

بسمه تعالی

هوش مصنوعی استنتاج در منطق مرتبهٔ اول - ۱ نیمسال اول ۱۴۰۳-۱۴۰۲

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

استنتاج

■ فرض کنید:

$$\forall x \text{ Human}(x) \Rightarrow \text{Mortal}(x)$$

$$\text{Human}(\text{Socrat})$$

■ تبدیل به حالت گزاره ای

قوانین استنتاج شامل سورها

■ $SUBST(\theta, \alpha)$ جمله ای که از جایگزینی θ در جمله α بدست می آید.

■ مثال:

■ $SUBST(\{x/Ali, y/Amin\}, Likes(x, y)) = Likes(Ali, Amin)$

■ **حذف عمومی:** برای هر جمله α ، متغیر v و ترم زمینه g :

$$\frac{\forall v \alpha}{SUBST(\{v / g\}, \alpha)}$$

■ ترم زمینه: یک ترم بدون متغیر

■ بطور مثال: $\forall x \text{ Likes}(x, \text{Apple})$

■ $\text{Likes}(\text{Amin}, \text{Apple})$

■ $\text{Likes}(\text{Amir}, \text{Apple})$

■

■ **حذف وجودی:** برای هر جمله α ، متغیر v و نماد ثابت K که در جای دیگری از پایگاه دانش ظاهر نشده:

$$\frac{\exists v \alpha}{\text{SUBST}(\{v / K\}, \alpha)}$$

- نام جدید K ، ثابت اسکلم (Skolem constant)
- حذف عمومی را بارها می توان اعمال نمود،
- حذف وجودی فقط یک بار

کاهش به استنتاج گزاره ای

$$\forall x \text{ Human}(x) \Rightarrow \text{Mortal}(x)$$

■ تبدیل می شود به:

$$\text{Human}(\text{Bograt}) \Rightarrow \text{Mortal}(\text{Bograt})$$

$$\text{Human}(\text{Arashmidos}) \Rightarrow \text{Mortal}(\text{Arashmidos})$$

$$\text{Human}(\text{Sograt}) \Rightarrow \text{Mortal}(\text{Sograt})$$

...

$$\text{Human}(\text{Sograt})$$

کاهش به استنتاج گزاره ای

■ مشکل: نمادهای تابعی، تعداد زیادی ترمهای زمینه وجود دارند:

■ مثال: $\text{Father}(\text{Father}(\text{Amir}))$

■ **قضیه هربرند:** اگر یک جمله از یک پایگاه دانش منطق مرتبه اول ایجاب شد، توسط یک زیر مجموعه محدود پایگاه دانش گزاره ای شده ایجاب می شود

For $n = 0$ to ∞ do

create a propositional KB by instantiating
with depth- n terms

see if α is entailed by this KB

- مشکل: کار می کند اگر جمله ایجاب شود و گرنه در حلقه می افتد
- **قضیه تورینگ، چرچ:** ایجاب کردن در م.م.ا. نیمه قابل تصمیم گیری است (الگوریتمهایی وجود دارد که به هر جمله ایجاب شده بله بگویند، ولی الگوریتمی وجود ندارد که به هر جمله ایجاب نشده نه بگویند).

- مشکل: تعداد جملات نامربوط تولید شده می تواند خیلی زیاد باشد.
- مثلاً اگر داشتیم:

$$\forall x Teacher(x)$$

قانون انتزاع تعمیم یافته

■ فرض کنید پایگاه دانش بصورت زیر باشد:

$$\forall x \text{ Hungry}(x) \wedge \text{Owns}(x, \text{Apple}) \Rightarrow \text{Eats}(x, \text{Apple})$$

$$\text{Owns}(\text{Amir}, \text{Apple})$$

$$\text{Hungry}(\text{Amir})$$

■ می خواهیم سریعاً نتیجه بگیریم:

$$\text{Eats}(\text{Amir}, \text{Apple})$$

■ حتی اگر داشتیم $\forall y \text{ Owns}(y, \text{Apple})$

قانون انتزاع تعمیم یافته

- برای جملات اتمی P_i ، P'_i و q که یک جایگزینی θ وجود دارد بطوریکه $SUBST(\theta, P'_i) = SUBST(\theta, P_i)$ برای همه i ها:

$$\frac{p'_1, p'_2, \dots, p'_n, (p_1 \wedge p_2 \wedge \dots \wedge p_n \Rightarrow q)}{SUBST(\theta, q)}$$

- ارتقاء قانون انتزاع

موثق بودن ق.ا.ت.

■ با حذف عمومی می دانیم:

$$p \models p\theta \quad p\theta = SUBST(\theta, p)$$

■ پس

$$(p_1 \wedge \dots \wedge p_n \Rightarrow q) \models (p_1 \wedge \dots \wedge p_n \Rightarrow q)\theta = (p_1\theta \wedge \dots \wedge p_n\theta \Rightarrow q\theta)$$

■ و

$$p_1', \dots, p_n' \models p_1' \wedge \dots \wedge p_n' \models p_1'\theta \wedge \dots \wedge p_n'\theta$$

■ در صورتی که $p_i\theta = p_i'\theta$ طبق ق.ا. می توان نتیجه گرفت $q\theta$

یکسان سازی

- روال یکسان سازی (unification) دو جمله اتمی p و q را گرفته و یک جایگزینی بازمی گرداند که باعث شود p و q مشابه به نظر برسند.

$$\text{UNIFY}(p, q) = \theta \text{ where } \text{SUBST}(\theta, p) = \text{SUBST}(\theta, q)$$

- θ یکسان ساز نامیده می شود.

یکسان سازی

■ فرض کنید:

$$\forall x \text{ Knows}(\text{Amir}, x) \Rightarrow \text{Hates}(\text{Amir}, x)$$

■ فرض کنید می خواهیم بدانیم امیر از چه کسانی متنفر است؟

p	q	θ
Knows(Amir,x)	Knows(Amir,Hamid)	{x/Hamid}
Knows(Amir,x)	Knows(y,Parviz)	{x/Parviz,y/Amir}
Knows(Amir,x)	Knows(y,Mother(y))	{y/Amir,x/Mother(Amir)}
Knows(Amir,x)	Knows(x,Saber)	fail

یکسان سازی

- $\text{Knows}(x, \text{Saber})$ و $\text{Knows}(y, \text{Saber})$ یک معنا دارند.
- جداسازی استاندارد: دو جمله ای که در حال یکسان سازی هستند از متغیرهایی با نامهای متفاوت استفاده کنند.
- $\text{Unify}(\text{Knows}(\text{Amir}, x1), \text{Knows}(x2, \text{Saber})) = \{x1/\text{Saber}, x2/\text{Amir}\}$

یکسان سازی

p	q	θ
Knows(Amir,x)	Knows(y,z)	$\{y/\text{Amir}, x/z\}$ $\{y/\text{Amir}, x/\text{Amir}, z/\text{Amir}\}$ $\{y/\text{Amir}, x/z, w/\text{Bahram}\}$

- جایگزینی اول عمومی تر از دیگران است.
- سعی می کنیم عمومی ترین یکسان ساز را بیابیم
- most general unifier (mgu)

مثال

- بر اساس قانون فروش سلاح به کشورهای متخاصم توسط یک ایرانی جرم است. کشور فرضی، دشمن ایران تعدادی موشک در اختیار دارد و همه آنها توسط مزدور که یک ایرانی است به آنها فروخته شده است.
- مزدور مجرم است؟

1. ... فروش سلاح به کشورهای متخاصم توسط یک ایرانی جرم

است.
 $Iranian(x) \wedge Weapon(y) \wedge$

$Hostile(z) \wedge Sells(x, z, y) \Rightarrow Criminal(x)$

1. فرضی ... تعدادی موشک در اختیار دارد.

$\exists x Owns(Farzi, x) \wedge Missile(x)$

با استفاده از حذف وجودی و استفاده از ثابت اسکلم و حذف و

$Owns(Farzi, M1)$

$Missile(M1)$

3. همه آنها توسط مزدور به آنها فروخته شده است.

$$Missile(x) \wedge Owns(Farzi, x) \Rightarrow Sells(Mozdour, Farzi, x)$$

4. لازم است بدانیم: تمامی موشکها سلاح هستند.

$$Missile(x) \Rightarrow Weapon(x)$$

5. نیز لازم است بدانیم: دشمن ایران به عنوان یک متخاصم به حساب می آید:

$$Enemy(x, Iran) \Rightarrow Hostile(x)$$

6. مزدور یک ایرانی است.

Iranian(Mozdour)

7. کشور فرضی دشمن ایران ...

Enemy(Farzi, Iran)

■ پایگاه دانش نماد تابعی ندارد

■ به چنین پایگاهی Datalog گفته می شود. (کلاوزهای معین و بدون نماد تابعی)

الگوریتم زنجیربندی به جلو

function FOL-FC-ASK(KB, α) **returns** a substitution or *false*

inputs: KB , the knowledge base, a set of first-order definite clauses
 α , the query, an atomic sentence

while true do

$new \leftarrow \{\}$ // The set of new sentences inferred on each iteration

for each rule in KB **do**

$(p_1 \wedge \dots \wedge p_n \Rightarrow q) \leftarrow \text{STANDARDIZE-VARIABLES}(\text{rule})$

for each θ **such that** $\text{SUBST}(\theta, p_1 \wedge \dots \wedge p_n) = \text{SUBST}(\theta, p'_1 \wedge \dots \wedge p'_n)$
for some p'_1, \dots, p'_n **in** KB

$q' \leftarrow \text{SUBST}(\theta, q)$

if q' **does not unify with some sentence already in** KB **or** new **then**

add q' to new

$\phi \leftarrow \text{UNIFY}(q', \alpha)$

if ϕ **is not failure then return** ϕ

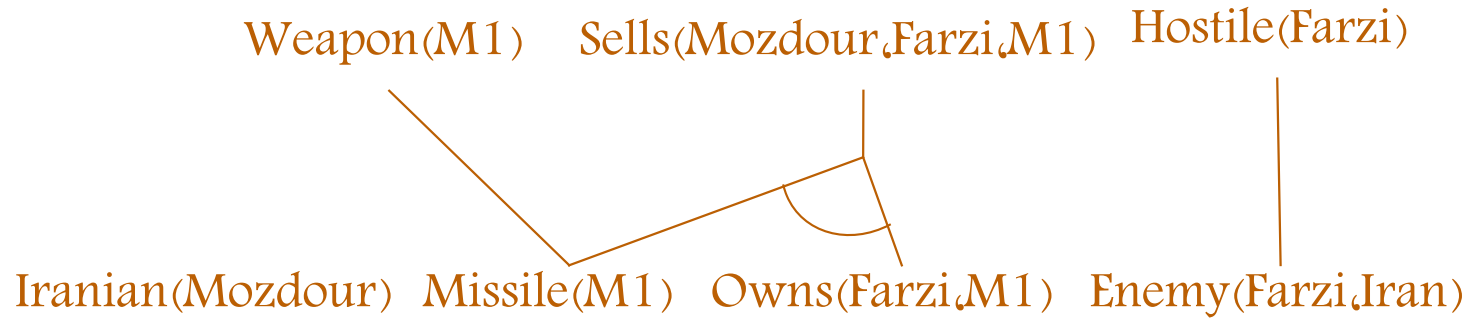
if $new = \{\}$ **then return** *false*

add new to KB

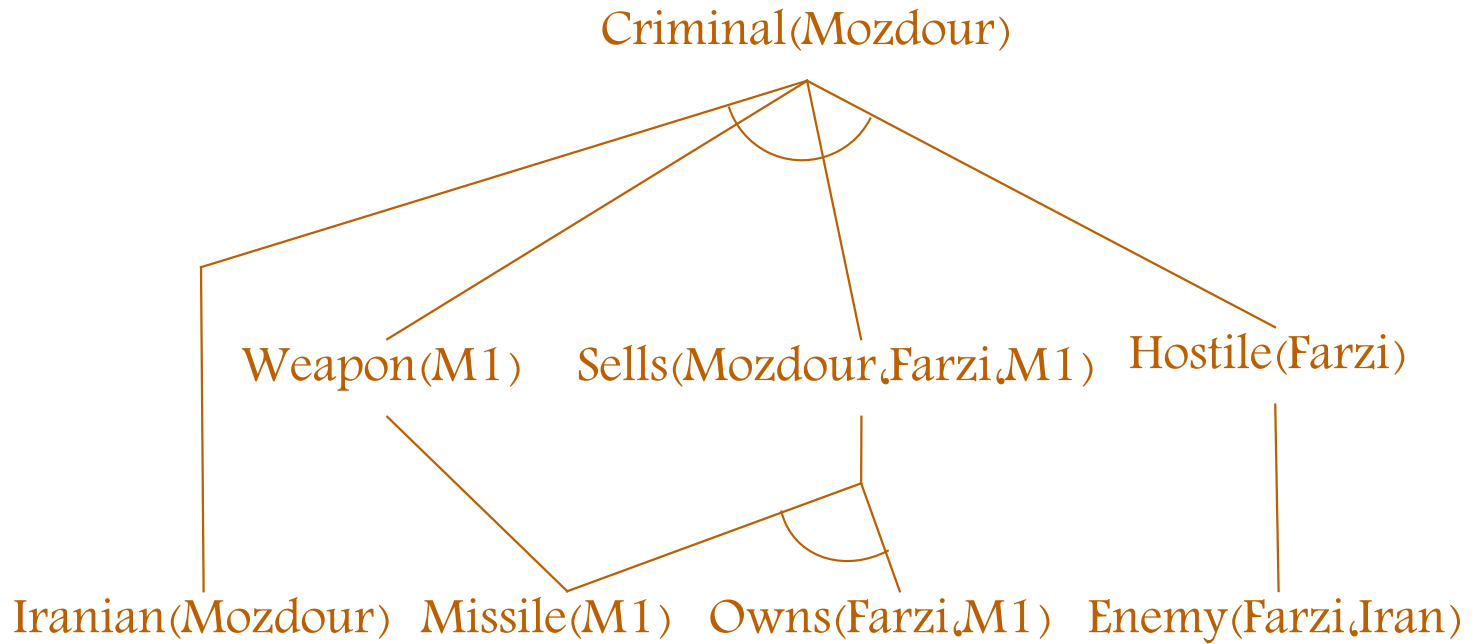
زنجیربندی به جلو

Iranian(Mozdour) Missile(M1) Owns(Farzi,M1) Enemy(Farzi,Iran)

زنجیربندی به جلو



زنجیربندی به جلو



زنجیربندی به جلو

- موثق و کامل برای کلاوزهای معین مرتبهٔ اول
- در حالت کلی اگر α ایجاب نشود ممکن است خاتمه نیابد.

الگوریتم زنجیربندی به عقب

function FOL-BC-ASK($KB, query$) **returns** a generator of substitutions
return FOL-BC-OR($KB, query, \{ \}$)

function FOL-BC-OR($KB, goal, \theta$) **returns** a substitution
for each $rule$ **in** FETCH-RULES-FOR-GOAL($KB, goal$) **do**
 $(lhs \Rightarrow rhs) \leftarrow$ STANDARDIZE-VARIABLES($rule$)
 for each θ' **in** FOL-BC-AND($KB, lhs, \text{UNIFY}(rhs, goal, \theta)$) **do**
 yield θ'

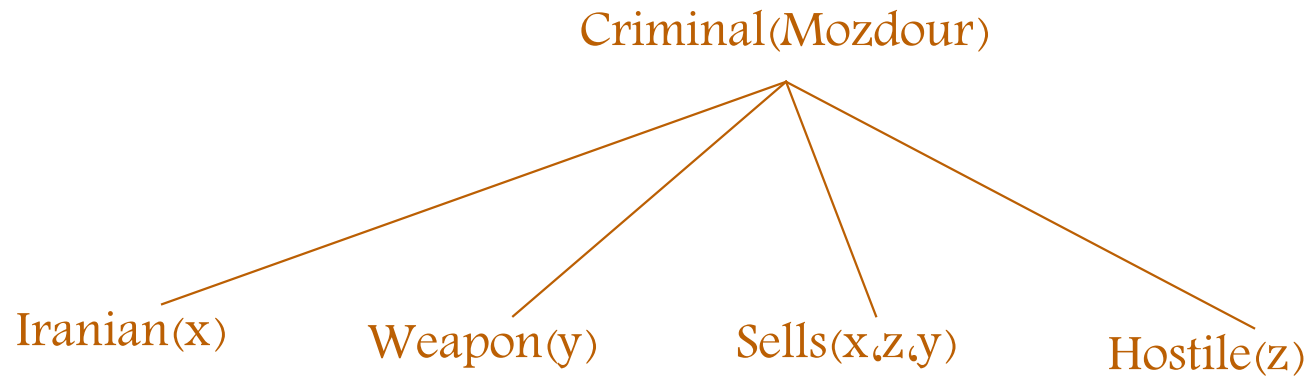
function FOL-BC-AND($KB, goals, \theta$) **returns** a substitution
if $\theta = failure$ **then return**
else if LENGTH($goals$) = 0 **then yield** θ
else
 $first, rest \leftarrow$ FIRST($goals$), REST($goals$)
 for each θ' **in** FOL-BC-OR($KB, SUBST(\theta, first), \theta$) **do**
 for each θ'' **in** FOL-BC-AND($KB, rest, \theta'$) **do**
 yield θ''

زنجیربندی به عقب

Criminal(Mozdour)

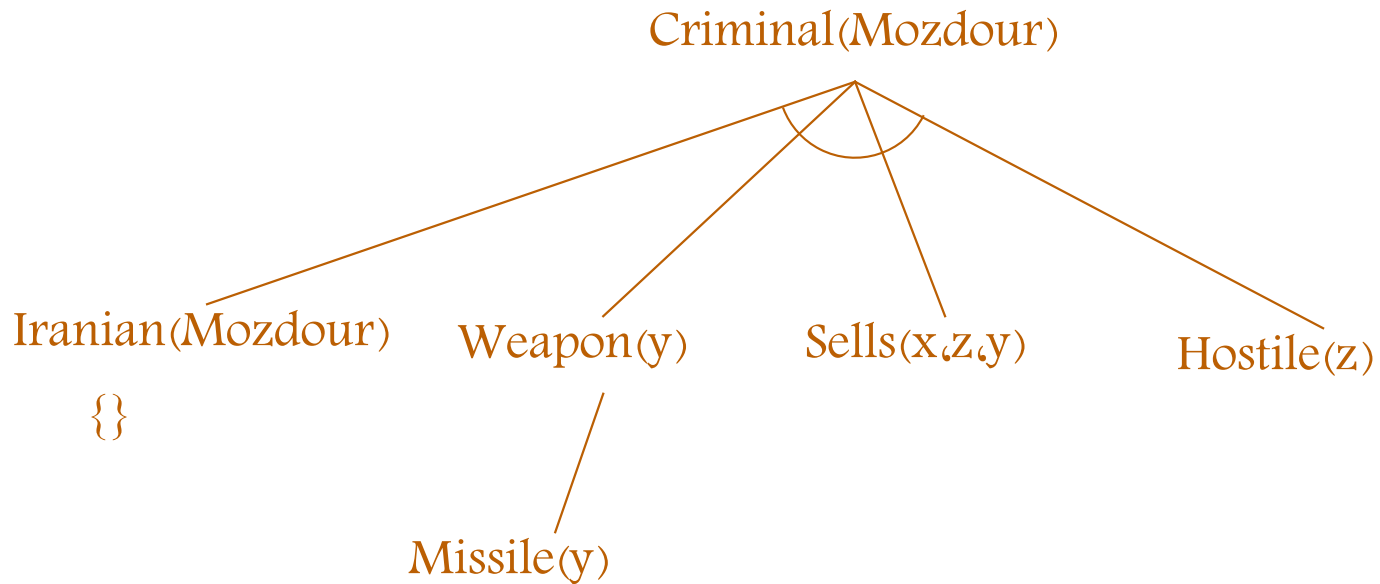
زنجیربندی به عقب

$\{x \mid \text{Mozdour}\}$



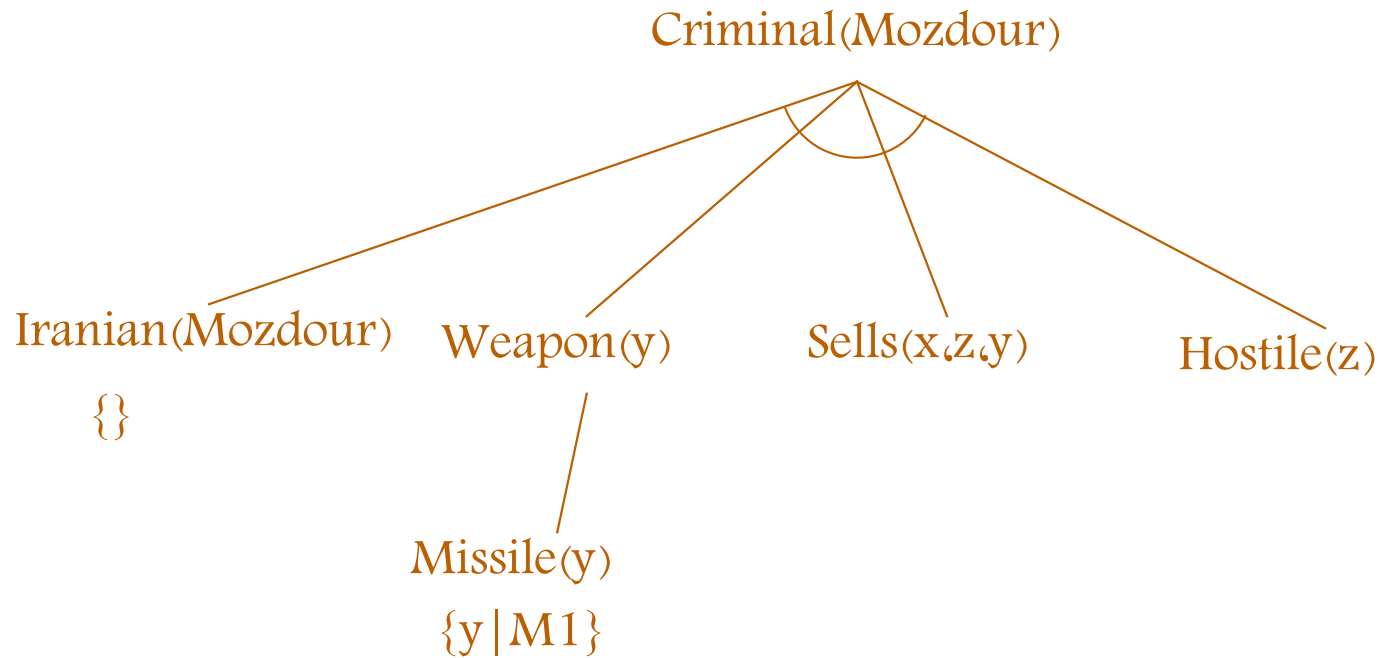
زنجیربندی به عقب

$\{x \mid \text{Mozdour}\}$



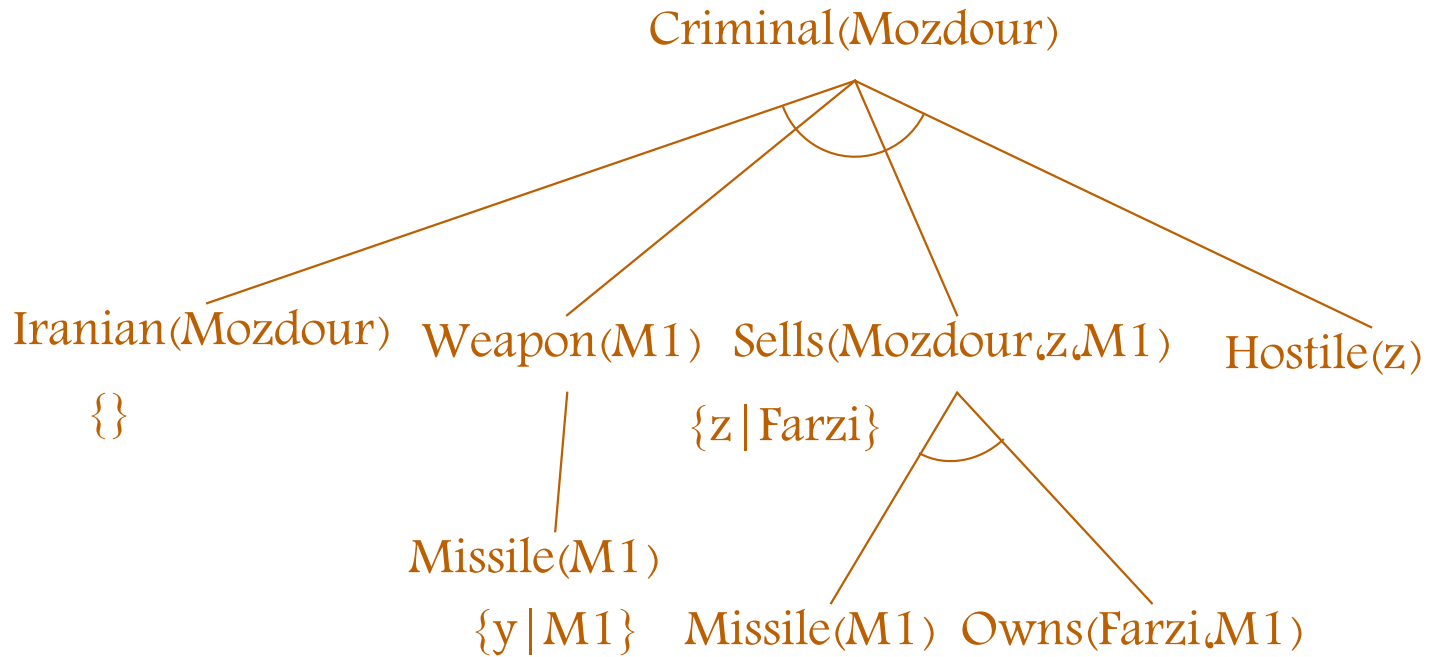
زنجیربندی به عقب

$\{x \mid \text{Mozdour}, y \mid M1\}$



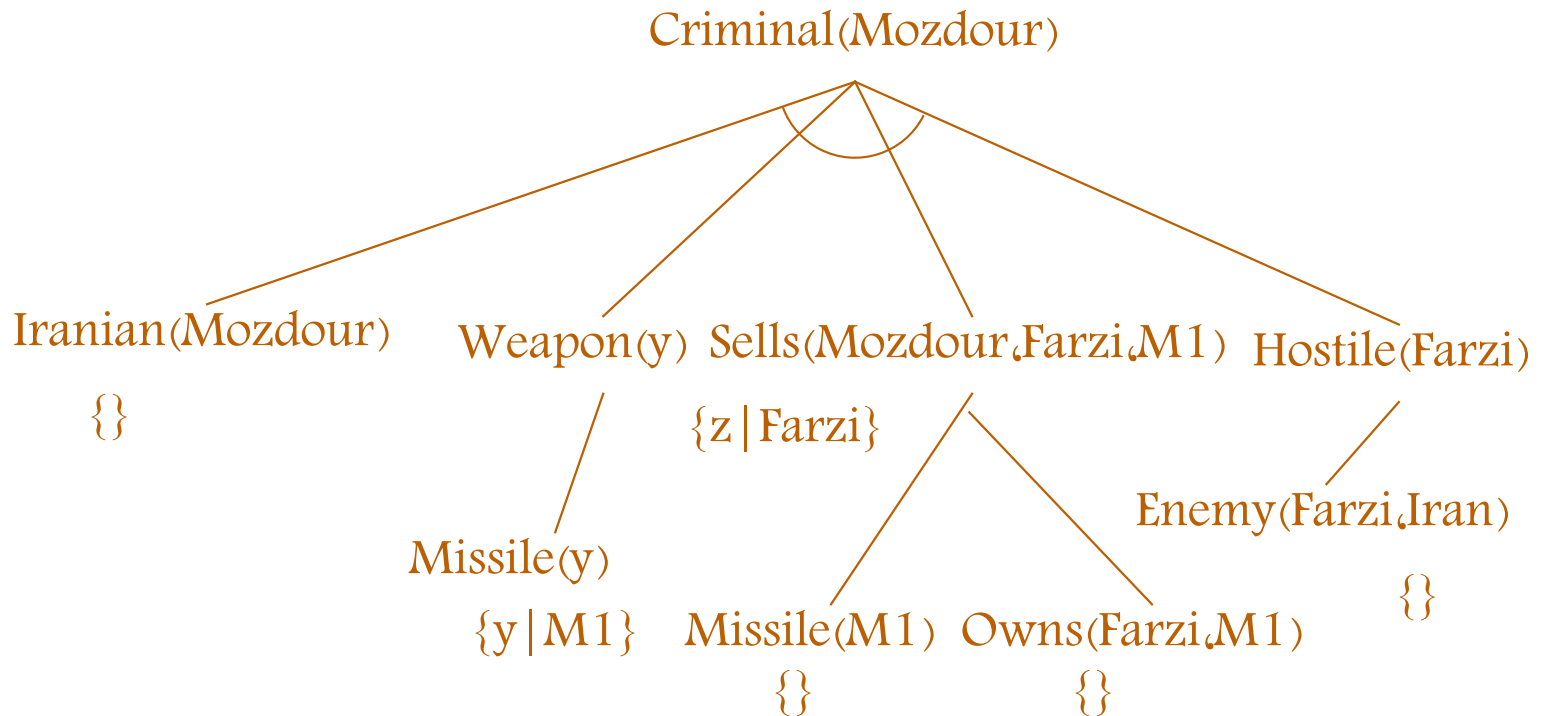
زنجیربندی به عقب

$\{x \mid \text{Mozdour}, y \mid M1, z \mid \text{Farzi}\}$



زنجیربندی به عقب

$\{x \mid \text{Mozdour}, y \mid M1, z \mid \text{Farzi}\}$



مازیار پالهنک

هوش مصنوعی

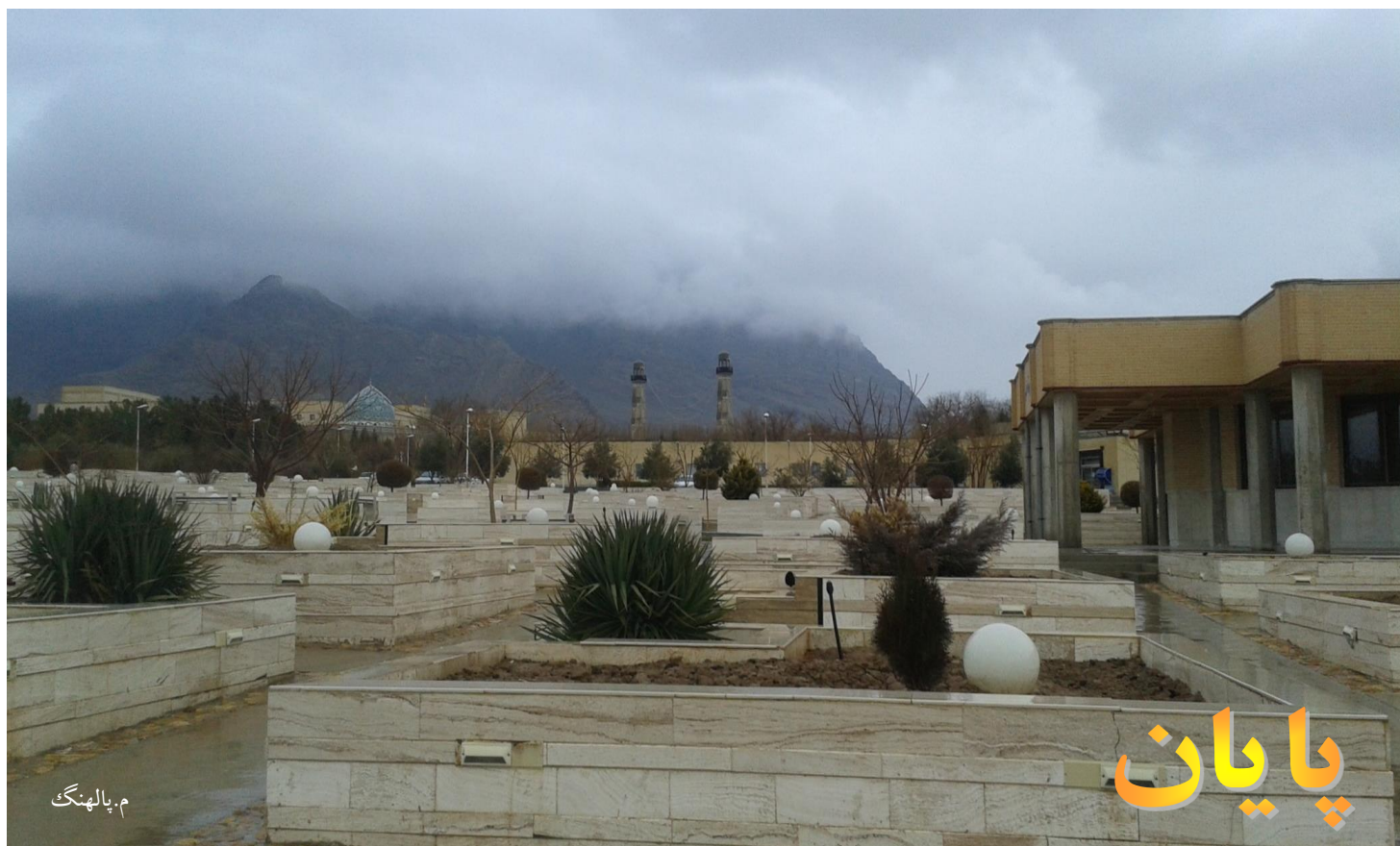
31

زنجیربندی به عقب

- عمل بصورت عمق نخست
- ناکامل بخاطر امکان حلقه های بی پایان
- استفاده شده در برنامه نویسی منطقی

خلاصه

- چگونگی استنتاج در منطق مرتبه اول
- تبدیل به یک پایگاه منطق گزاره ای
 - استفاده از حذف عمومی
 - استفاده از حذف وجودی
- عدم کارآئی مناسب
- استفاده از قانون انتزاع تعمیم یافته
 - بکارگیری بصورت زنجیربندی به جلو
 - بکارگیری بصورت زنجیربندی به عقب



م پالهنك

دانشگاه صنعتی اصفهان - مجموعه مفاخر اصفهان

مازیار پالهنك

هوش مصنوعی

34

- 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.