

Digitaalisen äänenkäsittelyn perusteet

Jouni Smed
jouni.smed@utu.fi

syksy 2006

Yleistä

- laajuus: 5 op. (3 ov.)
- esitiedot: Java-ohjelmoinnin perusteet
- luennot:
 - ◆ keskiviikkoisin 10–12 salissa β
 - ◆ perjantaisin 10–12 salissa β
- kurssin kotisivu:
<http://staff.cs.utu.fi/staff/jouni.smed/dap06/>

Kurssin hyväksytyt suoritus =

1. Ilmoittautuminen 13.11 mennessä
<https://www.it.utu.fi/kurssi-ilmo/>
2. Hyväksytyt harjoitustyöt
3. Hyväksytyt tentit

Tentit

- tenttipäivät
 1. 15.12, sali β, klo 12:00–14:00 (luentotentti)
 2. tammikuussa 2007
 3. helmikuussa 2007
- varmista tenttiaika ja -paikka
<http://www.it.utu.fi/opetus/tentit/>
- muista ilmoittautua ajoissa!

Harjoitustyö 1(2)

- yksin tai 2–3 ryhmässä
- tehtävät julkaistaan viikolla 46
- palautettava 31.12.2006 mennessä
- arvostelu
 - ◆ hylätty, 1–5
 - ◆ lineaarinen tenttibonus:
 - ◆ 1 → ei korotusta
 - ◆ ...
 - ◆ 5 → yhden arvosanan korotus

Harjoitustyö 2(2)

- tehtävissä *Audacity*-ohjelmistolla
 - ◆ saatavana vapaasti
<http://audacity.sourceforge.net/>
 - ◆ alustana Windows, Mac OS X tai Linux/Unix
- tai muulla vastaavalla äänityökalulla
 - ◆ esim. *SoundForge*, *AdobeAudition*...

Kurssin luentoaikataulu

Luento	Pvm.	Aihe
1.	1.11 ke	Johdanto 1(2)
2.	3.11 pe	Johdanto 2(2)
3.	8.11 ke	Voimakkuuteen kohdistuvat operaatiot 1(2)
4.	15.11 ke	Voimakkuuteen kohdistuvat operaatiot 2(2)
5.	17.11 pe	Taajuuteen kohdistuvat operaatiot
6.	22.11 ke	Aikaan kohdistuvat operaatiot
7.	24.11 pe	Aaltomuotoon kohdistuvat operaatiot
8.	29.11 ke	Javan ääniohjelmointi 1(3)
9.	1.12 pe	Javan ääniohjelmointi 2(3)
10.	8.12 pe	Javan ääniohjelmointi 3(3)
11.	15.12 pe	Luentotunti

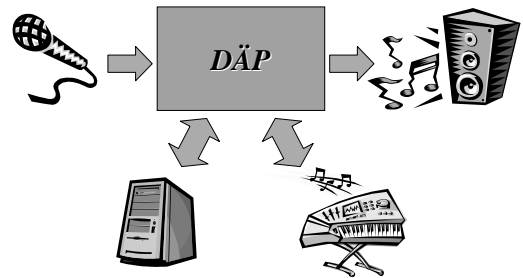
Tavoitteet

- teoreettinen: ymmärtää äänenkäsittelyyn liittyviä käsitteitä
→ mitä *voidaan* tehdä
- käytännöllinen: ymmärtää operaatioiden vaikutus ääneen
→ mitä *pitää* tehdä

Mitä *ei* käsitellä — ainakaan syvällisesti

- äänentoistoa
- akustiikkaa
- äänittämistä
- musiikintekoa
- MIDIä
- signaaliprosessointia
- tiivistämistä
- tiedostoformaattien esitysmuotoa

Kurssin rajapinnat



Sisällys 1(3)

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

Sisällys 2(3)

2. Äänenkäsittelyoperaatiot
 1. Voimakkuus
 2. Taajuus
 3. Aika
 4. Aaltomuoto
 5. Operaatioiden ketjuttaminen

Sisällys 3(3)

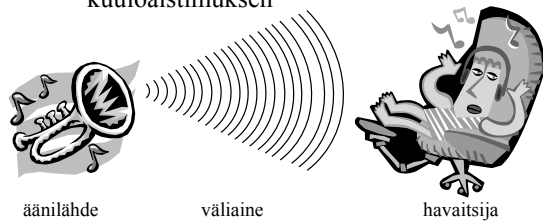
3. Javan ääniohjelmointi
 1. j ava. appl et
 2. j avax. sound. sampl ed

Lähde- ja lisämateriaalia

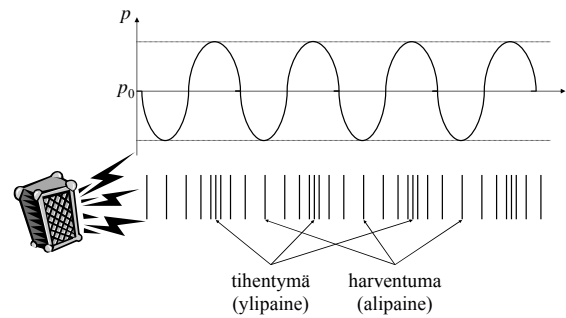
- Curtis Roads: *The Computer Music Tutorial*, The MIT Press, 2000
- Esa Blomberg & Ari Lepoluoto: *Audiokirja*, Tapiolan viestintäsuunnittelu, 1991
- J. Pekka Mäkelä: *Kotistudio*, 2. painos, Like-kustannus, 2003

1.1. Äänen fysiikkaa

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



Ääniaalto

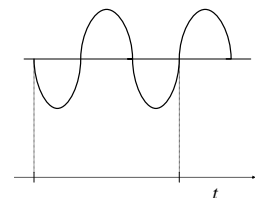


Aaltomuoto



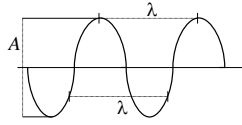
Taajuus (frequency)

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

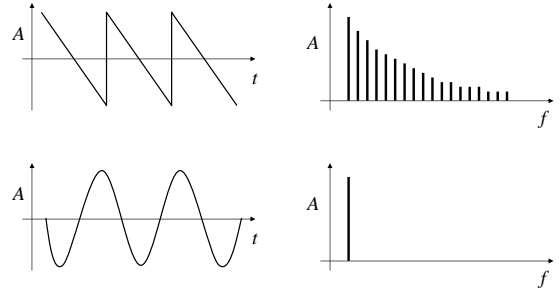


Aallonpituus ja amplitudi

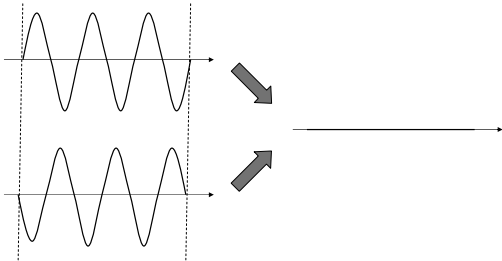
- *aallonpituus*, λ :
vastaavien pisteiden
etäisyys peräkkäisissä
aalloissa
- *amplitudi*, A :
värähdysliikkeen
laajuus



Äänen spektri



Vaihe (*phase*)



Äänen nopeus

- $v = f\lambda$
- riippuu:
 - ◆ väliaineesta
 - ◆ lämpötilasta
- ilmassa:
 - ◆ -10°C : 325 m/s
 - ◆ $+10^{\circ}\text{C}$: 337 m/s
 - ◆ $+20^{\circ}\text{C}$: 343 m/s
- eri väliaineissa:
 - ◆ vesi: 1480 m/s
 - ◆ lasi: 5200 m/s
 - ◆ teräs: 5000–5900 m/s
 - ◆ puu: 3000–4000 m/s
 - ◆ CO_2 : 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:

$$L = 10 \log_{10}(I_1/I_0) \text{ dB}$$

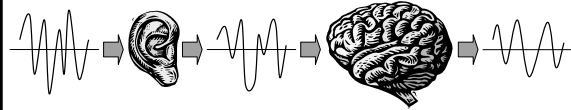
missä I_0 on viitetaso
- huom! mitta ~~asteikko~~ on *logaritminen*

Desibeli äänen mittana

- usein viitetasona käytetään ihmisen kuulokynnystä: $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$
- ihmisen kuuloaistimus on logaritminen
 - ◆ 3 dB:n muutos on havaittavissa
 - ◆ 10 dB:n muutos kuulostaa äänenvoimakkuuden kaksinkertaistumiselta tai puolittumiselta

1.2. Psykoakustiikka

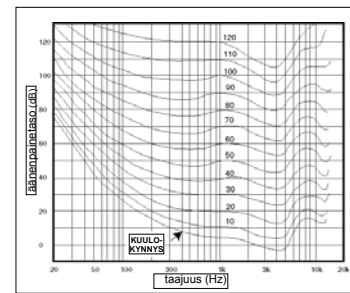
- äänihavaintoon vaikuttavat
 - ◆ kuuloaistin fysiologia
 - ◆ aivojen tulkinta



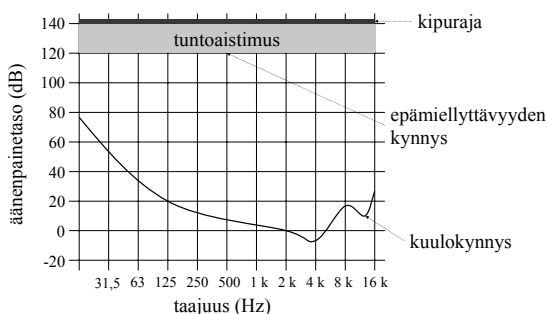
Äänenvoimakkuuden aistinta

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

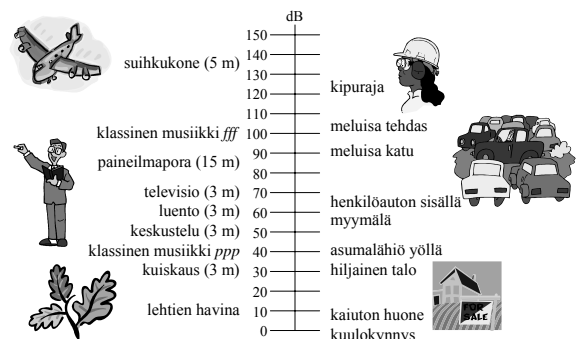
Fletcher-Munson -käyrästä



Dynamiikka-alue



Äänenvoimakkuus



Aivojen äänihavainto

- tarkka äänimuisti on erittäin lyhyt: 1–2 s
- on helppo kuulla sitä mitä haluaa
- on helppo olla kuulematta epätärkeinä 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.
- puolisävelaskelen (*semitone*) taajuussuhde = $^{12}\sqrt{2}:1 \approx 1,06:1$

Nuottien taajuudet



Nuotti	Taajuus (Hz)
A	440
G#	415
G	392
F#	370
F	349
E	330
D#	311
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