

SOITANNOLLINEN ÄÄNENMUODOSTUS FYSIKAALISELLA VIULUMALLILLA SORMITUSTEN NÄKÖKULMASTA

Jan-Markus Holm

Musiikkitieteen laitos
Jyväskylän yliopisto
PL 35
40351 Jyväskylä
jan-markus.holm@jyu.fi

1 JOHDANTO

Viulun yleiset soittotekniikat ovat vakiintuneet jo pari vuosisataa sitten, ja säilyneet lähes muuttumattomina tähän päivään saakka. Erilaisille soittotekniikoille ja notaatioille on syntynyt omat yleisesti hyväksytyt merkintätapansa.

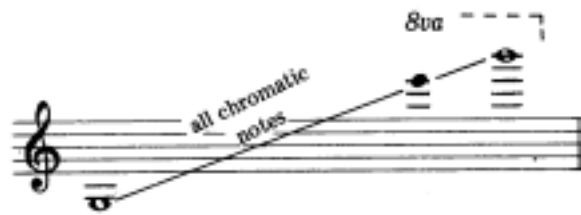
Tässä artikkelissa tarkastellaan äänen tuottamista viulun fysikaalisella mallilla vasemman käden sormituksen (engl. *stopping techniques*), etenkin sointujen, nk. *akordien*, näkökulmasta [1]. Akordit jousisoitinmusiikissa ovat arkipäiväinen ilmiö. Niiden soittaminen vaatii muiden soittotekniikoiden ohella myös vahvaa yhteistyötä oikean- eli jousikäden kanssa.

Fysikaalinen soitinmallinnus mahdollistaa soittimen äänenmuodostuksen yksityiskohtaisen kuvailun, kuten esimerkiksi lähteessä [2] on esitetty. Fysikaalisen soitinmallinnuksen juuret ulottuvat yli sadan vuoden taakse Lordi Rayleigh'n ensimmäisiin värähtelevien järjestelmien fysikaalisiin kuvailuihin artikkelissa *The Theory of Sound* sekä Helmholtzin mekaanisiin soittimia kuvaileviin malleihin [3]. Jousisoittimien, varsinkin viulun, fysikaalisen mallinnuksen alueella erityisen painoarvon saavat McIntyren, Schumacherin ja Woodhousen mittavat tutkimukset [2, 4, 5, 6]. Sekä mekaaniset että dynaamiset peruseräät vaikuttavat soittimen akustisiin ominaisuuksiin ja soittajan vuorovaikutukseen soittotapahtumassa, ja päin vastoin; onhan hyvän soittimen vaikutus myös muusikon esiintymismiellyttävyyteen selvä.

Tässä artikkelissa käsitelty viulumalli perustuu digitaaliseen aaltojohtomalliin (engl. *Digital Waveguides*) [7] ja yleisesti tunnettuihin digitaalisen signaalikäsittelyn menetelmiin. Kieltä kuvaavaan aaltojohtomalliin syötetään jousimallin tuottamalla herätteellä. Kielen pituuden, eli sävelkorkeuden muuttumista säädellään vasemman käden sormimallilla. Eräs tärkeimmistä lopulliseen kuulokuvaan vaikuttavista tekijöistä – sympateettisesti värähtelevien kielten lisäksi - on värähtelevä kaikukoppa, joka on myös lisättävissä malliin. Tutkimusta kieli- ja jousisoittimen kaikukopan kytkemiseksi synteessimalleihin on tarkasteltu mm. lähteissä [6, 8, 9]. Tässä esitetyn tutkimuksen synteessimallissa on myös käytetty lähteessä [9] esitetyn kaltaista rakennetta, jossa kaikukopan pääresonanssien mukaisia moodeja on liitetty laskentamalliin.

2 VASEMMAN KÄDEN SORMITUKSET

Usean yhdenaikaisen sävelen soittamista viululla kutsutaan moniääniseksi soitoksi, akordiksi, tai voidaan myös puhua kaksois-, kolmois-, tai nelosotteista (engl. *double-, triple- and quadruple-stops*). Aiemmin historiassa soitinten mallin ollessa vielä barokkityylinen siten, että talle ja kielet sijaittivat samalla tasalla, oli moniäänisyys musiikissa hyvin voimakasta, kuitenkin koulukunnasta riippuen. Soittimen mallin muuttuessa nykyisen kaltaiseksi, tuli moniäänisyydestä soitannollisen virtuositeetin mittari [10 s. 264]. Viulun ja jousisoittimen etuna useisiin muihin soittimiin on, että moniääniset kulut on mahdollista soittaa hyvinkin nopeasti, kolmi- ja neliotteet murtaen. Viulua soitettaessa sävelet soitetaan joko avoimilla kielillä tai painettuna. Viulun soitettava ulottuvuus on kuvattuna kuvassa 1, sekä esimerkki mahdollisista ja mahdottomista otteista viulunsoitossa on esitetty kuvassa 2.



Kuva 1. Viulun soitettavissa oleva sävelulottuvuus [1].

3 OIKEAN KÄDEN JOUSITEKNIIKAT

Jousi koskettaa korkeintaan kahta kieltä yhtä aikaa, yleensä tasaisella paineella. Suurempaa otetta soitettaessa voimakkaampi paine kohdistetaan sarjan keskimmaiselle kielelle, tai jousitetaan täysin murtaen nelosotteen tapauksessa, jolloin puhutaan ns. arpeggiosta. Voimakkaisiin alukkeisiin tuotetaan suurempi dynamiikka (*f*, *mf*), joka on helpommin saavutettavissa barokkijouseen verrattuna ns. nykyaikaisella jousella, jossa jousen puu on sisäänpäin kaartunut [esim. 1].

Suurin jousitekniikkaan vaikuttava tekijä on aikakausi ja musiikkityyli. Viulunsoiton ekspressiivisiin ominaisuuksiin jousikäden ja soittotyylin osalta on paneuduttu teoksessa [10 s. 50], jossa vertaillaan laadullisin määrittein jousen pituuden, aikakauden, soittokohdan, ja musiikkityylin vaikutuksia muun muassa artikulointiin ja nyansointiin. Määritteistä käy ilmi esimerkiksi jousituksen pituuden ohella tyyliin tarvittava kuvainnollinen jousen paine ja nopeus. Näitä laadullisia määritteitä voidaan käyttää apuna ekspressiivisen jousen käytön simulointia luotaessa. Jousitusten fysikaalisten parametrien, jousen paineen ja nopeuden, mittauksia on myös suoritettu [14, 15], ja näistä saatu hyödyllistä informaatiota jousenkäytön simulointiin. Jousenkäytön simulointia käsitellään enemmän seuraavassa luvussa.



* Both pitches are on the same string.

Kuva 2. Esimerkki viulun mahdollisista ja mahdottomista sormituksista. Kolme ensimmäistä mahdottomia sävelten osuessa samalle kielelle [1].

4 VIULUMALLI

Viulumallin toteutuksen perustana ovat digitaaliset aaltojohdot [7]. Tässä artikkelissa käytetty viulumalli käsittää kielimallit oikeiden viulun kielten kaltaisesti siten, että kielten fyysikaalinen käyttäytyminen on tietyllä tarkkuudella sisällytetty malliin. Tämä tarkoittaa käytännössä mm. sitä, ettei kielen mittaa säädellä erikseen, vaan sävelkorkeuden muuttaminen toteutetaan sormimallilla. Muita jäljiteltäviä ominaisuuksia ovat esimerkiksi poikittaisen- ja torsioliikkeen aaltovastukset [2, 4, 5, 6]. Lisäksi ns. sympateettiset värähtelyt kielten ja kaikukopan välillä on otettu huomioon kohtalaisella tarkkuudella. Erittäin tarkka osien keskinäisten värähtelyjen huomiointi, mm. tallan admittanssi, vaatisi laskennallisesti raskaita menetelmiä. Värähtelyjä on tarkasteltu lähemmin mm. lähteessä [8].

Viulun kaikukoppa on vivahteikas värähtelijä ja sen tehtävänä onkin rikastaa soittimen sointia. Kaikukoppa voidaan toteuttaa esimerkiksi suodinpankkina voimakkaammille värähtelymoodeille yhdistettynä tavallisen suotimen kanssa. Kaikukopan toteutustekniikoita kielisoittimille on käsitelty mm. [11], sekä viulun tapauksessa [9].

Jousi-kieli –vuorovaikutusta on tutkittu ja mallinnettu suhteellisen tarkasti [2, 4, 5, 6], joskin äärellisen jousen leveyden mallintaminen on ollut vaikeaa. Joitakin simulaatioita tapahtuman mekaniikasta on kuitenkin toteutettu [12]. Tässä artikkelissa esitetyn mallin simulaatioissa on pääosin käytetty yksipisteherättemallia, joskin alustavia tuloksia myös monipistemallista on saavutettu. Näitä tuloksia tullaan esittelemään toisaalla.

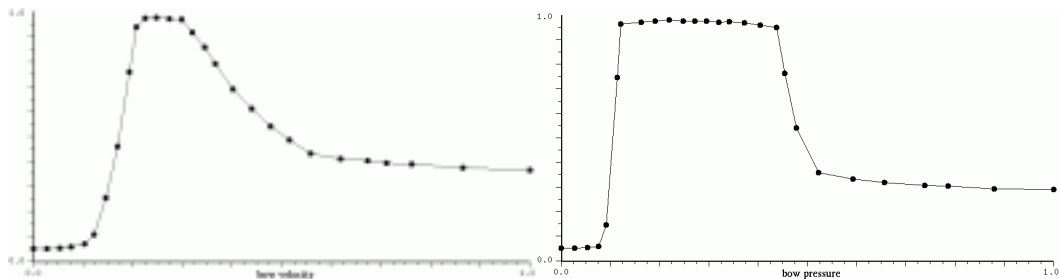
Artikkelissa esitetyssä tutkimuksessa on käytetty kaksipuolista viivelinjamallia, jossa kontaktikohdat on mallinnettu erillisillä liittymillä. Sormitusten tuottama vaimennus on kauttaaltaan jokseenkin samanlaista, mutta sormitukset on toteutettu erillisinä soitannollisuuden aikaansaamiseksi. Täten mm. kielestä aiheutuva taajuusriippuvainen vaimeneminen korkeammissa asemissa soittimen otelaudalla on mahdollista toteuttaa. Hienoviritykseen sekä kieli- että sormimalleissa on käytetty murtoviivetoteutuksia [13].

Jousen kieleen kohdistama nopeusinformaatio on yhteinen, mutta paineinformaatio erillinen kaikille kielimalleille, sillä laajempaa otetta soitettaessa tai otteesta toiseen siirryttäessä jousen tuottama kielikohtainen paine muuttuu. Edellämainitun kaltaisen systeemin kaaviokuva on esitetty kuvassa 3.

4.2 Jousikäden mallintaminen

Jousitustekniikat voidaan jakaa kahteen pääluokkaan, makaaviin ja hyppääviin jousituksiin [esim. 10, s. 110]. Akordeja soitettaessa käytetään usein nk. *martelé*-jousitusta. Erikseen soitettuina vetojousina aikaansaadaan akordeille raskas ja ponteva aluke. Tunnusomaista akordin soittotyylille on nopea, lennokka jousenkäyttö, jonka alukkeessa toteutetaan *sforzando*, tai pieni aksentti.

Jousitusten parametrisointia mallinnusta varten on tarkasteltu mm. seuraavissa lähteissä [14, 15]. Jousituksen fysikaalisessa mallissa paine- ja nopeusinformaatio parametrisoidaan kielimall(e)ille syötettävään muotoon. Syötteen variaatioilla on mahdollista saavuttaa hyvinkin todellista jousitustilannetta vastaava malli. Kuvassa 5 on esitetty esimerkit yhden jousen nopeuden ja paineen parametrisoinneista.



Kuva 5. Jousen nopeuden ja paineen syötteen verhoikäyrät aika-amplitudikuvaajina Martelé-tyylisessä jousituksessa.

5 YHTEENVETO

Artikkelissa on tarkasteltu fysikaalisella viulumallilla toteutettua simulaatiota soitannollisen ekspressiivisyyden näkökulmasta. Erityisen tarkastelun kohteena on ollut vasemman käden laajemmat sormitukset ja niiden tonaalinen säde.

Artikkelissa käsitellyt mallit on mallinnettu tietokoneellisesti, ja simulaatiot on toteutettu MATLAB-ohjelmistolla. Malliesimerkkejä on havainnollistettu ääninäyttein. Lisää viulun mallinnuksesta Internetissä (<http://www.jyu.fi/~hojakr/violin.html>).

LÄHTEET

1. ADLER S, *The Study of Orchestration*, 2nd ed. ISBN 0-393-95807-8, 1989.
2. MCINTYRE M E & SCHUMACHER R T & WOODHOUSE J, On the Oscillations of Musical Instruments. *Journal of the Acoustical Society of America* 74(1983)(5), 1325-1345.
3. ROADS C, *The Computer Music Tutorial*. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England, 1996.

4. MCINTYRE M E & WOODHOUSE J, On the Fundamentals of bowed-string dynamics. *Acustica* **43**(1979)(2), 93-108.
5. SCHUMACHER R T, Self-sustained Oscillations of the Bowed-String. *Acustica* **43**(1979) (2), 109-120.
6. HUTCHINS C M, *Research Papers in Violin Acoustics 1975-1993. Vol.1-2*. Acoustical Society of America, Woodbury, NY, USA, 1997.
7. SMITH J O, Physical Modeling Using Digital Waveguides. *Computer Music Journal* **17** (1993)(4), 74-91.
8. SMITH J O, *Digital Waveguide Modeling of Musical Instruments*. Book Draft. <http://www-ccrma.stanford.edu/~jos/waveguide/waveguide.html>, Elokuu 2001.
9. HOLM J-M & VÄLIMÄKI V, Modeling and Modification of Violin Body Modes for Sound Synthesis. *Proc. Eur.sig.proc.conf.2000, Tampere, Finland, 2000*.
10. HOLOPAINEN J, *The theory and reality of violin bowing: The systematic study of the equivalence between bowing techniques and violin music*. Doctoral thesis, University of Jyväskylä, ISBN 951-39-0791-0, Jyväskylä 2000.
11. KARJALAINEN M & SMITH J O, Body Modeling Techniques for String Instrument Synthesis. *Proc. Int. Comp. Music Conf.*, Hong Kong, 1996, 232-239.
12. PITTEROFF R & WOODHOUSE J, Mechanics of the Contact Area Between a Violin Bow and a String. Part I-III. *Acustica - acta acustica*, Vol. **84**(1998), 543-562, 744-757, 929-946.
13. LAAKSO T I & VÄLIMÄKI V & KARJALAINEN M & LAINE U K, *Crushing the Delay – Tools for Fractional Delay Filter Design*. Report 35, ISBN 951-22-2345-7, Otaniemi, Espoo, 1994.
14. MATHEWS M & PIERCE J, *Current Directions in Computer Music Research*. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England, 1989.
15. TAKALA T & HIIPAKKA J & LAURSON M & VÄLIMÄKI V, An Expressive Synthesis Model for Bowed String Instruments. *Proc. Int. Comp. Music Conf.*, Germany, 2000.