

KUUNNELTAVAT MALLIT JA NIIDEN KÄYTTÖ TUTKIMUKSESSA JA TUOTEKEHITYKSESSÄ

Marko Antila¹, Jari Kataja² Heikki Isoimoisio³

VTT

PL 1300

33101 TAMPERE

¹ marko.antila@vtt.fi

² jari.kataja@vtt.fi

³ heikki.isoimoisio@vtt.fi

Tiivistelmä

Kuunneltavilla malleilla tuodaan jonkin laitteen tai ilmiön tuottama ääni kuunneltavaksi virtuaalisesti. Yksinkertaisimmillaan kuunneltava malli on äänitalenne ja toisessa ääripäässään monimutkainen ääntä tuottava järjestelmä. Tutkimuksessa ja tuotekehityksessä käytettävän kuunneltavan malli perustuu useimmiten muokattuihin, tallennettuihin ääniin joita yhdistetään mallinnettuihin ja syntesoituihin ääniin. Sillä voidaan tehdä nopea arvio ja analyysi tilanteesta. Asiantuntijaryhmä voi myös käyttää tällaista mallia yhdessä interaktiivisesti, ja muokata parametreja etsiessään optimitalannetta laitteen toiminnalle. Erilaisia mallin tuottamia vaihtoehtoja voidaan arvioida vielä tarkemmin kuuntelukokeissa ja psykoakustisilla mittareilla.

1 JOHDANTO

Kuunneltavilla malleilla tarkoitetaan tässä järjestelmää, jolla jonkin laitteen tai ilmiön tuottama ääni tuodaan kuunneltavaksi, muutenkin kun olemalla laitteen välittömässä läheisyydessä silloin kun ääni syntyy. Ääni voi syntyä myös simulaatiossa, eikä reaalista laitetta ole välttämättä edes olemassa. Tämä on tyypillinen tilanne etenkin tuotekehityksen alkuvaiheissa. Yksinkertaisimmillaan kuunneltava malli on äänitalenne. Toisessa ääripäässään se on monimutkainen, reaaliaikainen ääntä tuottava ja syntesoiva järjestelmä, jonka parametreja voidaan varioida.

Kuunneltavia malleja on käytetty ja käytetään erilaisissa simulaattoreissa ja peleissä tuomaan vakuuttavaa ja immersoivaa ääniympäristöä. Tutkimuksessa ja tuotekehityksessä käytettävät ja tutkimamme kuunneltavat mallit ovat kuitenkin toiminnallisuudeltaan ja ominaisuuksiltaan hieman erilaisia. Tärkeä osa toiminnallisuutta on linkki fyysikaalisiin parametreihin ja mahdollisuus tehdä tuotesuunnittelua, melun häiritsevyys- ja what-if -analyysia. Tällaisen kuunneltavan mallin äänilähde voi perustua tallennettuihin ääniin, eri tavoin muokattuihin tallennettuihin ääniin, sekä mallinnettuihin ja syntesoituihin ääniin. Monessa tapauksessa on myös hyödyllistä pystyä kytkemään kuunneltava malli graafiseen ja haptiseen virtuaaliympäristöön.

Syntesoituja ääniä käytetään monella eri sovellusalueella: peleissä, simulaattoreissa, virtuaalitodellisuusympäristöissä [1], tilojen auralisaatiossa [2,3] ja nykyisin myös ääntä synnyttävien laitteiden tuotekehityksessä ja äänen etenemisen arvioinnissa, esimerkkinä sähkömoottorit [4,5], tuulivoimamelu [6,7,8,9], lentokoneet, [10], liikenne [11,12], henkilöautot [13,14] ja työkonet [15].

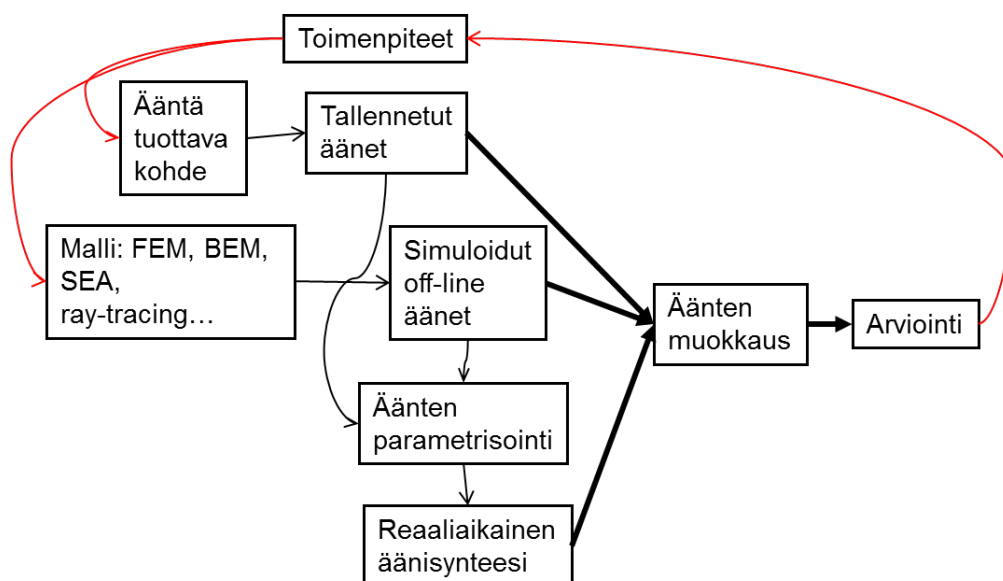
2 MALLIEN JAOTTELU JA KÄYTTÖ

Tutkimuksen ja tuotekehityksen kuunneltavat mallit voidaan jaotella monella eri tavalla. Yksi jakotapa on mallin toimintaperiaatteen mukainen: tehdäänkö ääni etukäteen laskien (off-line -mallit) vai siten että siihen liittyviä parametreja voidaan säätää reaaliaikaisesti (on-line -mallit). Käyttämämme ja tutkimamme kuunneltavat mallit ovat on-line -malleja.

Off-line -malleja voidaan tehdä usealla eri laskenta- ja visualisointityökalulla, mukaan lukien Soundplan, Odeon, CadnaA, Catt, VA One, Actran, GT POWER, ja joillain myös rajoitetusti on-line -malleja. Off-line -mallien laskenta-ajat voivat vaihdella suuresti mallin monimutkaisuuden mukaan, ja ne voivat olla muutamista sekunneista useisiin viikkoihin. Näitä valmiiksi laskettuja voidaan käyttää erilaisissa visualisointi- ja auralisointiympäristöissä (kuten Unity 3D) tai sitten suoraan niissä ohjelmissa, missä ne on laskettu.

On-line -mallit ovat usein yhdistelmä parametrien mukaan syntesoiduista ja valmiiksi lasketuista tai tallennetuista äänistä. Kuvassa 1 on esitetty kuunneltavan on-line -mallin toimintaperiaate ja mallin käyttöajatus. Äänet voivat olla tällaisessa mallissa peräisin useasta eri lähteestä. Muokkausparametreja voidaan säätää reaaliaikaisesti, samoin kuin äänen synteessin parametreja. Tärkeä osa mallia on tuotetun äänen arviointi, ja sen perusteella tehtävät muutokset ja muokkaukset joko todelliseen ääntä tuottavaan kohteeseen tai sitten malliin. Toisin kuin esimerkiksi peli- ja joissain tapauksissa myös simulaattorikäytössä, tutkimuksessa ja tuotekehityksessä käytettävissä malleissa ei käytetä ääninäytteiden satunnaistoistoa, vaan pyritään mahdollisimman hyvin toistettaviin tilanteisiin. Myös luodun äänimaailman tarkkuus on tärkeää, ja se pyritään varmistamaan vertailemalla tuotettua ääntä systemaattisesti todelliseen ääneen.

Äänilähteen ja äänen etenemisen yhdistävää mallia voidaan käyttää moneen tarkoitukseen tutkimuksessa ja tuotekehityksessä. Sillä voidaan tehdä nopea arvio ja analyysi tilanteesta. Asiantuntijaryhmä voi myös käyttää tällaista mallia yhdessä interaktiivisesti, ja muokata parametreja etsiessään optimitilannetta laitteen toiminnalle. Tällainen toimintatapa on erityisen tärkeä kytkettäessä kuunneltava malli käytännön tutkimukseen ja tuotekehitykseen, koska silloin syntyy takaisinkytkentä äänikokemuksesta fysikaalisiin muutoksiin laitteen rakenteessa, toimintatavassa tai ääniympäristössä. Tätä auttaa kuunneltavan mallin parametrien muunneltavuuden reaaliaikaisuus, koska ihmisen kuulomuisti on lyhykestoinen.



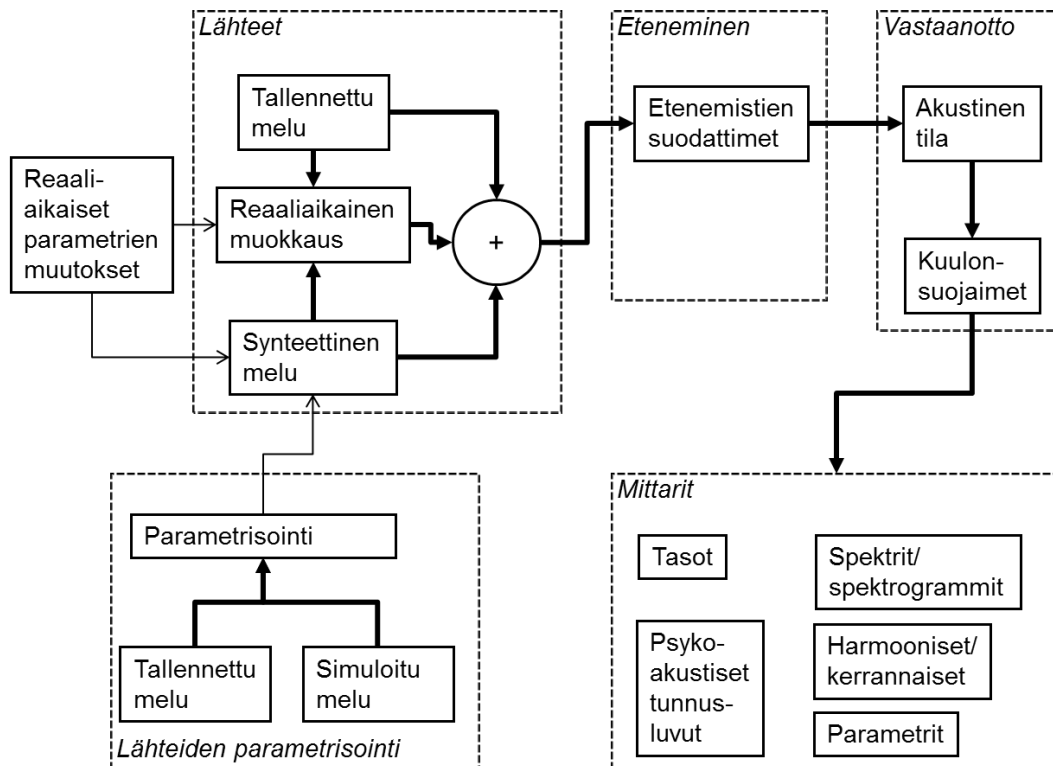
Kuva 1. Kuunneltavan on-line -mallin toimintaperiaate ja sen käyttö.

Kun erilaisia vaihtoehtoja on kuunneltavan mallin avulla saatu aikaan, niitä voidaan arvioida vielä tarkemmin systemaattisissa kuuntelukokeissa ja psykoakustisten mittareiden avulla. Kuunneltavalla mallilla voidaan esimerkiksi arvioida, miten mäntäpolttomoottorin äänessä kuuluva amplitudimodulaatio muuttuu, kun sylinteripaineet ovat erisuuret tai kun kuuntelupaikkaa muutetaan. Toisaalta voidaan parametreja muuttamalla ja kokeilemalla arvioida syitä, joiden vuoksi äänen aiheuttamassa kuuloaistimuksessa on jokin erityispiirre, esimerkiksi amplitudimodulaatio. Näiden syiden selvittäminen auttaa esimerkiksi laitteen äänenlaadun parantamiseksi tarkoitettujen muutosten suunnittelussa.

3 MALLIN TOTEUTUS

Kuvassa 2 on tarkempi lohkokaavio kuunneltavasta on-line -mallista. Äänen tuoton lisäksi äänen eteneminen pitää mallintaa riittävällä tarkkuudella. Käytännössä kyseessä on sopivan tyyppinen suodatin, jonka parametreja voidaan varioida. Äänen etenemiseen liittyvät vapaa tila, sisätilat ja erilaiset kuulonsuojaimet erityisesti teollisuuskäytössä. Myös mittarit ovat tärkeitä, koska niiden ja kuuntelutestien perusteella tehdään kuvan 1 mukaisesti muutokset ääntä tuottavaan kohteeseen, etenemistiehen tai fysikaaliseen malliin.

Käytännössä esimerkiksi ison moottorin kuunneltavassa mallissa tärkeitä parametreja ovat moottorin pyörimisnopeus, moottorin kuorma sekä tieto siitä, missä moottorin tuottamaa ääntä kuunnellaan moottorin asennuspaikalla. Tällaisia malleja ja on toteutettu samalla tekniikalla kuin tuulivoimamelun malli [9]. Moottorimelun lähdetiedosta on parametrisoitu mm. moottorin kerrannaiset, laajakaistaiset komponentit sekä apulaitteet. Tällaisia apulaitteita ovat yleisesti venttiilikoneisto ja sen käyttö, turboahdit, jäähdytys, polttoaineen syöttö ja ruiskutus sekä voiteluöljyn pumppaus ja siirto.



Kuva 2. Kuunneltavan mallin lohkokaavio.

4 YHTEENVETO

Kuunneltavat on-line mallit ovat tärkeä työkalu kehitettäessä tuotteiden ja laitteiden äänimominaisuuksia ja erityisesti äänenlaatua. Mallit mahdollistavat interaktiivisen tuotteiden ja laitteiden äänen laadun suunnittelun erityisesti ongelmatapauksissa tai haettaessa uusia äänellisiä ominaisuuksia. Tulevaisuuden kehitysmahdollisuuksia ovat mm. laajennettu (augmentoitu) kuuleminen ja etäläsnäolo

VIITTEET

- [1] Aromaa S, Antila M, Kokkonen E, Krassi B, Leino S, Nykänen H, et al. (2013) Designing user experience for the machine cabin of the future. In: Belloni K and Ventä O (eds) *VTT RESEARCH HIGHLIGHTS 8: eEngineering 2009 - 2012 - Digitising the product process*. Espoo, Finland: VTT, 45 - 56.
- [2] Savioja L., Huopaniemi J., Lokki T. and Väänänen R. (1999) Creating interactive virtual acoustic environments. *Journal of the Audio Engineering Society* 47(9): 675-705.
- [3] Lokki T. and Savioja L. (2009) Virtual Acoustics. *Handbook of Signal Processing in Acoustics*: 761-771.
- [4] Van der Giet M., Blum J., Dietrich P., Pelzer S., Müller-Trapet M., Pollow M., et al. (2011) Auralization of electrical machines in variable operating conditions. *Electric Machines & Drives Conference (IEMDC), 2011 IEEE International*: 1462-1467.
- [5] van der Giet M. (2011) *Analysis of electromagnetic acoustic noise excitations: A contribution to low-noise design and to the auralization of electrical machines*. Ph.D., Shaker Verlag: Aachen.
- [6] Pieren R., Heutschi K., Müller M., Manyoky M. and Eggenschwiler K. (2014) Auralization of wind turbine noise: Emission synthesis. *Acta Acustica United with Acustica* 100(1): 25-33.
- [7] Heutschi K., Pieren R., Müller M., Manyoky M., Hayek U. W. and Eggenschwiler K. (2014) Auralization of wind turbine noise: Propagation filtering and vegetation noise synthesis. *Acta Acustica United with Acustica* 100(1): 13-24.
- [8] Antila M. and Kataja J. (2014) Wind turbine audible model. *Proceedings of Forum Acusticum 2014*. 7. - 12. 9. 2014. Krakow, Poland.
- [9] Antila M. and Kataja J. (2013) Tuulivoimamelun kuunneltava malli. *Akustiikkapäivät 2013*: 166 - 170. 22. - 23.5.2013. Turku.
- [10] Rizzi S. A., Lopes Jr V., Burley C. L. and Aumann A. R. (2013) Auralization Architectures for NASA's Next Generation Aircraft Noise Prediction Program. *Proc. of Noise-Con 2013*: 240-247. August 26 - 28. Denver, Colorado, USA.
- [11] McDonald P., Rice H. and Dobbyn S. (2009) Auralisation and dissemination of noise map data using virtual audio. *Proc. of Euronoise 2009*. Oct 26 - 28. Edinburgh, Scotland.
- [12] Forssén J., Kaczmarek T., Lundén P., Nilsson M. E. and Alvarsson J. (2009) Auralization of traffic noise within the LISTEN project: Preliminary results for passenger car pass-by. *Proc. of Euronoise 2009*. Oct 26 - 28. Edinburgh, Scotland.
- [13] Van der Auweraer H., Janssens K., de Oliveira L. P. R., Da Silva M. and Desmet W. (2007) Virtual prototyping for sound quality design of automobiles. *Sound and Vibration* 41(4): 26.
- [14] Pieren R., Büttler T. and Heutschi K. (2015) Auralisation of accelerating passenger cars. *Proc. of Euronoise 2015*. 31 May - 3 June 2015. Maastricht, The Netherlands.
- [15] Antila M., Kataja J. and Kokkonen E. (2013) Virtual engine and ventilation noise generation for an underground loader cabin. *Aachen Acoustic Colloquium 2013, Aachen, Germany*: 167-174.