Úvod do umělé inteligence, jazyk Prolog

Aleš Horák

E-mail: hales@fi.muni.cz
http://nlp.fi.muni.cz/uui/

Obsah:

- Co je "umělá inteligence"
- Organizace předmětu PB016
- Stručné shrnutí Prologu

Obsah

Co je “umělá inteligence”

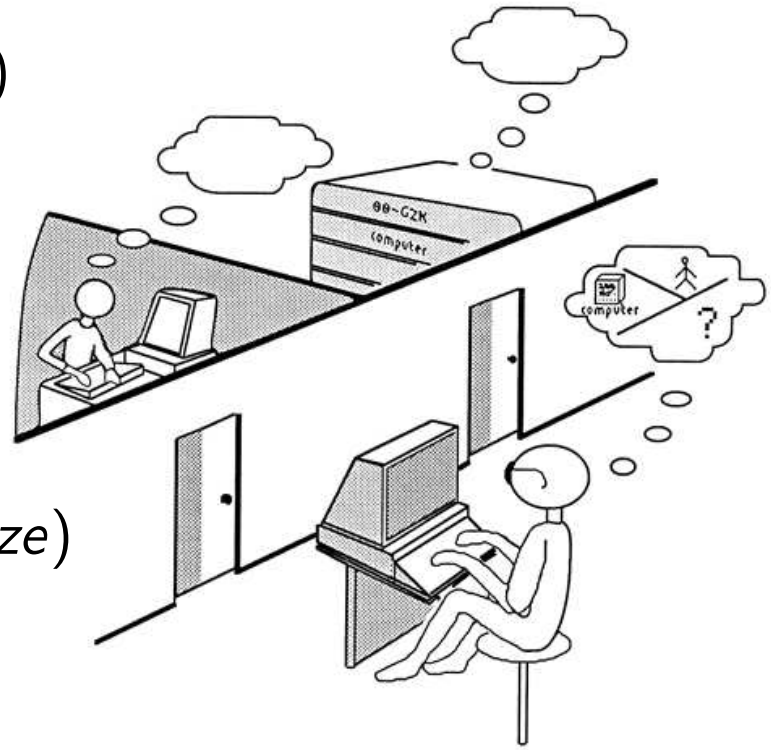
- systém, který se chová jako člověk

Co je "umělá inteligence"

- systém, 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
  $4.000 za "nejlidštější" program, nabízí
  $100.000 a zlatá medaile za složení celého
  Turingova testu (od 2019 bez odměn)



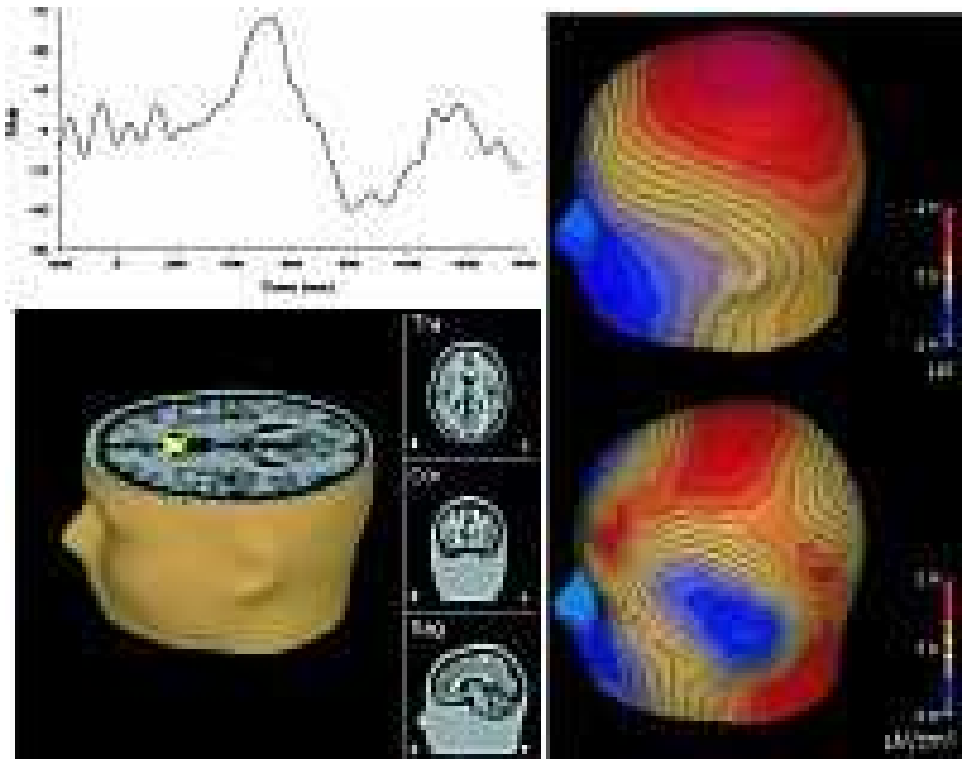

Můj počítač udělal ten Turingův test.
To znamená, že je stejně inteligentní jako já.
Nebo ty.
No on to zas tak velkej úspěch není.

- systém, který myslí jako člověk
  - snaha porozumět postupům lidského myšlení – kognitivní (poznávací) věda
  - využívá poznatků neurologie, neurochirurgie,. . .

- systém, který myslí jako člověk
  - snaha porozumět postupům lidského myšlení – kognitivní (poznávací) věda
  - využívá poznatků neurologie, neurochirurgie,...
    např.

    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



  - 2013–2023 Human Brain Project, Geneva, Švýcarsko

- systém, který myslí rozumně

  od dob Aristotela (350 př.n.l.)

  - náplň studia logiky
  - problém – umět najít řešení teoreticky $\times$ prakticky (složitost a vyčíslitelnost)
  - problém – neúplnost a nejistota vstupních dat

- systém, který myslí rozumně

  od dob Aristotela (350 př.n.l.)

  - náplň studia logiky
  - problém – umět najít řešení teoreticky × prakticky (složitost a vyčíslitelnost)
  - problém – neúplnost a nejistota vstupních dat
- systém, který se chová rozumně (inteligentně)

  inteligentní agent – systém, 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 programovaní pro inteligentní agenty
- strategie řešení, prohledávání stavového prostoru, heuristiky, ...
- s příklady v jazyce Prolog a Python

Náplň předmětu

1. úvod do UI, jazyk Prolog **(18.9.)**
2. operace na datových strukturách **(25.9.)**
3. prohledávání stavového prostoru **(2.10.)**
4. heuristiky, best-first search, A* search **(9.10.)**
5. dekompozice problému, AND/OR grafy **(16.10.)**
6. problémy s omezujícími podmínkami, průběžná písemka **(23.10.)**
7. hry a základní herní strategie **(30.10.)**
8. logický agent, výroková logika **(6.11.)**
9. logika prvního řádu a transparentní intenzionální logika **(13.11.)**
10. reprezentace a vyvozování znalostí **(20.11.)**
11. učení, rozhodovací stromy, neuronové sítě **(27.11.)**
12. zpracování přirozeného jazyka **(4.12.)**

Obsah

Organizace předmětu PB016

Hodnocení předmětu:

- průběžná písemka (max 32 bodů)
  - v $^1/_2$ semestru – v rámci 6. přednášky, pro všechny 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 $\geq$ 115 bodů známka E za $\geq$ 63 bodů
- rozdíly 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 příklady z přednášek, může dostat 1–5 bodů (celkem max 5)

Základní informace

- cvičení – samostudium, v rámci "třetího kreditu"
- web stránka předmětu – `http://nlp.fi.muni.cz/uui/`
- `http://nlp.fi.muni.cz/uui/priklady/` – příklady z přednášek
- 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, 3rd ed., Prentice Hall, 2010. (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.

Obsah

Stručné shrnutí Prologu

Historie:

- 70. I. Colmerauer, Kowalski; D.H.D. Warren (WAM); $\rightarrow$ 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:

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

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).
```

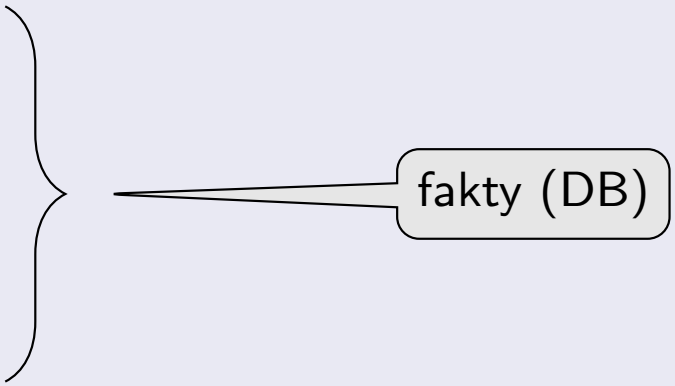
Příklad

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).
```



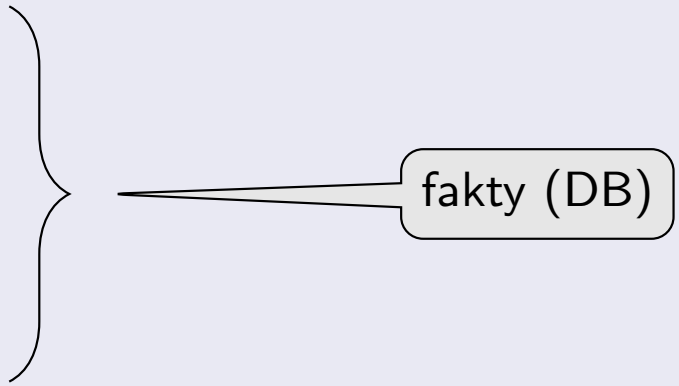
Příklad

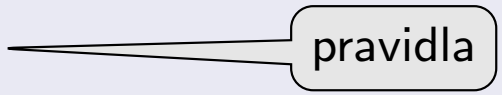
jednoduchý příklad – DB rodinných vztahů:

```
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

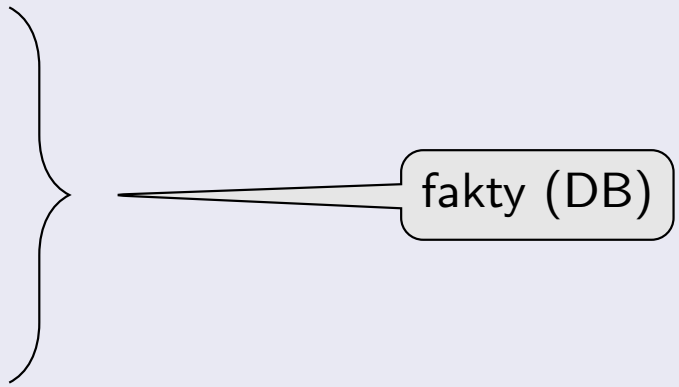
jednoduchý příklad – DB rodinných vztahů:

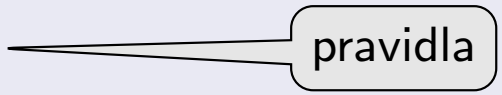
```
otec(milan,dana).
otec(milan,petr).
otec(jan,david).

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

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

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





Příklad

jednoduchý příklad – DB rodinných vztahů:

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

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

fakty (DB)

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

pravidla

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

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

Principy

- backtracking řízený unifikací, hojně využívá rekurzi
- spojitost s logikou:
  - důkaz pravdivosti 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.

    info(*Manzel*,dana,*Deti*,svatba('20.12.1940')) = info(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

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

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).
```

```
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

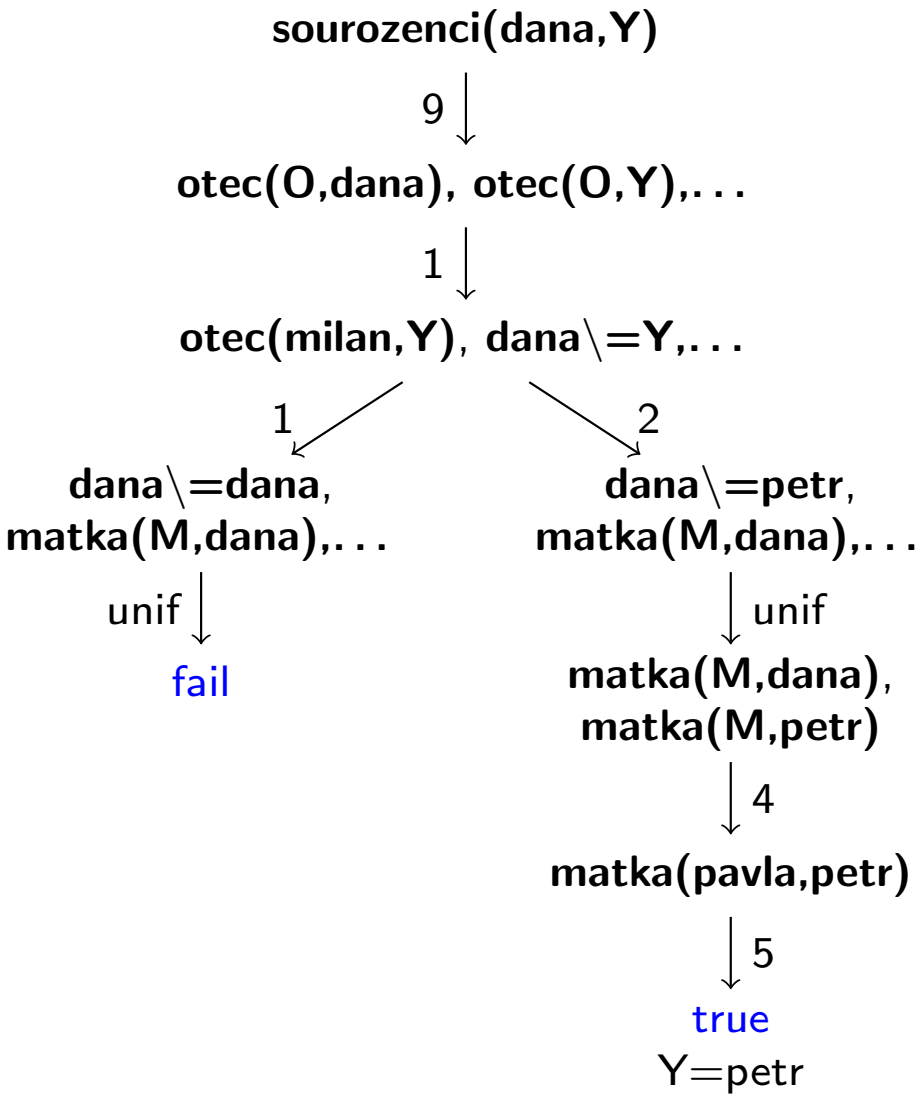
Dotaz **?- sourozenci(dana,Y).**

```
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),
10      X\=Y,
11      matka(M,X), matka(M,Y).
```

Strom výpočtu

```
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),
10       X\=Y,
11       matka(M,X), matka(M,Y).
```

Dotaz **?- sourozenci(dana,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).
```

(rozlišení vstupních/výstupních proměnných: + - ?)

- cykly, podmíněné příkazy

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

$$\begin{aligned} \mathrm{fib}_0 &= 0 \\ \mathrm{fib}_1 &= 1 \\ \mathrm{fib}_i &= \mathrm{fib}_{i-1} + \mathrm{fib}_{i-2}, \text{pro } i \geq 2 \end{aligned}$$

Fibonacciho čísla

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

$$\begin{aligned} \mathrm{fib}_0 &= 0 \\ \mathrm{fib}_1 &= 1 \\ \mathrm{fib}_i &= \mathrm{fib}_{i-1} + \mathrm{fib}_{i-2}, \text{pro } i \geq 2 \end{aligned}$$

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 paměť pro data, lineární pro zásobník)

Fibonacciho čísla II

Předchozí program – exponenciální časová složitost (konstatní paměť pro data, lineární pro zásobník)
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)).
```