

<https://helda.helsinki.fi>

Fourier-muunnos ja spektrianalyysikuvaajien tulkinta musiikintutkimuksessa, osa 2

Lassfolk, Kai

2014

Lassfolk , K 2014 , ' Fourier-muunnos ja spektrianalyysikuvaajien tulkinta
musiikintutkimuksessa, osa 2 ' , Musiikin suunta : Suomen etnomusikologinen seura ry:n
julkaisema musiikkialan tieteellinen mielipidelehti , Vuosikerta. 36 , Nro 1 , Sivut 67 .

<http://hdl.handle.net/10138/231786>

unspecified
publishedVersion

Downloaded from Helda, University of Helsinki institutional repository.

This is an electronic reprint of the original article.

This reprint may differ from the original in pagination and typographic detail.

Please cite the original version.



KAI LASSFOLK
FT, yliopistonlehtori, Helsingin yliopisto

Musiikintutkijan työkalupakki

FOURIER-MUUNNOS JA SPEKTRI- ANALYYSIKUVAAJIEN TULKINTA MUSIIKINTUTKIMUKSESSA, OSA 2

SPEKTRIANALYYSIN musiikintutkimuksellista käyttöä käsittelevän artikkelisarjan tässä osassa keskitytään Fourier-analyysillä tuotettujen graafisten kuvaajien ominaisuuksiin ja tulkintaan. Ominaisuuksista tulevat esiin kuvaajien esitystarkkuuteen ja muotoon liittyvät parametrit ja niiden suhde käyttötarkoitukseen. Kuvaajien tulkinta on spektrianalyysia hyödyntävän tutkimuksen haastavin ja samalla tutkijalle mielenkiintoisin osuus.

Sarjan edellisessä osassa (ks. *Musiikin suunta* 1/2013) esiteltiin Fourier-analyysin perusominaisuudet, tyypilliset kuvaajatyypit ja analyysin tarkkuuteen vaikuttavat parametrit. Tulosten graafiseen kuvaamiseen liittyy kuitenkin varsinaiseen Fourier-muunnokseen kuulumattomia parametreja, joilla voidaan säätää esitystarkkuutta tai rajata analyysidatasta osakokonaisuuksia. Nämä ominaisuudet ovat analyysin teon ja havainnollistamisen kannalta usein yhtä tärkeitä kuin itse Fourier-muunnos.

Spektrianalyysikuvaajien ehkä suurin arvo musiikintutkijoille on, että ne tarjoavat korvin havaittavalle äänisignaaliin vaihtoehtoisen, visuaalisen representaation. Ne voivat tuoda signaalista esiin yksityiskohtia, joita on vaikea havaita pelkästään kuuntelemalla. Kuvaajat auttavat soivan musiikin analyysissä tarjoamalla subjektiivista ja yleensä moniselitteistä sanallista kuvailua täsmällisemmän, objektiivisen havainnollistamismene-

telmän. Kuten mikä tahansa muukin kuva, spektrianalyysikuvaaja vaatii silti sanallisen tulkinnan, varsinkin musiikkianalyysisessä käytössä.

Spektrianalyysillä on myös tärkeä välillinen funktio analyytin kuuntelun harjoittamisessa. Graafisten kuvaajien tarkastelu musiikkia kuunnellessa palvelee musiikkianalyysia perinteisen partituurin katselun tavoin, vaikka kuvaustapojen informaatioisältö onkin erilainen. Analyytin kuuntelu auttaa vastavuoroisesti myös spektrianalyysien lukemisessa: myös näköhavainto tarkentuu, kun apuna on toinen rinnakkainen aisti.

Musiikkisignaalia on hankala kuvata samaan aikaan sekä tarkasti että kattavasti. Rajoina ovat niin tietokoneen tai tulostimen graafinen erottelutarkkuus kuin näköaistin rajat. Spektrianalyysin käyttö vaatiiikin yleensä useiden eri kuvaustapojen ja säätöjen kokeilemistä optimaalisen tuloksen saavuttamiseksi. Käytännöllinen työtapana on tarkentuva ja kertautuva analyysi, jossa lähdetään karkeasta yleistason kuvauksesta ja tarkennetaan kuvausta tutkimuksen kannalta tärkeimpiin musiikkisignaalin osiin. Kertaamalla voidaan varmistaa analyysin toistettavuus. Kokeilemalla hieman erilaisia parametriasetuksia tai kuvaajan rajaustapaa voidaan puolestaan tarkistaa, ettei jokin yllättävä ominaispiirre kuvaajassa johdu analyysimenetelmän artefakteista (ks. esim. Oppenheim ym. 1999, 725-727).

Fourier-muunnoksen ja graafisten kuvaajien parametrit

Jos edellisessä osassa esitellyt äänisignaalin digitointivaiheen tekijät rajataan pois, analyysiprosessin parametrit voidaan luokitella seuraavasti:

1. Fourier-muunnoksen parametrit

- a. Ikkunan pituus
- b. Painotusfunktion tyyppi (ja mahdolliset lisäparametrit)
- c. Fourier-pisteiden määrä
- d. Signaalijakson pituus tai ikkunoiden määrä (spektrogrammeissa)
- e. Ikkunoiden limityksen määrä (spektrogrammeissa)

2. Graafiset parametrit

- a. Taajuusakselin lineaarinen/logaritminen skaalaus
- b. Magnitudiakselin lineaarinen/logaritminen skaalaus
- c. Taajuusakselin rajausta
- d. Magnitudiakselin rajausta/normisointi
- e. Katselukulman säätö (3D-spektrogrammeissa)

Näistä Fourier-muunnoksen parametrit selostettiin pääosin edellisessä osassa. Joidenkin painotusfunktioiden muotoa, esimerkiksi Kaiser-ikkunaa (Oppenheim ym. 1999: 474-478), voidaan säätää omilla parametreillaan. Yleisimmin käytettyjen Hamming- ja Hanning-ikkunoiden parametrina on ainoastaan ikkunan pituus.

Parametreista keskitytään ensin 2-ulotteisten magnitudispektrogrammien parametreihin. Aika-akselin sisältäviä spektrogrammeja käsitellään jäljempänä.

2-ulotteisten magnitudispektrogrammien graafiset parametrit

2-ulotteisella magnitudispektrogrammilla saadaan tietoa äänisignaalin rajallisesta aikajaksosta, joka määräytyy aikaikkunan pituuden ja painotusfunktion ominaisuuksien perusteella. Tietoa saadaan äänen sävystä, voimakkuudesta, harmonisuuden ja epäharmonisuuden suhteista sekä mahdollisesta sävelkorkeudesta. Suurin osa kuvaajien esitystarkkuudesta ja ominaisuuksista määräytyy Fourier-analyysin parametrien perusteella. Tärkeimmät graafiset parametrit ovat kuvaajan taajuus- ja

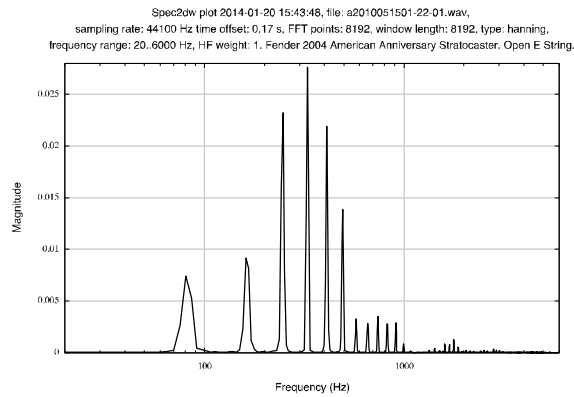
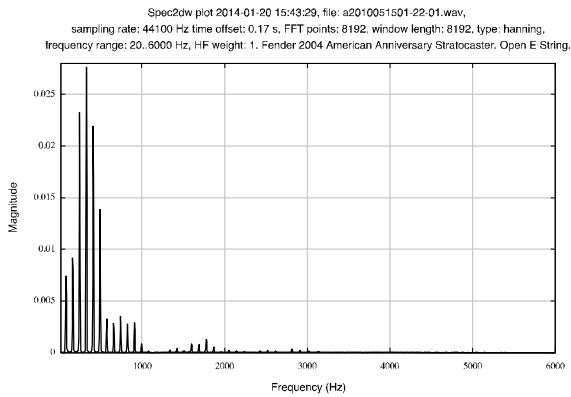
magnitudiakselien skaalaustavat sekä taajuusakselin rajausta.

Koska Fourier-muunnos jakaa signaalin taajuusalueen lineaarisesti Fourier-pisteiksi, myös tästä suoraan johdetun magnitudivasteen graafinen kuvaaja on taajuuden suhteen lineaarinen. Samoin itse magnitudiarvot ovat suuruudeltaan lineaarisesti jakautuneet ja skaalattu tyypillisesti 0:n ja 1:n välille. Graafisessa kuvauksessa on usein havainnollisempaa skaalata jompikumpi tai molemmat parametrit logaritmisesti. Kuvassa 1 on esitetty saman signaalin 2-ulotteisen magnitudispektrogrammin neljä eri tavoin skaalattua esitystä: a) sekä taajuus- eli vaakakseli että magnitudi- eli pystyakseli lineaarisesti skaalattuna, b), taajuusakseli logaritmisesti ja magnitudiakseli lineaarisesti skaalattuna, c) taajuusakseli lineaarisesti ja magnitudiakseli logaritmisesti skaalattuna sekä d) molemmat akselit logaritmisesti skaalattuna.

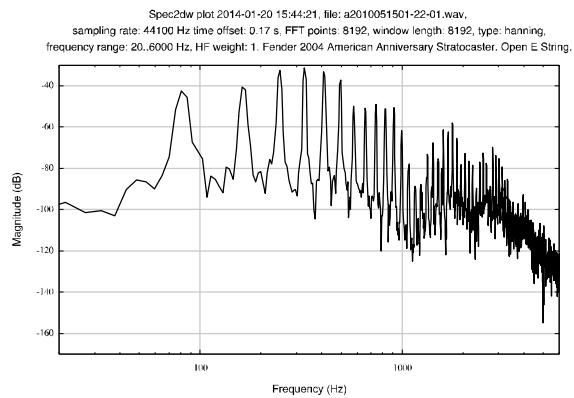
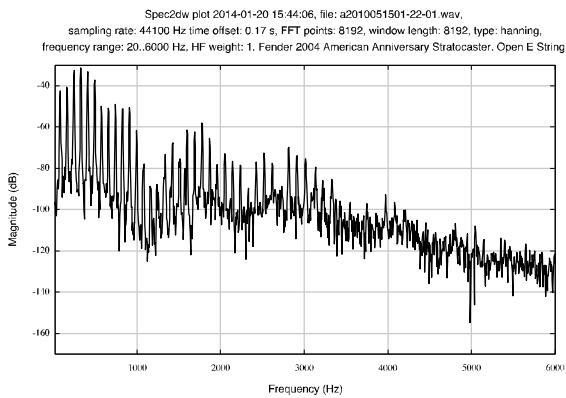
Logaritmisesta skaalausta käytetään yleensä siksi että se vastaa karkeasti kuuloaistin erottelutarkkuutta sekä taajuuden että amplitudin osalta. Logaritmisella taajuusakselilla spektrin komponentit jakautuvat samassa suhteessa kuin säveltasot: tietyn intervallin, esimerkiksi terassin tai oktaavin päässä toisistaan olevat yläsävelet ovat yhtä etäällä toisistaan riippumatta siitä, millä kohtaa taajuusakselia ne sijaitsevat. Linearisessa skaalauksessa intervallisuhteet näkyvät sitä laajempina, mitä ylempäs taajuusakselilla siirrytään.

Vastaavasti magnitudiakselin logaritminen skaalaus vastaa desibeliasteikon käyttäytymistä eli kuulon havaitsemien voimakkuussuhteiden muutokset näkyvät samansuuruisina riippumatta siitä, millä kohdalla magnitudiasteikkoa ne sijaitsevat. Tärkeänä etuna on myös, että hyvin korkeat osasävelet tulevat kuvaajissa selvemmin esiin kuin lineaarisesti skaalattuina, missä ne jäävät jopa kokonaan näkymättömiin.

Käytännön työssä lineaarinen skaalaus on silti usein logaritmisesta havainnollisempi. Esimerkiksi harmoniset yläsävelrakenteet jakautuvat lineaarisesti skaalattuisissa kuvaajissa taajuusakselille tasavälein, jolloin ne on helppo hahmottaa kokonaisuuksiksi ja erottaa muusta äänisignaalista. Lineaarista magnitudiakselin skaalausta käytettäessä alimmat, musiikkisignaalin informaation kannalta usein tärkeimmät osasävelet



Kuva 1. Stratocaster-sähkökitaran magnitudispektri neljällä eri tavalla skaalattuna.



erottuvat pohjakohinasta usein selvemmin kuin logaritmisesti skaalattuina.

Spektrianalyysiohjelmat *normalisoivat* magnitudi-akselin useimmiten siten, että tämän ylä- ja/tai alarajat asetetaan vastaamaan voimakkaimman ja joko nollan tai hiljaisimman magnitudin arvoa. Tämä on usein käytännöllinen ominaisuus. Kuitenkin vertailtaessa eri signaalien voimakkuuseroja magnitudiakselin rajaaminen käsin voi olla tarpeellinen ominaisuus. Näin magnitudiakseli voidaan vakioida eri signaalien kesken.

Vielä tarpeellisempi ja myös yleisempi ominaisuus on taajuusakselin rajaaminen. Musiikkisignaaleissa suurin informaatioarvo sijoittuu usein akustisten soittimi-

en perustaajuuksien alueelle eli noin 5 kilohertsin alapuolelle. Taajuusalueen rajaamisella kuvaajaan saadaan mahtumaan enemmän informaatiota varsinkin suoraan tietokoneen näytöltä luettaessa. Taajuusalueen rajauksesta on usein hyötyä myös painetuissa kuvaajissa. Kuvassa 1 taajuusalue on rajattu 20..6000 hertsiin. Tätä korkeammilla taajuuksilla kitaravahtimella vahvistetun sähkökitaran tuottama signaali koostuu lähinnä kohinasta.

Spektrogrammien erityispiirteet

Spektrogrammeissa kuvataan taajuus- ja magnituditie-

kuvauksessa aika-akselin tuoma kolmas ulottuvuus asettaa haasteita suuren tietomäärän vuoksi.

Spektrogrammit koostetaan useista peräkkäisistä ikkunoista, joille jokaiselle tehdään Fourier-muunnos. Peräkkäiset ikkunat ovat yleensä lomittain, jottei signaaliin jäisi katvealueita. Näitä syntyy, jos uusi ikkuna alkaa vasta edellisen jälkeen, koska painotusfunktio tyypillisesti häivyttää ikkunan alku- ja loppupuolen. Yleinen lomitussuhde on 1:2 eli seuraava ikkuna alkaa edellisen puolivälistä eli kohdasta, jossa edellisen ikkunan painotusfunktio on voimakkaimmillaan ja seuraavan hiljaisimmillaan. Esimerkiksi Hanning-ikkunaa käytettäessä näin saadaan analysoitua jokainen ääninäyte vähintään yhdessä ikkunassa. Käytännön ohjelmatoteutuksissa lomitussuhde säädetään joko kertoimena (esim. niin että kerroin 2 tarkoittaa lomitussuhdetta 1:2, 4 suhdetta 1:4 jne.) tai näytteiden määränä siten, että seuraava ikkuna alkaa tietyn näytemäärän kuluttua edellisen ikkunan alusta. Tällöin esimerkiksi lomitussuhde 1:2 saadaan asettamalla lomitussuhteen arvoksi puolet ikkunan pituudesta.

Toinen spektrogrammien ominaisparametri on analysoitavan signaalijakson pituus, joka määritellään yleensä jollakin aikayksiköllä, esimerkiksi sekunneissa. Tämä määrää välillisesti yhdessä lomituskertoimen kanssa spektrogrammin tuottamiseen tarvittavien ikkunoiden lukumäärän.

Kolmiulotteisessa kuvaustavassa akseleina ovat tajuuden ja magnitudin lisäksi aika. Yleisin tapa on kuvata magnitudi pystytasolla, taajuus vaakatasolla ja aika viistosti etuvasemmalta takaoikealle. Tällaista kuvaajaa kutsutaan myös vesiputousdiagrammiksi yleisen graafisen ilmeensä vuoksi. Kuvaaja koostuu sarjasta peräkkäisiä magnitudispektrejä, jotka jäävät osin toistensa peittoon. Peräkkäisten ikkunoiden toisiaan vastaavien Fourier-pisteiden magnitudiarvojen väliin piirretään yleensä myös viivat, mikä luo kuvaajaan verkkomaisen rakenteen. Joissakin kuvaustavoissa verkon muodostamat neliöt voidaan myös täyttää väreillä ja muodostaa näin yhtenäinen poimuileva pinta.

Kolmiulotteisten kuvaajien sisältämä suuri tiedon määrä asettaa kuitenkin haasteita kuvakulman ja muiden graafisten parametrien säätämiseksi. Kolmiulottei-

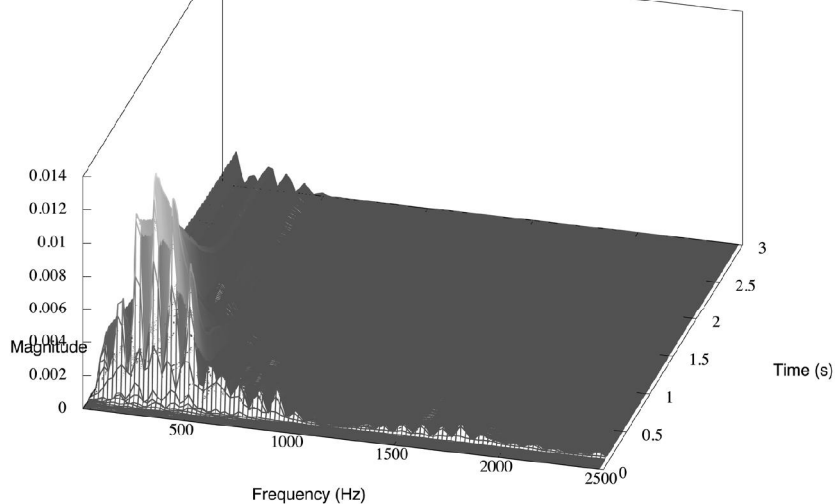
set kuvaajat ovatkin hankalia pitkien signaalijaksojen analysoimisessa. Aikajakson rajauksen lisäksi taajuusvasteen rajaukselle on usein tarvetta kuvattavan tiedon vähentämiseksi.

Kuvakulman säätäminen on myös tärkeä osa kolmiulotteisessa kuvauksessa. Kun kuvaajaa katsellaan enemmän yläviistosta, ajassa tapahtuvat muutokset tulevat selvemmin esiin ja samalla voidaan tarkastella pidempiä signaalijaksoja. Tällöin kuitenkin magnituditiedosta alkavat kadota yksityiskohdat, koska magnitudien huiput näkyvät matalampina kuin enemmän etuviistosta katseltaessa. Myös kääntämällä aika-akseli etenemään kuvaajan taka-alalta etualalle voidaan tehostaa erityisesti signaalin vaimenemista. Tätä kuvaustapaa käytetään esimerkiksi huoneakustiikan mittauksessa kuvaamaan huonetilan jälkikaiuntaa. Magnitudin kuvausta voidaan tehostaa harmaasävyskaalan tai värispektrin käytöllä. Tietokone- ja paperitulostus saattavat vaatia keskenään erilaisen sävyskaalan käyttöä.

3-ulotteiset spektrogrammit soveltuvat parhaiten lyhyiden, alle sekunnin tai joidenkin sekuntien mittaisten jaksojen analysointiin. Näitä ovat esimerkiksi soitinään-ten alukkeet tai muut lyhyet muutokset musiikkisignaaleissa. Kuvassa 2 on spektrogrammi Stratocaster-sähkökitaran näppäilyyn vapaan E-kielen alukkeesta. Kuvaajan taajuusalue on rajattu välille 20..2500 Hz ja kestoksi on asetettu 3 sekuntia. Kuvaaja tuo esiin, miten näppäilyyn kielen synnyttämä äänitapahtuma koostuu kolmesta vaiheesta: terävästä kirkassointisesta alukkeesta (engl. *Attack*), tätä seuraavasta yläsävelten nopeasta vaimenemisesta (*Decay*) ja stationäärisestä vaiheesta (*Sustain*), jossa tapahtuu vain vähän soinnillista muutosta (ilmiöstä lähemmin ks. Lassfolk 2013). Sekä kuvaajan taajuus- että aika-akseli on rajattu tiukasti, jotta kuvaaja olisi luettavissa niin, että tutkittavan ilmiön havainnollistamisen kannalta keskeiset piirteet saadaan mukaan.

Suuren tietomäärän vuoksi kolmiulotteisten kuvaajien tuottaminen ja käsittely on laskennallisesti huomattavasti raskaampi tehtävä kuin kaksiulotteisten spektrien tai oskillogrammien käyttö. Käytännön työskentelyssä kuvaajan rajaaminen ja Fourier-muunnoksen tarkkuuden säätäminen voi vaikuttaa työskentelynopeuteen huomattavasti analyysi-ohjelmiston ja tietokone-

Spec3dw plot 2014-01-20 15:57:13, file: a2010051501-22-01.wav,
 sampling rate: 44100 Hz, FFT points: 2048, window length: 2048, type: hanning, increment: 512,
 frequency range: 20..2500 Hz, HF weight: 1. Fender.2004 American Anniversary Stratocaster. Open E String.



Kuva 2. 3D-spektrogrammi Stratocaster-sähkökitaran vapaan E-kielen aluksesta.

laitteiston suorituskyvystä riippuen. Vaikka taajuusakselin rajaaminen ei nopeuta itse Fourier-muunnoksen suorittamista, graafisten kuvaajien tuottaminen voi nopeutua selvästi, varsinkin kolmiulotteisessa kuvauksessa.

Havainnollisin kuvaustapa on tässäkin haettava usein tapauskohtaisesti kokeilemalla. Monipuoliset säätömahdollisuudet sekä kuvakulman että magnitudiarvojen sävytykseen ovatkin toivottavia analyysiohjelman ominaisuuksia. Sopivan kuvaustavan löydyttyä parametrit on puolestaan dokumentoitava yksityiskohtaisesti toistettavuuden vuoksi.

Sonogrammi

Sonogrammi tarjoaa käytännöllisen ratkaisun kolmiulotteisten kuvaajien ongelmiin varsinkin pitkien signaalijaksojen, esimerkiksi kokonaisten musiikkikappaleiden analysoinnissa. Niissä magnitudiakseli on korvattu tummentumilla tai värisävyillä ja katselu tapahtuu täysin ”ylhäältä” päin niin että taajuus kuvautuu pystyakselilla ja aika vaak-

akselilla. Magnitudiarvojen esitystarkkuudesta tingitään kolmiulotteisiin kuvaajiin verrattuna.

Sonogrammien pelkistetty kuvaustapa on kuitenkin riittävä varsin moniin musiikkianalyysiin tarkoitukseen ja onkin niissä ehkä käytetyin spektrianalyttinen havainnollistamismenetelmä. Sonogrammien tuottaminen on myös tietokoneelle laskennallisesti kevyempää kuin vastaavan signaalijakson kuvaaminen kolmiulotteisella spektrogrammilla.

Kuvassa 3 on sonogrammi kappaleesta ’Man in the Mirror’ Michael Jacksonin albumilta *Bad* (1987). Kuvajassa on kappaleen ensimmäisen kertosaäkeistön kaksi ensimmäistä säettä: ”I’m starting with the man in the mirror. I’m asking him to change his ways.”. Sonogrammi havainnollistaa Jacksonin laulutapaa, erityisesti korostunutta glissandon ja vibraton käyttöä. Tämä on nähtävissä 1/4- ja 1/8-jaolla soitettujen, pylväinä näkyvien rytmisoitinten iskujen väleissä poimuilevissa vokaaliläänteissä. Jälkimmäiseen säkeen lopussa näkyy himmeänä Jacksonin soololaulua unisonossa seuraava taustalaulu.

Sen hienorytmiikka poikkeaa hieman soololaulusta ja erottuu näin sekä kuulokuvassa että sonogrammissa.

Sonogrammit ovat käyttökelpoisia esimerkiksi musiikillisten rakenteiden analysoimisessa. Kuvaajassa näkyvä toisteisuus ja äkilliset vaihdokset soinnissa auttavat löytämään esimerkiksi taitekohtia.

Graafinen kuvaustapa voi myös auttaa valottamaan studiotyöskentelyssä käytettyjä tuotantotapoja, vaikkapa äänitteen koostamista useista ostoista, jota analogisen studiotekniikan aikakaudella tehtiin nauhaeditointitekniikoilla. Elektroakustisen nauhamusiikin toteuttamisessa nauhaeditointi on keskeinen osa kappaleen sävellysprosessia, mitä sonogrammesitys voi osaltaan valottaa (ks. esim. Ojanen & Lassfolk 2012).

Fourier-analyysin rajoitukset ja kuvaajien tulkinta

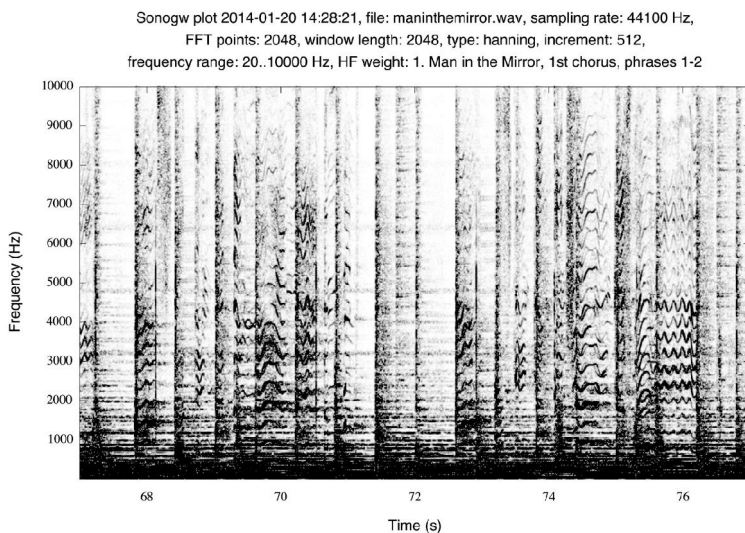
Sono- ja spektrogrammit eivät suoraan kuvaa sävelkorkeutta, vaan tämän tulkintaan tarvitaan joko psyoakustiikan tuntemukseen perustuvaa tulkintaa tai ohjelmallista jälkikäsitelyä. Taajuusvasteen kautta tarkasteltuna sävelkorkeushavainnon voidaan selittää muodostuvan harmonisessa suhteessa olevien ylä-

sävelten keskinäisistä etäisyyksistä. Säveltasoltaan korkeiksi koettujen äänten yläsävelet ovat toisistaan etäämmällä hertseissä laskettuna kuin sellaisten muulta rakenteeltaan samanlaisten äänten, joiden yläsävelet ovat lähekkäin. Likimääräiseen sävelkorkeusarvioon päästäänkin mittaamalla magnitudispektrin kahden vierekkaisen (tai sonogrammissa päällekkäisen) yläsävelen voimakkaimpien kohtien välinen etäisyys hertseissä ja muuntamalla arvo kyseistä taajuutta vastaavaksi sävelnimeksi. Käytännöllisempää on kuitenkin hyödyntää jotakin spektrianalyysitiedon automaattista jälkikäsitelymenetelmää, esimerkiksi kepstriä (engl. *Cepstrum*) tai *Harmonic Product Spectrum* (lyh. HPS) -menetelmää (Smith 2007, 193; Lassfolk & Uimonen 2008).

Spektrogrammien antamaa välillistä sävelkorkeustietoa voidaan kuitenkin käyttää hyväksi sellaisenaankin. Sonogrammeissa ylöspäiset sävelkulut näkyvät yläsävelrakenteen viuhkamaisina haarautumisina ja alaspäiset puolestaan supistuvina hahmoina. Yksi- ja moniääniset osuudet erottaa puolestaan siitä, että moniäänisissä osuuksissa on pystytasolla lomittaisia harmonisia yläsävelrakenteita. Yksiaäänisissä tai unisono-osuuksissa esiintyy puolestaan vain yksi tasavälein kuvautuva harmoninen rakenne (ks. Kuva 3).

Yläsävelrakenteiden tarkastelu paikkaa osittain myös Fourier-analyysin pahinta puutetta, matalien taajuuksien heikkoa erottelukykyä. Syynä on, että useimmat bassoinstrumentitkin tuottavat harmonisen yläsävelrakenteen, joka ulottuu tuhansienkin hertsien korkeudelle. Näin saadaan tietoa myös bassosuusien melodialinjoista.

Esimerkiksi täyteen sovitetussa rytmimusiikissa perkussiivisten elementtien osuus on korostunut ja melodialinjatkin ovat säröytyneitä ja hankalasti erotettavia. Näiden erottamisessa analyttinen kuuntelu on erityisen tarpeellista, koska harmoni-



Kuva 3. Sonogrammi kappaleen *Man in the Mirror* ensimmäisen kertosäkeistön alusta.

sia rakenteita on helpompi havaita kuvaajista kuulokuvan tuella kuin pelkkää graafista esitystä tarkastelemalla.

Välineistöstä

Spektrianalyysiohjelmiä on tarjolla useita sekä ilmaisia että kaupallisesti levitettäviä. Myös monissa äänituotanto-ohjelmissa on spektrianalyysitoimintoja, esimerkiksi ilmaisessa Audacity-ohjelmassa. Spektrianalyysi onkin ollut jo vuosikymmeniä tärkeä äänituotannon apuväline. Tutkimuskäyttöä ajatellen tärkeitä työvälineen valintaan liittyviä seikkoja ovat erityisesti mahdollisimman monipuoliset säätömahdollisuudet sekä välineen graafinen erottelutarkkuus ja mahdollisuus korkealuokkaisten painokelpoisten tulosteiden tuottamiseen. Sekä Fourier-analyysin että graafisten parametrien tulee olla käyttäjän säädettävissä tai vähintään tiedossa ja dokumentoitavissa toistettavuuden saavuttamiseksi. Toistettavuus onkin usein nykyaikaisten vuorovaikutteisten graafisten käyttöliittymien ongelma. Hiiren tai kosketusnäytön käyttöä ei tyypillisesti jää automaattista lokia, vaan analyysien parametriasetykset on kirjattava käsin ja haettava myös käsin uudelleen mittausta toistettaessa.

Tässä artikkelissa käsitellyt kuvaajat on tuotettu Spectutils-ohjelmistolla (Lassfolk & Uimonen 2008). Spectutils on GNU Octave –matematiikkaohjelmointikielen laajennus ja koostuu Octaven aliohjelmista eli *funktioista*. Näillä voidaan analysoida äänitiedostoihin tallennettuja äänisignaaleja ja tuottaa graafisia kuvaajia kuvaryudulle tai kuvatiedostoiksi painojulkaisuja varten. Spectutils toimii Octaven tekstipohjaisen komentorivikäyttöliittymän kautta ja vaatii siten Octaven peruskäyttötaitoa. Työläähkön asennus- ja opetteluvaiheen vastapainona Spectutilsin etuna on monipuolisuus ja korkea esitystarkkuus (ks. esim. Rainio 2010). Tekstipohjaisen käyttöliittymän etuna on myös toistettavuus: kuvaajien tuottamisessa käytetyt parametritiedot säilyvät Octaven komentorivimuistissa, mistä ne voidaan palauttaa uusien kuvaajien tulostamiseksi tai tallettaa tutkimusprojektin lokitietoihin. Lisäksi Spectutilsilla tuotetut kuvaajat ovat pitkälti itsedokumentoivia, koska tärkeimmät parametritiedot tulostuvat automaattisesti kuvaajien otsikkoteksteihin. Samanlaisia kuvaajia voidaan tuottaa myös Octaven kaupallisella esikuvalla,

Matlabilla, joka sisältää Octavea laajemmat valmiit toiminnot spektrianalyysiin. ●

Lähteet

- Lassfolk, Kai & Uimonen, Jaska 2008. "Spectutils, an audio signal analysis and visualization toolkit for GNU Octave." *Proceedings of the 11th International Conference on Digital Audio Effects: DAFX-08* : September 1-4, 2008, Espoo, Finland. Toim. Jyri Pakarinen, Cumhur Erkut, Henri Penttinen & Vesa Välimäki, s. 289-292. http://www.acoustics.hut.fi/dafx08/papers/dafx08_49.pdf.
- Lassfolk, Kai 2013. "On the Sonic Identity and Sound Ideal of 1950s Solid Body Electric Guitars." *Music: Function and Value: Proceedings of the 11th International Congress on Musical Signification*. Teresa Malecka & Malgorzata Pawlowska (toim.), s. 614-624.
- Ojanen, Mikko & Lassfolk, Kai 2012. "Material tape as a piece of art: Case studies of an inconstant work-concept in Erkki Kurenniemi's electroacoustic music." *EMS12 - Meaning and Meaningfulness in Electroacoustic Music – Stockholm*. <http://www.ems-network.org/spip.php?article344>.
- Oppenheim, Alan V. & Schaffer, Ronald W. (with John R. Buch) 1999. *Discrete-Time Signal Processing*. 2nd. Edition. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall.
- Smith, Julius O. III 2007. *Introduction to Digital Filters – with Audio Applications*. U.S.A.: W3K Publishing.
- Rainio, Riitta 2010. *Suomen rautakautiset kulkuset, kellot ja kelloriipukset: äänimaiseman arkeologiaa*. Vantaa: Suomen musiikkikirjastoyhdistys.

ÄÄNITE

Michael Jackson 1987: *Bad*. Epic.