



Aalto-yliopisto  
Perustieteiden  
korkeakoulu

# Kausaalimallit funktionaalisessa magneettikuvantamisessa (valmiin työn esittely)

*Ilmari Pärnänen*

*17.09.2012*

*Ohjaaja: DI Juha Lahnakoski, prof. Harri  
Ehtamo*

*Valvoja: prof. Harri Ehtamo*

Työn saa tallentaa ja julkistaa Aalto-yliopiston avoimilla verkkosivuilla. Muilta osin kaikki oikeudet pidätetään.

# Työn taustaa

- Kesätyö vuosina 2010 ja 2011 Aalto-yliopiston lääketieteellisen tekniikan ja laskennallisen tieteen laitoksella (BECS)
  - Aivoverkon kartoitusta Mind and Brain –ryhmässä kausaalimallien avulla
- Haastava tutkimusaihe
  - Kokeillut matemaattiset menetelmät eivät lopulta soveltuneet ryhmän mittauksien pohjalta mallintamiseen
- Kandidaatintyö lopulta valmiiksi kesän 2012 aikana
  - Sisältönä kirjallisuuskatsaus käytettyihin menetelmiin ja niiden ominaisuuksien vertailuun

# Magneettikuvantaminen (MRI)

- Tutkittava kudos vahvassa magneettikentässä
  - Tasapainotilaa häiritään radiopulssilla
  - Kudoksesta palautuva resonanssisignaali sisältää informaatiota kudoksen rakenteesta



# Magneettikuvantaminen (MRI)

- Yhdistelemällä resonanssisignaalien informaatioita saadaan rakennekuva aivoista
- Menetelmä on hyvin suosittu aivotutkimuksessa
  - Paikkatarkka
  - Turvallinen

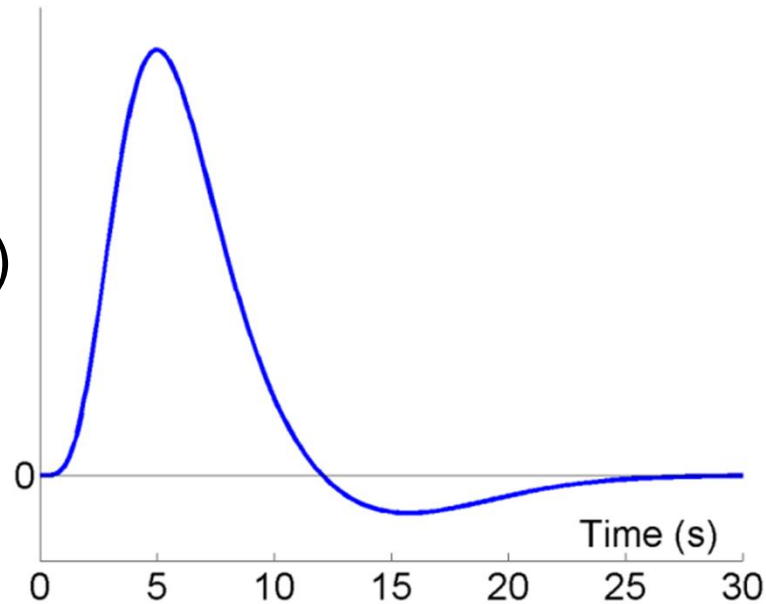


# Funktionaalinen magneettikuvantaminen (fMRI)

- Tarkan rakenteen sijasta kiinnostuksen kohteena toiminnalliset muutokset
- Aivoaktivaation seurauksena kyseisellä aivoalueella olevan veren happipitoisuus kasvaa (neurovaskulaarinen kytkentä)
- Veren happipitoisuuden muutokset havaitaan magneettikuvantamislaitteella
  - Avainilmiönä hemoglobiinin erilaiset magneettiset ominaisuudet

# BOLD-signaali

- Veren happipitoisuuden tasosta riippuva (blood-oxygen-level-depenpent)
  - Alustava pudotus
  - Jyrkkä nousu
  - Nollatason alitus lopussa



# Esikäsittely



# Dynaaminen kausaalimallinnus

$$\dot{x}(t) = f(x(t), u(t), \theta) = Ax(t) + \sum_{j=1}^m u_j(t)B^{(j)}x(t) + Cu(t),$$

missä

- $x$  on aivoalueen aktivaatio (tila)
- $u$  on ulkoinen ärsyke (syöte)
- $A$ ,  $B$  ja  $C$  ovat mallin parametrit

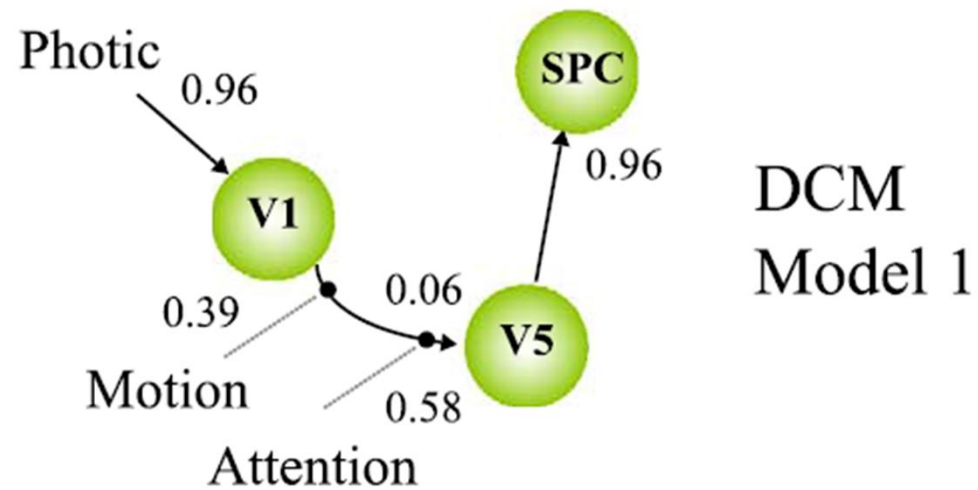


# Granger-kausaalimallinnus

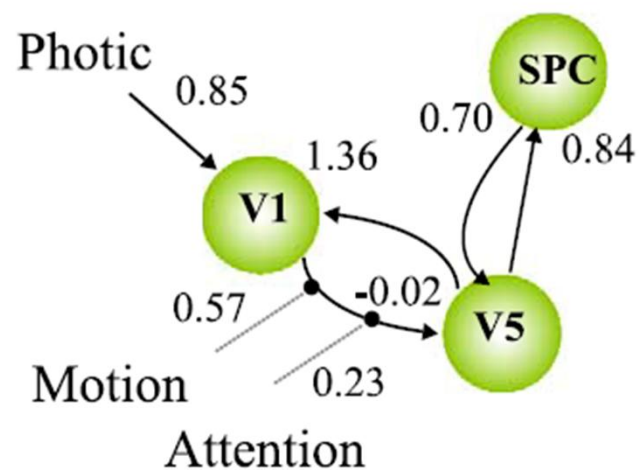
$$X_1(t) = \sum_{j=1}^p A_{11,j} X_1(t-j) + \sum_{j=1}^p A_{12,j} X_2(t-j) + \epsilon_1(t)$$
$$X_2(t) = \sum_{j=1}^p A_{21,j} X_1(t-j) + \sum_{j=1}^p A_{22,j} X_2(t-j) + \epsilon_2(t),$$

- Lineaarinen
- Diskreettiaikainen
- Helposti yleistettävissä useammallekin muuttujalle

# Vertailu

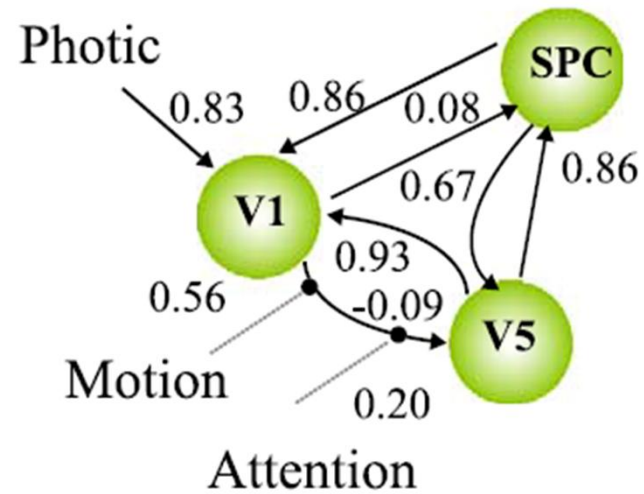


# Vertailu



DCM  
Model 2

# Vertailu



DCM  
Model 3

# Vertailu - yhtäläisyydet

- DCM & GCM
  - Aikasarja-analyysin monimuuttujamenetelmä
  - Mallintaa suunnattua kytkentää
  - Malleilla on biologinen tulkinta

# Vertailu - erot

## DCM

- Päätelmät säätöteorian perusteella
- Vaatii syötteen
- Epälineaarinen
- Ei vaadi stationaarisuutta
- Vaatii priorimallin
- Mallin parametreillä biologinen tulkinta

## GCM

- Päätelmät satunnaisten vaihteluiden perusteella
- Ei vaadi syötettä
- Lineaarinen
- Vaatii stationaarisuuden
- Ei vaadi priorimallia
- Mallin parametrit puhtaasti tilastollisia

# Haasteet

- Aivoverkko on monimutkainen
  - Malliavaruus on hyvin laaja
- Aivoaktivaatiot ovat hyvin nopeita suhteessa mittauksen aikaresoluutioon
  - Monimutkaisen mallin tuloksien epävarmuus kasvaa
- Ihmisten väliset erot ovat merkittäviä
  - Varsinkin aivojen erilaiset muodot tuottavat haasteita
- Koejärjestelyt aiheuttavat itsessään poikkeamaa mittauksiin
  - Täysin luonnollisten tilojen mallintamisessa ollaan vielä kaukana

# Johtopäätökset

- Magneettikuvantaminen on yksi aikamme vallitsevista aivojen rakenteen kuvantamismenetelmistä
  - Suurimpina etuina paikkatarkkuus sekä turvallisuus
- Kausaalimallit ovat edesauttaneet aivojen rakenteen kartoitusprosessia
  - Mallien rajoitteiden voittamiseksi kehitellään jatkuvasti laajennuksia
- Luonnollisten tilojen mallintamista varten on tehtävä laajennuksia sekä kokeiltava uusia menetelmiä