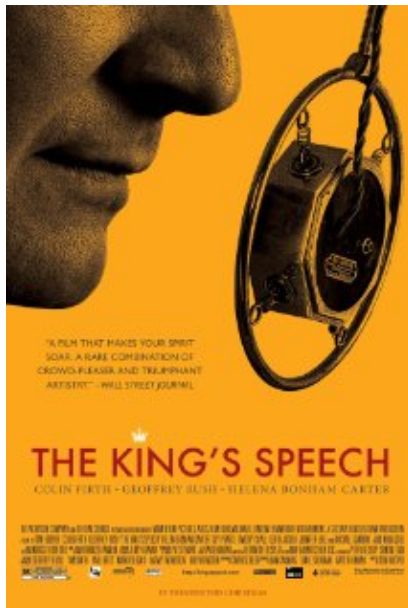


Kuvia puheentutkimusprojektilta vuosina 2007–2013

Dos. Jarmo Malinen

Aalto-yliopisto,
Matematiikan ja systeemianalyysin laitos

The king's speech – a serious matter



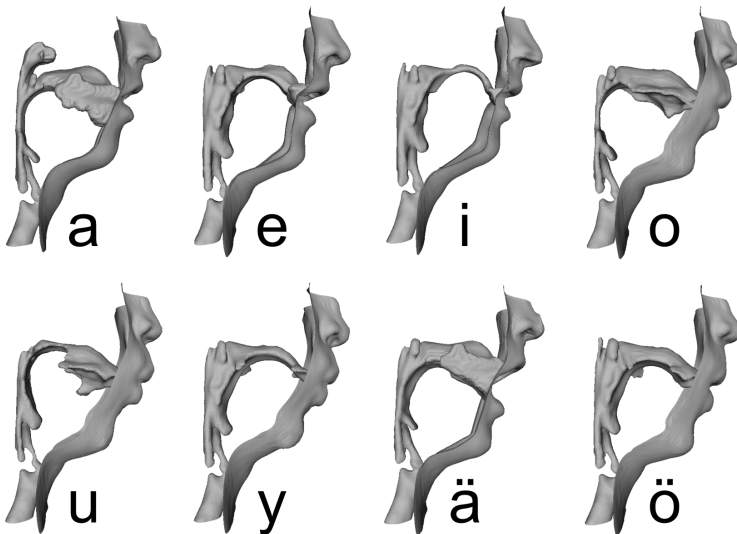
Puheentutkimusta ja matematiikkaa?

Syöpiä, epämuodostumia, vammoja...



...olisiko puheakustiikan mallinnuksella jotain annettavaa kirurgisten toimenpiteiden ja kuntoutuksen suunnittelulle?

Suomen kielen vokaalit pintamalleina



Kuvat on tuotettu laskemalla MRI-datasta kudus/ilma -rajapinta.

Akustisen analyysin perustyökaluja ovat **3D aaltoyhtälö**

$$\phi_{tt} = c^2 \Delta \phi$$

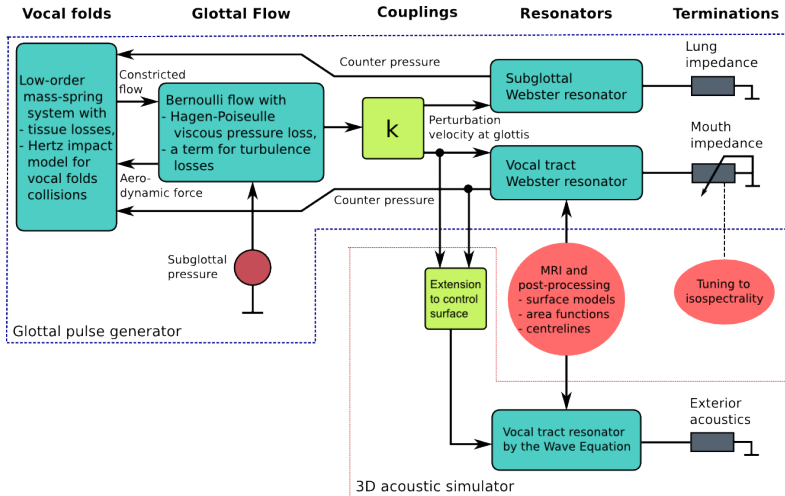
ja yksinkertaisempi **Websterin torvimalli**

$$\frac{1}{c^2 \Sigma(s)^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = \frac{1}{A(s)} \frac{\partial}{\partial s} \left(A(s) \frac{\partial \psi}{\partial s} \right) - \frac{2\pi\alpha W(s)}{A(s)} \frac{\partial \psi}{\partial t}.$$

Yhtälöitä on numeerisesti ratkaistava kuvantamismenetelmin hankituissa geometrioissa, fysikaalisesti mielekkäillä reunaehdoilla ja äänihuulimallin antamalla syötteellä.

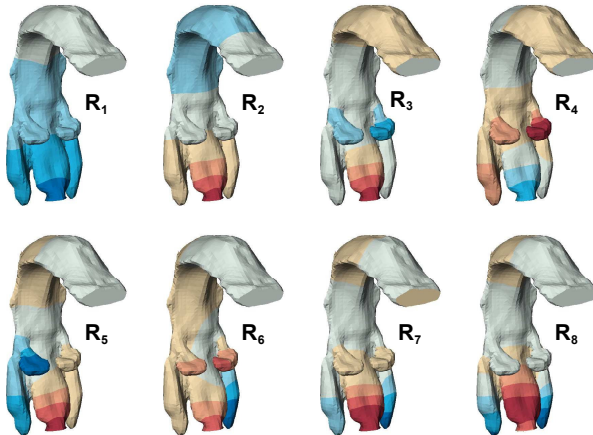
Kytkeytyjä passiivisia reunakontrollisysteemejä.

Akustiikka osana puheentuoton kokonaisuutta "Dico"



Numeriikkaa, systeemejä ja malleja laajalla arsenalilla.

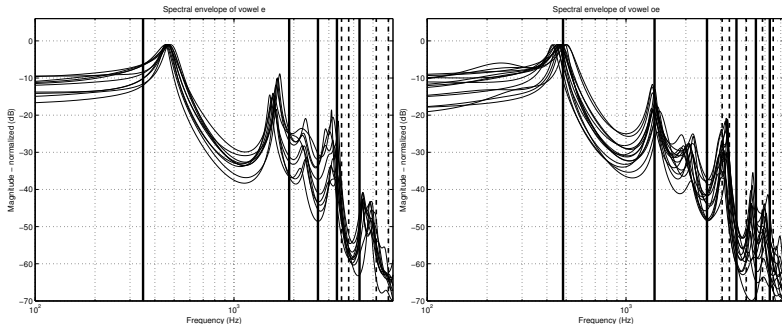
Vokaaligeometrian [ö] alimpia resonansseja FEM:llä



Luvassa uutta tietoa poikittaisresonanssien roolista mm. sopraanojen ja tenorien laulutekniikan kannalta (“Singer’s Formant”).

Helmholtz-resonanssien ja mittausten vastaavuus

Vokaalien [e] ja [ö] puheesta mitattuja spektriverhokäyriä, joista äänihuuliherätteen harmoninen rakenne poistettu.



Mittauskäyrien huiput vastaavat ääntöväylän geometriasta laskettuja resonansseja, jotka on esitetty pystyviivoin (pitkittäiset vahvennettuina).

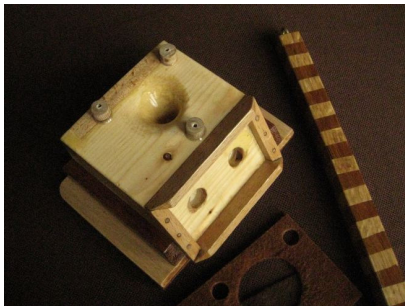
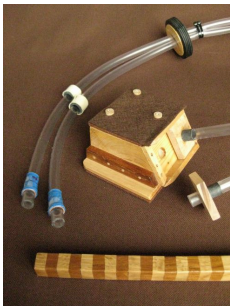
Yhtäaikaa puhetta ja 3D MRI:tä talteen?

Haaste: Validaatiota ja parametristimointia varten äänidatan ja kuvadatan tulee kuvata tarkoin samaa tilannetta.



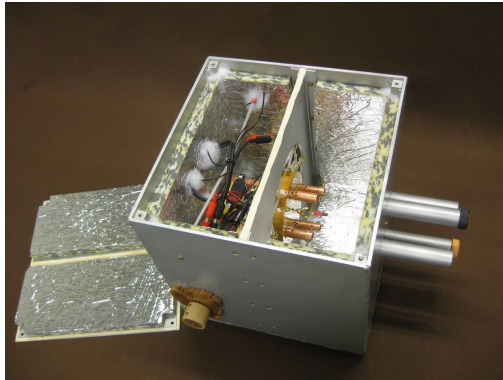
Metallia (erityisesti ferromagneettista) ja elektroniikkaa ei juurikaan voida käyttää MRI-koneen sisällä. Akustinen melu.

Tarvitaan **häiveteknologiaa!**



- Puhe ja melunäyte kulkevat ensimmäiset 3 m akustisesti “puutarhaletkussa” .
- Kaksikanavainen äänenkeräin ja aaltojohtimet vasemmalla. Oikealla keräin ilman vaimenninrakenteita.

Mikrofonit suojattava voimakkaalta RF-taustalta



Aaltojohtimet vievät mikrofoniasetelmaan, joka on asennettu äänieristetyin ja täysin ei-ferromagneettisen Faradayn häkin sisälle.

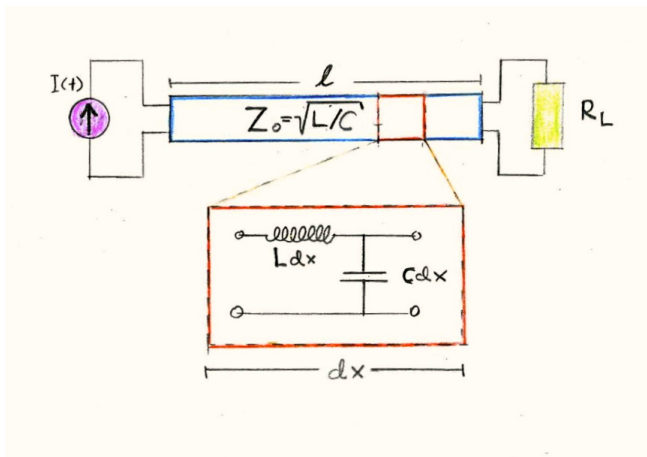
Valitettavasti:

- Puhe ei välity hyvin aaltojohtimissa, joiden pituus on useita kertoja puheen tyypillisiä aallon pituuksia.
- Aaltojohtimien seisovat aallot resonanssitaajuuksilla ylioheavat mikrofonielementit.
- Ylioheautuneet mikrofonit eivät toimi lineaarisella käyttöalueellaan. Syntyneitä artefakteja ei voida poistaa tallannetuista signaaleista, koska informaatiota on kadonnut.

Tarvitaan ratkaisu pitkittäisresonanssien sammuttamiseksi tai edes riittäväksi vaimentamiseksi.

Sähköinen siirtolinja analogiana

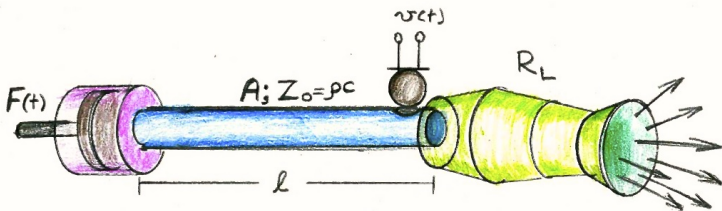
Sähköisissä siirtolinjoissa ongelma ratkaistaan terminaatio-
vastuksella R_L linjan karakteristiseen impedanssiin Z_0 .



Vakiot L ja C ovat jakautuneita induktansseja ja kapasitansseja.

Akustinen siirtolinja

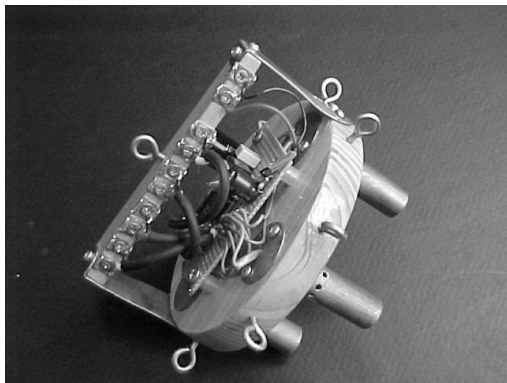
Aaltojohtimet ovat toinen siirtolinjatyyppi, joka on matemaattisesti läheistä sukua sähköisille linjoille.



Akustisia resistansseja R_L ei ole saatavilla kaupasta, vaikka oikea arvo (5.24 akustista megaohmia) voidaankin laskea teoreettisesti.

Toimisivatko reiät mikrofonielementtien vieressä?

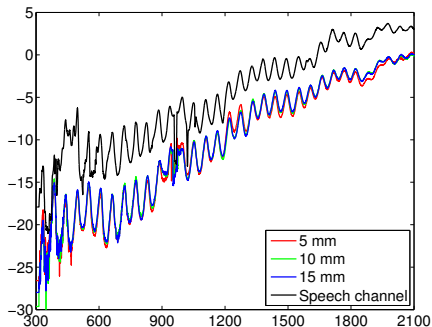
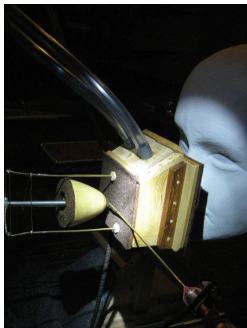
Lähikuvassa neljän mikrofonin asetelma Faradayn häkin sisällä.



Kyllä, mutta:

- Ei täydellistä vastetta, mutta riittävän hyvä.
- Vierekkäiset kanavat ylikuuluvat reikien kautta.

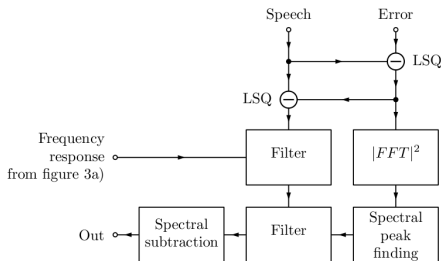
Signaalinkäsittelyllä jäännösresonanssit



Vaimentunut pitkittäisresonanssirakenne voidaan kompensoida numeerisesti, taajuusvastemittauksin fyysikaalisella mallilla kaiuttomassa huoneessa.

Akustisen melun poisto signaalinkäsittelyllä

MRI-huoneessa vallitsee noin 95 dB(SPL) melutaso kuvauksen aikana. Melu koostuu muutamasta taajuuskomponentista harmonisine yläsävelineen.



Puhenäytteestä vähennetään melunäytteen sisältö optimaalisesti.

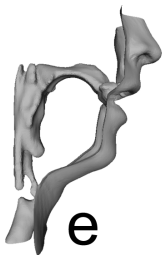
Adaptiivinen spektraalifiltteri etsii melun harmonisen rakenteen ja poistaa jäännösmelukaistan puhonäytteestä.

Prof. O. Aaltonen, Prof. R.-P. Happonen, Doc. J. Malinen

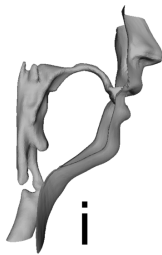
DI A. Aalto, Dr. D. Aalto, Ms. L. Altarriba, Dr. A. Hannukainen,
DI A. Huhtala, Dr. P. Jääsaari, Mr. A. Kivelä, M.Sc. J. Kuortti,
Dr. T. Lukkari, HLK J.-M. Luukinen, M.Eng. T. Murtola, Lic. P. Palo,
Doc. R. Parkkola, Dr. J. Saunavaara, Doc. T. Soukka, Doc. M. Vainio.



a



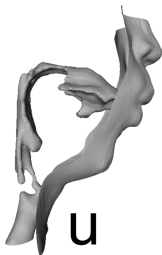
e



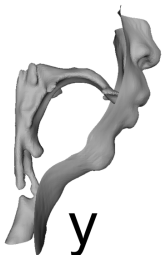
i



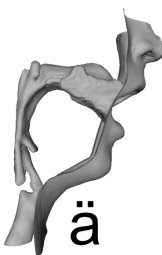
o



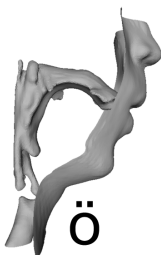
u



y



ä



ö

That's all, folks. Questions?