

Helid arvutis

Multimeediumi rakendustes saab tavaliselt kasutada CD-audiot (tavalised CD heliplaadid), uuemal ajal põhimõtteliselt ka DVD audiot ja kahte liiki faile: digitaalsed helisalvestused (WAV, MP3 jt) ja MIDI (helikaardi süntesaatori poolt esitatav muusika).

Helikaardid

Digitaalsete helisalvestuste (*waveaudio*) ja MIDI kasutamine eeldab helikaardi olemasolu. Enamus helikaarte toetab mõlemat nimetatud audioliiki, on olemas aga ka spetsiaalsed MIDI kaardid professionaalidele ja kehvad (praeguses mõistes vanad ja haruldasteks muutunud) helikaardid ainult *waveaudio* toetusega.

MIDI toetusega helikaartidel on süntesaatoriplokk, mis kasutab üht kahest põhimõttelt erinevat heli genereerimise meetodit:

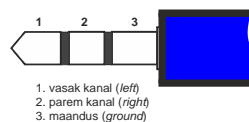
FM süntees, mille puhul helikaart sünteesib nõutud pilli hääle, kuid tulemus on tavaliselt vaid lähedane soovitul ja kõlab metalselt. Seda meetodit kasutavad kõik odavad helikaardid. Nad on kergesti äratuntavad selle järgi, et nende nimetuses esineb parameeter 16 bit. Sellised on kahjuks ka praktiliselt kõik arvuti emaplaadile integreeritud helikaardid.

Wavetable süntees, millede puhul on helikaartidel mikroskeemidesse salvestatud erinevate pillide "soundid" (*samples*) ja muusika genereerimisel saadakse nende eeskujuga kasutades peaaegu ehtne kõla.

Ühendused

Kõikidel helikaartidel kasutatakse 3,5 mm läbimõõduga stereopistikupesasid. Samasugused on kasutusel kõigis kaasaskantavates CD, MD ja kassetimängijates kõrvaklappide ühendamiseks.

Kasutada saab standardseid 3,5 mm pistikuid.



Joonis 1 standardse 3,5 mm stereopistikuga ühendused

Väliseid ühenduspaneeli kasutatavatel helikaartidel on olemas ka analoogilised 6,3 mm pistikupesad, mis on levinumad professionaalsematel seadmetel (ka mikseripuldid jms).

Tavaliselt on igal helikaardil arvuti tagaküljel pistikupesad erineva audiotehnika ühendamiseks. Tänapäeval kasutatakse nende kergemaks äratundmiseks värve:

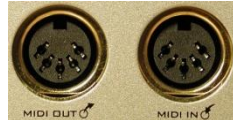
- MIC IN** sisend mikrofoni ühendamiseks (punane)
- LINE IN** sisend magnetofoni, grammofoni või mõne muu seadme ühendamiseks (sinine)
- SPK OUT** väljund kõrvaklappide või väikeste kõlarite ühendamiseks (roheline)
- LINE OUT** väljund võimendi või magnetofoni ühendamiseks (must). Uuematel SoundBlaster Live helikaartidel näiteks täidab see väljund ka teise paari kõlarite ühendamise funktsiooni. **LINE OUT** võib ka puududa, sel juhul saab ära kasutada **SPK OUT** pistiku, reguleerides väljundsignaali (volume nõrgaks)..

MIDI THRU MIDI signaalide sisend/väljund näiteks MIDI toetava süntesaatori ühendamiseks. See on ainus pistikupesa, mis on arvutile harjuspärase välimusega (15 auguga). Mõnikord kannab see nimetust JOYSTICK.

Uuematel helikaartidel on lisaks eelpoolnimetatutele veel:

DIGITAL OUT digitaalne väljund.

Kallimatel helikaartidel on sageli olemas ka standardsed MIDI ühendusteks kasutatavad DIN5 pistikupesad ning mõnedel isegi optilised SPDIF sisendid/väljundid (toslink). Selleks on tavaliselt spetsiaalne arvuti esiküljele paigutatav paneel (näiteks nagu SoundBlaster Audigy 2 Platinum).



Joonis 2 standardne DIN5 MIDI ühenduspesa



Joonis 3 optilised (toslink) ühenduspesad

Osadel helikaartidel on lisaks pistikupesadele veel ka helitugevuse regulaator (*volume*).

Digitaalse helitehnika ühendusviisid

Digitaalse audiomaterjali ülekandeks erinevate seadmete vahel on kasutusel mitmed standardid, näiteks AES/EBU, S/PDIF, MADI ja ka FireWire (IEEE1394).

AES/EBU ja S/PDIF

kodukasutajate tasemel on olemas praktiliselt ainult üks digitaalne S/PDIF formaat, millel kasutatakse kahte erinevat ühendusviisi (*interface*).

Üldiselt kasutatakse elektrilist koaksiaalühendust (*electrical coaxial interface*) tavaliste RCA pistikutega (vahetevahel ka BNC bajonett pistikuid) ning varjestatud, 75Ω takistusega kaablit. Teine võimalus on Toslink optiline (*Toslink optical*), mis edastab audio infot valguse kujul mööda plastikust fiiber-optilist kaablit, millel on 1mm diameetriga fiibersüdamik.

Professionaalne helitehnika kasutab AES/EBU formaati (määratud IEC-958 standardiga), mis kasutab 3-nõelaga (3-pin) XLR tüüpi pistikuid ning 3 kiuga 110Ω takistusega (88-132Ω) või *multimode* fiiberoptikat (AT&T või ST-Glass).

Koaksiaalühendus ja fiiber-optiline ühendus on kvaliteedilt võrdsed (andmetest ei lähe midagi kaduma). Mõned asjatundjad soovivad küll rohkem koaksiaalühendust, sest andmete ülekandmisel esineb vähem teisendusi kuid elektrilise signaali teisendamine optiliseks ei muuda andmeid ja korralike seadmete kasutamisel ei ole neil ühendusviisidel vahet.

Optilisel Toslink ühendusel on üks omadus, mille poolest teda võiks koaksiaalühendusele eelistada, nimelt on selle puhul kaks seadet üksteisest isoleeritud ja pole probleeme maandusega (*ground loop*).

Optilisel Toslink ühendusel on puuduseks kaabli pikkus.

Vigade vastu kasutab S/PDIF standard edastatavate baitide paarsuse kontrolli (igale baidile lisatakse nn *parity bitt*). Vea avastamisel vaigistatakse heli (*mute*).

Välise sarnasuse tõttu tavalise *composite* videokaabliga ja RCA pistikutega audiokaabliga tekkib sageli küsimus, kas neid saab kasutada digitaalseks S/PDIF ühenduseks. Üldiselt peaks vastus olema eitav, sest nende kaablite takistus ei ole õige (tavaliselt 45-75Ω) kuid lühikeste kaablipikkuste korral (kuni 1 meeter) peaks iga RCA pistikutega kaabel töö ära tegema.

MADI

Multichannel Audio Digital Interface (MADI, tuntud ka standardina AES-10) on professionaalne versioon AES/EBU standardist, mis on mõeldud kuni 56 kanali 24-bitise digitaalse audio edastamiseks ühe BNC pistikutega koaksiaalkaabliga. MADI kasutab teist kaablit sünkroniseerimiseks (*word clock*), sellel on fikseeritud andmeedastuskiirus 100Mbps. On olemas ka optilised MADI rakendused. Mõnede tootjate MADI laiendused lubavad kasutada kuni 64 audiokanalit.

AC97

AC'97 (*Audio Codec '97*) on Intel Corporation'i 1997. aastal loodud standard, mida kasutati peamiselt PC emaplaadile integreeritud helikaartides ja modemites. Intel kasutab küll sõna "*codec*", mis viitab kompressioonile, kuid antud juhul tähistab heli kodeerimist ja dekodeerimist analoog- ja digitaalsignaali. AC'97 defineerib PC-arvutite kõrgkvaliteedilise 16 või 20 bitise audioarhitektuuri. Toetatakse kuni 96 kHz 20 bitist stereoheli ja 48 kHz 20 bitist mitme kanaliga (*multichannel*) heli. AC'97 versioon 2.3 pakub kasutajale *plug and play* audiot tundes ära helikaardiga ühendatud analoogseadmeid (mikrofonid, kõlarid, kõrvaklapid). Aastal 2004 asendati AC'97 *Intel High Definition Audio*'ga (*HD Audio*).

Intel High Definition Audio

Intel High Definition Audio kuulutati välja aastal 2004. Ta töötati välja võimaldamaks PC emaplaadile integreeritud helikaartidega mängida rohkema kanalite arvuga kõrgkvaliteedilist heli kui varasemad formaadid võimaldasid. Riistvaraline HD Audio võimaldab kuni 192 kHz 32 bitist kaheksa kanaliga heli.

Standardtarkvara

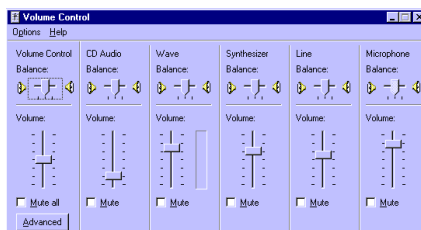
CD-Audio ja erinevate helifailide mängimiseks on lisaks riistvarale vaja ka tarkvara: erinevaid nn pleiereid (*player*). Lisaks on tarvis helitugevuse reguleerimise võimalust, programme digitaalse helisalvestuse ja –töötamise tegemiseks, MIDI failide redigeerimiseks jne.

Sõltuvalt helikaardi kvaliteedist ja tootjast võib lisaks riistvara draiveritele (*driver*) helikaardiga kaasas olla ka tarkvara komplekt. Peamiste tegevuste tarvis on vahendid olemas ka operatsioonisüsteemil. Vanemate Windows operatsioonide puhul on kõik sellised multimeediumivahendid kättesaadavad Start menüü Programs/Accessories valiku Multimedia (Windows95) või Entertainment (Windows98 ja uuemad) alt.

Üheks väga vajalikuks programmiks seal on **VOLUME CONTROL** (helikaartidega kaasasolevate programmide komplektis sisaldab sellise programmi nimi tavaliselt sõna "MIXER"), mille abil saab seada heli- ja salvestustugevusi. Tavaliselt on vastavas programmis võimalik reguleerida järgmist:

MASTER	üldine väljundtugevus, vahetevahel tähistatud ka kui VOLUME või VOL;
VOC	digitaalsete helisalvestuste suhteline väljundtugevus, sageli tähistatud kui VOCAL või WAVE;
MIDI	MIDI suhteline väljundtugevus, sageli tähistatud kui SYNTH või SYNTHESIZER;
CD-AUDIO	CD-audio suhteline väljundtugevus;

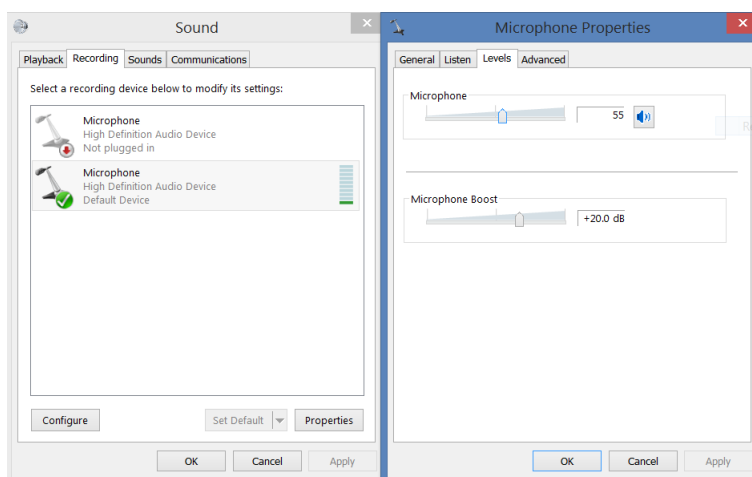
LINE	sisendtugevus (oluline näiteks salvestamisel), sageli tähistatud kui LINE IN;
MIC	mikrofoni sisendtugevus (oluline salvestamisel), sageli tähistatud kui MIC IN;
BALANCE	stereobalanss;
TREBLE	kõrged helisagedused;
BASS	madalad helisagedused



Joonis 4 Tavapärase Windows keskkonna mikserprogramm (kuni Windows XP)

Tavaliselt on iga komponendi kohta võimalik märkida ka omadus MUTE, mis tähendab vastava komponendi vaikima sundimist ilma helitugevuse regulaatori asendit muutmata. Paljudel mixerprogrammidel on vastupidi, selleks, et komponent kuulda oleks, tuleb märkida SELECT, mis muudab antud komponendi aktiivseks.

Alates Windows Vista'st on helitugevuse reguleerimisega seotu koondatud valikutesse „Playback devices“ ja „Recording devices“.



Joonis 5 Windows Vista ja uemate salvestusseadmete paneel (*Recording Devices*). Paremal valitud mikrofoni signaali tugevuse reguleerimine

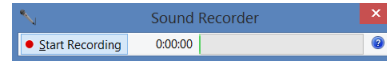
Windows keskkond pakub standardse pleierina praktiliselt kõikide meediafailide (ka video) mängimiseks ühte, Windows Media Player'it. Helikaartidega on tavaliselt kaasas erinevad pleierid: MIDI, CD, WAVE.

Parematel helikaartidel on võimalus MIDI instrumente lisada, selleks on samuti oma tarkvara kaasas.

Kindlasti kuulub iga helikaardiga kaasasoleva tarkvara hulka mingisugune programm digitaalseks helisalvestuseks (näiteks SoundBlasteriga on kaasas Creative Labs'i toodetud WAVESTUDIO). Kui parem puudub, saab hakkama ka Windows'i SOUND RECORDER programmiga (mis alates Windows Vista'st on muutunud äärmiselt minimalistlikuks).



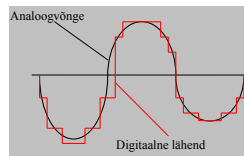
Joonis 6 Windows keskkonna helisalvestusprogramm "Sound Recorder" (kuni Windows XP)



Joonis 7 Windows keskkonna helisalvestusprogramm "Sound Recorder" (Windows Vista ja uuemad)

Digitaalne helisalvestus

Definitsioon: digitaalaudio on helilainete diskreetimisel saadud impulsside jada. Digitaalaudio kasutab heli taasesitamiseks digitaalseid signaale. Digitaalaudio hõlmab analoo-digitaalmuundamist (*analog-to-digital conversion*), digitaal-analoogmuundamist (*digital-to-analog conversion*), talletamist (*storage*) ja edastamist (*transmission*). Helifailid (*wavefiles*, sageli kergemini mõistetavalt *digital audio files*) on mahukad. Nad sisaldavad endas mingisuguste helivõngete kujutise, mida saab hiljem taasesitada. Taasesitus on küll ka kõige paremal juhul vaid lähend originaalile, kuid kvaliteetse salvestuse puhul inimkõrv erinevust ei taju.



Joonis 8 Analoog helivõnge ja selle digitaalne lähend

Helifailide salvestamisel kasutatakse arvutit nagu magnetofoni. Helifailidel on järgmised parameetrid:

Diskreetimissagedus

Diskreetimissagedus (*sampling rate, sample rate*) on tähtsaim digitaalse helisalvestuse parameeter. Diskreetimissagedus määrab mitu korda sekundis heli võnkeamplituudi hetkeväärtust salvestatakse.

Mõõtühikuks on loomulikult Hz.

Traditsiooniliselt on arvutites kasutusel standardid 11025 Hz (11025 korda sekundis, 11,025 kHz ehk lühidalt öeldes 11kHz), 22050 Hz (lühidalt öeldes 22 kHz) ja 44100 Hz (lühidalt öeldes 44,1 kHz).

Seoses erinevate kompressioonimeetoditega kasutusele võetud veel mitmeid erinevaid diskreetimissagedusi vahemikus 2 kHz kuni isegi 5644,8 kHz.

Kvaliteetse tulemuse saamiseks peab diskreetimissagedus olema vähemalt kaks korda suurem salvestatava heli sagedusest! Selle seaduspärasuse tõestas Harold Nyquist ning reegel on matemaatiliselt sõnastatud Nyquist'i teoreemina:

Suurim sagedus, mida on võimalik salvestada on 1/2 diskreetimissagedusest.

Seda piiri (1/2 diskreetimissagedusest) nimetatakse ka Nyquist'i limiidiks ehk Nyquist'i sageduseks: kõrgeim sagedus, mida saab salvestada ilma *aliasing* veata.

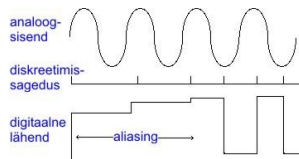
Kõik sagedused, mis ületavad Nyquist'i sageduse, talletatakse sagedusena, mis on Nyquist'i sagedusest nii palju madalam, kui ta originaalis seda ületas. Näiteks kui diskreetimissagedus on 20000 Hz ja salvestatakse heli sagedusega 11000 Hz, siis see salvestatakse sagedusena

9000 Hz, mida originaalheli ei pruugi tegelikult sisaldadagi! Seda viga tuntakse kui *aliasing* või *foldover*.

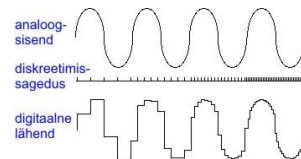
Aliasing vea vältimiseks on kasulik kasutada filtrit (*low-pass* ehk *high-cut*), millega kõik Nyquist'i piiri ületavad sagedused originaalhelist lihtsalt eemaldatakse.

Kui diskreetimissagedus on väiksem kui salvestatava heli sagedus, siis lähevad terved võnke tsüklid kaduma, sellisel juhul võib salvestuse tulemuseks olla täiesti kasutuskõlbmatu võnkekõver.

Kui diskreetimissagedus on salvestatava heli sagedusega võrdne (vaid teoreetiline võimalus puhaste toonide puhul), siis on tulemuseks sirgjoone kujuline "võnkekõver", sest igal ajahetkel mõõdetakse samasugune amplituud. Sarnane tulemus saadakse ka juhul, kui salvestatakse sinusoidi või sinusoidisarnase kujuga võnkekõveraga heli (puhas toon) salvestamisel ning diskreetimissagedus on täpselt kaks korda suurem heli sagedusest.



Joonis 9 Liiga madala diskreetimissageduse mõju salvestusele



Joonis 10 Suureneva diskreetimissageduse mõju salvestusele

NB! Mida suurem diskreetimissagedus, seda kõrgemaid helisid saab salvestada ja seda loomulikum heli tuleb.

Lähtudes Nyquist'i teoreemist saame teada, et tavalise inimkõne (sagedus kuni 5 kHz) salvestamiseks piisab juba diskreetimissagedusest 10 kHz, standardne sagedus on 11,025 kHz. Kvaliteedi huvides on soovitatud kasutada 22,05 kHz. Praegusel ajal on meil tegemist juba nii suurte kõvaketastega, et võib lubada luksust salvestada inimkõnet ka diskreetimissagedusega 44,1 kHz. Miks sellist kvaliteedivaru vaja on? Näiteks kui klippi muuta 2 korda aeglasemaks, saame sama kvaliteediga tulemuse, mis diskreetimissagedusega 22,05 kHz, juba ongi suur osa kvaliteedivaru kasutatud!

On teada, et praktikas ei võimalda diskreetimissagedused üle 50 kHz enam salvestada sagedusi, mida inimene kuuleks, seetõttu olid varasemad digitaalsed salvestusseadmed kõik piiratud selle sagedusega. Praeguseks on teada, et ka ultraheli, mida inimene ei kuule, mõjutab kuuldavaid sagedusi ning selle salvestamine (suuremate diskreetimissageduste kasutamine) aitab parema koloriidiga heli saada.

Levinumad diskreetimissagedused

Järgnevalt loetleme ja kirjeldame enimkasutatavaid diskreetimissagedusi:

- 8 kHz, peamiselt digitaalsetes telefonisüsteemides, mis kasutavad μ -Law kodeerimist;
- 11 kHz, veerand CD-DA diskreetimissagedust (täpsemalt 11025 Hz) ehk pool Macintoshi diskreetimissagedust (üks populaarsemaid diskreetimissagedusi Macintosh arvutitel);
- 16 kHz, kasutusel g.722 kompressioonil, VOIP rakendustes;
- 18,9 kHz on CD-ROM/XA standard;
- 22 kHz on pool CD DA diskreetimissagedus ja Macintoshi diskreetimissagedus (mis täpsemalt on 22254.5454545454 Hz);

- 32 kHz on kasutusel digitaalraadio standardis, NICAM (*Nearly Instantaneous Compandable Audio Matrix*) standardis, *long play* DAT standardis, ning Jaapani HDTV (*High Definition TV*) standardis;
- 37,8 kHz on CD-ROM/XA kõrgema kvaliteedi standard;
- 44056 Hz on kasutusel professionaalses helitehnikas ja sobib täpselt kokku NTSC videokaadri samplite (*samples*) arvuga;
- 44100 Hz on CD-DA diskreetimissagedus, mida kasutab ka DAT (salvestades muusikat CD-lt);
- 48 kHz on DAT standard;
- 96 kHz on DVD-Audio standard,;
- 192 kHz on samuti kasutusel DVD-Audio, BD-ROM (*Blu-ray*) ja HD DVD heli puhul;
- 352,8 kHz kannab nime *Digital eXtreme Definition*, mis on kasutusel SACD (*Super Audio CD*) puhul;
- 2822,4 kHz kasutusel SACD puhul;
- 5644,8 kHz kasutusel kasutusel mõningates professionaalsetes seadmetes, mis salvestavad SACD jaoks.

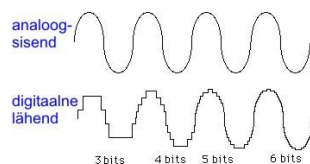
Audio Engineering Society soovib enamasti kasutada diskreetimissagedust 48 kHz. Kodukasutajatele ning CD Audio jaoks peetakse sobivaks 44,1 kHz kasutamist, edastuseks (*transmissioon*) jaoks 32 kHz ning suuremate ribalaiuste (*bandwidth*) jaoks 96 kHz.

Diskreetimissuurus

Diskreetimissuurus (*sampling size, sampling resolution* või *isegi sample format*) määrab kui palju andmeid kasutatakse võnkeamplituudi salvestamiseks igal ajahetkel. Mida rohkem andmeid, seda rohkem on erinevaid variante võnkeamplituudi kirjeldamiseks ja seda realistlikum tuleb salvestus, seega on diskreetimissuurusel otsene mõju salvestuse loomulikkusele.

Kasutusel on standardid 8 bitti, 16 bitti, 24 bitti ja isegi 32 bitti.

NB! Diskreetimissuurus on põhimõtteliselt sarnane rastergraafika värvussügavusele.



Joonis 11 Diskreetimissuuruse mõju salvestusele

Kasutades diskreetimissuurust 8 bitti, saame 256 erinevat numbrit 0 ja 1 kombinatsiooni, millega saame kirjeldada võnke amplituudi antud ajahetkel. See tähendab, et amplituudi maksimaalne ulatus on jagatud 256-ks osaks ja iga väärtus, mis mahub mingisse osasse, selle väärtusega ka salvestatakse. Nii aga tekib olukord, kus iga salvestatud diskreetne punkt erineb originaalväärtusest kuni $1/256$ -ndiku amplituudi maksimaalväärtusest! Seda nimetatakse kvantimisveaks (*quantization error*).

NB! Kvantimisviga on vältimatu kuid piisavat diskreetimissuurust kasutades vähendatav aktsepteeritava tasemeni.

Kasutades diskreetimissuurust 16 bitti saame me võnkeamplituudi hetkeväärtuse kirjeldamiseks 65536 erinevat numbrit 1 ja 0 kombinatsiooni ning kvantimisviga on juba ainult kuni $1/65536$ -ndiku amplituudi maksimaalväärtusest.

NB! Mida suurem diskreetimissuurus, seda puhtam tuleb salvestus ehk signaali taseme kasvades väheneb moonutuste tase (analoogsüsteemides on vastupidi).

Kvantimisviga iga diskreetse punkti (*sample*) jaoks on juhuslik, siis me kuuleme selle tulemusena valget müra (*white noise*). Seda müra originaalhelis pole ja seda nimetatakse kvantimismüraks (*quantization noise*).

Maksimaalse signaali amplituudi ja maksimaalse kvantimisvea suhet tähistatakse SQNR (*signal-to-quantization-noise-ratio*). SQNR pannakse tavaliselt kirja detsibellides (dB).

SQNR on sama, mis salvestuse dünaamikaulatus (*dynamic range*). Ühe biti lisamine suurendab amplituudi kirjeldamise variante kaks korda ehk siis saab kirjeldada ka heli tekitamiseks kasutatava energia kaks korda suuremat hulka, mis vastab helitugevuse muutusele kuni 3 dB. Arvestades, et amplituudi ulatuse muutus on negatiivses kui ka positiivses suunas saame helitugevuse ulatuse muutuseks kokku 6dB. See aga tähendab, et salvestuse dünaamikaulatust võib arvutada järgmise valemi abil:

$$\text{diskreetimissuurus} * 6\text{dB} = \text{dünaamikaulatus}$$

Selle valemi järgi saame:

- 8 bitise diskreetimissuurusega salvestuse dünaamikaulatuseks 48dB, mis vastab helikassetile;
- 12 bitise salvestuse dünaamikaulatus 72 dB, kasutatakse amatöör videokaamerates ja vastab kvaliteetsetele helilintidele;
- 16 bitise salvestuse dünaamikaulatus 96 dB, mis on CD-DA standard;
- 24 bitise salvestuse dünaamikaulatus 144 dB, mis on DVD standard. See võimaldab teoreetiliselt salvestada kogu akustilise muusika dünaamikaulatuse.

Alates aastast 2007 on digitaalsete helisalvestusseadmete dünaamikaulatus piiratud 124 dB-ga, mis vastab diskreetimissuurusele 21 bitti. See piirang on seotud reaaleluliste piirangutega mikrokiipide ehituses. Sellegipoolest vastab salvestuse kvaliteet ligilähedaselt inimese kuulmiselundite omadustele.

Kasutatakse ka mitmeid ebastandardseid diskreetimissuuruseid, näiteks 14 bitti ja 20 bitti!

Kui sisendsignaali amplituud ületab maksimaalse amplituudi, mida saab numbriliselt (digitaalselt) kirja panna, siis on tulemuseks mahalõigatud (*clipped*) harjaga võnkekõver. Selline salvestus kõlab originaalist sageli väga erinevalt. Mõnikord on see viga kuuldav kerge tämbri muutusena (*change in timbre*), enamasti aga ebameeldiva mürana.

Arvutis on võimalik tekitada numbrilisi väärtuseid, mis ületab digitaal-analoogmuunduri (DAC) poolt oodatava ning seega võib mahalõikeid (*clipping*) esineda ka heli taasesitamisel.

Faili suurus erinevate parameetrite korral

NB! Salvestusel võiks alati jätta kvaliteedivaru! Hiljem on heliklippe lihtne vastavalt vajadusele kehvemaks muuta, paremaks teha aga praktiliselt võimatu.

Erinevad parameetrid pole välja kujunenud ainult kvaliteedi nõuetest lähtuvalt. On ka ajaloolised, erinevate arvutite jõudlusest sõltuvad näitajad. Näiteks suutis 286 protsessoriga PC salvestada parimal juhul monoheli 44.1 kHz või stereoheli 22 kHz. 386 protsessoriga arvutite saabumisega need piirangud taandusid. Vanematel arvutitel oli kitsaskohaks ka kehv helikaart, mis toetas vaid 8 bitist diskreetimissuurust.

NB! Tuleb arvestada GIGO printsiibiga: *Garbage In, Garbage Out*.

Tabel 1 Helisalvestuse andmemaht 1 minuti kohta sõltuvalt diskreetimise parameetritest

diskreetimis-sagedus	diskreetimis-suurus		andmemaht minuti kohta
11 kHz	8 bitti	mono	661 KB
11 kHz	8 bitti	stereo	1.2 MB
11 kHz	16 bitti	mono	1.2 MB
11 kHz	16 bitti	stereo	2.4 MB
22 kHz	8 bitti	mono	1.2 MB
22 kHz	8 bitti	stereo	2.5 MB
22 kHz	16 bitti	mono	2.5 MB
22 kHz	16 bitti	stereo	5.1 MB
44.1 kHz	8 bitti	mono	2.5 MB
44.1 kHz	8 bitti	stereo	5.1 MB
44.1 kHz	16 bitti	mono	5.1 MB
44.1 kHz	16 bitti	stereo	10.1 MB
48 kHz	24 bit	stereo	16.5 MB

Helisalvestuseks tuleb mikserprogrammi vahendusel (näiteks Windows'i oma VOLUME CONTROL) reguleerida sisendtugevus ja helisalvestusprogrammis (näiteks Windows'i SOUND RECORDER) määrata salvestuse parameetrid (*record options, characteristics*). Seejärel anda *record* käsk ning sobival ajal *stop* käsk.

Failivormingud

Digitaalsete helisalvestuste ja MIDI andmete salvestamiseks on kasutusel mitmeid erinevaid failivorminguid:

- **Audio Interchange File Format (AIFF, AIF)**. See formaat on kasutusel nii Macintosh kui ka PC tüüpi arvutitel ning ka Commodore Amiga ja Silicon Graphics'i arvutitel. Formaati toetab suur hulk erinevaid diskreetimissuursi (*sampling rates*) kuni 32 bitini välja, lubab kasutada mitut kanalit ja mitmeid diskreetimissagedusi.
- **Resource Interchange File Format (RIFF)** on MicroSofti poolt loodud failiformaat, mis võib sisaldada mitut erinevat tüüpi andmeid, nende hulgas ka nii digitaalhelisalvestust ja MIDI andmeid.
- **Sound (SND)** on Apple poolt loodud failiformaat. Sellel on kaks versiooni: *SND Resource Type 1*, mis toetab mitut kanalit, diskreetimissuursi 8 ja 16 bitti ning erinevaid diskreetimissagedusi; *SND Resource Type 2*, mis on piiratud diskreetimissuurusega 8 bitti ja vaid ühe kanaliga.
- **Roll (ROL)**. See formaat on loodud firma AdLib, Inc. poolt kasutamiseks nende oma toodetud helikaartidega. Formaati salvestab MIDI (*MIDI like*) sarnast informatsiooni ja YAMAHA FM süntesaatori infot.
- **Wave (WAV)** formaat on loodud MicroSofti poolt **RIFF**'i alamformaadina ning on laialt kasutusel Windows'i programmides. WAV salvestab mono ja stereo heli (uue ajal ka rohkem kanaleid) diskreetimissuurusel 8 ja 16 bitti ning erinevate diskreetimissagedustega).
- **BWF (Broadcast Wave Format)** on Euroopa Ringhäälingute Liidu (*European Broadcasting Union* ehk EBU) poolt *Wave*'i järglaseks loodud formaat. BWF lubab faili talletada ka metaandmeid (*metadata*). Formaadi loomise eesmärgiks oli helifailide levitamine (*broadcast*) ning kerge ühilduvus erinevate arvutiplatvormidega. Formaati on kasutusel enamuses kino ja televisiooni mittelineaarsetel (*non-linear*)

salvestusseadmetel. Olemas on mitmekanaliline versioon BWF-P (*polyphonic* ehk *multi-channel*) ja ühe kanaliga versioon BWF-M (*monophonic*).

- **RF64** on EBU poolt loodud, BWF failivorminguga ühilduv vorming, mis võimaldab kasutada faile mahuga üle 4 GB, et rahuldada mitme kanaliga heli vajadusi. Võimalus kasutada kuni 18 kanalit! RF64 loetakse MBWF sünonüümiks.
- **Sun Audio (AU)** on 16 bitise diskreetimissuurusega kompressiooniga failiformaat, mis on loodud Sun Microsystems'i poolt kasutamiseks Sun'i tööjaamadel. Algselt oli olemas kaks erinevat versiooni: Sun'i ja NeXT'i. NeXT'i oma toetas üle 20 erineva kompressioonitüübi ja oli äärmiselt mitmekülgne. Sun'i versioon toetab 3 tüüpi kompressiooni. NeXT on kadunud, praegu kasutatakse Sun'i versiooni. Tarvitusel on kolm erinevat AU faili versiooni: tihendamata (PCM), A-law ja μ -law tihendatud (viimane on kasutusel veebis).
Antud formaat lubab kasutada kuni kahte kanalit, diskreetimissuurusi 8 kuni 32 bitti, diskreetimissagedusi 8012,821 Hz, 22050 Hz ja 44100 Hz.
- **Voice (VOC)** on loodud firmas Creative Labs SoundBlaster helikaardi jaoks. Formaati toetab kuni kahte kanalit, diskreetimissuurusi 8 ja 16 bitti (algselt vaid 8 bitti) ja ka kompressiooni. Formaati oli kasutusel peamiselt PC arvutitel.
- **Turtle SMP (SMP)** on loodud Turtle Beach Systems'i poolt nende helisalvestus ja -töötlus tarkvara jaoks.
- **MOD** on algselt Amiga arvutitele loodud MIDI laadse info salvestamiseks. Hiljem on see formaat võetud kasutusele ka PC ja Mac arvutitel. Formaati toetab 1 kuni 32 kanalit, kahjuks vaid 8 bitist diskreetimissuurust ning erinevaid diskreetimissagedusi.
- **mp3** tihendatud (kompressiooniga) formaat, mis laseb digitaalse helisalvestuse kokku suruda 10 korda ilma oluliste kadudeta kvaliteedis. Praeguseks olemas ka juba edasiarendus mp3PRO, millel on parandatud kõrgete sageduste taasesitamist.
- **M4A** MPEG 4 audio, mp3 järeltulija.
- **AAC** seni parim ja üks uusimaid kompressiooniga formaate, mis laseb helisalvestuse võrreldes mp3-ga veel tunduvalt väiksemaks pakkida, pakkudes seejuures paremat kvaliteeti.
- **WMA** (*Windows Media Audio*) on Microsofti loodud kompressiooniga formaat, mis pakub mp3-ga sarnast kvaliteeti kaks korda väiksema failimahu juures. Alates Windows Media versioonist 7 on ta Windows Media tööriistade vaikimisi kasutatav formaat.
- **OGG** on avatud koodiga formaat, loodud konkureerima WMA ja mp3 formaatidega. Tööd tema arendamiseks alustati 1993. aastal, algselt kandis nime "Squish", praeguseks on ta peaaegu sama populaarne kui mp3.

Digitaalne heli väljaspool arvutit

Kõige tuntum formaat on ilmselt CD-DA (*Compact Disc Digital Audio*). Kuid on ka teisi formaate.

HDCD

Microsoft®



HDCD® (*High Definition Compatible Digital*®) on patenteeritud kompressiooni/dekompressiooni meetod tavapärasest CD-DA kvaliteedist parema kvaliteediga helimaterjali levitamiseks CD- või DVD-plaadil. Tehnoloogia töötati välja aastatel 1986 – 1991 ning avalikustati 1995. Aastast 2000 kuulub HDCS tehnoloogia Microsoft'ile.

Selle tehnoloogiaga plaate ja seadmeid on toodetud ning müüdnud suhteliselt vähe. Tehnoloogiat toetab ka Windows Media Player alates versioonist 9, vajalik on veel Windows XP ning 24-bit helikaart.

DVD audio



DVD audio on mitme kanaliga (*multichannel*) audioformaad, mis on mõeldud CD-DA-st parema kvaliteediga helimaterjali salvestamiseks DVD-laadile.

Üks DVD audio plaat mahutab rohkem kui 74 minutit helimaterjali kahe kanaliga, diskreetimissagedusega 192 kHz ja diskreetimissuurusega 24 bitti või kuue kanaliga, diskreetimissagedusega 96 kHz (rohkem kui 2 korda CD audiost parem). DVD dünaamikavahemik on 144 dB ja sagedusriba 96 kHz. Maksimaalne andmevoog on 9,6 Mbps.

NB! Plaadile on võimalik lisada ka CD-kiht (*CD-layer*), mis annab tarkvaralise ühilduvuse mõnede CD-mängijatega.

SACD



SACD (*Super Audio CD*) on Sony ja Philipsi loodud kahe ja enama kanaliga audioformaad, mis kasutab 1-bitist diskreetimist ning mida nimetatakse *Direct Stream Digital* (DSD).

DCC



DCC (*Digital Compact Cassette*) on Philipsi loodud formaad, mis on juba välja suremas. See formaad suudab salvestada küllaltki hea kvaliteediga (MiniDisc'iga võrreldavat) helimaterjali, kasutades MPEG kompressiooni. Kasutatakse tavalise helikassetiga (*compact cassette*) praktiliselt identseid kassette milles on vaid kõrgema kvaliteediga magnetlint.

DCC-mängijad suudavad taasesitada ka tavalisi helikassette.

Praegusel ajal ei ole enam võimalik osta uusi DCC- seadmeid sest tehnoloogia jäi kaotajaks võitluses MiniDisc'i ja CD-R/CD-RW tehnoloogiatega.

MiniDisc



MiniDisc (MD) kasutab nõ diskette mõõtudega 7cm (2,75") X 6,75cm (2 21/32") X 0,5cm (3/16"), mille sees on ketas läbimõõduga 6,4cm. MD salvestusmaht on 160MB, mis on ATRAC kompressiooni kasutades piisav 74 minuti helimaterjali salvestamiseks. Saadaval on *MiniDisc*'e juba valmis salvestustega kui ka salvestusvalmis kettaid oma salvestuste tegemiseks.

MD formaad on kasutusel portatiivsetel seadmetel (Sony).

DAT



DAT, vahel ka R-DAT (*Digital Audio Tape*) on 1987. aastal Sony poolt loodud meedium digitaalseks helisalvestuseks. Välimuselt on DAT kassett sarnane tavalisele helikassetile, kasutatakse 4 mm laiust linti, kuid välismõõtmed on umbes 2 korda väiksemad (73 mm X 54 mm X 10,5 mm). Salvestustes kasutatakse 48 kHz, 44,1 kHz või 32 kHz diskreetimissagedust ning 12 või 16-bitist diskreetimissuurust,

kompressiooni ei rakendata. See võimaldab DAT lindile näiteks teha CD-DA andmetest identset koopiat.

DAT seadmete ehitus on sarnane videosalvestusseadmete omale.

DAT standardis kasutatakse nelja salvestusrežiimi: 32 kHz 12-bit; 32 kHz 16-bit; 44,1 kHz 16-bit või 48 kHz 16-bit. Mõned seadmed toetavad ka mittestandardset režiimi 96 kHz 24-bit (HHS). Kõigi režiimide korral kasutatakse sama tüüpi kassetti ning seega mõjutab režiim otseselt võimalikku salvestuse kestust. Näiteks 32 kHz 12-bitise salvestuse korral mahutab 3-tunnine kassett tervelt 6 tundi salvestust aga HHS korral vaid 90 minutit.

DAT toetab stereoheli kõigi režiimide korral ning R-DAT 32 kHz salvestuse korral ka 4-kanaliga heli.

DAT kassette on saadaval pikkusega 15 kuni 180 minutit. 120 minutine kassett sisaldab 60 m pikkust linti. Üle 60 m pikkused linnid kipuvad probleemsed olema, kuna on väga õhukesed. Kuigi standard loodi helisalvestust silmas pidades, on ta ISO DDS (*Digital Data Storage*) standardi läbi võetud kasutusele üldotstarbelise andmekandjana. DDS kassetile saab salvestada 1,3 kuni 72 GB andmeid (sõltuvalt andmekompressioonist), lindi pikkus on 60 kuni 170 meetrit. DDS kassette kasutatakse peamiselt andmetest varukoopiate (*backup*) tegemisel.