

# بسمه تعالی

## هوش مصنوعی عاملین منطقی - ۳ نیمسال اول ۱۴۰۳-۱۴۰۲

دکتر مازیار پالهنک  
آزمایشگاه هوش مصنوعی  
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر  
دانشگاه صنعتی اصفهان

# یاد آوری

- عامل دانش - مبنا
- منطق، ایجاب کردن
- دنیای دیو، اکتشاف در دنیای دیو
- مدلها
- استنتاج: یکی از دو وظیفه
  - موثق، کامل
  - منطق گزاره ای
- استنتاج با جدول درستی
- معتبر و قابل ارضا بودن

# قوانین استنتاج

■ قانون انتزاع Modus Ponens:

$$\frac{\alpha \Rightarrow \beta, \quad \alpha}{\beta}$$

■ حذف و:

$$\frac{\alpha \wedge \beta}{\alpha} .$$

■ همه هم ارزیهای منطقی

$$\frac{\alpha \Leftrightarrow \beta}{(\alpha \Rightarrow \beta) \wedge (\beta \Rightarrow \alpha)}$$
$$\frac{(\alpha \Rightarrow \beta) \wedge (\beta \Rightarrow \alpha)}{\alpha \Leftrightarrow \beta} .$$

# مثال برای دنیای دیو

■ نشان دادن  $\neg P_{1,2}$

■ قوانین تا کنون:

$$R_1 : \neg P_{1,1}$$

$$R_2 : B_{1,1} \Leftrightarrow (P_{1,2} \vee P_{2,1}) .$$

$$R_3 : B_{2,1} \Leftrightarrow (P_{1,1} \vee P_{2,2} \vee P_{3,1}) .$$

$$R_4 : \neg B_{1,1} .$$

$$R_5 : B_{2,1} .$$

# مثال برای دنیای دیو

■ حذف دو شرطی به  $R_2$

$$R_6 : (B_{1,1} \Rightarrow (P_{1,2} \vee P_{2,1})) \wedge ((P_{1,2} \vee P_{2,1}) \Rightarrow B_{1,1}) .$$

■ حذف و به  $R_6$

$$R_7 : ((P_{1,2} \vee P_{2,1}) \Rightarrow B_{1,1}) .$$

■ هم ارزی

$$R_8 : (\neg B_{1,1} \Rightarrow \neg(P_{1,2} \vee P_{2,1})) .$$

$$R_4 : \neg B_{1,1} .$$

■ قانون انتزاع  $R_4$  و  $R_8$

$$R_9 : \neg(P_{1,2} \vee P_{2,1}) .$$

# مثال برای دنیای دیو

■ دموورگان

$$R_{10} : \neg P_{1,2} \wedge \neg P_{2,1} .$$

■ با حذف و

$$\neg P_{1,2}$$

# جستجو برای استنتاج

- امکان استفاده از روشهای جستجوی کلاسیک برای یافتن دنبالهٔ مراحلی که یک اثبات را شکل می دهند.
- با تعریف مسئله بصورت:
- **حالت اولیه:** پایگاه دانش اولیه
- **اعمال:** همهٔ قوانین استنتاج به همهٔ جملاتی که به نیمهٔ بالائی قانون استنتاج منطبق می شوند.
- **نتیجه Result:** اضافه شدن جملهٔ پائین قانون استنتاج
- **هدف:** حالتی که شامل جمله ای است که می خواهیم اثبات کنیم.

- کار آئی یافتن یک اثبات بهتر از روشهای جستجو،
- جملات بی ربط کمتر در نظر گرفته می شوند.
- خاصیت **یکنواختی** monotonicity:
- با اضافه شدن جملات به پایگاه دانش، جملات ایجاب شده فقط افزوده می شوند.
- در واقع چیزی که قبلاً ایجاب می شده حذف نمی شود.

$$\text{if } KB \models \alpha \text{ then } KB \wedge \beta \models \alpha .$$



- می دانیم قوانین استنتاج موثق هستند.
- ولی اگر قوانین استنتاج کافی نباشند باز نمی توان ایجاب یک جمله را چک نمود.
- بطور مثال اگر قانون حذف دو شرطی وجود نداشت در مثال قبل نمی شد  $\neg P_{1,2}$  را نتیجه گرفت.

# تحليل Resolution

- **ليترال**: جمله اتمی یا نقيض جمله اتمی
- **کلاوز** Clause: فصل ليترالها
- **شکل عادی عطفی** – (Conjunctive Normal Form – CNF): عطف کلاوزها

$$\text{E.g., } (A \vee \neg B) \wedge (B \vee \neg C \vee \neg D)$$

■ قانون تحلیل تک Unit Resolution (حالت CNF)

$$\frac{\ell_1 \vee \dots \vee \ell_k, \quad m}{\ell_1 \vee \dots \vee \ell_{i-1} \vee \ell_{i+1} \vee \dots \vee \ell_k}$$

■ که  $\ell_i$  و  $m$  لیترالهای مکمل هستند

■ قانون تحلیل حالت کلی Resolution (حالت CNF)

$$\frac{\ell_1 \vee \dots \vee \ell_k, \quad m_1 \vee \dots \vee m_n}{\ell_1 \vee \dots \vee \ell_{i-1} \vee \ell_{i+1} \vee \dots \vee \ell_k \vee m_1 \vee \dots \vee m_{j-1} \vee m_{j+1} \vee \dots \vee m_n}$$

■ که  $\ell_i$  و  $m_j$  لیترالهای مکمل هستند.

■ بطور مثال در دنیای دیو:

$$\frac{P_{1,1} \vee P_{3,1}, \quad \neg P_{1,1} \vee \neg P_{2,2}}{P_{3,1} \vee \neg P_{2,2}} .$$

# تبدیل به CNF

- حذف دو شرطی: جایگزینی  $\alpha \Leftrightarrow \beta$  با  $(\alpha \Rightarrow \beta) \wedge (\beta \Rightarrow \alpha)$

$$(B_{1,1} \Rightarrow (P_{1,2} \vee P_{2,1})) \wedge ((P_{1,2} \vee P_{2,1}) \Rightarrow B_{1,1}) .$$

- حذف شرطی: جایگزینی  $\alpha \Rightarrow \beta$  با  $\neg \alpha \vee \beta$

$$(\neg B_{1,1} \vee P_{1,2} \vee P_{2,1}) \wedge (\neg (P_{1,2} \vee P_{2,1}) \vee B_{1,1}) .$$

- بردن نقیض به داخل با استفاده از نقیض دو گانه و دموورگان:

$$\neg(\neg \alpha) \equiv \alpha \quad (\text{double-negation elimination})$$

$$\neg(\alpha \wedge \beta) \equiv (\neg \alpha \vee \neg \beta) \quad (\text{De Morgan})$$

$$\neg(\alpha \vee \beta) \equiv (\neg \alpha \wedge \neg \beta) \quad (\text{De Morgan})$$

$$(\neg B_{1,1} \vee P_{1,2} \vee P_{2,1}) \wedge ((\neg P_{1,2} \wedge \neg P_{2,1}) \vee B_{1,1}) .$$

■ توزیع  $\vee$  روی  $\wedge$ :

$$(\neg B_{1,1} \vee P_{1,2} \vee P_{2,1}) \wedge (\neg P_{1,2} \vee B_{1,1}) \wedge (\neg P_{2,1} \vee B_{1,1}) .$$

- اگر در کلاوزی از یک لیترا ل چند نسخه وجود داشت فقط یکی نگاه داشته می شود.
- به این عمل **فاکتورگیری** factoring گفته می شود.

# الگوریتم Resolution

■ اثبات با تناقض (برهان خلف)، نشان دهید که  $KB \wedge \neg \alpha$  قابل ارضا نیست.

Figure 7.13

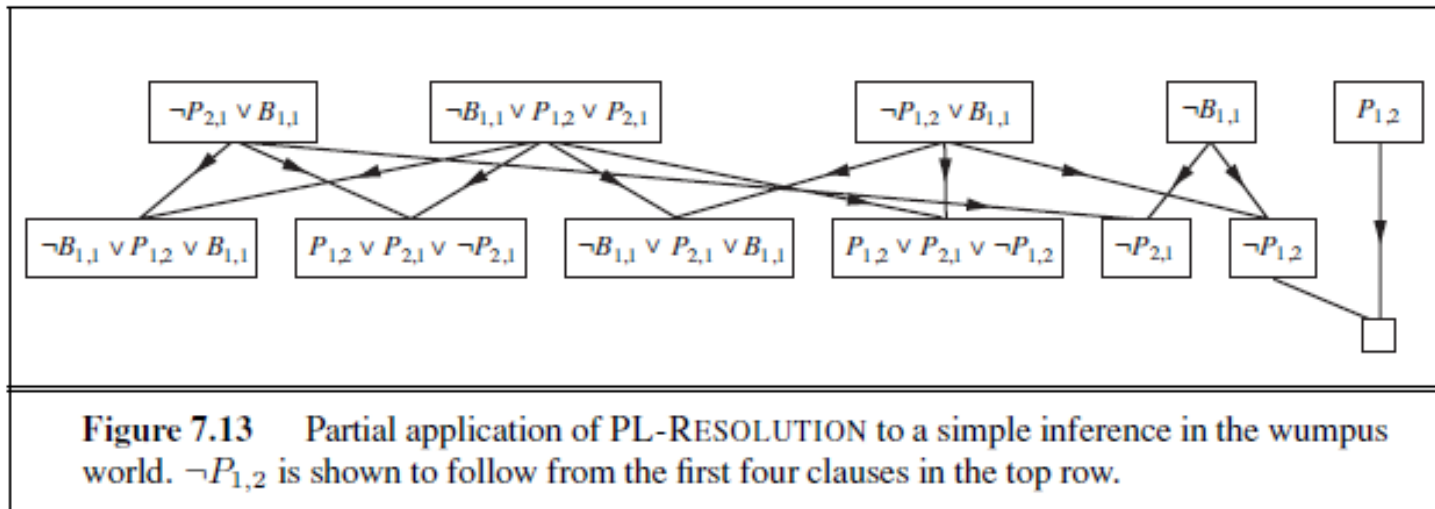
```
function PL-RESOLUTION( $KB, \alpha$ ) returns true or false
  inputs:  $KB$ , the knowledge base, a sentence in propositional logic
            $\alpha$ , the query, a sentence in propositional logic

   $clauses \leftarrow$  the set of clauses in the CNF representation of  $KB \wedge \neg \alpha$ 
   $new \leftarrow \{\}$ 
  while true do
    for each pair of clauses  $C_i, C_j$  in  $clauses$  do
       $resolvents \leftarrow$  PL-RESOLVE( $C_i, C_j$ )
      if  $resolvents$  contains the empty clause then return true
       $new \leftarrow new \cup resolvents$ 
    if  $new \subseteq clauses$  then return false
     $clauses \leftarrow clauses \cup new$ 
```

A simple resolution algorithm for propositional logic. PL-RESOLVE returns the set of all possible clauses obtained by resolving its two inputs.

# مثال Resolution

- $KB = (B_{1,1} \Leftrightarrow (P_{1,2} \vee P_{2,1})) \wedge \neg B_{1,1} \quad \alpha = \neg P_{1,2}$





- تحلیل یک روال استنتاج موثق و کامل است.
- همیشه به توان کامل آن نیاز نیست.
- بسیاری از پایگاههای دانش محدودیتهائی روی جملاتی که استفاده می کنند دارند،
- این باعث می شود که بتوان الگوریتمهای استنتاج محدودتر و کارآتری استفاده نمود.

■ کلاوز معین Definite clause کلاوزی با دقیقاً یک لیترال مثبت

■ بطور مثال  $(\neg L_{1,1} \vee \neg Breeze \vee B_{1,1})$

■ کلاوز هرن Horn Clause کلاوزی با حداکثر یک لیترال مثبت

■ کلاوز بدون لیترال مثبت کلاوز هدف Goal Clause

■ کلاوزهای هرن تحت تحلیل بسته هستند.

■ اگر تحلیل را روی دو کلاوز هرن اعمال کنیم حاصل یک کلاوز هرن خواهد شد.

- پایگاههای دانش به صورت کلاوزهای معین جالب هستند چون:
- یک کلاوز معین قابل تبدیل به فرم شرطی است که در آن مقدم عطف لیتراهای مثبت و تالی یک لیترال مثبت است.
- بدنه و سر
- مثال  $(\neg L_{1,1} \vee \neg \text{Breeze} \vee B_{1,1})$
- تبدیل به  $(\neg(L_{1,1} \wedge \text{Breeze}) \vee B_{1,1})$
- تبدیل به  $(L_{1,1} \wedge \text{Breeze}) \Rightarrow B_{1,1}$
- درک جملات به صورت شرطی ساده تر است.

- واقعیت: یک کلاوز فقط با یک لیترال مثبت و بدون لیترال منفی
- مانند:  $L_{1,1}$
- می تواند به صورت  $\text{True} \Rightarrow L_{1,1}$  نوشته شود.
- کلاوز بدون لیترال مثبت (کلاوز هدف) را می توان بصورت یک شرطی با سر False نوشت
- $(\neg W_{1,1} \vee \neg W_{1,2}) \Rightarrow \text{False}$  هم ارز است با  $(W_{1,1} \wedge W_{1,2})$

$$\begin{aligned}
\text{CNFSentence} &\rightarrow \text{Clause}_1 \wedge \dots \wedge \text{Clause}_n \\
\text{Clause} &\rightarrow \text{Literal}_1 \vee \dots \vee \text{Literal}_m \\
\text{Fact} &\rightarrow \text{Symbol} \\
\text{Literal} &\rightarrow \text{Symbol} \mid \neg \text{Symbol} \\
\text{Symbol} &\rightarrow P \mid Q \mid R \mid \dots \\
\text{HornClauseForm} &\rightarrow \text{DefiniteClauseForm} \mid \text{GoalClauseForm} \\
\text{DefiniteClauseForm} &\rightarrow \text{Fact} \mid (\text{Symbol}_1 \wedge \dots \wedge \text{Symbol}_l) \Rightarrow \text{Symbol} \\
\text{GoalClauseForm} &\rightarrow (\text{Symbol}_1 \wedge \dots \wedge \text{Symbol}_l) \Rightarrow \text{False}
\end{aligned}$$

- استنتاج با کلاوزهای هن را می توان بصورت زنجیربندی به جلو یا زنجیربندی به عقب انجام داد.
- تعیین ایجاب کردن از روی کلاوزهای هن در زمانی بصورت خطی نسبت به اندازه پایگاه دانش قابل انجام است.

# خلاصه

- نمایش جملات دنیای دیو در منطق گزاره ای
- جدول درستی برای استنتاج
- هم ارزیها
- قوانین استنتاج
- جستجو برای استنتاج
- قانون Resolution
- تبدیل جملات بصورت CNF
- عدم نیاز به توان کامل تحلیل
- کلاوزهای معین و هرن



دانشگاه صنعتی اصفهان - مجموعه تالارها

مازیار پالهنک

هوش مصنوعی - نیمسال اول ۱۴۰۲-۰۳

24



- دقت نمائید که پاورپوینت ابزاری جهت کمک به یک ارائه شفاهی می باشد و به هیچ وجه یک جزوه درسی نیست و شما را از خواندن مراجع درس بی نیاز نمی کند.
- لذا حتماً مراجع اصلی درس را مطالعه نمائید.
- در تهیه اسلایدها از سایت کتاب استفاده شده است.