



دانشگاه صنعتی قوچان



دانشگاه صنعتی قوچان

منطق اسنادی (رتبه اول)

دانشگاه صنعتی قوچان

محمدحسین سیگاری

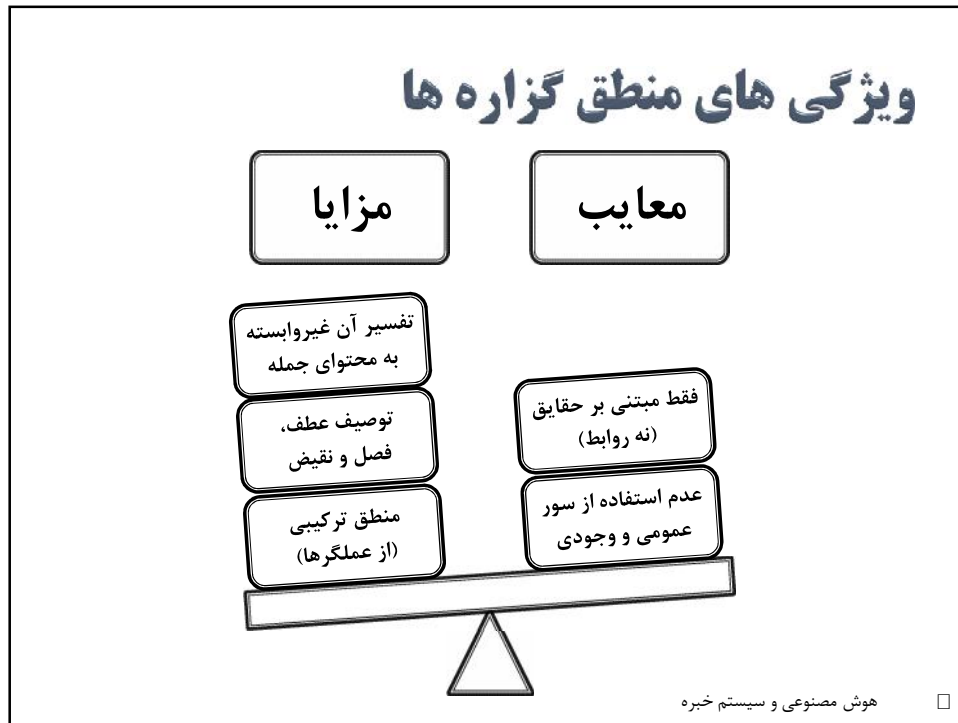
هوش مصنوعی و سیستم خبره

فهرست

- ▶ معرفی منطق رتبه اول
 - مزایا و معایب منطق گزاره ها
 - انواع منطق
 - نحو منطق رتبه اول
 - چند مثال
- ▶ استنتاج در منطق رتبه اول با استفاده از تبدیل آن به منطق گزاره ها
- ▶ استنتاج در منطق رتبه اول

هوش مصنوعی و سیستم خبره

□



منطق اسنادی (رتبه اول) و منطق گزاره ها

منطق گزاره ها (Propositional Logic)

- جهان شامل یکسری حقایق و قوانین است.
- حقایق (facts): در خانه (۱ و ۱) چاله نیست
- قوانین (rules): اگر در (۲ و ۱) چاله باشد، در (۱ و ۱)، (۳ و ۱) و (۲ و ۲) نسیم می وزد.

منطق رتبه اول (Predicate Logic) یا FOL

- جهان شامل اشیا (Objects)، روابط (Relations) است.
- حقایق (facts): در خانه (۱ و ۱) چاله نیست
- اشیا (objects): سگ، گلدان و ...
- روابط (relations): قرمز بودن، پدر بودن و ...
- توابع (functions): $\log$ ، $\sin$ و ...

هوش مصنوعی و سیستم خبره □



انواع منطق

منطق / زبان	هستی شناسی (جهان چطور هست)	حقیقت شناسی (اعتقاد عامل راجع به حقایق جهان)
منطق گزاره ها Propositional	حقایق	درست/نادرست/نامشخص
منطق رتبه اول (Predicate / FOL)	حقایق، اشیا، روابط	درست/نادرست/نامشخص
منطق زمانی (Temporal)	حقایق، اشیا، روابط، زمان	درست/نادرست/نامشخص
منطق فازی (Fuzzy)	حقایق با درجه درستی	درجه ای از درستی
نظریه احتمال (Probability)	حقایق	درجه ای از احتمال وقوع
نظریه دمپستر-شیفر (Dempster-Shafer)	حقایق با درجه درستی	درجه ای از درستی و احتمال وقوع

هوش مصنوعی و سیستم خبره □

نحو منطق رتبه اول (First Order Logic)

ثوابت (Constants)	• Ali, 2, KingJohn و ...
مسندها (Predicates)	• برادر بودن، بزرگتر بودن، <
توابع (Functions)	• برادر بودن، log.cos و ...
متغیرها (Variables)	• a, x, y و ...
پیوندها (Connectives)	• $\neg$, $\wedge$, $\vee$, $\rightarrow$, $\leftrightarrow$
تساوی (Equality)	• =
سورها (Quantifiers)	• $\forall$, $\exists$

هوش مصنوعی و سیستم خبره



تفاوت مسند و تابع

► مسند (Predicate):

◦ ورودی: یک یا چند ورودی

◦ خروجی: یک خروجی از نوع True / False

► مثال: Brother(John, Richard)

► تابع (Function):

◦ ورودی: یک یا چند ورودی

◦ خروجی: یک خروجی در حالت کلی (نه فقط True / False)

► مثال: Richard = Brother(John)

هوش مصنوعی و سیستم خبره



نحو منطق رتبه اول (First Order Logic)

$Sentence \rightarrow AtomicSentence$
 $| (Sentence \text{ Connective } Sentence)$
 $| Quantifier Variable, \dots Sentence$
 $| \neg Sentence$

$AtomicSentence \rightarrow Predicate(Term, \dots) \mid Term = Term$

$Term \rightarrow Function(Term, \dots)$
 $| Constant$
 $| Variable$

$Connective \rightarrow \Rightarrow \mid \wedge \mid \vee \mid \Leftrightarrow$

$Quantifier \rightarrow \forall \mid \exists$

$Constant \rightarrow A \mid X_1 \mid John \mid \dots$

$Variable \rightarrow a \mid x \mid s \mid \dots$

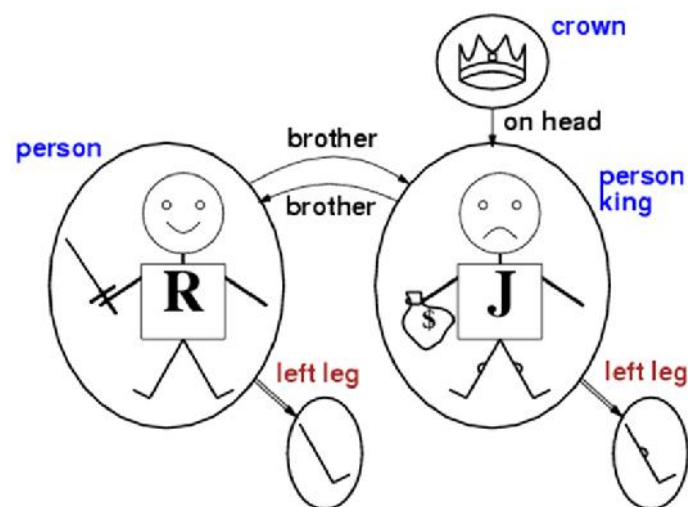
$Predicate \rightarrow Before \mid HasColor \mid Raining \mid \dots$

$Function \rightarrow Mother \mid LeftLeg \mid \dots$

هوش مصنوعی و سیستم خبره



یک مدل از منطق رتبه اول (FOL)



هوش مصنوعی و سیستم خبره



سور عمومی (Universal Quantification)

- ▶ سور عمومی
- ▶ " $\langle variables \rangle \langle sentence \rangle$
- ▶ یک جمله عطفی (and) از تمام حالت های ممکن است
- ▶ مثال:
- ▶ همه آدم ها دست دارند
- ▶ $\forall x \text{ Human}(x) \Rightarrow \text{Hand}(x)$
- ▶ بنابراین جمله زیر همواره برقرار است
- ▶ $\text{Human}(\text{Ali}) \Rightarrow \text{Hand}(\text{Ali})$

هوش مصنوعی و سیستم خبره



سور وجودی (Existential Quantification)

- ▶ سور وجودی
- ▶ \$ $\langle variables \rangle \langle sentence \rangle$
- ▶ یک جمله فصلی (or) از تمام حالت های ممکن است
- ▶ مثال:
- ▶ بعضی آدم ها حیوانات را دوست دارند
- ▶ $\$ x \text{ Human}(x) \wedge \text{Animal}(y) \Rightarrow \text{Like}(x,y)$
- ▶ بنابراین لزوما جمله زیر برقرار نیست.
- ▶ $\text{Human}(\text{Ali}) \wedge \text{Animal}(\text{Rex}) \Rightarrow \text{Like}(\text{Ali},\text{Rex})$

هوش مصنوعی و سیستم خبره



ویژگی های سور عمومی و وجودی

► $\forall y \forall x$ هم ارز است با $\forall x \forall y$

► $\exists y \exists x$ هم ارز است با $\exists x \exists y$

► $\forall y \exists x$ هم ارز نیست با $\exists x \forall y$

◦ $\exists x \forall y \text{ Love}(x,y)$ یعنی حداقل یک نفر در دنیا وجود دارد که همه را دوست دارد

◦ $\forall y \exists x \text{ Love}(x,y)$ یعنی هر کس در دنیا حداقل توسط یک نفر دوست داشته می شود.

هوش مصنوعی و سیستم خبره □□

ویژگی های سور عمومی و وجودی

► قابلیت تبدیل سور عمومی به سور وجودی و بالعکس

◦ $\forall x \text{ Likes}(x, \text{dog})$ هم ارزست با $\neg \exists x \neg \text{Likes}(x, \text{dog})$

• همه سگ را دوست دارند

• کسی نیست که سگ را دوست نداشته باشد

◦ $\exists x \text{ Likes}(x, \text{dog})$ هم ارزست با $\neg \forall x \neg \text{Likes}(x, \text{dog})$

• هستند کسانی که (حداقل یک نفر) که سگ را دوست دارند.

• نمی شود که همه سگ را دوست نداشته باشند.

هوش مصنوعی و سیستم خبره □□

مثال: روابط خانوادگی

- ▶ $\forall x,y \text{ Mother}(x,y) \Leftrightarrow \text{Female}(x) \wedge \text{Parent}(x,y)$
- ▶ $\forall x,y \text{ Parent}(x,y) \Leftrightarrow \text{Child}(y,x)$
- ▶ $\forall x,y \text{ Grandparent}(x,y) \Leftrightarrow \exists z \text{ Parent}(x,z) \wedge \text{Parent}(z,y)$
- ▶ $\forall x,y \text{ Sibling}(x,y) \Leftrightarrow x \neq y \wedge \exists z \text{ Parent}(z,x) \wedge \text{Parent}(z,y)$
- ▶ $\forall x,y \text{ Uncle}(x,y) \Leftrightarrow ???$
- ▶ $\forall x,y \text{ Aunt}(x,y) \Leftrightarrow ???$
- ▶ $\forall x,y \text{ Cousin}(x,y) \Leftrightarrow ???$

هوش مصنوعی و سیستم خبره



مثال: جهان WUMPUS

- ▶ $\forall x=[m,n], y=[a,b] \text{ Adjacent}(x,y) \Leftrightarrow [a,b] \in \{ (m+1,n), (m-1,n), (m,n+1), (m,n-1) \}$
- ▶ $\forall x \text{ Breeze}(x) \Leftrightarrow \exists y \text{ Adjacent}(x,y) \wedge \text{Pit}(y)$
 - $\forall x \text{ Breeze}(x) \Rightarrow \exists y \text{ Adjacent}(x,y) \wedge \text{Pit}(y)$
 - $\exists y \text{ Adjacent}(x,y) \wedge \text{Pit}(y) \Rightarrow \forall x \text{ Breeze}(x)$
- ▶ $\forall x \text{ Stench}(x) \Leftrightarrow \exists y \text{ Adjacent}(x,y) \wedge \text{Wumpus}(y)$
- ▶ $\forall x \text{ Glitter}(x) \Leftrightarrow \text{Gold}(x)$

هوش مصنوعی و سیستم خبره



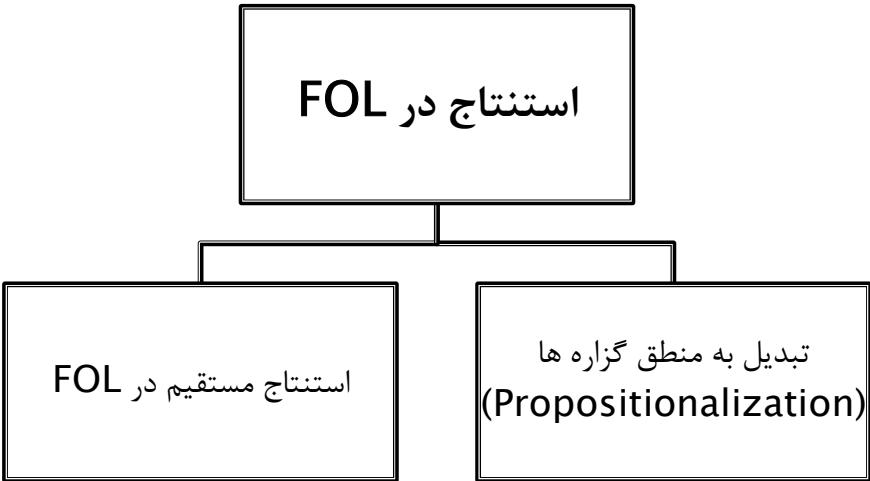
فهرست

► معرفی منطق رتبه اول

- استنتاج در منطق رتبه اول با استفاده از تبدیل آن به منطق گزاره ها
 - تبدیل منطق رتبه اول به منطق گزاره ها
 - مشکلات استنتاج در پایگاه دانش رتبه اول با استفاده از منطق گزاره ها

► استنتاج در منطق رتبه اول

روش های کلی استنتاج در FOL



تبدیل منطق رتبه اول به منطق گزاره ها

• نمونه سازی سور عمومی (Universal Instantiation)

۱

• نمونه سازی سور وجودی (Existential Instantiation)

۲

• تبدیل ترم ها در منطق رتبه اول به گزاره در منطق گزاره ها

۳

هوش مصنوعی و سیستم خبره



نمونه سازی سور عمومی (Universal Instantiation)

► در جمله α که سور عمومی دارد، متغیر $\forall$ با تمام ترم های ممکن مانند g جایگذاری (Substitute) می شود.

$$\frac{\forall}{\text{Subst}(\{ /g\}, \alpha)}$$

► $\forall x \text{ King}(x) \wedge \text{Greedy}(x) \Rightarrow \text{Evil}(x)$

- $\text{King}(\text{John}) \wedge \text{Greedy}(\text{John}) \Rightarrow \text{Evil}(\text{John})$
- $\text{King}(\text{Richard}) \wedge \text{Greedy}(\text{Richard}) \Rightarrow \text{Evil}(\text{Richard})$
- $\text{King}(\text{Father}(\text{John})) \wedge \text{Greedy}(\text{Father}(\text{John})) \Rightarrow \text{Evil}(\text{Father}(\text{John}))$
- ...

تولید تعداد جملات بسیار زیاد

هوش مصنوعی و سیستم خبره



نمونه سازی سور وجودی (Universal Instantiation)

▶ در جمله α که سور وجودی دارد، متغیر v با مقدار ثابت k جایگذاری (Substitute) می شود.

$$\frac{\exists}{\text{Subst}(\{v/k\}, \alpha)}$$

▶ به مقدار ثابت k ثابت Skolem می گویند.

- ▶ $\exists x \text{Crown}(x) \wedge \text{OnHead}(x, \text{John})$
 - $\text{Crown}(C_1) \wedge \text{OnHead}(C_1, \text{John})$

هوش مصنوعی و سیستم خبره



مثال

- ▶ FOL (First Order Logic) KB:
 - $\neg \text{King}(x) \vee \text{Greedy}(x) \vee \text{Evil}(x)$
 - $\text{King}(\text{John})$
 - $\text{Greedy}(\text{John})$
 - $\text{Brother}(\text{Richard}, \text{John})$
 - $\neg \text{Crown}(x) \vee \text{OnHead}(x, \text{John})$
- ▶ PL (Propositional Logic) KB:
 - $\text{King}(\text{John}) \vee \text{Greedy}(\text{John}) \vee \text{Evil}(\text{John})$
 - $\text{King}(\text{Richard}) \vee \text{Greedy}(\text{Richard}) \vee \text{Evil}(\text{Richard})$
 - $\text{King}(\text{John})$
 - $\text{Greedy}(\text{John})$
 - $\text{Brother}(\text{Richard}, \text{John})$
 - $\text{Crown}(C_1) \vee \text{OnHead}(C_1, \text{John})$

هوش مصنوعی و سیستم خبره



مزایا و معایب

معایب	مزایا
جایگزینی یک جمله دارای سور عمومی در FOL KB با تعداد زیادی جمله در PL KB اگر سور وجودی داشته باشیم: $PL KB \neq FOL KB$ ممکن است بررسی یک جمله غیرقابل استلزام، منجر به حلقه تکرار بینهایت شود!!!	جایگزینی یک جمله دارای سور وجودی در FOL KB با یک جمله در PL KB اگر سور وجودی داشته باشیم: استنتاج FOL KB $\equiv$ استنتاج PL KB استخراج تمام جملات قابل استلزام در بازه زمانی محدود (استنتاج کامل)

هوش مصنوعی و سیستم خبره □□

مشکل اساسی

▶ اگر سور عمومی داشته باشیم و سور عمومی را با توابع تودرتو جایگذاری کنیم، تعداد بی نهایت جمله برای سور عمومی ایجاد می شود.

▶ $\forall x \text{ King}(x) \wedge \text{Greedy}(x) \Rightarrow \text{Evil}(x)$

▶ $\text{King}(\text{John}) \wedge \text{Greedy}(\text{John}) \Rightarrow \text{Evil}(\text{John})$

▶ $\text{King}(\text{Father}(\text{John})) \wedge \text{Greedy}(\text{Father}(\text{John})) \Rightarrow \text{Evil}(\text{Father}(\text{John}))$

▶ $\text{King}(\text{Father}(\text{Father}(\text{John}))) \wedge \text{Greedy}(\text{Father}(\text{Father}(\text{John}))) \Rightarrow \text{Evil}(\text{Father}(\text{Father}(\text{John})))$

▶ ...

هوش مصنوعی و سیستم خبره □□

رفع مشکل اساسی!

► قضیه (Herbrand 1930):

► اگر جمله α از FOL KB قابل استلزام باشد، پس از تبدیل به PL KB این جمله با جملات محدودی در منطق گزاره ها قابل استلزام است، به شرطی که این جملات مرحله به مرحله ایجاد شوند.

- For $n = 0$ to ∞ do
 - I. create a PL KB by instantiating with depth- n terms of FOL KB
 - II. see if α is entailed by this KB

اگر جمله α قابل استلزام نباشد، الگوریتم استنتاج در یک حلقه تکرار بی نهایت قرار می گیرد

هوش مصنوعی و سیستم خبره



چالش اساسی: استلزام در FOL

► قضیه (Turing (1936), Church (1936):

- استلزام در FOL یک مسئله نیمه تصمیم پذیر (semi-decidable) است.
- اگر جمله α از FOL KB قابل استلزام باشد، مسئله جواب دارد.
- اگر جمله α از FOL KB قابل استلزام نباشد، مسئله جواب ندارد.

► دلیل: وجود توابع در FOL

► راه حل:

- حذف توابع (Functions) و معادل سازی آنها با مسندها (Predicates)
- این راه حل در زبان Prolog هم استفاده شده است.

هوش مصنوعی و سیستم خبره



مشکل فرعی

- ▶ تبدیل سور ها عمومی، منجر به تولید جملات بسیار زیادی می شود که معمولا بسیاری از آنها قابل استفاده (استنتاج) نیست.
- ▶ مثلا پادشاهی و حریص بودن برای دو نفر تعریف شده، اما این قانون برای تمام اشیا موجود در KB تولید می شود.
- ▶ $\forall x \text{ King}(x) \wedge \text{Greedy}(x) \Rightarrow \text{Evil}(x)$
 - $\text{King}(\text{John}) \wedge \text{Greedy}(\text{John}) \Rightarrow \text{Evil}(\text{John})$
 - $\text{King}(\text{Richard}) \wedge \text{Greedy}(\text{Richard}) \Rightarrow \text{Evil}(\text{Richard})$
 - $\text{King}(\text{Ali}) \wedge \text{Greedy}(\text{Ali}) \Rightarrow \text{Evil}(\text{Ali})$
 - $\text{King}(\text{Dog}) \wedge \text{Greedy}(\text{Dog}) \Rightarrow \text{Evil}(\text{Dog})$
 - $\text{King}(\text{Table}) \wedge \text{Greedy}(\text{Table}) \Rightarrow \text{Evil}(\text{Table})$
 - ...

هوش مصنوعی و سیستم خبره



فهرست

- ▶ معرفی منطق رتبه اول
- ▶ استنتاج در منطق رتبه اول با استفاده از تبدیل آن به منطق گزاره ها
- ▶ استنتاج در منطق رتبه اول
 - یکسان سازی
 - قیاس استثنایی عمومی (GMP)
 - مثالی از استنتاج (اثبات) در منطق رتبه اول
 - روش های استنتاج در منطق رتبه اول
 - زنجیره پیش رو
 - زنجیره عقبگرد
 - Resolution

هوش مصنوعی و سیستم خبره



یکسان سازی (Unification)

► فرض کنید KB چنین است:

- $\forall x \text{ King}(x) \wedge \text{Greedy}(x) \Rightarrow \text{Evil}(x)$
- $\text{King}(\text{John})$
- $\forall y \text{ Greedy}(y)$
- $\text{Brother}(\text{Richard}, \text{John})$

► واضح است که می توان استنتاج کرد:

- $\text{Evil}(\text{John})$

► چطور این استنتاج انجام می شود؟

جایگذاری = یکسان سازی

هوش مصنوعی و سیستم خبره



یکسان سازی (Unification)

► می گوئیم دو عبارت p و q یکسان است اگر با جایگذاری مقدار θ در p و q این دو عبارت یکسان شوند.

$$(p, q) = \text{true} \iff \exists \theta. (p, q) = \text{true} \text{ under } \theta$$

p	q	θ
$\text{Knows}(\text{John}, x)$	$\text{Knows}(\text{John}, \text{Jane})$	$\{x/\text{Jane}\}$
$\text{Knows}(\text{John}, x)$	$\text{Knows}(y, \text{OJ})$	$\{y/\text{John}, x/\text{OJ}\}$
$\text{Knows}(\text{John}, x)$	$\text{Knows}(y, \text{Mother}(y))$	$\{y/\text{John}, x/\text{Mother}(\text{John})\}$
$\text{Knows}(\text{John}, x)$	$\text{Knows}(y, z)$	$\{y/\text{John}, z/x\}$
$\text{Knows}(\text{John}, x)$	$\text{Knows}(x, \text{OJ})$	$\{\text{fail}\}$

هوش مصنوعی و سیستم خبره



یکسان سازی (Unification)

► برای یکسان سازی $\text{Knows}(\text{John}, x)$ و $\text{Knows}(y, z)$ گزینه های زیر ممکن است:

- $\theta = \{y/\text{John}, z/x\}$
- $\theta = \{y/\text{John}, z/\text{John}, x/\text{John}\}$
- $\theta = \{y/\text{John}, z/\text{Richard}, x/\text{Richard}\}$

► اولین یکسان ساز عمومی تر از سایرین است. به این یکسان ساز **MGU (Most General Unifier)** می گویند.

◦ در **MGU** همواره تغییر متغیر (تغییر نام متغیر) اتفاق می افتد.

◦ برای هر یکسان سازی دو عبارت فقط یک **MGU** وجود دارد.

هوش مصنوعی و سیستم خبره



قیاس استثنایی عمومی (GMP)

► قیاس استثنایی (Modus Ponens) در منطق گزاره ها

$$\frac{a, a \Rightarrow b}{b}$$

► قیاس استثنایی عمومی (Generalized Modus Ponens) **GMP**

$$\frac{s_1, s_2, \dots, s_n, (p_1, p_2, \dots, p_n) \Rightarrow q}{q} \quad \Bigg| \quad q$$

هوش مصنوعی و سیستم خبره



قیاس استثنایی عمومی (GMP)

► قیاس استثنایی عمومی (GMP (Generalized Modus Ponens

$$\frac{s_1, s_2, \dots, s_n, (p_1, p_2, \dots, p_n) \Rightarrow q}{q} \quad | \quad q$$

► که بعد از یکسان سازی بخش مقدم (Antecedent) با θ ، بخش تالی (Consequent) هم با θ یکسان سازی خواهد شد.

► به عبارت دیگر، اگر:

$$\forall : (, ')$$

► آنگاه می توان نتیجه گرفت عبارت q با جایگذاری θ هم برقرار است:

$$(,)$$

هوش مصنوعی و سیستم خبره



قیاس استثنایی عمومی (GMP)

► مثال

- $\forall x \text{ King}(x) \wedge \text{Greedy}(x) \Rightarrow \text{Evil}(x)$
- $\text{King}(\text{John})$
- $\forall y \text{ Greedy}(y)$
- $\text{Brother}(\text{Richard}, \text{John})$

$$\frac{s_1, s_2, \dots, s_n, (p_1, p_2, \dots, p_n) \Rightarrow q}{q} \quad | \quad q$$

- | | | |
|------------|---------------------|--------------------|
| • p_1' | is King(John) | p_1 is King(x) |
| • p_2' | is Greedy(y) | p_2 is Greedy(x) |
| • θ | is {x/John, y/John} | q is Evil(x) |
| • Result: | is Evil(John) | |

هوش مصنوعی و سیستم خبره



مثال: استنتاج (اثبات) در FOL

► پایگاه دانش:

- طبق قوانین آمریکا، هر کس به کشور متخاصم اسلحه بفروشد، مجرم است.
- کشور Nono دشمن آمریکا است.
- کشور Nono مقداری موشک دارد که توسط Colonel West فروخته شده است.
- موشک اسلحه است.
- Colonel West آمریکایی است.

► هدف:

- ثابت کنید Colonel West مجرم است.

هوش مصنوعی و سیستم خبره



مثال: استنتاج (اثبات) در FOL

► اشیا، قوانین و روابط:

- $\forall x,y,z \text{ American}(x) \wedge \text{Weapon}(y) \wedge \text{Sells}(x,y,z) \wedge \text{Hostile}(z) \Rightarrow \text{Criminal}(x)$
- $\exists x \text{ Owns}(\text{Nono},x) \wedge \text{Missile}(x)$
- $\forall x \text{ Missile}(x) \wedge \text{Owns}(\text{Nono},x) \Rightarrow \text{Sells}(\text{West},x,\text{Nono})$
- $\forall x \text{ Enemy}(x,\text{America}) \Rightarrow \text{Hostile}(x)$
- $\forall x \text{ Missile}(x) \Rightarrow \text{Weapon}(x)$
- $\text{American}(\text{West})$
- $\text{Enemy}(\text{Nono},\text{America})$

هوش مصنوعی و سیستم خبره



مثال: استنتاج (اثبات) در FOL

► تبدیل به منطق رتبه اول

► سورهای عمومی بدون تغییر باقی بماند

► سورهای وجودی با ثابت Skolem جایگذاری شود

- $American(x) \wedge Weapon(y) \wedge Sells(x,y,z) \wedge Hostile(z) \Rightarrow Criminal(x)$
- $Owns(Nono, M_1) \wedge Missile(M_1)$
- $Missile(x) \wedge Owns(Nono, x) \Rightarrow Sells(West, x, Nono)$
- $Enemy(x, America) \Rightarrow Hostile(x)$
- $Missile(x) \Rightarrow Weapon(x)$
- $American(West)$
- $Enemy(Nono, America)$

هوش مصنوعی و سیستم خبره



مثال: استنتاج (اثبات) در FOL

► حذف And

- $American(x) \wedge Weapon(y) \wedge Sells(x,y,z) \wedge Hostile(z) \Rightarrow Criminal(x)$
- $Owns(Nono, M_1) \wedge Missile(M_1)$
 - $Owns(Nono, M_1)$
 - $Missile(M_1)$
- $Missile(x) \wedge Owns(Nono, x) \Rightarrow Sells(West, x, Nono)$
- $Enemy(x, America) \Rightarrow Hostile(x)$
- $Missile(x) \Rightarrow Weapon(x)$
- $American(West)$
- $Enemy(Nono, America)$

هوش مصنوعی و سیستم خبره



مثال: استنتاج (اثبات) در FOL

▶ یکسان سازی

- ▶ $American(x) \wedge Weapon(y) \wedge Sells(x,y,z) \wedge Hostile(z) \Rightarrow Criminal(x)$
- ▶ $Owns(Nono, M_1)$
- ▶ $Missile(M_1)$
- ▶ $Missile(x) \wedge Owns(Nono, x) \Rightarrow Sells(West, x, Nono)$
- ▶ $Enemy(x, America) \Rightarrow Hostile(x)$
 - ▶ $\theta = \{x/Nono\} \Rightarrow Hostile(Nono)$
- ▶ $Missile(x) \Rightarrow Weapon(x)$
- ▶ $American(West)$
- ▶ $Enemy(Nono, America)$

هوش مصنوعی و سیستم خبره



مثال: استنتاج (اثبات) در FOL

▶ قانون GMP و یکسان سازی

- ▶ $American(x) \wedge Weapon(y) \wedge Sells(x,y,z) \wedge Hostile(z) \Rightarrow Criminal(x)$
- ▶ $Owns(Nono, M_1)$
- ▶ $Missile(M_1)$
- ▶ $Missile(x) \wedge Owns(Nono, x) \Rightarrow Sells(West, x, Nono)$
 - ▶ $\theta = \{x/M_1\} \Rightarrow Weapon(M_1) \Rightarrow Sells(West, M_1, Nono)$
- ▶ $Enemy(Nono, America) \Rightarrow Hostile(Nono)$
- ▶ $Missile(x) \Rightarrow Weapon(x)$
 - ▶ $\theta = \{x/M_1\} \Rightarrow Weapon(M_1)$
- ▶ $American(West)$
- ▶ $Enemy(Nono, America)$

هوش مصنوعی و سیستم خبره



مثال: استنتاج (اثبات) در FOL

▶ قانون MP

- ▶ $American(x) \wedge Weapon(y) \wedge Sells(x,y,z) \wedge Hostile(z) \Rightarrow Criminal(x)$
- ▶ $Owns(Nono,M_1)$
- ▶ $Missile(M_1)$
- ▶ $Sells(West,M_1,Nono)$
- ▶ $Enemy(Nono,America) \Rightarrow Hostile(Nono)$
 - ▶ $Hostile(Nono)$
- ▶ $Weapon(M_1)$
- ▶ $American(West)$
- ▶ $Enemy(Nono,America)$

هوش مصنوعی و سیستم خبره



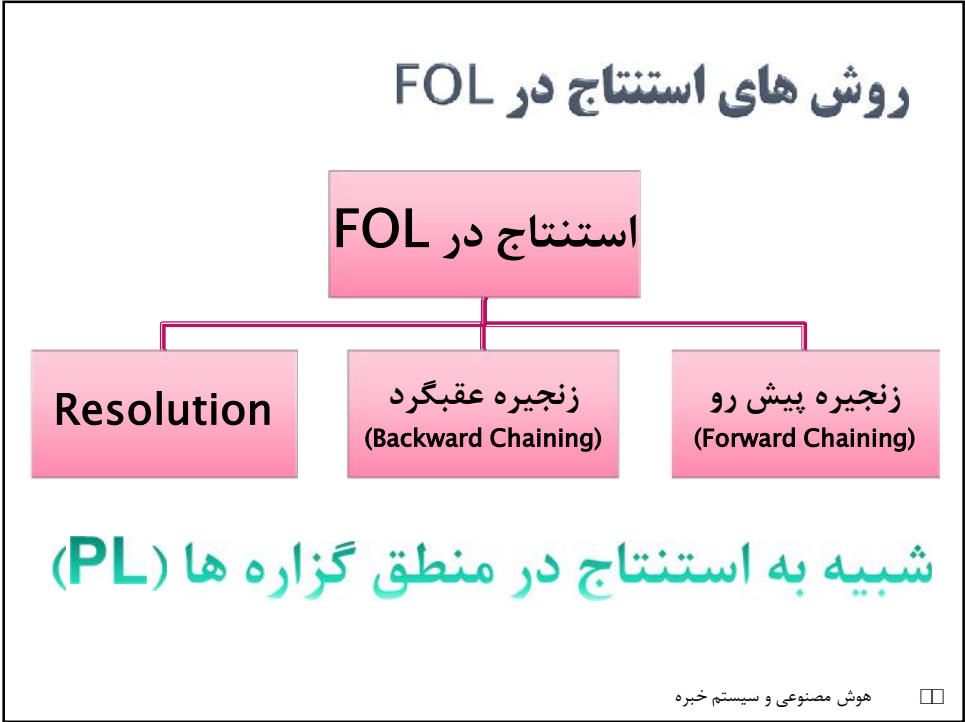
مثال: استنتاج (اثبات) در FOL

▶ قانون GMP و یکسان سازی

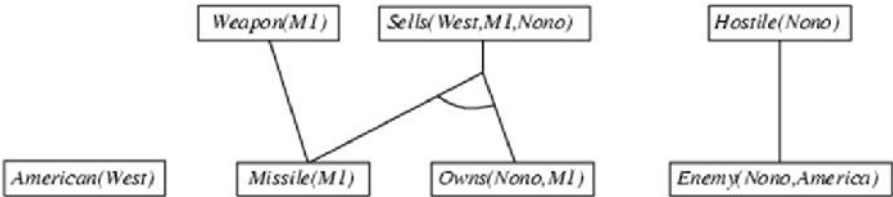
- ▶ $American(x) \wedge Weapon(y) \wedge Sells(x,y,z) \wedge Hostile(z) \Rightarrow Criminal(x)$
 - ▶ $Owns(Nono,M_1)$
 - ▶ $Missile(M_1)$
 - ▶ $Sells(West,M_1,Nono)$
 - ▶ $Hostile(Nono)$
 - ▶ $Weapon(M_1)$
 - ▶ $American(West)$
 - ▶ $Enemy(Nono,America)$
- ↓
- Criminal(West)**
-

هوش مصنوعی و سیستم خبره



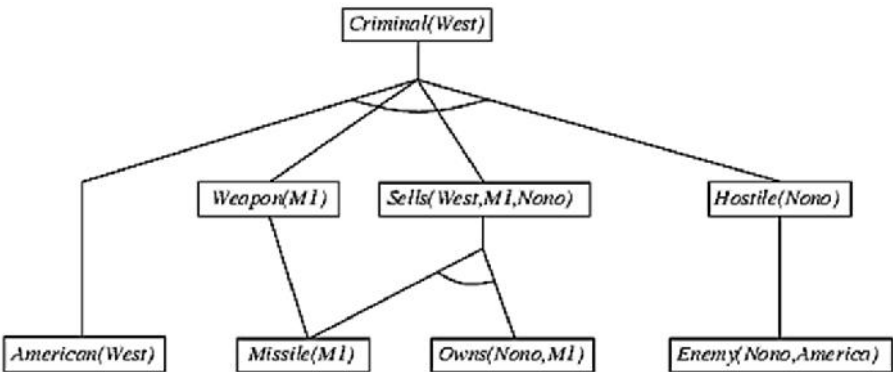


زنجیره پیش رو



هوش مصنوعی و سیستم خبره □□

زنجیره پیش رو



هوش مصنوعی و سیستم خبره □□

زنجیره پیش رو

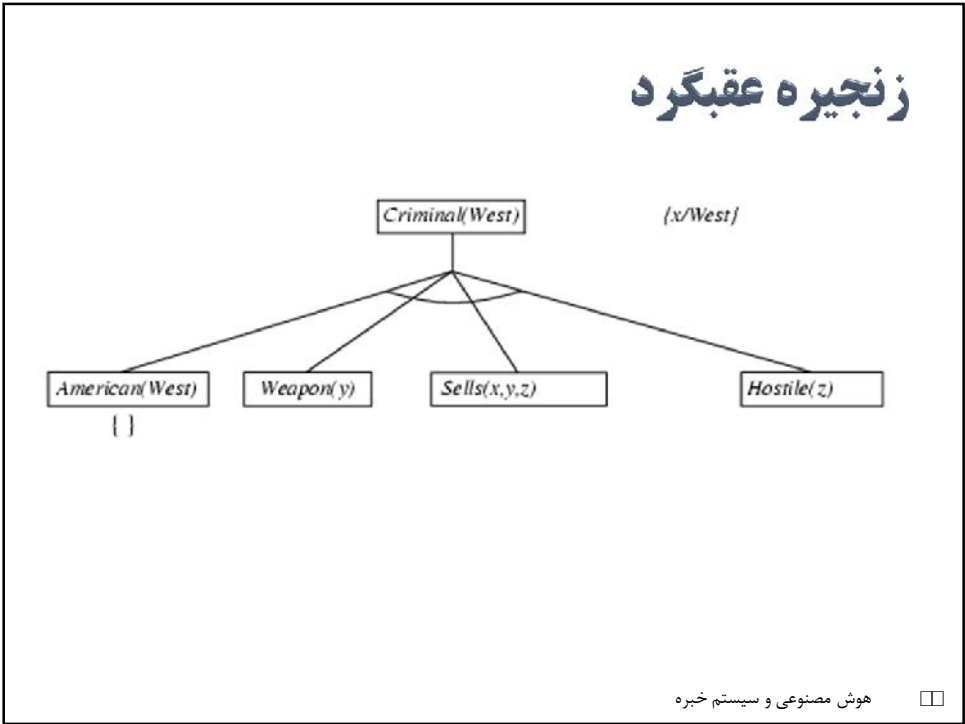
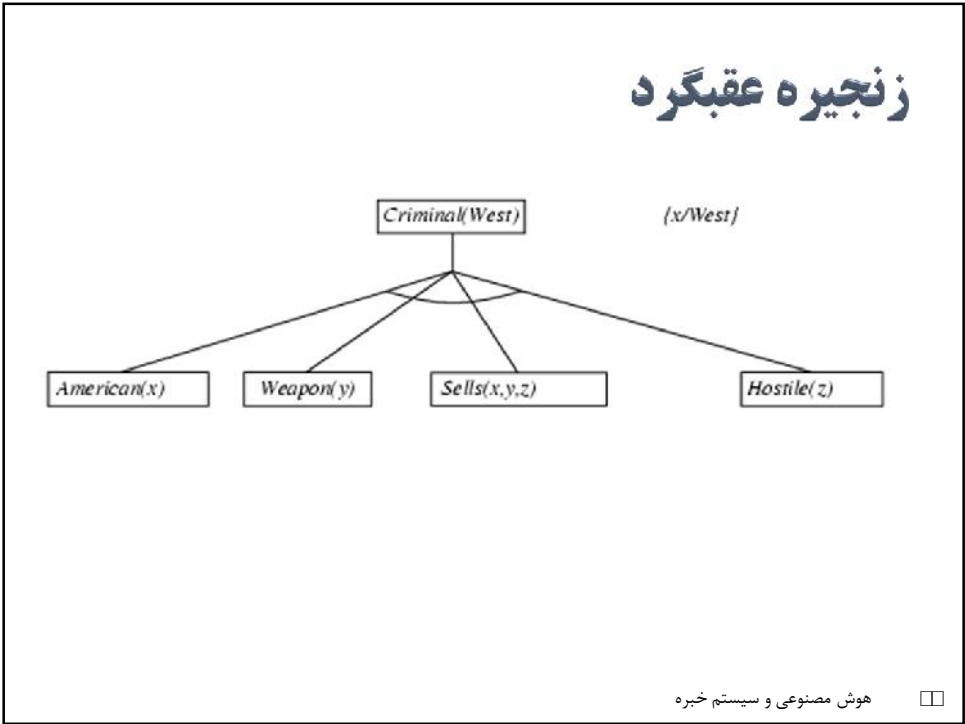
- ▶ در صورتی که توابع در KB داشته باشیم:
 - اگر جمله α از FOL KB قابل استلزام باشد، مسئله جواب دارد.
 - اگر جمله α از FOL KB قابل استلزام نباشد، مسئله جواب ندارد.
- ▶ زنجیره پیش رو، مبتنی بر حقایق (Data Driven) است. یعنی از حقایق برای شروع کار استفاده می کند و به تدریج به سمت هدف می رود.
- ▶ زنجیره پیش رو sound است اما کامل نیست.

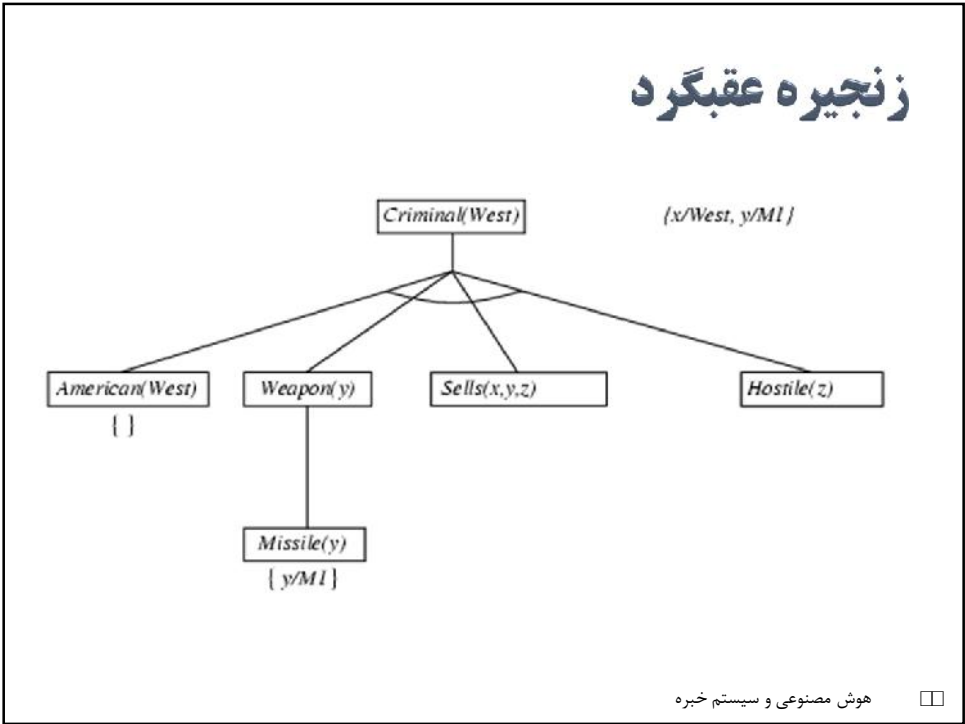
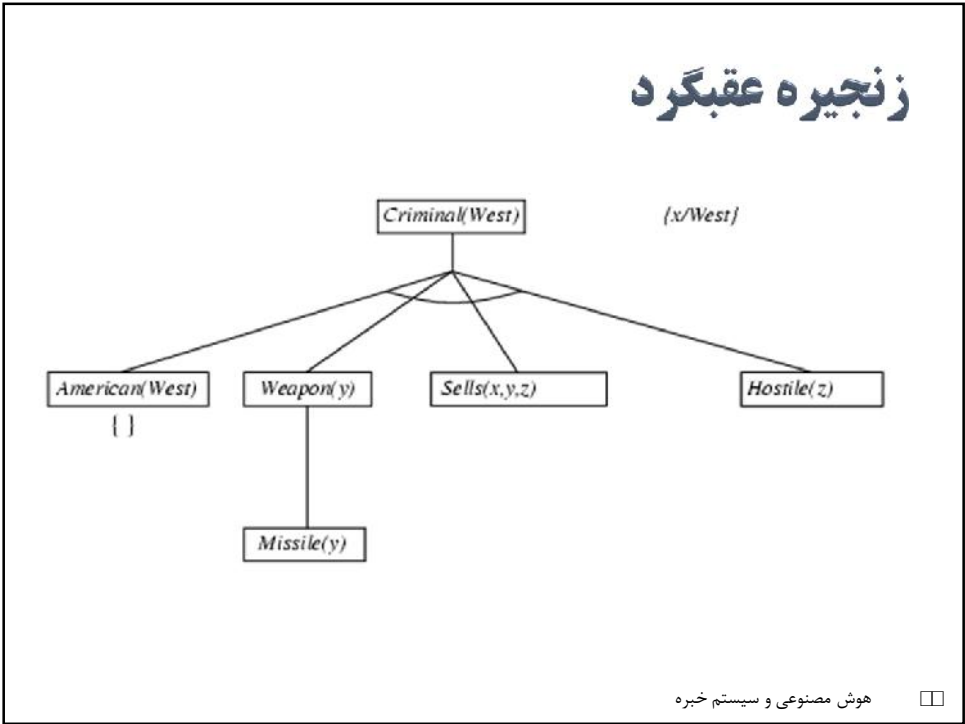
هوش مصنوعی و سیستم خبره □□

زنجیره عقبگرد

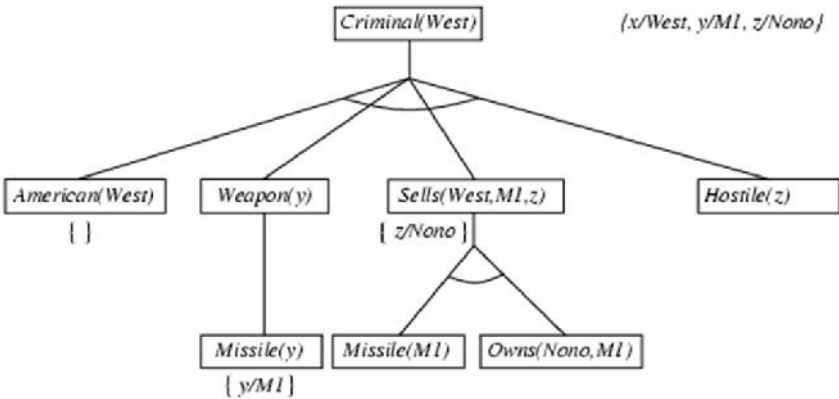
Criminal(West)

هوش مصنوعی و سیستم خبره □□



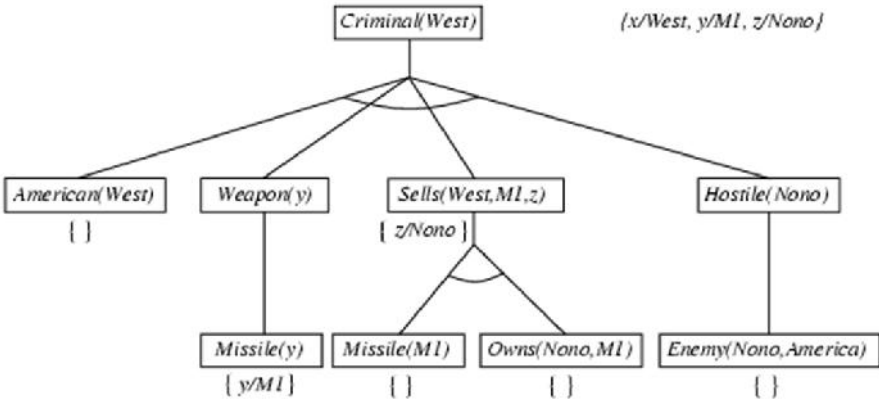


زنجیره عقبگرد



هوش مصنوعی و سیستم خبره □□

زنجیره عقبگرد



هوش مصنوعی و سیستم خبره □□

زنجیره عقبگرد

جستجوی اول عمق بازگشتی (Depth First Recursive Search)

مرتبه فضایی برای رسیدن به جواب خطی است.

استفاده در زبان های برنامه نویسی منطق (Logic Programming) مانند PROLOG

استنتاج Sound است، اما کامل نیست

هوش مصنوعی و سیستم خبره



الگوریتم Resolution

الگوریتم Resolution در منطق گزاره ها

با فرض $m_j = \neg l_i$ ، آنگاه:

$$\frac{l_1 \vee \dots \vee l_k, m_1 \vee \dots \vee m_n}{l_1 \vee \dots \vee l_{i-1} \vee l_{i+1} \vee \dots \vee l_k \vee m_1 \vee \dots \vee m_{j-1} \vee m_{j+1} \vee \dots \vee m_n}$$

الگوریتم Resolution در منطق گزاره ها

با فرض $\text{Unify}(m_j = \neg l_i) = \theta$ ، آنگاه:

$$\frac{l_1 \vee \dots \vee l_k, m_1 \vee \dots \vee m_n}{l_1 \vee \dots \vee l_{i-1} \vee l_{i+1} \vee \dots \vee l_k \vee m_1 \vee \dots \vee m_{j-1} \vee m_{j+1} \vee \dots \vee m_n}$$

هوش مصنوعی و سیستم خبره



استنتاج با الگوریتم Resolution

► می خواهیم از الگوریتم استنتاج Resolution جهت بررسی اینکه آیا جمله α از KB مشتق می شود یا خیر، استفاده کنیم.

$$KB \models \alpha$$

► برای این منظور باید نشان دهیم $KB \wedge \neg \alpha$ ارضاکننده نیست. چرا؟!
◦ باید اعتبار جمله شرطی α با استفاده از برهان خلف ثابت شود.

هوش مصنوعی و سیستم خبره



تبدیل عبارات به CNF

۱ • تبدیل شرط و شرط دو طرفه

۲ • اعمال $\neg$ به " و \$

۳ • استاندارد سازی متغیرها

۴ • Skolemization برای سورهای وجودی

۵ • حذف سورهای عمومی

۶ • توزیع $\vee$ روی $\wedge$

هوش مصنوعی و سیستم خبره



مثالی از تبدیل عبارات به CNF

- ▶ اگر کسی همه حیوانات را دوست داشته باشد، کسی وجود دارد که او را دوست داشته باشد:
- ▶ $\forall x [\forall y \text{ Animal}(y) \Rightarrow \text{Loves}(x,y)] \Rightarrow [\exists y \text{ Loves}(y,x)]$
- ▶ مرحله ۱: حذف شرط
- ▶ $\forall x [\forall y \neg \text{Animal}(y) \vee \text{Loves}(x,y)] \Rightarrow [\exists y \text{ Loves}(y,x)]$
- ▶ $\forall x \neg [\forall y \neg \text{Animal}(y) \vee \text{Loves}(x,y)] \vee [\exists y \text{ Loves}(y,x)]$
- ▶ $\forall x [\neg \forall y \neg \text{Animal}(y) \vee \text{Loves}(x,y)] \vee [\exists y \text{ Loves}(y,x)]$

هوش مصنوعی و سیستم خبره



مثالی از تبدیل عبارات به CNF

- ▶ $\forall x [\neg \forall y \neg \text{Animal}(y) \vee \text{Loves}(x,y)] \vee [\exists y \text{ Loves}(y,x)]$
- ▶ مرحله ۲: اعمال $\neg$ به " و \$
- روش کار: $\neg \neg x \equiv x$, $\neg \neg x \equiv x$
- ▶ $\forall x [\exists y \neg (\neg \text{Animal}(y) \vee \text{Loves}(x,y))] \vee [\exists y \text{ Loves}(y,x)]$
- ▶ $\forall x [\exists y \neg \neg \text{Animal}(y) \wedge \neg \text{Loves}(x,y)] \vee [\exists y \text{ Loves}(y,x)]$
- ▶ $\forall x [\exists y \text{ Animal}(y) \wedge \neg \text{Loves}(x,y)] \vee [\exists y \text{ Loves}(y,x)]$
- ▶ مرحله ۳: استاندارد سازی متغیرها
- روش کار: تغییر نام متغیرهای همسان به غیر همسان برای هر یک از سورها
- ▶ $\forall x [\exists y \text{ Animal}(y) \wedge \neg \text{Loves}(x,y)] \vee [\exists z \text{ Loves}(z,x)]$

هوش مصنوعی و سیستم خبره



مثالی از تبدیل عبارات به CNF

► $\forall x [\exists y \text{ Animal}(y) \wedge \neg \text{Loves}(x,y)] \vee [\exists z \text{ Loves}(z,x)]$

► مرحله ۴: Skolemization برای سورهای وجودی

- حالت عمومی تر از روش نمونه سازی سور وجودی با ثابت Skolem
- در این روش هر سور وجودی با یک تابع Skolem جایگزین می شود

► $\forall x [\text{Animal}(F(x)) \wedge \neg \text{Loves}(x,F(x))] \vee \text{Loves}(G(x),x)$

► مرحله ۵: حذف سورهای عمومی

- روش کار: از سورهای عمومی صرف نظر می کنیم

► $[\text{Animal}(F(x)) \wedge \neg \text{Loves}(x,F(x))] \vee \text{Loves}(G(x),x)$

هوش مصنوعی و سیستم خبره



مثالی از تبدیل عبارات به CNF

► $[\text{Animal}(F(x)) \wedge \neg \text{Loves}(x,F(x))] \vee \text{Loves}(G(x),x)$

► مرحله ۶: توزیع $\vee$ روی $\wedge$

- روش کار: خاصیت توزیع پذیری OR روی AND

► $[\text{Animal}(F(x)) \vee \text{Loves}(G(x),x)] \wedge [\neg \text{Loves}(x,F(x)) \vee \text{Loves}(G(x),x)]$

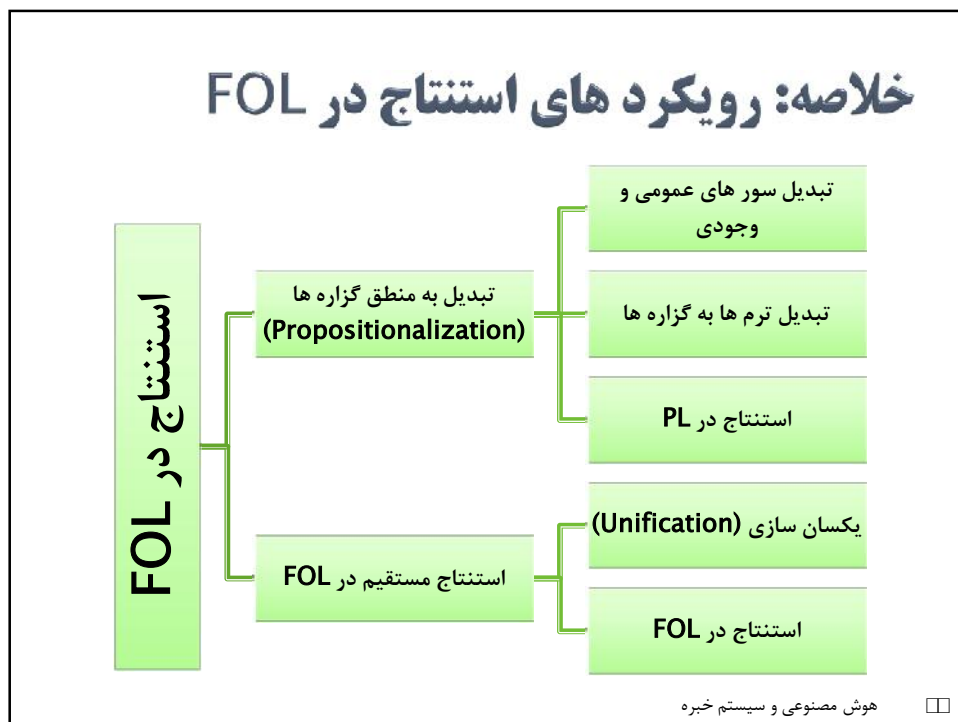
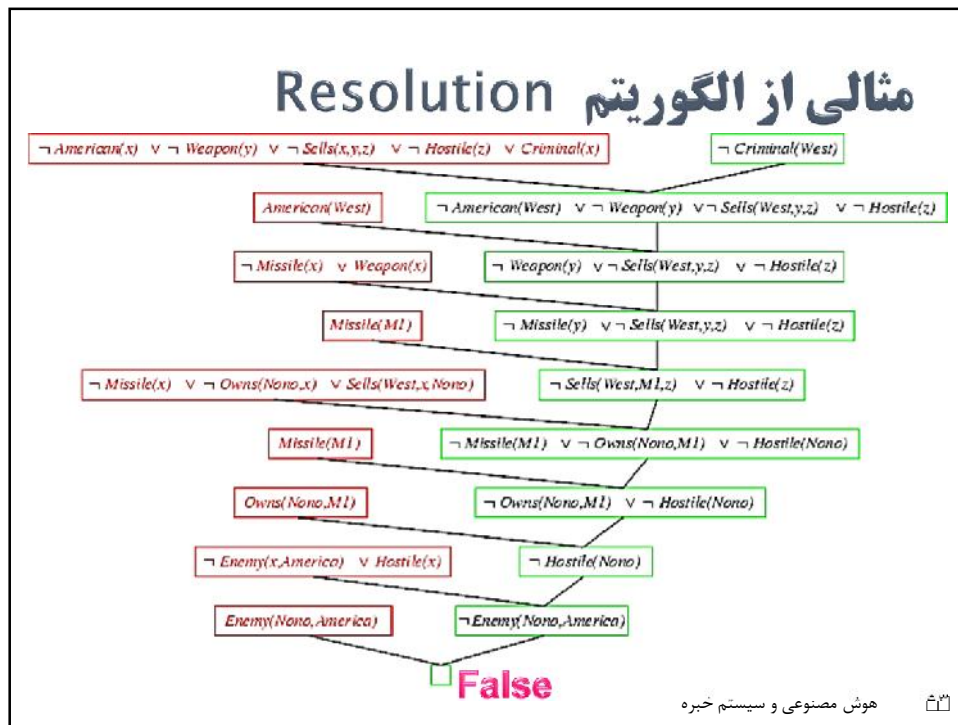
$[\text{Animal}(F(x)) \vee \text{Loves}(G(x),x)]$

$\wedge$

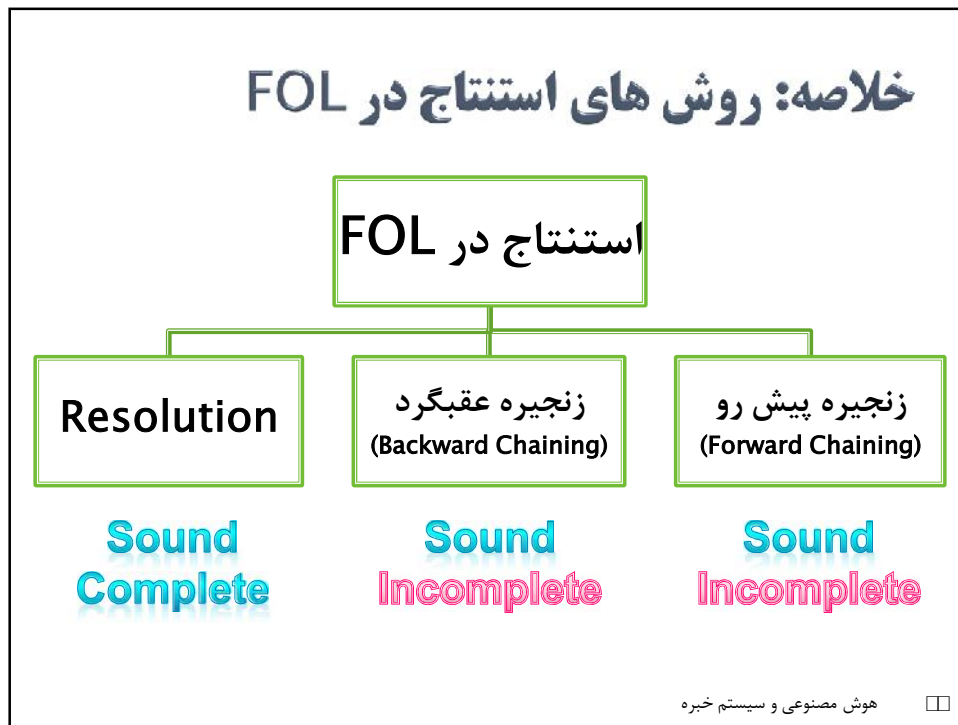
$[\neg \text{Loves}(x,F(x)) \vee \text{Loves}(G(x),x)]$

هوش مصنوعی و سیستم خبره





خلاصه: روش های استنتاج در FOL



خلاصه: چالش اساسی منطق رتبه اول

- ▶ قضیه (Turing (1936), Church (1936):
 - استلزام در FOL یک مسئله نیمه تصمیم پذیر (semi-decidable) است.
 - اگر جمله α از FOL KB قابل استلزام باشد، مسئله جواب دارد.
 - اگر جمله α از FOL KB قابل استلزام نباشد، مسئله جواب ندارد.
- ▶ دلیل: وجود توابع در FOL
- ▶ راه حل:
 - حذف توابع (Functions) و معادل سازی آنها با مسندها (Predicates) در صورت استفاده از روش های زنجیره پیش رو و زنجیره عقبگرد
 - استفاده از الگوریتم Resolution

خلاصه: چالش اساسی منطق رتبه اول

► استلزام در Datalog بدون هیچ چالشی قابل انجام است.

Datalog: یک پایگاه دانش رتبه اول
که شامل هیچ تابعی نباشد.

► ویژگی های Datalog:

- استنتاج جملات قابل استلزام و غیرقابل استلزام در زمان محدود قابل انجام است.
- استنتاج **sound و کامل** خواهد شد