Säännöllisestä lausekkeesta deterministiseksi tilakoneeksi: esimerkki

Heikki Tauriainen

Yksinkertaisten säännöllisten lausekkeiden muuttaminen deterministisiksi tilakoneiksi onnistuu usein pelkästään lauseketta tutkimalla. Jos lausekkeen rakenne on monimutkainen, saattaa kuitenkin toisinaan olla vaikea varmistua siitä, hyväksyykö lausekkeesta ”suoraan” muodostettu deterministinen tilakone täsmällisesti lausekkeen määrittelemän kielen.

Tässä esitetään, kuinka mikä tahansa säännöllinen lauseke voidaan systemaattisesti muuntaa deterministiseksi tilakoneeksi noudattamalla tiettyjä muodostussääntöjä. Esimerkkinä käytetään aakkoston $\Sigma = \{a, b\}$ yli määriteltyä säännöllistä lauseketta

$$(aab \cup aba)^* a (ba)^* b$$

Säännöllinen lauseke voidaan muuntaa deterministiseksi tilakoneeksi muodostamalla lausekkeesta ensin *epädeterministinen* tilakone, joka muunnetaan sitten deterministiseksi. Epädeterministinen tilakone saadaan lähtemällä liikkeelle lausekkeen pienimmistä alilausekkeista ja yhdistelemällä niistä muodostettuja yksinkertaisia tilakoneita suuremmiksi tilakoneiksi muunnossääntöjen avulla, kunnes saadaan annettua säännöllistä lauseketta vastaava epädeterministinen tilakone.

Esimerkkitapauksessa voidaan siis ensin muodostaa tilakoneet aakkoston merkeille a ja b:

Tilakoneiden liittäminen peräkkäin (konkatenaatio): Esimerkkilauseke sisältää alilausekkeinaan mm. lausekkeet aab ja aba, joista kumpikin erikseen koostuu kolmesta peräkkäin liitetystä pienemmästä säännöllisestä lausekkeesta.

Yleisesti kahta säännöllistä lauseketta L_1 ja L_2 vastaavat tilakoneet M_1 ja M_2 voidaan liittää peräkkäin lauseketta L_1L_2 vastaavaksi tilakoneeksi seuraavasti:

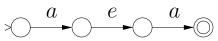
Tilakoneiden M_1 ja M_2 konkatenaatio
1. Lisää tilakoneen M_1 kaikista lopputiloista tyhjä e-siirtymä tilakoneen M_2 alkutilaan.
2. Aseta uuden tilakoneen alkutilaksi M_1:n alkutila.
3. Aseta uuden tilakoneen (ainoiksi) lopputiloiksi kaikki M_2:n lopputilat.

Voidaan ajatella, että M käyttäytyy ensin kuten tilakone M_1 ja tarkistaa, että sille annetun syötesanan w alkuosa kuuluu kieleen L_1. Jos näin on, tilakone alkaa sen jälkeen toimia tilakoneen M_2 tavoin ja tarkistaa, että syötesanan loppuosa kuuluu kieleen L_2. Jos myös tämä tarkistus onnistuu, tilakone hyväksyy syötteen w.

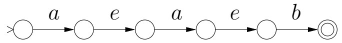
Formaalisti muunnos voidaan esittää seuraavasti: jos $M_1 = (K_1, \Sigma, \Delta_1, s_1, F_1)$ ja $M_2 = (K_2, \Sigma, \Delta_2, s_2, F_2)$ ovat kaksi tilakonetta, niiden konkatenaatio on tilakone $M = (K, \Sigma, \Delta, s, F)$, missä

$$\begin{array}{rcll}
K & = & K_1 \cup K_2 & \text{(M sisältää kaikki M_1:n ja M_2:n tilat)} \\
s & = & s_1 & \text{(M:n alkutila on sama kuin M_1:n alkutila)} \\
F & = & F_2 & \text{(M:n lopputiloja ovat kaikki M_2:n lopputilat)} \\
\Delta & = & \Delta_1 \cup \Delta_2 \cup (F_1 \times \{e\} \times \{s_2\}) & \text{(M sisältää kaikki M_1:n ja M_2:n tilasiirtymät sekä lisäksi e-siirtymät M_1:n lopputiloista M_2:n alkutilaan)}
\end{array}$$

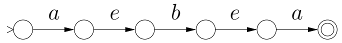
Esimerkkinä annetun säännöllisen lausekkeen $(aab \cup aba)^* a(ba)^* b$ alilausekkeita aab ja aba vastaavat tilakoneet saadaan liittämällä lausekkeita a ja b vastaavia tilakoneita peräkkäin sopivassa järjestyksessä. Kun ensin liitetään kaksi lauseketta a vastaavaa tilakonetta toisiinsa peräkkäin, saadaan lauseketta aa vastaava tilakone[1]



Kun tähän tilakoneeseen liitetään vielä lauseketta b vastaava tilakone, saadaan lausekkeelle aab tilakone



Vastaavasti lausekketta aba vastaava tilakone on



[1] Sovellettaessa muunnoksia systemaattisesti saattaa tilakoneisiin syntyä tarpeettomia e-siirtymiä. Tässä esityksessä niitä ei ole erikseen poistettu välimuodoista; itse asiassa kaikki e-siirtymät poistuvat lopulta tilakoneen determinisoinnin yhteydessä.

Tilakoneiden yhdiste (unioni): Lausekkeita *aab* ja *aba* vastaavat tilakoneet voitiin muodostaa liittämällä tilakoneita toisiinsa peräkkäin. Esimerkkilausekkeen osaa ($aab \cup aba$) varten tarvitaan kuitenkin uusi muunnossääntö, jonka avulla kahta säännöllistä lauseketta L_1 ja L_2 vastaavista tilakoneista M_1 ja M_2 voidaan muodostaa säännöllistä lauseketta $(L_1 \cup L_2)$ vastaava tilakone M.

Tilakoneiden M_1 ja M_2 yhdiste
1. Ota käyttöön uusi tila ja lisää siitä e-siirtymät M_1:n ja M_2:n alkutiloihin. Aseta tämä uusi tila tilakoneiden yhdisteen alkutilaksi.
2. Aseta uuden tilakoneen lopputiloiksi kaikki M_1:n ja M_2:n lopputilat.

M voidaan tässä tapauksessa ajatella tilakoneeksi, joka ensin valitsee epädeterministisesti, käyttäytyykö se M_1:n vai M_2:n tavoin, minkä jälkeen se toimii valinnan mukaisesti. Epädeterministisyyden ansiosta tilakone hyväksyy syötesanan w, jos ja vain, jos vähintään toinen alkuperäisistä tilakoneista M_1 tai M_2 hyväksyisi sen.

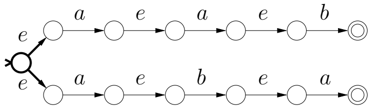
Formaalisti esitettynä kahden tilakoneen $M_1 = (K_1, \Sigma, \Delta_1, s_1, F_1)$ ja $M_2 = (K_2, \Sigma, \Delta_2, s_2, F_2)$ yhdiste $M = (K, \Sigma, \Delta, s, F)$ on

$$K = K_1 \cup K_2 \cup \{s\}$$
(M sisältää kaikki M_1:n ja M_2:n tilat sekä lisäksi yhden ylimääräisen tilan s, joka on samalla M:n alkutila)

$$F = F_1 \cup F_2$$
(M:n lopputiloja ovat kaikki M_1:n ja M_2:n lopputilat)

$$\Delta = \Delta_1 \cup \Delta_2 \cup \{(s, e, s_1), (s, e, s_2)\}$$
(M sisältää kaikki M_1:n ja M_2:n tilasiirtymät sekä lisäksi e-siirtymät uudesta alkutilasta s M_1:n ja M_2:n alkutiloihin)

Muunnoksen avulla saadaan säännöllisiä lausekkeita *aab* ja *aba* vastaavista tilakoneista muodostettua tilakone lausekkeelle ($aab \cup aba$). (Kaikissa seuraavissa kuvissa tilakoneiden muuttuneet sekä tilakoneisiin lisätyt tilat ja tilasiirtymät on korostettu.)



Kleenen tähti -operaatio: Säännöllisille lausekkeille määritellyistä operaatioista jäljellä on vielä Kleenen tähti -operaatio, jota esimerkkilausekkeessa sovelletaan esim. alilausekkeeseen ($aab \cup aba$). Myös tämä operaatio voidaan esittää tilakonemuunnoksena, jonka avulla mitä tahansa säännöllistä lauseketta L vastaavasta tilakoneesta M voidaan muodostaa lauseketta L^* vastaava tilakone M'.

Kleenen tähti -operaatio tilakoneelle M
1. Lisää tilakoneeseen M e-siirtymät kaikista sen lopputiloista takaisin sen alkutilaan.
2. Lisää tilakoneeseen uusi tila ja yhdistä se e-siirtymän avulla koneen alkutilaan. Vaihda koneeseen lisätty tila koneen alkutilaksi.
3. Aseta koneen lopputiloiksi koneen uusi alkutila sekä kaikki M:n lopputilat.

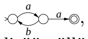
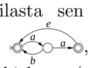
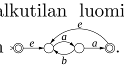
Koneen M (alkuperäisistä) lopputiloista lähtevät uudet e-siirtymät mahdollistavat sen, että kone voi lukea saman merkkijonon monta kertaa peräkkäin, mikä vastaa Kleenen tähti -operaatioon liittyvää lausekkeen toistoa. Koneen uuden hyväksyvän alkutilan ansiosta kone hyväksyy myös tyhjän merkkijonon e (joka täytyy hyväksyä, koska tyhjä merkkijono kuuluu aina Kleenen tähti -operaation määrittelemään kieleen).[2]

Annetusta tilakoneesta $M = (K, \Sigma, \Delta, s, F)$ muunnoksen avulla saatavan tilakoneen $M' = (K', \Sigma, \Delta', s', F')$ formaali määritelmä on seuraava:

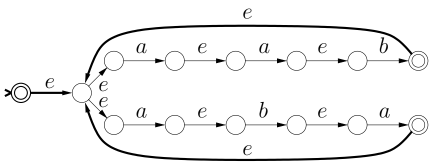
$$K' = K \cup \{s'\}$$
(M' sisältää kaikki M:n tilat sekä lisäksi yhden ylimääräisen tilan s', joka on samalla M':n alkutila)

$$F' = F \cup \{s'\}$$
(M':n lopputiloja ovat kaikki M:n lopputilat sekä uusi alkutila s')

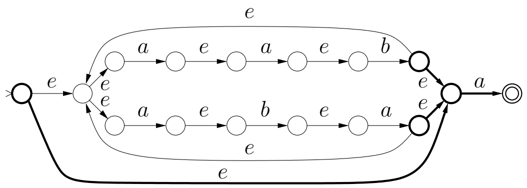
$$\Delta' = \Delta \cup (F' \times \{e\} \times \{s\})$$
(M' sisältää kaikki M:n tilasiirtymät sekä lisäksi e-siirtymät kaikista lopputiloistaan M:n alkuperäiseen alkutilaan s)

[2]Huomaa, että muunnoksessa lisätään tilakoneelle *uusi* hyväksyvä alkutila, sillä tyhjän merkkijonon hyväksymistä ei yleisesti voi toteuttaa vain asettamalla koneen alkuperäinen alkutila lopputilaksi! Esimerkiksi jos tilakoneelle , joka hyväksyy kielen $a(ba)^*a$, yritetään tehdä Kleenen tähti -muunnos lisäämällä e-siirtymä tilakoneen lopputilasta sen alkutilaan ja muuttamalla alkutila hyväksyväksi, saadaan tilakone , joka hyväksyy esim. merkkijonon ab, joka ei kuitenkaan kuulu kieleen $(a(ba)^*a)^*$. Yleisesti Kleenen tähti -operaatio siis vaatii uuden alkutilan luomista tilakoneelle; tässä tapauksessa oikea muunnos siis tuottaa tilakoneen .

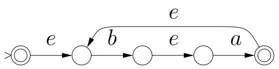
Edellä muodostettiin tilakone säännölliselle lausekkeelle $(aab \cup aba)$. Kun tätä lauseketta vastaavalle tilakoneelle suoritetaan Kleenen tähti -operaatio, saadaan tilakone lausekkeelle $(aab \cup aba)^*$:



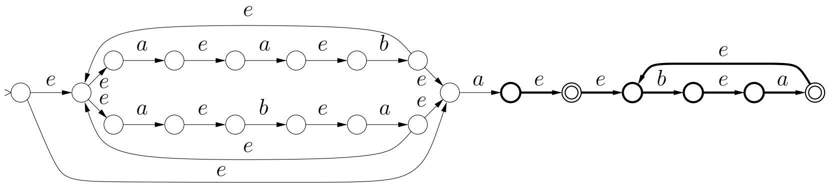
Esimerkki jatkuu: Nyt voidaan muodostaa tilakone koko lausekkeelle $(aab \cup aba)^*a(ba)^*b$. Liittämällä lausekkeita $(aab \cup aba)^*$ ja a vastaavat tilakoneet peräkkäin saadaan lausekkeelle $(aab \cup aba)^*a$ tilakone



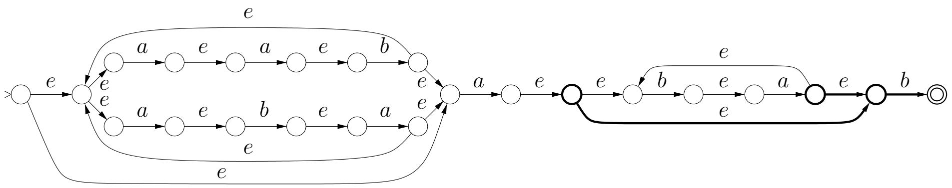
Lausekkeen $(ba)^*$ tilakone saadaan liittämällä ensin peräkkäin lausekkeiden b ja a tilakoneet ja suorittamalla muodostetulle tilakoneelle Kleenen tähti -operaatio:



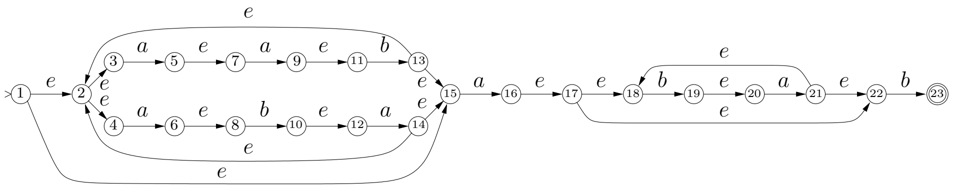
Liitetään nyt lausekkeiden $(aab \cup aba)^*a$ ja $(ba)^*$ tilakoneet toisiinsa:



Kun tähän tilakoneeseen liitetään vielä lausekkeen b tilakone, saadaan lopulta lauseketta $(aab \cup aba)^*a(ba)^*b$ vastaavaksi tilakoneeksi



Epädeterministisen tilakoneen determinisointi: Determinisointia varten numeroidaan tilakoneen tilat:



Tilakonetta determinisoitaessa käsitellään *tilajoukkoja*, joihin kerätään kaikki mahdolliset tilat, joihin epädeterministinen tilakone voi päätyä, kun se lukee yhden merkin syötettä kerrallaan lähtien jostakin tilasta (tai tiloista) liikkeelle. Nämä tilajoukot tulkitaan lopuksi deterministisen tilakoneen tiloiksi.

Deterministisen tilakoneen alkutila muodostuu kaikista niistä epädeterministisen tilakoneen tiloista, joissa epädeterministinen tilakone voi olla ennen, kuin se lukee yhtään syötemerkkiä. Selvästi tila 1 kuuluu tähän tilajoukkoon, koska se on epädeterministisen tilakoneen alkutila. Epädeterminististen tilakoneen e-siirtymien vuoksi kone voi kuitenkin siirtyä alkutilastaan muihin tiloihin ilman, että se lukee yhtään syötettä. Esimerkkitilakone voi siirtyä alkutilastaan e-siirtymien avulla tiloihin 2 ja 15, ja tilasta 2 on edelleen e-siirtymät tiloihin 3 ja 4. Seuraa siis, että epädeterministinen tilakone voi olla missä tahansa tiloista $1, 2, 3, 4$ tai 15 ennen, kuin se on vielä lukenut yhtään merkkiä syötteestä.

Tutkitaan sitten, mihin kaikkiin tiloihin tilakone voi päätyä ensimmäisen syötemerkin lukemisen jälkeen. Koska tilakone voi olla yhdessä useasta mahdollisesta tilasta ennen merkin lukemista, voi kone myös päätyä useihin eri tiloihin merkin luettuaan. Saadaan siis *joukko* mahdollisia tiloja, joissa tilakone voi olla luettuaan yhden merkin syötettä.

Koska tilasta 1 on ainoastaan e-siirtymiä muihin tiloihin, kone ei voi siirtyä tästä tilasta mihinkään muuhun tilaan millään aakkoston merkillä. Sama pätee tilaan 2.

Oletetaan, että ensimmäinen syötemerkki on a. Tiloista 3, 4 ja 15 nähdään, että tilakone voi a:n lukemalla siirtyä johonkin tiloista 5, 6 tai 16 riippuen siitä, missä tilassa se oli ennen a:n lukemista. Nämä eivät kuitenkaan ole ainoat mahdolliset tilat, joihin kone voi päästä a:n luettuaan, sillä kone voi merkin lukemisen jälkeen tehdä e-siirtymiä ilman, että se lukee lisää syötettä. Nähdään, että tilakone voi siirtyä e-siirtymien avulla edelleen tilasta 5 tilaan 7, tilasta 6 tilaan 8, tilasta 16 tilaan 17 ja edelleen tilasta 17 jompaankumpaan tiloista 18 tai 22. Jos siis ensimmäinen tilakoneen lukema merkki on a, tilakone voi merkin luettuaan olla missä tahansa tiloista $5, 6, 7, 8, 16, 17, 18$ tai 22.

Jos taas oletetaan, että ensimmäinen syötemerkki onkin b, nähdään, ettei mistään tilasta $1, 2, 3, 4$ tai 15 lähde yhtään b-kirjaimella nimettyä siirtymää johonkin toiseen tilaan. Siten niiden tilojen joukko, johon tilakone voi päätyä, kun ensimmäinen syötemerkki on b, on *tyhjä* ($\emptyset$).

Kirjoitetaan edellä olevan tarkastelun tulokset taulukkoon:

lähtötilojen joukko	kohdetilojen joukko, kun luetaan a	kohdetilojen joukko, kun luetaan b
$\{1, 2, 3, 4, 15\}$	$\{5, 6, 7, 8, 16, 17, 18, 22\}$	$\emptyset$

Tutkitaan nyt samalla tavalla, mihin tiloihin tilakone voi päätyä *kahden* syötemerkin lukemisen jälkeen. Tässä vaiheessa tiedetään, että jos ensimmäinen luettu merkki on ollut a, tilakone on merkin lukemisen jälkeen jossakin tiloista $5, 6, 7, 8, 16, 17, 18$ tai 22.

Oletetaan, että myös toinen luettu merkki on a ja määritetään ne tilat, joihin tilakone voi päätyä, kun se lähtee liikkeelle jostakin edellä luetellusta tilasta ja suorittaa a:n lukemisen jälkeen mahdollisesti vielä e-siirtymiä. Huomataan, ettei tiloista $5, 6, 8, 16, 17, 18$ ja 22 lähde yhtään a:lla nimettyä siirtymää. Ainoa a:lla nimetty siirtymä lähtee tilasta 7 tilaan 9, ja tilasta 9 pääsee e-siirtymän kautta edelleen tilaan 11. Jos siis toinenkin luettu merkki on a, tilakone päätyy johonkin tiloista $\{9, 11\}$.

Sama tarkastelu toistetaan tiloista $5, 6, 7, 8, 16, 17, 18$ ja 22 liikkeelle lähtien myös syötemerkille b, jolloin taulukkoa voidaan täydentää seuraavasti:

lähtötilojen joukko	kohdetilojen joukko, kun luetaan a	kohdetilojen joukko, kun luetaan b
$\{1, 2, 3, 4, 15\}$	$\{5, 6, 7, 8, 16, 17, 18, 22\}$	$\emptyset$
$\{5, 6, 7, 8, 16, 17, 18, 22\}$	$\{9, 11\}$	$\{10, 12, 19, 20, 23\}$

Entä, jos ensimmäinen syötemerkki onkin ollut b? Taulukosta nähdään, että epädeterministinen tilakone ei tällöin voi olla missään tilassa. Tällöin seuraavan syötemerkin lukeminen (olipa merkki mikä tahansa) ei voi viedä epädeterminististä tilakonetta edelleenkään mihinkään tilaan, mikä merkitään taulukkoon seuraavasti:

lähtötilojen joukko	kohdetilojen joukko, kun luetaan a	kohdetilojen joukko, kun luetaan b
$\{1, 2, 3, 4, 15\}$	$\{5, 6, 7, 8, 16, 17, 18, 22\}$	$\emptyset$
$\{5, 6, 7, 8, 16, 17, 18, 22\}$	$\{9, 11\}$	$\{10, 12, 19, 20, 23\}$
$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$

Taulukkoon on nyt saatu tieto siitä, missä tiloissa epädeterministinen tilakone voi olla kahden merkin lukemisen jälkeen. Sama tarkastelu suoritetaan nyt kolmannelle syötemerkille lähtien erikseen liikkeelle tilajoukoista $\{9, 11\}$ ja $\{10, 12, 19, 20, 23\}$, jolloin taulukko täydentyy muotoon

lähtötilojen joukko	kohdetilojen joukko, kun luetaan a	kohdetilojen joukko, kun luetaan b
$\{1, 2, 3, 4, 15\}$	$\{5, 6, 7, 8, 16, 17, 18, 22\}$	$\emptyset$
$\{5, 6, 7, 8, 16, 17, 18, 22\}$	$\{9, 11\}$	$\{10, 12, 19, 20, 23\}$
$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
$\{9, 11\}$	$\emptyset$	$\{2, 3, 4, 13, 15\}$
$\{10, 12, 19, 20, 23\}$	$\{2, 3, 4, 14, 15, 18, 21, 22\}$	$\emptyset$

Sama tarkastelu täytyy toistaa edelleen tilajoukoille $\{2, 3, 4, 13, 15\}$ ja $\{2, 3, 4, 14, 15, 18, 21, 22\}$, jotka eivät ole aikaisemmin esiintyneet taulukossa. Nyt saadaan

lähtötilojen joukko	kohdetilojen joukko, kun luetaan a	kohdetilojen joukko, kun luetaan b
$\{1, 2, 3, 4, 15\}$	$\{5, 6, 7, 8, 16, 17, 18, 22\}$	$\emptyset$
$\{5, 6, 7, 8, 16, 17, 18, 22\}$	$\{9, 11\}$	$\{10, 12, 19, 20, 23\}$
$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
$\{9, 11\}$	$\emptyset$	$\{2, 3, 4, 13, 15\}$
$\{10, 12, 19, 20, 23\}$	$\{2, 3, 4, 14, 15, 18, 21, 22\}$	$\emptyset$
$\{2, 3, 4, 13, 15\}$	$\{5, 6, 7, 8, 16, 17, 18, 22\}$	$\emptyset$
$\{2, 3, 4, 14, 15, 18, 21, 22\}$	$\{5, 6, 7, 8, 16, 17, 18, 22\}$	$\{19, 20, 23\}$

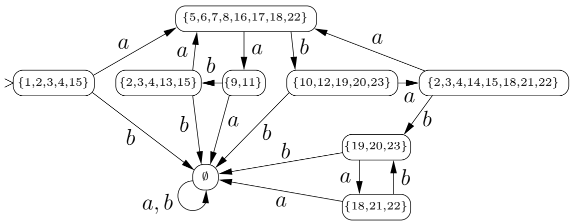
Taulukkoon syntyy jälleen uusi tilajoukko $\{19, 20, 23\}$, jolle tarkastelu täytyy toistaa:

lähtötilojen joukko	kohdetilojen joukko, kun luetaan a	kohdetilojen joukko, kun luetaan b
$\{1,2,3,4,15\}$	$\{5,6,7,8,16,17,18,22\}$	$\emptyset$
$\{5,6,7,8,16,17,18,22\}$	$\{9,11\}$	$\{10,12,19,20,23\}$
$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
$\{9,11\}$	$\emptyset$	$\{2,3,4,13,15\}$
$\{10,12,19,20,23\}$	$\{2,3,4,14,15,18,21,22\}$	$\emptyset$
$\{2,3,4,13,15\}$	$\{5,6,7,8,16,17,18,22\}$	$\emptyset$
$\{2,3,4,14,15,18,21,22\}$	$\{5,6,7,8,16,17,18,22\}$	$\{19,20,23\}$
$\{19,20,23\}$	$\{18,21,22\}$	$\emptyset$

Toistetaan tarkastelu vielä tilajoukolle $\{18,21,22\}$:

lähtötilojen joukko	kohdetilojen joukko, kun luetaan a	kohdetilojen joukko, kun luetaan b
$\{1,2,3,4,15\}$	$\{5,6,7,8,16,17,18,22\}$	$\emptyset$
$\{5,6,7,8,16,17,18,22\}$	$\{9,11\}$	$\{10,12,19,20,23\}$
$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$
$\{9,11\}$	$\emptyset$	$\{2,3,4,13,15\}$
$\{10,12,19,20,23\}$	$\{2,3,4,14,15,18,21,22\}$	$\emptyset$
$\{2,3,4,13,15\}$	$\{5,6,7,8,16,17,18,22\}$	$\emptyset$
$\{2,3,4,14,15,18,21,22\}$	$\{5,6,7,8,16,17,18,22\}$	$\{19,20,23\}$
$\{19,20,23\}$	$\{18,21,22\}$	$\emptyset$
$\{18,21,22\}$	$\emptyset$	$\{19,20,23\}$

Tarkastelu on nyt tehty kaikille taulukossa esiintyville tilajoukoille. Tulkitaan nyt taulukossa esiintyvät tilajoukot determinististen tilakoneen yksittäisiksi tiloiksi ja luetaan taulukosta tilojen väliset siirtymät eri aakkoston merkeillä:

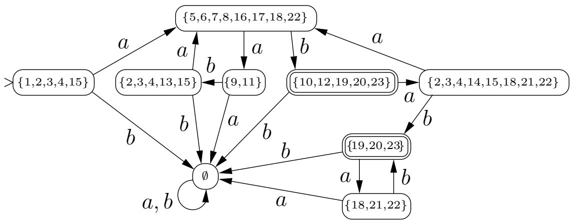


(Tilakone on deterministinen, koska sen jokaisesta tilasta lähtee täsmälleen yksi millä tahansa aakkoston merkillä nimetty siirtymä johonkin toiseen tilaan, eikä tilakone myöskään sisällä e-siirtymiä.)

Valitaan lopuksi deterministisen tilakoneen lopputilat. Lopputiloiksi merkitään kaikki ne tilat, jotka vastaavat jotakin epädeterministisen tilakoneen tilojen joukkoa, jossa on vähintään yksi epädeterministisen tilakoneen lopputila.

(Koska tilajoukot kertovat ne tilat, joissa epädeterministinen tilakone voi olla luettuaan sille annetun syötteen, yhdenkin lopputilan kuuluminen tilajoukkoon tarkoittaa, että jokin epädeterministisen tilakoneen alkutilasta lähtevä polku päätyy tähän lopputilaan, jolloin tilakone hyväksyy syötteen.)

Koska esimerkkitapauksessa epädeterministisen tilakoneen ainoa lopputila on tila 23, lopputiloiksi merkitään tilajoukkoja $\{10,12,19,20,23\}$ ja $\{19,20,23\}$ vastaavat tilat (nämä ovat ainoat tilajoukot, jotka sisältävät tilan 23). Säännöllistä lauseketta $(aab \cup aba)^* a(ba)^* b$ vastaava deterministinen tilakone on siis



Epädeterminististen tilakoneen determinisointi
1. Määritä ensin ne tilat, joissa epädeterministinen tilakone voi olla ennen, kuin se lukee yhtään syötettä. Näihin tiloihin kuuluu epädeterministisen tilakoneen alkutila sekä kaikki ne tilat, joihin tilakone voi päästä alkutilastaan e-siirtymien avulla. 2. Toista niin kauan, kun jäljellä on käsittelemättömiä tilajoukkoja: Valitse jokin käsittelemätön tilajoukko Q. Muodosta sitten aakkoston Σ jokaiselle merkille $a \in \Sigma$ erikseen uusi tilajoukko, joka sisältää kaikki ne tilat, joihin epädeterministinen tilakone voi päästä, kun se lähtee jostakin tilajoukon Q tilasta, lukee syötteestä merkin a ja suorittaa sen jälkeen mahdollisesti vielä e-siirtymiä. 3. Muodosta deterministinen tilakone tulkitsemalla tilajoukot determinististen tilakoneen tiloiksi. 4. Merkitse deterministisen tilakoneen lopputiloiksi kaikki ne tilat, joita vastaa epädeterministisen tilakoneen tilojen joukko, joka sisältää vähintään yhden epädeterministisen koneen lopputilan.