

Digitalni zvuk

Seminarski rad u okviru kursa
Tehničko i naučno pisanje
Matematički fakultet

Nina Ostojić, Maksim Krstović, Mihailo Radulović, Dušan Žugić
ostojic.nina99@gmail.com, maksimusminimus@gmail.com
mihailo.radulovic03@gmail.com, dusan.zugic@outlook.com

15. novembar 2022.

Sažetak

Cilj ovog seminarskog rada je da na jedan pregledan i koncizan način predstavi opšti uvid u digitalni zvuk, počevši od samog pojma zvuka, kratkog istorijata snimanja, razlika između analognog i digitalnog signala, te ulazi malo detaljnije u proces digitalizacije (odabiranje, kvantizacija i kodiranje), sa osvrtom na snimanje, čuvanje, kompresiju i formate zvuka, da bi na kraju sve bilo zaokruženo podvlačenjem značaja digitalnog zvuka, ciljevima digitalizacije i kako to utiče na sveopštu kulturu i izmenjeno lice sveta.

Sadržaj

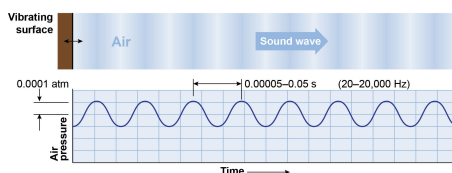
1	Uvod	2
1.1	Zvuk	2
1.2	Analogni zapis zvuka	2
1.3	Digitalni zapis zvuka	3
2	Digitalizacija zvuka	3
2.1	Odabiranje ili uzorkovanje, semplovanje (engl. <i>sampling</i>) . .	3
2.2	Kvantizacija	3
2.3	Kodiranje	4
3	Čuvanje digitalnog zvuka	4
4	Kompresija i formati audio zapisa	5
4.1	Zaštitita digitalizovanog materijala	6
5	Ciljevi digitalizacije	6
5.1	Dobrobiti digitalizacije	6
6	Zaključak	7
	Literatura	7

1 Uvod

1.1 Zvuk

Zvuk je vibracija koja se širi kroz vazduh (ili neku drugu sredinu) u vidu talasa. Čovek može da čuje zvuk jačine od 16 do 20000 Hz. Ispod ove granice je *infrazvuk*, a iznad *ultrazvuk* (slika 1). Osnovne karakteristike zvuka su visina, boja i jačina:

- *Visina zvuka* određena je njegovom osnovnom frekvencijom (više tonove stvaraju talasi veće frekvencije i obrnuto).
- *Boja zvuka* je određena karakterom oscilovanja zvučnih talasa. Obično, zvuk nije prost harmonijski talas, već je složen iz viših harmonika. Zvuk najniže frekvencije naziva se osnovni ton ili prvi harmonik, a svi ostali su viši harmonici. Složenost talasa, broj i spektar viših harmonika određuje boju zvuka. Parni harmonici daju zvuku toplinu i mekoću, a neparni oštrinu i hladnoću.
- *Jačina zvuka* (I) određena je količinom energije koju zvučni talas prenese u jedinici vremena kroz jediničnu površinu koja je normalna na pravac prostiranja talasa. Izražava se u vatima po kvadratnom metru[1].



Slika 1: Zavisnost vazdušnog pritiska od vremena

Kroz istoriju bilo je mnogo pokušaja da se zvuk snimi, pa da se metode koje su uspele unaprede. Tako smo od analognog snimanja zvuka stigli do digitalnog koji je daleko napredniji.

1.2 Analogni zapis zvuka

U početku je snimanje zvuka bilo analogno, odnosno, zapisivale su se vibracije koje ljudsko uho prepoznaje kao zvuk na neku vrstu medija. Prvi zvuk je snimljen uz pomoć fonograf sredinom 19. veka. Zatim, Emile Berliner je 1889. godine osmislio gramofon koji je mogao da reprodukuje zvuk gotovo 4 minuta. Edison je 1927. patentirao ploču koja je mogla da snima 40 minuta zvučnog zapisa, ali se nije proslavio njom. Godine 1928. Fritz Pfleumer je izumeo magnetnu traku i ovaj način snimanja se koristio za vreme Drugog svetskog rata. Nakon toga se pojavila stereo magnetna traka koja se mogla koristiti u kućnoj upotrebi. Kompaktna traka i uređaj koji snima i reprodukuje zvuk sa kasete su se pojavili 1964. godine. Kompanija Sony je krajem 80-ih godina predstavila novi proizvod DAT (engl. *digital audio tape*). Ovaj proizvod je prihvaćen od strane raznih industrija jer je mnogo manji od svih prethodnih.

1.3 Digitalni zapis zvuka

Prvi pokušaj računarske obrade zvuka koji je doveo do uspešne digitalne transformacije zvuka desio se početkom 1969. godine u Bel Laboratoriji (eng. *Bell Labs*), gde je uspešno proizveden veštački, računarski generisan zvuk. U to vreme su se proizvodili PCM procesori. Oni su pretvarali zvuk u digitalni zapis, pa je napravljen eksperimentalni laserski disk. Zatim, početkom 80-ih, pojavljuju se kompaktni diskovi nepristupačne cene, što se ubrzo menja. Patentirani su kompaktni diskovi (CD-RW) koji imaju mogućnost pisanja i brisanja podataka. Napokon, javlja se uređaj koji može da reprodukuje zapisani zvučni zapis - MP3.

2 Digitalizacija zvuka

Za razliku od analognog zvuka koji je neprekidni signal u vremenu, digitalni zvuk je isprekidan i postoji samo u određenim trenucima vremena. Digitalizacija se najviše koristi jer su informacije na analognim nosačima zvuka sklone oštećenju reprodukcijom. Za digitalizaciju je potreban računar sa zvučnom karticom i programom za obradu zvuka, zatim uređaji za reprodukciju koji se digitalizuju (gramofon, kasetofon itd.) Radi boljeg kvaliteta dobro je koristiti i dodatnu opremu kao miksetu i pretpojačalo[2]. Digitalizovani zvuk se otprema u jednom od formata: MP3, WAV, AIFF, AAC, OGG i dr.

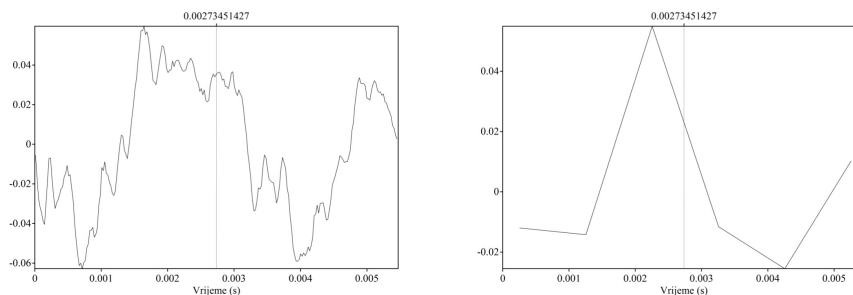
Da bi se zvuk iz analognog preveo u digitalni oblik potrebno je izvršiti *uzorkovanje*, *kvantizaciju* i *kodiranje*.

2.1 Odabiranje ili uzorkovanje, semplovanje (engl. *sampling*)

Uzorkovanje je postupak kojim se uzima vrednost električnog napona signala u određenim trenucima vremena. Što je kvalitet signala bolji, informacija će biti bolje digitalizovana, što znači što je uzorkovanje veće, kvalitetniji će biti dobijeni zvuk. Frekvencija uzorkovanja treba da bude najmanje dva puta veća od najveće frekvencije analognog signala (Nikvist-Šenonova teorema odabiranja). Standardna frekvencija uzorkovanja je 44,1kHz, a može ići i do 192kHz. Opšte prihvaćen CD audio standard je 44.1kHz, DAT kasete (eng. *Digital Audio Tape*) koriste frekvenciju od 48kHz, a zvukovi u igricama 11 ili 22kHz. Može se uzorkovati i na manjim frekvencijama, ali tada će se desiti gubici (na pr. na uzorkovanju od 1kHz dobijeni zvuk će biti neprepoznatljiv - slika 2). Međutim, što je frekvencija uzorkovanja veća, to je veći i zapis, tj. zauzima više mesta kod čuvanja[2].

2.2 Kvantizacija

Posle semplovanja ide kvantizacija što je postupak kojim se odabrane vrednosti električnog napona zaokružuju na najbližu od dozvoljenih vrednosti. Pošto jedna sekunda zvučnog zapisa može da se podeli na 44 100 delova (frekvencija uzorkovanja), svaki deo ima amplitudu koja nosi informaciju o zvuku, a ta informacija se prenosi u digitalni oblik, bit. Dubina bita se prikazuje formulom: $2^x = n$, gde je x broj bitova, a n broj mogućih kombinacija. Kvalitet zvuka direktno proporcionalno zavisi od broja bitova. Za digitalizaciju je standardan 16-bitni prikaz. Tokom kvantizacije



Slika 2: Uzorkovanje na 44,1kHz i na 1kHz

neophodno dolazi do kvantizacijske greške (eng. *quantization error*) koja uzrokuje šum u zapisu jer neminovno dolazi do gubitka informacije. Međutim, taj šum se obično ne primećuje[4].

2.3 Kodiranje

Kodiranje (eng. *Encoding*) je niz znakova u digitalnom formatu koji se koriste za prenos i skladištenje. To je i proces pretvaranja podataka u neki drugi format i često se koristi za redukciju veličine audio datoteke. Pri kodiranju svaka vrednost se predstavlja logičkim nulama i jedinicama, tj. bitovima. Broj bitova (8, 16, 24...) određuje dinamički raspon jačine zvuka, što se izražava u decibelima[3]. U digitalizaciji (prevođenju analognog u digitalni signal), kao što smo rekli, frekvencija uzorkovanja mora da bude najmanje dva puta veća od najveće frekvencije analognog signala i, zavisno od broja bitova, interval je podeljen na 2^n nivoa, te se digitalni signal sastoji od blokova n bitova. Metode kodiranja koje se ovde koriste su:

- *Pulsna kod modulacija* (eng. *Pulse code modulation, PCM*) – intervali su jednako raspoređeni
- *Delta modulacija* (eng. *Delta modulation, DM*) – uzorci se ne razlikuju mnogo i potrebno je manje bitova nego kod PCM[5]

Digitalizacija se obavlja u analogno-digitalnom pretvaraču (eng. *A/D converter*). Bitska brzina (eng. *bit rate*) je broj bitova obrađenih u jedinici vremena, tj, u ovom slučaju, koliko je kilobita u sekundi potrebno za smeštanje zvuka (kbps – eng. *kilobit per second*).

3 Čuvanje digitalnog zvuka

Za čuvanje je bitno odrediti koji se kvalitet medijuma traži: kapacitet, dugovečnost, pouzdanost, način rukovanja i naravno, cena kao i dostupnost. Uglavnom se koriste:

- izmenjivi diskovi
- tvrdi diskovi
- magnetne trake

Od izmenjivih diskova, danas se najviše koriste optički diskovi kao što su CD, DVD, BD koji mogu skladištiti od 800 MB do 50 GB. Oni su jeftini, laki za korišćenje, međutim previše su osetljivi te im je rok trajanja kratak. Stoga se ne preporučuju za dugoročno čuvanje digitalnog zvuka

kao ni drugih informacija. Tvrdi diskovi mogu biti megnetni i memorij-ski i razlikuju se po kapacitetu, gde magnetni diskovi mogu skladištiti do nekoliko terabajta. Obe vrste imaju brz pristup informacijama. Magnetni imaju precizne mehaničke delove pa mogu biti osetljivi na habanje vremenom, dok su memorijski diskovi prenosivi i bolje podnose spoljne uticaje. Za razliku od diskova, magnetne trake nemaju brz pristup podacima te se sve manje koriste iako su lake za rukovanje[2].

4 Kompresija i formati audio zapisa

MP3 format jedan je od najpoznatijih formata, a ostali poznatiji su WAV, AIFF, AAC, OGG i dr. MP3 format dolazi sa određenim gubicima i to je njegova najveća mana ali u isto vreme ima tu prednost manje veličine. Veličina zapisa bude gotovo 1/10 od nekompresovanog zapisa, kao sto su WAV ili AIFF formati koji ne žrtvuju nikoju količinu informacija zarad kompresije. Kvalitet MP3 formata zavisi od broja bitova koji će se koristiti, što je veći broj bitova, to je bolji zapis, bolji kvalitet. Nasuprot tome, postoje nekompresovani WAV i AIFF formati. To je WAV standardni format za snimanje zvučnih zapisa. Koriste se standardne i minimalne vrednosti – 44,1 kHz, 16-bitni ekran i dva kanala (tabela 1). AIFF format je veoma sličan WAV formatu. S obzirom na to da su oba formata nekompresovana, daju zvuk koji je bogat raznolikošću frekvencije, dobijaju se i originalno uzorkovanje i dubina pa su iz navedenih razloga lakši za dalju obradu. Njihov najveći nedostatak je veličina, koja može biti između 20-40 Mb po zapisu i ponekad nemogućnost razmene zapisa upravo zbog veličine[6].

Veličine formata		
Stopa uzorkovanja	Nekompresovan WAV	Kompresovan MP3
41.4 kHz, 16-bit(CD)	105.84 MB	24 MB
41.4 kHz, 32-bit	211.68 MB	46.5 MB
41.4 kHz, 64-bit	423.36 MB	93 MB

Tabela 1: Veličine formata u trajanju od 10 minuta

Zašto kompresovati? Kompresija se može koristiti za suptilno masiranje zvuka kako bi ona zvučala prirodnije i razumljivija bez dodavanja izobličenja, što rezultira pesmom koja je „udobnija“ za slušanje. Pored toga, mnogi kompresori - i hardverski i softverski - imaće prepoznatljiv zvuk koji se može koristiti za ubrizgavanje divnih boja i tonova u inače beživotne numere na primer. Isto tako, prekomerno kompresovanje određenog fajla može zaista uništiti ideju tog zvuka. Kompresija audio podataka, koju ne treba mešati sa kompresijom dinamičkog opsega, ima potencijal da smanji propusni opseg prenosa i zahteve za skladištenje audio podataka. Algoritmi audio kompresije su implementirani u softver kao audio kodeci. I kod kompresije sa gubicima i bez gubitaka, količina informacija je smanjena korišćenjem metoda kao što su kodiranje, kvantizacija, diskretna kosinusna transformacija i linearno predviđanje kako bi se smanjila količina informacija koje se koriste za predstavljanje nekompresovanih podataka.

4.1 Zaštitita digitalizovanog materijala

Digitalizovani materijal treba zaštititi od neovlašćenog pristupa, kopiranja i distribucije, a njenu autentičnost mogu potvrditi mehanizmi zaštite građe. Neki od metoda zaštite su:

- mehanizmi zaštite sistema,
- šifrovanje,
- digitalni potpisi,
- digitalni sertifikati,
- digitalni vodeni žigovi,
- šifrovane koverta

Postoji mnogo mehanizama zaštite sistema i nijedan od njih nije savršen, a jedan od njih koji se češće koristi je upravljanje nivoom pristupa. Proces uspostavljanja nivoa je sad omogućio pristup određenim podacima i uslugama, a pristup nekim drugim je onemogućen. Za pristup se koriste lozinke koje treba da budu tajne i složene da ne mogu svi pristupiti podacima. Dalje, koriste se antivirusne zaštite, ali ih treba redovno održavati. Drugi način zaštite je zaštitni zid.

5 Ciljevi digitalizacije

Ciljevi digitalizacije se razlikuju u zavisnosti od toga zašto se primenjuje, želi li se digitalizacijom zaštititi izvorna građa ili omogućiti pristup građi. S obzirom na današnju tehnologiju, dolazi se u mogućnost „izrade“ sadržaja kome se može bolje i jednostavnije pristupiti kroz deljenje sadržaja institucije preko interneta s mnogobrojnim korisnicima istovremeno. Korisnici očekuju aktivno vođenje stranica ustanova i društvenih mreža kako bi mogli da preslušaju određeni zvučni sadržaj bez fizičkog dolaska u ustanovu.

Ustanove digitalizuju svoju građu iz sledećih razloga:

- kao plaćenu uslugu,
- kako bi dodale novi sadržaj u već postojeću zbirku (npr. priče, legende, bajke i sl.),
- vezano za administrativne procese,
- zbog izrade internet stranica,
- radi konzervacije i restauracije,
- zbog ulaganja u nove tehnologije.

5.1 Dobrobiti digitalizacije

Digitalizacija se koristi sve više. Postaje skoro nepojmljivo da određena prodavnica nema bar internet stranicu, dok je to obavezni minimum koji se očekuje od većih kompanija i državnih institucija. Od elektronskih dnevnika, elektronskog bankarstva, društvenih mreža pa sve do muzičkih biblioteka sa milionima pesama, posledice digitalizacije vidimo na svakom koraku.

Pre digitalizacije, mnogi podaci, informacije, sadržaji su bili znatno skuplji, teže pristupačni, ograničenog broja i upotrebe. Ako bismo hteli da odslušamo novi album određenog izvođača, računar ili telefon je sve što

nam je potrebno. Za veliki broj slučajeva, ne bismo morali da platimo, ne bismo imali uslov koliko puta smemo i koliko nas sme da sluša taj sadržaj.

Izražen primer za prethodno navedene pogodnosti su razne striming (eng. *streaming*) usluge, koje su revolucionisale muzičku industriju. Muzička striming usluga je tip prenošenja i predstavljanja digitalne građe koja se primarno fokusira na muziku i podcastove (eng. *podcasts*). Zbog jednostavnosti korišćenja, preglednosti i izbora sadržaja skrojenog za određenog korisnika, velika je verovatnoća da ako bismo nekoga pitali kako sluša muziku, odgovor bi bio preko neke striming usluge.

Vrlo bitan aspekt digitalizacije je katalogizacija. Zahvaljujući pravilnom arhiviranju i indeksiranju, imamo jasniji pregled i razumevanje sadržaja koje nam štedi vreme pri potrazi za određenim podacima, tokom obrade i prilikom rukovođenja[2].

6 Zaključak

Zvuk su mehaničke vibracije, a čovek prosečnog sluha može da registruje iz intervala 16 - 20 000 Hz. Početkom 19. veka nastale su analogne mašine kojima se mogao zabeležiti zvuk, od kojih je jedan primer gramofon. Upotreba gramofona nije bila preterano skupa, međutim, ploče preko kojih se čuvao zvuk su bile krhke, osetljive na temperaturu i tokom svakog korišćenja oštećivao se reljef i gubili su se podaci. Nakon gramofona, dolazi do izuma magnetne, a zatim i kompaktne trake i konačno optičkih diskova. Oni se za razliku od prethodno navedenih tehnologija nisu habali tokom reprodukcije i primene, ali je moglo doći do grebanja tokom držanja i neobazrivo rukovođenja.

Zvučni zapisi sa analognih nosača se mogu zaštititi od propadanja i učiniti dostupnim većem broju korisnika procesom digitalizacije. Digitalizovane zapise možemo spremiti u više formata, a najpoznatiji su MP3, AIFF i WAV.

Potrebno je digitalizovati građu, pogotovo kulturnu baštinu, kako se identitet i kultura ne bi zaboravili i kako bi ljudi, odnosno korisnici, digitalizovanu građu mogli da koriste i tokom celog života. S obzirom na današnju tehnologiju, potrebno je i održavati građu u određenim formatima kako bi bili čitljivi i dostupni većem broju ljudi. Analogni izvornici ili izvorna digitalna građa će uvek imati svoju vrednost u pogledu informacija, pa i analogni zvuk, jer koliko god pogodnosti digitalni zvuk pružao, naročito u smislu dugotrajnosti i uštede prostora, postoji određeni kvalitet „živog“ zvuka koji se neminovno gubi i koji je za sada nemoguće digitalno reprodukovati.

Literatura

- [1] Fizika 4, udžbenik za 4. razred gimnazije, Nataša Čaluković, Krug Beograd
- [2] Jurković, Anamaria. Digitalizacija zvuka. Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Filozofski fakultet, 2021.
- [3] S. Filipović. Digitalizacija zvuka. Računari i programiranje, Wordpress, 2014. on-line at: <https://racunariprogramiranje.wordpress.com/2014/02/08/дигитализација-звуча/>

- [4] Wordpress. Digital Sound and Music. on-line at:
<http://digitalsoundandmusic.com/5-1-2-digitization/>
- [5] Dr. Dheeraaj Sanghi. Data Encoding. Computer Networks,
Computer Science and Engineering, IIT Kanpur. on-line at:
<https://www.cse.iitk.ac.in/users/dheeraaj/cs425/lec03.html>
- [6] S. Filipović. Компресија аудио записа и формати аудио
записа. Računari i programiranje, Wordpress, 2014. on-line at:
<https://racunariprogramiranje.wordpress.com/2013/02/10/компресија-аудио-записа-и-формати-ауд/>