Chapter 11

Машинно самообучение

11.1 Лекции

11.1.1 Основни понятия на машинното самообучение

- *Пространство на примерите*: $x_1, x_2, x_4 \in \{0,1,2\}, x_3, x_6 \in \{0,1\}, x_5 \in \{0,1,2,3\}$, $|\{(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)\}| = 432$
- *Обучаваща/тестова извадка*:

No.	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	y
1	0	0	0	2	3	1	1
2	2	1	1	1	0	0	0
3	2	1	1	1	3	0	1
4	1	0	0	0	0	1	0
5	2	2	1	2	2	1	1
6	1	2	1	0	2	1	0
7	1	1	0	2	2	1	1
8	0	1	0	1	2	0	0
9	0	0	1	0	0	0	1
10	2	0	1	0	0	0	0
11	1	1	1	0	1	0	?

- *Формиране на понятия/регресия*: $f?$, $y = f(X)$
  - Пропозиционални правила:
    $x_1 = 0 \land x_2 = 0 \rightarrow y = 1$
    $x_1 = 1 \land x_2 = 1 \rightarrow y = 1$
    $x_1 = 2 \land x_2 = 2 \rightarrow y = 1$
    $x_5 = 3 \rightarrow y = 1$
    $x_1 = 0 \land x_2 = 1 \land x_5 = 0 \rightarrow y = 0$
    ...
  - Релационно представяне (променливи, релации: $=$, $\neq$):
    $x_1 = x_2 \lor x_5 = 3 \rightarrow y = 1$
    $x_1 \neq x_2 \land x_5 \neq 3 \rightarrow y = 0$
- *Предсказване*: $f(1,1,1,0,1,0) = ?$
- Оценка на грешката: $Error(f) = \frac{|\{(x_1,...,x_6) | f(x_1,...,x_6) \neq y\}|}{432}$

11.1.2 Индуктивна задача

- *Език* L с три подмножества – L_B (*език на основните знания*), L_E (*език на примерите*) и L_H (*език на хипотезите*), и *релация за изводимост* "$\rightarrow$" ("$\geq$") – съответствие между елементи от езика L.
- *Индуктивна задача*: При дадени *основни знания* $B \in L_B$, *положителни примери* $E^+ \in L_E$ и *отрицателни примери* $E^- \in L_E$, да се намери хипотеза $h \in L_H$, при следните условия:
  1. $B \not\rightarrow E^+$ (*необходимост*);
  2. $B \not\rightarrow E^-$ (*непротиворечивост на основните знания*);

3. $B \cup h \to E^+$ (*достатъчност*);
4. $B \cup h \not\to E^-$ (*непротиворечивост на хипотезата*).

- Най-обща хипотеза $\top$: $e \in L_E \Rightarrow \top \to e$.
- Най-специфична хипотеза $\bot$: $e \in E^+ \Leftrightarrow \bot \to e$ (например $\bot = E^+$).
- Пространство на хипотезите: $\{h | h \geq \bot, h \leq \top\}$
- Оператори за обобщение/специализация: $h' = \rho(h)$, $h' \geq h$ ($h' \leq h$)
- Най-специфично обобщение (lgg): $h = lgg(h_1, h_2)$ ако $h \geq h_1$, $h \geq h_2$ и $\forall h'$, $h' \geq h_1$, $h' \geq h_2 \Rightarrow h' \geq h$.

11.1.3 Език атрибут-стойност

- $L = \{a_1 = v_1, ..., a_n = v_n | v_1 \in V_{a_1}, ..., v_n \in V_{a_n}\}$. V_{a_i} е множество от възможните стойности на атрибута a_i. Например `[цвят=зелен, форма=правоъгълна]`, или при позиционен запис: `[зелен, правоъгълна]`.
- Наредба между примери/хипотези: $X \in L$, $Y \in L$, $X \geq Y$, ако $X \subseteq Y$; $lgg(X, Y) = X \cap Y$.
- Език на хипотезите: $L_H = \{C_1 \vee C_2 \vee ... \vee C_n | C_i \in L, i \geq 1\}$ (множество от правила); $h \to e \Leftrightarrow \exists C_i \in h, C_i \geq e$.
- Индуктивна задача за повече от едно понятие (клас): $E = \cup_{i=1}^{k} E^i$. Положителните примери за класа i са E^i, а отрицателните $E \backslash E^i$.
- Представяне на основните знания: $B = \emptyset$ (използват се *неявно* в релациите за изводимост и наредбите между примерите).

11.1.4 Покриваща стратегия

- Общ алгоритъм ($h = \{h_1, h_2, ..., h_n\}$):
  1. Намери h_i, т. че $\nexists e \in E^-$, $h_i \not\to e$;
  2. $E^+ = E^+ \setminus \{e | h_i \to e\}$;
  3. Ако $E^+ \neq \emptyset$ то продължи с 1, в противен случай край.
- Търсене в графа на обобщенията/специализациите (фигура 11.1). Оператори за обобщение/специализация (позиционно представяне, пропуснат атрибут = анонимна променлива):

```
variabilize([X|T],[_|T]) :-
    nonvar(X).
variabilize([X|T],[X|V]) :-
    variabilize(T,V).

instantiate([X|T],[Y|_],[Y|T]) :-
    var(X).
instantiate([X|T],[_|V],[X|W]) :-
    instantiate(T,V,W).
```

- Търсене отдолу нагоре чрез lgg: задача за k класа, $E = \cup_{i=1}^{k} E^i$, $B = \emptyset$, $h_i \in L_E$.
  1. Избери $e_i, e_j \in E^k$ за някое k;
  2. $h_{ij} = lgg(e_i, e_j)$;
  3. Ако $\nexists e \in E^l$, за $l \neq k$, такова че $h_{ij} \to e$ то $E^k = (E^k \setminus \{e | h_{ij} \to e\}) \cup \{h_{ij}\}$;
  4. Ако стъпки 1 или 3 са невъзможни то край, в противен случай продължи с 1.
  5. Окончателната хипотеза е $h = \cup_{i=1}^{k} E^i$.
- Реализация на Пролог (позиционно представяне на примера/хипотезата `[A1=V1,...,An=Vn]` като `[Class,V1,...,Vn]`):

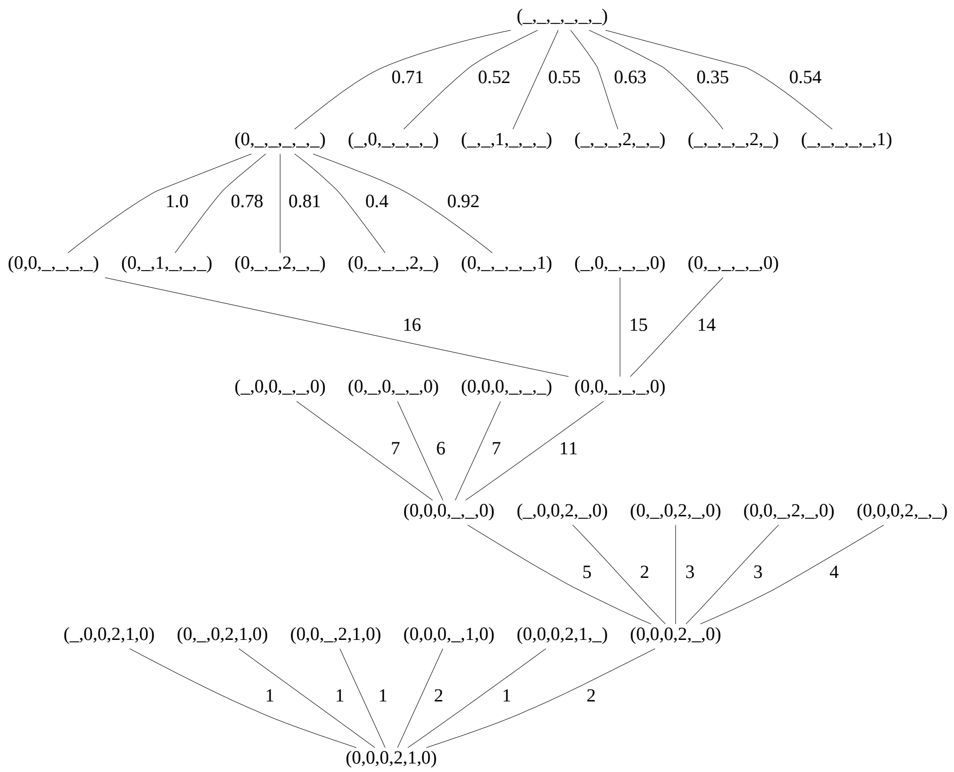

Figure 11.1: Граф на обобщенията/специализациите

```
lrn(E,R) :-
    del([C|A],E,E1),
    del([C|B],E1,E2),
    lgg(A,B,LGG),
    \+((member([C1|LGG],E2),\+(C=C1))),
    lrn([[C|LGG]|E2],R).
lr(R,R).

lgg([],[],[]).
lgg([X|T],[Y|L],[X|V]) :-
    X==Y, !,
    lgg(T,L,V).
lgg([_|T],[_|L],[_|V]) :-
    lgg(T,L,V).
```

11.2 Семинарни упражнения

- Рализация на Пролог на оператори за обобщение, специализация и lgg при номинални атрибути.
- Реализация на алгоритъм за търсене чрез lgg.
- Тестване на алгоритми за ИМС чрез обучаваща и тестова извадка. Графика на предсказаната точност при нарастваща обучаваща извадка.

11.3 Лабораторни упражнения

- Експерименти с алгоритмите за търсене чрез обобщение/специализация (search.pl) и търсене чрез lgg (simple.pl) върху данните animals.pl и monks1.pl.
- Сравнение на алгоритмите за търсене чрез обобщение/специализация (search.pl) и търсене чрез lgg (simple.pl) на базата на предсказващата им точност (изчислена съответно чрез предикатите test/3 и test/2).