Försättsblad till skriftlig tentamen vid Linköpings Universitet

Datum för tentamen	2010-08-19
Sal	KÅRA
Tid	14-18
Kurskod	TSFS06
Provkod	TEN1
Kursnamn	Diagnos och övervakning
Institution	ISY
Antal uppgifter som ingår i tentamen	6
Antal sidor på tentamen (inkl. försättsbladet)	7
Jour/kursansvarig	Mattias Krysander
Telefon under skrivtid	013-282198
Besöker salen ca.	15.00 och 17.00
Kursadministratör (namn+tfnnr+mailadress)	Anita Petersson, 013-281328, anita@isy.liu.se
Tillåtna hjälpmedel	TeFyMa, Beta Mathematics handbook, Physics Handbook, Reglerteknik (Glad och Ljung), Formelsamling i statistik och signalteori, miniräknare
Övrigt	Visning 10.00-10.30 den 1 september på Fordonssystem

Tentamen

TSFS06 Diagnos och övervakning
19 augusti, 2010, kl. 14.00-18.00

Tillåtna hjälpmedel: TeFyMa, Beta Mathematics handbook, Physics Handbook, Reglerteknik (Glad och Ljung), Formelsamling i statistik och signalteori samt miniräknare.

Ansvarig lärare: Mattias Krysander

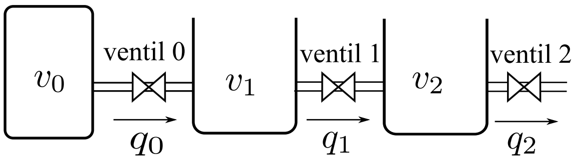
Totalt 40 poäng.
Preliminära betygsgränser:
Betyg 3: 18 poäng
Betyg 4: 25 poäng
Betyg 5: 30 poäng

Uppgift 1.
Betrakta ett system med komponenterna A, B, C, D och E. Komponenterna är OK eller $\neg OK$. Systemet diagnostiseras med följande tester:

	A	B	C	D	E
T_1	X	X	0	0	0
T_2	X	0	0	X	X
T_3	X	0	X	X	0

a) Skriv konflikten som bildas då test T_2 larmar både i logiknotation och mängdnotation. (2 poäng)

b) Beräkna de minimala diagnoserna för fallet att alla tester larmar. (3 poäng)



Figur 1: Tvåtankssystem

Uppgift 2.
Antag systemet i figur 1 med tankar och ventiler, där q_i betecknar flöden och v_i tryck. Observera att tryck här betecknas v för att undvika sammanblandning med deriveringsoperatorn p. Trycket v_0 styrs med en känd styrsignal u och mottrycket till höger om ventil 2 är $v_3 = 0$. Systemet beskrivs av modellen:

$$\begin{aligned} v_0 &= u \\ v_3 &= 0 \\ R_i q_i &= v_i - v_{i+1}, \quad \text{för } i = 0, 1, 2 \\ C\dot{v}_i &= q_{i-1} - q_i, \quad \text{för } i = 1, 2 \end{aligned}$$

där $R_0 = 3$, $R_1 = 2$ och $R_2 = 1$ betecknar de felfria flödesmotståndet genom ventilerna och $C = 1$ den felfria volymen i tankarna. Det finns två givare, y_1 mäter v_1 och y_2 mäter q_1. Slutligen betrakta följande 5 fel: fel flödesmotståndet genom de tre ventilerna (f_1, f_2, f_3) och fel volym i respektive tank (f_4, f_5).

a) Lägg till mätekvationer och inför felsignaler för de 5 felen så att den resulterande modellen är linjär och skriv modellen på matrisform

$$H(p)x(t) + L(p)z(t) + F(p)f(t) = 0$$

där $z(t) = \begin{bmatrix} u(t) & y_1(t) & y_2(t) \end{bmatrix}^T$. (4 poäng)

För att studera diagnosegenskaper hos systemet och för att påbörja designen av ett diagnossystem har följande matlabkod körts. I koden avkopplas ett fel åt gången och konsistensrelationer samt den interna formen beräknas för respektive avkoppling.

```
>> Nhf = [];
>> for i = 1:5
       Nhf = [Nhf;null([H F(:,i)]')'];
   end
>> Nhf*L

     0        -0.23 - 0.23p     0.69 + 0.46p
    -0.19      0.19 + 0.56p     0.56
    -0.19      0.19 + 0.56p     0.56
     0        -0.23 - 0.23p     0.69 + 0.46p
    -0.19      0.19 + 0.56p     0.56

>> Nhf*F

     0         0.23 + 0.23p     0.23     0        -0.23
     0.19      0                0        0.56      0
     0.19      0                0        0.56      0
     0         0.23 + 0.23p     0.23     0        -0.23
     0.19      0                0        0.56      0
```

b) Ange dimensionen på rummet av konsistensrelationer. Motivera. (2 poäng)

c) Ange vilka fel som är starkt/svagt detekterbara samt systemets isolerbarhetsmatris för enkelfel. (3 poäng)

d) Konstruera ett diagnossystem med maximal detekterbarhets- och enkelfelsisolerbarhetsprestanda. Residualgeneratorerna ska vara skrivna på tillståndsform, vara stabila och ha alla poler i -1. (6 poäng)

Uppgift 3.

a) Låt θ vara en felsignal där $\theta = 0$ representerar felfritt fall och $\theta \neq 0$ ett fel. Residualen r används för att detektera felet och systemet larmar då $|r| > J$. Låt residualen r vara fördelad enligt en funktion $f(r|\theta)$.

Styrkefunktionen $\beta(\theta)$ används för att beskriva hur bra ett test är att detektera ett fel. Definiera styrkefunktionen och teckna ett uttryck för β. (2 poäng)

b) Antag att vi har två residualer, r_1 och r_2, med fördelningar enligt

$$r_1 \sim \mathcal{N}(f, \sigma_0), \quad r_2 \sim \mathcal{N}(k_1 f, k_2 \sigma_0)$$

där f är felsignalen, σ_0 standardavvikelsen, och k_1 och k_2 två kända konstanter.

Ange hur trösklarna för de båda residualerna är relaterade givet att vi satt trösklarna så att vi får samma falskalarmssannolikhet α för de båda testerna.

Ge ett uttryck på vilken relation som måste gälla mellan konstanterna k_1 och k_2 för att r_1 ska vara ett strikt bättre test än r_2. (3 poäng)

c) Styrkefunktioner är teoretiskt sett ett mycket bra verktyg för att utvärdera prestanda hos ett test. För verkliga system är det ofta svårt att vet exakt hur brus och fel påverkar testet. Beskriv hur man kan skatta styrkefunktionen i detta fall samt diskutera eventuella svårigheter/problem med den föreslagna metoden. (2 poäng)

Uppgift 4.
Antag att observationer från processen som ska övervakas är fördelade enligt

$$Z_i \sim f(z|\theta)$$

där $\theta = 0$ svarar mot felfritt system och $\theta = 1$ då vi har ett fel.

a) Antag vi har N uppmätta datapunkter $z_1, \ldots, z_N$. Ange varför och under vilka antaganden som

$$S = \sum_{i=1}^{N} \ln \frac{f(z_i|1)}{f(z_i|0)}$$

är en lämplig teststorhet. (2 poäng)

b) Det är inte alltid rimligt att, som ovan, anta att man vet värdet på parametern θ då fel inträffat. Ange hur uttrycket ovan kan modifieras för en sådan situation. Kommentera också eventuella svårigheter vid implementation. (2 poäng)

Uppgift 5.

a) För att härleda konsistensrelationer för en given systemmodell kan man derivera utsignalen väl valt antal gånger och sedan eliminera alla obekanta. Relativt gradtal är en egenskap hos ett system som säger antalet gånger man kan derivera utsignalen y innan insignalen u dyker upp i uttrycket. Ett skalärt system med relativt gradtal lika med systemets ordning kan alltid skrivas på formen

$$\begin{aligned}
\dot{x}_1 &= x_2 \\
\dot{x}_2 &= x_3 \\
&\vdots \\
\dot{x}_{n-1} &= x_n \\
\dot{x}_n &= f(x_1, \ldots, x_n, u) \\
y &= x_1
\end{aligned}$$

Ange varför den här klassen av system är speciellt enkel att härleda konsistensrelationer för. (2 poäng)

b) Antag ett skalärt linjärt system med fel f_1 i aktuatorn och fel f_2 i sensorn:

$$\begin{aligned}
\dot{x} &= Ax + B_u(u + f_1) \\
y &= Cx + f_2
\end{aligned}$$

Konstruera, medelst observatörsteknik, en residualgenerator som avkopplar ett *konstant* aktuatorfel. (2 poäng)

Uppgift 6.
Betrakta ett system med komponenter c_i för $i = 1, 2, \ldots, n$. Varje enskild komponent kan antingen vara OK eller $\neg OK$. Modellen för systemet är

$$\begin{aligned}
&g(x, \dot{x}, z, f) = 0 \\
&OK(c_i) \rightarrow f_i = 0 \qquad \text{för alla } i \in \{1, 2, \ldots, n\}
\end{aligned}$$

där x är okända, z kända och $f = (f_1, f_2, \ldots, f_n)$ felsignaler. Det finns inga krav på funktionen g vilket betyder att det kan finnas ekvationer i g som beskriver felmodeller som t ex $\dot{f}_i = 0$. Visa eller motbevisa att den minimala diagnoshypotesen gäller för denna klass av system. (5 poäng)