# Försättsblad till skriftlig tentamen vid Linköpings Universitet

| | |
|---|---|
| **Datum för tentamen** | 2011-06-01 |
| **Sal** | TER4 |
| **Tid** | 14-18 |
| **Kurskod** | TSFS06 |
| **Provkod** | TEN1 |
| **Kursnamn/benämning**<br>**Provnamn/benämning** | Diagnos och övervakning<br>Tentamen |
| **Institution** | ISY |
| **Antal uppgifter som ingår i tentamen** | 6 |
| **Jour/kursansvarig** | Erik Frisk |
| **Telefon under skrivtid** | 013-285714 |
| **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, Reglerteknik (Glad och Ljung), Formelsamling i statistik och signalteori, miniräknare. |

**Tentamen**

**TSFS06 Diagnos och övervakning**
**1 juni, 2011, kl. 14.00-18.00**

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

Ansvarig lärare: Erik Frisk

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

**Uppgift 1.** Antag en linjär modell på formen

$$
\begin{aligned}
\dot{x}_1 &= -x_1 + u \\
\dot{x}_2 &= x_1 - x_2 \\
y_1 &= x_1 \\
y_2 &= x_2
\end{aligned}
$$

där $u$ är känd styrsignal till aktuatorn och $y_1$ respektive $y_2$ är kända mätsignaler.

a) Modellera fel på sensorer och aktuatorn. Ange för vart och ett av felen om de är detekterbara eller inte, och i så fall om det är starkt eller svagt detekterbart. (2 poäng)

b) Hitta en konsistensrelation som isolerar fel i sensor 2 från fel i aktuatorn. Baserat på konsistensrelationen, konstruera en residualgenerator och skriv den på tillståndsform. För de designval som görs, resonera vilka överväganden som görs. (3 poäng)

c) Konstruera en residualgenerator via en observatör som isolerar fel i sensor 1 från fel i sensor 2. Ange vilka värden på observatörsförstärkningen som ger stabil residualgenerator. (3 poäng)

**Uppgift 2.** Antag att tre residualer har konstruerats för att övervaka 4 fel. Residualerna har en beslutsstruktur enligt

| | $F_1$ | $F_2$ | $F_3$ | $F_4$ |
|---|---|---|---|---|
| $r_1$ | | X | X | X |
| $r_2$ | X | | | X |
| $r_3$ | | | X | X |

a) Ange, för varje residual, vilken konflikt som genereras då residualen larmar. Beskriv enkelfelsisolerbarheten för diagnossystemet med en isolerbarhetsmatris. (3 poäng)

b) Antag att alla tre residualerna larmar. Ange mängden av minimala konflikter och räkna ut mängden av minimala diagnoser. (2 poäng)

c) Under vissa förutsättningar karakteriserar mängden av minimala diagnoser alla diagnoser, dvs. att minimala diagnos-hypotesen (MDH) är uppfylld. Ange ett tillräckligt krav på modellen för att MDH ska vara uppfylld.

Ange hur många diagnoser som finns i fallet som studeras i b-uppgiften. (2 poäng)

**Uppgift 3.**

a) Redogör för fördelar respektive nackdelar med att, för olinjära system, konstruera residualgeneratorer via konsistensrelationer respektive observatörer. (3 poäng)

b) En olinjär modell ges av

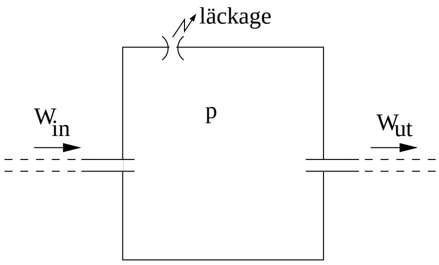
$$
\begin{aligned}
\dot{x} &= g(x) + u + f_1 \\
y &= h(x) + f_2
\end{aligned}
$$

där $g(x)$ och $h(x)$ är två deriverbara olinjära funktioner där $h(0) = g(0) = 0$ samt $f_1$ och $f_2$ är de modellerade felen (skalärer). Styrsystemet är konstruerat så att $u$ styr $x$ och $y$ mot 0. Dessutom vet man att $f_1$ är långsamt varierande och kan antas vara konstant.

Konstruera, med hjälp av en observatör, en residual som är känslig för $f_2$ men inte $f_1$.

Redovisa hur du tänkt bestämma observatörsförstärkningen. (2 poäng)

**Uppgift 4.** Antag en volym, i ett slutet system, med ett inflöde $W_{in}$ och ett utflöde $W_{ut}$ av luft enligt




Antag säkerhetsföreskrifter som anger att trycket $p$ i tanken ej får bli för högt samt att alla luftläckage måste detekteras.

Ange vilka sensorer ni skulle montera. Tänkbara sensorer är av typen flödes-, tryck-, samt temperatursensorer.

Ange hur ett diagnossystem skulle konstrueras och kommentera lösningen. Exempelvis vilka, om några, modeller som behövs, vilka parametrar som finns i diagnossystemet och hur ni skulle kalibrera dessa, och hur prestanda för systemet skulle kunna anges. (5 poäng)

**Uppgift 5.** Antag ett diagnossystem som består av tre test som reagerar på fel enligt beslutsstrukturen

| | $f_1$ | $f_2$ | $f_3$ |
|---|---|---|---|
| $r_1$ | 0 | X | X |
| $r_2$ | X | 0 | X |
| $r_3$ | X | X | 0 |

Antag att trösklarna är valda så att alla tre testerna har samma falsklarmssannolikhet $\alpha$ samt att detektionssannolikheterna $P(r_i > J_i|f_j) = p_{i,j}$.

a) Styrkefunktioner är ett användbart verktyg för att utvärdera detektionsprestanda hos ett givet test.

   Ange hur styrkefunktion är definierad, rita upp ett typiskt utseende hos en styrkefunktionen, samt ange hur man kan jämföra prestanda hos residual $r_1$ och $r_3$ att detektera fel $f_2$. (3 poäng)

b) En ROC-kurva är ett annat sätt att beskriva prestanda hos ett test. En ROC-kurva beskriver sannolikheten för detektion $P(D)$ som funktion av falsklarmssannolikheten $P(FA)$ för olika val av tröskel och en fix felstorlek.

   Plotta tänkbart utseende och ange hur ROC-kurvor kan användas för att jämföra prestanda hos två test. (2 poäng)

c) En intressant storhet är sannolikheten att vi får korrekt diagnos, dvs. att den korrekta felmoden finns med bland enkelfelsdiagnoserna.

   Låt $\mathcal{D}$ vara mängden med enkelfelsdiagnoser. Beräkna sannolikheterna

$$P(NF \notin \mathcal{D}|NF)$$
$$P(f_i \in \mathcal{D}|f_i)$$

   dvs. den första anger falsklarmssannolikheten för hela diagnossystemet och den andra sannolikheten att rätt enkelfelsdiagnos finns med bland diagnoserna. Uttryck sannolikheterna i $\alpha$ och $p_{i,j}$.

   För enkelhets skull, antag att testerna är oberoende. Kommentera oberoendeantagandet. (3 poäng)

   Tips: För två händelser $A$ och $B$ gäller att

$$P(A \text{ eller } B) = P(A) + P(B) - P(A \text{ och } B)$$

och om de är oberoende händelser gäller att

$$P(A \text{ och } B) = P(A)P(B)$$

**Uppgift 6.** Antag en process som beskrivs av de deterministiska ekvationerna

$$\begin{aligned} x &= u \\ y &= (1+f)x \end{aligned}$$

där $x$ är okänd variabel, $y$ känd mätsignal, $u$ känd styrsignal, och där signalen $0 \leq f < 1$ modellerar fel i sensorn.

Det är klart att då $u = 0$ så går det inte, i den deterministiska modellen, att detektera förändringar i signalen $f$.

Ett sätt att modellera osäkerhet i en process är att introducera brus i modellekvationerna. I modellen finns två ekvationer och vi kan därmed införa brus i den ena, den andra eller i båda enligt

$$\begin{aligned} x &= u + \epsilon_1 \\ y &= (1+f)x \end{aligned} \qquad \begin{aligned} x &= u \\ y &= (1+f)x + \epsilon_2 \end{aligned} \qquad \begin{aligned} x &= u + \epsilon_1 \\ y &= (1+f)x + \epsilon_2 \end{aligned}$$

För enkelhets skull, antag att bruskomponenterna $\epsilon_i$ är $\mathcal{N}(0,1)$-fördelade och oberoende.

a) I vilken/vilka av de tre stokastiska modellerna kan felet $f$ detekteras trots att $u = 0$? Motivera. (3 poäng)

b) Tag ett av fallen från a-uppgiften och konstruera ett test, baserat på en maximum likelihood-kvot, för att detektera felet $f$. Skriv testet på så explicit form som du kan och argumentera varför testet sannolikt är ett bra test. (4 poäng)