

Identifiointiprosessi

- Koesuunnittelu, identifiointikoe
- Mittaustulosten / datan esikäsittely
- Ei-parametriset menetelmät:
 - transientti-, korrelaatio-, taajuus-, Fourier- ja spektraalianalyysi
=> askel-, impulssi- ja taajuusvaste, ajatuksia esim. kertaluvuista
- Parametrien estimointi – mallirakenteen (rakenneparametrit) valinta
- Mallin arviointi:
 - simulointi, navat, erilaiset vasteet, jne...
- Mallin validointi:
 - parametrien merkitsevyys, residuaalianalyysi, jne...

Identifiointikokeen suunnittelu ja mittaustulosten esikäsittely

- Hyvä koe tuottaa paljon informaatiota systeemistä
- Suunnitteluongelmia:
 - mitä signaaleja mitataan?
 - sisäänmenon / herätteen valinta
 - sopiva näytteenottoväli
- Mittaustulosten käsittely:
 - keskiarvotus, trendien poistaminen
 - korkeataajuuksien häiriöiden suodattaminen (laskostuminen)
 - jako estimointi- ja validointidataan
 - mittausten luotettavuus
 - onko uudelleennäytteistäminen tarpeen?

Perusajatuksia

- Millä tahansa menetelmällä tuotettu parametriestimaatti kuvaa systeemiä parhaalla mahdollisella tavalla *identifiointikokeen olosuhteissa*
- Malli antaa systeemin täydellisen kuvauksen jos
 1. Mallin parametointi sallii sen ja malli on rakenteellisesti identifioituva
 2. Identifiointikoe on onnistunut
- Parametriestimaatin kovarianssi riippuu käänteisesti ennusteen gradientista \Rightarrow pieni kovarianssi jos ennuste on herkkä parametrille
 - Valitse y ja u s.e. \hat{y} on mahdollisimman herkkä θ :n suhteen

Näytteenottovälin valinta

- Korkea näytteenottotaajuus vs. systeemin dynamiikka
=> liian paljon dataa
- Matala näytteenottotaajuus vs. systeemin dynamiikka
=> liian vähän dataa
- Parempi liikaa kuin liian vähän dataa
 - Onko käytännössä mahdollista?
- Peukalosääntöjä:
 - Sopiva näytteenottotaajuus on noin 10 X kiinnostava taajuuskaista
 - Askelvaste => 5-8 näytettä nousuaikana
- Aluksi liikaa dataa => voidaan uudelleennäytteistää

Sisäänmenon valinta 1/2

- Sisäänmeno $u(t)$ herättää systeemin
- Esim. $u(t) = A \sin \omega t$ antaa tietoa (vahvistus & vaihekulma) vain yhdestä taajuudesta \Rightarrow harvoin riittävä
- $u(t)$:n oltava siis taajuussisällöltään rikas
- Hyvä signaali on esim. satunnaisesti 2 arvon välillä vaihteleva signaali
 - sisältää kaikkia taajuuksia, taajuuspainotus voidaan valita säätämällä vaihtotodennäköisyyttä
 - lineaarisille malleille arvot valitaan toiminta-alueen ääripäistä
 - epälineaarisille malleille oltava useita tasoja (myös linearisoinnin arvionti)

Sisäänmenon valinta 2/2

- Taajuussisällön ohjenuorana taajuustulos (kirja 9.48):
 - Pääosa signaalin energiasta niillä taajuuksilla joilla mallille halutaan hyvä suorituskyky
- Ajatus aikatasossa: u :n sisällettävä niin nopeita vaihteluja, että systeemin lyhimmät mielenkiintoiset aikavakiot heräävät
 - u vakio pidempiä aikoja \Rightarrow staattisen vahvistuksen selvittäminen, myös sopivan näytteenottovälin selvittäminen
 - Useita aikavakioita systeemissä \Rightarrow joudutaan priorisoimaan
- Vaihtoehto satunnaiselle signaalille PRBS (PseudoRandom Binary Sequence)
 - Deterministinen signaali pitkällä periodilla

Yhteenveto näkökulmista

- 2-tasoiset signaalit ovat usein sopivia lineaaristen systeemien identifiointiin
- Sisäänmenon energiasisältö oltava mallintamisen kannalta tärkeillä taajuuksilla, esim. Boden diagrammin taitekohdat
- Sisäänmenon herätettävä hitaimmat ja nopeimmat mielenkiintoiset moodit

Signaalin jatkuvasti herättävyys – määritelmiä taajuustasossa

Määritelmä:

Signaali $u(t)$ (spektri $\Phi_u(\omega)$) on **jatkuvasti herättävä**
(**persistently exciting, p.e.**) astetta / kertalukua n



$\Phi_u(\omega) > 0$ ainakin n :ssä pisteessä välillä $(-\pi, \pi)$ (ol. $\Delta t = 1$)

- Määritelmä: $u(t)$ on **jatkuvasti herättävä**, jos $\Phi_u(\omega) > 0$
melkein kaikkialla välillä $(-\pi, \pi)$
 \Rightarrow äärelliset lineaariset suotimet eivät vaikuta jatkuvasti
herättävyyteen

Määritelmä aikatasossa

- $u(t)$ p.e. astetta $n \Leftrightarrow$ autokovarianssimatriisi (vtr. Wiener-Hopfin yhtälö)

$$\bar{R}_n = \begin{bmatrix} R_u(0) & R_u(1) & \dots & R_u(n-1) \\ R_u(1) & R_u(0) & \dots & R_u(n-2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R_u(n-1) & R_u(n-2) & \dots & R_u(0) \end{bmatrix}$$

on ei-singulaarinen

- Yksikköimpulssi: p.e. astetta 0
- Yksikköaskel : p.e. astetta 1
- Siniaalto: voidaan osoittaa, että $A \sin \omega_0 t$:n spektri on $A^2/4[\delta(\omega-\omega_0)+\delta(\omega+\omega_0)] \Rightarrow$ p.e. astetta 2
- Valkoinen kohina: $R_n = \lambda I_{n-1} \Rightarrow$ p.e. (seuraus: kaikki ARMA-prosessien ulostulot p.e.)
- PRBS: p.e. astetta M , $M =$ jakson pituus

Käytännöllinen tulos

Olkoon **kohinaisen** systeemin siirtofunktio $G(q, \theta)$ muotoa $B(q, \theta)/F(q, \theta)$ ja olkoot polynomien asteluvut n_b ja n_f .

\Rightarrow

Polynomien kertoimet voidaan estimoida sisäänmenolla $u(t)$, joka on jatkuvasti herättävä vähintään astetta $n_b + n_f$

Peukalosääntö:

Kertalukua n olevan systeemin parametrien identifiointiin tarvitaan signaali joka on p.e. vähintään astetta $2n$

Suljetun silmukan systeemien identifiointi

- Käytännössä toimivien prosessien säätöä ei voida identifiointiin ajaksi keskeyttää
- Sisäänmeno määräytyy ainakin osin ulostulosta
 - Köyhdyttää sisäänmenoa => hankaluuksia
- Peukalosääntöjä:
 - Vältä yksinkertaisia säätimiä, vähennä säätöä jos mahdollista
 - Korrelaatio- ja spektraalianalyysi ei toimi takaisinkytketyssä järjestelmässä!!
- Parametriset ennustevirhemenetelmät suositeltavampia
 - Referenssisignaali sisäänmenoksi!

Datan esikäsittely

- Koe suoritettu, data kerätty
 - => datan esikäsittely ennen identifiointia
- Piirrä kuva:
 - trendit, ajautuminen
 - outlierit
 - edustavan datasetin valinta - jako estimointi- ja validointidataan
- Keskiarvota / poista trendi tarvittaessa
- Alipäästösuodatus laskostumisen estämiseksi
- Poista outlierit!
 - Neliöllinen hyvyyskriteeri painottaa outliereita

Esisuodatus

- Parametristimointi voidaan tulkita taajuusvasteen sovittamiseksi erään taajuusnormin (kirja 9.49) mielessä
- Esisuodatetaan $u(t)$ ja $y(t)$ $L(q)$:lla \Rightarrow taajuusnormiin tulee komponentti $|L(e^{i\omega})|^2$ mukaan
 - valitaan $L(\cdot)$ kaistapäästösuodattimeksi \Rightarrow voidaan **jälkikäteen** valita sovituksessa painotettavat taajuudet!
- Huom. ARX-mallin kohinarakenne $1/A(q)$ eli taajuusnormi 9.49 painottaa korkeita taajuuksia
 - tämä ei ole välttämättä toivottavaa
 - eräs menetelmä: sovitetaan ARX-malli $\Rightarrow \hat{A}$, esisuodatetaan $1/\hat{A}$:lla, sovitetaan uudestaan ARX-malli