sadrži kompletan zvučni zapis imala je ulogu da ispita upotrebljivost algoritma u uslovima kada se on koristi kao jedini modul u kompresiji. Rezultati merenja koder dati su u vremenskim dijagramima prikazanim na Sl. 5 i Sl. 6. Može se videti de je prosečna potrošnja MIPS-a potrebnih za kodovanje oko 35,7, dok je stepen kompresije mali i iznosi oko 1,18.



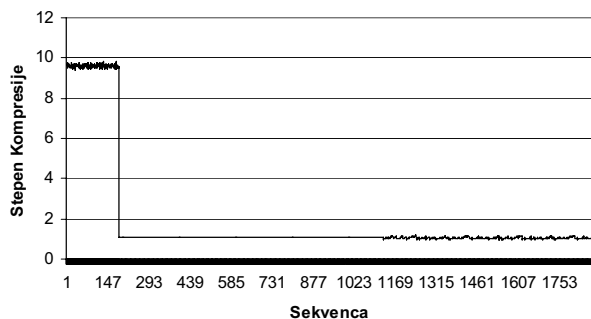
Sl. 4. Originalni test vektor

A. Rezultati merenja dobijeni upotrebom originalnog test vektora

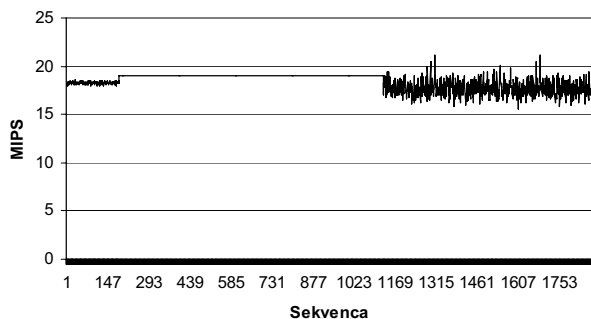
Rezultati merenja potrošnje resursa prilikom dekodovanja dati su na dijagramu prikazanom na Sl. 7, i u proseku iznose 18,39 MIPS-a.



Sl. 5. Složenost kodera izražena u MIPS-ima za originalni vektor



Sl. 6. Stepen kompresije originalnog vektora

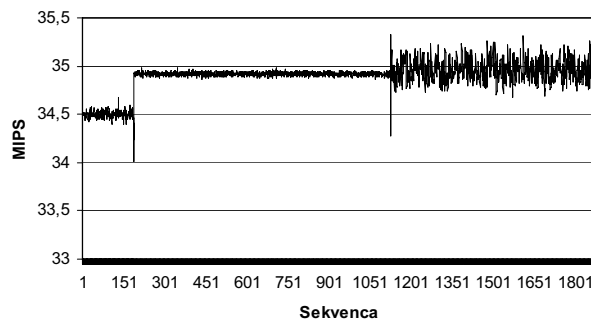


Sl. 7. Složenost dekodera izražena u MIPS-ima za originalni vektor

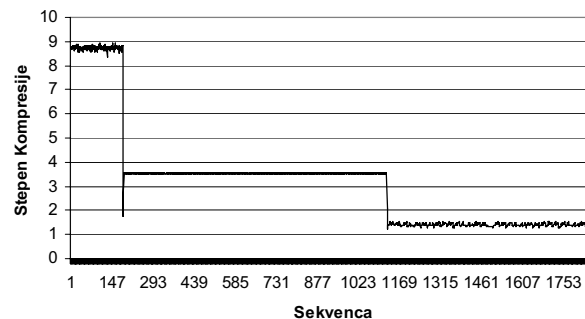
B. Rezultati merenja dobijeni upotrebom vektora izračunatog kao razlika originalnog i vektora kompresovanog algoritmom sa gubicima

Drugo merenje je imalo ulogu da pokaže rezultate kompresije kada se Rice-ov algoritam primeni na odbirke koji su prethodno obradjeni, tj. kada se nalazi u sprezi sa algoritmima kao što su adaptivna predikcija, korelacija kanala, kodovanje na osnovu psihoakustičnog modela ljudskog uha, itd. Rezultati merenja kodera dati su u vremenskim dijagramima prikazanim na Sl. 8 i Sl. 9. Može se videti de je prosečna potrošnja MIPS-a potrebnih za kodovanje oko 34,8, dok stepen kompresije iznosi oko 2,26.

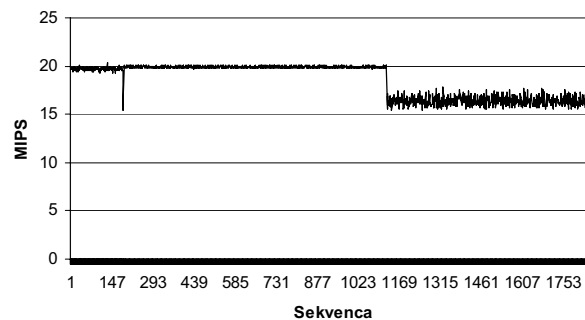
Rezultati merenja potrošnje resursa prilikom dekodovanja dati su a dijagramu prikazanom na Sl. 10, i u proseku iznose 18,47 MIPS-a.



Sl. 8 Složenost kodera izražena u MIPS-ima za vektor dobijen razlikom originalnog i vektora kompresovang algoritmom sa gubicima



Sl. 9. Stepen kompresije vektora dobijenog kao razlika originalnog i vektora kompresovang algoritmom sa gubicima



Sl. 10. Složenost dekodera izražena u MIPS-ima za vektor dobijen razlikom originalnog i vektora kompresovang algoritmom sa gubicima

V. PODEŠAVANJE PAREMETARA KODERA

Stepen kompresije *Rice*-ovog kodera može se izraziti kao zavisnost više faktora. Neki od njih su: statistika ulaznog signala, izbor konfiguracionog parametra M , broj odbiraka unutar jedne podsekvence, itd.

Uticaj prirode ulaznog signala na stepen kompresije se može videti na dijagramima prikazanim na Sl. 6 i Sl. 9. Najbolji stepen kompresije dobijen je kompresijom jednostavnijih delova signala (signali sinusoidalnog oblika koji predstavljaju jedan ton), dok je kod realnih muzičkih signala on znatno lošiji.

Promenom broja odbiraka unutar jedne podsekvence, može se takođe menjati stepen kompresije. Sa jedne strane izbor što manjeg prozora povećava verovatnoću da odbirci unutar podsekvence što vernije prate geometrijsku raspodelu, čime će se povećati stepen kompresije. Sa druge mali broj odbiraka unutar podsekvenci dovodi do povećanja broja zaglavlja koja prate svaku podsekvencu, čime se povećava broj informacija koje se moraju preneti, a koje ne predstavljaju muzički sadržaj. Optimalan broj odbiraka unutar jedne podsekvence iznosi 128 ili 256.

Konfiguracioni parametar M predstavlja najvažniji parametar *Rice*-ovog kodera. Unutar jedne podsekvence parametar M se bira tako da se na osnovu vrednosti svih odbiraka nađe jedna vrednost kojom će se binarni deo predstaviti sa što je moguće manje bita.

Trenutna realizacija kodera parametar procenjuje traženjem maksimalnog odbiraka unutar podsekvence. Problem ovog načina procene parametra se javlja ako podsekvencu sadži male vrednosti, sa izuzetkom par odbiraka, koji negativno utiču na parametar M . Binarni deo odbiraka koji imaju male vrednosti neće biti u potpunosti iskorišćen. Ovaj problem se rešava tako što se odbirci koji imaju veliku vrednost ne koduju uopšte, nego se prenose kao originalni. Ovakav pristup kodovanja se u praksi često naziva hibridno *Rice* kodovanje.

VI. ZAKLJUČAK

Iz navedenih rezultata merenja može se zaključiti da je upotreba *Rice*-ovog algoritma za kompresiju opravdana isključivo ako se on koristi u sprezi sa nekim drugim algoritmima. Na taj način se ispunjava uslov da ulaz prati

geometrijsku raspodelu. Kako trenutno postojeći algoritmi za kompresiju bez gubitaka postizu stepen kompresije koji se kreće od 1 do 4, rezultati merenja korišćenjem vektora koji je dobijen kao razlika originalnog i vektora dobijenog kodovanjem originala algoritmom sa gubicima u potpunosti opravdavaju upotrebu *Rice*-ovog algoritma.

Daljim razvojem ovog kodeka, stepen kompresije se može znatno poboljšati. Pravci razvoja bi bili poboljšanje bloka za predikciju konfiguracionog parametra M u cilju izbora što pogodnije vrednosti za tekuću podsekvencu. Dodavanje blokova, kao što su na primer adaptivna i/ili fiksna predikcija, zatim psihoakustično kodovanje, dodatno bi poboljšalo performanse kodeka.

Na kraju, dodavanje podrške za veći broj kanala i različite frekvencije odabiranja dovelo bi do jednog zaokruženog rešenja.

LITERATURA

- [1] Golomb S.W., "Run-length encoding," IEEE Transactions on Information Theory, IT--12(3):399—401, 1966
- [2] R. F. Rice, "Some Practical Universal Noiseless Coding Techniques," Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California, JPL Publication 79--22, 1979.
- [3] Witten, Ian Moffat, Alistair Bell, Timothy. "Managing Gigabytes: Compressing and Indexing Documents and Images." Second Edition. Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco CA. 1999

ABSTRACT

This paper presents short overview for one solution of Rice algorithm for audio coding on platform with limited resources. The goal was to measure algorithm performance and to approve it's usage in lossless audio coding. Performances are measured and expressed in compression ratio and number of cycles needed for encoding and decoding audio content. Paper gives short description of algorithm structure, and more details about key parts that were important in implementation.

ONE SOLUTION OF GOLOMB-RICE ALGORITHM FOR AUDIO CODING ON PLATFORM WITH LIMITED RESOURCES

Milan M. Ačanski, Robert I. Pečkai-Kovač, Bogdan D. Trivunović, Vladimir Kovačević