

Reprezentace a vyvozování znalostí

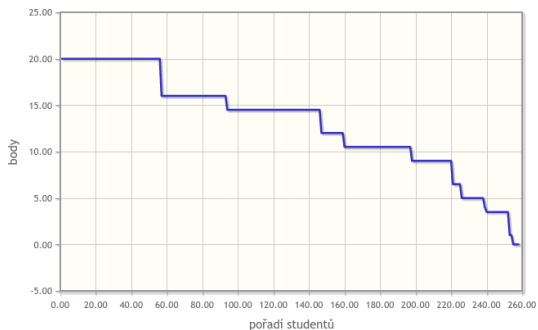
Aleš Horák

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

Obsah:

- ▶ Statistické výsledky průběžné písemky
- ▶ Reprezentace a vyvozování znalostí
- ▶ Extralogické informace
- ▶ Pravidlové systémy
- ▶ Nejistota a pravděpodobnost

Statistické výsledky průběžné písemky



průběžná písemka PB016
258 studentů

Body	Počet studentů
20	56
16	37
14.5	53
12	13
10.5	38
9	23
6.5	5
5	13
4	1
3.5	13
1	2
0	4

Medián: 14.5 bodů

Reprezentace a vyvozování znalostí

otázka:

Jak zapíšeme znalosti o problému/doméně?

Když je zapíšeme, můžeme z nich mechanicky odvodit nová fakta?

- ▶ **reprezentace znalostí** (*knowledge representation*) – hledá způsob vyjádření znalostí počítačově zpracovatelnou formou (za účelem odvozování)
- ▶ **vyvozování znalostí** (*reasoning*) – zpracovává znalosti uložené v **bázi znalostí** (*knowledge base, KB*) a provádí **odvození** (inference) nových závěrů:
 - odpovědi na dotazy
 - zjištění faktů, které vyplývají z faktů a pravidel v KB
 - odvodit akci, která vyplývá z dodaných znalostí, ...

Reprezentace znalostí

proč je potřeba speciální **reprezentace znalostí**?

vnímání lidí × *vnímání počítačů*

▶ člověk

- ▶ když dostane novou věc (třeba pomeranč) – **prozkoumá** a **zapamatuje** si ho (a třeba sní)
- ▶ během tohoto procesu člověk **zjistí** a **uloží si** všechny základní vlastnosti předmětu
- ▶ později, když se **zmíní** daná věc, vyhledají se a připomenou uložené informace

▶ počítač

- ▶ musí se spolehnout na informace od lidí
- ▶ jednodušší informace – přímé *programování*
- ▶ složité nebo rozsáhlé informace – zadané v **symbolickém jazyce**

Volba reprezentace znalostí

která **reprezentace znalostí** je **nejlepší**?

Pro řešení skutečně obtížných problémů musíme používat několik různých reprezentací. Každý konkrétní typ datových struktur má totiž své klady a zápory a žádný se sám o sobě nezdá adekvátní pro všechny funkce zahrnuté v tom, čemu říkáme “selský rozum” (common sense).

– Marvin Minsky, spoluzakladatel MIT AI lab

Limity reprezentace znalostí

Všechny modely se mýlí, některé jsou ale užitečné.

(All models are wrong, but some are useful)

– *George Box, významný britský statistik*

Kompletní reprezentace
znalostí má řešit:

- ▶ kategorie
- ▶ míry a hodnoty
- ▶ složené objekty
- ▶ čas, prostor a změny
- ▶ události a procesy
- ▶ fyzické objekty
- ▶ látky/substance
- ▶ mentální objekty a postoje
- ▶ ...

Často je nutné se kvůli **efektivitě modelu** vzdát **přesnosti** nebo **úplnosti**.

Reifikace – abstrakce jako objekt

reifikace (zvěcnění) – zjednodušení (logické) analýzy
abstrakci/objekt vyššího řádu modelujeme jako **objekt**

vlastnost objektu \approx *predikát pomeranč*

“držím pomeranč” \approx $\text{držet}(\text{Já}, x) \wedge \text{pomeranč}(x)$

“mám rád chuť pomeranče” \approx $\text{mít_rád}(\text{Já}, x) \wedge x = \text{chuť}(\text{?pomeranč?})$

... v PL1 nelze

s **reifikací** predikátu *pomeranč* (konstanta):

“mám rád chuť pomeranče” \approx $\text{mít_rád}(\text{Já}, x) \wedge x = \text{chuť}(\text{pomeranč})$

“držím pomeranč” \approx $\text{držet}(\text{Já}, x) \wedge \text{is_instance}(x, \text{pomeranč})$

Z čistě logického hlediska vznikají **neexistující objekty** (spory při tvrzení o *neexistenci*)

ale při **korektním** zpracování – stačí **jednodušší formalismus**

Extralogické informace – třídy, sémantické sítě, rámce

co jsme dosud ignorovali:

- ▶ objekty reálného světa mají mezi sebou **vztahy**
 - třídy/kategorie, podtřídy × nadtřídy
 - hierarchie vztahů části/celku
 - dědění vlastností v hierarchiích
- ▶ stav světa se může **měnit** v čase
 - explicitní reprezentace času
 - nemonotónní uvažování (pravdivost se může měnit v čase)
- ▶ ne každá informace je “černobílá”
 - nejistota
 - statistika, fuzzy logika

Třídy objektů

- ▶ “Chci si koupit fotbalový míč.”
 - *Chci si koupit FM27341* – špatně
 - *Chci si koupit objekt, který je prvkem třídy fotbalových míčů* – správně
- ▶ objekty jsou organizovány do **hierarchie tříd**
 - $FM27341 \in \text{fotbalové_míče}$
 - $\text{fotbalové_míče} \subset \text{míče}$
- ▶ **fakta** (objekty) \times **pravidla** (třídy)
 - *Všechny míče jsou kulaté.*
 - *Všechny fotbalové míče mají X cm v průměru.*
 - *FM27341 je červenomodrobílý.*
 - *FM27341 je fotbalový míč.*
 - (Proto: *FM27341 je kulatý a má X cm v průměru.*)

Ontologie

- ▶ **ontologie** ve filozofii – nauka o **existenci** a typech existencí
 - ▶ **ontologie** v informatice – **formální popis znalostí**, pojmy a vztahy mezi pojmy, hierarchie
 - ▶ ontologie **obecné** (*upper level*) × **doménové**
 - ▶ různé dostupné obecné, žádná standardem (zatím):
(Open)Cyc, SUMO/MILO, Dublin Core, DOLCE, ...
- <http://archivo.dbpedia.org>, <http://www.ontologyportal.org>

```
(=>
  (and
    (instance ?KILL Killing)
    (patient ?KILL ?OBJ))
  (exists (?DEATH)
    (and
      (instance ?DEATH Death)
      (experiencer ?DEATH ?OBJ)
      (causes ?KILL ?DEATH))))
```

Pokud nějaký proces (?KILL) je instancí zabíjení (Killing) a nějaký agent (?OBJ) je předmětem toho procesu

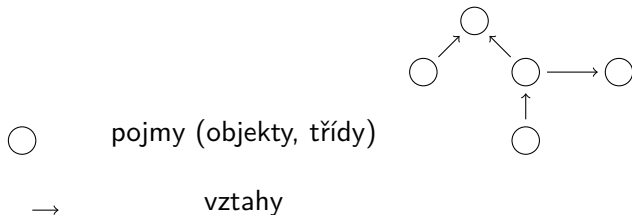
=>

pak existuje jiný proces (?DEATH) takový, že tento jiný proces je instancí smrti (Death) a agent ?OBJ se účastní tohoto jiného procesu ?DEATH a původní proces ?KILL je příčinou tohoto jiného procesu ?DEATH

Sémantické sítě

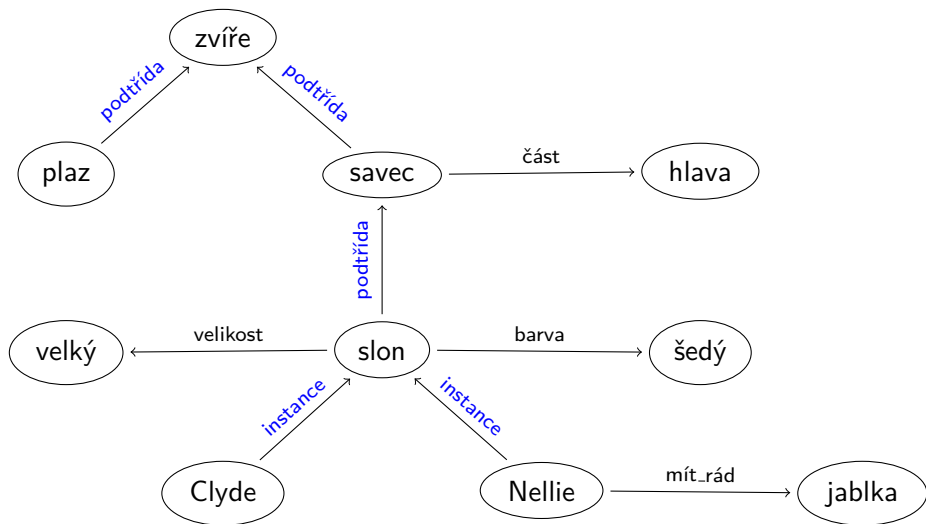
sémantické sítě – reprezentace faktových znalostí (pojmy + vztahy)

- ▶ vznikly kolem roku 1960 pro reprezentaci významu anglických slov
- ▶ znalosti jsou uloženy ve formě grafu



- ▶ nejdůležitější vztahy – **taxonomie**:
 - **podtřída** (*subclass*) – vztah mezi třídami
 - **instance** – vztah mezi konkrétním objektem a jeho rodičovskou třídou
- jiné vztahy – **část** (*has-part*), barva, ...

Sémantické sítě – příklad



Dědičnost v sémantických sítích

- ▶ pojem sémantické sítě *předchází* OOP
- ▶ **dědičnost**:
 - jestliže určitá vlastnost platí pro **třidu** → platí i pro **všechny** její **podtřídy**
 - jestliže určitá vlastnost platí pro **třidu** → platí i pro **všechny prvky** této třídy
- ▶ určení hodnoty vlastnosti – **rekurzivní algoritmus**
- ▶ potřeba specifikovat i výjimky – mechanismus **vzorů** a **výjimek** (*defaults and exceptions*)
 - **vzor** – hodnota vlastnosti u třídy nebo podtřídy, platí ta, co je blíže objektu
 - **výjimka** – u konkrétního objektu, odlišná od vzoru

Dědičnost vztahů část/celek

- ▶ “Krávy mají 4 nohy.”
 - každá noha je částí krávy
- ▶ “Na poli je (konkrétní) kráva.”
 - všechny části krávy jsou taky na poli
- ▶ “Ta kráva (na poli) je hnědá (celá).”
 - všechny části té krávy jsou hnědé
- ▶ “Ta kráva je šťastná.”
 - ~~všechny části té krávy jsou šťastné~~ – neplatí
- ▶ lekce: některé vlastnosti jsou děděny částmi, některé nejsou explicitně se to vyjadřuje pomocí pravidel jako
$$part-of(x, y) \wedge location(y, z) \Rightarrow location(x, z)$$

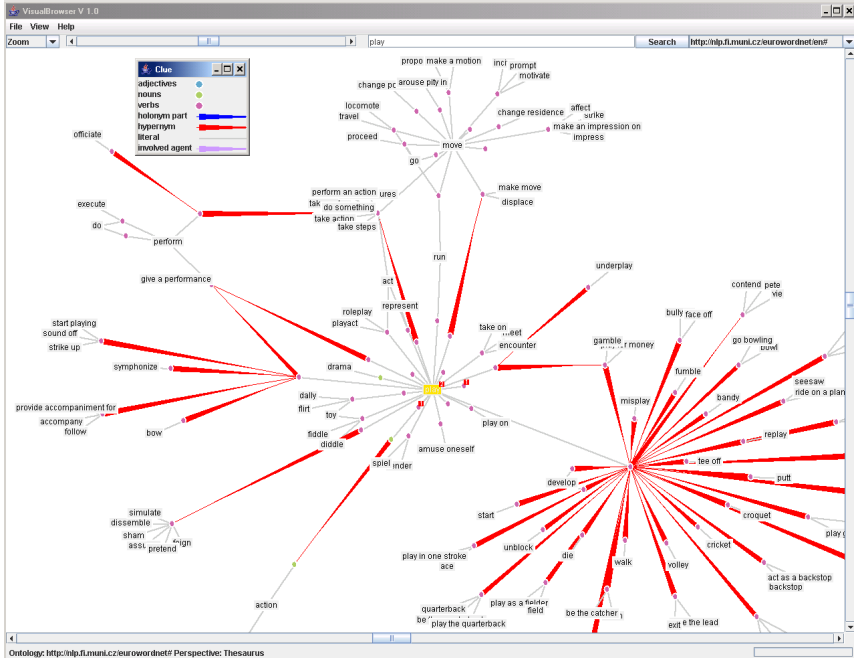
Vzory a výjimky – příklad

- ▶ “Všichni ptáci mají křídla.”
- ▶ “Všichni **ptáci** umí létat.”
- ▶ “Ptáci se zlomenými křídly jsou ptáci, ale neumí létat.”
- ▶ “**Tučňáci** jsou ptáci, ale neumí létat.”
- ▶ “**Kouzelní tučňáci** jsou tučňáci, kteří umí létat.”
- ▶ kdo umí létat:
 - “Penelope je pták.” \Rightarrow “Penelope **umí** létat.”
 - “Penelope je tučňák.” \Rightarrow “Penelope **neumí** létat.”
 - “Penelope je kouzelný tučňák.” \Rightarrow “Penelope **umí** létat.”
- ▶ všimněte si, že víra v hodnotu vlastnosti objektu se může měnit s příchodem nových informací o klasifikaci objektu

Aplikace sémantických sítí

(Princeton) **WordNet** – <http://wordnet.princeton.edu/>

- ▶ sémantická síť 150.000 (anglických) pojmů, zachycuje:
 - synonyma, antonyma (významově stejná/opačná)
 - hyperonyma, hyponyma (podtřídy)
 - odvozenost a další jazykové vztahy
- ▶ tvoří se **národní wordnety** (navázané na anglický WN)
český wordnet – cca 30.000 pojmů
- ▶ nástroj na editaci národních wordnetů – **DEBVisDic/VisDic**, vyvinutý na FI MU – <http://deb.fi.muni.cz/>
- ▶ VisualBrowser –
<http://nlp.fi.muni.cz/projekty/visualbrowser/>
nástroj na vizualizaci (sémantických) sítí, vznikl jako DP na FI MU



The screenshot displays the DEBVisDic application interface. At the top, a menu bar includes 'User', 'Settings', 'Tools', 'Windows', and 'Help'. Below this, several Wordnet windows are visible:

- English Wordnet:** Search for 'dog'. Results include: [n] andiron:1, firedog:1, dog:7, dog:8; [n] frump:1, dog:2; [n] cad:1, bounder:1, blackguard:1, dog:4, hound:1; [n] dog:1, domestic dog:1, Canis familiaris:1; [n] frank:2.
- Greek Wordnet:** Search for 'σοῦ ἰκό'. Results include: [n] περ τοῦ ἰκό:1; [n] περ τοῦ ἰκό:0.
- Czech Wordnet:** Search for 'pes'. Results include: [n] zakopaný pes:1; [n] policejní pes:1; [n] hlídač:4, hlídač pes:1; [n] pes:1; [n] slepecký pes:1, vodící pes:1.
- Russian Wordnet:** Search for 'журнал'. Results include: [n] журнал:1.

A context menu is open over the Czech Wordnet window, listing options: 'Dictionary - SSČ', 'dictionary - SSČ', 'Morph. analyzer ajka', and 'Google'. Another context menu is open over the Russian Wordnet window, listing options: 'Show in Czech Wordnet', 'Take key from Czech Wordnet', 'AutoLookup in', 'Copy entry to Czech Wordnet', and 'Import IDs from file'. The Russian window also shows 'POS: n ID: **RUS-1234560515**' and 'Synonyms: книга:1'. The bottom of the Russian window shows 'Number of entries: 1'.

Rámce

Rámce (*frames*):

- ▶ varianta sémantických sítí představená Marvinem Minskim
- ▶ velice populární pro reprezentaci znalostí v **expertních systémech**
- ▶ všechny informace relevantní pro daný **pojem** se ukládají do univerzálních struktur – **rámců**
- ▶ stejně jako sémantické sítě, rámce podporují **dědičnost**
- ▶ OO programovací jazyky vycházejí z teorie rámců

Rámce – příklad

rámec obsahuje **objekty**, *sloty* a **hodnoty slotů**

příklady rámců:

savec:

<i>podtřída:</i>	zvíře
<i>část:</i>	hlava
* <i>má_kožich:</i>	ano

slon:

<i>podtřída:</i>	savec
* <i>barva:</i>	šedá
* <i>velikost:</i>	velký

Nellie:

<i>instance:</i>	slon
<i>mít_rád:</i>	jablka

'*' označuje **vzorové hodnoty**, které mohou měnit hodnoty u podtříd a instancí

Sémantické sítě × rámce

sémantické sítě	rámce
uzly	objekty
spoje	sloty
uzel na druhém konci spoje	hodnota slotu

deskripční logika (*description logic*) – logický systém, který manipuluje přímo s rámci

Rámce – využití v praxi

příklad využití rámců – ontologie **Friend of A Friend (FOAF)**

- ▶ popisuje **osoby**, jejich **činnosti** a **vztahy** k jiným osobám a objektům
- ▶ decentralizovaný přístup, `http://xmlns.com/foaf/spec/`
- ▶ využívány komunitami (blogovací platformy, MediaWiki, ...)
- ▶ základ standardu W3C **WebID 1.0** (2014 draft)

```
<link rel="meta" type="application/rdf+xml" title="FOAF"
      href="http://example.com/~vangogh/foaf.rdf"/>
```

```
<foaf:Person rdf:nodeID="VincentvanGogh"
              xmlns:foaf="http://xmlns.com/foaf/0.1/">
  <foaf:name>Vincent van Gogh</foaf:name>
  <foaf:homepage rdf:resource="https://www.vangoghgallery.com/" />
  <foaf:img rdf:resource="/images/vangogh.jpg" />
  <foaf:knows rdf:resource="#PaulGauguin"/>
  <foaf:made rdf:resource="https://www.vangoghgallery.com/painting/sunflowerindex.html"/>
</foaf:Person>
```

Pravidlové systémy

▶ snaha zachytit **produkčními pravidly** znalosti, které má expert

▶ obecná forma pravidel

IF *podmínka*

THEN *akce*

- podmínky – booleovské výrazy, dotazy na hodnoty **proměnných**
- akce – nastavení hodnot proměnných, příznaků, ...

▶ důležité vlastnosti:

- znalosti mohou být strukturovány do modulů
- systém může být snadno rozšířen přidáním nových pravidel beze změny zbytku systému

Pravidlová báze znalostí – příklad

pravidla pro **oblékání**:

- pravidlo 1 IF X je seriózní
AND X bydlí ve městě
THEN X by měl nosit sako
- pravidlo 2 IF X je akademik
AND X je společensky aktivní
AND X je seriózní
THEN X by měl nosit sako a
kravatu
- pravidlo 3 IF X bydlí ve městě
AND X je akademik
THEN X by měl nosit kravatu
- pravidlo 4 IF X je podnikatel
AND X je společensky aktivní
AND X je seriózní
THEN X by měl nosit sako, ale
ne kravatu

společenská pravidla:

- pravidlo 5 IF X je podnikatel
AND X je ženatý
THEN X je společensky
aktivní
- pravidlo 6 IF X je akademik
AND X je ženatý
THEN X je seriózní

profesní pravidla:

- pravidlo 7 IF X učí na univerzitě
OR X učí na vysoké škole
THEN X je akademik
- pravidlo 8 IF X vlastní firmu
OR X je OSVČ
THEN X je podnikatel

Expertní systémy

- ▶ aplikace pravidlových systémů
- ▶ zaměřeny na specifické oblasti – medicínská diagnóza, návrh konfigurace počítače, expertíza pro těžbu ropy, ...
- ▶ snaha zachytit **znalosti experta** pomocí pravidel
ale znalosti experta zahrnují – postupy, strategie, odhady, ...
- ▶ expertní systém musí pracovat s procedurami, nejistými znalostmi, různými formami vstupu
- ▶ vhodné oblasti pro nasazení expertního systému:
 - **diagnóza** – hledání řešení podle symptomů
 - **návrh konfigurace** – složení prvků splňujících podmínky
 - **plánování** – posloupnost akcí splňujících podmínky
 - **monitorování** – porovnání chování s očekávaným chování, reakce na změny
 - **řízení** – ovládání složitého komplexu
 - **předpovědi** – projekce pravděpodobných závěrů z daných skutečností
 - **instruktáž** – inteligentní vyučování a zkoušení studentů

Expertní systémy v praxi

CLIPS, pravidlový jazyk a prostředí pro **expertní systémy**

- ▶ **NASA** Johnson Space Center – řízení kontroly raket (1985–1996)
- ▶ aktivně vyvíjený (v. 6.40 z 10.6.2021), tisíce projektů
- ▶ pracuje s **objekty**, **fakty** a IF-THEN **pravidly**

```
(deftemplate emergency (slot type))           ; objekt
(deftemplate response (slot action))         ; objekt
(defrule fire-emergency (emergency (type fire)) ; pravidlo
 => (assert (response (action activate-sprinkler))))
```

```
(reset)
(assert (emergency (type fire)))           ; fakt
(run)
(facts)
  f-0    (initial-fact)
  f-1    (emergency (type fire))
  f-2    (response (action activate-sprinkler))
```

For a total of 3 facts.

Nejistota

definujme akci A_t jako “Vyrazit na letiště t hodin před odletem letadla.”
jak najít odpověď na otázku “Dostanu se akcí A_t na letiště včas k odletu letadla?”

problémy:

1. částečná pozorovatelnost (stav vozovky, záměry ostatních řidičů, ...)
2. nejistota výsledků akcí (píchnutí kola, ...)
3. obrovská složitost modelování a předpovědi dopravní situace

čistě logický přístup tedy:

- riskuje chybu – “ A_5 mě na letiště dostane včas.”
- vede k závěrům, které jsou příliš slabé pro rozhodování: “ A_5 mě tam dostane včas, pokud nebude na dálnici nehoda a pokud nebude pršet a jestli nepíchnu kolo a jestli nebude fronta na odbavovacích přepážkách a jestli nebudou problémy při kontrole zavazadel ...”

Metody pro práci s nejistotou

▶ defaultní/nemonotónní logika

Předpokládejme, že nepíchnu cestou kolo.

Předpokládejme, že A_5 bude OK, pokud se nenajde protipříklad.

▶ logická pravidla s faktory nejistoty (zastaralé)

$A_5 \mapsto_{0.3}$ dostat se na letiště včas.

zalévání $\mapsto_{0.99}$ mokrý trávník

mokrý trávník $\mapsto_{0.7}$ déšť

▶ pravděpodobnost (míra předpokladu, že hodnota bude *true*)

Vzhledem k dostupným informacím, A_3 mě tam dostane včas s pravděpodobností 0.05.

poznámka: fuzzy logika se zabývá **mírou pravdivosti**, NE **pravděpodobností**

Pravděpodobnost

Pravděpodobnost **sumarizuje** nejistotu pocházející z

- **lenosti** – nepodařilo se vypočítat všechny výjimky, podmínky, ...
- **neznalosti** – nedostatek relevantních údajů, počátečních podmínek, ...

subjektivní × **Bayesovská** pravděpodobnost:

- pravděpodobnostní vztah mezi tvrzením a jeho pravdivosti vzhledem k podmínkám:

$$P(A_4 | \text{žádné hlášené nehody}) = 0.5$$

nejedná se o vyjádření **pravděpodobnostní tendence** (ale může se získat ze znalostí podobných případů v minulosti)

- pravděpodobnost tvrzení se může měnit s novými (vstupními) podmínkami:

$$P(A_4 | \text{žádné hlášené nehody, je 4:00 ráno}) = 0.63$$

pravidlo pro **podmíněnou pravděpodobnost** – $P(a|b) = \frac{P(a \wedge b)}{P(b)}$ pokud $P(b) \neq 0$

neboli **pravidlo násobení** (*product rule*) – $P(a \wedge b) = P(a|b)P(b)$

Vывozování z nejistých znalostí

- ▶ **náhodná proměnná** (*random variable*) – **funkce**, která vzorkům přiřazuje hodnoty → vrací výsledky měření sledovaného jevu
distribuce pravděpodobností náhodné proměnné = (vektor) pravděpodobností, že daná proměnná bude mít konkrétní hodnotu
např.:

*náhodná proměnná **Odd** \approx výsledek hodu kostkou bude lichý*

*náhodná proměnná **Weather** \approx jaké bude počasí (slunce, déšť, mraky, sníh)*

$$\text{Odd}(1) = \text{true} \quad \text{Weather}(21.11.2005) = \text{déšť}$$

distribuce pravděpodobností proměnných **Odd** a **Weather**

$$P(\text{Odd} = \text{true}) = 1/6 + 1/6 + 1/6 = 1/2$$

$$P(\text{Odd}) = \langle 1/2, 1/2 \rangle$$

$$P(\text{Weather}) = \langle 0.72, 0.1, 0.08, 0.1 \rangle$$

- ▶ pravidla pro výpočet pravděpodobnosti logicky souvisejících událostí

$$P(a \vee b) = P(a) + P(b) - P(a \wedge b)$$

Bayesovské pravidlo pro vyvozování

z pravidla pro **podmíněnou pravděpodobnost** – $P(a|b) = P(a \wedge b)/P(b)$
 lze odvodit **Bayesovské pravidlo** pro určení **diagnostické** pravděpodobnosti
 ze znalosti **příčinné** pravděpodobnosti:

$$P(\text{Příčina}|\text{Následek}) = \frac{P(\text{Následek}|\text{Příčina})P(\text{Příčina})}{P(\text{Následek})}$$

např. *ZMB* zánět mozkových blan, *ZK* ztuhlý krk:

$$P(zmb|zk) = \frac{P(zk|zmb)P(zmb)}{P(zk)} = \frac{0.8 \times 0.0001}{0.1} = 0.0008$$

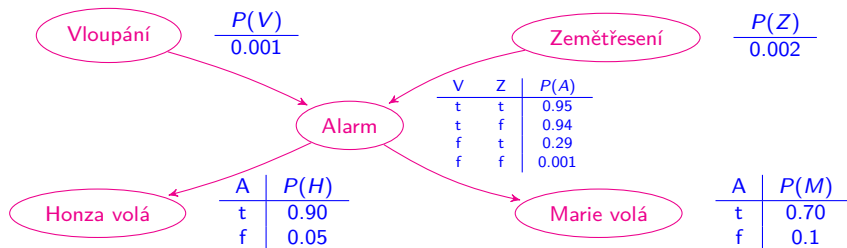
- vyvozování** =
1. rozdělení akce na **atomické události**
 2. zjištění **pravděpodobností** atomických událostí
 3. výpočet/odvození pravděpodobností pomocí **složených distribucí pravděpodobností** (*joint probability distribution*)

$$P(\text{Odd, Weather}) = \left\langle \begin{array}{cccc} 0.36 & 0.05 & 0.04 & 0.05 \\ 0.36 & 0.05 & 0.04 & 0.05 \end{array} \right\rangle$$

Bayesovské sítě

Bayesovská síť:

- ▶ acyklický orientovaný graf
- ▶ uzly obsahují **tabulky podmíněných pravděpodobností** rodičů
- ▶ síť **reprezentuje** složenou distribuci pravděpodobností **všech proměnných**
- ▶ umožňuje efektivní přesné nebo přibližné (Monte Carlo) **vyvozování**
- ▶ **nejčastěji používaný** aparát pro vyvozování z nejistých znalostí



$$P(v|h, m) = \alpha P(v) \sum_z P(z) \sum_a P(a|v, z) P(h|a) P(m|a)$$