

ANALOGNO, DIGITALNO I MAGNETSKO SNIMANJE ZVUKA

Ozren Bilan
2011

- 1 Uvod u elektroakustiku
- 2 Fiziološka i psihološka akustika
- 3 Buka i karte buke
- 4 Akustika prostora
- 5 Mikrofoni
- 6 Elektrodinamički zvučnici
- 7 Zvučnici u kutiji i filtri
- 8 Pojačala snage
- 9 Digitalna elektroakustika
- 10 Analogno i digitalno snimanje zvuka
- 11 Projektiranje sustava ozvučenja
- 12 Mjerenja u elektroakustici

U PDF inačici nisu vidljive animacije



Povijesni prikaz

Početak magnetskog snimanja zvuka javlja se u Njemačkoj 1920., a već sredinom 30-tih godina dolazi do uređaja koji snimaju i reproduciraju na magnetskoj vrpici. BASF krajem 30-tih proizvodi magnetske vrpce koje imaju bolji zvuk od gramofonskih ploča.

Hi Fi i Studijsko snimanje - 1949. magnetsko snimanje zvuka postaje standardni pristup proizvodnje gramofonskih ploča, čime se izbjegava direktno rezanje. Pored toga montaža tona omogućava biranje najboljih materijala među onima koji su višekratno snimljeni.

Stereo - 1958. stereo gramofonska ploča pojavljuje se na tržištu i njeno širenje 1959. dovodi do smanjenja interesa u kućnom snimanju na magnetofone.

Kazete - 1964. Philips uvodi kompakt kazetu. Loša kvaliteta zvuka popravlja Dolby Noise Reduction 1969. Kazete se proizvode u ogromnom broju primjeraka i pale audio piratstva. Svi poznati albumi i koncerti ilegalno se snimaju u milijunima primjeraka.

Digitalnog snimanje zvuka - Ilegalno snimanje zvuka glavni je razlog dosadašnjeg neširenja mnogih digitalnih sustava. Vlasnici glazbenih licenci postavljaju prepreke širenju digitalnih sustava .



Razvoj tehnologije

1982. CD preuzima tržište. Dolaskom analognih uređaja za video snimanje do vrhunca 1980. Sony preuzima primat u kombiniranju *helical-scan* video tehnologija sa snimanjem zvuka

1987. DAT *Digital Audio Tapes* tehnologija namijenjena poluprofesionalnom i profesionalnom studijskom tržištu. Do 1992. 80% studija za snimanje koriste **DAT**.

Mini Disc Sony s magnetsko optičkom tehnologijom i **DCC** *Digital Compact Cassette Philips*, koji nisu doživjeli širenje zbog zaštite od ilegalnog kopiranja i više cijene uređaja.

Najrašireniji su **CD-R**, **DVD** sustavi s mogućnošću snimanja, međutim njihova ekspanzija je posljedica uvođenja **DVD-A**, **SACD**, *Direct Stream Digital* i **Bluray** tehnologije

Skoro će prestati postojati mediji temeljeni na mehaničkoj rotaciji i zamijeniti će ih *Flash memorije*, *download* i *streaming*.



Feromagnetizam

Željezo, kobalt, nikal kao i razne legure ovih materijala nazivaju se **feromagnetski** materijali.

Mogu se stalno magnetizirati vanjskim magnetskim poljem koje stvara stalni magnet ili elektromagnet.

Paramagnetski materijali su oni na koje djeluje magnetsko polje ali oni ne mogu ostati stalno magnetizirani.

Ako temperatura feromagnetskog materijala poraste iznad *Curieve temperature*, materijal naglo izgubi magnetska svojstva i postane paramagnetski materijal.

Feromagnetski materijalima svojstva se opisuju **krivuljom magnetizacije i histerezom**.

Krivulja magnetizacije

Pogledajmo nemagnetizirani feromagnetski materijal u **točki a**, gdje je vrijednost polja jednaka nuli.

Povećanjem magnetskog polja H , inducirana magnetizacija M se povećava.

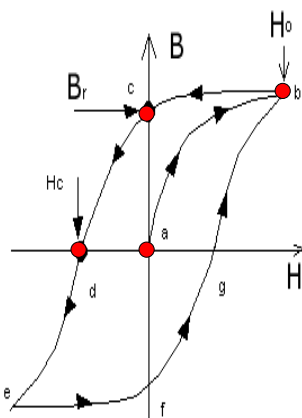
Magnetizacija može doći do zasićenja (**točka b**).

Krivulja od A do B zove se **krivulja magnetizacije**.

Smanjujemo li vanjsko polje, smanjit će se i magnetizacija, ali pri tome neće pratiti krivulju magnetizacije. Umjesto toga, materijal stalno zadržava magnetizaciju, koja se naziva **remanentna magnetizacija M_r** (**točka c**).

Remanentna magnetizacija je stalna magnetizacija koja ostaje nakon otklanjanja vanjskog polja.

Kako bi magnetizaciju smanjili na nulu (**točka d**) moramo djelovati suprotnim poljem. To je **koercitivnost**.

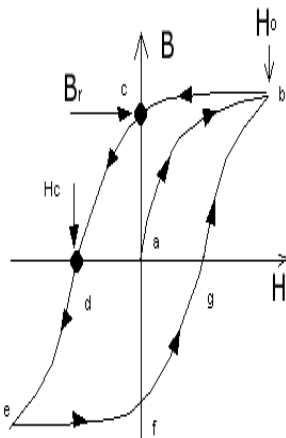


Remanencija i koercitivnost

Ako vanjsko polje dalje smanjujemo, remanentna magnetizacija se može poništiti (**točka D**). Vanjsko polje pri kojem remanentna magnetizacija nestaje, naziva se **koercitivnost H_c** .

Produkt remanentnog magnetizma i koercitivnosti $M_r H_c$ naziva se **jačina magneta**.

Kako vanjsko polje i dalje mijenja jačinu, nastat će permanentna magnetizacija suprotnog pola, pri čemu nastaje slična krivulja suprotnog pola: saturacija (E), remanentni magnetizam (F), koercitivnost (G). Krivulja histereze opisuje krivulju B-E pri promjeni polja.



Temelj magnetskog snimanja

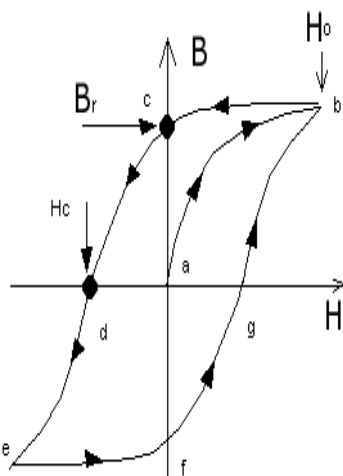
Pri magnetskom snimanju magnetski medij nije u potpunosti zasićen.

Vanjske magnetsko polje H , manje je od vrijednosti maksimalnog polja potrebnog za dovođenje medija u zasićenje (saturaciju) pa je inducirana magnetizacija B , proporcionalno manja.

Zbog toga je i inducirana remanentna magnetizacija manja od B_r .

Temeljem ovih postavki možemo konstruirati krivulju koja pokazuje jačinu magnetskog polja u ovisnosti o remanentnom magnetizmu manjem od vrijednosti saturacije.

Ova krivulja je temelj magnetskog snimanja.



U magnetskom krugu postoji magnetski tok. **Prekid magnetskog kruga naziva se raspor.** Magnetski krug čini magnetska glava i magnetski medij. Magnetski krug ima **raspor na magnetskoj glavi.** Na jezgama magnetskih glava nalazi se svitak s N [zavoja], kojima protiče struja I [A]. Produkt, je protjecanje ili magnetomotorna sila, Θ , što održava magnetski tok Φ [Wb]. Tok ovisi o permeabilnosti μ , duljini kruga ℓ i presjeka S :

$$NI = \Theta = \Phi \ell / (\mu S)$$

Podijeli li se magnetski tok s presjekom, dobije se gustoća toka ili indukcija:

$$B = \Phi / S [\text{Tesla} = 1 \text{ N/mA} = 1 \text{ Wb/m}^2]$$

Podijeli li se protjecanje srednjom duljinom kruga dobije se jakost polja:

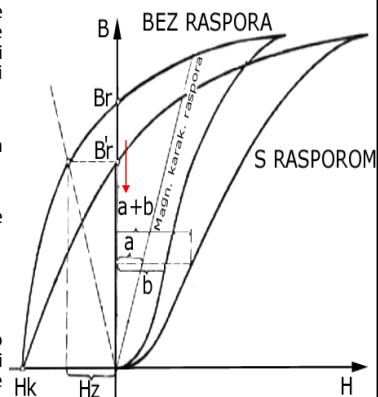
$$H = NI / \ell [\text{A zavoja} / \text{m}]$$

Prikazana je krivulja magnetiziranja.

Ovisi o indukciji B i jakosti polja H .

Oblik krivulje ovisi isključivo o materijalu. Za magnetsko snimanje i reprodukciju koristi se magnetsko polje u rasporu i oko njega. U magnetskom krugu s rasporom potrebno je veće polje, H , nego u krugu bez raspora. **Raspor smanjuje remanenciju B_r na B_r' .** Podvrgne li se feromagnetski materijal cikličkom premagnetiziranju, indukcija B [T], opisuje krivulju histereze.

Usku petlju histereze imaju *meki* materijali (mala koercitivna sila), a tvrdi materijali imaju široku petlju histereze, s velikim koercitivnim silama.



U principu nema razlike analognih i digitalnih sustava za magnetsko snimanje, samo je digitalnima **procjep mnogo manji**

Osnove analognih uređaja za snimanje

Princip magnetskog snimanja zvuka poznat je od početka prošlog stoljeća ali zbog pratećih problema kao što su šum i izobličenja dugo vremena taj fenomen nije bio ništa drugo nego kuriozitet.

Otkrićem visokofrekvencijskog prednapona magnetizacije osnovni problemi magnetskog snimanja zvuka bili su na putu rješenja.

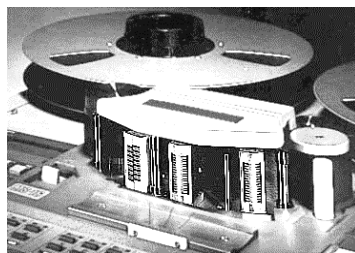
Na samim počecima snimanja 20-tih godina koristila se čelična žica, a ne magnetska traka kakvu danas poznajemo.

Tek 40-tih godina napravljen je magnetofon kakvog i danas poznajemo, a do 1950. napravljena su sva poboljšanja tako da do danas nije bilo nekih znatnijih promjena.

Sva poboljšanja o kojima možemo govoriti samo su **rezultat napretka tehnologije**, a ne temeljnih postavki.

23.9.2013.

Ozren Bilan



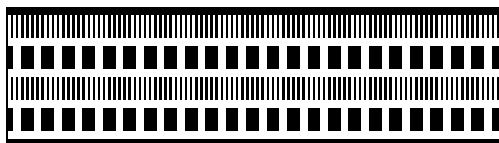
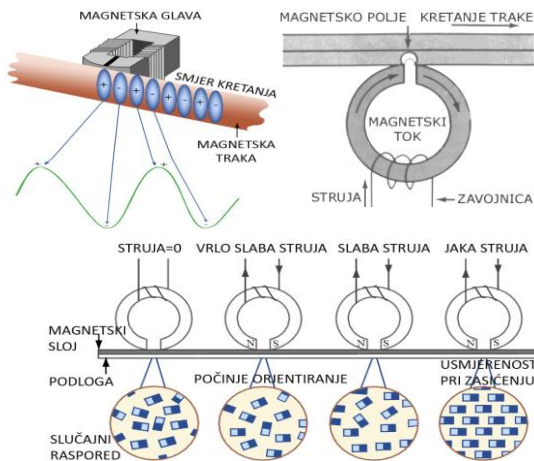
Snimanje

Najjednostavniji sustav magnetskog snimanja sastoji se od elektromagneta (kojeg nazivamo *glava za snimanje*) s procjepom iznad feromagnetske površina koja se kreće brzinom v .

Budući da je jezgra elektromagneta metalna, u njoj će se uspostaviti magnetski tok.

Tok će u procjepu formirati rasipno polje.

Struja kroz zavojnicu elektromagneta uspostavlja magnetsko polje, H , koje će uzrokovati remanentnu magnetizaciju feromagnetske površine.



23.9.2013.

Ozren Bilan

10

Reprodukcija

Najjednostavniji sustav reprodukcije, sastoji se od istog elektromagneta kojim su se i zapisali podaci na feromagnetsku površinu – traku, koja se kreće istom brzinom, kao pri snimanju.

Uz elektromagnet, kojeg sada nazivamo *glava za reprodukciju*, prolazi magnetsko polje, H , iznad feromagnetske površine.

Napon induciran u elektromagnetu proporcionalan je prostornoj, tj. vremenskoj - jer se traka kreće, derivaciji magnetskog polja koja je uspostavljena permanentnim magnetiziranjem materijala.

$$e = - Nv \frac{d\Phi}{dx}$$

gdje je:

e	inducirani napon
N	broj zavoja
Φ	tok iznad magnetske površine
v	brzina

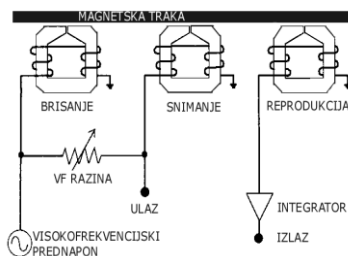
Prototip uređaja za magnetsko snimanje

Uređaj za magnetsko snimanje sastoji se od tri glave: **brisanje, snimanje i reprodukciju**.

Za vrijeme snimanja traka se kreće iznad svih glava.

Glava za brisanje mora otkloniti sve tragove prethodnih snimaka i postaviti magnetske čestice u potpuno slučajni položaj, kako bi šum bio minimalan. Zbog toga je **procjep glave za brisanje velik**, kako bi nastalo vrlo **jako polje** za brisanje. Glava za brisanje napaja se **signalom vrlo visoke frekvencije**.

Nakon toga traka prolazi iznad **glave za snimanje**. Procjep glave za snimanje je **reda veličine debljine** magnetskog sloja što omogućava dobar kompromis snimanja visokih i niskih frekvencija.



Signal koji se snima mijenja se na još dva načina:

Prvo, **odaje se izmjenična komponenta kako bi se linearizirao odziv**, o čemu ćemo govoriti. Naziva se **VF prednapon magnetizacije**.

Drugo, frekvencijski odziv mu se mijenja na način da se **kompensiraju gubici koji nastaju na vrlo kratkim valnim dužinama**. Ova kompenzacija naziva se **pre-ekvalizacija**. Cilj je nadoknaditi gubitke koji će nastati pri snimanju na visokim frekvencijama.

Konačno, traka prelazi preko **glave za reprodukciju** koja se izvodi s **vrlo malim procjepom**, kako bi se maksimalno **smanjili gubici** pri reprodukciji visokih frekvencija. Jezgra sa zavojnicom inducira signal koji je **derivacija toka** pa se tako dobiveni signal mora **integrirati**.

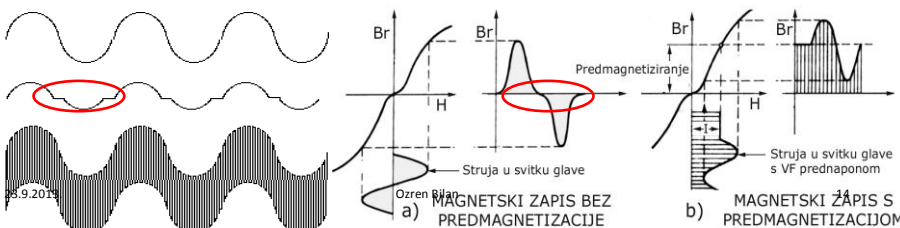
Pored toga signal se mora **dodatno ekvalizirati (post-ekvalizacija)** kako bi se nadoknadili gubici pri reprodukciji visokih frekvencija.

Nelinearnosti i prednapon

Proces magnetizacije rezultira poljima suprotnih polova, a između njih su područja u kojima je jačina polja jednaka 0. Kad oksid nije magnetiziran, da bi se magnetizirao potrebna je vrlo velika struja. Zbog toga nastaje izobličen dio sinusoide na srednjem crtežu.

Kako bi se izbjeglo područje nelinearnosti korisnom signalu koji se želi snimiti dodaje se **prednapon koji sadrži vrlo visoke frekvencije oko 100 kHz**. Kao rezultat nastaje treći valni oblik s čistim oblikom ovojnice signala. Glava za reprodukciju ne može se odazvati na signal prednapona i daje samo snimljeni signal. **Kako bi odnos izobličenja, frekvencijskog odziva i šuma bio optimalan** potrebno je točno podesiti prednapon magnetizacije.

Kvaliteta snimanja na magnetski medij može bitno povećati **superponiranjem visokofrekvencijskog prednapona magnetizacije** signalu kojeg želimo snimiti. Slika predstavlja grafičko objašnjenje kako se reduciraju izobličenja primjenom prednapona magnetizacije.



Magnetski mediji

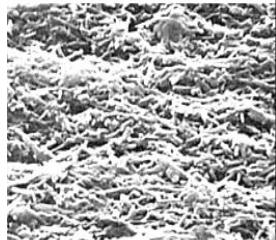
Od nastanka prvih sustava za magnetsko snimanje pa do danas korišteni su najrazličitiji magnetski mediji za snimanje. Prvi "magnetofoni" koristili su čeličnu žicu, a najnoviji sustavi koriste vrlo tanke slojeve feromagnetskih materijala na nemagnetskoj mat podlozi.

Uporaba tankih magnetskih slojeva omogućava najrazličitije konfiguracije od kojih su najzastupljenije magnetske trake, tvrde i meke ploče.

Magnetski mediji za snimanje dijele se na "meke" i "tvrde". Tvrđi mediji zahtijevaju vrlo visoka polja kako bi se permanentno magnetizirali. Takvi mediji prikladni su za pohranu podataka na računalima. "Meki" mediji zahtijevaju relativno mala polja i prikladniji su za snimanja zvuka.



Carbonil-iron cca. 1933.



gamma Fe₂O₃ iglicast cca. 1980s

23.9.2013.

Ozren Bilan

Magnetska traka

Magnetska traka je plastična podloga na koju je nanesen materijal koji se lako magnetizira. Najčešći je to oksid nekog metala.

Prve trake bile su od plastičnog materijala na kojem je bio raspršen željezni oksid i mogle su se snimati sa obje strane.

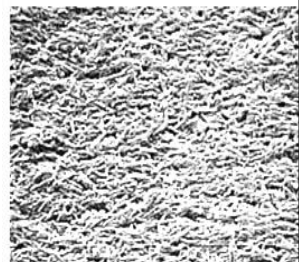
Kasnije je pronađena traka na koju je nanesen željezni oksid sa samo jedne strane i osjetljivost trake se bitno povećala jer je gustoća magnetskog materijala uz glave za snimanje bila znatno povećana.

Danas se upotrebljavaju trake s bazom od poliestera na koje je nanesen željezni oksid ili neki drugi feromagnetski materijal.

Od 1960. do 1980. napravljen je vrlo veliki napredak u poboljšanju kvalitete trake za snimanje. Razina šuma i izobličenja pomaknuta su do krajnjih granica.



Fe₂O₄ cca. 1936.



ferric 1985

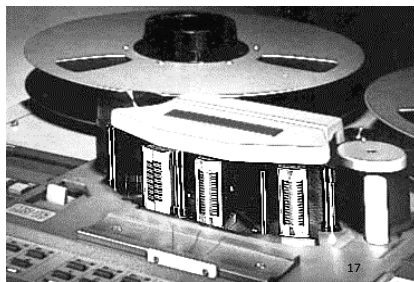
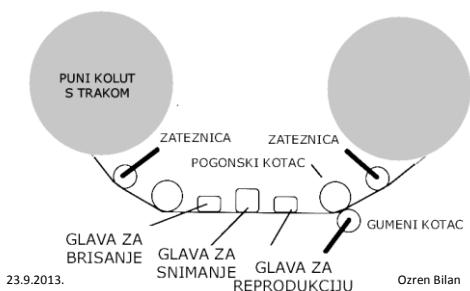
23.9.2013.

Ozren Bilan

Uređaji za snimanje

Uređaji s magnetskim trakama

Uređaji za magnetsko snimanje upotrebom magnetskih traka realizirani su oko 1940 godine. Visokokvalitetni analogni uređaji za magnetsko snimanje s velikim brojem kanala su industrijski standard ali su potisnuti digitalnim uređajima za snimanje. Tipični analogni uređaj za višekanalno snimanje prikazan je na slici.



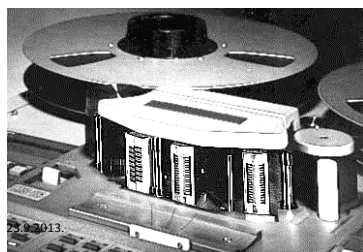
Mehanika uređaja za magnetsko snimanje

Osnovna funkcija mehaničkog dijela uređaja za magnetsko snimanje je pokretanje trake konstantnom brzinom za vrijeme snimanja i reprodukcije, te brzi pristup velikom brzinom premotavanja bilo kojem dijelu trake.

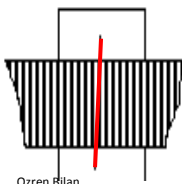
Iako su zahtjevi vrlo jednostavni izuzetno se teško realiziraju i uzrok su vrlo visokih cijena uređaja. Problemi su izraženiji kod studijskih uređaja koji koriste trake širine oko 5 cm.

Uže trake nisu uzrok većih problema pri transportu zbog manje mase koluta, ali kod užih traka izraženiji su problemi podrtavanja tona.

Pri magnetskom snimanju poseban problem je **postizanje točnog azimuta**. Poželjan kut kojeg zatvara zapis na magnetskoj traci i glava uređaja je 90 stupnjeva i naziva se **nulta pogreška azimuta**. ako traka krivuda pri prolasku uz glavu za snimanje ili reprodukciju može se pojaviti momentalna pogreška azimuta koja će imati za posljedicu gubitak visokih frekvencija.



greška azimuta

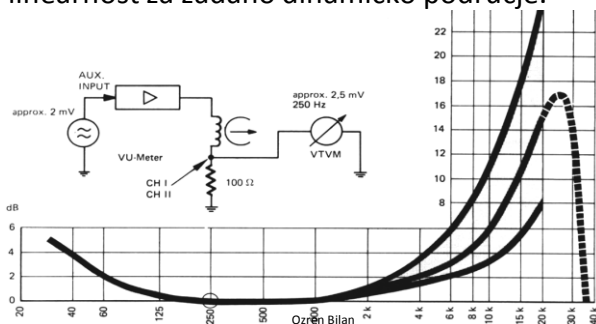


Snimanje

Podešavanje prednapona magnetizacije

Prisjetimo se još jednom krivulje magnetizacije koja se linearizira velikim izmjeničnim prednaponom.

Postoji optimalna vrijednost prednapona koji će realizirati najveću linearnost za zadano dinamičko područje.



23.9.2013.

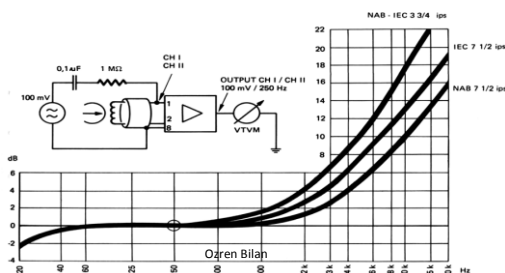
19

Izjednačavanje - ekvalizacija

Ekvalizacija je postupak kojim se elektroničkim putem kompenziraju nastali gubici pri snimanju ili reprodukciji. Kako smo naveli postoji pre-ekvalizacija i post-ekvalizacija.

Pre-ekvalizacija je poželjnija jer ne povećava šum. Međutim, pre-ekvalizacija može dovesti program s vrlo visokim sadržajem visokih frekvencija u magnetsko zasićenje.

Svi komercijalni uređaji za kućnu i profesionalnu uporabu imaju pre- i post-ekvalizaciju.



23.9.2013.

20

Referencijalne trake

Trake za podešavanje uređaja za magnetsko snimanje zvuka koriste se za tri funkcije.

1. Ekvalizacija reprodukcije
2. Podešavanje azimuta
3. Određivanje referencijalne razine

Trake za podešavanje su veoma skupe zbog toga što se relativno teško proizvode i nikad se ne smiju koristiti na uređaju za magnetsko snimanje koji nije potpuno demagnetiziran, jer se vrlo lako mogu oštetiti, također ih je potrebno skladištiti prema propisima.

Referencijalna razina

Definirana je kao gustoća toka po jedinici širine trake. U Americi definirana je kao 185 nWb/m, a Europski standard ima 4.7 dB višu vrijednost tj. 320 nWb/m.

Radna razina

Radna i referencijalna razina nisu ekvivalentni iako se to često zamjenjuje. Referencijalna razina definira 0 VU na VU metru uređaja za magnetsko snimanje zvuka. Zbog porasta kvaliteta trake operateri uređaja snimaju na višim razinama pri kojima je referencijalna razina oko 0.3% izobličenja, pri tome je radna razina oko 3 dB viša od referencijalne razine.

Ekvalizacijske razine

U Europi se koriste norme IEC, a u Americi NAB za brzine 15" i 7,5", a po normi AES za brzinu 30".

OSNOVE DIGITALNOG SNIMANJA ZVUKA

Digitalni sustav za snimanje zvuk zapisuje i obrađuje u vidu niza diskretnih vrijednosti od kojih svaka predstavlja vrijednost zvučnog tlaka u promatranom vremenu.

Priključimo li analogni audio signal na uređaj koji se zove analogno digitalni pretvarač dobit ćemo signal u digitalnom obliku.

Kako smo vidjeli u poglavlju o analogno digitalnoj pretvorbi, svaki uzorak signala, koji se dobije uzorkovanjem frekvencijom uzimanja uzoraka, kvantizira se i predstavlja binarnim brojem.

Nakon zapisivanja ili obrade, takav signala pretvara se DA pretvaračem u analogni oblik.

TEMELJI ZVUKA NA RAČUNALU

Ponovimo: Analogni signali su općenito **vremenski kontinuirani** pa je signalu dopušten bilo koji napon od neke minimalne do neke maksimalne razine. Teoretski, **rezolucija je beskonačna** jer trenutni napon može poprimiti bilo koju vrijednost. U stvarnosti u signalu uvijek postoji neka razina šuma koja se superponira signalu. Zbog toga

stvarnim analognim signalima rezolucija nije beskonačna nego je određuje razina šuma.

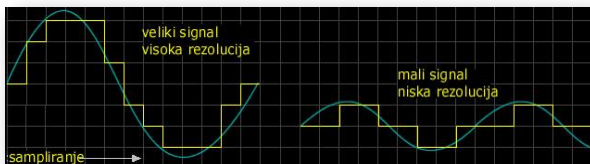
Pri pohrani i obradi signala u digitalnom obliku ne koristimo cjeloviti analogni signal nego ga zamjenjujemo vrijednostima uzoraka amplitude uzetih u pravilnim intervalima. Taj postupak nazivamo **sempliranje**, uzorkovanje ili otpikavanje. Problem je u tome da signal moramo **semplirati** na takav način kojim će odabrani uzorci točno predstavljati signal. Dakle iz odabranih uzoraka moramo točno rekonstruirati izvorni analogni signal iako to nije uvijek idealno.

Sempliranjem se analogni **vremenski kontinuirani signal** pretvara u odgovarajući **diskretni vremenski promjenjivi signal** što nam omogućava obradu na digitalnim sustavima; računalicama ili DSP procesorima. U stvarnosti sempliranje prate još dvije operacije, **kvantizacija** i **binarno kodiranje**.

Kvantizacija je postupak kojim se svakom uzorku pridjeljuje numerička vrijednost, dakle, uzorci se mjere.

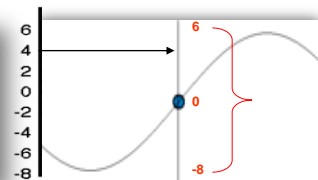
Binarno kodiranje je pretvorba dekadskih vrijednosti izmjerenih uzoraka u binarni kod.

Analogno-digitalni pretvarači ADC obavljaju sva tri koraka, a kako bi uzorci točno predstavljali izvorni analogni signal, frekvencija sempliranja mora biti viša od dvostruke maksimalne frekvencijske komponente analognog signala.



23.9.2013.

Ozren Bilan



23

Principi digitalnog snimanja zvuka

Pri digitalnom snimanju analognog signala odvija se analogno digitalna pretvorba. Kontinuirana vremenski promjenjiva amplituda analognog signala pretvara se u diskretne koordinate vremenski promjenjivog signala.

Razlika trenutne vrijednosti analognog signala i digitalne reprezentacije te vrijednosti je digitalna greška tj. digitalni šum.

Nyquistov teorem pokazuje da će se u slučaju u kojem $V(t)$ ne sadržava frekvencije više od

$$fs/2 \text{ (gdje je } fs = 1/T_s \text{),}$$

moći potpuno rekonstruirati iz vrijednosti uzoraka

$$V(nT_s) \text{ u diskretnim vremenima}$$

$$tn = nT_s \text{ gdje je } n = \dots -1, 0, 1, 2, 3 \dots$$

$$V(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} V(n \cdot T_s) \frac{\sin[\pi \cdot f_s(t - n \cdot T_s)]}{\pi \cdot f_s \cdot (t - n \cdot T_s)}$$

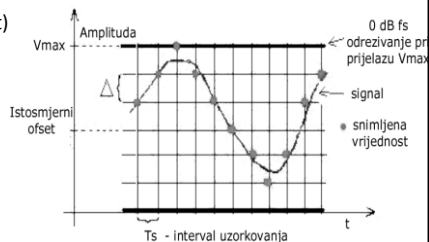
gdje je:

$$fs = 1/T_s$$

frekvencija uzimanja uzoraka

$V(t)$ vrijednost signala u vremenu t

Rekonstruirani signal imat će sve frekvencije 0 do $fs/2$ [Hz].



23.9.2013.

Ozren Bilan

24

Diskretna amplituda

Pojam bit označava binary digit i označava situaciju s dva stanja (0 i 1). Dakle, svaki digitalni sustav s dva stanja ima 1 bitnu rezoluciju. Uređaj s dva stabilna stanja npr. relej ili bistabil, može pohraniti 1 bit informacije. N takvih uređaja može pohraniti N bita informacije. Ukupni broj stanja je 2^N i iznos informacije jednak je $\log_2 2^N = N$ (Shannon, 1949.). Dakle, 4 razine su 2 bita, 8 razina su 3 bita, 16 su 4 bita, itd.

$$\text{BROJ RAZINA} = 2^N$$

$$N = 8 \quad \text{BROJ RAZINA} = 256$$

$$N = 12 \quad \text{BROJ RAZINA} = 4,096$$

$$N = 16 \quad \text{BROJ RAZINA} = 65,536$$

$$N = 20 \quad \text{BROJ RAZINA} = 1,048,576$$

Pri amplitudi od 0 do V_{max} (npr. od 0 do 1 Volt), jedan kvantizacijski korak bit će:

$$\text{ŠIRINA KORAKA KVANTIZACIJE} = V_{max} / \text{BROJ RAZINA} = V_{max}/2^N$$

Odnos signal/šum

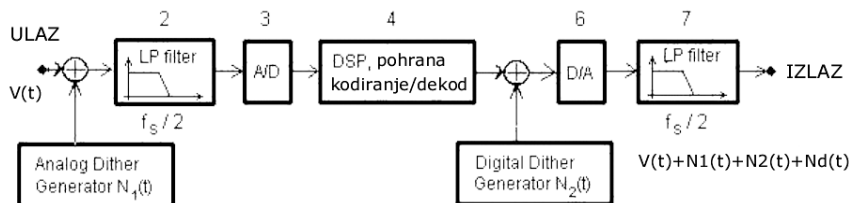
Na dovoljno visokoj razini i složenosti ulaznog signala $V(t)$, digitalna greška (razlika analogne vrijednosti i zapisane digitalne vrijednosti) od uzorka do uzorka bit će statistički nezavisna i jednoliko distribuirana u intervalu koraka kvantizacije. Maksimalni odnos signal/šum može se izračunati prema:

$$S/N = 20 \log (V_{\text{SIGNAL eff}} / V_{\text{ŠUM eff.}}) = 6.02 N + 1.76 \text{ [dB]} \approx 6 N \text{ [dB]}$$

Dakle, pretvarač s rezolucijom **8, 12, 16 i 20 bita** realizirat će odnos signal/šum **48, 72, 96 i 120 dB.**

Sustav za digitalno snimanje i obradu podataka prikazan je na slici

Opisat ćemo procese pri snimanju.



Dither šum

U cilju sprječavanja digitalnih izobličenja signala $V(t)$ u obliku koherentnog šuma $ND(t)$ potrebna su dva izvora *dither* šuma [$N1(t)$, $N2(t)$]. Pravilno određeni šum rezultirat će zanemarivim šumom na izlazu, ali će u potpunosti eliminirati koherenciju digitalnog šuma.

Analogni *dither* mora se sumirati s ulaznim signalom kako bi se:

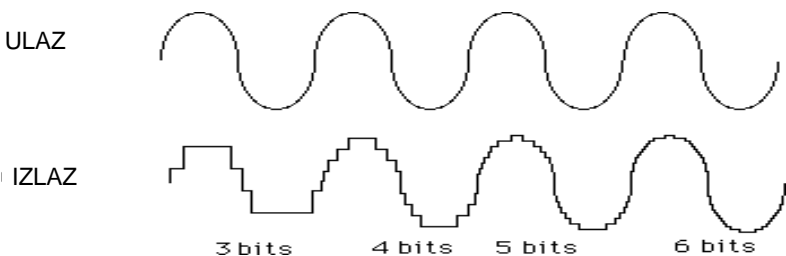
- omogućila linearizacija A/D pretvarača,
- omogućilo poboljšanje odnosa S/Š
- znatno potisnula harmonička izobličenja koja nastaju u uvjetima koherentnosti digitalnog šuma i audio signala.
- potisnula intermodulacijska izobličenja koja nastaju u uvjetima koherentnosti digitalnog šuma i audio signala.
- potisnula tzv. *digitalna naglušost* koja nastaje u uvjetima kada je razine signala $V(t)$ manja od razine kvantizacije. Signal se neće snimiti osim ako ne postoji na ulazu šum $N1(t)$.
- potisnula modulacija šuma koju uzrokuje audio signal.

Ulazni nisko propusni filter (tzv. *antialiasing filter*) mora spriječiti sve frekvencije iznad $f_s / 2$, gdje je f_s = frekvencija uzimanja uzoraka, kako bi se spriječilo nastajanje izobličenja zbog *aliasa*.

Utjecaj rezolucije

Broj upotrebljenih bitova ima direktan utjecaj na kakvoću signala. Izobličenje se aproksimacijski može izraziti kao postotak koju LSB predstavlja od prosječne vrijednosti. Izobličenja digitalnih sustava rastu smanjenjem razine signala, što je upravo obrnuto od ponašanja analognog signala.

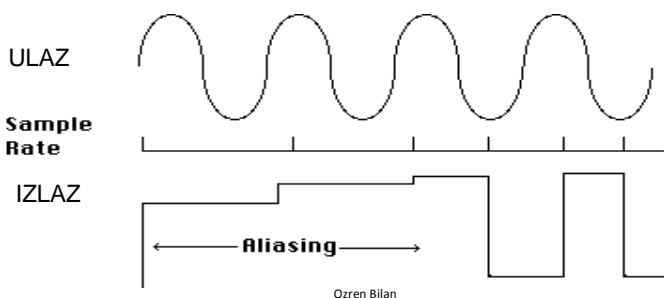
Broj bitova određuje i dinamičko područje koje je približno jednako broju bitova puta 6 dB.



Frekvencija uzimanja uzoraka

Frekvencija kojom se uzimaju uzorci signala daleko je važnija od broja bita. ako je frekvencija uzimanja uzoraka niža od frekvencije signala dogodit će se situacije u kojima će nedostajati cijeli periodi signala i dekodirani rezultat neće nimalo nalikovati na početni signal. Ovaj tip greške naziva se alias.

Da ne bi došlo do aliasa, frekvencija uzimanja uzoraka mora biti bar dva puta viša od maksimalne frekvencije koju želimo pretvoriti u digitalni oblik.



23.9.2013.

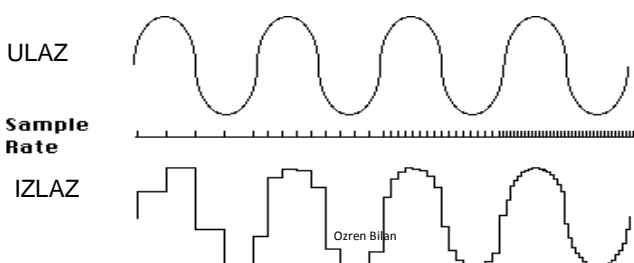
Ozren Bilan

29

Frekvencija uzorkovanja

Slika pokazuje kako se valni oblik signala poboljšava povećanjem frekvencije uzimanja uzoraka. I pri najvišoj frekvenciji uzimanja uzoraka izlaz sustava ima oblik diskretnih stepenica. Furierova analiza može pokazati da je u takvom valnom obliku sadržan čitav signal uz komponente frekvencije uzimanja uzoraka kao i njene harmonike. Taj dio se mora eliminirati propuštanjem kroz niskoprolazni filter. Filtri trebaju biti vrlo oštri (vrlo velikog nagiba) što je vrlo skupo i teško realizirati. Zbog toga mnogi sustavi koriste vrlo visoke frekvencije uzimanja uzoraka kako bi se filteri pojednostavnili.

Svaka razlike frekvencije uzimanja uzoraka između snimanja i reprodukcije promijenit će frekvencijski sadržaj signala. Nestabilnost frekvencije uzimanja uzoraka zove se **jitter** i on će uzrokovati izobličenja signala pri pretvorbi.



23.9.2013.

Ozren Bilan

30

Snimanje digitalnih podataka

Jednom kad se signal nađe u digitalnom obliku nije ga lako snimiti. Najveći problem je naći način koji će sve bitove snimiti dovoljno brzo. Ako je frekvencija uzimanja uzoraka 44.1 kHz, 16-bitna rezolucija, a za stereo su nam potrebna dva diskretna kanala potrebno je snimiti

$$44.1 \text{ kHz} \times 16 \times 2 = 1.411.200 \text{ bit/s}$$

Tehnike kojima rade VCR mogu snimiti ovu količinu podataka. Prvi digitalni uređaji za snimanje zvuka bili su VCR.

Da bi se ovi podaci snimili na traku potrebno je snimati pri vrlo velikim brzinama. Međutim, kako velike brzine troše mnogo trake, u uređajima za digitalno snimanje okreće se glava za snimanje i reprodukciju što rezultira nizom kosih zapisa preko visine trake.

Na kompaktnom disku digitalni zapis je niz mikroskopskih udubljenja koji se upisuju laserom. Za čitanje ovih podataka koristi se refleksija laserske zrake na detektor svjetla. U oba slučaja proces čitanja se potpomaže tako što se sprječava nastajanje brojeva koje je teško očitati.

Ako je neki broj težak za čitanje (npr. ako ima mnogo 0) upisuju se pomoćni bitovi. Tako se na CD disku za zapis 8 bita koristi 16 bita, a na uređaju za magnetsko snimanje digitalnih signala koristi 20 bita za snimanje 16.

Snimanje zvuka u MATLAB-u

Mikrofon opremljen kablom s *mini chinch* priključkom 3,5mm priključit ćemo na prednju ili stražnju mikrofonsku priključnicu računala. Za podešavanje u *Win7 64b* otvaramo: **Control Panel\All Control Panel Items\Sound**



Za snimanje zvuka koristimo MATLAB naredbu `wavrecord` kako bi pohranili audio signal s mikrofona. Format naredbe je:

```
y = wavrecord(n, fs);
```

gdje je *n* broj uzoraka koje snimamo, a *fs* frekvencija sampliranja. Slijedeći program snimit će signal mikrofona u trajanju od 2 sekunde. U MATLAB-u s dual procesorom 3,2 GHz i 6 GB RAM-a možemo snimati s *fs* preko 3 MHz.

```
>> fs=16000; %frekvencija sampliranja
trajanje=2; %trajanje snimke u sekundama
fprintf('Pritisni bilo koju tipku za početak %g sekundi
snimanja...', trajanje);
pause
```

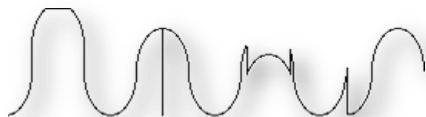
```
fprintf('Snimanje u tijeku...');
y=wavrecord(trajanje*fs, fs);
% trajanje*fs predstavlja ukupni broj uzoraka u snimci
fprintf('Snimanje završeno.\n');
fprintf('Pritisni bilo koju tipku za reprodukciju
snimke...');
pause; fprintf('\n');
wavplay(y,fs);
```

Pritisni bilo koju tipku za početak 2 sekundi snimanja...Snimanje u tijeku...Snimanje završeno. Pritisni bilo koju tipku za reprodukciju snimke...

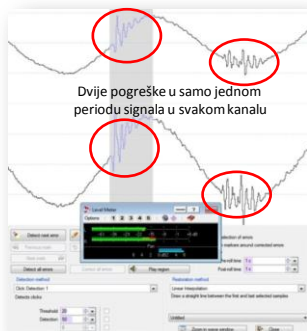
Kod ispravaka pogreški

Uvijek moramo pretpostaviti kako će se neki bitovi izgubiti prilikom zapisa i čitanja pa mora postojati način otkrivanja izgubljenih podataka. Taj postupak ispravka greške sastoji se od dvije zadaće. Prva je otkrivanje greške, a druga što sa greškom napraviti.

OVER 1 bit loš nekoliko loših nedostatak



Najčešći postupak za detekciju greške je **proračun pariteta**. Svako digitalnoj riječi dodaje se jedan bit ovisno o tome da li je riječ paran ili neparan. Pri čitanju podataka, krivi paritetni bit pokazuje da je nešto krivo.



Neki programi prije autorizacije medija omogućavaju pronalazak i popravak pogrešaka. Na slici je prikazana **Audio error correction and detection** opcija u **Steinbergu** koja nam omogućava pronalazak i popravak pogrešaka. Opcija posjeduje **niz različitih postupaka detekcije i restoracije signala** – na slici je popravak PCM datoteke 24b 192 kHz pri izradi ISO slike na **Flash kartici**.

CRCC

Pri digitalnim snimanjima često mogu nestati velike količine podataka pri čemu ne može pomoći paritetni bit jer će nestati i oni. Matematički pristup problemu sastoji se u teoriji

Cyclical Redundancy Check Code ili kraće **CRCC**.

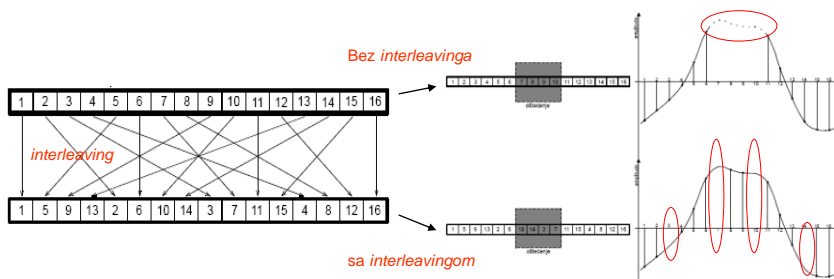
Jednom kad se otkrije greška sustav mora suptilno riješiti nastale probleme. Da bi se to omogućilo podaci se snimaju vrlo složenim redoslijedom, a ne jedan za drugim. Podaci se pri zapisu premeću u obrascu npr.:

1, 5,9,13,17,21,25,29, 2, 6,10,14,18,22,26,30, 3, 7,15,19,27 itd.

S ovim obrascem moguće je izgubiti 8 digitalnih riječi koje će predstavljati izolirane dijelove niza podataka, a ne veliki dio konsektivnog slijeda. CRCC može onda zamijeniti riječi koje nedostaju postupkom rekonstrukcije valnog oblika.

Zaštita od greške *interleaving*

Slika pokazuje način zaštite postupkom premetanja. Ako na određenom mjestu dođe do uzastopnog gubitka informacije, nastala **greška se neće koncentrirati** na usko područje nego dolazi do njenog **rasipanja** na široko područje. Ako nestanu četiri uzastopna bita informacije u slučaju preplitanja, nestat će 10, 14, 3 i 7 bit, pa će se nedostajući bitovi iz susjednih lako interpolirati. Bez preplitanja nestat će 7, 8, 9 i 10 bit, pa je teško izvršiti interpolaciju. Digitalni audio koristi i druge jače postupke.



23.9.2013.

Ozren Bilan

35

Prednosti digitalnih signala

Kad uvidimo svu složenost digitalnih sustava možemo se upitati opravdanosti takvog sustava koji je mnogo složeniji od istog analognog. Trik je u slijedećem,

digitalni sustavi su veoma složeni,

ali njihove sastavne

komponente ne trebaju biti precizne.

Najveći dio svih sklopova isključivo se odziva na prisustvo ili odsustvo signala. Poboljšanje karakteristika pitanje je frekvencije uzimanja uzoraka i rezolucije koju određuje broj bitova.

Digitalni sustavi su mnogo jeftiniji od analognih istih karakteristika.

Digitalni uređaji zahtijevaju mnogo **manje održavanja** nego analogni. uz to mnogi **analogni sustavi su dijelom mehanički** pa greške mehanike slabe rad sustava. **digitalni sklopovi imaju mnogo manje pokretnih dijelova** koji su tako projektirani da vibracije i odstupanja ne djeluju na njihov pravilan rad.

Digitalno kodirane informacije su otpornije na smetnje nego analogne. Npr. na gramofonskoj ploči moguće je čuti svaku grešku pri pretvaranju u električni signal, a CD može sve greške u valnom obliku rekonstruirati tako da nisu čujne.

Pored navedenog digitalni audio pruža i mogućnosti glazbenicima pri kreiranju i upravljanju zvukovima koje ne može pružiti ni jedan glazbeni instrument.

23.9.2013.

Ozren Bilan

36

Usporedba

Tabela prikazuje usporedbu analognog studijskog uređaja za snimanje zvuka s 16 bitnim digitalnim uređajem za snimanje zvuka. Podaci pokazuju prednosti digitalnog uređaja.

Analogni uređaj za snimanje zvuka zavisi o kalibraciji i upotrebnoj magnetskoj vrpici, kao i o temperaturi i vlažnosti zraka. To se ne odnosi na digitalni uređaj sve dok su nastale greške pri radu unutar granica ispravljanja pojedinog uređaja.

Parametar	analogni uređaj	16 bitni digitalni uređaj
Odnos signal/šum	65 dB linearni sustav	93 dB linearni sustav
Ukupna harm. izobličenja	0.2%	0.005%
Kolebanje tona	0.03%	nemjerljivo ovisi o točnosti oscilatora
Frekvencijski odziv	30-20,000 Hz (+/-3 dB)	0-20,000 Hz (+/-0.5 dB)
Gubitak omjera S/Š pri kopiranju	3 dB	0 dB
Vremensko slabljenje zapisa	da	ne postoji sve dok je u granici ispravke greške sustava

23.9.2013.

Ozren Bilan

37

Sustavi za snimanje i pohranu podataka i formati

Nabrojani su povijesnim redoslijedom najpopularniji formati, od kojih se mnogi više ne koriste. Analizom tendencija razvoja, lako je anticipirati buduće nemehaničke sustave s vrlo visokim omjerom sažimanja.

PCM uređaj + VCR

Ovakav tip uređaja su bili najstariji sustavi za digitalno snimanje zvuka. Profesionalni ili poluprofesionalni uređaji s 14 i 16 bitnom rezolucijom i frekvencijama uzimanja uzoraka od 44.056 Hz ili 44.100 Hz. PCM signal zapisuje se na video vrpcu u pseudo-video formatu s 525 ili 625 linija.

DASH (Digital Audio Stationary Head Recorder)

Stariji profesionalni 16 bitni sustavi do 48 kanala. Frekvencije uzimanja uzoraka 40.056, 44.100 i 48.000 Hz.

R-DAT (Rotating Head Digital Audio Tape Recorder)

Profesionalni i poluprofesionalni 2-kanalni sustavi s rezolucijom 16 bit i frekvencijama uzimanja uzoraka od 32.000, 44.056, 44.100 i 48.000 Hz.

S-DAT (Stationary Digital Audio Tape Recorder) Gustoća snimanja je 64 kbits/colu. Brzine trake su 47.6 mm/s, kao kod analognih kazeta, a vrijeme reprodukcije oko 90 minuta. Poluprofesionalni i kućni uređaji

MD (MINI DISC) kućni uređaji

DCC (Digital Compact Cassette) kućni uređaj

CD i CD-R (Compact Disc - Recordable) 2 kanala, 4 moguća, kvantizacija: 16-bit linearno, frekvencija uzorkovanja: 44.1 kHz, Digitalni protok kanala: 4.3218 Mb/s, Digitalni protok podataka: 2.0338 Mb/sec, Kod ispravke greške: Cross Interleave Reed-Solomon Code s 25% redundancije, sustav modulacije 8:14 (EFM). Najpopularniji format

HDCD 2 kanala i digitalnu obradu s frekvencijama uzimanja uzoraka od 192 kHz, 176.4-kHz, 96-kHz, 88.2-kHz, 48-kHz i 44.1-kHz te rezoluciju 24-bita, 20-bita i 16-bita.

DVD i DVD-R (Digital Versatile Disc) 3,5 Mbit/s za video, 1152 kbit/s (384 kbit/s x 3) za audio, 40 kbit/s podkod , ukupno 4,692 Mbit/s

DVD-Audio (Digital Versatile Disc Audio)

SACD (Super Audio Compact Disc) Direct Stream Digital (DSD) 1-bit predstavljanje valnog oblika 2.8224 MHz uzorkovanje. Super Bit Mapping Direct pretvorba omogućava čujnost DSD kvalitete zvuka na uobičajenim CD reproduktorima.

Tvrđi Disk i RAM (Random Access Memory)

temeljen na profesionalnom i poluprofesionalnom uređaju za snimanje s velikim brojem kanala i promjenjivom rezolucijom. Frekvencije uzimanja uzoraka su 2 kHz to 250 kHz. Računalna su mikroročunalna ili velika računala i ovakvi uređaji pružaju najveće mogućnosti korisnicima.

Optički WORM (Write Many Read Many) Disk s mogućnošću brisanja koristi se kao uređaj za snimanje zvuka. Format je popularan za audio primjenu jer disk ima vrlo veliki kapacitet, a robusniji je od mekih magnetskih medija.

BLUE-Ray – omogućava DXD (Digital eXtreme Definition) način rada

23.9.2013.

Ozren Bilan

38

DVD Audio

DVD-Audio temeljen je na primjeni PCM digitalnog audio signala. Omogućava veliki broj frekvencija uzimanja uzoraka od 44.1 kHz do 192 kHz.

Maksimalni broj kanala je 6, po potrebama 5.1 okružujući zvuka.

Na 6 kanala frekvencija uzimanja uzoraka je ograničena na 96 kHz i 24-bitnu rezoluciju.

Najviše frekvencije uzimanja uzoraka od 176.4kHz i 192kHz ograničene su na 2-kanalni stereo.

Više frekvencije uzimanja uzoraka unapređuju jasnoću i realizam zvuka. Dinamičko područje DVD-Audia je 144 dB prema 96 dB za CD

Može li još više?

23.9.2013.



39

DXD

Digital eXtreme Definition

Najkvalitetniji način pohrane zvučnog zapisa:

Rezolucija 24 bita

Uzorkovanje 352,8 kHz

Digitalni protokol:

2 kanala=9216 kb/s

5.1 kanala=27648 kb/s

23.9.2013.

<ol style="list-style-type: none"> 01 Marianne Thorsen / TrondheimSolistene 02 Dena Piano Duo 03 Cikada Duo 04 Ellen Sejersted Bødtker 05 Consortium Vocale 06 Kristiansand Symfoniorkester / Solistkoret 07 Kristiansand Symfoniorkester / Solistkoret 08 Ola Gjelle / T. Barber / J. Martens 09 Stig Nilsson / Anders Kjellberg Nilsson 10 Berit Opheim Versto 11 Johannes Martens Ensemble 12 Annar Følleså 13 Tone Wik / Barokkanerne 14 Tor Espen Aspaas 15 Engedgårdkvartetten 16 Kristiansand Blåseensemble / B. Sagstad 17 TrondheimSolistene 18 Kåre Nordstoga 19 Ensemble 96 / Ø. Fevang 	<p>Mozart: Violin Concerto in D major – Allegro</p> <p>Mozart: Sonata for 2 Pianos in D Major – Allegro</p> <p>Nordheim: Colorazione (excerpt)</p> <p>Åm: Vere Meinunga (excerpt)</p> <p>CruX Fidelis</p> <p>Islandsmoen: REQUIEM – Lacrymosa</p> <p>Islandsmoen: REQUIEM – Confutatis</p> <p>Gjelle: North Country II</p> <p>Pilgæ: Duets for 2 violins - Vivo</p> <p>Springer etter Gudmund Eide</p> <p>Carter: Sonata for Violoncello and Piano - Moderato</p> <p>Barokk: Sonata for Solo Violin – Fuga</p> <p>Vivaldi: Recitative and Aria from Cantata RV 679</p> <p>Schönberg: Sechs kleine Klavierstücke op. 19 (excerpt)</p> <p>Haydn: String Quartet op. 76, no. 5 - Finale/Presto</p> <p>Ives: Overture & March "1776"</p> <p>Briffen: Simple Symphony, op 4 - Boisterous Bourree</p> <p>Sandvold: Orgelimpromptu over DEILIG ER JORDEN</p> <p>Nystedt: Immortal BACH</p>	<p>9:12</p> <p>6:04</p> <p>2:09</p> <p>5:05</p> <p>5:03</p> <p>4:49</p> <p>2:11</p> <p>5:09</p> <p>1:46</p> <p>1:32</p> <p>4:54</p> <p>4:08</p> <p>4:03</p> <p>2:51</p> <p>3:24</p> <p>3:31</p> <p>2:59</p> <p>4:58</p> <p>4:04</p>
---	---	---

Exclusive **High Definition Music** – video only for menu guide

■ 5.1 DTS HD MA 24/192kHz
 ■ 5.1 LPCM 24/192kHz
 ■ 2.0 LPCM 24/192kHz

Two-disc-box

EAN13: 7041888020018

2L-RR1-SABD made in Norway 20©09 Lindberg Lyd AS

SAŽIMANJE I REDUCIRANJE PODATAKA

Od samog početka digitalne audio tehnike koriste se algoritmi sažimanja podataka. Danas su ovi postupci daleko složeniji i razvijeniji i omogućavaju više kanala, duža vremena snimanja i bolju rezoluciju na manjim diskovima, užim trakama i kanalima s ograničenom količinom prijenosa digitalnih podataka.

Proces redukcije količine podataka, potrebnih pri definiranju digitalnog audio signala, naziva se audio kompresija ili sažimanje, a točniji naziv je redukcija podataka. Sažimanje ili kompresija podrazumijeva **reverzibilni proces**, ali najveći broj strategija za redukciju podataka su postupci pri kojima se dio signala nepovratno gubi. Sustavi redukcije podataka bez gubitaka, a postoji nekoliko takvih, omogućavaju da se podaci koji nisu snimljeni, pri reprodukciji rekreiraju bez ikakvih gubitaka.

Redukcija podataka ne ograničava se isključivo na digitalni audio. Mnogi postupci analogne redukcije šuma jednako se primjenjuju na redukciju digitalnih podataka, ali uz mnogo složenije postupke koji se izvode digitalnim uređajima za obradu signala - procesorima.

Postupci sažimanja PCM signala

Četiri su pristupa za redukciju podataka linearnih *Pulse Code Modulation* (PCM) signala:

- sniženje frekvencije uzimanja uzoraka**
- snižavanje rezolucije kvantiziranja (niži broj bitova)**
- eliminiranje redundantnih podataka**
- eliminiranje nevažnih podataka**

Prve dvije metode mogu ponuditi vrlo malo sažimanje ako želimo zadržati visoku vrijednost kvalitete, pa najrazvijeniji sustavi u potpunosti ovise o trećoj i četvrtoj metodi.

Sniženje frekvencije uzorkovanja i rezolucije kvantizacije

Najjednostavnija metoda sažimanja je sužavanje frekventijskog prienosnog pojasa, nižom frekvencijom uzimanja uzoraka.

Stariji uređaji za efekte i svi sustavi digitalnog emitiranja primjenjuju ovaj pristup koji ima nenadoknadive gubitke.

Što je niža frekvencija uzimanja uzoraka, veće je sažimanje, ali kvaliteta signala je niža.

Trik je u gornjoj graničnoj frekvenciji signala. **NICAM i DAB** koriste širinu pojasa do 15 kHz, i uzimanje uzoraka s 32 kHz. Usporedimo li to s frekvencijom uzorkovanja od 48 kHz, ušteda je 40%.

Redundancija

Druga tehnika je **eliminiranje redundantnih podataka**. Pretpostavimo da smo dobili poruku bez samoglasnika koja glasi:

D_N_S P_D_ K_Š_.

Lako bi zaključili sadržaj poruke, budući da samoglasnici imaju vrlo malu količinu informacije jer im je osnovna namjena utitravanje glasnica između suglasnika.

D_N_S P_D_ K_Š_ = DaNaS PaDa KiŠa

Redundantni podaci ne nose korisne audio informacije.

To se može napraviti na način *bez gubitaka*, npr. eliminiranjem bitova višeg reda u trenucima kada su PCM signali male apsolutne vrijednosti.

Npr. ako vrijednost 0000000000000001 = 1 predstavimo manjim brojem bitova kvaliteta audio signala neće se promijeniti. Međutim, potrebno je nekako upisati informaciju da smo eliminirali 15 nula, kako bi se signal mogao pri D/A pretvorbi pravilno pretvoriti. Primjer ovog postupka je NICAM televizijski sustav.

Redundancija

K_D _Z R_Č_N_C_ _ZB_C_M_ SV_ S_M_GL_SN_K_

R_Č_N_C_ M_Ž_M_ PR_Č_T_T_ B_Z PR_BL_M_.

T_ N_M _BJ_ŠNJ_V_ P_J_M R_D_ND_NC_J_

J_R S_M_GL_SN_C_ N_M_J_ N_K_KV_

K_R_SN_ _NF_RM_C_J_.

Aoccdnrig to rsceearh at Cmabrigde Uinervtisy, it deosn't mtttaer in waht oredr the ltteers in a wrod are, the olny iprmoetnt tihng is taht the frist and lsat ltteer be at the rghit pclae. The rset can be a total mses and you can sitll raed it wouthit porbelm. Tihs is bcuseae the huamn mnid deos not raed ervey lteter by istlef, but the wrod as a wlohe.

Prediktivno kodiranje

Vrlo naprednija tehnika, temeljena na redundanciji je **prediktivno kodiranje**. U principu to je vrlo jednostavna ideja koja je vrlo brza i trpi vrlo malo kašnjenje te je vrlo popularna za primjene u realnom vremenu.

Sustavi temeljeni na prediktivnom kodiranju su G722, APT X100, kao i neke verzije DTS kino sustava i DVD.

U principu audio **signali imaju valne oblike koji se ponavljaju** i to je osnovni razlog zbog kojeg rade sustavi temeljeni na prediktivnom kodiranju. Postupak se sastoji u poznavanju tzv. prediktora koji zna tipično ponašanje audio signala. Analizom audio signala **prediktor nastoji anticipirati što će se sljedeće dogoditi**. Zbog repetitivne prirode audio signala predviđanje je općenito vrlo točno.

Decoder koristi isto znanje prediktora kako bi regenerirao signal. **Točnost ovih sustava je oko 98%**. Tehnika ne funkcionira pri predviđanju potpuno slučajnih signala ili impulsa.

Kako bi se točnost predviđanja poboljšala, mnogi sustavi koriste podjelu spektra signala u uže frekvencijske pojaseve, pri čemu istovremeno funkcionira veći broj prediktora u užim frekvencijskim pojasevima, pa je rezultat mnogo viša točnost rada koja može biti i blizu 100%. Tipična redukcija onda je oko 4:1.

Perceptualno modeliranje temporalno ili vremensko maskiranje

Ljudski auditorni sustav ne analizira audio spektar kao kontinuum. Kako smo doznali u uvodnim poglavljima, čovjek prima zvuk putem 25 različitih kritičnih područja promjenjive frekventijske širine pojasa. Na 100 Hz kritično područje široko je oko 160 Hz, a na 10 kHz širina mu je oko 2500 Hz. **Glasni zvuk u kritičnom području maskirat će tiši zvuk unutar istog kritičnog područja. Tu pojavu nazvali smo *frekventijsko maskiranje*.**

Iako ljudski sluh ima vrlo visoku rezoluciju jednostavnih tonskih signala, u prisustvu složenih tonova auditorni sustav ne može obraditi sve informacije, tako da u svakom trenutku obrađuje samo dominantne dijelove složenog signala. Npr. brujanje pojačala bas gitare je potpuno nečujno dok svira gitara, iako je vrlo primjetljivo dok je pojačalo uključeno bez ulaznog signala. Isto tako šum kazete potpuno je nečujan dok svira glazba, a može smetati u tihim intervalima između skladbi.

Drugi element perceptualnog modeliranja je temporalno ili vremensko maskiranje pri kojem glasni zvuk djeluje na percepciju tihog signala. Tihi signal koji se javlja 10-20 ms prije glasnog, može biti maskiran glasnim signalom. To se naziva **maskiranje unazad *backward masking***. Skripa pedale bas bubnja može se čuti ako ne dođe do udarca u bas bubanj.

Glasni udarac nakon nekoliko milisekundi sprječit će uho da stigne analizirati prethodni vrlo tihi zvuk. Sustavu sluha potrebno je i neko vrijeme da se oporavi od glasnog zvuka. Vrijeme oporavka stvara maskirajući efekt koji se proteže u vremenskom intervalu od 100-200 ms nakon što maskirajući signal utihne. Ta se pojava naziva **maskiranje unaprijed (*forward masking*)**. Trajanje efekta ovisi o razini signala.

Irelevantnost i perceptualno kodiranje

Krajnji i proturječni pristup sažimanju je tzv. **eliminiranje nerelevantnih podataka**. To su podaci za koje se misli da će biti nečujni u prisutnosti drugih elemenata složenog signala. Pristup je ovisan o frekvenciji i temporalnom maskiranju, a u potpunosti ovisi o točnosti perceptualnog modela ljudskog sluha.

Perceptualno kodiranje sastoji se od vrlo preciznog **audio filtriranja i analize**. Najčešće se koristi postava s 32 ili više uskopojasnih filtera. Taj postupak primjenjiv je jedino uz digitalnu tehnologiju. Nakon toga, **algoritam određuje koji će dijelovi signala biti nečujni te ih u potpunosti odbacuje**. Preostali čujni signal **rekvantizira se u niskoj rezoluciji**, dovoljnoj za potiskivanje kvantizacijskog šuma izvan čujnog područja svakog pojasa.

Temporalno maskiranje proračunava se dijeljenjem signala u blokove trajanja oko 10 ms i analizirajući svaki blok. Tada se primjenjuje *backward* i *forward masking* kako je objašnjeno u prethodnom poglavlju *Redundancija i prediktivno kodiranje*.

Složenost algoritama digitalnog filtriranja

Složenost algoritama digitalnog filtriranja ima za posljedicu kašnjenje signala od 20 do 200 ms što uzrokuje velike probleme pri emitiranju signala u realnom vremenu. Dekoder je jednostavniji od kodera jer ne zahtjeva model perceptualnog modeliranja. On samo dekodira ulazne podatke i rekvantizira ih u skladu sa standardnim PCM formatom.

MPEG1 i 2, **PASC** (na Philipsovoj Digital Compact Cassette), **ATRAC** (na Sony-jevom MiniDisc-u) i **Dolby AC3** su sustavi koji koriste perceptualno kodiranje. Svi mogu funkcionirati pri različitim frekvencijama uzimanja uzoraka.

Sustavi za sažimanje podataka nisu primjenjivi svakoj situaciji, ali pri digitalnom snimanju omogućavaju mnogo bolju kvalitetu, nego poluprofesionalni analogni uređaji za snimanje zvuka.

Višekanalno snimanje ima najveće prednosti jer svaki kanal sadržava jednostavne signale s velikom irelevantnosti i redundancijom. Svoje slabosti sustavi za sažimanje podataka pokazuju samo pri izuzetno složenim signalima.

Najveći problemi sa sustavima za sažimanje podataka su pri kodiranju stereo i okružujući zvuk materijala. Nedostaci se javljaju zbog toga što elementi signala koji će biti nečujni zbog maskiranja, ipak djeluju na stvaranje stereo slike ili okružujućeg zvuka.

U tom slučaju primjenjuju se pristupi M-S, a ne L-R jer je najveći dio signala smješten u sredini što doprinosi velikoj redundanciji. To se naziva **Joint Stereo Mode**.

Gubitak kvalitete

Sustavi za sažimanje podataka smanjuju količinu podataka pa **višestruko ponovljeni proces dovodi do gubitaka kvalitete**.

MPEG algoritmi otporniji su na gubitak kvalitete. Najgore kombinacije nastaju **pri kaskadnom spajanju različitih sustava**, gdje dolazi do najbržeg slabljenja.

Greška se najprije uočila pri slabljenju stereo slika, modulaciji šuma, produktima aliasa i povišenoj razini šuma.

Općenito bi trebalo izbjegavati snimanje složenih mikseva u formatu sa sažetim podacima ako se predviđa naknadna obrada i procesiranje ili kopiranje snimke.

Isto tako pravilo je da se **stereo snimci nikad ne snimaju u formatima sa sažetim podacima**, međutim, individualni mono kanali neće se primjetnije promijeniti sažimanjem.

Sažimanja perceptualnim kodiranjem

MPEG kratica za *Motion Picture Expert Group* međunarodni odbor utemeljen 1988. u cilju definiranja digitalnih audio i video sustava sažimanja

MPEG1 elaborirani sustav perceptualnog kodiranja s podjelom u tri sloja prema povećanju složenosti. *Layer I* najjednostavniji sustav pruža 4:1 redukciju količine podataka s 32-pojasnim filterom.

Layer II u biti isto kao i I, ali uz složeniju analizu spektra i točnije perceptualno modeliranje i veće sažimanje.

Layer III, poznat i kao **MP3**, je još savršeniji sustav s promjenjivom širinom pojaseva i simulacijom kritičnih područja uz nelinearnu kvantizaciju povećava efikasnost sažimanja.

MPEG2 je proširenje MPEG1 koje omogućava višekanalni okružujući zvuk mogućnosti rada, kao što je npr. 5.1, a podržava i druge. Izvorni MPEG2 je kompatibilan s MPEG1 sustavom, iako postoji i nekompatibilna verzija MPEG-2 NBC s ovlaštenim korištenjem za DVD i radio emitiranje.

PASC *Precision Adaptive Sub-band Coding* izveden je iz MPEG1 *Layer I audio data reduction system*. Upotrebljava se u *Phillips Digital Compact Cassette (DCC)* i radi s kompresijom 4:1.

ATRAC *Adaptive Transform Acoustic Coding* je Sonyjev sustav primijenjen na formate Minidisc i SDDS okružujući zvuk. Omogućava 5:1 odnos redukcije za Minidisc uporabom ekvivalenta spektralne analize u 52 pojasa i rekvantizaciju s dinamički promjenjivim blokovima uzoraka između 11.6 i 1.45 ms, u skladu s prirodom audio signala, kako bi se prilagodilo temporalno maskiranje. Od pojave ATRAC sustava pa do danas prošao je kroz mnogo revizija i posljednje verzije su izuzetno dobre.

AC3 je treći Dolbyjev redukcijски proces i široko je primijenjen u laser discs, DVD, digitalnoj televiziji i SR-D/DSD kinu. Od ostalih sustava razlikuje se po tome što je projektiran u cilju prihvaćanja višekanalnih audio formata brzinama protoka od 32 do 640 kbita/s po kanal, ovisno o primjeni.

Ozren Bilan

51

MPEG Audio sažimanja

MPEG je grupa *Međunarodne organizacije za standardizaciju* s formalnim imenom ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 11 pod nazivom *Kodiranje video i audio signala*. U Republici Hrvatskoj član ISO MPEG je **Državni zavod za normiranje i metrologiju** u Zagrebu, <http://www.dznm.hr/>.

Područje djelovanja obuhvaća razvoj međunarodnih standarda za sažimanje, dekompresiju, obradu i kodiran prikaz audio i video signala te njihovih kombinacija, u cilju zadovoljenja velikog broja različitih primjena. Do danas MPEG je donio slijedeće standarde:

MPEG-1: Pohrana video i audio signala na CD-ROM mediju 1992

MPEG-2: Digitalna televizija 1994

MPEG-4: Kodiranje prirodnih i sintetičkih medijskih objekata za multimedijalnu primjenu. v1: 1998, v2: 1999

MPEG-7: Opis multimedijskog sadržaja AV materijala 2001

MPEG-21: Digitalna audiovizualna infrastruktura koja objedinjava identifikaciju, autorska prava i zaštitu od neovlaštenog kopiranja 2001

MPEG-3 standard u cilju omogućavanja rada HDTV, postojao je kratko vrijeme, međutim tu zadaću omogućio je standard MPEG-2, pa je **rad na sustavu MPEG-3 prekinut**. Nakon standarda 1, 2 i 4, uveden je standard MPEG-7 i MPEG-21. Standardi MPEG-5, MPEG-6 ili MPEG-3, ne postoje.

Digitalni formati

WAV, WMA, AAC, MP3, OGG, FLAC

Digitalni zvuk postao je jedini način slušanja snimljene glazbe. Postoji više digitalnih formata digitalnih audio signala, ali ako se radi o obradi primjenom računala trenutno su najzastupljeniji oblici:

WAV wave format

AAC MPEG-2 (Advanced Audio Coding)

WMA Windows Media Audio

MP3 MPEG Audio Layer-3

OGG format Ogg Vorbis

FLAC format Free Lossless Audio

Da bi se, ETF moduliran, zapis na CD-u pripremio za obradu računalom, potrebno je prvo napraviti snimak u formatu koje računalo *razumije*. To je WAV format. Da bi se CD snimak pretvorio u WAV, potrebno ga je *provući kroz ripper*.

Ripperi su posebni programi koji pretvaraju, ETF modulirani, CD format u *.wav oblik. WAV arhiv se zatim može lako transformirati, dostupnim koderima, u MP3, WMA, AAC ili OGG oblik. Zanimljivo je doznati koji je od ovih oblika najbolji slušateljima?

Analize subjektivnim ispitivanjem i analize mjerenjem računalskim sustavom, pokazale su da pri protoku 96kb/s, što odgovara CD kakvoći,

nema razlike između navedena 4 formata, a sve objektivne razlike ako postoje, potpuno su subjektivno zanemarive.

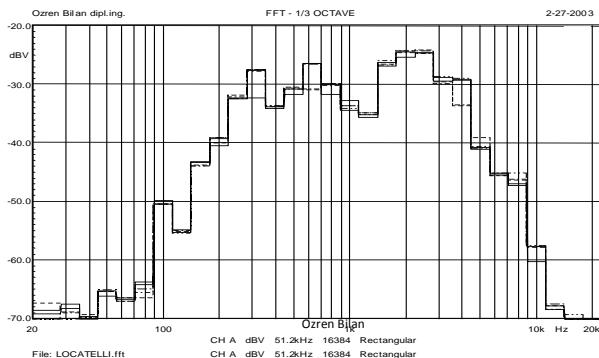
23.9.2013.

Ozren Bilan

53

Koji je najbolji? Svi koderi su isti

Da bi se, ETF moduliran, zapis na CD-u pripremio za obradu računalom, potrebno je prvo napraviti snimak u formatu koje računalo *razumije*. To je WAV format. Da bi se CD snimak pretvorio u WAV, potrebno ga je *provući kroz ripper*. Ripperi su posebni programi koji pretvaraju, ETF modulirani, CD format u *.wav oblik. WAV arhiv se zatim može lako transformirati, dostupnim koderima, u MP3, WMA, AAC ili OGG oblik. Zanimljivo je doznati koji je od ovih oblika najbolji slušateljima? Analize subjektivnim ispitivanjem i analize mjerenjem računarskim sustavom, pokazale su da pri protoku 96kb/s, **nema razlike između navedena 4 formata, a sve objektivne razlike ako postoje, potpuno su subjektivno zanemarive.**



54

Komentar

Prethodna analiza za protok od 96kb/s, koja subjektivno pokazuje kako nema razlike između navedena 4 formata, a sve objektivne razlike ako postoje, potpuno su subjektivno zanemarive, odnosi se na analizu, **prosječnim audio uređajima, računalom ili mp3 reproduktorima.**

Ako subjektivno analiziramo konvertirani **PCM i SACD DSD** signal **vrlo kvalitetnim audiofilskim sustavom ili slušalicama** pokazale su se i neke zanimljivosti.

Blech i Yang (2004) usporedili su **DVD-Audio (24 bit/176 kHz)** sa **SACD** 100 puta i pokazali kako ne postoji subjektivna preferencija. U daljnjim ispitivanjima 4 slušatelja od 110 pri 4 ispitivanja od ukupno 145 sustavno su primijetili razliku, pri subjektivnom ispitivanju slušalicama. (Dakle, 4% slušatelja u 3% slučajeva primjećuje razliku).

Meyer i Moran (2007) prekidali su stereo signal **visoke rezolucije uobičajenim CD standardom (16-bit/44.1 kHz)** u cilju određivanja čuju li slušatelji slabljenje pri AD pretvorbi. Nakon nekoliko mjeseci ispitivanja sa stotinama ispitanika, zaključak je bio da se to ne može primijetiti.

Međutim, primijećeno je kako svi SACD i DVD audio materijali **zvuče znatno bolje od prosječnih CD-a.**



Razlog je dodatna DSP obrada!

23.9.2013.

Ozren Bilan

55

Pretvorba formata

Files (F1) | Metadata (F2) | Profile: [Default] | [x] | [English (87)] | 00:00 / 00:00

#	Metadata (F2)	Type	Input File Size	Codec	Duration	Channels	Sample Rate	Bitrate
1	H:\Musik\Kussorsky (Pictures at an exhibition) Stravinsky (Three Dances) - (DORJAN) - (AUDIOPHILE)J1. Track01.mp3	mp3	2.02 Mb	mp3	00:01:27	2	44100	193 kbps
2	H:\Musik\Kussorsky (Pictures at an exhibition) Stravinsky (Three Dances) - (DORJAN) - (AUDIOPHILE)J2. Track02.mp3	mp3	3.40 Mb	mp3	00:02:28	2	44100	193 kbps
Total:			5.41 Mb		00:03:55			

Additional Output Settings

Normal File Name | File Name for CD | File Name for CUE | File Name for Merge

%filename%

Tags available:

- %folder% - Input file folder
- %filename% - Filename
- %filepath% - Output file type
- %track% - Track
- %track2% - Track with leading zero
- %disc% - Disc #
- %title% - Title
- %artist% - Artist
- %album% - Album
- %year% - Year
- %genre% - Genre
- %comment% - Comment
- %composer% - Composer
- %albumartist% - Album Artist
- %bitrate% - Bitrate

Change Case

Don't change To lowercase

To UPPER CASE Capitalize Each Word

Reset to Default

Filename Pattern: (Normal File Name) %filename%

Additional

Destination Format

MHA/AAC ALAC APE FLAC MP3 NeroAAC OGG RAW WAV WMA WavPack

MPC 23.9.2013#2 Speex OFR Merge/CUE Multiple Ozren Bilan Shorten Copy TAK ADF

56

OSNOVE KOMPAKT DISKA

Projektanti kompaktnog diska 1980. godine u velikoj su mjeri anticipirali budućnost. Iako tehnologija za to, 80-tih godina nije postojala, kompaktni disk je omogućio **veliku varijaciju u mogućnosti pohrane digitalnih podataka**. CD-ROM, CD-R, CD-i, CD-V, CD+G/M, Photo-CD su sve varijante popularnog kompaktnog diska. Osim digitalnih audio podataka, CD medij pogodan je za pohranu digitalnih podataka s računala, fotografija i filmova ili miješanih podataka za multimediju.

*Bez obzira što je na mediju pohranjeno, princip rada kompaktnog diska je **skoro identičan**.* Najrašireniji elektroakustički uređaji temeljeni na primjeni digitalne tehnike su: CD snimač/reproduktor, DVD digitalni svestrani disk- snimač/reproduktor, uređaji za magnetsko snimanje i reprodukciju zvuka - R-DAT i S-DAT te razni digitalni uređaji za obradu signala - procesori.

Pored njih, poznati su Mini-Disc i DCC - digitalna kompaktna kazeta, ali zbog zaštite od presnimavanja ti uređaji nisu rasprostranjeni.

Pojava CD označila je prekretnicu u načinu pohrane i zapisivanja audio signala. **Osnovna razlika svih prethodnih audio medija i kompaktnog diska bila je *nepostojanje kontakta između medija za pohranu i senzora signala*.**

Specifikacije sustava RED BOOK

Prikazat ćemo najvažnije osobine CD sustava:

Kompaktni disk reproduktor je uređaj za reprodukciju. Specifikacije sustava donijeli su *Sony, Philips i Polygram* u dokumentu koji se naziva *Red Book*.

Reproduktor se sastoji od dva podsistema: sustav obrade audio podataka i sustav servo/upravljanja.

Disk

Trajanje reprodukcije: 74 min. 33 s.

Rotacija: suprotno od okretanja sata, gledajući s površine zapisa.

Obodna brzina: 1.2–1.4 m/s. (konstantna linearna brzina)

Razmak kanala: 1.6 μm

Promjer: 120 mm

Debljina: 1.2 mm

Promjer centralne rupe: 15 mm

Površina signala: 46 mm – 117 mm

Površina za audio zapis: 50 mm – 116 mm

Materijal: Prihvatljiv je bilo koji materijal s indeksom refrakcije 1.55 (polikarbonat)

Minimalna dužina pit: 0.833 μm (1.2 m/s) do 0.972 μm (1.4 m/s)

Maksimalna dužina pit: 3.05 μm (1.2 m/s) do 3.56 μm (1.4 m/s)

Pit dubina: ~0.11 μm

Pit širina: ~0.5 μm

CD specifikacije

Optički sustav

Standardna valna dužina: 780 nm (7,800 Å)

Dubinska oštrina fokusa: $\pm 2 \mu\text{m}$

Format signala

Broj kanala: 2 (4 moguća)

Kvantizacija: 16-bit linearno

Frekvencija uzorkovanja: 44.1 kHz

Digitalni protok kanala: 4.3218 Mb/s

Digitalni protok podataka: 2.0338 Mb/s

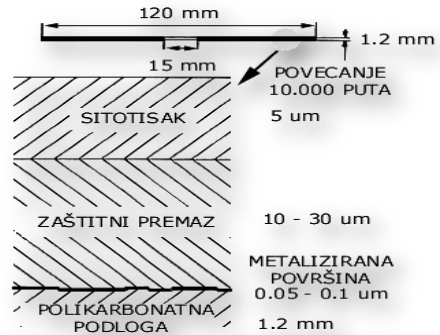
Odnos bita podataka prema kanalu: 8:17

Kod ispravka greške:

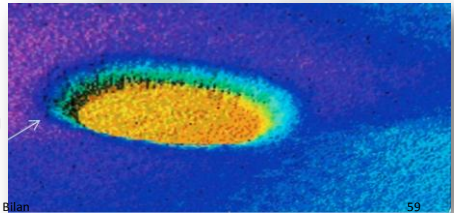
Cross Interleave Reed-Solomon Code

(25% redundancije)

Modulacija: Eight-to-fourteen (EFM)



1 BIT NA DISKU

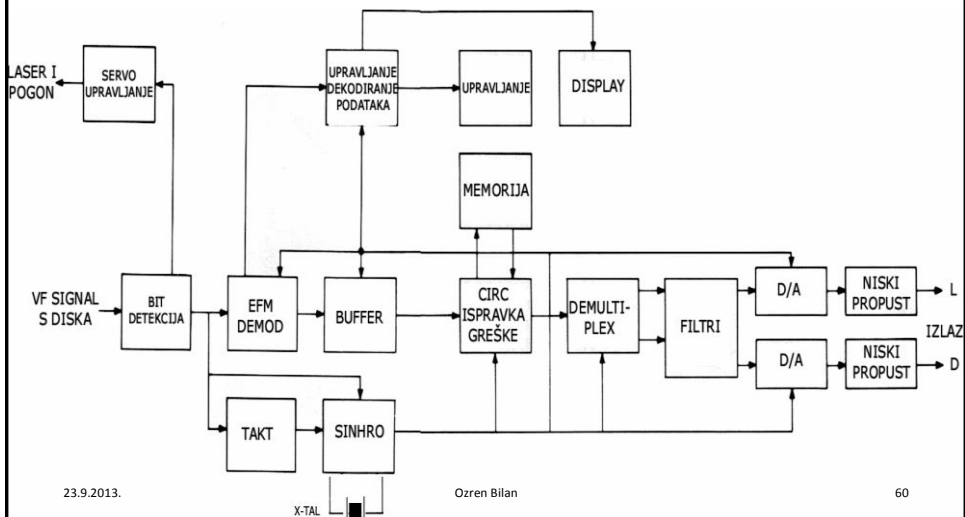


23.9.2013.

Ozren Bilan

59

Blok dijagram CD reproduktora s filtrima za naduzorkovanje



Laser

Laserski sustav predstavlja jedini fizički kontakt između reproduktora i podataka na mediju.

Uobičajeno je montiran na klizaču ispod diska.

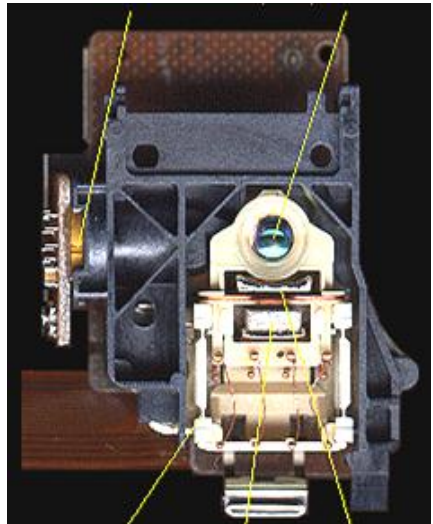
Sastoji se od:

izvora laserskog zračenja,
sustava leća,
foto senzora i
motora koji pokreće klizač.

Laser je poluvodičkog tipa i emitira svjetlo valne dužine 780 nm u infracrvenom dijelu spektra.

laserska dioda/fotodioda

leća objektivna



23.9.2013.

Ozren Bilan

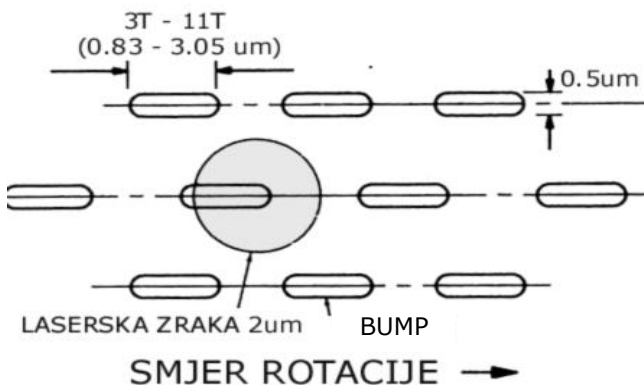
sljedna osovina

magnet

polni nastavak 61

Podaci na mediju

predstavljani su serijom dijelova različite visine.

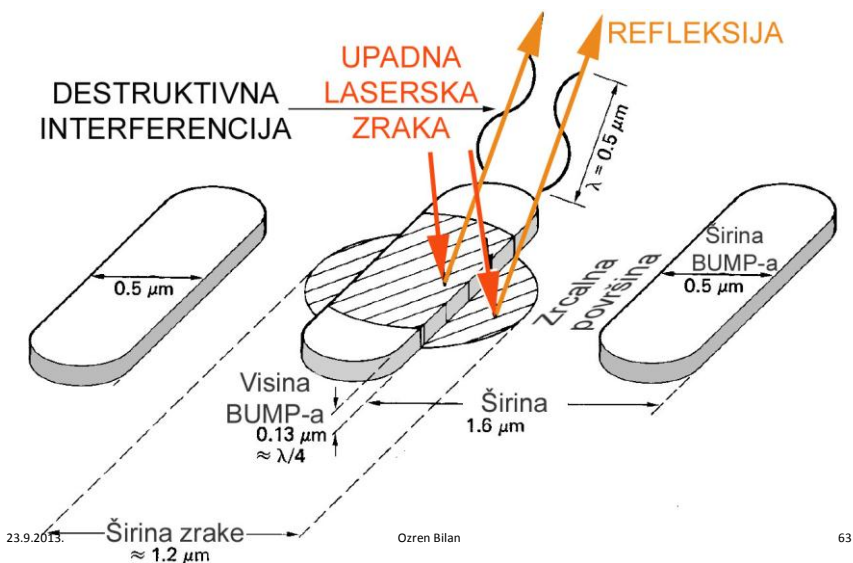


23.9.2013.

Ozren Bilan

62

Princip čitanja CD

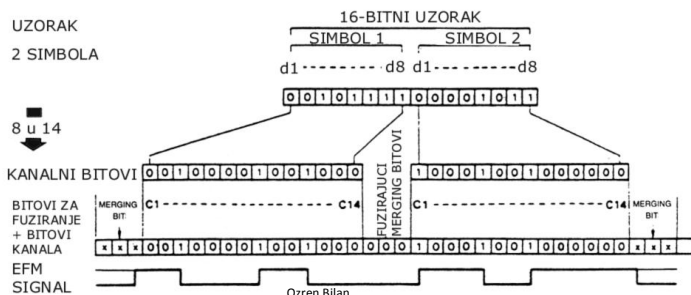


Demodulacija i ispravak greške

Pri snimanju se svaki podatak koji je potrebno zapisati na disk dvostruko kodira. Jedan postupak kodiranja je postupkom **EFM (Eight-to-Fourteen) Modulacije**. Ovim sustavom podaci se kodiraju pri snimanju i dekodiraju pri reprodukciji. Pri kodiranju se serija od 8 bitova koji sadrže podatke pretvara u niz od 14 bitova.

Svrha ove pretvorbe je dvostruka. Prvo se smanjuje broj bump-ova na disku jer se smanjuje broj prijelaza iz 0 u 1 u svakom uzorku, a istovremeno se primjenjuje primitivna korekcije greške.

Pri reprodukciji se 14 bitni nizovi pretvaraju u 8 bitne.



Filtriranje signala na izlazu

Nakon izvršene DA pretvorbe izlazni filteri potiskuju visokofrekvencijske komponente, izvan audiofrekvencijskog područja.

Prvi 16-bitni reproduktori koristili su 1982 godine tzv. *brick-wall* filtre s vrlo strmim nagibima, što je bio uzrok izobličenja signala.

Nakon toga, noviji CD reproduktori koriste *naduzorkujuće filtre* s blagom analognom rekonstrukcijom jer naduzorkujući filtri pomiču šum izvan audio područja

D/A pretvarač

Sony i Philips proizveli su prve reproduktore koji su imali **14-bitne** pretvarače. Ti uređaji su po tehničkim karakteristikama predstavljali veliko unaprjeđenje nad postojećim analognim uređajima po tada postojećim normama, ali su bili vrlo loši usporedimo li ih s današnjim uređajima.

1982. godine **16-bitni** pretvarači postali su standardni.

Od 1989. godine počinju se koristiti **18 i 20-bitni** pretvarači.

Zadaća D/A pretvarača je pretvaranje 16-bitnog digitalnog uzorka u analogni valni oblik. Međutim, rezultat ove pretvorbe je vrlo nepravilan oblik audio signala.

CD reproduktori imaju primijenjene 16-, 18-, 20-, low- i 1-bitne D/A pretvarače. 18- i 20-bitni pretvarači nisu pružali karakteristike sustava s 18 i 20 bita, nego su se suvišni bitovi odbacivali ili koristili za **drugi način poboljšanja** karakteristika, ne uvijek povezano s zvukom. Iako ovi pretvarači mogu poboljšati karakteristike CD reproduktora, ipak imaju veliki broj grešaka koje uzrokuju izobličenja te slabe signal i stereo sliku.

Tehnologije pretvorbe s low bit tehnologijama.

Umjesto paralelne pretvorbe malom brzinom, ovi *low bit pretvarači* koriste serijsku pretvorbu velikom brzinom, što smanjuje greške. *Low bit* i tzv. *1-bitnu pretvorbu* omogućili su **brzi digitalni procesori**.

Višebitni pretvarač

Višebitni ili multibitni pretvarač, sa stajališta digitalne elektronike, može se realizirati na nekoliko različitih načina. **Vrednovanje kvalitete i točnosti sustava preko broja bita D/A pretvarača nisu dobre metode.** Mnogo bolja metoda vrednovanja je **analiza točnosti.**

U idealnim uvjetima 16-bitni pretvarač trebao bi točno pretvoriti sve bitove u riječi s podacima zadanog uzorka linearnim načinom. Međutim, to se rijetko događa. U praksi je 16-bitni D/A pretvarač nedostatan za točnu pretvorbu signala.

Greška 16-bitnih pretvarača ili bilo kojeg višebitnog pretvarača ovisi o točnosti najznačajnijeg bita (MSB) riječi s podacima. Netočnost ovog bita rezultira greškom od pola amplitude signala - vrlo velika greška bilo kojom metodom vrednovanja. Imajući to na umu proizvođači su zaključili da bi **pretvaračima s vrlo velikom brzinom pretvorbe (visoki digitalni protok)** mogli izbjeći ove nedostatke. Pored toga, osiguravajući točnost MSB, s riječima većima od 16 bita, osigurala bi se i bolja kvantizacija dodavanjem 2x-16 kvantizacijskih razina više, nego što imaju 16-bitni pretvarači. U tom slučaju sve nelinearnosti su daleko manje, a poboljšan je i odnos signala i greške.

Jednobitni pretvarači

U cilju rješenja problema koje tvore višebitni pretvarači **Matsushita i Philips** ponudili su konkurentna rješenja. Umjesto da odjednom paralelnom pretvorbom čitave riječi s podacima pretvaraju u analogni oblik, obje metode koriste **pretvaranje manjih riječi u analogni oblik uz vrlo velike brzine.**

Omogućavanje serijske pretvorbe digitalnog u analogni oblik omogućili su snažni digitalni procesori koji rade vrlo velikim brzinama.

Matsushita-in metoda temeljena je na **impulsno širinskoj modulaciji** (pulse-width modulation PWM). Pri ovom pristupu širina impulsa predstavlja jedinstveni podatak, pa je pri pretvorbi maksimalne točnosti kritična širina impulsa i minimalni jitter. Komercijalni naziv ovog pretvarača je **MASH (Multi-stAge noise SHaping)**. MASH pretvarač napravljen je s 4-rostrukim naduzorkujućim filtrom iza kojeg slijede u paraleli tzv. *noise-shaper* *filtri* 1. i 2. reda. Izlaz *noise shaper*a vodi se u PWM pretvarač čiji se izlaz filtrira niskopropusnim filterom.

Usporedba HIGH BIT i LOW BIT pretvarača

Usporedba vrijednosti ukupnog harmonijskog izobličenja i grešaka linearnosti za razne 16-, 18-, 20- i 1-bitne pretvarače daje zanimljive rezultate. PWM i PDM pretvarači pokazuju manje od ± 1 dB linearnosti za ulazne signale od -100 do -80 dB, a nakon toga su apsolutno linearni bez ikakvih odstupanja.

Najskuplji kompakt disk reproduktori na tržištu s 18- i 20-bitnim pretvaračima uz nadzorkovanje od 4-, 8-, 16- ili čak 32-puta, imaju greške linearnosti od ± 4 dB, pri razinama signala od -75 dB.

Pri mjerenju ukupnih harmonijskih izobličenja s -60 dB 1 kHz sinusnim valnim oblicima, najskuplji multi-bitni pretvarači pokazuju harmonike do 13. s razinama iznad -110 dB.

Samo PDM pretvarač drži sve harmonike ispod -110 dB pa sa stajališta tehničkih rezultata mjerenja možemo utvrditi da je **PDM najbolji pretvarač**, uz uvjet kvalitetnog *Noise Shapinga*.

DVD DIGITALNI SVESTRANI DISK

Zahtjevi za DVD tehnologiju su

- ❑ filmski zapis od 135 min visoke kvalitete,
- ❑ okružujući zvuk 5.1 kanala
- ❑ dodatni tonski kanali za 3 - 5 jezika

DVD zadovoljava slijedeće tehničke karakteristike

- ❑ 3,5 Mbit/s za video,
- ❑ 1152 kbit/s (384 kbit/s x 3) za audio,
- ❑ 40 kbit/s podkod
- ❑ ukupno 4,692 Mbit/s
- ❑ 4,692 x 135 x 60 : 8 = 4750 MB

Sve dimenzije DVD su jednake s CD.

Gustoća zapisa prema CD od 1 bit/ μm^2 do 6 - 7 bit/ μm^2 .

DVD je specificiran u 4 verzije:

- ❑ jednostrani jednoslojni (*Single Sided Single Layer*) 4,7GB 133m
- ❑ jednostrani dvoslojni (*Single Sided Dual Layer*) 8,5GB 241m
- ❑ dvostrani jednoslojni (*Double Single Sided Single Layer*) 9,4GB 266m
- ❑ dvostrani dvoslojni (*Double Sided Dual Layer*) 17 GB 482m

To je postignuto:

- ❑ smanjenjem valne duljine laserske diode na 650 nm (635 nm) i povećanjem numeričke aperture (*NA*) objektiva na 0,6
- ❑ smanjenjem dužine bumpa na min. 0,40 μm i max. 1,87 μm , širine na 0,3 μm , razmaka između tragova 0,74 μm .
- ❑ poboljšanjem kanalnog koda, povećanjem preciznosti očitavanja,
- ❑ boljim dekodiranjem signala, poboljšanjem zaštite od pogrešaka

KOD I ZAŠTITA OD POGREŠKE

Kanalni kod je **EFMPlus**, 8/16 bitova. Zahtijeva za oko 6% veći memorijski prostor od EFM koda, ali ima znatno veću efikasnost u sinkronizaciji, potiskivanju istosmjerne i NF komponenata, te ne treba bitove za povezivanje (*merging bits*).

DVD podaci su smješteni u sektore (okvire), a svaki sadrži 2064 B. Od toga su 2048 B glavni podaci a 16 B su u zaglavlju (4 identifikacijska i 8 ostalih). Tok podataka video-diska je:

$$\begin{aligned} & [3,5 \text{ Mb/s (video)} + \\ & 3 \times 0,384 \text{ Mb/s (audio)} + \\ & 0,04 \text{ Mb/s (podnaslovi x 4 jezika)}] \times 133 \text{ min} \\ & = \mathbf{4,680 \text{ GB}} \end{aligned}$$

Za zaštitu od pogreške upotrijebljen je **dvostruki Reed Solomon Code**.

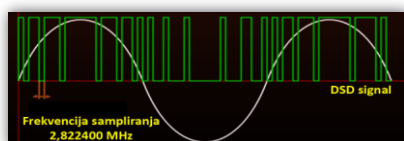
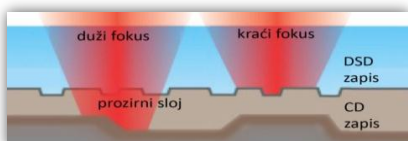
Super Audio CD, DSD

SACD je format visoke rezolucije sa optičkim diskovima koji se mogu **samo čitati**, a uveden je 1999. Cilj SACD medija bio je nadmašiti količinu pohrane podataka, kvalitetu zvuka, dinamički područje i mogućnosti realizacije stereo slike koju pruža CD. **SACD reproduktorima nije dopušteno da na izlaz prosljeđuju nekodirani signal u obliku Direct Stream Digital (DSD)** kako se medij ne bi mogao kopirati. Međutim, za to postoje bar 3 do 4 načina. U početku su reproduktori podržavali **samo analogni izlaz**, a kasnije su neki reproduktori dozvolili **kodirani prijenos DSD signala**. Postoje dva standarda za digitalno spajanje signala u kodiranom DSD obliku. Jedan je **i.Link**, a drugi je **HDMI 1.2 ili viši**. Starije **i.Link** sučelje više se ne ugrađuje osim u najskuplje A/V procesore i DVD reproduktore. (*IEEE 1394b = FireWire=Lynks=i.Link*)

Super Audio CD tehnologija kodira audio signal stereofonski ili prostorno primjenom PDM modulacije u formatu **Direct Stream Digital (DSD)**. Pored toga na optičkom disku proizvođač može upisati i PCM sloj kompatibilan s običnim CD reproduktorima. SACD disk identičnih je dimenzija kao kompaktni disk. Gustoća zapisa slična je DVD. Frekvencija samliranja je 2.8224 MHz uz jednobitnu rezoluciju, a realizirani su DSD sustavi sve do **24.576MHz (512xfs)**. Stereo SACD prosljeđuje podatke brzinom 5.6 Mbit/s, četverostruko brže od CD. Zbog toga ima šire frekvencijsko i dinamičko područje od CD. Svaki **SACD reproduktor mora imati DSD dekoder kojim se otpakiraju sažete DSD datoteke bez gubitaka, a pretvorba DSD <-> LPCM je bez gubitaka**.

Tri su tipa SACD:

- **Hibridni:** SACD se kodira s 4.7 GB DSD tzv. HD slojem i sa PCM slojem kojega mogu čitati svi CD reproduktori
- **Jednoslojni:** DVD-5 kodira se s jednim 4.7 GB DSD slojem kojega mogu čitati samo SACD reproduktori.
- **Dvoslojni:** DVD-9 kodira se sa dva DSD sloja, ukupno 8.5 GB kojega mogu čitati samo SACD reproduktori.



Blu-ray audio formati sa sažimanjem bez gubitaka

Audio formati **bez gubitaka** na *bluray* disku su:

- **LPCM signal** je generički format bez sažimanja
- **Dolby TrueHD** sažima bez gubitaka
- **DTS-HD Master Audio** sažima bez gubitaka



Naveli smo da PCM zauzima mnogo memorije pa mnogi studiji koriste **Dolby TrueHD** i **DTS-HD MA**, koji daju istu ili sličnu zvučnu kvalitetu, a imaju manje zahtjeve za pohranu.

Dolby TrueHD: koristi sažimanje bez gubitaka pa audio datoteke zauzimaju manje mjesta od LPCM datoteka na disku. Pri tome se ne gubi kvaliteta audio signal.

DTS-HD Master Audio: *DTS-HD* sastojte se od dva strujanja. Prvi je *DTS jezgra* ili *core* s *DTS* kanalima visoke rezolucije sažetih s gubicima. Drugi je *DTS-HD MA (Master Audio)* sažet bez gubitaka koji je kopija *studio mastera*. Poput *Dolby TrueHD*, *DTS-HD* zauzima manje mjesta na disku nego nesažeti PCM. U usporedbi s *Dolby TrueHD*, mnogo manji broj reproduktora dekodira *DTS-HD MA*. Razlog tome je što format *DTS-HD MA* zahtijeva mnogo **više snage procesora** od *Dolby TrueHD*, pa je uvijek riječ o uređajima u višem cjenovnom razredu.

23.9.2013.

Ozren Bilan

75

DVD-Audio

DVD-Audio je digitalni format visoke rezolucija na DVD-u koji **ne sadržava video** signal. Glavne karakteristike optičkog DVD-Audio diska su:

- Kodiranje **LPCM** bez sažimanja ili s **MLP Meridian Lossless Packing** .
- Kapacitet do 8.5 GB
- Poluvodički laser valne duljine 640 nm
- Standard *DVD Book*, *DVD-Audio Book*, *DVD Audio Recording Book*
- Primjena: pohrana zvučnih signala

Audio specifikacija

DVD-Audio nudi najveći broj konfiguracija audio kanala. Usporedimo li ga s CD, mnogo viši kapacitet DVD formata omogućava mnogo više glazbe, mnogo višu kvalitetu zvuka, što postiže višom frekvencijom semplanja i višom rezolucijom te dodatnim kanalima za prostornu reprodukciju.

Audio signali na DVD-Audio disku mogu se pohranjivati u velikom broju rezolucija, frekvencija semplanja i broju diskretnih kanala. Pored toga, na istom disku moguće su sve kombinacije. Audio datoteke su pohranjene na DVD-Audio disku u LPCM formatu bez sažimanja. Međutim da bi pohranili 5.1 sustav u rezoluciji 88.2/20, 88.2/24, 96/20 i 96/24 **nužno je koristiti MLP sažimanje** (slično *DST kod SACD*). Nabrojene datoteke prelaze brzinu protoka od 9.6 Mb/s što je maksimalna dozvoljena vrijednost. **Pretvorba LPCM <-> DSD je bez gubitaka.**

Usporedba specifikacija CD, SACD i DVD-A

	CD	SACD	DVD-A
Kodiranje	16-bit PCM	1-bit DSD	16-/20-/24-bit PCM
Semplanje	44.1 kHz	2.8224 MHz	44.1/48/88.2/96/176.4/192 kHz
Broj kanala	2	2-6	1-6
Sažimanje	Ne	DST	MLP
Trajanje zapisa min	74	109 70-80	62-843
Frekvencijski odziv Hz *	20-20 000	20-100 000	20-96 000
Dinamičko područje	96 dB	*filter 30 - 50 kHz 120 dB	144 dB
Zaštita od kopiranja	Ne	Da	Da

23.9.2013.

Ozren Bilan

76

PAKETI ZA AUTORIZACIJU DVD-Audio i DSD MEDIJA

amaterski programski paketi za Windows operacijski sustav.

Minnetonka Audio Software DiscWelder – autorizira i izrađuje DVD-Audio diskove. Kolekcija programa sastoji se od programa i koda: *Minnetonka DiscWelder Bronze, DiscWelder Chrome, SurCode CDpro DTS, SurCode DVDpro DTS, SurCode MLP Encoder*.

Audio DVD Creator – ovaj program autorizira DVD-Video disk, a ne DVD-Audio disk. 24 bitne datoteke pohranjuje u audio mapi DVD-Video diska. Takav DVD-Video disk može reproducirati zvuk u HD rezoluciji na bilo kojem DVD reproduktoru.

Lplex – To je noviji *open-source* program koji od audio datoteka u wav ili FLAC formatu kreira DVD-Video disk. Radi dobro, a pravi datoteku ISO slike DVD-Video diska. Nju se može realizirati programom za izradu diska ili montirati na virtualni pogon pomoću 32-bitnog *Alcohol 120* ili *WinMount* na 64-bitnim platformama.

DVD-Audio Solo - Program koji je vrlo jednostavan za primjenu i nema posebnih dodatnih alata osim izrade *iso slike*. Može napraviti DVD-Audio ili DVD-Video disk sa HD audio datotekama koje se reproduciraju na svim DVD reproduktorima. Podržava DVD-Audio/*bluray*/HD-Audio primjenu. Na DVD postavlja posebnu mapu *DATA* s detaljnim opisom postupka izrade. Sadržava MLP dekodera. Pokazuje postotak sažimanja FLAC datoteka...itd.

alati za kućni studio:

Korg Audio Gate - noviji program za izradu DSD diskova i pretvorbu formata koristi se s **1-bit DSD uređajem za snimanje**



alati za profesionalne korisnike:

Steinberg's WaveLab – Program izrađuje DVD-Audio diskove ali to je samo mali dio njegovih mogućnosti. To je profesionalni program za izradu i obradu zvučnih datoteka. Ovaj program namijenjen za profesionalnu primjenu posjeduje čitav niz DSP alata i mogućnost primjene sustava ispravke greške na renderiranim zapisima prije nego se DVD-Audio pohrani u obliku ISO slike ili DVD-Audio medija. Broj grešaka koji tipično nastaje na renderiranom zapisu vrlo je velik, a primjenom opcije *mikroskopa digitalnog signala* svaku grešku možemo jasno vidjeti. Ispravljanje svih grešaka primjenom raznih algoritama ugrađenih u program može dosta potrajati i s najbržim višezegreznim procesorom.

Program **SuperAuthor** - *Philips-ov* izvorni program za autorizaciju SACD i izradu *iso-slike*...

23.9.2013.



MP3, CD, DVD-Audio, SACD, DSD, DXD

CD ima gornju graničnu frekvenciju 20kHz, frekvenciju sempliranja 44,1kHz, a koristi 16 bitno kvantiziranje. **DVD-Audio** ima frekvenciju sempliranja od 48kHz do 192 kHz dok **DXD** sustav koristi 385 kHz. Oba sustava mogu koristiti 24 bitno kvantiziranje. Takav oblik ili format signala nazivamo **linearna impulsno kodna modulacija** ili kraće **LPCM**. Na optičkom disku signal može biti LPCM bez sažimanja ili sažet **MLP postupkom** bez gubitaka. Svaki **DVD-Audio reproduktor mora imati ugrađen MLP dekodera**.

Potpuno je različita situacija sa **SACD audio** signalima koji se pohranjuju u formatu **Direct Stream Digital (DSD)**, koji je potpuno različit od **LPCM** i pripada kategoriji **SDM sigma-delta pretvarača**. DSD je **1-bitni sustav** frekvencije sempliranja 2.8224 MHz. Kako 1 bitni digitalni sustav ima odnos signal šum od samo **7,78 dB** mora koristiti algoritme **oblikovanja šuma, noise shaping**, kako bi kvantizacijski šum premjestio izvan čujnog frekvencijskog područja. Konačni rezultat je frekvencijski odziv od 50 kHz i dinamičko područje od 120 dB. Taj rezultat je vrlo sličan karakteristikama LPCM audio signala rezolucije 20 bita i frekvencije sempliranja 96 kHz. Međutim, LPCM može se semplirati i sa 192 i 385 kHz uz rezoluciju od 24 bita. Dakle, na prvi pogled, **DSD izgleda slabiji od PCM signala 24bit/96 kHz** iako koristi veću frekvencijsku širinu pojasa nego LPCM (**2.8224 Mbit/s** prema 2.304 Mbit/s).

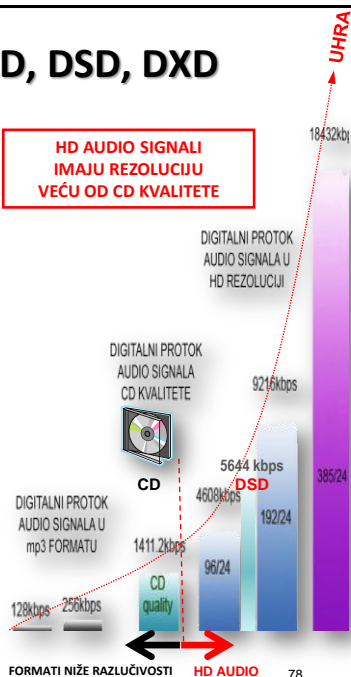
Zbog prirode **sigma-delta pretvarača** nije moguće **direktno numerički usporediti** formate DSD i LPCM. Svaki **SACD reproduktor mora imati DSD dekodera** kojim se otpakiraju sažete DSD datoteke bez gubitaka. Međutim, **pretvorba DSD <-> LPCM je bez gubitaka**.

Opća analiza LPCM i SDM DSD sustava, pokazuje veliku sličnost oba sustava koja konvergiraju prema sustavima **vrlo visoke UHRA razlučivosti**.

23.9.2013.

Ozren Bilan

**HD AUDIO SIGNALI
IMAJU REZOLUCIJU
VEĆU OD CD KVALITETE**



78