

AUDIOSUSTAVI

SAŽETAK PREDAVANJA

2.CIKLUS

8. Mediji za pohranu audiosignala i DAW sustavi

Podjela obzirom na tehnologiju (zapis i reprodukcija)			
Mehanički	Magnetski	Optički	Elektronski
Fonograf Gramofonska ploča	Metalna žica Magnetska traka Magnetski disk Magnetooptički disk (optička reprodukcija)	Celuloidni film CD, DVD, blueray	Statičke memorije (flash)

Podjela obzirom na sadržaj		
Analogni	Digitalni	Analogni i digitalni zapis
Gramofonska ploča Magnetska traka Optički zapis na film	CD DASH (Digital Audio Stationary Head) DAT: S-DAT R-DAT DCC: PASC Mini Disc: ATRAC	(ne-zvučni podaci koji se upotrebljavaju za reprodukciju glazbe) Bušene trake, valjci, ploče MIDI i slični digitalni formati

MEHANIČKI ZAPIS

Fonograf (1877 T.A. Edison)

Koristi se mehanički **zapis** kod kojeg se valni oblik zvuka urezuje u voštani valjak dimenzija 10cmX5cmX5mm. Zvuk je dolazio na lijevak koji je usmjeravao zvuk na membranu, koja je vibracije urezivala na rotirajući valjak pomoću igle. **Reprodukcija** ide u obrnutom smjeru. Brzina vrtnje je bila konstantna (160 okr/min), uz maks duljinu zapisa 2-4 minute.

Gramofonska ploča (1888)

Lakše skladištenje i umnožavanje od fonografa. Prve ploče su bile jednostrane s mono zapisom. Kasnije je A.D. Blumlein patentirao stereo zapis u jednoj brazdi. Brzine vrtnje su bile 33 o/min i 45 o/min. Dinamika ploča je iznosila oko 80 dB.

Osim ova dva načina mehaničkog zapisa, koristili su se i kodni zapisi, gdje su se tonovi urezivali u papirne trake/cilindre/ploče (Glazbena kutija, Autopiano)

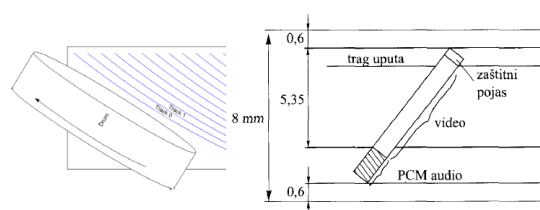
MAGNETSKI ZAPIS

Magnetska žica (1890. Poulsen)

Magnetska glava magnetizirala je uzdužno pokretnu čeličnu žicu. Za glazbu se koristio promjer 0,11 mm i 0,22 za govor.

Magnetska traka

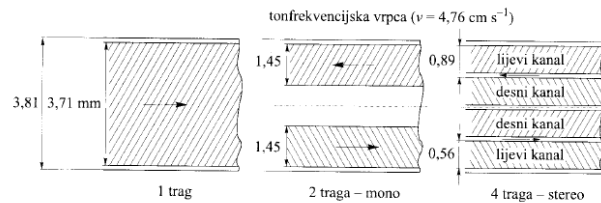
Zamijenila je mag. žicu 1950-ih. Traka se namatala s koluta na kolut, te nije bilo vremenskog ograničenja. Kvaliteta zapisa je ovisila o širini i brzini kretanja trake ispred magnetske glave.



Kosi trag - rotirajuća glava kao kod VHS-a

Kompaktna kazeta

Korištena za komercijalnu upotrebu. Na traci su bila 4 tonska zapisa (svaki smjer 2 stereo zapisa). Trajanje je bilo 60, 90 i 120 minuta za obje strane. Dinamika je bila vrlo mala, oko 50 dB. Kasnije je istisnuta pojavom CD-a. (Brzina 4,8 cm/s).



Minikazeta

Predstavio ju je Philips, za diktafone i prenosila je manji frekvencijski opseg. Trajanja 30-60 min za obje strane. (Brzina 2,4 cm/s)

Mikrokazeta

Predstavio Olympus, za diktafone i prenosila je mali frekv. opseg (govor). (Brzina 1,2 cm/s)

DASH

Digital Audio Stationary Head. Digitalni uzdužni zapis audio signala za profesionalne svrhe. Do 48 tragova po vrpci.

S-DAT

Stationary Digital Audio Tape. 20 digitalnih trakova. Brzina 2,4 Mbit/s uz 48 kHz, 16 bit. Karakterizira ga uski trag, mali napon i velika osjetljivost.

R-DAT

Rotary-Head Digital Audio Tape. Koristi se helikoidni zapis – velika relativna brzina između glave i vrpce. Brzina vrpce 8,15 mm/s, a relativna 3,134 m/s. 48 kHz, 16 bit, 1,536 Mbit/s.

Digital Compact Cassette (DCC)

Razvio Philips kao alternativu analognoj kazeti, koju je isto mogao reproducirati. Frekvencija uzorkovanja 48 kHz. Dinamika veća od 92 dB. Korištena redukcija podataka 1:4, te je vrlo sličan MPEG 1, Layer 1.

Meki i tvrdi diskovi

Diskete karakteriziraju ograničene brzine vrtnje i kapacitete, te dugo vrijeme pristupa. HDD puno pouzdaniji, brži, veći kapacitet te je glavni medij za pohranu digitalnih zapisa

Magnetooptički disk (MOD)

Koristi magnetski zapis signala, a čitanje se obavlja pomoću lasera. Koristi se termomagnetski efekt.

Mini Disc

Magnetooptički zapis na disku promjera 6,4 cm. Kapacitet 140 MB ili 74 minute. Redukcija podataka ATRAC u omjeru 1:5. Kraće vrijeme pristupa nego DCC, te nema kontakta medija i čitača (nema potrošnje materijala). Osjetljiviji na vibracije nego DCC – gubitak informacija.

OPTIČKI ZAPIS

Filmska traka

Analogni zapis zvuka, Dolby stereo – 4 kanala

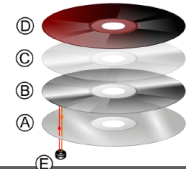
Digitalni formati: Dolby Digital, DTS, SDDS

Compact Disc

Najrašireniji standard za komercijalni zapis audio signala. Promjer diska 120 mm, 80 minuta stereo zapisa. Mini CD promjera 80 mm, do 24 minute. Razvili ga Sony i Philips. Valna duljina lasera 780 nm.

slojevi CD-a:

- A. polikarbonatni sloj diska s podacima
- B. reflektivni sloj koji reflektira laser natrag
- C. sloj laka protiv oksidacije
- D. sloj s natpisom na vrhu diska
- E. laserska zraka za čitanje (i pisanje kod CD-W)



DVD (Digital Video Disc)

Jednake dimenzije kao CD. Mogući višekanalni audio zapisi (5.1 kanala, surround). Valna duljina lasera 650 nm

DVD-A

Glavni je konkurent SACD-u. Kodiranje PCM i MLP (lossless kompresija u omjeru 1:2). Slabija zaštita od kopiranja nego SACD. Iz upotrebe ga potiskuje blueray.

SACD (Super Audio CD)

Razvili ga Philips i Sony kao nasljednika CD-a i jednakih dimenzija. Kodiranje preko DSD (Direct Stream Digital). Kapacitet do 7,95 GB. DSD se razlikuje od PCM modulacije. 1-bitna sigma-delta modulacija s frekvencijom naduzorkovanja 2,8 Mhz. Veći frekvencijski pojas, s dinamikom preko 120 dB. Tri tipa: hibrid (CD+SACD), Single layer, Dual layer. Polako se gasi kao i DVD-A.

Blu-ray disc

Glavni konkurent HD-DVD formatu i multimedijски format budućnosti. Valna duljina lasera 405nm. Kapacitet 25GB (SL) do 50GB (DL).

ELEKTRONSKI ZAPIS

Flash (statičke) memorije – Smart Media Card, CF, MMC, SD mini SD, micro SD, USB, SSD.

DAW (Digital Audio Workstation)

Pomoću računala se postiže kvaliteta snimaka slična onoj u velikim studijima. Integrirane zvučne kartice mogu imati dinamiku od 85dB, a kvalitetnije kartice s rezolucijom od 24 bita i preko 100 dB. Zahtjevi računala su: zvučna kartica, brzi procesor, tihi rad, velika propusnost podataka i veliki kapacitet pohrane.

- Godinama je glavni OS bio Macintosh, ali se pojavom Steinbergovih ASIO drivera sve više koriste Windowsi.

Latencija DAW sustava ovisi o 3 faktora (optimalno oko 2ms):

- DA/AD pretvarači unose kašnjenje od oko 1-1,5 ms
- OS unosi kašnjenje zbog vremena između pojave zahtjeva za prekidom i reakcije najnižeg sloja drivera (1-100 ms)
- Kašnjenje unutar OS zbog loše pisanog koda

Optimizacija OS-a:

- Što bolji komp, driveri, NTFS struktura podataka na HDD, isključiti sve nepotrebno blablaba.

DAW programska podrška

- FL Studio, Nuendo, Pro Tools, Cubase, Ableton, ACID, MOTU,...:
 - o Audio – snimanje, editiranje, miješanje audio kanala 24 bit, i 192 kHz
 - o MIDI sekvence – digitalni zapis nota, glasnoće i ostalih kontrola glazbenih instrumenata i efekata
 - o Petlje – realizacija ponavljajućih dijelova glazbe (bubnjevi, melodije)
 - o Veći audio spremnik (buffer), veća latencija

Profesionalne zvučne kartice

- Napajanje preko USB ili Firewire – nema 50 Hz šuma
- Računalo minimalno hardverski opterećeno (PCI, PCMCIA, USB)
- PCI se potiskuje iz upotrebe, dominacija USB – kartice i A/D i D/A pretvarači izvan kućišta
- Ulazi i izlazi u simetričnim i nesimetričnim izvedbama, kao i mikrofonski ulazi s napajanjima
- Rezolucija 24 bita, uz frekveniju uzorkovanja do 192 kHz
- ADAT i SPDIF digitalni ulazi i izlazi, softversko namještanje latencije,
- kontrola ulaznih i izlaznih razina
- MIDI ulazi i izlazi

Hard Disc Recording

- Koriste se nekomprimirani zapisi
- Broj bitova/s=bit depth x sample rate
- 24 bita, 96 kHz, 16 mono kanala = 264 MB/min
- Ključna je brzina prijenosa podataka HDD-a i brzina pristupa podacima

9. Višekanalni audiosustavi

PRINCIPI LOKALIZACIJE ZVUKA

1. *Interauralne vremenske razlike (Interaural Time Difference)*

Vrijedi za signale do 1500 Hz. IVR su dvoznačne iznad 2000 Hz. Na toj je frekvenciji $\lambda=17\text{cm}$, što je približno jednako interauralnom razmaku.

2. *Interauralne intenzitetne razlike (Interaural Intensity Difference)* – iznad 500 Hz

3. *Dinamička lokalizacija pomicanjem glave*

Vrijedi za signale dulje od 1 s. Na taj način se rješava problem konusa konfuzije \rightarrow konus s istim IVR-om.

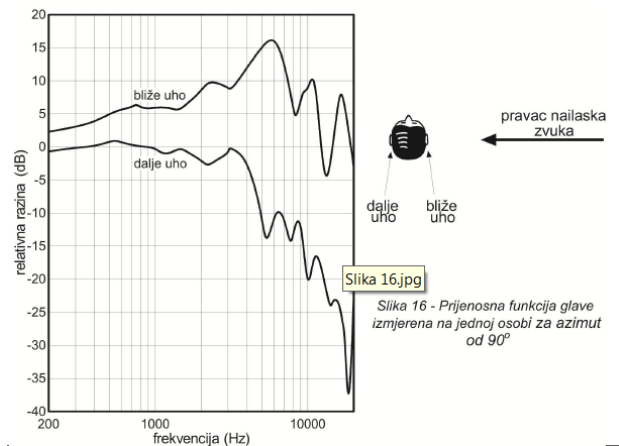
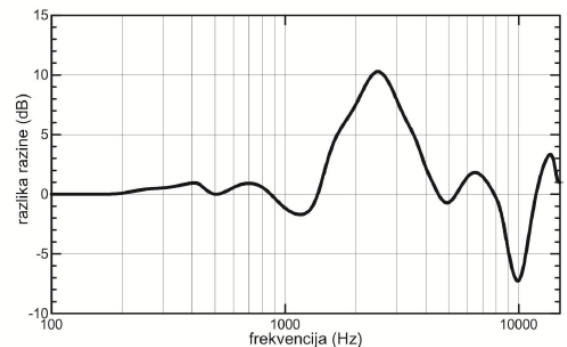
4. *Spektralne razlike u zvuku ovisno o smjeru dolaska*

Glava i uška djeluju kao filter koji mijenja spektar zvučnog vala ovisno o kutu upada na uši. Sluh vrlo dobro lokalizira izvore u vertikalnoj ravnini, no nešto slabije izvore u medijalnoj ravnini jer su IVR i IIR jednaki nuli. Mjerenje se obavlja tako da se u slušni kanal postavi mikrofoni kako ne bi remenio zvučno polje, te se mjeri tlak na mjestu bubnjića ovisno i upadnom kutu vala. Omjer tako izmjerenog zv. tlaka i zv. tlaka mjerenog u slobodnom zvučnom polju na mjestu središta glave bez prisutnosti ispitanika, naziva se **prijenosna funkcija glave** za određeni smjer (HRTF- **H**ead **R**elated **T**ransfer **F**unction). Mjerenje se može još obaviti i pomoću umjetne glave.

Uška svake osobe je različita, zbog toga se usrednjava veći broj HRTF funkcija, kako bi se dobila jedna univerzalna.

Lokalizacija je bolja što je širi spektar signala, posebno za frekvencije iznad 6kHz gdje su promjene u HRTF najveće. U slučaju promjene frekvencije uskopojasnog šuma u medijalnoj ravnini, dolazi do prividnog pomicanja položaja izvora.

prijenosna funkcija za kut 0° , 0°

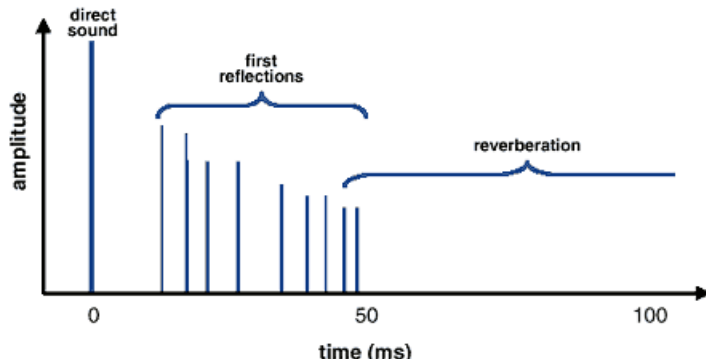


5. *Analiza zvučne slike*

U slučaju većeg broja izvora (koji ne moraju biti prostorno razmaknuti), sluh može grupirati komponente koje pripadaju određenom izvoru. Na temelju osnovnih frekvencija, tranzijenata, promjena frekvencija i intenziteta sluh razlikuje pojedine izvore. Sluh je relativno ne osjetljiv na promjene položaja izvora. Trom je na promjene IIR-a i IVR-a iznad 3 Hz.

PROSTORNO SLUŠANJE

Prostor i refleksija zvuka (ovo je sigurno plus ako se nacрта na ispitu)



Efekt prvog valnog čela (Haas efekt)

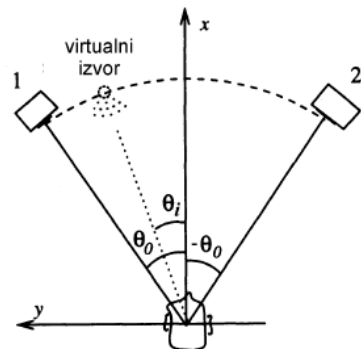
U slučaju da imamo dva koherentna izvora, te signal iz jednog kasni za drugim neko konačno vrijeme (oko 20 ms), tada se osjet položaja zvuka pomiče prema onome koji prethodi u vremenu. Izvor kojeg percipiramo na virtualnom mjestu zovemo virtualni zvučni izvor. Kod kašnjenja većeg od 50ms dolazi do manifestacije jeke. Za kašnjenja od par sekundi, signali se percipiraju kao nezavisni izvori.

Amplitudno namještanje

Virtualna zvučna slika se može pomicati različitim razinama zvuka kojeg emitiraju 2 koherentna izvora (amplitude panning).

ring)

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_0} = \frac{g_1 - g_2}{g_1 + g_2}$$



RAZVOJ SUSTAVA ZA REPRODUKCIJU ZVUKA

Prva demonstracija prijenosa binauralnog zvučnog signala bila je u Grand Operi u Parizu s 4 para mikrofona smještena pred pozornicom, koji su bili spojeni na 4 binauralna telefona. **Kasnije** Bell Laboratories predstavljaju prvi 3-kanalni sustav – 3 mikrofona primaju zvuk, a u drugoj prostoriji su 3 zvučnika. **Kasnije** Disney razvija Fantasound sustav s tri zvučnika naprijed i dva straga. Osnovni kanal se emitirao sa centralnog zvučnika, a drugi kanal je kružio po drugim zvučnicima.

Alan Blumlein patentirao je stereo zapis na gramofonsku ploču – 45/45 modulacijska tehnika, kod kojeg se koristila M/S tehnika. Vertikalno kretanje igle (odnosno dijagonalno po 45 stupnjeva) predstavljalo je bočni (Side) dio signala, dok je lijevo/desni pomak igle predstavljao središnji (Mid) signal (ovo se može slobodno opisati i kod mehaničkih zapisa). Slijedeći korak je bila ideja zapisa 4-kanalnog zapisa u stereo zapis (4-2-4 matrica). Još su značajne SQ (stereo-quad) matrica, QMX matrica te Ambisonic sustav.

VIŠEKANALNI SUSTAVI ZA REPRODUKCIJU ZVUKA

Binauralni sustavi

Binauralni signal se snimi pomoću umjetne glave, kako bi se u obzir uzela HRTF funkcija. Reprodukcijska ideja ide preko slušalica ili se koristi stereo postavka zvučnika. U tom slučaju je potrebno poništiti križno preslušavanje među zvučnicima kako bi se postigao pravilni dojam. Za razliku od slušalica, kod zvučnika zvuk iz desnog zvučnika ide i u lijevo uho, te taj dio treba poništiti. Nedostatak sustava je da je namijenjen za jednu osobu, zbog korištenja slušalica zvuk ju u središtu glave a ne izvan, problem korištenja univerzalnih HRTF funkcija, te neispravna reprodukcija niskih frekvencija (vibracije koje utječu na tijelo). Također moguće praćenje pokreta glave za točnu lokalizaciju.

Stereo sustav

Zvučnici su postavljeni pod kutem od 60 stupnjeva s obzirom na slušatelja, te čine pravilni trokut. Velik utjecaj prostorijske na zvuk.

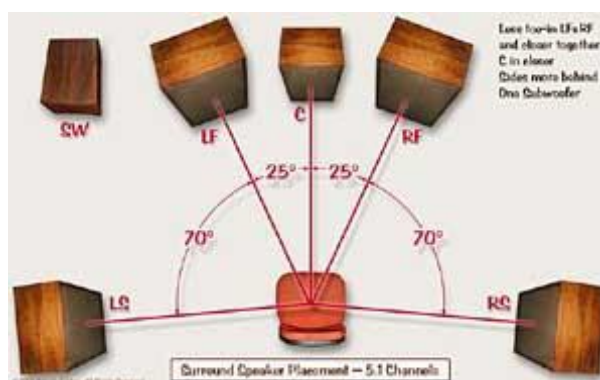
Kvadrofonija

Kvadrofonija je brzo propala zbog loše kvalitete lokalizacije koja je rezultat velikog razmaka između zvučnika. Dodatni nedostatak je nepraktičnost

Dolby Surround i Dolby Digital

Dolby Laboratories modificira 4-2-4 matricu, u kojoj se uvodi jedan centralni zvučnik koji stabilizira scene dijaloga u filmovima kako bi ispravio greške koje je imala kvadrofonija.

Dolby surround sustav je prvi višekanalni sustav namijenjen za više ljudi. Koristio je 4 kanala (lijevi, centar, desni, surround) + niskofrekvencijski zvučnik. Korišten je matični sustav koji se dekodira iz analognog stereo signala (4-2-4 matrica npr)



Dolby Digital koristio je 5 širokopojasnih kanala + 1 niskofrekvencijski. Dodavanjem jednog stražnjeg surround kanala nastao je *Dolby digital EX*. Jedna od ideja za surround u dvije dimenzije je *THX 10.2*, koji se bazira na dva 5.1 sustava. Minus mu je visoka cijena instalacije.

Ambiophonics

Sustav namijenjen za snimanje i reprodukciju glazbe koja dolazi srijeda ili cijele horizontalne ravnine. Ideja je da se snima binauralni signal ali bez utjecaja uški. Potreba 2 (4) kanala pri čemu su zvučnici razmaknuti 10-20 stupnjeva s pregradom između njih, ili uz korištenje računalnog poništavanja križnog preslušavanja.

Ambisonics

Pripada skupini koherentnih i homogenih sustava, čija je karakteristika da zvučna slika ostaje stabilna i kod mijenjanja pozicije (kao i **Wave Field Synthesis (WFS)** - sinteza zvučnog polja kod kojeg velik broj zvučnika rekonstruira zvučno polje). Ambisonics je razvio Michael Gerzon. Snima se zvučno polje pomoću mikrofona zvučnog polja koji nam daje 4 kanala (X, Y, Z, W) takozvanog B-Formata. B-Format se sastoji od 3 osmičaste karakteristike, i jedne omnidirekcijske komponente. Za reprodukciju se koristi proizvoljan broj zvučnika. Pozicija im je proizvoljna ali ju treba unijeti u dekodir.

10. Sinteza i analiza audio signala

SINTEZA VIRTUALNIH GLAZBENIH INSTRUMENATA

Razvoj

MUSIC I-IV

Prvi računalni program za generiranje audio signala pomoću direktne sinteze. Razvio ga je Bell Labs. Preko skupa naredbi generirani su audio podaci koji su se spremali na medij, te se nakon toga provukli kroz D/A konverter da bi se slušali (nije Real-time). Nakon prodaje Princeton sveučilištu dodaje se rezonantni filter i kontrola vremenske anvelope.

Velik broj nasljednika: MUSIC IV-BF, MUSIC V, Csound...

SID chipovi

Pojavljaju se razvojem tranzistora, 80-ih godina, unutar Commodore 64. SID čip je nudio troglasne polifonije. Svaki glas se sastojao od generatora signala temeljenog na 8-bitnim valnim tablicama (wavetable). Jedan glas mogao je generirati: trokutasti, pilasti, pravokutni sa širinskom modulacijom, te signal šuma. Mogućnost subtraktivne sinteze koristeći filter -12dB/okt. Moguće povezivanje preko audio ulaza.

AdLib Music Syntesizer Card

Spajala se na ISA slot i koristila Yamahin (OPL) čip. Polifonija od 9 glasova. Koristila je sinusoidalni valni oblik i 2 FM operatora. OPL je kasnije dodan i na Soundblaster karticu

MIDI programska podrška

Razvila se pod utjecajem OPL-a i MS Windowsa, koji su omogućili razvoj čitavih skladbi.

Roland MT-32

Alternativa OPL čipovima. Nije zvučna kartica već eksterni uređaj povezan s računalom preko ISA kartice MPU-401

MPU-401

Prvo MIDI sučelje za računalu. Danas je u ponudi kao čip, a ne kartica.

Linearno-aritmetička (LA) sinteza

Koristio ju je MT-32 sintetizator. Nastala je unutar tvrtke Roland, te je bila preteća wavetable sintezi. Funkcionirala je tako da se snimio početni dio zvuka u memoriju, a ostatak je nastavljao digitalni oscilator. Tako je bila kompromis između realnosti i malih resursa memorije.

Sound Blaster

Povećanjem memorije omogućilo se pohranjivanje audio signala na HDD i radnu memoriju. Ugrađuju se A/D i D/A konverteri koji su omogućili snimanje. Sadržavao je DSP za digitalni audio. Mogla je reproducirati 8-bitni mono zapis na frekvenciji 23kHz, te snimati do 12kHz.

16-bitovne zvučne kartice

SoundBlaster 16 s OPL3 čipom za Yamahinu FM sintezu. Imala priključak za dodatne kartice.

Virtualni instrumenti

Off-line virtualna sinteza

Za sintezu se počinju koristiti procesori računala. U početku nisu mogli raditi u realnom vremenu (offline), nego je korisnik unosio parametre, koji su mijenjali varijable koje definiraju zvuk. Dobiveni zvuk se mogao snimiti u .WAV kao jedna nota, koja bi se učitala u sekvencer te se snjom manipuliralo.

Virtualni instrumenti u realnom vremenu

Povećanjem brzine procesora moguće je generiranje audio signala u realnom vremenu. Program izlazne podatke šalje izravno na karticu, bez spremanja u memoriju. Jedni od prvih sintetizatora u realnom vremenu su „Virtual Analog Synthesizer“, te od Steinberga VST unutar Cubase sekvencera.

Programska podrška bazirana na aplikacijama-domaćinima („host-based systems“)

Aplikacije domaćini omogućuju kreiranje glazba na računalima, koja danas sva imaju visokokvalitetne audio izlaze. Aplikacija domaćin je zapravo audio sekvencer koji omogućava instalaciju dodataka (plugin) razvijenih od drugih kompanija, te tako povećavajući mogućnosti domaćina. Ti pluginovi su instrumenti, efekti itd. (Tu spadaju Cubase, Nuendo... koji su spominjani u 8.cjelini, podnaslov DAW)

Virtualna studijska tehnologija

Komponenta za integraciju efekata i instrumenata u domaćinsku aplikaciju (host). Općenito VST prima podatke, obrađuje ih (audio ili MIDI), te aplikaciji domaćinu vraća rezultat. Softverska rješenja nude veći broj valnih oblika, operatora, efekata, zadanih postavki od realnih izvedbi instrumenata i efekata.

Temeljni principi sinteze

Koncept generatorskih jedinica

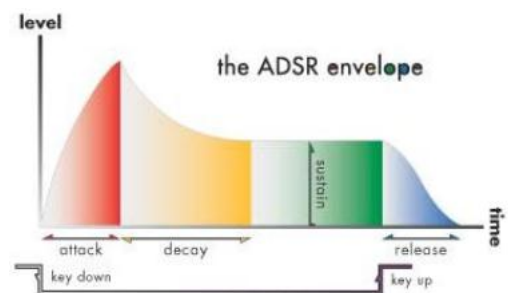
Ili Unit Generator(UG), su različiti DSP moduli koji se povezuju čineći elektronički instrument. Čine ih generatori signala, generatori anvelope, filtri, LFO... Serijskim spajanjem UG-a moguć velik broj algoritama.

Digitalni oscilator

Osnovna jedinica sintetiziranja. Obično pretvaranje digitalnog signala preko D/A konvertera nije efikasan za digitalnu sintezu. Zbog toga se koriste već spremjeni uzorci u valnim tablicama koje čine jednu periodu zvuka, te se pomoću željene frekvencije oscilatora i broja uzoraka u tablici određuje koji uzorci idu na izlaz.

Generator anvelope

Odsvirani ton instrumenta nije konstantan već ima vrijeme porasta i pada. Razlikujemo četiri stadija anvelope (ADSR): Attack(porast signala), decay(kratki pad), sustain (konstantna amplituda), release (pad signala).



Aditivna sinteza

Zbrajaju se elementarni valni oblici. Broj oscilatora nije ograničen, te im je moguće mijenjati frekvenciju, amplitudu i početnu fazu sinusnog signala.

Subtraktivna sinteza

Signalu sa širokim spektrom, oduzima se harmonički sadržaj pomoću filtra. Primjer je ljudski glas: glasnice oscilator, usna šupljina filtar. Uz primjenu modulatora ovojnice znatno bolja i fleksibilnija od čiste aditivne sinteze.

FM sinteza

Boja sintetiziranog zvuka se mijenja frekvencijskom modulacijom s modulacijskim signalom frekvencije unutar čujnog područja. Jednostavna je za softversku implementaciju i digitalnu izvedbu. Za kreiranje harmoničkih zvukova, nosioc i modulacijski moraju biti u harmoničkom odnosu, inače se mogu dobiti različiti perkusivni zvukovi. Najčešće dolazi u kombinaciji s ostalim tehnikama. Korištena i u Yamaha DX7.

Granularna sinteza

Operaciju vrši na razini mikrozvuka, manje od note ali dulje od trajanja jednog uzorka.

Sinteza prema fizikalnom modelu (PhM)

Valni oblik se generira koristeći matematički model, odnosno skupa jednadžbi i algoritama koji simuliraju realni izvor. Tipično sadrži konstantne parametre koji opisuju materijal i dimenzije instrumenta, te promjenjive parametre ovisne o načinu sviranja. Jedan od primjera takve sinteze je VST dodatak Arturia Brass.

ANALIZA AUDIO SIGNALA I AUDIO FORENZIKA

Audio forenzika

Popravljanje analognih audio zapisa(vrpce) koji sadrže šum, izobličenja itd.

Verifikacija i autentifikacija audio zapisa(vrpce).

Analiza glasovnog potpisa - identifikacija i eliminacija glasova sa zapisa.

Akustičko poklapanje-analiza buke te potencijalni gubitak sluha. Čujnost alarma i sl.

Analiza čujnosti – za govor, alarme, sirene...

Posebne analize – analiza buke iz okoliša, određivanje lokacije izvora zvuka, akustičke simulacije...

Patenti/intelektualno vlasništvo – vještačenje u svrhu autorskih prava

Akustička analiza pucnjeva – identifikacija vrste oružja, položaja strijelca...

Računalna forenzika – povrat izbrisanih zapisa, očuvanje i pregled digitalnih podataka

Identifikacija glasa

Čest zadatak je prepoznati da li glas iz snimke pripada govorniku na referentnoj snimci. Spektrogrami su ključni u takvoj analizi. Prehlada i slično ne kvare bitno identifikaciju govornika (spektar), dok namjerno oponašanje kvare.

Automatska identifikacija govornika

Potrebno je naći prosječne značajke govora, te odrediti standardnu devijaciju. Smanjenjem frekv.uzork. prepoznavanje nije bitno lošije.

Analiza električne mreže

U većini snimaka se može pronaći preostali zapis električnog napajanja, zbog preslušavanja izmjeničnog signala.

11. Sučelja za povezivanje audiosustava i audio zapisi

ANALOGNA SUČELJA

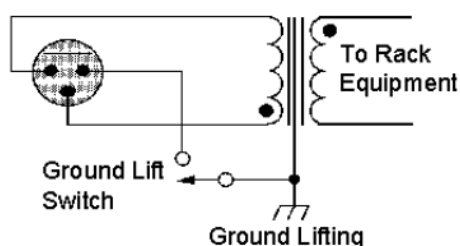
Linijski ulazi

Linija je krug/petlja električnog sustava. Dijelev se na balansirane i nebalansirane

Pasivni – izvode se pomoću transformatora pa ne unose šum što je pogodno za niske linijske razine

Aktivni – najčešća izvedba kao diferencijalni tranzistorski par

Balansirane linije - Balansirani simetrični ulazi predviđeni su za dvožilne oklopljene vodove. Dobro potiskuju istofazne smetnje. Moguće velike duljine, te se uz transformatorske veze može dodatno produljiti. Audio transformatori mijenjaju naponske razine, prilagođavaju naponske razine ili impedancije, blokiraju istosmjerne smetnje, blokiraju RF interferencije, te podizanje uzemljenja čime se izolira uređaj (ground lift).



Nebalansirani, asimetrični ulaz - Koristi se za kućne, neprofesionalne uređaje. Sastoji se od jednožilnog voda s oklopom. Slabo potiskuje istofazne smetnje, te se stoga koristi na kratkim udaljenostima.

Priključnice

XLR, Cannon – za balansirane linije i profesionalnu upotrebu

1/4" TRS – stereo i mono izvedba. *Tip Ring Sleeve*

1/8" TRS – manja izvedba za mobitele, slušalice i sl.

Cinch, RCA – koristi se za spajanje kućnih audio komponenti. Provodi linijske razine signala. Nebalansiran.

Banana – nebalansirane linije za spajanje zvučnika

BNC – s adapterom moguć prijenos i koaksijalnim kabelom

Speakon – Za velike struje kod spajanja zvučnika i pojačala. 2 ili 4 kontakta

Multicore konektor – više kabela unutar jednog plašta



Pin	Funkcija
1	Uzemljenje kućišta (oklop kabela)
2	pozitivni vod ("vrući kraj")
3	povratni vod ("hladni kraj")



Spajanje audio uređaja

Najbolje je spajati pomoću balansiranih linija. Ako je na jednoj strani balansirani a na drugoj nebalansirani, koriste se odvojni transformatori kako bi se smanjio šum povratnih petlji (ground loops). Alternativa je odvajanje oklopa od uzemljenja na prijemnoj strani kako bi se spriječilo stvaranje povratne petlje (učinkovito na NF), ali opasno.

Efekt voda nebalansirane linije

Povratna staza linije je oklopni plašt koji smanjuje RF smetnje. Bitne zanačajke voda su otpor, induktivitet i kapacitet. **Otpor** voda se ne smije zanemarivati ukoliko je puno veći od ulazne impedancije uređaja. Utjecaj **induktiviteta** je na audio područje je neznatan (samo VF), ali je bitan kod transformatora. **Kapacitet** se povećava blizinom vodiča, povećanjem površine (oklop+vodič).

Mikrofonski ulazi

Bez fantomskog napajanja

S fantomskim napajanjem – koristi se za kondenzatorske i elektretske mikrofone. Napaja se s +48V.

DIGITALNA SUČELJA

Razlikujemo prijenos u realnom vremenu i prijenos u obliku zapisa

AES/EBU

Standard koji definira tipove fizičkog priključivanja. Odnosi se na višekanalni audio, visoke rezolucije i frekvencije uzorkovanja. Posjeduje mod za profesionalnu i kućnu upotrebu. Tipična kućna upotreba je povezivanje DVD-a s vanjskom jedinicom. AES/EBU konektori se dijele na balansirane (profesionalni, XLR), nebalansirane (RCA, BNC, kućna upotreba), optičke (optično vlakno, TOSLINK priključak, kućni audio)

S/PDIF - Konzumna inačica AES/EBU-a, a osnovna razlika je električna razina signala.

USB i IEEE 1394 (firewire) - Računalna sučelja za prijenos audia u realnom vremenu

Specifična sučelja u vlasništvu tvrtki za posebne namjene (npr MOST za automobilsku industriju)

Također je moguća zaštita audio materijala u realnom vremenu – **EMI** u zaglavlju firewire paketa

ADAT lightpipe (ADAT Optical Interface) - Optičko sučelje koje je razvio Alesis. Koristi Toslink konektore te ima podršku za 8 kanala (48kHz/24bit)

MADI (Multichannel Audio Digital Interface)

Višekanalno audio sučelje (do 64 kanala) za serijski digitalni prijenos koaksijalnim ili optičkim kabelom (čak i na velike udaljenosti). Maksimalna frekvencija uzorkovanja je 96 kHz i 24bita po kanalu. Koristi se za povezivanje stolova za miješanje s velikim brojem kanala

Audio over Ethernet (AoE) – koristi se ethernet računalne mreže (veliki protok podataka). Jedini problem je slanje podatak u obliku paketa, pa se javljaju latencije do 10ms.

MIDI (Musical Instrument Digital Interface)

Omogućuje računalima i el. Instrumentima da međusobno komuniciraju. Umjesto audio signala, prenose se poruke o visini tona, intenzitetu, glasnoći itd. Koristi DIN 5 priključak za povezivanje IN, OUT, THRU.

Prijenos audia u obliku zapisa

Nije potreban prijenos u realnom vremenu, nego se audio podaci ili cijeli prenesu pa reproduciraju, ili se zapisu pristupa prije nego se cijeli prenese. Zbog toga je došlo do potrebe uvođenja opisa audio zapisa – **metadata**. **MXF** služi za razmjenu i jednog i drugog oblika.

PODJELA FORMATA AUDIO ZAPISA

Nakon AD pretvorbe dobijemo PCM tok podataka koji je potrebno spremiti u neki format. Svaki zapis se sastoji od zaglavlja i podataka.

.au Sun Audio – logaritamsko kodiranje amplitude i promjenjiva frekv uzorkovanja.

.aiff – nekompresirani format razvijen od Macintosha. Zaglavlje sadrži info o fr.uzork, duljini, st/mono

.wav – Uveo ga MS i IBM za PC. Koristi audio podatke u PCM verziji.

RIFF – obuhvaća različite muldimedijske formate wav, avi, ani...

Broadcast wav – proširenje wave-a za distribuciju audio zapisa. Sadrži info o maks amplitudi.

.mp3 – Frauenhofer institut- kompresija s gubicima. MP3pro – ista kvaliteta, ½ veličine memorije

.wma – Msov odgovor na MP3. Sadrži zaštitu protiv presnimavanja zbog čega ga prihvaćaju glazbenici

.ra Real Audio – pogodan za prijenos internetom, a po kvaliteti u rangu MP3a

.ogg Vorbis – open source format

Formati za audio projekte – OMFI, Open TL, aes3

AUDIO META PODACI (*moglo bi biti, bar na usmenom*)

Uključuje sve podatke koji nisu ključni za sam audio zapis. Dije se po tipovima:

- Discovery metadata – za knjižnice kako bi se pronašli ključni podaci
- Preservation metadata – daje detalje o kvaliteti audia
- Intellectual property metadata – određuje prava pristupa i daje info o © i slično

Meta podaci se dijele na one koji su uključeni u sam tok podataka, i one koji su odvojeni od samih podataka. Veliko zanimanje prof. dijela za meta data je zbog izrade automatizirane informacijske veze između sustava svih vrsta, jer audio zapis može doći u različitim oblicima koje u tom slučaju reguliraju meta podaci.

Dolby digital npr. u svojim meta podacima ima info o kanalima, razinama glasnoća i dinamičkom rasponu za idealnu optimizaciju reprodukcije

12. Mobilni digitalni komunikacijski sustavi

PRIJENOS INFORMACIJA

Prijenos point to point – Podatci se prenose do svakog pojedinog terminala zasebno. Koristi se kod GSM/UMTS mreža za prijenos glasa

Jednoodredišni prijenos – sadržaj se šalje samo jednom. Puno bolje iskorištenje mreže od point to point. Nedostatak je što svi korisnici moraju gledati/slušati isti sadržaj. (npr. TV distribucija)

Višekorisnički prijenos – Isti podaci se šalju grupi korisnika. Nedostatak je što korisnici moraju biti na istim vezama (linkovima).

Vrste prijenosa podataka: aktivni i pasivni korisnički terminali

Aktivni – korisnički terminal generira zahtjev za pristup podacima

Pasivni – korisnički terminal nema kanal za slanje podataka, ali se zato postavljaju dodatni zahtjevi koji omogućavaju odabir sadržaja

Načini prijenosa podataka: prijenos u realnom vremenu i sigurni prijenos

Prijenos u realnom vremenu – istovremeni prijenos podataka svim korisnicima u mreži bez značajnijeg kašnjenja (videokonferencije)

Sigurni prijenos – mreža jamči pouzdanost prijenosa podataka. Kašnjenje se tolerira

Višeodredišni prijenos - Bitna je pokretljivost korisnika, te se upotrebljava bežična radio tehnika. Informacija neovisna o položaju i kretanju korisnika. Problemi bežične tehnologije su baterije, te je zbog toga potrebno smanjiti potrošnju uređ. Problem pokretljivosti korisnika je prijenos podataka bez prekida, te održavanje veze pri prijelazu između ćelija pokrivenosti. Korisniku je bitna dostupnost, kvaliteta i cijena. Davatelj usluge mora osigurati opremu koja će svima nuditi jednaku kvalitetu i širinu propusta!

DVB-H (Digital Video Broadcasting Handheld)

WAP – Pristup internetskim uslugama putem mobitela

CSD – Circuit Switched Data – osnovni način prijenosa podataka GSM mrežom.

GPRS – General Packet Radio Service 2,5G – tehnologija paketnog prijenosa podataka. Povećanje brzine u odnosu na CSD. Zauzeće kanala (i naplata) ovisi o stvarnom prometu

EDGE – Do tri puta veća brzina od GPRS-a

UMTS – 3G tehnologija s brzinama do 2Mbit/s. Također optimizirana glasovna komunikacija. Za razliku od GSM-a gdje korisnici koriste različite frekvencijske nosioce, na UMTS-u svi korisnici koriste frekvencijski pojas, ali se razlikuju po kodu.

HSDPA – nadogradnja UMTS mreže. Nova radio modulacija (16QAM) koja prenosi dvostruko više bitova po simbolu od UMTS modulacije (QPSK). Vrijeme odziva skraćeno s 130 na 80 ms.

DVB-H – Brzine prijenosa i do 22 Mbit/s. Prijenos TV na mobilne korisničke terminale

Prvi stupanj – generiranje sadržaja: primjereno za paketnu distribuciju

Drugi stupanj – konfiguracija i upravljanje servisima: određuje se potrebno zauzeće širine kanala i vezanje servisa za lokaciju. Modul za sigurnost (DRM). Modul za dijeljenje podataka (multipleksiranje).

Interaktivna mreža – povratni kanal za komunikaciju s baznom postajom -> veća sigurnost i mogućnosti. DVB-H je jednosmjerna i nema povratne komunikacije. Ukoliko se želi komunikacija potrebno je uspostaviti poseban kanal prema odašiljaču. Za to mogu rabiti GSM mrežu.

Protokoli DVB-H: fizički sloj, podatkovni sloj, mrežni sloj, transportni sloj, aplikacijski sloj.

Mrežna arhitektura i moguća rješenja – preko prijema DVB-T signala s krova moguće pokrivanje i zatvorenih prostora korištenjem istog multipleksa, kako se ne bi trebala povećavati razina DVB-H signala. Druga mogućnost je da DVB-T i DVB-H rabe hijerarhijski prijenos u kanalu iste frekvencije. Mogućnost su i Single Frequency Networks koja bi radila s više odašiljača na istoj frekvenciji koji moraju biti sinkronizirani.

Distribucija multimedijiskih sadržaja (Multimedia Broadcast/Multicast service(MBMS))

Efikasno korištenje osnovne mobile mreže i radio spektra. Karakteriziraju ga dva načina rada:

Distribucija informacija (Broadcast) – distribucija se temelji na točka-više točaka načelu. Nije potrebno prijavljivati se na uslugu već je sadržaj svima na raspolaganju. Mora postojati mogućnost odbacivanja usluge u tom slučaju.

Višeodredišni prijenos raznih informacija (Multicast) – jednako kao broadcast, uz mogućnost prijenosa posebnih podataka određenoj grupi korisnika. Mreža tako može odabrati kome šalje.

MBMS se realizira dodavanjem posebnog sadržaja u standardnu mobilnu mrežu: prijenos u realnom vremenu (audio video), razni informativni podaci, pretplatnički sadržaji i elektronička trgovina.

DRM – problem digitalnih autorskih prava. Distribucija podataka ide po javnoj mreži, te su podaci svima dostupni. Bez odgovarajuće zaštite plaćene usluge ne bi imale smisla. Podaci se kodiraju te su tako dostupni samo određenim korisnicima

Kvaliteta prijenosa govora – Razumljivost, prirodnost i prepoznatljivost govornika. Postoje razne subjektivne metode mjerenja kvalitete, te su testovi slušanja jedni od njih.

Testovi slušanja uključuju: Apsolutna kategorija vrednovanja (ACR), vrednovanje degradacije (DCR), vrednovanje usporedbom (CCR). Ljestvica slušne kvalitete (MOSIq) sastoji se od ocjena 1-5. Ljestvica napora kod slušanja (MOSle) također se ocjenjuje od 1-5.

Objektivne metode se dijele na intruzivne i neintruzivne metode. Najpopularnija neintruzivna metoda mjerenja kvalitet govora u VoIP aplikacijama je E-model, koji je zamišljen kao procjena kvalitete od usta (izvora) do uha.

R faktor nam pokazuje da li prijenos zadovoljava komuniacijske standarde. Koristi se skala od 0-100 gdje vrijednosti ispod 50 predstavljaju nezadovoljavajuću kvalitetu.

13. Elektroakustička mjerenja

ELEKTROAKUSTIČKA MJERENJA

Mjerenja na elektroakustičkim pretvaračima

Mjerenje na mikrofona

Amplitudna frekvencijska karakteristika, usmjerna karakteristika, korisnost, izobličenja, impedancija, tranzijentni odziv, osjetljivost, dinamičko područje

Mjerenje na zvučnicima

Amplitudna frekvencijska karakteristika, usmjerna karakteristika, korisnost, izobličenja, impedancija, tranzijentni odziv, reprodukcija, snaga, fazna karakteristika

Akustička mjerenja

Mjerenje raspodjele zvuka u prostoriji – ne znaju ništa o tome izgleda

Mjerenje vremena odjeka

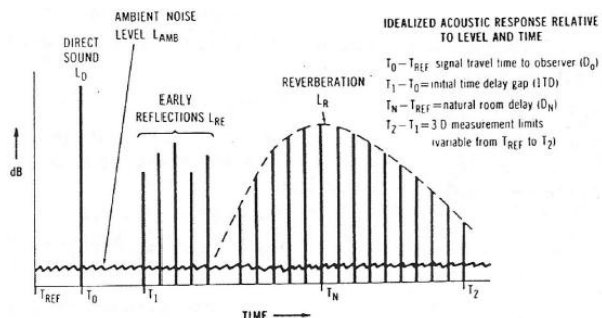
Imamo tri načina mjerenja vremena odjeka: **pomoću praska, TEF-a i digitalnog zvukomjera**. Kod **prvog** izvor praska može biti elektronički ili neki prirodni (npr. pucanj pištolja, balona i sl). **Druga** metoda se obavlja pomoću uređaja koji generira test signal i snima odziv za kojeg su bitni vrijeme, energija i frekvencija odziva (Time Energy Frequency). Kod **Treće** metode zvukomjer je generator signala i ima mikrofona pomoću kojeg registrira odziv.

ETC (Energy Time Curve) – prikaz opadanja zvučne energije kroz vrijeme

TDS (Time Delay Spectrometry)

3D TDS – prikaz frekvencije, vremena i amplitude u 3D-u

Imamo direktni zvuk, rane refleksije i kasne (reverberacija)



Akustički mjerni prostori

Gluha komora – simulira se otvoreni prostor (slobodno zvučno polje). Površine obložene apsorpcijskim materijalima i izolacijskim, što rezultira jako malim vremenom odjeka. Dimenzije gluhe komore određuju donju graničnu frekvenciju.

Odječna komora – cilj je postići difuzno polje, što znači da je zvučni tlak u svim točkama prostora jednak. Ima veliko vrijeme odjeka i služi za mjerenje apsorpcije materijala.

Realni prostor – vrijeme odjeka 1-2 s, uz razinu vanjske buke oko 50-ak dB.

Akustički mjerni signali

Sinusni ton – za stacionarna mjerenja

Impulsni ton (burst) i pravokutni impulsi – mjerenje tranzijentnih pojava

Šum i prasak: bijeli šum – jednaka energija na svakoj frekvenciji, ružičasti šum – energija jednaka u oktavama

Sweep – sinusni ton kontinuirano promjenjive frekvencije

MLS sekvenca

Mjerenje buke - Mjeri se pomoću digitalnog zvukomjera. Vrijednost se dobiva usrednjenjem kroz neko vrijeme T

Mjerenje akustičkih značajki materijala – U kundtovo cijevi nastaju stojni valovi, te se preko odnosa maksimuma i minimuma dobiva apsorpcija

Mjerenje zvučne izolacije – Dva načina: Izvor u jednoj prostoriji, u drugoj mjerimo tlak i gledamo pad razine. Drugi način je preko onog čuda što lupka u pod, a u prostoriji ispod se mjeri razina zv. Tlaka

Audio mjerenja

Srednja vrijednost signala – zbog jeftine izvedbe su se koristili voltmetri s mjerenjem srednje vrijednosti. Za sinusoidalni signal je srednja vrijednost 0.637 maks amplitude.

$$S_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T s^2 dt}$$

Efektivna vrijednost – određuje se vrijednost istosmjerne veličine koja ima ekvivalentnu disipaciju snage na istom otporu.

$$S_{sr} = \frac{1}{T} \int_0^T s \cdot dt$$

Vršna vrijednost – maksimalna amplituda, tko bi reko

Crest faktor – mjera količine energije signala u vremenu. Crest faktor je jednak omjeru vršne i efektivne vrijednosti signala.

Preslušavanje (crosstalk) – neželjeni prijelaz signala iz jednog u drugi kanal

Odvajanje (Separation) – propuštanje signala iz drugog kanala kad su kanali ovisni (npr.stereo)

Težinski filtri

Filtar s A-krivuljom: karakteristika oponaša karakteristiku uha

CICIR filter: bolja korelacija sa subjektivnom razinom od A-krivulje

B i C-krivulje: manji pad na NF od A-krivulje

Spektralna analiza (ovaj dio prezentacija je brutalni tok misli, šta im je palo na pamet samo su random ubacili. Ako dođe pitanje iz ovog dijela, pišite sve što znate iz drugih predmeta o signalima i FFT-u jer ove stvari nemaju ni najmanje smisla)

Heterodinski analizatori - mješanjem poznate i nepoznate frekvencije i filtriranjem se dobiva njihova razlika

Analizatori u realnom vremenu (RTA)

FFT mjerenja

Signal se analizira u frekvencijskoj domeni. Od signala koji se analizira uzima se kratki dio koji se pohranjuje u memoriju. Daljni račun se obavlja uz pretpostavku da se taj komad periodično ponavlja unutar vremenskog prozora. Razlikujemo pravokutni, Hammingov i Parzenov prozor.

AUDIOIZOBLIČENJA

Linearna izobličenja

Kod linearnih izobličenja ne dolazi do pojave novih frekvencijskih komponenti. Odnosi se na amplitudnu frekvencijsku karakteristiku i faznu frekv. karakteristiku.

Nelinearna izobličenja

Osnovna značajka je pojava novih frekvencijskih komponenti kojih nije bilo u originalnom signalu. Dijele se na harmonička i neharmonička nelinearna izobličenja. Nelinearna zavisnost se u općem slučaju opisuje beskonačnim redom potencija. Mjera harmoničkih izobličenja se naziva THD i računa se formulom:

$$k = \sqrt{\frac{A_2^2 + A_3^2 + A_4^2 + \dots}{A_1^2 + A_2^2 + A_3^2 + A_4^2 + \dots}} \cdot 100 \quad [\%]$$

A_n = efektivne vrijednosti amplituda

Kod Notch-filtarskih analizatora harmoničkih izobličenja mjerenja se zasnivaju na mjerenju snage spektra izlaznog signala s i bez osnovne frekvencije. Osnovna frekvencija se prigušuje s notch filtrom. Uporabom notch filtra u obzir se uzima i šum te se stoga koristi THD+N.

Kod neharmoničkih izobličenja dolazi do pojave frekvencija koje su zbroj i razlika dvaju osnovnih frekvencija originalnog signala (intermodulacijska izobličenja). SMPTE metoda koristi signal 60 Hz i 7kHz u omjeru amplituda 4:1.

Mjerenja u vremenskoj domeni

Koriste se sinusni signali (u svrhu klipinga), trokutasti (umjesto sinusnih), pravokutni (ekvivalent amplitudnim i faznim frekv. mjerenjima u vremenskoj domeni), burst.

Tranzijentna izobličenja

Nastaju kao posljedica nemogućnosti sustava da prati brze promjene amplitude. Mjerenja se provode pravokutnim ili burst signalima. Za oštre bridove pravokutnog signala su zaslužne visoke frekvencije. Burst signal je prikazan na slici :



Kod impulsnog odziva na ulaz se dovodi impuls kratkog trajanja. Odziv se promatra pomoću FFT analizatora

Izobličenje zvučne slike

A majko mila više i natukniceeeeeeeeeee. Gluposti

STARI PISMENI I USMENI

Audiosustavi 1.MI 2009./2010.

1. Navedite i objasnite značajke objektivnih parametara akustičke kvalitete prostora
2. Objasnite akustičke značajke studijskih prostora
3. Objasnite konfiguraciju studijsko-režijskog audiosustava
4. Objasnite značajke režijskih monitornih sustava
5. Objasnite značajke digitalnog odjeka.

Audiosustavi MI 2011./2012.

1. Nabrojite i objasnite osnovne karakteristike zvučnika
2. Što je i kako se koristi međufrekvencija u prijamnicima
3. Objasnite akustičke značajke režijskih prostora
4. Objasnite efekt maskiranja. simultano i vremensko maskiranje
5. Navedite i objasnite značajke DAB sustava

Audiosustavi 1.MI 2012/2013

1. karakteristike prijamnika i ona međufrekvencija
2. dinamička obrada signala
3. maskiranje, vremensko i ono drugo maskiranje
4. kodiranje bez gubitaka, prednosti i mane
5. DAB, karakteristike i to

MI 2013./2014.

1. Nabrojite osnovna svojstva mikrofona i detaljno objasnite osjetljivost i efikasnost
2. Objasnite frekvencijsku obradu signala i uređaje koji se koriste pri frekvencijskoj obradi
3. Objasnite akustičke značajke tonskih režijskih prostora
4. Objasnite efekt maskiranja i navedite vrste maskiranja koje postoje
5. Navedite i objasnite DAB značajke

Pitanja iz završnih ispita sa starih tema:

1. HRTF primjena ili tak neš
2. Stereofonijski sustav
3. Ambiophonics sustav
4. Indetifikacija glasa, automatska indetifikacija govornika
5. Izobličenja audio signala
6. Nacini lokalizacije zvuka
7. Razvoj sinteze zvuka
8. Sustavi za visekanalnu reprodukciju zvuka
9. Ambisonics sustav
10. Nesto tipa elektroakusticka mjerenja - sta mozemo mjeriti i opisat mjerenja

Usmeni:

=>Fajt

1. razvoj sinteze audiosignala u racunalima
 2. stereofonska reprodukcija (stereo, 4.0, 5.1+)
 3. mikrofonski ulaz (fantomsko napajanje, pasivni, aktivni)
-
1. Maskiranje (vremensko i frekvencijsko).
 2. Akustički mjerni prostori.
 3. Soni i foni.
-
1. MPEG-4
 2. Vrste mikrofona i značajke
 3. Audio meta podaci
-
1. dolby digital
 2. o sintezi (oscilator, anvelopa, aditivna, subtraktivna i FM sinteza)
 3. karakteristike mjernih audio signala
-
1. MPEG Layer 1 uklanjanje šuma
 2. Elektroakustička mjerenja
 3. Razlika između elektroakustičkih i audio mjerenja

=>Jambrošić

1. Amp.-f. i faz.-f. karakteristika.
 2. Direktni zvuk, difuzno polje, tako nešto.
 3. Filmske trake, CD, DVD.
-
1. Slušno područje (granice, izofone)
 2. Digitalna mikseta (digitalizacija, procesiranje, multipleksiranje)
 3. Sučelja - analogna i digitalna