

Jedna realizacija klase audio dekodera bez gubitaka na platformi sa ograničenim resursima

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

Sadržaj — U ovom radu je prikazana jedna realizacija Dolby TrueHD Lossless audio dekodera na klasi procesora za digitalnu obradu signala (Digital Signal Processor, DSP), uz korišćenje minimalnih resursa. Cilj je bio realizovati komponentu koja će omogućiti dekodovanje ulaznog Dolby TrueHD toka podataka. U kratkim crtama, prikazani su osnovni principi na kojima se zasniva rad dekodera, dok su delovi, koji su bili ključni za realizaciju detaljnije opisani..

Ključne reči — DSP (Digital Signal Processor), Audio kodiranje bez gubitaka (lossless audio coding), Dolby TrueHD, FIR filter – Finite Impulse Response filter, IIR filter – Infinite Impulse Response filter.

I. UVOD

U ovom radu su prikazani neki aspekti realizacije Dolby TrueHD Lossless audio dekodera na jednoj klasi procesora za digitalnu obradu signala.

U prvom delu rada biće opisani osnovni principi rada ovog dekodera. Kao teorijska osnova ovog dela korišćeni su objavljeni radovi autora ovog standarda [1], [2]. U drugom delu rada opisana je realizacija dekodera. Detaljnije su opisani delovi koji su kritični za rad dekodera u realnom vremenu.

Nova generacija digitalnih video diskova visoke definicije (High Definition DVD i Blu-Ray Disc) donosi znatno veći kapacitet [3], što je otvorilo mogućnost korišćenja audio kodnih standarda koji ne unose gubitke (lossless audio coding) za kodiranje pratećeg višekanalnog zvučnog zapisa. Kapacitet, do sada standardnih DVD diskova, je nametao korišćenje audio kodnih standarda utemeljenih na perceptualnom modelu ljudskog sluha (perceptual audio coding), koji omogućavaju veće stepene kompresije, ali i unose gubitke dela informacija (lossy audio coding).

Audio kodni standard opisan u ovom radu je jedan od dva prihvaćena formata audio zapisa bez gubitaka za video diskove visoke definicije. On je baziran na široko korišćenoj MLP-Lossless tehnologiji koja je standardni format kodiranja primenjen na DVD-Audio diskovima.

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

Robert I. Pečkai-Kovač, RT-RK, Novi Sad, Srbija (telefon +381-(0)21-4801-200; e-mail: robert.peckaikovac@rt-rk.com).

Milan M. Ačanski, RT-RK, Novi Sad, Srbija (e-mail: milan.acanski@rt-rk.com).

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

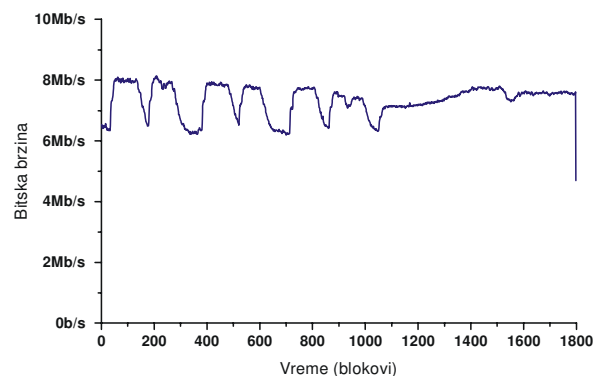
Ovaj novi standard u odnosu na svog prethodnika, donosi podršku za veći broj kanala kao i veći maksimalni binarni protok (18 Mb/s).

II. AUDIO KODIRANJE BEZ GUBITAKA

Za razliku od perceptualnog kodiranja zvučnog sadržaja, kodiranje bez gubitaka (eng. lossless coding) ne unosi izmene u dekodovani izlazni signal nego samo „pakuje“ audio podatke na efikasniji način omogućavajući smanjenje binarnog protoka potrebnežog za prenos podataka.

Audio informacija u najvećem broju slučajeva sadrži određeni stepen redundancije. Kod muzičkih signala, sadržaj informacije varira tokom vremena, te pun kapacitet informacionog kanala retko biva u potpunosti iskorišćen. Cilj kompresije bez gubitaka je da svede ulazne audio podatke na binarni protok koji odgovara njihovom informacionom sadržaju. Kao posledica ove dve činjenice, izlaz iz audio koda ima promenljiv binarni protok pri uobičajenom ulaznom zvučnom signalu.

Sl. 1 prikazuje ove varijacije kod 8-kanalnog snimka muzike, pri učestanosti odabiranja od 96 kHz sa 24-bitnom preciznošću (originalni binarni protok iznosi 18,4 Mb/s)[2].



Sl. 1 Varijacije binarnog protoka komprimovanog audio signala

Varijacije stepena kompresije mogu biti i veće nego što prikazuje ova slika. Granični slučajevi bi bili, sa jedne strane, potpuna tišina kod koje bi stepen kompresije bio veoma veliki, a sa druge strane, signal koji bi imao gotovo slučajnu raspodelu kod kojeg ne bi bilo moguće postići praktično nikakvu kompresiju.

Za primenu audio standarda bez gubitaka za skladištenje podataka na DVD diskove, bitni faktori su, kako smanjenje prosečnog binarnog protoka (što odgovara smanjenju

ukupne veličine komprimovane datoteke), tako i smanjenje maksimalnog binarnog protoka, zbog ograničenja širine informacionog kanala.

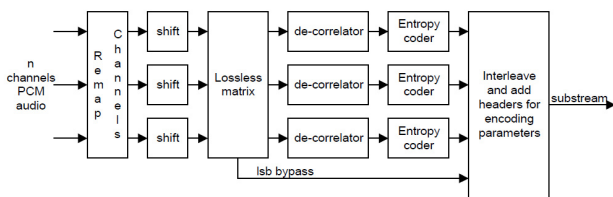
Tabela 1 prikazuje postignute uštede u maksimalnom i prosečnom binarnom protoku korišćenjem Dolby TrueHD-Lossless audio kodnog standarda za dvokanalni ulazni signal [3].

TABELA 1: OSTVARENI STEPEN KOMPRESIJE

Frekvencija odabiranja	Ušteta [bit/odbirak/kanal]	
	Minimalna	Prosečna
[kHz]		
48	4	5-11
96	8	9-13
192	9	9-14

III. PRINCIPI RADA

U ovom poglavlju je okvirno prikazan princip rada Dolby TrueHD kodersko-dekoderskog sistema. On se zasniva na sličnim principima kao i drugi postojeći kodersko-dekoderski sistemi bez gubitaka ali uz modifikacije koje mu omogućuju efikasniju primenu za kodiranje višekanalnog audio zapisa na digitalnim video diskovima visoke definicije [2].



Sl. 2 Blok šema audio koda bez gubitaka

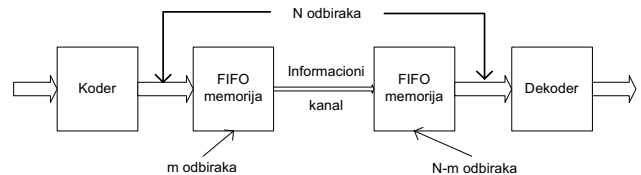
Proces kodiranja je prikazan na sl. 2. Ulaznim kanalima se najpre menja redosled kako bi se omogućilo efikasnije kodiranje. Svaki od kanala se pomera (shift) kako bi se ostvarile uštede eliminisanjem neiskorišćenih bita (npr. ako 24 bitni signal koristi najviše 18 bita). Zatim se primenjuje matrica za eliminisanje međukanalne korelacije. Potom se obavlja dekorelacija svakog kanala pojedinačno korišćenjem prediktora. Prediktor se sastoji od FIR (Finite Impulse Response) ili IIR (Infinite Impulse Response) filtra kojeg koder podešava prema frekventnoj karakteristici ulaznog signala. Koeficijenti prediktora se prosleđuju dekoderu, a reziduali predikcije se dodatno entropijski kodiraju. Entropijski koder ima na raspolaganju nekoliko algoritama entropijskog kodovanja (Huffman-ov, Rice-ov, itd.), koje bira u zavisnosti od statistike signala i na taj način optimalno smanjuje količinu izlaznih podataka. Izlazni podaci se zatim raspoređuju u blokove binarnog toka kojima se dodaju zaglavlja koja sadrže kontrolne parametre.

Pri dekodovanju, dekoder obavlja sve ove korake u obrnutom redosledu. Standard je razvijen tako da omogućiti što manju kompleksnost dekodera kako bi se smanjila cena korisničkih uređaja. To je rešeno na taj način što su sve neophodne složenije operacije unapred obavljene na koderskoj strani, a gotovi rezultati se prosleđuju dekoderu.

Pri projektovanju koda i dekoda posebna pažnja je

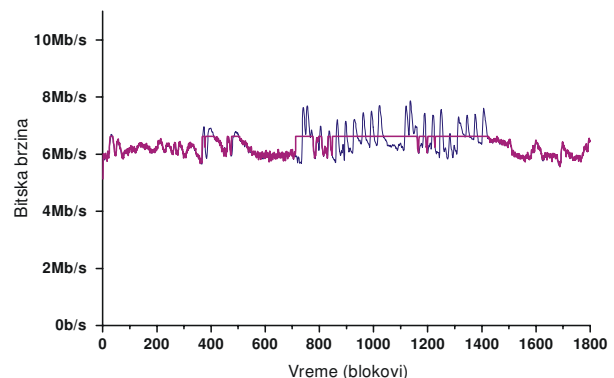
posvećena tome da ni jedan od glavnih blokova ne unosi greške zaokruživanja, kako bi na kraju bilo moguće u potpunosti rekonstruisati ulazni signal. Da bi ovaj uslov bio ispunjen i da ne bi zavisio od karakteristika fizičke platforme na kojoj se implementira dekoder, unutar blokova koriste se kvantizeri kojima se osigurava da greška zaokruživanja uvek bude poznata. Time je omogućeno da ona na odgovarajući način bude kompenzovana prilikom dekodovanja.

Kao što je u prethodnom poglavlju spomenuto, pri kompresiji zvuka, primena neke od metoda kompresije bez gubitaka neizbežno ima za posledicu stvaranje binarnog toka sa veoma promenljivim stepenom kompresije, koji zavisi od entropije ulaznog audio signala. Ovo može da dovede do toga da u pojedinim periodima dođe do prekoračenja maksimalno dozvoljenog binarnog protoka za dati informacioni kanal (u ovom slučaju 18 Mb/s). Da bi se kompenzovale ove velike varijacije koristi se sprežna memorijska struktura (u daljem tekstu FIFO memorija) i na koderskoj i na dekoderskoj strani [4].



Sl. 3 Princip korišćenja sprežne FIFO memorije

Upravljanje FIFO memorijom obavlja koder. Ova memorija je u normalnom radu prazna a puni se samo neposredno pre početka složenog dela signala (koji uslovljava nagli porast binarnog protoka). U toku trajanja ovog dela FIFO memorija dekodera se prazni i time nadopunjuje ograničenja prenosnog informacionog kanala. Drugim rečima, deo podataka se šalje unapred, tokom manje zahtevnih delova signala, kako bi se postigao dovoljan binarni protok tokom zahtevnijih delova koji prevazilaze kapacitet prenosnog kanala. Vremenski opseg ove kompenzacije je maksimalno 75 ms.



Sl. 4 Kompenzacija promena binarnog protoka pomoću FIFO memorije

Ujednačavanje binarnog protoka je poželjno čak i u slučajevima kada on ne dostiže najveću dozvoljenu vrednost, jer se i u tim slučajevima na ovaj način mogu postići uštede u stepenu iskorišćenja prenosnog kanala, koje se mogu iskoristiti za druge namene. Konkretno, kod

Dolby TrueHD dekodera, maksimalni mogući binarni protok može da dostigne 38.4 Mb/s, ali se zahvaljujući upotrebi FIFO memorije on svodi na graničnih 18 Mb/s.

IV. REALIZACIJA

Opisani Dolby TrueHD dekodera je realizovan i ispitan na 32-bitnom DSP procesoru sa dvostrukim jezgrom (DSP A i DSP B) koji je prvenstveno namenjen za upotrebu u audio aplikacijama. Procesor obezbeđuje 150 miliona instrukcija u sekundi (MIPS) procesne moći. Oba jezgra, DSP A i DSP B, imaju zasebne RAM i ROM memorijske zone kao i odvojene programske memorije. Njihov raspored je dat u tabeli 2. Kao osnova za realizaciju poslužila je tehnička dokumentacija i referentni kod dekodera Dolby TrueHD [4].

TABELA 2: MEMORIJSKA MAPA DSP-A

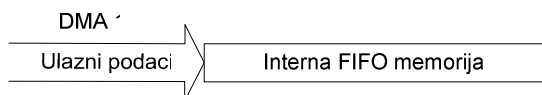
Memorija	DSP A	DSP B
X	16k RAM, 16k ROM	10k RAM, 8k ROM
Y	24k RAM, 32k ROM	16k RAM, 16k ROM
P	8k RAM, 32k ROM	8k RAM, 24k ROM

Dva najveća problema pri realizaciji dekodera bili su sistemska programska podrška za rukovanje FIFO memorijom i postizanje potrebne brzine rada dekodera - optimizacija.

A. Sistemska programska podrška za rukovanje FIFO memorijom

Po specifikaciji za 8-kanalni dekodera potrebno je da FIFO memorija bude veličine 120 kB, odnosno 30k 32-bitnih reči, dok je na ciljnoj platformi u internoj memoriji bilo raspoloživo maksimalno 8k reči. Dakle, da bi dekodera mogao da bude realizovan bilo je neophodno koristiti spoljašnju – eksternu memoriju (external memory), međutim tu su se javila dva ograničenja.

Prvo, postojeća sistemska programska podrška ciljnog DSP procesora je omogućavala rukovanje ulaznom FIFO memorijom smeštenom isključivo u unutrašnjoj – internoj memoriji (internal memory). Punjenje ove memorije, je realizovano jednostavnim preusmeravanjem ulaznog toka podataka direktno sa digitalnih ulaza u FIFO memorijsku zonu korišćenjem DMA1 kanala. Ovo je prikazano na sl. 5.

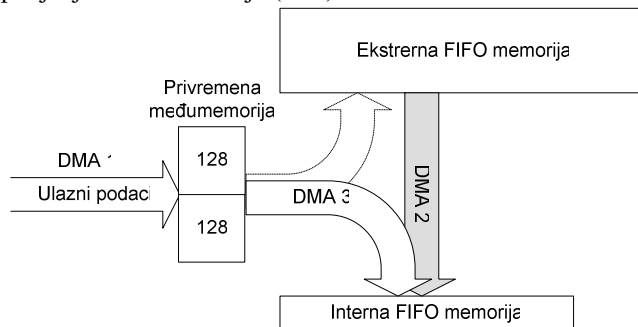


Sl. 5 Prvobitni tok ulaznih podataka

Drugo ograničenje je vezano za činjenicu da nije moguće direktno adresiranje eksterne memorije, nego pristup mora da se odvija DMA spregom.

Da bi se ova ograničenja prevazišla, bilo je potrebno da se realizuje programska podrška koja će obezbediti podršku za rad sa eksternom memorijom, ali bez izmena u već postojećim rutinama za pristup podacima u FIFO memoriji. Da bi se to postiglo realizovana je sledeća šema

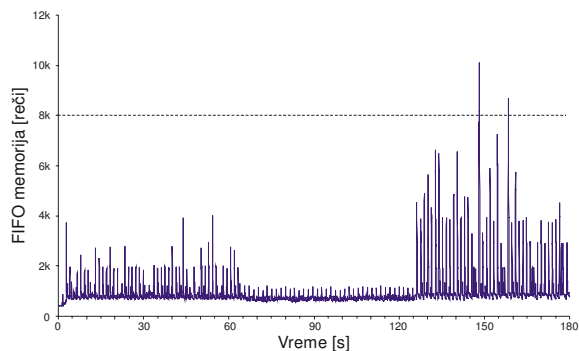
punjenja FIFO memorije (sl. 6).



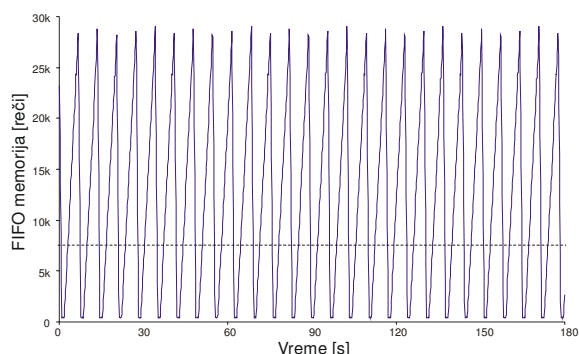
Sl. 6 Izmenjeni tok ulaznih podataka

FIFO memorija je podeljena u dva dela: interni (8k) i eksterni (22k). Najpre se puni interni deo, a u slučaju da je on pun, ulazni podaci se preusmeravaju u eksterni deo. To je postignuto preusmeravanjem DMA1 kanala sa ulaznim podacima u zasebnu dvopristupnu međumemoriju (double buffer ili ping-pong buffer), odakle se podaci po potrebi kopiraju, ili direktno u interni deo FIFO memorije ili se prosleđuju u eksternu memoriju putem DMA3 kanala. U slučaju da su podaci preusmereni u eksterni deo FIFO memorije, interni deo se dopunjava iz eksternog posredstvom DMA2 kanala.

Ovo rešenje se pokazalo kao vrlo efikasno, delimično i zahvaljujući ranije spomenutoj činjenici da su u prosečnom muzičkom sadržaju retki veliki skokovi binarnog protoka, tako da je u oko 80% vremena za normalan rad dekodera dovoljan i samo interni deo FIFO memorije od 8k reči (sl. 7 i 8).



Sl. 7 Model iskorišćenja FIFO memorije pri običnom muzičkom sadržaju



Sl. 8 Model iskorišćenja FIFO memorije korišten pri testiranju

B. Optimizacija

Specifikacija dekodera zahteva podršku za dekodovanje ulaznih binarnih tokova čiji sadržaj ima učestanost odabiranja od 192kHz sa ukupno osam izlaznih kanala. Prve procene dobijene simulacijom dekodera su pokazivale da za dekodovanje ovakvog binarnog toka u realnom vremenu neće biti dovoljno maksimalno raspoloživih 150 MIPS-a. Olakšavajuća okolnost je bila ta, da je nakon implementacije bilo iskorišćeno svega oko 65% raspoloživih memorijskih resursa, pa je bilo moguća optimizacija brzine izvršavanja na račun većeg zauzeća memorijskih resursa. Detaljnijom analizom utroška procesorskog vremena se pokazalo, da su najzahtevnije funkcije bile funkcija entropijskog dekodovanja odbiraka (*HuffRead*) koja je trošila preko 50MIPS, kao i funkcije za razdvajanje kanala i re-korelaciju (*ApplyMatrix* sa 35MIPS, i *Recorrelate* 25MIPS). Sve ove funkcije su se sastojale od kratkih programskih petlji, koje su se ponavljale veliki broj puta (npr. za svaki odbirak svakog od kanala, odnosno preko 1.5 miliona puta u sekundi), pa je svako skraćivanje ovih programskih petlji imalo značajan uticaj na brzinu izvršavanja.

Najveće uštede donelo je korišćenje sledećih tehnika optimizacije:

- *inline* pozivi funkcija – na prvom mestu pri izdvajanju podataka iz binarnog toka pri entropijskom dekodovanju,
- izdvajanje provera pojedinih uslova i uslovnih skokova izvan *programskih* petlji, kao i
- skraćivanje programskih petlji većim korišćenjem paralelnog *izvršavanja* instrukcija.

Nakon optimizacije koda, spomenute tri kritične funkcije su svedene na oko 34MIPS za funkciju *HuffRead*, 25MIPS za funkciju *ApplyMatrix* i 15MIPS za funkciju *Recorrelate*. Ukupno procesorsko vreme dekodovanja je smanjeno na oko 110MIPS uz povećanje utroška memorijskih resursa (prvenstveno programske memorije) za oko 10%.

ZAKLJUČAK

U radu je dat kratak opis audio kodovanja bez gubitaka, kao i opis jednog dekodera iz ove klase audio koda. U drugom delu rada je opisana praktična realizacija dekodera. Tokom realizacije korišćeni su teorijski principi izloženi u prvom delu rada, radi postizanja efikasnog rada dekodera.

LITERATURA

- [1] M. A. Gerzon, P. G. Craven J. R. Stuart "The MLP lossless compression system", The AES 17th International Conference: High-Quality Audio Coding (August 1999)
- [2] J. R. Stuart, P. G. Craven, M. J. Law, "Lossless compression for DVD-Audio", AES 9. th. Regional Convention Tokyo (1999)
- [3] R. Dressler, C. Eggers, „Dolby Audio Coding for Future Entertainment Formats“, White paper, Dolby Laboratories Inc.
- [4] Dolby Laboratories Inc., "Dolby TrueHD Decoder Implementation Manual"

ABSTRACT

This paper presents a short overview of one realization of lossless audio decoder based on DSP processor.

ONE IMPLEMENTATION OF A LOSSLESS DECODER ON A DSP PLATFORM

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