

BETROUBAARHEIDS- EN INSTANDHOUBAARHEIDSTOEDELING

W A LOTTERING

en

S J CLAASEN Pr.Eng

Departement Bedryfs- en Sisteemingenieurswese
Universiteit van Pretoria

OPSOMMING

Ontwerpdoelwitte vir die betroubaarheid en instandhoubaarheid van substelsels moet so bepaal word dat die gebruikersvereiste ten opsigte van betroubaarheid en instandhoubaarheid van die stelsel behaal word as substelseldoelwitte behaal word.

Hierdie artikel verskaf toedelingsmodelle waarvolgens ontwerpdoelwitte ten opsigte van betroubaarheid en instandhoubaarheid van substelsels bepaal kan word.

ABSTRACT

Design goals for reliability and maintainability of subsystems should be determined in such a manner that the user requirement regarding reliability and maintainability will be achieved if subsystem goals are met.

This paper provides allocation models for the determination of subsystem reliability and maintainability goals.

1. INLEIDING

Die toekomstige gebruiker van 'n stelsel, wat ontwerp en ontwikkel moet word, wil gewoonlik 'n stelsel hê wat 'n lae inherente mislukkingsfrekwensie besit en wat vinnig herstel kan word. Hierdie vereistes van die gebruiker word in die geval van mislukking as 'n betroubaarheidsvereiste en in die geval van herstel as 'n instandhoubaarheidsvereiste gespesifiseer.

Die betroubaarheids- en instandhoubaarheidsvereistes is soos gewig en werkverrigting, ontwerpbeheerparameters wat deur die ontwerper in die stelsel ingebou moet word.

Vir elke substelsel wat ontwerp moet word, moet daar met ander woorde betroubaarheids- en instandhoubaarheidsdoelwitte bestaan. Betroubaarheids- en instandhoubaarheidsdoelwitte vir substelsels word afgelei van die oorhoofse stelselvereistes deur van toedelingsmodelle gebruik te maak.

Toedeling word so gedoen dat voldoening aan substelselvereistes verseker dat die stelselvereistes van die gebruiker behaal word.

2. DEFINISIES

2.1 Betroubaarheid

Die betroubaarheid ($R(t)$) van 'n stelsel kan gedefinieer word as die waarskynlikheid dat die stelsel van tyd 0 tot tyd t sonder mislukking sal funksioneer.

Uit 'n missiebetroubaarheidsvereiste vir 'n stelsel kan 'n gemiddelde-tyd-tussen-mislukking-vereiste (GTTM-vereiste) afgelei word [1].

2.2 Instandhoubaarheid

Die instandhoubaarheid van 'n stelsel kan gedefinieer word as 'n waarskynlikheid om korrektiewe of voorkomende instandhouding van 'n stelsel binne 'n bepaalde tyd af te handel.

Instandhoubaarheid word gewoonlik in terme van 'n gemiddelde-tyd-tot-herstel (GTTH) en 'n P_{90} -tyd, dit is 'n maksimum waarde van tyd tot herstel wat slegs 10 % van die tyd oortref sal word, gespesifiseer.

3. AANNAMES

Vir die toedelingsproses word aangeneem dat hersteltye lognormaal en tye tussen mislukking eksponensiaal verdeel is.

4. TOEDELINGSMODELLE

4.1 Model vir toedeling van instandhoubaarheidsvereistes

Uit die gespesifiseerde GTTH en P_{90} -tyd kan die stelselherstel-tydvariëansie, toegedeelde substelsel-GTTH's en substelselherstel-tydvariëansies bereken word.

Die prosedure verloop soos volg [2] :

A) Bepaling van stelselhersteltydvariëansie

Die lognormaalwaarskynlikheidsdigtheidsfunksie word gegee deur :

$$f(t) = \frac{1}{t \beta \sqrt{2\pi}} \exp \frac{-(\ln t - \alpha)^2}{2\beta^2}$$

$$\text{GTH: } \mu = \exp \left(\alpha + \frac{\beta^2}{2} \right) \dots\dots\dots (1)$$

$$90\text{ste hersteltydpersentiel: } P_{90} = \exp (\alpha + 1,282\beta) \dots (2)$$

$$\text{Stelselhersteltydvariansie: } \sigma^2 = \exp(2\alpha + \beta^2) \{ \exp(\beta^2) - 1 \}$$

Die GTH en P_{90} -tyd is gespesifiseer en vergelykings (1) en (2) word gebruik om α en β te bepaal, waarna die stelselhersteltydvariansie bereken word.

B) GTH-toedeling aan substelsels

Die prosedure verloop soos volg :

(i) Bepaal die relatiewe kompleksiteit (C_i) van elke substelsel ten opsigte van die substelsel met die laagste kompleksiteit.

(ii) Bereken vir elke substelsel

$$P_i = \frac{\text{substelselfalingstempo}}{\text{stelselfalingstempo}}$$

(iii) Bereken $L = \frac{M}{\sum P_i C_i}$ waar M die stelsel GTH is.

(iv) Bereken die toegedeelde GTH vir substelsel i deur van die verband $M_i = L C_i$ gebruik te maak.

C) Toedeling van stelselhersteltydvariansie (σ^2) aan substelsels.

Volgens Davis [2] is die toegedeelde hersteltydvariansie

van substelsel i : $V_i = k^2 M_i^2$

$$\text{waar } k^2 = \frac{\sigma^2 - \sum p_i (M_i - M)^2}{\sum p_i M_i^2}$$

4.2 Toedeling van betroubaarheidsvereistes

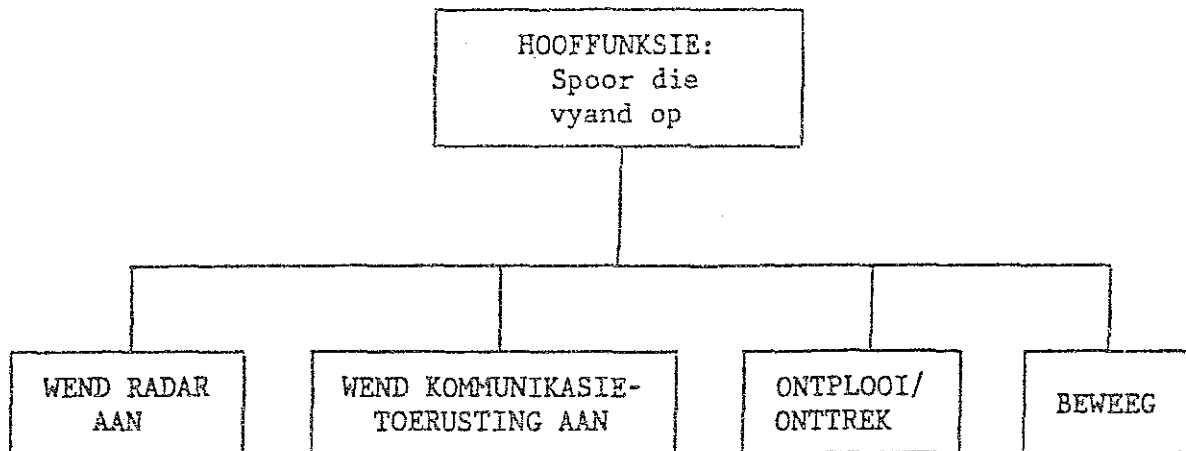
Vir die toedeling van betroubaarheidsvereistes kan een van die talle bekende toedelingsalgoritmes gebruik word. Kapur [1] beskryf die toepaslikheid en gebruik van verskeie van hierdie algoritmes. In die voorbeeld wat hierna volg word die AGREE-algoritme gebruik om betroubaarheidstoedeling te doen.

5. VOORBEELD

Die toedelingsproses word illustreer deur die toedeling vir 'n mobiele radarstelsel te doen. Die toedelingsproses verloop soos volg :

- (i) Verkry die GITH- en GTIM-vereistes vanaf die toekomstige gebruiker van die stelsel.
- (ii) Identifiseer die funksies wat die stelsel tydens 'n missie uitvoer (sien figuur 1).

Figuur 1 : Stelselfunksies



- (iii) Bepaal die missieprofiel van die stelsel.

Tydens 'n tipiese missie van die mobiele radarstelsel word 1000 km ver gery, die radar en kommunikasietoerusting vir 200 uur aangewend en 50 ontplooi-/onttrek-siklusse uitgevoer. 'n Missie duur 720 uur.

- (iv) Vertolk die stelsel GTTM-vereiste as 'n missiebetroubaarsheidsvereiste.

Veronderstel dat 'n GTTM-vereiste van 1000 uur en 'n GTTH-vereiste van 4 uur deur die gebruiker verlang word.

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

$$R(720 \text{ uur}) = e^{-\frac{720}{1000}} = 0,487$$

- (v) Deel die missiebetroubaarsheidsvereiste van 0,487 toe aan die funksies van die stelsel deur die faktore in tabel 1 in ag te neem en van die Agree-algoritme gebruik te maak.

Tabel 1 : Kompleksiteit van funksies

Funksie	Kompleksiteit (1-10) (N_i)	Waarskynlikheid dat die missie faal as die funksie faal (W_i)
(i) Wend radar aan	10	1
(ii) Wend kommunikasietoerusting aan	2	1
(iii) Ontplooi/onttrek	8	1
(iv) Beweeg	5	1

$$R_{\text{wend radar aan (missie)}} = (0,487)^{10/25} = 0,750$$

$$R_{\text{wend kommunikasietoerusting aan (missie)}} = (0,487)^{2/25} = 0,944$$

$$R_{\text{ontplooi/onttrek (missie)}} = (0,487)^{8/25} = 0,794$$

$$R_{\text{beweeg (missie)}} = (0,487)^{5/25} = 0,866$$

Tabel 2 : Missiebetroubaarheidsvereistes vir funksies

Funksie	Missiebetroubaarheidsvereiste
(i) Wend radar aan	0,750
(ii) Wend kommunikasietoerusting aan	0,944
(iii) Ontplooi/onttrek	0,794
(iv) Beweeg	0,866

- (vi) Deel die funksies van die mobiele radarstelsel toe aan die hardeware van die stelsel en doen betroubaarheids-toedeling aan die hardeware.

Die ontplooi-/onttrekfunksie word deur vier substelsels naamlik die hidroliese substelsel, af-/uitbeensubstelsel, hysmeganisme en beheersubstelsel uitgevoer. Deel die ontplooi-/onttrekfunksiebetroubaarheidsvereiste van 0,794 met behulp van die AGREE-algoritme aan die 4 hardeware substelsels toe (sien tabel 3). Die ander drie funksiebetroubaarheidsvereistes word op soortgelyke wyse toegedeel.

Tabel 3 : Missiebetroubaarheidsvereistes vir hardeware van die ontplooi-/onttrekfunksie

Hardeware	Kompleksiteit (1-10)	Waarskynlikheid dat die funksie faal as die hardeware faal	Missiebetroubaarheidsvereiste
Hidroliese-substelsel	5	1	0,962
Af-/uitbeensubstelsel	10	1	0,926
Hysmeganisme	5	1	0,962
Beheersubstelsel	10	1	0,926

- (vii) Betroubaarheidstoedeling kan nou tot op onderdeelvlak gedoen word.
- (viii) Bepaal die P_{90} -tyd tot herstel deur uit 'n praktiese oogpunt na die stelsel te kyk. Veronderstel dat die radarstelsel 'n P_{90} -tyd van 3 uur en 'n GTTH van 4 uur moet hê.
- (ix) Bepaal die falingstempo's van die funksies in terme van missies (tabel 4).

Vir funksie (i) in tabel 4 is die berekeninge soos volg :

$$e^{-\lambda(1 \text{ missie})} = 0,750 \text{ (uit tabel 2)}$$

$$\lambda = 0,288/\text{missie}$$

Tabel 4 : Falingstempo's van funksies

Funksie	Falingstempo/missie
(i) Wend radar aan	0,288
(ii) Wend kommunikasie-toerusting aan	0,058
(iii) Ontplooi/onttrek	0,231
(iv) Beweeg	0,144
	Totaal = 0,721/missie

(x) Deel die stelsel-GTTH-vereiste van 4 uur toe aan die stelselfunksies (sien tabel 5 en tabel 6) deur van die metode in paragraaf 4.1 (B) en van die inligting in tabel 4 gebruik te maak.

Tabel 5 : Relatiewe kompleksiteit van funksies

Funksie	$P_i = \frac{\text{falingstempo van funksie}}{\text{falingstempo van stelsel}}$	$C_i = \text{Relatiewe kompleksiteit}$
(i) Wend radar aan	0,399	5
(ii) Wend kommunikasie-toerusting aan	0,080	1
(iii) Ontplooi/onttrek	0,320	4
(iv) Beweeg	0,200	2,5

Die falingstempo van die stelsel = 0,721/missie (sien tabel 4)

Die relatiewe kompleksiteit word bepaal deur aan die funksie met die laagste kompleksiteit (sien tabel 1) 'n relatiewe kompleksiteit van 1 toe te ken en die kompleksiteit van die ander funksies dienooreenkomstig aan te pas.

$$L = \frac{M}{\sum p_i C_i} = \frac{4}{3,855} = 1,038$$

Die toegedeelde GTTH vir die "wend radar aan"-funksie = $L C_1 = 5 \times 1,038 = 5,190$ uur.

Tabel 6 : GTTH van funksies

Funksie	Toegedeelde GTTH ($M_i = L C_i$)
(i) Wend radar aan	5,190 uur
(ii) Wend kommunikasie-toerusting aan	1,038 uur
(iii) Ontplooi/cnttrek	4,152 uur
(iv) Beweeg	2,595 uur

- (xi) Funksies word nou soos by die GTTM-toedeling aan die hardeware toegedeel waarna die funksie-GTTH-vereistes aan die hardeware toegedeel word.
- (xii) Die stelselhersteltydvariانسie vir tyd tot herstel kan bepaal word deur α en β in die volgende twee vergelykings op te los :

$$P_{90} = \exp(\alpha + 1,282 \beta)$$

$$GTTH = \exp\left(\alpha + \frac{\beta^2}{2}\right)$$

$$\exp(\alpha + 1,282 \beta) = 8 \dots\dots\dots (3)$$

$$\exp(\alpha + \frac{\beta^2}{2}) = 4 \dots\dots\dots (4)$$

Na gelyktydige oplossing van vergelykings (3) en (4) volg dat $\alpha = 1,085$ en $\beta = 0,775$

$$\text{Stelselhersteltydvariensie } (\sigma^2) = \{e^{(2\alpha + \beta^2)}\} \{e^{\beta^2} - 1\}$$

$$\sigma^2 = 13,146 \text{ uur}$$

(xiii) Die stelselhersteltydvariensie word vervolgens aan die funksies toegedeel (tabel 7).

$$\text{Bereken } k^2 = \frac{\sigma^2 - \sum p_i (M_i - M)^2}{\sum p_i M_i^2}$$

$$= \frac{13,146 - 1,669}{17,697}$$

$$= 0,6485$$

Tabel 7 : Funksiehersteltydvariensies

Funksie	Funksiehersteltydvariensie = $k^2 M_i^2$
(i) Wend radar aan	17,468 uur ²
(ii) Wend kommunikasie-toerusting aan	0,699 uur ²
(iii) Ontplooi/onttrek	11,180 uur ²
(iv) Beweeg	4,367 uur ²

(xiv) Funksiehersteltydvariensies en GTTH-tye kan nou met behulp van dieselfde algoritme aan die hardeware toegedeel word. Die toedeling vir die ontplooi-/onttrekfunksie word in tabel 8 getoon.

Tabel 8 : GTTH- en hersteltydvariansievereistes vir
hardeware van die ontplooi-/onttrekfunksie

Hardware	GTTH-vereiste (uur)	Hersteltydvariansie- vereiste (uur ²)
Hidroliese-substelsel	2,495	3,272
Af-/uitbeensubstelsel	4,990	13,089
Hysmeganisme	2,495	3,272
Beheersubstelsel	4,990	13,089

6. SAMEVATTING

Die nut van betroubaarheids- en instandhoubaarheidstoedeling kan soos volg saamgevat word :

- Die gebruikersbehoefte ten opsigte van betroubaarheid en instandhoubaarheid word omgeskakel in ontwerpdoelwitte waarteen ontwerpprestasie gemeet kan word.
- Toegedeelde ontwerpdoelwitte kan tydens toetsing gebruik word om werklike prestasie met toegedeelde vereistes te vergelyk.
- Wanneer aan die toegedeelde ontwerpdoelwitte voldoen word sal 'n stelsel aan die gebruiker gelewer word wat sy gespesifiseerde vereistes bevredig.

VERWYSINGS

1. KAPUR K C, "Reliability in engineering design", New York : J Wiley & Sons, 1977.
2. DAVIS D J, "Allocating time to repair distributions", Proceedings - 1973 Annual Symposium on Reliability.