

Dynamiikan hallinta

Lähde: Zölzer. "Digital audio signal processing". Wiley & Sons, 2008.
Zölzer (ed.) "DAFX – Digital Audio Effects". Wiley & Sons, 2002.



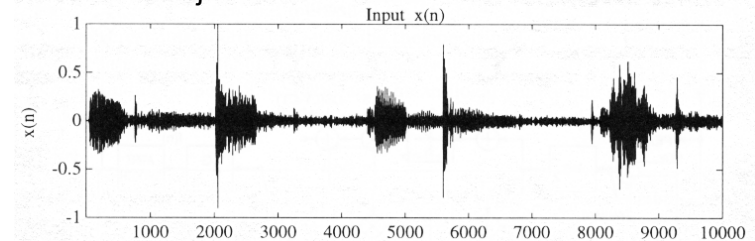
Sisältö:

- Johdanto
- Staattinen käyrä
- Ajallinen käyttäytyminen
- Toteutus
- Stereosignaalit
- Kaistoittainen dynamiikan hallinta

Dynamiikka 2
DA / Klapuri & Virtanen

1 Johdanto

- Luonnollisten äänten äänipainetaso vaihtelee ajallisesti
 - esim. musiikissa ja elokuvissa äänen voimakkuus on tehokeino ja osa sisältöä
 - toisaalta äänitettäessä lähteen etäisyys mikrofoniin voi vaihdella, mikä aiheuttaa haitallista tason vaihtelua
- Toistettaessa dynaaminen alue voi olla taustakohinan tms. takia rajattu



Johdanto: dynamiikan hallinnan sovelluksia

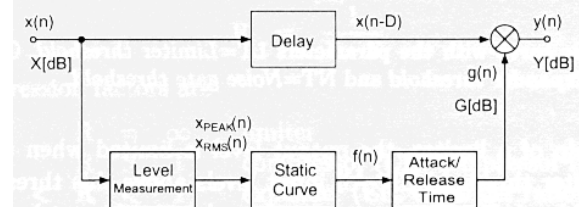
Dynamiikka 3
DA / Klapuri & Virtanen

- **Äänittäessä** pyritään saamaan koko amplitudialue optimaalisesti käyttöön
 - myös suojaamaan AD-muuntimia ylikuormitukselta
- Kohinaportteja käytetään tukahduttamaan matala-amplitudista kohinaa
 - = vain tietyn tason ylittävät audiosignaalit päästetään läpi
- Äänitetuotannossa voidaan rajoittaa voimakkuuden vaihtelua
- Tallennusformaateissa rajattu amplitudialue joka halutaan käyttää optimaalisesti
- **Toistettaessa** musiikkia tai puhetta esim. autossa, dynamiikka täytyy sovittaa taustakohinan ominaisuuksiin
 - kuuntelu helpottuu / käy mahdolliseksi

Johdanto

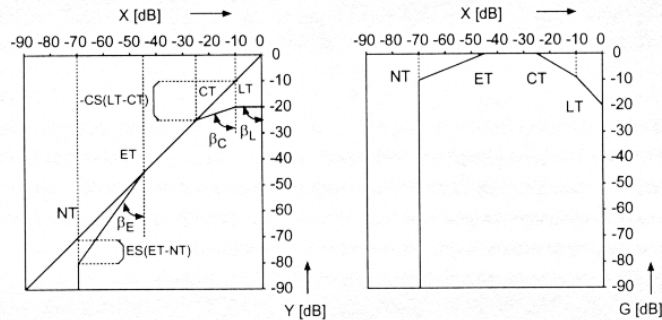
Dynamiikka 4
DA / Klapuri & Virtanen

- Kuva: lohkokkaavio dynaamisen alueen hallinnasta
 1. Mitataan sisääntulon taso
 2. Kerrotaan viivästettyä sisääntulosignaalia tekijällä $g(n)$
$$y(n) = g(n) \cdot x(n - D)$$
- Signaalin $x(n)$ viivästys säätösignaaliin $g(n)$ nähden mahdollistaa "ennustavan" tason säädön (vahvistus ehtii laskea ennen pamausta)
- Tasotekijän (gain factor) $g(n)$ arvo muodostuu kahdessa lohkoissa
 - staattisesta käyrästä katsotaan sisääntulotasoa vastaava ulostulotasoa
 - arvojen $g(n)$ vaihtelua pehmennetään ajan yli alipäästösuoittamalla



2 Staattinen käyrä

- Kuva: suhteen sisääntulon tason ja vahvistuksen tason välillä määräävä staattinen tasokäyrä $G[\text{dB}] = f(X[\text{dB}])$
 - ulostulon taso ja vahvistuksen taso ovat sisääntulotason funktioita
 - kynnsarvot (thresholds): LT =limitterin kynnsarvo, CT =kompressorin, ET =ekspanderin, NT =kohinaportin (noise gate)



Staattinen käyrä 2.1 Toiminta-alueet

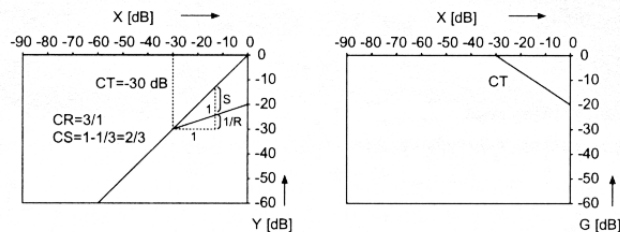
- **Limitteri** rajoittaa ulostulon tasoa, kun sisääntulon taso ylittää kynnyksen LT
 - kaikki tasot kynnyksen yläpuolella johtavat vakioulostulotasoon
- **Kompressor** kuvaa muutoksen sisääntulotasossa pienemmäksi muutokseksi ulostulon tasossa
- **Ekspanderi** kasvattaa sisääntulon muutoksia suuremmiksi muutoksiksi ulostulon tasossa
- **Kohinaporttia** käytetään matalatasoisten signaalien tukahduttamiseen ja kohinan vähentämisen
- Kynnsarvot eri kohdissa staattista käyrää määräävät alarajan limitterille ja kompressorin toiminta-alueelle, sekä ylärajan ekspanderin ja kohinaportin toiminta-alueelle

Staattinen käyrä 2.2 Kompressiosuhde

- **Kompressiosuhde** voidaan lukea staattisen käyrän logaritmisesta esitysmuodosta: sisääntulon tason muutoksen ΔP_i suhde ulostulon tason muutokseen ΔP_o

$$R = \Delta P_i / \Delta P_o$$

- Tyypillisiä kompressiosuhteita: $R = \infty$ (limitteri), $R > 1$ (kompressor), $0 < R < 1$ (ekspanderi), $R = 0$ (kohinaportti kynnyksen kohdalla)



Staattinen käyrä Kompressiosuhde

- Kuvasta: suoran yhtälö $Y = CT + (1/R) \cdot (X - CT)$ ja kompressiosuhde $R = (X - CT)/(Y - CT)$
 - CT on sisääntulon kynnystaso (dB), josta kompressio alkaa
- Siirtymällä logaritmisesta lineaariseen esitykseen saadaan

$$R = \frac{\log_{10}(x/c_T)}{\log_{10}(y/c_T)}$$

missä x ja y ovat lineaariset tasot, ja c_T on lineaarinen kompressiokynnys

- Tästä voidaan ratkaista lineaarinen ulostulotaso y sisääntulotason x funktiona

$$y/c_T = 10^{(1/R) \cdot \log_{10}(x/c_T)} = (x/c_T)^{1/R}$$

$$y = c_T^{1-1/R} \cdot x^{1/R}$$

- Sääteotekijä $g(n)$ saadaan laskettua osamäärästä

$$g(n) = y/x = (x/c_T)^{1/R-1}$$

3 Ajallinen käyttäytyminen

- Staattisen käyrän mukaisen tason säädön ohella säätötekijän aikakäyttäytymisellä (*nousu- ja laskuaika*) on merkittävä rooli äänenlaadussa
- Sisääntulosignaalin tason mittaamisen nopeus PEAK- tai RMS-algoritmeilla vaikuttaa suoraan myös dynamiikan hallinnan nopeuteen kokonaisuutena
- Näistä tarkastellaan ensin jälkimmäistä kohtaa: tason mittaamista, sitten nousu- ja laskuaikojen hallintaa suodattamalla säätötekijän arvoja ajan yli

Ajallinen käyttäytyminen 3.1 Tason mittaaminen

- Tason mittaamiseen on kaksi yksinkertaista ja laajalti käytössä olevaa menetelmää, PEAK ja RMS
 - funktionaalisesti keskenään vaihdannaisia (sama tehtävä)
 - kuitenkin PEAK:ia käytetään tyypillisesti limiterissä, RMS:ää taas kompressorissa, ekspanderissa ja kohinaportissa
- Sisääntuloa merkitään $x(n)$
- **PEAK-algoritmi** (tuottaa tasosuureen $x_{peak}(n)$):
 - painokerroin AT määrää nousuajan (attack time), kerroin RT laskuajan (release time)
 - 1. $x_{peak}(n) = (1 - RT) \cdot x_{peak}(n - 1)$
 - 2. if $|x(n)| > x_{peak}(n)$:

$$x_{peak}(n) = x_{peak}(n) + AT \cdot [|x(n)| - x_{peak}(n - 1)]$$
- **RMS-algoritmi** (tuottaa tasosuureen $x_{rms}(n)$):
 - sisääntulon nelio, keskiarvotus ensimmäisen asteen alipäästösuotimella
 - keskiarvotuksen ajallisen pituuden määrää kerroin TAV
 - 1. $x_{rms}^2(n) = (1 - TAV) \cdot x_{rms}^2(n - 1) + TAV \cdot [x(n)]^2$

Ajallinen käyttäytyminen

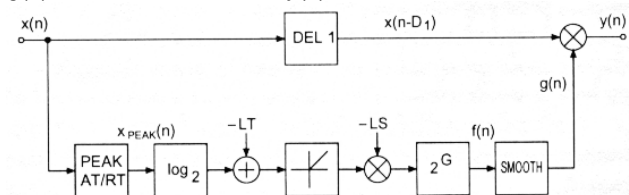
3.2 Tasotekijän pehmentäminen

- Nousu- ja laskuajat voidaan toteuttaa myös pehmentämällä säätötekijän arvojen ajallista vaihtelua
- 1. Verrataan alkuperäistä säätötekijää $f(n)$ sen edelliseen arvoon (säätötekijä on laskettu käyttäen staattista käyrää, merkittiin $g(n)$ edellä)
 - päätetään, onko säätötekijä nousu- vai laskuvaiheessa
 - palautetaan tämän mukaisesti muuttujalle k joko arvo AT tai RT
- 2. Tasotekijän arvo saadaan suodattamalla säätötekijän arvoja ensimmäisen asteen alipäästösuotimella:

$$g(n) = (1 - k) \cdot g(n - 1) + k \cdot f(n)$$

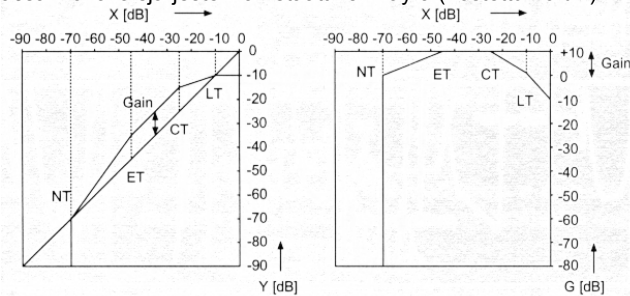
4 Toteutus 4.1 Esimerkki: limiteri

- Kuva: limiterin lohkokaavio
- 1. sisääntulosignaalia $x(n)$ mitataan PEAK-algoritmilla taso $x_{peak}(n)$
- 2. arvoa $\log_2[x_{peak}(n)]$ verrataan limiterin kynnysarvoon LT
- 3. jos kynnysarvo ylittyy, eli erotus on positiivinen
 - erotus kerrotaan limiterin negatiivisella kulmakertoimella $-LS$
 - otetaan käänteinen logaritmi 2^G
 - näin saatua säätötekijää $f(n)$ pehmentetään ensimmäisen asteen alipäästösuotimella SMOOTH
- 4. mikäli kynnysarvo ei ylity, signaali $f(n)$ asetetaan arvoon 1.
- 5. viivästetty sisääntulo $x(n - D_1)$ kerrotaan pehennetyllä säätötekijällä $g(n)$. Näin saadaan ulostulo $y(n)$



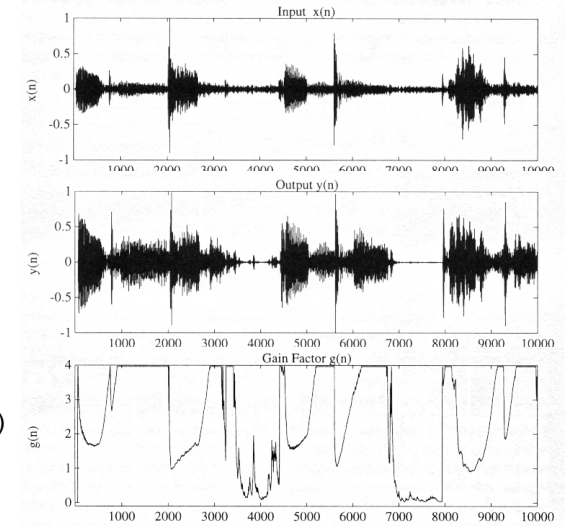
4.2 Kokonaisjärjestelmä

- Kompressorin, ekspanderin ja kohinaportin perusrakenne on sama kuin limiterin tapauksessa
 - tasosuureena voidaan käyttää myös RMS-pohjaista arvoa $0.5 \cdot \log_2[x_{rms}(n)]$
- Käytännön toteutus on kaskadi osista, joista jokainen toteuttaa yhden perusoperaation (limitointi/kompressio/ekspandointi)
 - jokaiselle lohkolle voidaan valita sopivat parametrit
 - koska maksimitasoa rajoitetaan limiterillä, staattista käyrää kokonaisuudessaan voidaan siirtää ylöspäin vakiovahvistuksella
- Kuvassa: kokonaisjärjestelmän staattinen käyrä (nostettu 10 dB)



Kokonaisjärjestelmä: esimerkki

- Kuva:
 - sisääntulo $x(n)$
 - ulostulo $y(n)$
 - säätötekijä $g(n)$



Kokonaisjärjestelmä: esimerkki

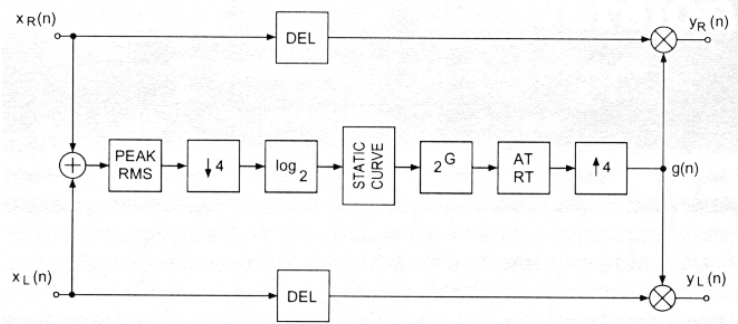
- Havaitaan, että korkeilla amplitudeilla järjestelmä kompressoii, ja matalilla amplitudeilla ekspandoi
 - lisäksi saadaan vahvistusta 12 dB (säätötekijän maksimi-arvo 4)
 - $g(n) = 4$: toimitaan *linearisella* alueella
 - $1 < g(n) < 4$: *kompressoidaan*
 - saavutetaan kokonaisuudessaan äänekkäämpi signaali
 - $0 < g(n) < 1$: *ekspandoidaan*
 - pieniamplitudisten signaalien dynaaminen alue laajenee
 - kohinaportin toimintaa ei näy esimerkissä
- Huomaa: säätötekijä todellakin *vaimentaa* myös ekspandoitavaa osaa signaalista (jolle kokonaistason +12 dB vahvistusta huomioida)
 - näin kompressiosuhde $R = \Delta P_i / \Delta P_o$ saadaan 1:stä suuremmaksi, eli *muutokset* sisääntulossa kuvautuvat suuremmiksi muutoksiksi
 - tämä käy ilmi G [dB]:n kuvaajasta sivulla 4.3

4.3 Laskennallisia näkökohtia

- Tasosignaalien $x_{peak}(n)$ ja $x_{rms}(n)$ näytteistystaajuutta voidaan huoletta laskea kertoimella neljä
 - koska signaalit ovat luonteeltaan valmiiksi kaistarajoittuneita, voidaan yksinkertaisesti poimia joka neljäs arvo
- Laskenta voidaan lomittaa seuraavasti:
 - tasot PEAK/RMS päivitetään jokaiselle sisääntulonäytteelle
 - seuraavia moduleita suoritetaan vuorotellen joka neljäs jakso: (1) LD(x): logaritmi, (2) CURVE: staattinen käyrä, (3) 2^x : käänteinen logaritmi, (4) SMO: säätötekijän pehennys
 - säätötekijän arvoja interpoloidaan toistamalla kutakin 4 kertaa, ja tekemällä sisääntulosignaalin kertominen (MULT) ulostuloon

5 Stereosignaalit

- Stereokanaville tarvitaan yhteinen säätötekijä $g(n)$
 - näin stereotasapaino ei vinoudu
 - sisääntulosignaalin taso mitataan kanavien keskiarvosta
- Kuva: stereon dynamiikan säätö



6 Kaistoittainen dynamiikan hallinta

- Kompleksisia signaaleja prosessoitaessa dynamiikan hallintaa voidaan tehdä taajuuskaistoittain
- Esim. 4-kaistainen suodatinpankki, kompressio kullekin kaistalle erikseen
- De-esser: dynamiikan hallinta sibilanttien (s-äänne) taajuusalueelle (n. 5 kHz)