Systeemiteoria ja malli, tavoitteellisen toiminnan perusta

Pentti Lautala

HB-seminaari 2013

Systeemit ja mallit eilen Aamulehdessä!

MULEHTI

imien vahvistamiseen
ättömiä. Kronikka A2

Viljely: Geenimuunnellut lajikkeet ovat aiheuttaneet isoja ongelmia USA:ssa. Lukijalta B19

Sunnuntai 12. toukokuuta 2013

pumppaus
ää hoitojonoja

ö: Taysin
uksessa nostettiin
neljä pahinta sairautta,
kki potilaat hoidetaan.
in samalla rahalla
kuin ennen.

Keinot: Apuna hoitojonojen nujertamisessa voidaan käyttää matemaattista mallia, joka helpottaa syiden ja seurausten hahmottamista. Se on systeemiajattelua. → Uutiset A4

Tomi Vuokola/Aamulehti

Sari Änkön lypsykarjan kevätjuhlaa

Diplomi-insi
puhumaan k

AAMULEHTI su

Puheenjoh
kealla) on
symään tu
nousemaa
jonääri pu
kaasta sivi
kuitenkin paljastaa, ett
neella kolme kertaa Atl

Jotain rajaa
hoitopäiviin

Kysely: Päiväkodi
karsisivat lasten päi
jos vanhempi on kot

Konsti 1: Päiväkod
lapsille pitäisi tarjota
kerhopaikkoja.

Konsti 2: Ainakin
pituutta pitäisi rajoit

Vähän nostalgiaa

Insinöörijärjestöjen Koulutuskeskus —
Ingenjörsorganisationernas Skolningscentral

Julkaisu 7B-66

HANS BLOMBERG

INBLICK I REGLERINGSTEKNIKENS OPTIMERINGSIDÉER

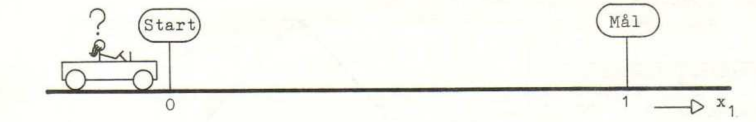
AUTOMAATIOPÄIVÄT -66

SUOMEN SÄÄTÖTEKNILLINEN SEURA

HELSINKI

HELSINKI 1966

INBLICK I REGLERINGSTEKNIKENS OPTIMERINGSIDÉER Den hänsynslöse bilisten	1 mars 1966 Brg



Bilens utgångstillstånd vid starttidpunkten $t_0=0$:
Läge $x_1(0)=0$
Hastighet $x_2(0)=0$ $\Big\}$ $\underline{x}(0)=\begin{array}{c}1\\2\end{array}\begin{bmatrix}0\\0\end{bmatrix}$.

Bilens terminaltillstånd vid ankomsttidpunkten $t_0+T=T$, $T>0$, då bilen anländer till målet:
Läge $x_1(T)=1$
Hastighet $x_2(T)=0$ $\Big\}$ $\underline{x}(T)=\begin{array}{c}1\\2\end{array}\begin{bmatrix}1\\0\end{bmatrix}$.

T benämnes transitionstid för övergången från utgångstillståndet till terminaltillståndet, kan här kallas även körtid; bilens (dynamiska) tillstånd vid en godtycklig tidpunkt t beskrives av kolumnmatrisen (vektorn) $\underline{x}(t) \triangleq \begin{array}{c}1\\2\end{array}\begin{bmatrix}x_1(t)\\x_2(t)\end{bmatrix}$. ($\triangleq$läses: betecknar)

Storheternas värden anges i det följande enbart med respektive mätetal med avseende på ett lämpligt koherent måttsystem.

Givet: 1) Vi har en rak körväg av obegränsad längd med en utprickad körsträcka $[0,1]$ av längden 1. På körvägen finns en bil, vars egenskaper närmare beskrives under punkt 2). Läget av bilen på körvägen anges med lägeskoordinaten x_1, vilken ger avståndet från bilen till punkten 0 (se fig.).

2) En bil med förare är placerad på körvägen enligt figuren; bilen förutsättes ha följande idealiserade egenskaper:

Låt x_2 beteckna bilens hastighet, dvs. $x_2 \triangleq \dot{x}_1 \triangleq dx_1/dt$, och $\dot{x}_2 \triangleq dx_2/dt$ dess acceleration, låt slutligen u beteckna förarens gas-, bromsaktion med värdet av u varierande mellan +1 och -1, varvid vi antar att bilens acceleration $\dot{x}_2$ vid varje tidpunkt är =u. Oberoende av bilens (dynamiska) tillstånd och av den betraktade tidpunkten kan föraren fritt välja u enligt $|u| \leq 1$. Härvid betyder

$u=\dot{x}_2=1$ "gasen i botten" då $x_2 \geq 0$ (bilen kör framåt eller står på stället) och "bromsen i botten" då $x_2 < 0$ (bilen backar),

$u=\dot{x}_2=-1$ "bromsen i botten" då $x_2 > 0$ (bilen kör framåt) och "gasen i botten" då $x_2 \leq 0$ (bilen backar eller står på stället).

Uppgift: Kör med start vid tidpunkten 0 från utgångstillståndet $\begin{array}{c}1\\2\end{array}\begin{bmatrix}0\\0\end{bmatrix}$ till terminaltillståndet $\begin{array}{c}1\\2\end{array}\begin{bmatrix}1\\0\end{bmatrix}$ på kortaste möjliga körtid T, m.a.o. välj u vid varje tidpunkt så, att körtiden T minimeras.

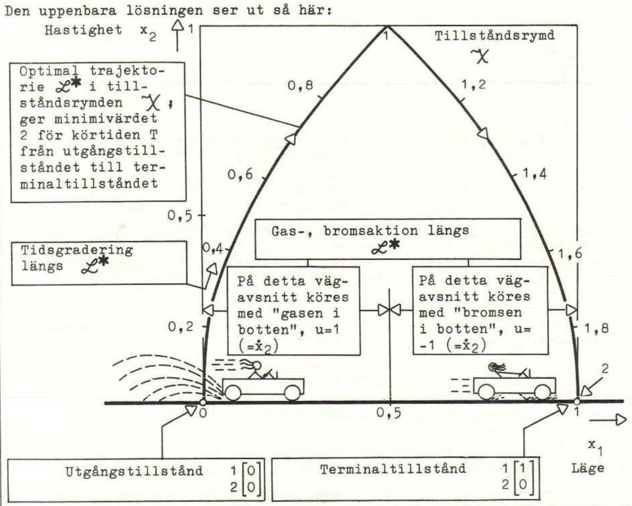
Lösning: Uppgiftens lösning är i detta enkla fall uppenbar och kan kort karakteriseras såsom "bang-bang"-taktik eller beskrivas med orden (Chang: Synthesis of Optimum Control Systems) "if you wish to get there fastest, give it the mostest" (den hänsynslöse bilisten!).

Jatkuu…

INBLICK I REGLERINGSTEKNIKENS OPTIMERINGSIDÉER | 2 mars 1966 Brg

Den hänsynslöse bilisten

Den uppenbara lösningen ser ut så här:



Vi beskriver här allmänt den betraktade bilens rörelser med tillhjälp av trajektorier i en med bilen associerad tillståndsrymd $\mathcal{X}$ (här en tvådimensionell rymd). Varje punkt $\underline{x}$ i tillståndsrymden $\mathcal{X}$ representerar härvid definitionsvis ett (dynamiskt) tillstånd $\begin{array}{c}1\\2\end{array}\begin{bmatrix}x_1\\x_2\end{bmatrix}$ hos bilen, där x_1 och x_2 anger den betraktade punktens koordinater, dvs. ett läge och en hastighet hos bilen. x_1 och x_2 säges även vara komponenterna av $\underline{x}$. En med bilen associerad trajektorie $\mathcal{L}$ i $\mathcal{X}$ är definitionsvis en kontinuerlig kurva i $\mathcal{X}$ given i parametrisk form medels en funktion $\underline{x}(.)$, vilken är definierad på ett betraktat tidsintervall, vilken antar värden i $\mathcal{X}$ och vilken dessutom i bestämd mening satisfierar bilens tillståndsekvationer (se närmare följande blad) på det betraktade tidsintervallet. En sådan trajektorie $\mathcal{L}$ kan alltså förses med en tidsgradering och den sammanbinder de tillstånd bilen genomlöper under ett betraktat rörelseförlopp. Av alla de trajektorier som är associerade med bilen och som förbinder utgångstillståndet med terminaltillståndet i enlighet med den givna uppgiften är den optimala trajektorien $\mathcal{L}^*$ den trajektorie som leder till ett minimum för körtiden T; detta minimum blir här =2.

INBLICK I REGLERINGSTEKNIKENS OPTIMERINGSIDÉER | 17 mars 1966 Brg

Vågfrontsmodellen - en vägvisare till Pontryagins maximumprincip

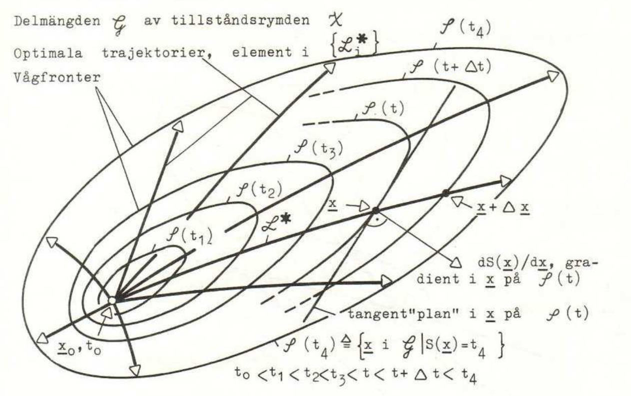
b) Funktionen S(.) är två gånger kontinuerligt differentierbar på $\mathcal{G}' \triangleq$ mängden $\mathcal{G}$ med punkten $\underline{x}_o$ utesluten, och besitter på $\mathcal{G}'$ en ingenstädes försvinnande gradient. Gradienten till S(.) i en punkt $\underline{x}$ i $\mathcal{G}'$ betecknas här symboliskt $dS(\underline{x})/d\underline{x}$ och definieras enligt

$$(12) \quad \frac{dS(\underline{x})}{d\underline{x}} \triangleq \begin{array}{c}1\\ \vdots\\ n\end{array}\begin{bmatrix}\partial S(\underline{x})/\partial x_1\\ \vdots\\ \partial S(\underline{x})/\partial x_n\end{bmatrix} \qquad \left(\underline{x} \triangleq \begin{array}{c}1\\ \vdots\\ n\end{array}\begin{bmatrix}x_1\\ \vdots\\ x_n\end{bmatrix}\right).$$

Gradienten (12) är ett element (en vektor) i $\mathcal{R}^n$. Ovanstående implicerar för varje $t > t_o$, att vågfronten $\mathcal{S}(t)$ i varje punkt $\underline{x}$ har ett entydigt tangent(hyper)plan och en normal, vars riktning är entydigt given såson riktningen hos gradienten $dS(\underline{x})/d\underline{x}$ - vi förutsätter härvid i $\mathcal{R}^n$ den vanliga innerprodukten och den tillhörande Euklidesmetriken, se närmare i det följande. Då förhållandena är sådana, att vågfronterna bildar slutna ytor, vilka omsluter $\underline{x}_o$, implicerar ovanstående vidare för varje t i $[t_o, \infty)$ och varje $\Delta t > 0$, att vågfronten $\mathcal{S}(t+\Delta t)$ omsluter vågfronten $\mathcal{S}(t)$ (se figuren härnedan).

Anmärkning: Vågfronterna i det betraktade bilexemplet motsvarar en funktion S(.), vilken ej besitter ovannämnda differentierbarhetsegenskaper - vågfronterna (isokronerna) har "hörn", se bladen 7 och 9, i vilka ingen entydig tangent och normal till vågfronten existerar. Vi skall senare ytterligare kommentera denna detalj.

c) Funktionen S(.) är själva nyckeln till vår vågfrontsmodell - om vi känner S(.), känner vi principiellt hela vågfrontsmodellen.



Jatkuu…

Systeemiteoria ja malli, tavoitteellisen toiminnan perusta. Miksi?

Konstruktivismin mukaan voimme ajatella ainoastaan käyttämällä kuvia ja näkymiä maailmasta, jotka välttämättä ovat malleja itse maailmasta.

Systeemiteoria antaa periaatteessa työkalut mallien käyttöön kaikessa suunnittelussa

Tarvitaan vain ”oikea” malli!

Mikä sitten on pääongelma?

Systeemiteoriaa on kehitetty varsinaisesti noin 60v, (huom. Automaatioseuran 60v juhlat viikon päästä) mutta oleelliset ongelmat käytännön kannalta ovat ratkaisematta. Paljon on kuitenkin olemassa jo käyttökelpoisia tuloksia!

Malli on kuitenkin ratkaiseva linkki käytäntöön. Jos meillä on hyvä malli, on meillä paljon mahdollisuuksia hyödyntää systeemiteoriaa ja sen tuottamia menetelmiä ratkaisujen periaatteellisissa rakenteissa sekä yksityiskohdissa.

Malli siis tarvitaan!

Miten systeemin malli keksitään?

- **Mallintaminen on taidetta**
  - *P Lautala , joskus 1970-luvulla*

- ”Keksiminen”, ”luominen”, ”taiteen tekeminen”…

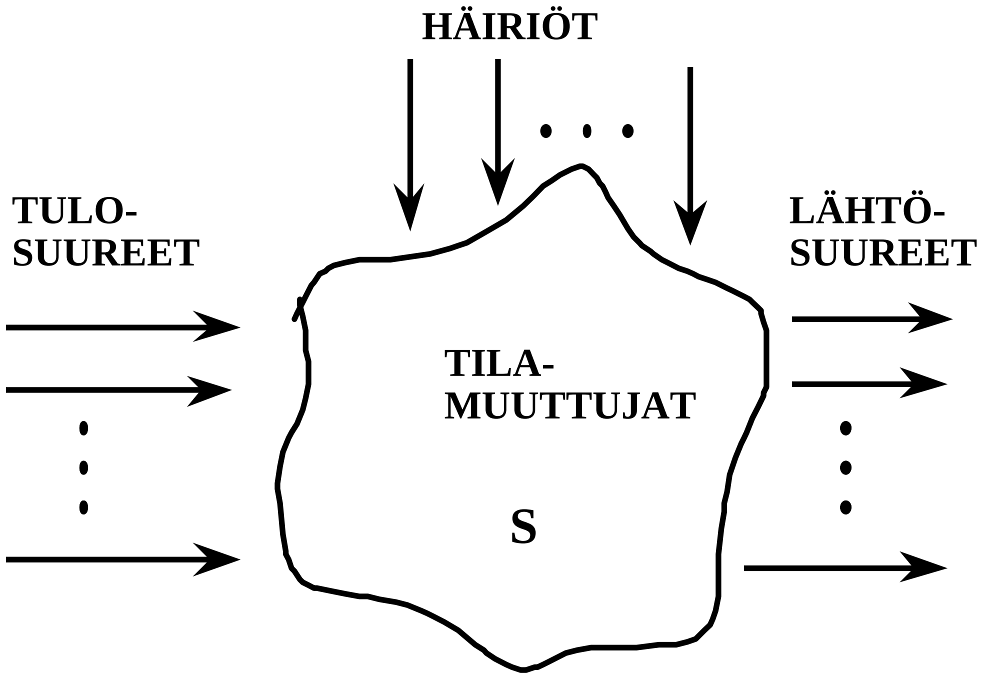
- Työkaluja, menetelmiä ja konsepteja kyllä löytyy, mutta mikä tekee tuloksesta ”hyvän”?

- Systeemitekniikassa ”kaikki riippuu kaikesta”. Tähän on löydettävä aina **tavoitteen mukainen** rakenne.

Prosessien mallit– miksi ja millaisia?

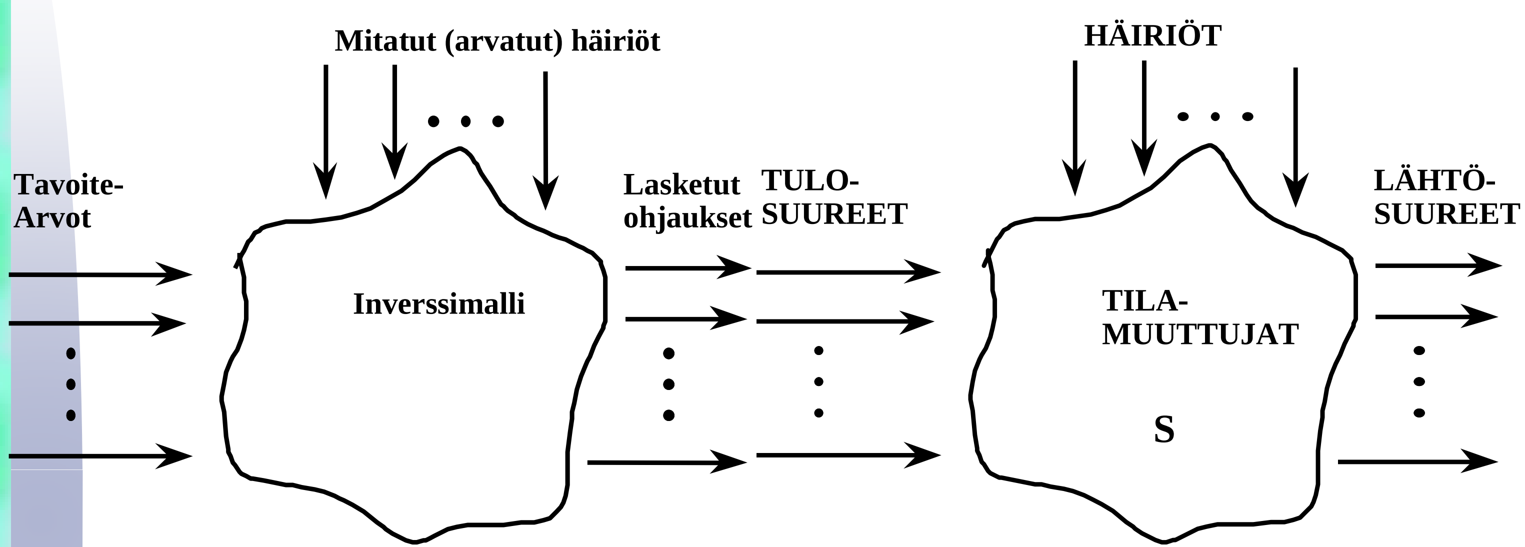
- **operatiivisen suunnittelun on aina perustuttava (johonkin) malliin ollakseen rationaalista**
- **malli voi olla**
  - **intuitiivinen**
  - **kvalitatiivinen**
  - **lingvistinen**
  - **matemaattinen**
  - **....**
- **Säädön kannalta hyödyllisessä mallissa tulee olla**
  - **Vapaat tulomuuttujat (input)**
  - **Häiriömuuttujat**
  - **Sidotut lähtömuuttujat**
  - **Näiden välillä selkeä riippuvuussuhde (kausaalinen)**

Dynaaminen järjestelmä S. Systeemiteoreettinen malli.



- kausaalinen vaikutus tulo- ja lähtösuureiden välillä
- tieto historiasta tilamuuttujissa

Triviaali säätöidea



- Ei valitettavasti toimi juuri koskaan!!!
- Inverssiä ei löydy tästä maailmasta!
- Ajatus sinänsä on mielenkiintoinen lähtökohta!

Mallinnuksen (matemaattisen) kaksi lähestymistapaa:

- “Luonnonlakeihin perustuva”
  - Tuottaa periaatteessa globaaleja malleja
  - Hyödyntää olemassa olevaa suurta tietokantaa
  - Tuottaa rakenteellisia malleja (läpinäkyviä)
  - Ovat vaikeita konstruoida
  - Puuttuvan tiedon ongelma
- “Mittaustietoon perustuva”
  - Hyödyntää helposti saatavaa mittausdataa
  - Käytössä on vahvasti tietokonetuettu kehitysympäristö (moderni tapa)
  - Ei vaadi syvällistä ymmärrystä mallinnettavasta kohteesta
  - Tuottaa helppo- ja monikäyttöisiä malleja
  - Tuottaa usein lokaaleja malleja
  - Kuvaa vain sovitettua mittausdataa, datan hyvyys ratkaiseva
- Mallin validointi on aina tärkeää!!!

Mallituksen eräs päälähtökohta:

- **mallin on vastattava käyttötarkoitustaan!**
- **Hyödyllisen mallin kehitys edellyttää:**
  - **prosessin tuntemusta**
  - **tavoitteiden tuntemusta**
  - **menetelmien tuntemusta**
  - **"insinööriotetta" so suhteellisuuden tajua**
  - **säätöteorian riittävää hallintaa**
- Malli on aina vajavainen, yksipuolinen kuvaus kohdejärjestelmästä - yleensä sen täytyy olla sitä ollakseen käyttökelpoinen!

Dynaamisen mallin määrääminen prosessimittauksista

- **Periaatteessa ongelma on hyvin yksinkertainen: Malli valitaan siten, että se “selittää” prosessista saadut mittaukset mahdollisimman hyvin. Kysymys on siis sopivan kuvauksen etsimistä ja sovittamista tehtyihin mittauksiin.**

- **Käytännössä on olemassa kolme pääongelmaa: Mittausdatan edustavuus, mallin rakenteelliset seikat ja hyvyysmitta.**

Dynaamisen mallin määrääminen prosessimittauksista

- **Ellei mittausdata ole edustavaa ja tasapainoista, ei millään menetelmällä voida ilman muuta tietoa kohdejärjestelmästä saada järjestelmälle hyvää mallia.**
- **Ellei datassa ole jotain informaatiota, ei mikään menetelmä voi sitä luoda tyhjästä. Toisaalta jonkin tietyn informaation puuttuminenkaan ei ole datasta havaittavissa, ellei sitä osata etsiä.**

Parametriset ja parametrittömät mallit.

- **Parametrisissa parametrien lukumäärä on ainoastaan valittava ja parametrittömissa mallin kuvaustarkkuus. *Näyttää helpolta!***

- **Ongelmana hyvyysmitta, jolla tulos tuotetaan. Ääripään tapaukset:**
  - **Kun mallinnettava kohde käyttäytyy aina selkeästi ja loogisesti ja siitä saadaan hyviä mittauksia. Tällöin kaikki menetelmät asiantuntevasti käytettynä antavat samankaltaisia tuloksia.**

  – **Muulloin malli on enemmän tai vähemmän mallintajan "silmässä". Hän voi hyödyntää mallinnustyökaluja, mutta ilman asiantuntijan ohjausta tulos on sattumanvarainen.**

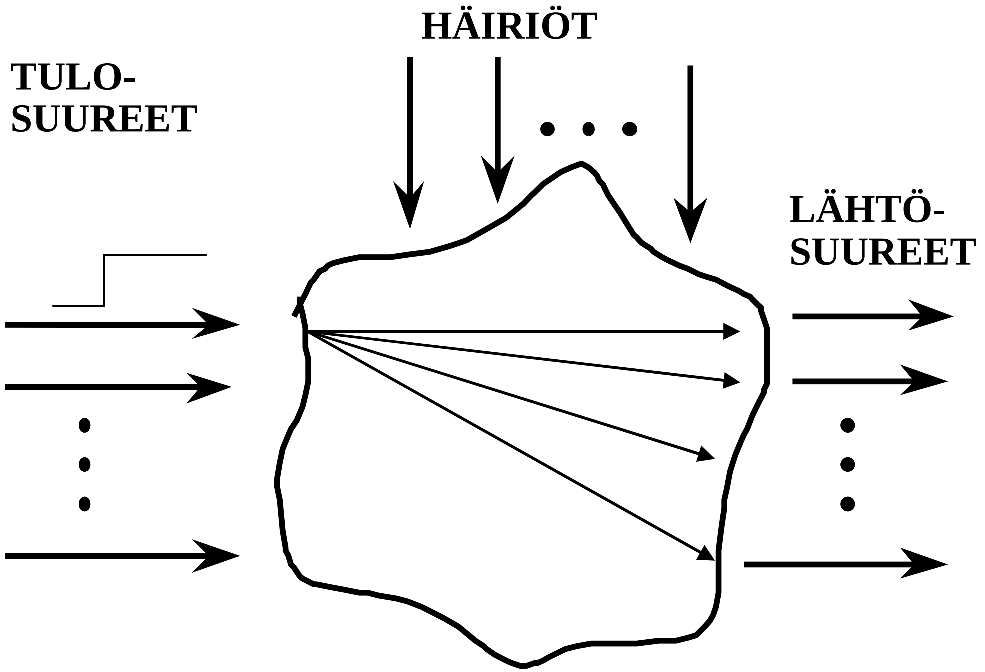
Askelvastesovitus

- Yleisohjeena on, että valitaan yksinkertaisin mahdollinen rakenne, jolla voidaan selittää kohteen karakteristisimmat ominaisuudet.
- Jos mallin tarkkuus ei selvästi sovelluksessa riitä, monimutkaistetaan mallia, mutta on tiedettävä miksi.
- Yleensä teolliset yksikköprosessit ovat aperioidisia, joten perusmalliksi on suositeltu yhden aikavakion ja viiveen mallia.

$$G(s) = \frac{Ke^{-s\tau}}{sT+1}$$

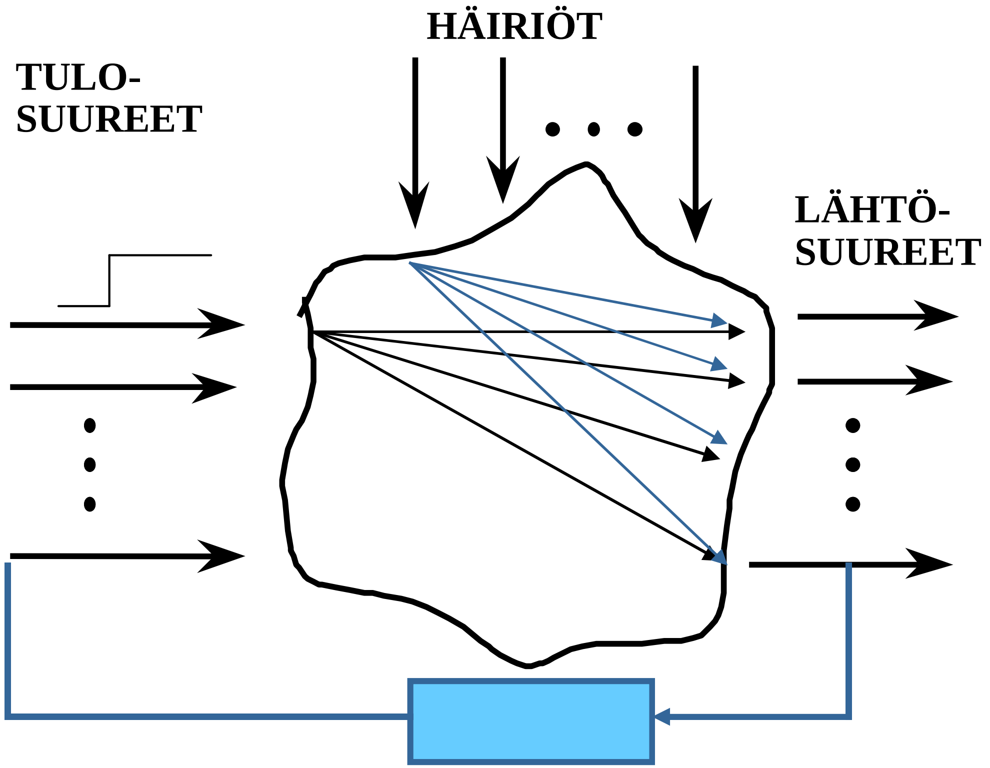
- Sovitusvaiheessa malli saattaa näyttää jopa tökerön huonolta sovitukselta, mutta on osoittautunut, että esim säädön suunnittelussa ko malli antaa varsin hyviä tuloksia ja itse säädön suunnittelu tätä mallia käyttäen on hyvin suoraviivaista.
- Myös MIMO luonnistuu!

Monimuuttujamallin määrääminen



- Tuloksena mallimatriisi
- Pätee vain tutkitussa toimintapisteessä

Suljetun silmukan ongelma



- Tulomuuttujat eivät ole ”vapaita”
- Silmukassa ”paras” malli on säätimen inverssi
- Säädön toiminta vaikuttaa kaikkiin lähtöihin

Miksi mallin tekoa ei automatisoida?

- **Kaikkea on vuosien varrella yritetty**
  - **Matlab: ”System identification toolbox”**
  - **Lukematon määrä erilaisia ohjelmistopaketteja ongelman ratkaisuun**
- **Erikoistapauksiin aika toimivia ratkaisuja**
  - **Elektroniikkasovelluksiin**
  - **Mekaniikkasovelluksiin**
- **Mikä ongelma on yleistyökalun kehittämisessä?**
  - **Tietotekniikan riittämättömyys?**
  - **Tiedon keräämisen ongelma (saanti, hyvyys)?**
  - **Jokin muu?**

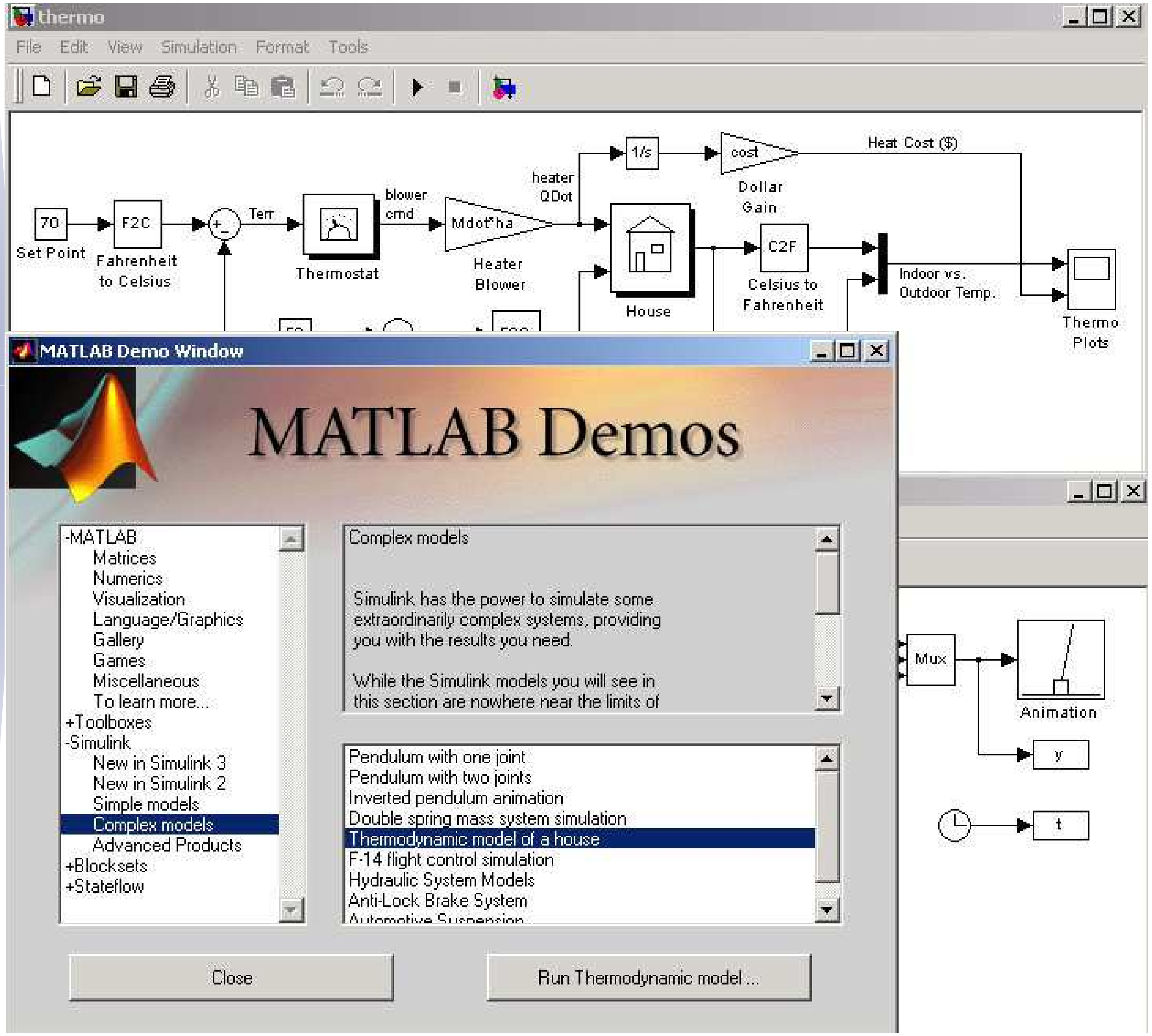
Mallinnusapuneuvojen kehityskulku

- **Pienoismallit**
- **Analogiakoneet**
- **Hybridikoneet**
- **Yleiskäyttöiset ohjelmistot (FORTRAN…)**
- **Aliohjelmakirjastot (IMSL, NAQ…)**
- **Scriptipohjaiset ohjelmointikielet (Simnon…)**
- **Lohkodiagrammimallit (SIMULINK…)**
- **Objektimallit (Dymola, APROS…)**
- **Komponenttimallit??**

- **Onko jokin standardi tulossa?**

Lohko-ohjelmoitavat simulaattorit (signaalikaaviot)

- **Käytettävyyttä lisää, ohjelmien tarjonta moninkertaistui**



Lohko-ohjelmoitavat simulaattorit (signaalikaaviot): Perusominaisuudet

- **Käyttöliittymä tukee erittäin hyvin säätötekniikassa ja säätöteoriassa käytettyä järjestelmien esitystapaa**
- **Lohkosimulaattorit soveltuvat kohtuullisen hyvin ohjaus- ja säätöjärjestelmien suunnitteluun ja niiden simulointiin**
- **Soveltuu periaatteessa myös informaatiojärjestelmän simulointiin**
- **Yleisesti matemaattisen tehtävän ratkaisemiseen!**

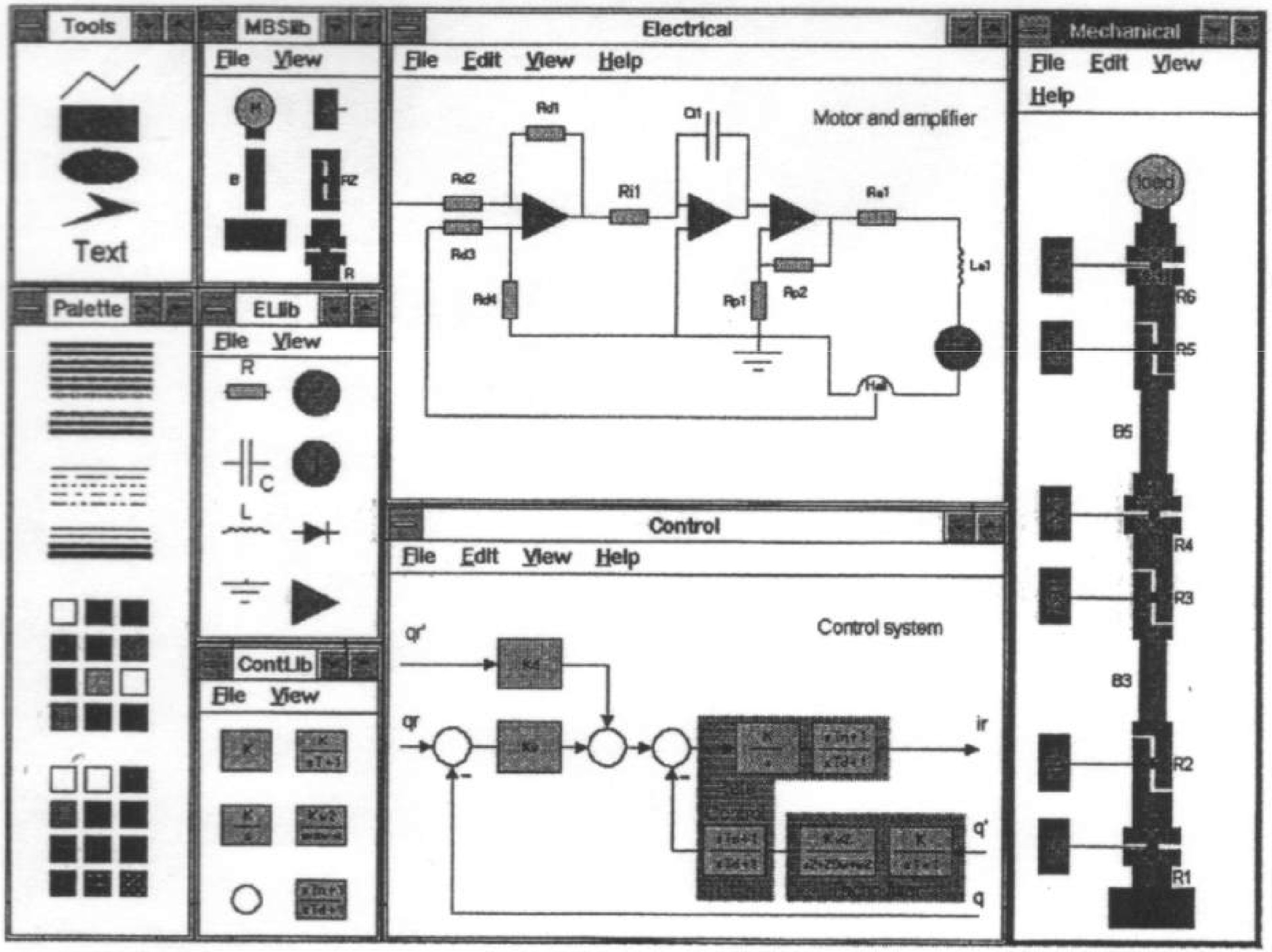
- **<u>Ei ole luontevin tapa kuvata fysikaalisia ilmiöitä!</u>**

Objektipohjaiset simulaattorit

- **Objektit voivat olla primäärisesti myös fysikaalisia elementtejä**
- **Lohkosimulaattoreissa kirjastot matemaattisia, parhaissa geneerisiä periytymisineen. Todelliset komponenttikirjastot vasta objektisimulaattoreissa mahdollisia**
- **Kehittämisessä suuria vaikeuksia. Osasta on selvitty kahdenkymmenen vuoden aikana algoritmikehityksellä ja prosessointitehon rajulla kasvulla**
- **Ongelma ”mallintaminen on taidetta” on vielä monen kohdealueen osalta ratkaisematta**

Objektipohjaiset simulaattorit

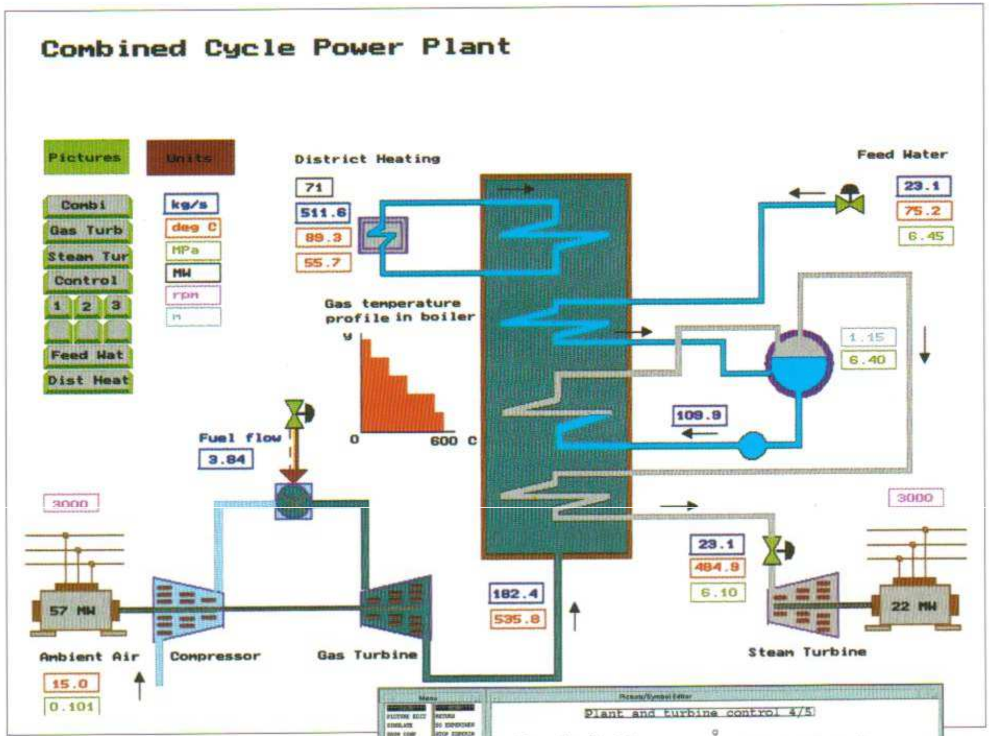
- **DYMOLA, 1. versio yli 20 vuotta vanha!**

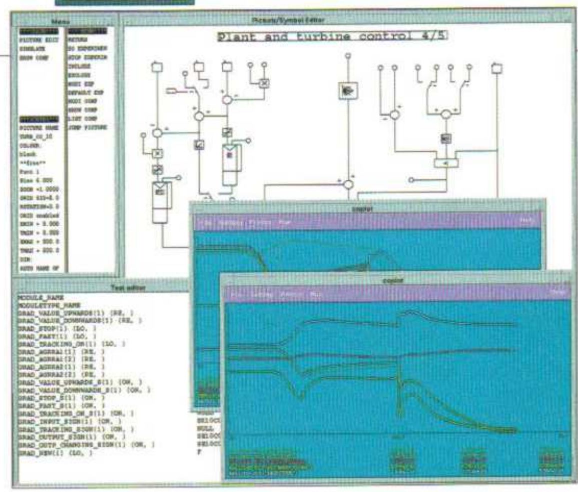


Objektipohjaiset

- **APROS, kotimainen, ikää silläkin!**

APROS
Process Modelling Software

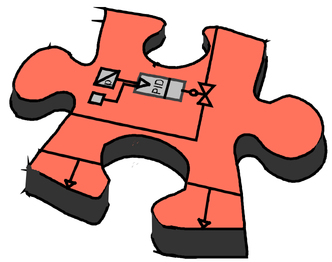


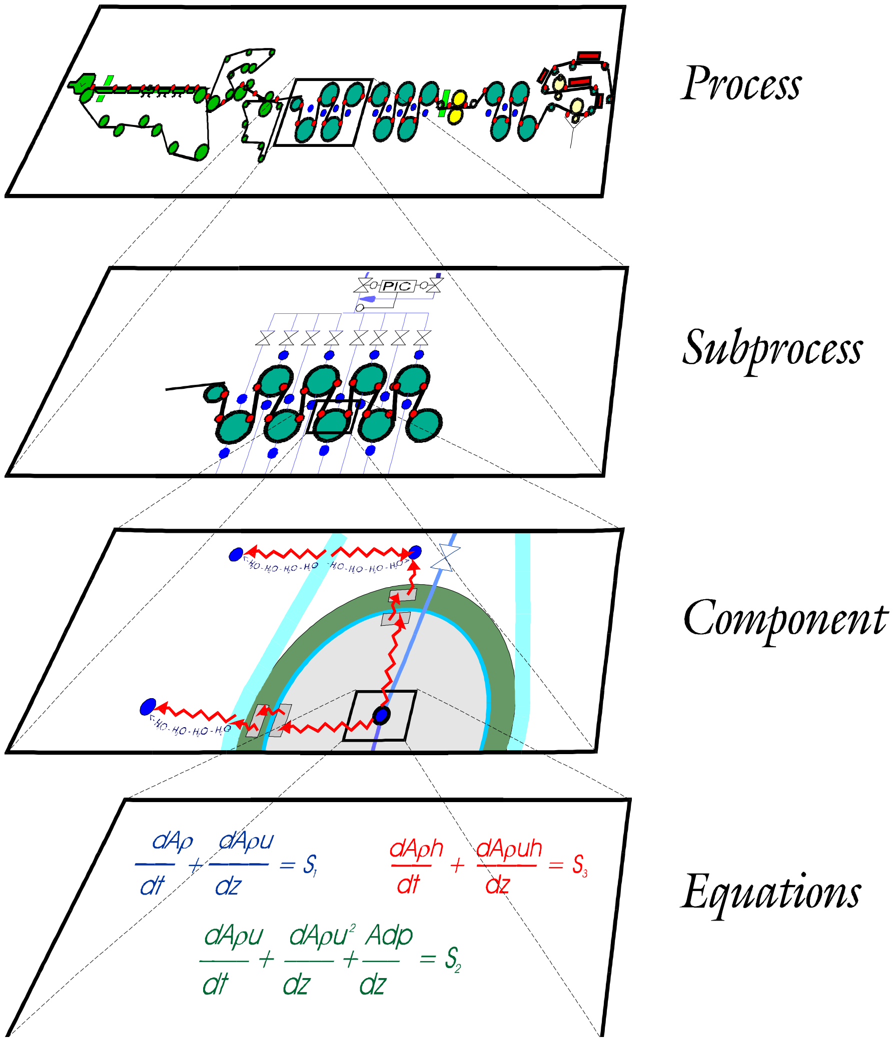


APROS simulation environment provides tools for fast and accurate simulation of fossil, nuclear and chemical processes.

APROS applications include engineering and training simulators as well as comprehensive plant analyzers.

Four Conceptual Levels of Modelling





Yhteenveto

Ajattelu perustuu malleihin, joten suunnittelu edellyttää malleja. Tavoitteet on mahdollista määritellä ja ratkaista mallimaailmassa.

Ratkaisevaa on mallimaailman ja todellisen eroavuudet. Niitä on aina!