Prohledávání prostoru hypotéz

Pro ″klasickou úlohu strojového učení″ potřebujeme:

- DATA
- hypotézy
- míru, nakolik daná hypotéza odpovídá datům

Data

- **DATA**: příklad na tabuli,
- jeden atribut je **cílový**, u nás `EnjoySport`, ostatní jsou **vstupní**
- cílem učení je najít hypotézu – funkci, která na základě vstupních parametrů správně určí cílový atribut
- **positivní příklady** jsou data s hodnotou cílového atributu `Yes`, **negativní příklady** jsou data s hodnotou cílového atributu `No`.

Prostor hypotéz

- **Hypotézy** formulujeme v určitém vyjadřovacím jazyce v našem případě konjunkce testů vstupních atritutů, které charakterizují hodnotu cílového atributu `Yes`
  - hypotézy jsou formátu $\langle ?, Cold, High, ?, ?, ? \rangle$, kde
  - znak na pozici odpovídá podmínce na odpovídající vstupní (ne–cílový) atribut
  - znakem je buď konkrétní hodnota atributu, znak ? nekladoucí žádnou podmínku na daný atribut, znak $\emptyset$ odpovídající nesplňitelné podmínce
- Pro binární atributy máme $4^{|\text{počet atributů}|}$ hypotéz, hypotézy obsahující $\emptyset$ jsou ekvivalentní, tj. máme $3^{|\text{počet atributů}|} + 1$.
- Budeme prohledávat systematicky.

- Prostor hypotéz je **částečně uspořádaný inkluzí** $h_1 >_g h_2$ hypotéza h_1 je **obecnější** než h_2 (píšeme $h_1 >_g h_2$), pokud každý příklad splňující h_1 splňuje i h_2. V tom případě se h_2 nazývá **specifičtější** než h_1.
- Např. $\langle ?, ?, \ldots, ? \rangle$ je obecnější než $\langle Sunny, ?, \ldots, Same \rangle$.
- **Nejobecnější hypotéza** je $\langle ?, ?, \ldots, ? \rangle$, tu splňují všechna data
- **maximálně specifická hypotéza** je $\langle \emptyset, \emptyset, \ldots, \emptyset \rangle$, kterou nesplňuje žádný záznam.
- Prostor všech hypotéz tvoří svaz, viz. obrázek na tabuli.

Ohodnocovací funkce

- **ohodnocovací funkce** určuje, nakolik hypotéza odpovídá datům.
- Hledáme takovou hypotézu, kterou by splňovaly všechny pozitivní příklady a nesplňoval žádný negativní příklad.
- tj. aby byla implikace $hypoteza \Rightarrow (EnjoySport = Yes)$ pro všechna data pravdivá
- (to lze, pokud máme data bez náhody a šumu).

Nalezení maximálně specifické hypotézy odpovídající datům

Algoritmus FIND–S

1. $h \leftarrow \langle \emptyset, \ldots, \emptyset \rangle$ max. specifická hypotéza
2. pro každý positivní příklad x v datech

   pro každou podmínku na atribut $A_i = a_i$ v h

   Pokud příklad x nesplňuje $A_i = a_i$

   nahraď podmínku nejbližší obecnější podmínkou, kterou x splňuje

   jinak nech h beze změny
3. vydej hypotézu h

Ale:

- Je hypotéza nalezená FIND–S jediná konzistentní s daty?
- Proč tedy volit ji, ne nějakou maximálně obecnou či něco mezi?
- V jiném prostoru hypotéz nemusí být ani maximálně specifická hypotéza jednoznačná.
- **Budeme hledat všechny hypotézy konzistentní s daty.**
- Pokud nejsou trénovací data konzistentní, máme problém. Řešení je jiný typ hypotéz a jiná ohodnocovací funkce.

Prostor verzí

Prostor verzí vzhledem k prostoru hypotéz H a trénovacích dat D je podmnožina hypotéz z H konzistentní s trénovacími daty D,

$$VS_{H,D} = \{h \in H | Consistent(h, D)\}$$

- Tento prostor může být charakterizován obecnou a specifickou hranicí; každá hypotéza mezi těmito hranicemi spadá do prostoru verzí.
- **Obecná hranice G** vzhledem k H a D je množina maximálně obecných hypotéz z H konzistentních s daty, tj.

$$\begin{aligned} G = \quad \{ \quad & g \in H | Consistent(g, D) \& \\ & (\neg \exists g^{|} \in H)[(g^{|} >_g g) \& Consistent(g^{|}, G)]\} \end{aligned}$$

- **Specifická hranice S** vzhledem k H a D je množina maximálně specifických hypotéz z H konzistentních s daty, tj.

$$
\begin{aligned}
S = \quad \{ \quad & s \in H | Consistent(g, D) \& \\
& (\neg \exists s^| \in H)[(s >_g s^|) \& Consistent(s^|, G)]\}
\end{aligned}
$$

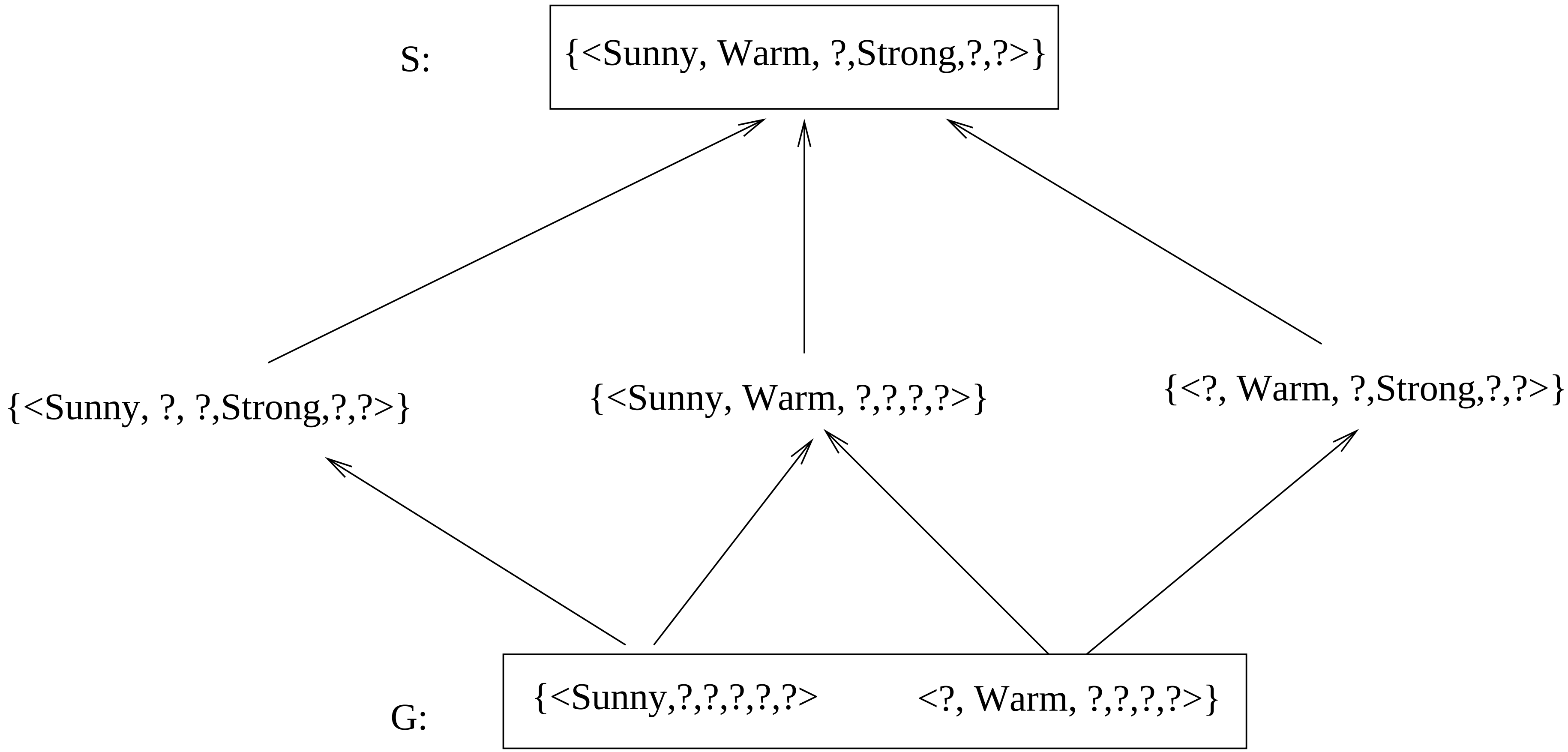

Figure 1: Prostor verzí s částečným uspořádáním inkluzí.

Algoritmus **Candidate–Elimination**

$G \leftarrow$ maximálně obecné hypotézy v H

$S \leftarrow$ maximálně specifické hypotézy v H

pokračuje

Pro každý trénovací příklad d, **do**

If d je positivní příklad

Odstaň z G všechny hypotézy nekonzistentní s d

For each $s \in S$, s nekonzistentní s d

Odstraň s z S

Přidej do S všechna h; minimální zobecnění s taková, že

h je konzistentní s d a zároveň $\exists g \in G; g >_g h$

Odstraň z S hypotézy, které nejsou maximálně specifické v S

If d je negativní příklad

Odstaň z **S** všechny hypotézy nekonzistentní s d

For each $g \in G$, g nekonzistentní s d

Odstraň g z G

Přidej do G všechna h; minimálně specifičtější než g taková, že

h je konzistentní s d a zároveň $\exists s \in S; h >_g s$

Odstraň z G hypotézy, které nejsou maximálně obecné v G