



Aalto-yliopisto
Perustieteiden
korkeakoulu

Pareittaisen dominanssin laskeminen perustapahtumille vikapuuanalyysissä (valmiin työn esitys)

Henri Losoi

03.03.2014

Ohjaaja: *DI Antti Toppila*

Valvoja: *Professori Ahti Salo*

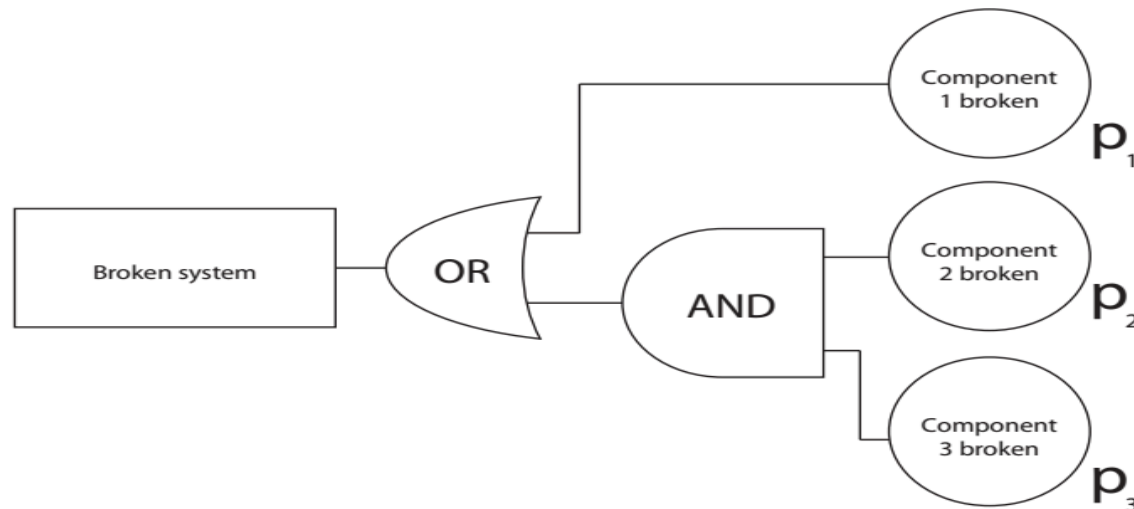
Kaikki oikeudet pidetään.

Sisältö

1. Johdanto
2. Pareittainen dominanssi
3. Multilineaarinen optimointi
4. Algoritmin kuvaus
5. Harva tietorakenne
6. Haaroituksen priorisointimenetelmät
7. Tulokset
8. Yhteenveto

1. Johdanto

- Vikapuuanalyysi kuvaa systeemin epäluotettavuutta
- Epäluotettavuus Q voidaan mallintaa multilineaarisen funktion kuten $Q=p_1+p_2p_3$ avulla [1], jossa p_i tarkoittaa vikaantumistodennäköisyyttä komponentille i .



2. Pareittainen dominanssi

- Fussell-Vesely tärkeysmitta vikaantumistapahtumalle e_i on
$$FV(e_i) = FV(p, e_i) = \frac{Q(p) - Q(p|e_i^c)}{Q(p)}, Q(p) \neq 0,$$
jossa $p = (p_1, \dots, p_n)$ on tapahtumien todennäköisyydet ja Q termit ovat epäluotettavuuksia.
- Epävarmuus intervallitodennäköisyyksillä $p_i \in [\underline{p}_i, \bar{p}_i]$ [2], jotka kuvaavat vikaantumista.
- e_i dominoi e_j :tä joss
 1. $FV(p, e_i) \geq FV(p, e_j) \forall p$
 2. $FV(p, e_i) > FV(p, e_j)$ jollekin käyvälle p

3. Multilineaarinen optimointi

- Dominanssi voidaan ratkaista multilineaarisena optimointiongelmana [1]
- Multilineaarinen funktio on

$$g(\mathbf{x}) = g(x_1, \dots, x_n) = \sum_{J \subset \{1, \dots, n\}} \alpha_J \prod_{i \in J} x_i$$

- Kohdefunktio on multilineaarinen. Rajoitusehdot ovat muotoa

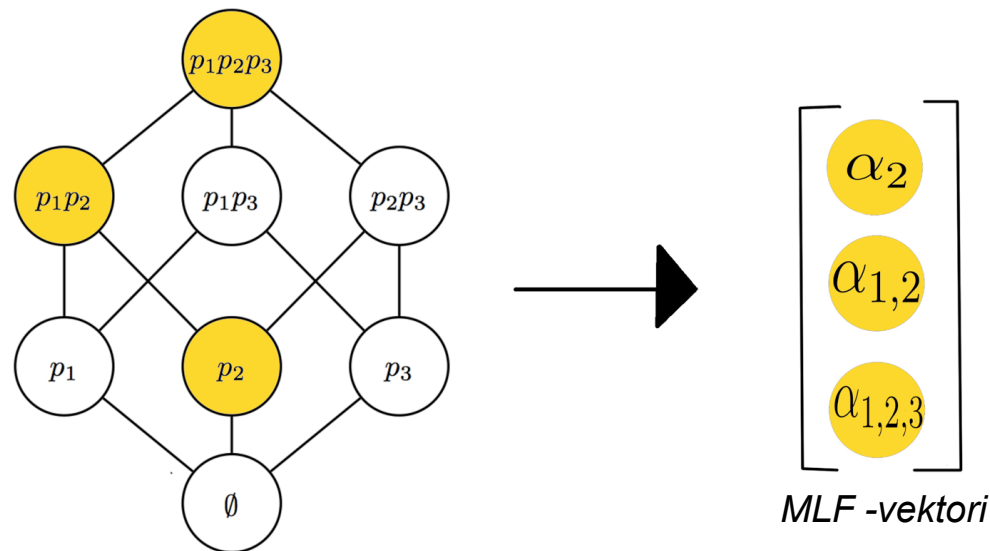
$$\underline{x}_i \leq x_i \leq \bar{x}_i$$

4. Algoritmin kuvaus

- Branch-and-bound algoritmi laskee multilineaarisen funktion epänegatiivisuuden. Haaroitusaskel on rivillä 6.
 - 1: **if** $a_{\emptyset} + f^+(\underline{p}) + f^-(\bar{p}) \geq 0$ **then**
 - 2: **return true**
 - 3: **else if** $a_{\emptyset} + f^+(\bar{p}) + f^-(\underline{p}) < 0$ **then**
 - 4: **return false**
 - 5: **else**
 - 6: Select any $i \in \{1, 2, \dots, n\}$.
 - 7: **return** $\text{Algorithm}(\underline{p}^{-i}, \bar{p}^{-i}, f^-) \wedge \text{Algorithm}(\underline{p}^{-i}, \bar{p}^{-i}, f^+)$
 - 8: **end if**

5. Harva tietorakenne

- Hyperkuutio tietorakenne harvalle multilineaarisille funktioille, joissa monomit säilytetään hyperkuution solmuissa, ja monomit voidaan indeksoida yksikäsitteisesti MLF -vektoriin (MLF eli multilineaarinen).



6. Haaroituksen priorisointimenetelmät

- Haaroituksen priorisointi voi vähentää rekursiokutsujen lukumäärää branch-and-bound algoritmossa, joka löytää multilineaarisen funktion epänegatiivisuuden.
- A –menetelmä
 - Faktoroi muuttuja, jossa suurin $A_i = f'_i(\hat{x}_i)l_i$ s.e.
$$f(x) = f'_i(x)x_i + h(x)$$
$$l_i = \bar{x}_i - \underline{x}_i$$
$$\hat{x}_i = \frac{\bar{x}_i + \underline{x}_i}{2}$$
- Most Monomial –menetelmä
 - Faktoroi muuttuja, joka esiintyy useimmissa monomeissa

7. Tulokset

Methods	7 case		RHR	
	Time [s]	Number of calls	Time [s]	Number of calls
A	≈ 3	896	$\approx 19\text{k}$	4566579
MostMonomials	≈ 1	246	≈ 76	9017
Random	≈ 5	$\approx 2.2\text{k}$	$\approx 12\text{k}$	$\approx 3.6\text{M}$

7 case ja RHR (Residual heat removal system) ovat tilanteita julkaisusta [2].

8. Yhteenveto

1. Hyperkuutiotorakenne multilineaarille funktioille, joka ratkaisee aiemmat hitausongelmat [3].
 2. Uusi haaroituspriorisointi menetelmä kehitetty perustuen monomien määrään, ja sen tulokset ovat lupaavia.
 3. Hyperkuutioalgoritmi epänegatiivisuusoperaatiolle.
 4. Käytännönsovellus tapahtumien priorisointiin multilineaaristen funktioiden ja pareittaisen dominanssin avulla.
 5. Testattu ydinvoimalan lämmönpoistojärjestelmälle (RHR [2]).
-

Viitteet

- [1] E. Borgonovo. The reliability importance of components and prime implicants in coherent and non-coherent systems including total-order interactions. *European Journal of Operational Research*, 205(3):485–495, 2010.
- [2] Antti Toppila and Ahti Salo. A computational framework for prioritization of events in fault tree analysis under interval-valued probabilities. *IEEE Transactions on Reliability*, 62(3):1053–1061, 2013.
- [3] Janne Laitonen, Henri Losoi, Markus Losoi, and Kimi Ylilammi. Tools for analyzing epistemic uncertainties in probabilistic risk analysis, 2013. URL <http://salserver.org.aalto.fi/opinnot/mat-2.4177/VTTfinal.pdf>.
-