

Opgaven bij Hoofdstuk 3 - Productiesystemen

Top-down inferentie

*In de opgaven in deze paragraaf over top-down inferentie wordt aangenomen dat de feitenverzameling alleen feiten bevat die als ‘getraceerd’ zijn gemarkeerd. Neem voorts aan dat de **or**-operator in productieregels sterker bindt dan de **and**-operator. Voor het slagen van een disjunctie is het voldoende als één conditie slaagt; voor het falen van een conjunctie is het voldoende als één conditie (disjunctie) faalt.*

Opgave 1

- a. Zij gegeven de volgende verzameling productieregels:

$\{R_1: \text{if notsame}(x, H) \text{ and greaterthan}(y, 100) \text{ then add}(z, A) \text{ fi},$
 $R_2: \text{if notsame}(x, E) \text{ or same}(x, H) \text{ then add}(z, B) \text{ fi},$
 $R_3: \text{if notknown}(z) \text{ then add}(w, D) \text{ fi},$
 $R_4: \text{if lessthan}(u, 20) \text{ or known}(z) \text{ then add}(w, C) \text{ fi}\}$

en de volgende initiële feitenverzameling F :

$$F = \{x = \{E, H\}, y = 120, u = 20\}$$

De variabelen u , y , en w zijn eenwaardig; de variabelen x en z zijn meerwaardig. Stel dat de variabele w een doelvariabele is, en stel dat x , y , en u vraagbaar zijn. Welke productieregels zullen slagen en welke falen bij het toepassen van backward-chaining op deze feitenverzameling en verzameling productieregels? Geef de feitenverzameling F' na afloop van de inferentie.

- b. Stel dat de volgende productieregel wordt toegevoegd aan de bovenstaande vier regels, voorafgaand aan de consultatie van de kennisbank:

$R_5: \text{if lessthan}(u, 30) \text{ and notsame}(w, D) \text{ then add}(v, G) \text{ fi}$

De variabele v is niet vraagbaar; w is opnieuw de doelvariabele. Er wordt uitgegaan van dezelfde initiële feitenverzameling F als in opgave a. Geef de feitenverzameling die resulteert na het toepassen van backward-chaining.

- c. Stel dat de look-ahead faciliteit wordt toegevoegd aan het backward-chaining algoritme. Zal hierdoor de zoekruimte van opgave 1.a veranderen? Wanneer heeft look-ahead wel en wanneer geen effect op de zoekruimte? Geef een toelichting op uw antwoord.
- d. Een deel van elke rule base in een productiesysteem kan vertaald worden naar klassieke eerste-orde predikatenlogica met gelijkheid en ordeningspredikaten. De omzetting kan meestal niet volledig geschieden. Dit is ook het geval voor de rule base in vraag a. Welke productieregels in de rule base in vraag a kunnen worden omgezet naar eerste-orde predikatenlogica? Geef de logische representatie van deze regels. Waarom kunnen de andere regels niet worden omgezet?

Opgave 2

- a. Beschouw de volgende verzameling productieregels:

$$\{R_1: \text{if same}(x, A) \text{ and same}(y, B) \text{ then add}(z, C) \text{ fi}, \\ R_2: \text{if same}(z, D) \text{ then add}(x, B) \text{ fi}\}$$

geef een beschrijving van een methode waarmee voorkomen kan worden dat het top-down inferentie-algoritme in oneindige recursie gaat als de variabele x wordt getraceerd.

- b. In het productieregelformalisme dat in het MYCIN-systeem wordt toegepast, wordt gebruik gemaakt van object-attribuut-waarden tupels. In MYCIN kan een object één of meer instantiaties hebben. Veronderstel nu dat u een top-down inferentiealgoritme moet ontwerpen voor een productieregelformalisme zoals in MYCIN geboden wordt. Geef een korte beschrijving van de wijze waarop u in dit algoritme het optreden van ‘oneindige’ recursie in het geval van self-referencing rules voorkomt.

Opgave 3

- a. Zij gegeven de volgende verzameling productieregels:

$$\{R_1: \text{if lessthan}(z, 20) \text{ and notknown}(y) \text{ then add}(w, B) \text{ fi}, \\ R_2: \text{if same}(x, C) \text{ and known}(y) \text{ then add}(w, D) \text{ fi}, \\ R_3: \text{if notsame}(x, B) \text{ and greaterthan}(z, 100) \text{ then add}(y, G) \text{ fi}\}$$

waarin de variabelen x, y en z eenwaarig zijn, en de variabele w meerwaardig is. Stel dat w een doelvariabele is en dat slechts de variabelen x en z vraagbaar zijn. Stel dat de volgende feitenverzameling gegeven is: $F = \{x = C, z = 5\}$. Geef de feitenverzameling F' na afloop van het toepassen van backward-chaining op deze productieregels. Laat zien welke productieregels bij toepassing geslaagd zijn en welke gefaald hebben, en waarom.

- b. Stel dat aan de bovenstaande drie productieregels de self-referencing rule

$$R_4: \text{if notknown}(y) \text{ then add}(y, A) \text{ fi}$$

wordt toegevoegd en dat gebruik wordt gemaakt van een backward-chaining algoritme dat geselecteerde regels markeert voordat ze worden toegepast. Wat zal dan de feitenverzameling F'' zijn na toepassing van backward-chaining als uitgegaan wordt van dezelfde initiële feitenverzameling F ?

- c. Heeft de keuze van de conflictresolutie strategie in top-down inferentie met een look-ahead faciliteit invloed op de waarden die uiteindelijk afgeleid worden voor een meerwaardige doelvariable? En voor een willekeurige variabele? Motiveer uw antwoord.

Opgave 4

- a. Beschouw de volgende verzameling productieregels:

$\{R_1: \text{if notknown}(y) \text{ or lessthan}(z, 50) \text{ then add}(w, B) \text{ fi},$
 $R_2: \text{if same}(x, C) \text{ and known}(y) \text{ then add}(w, D) \text{ fi},$
 $R_3: \text{if lessthan}(z, 25) \text{ and same}(y, G) \text{ then add}(w, E) \text{ fi},$
 $R_4: \text{if notsame}(x, B) \text{ and greaterthan}(z, 100) \text{ then add}(y, G) \text{ fi}\}$

De variabele z is eenwaardig; de variabelen x , y en w zijn meerwaardig. Vraagbaar zijn alleen de variabelen x en z . De feitenverzameling is initieel leeg. Veronderstel dat de variabele w het doel van top-down inferentie met deze regels is, en dat de gebruiker tijdens de inferentie desgevraagd de antwoorden $x = \{B, C\}$ en $z = 15$ geeft. Neem aan dat variabelen als ‘getraceerd’ worden gemarkeerd tijdens de inferentie. Geef de feitenverzameling na afloop van top-down inferentie met bovenstaande productieregels en feiten. Laat zien welke regels tijdens de inferentie geslaagd zijn en welke gefaald hebben.

- b. Beschouw nogmaals de verzameling productieregels uit onderdeel a van deze opgave. De feitenverzameling die resulteert na afloop van de inferentie is afhankelijk van de antwoorden die de gebruiker op de door het systeem gestelde vragen heeft gegeven: bij andere antwoorden kan een andere feitenverzameling ontstaan. Neem aan dat waarden van de variabele x deelverzamelingen zijn van de verzameling $\{A, B, C\}$, met uitzondering van de lege verzameling, en dat de variabele z waarden kan aannemen uit de verzameling van gehele getallen. Neem ook aan dat de gebruiker de speciale waarde *unknown*, waarmee aangegeven wordt dat de waarde voor de variabele onbekend is, niet zal invoeren. Geef een beschrijving van alle mogelijk resulterende feitenverzamelingen in termen van de antwoorden van de gebruiker.
- c. Veronderstel dat in een kennissysteem naast de gebruikelijke doelvariabelen en vraagbare variabelen, ook gespecificeerd kan worden dat een variabele van het type ‘askfirst’ is. Indien een variabele als ‘askfirst’ is gespecificeerd, wordt direct nadat de variabele een (sub)doel is geworden tijdens de inferentie een vraag om invoer aan de gebruiker gesteld. Pas als de gebruiker niet in staat is een waarde in te voeren voor de variabele, wordt onderzocht of de variabele afgeleid kan worden met behulp van productieregels. Pas op grond hiervan het algoritme van top-down inferentie zodanig aan dat met ‘askfirst’ variabelen rekening gehouden wordt.
- d. Beschouw een productieregelformalisme dat van de variabele-waarde representatie gebruik maakt. Leg uit waarom het in zo’n formalisme niet mogelijk is de waarden van twee variabelen te vergelijken.

Opgave 5

- a. Beschouw de volgende verzameling productieregels:

$\{R_1: \text{if same}(x, A) \text{ then add}(w, B) \text{ and add}(z, C) \text{ fi},$

R_2 : **if** known(z) **then** add(w, D) **fi**,
 R_3 : **if** greaterthan($y, 50$) **or** lessthan($y, 30$) **then** add(z, E) **fi**

De variabele y is eenwaardig; de variabelen x , z en w zijn meerwaardig. Vraagbaar zijn alleen de variabelen x en y . De feitenverzameling is initieel leeg. Veronderstel dat de variabele w het doel van top-down inferentie met deze regels is, en dat de gebruiker tijdens de inferentie desgevraagd de antwoorden $x = \{A\}$ en $y = 53$ geeft. Geef de feitenverzameling na afloop van top-down inferentie met bovenstaande productieregels en feiten. Laat zien welke regels tijdens de inferentie geslaagd zijn en welke gefaald hebben.

- b. Beschouw nogmaals de bovenstaande verzameling productieregels. Veronderstel nu dat de variabele z als doel van de inferentie wordt genomen in plaats van de variabele w ; de gebruiker geeft tijdens de inferentie desgevraagd opnieuw de antwoorden $x = \{A\}$ en $y = 53$. Zal de nu resulterende feitenverzameling verschillen van de bij onderdeel a gevonden feitenverzameling? Motiveer uw antwoord.
- c. Beschouw de volgende verzameling productieregels:

$\{R_1$: **if** same(o, a, v) **and** lessthan($o, b, 10$) **then** add(o, c, u) **fi**,
 R_2 : **if** lessthan($o, b, 100$) **or** same(p, d, w) **then** add(p, e, u) **fi}**

waarin de objecten o en p voorkomen; a , c en e zijn meerwaardige attributen, en b en d zijn eenwaardige attributen. Er wordt gebruik gemaakt van top-down inferentie met doelattribuut c . Alleen de attributen a , b en d zijn vraagbaar. De initiële feitenverzameling F is gelijk aan:

$$F = \{o.a = \{v, w\}, o.b = 7\}$$

Geef een vertaling van de bovengenoemde productieregels en feiten in eerste-orde predikatenlogica, rekening houdend met de betekenis van de regels. Vergelijk de feitenverzameling F' die verkregen wordt door het toepassen van top-down inferentie op de gegeven regels en feiten, met de logische formules die resulteren door toepassing van een gezond en volledig stelsel logische afleidingsregels op de verkregen formules in de eerste-orde predikatenlogica.

Opgave 6

- a. Beschouw een kennisbank met verzameling productieregels \mathcal{R} , waarin van een object-attribuut-waarde representatie gebruik gemaakt wordt. In de domein-declaratie van de kennisbank zijn enkele attributen als doelattribuut gedeclareerd; deze attributen kunnen worden getraceerd met behulp van een top-down inferentie-algoritme.

In de toegepaste kennissysteemshell is de volgende verfijning van het top-down inferentie-algoritme verwerkt: als in een conditie de predikaten *same* of *equal* voorkomen, wordt de in de conditie voorkomende object-attribuut-waarde tuple, in plaats van het object-attribuut paar, getraceerd. Alle hiermee verband houdende inferentiestappen hebben betrekking op dit specifieke object-attribuut-waarde tuple, en niet, zoals in het standaard-algoritme, op het object-attribuut paar.

Zal toepassing van dit verfijnde inferentie-algoritme op een willekeurige rule-base \mathcal{R} en initiële feitenverzameling F , een feitenverzameling F' opleveren die altijd gelijk is aan de feitenverzameling F'' , die verkregen wordt door toepassing van top-down inferentie zonder deze verfijning? Verklaar uw antwoord aan de hand van een voorbeeld.

- b. Toevoeging van de *look-ahead-faciliteit* aan het top-down inferentie-algoritme kan leiden tot het snoeien van de zoekruimte van het inferentieproces. Stel dat deze faciliteit geïmplementeerd is door middel van de functie **LookAhead**. In het standaard-algoritme worden de condities van de met look-ahead onderzochte regel door middel van de procedure **Apply** geëvalueerd als look-ahead slaagt (en *true* retourneert); anders wordt de regel niet toegepast.

Noem tenminste drie situaties waarin look-ahead zou slagen, maar waarin het niet noodzakelijk is de condities van de betreffende productieregel na toepassing van look-ahead te evalueren.

- c. Beschouw een kennissysteem waarin kennis gerepresenteerd kan worden met behulp van productieregels met variabele-waarde representatie, en waarin van top-down inferentie met conflictresolutie gebruik wordt gemaakt. De methode van conflictresolutie ordent productieregels op grond van een prioriteitsgetal dat vooraf aan de productieregels is toegekend. Beschouw nu de volgende twee implementaties van top-down inferentie:

Algoritme A: Een top-down inferentie-algoritme, waarbij geselecteerde productieregels in de procedure ‘Infer’ worden gesorteerd op grond van prioriteit met behulp van de functie *Sort*:

```

procedure Infer(variable)
global rule-base;
  Select(rule-base, variabele, selected-rules);
   $R \leftarrow \text{Sort}(\text{selected-rules})$ ;
  rule  $\leftarrow R$ ;
  while rule  $\neq$  nil do
    if not used(rule) then
      LookAhead(rule);
      Apply(rule)
    fi;
    rule  $\leftarrow R$ 
  od
end

```

Met ‘rule $\leftarrow R$ ’ wordt aangegeven dat de eerste regel van de gesorteerde lijst R wordt toegekend aan ‘rule’, en verwijderd (indien R niet leeg is) uit R ; als R leeg is, kent ‘rule $\leftarrow R$ ’ de lege waarde **nil** toe aan ‘rule’.

Algoritme B: Een top-down inferentie-algoritme, waarin gebruik wordt gemaakt van een queue, die in de globale variabele Q is vastgelegd, met operatie ‘ $v \leftarrow Q$ ’ waarmee het eerste element van de queue Q wordt verwijderd, en toegekend wordt aan v ; de lege queue is gelijk aan **nil**. De procedure ‘Infer’ is als volgt gespecificeerd:

```

procedure Infer(variable)
global rule-base, Q;
  Select(rule-base, variabele, selected-rules);
  Q ← Sort(Q ∪ selected-rules);
  while Q ≠ nil do
    rule ← Q;
    if not used(rule) then
      LookAhead(rule);
      Apply(rule)
    fi
  od
end

```

Veronderstel dat in productieregels slechts van de actie *add* gebruik wordt gemaakt, en neem aan dat alle variabelen meerwaardig zijn en geen vragen kunnen worden gesteld.

Zullen de algoritmen A en B voor elke verzameling productieregels en initiële feitenverzameling hetzelfde resultaat opleveren? Verklaar uw antwoord.

Opgave 7

Beschouw een kennissysteem met domeindeclaratie

$$D = \{x_a^s : \{A, D, E\}, y_a^s : \mathbf{int}, z_g^m : 2^{\{B,G\}}, w^m : 2^{\{C,H\}}\}$$

(dat wil zeggen: de variabele z is een doelvariabele, de variabelen x en y zijn eenwaardig (singlevalued) en vraagbaar (askable); z en w zijn meerwaardig (multivalued)), en verzameling productieregels:

$$\mathcal{R} = \{R_1 : \mathbf{if same}(x, A) \mathbf{then remove}(w, C) \mathbf{fi}, \\ R_2 : \mathbf{if notsame}(x, D) \mathbf{or lessthan}(y, 10) \mathbf{then add}(w, C) \mathbf{fi}, \\ R_3 : \mathbf{if equal}(y, 2) \mathbf{and notsame}(x, E) \mathbf{then add}(w, H) \mathbf{fi}, \\ R_4 : \mathbf{if same}(w, C) \mathbf{then add}(z, B) \mathbf{fi}\}$$

Een regelverzameling \mathcal{R} heet *equivalent* met een regelverzameling \mathcal{R}' als \mathcal{R} en \mathcal{R}' voor elke initiële feitenverzameling F na toepassing van top-down inferentie dezelfde feitenverzameling F' opleveren.

In het kennissysteem wordt gebruik gemaakt van top-down inferentie. De actie ‘remove’ is ongedefinieerd als deze wordt uitgevoerd op een variabele met waarde *unknown*. Neem nu aan dat in het top-down inferentie-algoritme een algoritme voor conflictresolutie vervat is, dat ongedefinieerde acties probeert te voorkomen door het aanbrengen van een ordening in geselecteerde regels.

- Laat zien hoe u de bovenstaande regelverzameling \mathcal{R} kunt herschrijven naar een equivalente regelverzameling \mathcal{R}' waarin de actie ‘remove’ niet voorkomt. Neem aan dat van het bovenbeschreven inferentie-algoritme gebruik wordt gemaakt.
- Laat nu in het algemeen zien hoe, en onder welke voorwaarden, een verzameling productieregels, waarin de actie ‘remove’ voorkomt, kan worden herschreven naar een equivalente verzameling regels \mathcal{R}' waarin slechts de actie ‘add’ voorkomt.

Opgave 8

In *heuristische*, diagnostische kennissystemen wordt diagnostische kennis gerepresenteerd aan de hand van informele regels van de vorm

als <*aanwijzingen*> **dan** <(sub)*diagnose*>

Bijvoorbeeld,

als koorts **en** hoesten **dan** influenza

In andere diagnostische kennissystemen, een klassiek voorbeeld is CASNET/GLAUCOMA, wordt echter gebruik gemaakt van *oorzaak-gevolg (causale) kennis* als basis voor diagnostiek. Informeel hebben regels in zo'n causaal, diagnostisch kennisysteem de volgende vorm:

als <*oorzaak*> **dan** <*gevolg*>

De kennis in de bovenstaande heuristische regel zou, bijvoorbeeld, kunnen worden vastgelegd in informele, causale regels van de vorm:

als influenza **dan** koorts
als influenza **dan** hoesten

Dit soort regels kan voor diagnose worden gebruikt. Als bijvoorbeeld sprake is van 'hoesten' dan kan de diagnose 'influenza' worden gesteld, omdat immers vastgelegd is dat 'hoesten' een causaal gevolg is van 'influenza'. Ook kunnen in zo'n causaal kennisysteem causale ketens van regels voorkomen, omdat conclusies en condities met elkaar mogen corresponderen. In het bovenstaand voorbeeld zou bijvoorbeeld de regel

als influenza-A **dan** influenza

kunnen worden toegevoegd.

Stel dat \mathcal{R} de formele productieregel-representatie is van (informele) causale regels als hierboven gegeven, waarbij van een object-attribuut-waarde representatie gebruik wordt gemaakt. Tevens is gedeclareerd welke attributen aan de gebruiker gevraagd moeten worden, en welke attributen als doelen fungeren. Vraagbare attributen komen gewoonlijk voor in een conclusie van een productieregel; doelen komen altijd voor in een conditie.

Een uitzondering op de regel dat vraagbare attributen voorkomen in de conclusie van regels, vormen vraagbare attributen die als *voorwaarde* op de causale relatie dienst doen. Bijvoorbeeld:

als influenza **en** leeftijd > 70 **dan** longontsteking

representeert een causale relatie tussen 'influenza' en 'longontsteking' die slechts van toepassing is voor personen ouder dan 70 jaar. Het attribuut 'leeftijd' wordt daarom gevraagd aan de gebruiker zodra de bovenstaande regel wordt toegepast.

- a. Pas nu het top-down inferentie zodanig aan dat het algoritme gebruikt kan worden voor diagnose in een causaal kennisysteem.

- b. Is elke heuristische kennisbank zondermeer te vertalen naar een kennisbank voor een causaal kennissysteem, zodanig dat altijd dezelfde feitenverzameling wordt verkregen met toepassing van respectievelijk de heuristische en causale vormen van het top-down inferentie-algoritme (neem bijvoorbeeld aan dat een patiënt alleen koorts heeft, en vergelijk de resultaten van de beide soorten regels)? Verklaar uw antwoord.

Bottom-up Inferentie

Neem in de opgaven in deze paragraaf aan dat alle variabelen eenwaardig zijn.

Opgave 9

Beschouw de volgende verzameling productieregels:

$\{R_1: \text{if same}(x, A) \text{ and lessthan}(z, 20) \text{ then add}(y, B) \text{ fi},$
 $R_2: \text{if same}(x, C) \text{ and lessthan}(z, 15) \text{ then add}(u, D) \text{ fi},$
 $R_3: \text{if same}(y, B) \text{ and same}(u, D) \text{ then add}(u, H) \text{ fi}\}$

Deze verzameling regels wordt geraadpleegd met behulp van bottom-up inferentie waarin van conflictresolutie door recentheid wordt gebruik gemaakt. Veronderstel dat de volgende initiële feitenverzameling F gegeven is:

$$F = \{1 : x = A, 2 : y = B, 3 : z = 10, 4 : x = C, 5 : z = 19\}$$

- Geef de conflict set van regelinstantiaties die in de eerste inferentiestap op basis van bovenstaande regels en feiten wordt geconstrueerd. Welke instantiatie wordt voor evaluatie gekozen?
- Laat zien hoe de feitenverzameling veranderd is na evaluatie van de geselecteerde instantiatie. Zal de inferentie uiteindelijk termineren? Motiveer uw antwoord aan de hand van de wijzigingen die achtereenvolgens in de feitenverzameling zullen optreden.
- Stel dat de volgende productieregel aan de bovengegeven verzameling productieregels wordt toegevoegd:

$R_4: \text{if same}(x, C) \text{ and greaterthan}(z, 0) \text{ then remove}(2) \text{ fi}$

Het uitvoeren van de actie ‘remove(2)’ heeft tot gevolg dat het feit dat matcht met de tweede conditie in de productieregel uit de feitenverzameling wordt verwijderd. Neem aan dat gebruik wordt gemaakt van dezelfde initiële feitenverzameling F als boven gegeven is. Geef de feitenverzameling na terminatie van de inferentie.

- Kan de keuze van de conflict-resolutie strategie van invloed zijn op het al dan niet termineren van bottom-up inferentie met een gegeven regelverzameling R en feitenverzameling F ? Motiveer uw antwoord.

Opgave 10

- Zij gegeven de volgende verzameling productieregels:

$\{R_1: \text{if same}(x, A) \text{ and equal}(y, 10) \text{ then add}(z, B) \text{ fi},$
 $R_2: \text{if same}(z, C) \text{ and lessthan}(y, 20) \text{ then add}(x, A) \text{ fi}\}$

en de volgende feitenverzameling F :

$$F = \{1 : x = A, 2 : z = C, 3 : y = 10, 4 : z = C\}$$

Er wordt gebruik gemaakt van bottom-up inferentie om uit de gegeven feiten en regels nieuwe feiten af te leiden. Geef de conflict set die op basis van de bovengegeven productieregels en feitenverzameling geconstrueerd wordt. Welke regelinstantiatie wordt hieruit gekozen voor evaluatie als conflictresolutie op basis van recentheid wordt toegepast? Hoe is de feitenverzameling veranderd na evaluatie van de gekozen instantiatie. Zal de inferentie uiteindelijk termineren? Motiveer uw antwoord.

- b. Stel dat de volgende productieregel wordt toegevoegd aan de bovenstaande twee regels voorafgaand aan de consultatie van de kennisbank:

R_3 : **if** same(z, B) **then** add(z, C) **fi**

Er wordt uitgegaan van dezelfde initiële feitenverzameling F als in opgave a. Geef de feitenverzameling die uiteindelijk resulteert. Zal de inferentie termineren? Motiveer uw antwoord.

- c. Geef een korte beschrijving van een algoritme voor bottom-up inferentie voor niet-temporeel redundante toepassingen, waarin de selectie van regels uit de regelverzameling voor de conflict-set op efficiëntere wijze plaatsvindt dan door middel van sequentieel zoeken.
- d. Bij productiesystemen worden twee vormen van non-determinisme onderscheiden, te weten non-determinisme ten gevolge van het niet gespecificeerd zijn van:
- de volgorde waarin toepasbare regels geselecteerd worden, en
 - de volgorde waarin de condities en conclusies geëvalueerd worden.

Indien men een bepaalde strategie van bottom-up inferentie met conflictresolutie met recentheid wenst toe te passen, welke keuze(n) voor de genoemde vormen van non-determinisme, zal (zullen) dan invloed hebben op het gedrag van het systeem? Geef een toelichting.

Opgave 11

- a. Beschouw de volgende verzameling productieregels:

R_1 : **if** same(x, A) **then** add(y, B) **fi**,
 R_2 : **if** same(y, B) **then** remove(y, B) **also** add(x, A) **fi**,
 R_3 : **if** same(x, A) **and** same(y, B) **then** remove(x, A) **fi**}

Het uitvoeren van een conclusie van de vorm 'remove(v, C)' heeft tot gevolg dat het feit ' $t : v = C$ ' met hoogste time-tag t uit de feitenverzameling wordt verwijderd. Deze verzameling regels wordt geraadpleegd met behulp van bottom-up

inferentie waarin van conflict resolutie door recentheid wordt gebruik gemaakt. Veronderstel dat de volgende initiële feitenverzameling F gegeven is:

$$F = \{1 : y = B\}$$

Geef de conflict set van regelinstantiaties die in de eerste inferentiestap op basis van bovenstaande regels en feiten wordt gevormd. Welke instantiatie wordt voor evaluatie gekozen? Geef de feitenverzameling die na evaluatie van de geselecteerde regelinstantiatie resulteert.

- b. Beschouw nogmaals de productieregels en de feitenverzameling die bij onderdeel a van deze opgave gegeven zijn. Zal de inferentie uiteindelijk termineren? Motiveer uw antwoord aan de hand van de wijzigingen die achtereenvolgens in de oorspronkelijke feitenverzameling zullen plaatsvinden.
- c. Beschouw een fabriek waarin de toestand van een bepaalde machine dag en nacht bewaakt moet worden. Daartoe worden met korte tussenpozen allerlei parameters aan de machine, zoals bijvoorbeeld de temperatuur, gemeten. Als bepaalde afwijkingen in de parameterwaarden in een vaste volgorde met tussenpozen na elkaar optreden, moet de machine stilgezet worden. Veronderstel dat u een regelgebaseerd kennissysteem dient te ontwikkelen dat de toestand van de machine bewaakt en een alarmmelding geeft zodra een ongewenste wijziging in de toestand is opgetreden. Beschrijf in het kort hoe de productieregels van uw systeem er uit zouden zien.