

Ambisonics

Tomas Lindén
TKK

tlinden@cc.hut.fi

Tiivistelmä

Artikkelissa kerrotaan siitä, miten kuulojärjestelmän suunta- ja etäisyyskuuloon vaikuttavia tekijöitä hyödynnetään Ambisonics-äänijärjestelmän yhteydessä. Järjestelmän taustasta kerrotaan lyhyesti ja selostetaan sen toimintatavasta ja menetelmässä käytetystä laitteistosta. Artikkelissa verrataan tekniikoita miten äänikenttä äänitetään ja kerrotaan mikrofoniin signaalivasteiden muuntamisesta palloharmonisiin komponentteihin. Menetelmän eri siirtoformaatit, ja niiden koostumukset käydään läpi, sekä se miten niitä käytetään siirtoteissä ja laitteissa. Kilpailevia tekniikoita verrataan ja mietitään miten ne liittyvät Ambisonics-menetelmään. Lopuksi pohditaan järjestelmän hyviä ja huonoja puolia sekä huonon menestymisen syitä, ja miten tekniikka voitaisiin tulevaisuudessa hyödyntää.

1 JOHDANTO

Ihmisen kuulojärjestelmä hyödyntää useita erilaisia vihjeitä äänilähteen suunnan ja etäisyyden määrittämiseen. Dave Malhamin (1998) mukaan äänilähteen havaittuun suuntaan vaikuttavat pääosin neljä tekijää, eli vihjettä:

- Korvienvälinen aikaero, ITD (englannin kielen sanoista *interaural time difference*)
- Korvienvälinen intensiteettiero, ILD (englannin kielen sanoista, *interaural level difference*)
- Ulkokorvan, pään ja hartioiden muodoista aiheutuvat heijastusvaikutukset, eli HRTF (englannin kielen sanoista *head related transfer function*)
- Kykymme kääntää päätä niin, että korvien HRTF:ien ero minimoituisi, jolloin pää on kääntynyt äänilähdettä päin.

Ensimmäinen suuntakuuloon vaikuttava tekijä, eli ITD, syntyy kun todellisen äänilähteen äänialto saavuttaa toisen korvan aiemmin kuin toisen (edellyttäen että korvat ovat eri etäisyyksillä äänilähteestä).

Toinen päävihje, eli ILD, johtuu siitä, että pää varjostaa kauimmaiseen korvaan tulevaa ääntä. ILD-vihje toimii kuitenkin parhaiten suuremmilla taajuuksilla, koska matalat äänet taittavat paremmin pään ympäri, eivätkä siten heikkene riittävästi.

Kun äänilähde sijaitsee yhtä kaukana molemmista korvista (niin sanotulla mediaanitasolla), ITD- ja ILD-vihjeet eivät auta, jolloin kuulojärjestelmän täytyy turvautua HRTF-vihjeeseen. Koska HRTF, eli heijastusvaikutukset, muuttuvat äänilähteen tulosuunnan mukaan, tästä kolmannesta vihjeestä on apua varsinkin äänilähteen korkeussuunnan erottamiseen.

Etäisyyttä äänilähteeseen kuulojärjestelmä arvioi muun muassa vertaamalla suoran äänen intensiteettiä kaiuntakentän intensiteettiin (joka on suunnilleen sama tilan joka puolella) ja vertaamalla ensimmäisten kaikujen viivettä suoran äänen viiveeseen. Jos lisäksi äänilähteestä on kuulijalla aiempaa kokemusta, kuulojärjestelmä voi hyödyntää sitä tosiasiaa, että pidemmällä etäisyyksillä äänilähteen (erityisesti korkeiden taajuuksien) intensiteetti heikkenee matkan kasvaessa. (Malham, 1998)

Ambisonics on järjestelmä joka osaltaan perustuu äänikentän tallentamiseen niin, että äänilähteiden suuntainformaatio säilyy. Toistamisen yhteydessä kaikki toistojärjestelmän kaiuttimet auttavat äänikentän rekonstruoimisessa, eli uudelleenluomisessa, joka tallennushetkellä vallitsi mikrofoniin kohdalla. (Leese, 1994)

Koska kuuntelupisteeseen on pyritty rekonstruoimaan alkuperäinen äänikenttä, kuulojärjestelmä pystyy hyödyntämään yllämainittuja vihjeitä äänilähteiden paikallistamiseen, ja siten luomaan aidontuntuinen äänikuva. (Malham, 1998)

2 AMBISONICSIN TAUSTAA

Ambisonics-menetelmän kehittivät, 70-luvun alkupuolella, brittiläinen tutkimusryhmä, jonka johtajana oli Michael A. Gerzon Oxfordin Matemaattisesta Instituutista (Mathematical Institute in Oxford), ja professori Peter Felgett Readingin Yliopiston kybernetiikan osastolta. Heidän tavoitteenaan oli kehittää järjestelmä, joka mahdollistaisi akustisen kentän spatiaalisesti tarkan toistamisen kotiolosuhteissa. Koska menetelmän kannalta on tärkeää äänikentän sieppaaminen yhdestä pisteestä, järjestelmä suunniteltiin alusta lähtien mahdollistamaan muun muassa Soundfield-tyyppisen mikrofoniin käytön äänityksissä. (Elen, 2001)

Ambisonics-menetelmä perustuu Alan Blumleinin suuntavasteiden tutkimukseen 20- ja 30-luvuilla. Hän käytti vasteiltaan kahdeksikonmuotoisia mikrofoneja, eli kahdeksikkomikrofoneja, joiden signaalit toistettiin kahden kaiuttimen kautta. Asetelma tuotti luonnollisen kuuloista materiaalia, jonka johdosta Ambisonicsin tutkimusryhmä lähti toteuttamaan aitoa 3D-äänentoistojärjestelmää. (Malham, 1998)

3 TEKNIikka

Ambisonics kattaa koko prosessin äänityksestä toistoon saakka. Siirtoformaattit on nimetty eri vaiheille erikseen. A-formaatti on äänitysjärjestelmästä, erityisesti



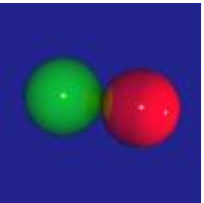


Soundfield-mikrofonista, tuleva signaaliformaatti, jonka mikrofoniprosessori muuntaa heti B-formaatiksi. B-formaatin toistamiseen tarvitaan kuitenkin Ambisonics-dekooderi, joka laskee oman signaalin kullekin kaiuttimelle erikseen, riippuen siitä, miten ne on sijoitettu kuuntelutilaan. Toisin sanoen Ambisonics ei ole ehdoton kaiutinsijoitusten suhteen, vaan useat sijoitukset ovat mahdollisia, riippuen dekooderin tarjoamista vaihtoehdoista. (Lee, Miskourie, 1998)

Näiden formaattien lisäksi kehitettiin UHJ-formaatti, joka mahdollistaa Ambisonics-materiaalin toistamisen myös stereo-laitteistolla, ilman erityistä dekooderia. Jos kuitenkin Ambisonics-dekooderi on käytettävissä, äänikentän dekodaus UHJ-formaatista on myös mahdollista. (Leese, 1994)

3.1 Äänitystekniikka

Äänityksessä siepataan yhdestä pisteestä ympäriltä tuleva äänikenttä, joka muunnetaan nollannen ja ensimmäisen asteen palloharmonisiin komponentteihin. Komponentit on nimetty kirjaimilla W, X, Y ja Z. W edustaa nollannen asteen palloharmonista komponenttia, ja on tasasuuntainen painesignaali (englanniksi *omnidirectional pressure signal*). X, Y ja Z edustavat ensimmäisen asteen palloharmonisia komponentteja ja sisältävät suuntainformaation vasteet (Elen, 1998a). Näistä jälkimmäinen osa kustakin suuntavasteesta on vastavaiheessa, ja vastakkaiskomponentit voidaan erottaa toisistaan joko summaamalla tai vähentämällä komponentti itsensä kanssa. Toisen asteen palloharmonisia komponentteja ei perinteisessä Ambisonicsissa käytetä. (Leese, 1994) Taulukossa 1 näkyy signaalien asteluvut kirjainmerkinnät ja suuntavasteet. (Leese, 2003)

Taulukko 1: B-formaatin kanavat ja niiden sisältämät komponentit. Tummempi pallo on positiivisessa vaiheessa. Kuvat ovat Universidad de Oviedo:n Quantum Chemistry Group:in renderöimiä (Lluñja, 1996)

Aste	0	1	1	1
Kanava	W	X	Y	Z
Suuntavaste				
Signaali	tasasuuntainen painekanava	etu miinus taka	vasen miinus oikea	ylä miinus ala
Koordinaatisto				

Suosittu äänitystekniikka on käyttää niin kutsuttua Soundfield-mikrofonia, joka koostuu neljästä pienestä tetraedriasetelmaan sijoitetusta mikrofonista jotka sieppaavat lähes joka suunnasta tulevaa ääntä, kuitenkin säilyttäen äänilähteiden suuntainformaation. Tetraedrimikrofonien signaali, joka on A-formaatissa, muunnetaan yllämainittuihin W-, X-, Z- ja Y-komponentteihin, eli B-formaattiin. Soundfield-mikrofonin avulla saadaan siis kätevästi äänikentän kaikki neljä peruskomponenttia tallennettua yhdestä pienestä pisteestä. (Elen, 1998a)

Ambisonicisin logossa (kuva 1) näkyy B-formaatin signaalin suuntavasteet tasoon heijastettuna. Ulommaisena on W, eli tasasuuntainen painesignaali, pieni keskellä oleva ympyrä on kahdeksikonmuotoinen Z-vaste, ylhäältä katsottuna. Ulommaiseta neljä pienempää ympyrää ovat kahdeksikonmuotoiset X- ja Y-vasteet. (Elen, 1998c)



Kuva 1: Ambisonicisin logo, jossa näkyy B-formaatin signaalin komponentit ja niiden vasteet. "Ambisonics" ja sen logo ovat Nimbus Communications Internationalin omaisuutta (Elen, 1998c).

Äänikenttä voidaan myös siepata kolmella kahdeksikkomikrofonilla, asettamalla ne suoriin kulmiin toisiinsa nähden. Näistä voidaan laskea nollannen ja ensimmäisen asteen B-formaatin signaalien kanava-arvot. Jos korkeusinformaatiota ei tarvita, kolmas mikrofoni ja B-formaatin neljäs kanava voidaan jättää pois. (Malham, 2001)

3.2 Siirtoformaatit

Barton (1984) määrittelee Ambisonicsin siirtoformaatit seuraavanlaisesti:

- *A-formaatti* on nelikanavainen signaali, joka saadaan esimerkiksi Soundfield-mikrofonin tetraedriasetelmaan asetetusta mikrofonista. A-formaatin signaali muunnetaan yleensä heti seuraavaksi B-formaattiin.
- *B-formaatti* on Ambisonics-järjestelmän äänisignaalin perussiirtoformaatti, joka koostuu neljästä W-, X-, Y- ja Z-komponentista. W on painesignaali ja X, Y ja Z karteesisen koordinaatiston koordinaattiakselien suuntaisia äänikentän signaalikomponentteja.
- *C-formaatti* on hierarkkisesti skaalautuva formaatti, joka on paitsi Ambisonics-dekooderilla dekodattavissa, myös suoraan yhteensopiva stereofonisten toistojärjestelmien kanssa. C-formaatti esiintyy yleensä nimityksellä UHJ.
- *D-formaatti* on Ambisonics-dekooderin tuottamat, kaiuttimille dekodatut signaalit, jotka riippuvat käytössä olevasta kaiutinmäärästä ja -sijoituksesta.
- UHJ-formaatti on toinen nimitys C-formaatille ja sen komponentit on nimetty L, R, T ja Q.
 - L- ja R-kanavat ovat yhteensopiva stereo-formaatin vasemman ja oikean kanavan kanssa.
 - T on horisontaalitason kanava joka parantaa paikantamistarkkuutta (etenkin takasuunnassa).
 - Q on suoraan B-formaatin Z-komponentti, eli äänikentän korkeusinformaatio.
 - BHJ, SHJ, THJ ja PHJ ovat eri kanavalukumäärällä toteutettuja UHJ-muunnoksia. (Leese, 1994)

Leese (1994) selittää UHJ-muunnokset seuraavanlaisesti:

- BHJ on kaksikanavainen versio UHJ-formaatista ja sisältää stereojärjestelmän kanssa yhteensopivat L- ja R-kanavat. Suurin osa äänitteistä, jotka ovat niin sanotusti UHJ-koodattuja, ovat itse asiassa BHJ-formaattiin koodattuja.
- SHJ on niin sanotusti kaksi ja puoli-kanavainen. "Puolikanava" on itse asiassa vain kaistarajoitettu (5kHz) T-kanava. (Jotta FM-lähetysten alikaistaa olisi voitu käyttää parantamaan horisontaalitason paikantamistarkkuutta.)
- THJ on kolmikanavainen niin sanottu kompromissiton horisontaalitason C-formaatti. THJ:n T-kanava ei siis ole kaistarajoitettu.

- PHJ on täysi, nelikanavainen, perifoninen UHJ-muoto. Perifonisella tarkoitetaan “joka puolelta kuuluva”, eli myös äänilähteiden korkeusinformaatio on PHJ-äänitteissä tallella.
- G-formaatti on ehdotettu formaatti, joka mahdollistaisi Ambisonics-äänitteiden muokkaamisen jo studiossa, esimerkiksi Dolby Digital 5.1-muotoon. Täten toistotiloissa ei tarvitsisi erillistä Ambisonics-dekooderia äänikentän spatialisaatioefektin saavuttamiseksi. (Elen, 1998b)

Toisen asteen Ambisonicsissa B-formaatin signaaliin on lisätty neljän peruskanavan lisäksi viisi lisäkanavaa, jotka sisältävät viisi toisen asteen palloharmoniset komponentit äänikentästä. Lisäkanavat on nimetty järjestyksessä R, S, T, U, ja V. (Leese, 2003)

3.3 Laitteistosta

Ambisonics-järjestelmä vaatii toistojärjestelmältä Ambisonics-dekooderin, vähintään neljä kaiutinta ja joko B-formaattiin tai UHJ-formaattiin koodattua Ambisonics-materiaalia, tavanomaisten vahvistimien ja äänimateriaalilukulaitteiden lisäksi. (Elen, 2001)

UHJ-formaatin signaali, joka on stereo-järjestelmien kanssa yhteensopiva, ei tarvitse dekooderia spatialisaatioefektin saavuttamiseksi, mutta äänikuva on paljon tarkempi ja suurempi jos käytössä on Ambisonics-dekooderi sen dekoodaamiseen. (Elen, 2001)

On myös ehdotettu ns. G-formaattia, joka olisi suoraan yhteensopiva Dolby Digital 5.1 kaiutinasetelman kanssa, jolloin erillistä Ambisonics-dekooderia ei tälle signaalille tarvita, horisontaalisen spatialisaatioefektin saavuttamiseksi (Elen, 1998b).

Dekoodereissa on yleensä valittavissa muutama vaihtoehto kaiutinsijoituksille. Esimerkkejä mahdollisista horisontaalitason kaiutinsijoituksista on suorakaide, jonka sivujen suhdeluku on valittavissa, viisikulmio ja kuusikulmio. Perifonisille, eli joka puolelta kuuluville (jolloin myös korkeusinformaatio on käytössä) sijoituksille tuplataan vain horisontaalitason kaiutinsijoitus, ja sijoitetaan ylemmän tason kaiuttimet ylemmäksi suoraan horisontaalitason kaiuttimien yläpuolelle. Perifoniset kaiutinsijoitukset tarvitsevat siis kahdeksan, kymmenen tai kaksitoista kaiutinta. (Dunn, 1999)

4 KORKEAMPIEN ASTEIDEN AMBISONICS

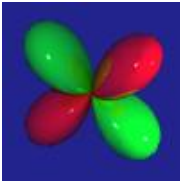
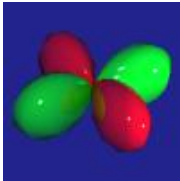
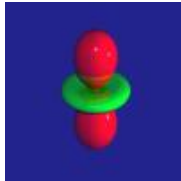
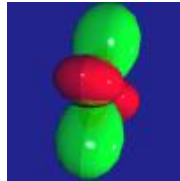
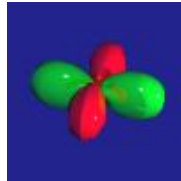
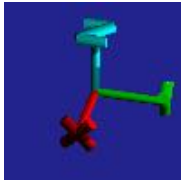
Kun lisätään korkeampien asteiden palloharmonisia komponentteja B-formaatin signaaliin, puhutaan korkeamman asteen Ambisonicsista. Toisen asteen Ambisonicsista on kyse, kun B-formaattiin lisätään viisi toisen asteen palloharmonista komponenttia omiin siirtokanaviinsa, nollannen ja toisen asteen kanavien lisäksi. Signaali tarvitsee tällöin yhdeksän siirtokanavaa. Taulukossa 2 näkyy kanavien suuntavasteet ja niiden kirjainmerkinnät. (Leese, 2003)

Jérôme Daniel (2000) osoittaa väitöskirjansa www-muunnelmassaan, että äänikuvan paikannettavuus ja stabiilisuus kuulijan sijainnin suhteen paranee äänisignaalin toisen asteen komponenttien johdosta.

Koska korkeamman asteen äänitysjärjestelmästä tulisi hyvin monimutkainen, korkeampien asteiden äänimateriaali tuotetaan synteettisesti (Bamford, 1995, kappale 6.5). Lisäksi, Malhamin (1999) mukaan, toisen tai korkeamman asteen mikrofoneja ei ole edes saatavilla.

Víctor Luañja (1997) Universidad de Oviedo:n Quantum Chemistry Group:ista on renderöinyt kuvia ensimmäisistä palloharmonisista komponenteista kolmanteen asteeseen saakka. Ambisonicsissa B-formaatin signaalien vasteet ovat samanmuotoisia.

Taulukko 2: Toisen asteen viisi lisäkanavaa ja niiden sisältämät komponentit. Punaiset muodot ovat positiivisessa vaiheessa. Kuvat ovat Universidad de Oviedo:n Quantum Chemistry Group:in renderöimiä (Luañja, 1996)

Aste	2	2	2	2	2
Kanava	R	S	T	U	V
Suunta- vaste					
Koordi- naatisto					

5 KILPAILEVAT TEKNIIKAT

Moni äänentoistojärjestelmä pyrkii niin sanottuun surround-tyyppiseen toistoon, jolla itse tarkoitan tässä yhteydessä ilmiötä, jossa ääniä tuntuu tulevan ympäriltä muualtakin kuin suoraan kaiuttimista.

Malham (1999) määrittelee kaksi käsitettä jotka liittyvät erityisesti äänentoistojärjestelmien tuottamien äänikenttien ominaisuuksiin:

- *Homogeeninen* äänentoistojärjestelmä ei suosi tiettyä kuuntelusuuntaa.
- *Koherentin* äänentoistojärjestelmän toistaman äänikuvan muuttuminen on jatkuva kuulijan paikan ja suunnan suhteen.

Esimerkiksi elokuville tarkoitetut äänentoistojärjestelmät eivät siis ole Malhamin mukaan homogeenisiä, joten suuri osa niin sanotuista surround-tyyppisistä äänentoistojärjestelmistä jäävät siis tämän määritelmän ulkopuolelle.

Lisäksi Malham kirjoittaa, että binauraaliset järjestelmät ovat yleensä homogeenisiä, mutta eivät koherentteja, ellei käytössä ole jonkinlaista päänsuranta (head tracking) äänikuvan lukitsemiseksi tilaan.

Malhamin mielestä kaiutinsijoitusten suosituksia noudatetaan puutteellisesti ja hän painottaa siksi transformaatiomatriisien tärkeyttä homogeenisuuden ja koherenttisuuskriteerien täyttymisen kannalta. Transformaatiomatriiseilla voidaan muun muassa korjata kaiutinsijoitusten poikkeavuuksia niin, että dekooderi voi syöttää jokaiselle kaiuttimelle oman, tilaan sijoittumisen suhteen sopivan signaalin.

Malham kertoo artikkelissaan, että vain seuraavat kolme transformaatiomatriisien käytön mahdollistavaa järjestelmää osuvat lähelle sekä homogeenisuus- että koherenttisuuskriteerien vaatimuksia:

- Äänikenttäsynteesi (Wave Field Synthesis)
- Holofonia (Holophony)
- Ambisonics

Nämä kolme järjestelmää ovat kuitenkin osoittautuneet olevan toistensa kaltaisia sen sijaan että olisivat täysin kilpailevia tekniikoita. Ambisonics on osoitettu olevan holofonian erikoistapaus, ja sekä holofonia että äänikenttäsynteesi ovat saman tapaisia periaatteiltaan. Ambisonics eroaa kuitenkin kahdesta muusta siten, että äänikentän sieppaus tapahtuu vain yhdestä pisteestä. (Malham, 1999)

Malham toteaa myös, että Ambisonics on ja tulee ainakin lähiaikoina olemaan käytännöllisin järjestelmä näistä kolmesta.

6 POHDINTAA

Ambisonicsilla on kaksi huomattavaa etua, joita nykypäivän järjestelmillä ei ole edelleenkaan (Dunn, 1999):

- Se pyrkii tallentamaan ja toistettaessa luomaan uudelleen sen *äänikentän*, joka vallitsi mikrofoniin kohdalla äänitystilanteessa.
- Se on joustava toistotilan kaiutinsijoitusten kannalta, kunhan dekooderille kerrotaan minkälainen kaiutinasetus on käytössä.

Äänikenttä ei ole Ambisonicsissa pelkästään tallennettu horisontaalitasoon, vaan myös korkeusinformaatio on tallessa. Tämä on ominaisuus jota valtaosalla nykyajankaan järjestelmillä ei ole. (Dunn, 1999)

Moni järjestelmä ei normaalisti pyri äänikentän suuntainformaation säilyttämiseen, vaan tyytyy vain ILD-vihjeen hyödyntämiseen, jolloin kuulojärjestelmä ei toistotilanteessa enää pysty käyttämään kaikkia paikantamisen kannalta tärkeitä vihjeitä. Ongelmia syntyy myös siitä, että kaiutinsijoitusten suosituksia (jos niitä edes aina on) noudatetaan huonosti muun muassa tilarajoitusten johdosta, mikä vähentää kuulojärjestelmän mahdollisuuksia paikantaa äänilähteitä. (Malham, 1998)

Huonoja puolia Ambisonics-järjestelmässä on muun muassa, se että joissakin tilanteissa äänikuvan lukitseminen esimerkiksi elokuvakuvaruutuun voi olla vaikeaa. Lisäksi järjestelmä on aika hintava ja vaati ainakin neljä, mieluiten kuusi, kaiutinta hyvän tarkkuuden saavuttamiseksi. Kuuntelupisteen pienuuttakin on kritisoitu, mutta puolustukseksi on huomautettu, että äänikuvan laatu heikkenee tasaisesti kuunteluetaisyyden optimipisteestä (sweet spot) kasvaessa (Leese, 1994). Daniel (1999) on kuitenkin väitöskirjansa www-muunnelmassaan näyttänyt, että kuuntelupisteen koko ja äänikuvan stabiilisuus paranevat toisen asteen Ambisonicsin käytöstä.

6.1 Miksi Ambisonics ei menestynyt kaupallisesti

Ambisonicsin huonoon kaupalliseen menestykseen on vaikuttanut monta tekijää ja suurin osa ei johdu tekniikasta itsestään. Ensinnäkin, se tuli väärään aikaan – juuri kun toinen niin sanottu ”surround”-järjestelmä, Quadraphonics, oli osoittautunut huonoksi menestykseksi. Ambisonics kärsi Quadraphonicsin huonosta maineesta. Markkinointikin oli puutteellista, johtuen siitä, että oikeudet järjestelmään luovutettiin kuluttaja-tuotteelle huonosti soveltuvalla Iso-Britannian tutkimuksen edistyselimelle (NRDC), joka taas luovutti oikeudet vain muutamalle pienelle yritykselle, joista vain enää yksi uskollisesti tuottaa Ambisonics-materiaalia. Loppujen lopuksi ei yksikään suurista laitevalmistajista tai levy-yhtiöistä päässyt, tai ryhtynyt tukemaan järjestelmää. (Leese, 1994) (Elen, 1991)

Järjestelmä ei oikeastaan koskaan päässyt oikeuksiinsa koska Ambisonics tarvitsee vähintään kolme kanavaa hyvään horisontaaliseen spatialisaatioon ja sen ajan siirtokanavat tukivat pääsääntöisesti vain kahta kanavaa (äänikasetteja lukuun ottamatta). (Lee, Miskourie, 1998)

6.2 Tulevaisuus

Markkinointiongelmistaan huolimatta Ambisonics ei ole jäänyt kokonaan unohduksiin, koska uskolliset fanit ylläpitävät vielä unelmaa Ambisonicsin suosion noususta. (Whiting, 1996)

Vaikka uudet tulossa olevat äänelle tarkoitettut DVD-standarditkaan eivät suoraan mahdollista Ambisonics-materiaalien siirtoa, on ehdotettu menetelmiä, joilla materiaali voitaisiin suoraan dekodata esimerkiksi Dolby Digital 5.1 kaiutinasetelman mukaan, jolloin spatialisaatioefektit olisivat heti käytettävissä. Valitettavasti mahdolliset, informaatiota hukkaavat kompressiomenetelmät (lossy compression) haittaavat spatialisaatiota.

Uskoisin, että tietokone ja pelikoneiden pelimarkkinoilla Ambisonicsia tukevilla äänijärjestelmillä voisi hyvinkin olla merkittävät markkinat, jos vain oikeat pelientekijät saisivat sen käsiinsä. Ambisonicsilla on muun muassa se etu jo käytössä oleviin binauraalisiin järjestelmiin verrattuna, että se ei vaadi kuulokkeiden käyttöä.

Ambisonics vaikuttaa edelleen olevan, yli kaksikymmentä vuotta sen keksimisen jälkeen, varteenotettava vaihtoehto 3D-äänentoistojärjestelmäksi, ja ansaitsisi kyllä mielestäni laajemman tunnustuksen.

LÄHDELUETTELO

- Bamford, J. S. 1995. *An Analysis of Ambisonic Sound Systems of First and Second Order* (online). Väitöskirja. Waterloo, Ontario, Kanada: University of Waterloo. [viitattu 7.1.2003]. Saatavissa: <http://audiolab.uwaterloo.ca/~jeffb/thesis/thesis.html>
- Barton, G. 2000. *Ambisonics: An Incomplete Glossary* (online). Atlanta: Larry Clifton's Home Page, MultiChannelSound Shop, EarthLink. Viimeksi päivitetty 23.6.2000 [Viitattu 30.10.2002]
Saatavissa: <http://home.earthlink.net/~larryclifton/reprint007.html>
(Lähteessä mainittu alkuperäinen julkaisu: "MCS Review, Vol.3, No.4, March 1982, pages 10 and 11".)
- Daniel, J. 2000. *The Perceptive Aspects of Ambisonic and Stereophonic Rendering – The Experimenter Corner* (online). Site Ouèbe de Jérôme Daniel, Free Telecom. Viimeksi päivitetty 14.1.2001, [Viitattu 7.1.2003].
Saatavissa: http://gyronymo.free.fr/audio3D/the_experimenter_corner.html
(Alkuperäinen julkaisu: Daniel, J. *Représentation de champs acoustiques, application à la transmission et à la reproduction de scènes sonores complexes dans un contexte multimédia*. Väitöskirja, Pariisin Yliopisto, Pariisi, 2000.)
- Dunn, M. 1999. *Cantares SSP-1 Surround Sound Processor Online Manual*. Waterloo, Ontario, Canada: Cantares. Viimeksi päivitetty 27.7.2000 [Viitattu 8.1.2003]
Saatavissa: <http://www.cantares.on.ca/manual.pdf>
- Elen, R. 1998a. *Ambisonics: Questions and Answers* (online). Ambisonic.net – The Ambisonic Network. [Viitattu 30.10.2002]. Saatavissa: <http://www.ambisonic.net/ambifaq.html> (Viitteessä mainittu alkuperäinen julkaisu: "Reprinted from Studio Sound, October 1982".)
- Elen, R. 1998b. *Ambisonics for the New Millenium* (online). Ambisonic.net – The Ambisonic Network. [Viitattu 30.10.2002].
Saatavissa: <http://www.ambisonic.net/gformat.html>
- Elen, R. 1998c. *ambisonic.net – where surround-sound comes to life* (online). [Viitattu 9.1.2003] Saatavissa: <http://www.ambisonic.net/intro.html>
- Elen, R. 1991. *Whatever happened to Ambisonics?* (online). York: The University of York. Viimeksi päivitetty 9.12.1996. [Viitattu 30.10.2002].
Saatavissa: http://www1.york.ac.uk/inst/mustech/3d_audio/elen/ambi_am9.htm
(Lähteessä mainittu alkuperäinen julkaisu: "AudioMedia Magazine, November 1991". Viittauksessa on käytetty alkuperäistä julkaisuvuotta.)

- Elen, R. 2001. *Ambisonics: The Surround Alternative* (online). Ambisonic.net – The Ambisonic Network. [Viitattu 30.10.2002]. Saatavissa: <http://www.ambisonic.net/pdf/ambidvd2001.pdf> (Lähteessä mainittu alkuperäinen julkaisu: ”Ambisonics: The Surround Alternative – Surround 2001”.)
- Lee, S. Miskourie, E. 1998. *Sound Systems and Hearing*. (online). London, Imperial College of Science, Technology and Engineering. [Viitattu 10.12.2002] Saatavissa: <http://www.iis.ee.ic.ac.uk/~frank/surp98/report/sl9/dolby.html#ambisonics>
- Leese, M. J. 1994. *Ambisonic Surround Sound FAQ* (online). York: The University of York. Viimeksi päivitetty 21.1.1998 [Viitattu 10.12.2002]. Saatavissa: http://www0.york.ac.uk/inst/mustech/3d_audio/ambsfaq.htm
- Leese, M. J. 2003. *Spherical Harmonic Components* (online). Barcelona: Martin Leese’s Webpage, Tripod, Terra Networks. [Viitattu 7.1.2003] Saatavissa: http://members.tripod.com/martin_leese/Ambisonic/harmonic.html (Viittauksessa käytetty viittausvuotta)
- Luaña, V. 1996. *The Spherical Harmonics Gallery Page* (online). Oviedo, Spain: Universidad de Oviedo. Viimeksi päivitetty 21.1.1997 [Viitattu 7.1.2003] Saatavissa: <http://www3.uniovi.es/~quimica.fisica/qcg/harmonics/harmonics.html>
- Malham, D. G. 1998. SPATIAL HEARING MECHANISMS and SOUND REPRODUCTION (online). York: The University of York. Viimeksi päivitetty 15.2.2002 [Viitattu 30.10.2002]. Saatavissa: http://www1.york.ac.uk/inst/mustech/3d_audio/ambis2.htm
- Malham, D. G. 1999. HOMOGENOUS AND NONHOMOGENOUS SURROUND SOUND SYSTEMS. *AES UK “Second Century of Audio” Conference*. Lontoo, 7-8.6.1999. [Viitattu 10.12.2002] Saatavissa: http://www1.york.ac.uk/inst/mustech/3d_audio/homogeneous.htm
- Malham, D. G. 2001. *Using ordinary microphones to emulate a Soundfield*. York, University of York. Viimeksi päivitetty 15.10.2001 [Viitattu 7.1.2003] Saatavissa: http://www0.york.ac.uk/inst/mustech/3d_audio/sndfield.html (Viittauksessa käytetty viimeistä päivitysvuotta)
- TKK Kirjasto. 1999. *ELEKTRONISTEN DOKUMENTTIEN MERKITSEMINEN LÄHDELUETTELOON* (online). Otaniemi: Teknillinen korkeakoulu. Viimeksi päivitetty 22.1.2002 [Viitattu 9.12.2002] Saatavissa: <http://lib.hut.fi/Opetus/Informatiikka/Tietoiskut/e-viite.html>
- Whiting, John. 1996. *Ambisonics is Dead -- Long Live Ambisonics* (online). Barcelona: Martin Leese’s Webpage, Tripod, Terra Networks. [Viitattu 30.10.2002] Saatavissa: http://members.tripod.com/martin_leese/Ambisonic/dead.html (Viitteessä mainittu alkuperäinen julkaisu: ”Audio Media, Issue 70, September 1996”. Viittauksessa on käytetty alkuperäistä julkaisuvuotta.)