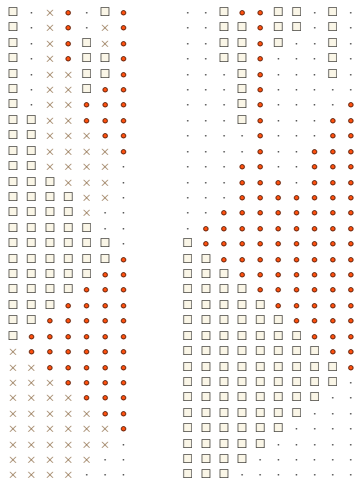


Itsestabilointi: perusmääritelmiä ja klassisia tuloksia

Jukka Suomela

Hajautettujen
algoritmien
seminaari
12.10.2007



Hajautetut järjestelmät

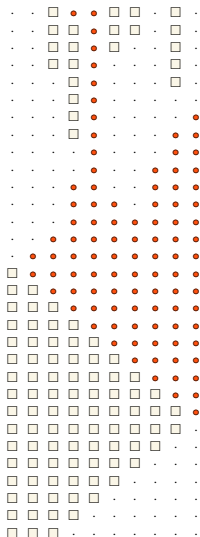
Ei enää voida lähteä oletuksesta,
että kaikki toimii ja mikään ei muutu:

- ▶ suuri määrä laitteita
- ▶ tietoliikenneyhteydet

Ei varsinkaan, jos kannettavia laitteita:

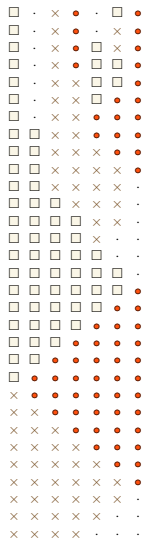
- ▶ akku- tai paristokäyttöisiä laitteita
- ▶ radioyhteys ja ympäristön muutokset,
laitteiden liike

Lähtökohta: Vikatilanteita ja
kokoonpanon muutoksia on odotettavissa



Varautuminen vikoihin ja muutoksiin

1. Kartoitetaan mahdolliset tilanteet, suunnitellaan niistä toipuminen
2. **Itsestabiloivuus:**
 - ▶ vaaditaan toipuminen mielivaltaisesta alkutilasta
 - ▶ varaudutaan kaikkiin alkutiloihin, ei pelkästään niihin, joihin viat voivat johtaa
 - ▶ liiankin karkea lähestymistapa?
 - ▶ itsestabiloivia algoritmeja on olemassa — tässä esimerkkinä mm. *keskinäinen poissulkeminen*

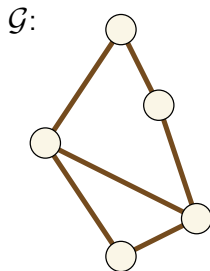


Hajautetun laskennan malli

Verkko \mathcal{G} :

- ▶ solmu \sim laite
- ▶ kaari \sim tietoliikenneyhteys
- ▶ suuntaamaton
- ▶ yhtenäinen

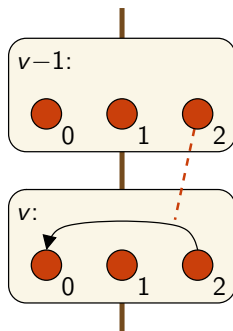
Usein tarkastellaan erikoistapauksia, esim. renkaita



Hajautetun laskennan malli

Jokainen laite on **tilakone**:

- ▶ siirtymäehtoja (- - - -)
ja tilasiirtymiä (\rightarrow)
- ▶ syötteenä solmun oma tila
ja naapurisolmujen tila



Esimerkki siirtymäehdoista ja tilasiirtymistä, $s(v) \in \{0, 1, 2\}$:

$$(s(v) + 1) \bmod 3 = s(v-1) : s(v) \leftarrow (s(v) - 1) \bmod 3,$$
$$s(v) = s(v-1) : s(v) \leftarrow (s(v) + 1) \bmod 3$$

Hajautetun laskennan malli

Keskusajastin:

- ▶ valitsee jonkin laitteen ja jonkin siirtymäehdon, joka on tosi
- ▶ laite suorittaa tilasiirtymän

Oletetaan siis, ettei rinnakkaisuutta!

Deterministinen, jos vain yksi ehto tosi

Suoritus:

- ▶ jokin mahdollinen jono koko järjestelmän tiloja

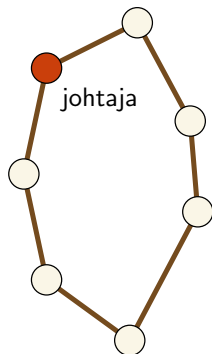
0	2	·	1	○	4	○	0	○	3	●	2	○	0	○	
1	2	·	1	○	4	○	0	●	0	·	2	○	0	○	
2	2	·	1	●	4	○	4	·	0	○	2	○	0	○	
3	2	·	2	·	4	○	4	·	0	○	2	○	0	●	
4	2	●	2	·	4	○	4	·	0	○	2	○	2	·	
5	3	·	2	○	4	○	4	·	0	○	2	●	2	·	
6	3	·	2	○	4	●	4	·	0	○	0	·	2	○	
7	3	·	2	●	2	·	4	○	0	○	0	·	2	○	
8	3	·	3	·	2	○	4	●	0	○	0	·	2	○	
9	3	·	3	·	2	●	2	·	0	○	0	·	2	○	
10	3	·	3	·	3	·	2	○	0	○	0	·	2	●	
11	3	·	3	·	3	·	2	○	0	●	0	·	0	·	
12	3	·	3	·	3	·	2	●	2	·	0	○	0	·	
13	3	·	3	·	3	·	3	·	2	●	0	○	0	·	
14	*	3	·	3	·	3	·	3	·	3	·	0	●	0	·
15	*	3	·	3	·	3	·	3	·	3	·	3	·	0	●
16	*	3	●	3	·	3	·	3	·	3	·	3	·	3	·
17	*	4	·	3	●	3	·	3	·	3	·	3	·	3	·
18	*	4	·	4	·	3	●	3	·	3	·	3	·	3	·
19	*	4	·	4	·	4	·	3	●	3	·	3	·	3	·
20	*	4	·	4	·	4	·	4	·	3	●	3	·	3	·
21	*	4	·	4	·	4	·	4	·	4	·	3	●	3	·
22	*	4	·	4	·	4	·	4	·	4	·	4	·	3	●
23	*	4	●	4	·	4	·	4	·	4	·	4	·	4	·
24	*	5	·	4	●	4	·	4	·	4	·	4	·	4	·
25	*	5	·	5	·	4	●	4	·	4	·	4	·	4	·
26	*	5	·	5	·	5	·	4	●	4	·	4	·	4	·
27	*	5	·	5	·	5	·	5	·	4	●	4	·	4	·
28	*	5	·	5	·	5	·	5	·	5	·	4	●	4	·
29	*	5	·	5	·	5	·	5	·	5	·	5	·	4	●
30	*	5	○	5	·	5	·	5	·	5	·	5	·	5	·

Itsestabiloivuus

Kiinnitetään:

1. verkkojen perhe
 - ▶ esim. tarkastellaan renkaita
2. solmukohtaiset lisätiedot
 - ▶ valmiiksi valittu johtajasolmu?
 - ▶ yksilöllinen tunniste joka solmulla?
3. toteutus eli tilakoneet
4. tehtävä
 - ▶ esim. keskinäinen poissulkeminen

\mathcal{G} :

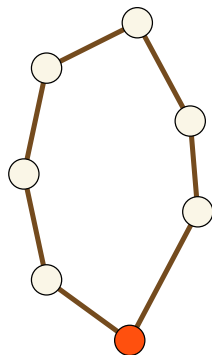


Itsestabiloivuus

Esimerkki tehtävästä:

keskinäinen poissulkeminen

- ▶ tulkitsemme tietyn siirtymäehdon vuoromeriksi
- ▶ kullakin ajanhetkellä täsmälleen yhdellä laitteella on vuoromerkki
- ▶ äärettömässä suorituksessa kukin laite saa vuoromerkin äärettömän monesti



vuoromerkki

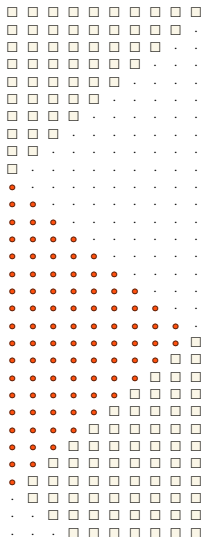
Itsestabiloivuus

Turvallinen tila:

- ▶ kyseisestä tilasta alkava suoritus on kelvollinen

Turvallinen tila olisi **hyvä alkutila**, jos voisimme valita, missä alkutilassa järjestelmä laitetaan käyntiin

- ▶ esim. kuvan järjestelmässä eräs turvallinen tila on $\square, \square, \dots, \square$
- ▶ mikä tahansa tästä alkava suoritus on aina kelvollinen



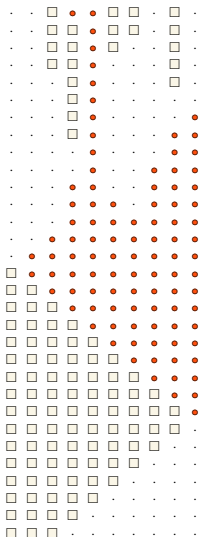
Itsestabiloiva järjestelmä:

Mikä tahansa äärettömän pituinen suoritus saavuttaa jossain vaiheessa jonkin turvallisen tilan

Siitä eteenpäin suoritus onkin kelvollinen

Pahimman tapauksen tarkastelua yli kaikkien mahdollisten:

- ▶ alkutilojen
- ▶ keskusajastimen tekemien valintojen



Keskinäinen poissulkeminen

Rengas, jossa yksi erityinen solmu

(Dijkstra 1974)

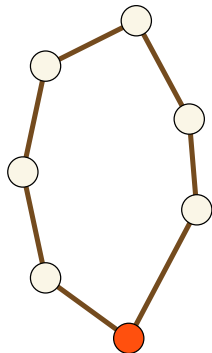
Johtajasolmu:

$$s(v) = s(v-1): s(v) \leftarrow (s(v) + 1) \bmod n$$

Muut solmut:

$$s(v) \neq s(v-1): s(v) \leftarrow s(v-1)$$

- ▶ Vähintään n tilaa per solmu
- ▶ Vaaditaan siis etukäteistietoa n :stä
- ▶ Parempaankin päästään:
4 tai 3 tilaa per solmu



vuoromerkki

0	2· 1○ 4○ 0○ 3● 2○ 0○	□ · × ● · □ ●	· · □ ● ● □ □ · □ ·
1	2· 1○ 4○ 0● 0· 2○ 0○	□ · × ● · × ●	· · □ □ ● □ □ · □ ·
2	2· 1● 4○ 4· 0○ 2○ 0○	□ · × ● □ × ●	· · □ □ ● □ · · □ ·
3	2· 2· 4○ 4· 0○ 2○ 0●	□ · × ● □ □ ●	· · □ □ ● · · · □ ·
4	2● 2· 4○ 4· 0○ 2○ 2·	□ · × × □ □ ●	· · · □ ● · · · □ ·
5	3· 2○ 4○ 4· 0○ 2● 2·	□ · × × □ ● ●	· · · □ ● · · · · ·
6	3· 2○ 4● 4· 0○ 0· 2○	□ · × × ● ● ●	· · · □ ● · · · · ●
7	3· 2● 2· 4○ 0○ 0· 2○	□ □ × × ● ● ●	· · · □ ● · · · ● ●
8	3· 3· 2○ 4● 0○ 0· 2○	□ □ × × × ● ●	· · · · ● · · · ● ●
9	3· 3· 2● 2· 0○ 0· 2○	□ □ × × × × ●	· · · · ● · · · ● ●
10	3· 3· 3· 2○ 0○ 0· 2●	□ □ × × × × ·	· · · ● ● · · · ● ●
11	3· 3· 3· 2○ 0● 0· 0·	□ □ □ × × × ·	· · · ● ● ● · · ● ●
12	3· 3· 3· 2● 2· 0○ 0·	□ □ □ □ × × ·	· · · ● ● ● ● ● ● ●
13	3· 3· 3· 3· 2● 0○ 0·	□ □ □ □ × · ·	· · · ● ● ● ● ● ● ●
14 *	3· 3· 3· 3· 3· 0● 0·	□ □ □ □ □ · ·	· ● ● ● ● ● ● ● ● ●
15 *	3· 3· 3· 3· 3· 3· 0●	□ □ □ □ □ □ ·	□ ● ● ● ● ● ● ● ● ●
16 *	3● 3· 3· 3· 3· 3· 3·	□ □ □ □ □ □ ●	□ □ ● ● ● ● ● ● ● ●
17 *	4· 3● 3· 3· 3· 3· 3·	□ □ □ □ □ ● ●	□ □ □ ● ● ● ● ● ● ●
18 *	4· 4· 3● 3· 3· 3· 3·	□ □ □ □ ● ● ●	□ □ □ □ ● ● ● ● ● ●
19 *	4· 4· 4· 3● 3· 3· 3·	□ □ □ ● ● ● ●	□ □ □ □ □ ● ● ● ● ●
20 *	4· 4· 4· 4· 3● 3· 3·	□ □ ● ● ● ● ●	□ □ □ □ □ □ ● ● ● ●
21 *	4· 4· 4· 4· 4· 3● 3·	□ ● ● ● ● ● ●	□ □ □ □ □ □ □ ● ● ●
22 *	4· 4· 4· 4· 4· 4· 3●	× ● ● ● ● ● ●	□ □ □ □ □ □ □ □ ● ●
23 *	4● 4· 4· 4· 4· 4· 4·	× × ● ● ● ● ●	□ □ □ □ □ □ □ □ □ ●
24 *	5· 4● 4· 4· 4· 4· 4·	× × × ● ● ● ●	□ □ □ □ □ □ □ □ □ ·
25 *	5· 5· 4● 4· 4· 4· 4·	× × × × ● ● ●	□ □ □ □ □ □ □ □ □ ·
26 *	5· 5· 5· 4● 4· 4· 4·	× × × × × ● ●	□ □ □ □ □ □ □ · · ·
27 *	5· 5· 5· 5· 4● 4· 4·	× × × × × × ●	□ □ □ □ □ □ □ · · ·
28 *	5· 5· 5· 5· 5· 4● 4·	× × × × × × ·	□ □ □ □ □ □ · · · ·
29 *	5· 5· 5· 5· 5· 5· 4●	× × × × × · ·	□ □ □ □ · · · · · ·
30 *	5○ 5· 5· 5· 5· 5· 5·	× × × × · · ·	□ □ □ · · · · · · ·

Keskinäinen poissulkeminen

Tasalaatuinen rengas

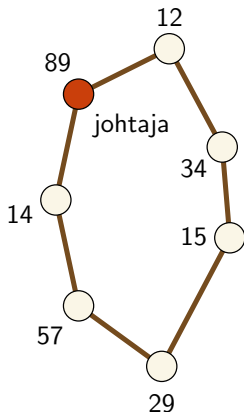
- ▶ Onnistuu, jos $n = 2$, ks. kuva
- ▶ Onnistuu, jos n alkuluku
(Burns–Pachl 1989)
- ▶ Ei mahdollista, jos n yhdistetty luku
 - ▶ Esim. $n = 12 = 3 \times 4$
 - ▶ Joka 4. solmu on samassa tilassa
 - ▶ 1, 3, 5, 6, 1, 3, 5, 6, 1, 3, 5, 6
1, 3, 5, 0, 1, 3, 5, 6, 1, 3, 5, 6
1, 3, 5, 0, 1, 3, 5, 6, 1, 3, 5, 0
1, 3, 5, 0, 1, 3, 5, 0, 1, 3, 5, 0



Keskinäinen poissulkeminen

Johtajan valinta

- ▶ Etukäteen valittu johtaja epärealistinen
- ▶ Tasalaatuisessa renkaassa ei voi ratkaista kaikilla n
- ▶ Lievempi oletus:
solmuilla yksilöllinen tunniste
(esim. MAC-osoite)
- ▶ Valitaan ensin näiden avulla johtaja, esim. solmu, jonka tunniste suurin

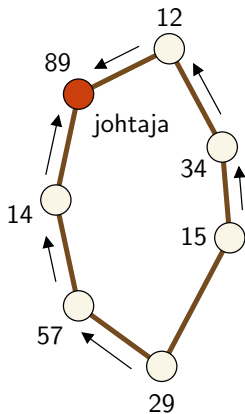


Keskinäinen poissulkeminen

Johtajan valinta

(Arora–Gouda 1994)

- ▶ Muodostetaan juurisolmuista lähteviä lyhimpiä polkuja verkkoon
- ▶ Jokainen solmu oppii juurisolmun tunnisteeseen, etäisyyden ja suunnan
- ▶ Polkuja useaan eri juurisolmuun: valitaan tunnisteeltaan suurin
- ▶ Solmu julistautuu itse juurisolmuksi, jos ei paremmasta tällä hetkellä tietoa
- ▶ Tarvitaan tietoa verkon koosta



Keskinäinen poissulkeminen

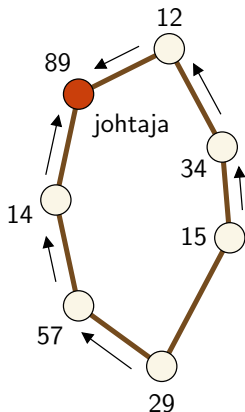
Reilu koostaminen

fair protocol combination,

fair composition, transitivity, layering

(Dolev–Israeli–Moran 1993, Schneider 1993, ...)

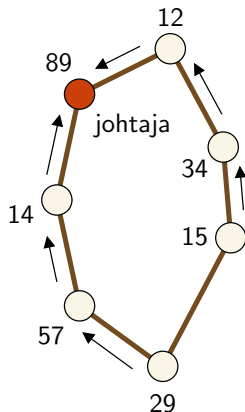
- ▶ Osaamme ratkaista keskinäisen poissulkemisen itsestabiloivasti renkaassa, jossa on valittu johtaja
- ▶ Osaamme valita johtajan itsestabiloivasti, jos solmuilla yksilölliset tunnisteet
- ▶ Näistä voidaan *koostaa* uusi algoritmi keskinäiseen poissulkemiseen



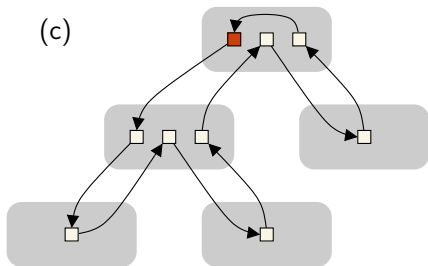
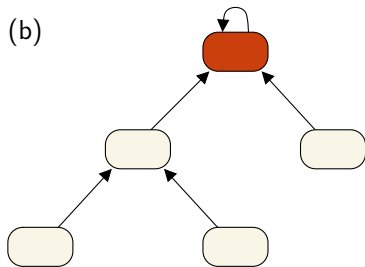
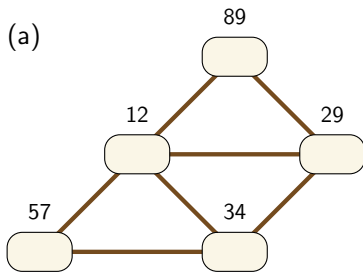
Keskinäinen poissulkeminen

Reilu koostaminen

- ▶ Idea: ajetaan molempia rinnan
- ▶ Kun keskinäisen poissulkemisen tarvitsee tietää, onko solmu johtaja, kysytään johtajanvalinta-algoritmilta
- ▶ *Johtajanvalinnan valmistumishetki tulkitaan keskinäisen poissulkemisen kannalta alkutilaksi*
- ▶ Pidettävä huolta siitä, että molemmat algoritmit saavat ajoaikaa!



Keskinäinen poissulkeminen: yleiset verkot



Reilua koostamista:

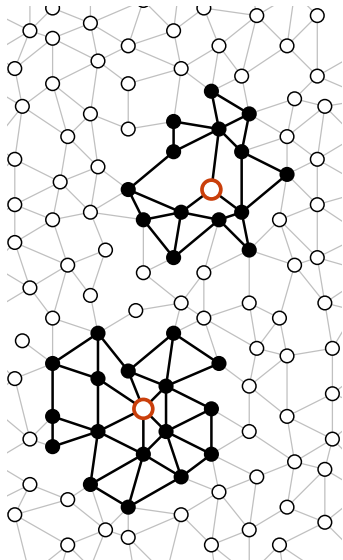
1. Johtajan valinta ja virittävän puun luonti
2. Renkaan muodostaminen
3. Keskinäinen poissulkeminen renkaassa

Paikallisuus

Paikallinen algoritmi

- ▶ Hajautettu algoritmi
- ▶ Solmun tekemä päätös on funktio syötteestä, joka oli alkutilanteessa solmun lähiympäristössä enintään etäisyydellä R

Kuvassa $R = 2$



Paikallisuus

Paikallisesta itsestabiloivaksi

1. Lähetä naapureille viesti:
(tunniste, syöte, naapurit,
etäisyys = 0)
2. Välitä viestit eteenpäin,
jos etäisyys $< R$;
päivitä kirjanpitoa
3. Kokoa oma kuva
 R -säteisestä ympäristöstä,
solmusta itsestään alkaen
4. Suorita alkuperäinen
paikallinen algoritmi

