TSFS06 Diagnos och övervakning
Föreläsning 9 - Multipelfelisolering med metoder från Artificell Intelligens

Erik Frisk

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

2017-05-10

Översikt

- Skiss på multipelfelisolering
- Grundläggande definitioner
- Karakterisering, minimala diagnoser och felmodellering
- Koppling till residualgenerering - konflikter
- Algoritm
- Avslutning

Introduktion till konsistensbaserad AI-diagnos

Vi har inte varit inne på det, men det finns flera sorters diagnoser, bland annat

- Konsistensbaserad diagnos
  En (konsistensbaserad) diagnos är en utsaga om feltillstånd hos processen som ej motsäger observationerna
- Abduktiv diagnos
  En (abduktiv) diagnos är en utsaga om feltillstånd hos processen som medför observationerna

I denna kategorisering så passar det vi gjort hittills i kursen in på konsistensbaserad diagnos.

Grunderna för konsistensbaserad AI-diagnos (och en del kopplingar till vad vi gjort tidigare i kursen)

Plats i kursen

- Diagnosforskning har bedrivits inom olika områden, bland annat av forskare och ingenjörer inom datalogi och reglerteknik/signalbehandling
- Anledning här: allmänbildning och vettig hantering av multipelfel.

  Tidigare var isoleringsalgoritmen väldigt enkel, det är bara en snittoperation. Beror på endast en systembeteendemod i taget. Betraktar man komponentmoder så blir det mer besvärligt.
- Sker en hel del aktuell forskning för att sammanfoga resultaten från de olika fälten.

Hur gjorde vi felisolering tidigare?

Vår tidigare metod baserades på beslutsstrukturer (felsignaturmatriser)

	f_1	f_2	f_3
r_1		X	X
r_2	X		X
r_3	X	X	

Om residual r_1 och r_3 indikerar larm så får vi

$$\begin{aligned} r_1 > J_1 &\Rightarrow S_1 = \{F_2, F_3\} \\ r_2 < J_2 &\Rightarrow S_2 = \{NF, F_1, F_2, F_3\} \\ r_3 > J_3 &\Rightarrow S_3 = \{F_1, F_2\} \end{aligned}$$

Den slutliga diagnosen togs då som de singelfel som förklarar alla delbeslut S_i, vilket kunde beräknas via enkel snittoperation

$$S = \bigcap_i S_i = \{F_2\}$$

Tidigare metod för isolering tveksam för multipelfel

- Sammanvägningen av de olika testresultaten var väldigt enkel, en snittoperation av delbesluten.

$$S = \bigcap S_i$$

- Detta är en vinst av en tveksam hantering av multipelfel; en systembeteendemod per felkombination, exempelvis: $F1\&F2\&F3$
- 20 komponenter och två beteendemoder per komponent $\Rightarrow 2^{20} \approx 10^6$ systembeteendemoder.
- För enkelfel fungerar det dock bra.
- För multipelfel krävs oftast lite mer eftertanke

Skiss på hur man kan hantera multipelfel

	f_1	f_2	f_3
r_1		X	X
r_2	X		X
r_3	X	X	

Om residual r_1 och r_3 indikerar larm så får vi

$$\begin{aligned} r_1 > J_1 &\Rightarrow S_1 = \{F_2, F_3\} \\ r_2 < J_2 &\Rightarrow S_2 = \{NF, F_1, F_2, F_3\} \\ r_3 > J_3 &\Rightarrow S_3 = \{F_1, F_2\} \end{aligned}$$

Slutsatsen var då under enkelfelsantagande

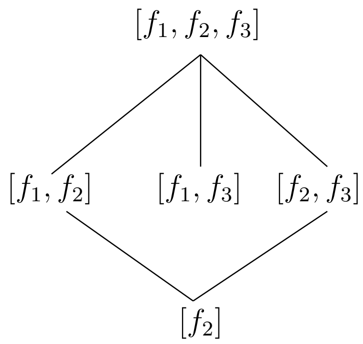
$$S = \bigcap_i S_i = \{F_2\}$$

Men det är inte den enda förklaringen.

Hur gör vi om vi vill hitta alla diagnoser, inklusive multipelfel, utan att utöka till systembeteendemoder?

Skiss på hur man kan hantera multipelfel

Alla diagnoser, och deras inbördes delmängdsrelationer, kan representeras med partialordningen



Diagnoserna F_2 och $F_1\&F_3$ har en särställning.

Grunderna från AI kommer ge hur detta ska gå till och vilka antaganden som ligger bakom.

Framställning via logik

	f_1	f_2	f_3
r_1		X	X
r_2	X		X
r_3	X	X	

Antag att residual 1 och 3 larmar, dvs.

$$r_1 > J_1 \to \neg(OK(C_2) \wedge OK(C_3))$$
$$r_3 > J_3 \to \neg(OK(C_1) \wedge OK(C_2))$$

För att minska skrivbördan, beteckna $OK(C_i)$ med C_i.

Sätter man ihop de logiska uttrycken med $\wedge$

$$\neg(C_2 \wedge C_3) \wedge \neg(C_1 \wedge C_2) = (\neg C_2 \vee \neg C_3) \wedge (\neg C_1 \vee \neg C_2) =$$
$$(\neg C_1 \wedge \neg C_2) \vee (\neg C_2 \wedge \neg C_2) \vee (\neg C_1 \wedge \neg C_3) \vee (\neg C_2 \wedge \neg C_3) =$$
$$\neg C_2 \vee (\neg C_1 \wedge \neg C_3)$$

Det sista logiska uttrycket representerar alla diagnoser. Här syns också tydligt de två diagnoserna F_2 samt $F_1\&F_3$.

Framställning via logik, forts.

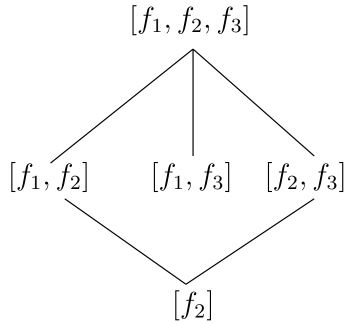
Enligt föregående bild representerade uttrycket

$$\neg C_2 \vee (\neg C_1 \wedge \neg C_3)$$

alla diagnoser. För att explicit se skriva ut alla diagnoser, utveckla uttrycket till full disjunktiv normalform:

$$(C_1 \wedge \neg C_2 \wedge C_3) \vee (\neg C_1 \wedge \neg C_2 \wedge C_3) \vee (C_1 \wedge \neg C_2 \wedge \neg C_3) \vee$$
$$(\neg C_1 \wedge \neg C_2 \wedge \neg C_3) \vee (\neg C_1 \wedge C_2 \wedge \neg C_3)$$

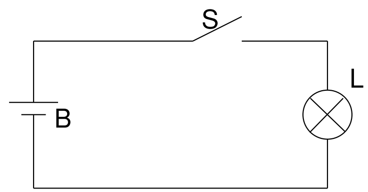
Jämför det logiska uttrycket med figuren



Översikt

- *Skiss på multipelfelisolering*
- *Grundläggande definitioner*
- *Karakterisering, minimala diagnoser och felmodellering*
- *Koppling till residualgenerering - konflikter*
- *Algoritm*
- *Avslutning*

Att skriva diagnoser som logiska uttryck



Diagnosuttalandet (diagnosis statement) som diskuterats tidigare i kursen kan skrivas som en disjunktion ($\vee$) av enskilda diagnoser.

Diagnosuttalandet {"no faults", "S not OK} kan skrivas som

$$(OK(S) \wedge OK(L)) \vee (\neg OK(S) \wedge OK(L))$$

Kan även skrivas med en mängdnotation

$$\{\{OK(S), OK(L)\}, \{\neg OK(S), OK(L)\}\}$$

eller ännu mer kompakt om man inte skriver ut komponenter som är hela och droppar $OK(\cdot)$, dvs:

$$\{\{\}, \{S\}\}$$

Denna mängdnotation är den jag använder mest i den här framställningen.

Formell definition av diagnos

Repetition av diagnosdefinitionen:

Definition (Diagnos)

En diagnos för en modell $\mathcal{M}$ baserat på observationerna $\mathcal{O}$ är en modtilldelning $\mathcal{D}$ sådan att

$$\mathcal{M} \bigcup \mathcal{O} \bigcup \mathcal{D}$$

är satisfierbar (konsistent).

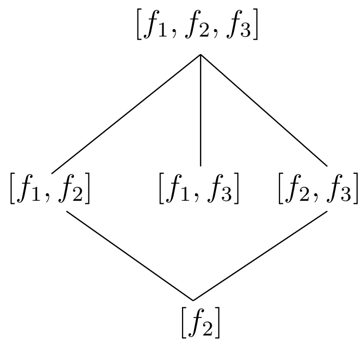
$\mathcal{M}$ är en mängd formler, $\mathcal{O}$ är en mängd observationer och $\mathcal{D}$ är en modtilldelning.

Formell definition av minimala diagnoser

Om man är intresserad av "de enklast" möjliga diagnoserna kan man definiera (givet att mängdnotationen från tidigare bild används):

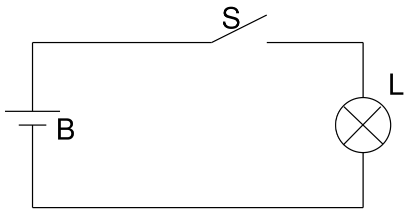
Definition (Minimal diagnos)

En diagnos $\mathcal{D}$ är minimal om för alla $\mathcal{D}' \subset \mathcal{D}$ (strikt delmängd), så är $\mathcal{D}'$ är inte en diagnos.



Formell definition av diagnos, exempel

Funkar även för fallet med flera felmoder per komponent.



desired switch position	lamp observation	diagnosis statement	minimal diagnoses
open	not lit	$\{\{\}, \{SO(S)\}, \{\neg OK(L)\}, \{SO(S), \neg OK(L)\}, \{SC(S), \neg OK(L)\}\}$	$\{\{\}\}$
open	lit	$\{\{SC(S)\}\}$	$\{\{SC(S)\}\}$
closed	not lit	$\{\{SO(S)\}, \{\neg OK(L)\}, \{SO(S), \neg OK(L)\}, \{SC(S), \neg OK(L)\}\}$	$\{\{SO(S)\}, \{\neg OK(L)\}\}$
closed	lit	$\{\{\}, \{SC(S)\}\}$	$\{\{\}\}$

Problemformulering

En problemformulering skulle kunna sägas vara

Givet: En modell $\mathcal{M}$ och observationer $\mathcal{O}$.

Sökt: En kompakt beskrivning av alla diagnoser, dvs. alla modtilldelningar $\mathcal{D}$ där

$$\mathcal{M} \cup \mathcal{O} \cup \mathcal{D}$$

är en konsistent mängd av formler.

Så vad vill vi?

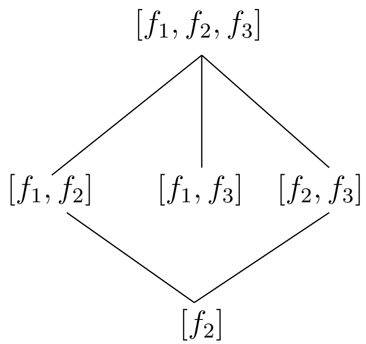
- Algoritm som givet $\mathcal{O}$ och $\mathcal{M}$ räknar ut alla diagnoser $\mathcal{D}$
- "Bara" att testa logisk satisfierbarhet för alla tänkbara diagnoser.
- Antalet diagnoser blir lätt (exponentiellt) många, vi vill inte räkna ut allihopa utan hitta en enkel karakterisering av alla diagnoser.
- Förenklingar som gör det enkelt: inga felmodeller och ett antagande (minimala diagnoshypotesen) $\Rightarrow$ endast de minimala diagnoserna behöver beräknas.
- Definitionen av diagnos är lite tråkig som bas för algoritm. Kopplar heller inte till ett naturligt sätt att göra diagnos: att generera residualer/teststorheter.

Översikt

- *Skiss på multipelfelisolering*
- *Grundläggande definitioner*
- *Karakterisering, minimala diagnoser och felmodellering*
- *Koppling till residualgenerering - konflikter*
- *Algoritm*
- *Avslutning*

Karakterisering av diagnoser

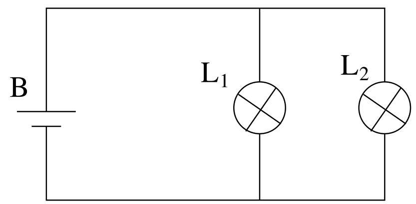
- Antalet diagnoser växer fort med antalet komponenter (antalet kandidater växer exponentiellt med antalet komponenter).
- Man önskar ett kompakt sätt att representera/karakterisera alla diagnoser. Ett svårt problem och ingen riktigt generell lösning finns.
- Mängden av de minimala diagnoserna är en sådan tänkbar parametrisering, när fungerar den? Kom ihåg den partiella ordningen



När säger de minimala diagnoserna allt?

Felmodellering

- Det är inte nödvändigt att modellera felaktigt beteende för att isolera fel! Det kan räcka med att specificera hur komponenterna fungera i det felfria fallet.
- Utan felmodeller kan man endast få utsagor som säger att en komponent inte är ok.
- Med felmodeller kan man få utsagor som säger att det inte är fel.
- Om man inte är försiktigt så riskerar man få icke-fysikaliska diagnoser. Exempelvis att om L_1 lyser men inte L_2 så kan en slutsats vara att det är fel på batteriet och L_1 om man har en modell utan felmodeller.

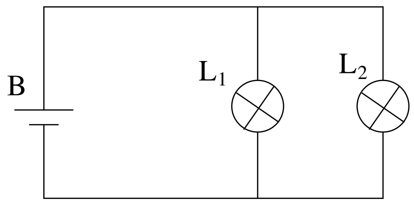


Diagnos utan felmodeller kan leda till oväntade resultat

Låt E vara sann om det finns spänning över batteriet och $T(L_i)$ sann om lampa L_i är tänd.

$$\mathcal{M} = \{OK(B) \to E, \\ OK(L_i) \to (E \to T(L_i))\}$$

$$\mathcal{O} = \{T(L_1), \neg T(L_2)\}$$



Intuitiv minimal diagnos:

$$OK(B) \wedge OK(L_1) \wedge \neg OK(L_2)$$

Ointuitiv minimal diagnos:

$$\neg OK(B) \wedge \neg OK(L_1) \wedge OK(L_2)$$

Vid tillägg av sunda felmodeller kommer denna kandidat inte vara en diagnos.

Minimala diagnoshypotesen

Definition (MDH)

Den minimala diagnoshypotesen (Minimal Diagnosis Hypothesis) sägs vara sann om alla supermängder av en diagnos också är en diagnos.

Om MDH gäller så karakteriserar de minimala diagnoserna alla diagnoser.

Gäller så klart inte alltid och det är svårt att hitta exakta kriterier för när hypotesen gäller.

Tillräckligt villkor för MDH

Ett tillräckligt villkor för MDH är att varje komponent endast har två beteendemoder, OK och $\neg OK$ samt att moden $\neg OK$ ej har en modell (inga felmodeller).

MDH och fel modellerade med additiva felsignaler

Exempel

$$\begin{aligned} \dot{x} &= g(x,u) \\ y_1 &= x_1 + f_1 \\ y_2 &= x_2 + f_2, \end{aligned}$$

Om vi antar att felsignalen f_i i det felfria fallet är $f_i = 0$, men att vi i felfallet inte antar något om signalen, då är modellen ekvivalent med

$$\begin{aligned} \dot{x} &= g(x,u) \\ OK(S_1) \to y_1 &= x_1 \\ OK(S_2) \to y_2 &= x_2 \end{aligned}$$

och då gäller MDH.

Felmodeller och MDH

Med felmodeller kan vi säga att ett fel *inte* finns, och därmed gäller inte MDH. Antag modellen och residualen

$$\begin{aligned} x &= u + f_1 \\ y &= x + f_2 \end{aligned} \qquad\qquad r = y - u$$

Larmar r så är diagnoserna

$$\mathcal{D}_1 = \neg OK(C_1) \wedge OK(C_2) \qquad \mathcal{D}_2 = OK(C_1) \wedge \neg OK(C_2)$$
$$\mathcal{D}_3 = \neg OK(C_1) \wedge \neg OK(C_2)$$

dvs. supermängder av diagnoser är också diagnoser. Med felmodellerna att f_i är konstanta, och r larmar men ej är konstant, får vi inga diagnoser, dvs. inga förklaringar finns som förklarar beteendet.

Översikt

- Skiss på multipelfelisolering
- Grundläggande definitioner
- Karakterisering, minimala diagnoser och felmodellering
- *Koppling till residualgenerering - konflikter*
- Algoritm
- Avslutning

Residualer och diagnoser

Enligt definitionen så var $\mathcal{D}$ en diagnos om och endast om ekvationerna

$$\mathcal{M} \cup \mathcal{O} \cup \mathcal{D}$$

var konsistenta.

Residualer detektera inkonsistenser mellan modellen $\mathcal{M}$ och observationerna $\mathcal{O}$, dvs. om vi hittat alla möjliga inkonsistenser mellan $\mathcal{M}$ och $\mathcal{O}$ i ett första steg så

$$\mathcal{M} \cup \mathcal{O} \cup \mathcal{D} \Rightarrow \mathcal{R} \cup \mathcal{D}$$

- det är precis det som residualer gör, jämför modell och observationer.

Konflikter

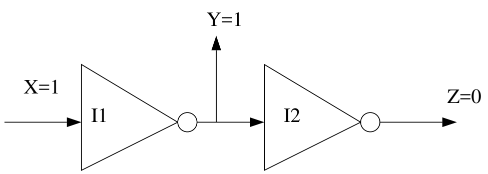
Med enkla ord: konflikt=en utsaga som ej kan vara sann. Mer formellt kan man skriva

Definition (Konflikt)

En modtilldelning $\mathcal{C}$ (eventuellt partiell) är en konflikt om

$$\mathcal{M} \bigcup \mathcal{O} \bigcup \mathcal{C}$$

ej är satisfierbar.



$$OK(I_1), \quad OK(I_1) \wedge OK(I_2)$$

Supermängder av en konflikt är också en konflikt, oavsett om "Minimal Diagnosis Hypothesis" gäller eller inte.

Konflikter och tidigare kursmaterial

Tidigare har vi konstruerat teststorheter, till exempel för en teststorhet med beslutsstruktur

	F_1	F_2	F_3	F_4
$T(z)$		X		X

Om teststorheten går över en tröskeln $T(z) > J$ blir

$$T(z) > J \to \neg(OK(C_2) \wedge OK(C_4))$$

dvs. $OK(C_2) \wedge OK(C_4)$ är en konflikt.
Slutsatsen av larmet blir negationen av konflikten, dvs

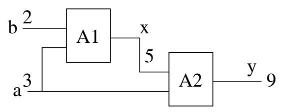
$$\neg(OK(C_2) \wedge OK(C_4)) = \neg OK(C_2) \vee \neg OK(C_4)$$

Mängden $\{F_2, F_4\}$ representerar en genererad konflikt vid larm

Intuitiv koppling mellan konflikter och diagnoser

Antag att vi, givet våra observationer, har detekterat alla möjliga konflikter. Det vill säga, vi har (tex. genom ett slugt val av residualgeneratorer) hittat alla möjliga modtilldelningar som ej kan vara sanna.

- I någon mening är negationen av alla konflikter en sammanfattning av observationerna och modellen. De säger ju vad som inte kan vara sant, alltså borde negationen vara sann.
- En modtilldelning bör vara konsistent med de negerade konflikterna för att vara en diagnos.



$$\Pi = \{\{OK(A2)\}\}$$

leder till att tex. $\{OK(A1) \wedge \neg OK(A2), \neg OK(A1) \wedge \neg OK(A2)\}$ är mängden av diagnoser.

Konflikter och diagnos

Theorem

Antag att Π är mängden av (minimala) konflikter. Då är en modtilldelning $\mathcal{D}$ en diagnos om och endast om

$$\neg\Pi \bigcup \mathcal{D}$$

är satisfierbar.

Den negerade konflikten från adderarexemplet är

$$\neg\Pi = \{\{\neg OK(A2)\}\}$$

det gör att följande är satisfierbara

$$\neg\Pi \cup \mathcal{D}_1 = \neg OK(A2) \wedge \overbrace{OK(A1) \wedge \neg OK(A2)}^{\mathcal{D}_1}$$

$$\neg\Pi \cup \mathcal{D}_2 = \neg OK(A2) \wedge \overbrace{\neg OK(A1) \wedge \neg OK(A2)}^{\mathcal{D}_2}$$

med denna är det inte

$$\neg\Pi \cup \mathcal{D}_3 = \neg OK(A2) \wedge \overbrace{\neg OK(A1) \wedge OK(A2)}^{\mathcal{D}_3}$$

Konfliktgenerering

- Förkompilerade test (tröskling av residualer och teststorheter). Konflikter ger koppling mellan "residualer" och diagnoser.
- On-line generering av test som hittar konflikter

Det senare är principen för GDE - General Diagnostic Engine. En generell diagnosmotor som automatiskt genererar konflikter givet en modell och observationer (under MDH).

I den här presentationen: Antag att vi har genererat våra konflikter på något sätt. Hur hittar vi de minimala diagnoserna på ett effektivt sätt?

Konflikter och minimala diagnoser

Theorem

Antag minimala diagnoshypotesen. Låt $\Pi = \{\pi_1, \dots, \pi_n\}$ vara mängden av minimala konflikter. Om kandidaten $\mathcal{D}$ är en minimal mängd så att

$$\neg\pi_i \bigcap \mathcal{D} \neq \emptyset$$

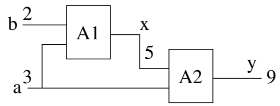
för alla π_i, $i = 1, \dots, n$, så är $\mathcal{D}$ en minimal diagnos.

$$\Pi = \{\{OK(A2)\}\}$$

Minimala diagnosen ses här direkt som $\{\neg OK(A2)\}$.

Konflikter och diagnoser, ett exempel

För det enkla fallet



fanns endast en konflikt

$$\Pi = \{\{OK(A2)\}\}$$

Vi har då $\neg\pi_1 = \{\neg OK(A_2)\}$ och vi kan via satsen direkt avgöra vilka som är diagnoser:

$$\neg\pi_1 \cap \{OK(A_1), OK(A_2)\} = \emptyset \Rightarrow \text{ej diagnos}$$
$$\neg\pi_1 \cap \{\neg OK(A_1), OK(A_2)\} = \emptyset \Rightarrow \text{ej diagnos}$$
$$\neg\pi_1 \cap \{OK(A_1), \neg OK(A_2)\} \neq \emptyset \Rightarrow \text{diagnos}$$
$$\neg\pi_1 \cap \{\neg OK(A_1), \neg OK(A_2)\} \neq \emptyset \Rightarrow \text{diagnos}$$

Satsen svåranvänd i denna form. Testa alla möjliga kandidater ej möjlig väg och en mer sofistikerad algoritm behövs!

Översikt

- *Skiss på multipelfelisolering*
- *Grundläggande definitioner*
- *Karakterisering, minimala diagnoser och felmodellering*
- *Koppling till residualgenerering - konflikter*
- *Algoritm*
- *Avslutning*

Konflikter och diagnoser - Minimal Hitting Set

Antag att tre test har reagerat och vi har följande detekterade konflikter

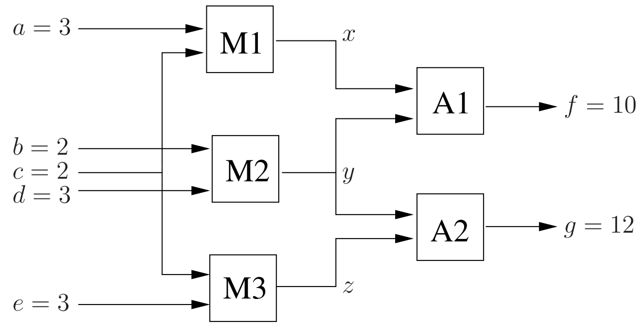
$$S_1 = \{F_1, F_2\} \qquad (F_1 \vee F_2)$$
$$S_2 = \{F_2, F_3\} \qquad (F_2 \vee F_3)$$
$$S_3 = \{F_2, F_3, F_4\} \qquad (F_2 \vee F_3 \vee F_4)$$

En diagnos är då en mängd med ett icke-tomt snitt med alla konflikter. En sådan mängd kallas ett hitting set för mängden av konflikter och är ett standardproblem inom datalogi.

De minimala diagnoserna är

$$D_1 = \{F_2\}, \quad D_2 = \{F_1, F_3\}$$

Exempel: Polybox



Ett litet exempel (men används förvånansvärt ofta som exempel i forskningsartiklar). Det innehåller dock rätt mycket och illustrerar principerna på ett bra sätt.

Konflikter i Polybox-exemplet

Mät i tur och ordning:

$$
\begin{aligned}
a &= 3\\
b &= 2\\
c &= 2\\
d &= 3\\
e &= 3\\
f &= 10\\
g &= 12
\end{aligned}
$$

Hitta konflikter på något sätt. Här tex. via de tre naturliga residualerna

$$
\begin{aligned}
r_1 &= f - ac - bd = -2 \Rightarrow & \pi_1 &= \{A1, M1, M2\}\\
r_2 &= g - ce - bd = 0 \Rightarrow & &\text{Ingen konflikt}\\
r_3 &= f - g - ac + ce = -2 \Rightarrow & \pi_2 &= \{A1, A2, M1, M3\}
\end{aligned}
$$

Diagnoser

De två detekterade konflikterna är

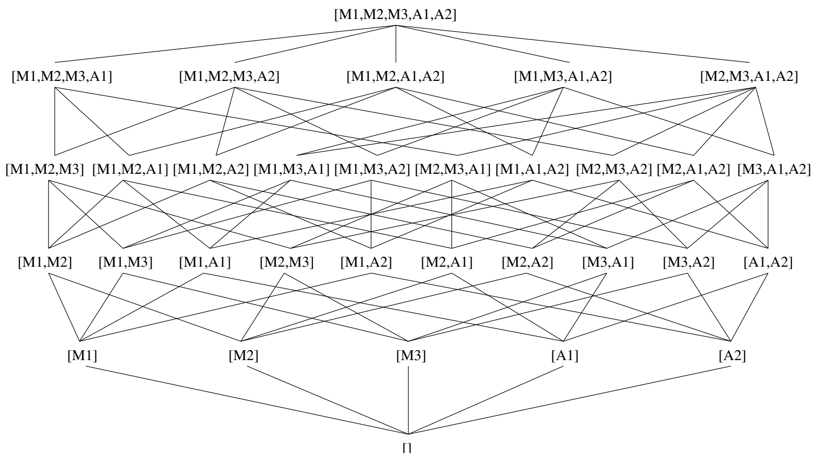
$$
\begin{aligned}
&OK(A1) \wedge OK(M1) \wedge OK(M2)\\
&OK(A1) \wedge OK(A2) \wedge OK(M1) \wedge OK(M3)
\end{aligned}
$$

Från teoremet om minimala diagnoser så går det att räkna ut fyra minimala diagnoser:

$$
\begin{aligned}
&\neg OK(A1) \wedge OK \dots\\
&\neg OK(M1) \wedge OK \dots\\
&\neg OK(A2) \wedge \neg OK(M2) \wedge OK \dots\\
&\neg OK(M2) \wedge \neg OK(M3) \wedge OK \dots
\end{aligned}
$$

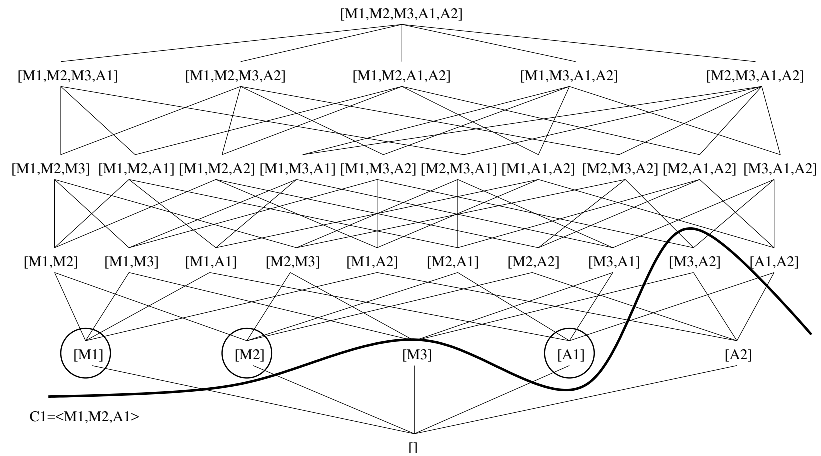
Ovanstående lite slarvigt skrivet, alla ej nämnda komponenter hela. Inte så lätt dock, en algoritm behövs för att komma fram till dessa.

Beräkna diagnoser från konflikter



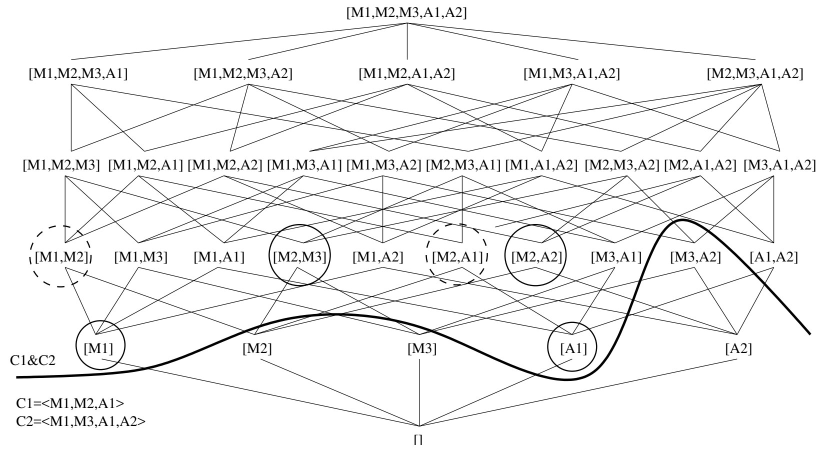
Beräkna diagnoser från konflikter

Behandla konflikten $OK(A1) \wedge OK(M1) \wedge OK(M2)$



Beräkna diagnoser från konflikter

Behandla konflikten $OK(A1) \wedge OK(A2) \wedge OK(M1) \wedge OK(M3)$



Sammanfattning av algoritm

1. Initialisera mängden av minimala diagnoser till mängden av tomma mängden, dvs. inga fel.
2. Givet en ny konflikt, se om någon av de tidigare minimala diagnoserna ej kan gälla längre.
3. Om någon sådan finns, utöka dessa med element från den nya konflikten.
4. Ta bort alla nya diagnoser som ej är minimala.
5. Iterera från steg 2 för alla nya konflikter.

Algoritmen går att generalisera till fallet av komponenter kan gå sönder på flera sätt, dvs. det finns fler alternativ än OK och $\neg OK$.

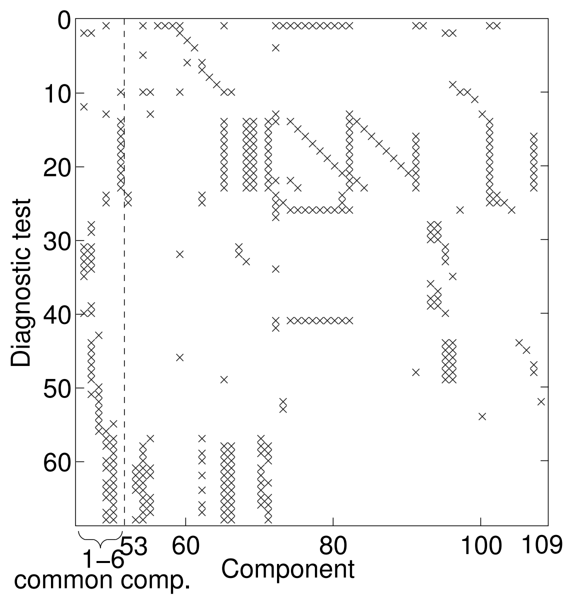
Inneboende i problemet är att det har hemska komplexitetsegenskaper. Finns gott om forskning som hittar ett antal minimala diagnoser, de mest sannolika eller liknande förenklingar.

Återknyt till logikmanipulering

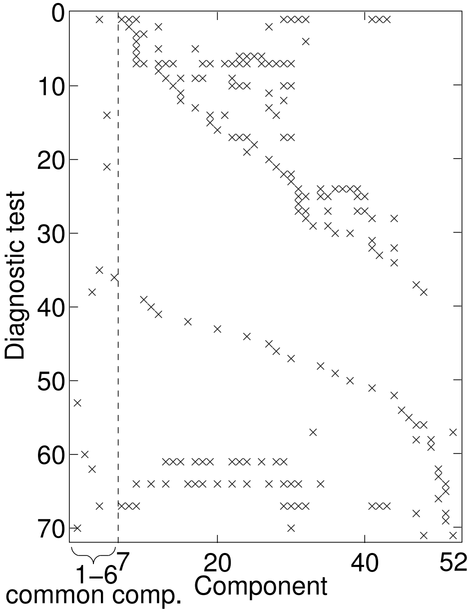
Algoritmen gav att behandling av konflikterna $\{A1, M1, M2\}$ samt $\{A1, A2, M1, M3\}$ gav fyra minimal hitting sets, svarande mot fyra diagnoser, $\{M1\}$, $\{A1\}$, $\{M2, M3\}$, samt $\{M2, A2\}$.
För att återknyta till logikformuleringen så betyder det att

$$\begin{aligned}
&\neg(OK(A1) \wedge OK(M1) \wedge OK(M2)) \wedge \\
&\neg(OK(A1) \wedge OK(A2) \wedge OK(M1) \wedge OK(M3)) = \\
&\underbrace{\neg OK(A1)}_{\mathcal{D}_1} \vee \underbrace{\neg OK(M1)}_{\mathcal{D}_2} \vee \underbrace{(\neg OK(M2) \wedge \neg OK(M3))}_{\mathcal{D}_3} \vee \\
&\underbrace{(\neg OK(M2) \wedge \neg OK(A2))}_{\mathcal{D}_4}
\end{aligned}$$

Beslutsstruktur i EMS - Engine Management System



Beslutsstruktur i SCR -Selective Catalytic Reduction



Översikt

- *Skiss på multipelfelisolering*
- *Grundläggande definitioner*
- *Karakterisering, minimala diagnoser och felmodellering*
- *Koppling till residualgenerering - konflikter*
- *Algoritm*
- *Avslutning*

Avslutning

- Allmänbildning hur man tänker inom logikkaraktärisering/AI
- Kopplingar till konflikter
- Koppling till hur isolering gjordes och varför det var enkelt med systembeteendemoder, dvs. endast en möjlig i taget.
- Fullt med möjligheter att sammanfoga fälten.
- Felmodeller är problematiskt men mycket bra ur diagnossynpunkt.

TSFS06 Diagnos och övervakning
Föreläsning 9 - Multipelfelisolering med metoder från Artificell Intelligens

Erik Frisk

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

2017-05-10