Ekspertski Sistemi Vežbe

Produkcioni sistemi

April 2013.

Program vežbi

- Algoritmi pretraživanja
- Teorija igara
- Formalna logika (metodologija predstavljanja znanja)
- Produkcioni sistemi
- Uvod u mašinsko učenje
- Strategije rešavanja problema
- Rad u neizvesnom okruženju

Uvod

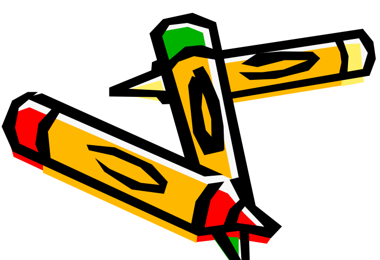
- Produkcioni sistem je skup pravila oblika logičke implikacije:
  - Preduslov => zaključak
- Analitički i sintetički produkcioni sistemi

Pretpostavke, medjupredikati, ciljni stav

- Pretpostavke koje se pojavljuju isključivo u preduslovima pravila
- Ciljevi, koji se pojavljuju isključivo u zaključcima
- Medjupredikati, koji se mogu pojaviti i u preduslovima jednih i u zaključcima drugih pravila

Zaključivanje u produkcionim sistemima

- Zaključivanje pomoću produkcionih sistema predstavlja proces utvrdjivanja istinitosne vrednosti zaključka na onovu zadatih istinitosnih vrednosti pretpostavki
  - Direktno ulančavanje
  - Povratno ulančavanje
  - Hibridno ulančavanje



Zadatak 1: Zaključivanje direktnim ulančavanjem

Posmatrajmo sledeću bazu znanja koja se sastoji od pravila (produkcija) i činjenica

if b(x) then a(x)

if c(x) and d(x) then b(x)

if e and f(x) then d(x)

if g(x) then c(x)

g(2)

f(5)

g(5)

e

Koje sve nove činjenice i po kom redosledu proizilaze primenom direktnog ulančavanja sa fokusiranjem pažnje (engl. *focus of attention*) na nove činjenice?

- e, f(x), g(x) predstavljaju pretpostavke
- b(x), c(x), d(x) predstavljaju medjupredikate
- a(x) je ciljni stav

- g(2), f(5), g(5) i e definišu istinitost pretpostavki za odredjene konkretne vrednosti promenljivih

- Prikazani sistem sadrži predikate koji imaju argumente u kojima se pojavljuju promenljive
- Promenljive se posmatraju kao univerzalno kvantifikovane
- Tokom zaključivanja promenljive se vezuju, odnosno dobijaju konkretne vrednosti

Zaključivanje direktnim ulančavanjem

1. Formirati listu, L, neupotrebljenih činjenica (očuvati redosled ?)
2. Izabrati činjenicu F sa početka liste i ukloniti je iz liste.

   2.1. Za svako pravilo R koje u preduslovu sadrži predikat P koji može upariti činjenicu preduzeti sledeće korake (not(P) pravila se ignorišu u ovom prolazu):

2.1.1 Kreirati novo pravilo R' koje je istog oblika kao pravilo R s tim da je predikat P uklonjen iz preduslova pravila R. Ako je došlo do vezivanja u pravilu R' pojavljuju se nove vrednosti

2.1.2 Ako se novo pravilo sastoji samo od zaključka radi se o novoj činjenici (stavlja se na početak liste). Iz baze znanja ukloniti sva pravila čija je desna strana istovetna novoj činjenici

2.1.3 Ako novo pravilo R' pored zaključka sadrži i preduslov, potrebno je novo pravilo staviti u bazu znanja. Novo pravilo se stavlja neposredno ispred pravila R od kojeg je nastalo.

Ukoliko postoji još neki predikat u preduslovu R koji može upariti činjenicu F tada novo pravilo stavljamo iza pravila R

2.1.4 Ukoliko je pravilo R suvišno posle dodavanja pravila R', ukloniti pravilo R iz baze znanja.

Pravilo R je suvišno ako njegov zaključak nije opštiji od zaključka pravila R'.

3. Ponavljati korak 2 sve dok se ne isprazni lista činjenica

4. Razmatrati redom pravila: za svaki oblik not(P) koji se pojavljuje u pravilima, ispitati da li predikat P uparuje neku od činjenica. Ako je odgovor negativan, dodati not(P) listi L i ponoviti korak 2

Lista neupotrebljenih činjenica:

- g(2), f(5), g(5), e

1. if b(x) then a(x)
2. if c(x) and d(x) then b(x)
3. if e and f(x) then d(x)
4. if g(x) then c(x)

Dobijene činjenice: -

- Činjenica g(2)
- Jedino preduslov pravila 4 (if g(x) then c(x)) uparuje ovu činjenicu
- Promenljiva x dobija vrednost 2

- Dobijamo novu činjenicu c(2)
- Činjenicu stavljamo na čelo liste
- Pravilo se ne uklanja iz baze (zaključak je opštiji)

Lista neupotrebljenih činjenica:

- c(2), f(5), g(5), e

1. if b(x) then a(x)
2. if c(x) and d(x) then b(x)
3. if e and f(x) then d(x)
4. if g(x) then c(x)

Dobijene činjenice: c(2)

- Činjenica c(2)
- Jedino preduslov pravila 2
  (if c(x) and d(x) then b(x))
  uparuje ovu činjenicu
- Promenljiva x dobija vrednost 2
- Kreira se novo pravilo: if d(2) then b(2)

- Novo pravilo ispred
- Pravilo se ne uklanja iz baze (zaključak je opštiji)

Lista neupotrebljenih činjenica:

- f(5), g(5), e

- if b(x) then a(x)
- if d(2) then b(2)
- if c(x) and d(x) then b(x)
- if e and f(x) then d(x)
- if g(x) then c(x)

Dobijene činjenice: c(2)

- Činjenica f(5)
- Jedino preduslov pravila 4 (if e and f(x) then d(x)) uparuje ovu činjenicu

- Novo pravilo: if e then d(5)
- Pravilo se ne uklanja iz baze (zaključak je opštiji)

Lista neupotrebljenih činjenica:

- g(5), e

- if b(x) then a(x)
- if d(2) then b(2)
- if c(x) and d(x) then b(x)
- if e then d(5)
- if e and f(x) then d(x)
- if g(x) then c(x)

Dobijene činjenice: c(2)

- Činjenica *g*(5)
- Jedino preduslov pravila 6 (if *g*(x) then c(x)) uparuje ovu činjenicu

- Nova činjenica c(5)
- Dodaje se na početak liste
- Baza ostaje neizmenjena

Lista neupotrebljenih činjenica:

- c(5), e

1. if b(x) then a(x)
2. if d(2) then b(2)
3. if c(x) and d(x) then b(x)
4. if e then d(5)
5. if e and f(x) then d(x)
6. if g(x) then c(x)

Dobijene činjenice: c(2), c(5)

- Činjenica c(5)
- Jedino preduslov pravila 3 (if c(x) and d(x) then b(x)) uparuje ovu činjenicu

- Novo pravilo: if d(5) then b(5)

Lista neupotrebljenih činjenica:

- e

- if b(x) then a(x)
- if d(2) then b(2)
- if d(5) then b(5)
- if c(x) and d(x) then b(x)
- if e then d(5)
- if e and f(x) then d(x)
- if g(x) then c(x)

Dobijene činjenice: c(2), c(5)

- Činjenica e
- Odgovaraju dva pravila 5 i 6
  - if e then d(5)
  - if e and f(x) then d(x)

- Na osnovu pravila 5 dobija se nova činjenica d(5)
- Pravilo 5 se uklanja iz baze (zaključak odgovara dobijenoj činjenici)

- Na osnovu pravila 6 (if e and f(x) then d(x)) dobija se novo pravilo
  - if f(x) then d(x)

- Pravilo 6 se uklanja kao redundantno

Lista neupotrebljenih činjenica:

- d(5)

- if b(x) then a(x)
- if d(2) then b(2)
- if d(5) then b(5)
- if c(x) and d(x) then b(x)
- if f(x) then d(x)
- if g(x) then c(x)

Dobijene činjenice: c(2), c(5), d(5)

- Činjenica d(5)
- Odgovaraju dva pravila 3 i 4
  - if d(5) then b(5)
  - if c(x) and d(x) then b(x)
- Na osnovu pravila 3 dobija se nova činjenica b(5)
- Pravilo 3 se uklanja iz baze (zaključak odgovara dobijenoj činjenici)

- Na osnovu pravila 4 (c(x) and d(x) then b(x)) dobija se novo pravilo
  - if c(5) then b(5)
- Nema potrebe unosti u bazu (postoji činjenica b(5)

Lista neupotrebljenih činjenica:

- b(5)

1. if b(x) then a(x)
2. if d(2) then b(2)
3. if c(x) and d(x) then b(x)
4. if f(x) then d(x)
5. if g(x) then c(x)

Dobijene činjenice: c(2), c(5), d(5), b(5)

- Činjenica b(5)
- Odgovara pravilo 1 (if b(x) then a(x))
- Nova činjenica a(5)
- Baza znanja se ne menja

- Sa a(5) nije moguće dobiti nove činjenice

Lista neupotrebljenih činjenica:

- -

1. if b(x) then a(x)
2. if d(2) then b(2)
3. if c(x) and d(x) then b(x)
4. if f(x) then d(x)
5. if g(x) then c(x)

Dobijene činjenice: c(2), c(5), d(5), b(5), a(5)

Zadatak 2: Zaključivanje povratnim ulančavanjem

- Posmatrajmo bazu znanja:

if b(x) then a(x)
if c(x) and d(x) then b(x)
if e and f(x) then d(x)
if g(x) then c(x)

g(2)
f(5)
g(5)
e

Zahtev

Prikazati proces zaključivanja o istinitosti cilja a(x) povratnim ulančavanjem

- Promenljiva x u ciljnom predikatu smatra se egzistencijano kvantifikovanom
- Da bi cilj bio ispunjen, dovoljno je naći jednu konkretnu vrednost C za promenljivu x za koju je predikat a(C) ispunjen

- Povratno rezonovanje je ciljno usmereno
- Polazi od zadatog cilja, upotrebom pravila u smeru od zaključka ka preduslovu ispituje da li su ispunjene sve činjenice koje zahteva dati cilj

1. if b(x) then a(x)
2. if c(x) and d(x) then b(x)
3. if e and f(x) then d(x)
4. if g(x) then c(x)

5. g(2)
6. f(5)
7. g(5)
8. e

1. if b(x) then a(x)
2. if c(x) and d(x) then b(x)
3. if e and f(x) then d(x)
4. if g(x) then c(x)

5. g(2)
6. f(5)
7. g(5)
8. e

1. if b(x)^{P2} then a(x)
2. if c(x) and d(x) then b(x)
3. if e and f(x) then d(x)
4. if g(x) then c(x)

5. g(2)
6. f(5)
7. g(5)
8. e

1. if $b(x)^{P2}$ then $a(x)$
2. if $\underline{c(x)}^{P4}$ and $d(x)$ then $b(x)$
3. if e and $f(x)$ then $d(x)$
4. if $g(x)$ then $c(x)$

5. $g(2)$
6. $f(5)$
7. $g(5)$
8. e

1. if $b(x)^{P2}$ then $a(x)$
2. if $c(x)^{P4}$ and $d(x)$ then $b(x)$
3. if e and $f(x)$ then $d(x)$
4. if $\underline{g(x)}^{P5}$ then $c(x)$

5. $g(2)$
6. $f(5)$
7. $g(5)$
8. e

1. if $b(2)^{P2}$ then $a(2)$
2. if $c(2)^{P4}$ and $d(2)$ then $b(2)$
3. if e and $f(2)$ then $d(2)$
4. if $\underline{g(2)}^{P5}$ then $c(2)$

5. $g(2)$
6. $f(5)$
7. $g(5)$
8. e

$x = 2$

1. if $b(2)^{P2}$ then $a(2)$
2. if $c(2)^{P4}$ and $\underline{d(2)^{P3}}$ then $b(2)$
3. if e and f(2) then $d(2)$
4. if $g(2)^{P5}$ then $c(2)$

5. $g(2)$
6. f(5)
7. g(5)
8. e

x = 2

1. if $b(2)^{P2}$ then $a(2)$
2. if $c(2)^{P4}$ and $d(2)^{P3}$ then $b(2)$
3. if $\underline{e^{P8}}$ and $f(2)$ then $d(2)$
4. if $g(2)^{P5}$ then $c(2)$

5. $g(2)$
6. $f(5)$
7. $g(5)$
8. e

$x = 2$

1. if $b(2)^{P2}$ then $a(2)$
2. if $c(2)^{P4}$ and $d(2)^{P3}$ then $b(2)$
3. if e^{P8} and $f(2)^{?}$ then $d(2)$
4. if $g(2)^{P5}$ then $c(2)$

5. $g(2)$
6. $f(5)$
7. $g(5)$
8. e

$x = 2$

1. if $b(2)^{P2}$ then $a(2)$
2. if $c(2)^{P4}$ and $d(2)^{P3}$ then $b(2)$
3. if $\underline{\ e^{?}\ }$ and $f(2)$ then $d(2)$
4. if $g(2)^{P5}$ then $c(2)$

5. $g(2)$
6. $f(5)$
7. $g(5)$
8. e

$x = 2$

1. if $b(2)^{P2}$ then $a(2)$
2. if $c(2)^{P4}$ and $\underline{d(2)^{?}}$ then $b(2)$
3. if e and f(2) then d(2)
4. if $g(2)^{P5}$ then $c(2)$

5. g(2)
6. f(5)
7. g(5)
8. e

$x = 2$

1. if $b(x)^{P2}$ then $a(x)$
2. if $\underline{c(x)}^{P4}$ and $d(x)$ then $b(x)$
3. if e and $f(x)$ then $d(x)$
4. if $g(x)^{P5}$ then $c(x)$

5. $g(2)$
6. $f(5)$
7. $g(5)$
8. e

$x =$

1. if $b(x)^{P2}$ then $a(x)$
2. if $c(x)^{P4}$ and $d(x)$ then $b(x)$
3. if e and $f(x)$ then $d(x)$
4. if $\underline{g(x)}^{P7}$ then $c(x)$

5. $g(2)$
6. $f(5)$
7. $g(5)$
8. e

$x = 5$

1. if $b(5)^{P2}$ then $a(5)$
2. if $c(5)^{P4}$ and $d(5)$ then $b(5)$
3. if e and $f(5)$ then $d(5)$
4. if $\underline{g(5)}^{P7}$ then $c(5)$

5. $g(2)$
6. $f(5)$
7. $g(5)$
8. e

$x = 5$

1. if $b(5)^{P2}$ then $a(5)$
2. if $c(5)^{P4}$ and $\underline{d(5)}^{P3}$ then $b(5)$
3. if e and f(5) then d(5)
4. if $g(5)^{P7}$ then $c(5)$

5. g(2)
6. f(5)
7. g(5)
8. e

$x = 5$

1. if $b(5)^{P2}$ then $a(5)$
2. if $c(5)^{P4}$ and $d(5)^{P3}$ then $b(5)$
3. if e and f(5) then $d(5)$
4. if $g(5)^{P7}$ then $c(5)$

5. g(2)
6. f(5)
7. g(5)
8. e

x = 5

1. if $b(5)^{P2}$ then $a(5)$
2. if $c(5)^{P4}$ and $d(5)^{P3}$ then $b(5)$
3. if e^{P8} and $\underline{f(5)^{P6}}$ then $d(5)$
4. if $g(5)^{P7}$ then $c(5)$

5. $g(2)$
6. $f(5)$
7. $g(5)$
8. e

$x = 5$

- Dobijene su iste činjenice u istom redosledu u slučaju direktnog ulančavanja u istoj bazi znanja

- U opštem slučaju broj i redosled činjenica ne moraju se poklapati kod ova dva načina zaključivanja

- U zaključivanju povratnim ulančavanjem razmatra se ispunjenost samo onih predikata koji mogu uticati na ispunjenost zadatog cilja, dok se kod direktnog ulančavanja izvode svi mogući zaključci na osnovu zadate baze znanja

Zaključivanje povratnim ulančavanjem

- Tokom zaključivanja razmatraju se ciljevi koji su predstavljeni konjukcijom predikata
- Za svaki od ciljeva pamti se tekući predikat, i za svaki od zadovoljenih predikata redni broj činjenice ili pravila u bazi koje zadovoljava taj prediakt kao i vezivanja nastala tom prilikom

- Pozvati proceduru TEST za početni upit

TEST:

- Neka je P tekući predikat (ako cilj nije bio razmatran, P je kranji levi)
- Neka je N redni broj u bazi činjenice ili pravila koje je poslednje korišćeno za zadovoljene predikata P (inicijalno 0)

Zadovoljenost predikata P:

2.1 Ako postoje činjenice koje uparuju P, izabrati prvu od njih sa rednim brojem većim od N (naka je to F)

- Za predikat P zapamtiti redni broj činjenice F i vezivanja

2.2 Ako postoje pravila čiji se zaključak može upariti sa predikatom P, izabrati prvo sa rednim brojem jednakim ili većim od N (neka je to R)

- Promenljive predikata P koje nisu ranije vezane, vezuju se za odgovarajuće promenljive pravila R
- Vezane promenljive predikata P smenjuju odgovarajuće promenljive desne strane pravila R
- Novo dobijena desna strana jeste novi ulaz u proceduru TEST
- Ako se cilj ne zadovolji, uvećati N za jedan i ponoviti korak 2.2

3. Ako P nije uspeo, a nije krajnje levi, predikat P1 levo postaje tekući.

- Preći na korak 1 !

4. Ako je P uspeo, a nije kranje desni, predikat desno od P postaje tekući.
5. Ako P nije uspeo, a krajnje je levi, cilj C nije zadovoljen. Sledi povratak iz TEST
6. Ako P jeste uspeo, a krajnje je desni, cilj C je zadovoljen. Sledi povratak iz TEST

- Upit za naš primer je a(x)
- Nad upitom pozivamo TEST
- Tekući predikat cilja je a(x)
- Ništa još uvek nije razmatrano N = 0

tekući cilj *C*1: početni upit

	<u>a(x)</u>
N	0

vezivanja -

- Predikat a(x) ne može da se upari ni sa jednom činjenicom
- Od pravila samo pravilo 1 (if b(x) then a(x))
- Pamtimo redni broj ovog pravila
- Promenljva x vezuje se za x iz pravila 1. Usvojeno x'

tekući cilj C1: početni upit

	$\underline{a(x)}$
N	1

vezivanja $x = x'$

- Prelazi se na razmatranje preduslova pravila 1 čime se formira novi cilj C2 i rekurzivno poziva procedura TEST

tekući cilj C2: preduslov pravila 1

	b(x’)
N	0

vezivanja -

- Stavu b(x) ne odgovara ni jedna činjenica
- Odgovara jedino zaključak pravila 2 (if c(x) and d(x) then b(x))
- Uz ovaj stav pamti se redni broj pravila i vrši vezivanje promenljive. Usvojeno x"

tekući cilj C2: preduslov pravila 1

	b(x’)
N	2

vezivanja x’ = x’’

- Razmatramo preduslov pravila 2 koji postaje novi tekući cilj
- Novi poziv procedure TEST

tekući cilj C3: preduslov pravila 2

c(x'') and d(x'')

N 0

vezivanja -

- Levi stav u složenom preduslovu pravila 2 (if c(x) and d(x) then b(x))
- c(x)
- Odgovara pravilo 4 (if g(x) then c(x))
- Vršimo vezivanje promenljivih
- Usvojeno x'''

tekući cilj C3: preduslov pravila 2

$\underline{c(x'')}$ and $d(x'')$

N 4

vezivanja $x'' = x'''$

- Preduslov pravila 4 dolazi na red za razmatranje
- Novi poziv procedure TEST

tekući cilj C3: preduslov pravila 4

$\underline{g(x''')}$

N 0

vezivanja -

- Stav $g(x)$ uparuje se sa činjenicom $g(2)$ čiji je redni broj N jednak 5
- Promenljiva x''' dobija vrednost 2

tekući cilj C4: preduslov pravila 4

<u>$g(x''')$</u>

N 5

vezivanja $x''' = 2$

- Stav g(x) za x = 2 je zadovoljen što povlači i zadovoljenost pravila 4 kao tekućeg cilja
- povratak iz procedure TEST
- U prethodnom pozivu, tekući cilj je bio C3
- Pošto je c(x") zadovoljen prelazi se na razmatranje predikata d(x")

tekući cilj C3: preduslov pravila 2

c(x'')   and   <u>d(x'')</u>

N 4   0

vezivanja x''' = 2

- Razmatra se d(x'') prvi put => N = 0
- Tekući predikat ne uparuje ni jedna činjenica
- Uparivanje sa pravilom 3 (if e and f(x) then d(x))
- Potrebno je u preduslovu pravila 3 zameniti promenljivu vrednošću 2
- Novi poziv TEST

••••••••••••••••••••••••

Zadatak 3: Zaključivanje cikličkim hibridnim ulančavanjem

Posmatrajmo bazu znanja:

if b(x) then a(x)

if c(x) and d(x) then b(x)

if e and f(x) then d(x)

if g(x) then c(x)

g(2)

f(5)

g(5)

e

Koje sve nove činjenice ili pravila i po kom redosledu proizilaze iz ove baze znanja ako se primenjuje ciklično hibridno ulančavanje (engl. rule cycle hybrid)?

Ciklično hibridno ulančavanje

- Ciklički se ponavljaju sledeće akcije:
- Vrši se razmatranje pravila po redosledu kojim su zadata u bazi znanja
- Ako svi predikati iz preduslova nekog pravila uparuju činjenice iz baze, pravilo uspeva i njegova desna strana dodaje se u bazu kao nova činjenica

- Preduslovi pravila 1 i 2 nisu ispunjeni u prvom prolazu
- Preduslov pravila 3 jeste ispunjen pošto se može upariti sa činjenicama e i f(5), pa se na čelo liste činjenica dodaje d(5). Pravilo 3 se ne eliminiše!
- Preduslov pravila 4 može se upariti sa činjenicama g(2), pa zatim g(5) pa se činjenicama dodaju dve nove c(2) i c(5). Pravilo 4 ostaje u bazi.

if b(x) then a(x)
if c(x) and d(x) then b(x)
if e and f(x) then d(x)
if g(x) then c(x)
g(2)
f(5)
g(5)
e

- Na kraju prve iteracije, baza znanja ima sledeći izgled

if b(x) then a(x)

if c(x) and d(x) then b(x)

if e and f(x) then d(x)

if g(x) then c(x)

g(2)

f(5)

g(5)

e

d(5)

c(2)

c(5)

- Pravilo 1 ne uspeva
- Privilo 2 uspeva za x = 5, pa se u bazu dodaje nova činjenica b(5)
- Razmatranjem pravila 3 i 4 ne dobijaju se nove činjenice

if b(x) then a(x)
if c(x) and d(x) then b(x)
if e and f(x) then d(x)
if g(x) then c(x)

g(2)	d(5)
f(5)	c(2)
g(5)	c(5)
e	

- Na kraju druge iteracije, baza znanja ima sledeći izgled

if b(x) then a(x)

if c(x) and d(x) then b(x)

if e and f(x) then d(x)

if g(x) then c(x)

g(2)	d(5)	b(5)
f(5)	c(2)	
g(5)	c(5)	
e		

- Pravilo 1 uspeva i bazi se dodaje činjenica a(5)
- Ostala pravila ne generišu nove činjenice

if b(x) then a(x)
if c(x) and d(x) then b(x)
if e and f(x) then d(x)
if g(x) then c(x)

g(2)	d(5)	b(5)
f(5)	c(2)	
g(5)	c(5)	
e		

- Na kraju treće iteracije, baza znanja ima sledeći izgled

if b(x) then a(x)

if c(x) and d(x) then b(x)

if e and f(x) then d(x)

if g(x) then c(x)

g(2)	d(5)	b(5)	a(5)
f(5)	c(2)		
g(5)	c(5)		
e			

- Zaključivanjem su dobijene činjenice
  - d(5), c(2), c(5), b(5) i a(5) tim redom
- Iste činjenice kao kod direktnog ulančavanja, ali je redosled dobijanja drugičiji

Zadatak 4: Negacija i zaključivanjem povratnim i direktnim ulančavanjem

Baza znanja sadrži sledeća pravila:

R1: if fact1 then goal1
R2: if a and b then goal1
R3: if c(x) then goal2(x)
R4: if not(d) then a
R5: if d then b
R6: if e then b
R7: if not(e) then c(2)
R8: if fact2 and fact3 then d
R9: if fact2 and fact4 then e

Činjenice:
fact2
fact3

Zahtev

- Koristeći povratno ulančavanje ispitati istinitost ciljeva *goal1* i goal2(x)

Pretpostavka o zatvorenom svetu

- Negacija predikata je tačna ako sa datim činjenicama ne možemo utvrditi istinitost traženog predikata

R1: if fact1 then goal1

R2: if a and b then goal1

R3: if c(x) then goal2(x)

R4: if not(d) then a

R5: if d then b

R6: if e then b

R7: if not(e) then c(2)

R8: if fact2 and fact3 then d

R9: if fact2 and fact4 then e

činjenice:
fact2
fact3

Zahtev

- Koristeći direktno ulančavanje sa fokusiranjem pažnje na nove činjenice odrediti sve moguće zaključke

R1: if fact1 then goal1

R2: if a and b then goal1

R3: if c(x) then goal2(x)

R4: if not(d) then a

R5: if d then b

R6: if e then b

R7: if not(e) then c(2)

R8: if fact2 and fact3 then d

R9: if fact2 and fact4 then e

činjenice:
fact2
fact3

R1: if fact1 then goal1

R12: if a then goal1

R3: if c(x) then goal2(x)

R4: if not(d) then a

R6: if e then b

R7: if not(e) then c(2)

R11: if fact4 then e

činjenice:
fact2
fact3
d
b

Napomena

- Povratno ulančavanje uz pamćenje zaključaka

if a(x) and b(x) then c(x)

if a(x) then b(x)

...

Zadatak 5: Članovi planinarskog društva

Izvidjač

- Dečak obučen kao kreten kome zapoveda kreten obučen kao dečak

Razmotrimo sledeću situaciju: Toša, Mika i Jova članovi su planinarskog društva. Svaki član planinarskog društva koji nije skijaš je planinar. Planinari ne vole kišu, a svako ko ne voli sneg ne voli ni skijanje. Mika ne voli ništa što Toša voli i voli sve što Toša ne voli. Toša voli kišu i sneg.

a) Predstaviti ovu situaciju produkcionim sistemom.

Usvojeni Predikati

- Član(x) važi ako je osoba x član planinarskog društva
- Skijaš(x) označava da osoba x skija
- Planinar(x) označava da je osoba x planinar
- Voli(x,y) označava da osoba x voli y, gde y može biti Kiša ili Sneg

Pronadjene činjenice

1. Član(Toša)
2. Član(Mika)
3. Član(Jova)
4. Voli(Toša,Kiša)
5. Voli(Toša,Sneg)

Definisana pravila

- Svaki član društva koji nije skijaš je planinar (podsetimo se da su promenljive u pravilima univerzalno kvantifikovane):

P1. if Član(x) and not Skijaš(x) then Planinar(x)

Definisana pravila

- Planinari ne vole kišu. U ovom slučaju u zaključku pravila nalaziće se negacija predikata. Negacija se, prema tome, utvrđuje eksplicitno ne oslanjajući se na pretpostavku o zatvorenom svetu.

P2. if Planinar(y) then not Voli(y,Kiša)

Definisana pravila

- Svako ko ne voli sneg, ne voli ni skijanje. U prevodu ćemo formulaciju 'voleti skijanje' prevesti predikatom Skijaš jer to odgovara smislu iskaza.

P3. if not Voli(z,Sneg) then not Skijaš(z)

Definisana pravila

- Mika ne voli ništa što Toša voli.

P4. if Voli(Toša,v) then not Voli(Mika,v)

Definisana pravila

- Mika voli sve što Toša ne voli.

P5. if not Voli(Toša,w) then Voli(Mika,w)

b) Kakav je odgovor na pitanje: *Da li postoji neki član planinarskog kluba koji je planinar a nije skijaš?*

Upit

Član(t) and Planinar(t) and not Skijaš(t)

- t egzistencijalno kvantifikovana
- Polazimo od cilja
- Pokušavamo cilj da zadovoljimo činjenicama

Član(t)

1. Predikat Član(t) se prvi razmatra i zadovoljava prvom činjenicom, pri čemu je t = Toša.

1. Član(Toša)
2. Član(Mika)
3. Član(Jova)
4. Voli(Toša,Kiša)
5. Voli(Toša,Sneg)

P1. if Član(x) and not Skijaš(x) then Planinar(x)
P2. if Planinar(y) then not Voli(y,Kiša)
P3. if not Voli(z, Sneg) then not Skijaš(z)
P4. if Voli(Toša, v) then not Voli(Mika, v)
P5. if not Voli(Toša, w) then Voli(Mika, w)

Član(t) and Planinar(t) and not Skijaš(t)

Član(t)

1. Predikat Član(t) se prvi razmatra i zadovoljava prvom činjenicom, pri čemu je t = Toša.

1. Član(Toša)
2. Član(Mika)
3. Član(Jova)
4. Voli(Toša,Kiša)
5. Voli(Toša,Sneg)

P1. if Član(x) and not Skijaš(x) then Planinar(x)
P2. if Planinar(y) then not Voli(y,Kiša)
P3. if not Voli(z, Sneg) then not Skijaš(z)
P4. if Voli(Toša, v) then not Voli(Mika, v)
P5. if not Voli(Toša, w) then Voli(Mika, w)

Član(Toša) and Planinar(Toša) and not Skijaš(Toša)

Planinar(Toša)

- Razmatra se predikat Planinar(Toša). Nijedna činjenica ga ne zadovoljava pa se bira pravilo P1 koje u zaključku ima ovaj predikat pri čemu je x = Toša.

1. Član(Toša)
2. Član(Mika)
3. Član(Jova)
4. Voli(Toša,Kiša)
5. Voli(Toša,Sneg)

P1. if Član(x) and not Skijaš(x) then Planinar(x)

P2. if Planinar(y) then not Voli(y,Kiša)

P3. if not Voli(z, Sneg) then not Skijaš(z)

P4. if Voli(Toša, v) then not Voli(Mika, v)

P5. if not Voli(Toša, w) then Voli(Mika, w)

Član(Toša) and Planinar(Toša) and not Skijaš(Toša)

Planinar(Toša)

- Razmatra se predikat Planinar(Toša). Nijedna činjenica ga ne zadovoljava pa se bira pravilo P1 koje u zaključku ima ovaj predikat pri čemu je x = Toša.

1. Član(Toša)
2. Član(Mika)
3. Član(Jova)
4. Voli(Toša,Kiša)
5. Voli(Toša,Sneg)

P1. if Član(Toša) and not Skijaš(Toša) then Planinar(Toša)
P2. if Planinar(y) then not Voli(y,Kiša)
P3. if not Voli(z, Sneg) then not Skijaš(z)
P4. if Voli(Toša, v) then not Voli(Mika, v)
P5. if not Voli(Toša, w) then Voli(Mika, w)

Član(Toša) and Planinar(Toša) and not Skijaš(Toša)

Planinar(Toša)

- Prvi predikat iz preduslova pravila P1 je Član(Toša) i zadovoljen je istoimenom činjenicom.

1. Član(Toša)
2. Član(Mika)
3. Član(Jova)
4. Voli(Toša,Kiša)
5. Voli(Toša,Sneg)

P1. if Član(Toša) and not Skijaš(Toša) then Planinar(Toša)
P2. if Planinar(y) then not Voli(y,Kiša)
P3. if not Voli(z, Sneg) then not Skijaš(z)
P4. if Voli(Toša, v) then not Voli(Mika, v)
P5. if not Voli(Toša, w) then Voli(Mika, w)

Član(Toša) and Planinar(Toša) and not Skijaš(Toša)

Planinar(Toša)

- Drugi stav preduslova pravila P1 koji glasi not Skijaš(Toša) ne nalazi se među činjenicama pa se razmatra pravilo P3 za z =Toša.

1. Član(Toša)
2. Član(Mika)
3. Član(Jova)
4. Voli(Toša,Kiša)
5. Voli(Toša,Sneg)

P1. if Član(Toša) and not Skijaš(Toša) then Planinar(Toša)

P2. if Planinar(y) then not Voli(y,Kiša)

P3. if not Voli(z, Sneg) then not Skijaš(z)

P4. if Voli(Toša, v) then not Voli(Mika, v)

P5. if not Voli(Toša, w) then Voli(Mika, w)

Član(Toša) and Planinar(Toša) and not Skijaš(Toša)

Planinar(Toša)

- Drugi stav preduslova pravila P1 koji glasi not Skijaš(Toša) ne nalazi se među činjenicama pa se razmatra pravilo P3 za z =Toša.

1. Član(Toša)
2. Član(Mika)
3. Član(Jova)
4. Voli(Toša,Kiša)
5. Voli(Toša,Sneg)

P1. if Član(Toša) and not Skijaš(Toša) then Planinar(Toša)
P2. if Planinar(y) then not Voli(y,Kiša)
P3. if not Voli(Toša, Sneg) then not Skijaš(Toša)
P4. if Voli(Toša, v) then not Voli(Mika, v)
P5. if not Voli(Toša, w) then Voli(Mika, w)

Član(Toša) and Planinar(Toša) and not Skijaš(Toša)

- Preduslov pravila P3, koji glasi not Voli(Toša,Sneg) nije ispunjen jer se među činjenicama nalazi Voli(Toša,Sneg). Prema tome, pravilo P3 nije zadovoljeno, kao ni pravilo P1 pa ne važi Planinar(Toša). Moramo se dakle vratiti na prvi stav upita da bismo razmotrili alternativni način zadovoljavanja cilja.

1. Član(Toša)
2. Član(Mika)
3. Član(Jova)
4. Voli(Toša,Kiša)
5. Voli(Toša,Sneg)

P1. if Član(Toša) and not Skijaš(Toša) then Planinar(Toša)
P2. if Planinar(y) then not Voli(y,Kiša)
P3. if not Voli(Toša, Sneg) then not Skijaš(Toša)
P4. if Voli(Toša, v) then not Voli(Mika, v)
P5. if not Voli(Toša, w) then Voli(Mika, w)

Član(Toša) and Planinar(Toša) and not Skijaš(Toša)

- Ciljni predikat Član(t) zadovoljava se za t = Mika postojanjem istoimene činjenice.

1. Član(Toša)
2. Član(Mika)
3. Član(Jova)
4. Voli(Toša,Kiša)
5. Voli(Toša,Sneg)

P1. if Član(x) and not Skijaš(x) then Planinar(x)
P2. if Planinar(y) then not Voli(y,Kiša)
P3. if not Voli(z, Sneg) then not Skijaš(z)
P4. if Voli(Toša, v) then not Voli(Mika, v)
P5. if not Voli(Toša, w) then Voli(Mika, w)

Član(t) and Planinar(t) and not Skijaš(t)

- Ciljni predikat Član(t) zadovoljava se za t = Mika postojanjem istoimene činjenice.

1. Član(Toša)
2. Član(Mika)
3. Član(Jova)
4. Voli(Toša,Kiša)
5. Voli(Toša,Sneg)

P1. if Član(x) and not Skijaš(x) then Planinar(x)
P2. if Planinar(y) then not Voli(y,Kiša)
P3. if not Voli(z, Sneg) then not Skijaš(z)
P4. if Voli(Toša, v) then not Voli(Mika, v)
P5. if not Voli(Toša, w) then Voli(Mika, w)

Član(Mika) and Planinar(Mika) and not Skijaš(Mika)

- Razmatra se sledeći ciljni predikat Planinar(Mika) i preduslov pravila P1.

1. Član(Toša)
2. Član(Mika)
3. Član(Jova)
4. Voli(Toša,Kiša)
5. Voli(Toša,Sneg)

P1. if Član(x) and not Skijaš(x) then Planinar(x)
P2. if Planinar(y) then not Voli(y,Kiša)
P3. if not Voli(z, Sneg) then not Skijaš(z)
P4. if Voli(Toša, v) then not Voli(Mika, v)
P5. if not Voli(Toša, w) then Voli(Mika, w)

Član(Mika) and Planinar(Mika) and not Skijaš(Mika)

- Važi da je Član(Mika) pa ostaje da se razmotri predikat not Skijaš(Mika) i pravilo P3.

1. Član(Toša)
2. Član(Mika)
3. Član(Jova)
4. Voli(Toša,Kiša)
5. Voli(Toša,Sneg)

P1. if Član(Mika) and not Skijaš(Mika) then Planinar(Mika)
P2. if Planinar(y) then not Voli(y,Kiša)
P3. if not Voli(z, Sneg) then not Skijaš(z)
P4. if Voli(Toša, v) then not Voli(Mika, v)
P5. if not Voli(Toša, w) then Voli(Mika, w)

Član(Mika) and Planinar(Mika) and not Skijaš(Mika)

- Važi da je Član(Mika) pa ostaje da se razmotri predikat not Skijaš(Mika) i pravilo P3.

1. Član(Toša)
2. Član(Mika)
3. Član(Jova)
4. Voli(Toša,Kiša)
5. Voli(Toša,Sneg)

P1. if Član(Mika) and not Skijaš(Mika) then Planinar(Mika)

P2. if Planinar(y) then not Voli(y,Kiša)

P3. if not Voli(Mika, Sneg) then not Skijaš(Mika)

P4. if Voli(Toša, v) then not Voli(Mika, v)

P5. if not Voli(Toša, w) then Voli(Mika, w)

Član(Mika) and Planinar(Mika) and not Skijaš(Mika)

- Razmatra se not Voli (Mika, Sneg). Odgovarajuće činjenice nema, pa se razmatra pravilo P4 za v= Sneg.

1. Član(Toša)
2. Član(Mika)
3. Član(Jova)
4. Voli(Toša,Kiša)
5. Voli(Toša,Sneg)

P1. if Član(Mika) and not Skijaš(Mika) then Planinar(Mika)
P2. if Planinar(y) then not Voli(y,Kiša)
P3. if not Voli(Mika, Sneg) then not Skijaš(Mika)
P4. if Voli(Toša, v) then not Voli(Mika, v)
P5. if not Voli(Toša, w) then Voli(Mika, w)

Član(Mika) and Planinar(Mika) and not Skijaš(Mika)

- Razmatra se preduslov pravila P4, predikat Voli(Toša,Sneg). Baza znanja poseduje odgovarajuću činjenicu, pa zaključujemo da je ovaj predikat zadovoljen a time i pravila P4, P3 i P1 respektivno, kao i ciljni predikat Planinar(Mika).

1. Član(Toša)
2. Član(Mika)
3. Član(Jova)
4. Voli(Toša,Kiša)
5. Voli(Toša,Sneg)

P1. if Član(Mika) and not Skijaš(Mika) then Planinar(Mika)
P2. if Planinar(y) then not Voli(y,Kiša)
P3. if not Voli(Mika, Sneg) then not Skijaš(Mika)
P4. if Voli(Toša, Sneg) then not Voli(Mika, Sneg)
P5. if not Voli(Toša, w) then Voli(Mika, w)

Član(Mika) and Planinar(Mika) and not Skijaš(Mika)

- Razmatra se poslednji ciljni predikat not Skijaš(Mika). Ukoliko se pri zaključivanju primenjuje **pamćenje zaključaka**, odmah bi se pronašao odgovarajući predikat među činjenicama jer je to bio zaključak zadovoljenog pravila P3. Ukoliko nema pamćenja zaključaka, ponovilo bi se razmatranje pravila P3 i ponovo zaključilo da je ono zadovoljeno. Prema tome, polazni upit zadovoljen je za t = Mika.

1. Član(Toša)
2. Član(Mika)
3. Član(Jova)
4. Voli(Toša,Kiša)
5. Voli(Toša,Sneg)

P1. if Član(Mika) and not Skijaš(Mika) then Planinar(Mika)
P2. if Planinar(y) then not Voli(y,Kiša)
P3. if not Voli(z, Sneg) then not Skijaš(z)
P4. if Voli(Toša, Sneg) then not Voli(Mika, Sneg)
P5. if not Voli(Toša, w) then Voli(Mika, w)

Član(Mika) and Planinar(Mika) and not Skijaš(Mika)

Zadatak 6: Latisa odlučivanja i I-ILI-NE latisa

- Dati produkcioni sistem predstaviti u obliku:

a) I-ILI-NE latise

b) Latise odlučivanja

R1: if **a** and **d** and **not e** then **r**

R2: if **not a** and **not c** and **q** then **s**

R3: if **not a** and **p** then **t**

R4: if **a** and **d** and **e** then **u**

R5: if **a** and **q** then **u**

R6: if **not a** and **not b** and **c** then **v**

R7: if **b** and **c** then **p**

R8: if **not c** and **d** then **p**

R9: if **not d** then **q**

Latisa

- Latisa je skraćeni naziv za orjentisani aciklički graf
- Latisa odlučivanja i AND-OR-NOT latisa spadaju u prevedene načine predstavljanja produkcionih sistema
- Prednost je veća brzina donošenja zaključaka
- Mana je gubitak opštosti

AND-OR-NOT latisa

a) Da bi smo odredili latisu, interpretiramo pravila kao logičke funkcije

- Predikati iz pretpostavki pravila predstavljaju nezavisne promenljive
- Predikati iz zaključaka zavisno promenljive

R1: if **a** and **d** and **not e** then **r**

R2: if **not a** and **not c** and **q** then **s**

R3: if **not a** and **p** then **t**

R4: if **a** and **d** and **e** then **u**

R5: if **a** and **q** then **u**

R6: if **not a** and **not b** and **c** then **v**

R7: if **b** and **c** then **p**

R8: if **not c** and **d** then **p**

R9: if **not d** then **q**

- Upotrebljavajući pravila za logičke funkcije dobijamo:

$r = a \wedge d \wedge \neg e$ (if a and d and not e then r)

$s = \neg a \wedge \neg c \wedge q$

$t = \neg a \wedge p$

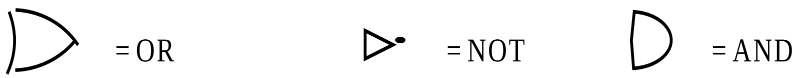
$u = (a \wedge d \wedge e) \vee (a \wedge q)$

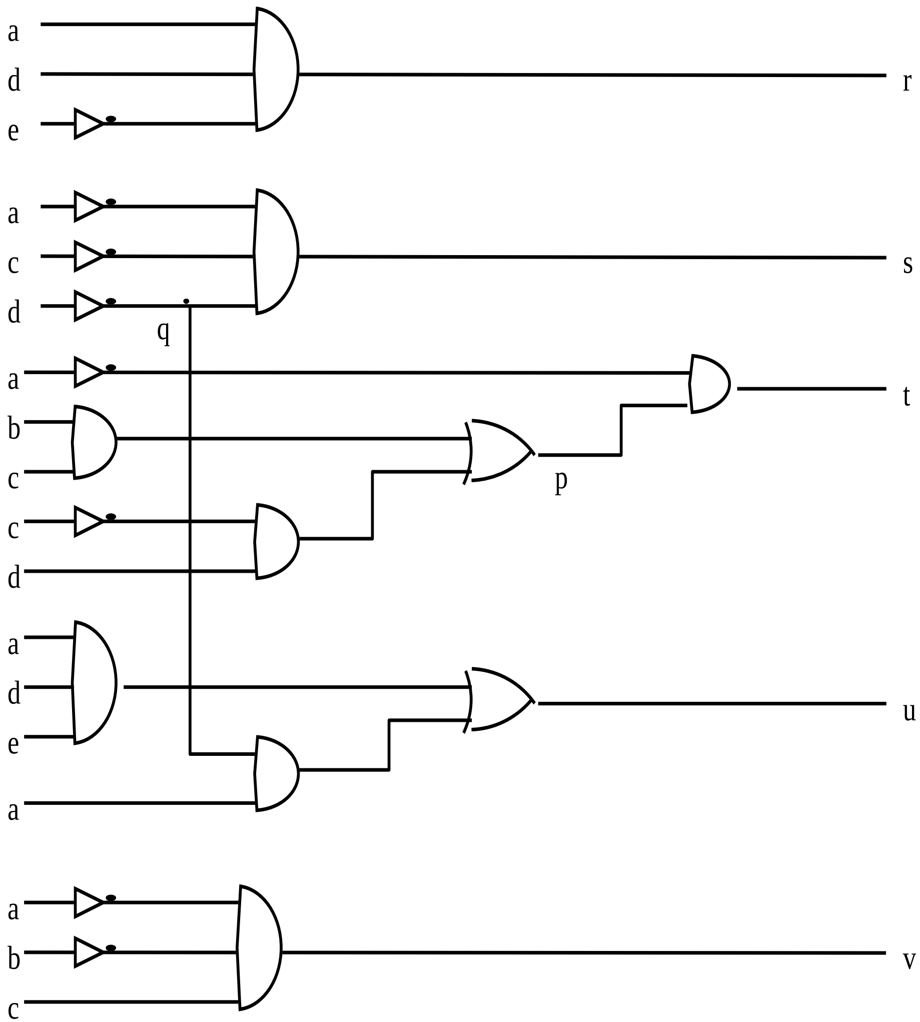
$v = \neg a \wedge \neg b \wedge c$

$p = (b \wedge c) \vee (\neg c \wedge d)$

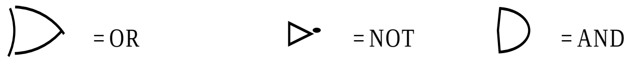
$q = \neg d$

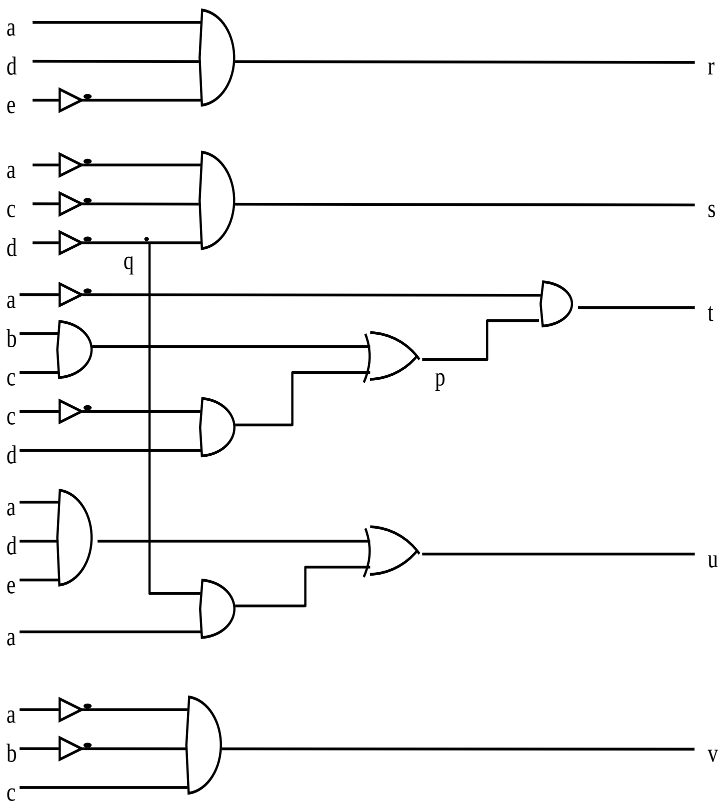
- AND-OR-NOT latisa za dati produkcioni sistem predstavlja se u vidu kombinacione mreže koja realizuje navedeni skup logičkih funkcija


= OR
= NOT
= AND

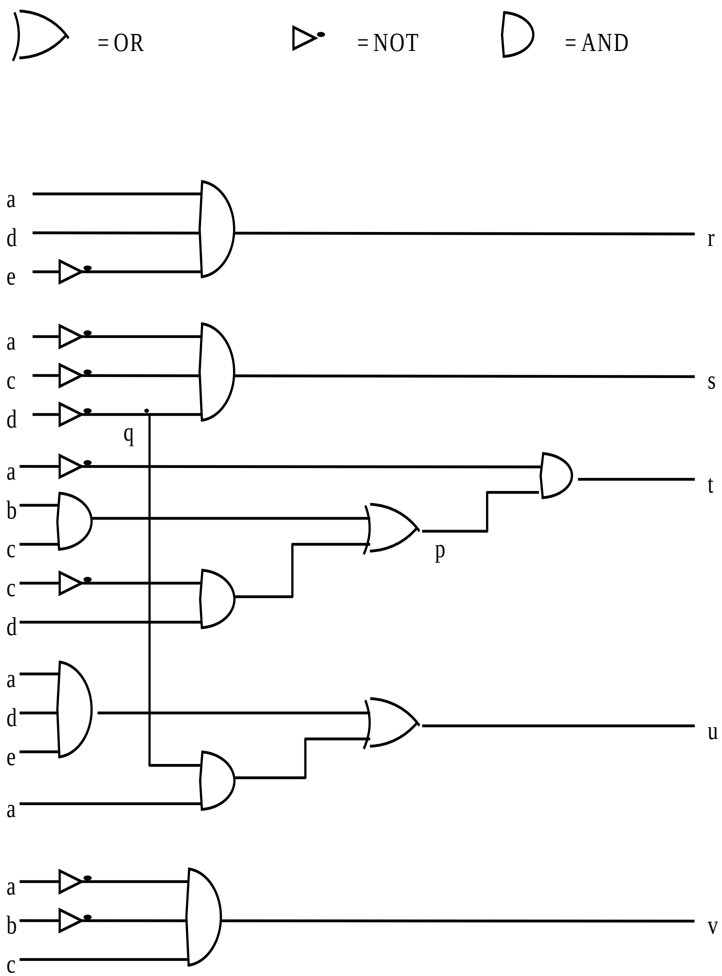

a
d
e
r
a
c
d
s
q
a
t
b
c
p
c
d
a
d
e
u
a
a
b
c
v

Ulazi mreže su predikati-pretpostavke

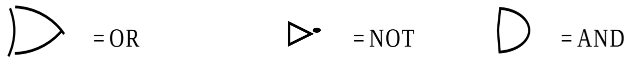


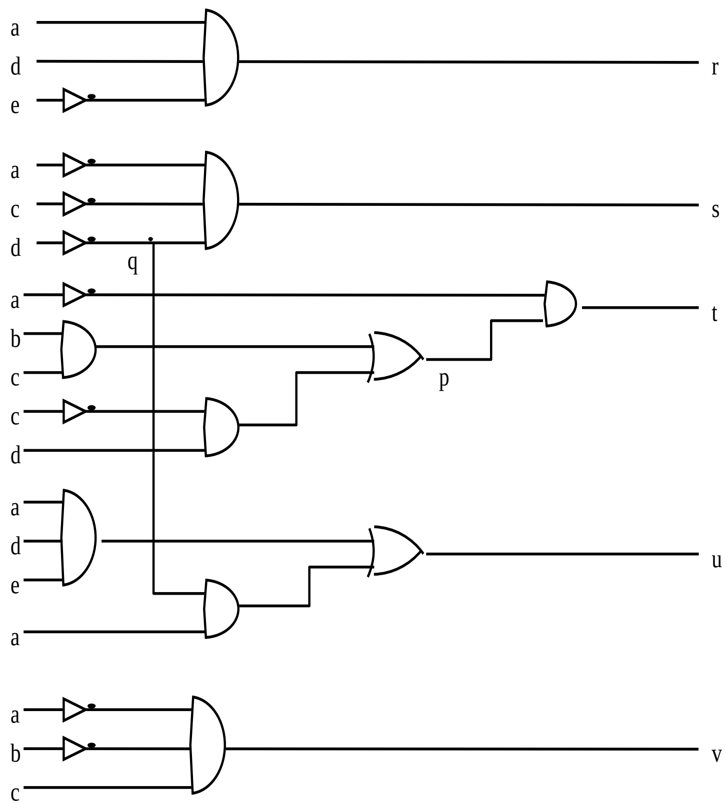


Izlazi mreže označeni su ciljnim predikatima



• Međupredikati p i q su označeni na unutrašnjim linijama mreže, na onim mestima gde je realizovana njihova funkcija





- Predstava produkcionog sistema putem AND-OR-NOT latise omogućava maksimalnu paralelizaciju postupka zaključivanja
- Mogu se zamisliti i realizacije ovako predstavljenog produkcionog sistema u integrisanim kolima

b) Latisa odlučivanja je vrsta usmerenog acikličkog grafa koji najviše podseća na dijagram toka programa bez petlji

- Pri zaključivanju, vrši se kretanje kroz graf
- Svaki unutrašnji čvor latise odlučivanja ima po dve izlazne grane

- U svakom čvoru ispituje se istinitosna vrednost nekog od predikata-pretpostavki (postavljanjem upita korisniku, na primer) i na osnovu toga donosi odluka kojom od izlaznih grana će se dalje nastaviti kretanje
- Listovi grafa (čvorovi bez naslednika), sadrže ciljne predikate

Konstruisanje latise odlučivanja

1. Za svako pravilo koje u zaključku ima ciljni predikat (takozvano dijagnostičko pravilo), zameniti u preduslovu toga pravila sve pojave međupredikata preduslovima pravila koja u zaključcima imaju te međupredikate

- Ako za neki međupredikat postoji više pravila koja ga imaju u zaključku, za svako od takvih pravila napraviti po jednu verziju dijagnostičkog pravila. Ovaj postupak se zove *sažimanje pravila* (engl. *rule collapsing*) i sam za sebe predstavlja jedan od postupaka kompilacije produkcionog sistema

if a and d and not e then r

if not a and not c and q then s

if not a and p then t

if a and d and e then u

if a and q then u

if not a and not b and c then v

if b and c then p

if not c and d then p

if not d then q

if a and d and not e then r

if not a and not c and q then s

if not a and p then t

if a and d and e then u

if a and q then u

if not a and not b and c then v

if b and c then p

if not c and d then p

if not d then q

if a and d and not e then r

if not a and not c and q then s

if not a and p then t

if a and d and e then u

if a and q then u

if not a and not b and c then v

if b and c then p

if not c and d then p

if not d then q

if a and d and not e then r

if not a and not c and not d then s

if not a and b and c then t

if not a and not c and d then t

if a and d and e then u

if a and not d then u

if not a and not b and c then v

2. Izabrati predikat P koji najbolje zadovoljava sledeće uslove:

- predikat P ili njegova negacija not P pojavljuju se u preduslovima što većeg broja pravila
- negacija predikata pojavljuje se u pravilima približno isti broj puta koliko i sam predikat

3. Podeliti pravila u dve grupe. U prvu grupu idu sva pravila u kojima se pojavljuje predikat P, a u drugu sva pravila u kojima se pojavljuje not P.

Pravila u kojima se ne pojavljuje ni P ni not P moraju se iskopirati u obe grupe. Posle ove podele, iz svih pravila u obe grupe ukloniti iz preduslova P i not P.

4. Polazni produkcioni sistem pridružen je korenu latise odlučivanja. Ovom čvoru pridružuje se i pitanje (koje se postavlja korisniku prilikom zaključivanja uz korišćenje latise) o istinitosnoj vrednosti predikata P. Čvoru nasledniku korenog čvora za istinito P pridružena je prva grupa pravila iz tačke 3., a nasledniku za neistinito P druga grupa pravila

5. Za svaku od dobijenih grupa ponaosob primeniti korake 2. do 4., zatim isto uraditi sa novodobijenim grupama itd. Postupak se okončava kada se iz pravila potpuno eliminišu preduslovi i ostanu samo zaključci.

if a and d and not e then r

if not a and not c and not d then s

if not a and b and c then t

if not a and not c and d then t

if a and d and e then u

if a and not d then u

if not a and not b and c then v

- Za prvu deobu pravila izabran je predikat *a* koji se posle deobe uklanja iz svih pravila (korak 3. algoritma).

if a and d and not e then r

if not a and not c and not d then s

if not a and b and c then t

if not a and not c and d then t

if a and d and e then u

if a and not d then u

if not a and not b and c then v

if d and not e then r

if d and e then u a

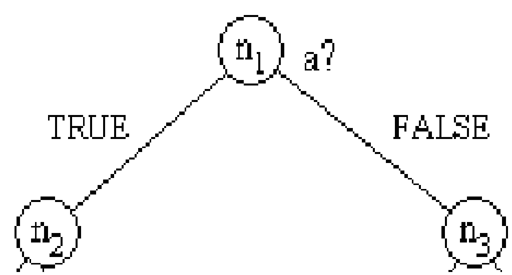
if not d then u

if not c and not d then s

if b and c then t not a

if not c and d then t

if not b and c then v



if d and not e then r

if d and e then u

if not d then u

d → if not e then r
if e then u

not d → u

if not c and not d then s

if b and c then t

if not c and d then t

if not b and c then v

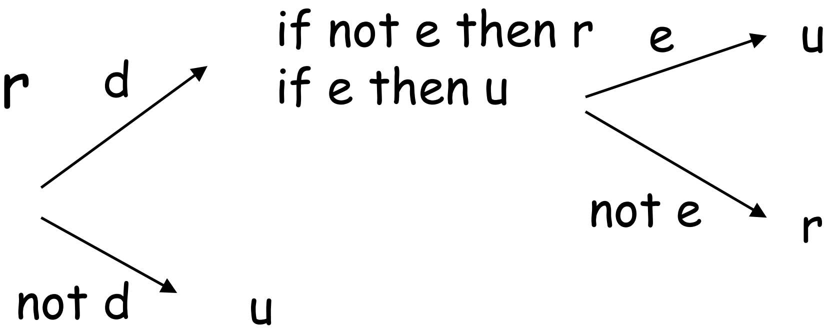
c → if b then t
if not b then v

not c → if not d then s
if d then t

if d and not e then r

if d and e then u

if not d then u

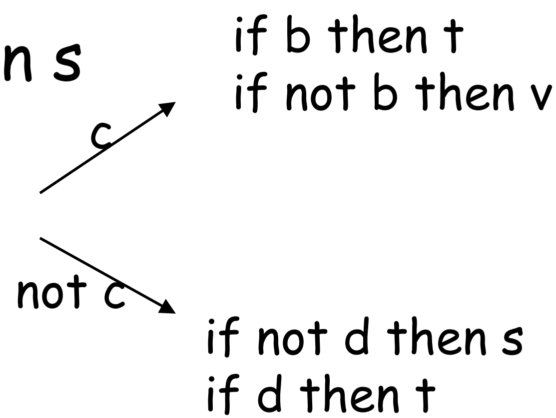


if not c and not d then s

if b and c then t

if not c and d then t

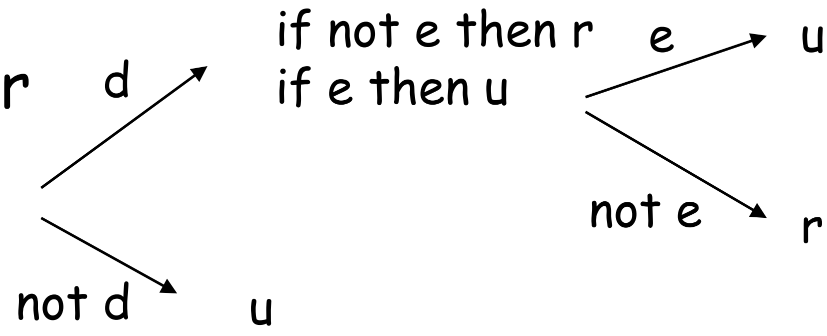
if not b and c then v



if d and not e then r

if d and e then u

if not d then u

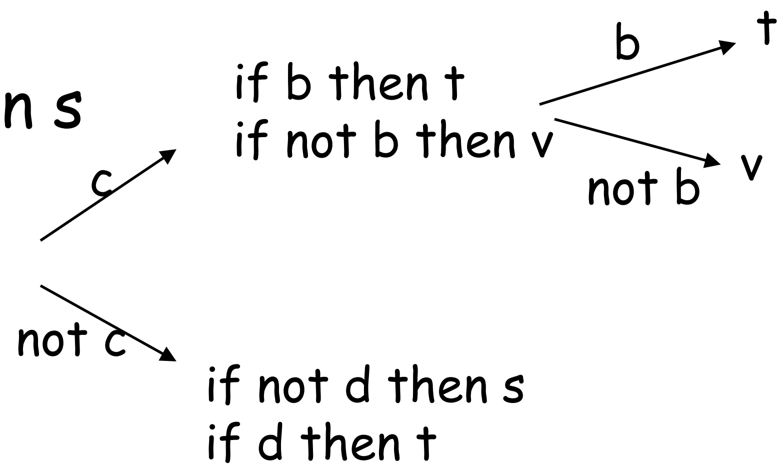


if not c and not d then s

if b and c then t

if not c and d then t

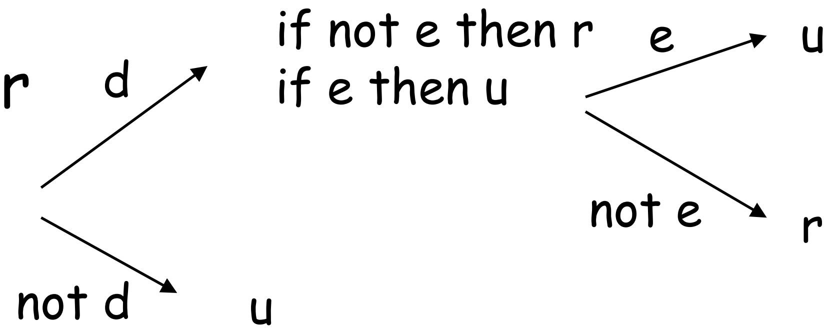
if not b and c then v



if d and not e then r

if d and e then u

if not d then u

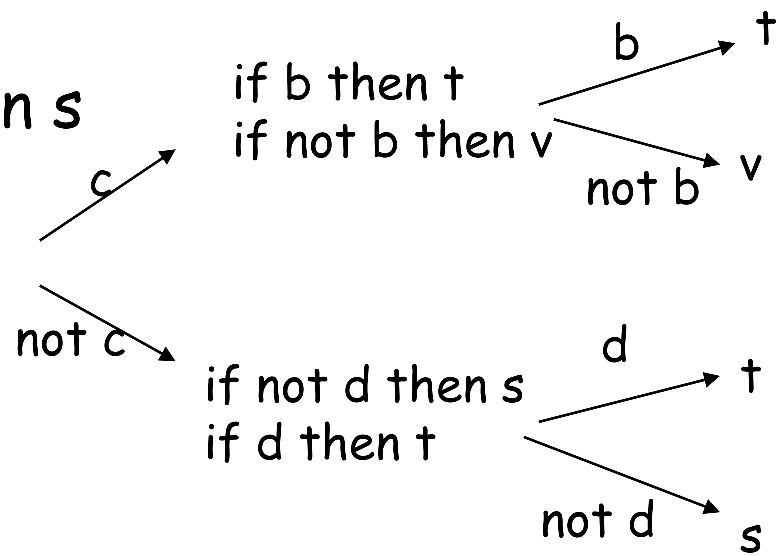


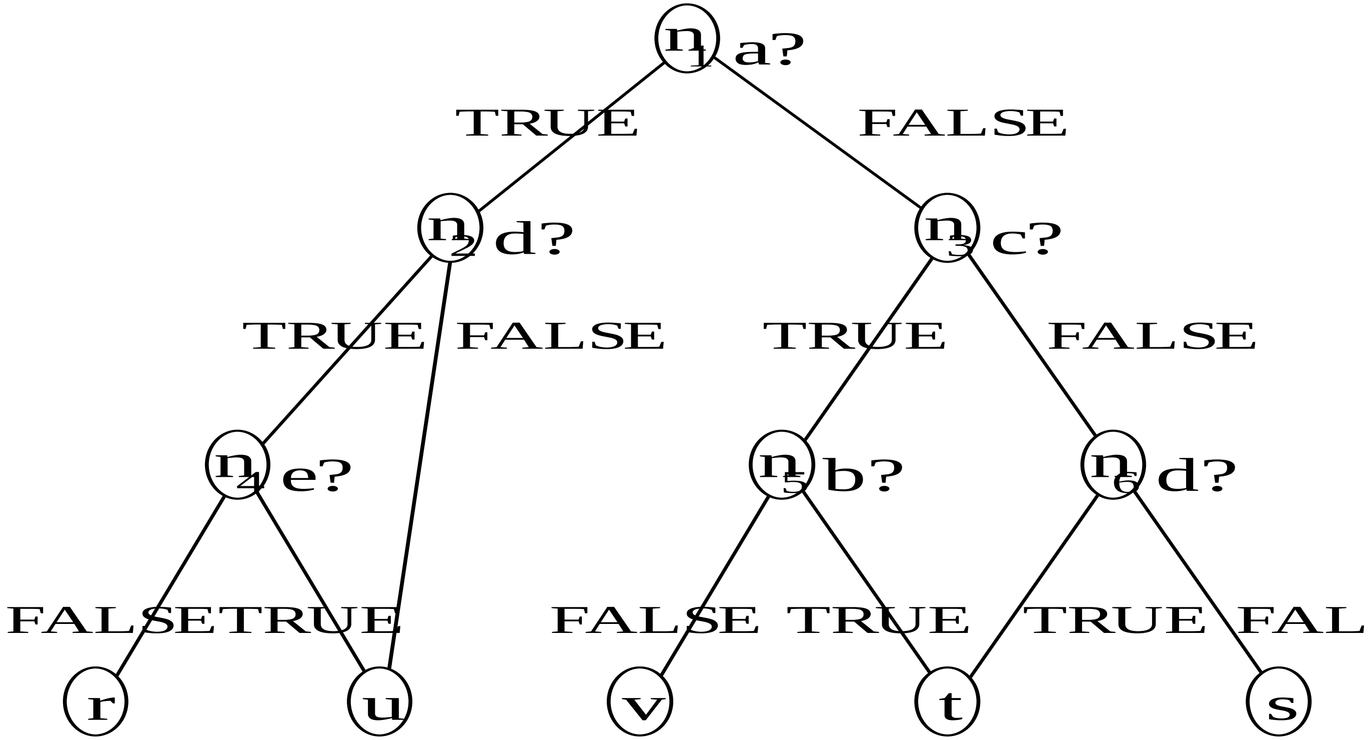
if not c and not d then s

if b and c then t

if not c and d then t

if not b and c then v




n1 a?
TRUE
FALSE
n2 d?
n3 c?
TRUE
FALSE
TRUE
FALSE
n4 e?
n5 b?
n6 d?
FALSE
TRUE
FALSE
TRUE
TRUE
FAL
r
u
v
t
s

Literatura

- Dragan Bojić, Miloš Gligorić, Boško Nikolić: *Zbirka zadataka iz Ekspertskih Sistema*
- WWW