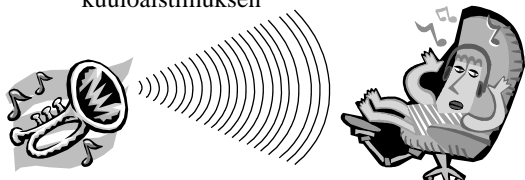


1. Perusteita

1. Äänen fysiikkaa
2. Psykoakustiikka
3. Äänen syntetisointi
4. Samplaus ja kvantisointi
5. Tiedostoformaatit

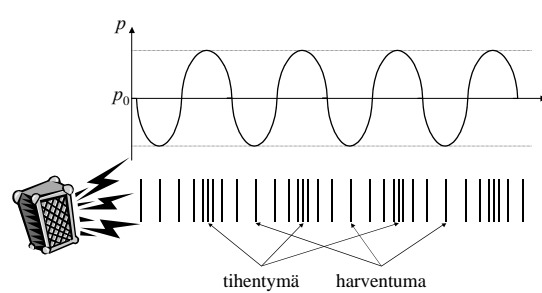
1.1. Äänen fysiikkaa

- *ääni* = väliaineessa etenevä mekaaninen värähtely (aaltoliike), joka saa aikaan kuuloaistimuksen



äänilähde väliaine havaintija

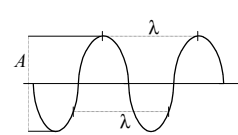
Ääniaalto



tiheytymä (ylipaine) harventuma (alipaine)

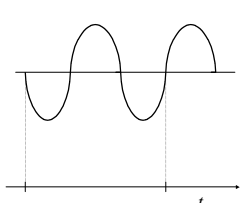
Aallonpituus ja amplitudi

- *aallonpituus, λ*: vastaavien pisteiden etäisyys peräkkäisissä aalloissa
- *amplitudi, A*: värähdysliikkeen laajuus



Taajuus (frequency)

- *taajuus, f*: aaltojen lukumäärä aikayksikköä kohti
- yksikkö: hertsi, Hz = 1/s



Äänen nopeus

- $v = f\lambda$
- riippuu:
 - ◆ väliaineesta
 - ◆ lämpötilasta
- ilmassa:
 - ◆ -10°C: 325 m/s
 - ◆ +10°C: 337 m/s
 - ◆ +20°C: 343 m/s
- eri väliaineissa:
 - ◆ vesi: 1480 m/s
 - ◆ lasi: 5200 m/s
 - ◆ teräs: 5000–5900 m/s
 - ◆ puu: 3000–4000 m/s
 - ◆ CO₂: 259 m/s
 - ◆ He: 965 m/s

Äänen mittayksiköitä

- ääniteho, P
 - ◆ watti, W
 - ◆ mittaetäisyys 1 m
- äänen intensiteetti, $I = P/A$
 - ◆ teho pinta-alayksikköä kohti
- äänenpaine, $p = F/A$:
 - ◆ pascal, Pa = N/m²
 - ◆ mittaetäisyys 1 m

Desibeli (dB)

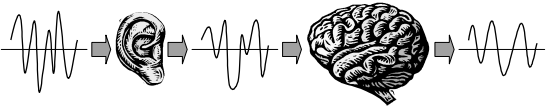
- ilmaisee:
 - ◆ kahden suureen keskinäistä suuruutta
 - ◆ suureen arvoa suhteessa johonkin vertailutasoon
- kahden äänitehon tai intensiteetin suhde:

$$L = 10 \log_{10}(P_1/P_0) \text{ dB} = 10 \log_{10}(I_1/I_0) \text{ dB}$$
- kahden äänenpaineen suhde:

$$L_p = 20 \log_{10}(p_1/p_0) \text{ dB}$$

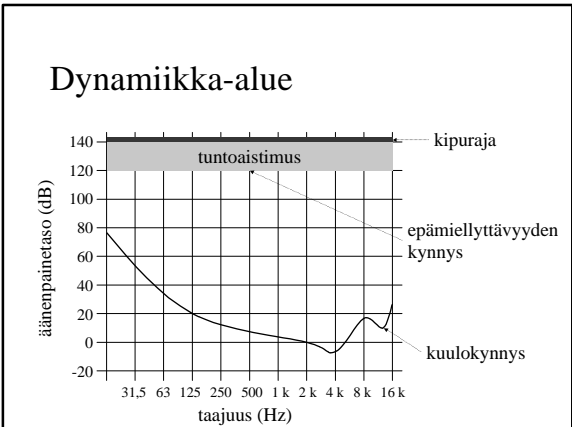
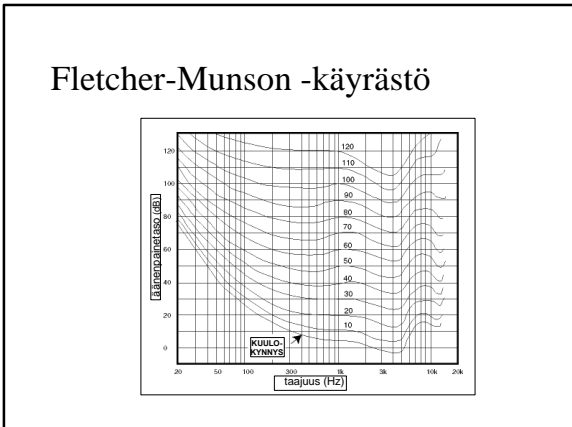
1.2. Psykoakustiikka

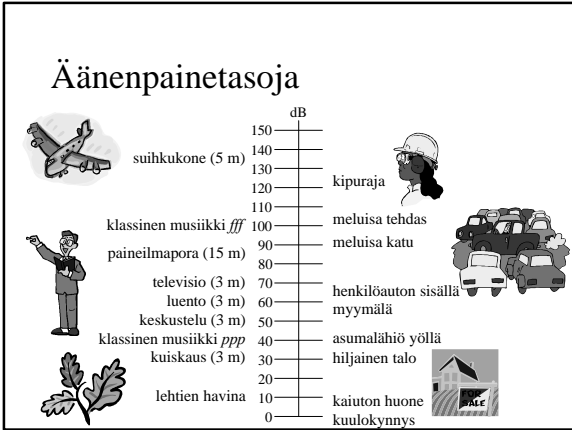
- äänihavaintoon vaikuttavat
 - ◆ kuuloaistin fysiologia
 - ◆ aivojen tulkinta



Äänenvoimakkuuden aistinta

- riippuu:
 - ◆ äänenpaineesta
 - ◆ taajuudesta
- kuuloalue: 20 Hz–20 kHz
 - ◆ herkimmillään 3–4 kHz:ssä
- äänenvoimakkuus eli äänenpaineen taso (*sound pressure level*):
 - ◆ dB SPL = $20 \log_{10}(p_1/p_0)$
 - ◆ $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$






Aivojen äänihavainto

- tarkka äänimuisti on erittäin lyhyt: 1–2 s
- on helppo kuulla sitä mitä haluaa
- on helppo olla kuulematta epätärkeitä pidettyjä ääniä
- Haasin ilmiö: useita yhtäläisiä äänilähteitä kuunnellessa lähin määrää havaitun äänensuunnan
- kriittiset taajuuskaistat: ei havaita yksittäisiä taajuuksia vaan taajuuskaistoja, joissa voimakas ääni voi peittää kaistan hiljaisemmat äänet

Sävelkorkeus (*musical pitch*)

- nuotin sävelkorkeus:
 - ◆ suhteessa taajuuteen
 - ◆ voimakkuus voi vaikuttaa madaltavasti
- standardi sävelkorkeus: 440 Hz = A
- oktaavi (*octave*) = taajuuden kaksinkertaistus
 - ◆ siis 220 Hz = A, 880 Hz = A jne.
- puolisävelaskeleen (*semitone*) taajuussuhde = $\sqrt[12]{2}:1 \approx 1,06:1$

Nuottien taajuudet



Nuotti	Taajuus (Hz)
A	440
G#	415
G	392
F#	370
F	349
D#	330
D	294
C#	277
C (keski-C)	262
b	247
a#	233
a	220

Äänilähteiden taajuusalueita


Äänilähde	Taajuusalue (Hz)
naislaulaja	250–1000
mieslaulaja	100–350
huilu	250–2500
fagotti	60–600
alttosaksofoni	125–650
trumpetti	200–1000
viulu	200–3500
sello	70–600
piano	30–4000
kirkkourut	15–8000
ksylofoni	700–4000

Sointiväri (*timbre*)

- erottaa äänilähteet toisistaan
- syyt:
 - ◆ yläsävelet (*harmonics*)
 - ◆ perustaajuuden harmonisia monikertoja
 - ◆ aluke (*starting transients*)
 - ◆ äänen alkaessa esiintyviä, ei-harmonisia taajuuksia
 - ◆ kestävät 0,01–0,2 s

1.3. Äänen syntetisointi

- olemassa olevien äänen jäljittely
- keinotekoisten äänen luonti



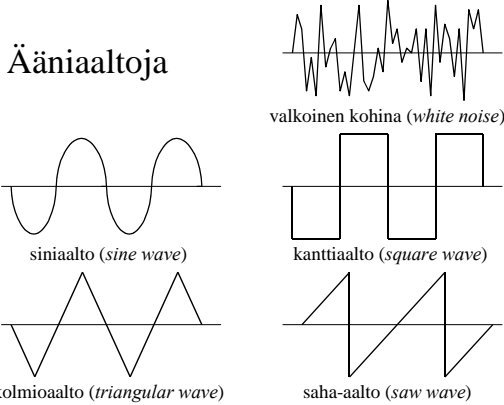
Menetelmiä 1(2)

- aaltomuototaulukkosynteesi (*wavetable*)
 - ◆ samplataan äänilähdettä eri taajuuksilla → aaltomuototaulukko
 - ◆ mikäli haluttua taajuutta ei löydy taulusta, interpoloidaan aaltomuoto
- vähentävä (*subtractive*) synteesi
 - ◆ lähtöaaltomuodossa paljon yläsäveliä
 - ◆ lopullinen sointiväri saadaan suodattamalla pois taajuuksia

Menetelmiä 2(2)

- lisäävä (*additive*) synteesi
 - ◆ summataan yhteen eritaajuisia, -amplitudisia ja -vaiheisia siniaaltoja
- FM-synteesi (*frequency modulation*)
 - ◆ moduloidaan kanta-aallon taajuutta toisella aallolla
 - ◆ muokataan lopullisen aaltomuodon amplitudia verhoikäyrällä
 - ◆ *Sound Forge*: Tools > Synthesis > FM

Ääniaaltoja



siniaalto (*sine wave*)

kolmioaalto (*triangular wave*)

valkoinen kohina (*white noise*)

kantiaalto (*square wave*)

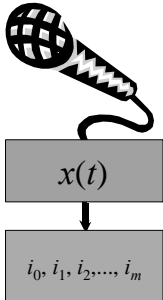
saha-aalto (*saw wave*)

1.4. Samplaus ja kvantisointi

- AD-muunnos: analogisesta digitaaliseksi
- DA-muunnos: digitaalisesta analogiseksi
- digitaalisen esitysmuodon etuja:
 - ◆ kopioitavuus
 - ◆ kohinan vähyys
 - ◆ muokattavuus

AD-muunnos

- hetkellä t mikrofonin kalvon poikkeama on $x(t)$
- kaksi ongelmaa:
 - ◆ t :n diskretisointi: *samplaus*
 - ◆ $x(t)$:n diskretisointi: *kvantisointi*
- kaksi approksimaatiota!



Samplaus (*sampling*) eli näytteistys

Matala samplaustaajuus

Nyquistin taajuus

- $f_s \geq 2 \cdot f_{\max}$
- jos $f_{\max} = 20 \text{ kHz}$, niin $f_s \geq 40 \text{ kHz}$

Kvantisointi (*quantizing*)

- näytearvon pyöristys kokonaislukuun
 - ◆ 8 bittiä: [-128, +127]
 - ◆ 16 bittiä: [-32768, +32767]

Kvantisointi ja dynamiikka?

- orkesterin *fff* = 100 dB
- orkesterin *ppp* = 40 dB
- kvantisoidaan 16 bittiin:

	b_{15}	b_{14}	b_{13}	b_{12}	b_{11}	b_{10}	b_9	b_8	b_7	b_6	b_5	b_4	b_3	b_2	b_1	b_0
etumerkki	<i>ppp</i>															
	<i>fff</i>															

1.5. Tiedostoformatit

- itsensä kuvaavat (*self-describing*)
 - ◆ hierarkinen rakenne
 - ◆ sisältää tietoa esim.
 - ◆ samplaustaajuudesta
 - ◆ kanavien lukumäärästä
 - ◆ käytetty koodauksesta
 - ◆ tekijänoikeuksista
- raa'at (*raw*)
 - ◆ laiteparametrit ja koodaus kiinnitetty
 - ◆ sisältää pelkkää dataa

Yleisiä tiedostomuotoja

<i>Tiedostomuoto</i>	<i>Nimi</i>	<i>Kehittäjä(t)</i>
.aiff, .aif	Audio Interchange File Format	Apple, Electronic Arts
.au, .snd	Sun Audio	Sun, NeXT
.mp2, .mp3	MPEG Audio	Moving Picture Experts Group
.ra, .rm	Real Audio, Real Media	Real Networks
.wav	Windows WAVE, RIFF WAVE	Microsoft, IBM