



Aalto-yliopisto  
Perustieteiden  
korkeakoulu

# Simulation and modeling for quality and reliability

(valmiin työn esittely)

*Aleksi Seppänen*

*16.06.2014*

Ohjaaja: *Urho Honkanen*

Valvoja: *Prof. Harri Ehtamo*

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

# Taustaa

- Yrityksiltä vaaditaan nykyisin uusia tuotteita yhä nopeammalla tahdilla
- Tuottaa haasteita tuotekehityksessä tuotteiden laadun ja luotettavuuden hallinnassa
- Tuotteiden testaaminen vie paljon aikaa, eikä kaikkia vikoja edes löydetä ajoissa

# Työn tavoite

- Selvittää miten simulointia ja matemaattista mallinnusta voi hyödyntää tuotekehityksessä tuotteen laadun ja luotettavuuden todentamisen nopeuttamiseksi
- Erityisesti elektroniikan ja mekaniikan osalta
- Pääpaino luotettavuuden analysoinnissa

# Simulointi ja mallinnus

- Matemaattinen malli pyrkii kuvaamaan jotain reaali maailman ilmiötä
  - Perustuu yksinkertaistuksiin ja oletuksiin
- Simuloinnissa imitoidaan reaali maailman ilmiötä matemaattisten mallien avulla
  - Käytännössä usein matemaattisten mallien numeerista analyysiä
  - Mahdollistaa sellaistenkin systeemien analysoinnin, joita ei ole olemassa
  - Olosuhteita on helppo muokata
  - Ei anna tarkkaa vastausta

# Simulointimenetelmät

- Nance (1993) jakaa simuloinnin kolmeen osaan
  - Jatkuva-aikainen simulointi
  - Diskreettiaikainen simulointi
  - Monte Carlo simulointi
- Jatkuva-aikainen simulointi
  - Simulointimalli esitetään algebrallisten yhtälöiden ja/tai differentiaaliyhtälöiden avulla
  - Useita eri ratkaisualgoritmeja
    - Elementtimenetelmä suosittu erityisesti useissa mekaniikan ongelmissa
  - Vaikea ottaa huomioon satunnaisuutta

# Simulointimenetelmiä

- Diskreettiaikainen simulointi
  - Systeemin tila muuttuu ainoastaan tiettyinä ajan hetkillä
  - Soveltuu laajempien kokonaisuuksien analysointiin
- Monte Carlo simulointi
  - Toiminta perustuu satunnaislukuihin ja tilastollisiin menetelmiin
  - Soveltuu erityisen hyvin stokastisten ilmiöiden simulointiin
  - Heikkoutena usein menetelmän hitaus
    - Kehitetty tehokkaampia otantamenetelmiä menetelmän nopeuttamiseksi

# Luotettavuuden mallinnus

- Empiiriset mallit
  - Perustuvat historialliseen kentältä kerättyyn dataan tai kokeellisesti saatuihin mittaustuloksiin
  - Sovitetaan dataan sopiva malli
  - Dataa ei kuitenkaan aina ole saatavilla
- Physics of failure
  - Kaikki viat ovat jonkin fysikaalisen prosessin seurausta
  - Pyrkii ymmärtämään ja mallintamaan kaikki eri vioittumismekanismit
  - Mallit ottavat huomioon laajasti eri tekijöitä
  - Ei sovellu suurien järjestelmien analysointiin

# Luotettavuuden mallinnus

- Kuorma – kestävyys (stress – strength)
  - Systeemille määritetään rajat, joiden puitteissa se kestää
  - Vikaantumisen tapahtuu, jos kuorma ylittää systeemin kestävyys
  - Sekä kuorma että kestävyys mallinnetaan usein satunnaismuuttujina
- Vikapuu (Fault tree)
  - Koostuu solmuista (tapahtumista) ja loogisista porteista
- Luotettavuuslohkokaavio (Reliability block diagram)
  - Esitetään systeemi lohkokaaviona, jossa lohkoina ovat systeemin komponentit ja osasysteemit
  - Vikapuiden ja luotettavuuslohkokaavioiden avulla mallinnetaan pääsääntöisesti suurempia järjestelmiä



# Design for reliability

- Tuotekehitysprosessin osaprosessi
- Tarkoituksena varmistaa että tuote täyttää sille määritetyt luotettavuustavoitteet
- Kestää koko tuotekehityksen ajan
- Simulointi ja mallinnus ovat eräitä DFR prosessin käyttämiä työkaluja
  - Simuloinnin ja mallinnuksen käyttö DFR prosessissa on yleistynyt ja tehostunut
  - Mahdollistaa konseptien tehokkaamman vertailun jo aikaisessa vaiheessa
  - Digitaalinen verifiointi

# Elektroniikan luotettavuuden estimointi

- Perinteisesti käytetty käsikirjoja, joissa on suuriin datamääriin perustuvia empiirisiä malleja
  - Mil-HDBK-217A Military handbook: Reliability prediction of electronic equipment , julkaistu 1965
  - Laajalti yhä käytössä
- Physics of failure menetelmän käyttö on yleistynyt
  - Mikroelektroniikassa käytössä jo 90-luvun puolivälistä lähtien
  - Uusia malleja kehitetään jatkuvasti

# Mekaniikan luotettavuuden estimointi

- Väsyminen on eräs yleisimmistä syistä mekaanisen komponentin vikaantumiselle
  - Seurausta toistuvasta rasituksesta
  - Ilmiötä on tutkittu jo yli 150 vuotta
  - Lähes kaikki käytetyt mallit ovat empiirisiä
    - Wöhlerin käyrät
    - Parisin laki  $\frac{da}{dn} = C \Delta K^n$

# Mekaniikan luotettavuuden estimointi

- Komponentteihin kohdistuvilla rasituksilla on suuri vaikutus systeemin luotettavuuteen
  - Käytössä aiheutuvia rasituksia komponenttien eri kohtiin voidaan arvioida simuloinnin avulla
  - Elementtimenetelmää (finite element method) sovelletaan hyvin yleisesti tällaisiin ongelmiin
  - Nykyiset ohjelmistot helpottavat simulointia huomattavasti

# Yhteenveto

- Simuloinnilla ja mallinnuksella voidaan tehostaa DFR – prosessia pääosin kahdella tavalla
  - Suunnitelmien analysointi varhaisemmassa vaiheessa vähentää turhaa työtä
    - Todentaminen nopeutuu, kun tuote on alusta alkaen parempi
  - Tehdään osa testeistä simuloimalla, jolloin fyysisen testauksen määrä vähenee
- Suurin osa malleista empiirisiä
- Simuloinnin hyödyntäminen käyttöympäristön vaikutusten arvioimisessa
- Kehitys menossa siihen suuntaan, että simulointia ja mallinnusta käytetään tuotekehityksessä yhä enemmän

# Viitteet

- R. E. Nance, “A History of Discrete Event Simulation Programming Languages,” Proc. Second ACM SIGPLAN, Jan. 1993.