



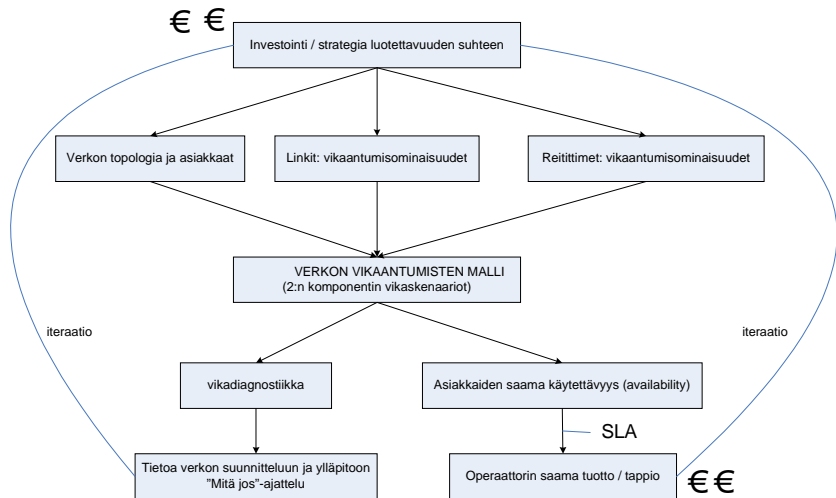
IP-verkon luotettavuuden mallintaminen ja strategiat luotettavuuden parantamiseksi

Pirkko Kuusela ja Ilkka Norros
VTT, Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus
etunimi.sukunimi@vtt.fi

Sisällys

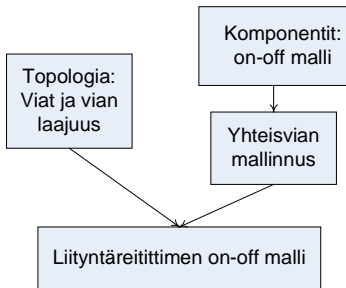
1. Yleiskuva
2. Verkon vikaantumismalli
3. Luotettavuuden strategioista
4. Liityntäreitittimien vertailu

Yleiskuva luotettavuudesta



Missä mennään?

1. Yleiskuva
2. *Verkon vikaantumismalli*

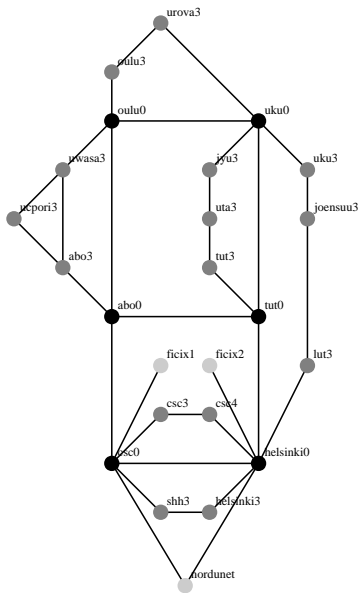


3. Luotettavuuden strategioista
4. Liityntäreitittimien vertailu

- Käytetään tässä esimerkkinä verkosta
- Julkista dataa
 - topologia
 - tiedetään reitityssääntö
 - ping-dataa
 - linkkien weather map
- Saadut tulokset eivät kerro Funetista vaan osoittavat, miten verkon luotettavuutta voidaan käsitellä
- Linkkien mallintaminen sekä luotettavuuteen vaikuttavien parametrien vaihtelu tehty hyvin karkeasti ja tavoitteena on saada helposti havainnollistettavia selkeitä eroavaisuuksia

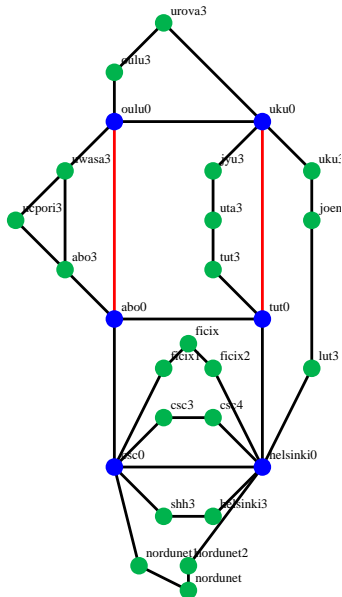
Topologia ja vikojen laajuus

- komponentti = reititin tai linkki
- reitinvika → kytketyt linkit myös pois
- topologia (fyysinen = looginen)
- reitityssäännöt
- valittu rakennefunktio:
Funet OK jos
 1. yhtenäinen
 2. linkki Ficixiin
 3. linkki NorduNettiin



Topologia ja vikojen laajuus, esimerkki

- Tarkastellaan kahden komponentin vikaantumista samanaikaisesti = yhteisvika
- Kerätään tieto jokaisesta yhteisviasta, jota uudelleenreititys ei korjaa
- Nämä viat edellyttävät vähintään yhden komponentin korjaamista, ennen kuin verkko toimii normaalisti
- Kirjataan ne liityntäreitittimet, joita vika koskee



Reitittimen on-off malli

- Funetin ping-dataa runkoreitittimistä
 - ajalta 1.8.2000 – 31.7.2007
 - 6 runkoreititintä
 - 5 pingiä n. 1 min välein
 - Jos ei vastusta yhteenkään → alhaalla
 - 310 katkoa, 55 suunniteltua → 255 katkoa analyysissä
- Havainnot:
 - Käytetty kvalitatiivisia menetelmiä datan havainnollistamiseen
 - Tutkittu erikseen häntäjakaumaa ja jakauman “massaa”
 - Up ja down aikojen kestot kvalitatiivisesti erilaisia
 - Down ajan kesto paksuhäntäinen. Pareto-jakauma sopii hyvin sekä häntään että “massaan”
 - Up ajan kesto ei niin paksuhäntäinen. Reitittimet keskenään erilaisia.

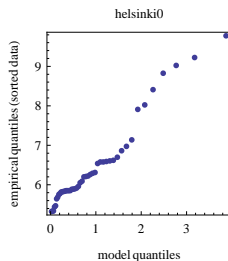
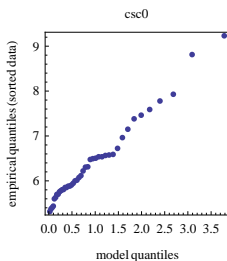
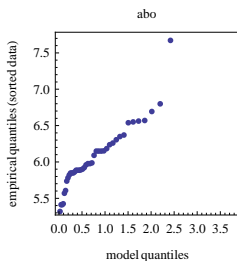
Down ajan kesto

Pitkät katkot:

Mean excess plot \Rightarrow vian kesto Pareto eli paksuhäntäinen.

Kaikki katkot:

Hypoteesi: down ajan kesto (off-aika) Pareto-jakautunut



Täydellinen yhteensopivuus = pisteet diagonaalilla

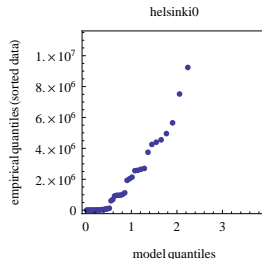
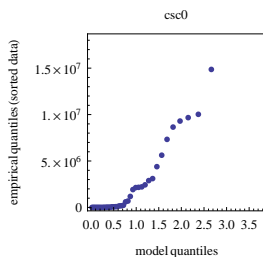
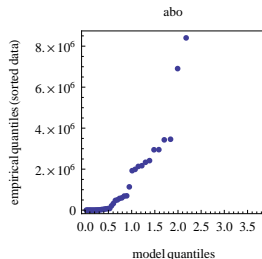
Up ajan kesto

Pitkät up ajat:

Runkoreitittimet vaihtelevat: häntä paksu tai ei

Kaikki up ajat:

Hypoteesi: Exponentiaali jakauma



Reitittimien ja linkkien on-off mallit

Reititin:

- On-off malli ping datan perusteella
- On $\sim \exp(\lambda)$
- Off $\sim \text{Pareto}(\text{min}, \text{muoto})$
- Estimoi datasta λ ja muoto, aseta min=60 sek.

Linkki:

- Ei dataa
- Käytetään samanlaista on-off mallia
- Skaalataan reittimen malli, idea:
 - lyhyt linkki yhtä hyvä kuin reititin
 - lyhyt linkki = runko – liityntä tai HKI-Espoo
 - pitkä linkki huonompi
 1. vikaintensiteetti λ kertaluokkaa korkeampi, (10 \times)
 2. vian minimikesto kertaluokkaa pidempi, (10 \times)

Liityntäreitittimen on-off mallin rakentaminen

1. Oleta: verkossa max 2 vikaa kerrallaan, viat riippumattomia
2. Analyysissä mukana vain yhteisviat (ei huomioitu liityntäreitittimen vikaantumista yksinään)
3. On-off mallit komponenteille
4. 2:n komponentin yhteisvika: on-off malli
 - Laske P (yhteisvian kesto $> t$)
 - Arvioi E (on-ajan kesto)
 - Mallinna on-aika $\sim \exp$
5. Liityntäreitittimen on-off malli
 - Huomioi liityntäreitittimeen vaikuttavat yhteisviat
 - Rakenna yhteisvikojen on-off malleista liityntäreitittimen on-off malli

Yhteisvian keston laskeminen, idea

Komponentti $i, i = 1, 2$:

- on-aika $\sim \exp(\lambda_i)$, λ_i vikojen alkamisintensiteetti
- off-aika $\sim D_i$, D_i Pareto-jakautunut (*mikä tahansa jakauma OK*)
- V_i meneillään olevan vian keston jakauma (integroitu Pareto)
- p_i = stat. tod.näk, että komponentti i on vikatilassa

Saadaan

$$P(\text{"yhteisvian kesto"} > y) =$$

$$P(\text{"komp 1 vika ensin"} \mid \text{"yhteisvika"}) P(V_1 > y) P(D_2 > y) + \\ P(\text{"komp 2 vika ensin"} \mid \text{"yhteisvika"}) P(V_2 > y) P(D_1 > y),$$

missä

$$P(\text{"komp } i \text{ vika ensin, sitten } j \mid \text{"yhteisvika"}) = \frac{p_i \lambda_j}{p_i \lambda_j + p_j \lambda_i}$$

Yhteisvian on-off malli

Meneillään olevan vian kesto:

$$P(V_i > y) = \frac{1}{E(D_i)} \int_y^\infty (1 - F_i(x)) dx,$$

missä $F_i = D_i$:n kertymäfunktio

Edellinen kalvo + yllä \Rightarrow Saatu 6 parametrin malli yhteisvian kestolle (yhteisvian off-aika)

Yhteisvialle:

$$P(\text{yhteisvika}) = p_1 p_2 = \frac{E(\text{off})}{E(\text{on}) + E(\text{off})},$$

josta mallinnetaan on-aika $\sim \exp(1/E(\text{on}))$

Liityntäreitittimen on-off malli

- Liityntäreitittimeen vaikuttaa k yhteisvikaa
- Yhteisvialla i on- ja off-aikojen kestot on_i ja off_i
- $on_i \sim \exp(\lambda_i)$

Saadaan liityntäreitittimelle on-off malli, jossa kestot on_{acc} ja off_{acc}

$$on_{acc} = \min(on_1, \dots, on_k) \sim \exp\left(\sum_{i=1}^k \lambda_i\right)$$

$$P(off_{acc} > t) = \frac{1}{\sum_{i=1}^k \lambda_i} \sum_{j=1}^k \lambda_j P(off_j > t)$$

Missä mennään?

1. Yleiskuva
2. Verkon vikaantumismalli
3. *Luotettavuuden strategioista*
 - Perusstrategiat ja malli
 - Strategioiden vertailua
4. Liityntäreitittimien vertailu

Luotettavuuden strategioita

- Proaktiivisuus
 - Yritä estää viat ennakoita
 - Esim1: Vaihda verkkokomponentti, jonka tiedetään vikaantuvan helposti (luotettavuusongelma) ennen kuin vika tapahtuu
 - Esim2: Tee tarkistuksia konfigurointiparametreille ennen niiden ottamista käyttöön
 - On-ajat pitenevät mallissa (vikaintensiteetti pienenee)
- Reaktiivisuus
 - Kun vika tapahtuu, korjaa se nopeammin
 - Esim1: Muuta SLA sopimusta niin, että se pakottaa korjaamaan viat nopeammin
 - Esim2: Pidä varakomponentteja nopeasti saatavilla
 - Off-ajat lyhenevät mallissa (vian kesto lyhenee)
 - Muuta muotoparametria, vaikuttaa erit. pitkiin vikakestoihin
 - Muuta katkon minimikesto
- Muuta verkon topologiaa
 - Yritä vähentää vikatapahtumien lukumäärää
 - Yritä pienentää viasta kärsivien liityntäreitittimien lukumäärää

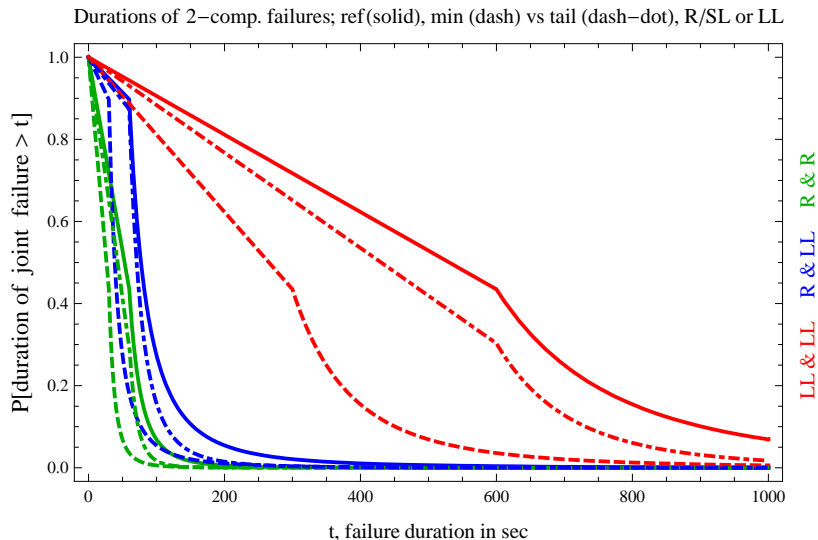
Muutokset komponenttien on-off malleihin

R = reititin, SL= lyhyt linkki, LL = pitkä linkki,
 $\lambda_R = 3.18443 \times 10^{-7}$ (on-ajan keskiarvo 872 tuntia)

	perus:			min-kesto:	muoto:	on-aika:
komp	λ	min	muoto	min	muoto	λ
R,SL	λ_R	60	2.3	60 → 30	2.3 → 3.3	$\lambda_R \rightarrow \lambda_R/10$
LL	$10 \times \lambda_R$	600	2.3	600 → 300	2.3 → 3.3	$\lambda_R \rightarrow \lambda_R/10$

Taulukossa muoto, min-kesto ja on-aika sarakkeissa vain muuttuva arvo merkitty, muut arvot perussarakkeen mukaisesti

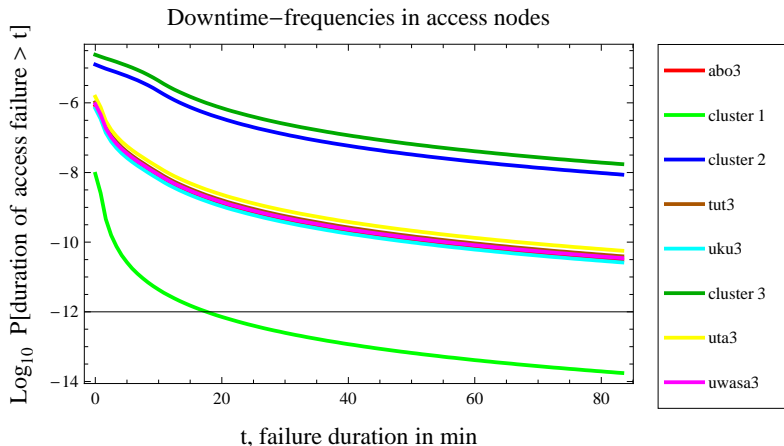
Yhteisvian kesto ja strategiat



R = reititin, SL= lyhyt linkki, LL = pitkä linkki

On-aikojen muutos ei (käytännössä) vaikuta vikojen kestoan.

Down-time frequency curves, liityntäreititin (yhteisviat)



cluster 1:

csc3, csc4,
ssh3, helsinki3

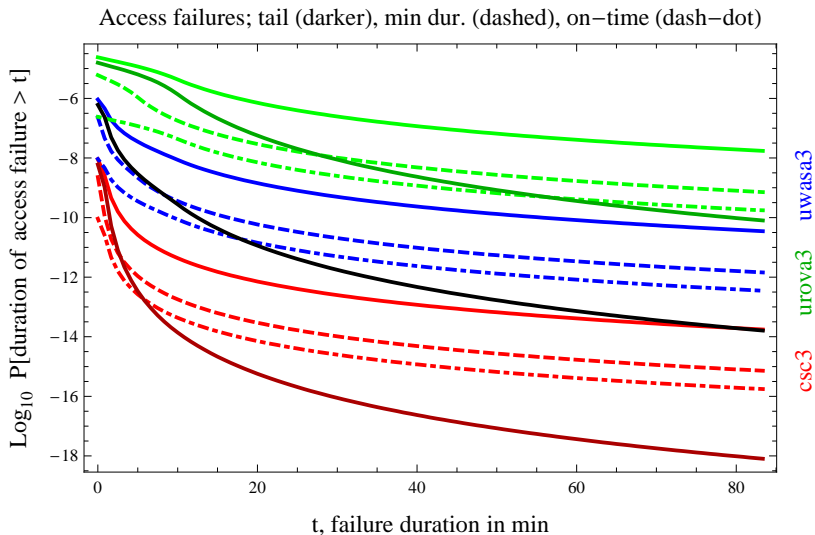
cluster 2:

ucpori3, lut3,
oulu3

cluster 3:

urova3, jyu3
joensuu3

Liityntäreititin: luotettavuuden strategiat



Perusparametrit kirkkaalla yhtenäisellä viivalla
muutos: katko, piste-katko tai tumma viiva.

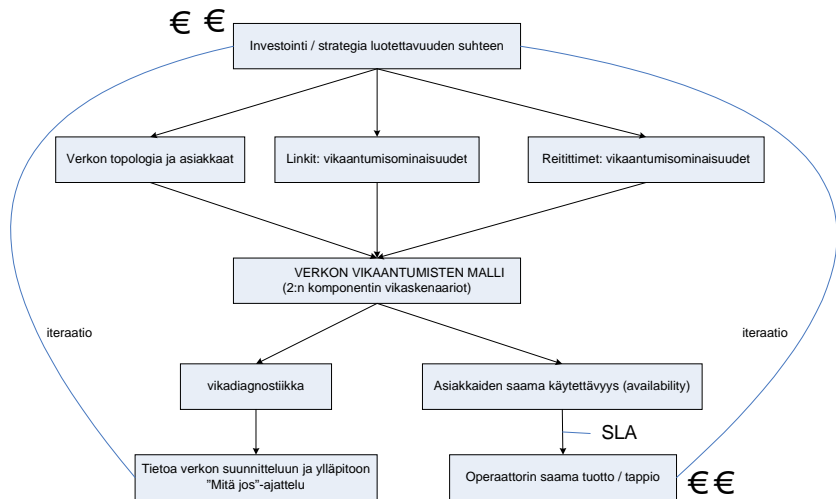
Havainnot kuvista

Näiden parametrimuutosten valossa kannattavinta olisi:

1. Välttää vikojen syntymistä eli proaktiivinen strategia, vaikutetaan on-aikaan
2. Lyhentää vian minimikestoja eli reaktiivinen strategia
3. Pitkiin katkoihin vaikuttavat tehokkaasti vain off-ajan jakauman hännän muutokset

Todellinen prosessi on iteraatio ja erilaisten vaihtoehtojen arviointi. Tässä demonstroitiin vain erittäin karkeista parametrimuutoksista saadut seuraukset.

Yleiskuva luotettavuudesta

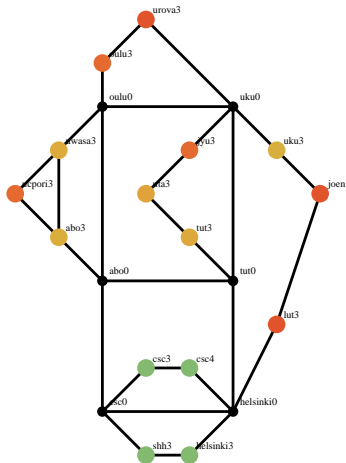


Missä mennään?

1. Yleiskuva
2. Verkon vikaantumismalli
3. Luotettavuuden strategioista
4. *Liityntäreitittimien vertailu*
 - Luotettavuus
 - Menetetty liikenne

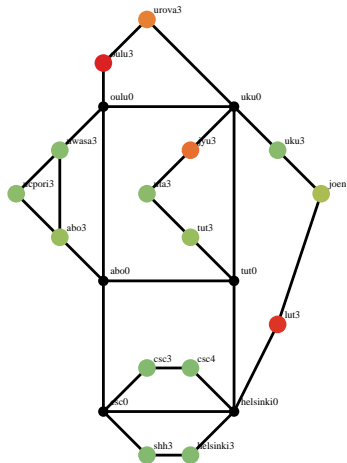
Liityntäreitittimien vertailu: vikatodennäköisyys

- yhteisvioista aiheutuvan vikatilanteen todennäköisyys
- saadaan liityntäreitittimen katkokäyristä, kun $t = 0$
- luotettavuuden värikoodaus:
vihreä = paras
keltainen = keskitaso
punainen = huonoin



Liityntäreitittimien vertailu: menetetty liikenne

- odotusarvo menetetystä liikenteestä vuoden aikana
- liikenne arvioitu linkkikuormista tehdystä liikennematriisista
- $\text{menetyk} = P(\text{vika}) \times T \times L$
 $T = \text{vuosi}$
 $L = \text{liikennemäärä}$
- menetyksen värikoodaus:
vihreä = pienin
keltainen = keskitaso
punainen = suurin



Mitä tehtiin?

- Rakennettiin työkalu luotettavuuden kuvaamiseen
- Voidaan käsitellä mikä tahansa katkoajan kestoa kuvaava jakauma, tässä käytettiin Pareto-jakaumaa (eli paksuhäntäinen jakauma)
- Verkkokomponentteja käsiteltiin karkealla tasolla (2 luokkaa)
- Kuvattiin luotettavuuden erilaisia strategioita ja miten ne kytkeytyvät malliin
- Havainnollistettiin erilaisten strategioiden vaikutusta luotettavuuteen jokseenkin rajuilla muutoksilla
- Näytettiin liityntäreittimien keskenäinen epähomogeenisuus ja arvioitiin vikatapauksiin liittyvää menetettyä liikennettä
- Kaikki tehtiin analyttisesti, ei tarvetta simuloida harvinaisia tapahtumia.