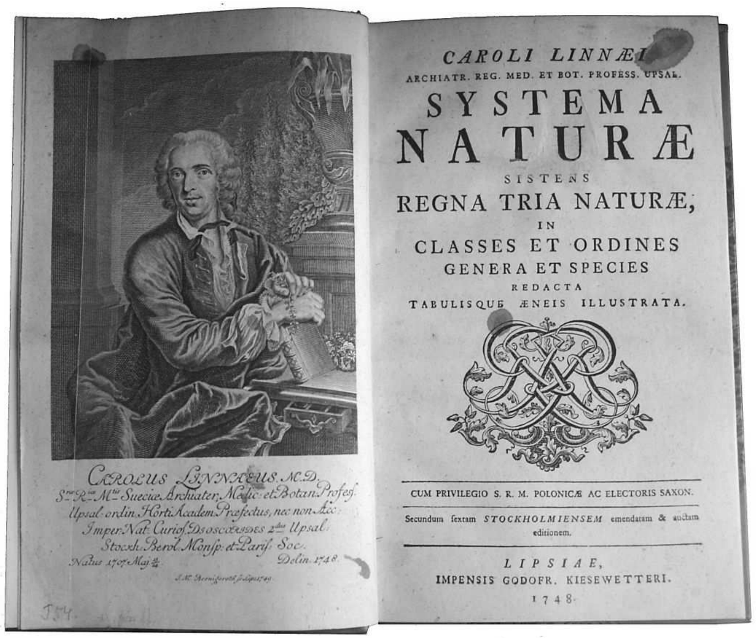
Semantische Netwerken & Frames

- Belang laatste jaren zeer sterk toegenomen:
  - als basis voor description logics (DL's)
  - als basis voor de beschrijving van terminologieën in bepaalde domeinen
  - met toename van niveau van automatisering neemt ook het belang van de beschrijving van domeinen toe
- Semantisch web:

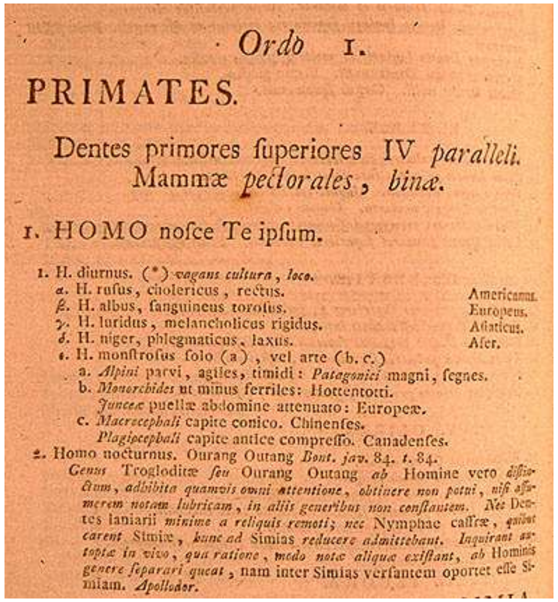
Geen revolutie ...



Ontologieën

- Ontologie: leer van het zijn (Aristoteles, Metaphysica)
- In de AI, artefact dat:
  - gebruik maakt van een vocabulaire,
  - samen met een verzameling regels over syntax en betekenis,
  - met als doel: computer-begrijpelijke beschrijving van domeinen
- Typische bouwstenen:
  - namen (concepten)
  - relaties en constraints
- Populair: in medisch-biologisch onderzoek (bijv. http://bioontology.org/)

Linnaeus



Ordo I.

PRIMATES.

Dentes primores ſuperiores IV *paralleli.*
Mammæ *pectorales*, *binæ.*

1. HOMO noſce Te ipſum.

1. H. diurnus. (*) *vagans cultura*, *loco.*
α. H. rufus, cholericus, rectus. Americanus.
β. H. albus, ſanguineus toroſus. Europeus.
γ. H. luridus, melancholicus rigidus. Aſiaticus.
δ. H. niger, phlegmaticus, laxus. Afer.
ε. H. monſtroſus ſolo (a), vel arte (b. c.)
a. *Alpini* parvi, agiles, timidi: *Patagonici* magni, ſegnes.
b. *Monorchides* ut minus ferriles: Hottentotti.
Junceæ puellæ abdomine attenuato: Europeæ.
c. *Macrocephali* capite conico. Chinenſes.
Plagiocephali capite antice compreſſo. Canadenſes.
2. Homo nocturnus. Ourang Outang *Bont. jav.* 84. *t.* 84.
Genus Troglodytæ *ſeu* Ourang Outang *ab* Homine vero *diſtinctum*, *adhibita quamvis omni attentione*, *obtinere non potui*, *niſi aſſumerem notam lubricam*, *in aliis generibus non conſtantem.* *Nec* Dentes laniarii *minime a reliquis remoti*; *nec* Nymphae caſtræ, *quibus carent* Simiæ, *hunc ad* Simias *reducere admittebant.* *Inquirant autoptæ in vivo*, *qua ratione*, *modo notæ aliquæ exiſtant*, *ab* Hominis *genere ſeparari queat*, nam inter Simias verſantem oportet eſſe Simiam. *Apollodor.*

Ontwikkeling

- Kennisrepresentatie, niet-monotoon redeneren
- Semantisch web:
  - Resource Description Framework (RDF)
  - RDF Schema: toevoeging van noties zoals klasse, property, type, etc., maar geen standaardsemantiek en geen redeneerondersteuning
  - OWL DL (Web Ontology Language/Description Logic): standaardsemantiek (modeltheorie) en redeneerondersteuning

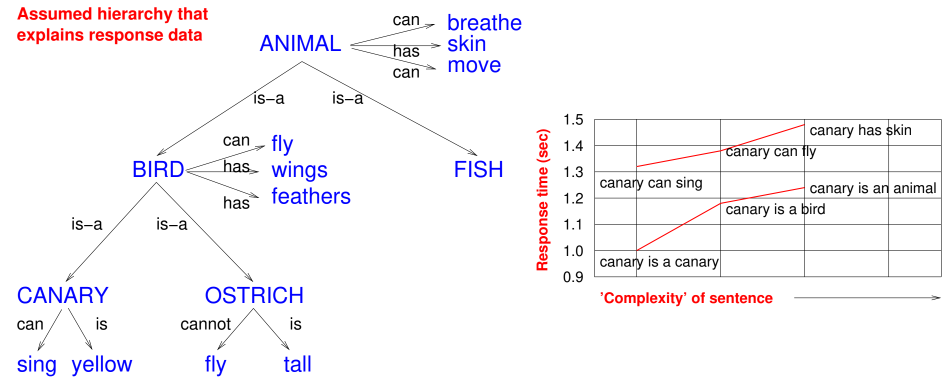
    http://www.w3.org/TR/owl-features
- Basis: semantische netwerken en frame-formalisme

Representatie van relaties

1. **Semantische netwerken:**
   - syntactisch: knopen en relaties tussen knopen
   - weergegeven als graaf
   - semantiek van knopen en relaties
2. **Frames:**
   - (binaire) relaties weergegeven als attributen
   - overerving
   - subtypering
   - vorm van objectoriëntatie

Semantisch netwerk

The relationship between human recall time and hierarchical storage. Note that recall times increase as the subject must 'move up' in the hierarchy to locate values.



Frame-formalisme

Groepeer alle kennis m.b.t. bepaald concept

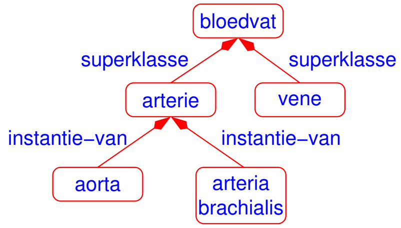
Voorbeeld

"Een arterie is een bloedvat. Een arterie vervoert bloed van het hart naar de weefsels en wordt gekenmerkt door een dikke wand met relatief veel spierweefsel"

Frame-taxonomie: hiërarchische organisatie

- Knopen: klasse-frames en instanties
- Pijlen: superklasse en instantie-van relaties

Voorbeeld



Syntax framerepresentatie

class bloedvat **is**
  superclass nil;
  structuur = buis;
  bevat = bloed
end

class arterie **is**
  superclass bloedvat;
  wand = gespierd
end

instance aorta **is**
  instance-of arterie;
  diameter = 2.5
end

Betekenis van frameformalisme

Semantiek frameformalisme gelijkstellen aan equivalente logische formules:

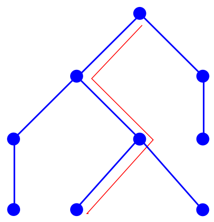
class C **is**	$\forall x(C(x) \to S(x))$
superclass S;	
$a_1 = b_1$;	$\forall x(C(x) \to a_1(x) = b_1)$
$\vdots$	$\vdots$
$a_n = b_n$	$\forall x(C(x) \to a_n(x) = b_n)$
end	
instance i **is**	$C(i)$
instance-of C;	
$d_1 = e_1$;	$d_1(i) = e_1$
$\vdots$	$\vdots$
$d_m = e_m$	$d_m(i) = e_m$
end	

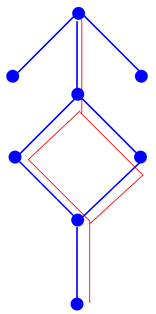
Inferentie: Overerving

- Basisinferentievorm: overerving of inheritance
- Frame erft attribuut-waarde paren van generalisaties

Twee vormen van overerving:

1. Enkelvoudig: in boomvormige taxonomie
2. Meervoudig: in graafvormige taxonomie



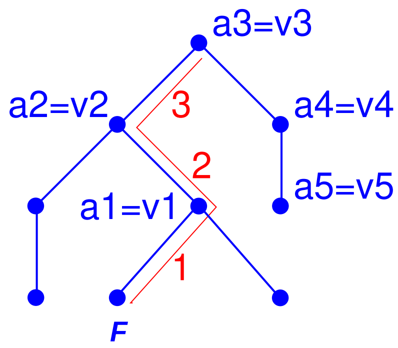


Enkelvoudige overerving

Voorwaarde: unieke attribuutnamen

Voorbeeld

function Inherit(frame, a-v-pairs)
  if frame = **nil**
  then return(a-v-pairs)
  fi;
  a-v-pairs ← a-v-pairs ∪
    AttributePart(frame);
  return(Inherit(superframe(frame),
    a-v-pairs))
end



F erft $a_1 = v1, a_2 = v_2$ en $a_3 = v_3$

Excepties

Geen unieke attribuutnamen $\Rightarrow$ excepties (uitzonderingen) / inconsistenties

Voorbeeld

class arterie **is**
  instance-of arterie;
  superclass bloedvat;
  bloed = zuurstofrijk
end

instance a-pulmonalis **is**
  instance-of arterie;
  bloed = zuurstofarm
end

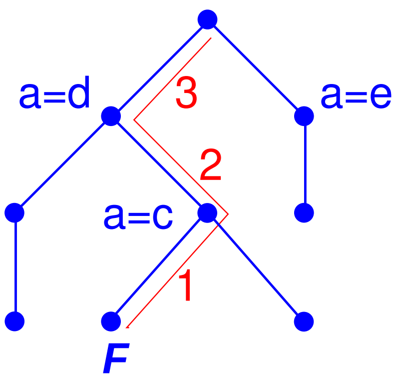
$\forall x(\text{arterie}(x) \rightarrow \text{bloedvat}(x))$
$\forall x(\text{arterie}(x) \rightarrow \text{bloed}(x) = \text{zuurstofrijk})$
arterie(a-pulmonalis)
bloed(a-pulmonalis) = zuurstofarm
Logisch inconsistent!
Oplossing: locaal 'overschrijven'

Enkelvoudige overerving met excepties

Zoek in taxonomie tot waarde gevonden is:

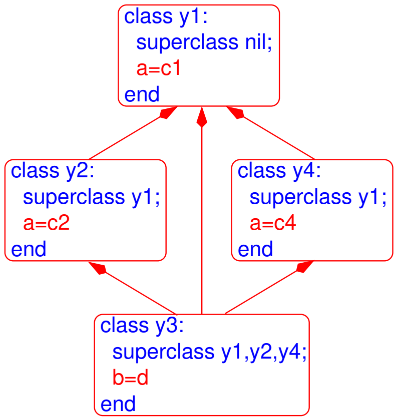
```
function Inherit(frame, a-v-pairs)
  if    frame = nil
  then return(a-v-pairs)
  fi;
  pairs ← AttributePart(frame);
  a-v-pairs ← a-v-pairs ∪
        NewAttributes(pairs, a-v-pairs);
  return(Inherit(superframe(frame), a-v-pairs))
end
```

Voorbeeld



F erft $a = c$

Meervoudige overerving met excepties



Vragen:

1. Taxonomie consistent?
2. Zo ja: geërfde waarde attribuut a van y_3?

Eis oplossing (overervingsmethode): toepasbaar voor graaf- en boomvormige taxonomieën!

Wiskundige notatie

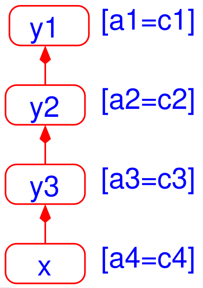
Een taxonomie T is een tupel $T = (N, \Theta, \ll, \leq)$, met $N = (I, K, A, C)$:

- $K = \{y_1, \ldots, y_n\}$: klasse-frames
- $I = \{x_1, \ldots, x_m\}$: instanties
- $\leq \subseteq K \times K$: subklasse-relatie; $(y_1, y_2) \in \leq$ wordt genoteerd als $y_1 \leq y_2$ ("y_1 is een subklasse van y_2")
- $\ll : I \rightarrow K$: instantie-van functie; $\ll(x) = y$ wordt genoteerd als $x \ll y$ ("x is een instantie van y")
- A: verzameling attributen
- C: verzameling constanten
- $\Theta \subseteq (I \cup K) \times A \times C$: attribuut-waarde relatie; $(y, a, c) \in \Theta$ wordt genoteerd als $y[a = c]$.

Voorbeeld

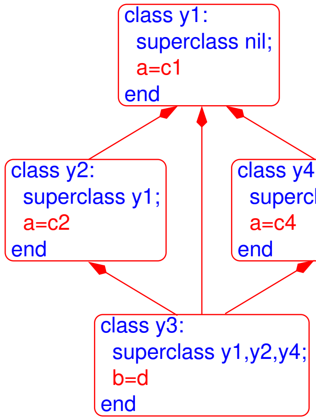
class y_1 **is**
 superclass nil;
 a_1 = c_1
end
class y_3 **is**
 superclass y_2;
 a_3 = c_3
end

class y_2 **is**
 superclass y_1;
 a_2 = c_2
end
instance x **is**
 instance-of y_3;
 a_4 = c_4
end



$T = (N, \Theta, \ll, \leq)$, met $N = (I, K, A, C)$
$I = \{x\}$ en $K = \{y_1, y_2, y_3\}$
$\Theta = \{y_1[a_1 = c_1], y_2[a_2 = c_2],$
$y_3[a_3 = c_3], x[a_4 = c_4]\}$
$x \ll y_3$, $y_3 \leq y_2$, $y_2 \leq y_1$

Overerving in graafvormige taxonomieën



- Idee: Registreer paden die leiden naar frame met bepaalde attribuutwaarde
- Paden bij gebruik $\leq$: overervingsketens (inheritance chains)
- Overervingsketens toepasbaar bij graaf- en boomvormige taxonomieën

Overervingsketens

Zij $T = (N, \Theta, \ll, \leq)$ een taxonomie. **Vorm** van

overervingsketen ω in T: $\omega = \begin{cases} y_1 \leq \cdots \leq y_n, \text{ of} \\ y_1 \leq \cdots \leq y_n[a = c] \end{cases}$,

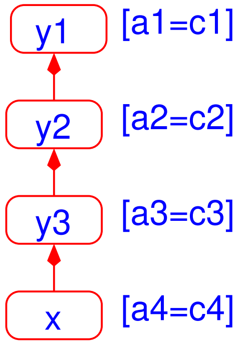
waarbij $y_i \in K$ en $y_n[a = c] \in \Theta$

Constructie verzameling overervingsketens Ω_T:

1. $\forall y \in K : y \in \Omega_T$
2. $\forall y[a = c] \in \Theta : y[a = c] \in \Omega_T$
3. $\forall (y_1, y_2) \in \leq$: $y_1 \leq y_2 \in \Omega_T$
4. $\forall y_1 \leq \cdots \leq y_k \in \Omega_T$ en $\forall y_k \leq \cdots \leq y_n \in \Omega_T$:
   $y_1 \leq \cdots \leq y_n \in \Omega_T$
5. $\forall y_1 \leq \cdots \leq y_n \in \Omega_T$ en $y_n[a = c] \in \Omega_T$:
   $y_1 \leq \cdots \leq y_n[a = c] \in \Omega_T$

Voorbeeld Ω_T

Taxonomie T:



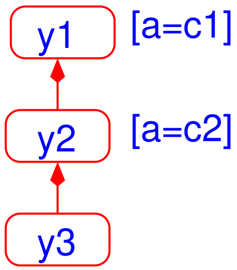
$$\begin{aligned} T &= (N, \Theta, \ll, \leq) \\ N &= (I, K, A, C) \\ I &= \{x\} \\ K &= \{y_1, y_2, y_3\} \\ \Theta &= \{y_1[a_1 = c_1], y_2[a_2 = c_2], \\ & \quad y_3[a_3 = c_3], x[a_4 = c_4]\} \end{aligned}$$

$x \ll y_3$
$y_3 \leq y_2$, $y_2 \leq y_1$

Verzameling overervingsketens Ω_T bevat:
y_1, $y_2 \leq y_1$, y_2, $y_2 \leq y_1[a_1 = c_1]$,
y_3, $y_3 \leq y_2$, $y_1[a_1 = c_1]$, $y_3 \leq y_2[a_2 = c_2]$,
$y_2[a_2 = c_2]$, $y_3 \leq y_2 \leq y_1$, $y_3[a_3 = c_3]$, $y_3 \leq y_2 \leq y_1[a_1 = c_1]$

Conclusieverzameling

Overervingsketen: mogelijke route:



1. $\omega_1 = y_3 \leq y_2 \leq y_1[a = c_1] \Rightarrow y_3[a = c_1]$
2. $\omega_2 = y_3 \leq y_2[a = c_2] \Rightarrow y_3[a = c_2]$

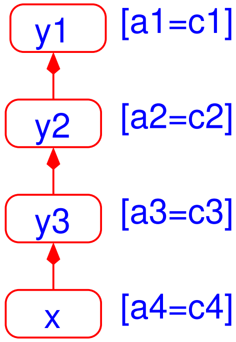
$\Rightarrow$ Bereken conclusie van overervingsketen: overerving zonder excepties.

Conclusie $c(\omega)$ van overervingsketen $\omega \in \Omega_T$:

$$c(\omega) = \begin{cases} y_1[a = c] & \text{als } \omega \equiv y_1 \leq \cdots \leq y_n[a = c] \\ \perp & \text{anders} \end{cases}$$

Conclusieverzameling $C(\Omega_T) = \{c(\omega) | \omega \in \Omega_T\}$

Voorbeeld $C(\Omega_T)$



Overervingsketens Ω_T =
$\{y_1, y_2, y_3,$
$y_1[a_1 = c_1],$
$y_2[a_2 = c_2],$
$y_3[a_3 = c_3],$
$y_2 \leq y_1,$
$y_2 \leq y_1[a_1 = c_1],$
$y_3 \leq y_2,$
$y_3 \leq y_2[a_2 = c_2],$
$y_3 \leq y_2 \leq y_1,$
$y_3 \leq y_2 \leq y_1[a_1 = c_1]\}$

Conclusieverzameling $C(\Omega_T) = \{y_1[a_1 = c_1], y_2[a_2 = c_2], y_3[a_3 = c_3], y_2[a_1 = c_1], y_3[a_2 = c_2], y_3[a_1 = c_1]\}$

Consistentie

Conclusieverzameling $C(\Omega_T)$ heet:

- inconsistent als $y[a = c_1] \in C(\Omega_T)$ en $y[a = c_2] \in C(\Omega_T), c_1 \neq c_2$
- consistent anders

Voorbeeld
Verzameling overervingsketens Ω_T bevat o.a.:
a-pulmonalis[bloed=zuurstofarm]
a-pulmonalis $\leq$ arterie[bloed=zuurstofrijk]

Conclusieverzameling $C(\Omega_T)$ bevat o.a.:
a-pulmonalis[bloed=zuurstofarm]
a-pulmonalis[bloed=zuurstofrijk]

$\Rightarrow C(\Omega_T)$ is inconsistent

Omgaan met inconsistentie $C(\Omega_T)$

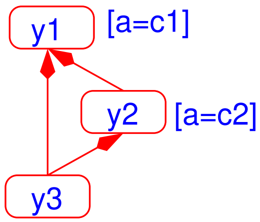
Algoritme voor meervoudige overerving met excepties moet uitsluitend opleveren:

1. oplossen inconsistentie:

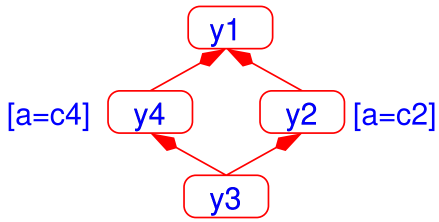
$$y_3[a = c_2], y_2[a = c_2], y_1[a = c_1]$$

2. signaleren inconsistentie

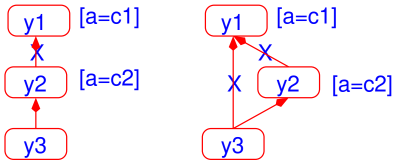
(1)



(2)



Tussenliggende klassen



X : blokkeren overerving

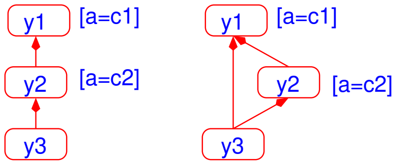
Basisidee meervoudige overerving met excepties (gebruik partiële ordening):

- klasse y_2 ligt tussen y_3 en y_1
- y_2 'blokkeert' overerving door y_3 van y_1

Klasse $y \in K$ heet tussenliggend (intermediary) in keten $y_1 \leq \cdots \leq y_n \in \Omega_T$ als:

- $y = y_i$ voor zekere $i, 1 \leq i \leq n$, of
- $y_1 \leq \cdots \leq y_p \leq z_1 \leq \cdots \leq z_m \leq y_q \in \Omega_T$ bestaat zodat $y = z_k$, $1 \leq k \leq m, 1 \leq p < q \leq n$

Voorbeeld



Ω_{T1} bevat o.a.
$y_2 \leq y_1$,
$y_2 \leq y_1[a_1 = c_1]$,
$y_3 \leq y_2 \leq y_1$,
$y_3 \leq y_2 \leq y_1[a_1 = c_1]$

y_2 tussenliggend in $y_3 \leq y_2 \leq y_1$ en $y_2 \leq y_1$

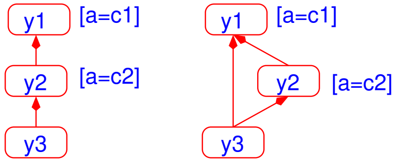
Ω_{T2} bevat o.a.
$y_2 \leq y_1$,
$y_2 \leq y_1[a_1 = c_1]$,
$y_3 \leq y_2 \leq y_1$,
$y_3 \leq y_2 \leq y_1[a_1 = c_1]$,
$y_3 \leq y_1$, $y_3 \leq y_1[c_1 = a_1]$

y_2 tussenliggend in $y_3 \leq y_2 \leq y_1$ en $y_2 \leq y_1$ en $y_3 \leq y_1$

Uitsluiten van ketens

Basisidee: uitsluiten overervingsketens vóór berekening conclusieverzameling

Keten $y_1 \leq \cdots \leq y_n[a = c_1] \in \Omega_T$ sluit keten $y_1 \leq \cdots \leq y_m[a = c_2] \in \Omega_T$ uit als: (1) y_n tussenliggend in $y_1 \leq \cdots \leq y_m$, en (2) $c_1 \neq c_2, m \neq n$



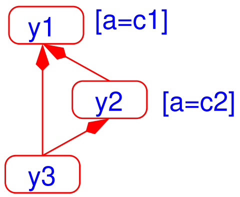
1. $y_3 \leq y_2[a = c_2]$ sluit $y_3 \leq y_2 \leq y_1[a = c_1]$ uit (want y_2 tussenliggend in $y_3 \leq y_2 \leq y_1$)
2. $y_3 \leq y_2[a = c_2]$ sluit $y_3 \leq y_1[a = c_1]$ uit (want y_2 tussenliggend in $y_3 \leq y_1$)

Erfbare conclusieverzameling

Keten $\omega \in \Omega_T$ heet erfbaar (inheritable) als er geen $\omega' \in \Omega_T$ bestaat die ω uitsluit

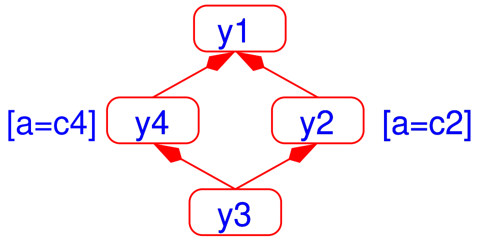
Erfbare conclusieverzameling van Ω_T is $H(\Omega_T)$={$c(\omega)|\omega$ niet uitgesloten door $\omega' \in \Omega_T$}

Voorbeeld



$C(\Omega_T)$ = {$y_1[a = c_1]$, $y_2[a = c_1]$, $y_2[a = c_2]$, $y_3[a = c_1]$, $y_3[a = c_2]$}
$H(\Omega_T)$ = {$y_1[a = c_1]$, $y_2[a = c_2]$, $y_3[a = c_2]$}

Signaleren inconsistentie

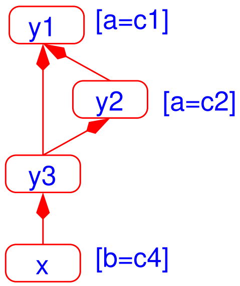


- $y_3 \leq y_4[a = c_4]$ wordt niet uitgesloten
- $y_3 \leq y_2[a = c_2]$ wordt niet uitgesloten

$$H(\Omega_T) = \{y_4[a = c_4], y_2[a = c_2], \\ y_3[a = c_4], y_3[a = c_2]\}$$

$\Rightarrow H(\Omega_T)$ inconsistent
$\Rightarrow$ Daardoor taxonomie T inconsistent

Overerving en instanties



Erfbare conclusieverzameling
$H(\Omega_T)$ = $\{y_1[a = c_1],\ y_2[a = c_2],\ y_3[a = c_2]\}$

Als $H(\Omega_T)$ consistent, waarden voor $x \in I$:
$e_H(x) = \{x[a = c] \mid x[a = c] \in \Theta\} \cup \{x[a = c] \mid x \ll y,$
$y[a = c] \in H(\Omega_T)$ en $\forall d \neq c : x[a = d] \notin \Theta\}$

Erfbare extensie: $E_H(\Omega_T) = \bigcup_{x \in I} e_H(x)$

Voorbeeld: $E_H(\Omega_T) = e_H(x) = \{x[a = c_2], x[b = c_4]\}$

Samenvatting

1. Overervingsketens Ω_T
2. Conclusieverzameling $C(\Omega_T)$
   - consistent (enkel- en meervoudige overerving zonder excepties) $\Rightarrow$ waarden
   - inconsistent (enkel- en meervoudige overerving met excepties): naar 3.
3. Erfbare conclusieverzameling $H(\Omega_T)$
   - consistent (oplossing) $\Rightarrow$ waarden
   - inconsistent (signaleren) $\Rightarrow$ taxonomie inconsistent