

Úvod do umělé inteligence, jazyk Prolog

Aleš Horák

E-mail: `hales@fi.muni.cz`

`http://nlp.fi.muni.cz/uui/`

Obsah:

- Organizace předmětu PB016
- Co je “umělá inteligence”
- Stručné shrnutí Prologu

ORGANIZACE PŘEDMĚTU PB016

Hodnocení předmětu:

- **průběžná písemka** (max 32 bodů)
 - v první 1/2 semestru – **2. listopadu** v rámci přednášky
 - pro každého jediný termín
- **závěrečná písemka** (max 96 bodů)
 - dva řádné a jeden opravný termín
- hodnocení – součet bodů za obě písemky (max 128 bodů)
- známka A za více než 115 bodů známka E za více než 63 bodů
- rozdílly **zk**, **k**, **z** – různé limity
- někteří můžou získat body za **studentské referáty**
 - až 20 bodů – za kvalitní text (cca 5 stran) + 10–20 minut referát
 - nutné *před průběžnou písemkou* domluvit **téma** – projekt/program, algoritmus z Náplně předmětu
 - domluva *e-mailem* – návrh tématu, který musí projít schválením
- kdo opraví chybu nebo vylepší **demo příklady**, může dostat 1–5 bodů (celkem max 5).

ZÁKLADNÍ INFORMACE

- přednáška je nepovinná
- cvičení – samostudium, v rámci “třetího kreditu”
- web stránka předmětu – <http://nlp.fi.muni.cz/uui/>
- <http://nlp.fi.muni.cz/uui/priklady/> – [demo příklady](#)
- slajdy – průběžně doplňovány na webu předmětu
- kontakt na přednášejícího – Aleš Horák <hales@fi.muni.cz> (**Subject: PB016 ...**)
- literatura:
 - Russell, S. a Norvig, P.: [Artificial Intelligence: A Modern Approach](#), 2nd.ed., Prentice Hall, 2003. (prezenčně v knihovně)
 - Bratko, I.: [Prolog Programming for Artificial Intelligence](#), Addison-Wesley, 2001. (prezenčně v knihovně)
 - slajdy na webu předmětu
 - Jirků, Petr: [Programování v jazyku Prolog](#), Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1991.

NÁPLŇ PŘEDMĚTU

- ① jazyk Prolog (21.9.)
- ② operace na datových strukturách (5.10.)
- ③ prohledávání stavového prostoru (12.10.)
- ④ heuristiky, best-first search, A* search (19.10.)
- ⑤ dekompozice problému, AND/OR grafy(26.10.)
- ⑥ problémy s omezujícími podmínkami, [průběžná písemka](#) (2.11.)
- ⑦ hry a základní herní strategie (9.11.)
- ⑧ inteligentní agenti, výroková logika, predikátová logika prvního řádu (16.11.)
- ⑨ TIL – transparentní intenzionální logika (23.11.)
- ⑩ reprezentace a vyvozování znalostí (30.11.)
- ⑪ [studentské referáty](#) (7.12.)
- ⑫ učení, rozhodovací stromy, neuronové sítě (14.12.)
- ⑬ zpracování přirozeného jazyka (21.12.)

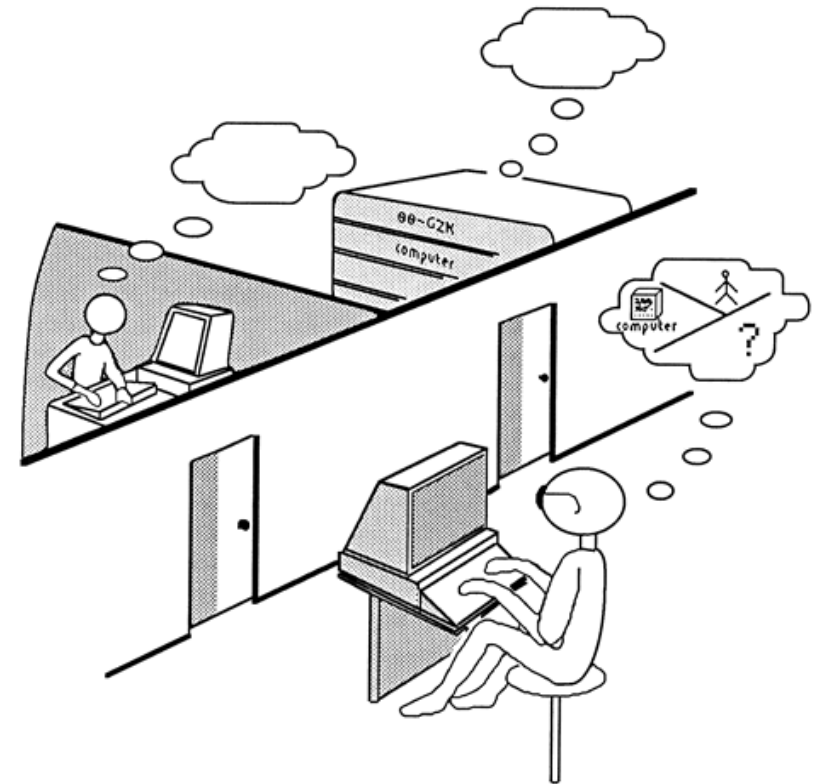
✓ ●	Organizace předmětu PB016	2
⇒ ●	Co je “umělá inteligence”	5
●	Stručné shrnutí Prologu	9

CO JE “UMĚLÁ INTELIGENCE”

system, který se chová jako člověk Turingův test (1950)

- zahrnuje: → zpracování přirozeného jazyka (NLP)
→ reprezentaci znalostí (KRepresentation)
→ vyvozování znalostí (KReasoning)
→ strojové učení
→ (počítačové vidění)
→ (robotiku)

od 1991 – **Loebnerova cena (Loebner Prize)** → každý rok \$3.000 za “nejlidštější” program, nabízí \$100.000 a zlatá medaile za složení celého Turingova testu



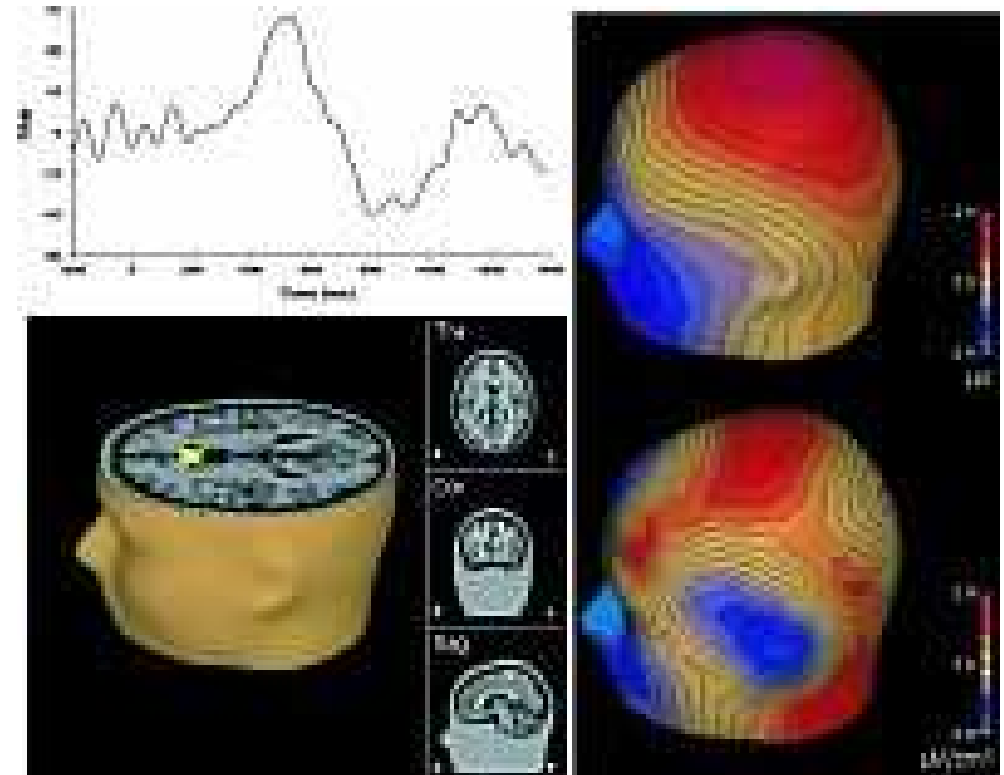
system, který myslí jako člověk

- snaha porozumět postupům lidského myšlení – **kognitivní (poznávací) věda**
- využívá poznatků neurologie, neurochirurgie, ...
např.

COLING 2000 – Angela Friederici:
Language Processing in the Human Brain

Max Planck Institute of Cognitive
Neuroscience, Leipzig

měření “Event Related Potentials” (ERP)
v mozku – jako potvrzení oddělení syntaxe
a sémantiky při zpracování věty



system, který myslí rozumně od dob Aristotela (350 př.n.l.)

- náplň studia **logiky**
- problém – umět najít řešení teoreticky × prakticky (složitost a vyčísitelnost)
- problém – neúplnost a nejistota vstupních dat

system, který se chová rozumně inteligentní **agent** – system, který

- jedná za nějakým účelem
- jedná samostatně
- jedná na základě vstupů ze svého prostředí
- pracuje delší dobu
- adaptuje se na změny

ČÍM SE BUDEME ZABÝVAT?

- základní struktury a algoritmy běžně používané při technikách programování pro inteligentní agenty
- strategie řešení, prohledávání stavového prostoru, heuristiky, ...
- s příklady v jazyce Prolog

✓ ●	Organizace předmětu PB016	2
✓ ●	Co je “umělá inteligence”	5
⇒ ●	Stručné shrnutí Prologu	9

STRUČNÉ SHRNUÍ PROLOGU

Historie:

- 70. I. Colmerauer, Kowalski; D.H.D. Warren (WAM); → CLP, paralelní systémy
- PROgramování v LOGice; část predikátové logiky prvního řádu (logika Hornových klauzulí)
- deklarativnost (specifikace programu je přímo programem)
- řešení problémů týkajících se objektů a vztahů mezi nimi

Prology na FI:

- SICStus Prolog (modul sicstus)
- SWI (modul pl)
- ECLiPSe (modul eclipse)
- stroje aisa, erinys, oreias, nymfe
- verze

PRINCIPY

- backtracking řízený unifikací, hojně využívá rekurzi
- spojitost s **logikou**: snaha dokázat pravdivost daného cíle; cíl je dokázán, unifikuje-li s hlavou nějaké klauzule a všechny podcíle v těle této klauzule jsou rovněž dokázány. Strategie výběru podcíle: shora dolů, zleva doprava.
- **unifikace**: řídicí mechanismus, hledání nejobecnějšího unifikátoru dvou termů. Např.

informace(*Manzel*,dana,*Deti*,svatba('20.12.1940')) = informace(petr,dana,[jan,pavel], *Info*).

po unifikaci: ***Manzel=petr***, ***Deti=[jan,pavel]***, ***Info=svatba('20.12.1940')***
- **backtracking**: standardní metoda prohledávání stavového prostoru do hloubky (průchod stromem → nesplnitelný cíl → návrat k nejbližšímu minulému bodu s alternativní volbou)
- **rekurze**

potomek(X,Y):– rodic(Y,X).
potomek(X,Y):– rodic(Z,X), potomek(Z,Y).

SYNTAX JAZYKA PROLOG

logický (prologovský) program – seznam klauzulí (pravidel a faktů) – nikoli *množina*

klauzule – seznam literálů

- Literál před :- je **hlava**, ostatní literály tvoří **tělo** klauzule.
- Význam klauzule je **implikace**:
 - **hlava:-tělo1, tělo2,**
 - **tělo1 \wedge tělo2 \wedge ... \Rightarrow hlava**
 - *Pokud je splněno tělo1 a současně tělo2 a současně ... , pak platí také hlava.*
- 3 možné typy klauzulí:
 - **fakt**: hlava bez těla. Zápis v Prologu: **p(X,Y)**. (ekv. $p(X,Y):-true$.)
 - **pravidlo**: hlava i tělo. Prolog: **p(Z,X) :- p(X,Y), p(Y,Z)**.
 - **cíl**: tělo bez hlavy. Prolog: **?- p(g,f)**.

predikát – seznam (všech) klauzulí se stejným **funktorem** a **aritou** v hlavovém literálu.

- Zapisuje se ve tvaru *funktor/arita* – **potomek/2**.

literál – atomická formule, nebo její negace

atomická formule – v Prologu zcela odpovídá složenému termu (syntaktický rozdíl neexistuje)

term:

→ konstanta: **a**, **1**, **'.'**, **[]**, **sc2**

atomic/1 (metalogické testování na konstantu)

atom/1, **number/1**

→ proměnná: **X**, **Vys**, **_**

var/1 (metalogické testování na proměnnou)

→ složený term: **f(a,X)**

funktor, argumenty, arita

functor/3 dává funktor termu, **arg/3** dává *n*-tý argument

zkratka pro zápis seznamů:

[1,a,b3] odpovídá struktuře **'.(1, '(a, '(b3, []))**

PŘÍKLAD

jednoduchý příklad – DB rodinných vztahů:

```
otec(milan,dana).  
otec(milan,petr).  
otec(jan,david).
```

```
matka(pavla,dana).  
matka(pavla,petr).  
matka(jana,david).
```

```
rodic(X,Y):-otec(X,Y).  
rodic(X,Y):-matka(X,Y).
```

PŘÍKLAD

jednoduchý příklad – DB rodinných vztahů:

```
otec(milan,dana).  
otec(milan,petr).  
otec(jan,david).
```

```
matka(pavla,dana).  
matka(pavla,petr).  
matka(jana,david).
```

```
rodic(X,Y):-otec(X,Y).  
rodic(X,Y):-matka(X,Y).
```

fakty (DB)

A diagram consisting of a rectangular box on the right side of the slide containing the text 'fakty (DB)'. A long arrow originates from the left side of this box and points towards a large right-facing curly brace that groups the first six lines of Prolog code (three 'otec' facts and three 'matka' facts) on the left side of the slide.

PŘÍKLAD

jednoduchý příklad – DB rodinných vztahů:

```
otec(milan,dana).  
otec(milan,petr).  
otec(jan,david).
```

```
matka(pavla,dana).  
matka(pavla,petr).  
matka(jana,david).
```

```
rodic(X,Y):-otec(X,Y).  
rodic(X,Y):-matka(X,Y).
```

fakty (DB)

pravidla

PŘÍKLAD

jednoduchý příklad – DB rodinných vztahů:

```
otec(milan,dana).  
otec(milan,petr).  
otec(jan,david).
```

```
matka(pavla,dana).  
matka(pavla,petr).  
matka(jana,david).
```

```
rodic(X,Y):-otec(X,Y).  
rodic(X,Y):-matka(X,Y).
```

```
?-otec(X,dana).  
X = milan  
Yes
```

fakty (DB)

pravidla

PŘÍKLAD

jednoduchý příklad – DB rodinných vztahů:

```
otec(milan,dana).  
otec(milan,petr).  
otec(jan,david).
```

```
matka(pavla,dana).  
matka(pavla,petr).  
matka(jana,david).
```

```
rodic(X,Y):-otec(X,Y).  
rodic(X,Y):-matka(X,Y).
```

```
?-otec(X,dana).  
X = milan  
Yes
```

```
?-rodic(X,david).  
X = jan ;  
X = jana ;
```

fakty (DB)

pravidla

PŘÍKLAD

predikát **sourozenci(X,Y)** – je **true**, když **X** a **Y** jsou (vlastní) sourozenci.

```
sourozenci(X,Y):–
```

PŘÍKLAD

predikát **sourozenci(X,Y)** – je **true**, když **X** a **Y** jsou (vlastní) sourozenci.

```
sourozenci(X,Y):- otec(O,X), otec(O,Y), X\=Y, matka(M,X), matka(M,Y).
```

PŘÍKLAD

predikát **sourozenci(X,Y)** – je **true**, když **X** a **Y** jsou (vlastní) sourozenci.

```
sourozenci(X,Y):– otec(O,X), otec(O,Y), X\=Y, matka(M,X), matka(M,Y).
```

?– sourozenci(dana,Y).

```
1 otec(milan,dana).
2 otec(milan,petr).
3 otec(jan,david).
4 matka(pavla,dana).
5 matka(pavla,petr).
6 matka(jana,david).
7 rodic(X,Y):– otec(X,Y).
8 rodic(X,Y):– matka(X,Y).
```

PŘÍKLAD

predikát **sourozenci(X,Y)** – je **true**, když **X** a **Y** jsou (vlastní) sourozenci.

```
sourozenci(X,Y):- otec(O,X), otec(O,Y), X\=Y, matka(M,X), matka(M,Y).
```

```
1 otec(milan,dana).
2 otec(milan,petr).
3 otec(jan,david).
4 matka(pavla,dana).
5 matka(pavla,petr).
6 matka(jana,david).
7 rodic(X,Y):- otec(X,Y).
8 rodic(X,Y):- matka(X,Y).
```

```
?- sourozenci(dana,Y).
1, otec(O,dana)      % O = milan
```

PŘÍKLAD

predikát **sourozenci(X,Y)** – je **true**, když **X** a **Y** jsou (vlastní) sourozenci.

```
sourozenci(X,Y):- otec(O,X), otec(O,Y), X\=Y, matka(M,X), matka(M,Y).
```

```
1 otec(milan,dana).
2 otec(milan,petr).
3 otec(jan,david).
4 matka(pavla,dana).
5 matka(pavla,petr).
6 matka(jana,david).
7 rodic(X,Y):- otec(X,Y).
8 rodic(X,Y):- matka(X,Y).
```

```
?- sourozenci(dana,Y).
1, otec(O,dana)      % O = milan
2, otec(milan,Y)    % Y = dana
```


PŘÍKLAD

predikát **sourozenci(X,Y)** – je **true**, když **X** a **Y** jsou (vlastní) sourozenci.

```
sourozenci(X,Y):- otec(O,X), otec(O,Y), X\=Y, matka(M,X), matka(M,Y).
```

```
1 otec(milan,dana).
2 otec(milan,petr).
3 otec(jan,david).
4 matka(pavla,dana).
5 matka(pavla,petr).
6 matka(jana,david).
7 rodic(X,Y):- otec(X,Y).
8 rodic(X,Y):- matka(X,Y).
```

```
?- sourozenci(dana,Y).
1, otec(O,dana)      % O = milan
2, otec(milan,Y)    % Y = dana
3, dana \= dana     % fail -> backtracking
```

PŘÍKLAD

predikát **sourozenci(X,Y)** – je **true**, když **X** a **Y** jsou (vlastní) sourozenci.

```
sourozenci(X,Y):- otec(O,X), otec(O,Y), X\=Y, matka(M,X), matka(M,Y).
```

```
1 otec(milan,dana).
2 otec(milan,petr).
3 otec(jan,david).
4 matka(pavla,dana).
5 matka(pavla,petr).
6 matka(jana,david).
7 rodic(X,Y):- otec(X,Y).
8 rodic(X,Y):- matka(X,Y).
```

```
?- sourozenci(dana,Y).
1, otec(O,dana)      % O = milan
2, otec(milan,Y)    % Y = dana
3, dana \= dana     % fail -> backtracking
2*, otec(milan,Y)   % Y = petr
```

PŘÍKLAD

predikát **sourozenci(X,Y)** – je **true**, když **X** a **Y** jsou (vlastní) sourozenci.

```
sourozenci(X,Y):- otec(O,X), otec(O,Y), X\=Y, matka(M,X), matka(M,Y).
```

```
1 otec(milan,dana).
2 otec(milan,petr).
3 otec(jan,david).
4 matka(pavla,dana).
5 matka(pavla,petr).
6 matka(jana,david).
7 rodic(X,Y):- otec(X,Y).
8 rodic(X,Y):- matka(X,Y).
```

```
?- sourozenci(dana,Y).
1, otec(O,dana)      % O = milan
2, otec(milan,Y)    % Y = dana
3, dana \= dana     % fail -> backtracking
2*, otec(milan,Y)   % Y = petr
3, dana \= petr     % true
```

PŘÍKLAD

predikát **sourozenci(X,Y)** – je **true**, když **X** a **Y** jsou (vlastní) sourozenci.

```
sourozenci(X,Y):- otec(O,X), otec(O,Y), X\=Y, matka(M,X), matka(M,Y).
```

```
1 otec(milan,dana).
2 otec(milan,petr).
3 otec(jan,david).
4 matka(pavla,dana).
5 matka(pavla,petr).
6 matka(jana,david).
7 rodic(X,Y):- otec(X,Y).
8 rodic(X,Y):- matka(X,Y).
```

```
?- sourozenci(dana,Y).
1, otec(O,dana)      % O = milan
2, otec(milan,Y)    % Y = dana
3, dana \= dana     % fail -> backtracking
2*, otec(milan,Y)   % Y = petr
3, dana \= petr     % true
4, matka(M,dana)    % M = pavla
```

PŘÍKLAD

predikát **sourozenci(X,Y)** – je **true**, když **X** a **Y** jsou (vlastní) sourozenci.

```
sourozenci(X,Y):- otec(O,X), otec(O,Y), X\=Y, matka(M,X), matka(M,Y).
```

```
1 otec(milan,dana).
2 otec(milan,petr).
3 otec(jan,david).
4 matka(pavla,dana).
5 matka(pavla,petr).
6 matka(jana,david).
7 rodic(X,Y):- otec(X,Y).
8 rodic(X,Y):- matka(X,Y).
```

```
?- sourozenci(dana,Y).
1, otec(O,dana)      % O = milan
2, otec(milan,Y)    % Y = dana
3, dana \= dana     % fail -> backtracking
2*, otec(milan,Y)   % Y = petr
3, dana \= petr     % true
4, matka(M,dana)    % M = pavla
5, matka(pavla,petr) % true
```

PŘÍKLAD

predikát **sourozenci(X,Y)** – je **true**, když **X** a **Y** jsou (vlastní) sourozenci.

```
sourozenci(X,Y):- otec(O,X), otec(O,Y), X\=Y, matka(M,X), matka(M,Y).
```

```
1 otec(milan,dana).
2 otec(milan,petr).
3 otec(jan,david).
4 matka(pavla,dana).
5 matka(pavla,petr).
6 matka(jana,david).
7 rodic(X,Y):- otec(X,Y).
8 rodic(X,Y):- matka(X,Y).
```

? – sourozenci(dana,Y).

```
1, otec(O,dana)      % O = milan
2, otec(milan,Y)    % Y = dana
3, dana \= dana     % fail -> backtracking
2*, otec(milan,Y)   % Y = petr
3, dana \= petr     % true
4, matka(M,dana)   % M = pavla
5, matka(pavla,petr) % true
```

Y = petr

Yes

STROM VÝPOČTU

Dotaz ?- sourozenci(dana,Y).

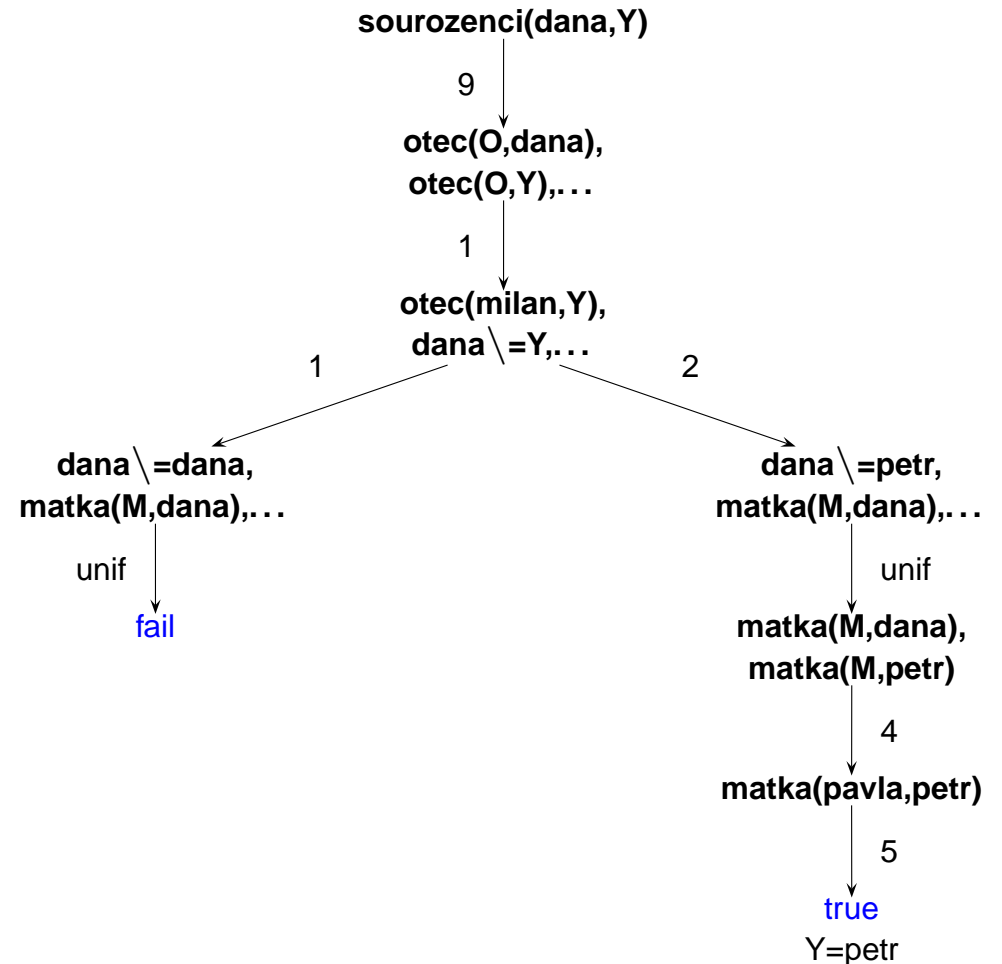
```
1 otec(milan,dana).
2 otec(milan,petr).
3 otec(jan,david).
4 matka(pavla,dana).
5 matka(pavla,petr).
6 matka(jana,david).
7 rodic(X,Y):-otec(X,Y).
8 rodic(X,Y):-matka(X,Y).
9 sourozenci(X,Y):-otec(O,X),otec(O,Y),X\=Y,
10                matka(M,X),matka(M,Y).
```

STROM VÝPOČTU

Dotaz ?- sourozenci(dana,Y).

```

1 otec(milan,dana).
2 otec(milan,petr).
3 otec(jan,david).
4 matka(pavla,dana).
5 matka(pavla,petr).
6 matka(jana,david).
7 rodic(X,Y):- otec(X,Y).
8 rodic(X,Y):- matka(X,Y).
9 sourozenci(X,Y):- otec(O,X), otec(O,Y), X\=Y,
10                  matka(M,X), matka(M,Y).
    
```



ROZDÍLY OD PROCEDURÁLNÍCH JAZYKŮ

→ single assignment

→ = (unifikace) vs. přiřazovací příkaz, == (identita), **is** (vyhodnocení aritm. výrazu). rozdíly:

```
?- A=1, A=B. % B=1 Yes
?- A=1, A==B. % No
?- A=1, B is A+1. % B=2 Yes
```

→ vícesměrnost predikátů (omezená, obzvláště při použití řezu)

```
?- otec(X,dana).
?- otec(milan,X).
?- otec(X,Y).
```

(rozdílení vstupních/výstupních proměnných: + - ?)

→ cykly, podmíněné příkazy

```
tisknizeznam(S)      :- write('seznam=[',nl,tisknizeznam(S,1).
tisknizeznam([],_)  :- write(' ] '),nl.
tisknizeznam([H|T],N):- tab(4),write(N),write(' :_ '), write(H),nl,N1 is N+1,tisknizeznam(T,N1).
```

PROGRAMUJEME

```
consult('program.pl').           % “ kompiluj ” program.pl  
['program.pl',program2].        % “ kompiluj ” program.pl , program2.pl  
listing .                       % vypiš programové predikáty  
trace, rodic(X,david).          % trasuj volání predikátu  
notrace.                        % zruš režim trasování  
halt.                            % ukonči interpret
```

FIBONACCIHO ČÍSLA

Fibonacciho čísla jsou čísla z řady: 0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, ...

Rekurenční vzorec této řady je: $\text{fib}_0 = 0$

$$\text{fib}_1 = 1$$

$$\text{fib}_i = \text{fib}_{i-1} + \text{fib}_{i-2}, \text{ pro } i \geq 2$$

FIBONACCIHO ČÍSLA

Fibonacciho čísla jsou čísla z řady: 0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, ...

Rekurenční vzorec této řady je: $\text{fib}_0 = 0$

$$\text{fib}_1 = 1$$

$$\text{fib}_i = \text{fib}_{i-1} + \text{fib}_{i-2}, \text{ pro } i \geq 2$$

Přepis do Prologu je přímočarý:

```
fib (0,0).
```

```
fib (1,1).
```

```
fib (X,Y) :- X1 is X-1, X2 is X-2, fib(X1,Y1), fib(X2,Y2), Y is Y1+Y2.
```

FIBONACCIHO ČÍSLA II

Předchozí program – exponenciální časová složitost (konstatní paměťová)

FIBONACCIHO ČÍSLA II

Předchozí program – exponenciální časová složitost (konstatní paměťová)

Využití extralogických predikátů – lineární časová složitost (a lineární paměťová)

```
fib (0,0).
```

```
fib (1,1).
```

```
fib (X,Y) :- X1 is X-1, X2 is X-2, fib(X1,Y1), fib (X2,Y2), Y is Y1+Y2, asserta(fib(X,Y)).
```