

TSFS06 Diagnos och övervakning, 6hp
Föreläsning 1 - Kursformalia och introduktion

Erik Frisk

Institutionen för systemteknik
Linköpings universitet
erik.frisk@liu.se

2020-03-31

Kursansvarig/lektion: Erik Frisk erik.frisk@liu.se
Lektion/Laboration: Sergii Voronov sergii.voronov@liu.se
Pavel Anistratov pavel.anistratov@liu.se

<http://www.fs.isy.liu.se/Edu/Courses/TSFS06/>

1

2

Denna föreläsning - disposition

- ① Kursformalia
- ② Industriell motivering
- ③ Vad är diagnos?
Krama ut så mycket information om felaktigt beteende som möjligt ur observationerna via signalbehandling, matematiska modeller, samt logiskt beslutsfattande.
- ④ Skissa på "hur man gör/tänker"
- ⑤ Arkitekturen för diagnossystem
- ⑥ Hur ser designprocessen ut för ett diagnossystem?
 - vilken typ av kurs är det här: teori, forskningsfront, praktik/industriell relevans
 - flera ämnen: statistik, sannolikhetslära, signalbehandling, reglerteknik, logik

— Kursformalia —

3

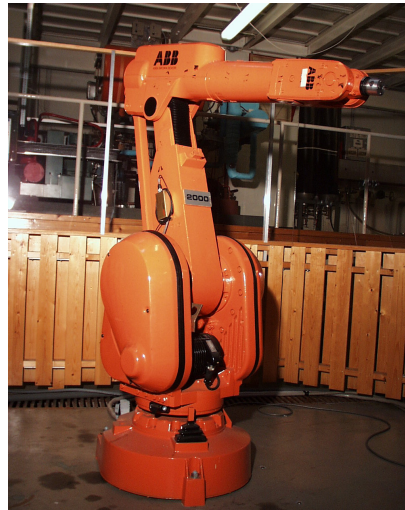
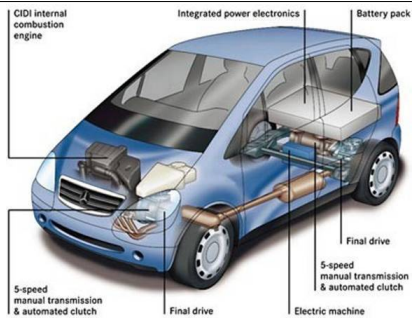
4

- veta varför diagnos används inom olika industriella applikationer.
- veta hur man kan analysera vilka fel i en komplex process som behöver övervakas för att uppnå de övergripande målen.
- från en fallbeskrivning kunna strukturera problemet och ta fram princip och arkitektur för en komplett implementering av ett diagnossystem.
- givet en formell modellbeskrivning kunna välja lämplig matematisk metod för att lösa problemet.
- veta för- och nackdelar med de metoder som ingår i kursen.
- kunna tillämpa matematiska verktyg och metoder från ett brett spektrum av tidigare kurser för att lösa diagnosproblem.
- kunna värdera och verifiera funktionalitet och prestanda hos ett diagnossystem.
- ha en fördjupad och bred teoretisk insikt i ämnet, tillräcklig för att kunna tillgodogöra sig nya forskningsresultat i fältet.

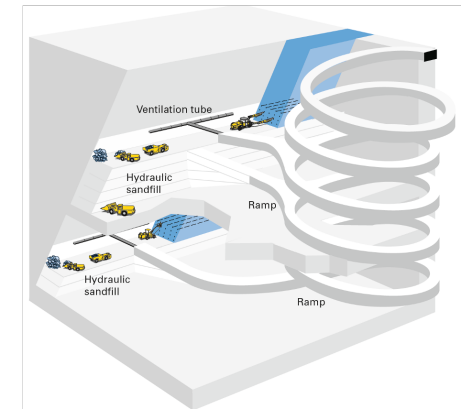
- **Kursmaterial:** Kompendium, räknehäfte samt utdrag ur två böcker. Finns även en del hjälpdokument inför laborationer att ladda ned från kurshemsidan.
- **Elektroniska versioner:** Text och lektionskompendium (PDF) kan laddas hem elektroniskt.
- **Föreläsningar.**
- **Lektioner/räkneövningar:** 2 lektionsgrupp
- **Laborationer:** 3 laborationer (2-rapporter/1-examineras på plats 3 rapporter).
 - ④ Lab 1 - Linjär residualgenerering, inklusive dugga
 - ④ Lab 2 - Diagnos av ett bränslesystem
 - ④ Lab 3 - Olinjär residualgenereringAlla rapporter lämnas in elektroniskt via lisam.
- **Examination:**
 - Tentamen (sannolikt) (U,3,4,5) 4,5hp
 - Labkurs (U,G) 1,5hp (två personer/grupp)

- Fö1: Kursformalia, introduktion till diagnos
- Fö2: Felisolering
- Fö3: Linjär residualgenerering
- Fö4: Detekterbarhet
- Fö5: Design av teststorheter
- Fö6: Tröskling och analys av teststorheter
- Fö7: Olinjär residualgenerering och observatörer
- Fö8: Change Detection, säkerhetsarbete med FMEA/FTA
- Fö9: Multipelfelisolering, AI
- Fö10: Sannolikhetsbaserad diagnos
- Fö11: Gästföreläsning + ev. vetenskaplig presentation

— Industriell motivering till diagnos —



- Autonomi, autonoma gruvor
- Utan förare så försvinner en viktig sensor och hur fordonet används spelar stor roll för livslängden
- Man vill inte att ett fordon blir stående längst ned i en gruvgång
- Metoder för att väga in modeller och data krävs



CM & D
Financial Impact

Process Equipment Maintenance costs

■ From a report by DuPont¹...

In many plants, maintenance budget is about 2/3 of annual net profit
Maintenance is today the largest single controllable expenditure in a plant



■ From study by Dow Chemicals²

Cost of unnecessary maintenance about the same size as plant profit



■ From a study by ARC (November 2003)

Asset management activities (checking, troubleshooting, calibration, repairs) are one of the leading time consuming activities. 80% of the survey see it as important /extremely important to reduce it



Maintenance costs represent a huge savings opportunity!

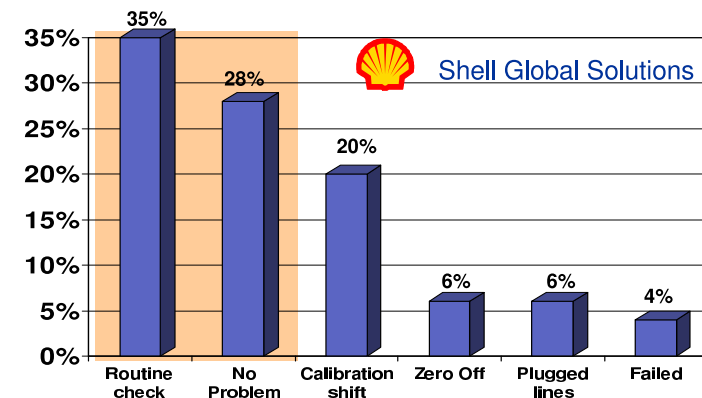
1 3rd. largest Chemical Company worldwide with 27 Billion USD in sales, 81,000 Employees and 12.5% Sales growth in 1 year

2 2nd largest Chemical Company worldwide with 32 Billion USD in sales, 46,000 Employees, and 18% Sales growth in 1 year
Source: Hoovers.com October 21, 2004

CM & D
Financial Impact

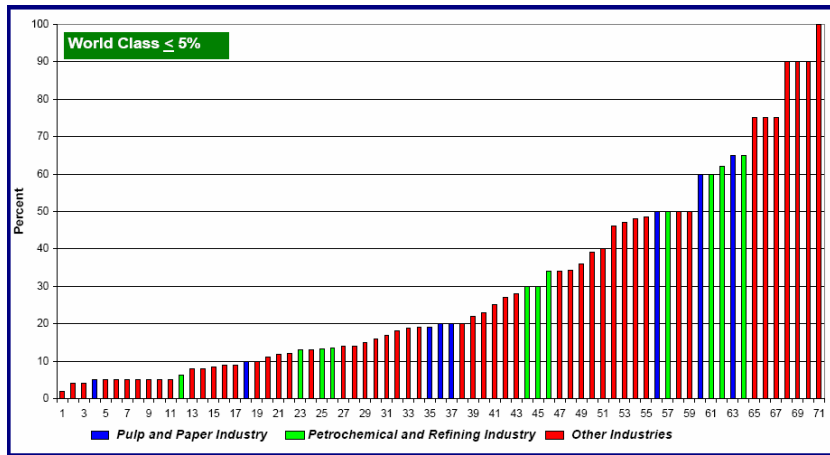
Instruments Preventive Maintenance

Potential for Predictive Maintenance with pressure transmitters



63% of instrument maintenance labor results in no action taken = waste of resources

Unplanned maintenance Benchmarks

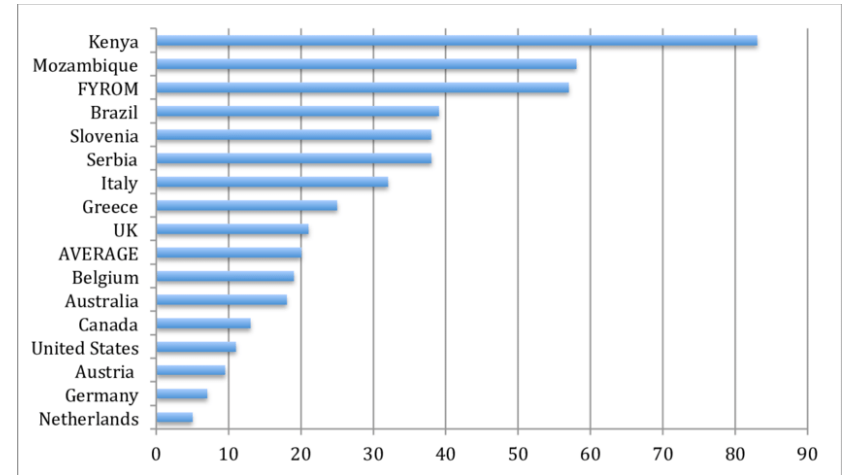


ABB's Consulting Services data source

© ABB CM&D

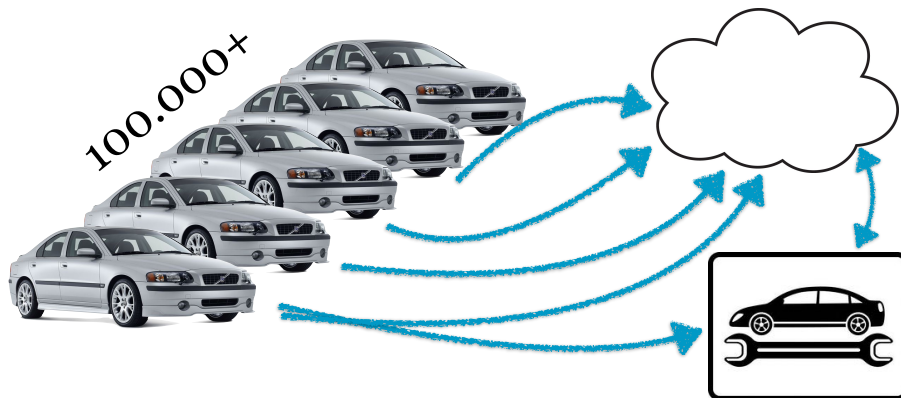
Miljö – vattenläckage

En stor del av världens dricksvatten går förlorat på grund av vattenläckage



Genom att snabbt lokalisera läckor går det att minska förlusterna, men också minska riskarna för annan skada, exempelvis slukhål.

Diagnos, data analytics



Varför diagnos i fordon?

Huvudsakliga drivande kraften är emissionsrelaterade lagkrav

- OBD - On-board diagnostics
- OBD/OBD-II Carb (California Air Resource Board)
- <http://www.arb.ca.gov/msprog/obdprog/obdregs.htm>
- EOBD för Europa
- Motsvarande för tunga fordon

Konsekvenser av (kraftig) misständning (misfire) 1/2



bild från <http://www.pawlikautomotive.com/>
17

Konsekvenser av (kraftig) misständning (misfire) 2/2

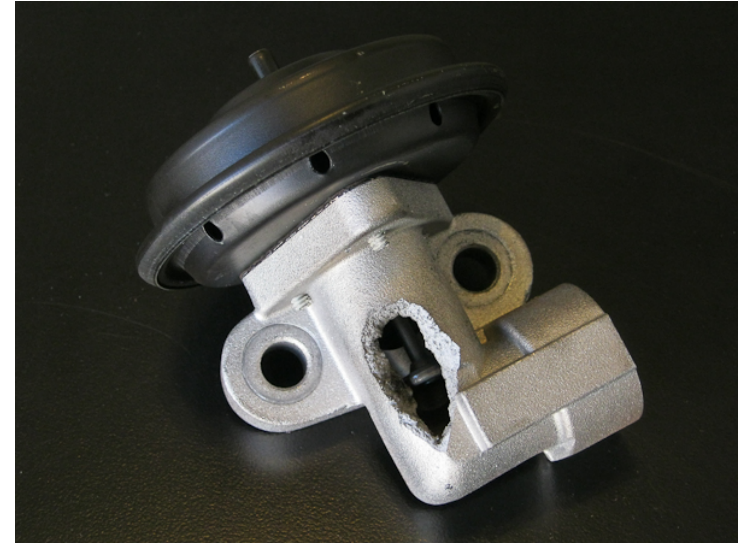
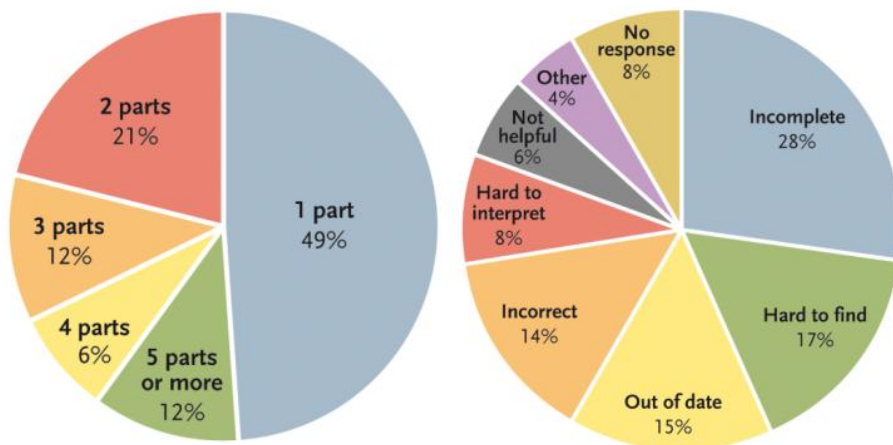


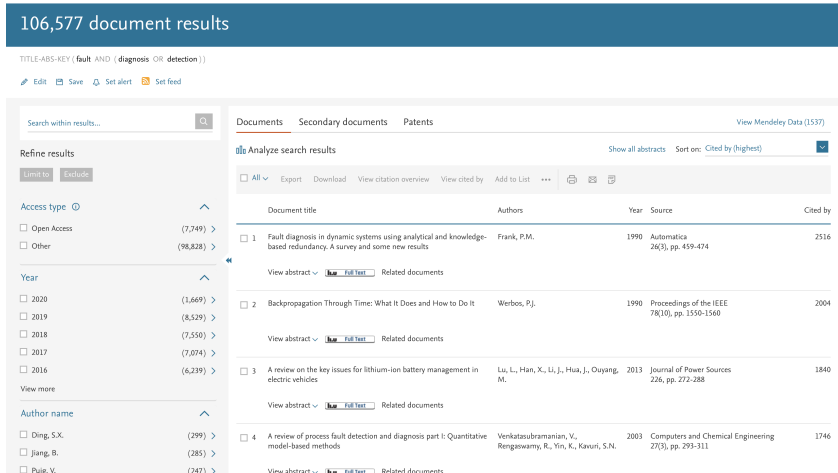
bild från <http://www.pawlikautomotive.com/>
18

Varför diagnos i fordon?

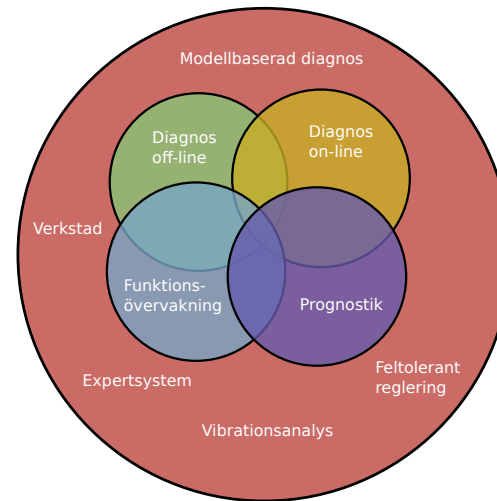


— Modellbaserad diagnos - bakgrund —

Scopus-fråga: fault AND (diagnosis OR detection) (2020)



21

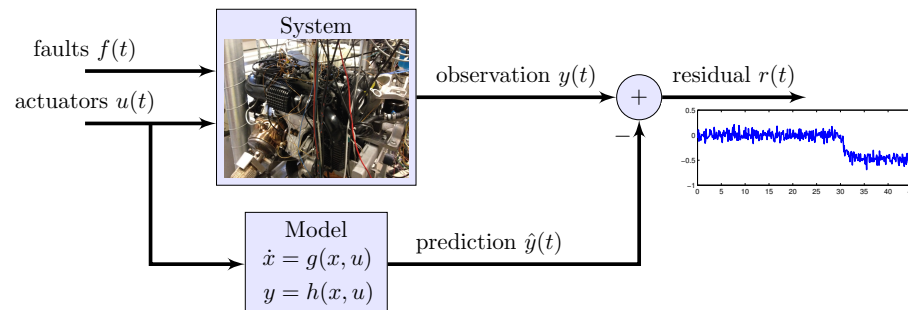


- Flera olika perspektiv/tillämpningar möjliga
- Delvis överlappande
- Man kan tänka sig fler/andra "ringar" och närbesläktade ord
- Här: Främst modellbaserat med kontinuerliga modeller

22

Generella diagnosprinciper

- Jämför observerat beteende med förväntat beteende
- Traditionellt: bilmekaniker/expert som lyssnar, känner, använder historiska erfarenheter
- Modellbaserad diagnos: fånga dessa egenskaper i en matematisk formulering för att automatisera diagnostiken



23

Varför diagnos?

- **Säkerhet** Flyg, kärnkraftverk, ...
- **Miljöskydd** Avgasreningssystem i bilar (lagkrav), kemisk industri, ...
- **Maskinskydd** Hitta fel så tidigt som möjligt innan större skada utvecklats
- **Tillgänglighet och flexibelt underhåll** Undvik oförutsedda avbrott. Industrirobotar, lastbilar, elkraftverk

Varför nu?

- Lagkrav
- Snabba utvecklingen av datortekniken, processorkraft över till diagnos.
- Konstruktion av system vs. komponenter
- Integrerade system

24

- Något som ofta görs efteråt, i "mån av tid", vill man nu göra parallellt med övrig konstruktion.
- Konstruktion för diagnos (ex.vis sensorplacering, val av sensorer etc.)
- En ansenlig del av styrsystemskoden kan vara diagnoskod. I till exempel bilsammanhang så är en siffra som ibland nämns 50% av koden i styrenheten diagnosrelaterad.
- Vid utveckling av en produkt så har man normalt mycket kunskap om processen som skulle kunna användas för övervakning. Men hur?

Metodik krävs för att kunna göra detta effektivt.

25

— Diagnosproblemet —

26

- Diagnosproblemet
- Observation
- Mod/fel
- Diagnos
- Diagnossystem

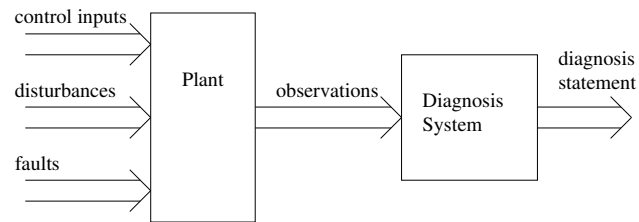
27

I systemtekniska sammanhang betyder verbet diagnos att automatiskt, och helst under normal drift,

- **detektera** fel, dvs upptäcka att något hänt.
- (ibland)**isolera** fel, dvs peka ut vilken komponent som är trasig.

28

Diagnosproblemet - Lite mer formellt.



Systemet kan vara i olika **moder**, dvs vara felfri eller ha olika möjliga fel.

För att avgöra hur systemet "mår" används kända styrsignaler och mätsignaler en så kallad **observation**.

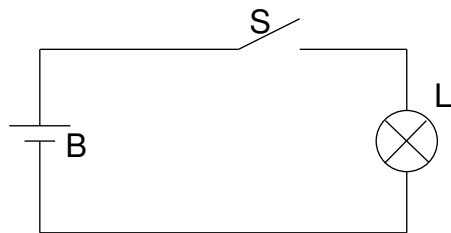
Diagnos

En förklaring, dvs de moder/fel, som stämmer med de observerade signalerna kallas för en **diagnos**.

Ex: Vi observerar att personen är snuvig, då är förkyld en diagnos och allergisk en annan diagnos. Det finns ofta flera möjliga diagnoser.

29

Exemplifiering av diagnosproblemet



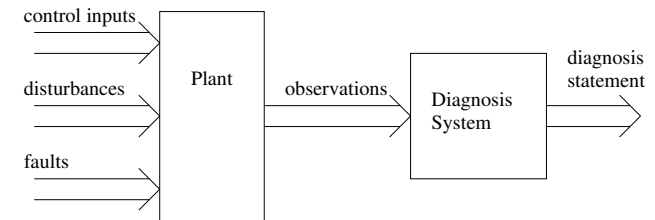
Möjliga fel: Strömbrytaren fastnar i öppet läge, fastnar i stängt läge, och trasig lampa.

Insignal: Önskat läge hos strömbrytaren {öppen, stängd}

Observationer: önskat läge hos strömbrytaren, lyser lampan eller inte

31

Diagnosproblemet - Lite mer formellt.



Diagnosproblemet

Givet en observation: Hitta alla diagnoser

$$\text{alla diagnoser} = f(\text{observation})$$

Kontrollerat beslutsfattande: "gissningar" kan vara alltför riskfyllt.

Varianter: hitta de mest sannolika/enklaste diagnoserna.

Ett system som realiserar funktionen f är ett **diagnossystem**.

Genom att inkludera tillräckligt mycket kunskap om systemet i f kan detektion och isolation uppnås.

30

Exemplifiering av diagnosproblemet, forts

önskad position hos strömbrytare	lamp-observation	diagnoser
öppen	ej tänd	OK, S fastnat öppet, L trasig, S fastnat öppet och L trasig, S fastnat slutet och L trasig"
öppen	tänd	S fastnat slutet
stängd	ej tänd	S fastnat öppet, L trasig, S fastnat öppet och L trasig, S fastnat slutet och L trasig
stängd	tänd	OK, S fastnat slutet

Ovanstående tabell representerar ett enkelt diagnossystem.

$$\text{diagnoser} = f(\text{observationer})$$

32

Vad blir svaret av: <öppen, ej tänd> samt <stängd, ej tänd>?
Hur gör vi i mer komplicerade fall?

Obs

Bara för att ett system uppför sig normalt så kan vi normalt inte dra slutsatsen: felfritt.

Vanligt att det krävs vissa arbetspunkter/yttre omständigheter för att man ska kunna unikt peka ut vilken komponent som felat.

Kom ihåg, kontrollerat beslutsfattande.

33

När kan man utföra diagnos?

För att kunna detektera felaktigt beteende krävs extra, ofta kallad redundant (egentligen ej ett bra ord), kunskap.

- Ingenjören jämför sina observationer med sin expertkunskap

För att kunna automatisera diagnos i en dator måste expertkunskapen formaliseras.

Redundans kan tillhandahållas av till exempel:

- Extra hårdvara, exempelvis flera sensorer som mäter samma storhet
- Modeller i form av
 - analytiska/logiska ekvationer, tillståndsautomater, etc.
 - Modeller i form av expertkunskap och erfarenhet

För att inte bara kunna detektera utan också isolera fel så krävs tillräckligt med redundans och också rätt sorts redundans.

35

— Redundans —

“Traditionell” diagnos och modellbaserad diagnos

- hårdvaruredundans
- tröskling av mätsignaler (limit-checking)
- hastighetsbegränsning av fysikaliska storheter (rate-limit)
- ofta olika begränsningar i olika arbetsområden

Traditionell diagnos är på sätt och vis modellbaserad diagnos. Bara med väldigt enkla modeller.

⇒ för samma diagnosprestanda, modellbaserad diagnos behöver inte nödvändigtvis vara beräkningsmässigt mer krävande eller mer komplext än traditionella ansatser. Men det kan också vara det, allt beroende på situation.

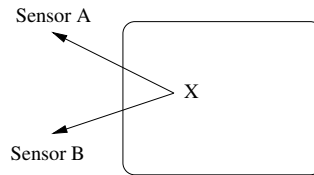
Men, att använda mer avancerade modeller så kan man öka diagnosprestandan: snabbare detektion, mer exakt felisolering, färre falsklarm.

34

36

Traditionell diagnos: hårdvaruredundans

Montera två sensorer att mäta samma storhet



Detektera fel genom att jämföra sensorvärdena

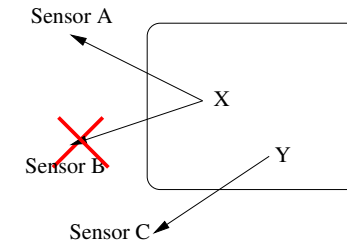
$$r = \text{Sensor A} - \text{Sensor B}$$

- Pålitligt
- Dyrt
- Inte alltid möjligt
- Vilken av sensorerna är det fel på?

37

Redundans via matematiska modeller: princip

Antag att vi inte har råd med den där extra sensorn



istället har vi

- en sensor *C* som mäter en annan storhet *Y*
- en matematisk modell mellan storheterna *X* och *Y*

$$X = \text{Modell}(Y)$$

vilket ger möjligheten

$$r = \text{Sensor A} - \text{Modell}(\text{Sensor C})$$

38

Analytisk redundans/modellbaserad diagnos

- Enkelt uttryckt: analytisk redundans existerar om vi kan bestämma en storhet på mer än ett sätt.
- Kopplar till överbestämthet i modellen

Antag två sensorer mäter en variabel x enligt

$$y_1 = x \quad \wedge \quad y_2 = \sqrt{x}$$

Fel kan upptäckas hos båda givarna genom att testa om relationen

$$y_1 - y_2^2 = 0$$

gäller.

39

Olinjära dynamiska system och observatörer

En vanlig typ av reglerteknisk modell är tillståndsformen

$$\dot{x} = g(x, u)$$

$$y = h(x)$$

Denna modell har redundans, varför?

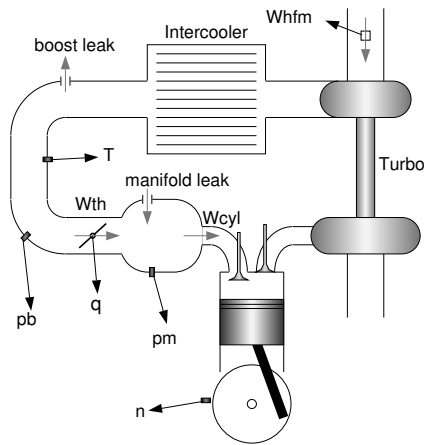
Observatörer är ett vanligt sätt att avgöra om y och u är konsistenta med modellen. Detta görs genom att skatta tillståndet x och jämföra y med $h(\hat{x})$, dvs.

$$\dot{\hat{x}} = g(\hat{x}, u) + K(y - h(\hat{x}))$$

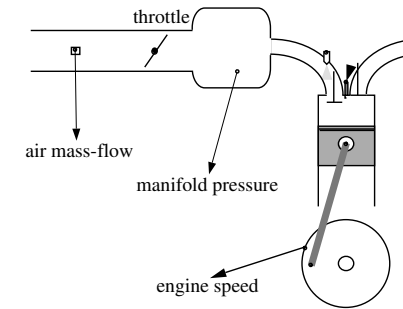
$$r = y - h(\hat{x})$$

Bra för detektion, men räcker inte rakt av för isolering.

40



Lite olika typer av fel, kräver olika typer av modeller och därmed olika typer av signalbehandling.



Fysikaliska samband mellan fysikaliska storheter ger analytisk redundans.

$$\dot{p} = k(W_{in}(\alpha, p) - W_{ut}(p, n))$$

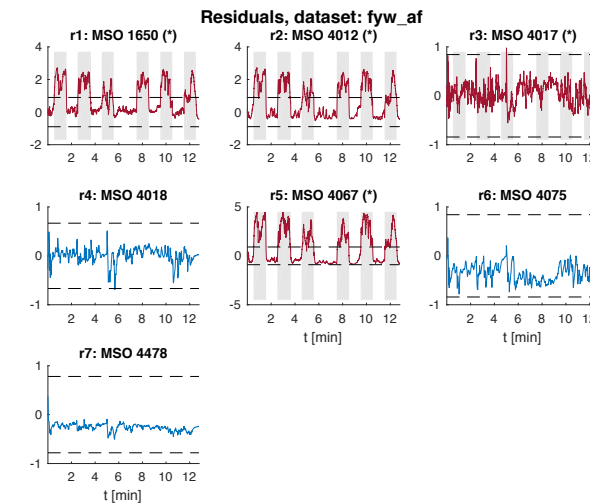
Antag vi mäter de ingående variablerna, $y_p = p$, $y_\alpha = \alpha$ och $y_n = n$.

$$r = \dot{y}_p - k(W_{in}(y_\alpha, y_p) - W_{ut}(y_p, y_n))$$

Tröskling

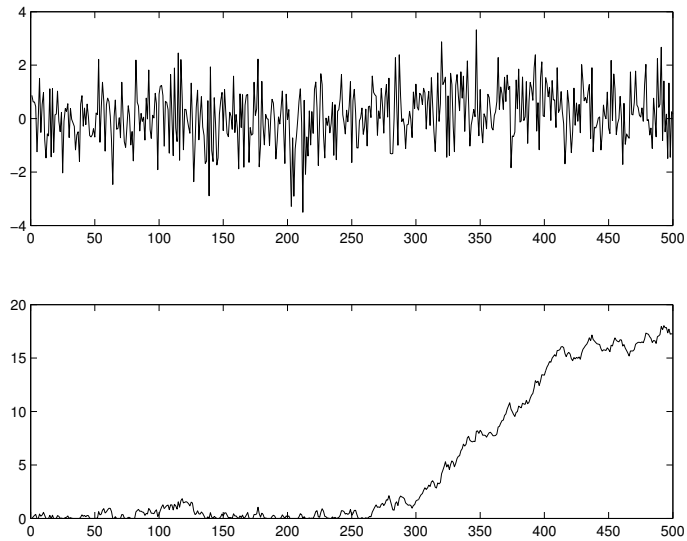
Den enklaste principen att detektera är direkt tröskling av residualer.

- Ett fel är detekterat när residualen avviker från nominellt värde
- Tröskel; avvägning sannolikhet för falsklarm och missad detektion



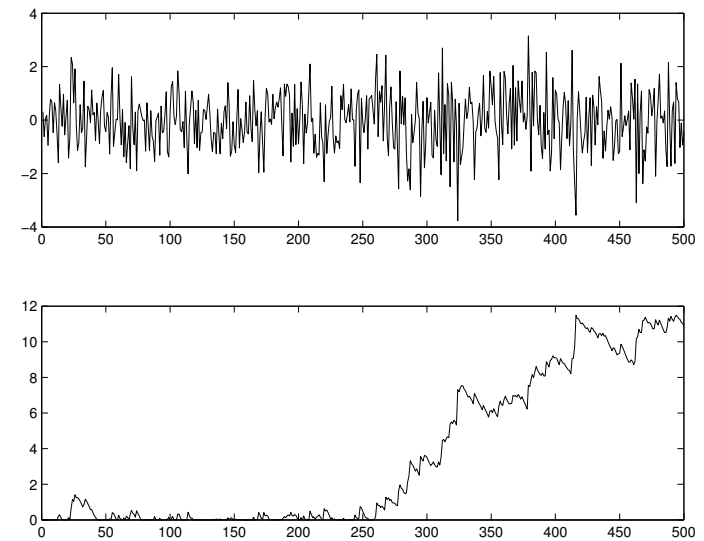
— Signalbehandling och tröskling —

Var byter mätsignalen nivå?



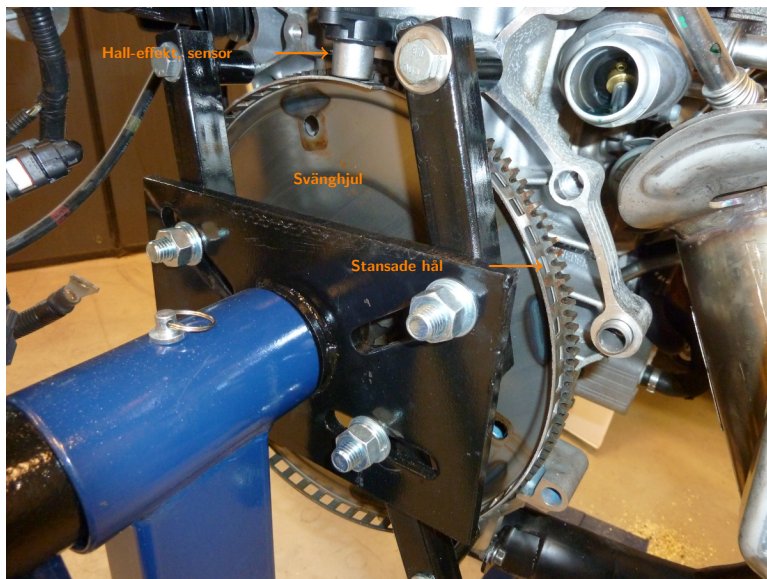
45

Var byter mätsignalen intensitet/varians?



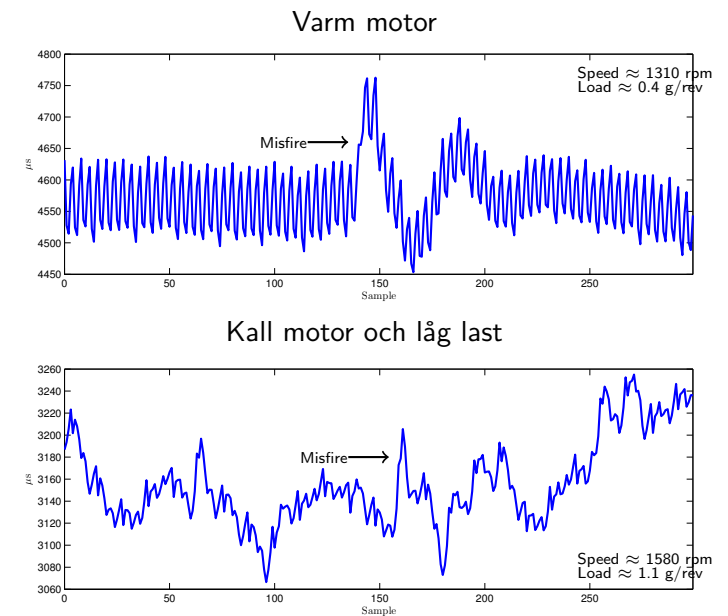
46

Mätsignal för att detektera misständning(misfire)



47

Exempel på misständningar



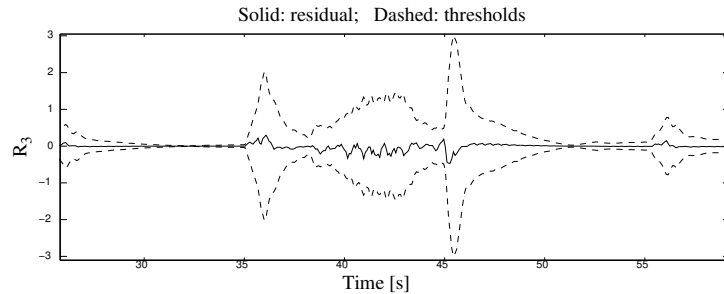
48

Tröskling av residualer, adaptiva trösklar

För att avgöra när en residual är skild från 0 behövs en tröskel.

- Perfekt modell $\Rightarrow J = \epsilon > 0$, brus och modellfel ger högre tröskel.
- Konstant/adaptiv tröskel? Tröskelnivå ger avvägning falsklarm/detekteringsförmåga.
- Om man tex. vet att man har bättre modell för statiska förlopp än i dynamiska passager \Rightarrow adaptiv tröskel

Uppmätta data från en ventil i luftsystemet i Gripen:



49

Felisolering

- Hittills har vi bara betraktat detektion
- Hur kan vi isolera felande komponent, dvs. peka ut var i systemet vi misstänker fel
- Finns många metoder, men vi kommer i den här kursen fokusera på en metod från konsistensbaserad diagnos.

51

— Felisolering —

Felisolering, trippelredundans

Tre givare mäter samma storhet (trippelredundans):

$$y_1 = x$$

$$y_2 = x$$

$$y_3 = x$$

Tre residualer kan bildas genom parvis jämförelse av givarsignaler:

$$r_1 = y_1 - y_2$$

$$r_2 = y_1 - y_3$$

$$r_3 = y_2 - y_3$$

Alla är 0 då ekvationerna är uppfyllda, dvs. processen uppför sig som förväntat.

De tre residualerna reagerar olika på fel i givarna.

\Rightarrow Isolationsmöjligheter

50

52

Isolationsexempel

Låt F_i beteckna fel i givare y_i .

Residualerna

$$r_1 = y_1 - y_2$$

$$r_2 = y_1 - y_3$$

$$r_3 = y_2 - y_3$$

reagerar på felen enligt:

	NF	F_1	F_2	F_3
r_1	0	X	X	0
r_2	0	X	0	X
r_3	0	0	X	X

Test i larmar typiskt då absolutbeloppet av residual r_i är större än en given tröskel: $|r_i| > J_i$

53

Isolering med strukturerade hypotestester

Isoleringsstrategin kan illustreras med en tabell där X på plats i, j betyder att fel j kan påverka residual i .

	NF	F_1	F_2	F_3
r_1	0	X	X	0
r_2	0	X	0	X
r_3	0	0	X	X

Vi drar **ingen slutsats** av att test **inte larmar**. Det kan vara OK men det kan också vara små fel som inte syns i residualerna.

Om t ex test 1 **larmar** är det fel i givare 1 eller 2, dvs $F_1 \vee F_2$.

55

Isolationsexempel, forts.

	NF	F_1	F_2	F_3
r_1	0	X	X	0
r_2	0	X	0	X
r_3	0	0	X	X

Antag att test 1 och 2 larmar.

$$|r_1| > J_1 \Rightarrow F_1 \text{ eller } F_2$$

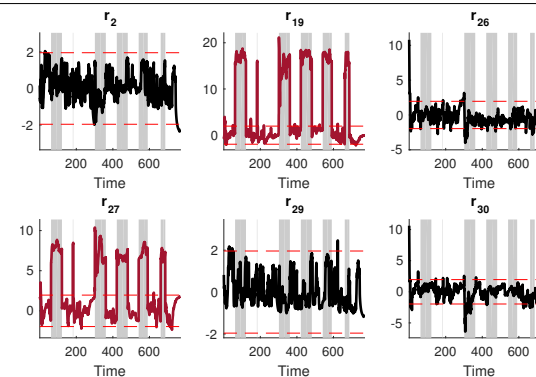
$$|r_2| > J_2 \Rightarrow F_1 \text{ eller } F_3$$

Antag enkelfel.

Slutsatsen i det här fallet blir att den enda möjliga moden är F_1 , dvs F_1 är den enda diagnosen.

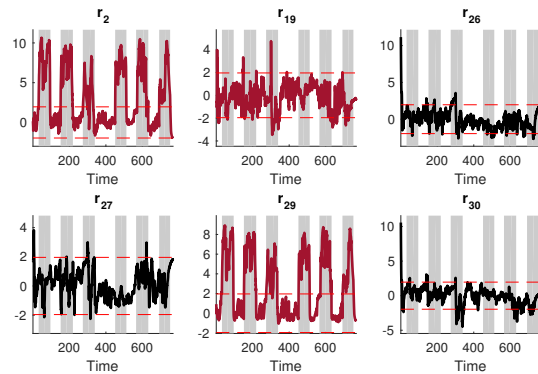
54

Felisoleringsexempel – fel i tryckgivare



	f_{WAF}	f_{pim}	f_{pic}	f_{Tic}
r_2	X	X		
r_{19}	X		X	
r_{26}		X		X
r_{27}		X	X	
r_{29}	X			
r_{30}				X

56



	f_{WAF}	f_{pim}	f_{pic}	f_{Tic}
r_2	X	X		
r_{19}	X		X	
r_{26}		X		X
r_{27}		X	X	
r_{29}	X			
r_{30}				X

57

— Felmodellering —

58

Exempel på felmodellering

För att kunna isolera fel så är det lämpligt att modellera hur en felaktig process fungerar.

Många olika typer av modeller kan tänkas:

- Signaler
- Förändringar i konstanta parametrar
- Abrupta förändringar
- Intermittenta fel

59

Modellera fel med signaler

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

$$y_1 = C_1x$$

$$y_2 = C_2x$$

Additivt fel på sensor 1 f_1 och på styrsignalen u betecknas med f_2 blir

$$\dot{x} = Ax + B(u + f_2)$$

$$y_1 = C_1x + f_1$$

$$y_2 = C_2x$$

Här är det viktigt att skilja på **sensorsignalen** och den **variabel** som man vill mäta.

60

Förändringar i konstanta parametrar

Typiska fel som modelleras på detta sätt: förändringar i fysikaliska konstanter, förstärkningsfel, offsets (tex bias i sensorer), ändringar i varianser,

Exempel: förstärkare

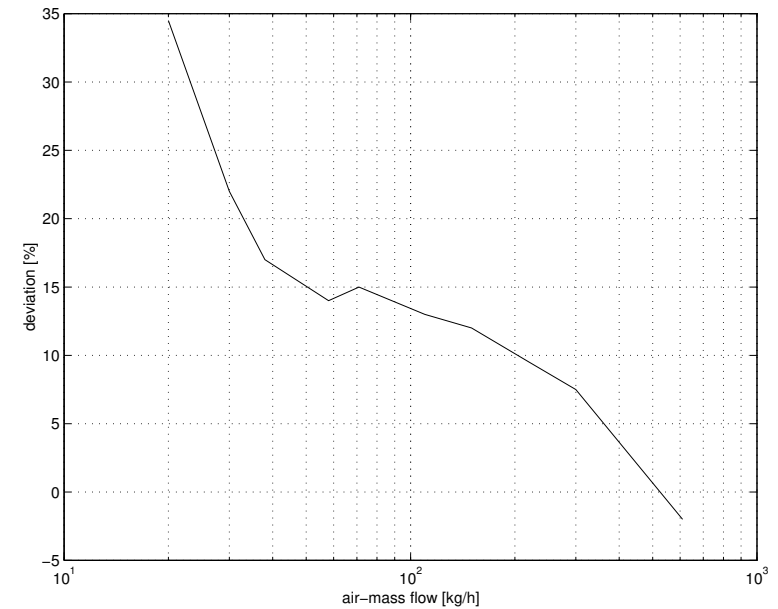
$$y(t) = gu(t) + v(t) \quad v(t) \sim N(0, \sigma^2)$$
$$g = \begin{cases} 1 & \text{felfritt} \\ c \neq 1 & \text{fel} \end{cases}, \quad \sigma = \begin{cases} 1 & \text{felfritt} \\ c \gg 1 & \text{fel} \end{cases}$$

Roterande massa: (μ friktionskoefficient)

$$J\dot{\omega} = -\mu\omega + M$$
$$\mu = \begin{cases} 1 & \text{felfritt} \\ c \gg 1 & \text{fel} \end{cases}$$

61

Felaktig massflödesensor i Mercedes E-klass



62

Procedur för design av diagnosystem

En procedur för design av diagnosystem

- 1 Ta fram krav på vilka fel som måste diagnostiseras. Kan baseras på lagkrav, säkerhetskrav, ... (FMEA)
- 2 Bygg en modell av processen för det felfria fallet
- 3 Bygg felmodeller, dvs. utöka modellen för det felfria systemet med modeller för hur de olika felen påverkar systemet.
- 4 Med hjälp av modellen, konstruera residualer/teststorheter som gör att felen kan detekteras och isoleras. Detta är ett svårt steg och ämnet för den här kursen.
- 5 Testa systemet i simuleringsmiljö och, om möjligt, i verkligheten.
- 6 Implementera

Denna kurs behandlar steg 4 (och i viss mån steg 1 och 3). Notera att de andra stegen kan vara minst lika svåra!

63

64

Givet: modell för det felfria fallet

- 1 Definiera beteendemoder
- 2 Definiera felmodeller
- 3 Analysera modellredundans
- 4 Skapa residualer/teststorheter
- 5 Bestäm trösklar
- 6 Avgör testens felkänslighet och skapa beslutsstrukturen.

65

Design av diagnossystem - definiera beteendemoder

Felfri modell:

$$\begin{aligned}x &= u \\y_1 &= 2x \\y_2 &= 4x + 1\end{aligned}$$

Det kan bli fel på ställdonet och de två givarna.

Inför beteckningar för felfri mod samt för enkelfel

NF: (No-Fault) varken givare eller ställdon är fel
F₁: fel på bara y₁
F₂: fel på bara y₂
F₃: fel på bara u

67

Givet: modell för det felfria fallet

$$\begin{aligned}x &= u \\y_1 &= 2x \\y_2 &= 4x + 1\end{aligned}$$

där u är en känd styrsignal, y_i två kända givaresignaler och x är en okänd variabel.

Det kan bli fel på ställdonet och de två givarna.

Uppgift: Designa ett diagnossystem för enkelfel.

66

Design av diagnossystem - definiera felmodeller

Felfri modell:

$$\begin{aligned}x &= u \\y_1 &= 2x \\y_2 &= 4x + 1\end{aligned}$$

Modell med införda additiva felsignaler:

$$\begin{aligned}x &= u + f_3 \\y_1 &= 2x + f_1 \\y_2 &= 4x + 1 + f_2\end{aligned}$$

Notera:

- u den styrsignal som vi applicerar.
- $u + f_3$ indikerar den faktiska påverkan på systemet.

Beteendemoder:

NF: No-fault $f_i = 0$
F₁: fel på bara y₁ $f_1 \neq 0, f_2 = f_3 = 0$
F₂: fel på bara y₂ $f_2 \neq 0, f_1 = f_3 = 0$
F₃: fel på bara u $f_3 \neq 0, f_1 = f_2 = 0$

68

Design av diagnossystem - analysera modellredundans

- Sök redundans i modellen för felfritt beteende, dvs då $f_i = 0$.
- Det finns redundans, ty x kan beräknas på fler än ett sätt.

Felfri modell:

$$x = u \quad (1)$$

$$y_1 = 2x \quad (2)$$

$$y_2 = 4x + 1 \quad (3)$$

Eliminering av x ger t ex [konsistensrelationerna](#):

$$(1), (2) \Rightarrow 0 = y_1 - 2u$$

$$(1), (3) \Rightarrow 0 = y_2 - 4u - 1$$

Detta visar att den modellen för felfritt beteende har [statisk redundans](#).

69

Design av diagnossystem - beslutsstruktur

Antag att modellosäkerheter och brus gör att vi larmar om endast om beloppet av residualerna är större än tröskeln $J = 1$, dvs

$$\text{larm}_i = |r_i| > J$$

Beslutsstrukturen blir för residualerna

$$r_1 = f_1 + 2f_3$$

$$r_2 = f_2 + 4f_3$$

blir

	NF	F_1	F_2	F_3
r_1	0	X	0	X
r_2	0	0	X	X

71

Design av diagnossystem - residualer/teststorheter

Konsistensrelationerna ger [residualerna](#):

$$r_1 = y_1 - 2u$$

$$r_2 = y_2 - 4u - 1$$

Residualernas felkänslighet kan beräknas genom att använda modellen

$$x = u + f_3$$

$$y_1 = 2x + f_1$$

$$y_2 = 4x + 1 + f_2$$

för att eliminera de kända variablerna i residualen som följer:

$$r_1 = y_1 - 2u = (2x + f_1) - 2(x - f_3) = f_1 + 2f_3$$

$$r_2 = y_2 - 4u - 1 = (4x + 1 + f_2) - 4(x - f_3) - 1 = f_2 + 4f_3$$

Detta kallas för den [interna formen](#).

70

Design av diagnossystem - beslutsstruktur

	NF	F_1	F_2	F_3
r_1	0	X	0	X
r_2	0	0	X	X

Om r_1 inte larmar, kan det vara frestande att dra slutsatsen det inte är F_1 eller F_3 , dvs det måste vara NF eller F_2 .

Men detta är ofta ingen bra slutsats

Ex: Om r_1 inte larmar så är vad som helst vara möjligt, t ex fel F_1 :

$$F_1: f_1 = 0.5, f_2 = f_3 = 0$$

$$\Rightarrow |r_1| = 0.5 < 1$$

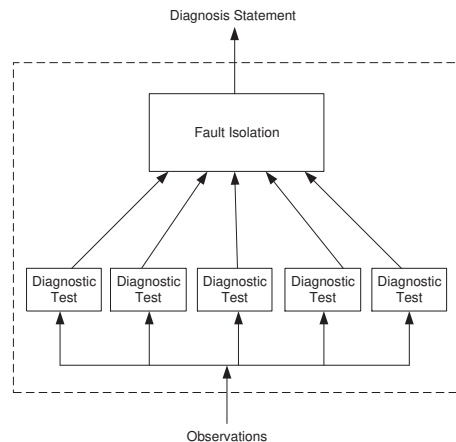
$$\Rightarrow \text{inget larm}$$

72

Beräkna diagnoser givet observationer

Givet en observation:

- 1 Beräkna residualerna r_i
- 2 Beräkna testresultaten genom att tröskla residualerna, $\text{larm}_i = |r_i| > J_i$
- 3 Använd isoleringslogiken för att beräkna diagnoserna



73

Hur reagerar vårt diagnossystem på ett injicerat fel?

Antag att vi styr systemet med insignalen $u = 0$ och att vi injicerar ett fel i aktuatoren (F_3) så att $f_3 = 1$.

$$x = u + f_3 = 0 + 1 = 1$$

Givarna visar:

$$y_1 = 2x = 2$$

$$y_2 = 4x + 1 = 5$$

Insignalerna till diagnossystemet blir observationerna:

$$u = 0, y_1 = 2, y_2 = 5$$

74

Hur reagerar vårt diagnossystem på ett injicerat fel?

Antag att vi styr systemet med insignalen $u = 0$ och att vi injicerar ett fel i aktuatoren (F_3) så att $f_3 = 1$.

Insignalerna till diagnossystemet blir observationerna:

$$u = 0, y_1 = 2, y_2 = 5$$

Det ger residualerna och larmen:

$$|r_1| = |y_1 - 2u| = 2 > 1 \Rightarrow \text{larm}$$

$$|r_2| = |y_2 - 4u - 1| = 4 > 1 \Rightarrow \text{larm}$$

Enligt beslutsstrukturen blir diagnosen:

	NF	F_1	F_2	F_3	+		utfall	
r_1	0	X	0	X		r_1	1	$\Rightarrow F_3$ är enda diagnosen
r_2	0	0	X	X		r_2	1	

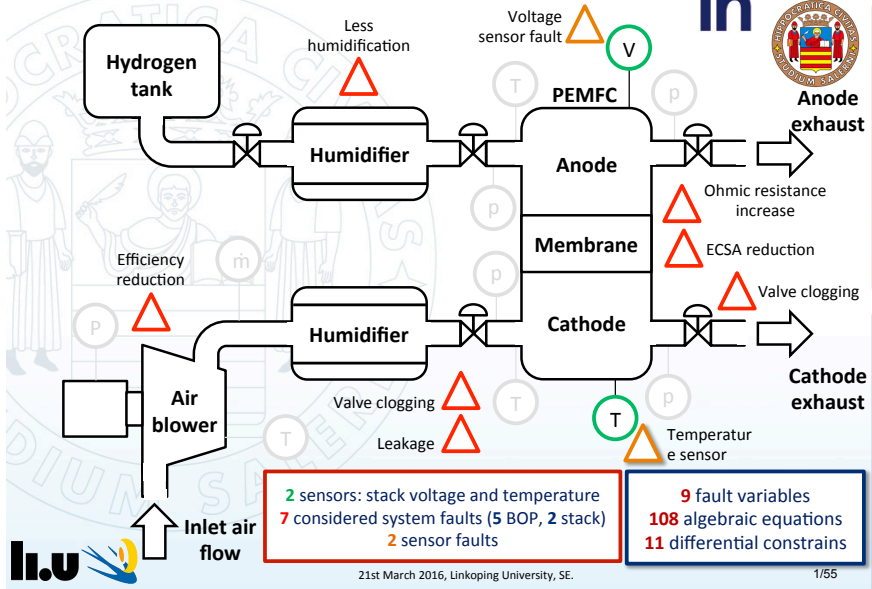
Diagnossystemet både detekterar och isolerar felet korrekt.

75

— Ett lite större system – bränslecell —

76

PEM Fuel Cell System



PEMFC system model

Air Blower

$$\dot{m}_{comp} = f(\beta, n_{comp})$$

$$\eta_{comp} = f(\beta, n_{comp})$$

$$P_{comp} = \dot{m}_{comp} \frac{c_p T_{amb}}{\eta_{comp} \eta_{EM}} \left(\beta^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right)$$

$$T_{comp} = T_{amb} \left(1 + \frac{1}{\eta_{comp}} \left(\beta^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) \right)$$

Humidifiers

$$\dot{m}_{H_2O,j}^{inj} = \frac{m_{H_2O,j}^{des}}{\tau_{inj}} \quad m_{H_2O,j}^{des} = \frac{V_j M_{H_2O}}{RT_j} (RH_j^{des} - RH_j)$$

Nozzles

$$W_{y,sub} = \begin{cases} \frac{C_p A_y P_{y,sub} \left(\frac{p_y}{p_{y,sub}} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{p_y}{p_{y,sub}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]}}{\sqrt{R_y T_{y,sub}}} & \text{for } \frac{p_y}{p_{y,sub}} > \left(\frac{2\gamma}{\gamma+1} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}} \\ \frac{C_p A_y P_{y,sub}}{\sqrt{R_y T_{y,sub}}} \sqrt{\gamma} \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} & \text{for } \frac{p_y}{p_{y,sub}} \leq \left(\frac{2\gamma}{\gamma+1} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}} \end{cases}$$

Membrane model

Electrochemical model

$$E = -\frac{\Delta G_f(T_{fc})}{2F} + RT_{fc} \ln \left(\frac{p_{H_2} p_{O_2}^{\frac{1}{2}}}{p_{H_2O}} \right) \quad E_{act} = \frac{\bar{R} T_{fc}}{F} \ln \left(\frac{i}{i_0} \right) \quad i_0 = i_0^0 ECSA$$

$$E_{ohm} = \frac{i_{mem}}{\sigma_{mem}} \quad \sigma_{mem} = (0.005139\lambda - 0.00326) \exp \left(350 \left(\frac{1}{303} - \frac{1}{T_{fc}} \right) \right)$$

$$E_{diff} = \bar{\omega} T_{fc} i \ln \left(\frac{i_{lim}}{i_{lim} - i} \right) \quad i_{lim} = -\frac{2FD_{O_2} \varepsilon_{eff}^{1.5}}{V_{H_2O}^{0.823}} \ln(1 - x_{O_2,cat})$$

3 states at cathode side
2 states at anode side
3 states at cathode s.m.
2 states at anode s.m.

Mass balance

$$\frac{dm_{i,j}}{dt} = \dot{m}_{in,j} - \dot{m}_{out,j} \pm \dot{m}_{gen/conj,j}$$

$i = [O_2, N_2, H_2, H_2O]$
 $j = [ca, an, smca, sman]$

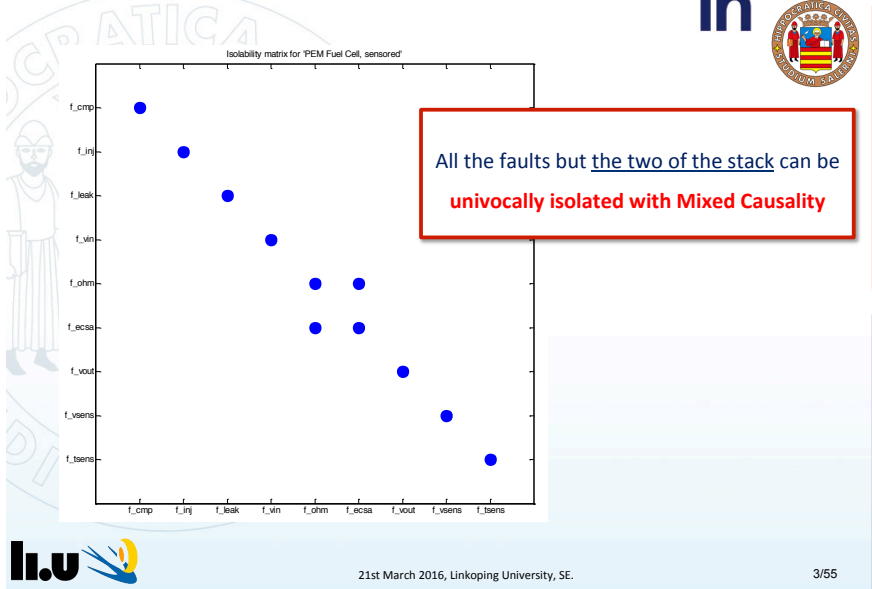
Energy balance

1 state (temperature)

$$K_{FC} \frac{dT_{FC}}{dt} = \dot{E}_{in}(T_{in}) - \dot{E}_{out}(T_{FC}) - VI - Q$$

21st March 2016, Linköping University, SE. 2/55

Isolability Analysis



Att ta med sig från denna första föreläsning

- Modellbaserad diagnos är att med hjälp av observationer och en matematisk modell av en process dra slutsatser om eventuella fel som kan finnas i systemet.
- Lite grovt kan man säga; Diagnossystem:
 - alla diagnoser = $f(\text{data})$
- Ett av målen med den här kursen: "krama" ut så mycket information som möjligt ur modellen och kondensera in i funktionen $f(\cdot)$ ovan.
- Enkelt uttryckt: ett diagnossystem består av ett antal detektorer med specifika egenskaper följt av felisoleringslogik

TSFS06 Diagnos och övervakning, 6hp
Föreläsning 1 - Kursformalia och introduktion

Erik Frisk

Institutionen för systemteknik
Linköpings universitet
erik.frisk@liu.se

2020-03-31