هوش مصنوعی

فصل ۱۰

بازنمایی دانایی

Knowledge Representation

کاظم فولادی قلعه
دانشکده مهندسی، دانشکدگان فارابی
دانشگاه تهران

http://courses.fouladi.ir/ai

عامل مبتنی بر دانایی

نقش بازنمایی دانایی

بازنمایی دانایی:
چگونگی بازنمایی واقعیت‌های دنیا در
پایگاه دانایی
(محتوای درون پایگاه دانایی)

هوش مصنوعی

بازنمایی دانایی

۱

مهندسی هست‌شناختی

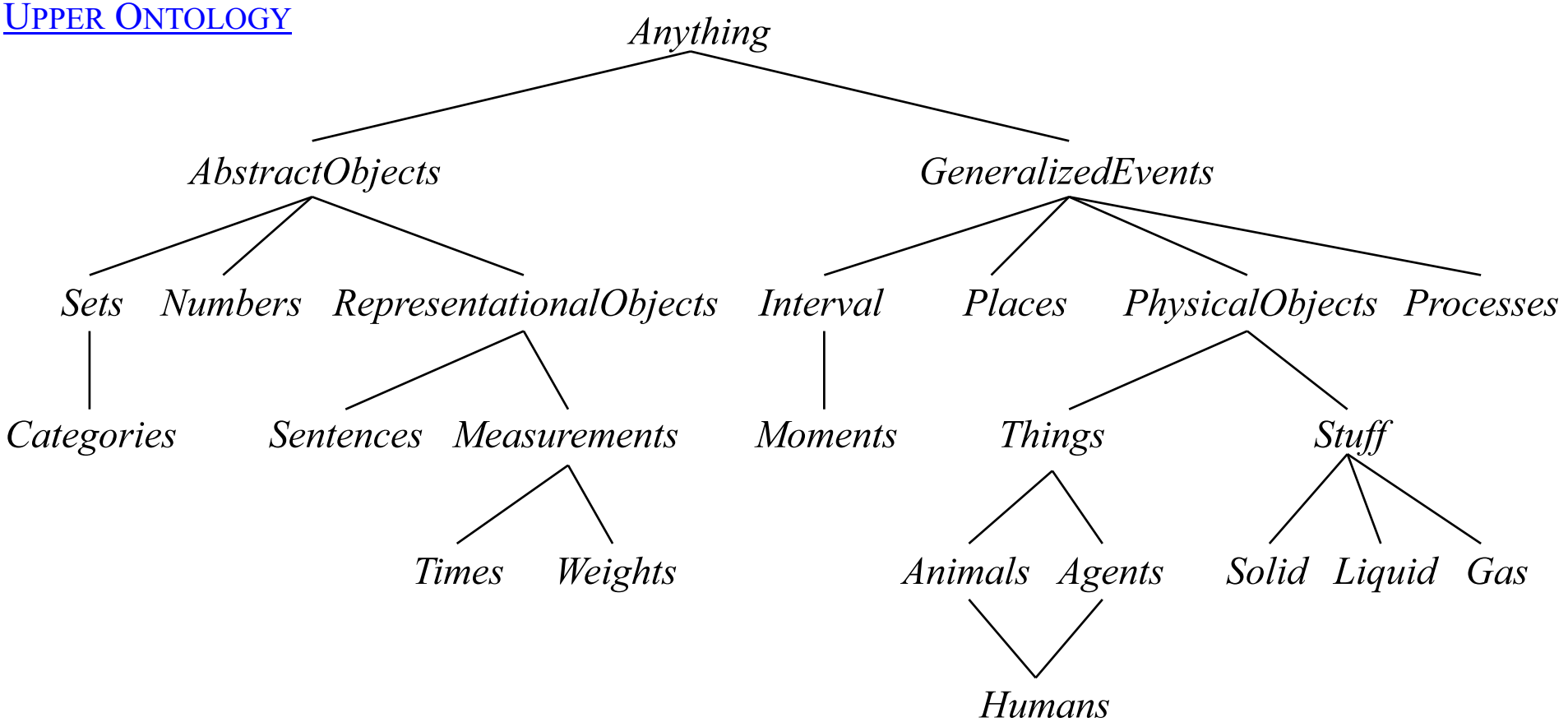
مهندسی هست‌شناختی

ONTOLOGICAL ENGINEERING

مهندسی هست‌شناختی *Ontological Engineering*	بازنمایی مفاهیم انتزاعی (نظیر: کنش‌ها، زمان، اشیای فیزیکی و باورها)

هست‌شناسی بالایی

UPPER ONTOLOGY



آنچه در دنیا وجود دارد!
مفهوم پایین‌تر، حالت خاصی از مفهوم بالاتر است.

هست‌شناسی بالایی
Upper Ontology

بازنمایی دانایی

نقش منطق مرتبه اول

استفاده از **منطق مرتبه اول** برای سازمان‌دهی پایگاه دانایی

جنبه‌هایی از دنیای واقعی وجود دارد که توصیف آنها با FOL مشکل است:

استثناها *Exceptions*	**عدم اطمینان** *Uncertainty*

مثال:
قاعده‌ی «گوجه‌فرنگی قرمز است» استثنا دارد.

هست‌شناسی

همه‌منظوره / خاص‌منظوره

هست‌شناسی

هست‌شناسی همه‌منظوره *General-Purpose Ontology*	هست‌شناسی خاص‌منظوره *Special-Purpose Ontology*

دو مشخصه‌ی اصلی:

- در همه‌ی دامنه‌های خاص‌منظوره، باید کم و بیش قابل به‌کارگیری باشد.
  (با اضافه کردن اصول موضوع خاص آن دامنه)
- برای دامنه‌های به‌اندازه‌ی کافی دشوار، باید حوزه‌های مختلف دانایی را **متحد** کند.
  (زیرا استدلال و حل مسئله زمینه‌های مختلف را همزمان درگیر می‌کند)

هوش مصنوعی

بازنمایی دانایی

۲

دسته‌ها
و
اشیا

دسته‌ها و اشیا

CATEGORIES AND OBJECTS

دسته *Category*	دسته = مجموعه‌ای از اعضای آن

ضرورت سازمان‌دهی اشیا در دسته‌ها در بازنمایی دانایی

تعامل در سطح اشیا *Interaction at the level of the objects*	استدلال در سطح دسته‌ها *Reasoning at the level of categories*

نقش دسته‌ها در **پیش‌بینی** در مورد اشیا: بر اساس خواص درک شده از شیئ

دسته‌ها و اشیا

بازنمایی دسته‌ها با منطق مرتبه اول

روش‌های بازنمایی دسته‌ها با منطق مرتبه اول

در قالب محمول‌ها *Predicates*	جسمیت‌بخشی دسته‌ها در اشیا *Reification of categories into objects*
$Apple(x)$	$Apples$

دسته‌ها و اشیا

سازمان‌دهی دسته‌ها با رابطه‌ی وراثت

رابطه‌ی بین دسته‌ها	**وراثت** *Inheritance*

مثال:
همه‌ی نمونه‌های خوراکی‌ها خوردنی هستند،
میوه زیرطبقه‌ای از خوراکی، و
سیب زیرطبقه‌ای از میوه است؛
پس: سیب خوردنی است

رابطه‌ی وراثت بین دسته‌ها، یک **رده‌بندی** *(taxonomy)* تعریف می‌کند.

دسته‌ها و منطق مرتبه اول

مثال

یک شیئ عضوی از یک دسته است.

An object is a member of a category

$$MemberOf(BB_{12}, Basketballs)$$

یک دسته یک زیرطبقه از یک دسته‌ی دیگر است.

A category is a subclass of another category

$$SubsetOf(Basketballs, Balls)$$

همه‌ی عضوهای یک دسته، تعدادی خصوصیت دارند.

All members of a category have some properties

$$\forall x(MemberOf(x, Basketballs) \Rightarrow Round(x))$$

همه‌ی عضوهای یک دسته می‌توانند توسط برخی خصوصیات بازشناسی شوند.

All members of a category can be recognized by some properties

$$\forall x(Orange(x) \wedge Round(x) \wedge Diameter(x) = 9.5\text{in} \wedge MemberOf(x, Balls) \Rightarrow MemberOf(x, BasketBalls))$$

یک دسته به عنوان یک کل تعدادی خصوصیت دارد.

A category as a whole has some properties

$$MemberOf(Dogs, DomesticatedSpecies)$$

روابط بین دسته‌ها

رابطه‌ی مجزا بودن

مجزا بودن
Disjoint

دو یا چند دسته **مجزا** هستند، اگر هیچ عضو مشترکی نداشته باشند.

Two or more categories are disjoint if they have no members in common:

$$Disjoint(s) \Leftrightarrow$$
$$(\forall c_1, c_2 \quad c_1 \in s \wedge c_2 \in s \wedge c1 \neq c2 \Rightarrow Intersection(c1, c2) = \{\})$$

Example: $Disjoint(\{Animals, Vegetables\})$

روابط بین دسته‌ها

رابطه‌ی تجزیه‌ی جامع

تجزیه‌ی جامع
Exhaustive Decomposition

مجموعه‌ای از دسته‌ها s تشکیل یک **تجزیه‌ی جامع** از یک دسته‌ی c می‌دهند اگر
همه‌ی عضوهای مجموعه c توسط دسته‌های s پوشش داده شوند.

A set of categories s constitutes an exhaustive decomposition of a category c if all members of the set c are covered by categories in s:

$$ExhaustiveDecomposition(s, c) \Leftrightarrow (\forall i \quad i \in c \Leftrightarrow \exists c_2 \quad c_2 \in s \wedge i \in c_2)$$

Example:

$$ExhaustiveDecomposition(\{Americans, Canadian, Mexicans\}, NorthAmericans).$$

روابط بین دسته‌ها

افراز

افراز
Partition

یک **افراز**، یک تجزیه‌ی جامع مجزا است.

A partition is a disjoint exhaustive decomposition:

$$Partition(s, c) \Leftrightarrow Disjoint(s) \wedge ExhaustiveDecomposition(s, c)$$

Example: $Partition(\{Males, Females\}, Persons)$.

Example: Is $(\{Americans, Canadian, Mexicans\}, NorthAmericans)$ a partition? – No! There might be dual citizenships.

تعریف کردن یک دسته

افراز

دسته‌ها می‌توانند با تدارک شرایط لازم و کافی برای عضویت **تعریف** شوند.

Categories can be defined by providing necessary and sufficient conditions for membership

$$\forall x \quad Bachelor(x) \Leftrightarrow Male(x) \wedge Adult(x) \wedge Unmarried(x)$$

گونه‌های طبیعی

تعریف‌های نوعی

گونه‌ی طبیعی
Natural Kind

دسته‌ای که تعریف صریح و قاطع ندارد!

مثال: صندلی، بوته، کتاب، گوجه‌فرنگی، ...

گونه‌های طبیعی را به صورت نوعی تعریف می‌کنیم.

Example: Tomatoes: sometimes green, red, yellow, black. Mostly round

One solution: subclass using category $Typical(Tomatoes)$.

$$\boxed{Typical(c) \subseteq c}$$

$$\forall x \quad x \in Typical(Tomatoes) \Rightarrow Red(x) \wedge Spherical(x).$$

می‌توان واقعیت‌های مفیدی را در مورد دسته‌ها نوشت، بدون اینکه تعریف‌های دقیق داشته باشیم.

ترکیب فیزیکی

رابطه‌ی «جزئی از»

ترکیب فیزیکی
Physical Composition

ترکیب فیزیکی یعنی: یک شیئ جزئی از یک شیئ دیگر است.

One object may be part of another:

$$PartOf(Bucharest, Romania)$$
$$PartOf(Romania, EasternEurope)$$
$$PartOf(EasternEurope, Europe)$$

چون رابطه‌ی $PartOf$ تراگذری است، نتیجه می‌شود:

$$PartOf(Bucharest, Europe)$$

خواص بازتابی و تراگذری رابطه‌ی $PartOf$

$$\forall x \quad PartOf(x, x)$$

$$\forall x, y, z \quad PartOf(x, y) \wedge PartOf(y, z) \Rightarrow PartOf(x, z)$$

ترکیب فیزیکی

رابطه‌ی «جزئی از»: مثال

ترکیب فیزیکی، اغلب با بیان روابط ساختاری میان اجزا مشخص می‌شود.

مثال: موجود دو پا

$$\text{E.g. } Biped(a) \Rightarrow$$

$$(\exists l_1, l_2, b)(Leg(l_1) \wedge Leg(l_2) \wedge Body(b) \wedge$$
$$PartOf(l_1, a) \wedge PartOf(l_2, a) \wedge PartOf(b, a) \wedge$$
$$Attached(l_1, b) \wedge Attached(l_2, b) \wedge$$
$$l_1 \neq l_2 \wedge (\forall l_3)(Leg(l_3) \Rightarrow (l_3 = l_1 \vee l_3 = l_2)))$$

ترکیب فیزیکی

رابطه‌ی «افراز اجزا»

افراز اجزا *PartPartition*	افراز یک ترکیب فیزیکی به اجزای آن (رابطه‌ای قابل مقایسه با افراز برای دسته‌ها)

ترکیب فیزیکی

رابطه‌ی «بانچ»

بانچ
BunchOf

$BunchOf(X)$ یک شیئ مرکب که از همه‌ی Xها تشکیل شده است.

$BunchOf(X)$: a composite object consisting of all X's

$$BunchOf(\{Apple_1, Apple_2, Apple_3\})$$

$$\boxed{BunchOf(\{x\}) = x}$$

تعریف $BunchOf$ برحسب رابطه‌ی $PartOf$:

$$\forall x\ x \in s \Rightarrow PartOf(x, BunchOf(s))$$

$BunchOf(s)$ کوچک‌ترین شیئی است که شرط زیر را ارضا می‌کند:

$$\forall y[\forall x\ x \in s \Rightarrow PartOf(x, y)] \Rightarrow PartOf(BunchOf(s), y)$$

می‌نیمم‌سازی منطقی

LOGICAL MINIMIZATION

می‌نیمم‌سازی منطقی
Logical Minimization

تعریف یک شیئ
به عنوان **کوچک‌ترین** چیزی که شرط مشخصی را ارضا می‌کند.

مثال

$BunchOf(s)$ کوچک‌ترین شیئی است که شرط زیر را ارضا می‌کند:

$$\forall y[\forall x\ x \in s \Rightarrow PartOf(x, y)] \Rightarrow PartOf(BunchOf(s), y)$$

اندازه‌گیری‌ها

MEASUREMENTS

اشیا دارای خواصی چون ارتفاع، جرم، هزینه و ... هستند.

اشیای اندازه‌ای
Measure Objects

اندازه: مقادیری که به خواص شیئ نسبت داده می‌شود.

- Combine unit functions with a number: برای بیان، تابع واحد با یک عدد ترکیب می‌شود
  $Length(L_1) = Inches(1.5) = Centimeters(3.81).$
- Conversion between units: برای تبدیل بین واحدها:
  $\forall i \quad Centimeters(2.54 \times i) = Inches(i).$

برخی اندازه‌ها، مقیاس (scale) ندارند: مثل زیبایی، دشواری، ...

مهم‌ترین جنبه‌ی اندازه‌ها، مقادیر عددی نیست؛ بلکه این است که اندازه‌ها **رتبه‌پذیر** (orderable) هستند.

بنابراین به اعداد دقیق واقعی خیلی توجهی نداریم!

فیزیک کیفی

QUALITATIVE PHYSICS

فیزیک کیفی
Qualitative Physics

یک زیرحوزه از هوش مصنوعی که بررسی می‌کند چگونه می‌توان در
مورد سیستم‌های فیزیکی استدلال کرد
بدون اینکه درگیر معادلات مفصل و شبیه‌سازی‌های عددی بشویم.

جوهرها و اشیا

SUBSTANCES AND OBJECTS

جنس
Stuff

نام عمومی بخش مهمی از واقعیت
که به نظر می‌رسد در مقابل هر نوع «منفردسازی»
(تقسیم به اشیای مجزا) مخالفت می‌کند.

خواص اشیا

خواص ذاتی *Intrinsic Properties*	خواص عرضی *Extrinsic Properties*
خواص متعلق به جوهر تشکیل‌دهنده شیئ نه خود شیئ به عنوان یک کل	خواص متعلق به شیئ به عنوان یک کل
با تقسیم شیئ حفظ می‌شوند.	پس از تقسیم شیئ تغییر می‌کند.
مثل: چگالی، نقطه جوش، رنگ، ...	مثل: وزن، طول، شکل، کارکرد، ...

جنس و چیز

STUFF AND THING

جنس *Stuff*	چیز *Thing*
عمومی‌ترین دسته‌ی جوهرها بدون مشخص کردن هیچ خاصیت ذاتی	عمومی‌ترین دسته‌ی اشیای گسسته بدون مشخص کردن هیچ خاصیت عرضی

تمامی اشیای فیزیکی به هر دو دسته تعلق دارند.

نام شمارشی *Count Noun*	نام جرمی (جوهر) *Mass Noun (Substance)*
طبقه‌ای از اشیا که در تعریف آنها فقط خواص عرضی وجود دارد.	طبقه‌ای از اشیا که در تعریف آنها فقط خواص ذاتی وجود دارد.
شمارش‌پذیر	شمارش‌ناپذیر
مثل: گربه‌ها، حفره‌ها، قضیه‌ها، ...	مثل: کره، آب، انرژی، ...

$$x \in Butter \wedge PartOf(y, x) \Rightarrow y \in Butter$$

$$x \in Butter \Rightarrow MeltingPoint(x, Centigrade(30))$$

هوش مصنوعی

بازنمایی دانایی

۳

رویدادها

حساب وضعیت

SITUATION CALCULUS

حساب وضعیت
Situation Calculus

راهی برای بازنمایی و پیگیری تغییرات در FOL

یک آرگومان وضعیت به هر محمول غیرابدی اضافه می‌کند.

وضعیت *Situation*	حالت حاصل از اجرای کنش‌ها

بازنمایی زمان با موقعیت‌ها

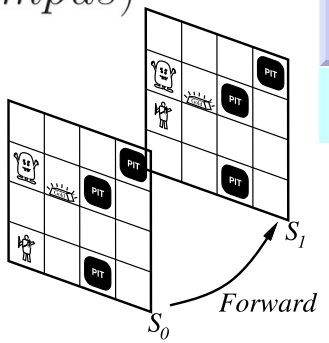
حساب وضعیت

مؤلفه‌ها

SITUATION CALCULUS

Situation calculus:

- Actions are logical terms
- Situations are logical terms consiting of
  - The initial situation I (S_0)
  - All situations resulting from the action on I $(= Result(a, s))$
- Fluents are functions and predicates that vary from one situation to the next.
  E.g. $\neg Holding(G_1, S_0)$
- Atemporal (Eternal) predicates are also allowed
  E.g. $Gold(G_1), LeftLegOf(Wumpus)$



حساب وضعیت
Situation Calculus

کنش‌ها
Actions

ترم‌های منطقی

وضعیت‌ها
Situations

ترم‌های منطقی

سیال‌ها
Fluents

تابع‌ها و محمول‌های متغیر از یک وضعیت به دیگری

محمول‌ها و توابع غیرموقتی (ابدی)
Atemporal (Eternal) Predicates

محمول‌ها و توابع تغییرناپذیر

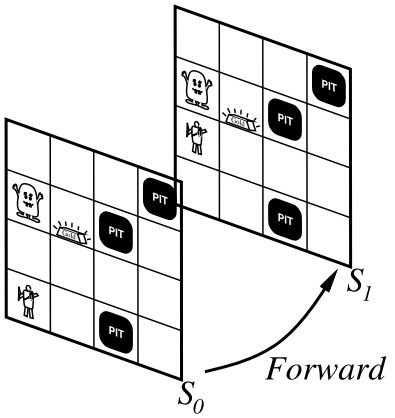
حساب وضعیت

کنش‌ها و حاصل آنها

SITUATION CALCULUS

حاصل یک دنباله از کنش‌ها، توسط کنش‌های انفرادی تعیین می‌شود.

$$Result([\,], s) = s$$
$$Result([a \mid seq\,], s) = Result(seq, Result(a, s))$$

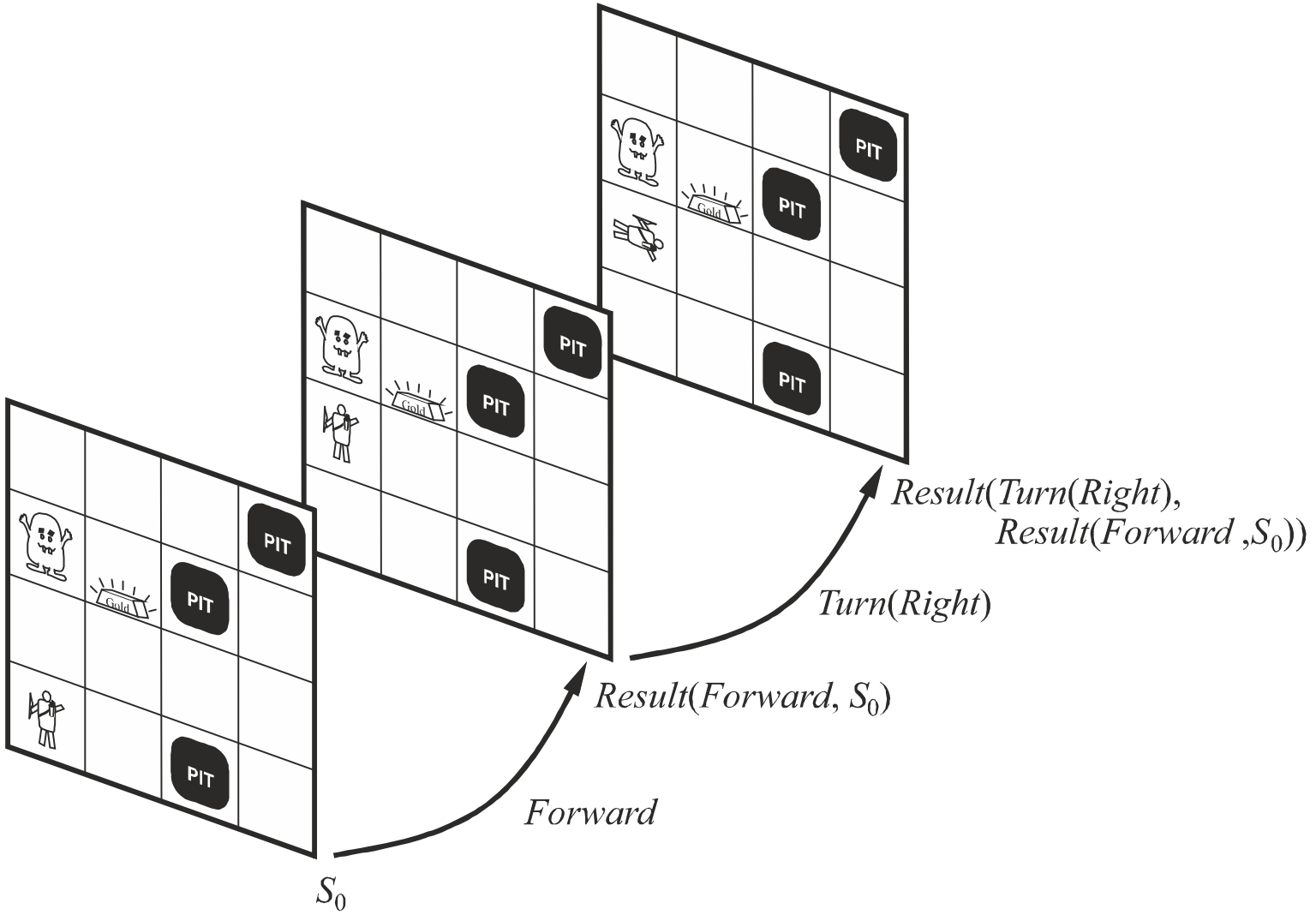


کار افکنش *Projection Task*	کار طرح‌ریزی *Planning Task*
استنباط پی‌آمد یک دنباله از کنش‌ها	یافتن دنباله‌ای از کنش‌ها برای دست‌یابی به یک اثر مطلوب

حساب وضعیت

مثال : دنیای اژدها

SITUATION CALCULUS



حساب وضعیت

توصیف کنش‌ها

SITUATION CALCULUS

هر کنش در حساب وضعیت، برای توصیف تغییر دو اصل موضوع نیاز دارد:

اصل موضوع امکان
Possibility Axiom

چه زمانی انجام کنش ممکن است؟

$$At(Agent, x, s) \wedge Adjacent(x, y) \Rightarrow Poss(Go(x, y), s)$$

اصل موضوع تأثیر
Effect Axiom

توصیف تغییرات پس از انجام کنش

$$Poss(Go(x, y), s) \Rightarrow At(Agent, y, Result(Go(x, y), s))$$

مشکل اصل موضوع تأثیر: **می‌گوید چه چیزهایی تغییر می‌کند، اما نمی‌گوید چه چیزهایی یکسان می‌ماند!**

حساب وضعیت

مسئله‌ی قاب

FRAME PROBLEM

مسئله‌ی قاب
Frame Problem

چگونه می‌توان همه‌ی چیزهایی که بدون تغییر باقی مانده‌اند را بازنمایی کرد؟

یک راه‌حل:

اصل موضوع قاب
Frame Axiom

توصیف عدم تغییرات در نتیجه‌ی کنش‌ها

$$At(o, x, s) \wedge (o \neq Agent) \wedge \neg Holding(o, s) \Rightarrow At(o, x, Result(Go(y, z), s))$$

برای مثال: حرکت‌های عامل سایر اشیای ساکن را تکان نمی‌دهد مگر آنچه عامل در دست گرفته باشد.

حساب رویداد

کار با زمان

EVENT CALCULUS

نامناسب بودن حساب وضعیت برای کنش‌هایی که دارای مدت زمانی هستند و
می‌خواهیم در مورد مدت زمانی، بازه‌های زمانی و ... استدلال کنیم!

حساب رویداد
Event Calculus

سیال‌ها در نقطه‌های زمانی برقرار هستند.

$T(f,t)$	Fluent f is true at time t
$Happens(e,i)$	Event e happens over the time interval i
$Initiates(e,f,t)$	Event e causes fluent f to start to hold at time t
$Terminates(e,f,t)$	Event e causes fluent f to cease to hold at time t
$Clipped(f,i)$	Fluent f ceases to be true at some point during time interval i
$Restored(f,i)$	Fluent f becomes true sometime during time interval i

اصل موضوع حساب رویداد

Event Calculus Axiom

$$T(f,t_2) \Leftrightarrow \exists\, e,t Happens(e,t) \wedge\ Initiates(e,f,t) \wedge\ (t < t_2) \wedge \neg Clipped(f,t,t_2)$$

$$Clipped(f,t,t_2) \Leftrightarrow \exists\, e,t_1 Happens(e,t_1) \wedge\ Terminates(e,f,t_1) \wedge (t < t_1) \wedge\ (t_1 < t_2)$$

رویداد تعمیم‌یافته

GENERALIZED EVENT

رویداد تعمیم‌یافته *Generalized Event*	یک پاره از جهان فضا–زمان

رویداد تعمیم‌یافته

محمول‌ها و تابع‌های مرتبط

GENERALIZED EVENT

$SubEvent(BattleOfBritain, WorldWarII)$
$SubEvent(WorldWarII, TwentiethCentury)$

$Period(e)$ denotes the smallest interval enclosing an event e.

Intervals – chunks of space-time that include all space between two points

$Duration(e)$ denotes the length of time of an interval, e.

$Location(e)$ denotes the smallest place enclosing an event e.

$In(e1, e2)$ denotes $PartOf$ relationship of the spatial projection of an event.

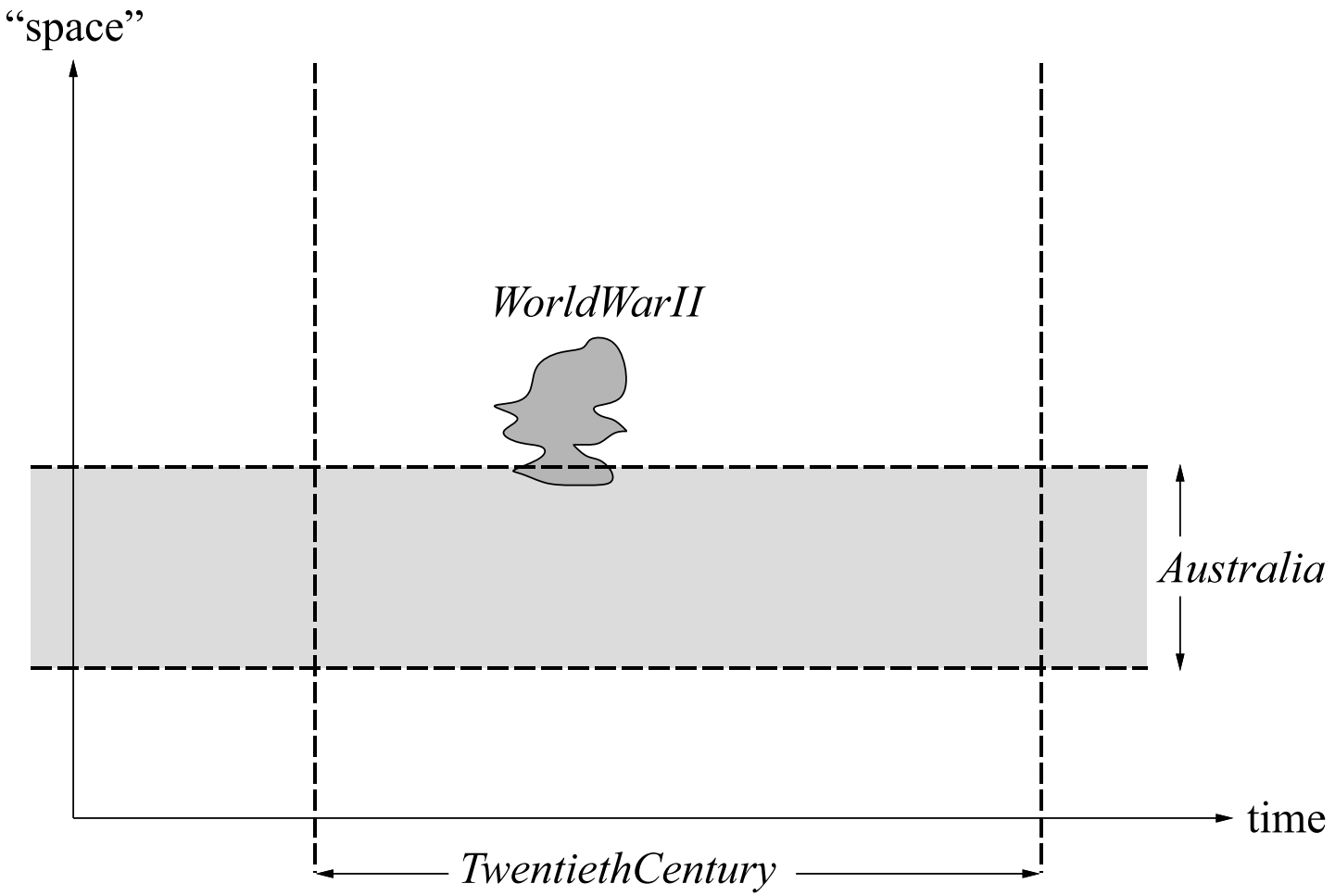
$Duration(Period(WorldWarII)) > Years(5)$
$In(Sydney, Australia)$

$\exists w \; w \in CivilWars \wedge SubEvent(w, 1640s) \wedge In(Location(w), England)$

رویداد تعمیم‌یافته

مثال

GENERALIZED EVENT



دسته‌ی «رویدادها»

CATEGORY OF EVENTS

دسته‌ی رویدادها
Category of Events

کنش‌های متناظر با یک مجموعه از رویدادها (نه یک رویداد تکی)

Actions like $Go([1,1],[1,2])$ denote a category of events and not single events; $Goto(y), GoFrom(x)$

کوته‌نوشت برای دسته‌های رویدادها: $E(c,i)$

$E(c,i) \Leftrightarrow \exists\ e\ e \in \wedge SubEvent(e,i)$
$E(Fly(Shankar, NewYork, NewDelhi), Yesterday)$

فرآیندها

PROCESSES

فرآیندها
Processes

رویداد مایع (پیوسته)

هر زیربازه از یک فرآیند، عضوی از دسته‌ی همان فرآیند است:

$$E(Flying(Shankar), Yesterday)$$

می‌توان گفت که یک فرآیند در سراسر یک بازه جریان داشته است نه درون یک بازه:

$$T(c,i) \Leftrightarrow E(c,i) \wedge \text{“the Event occurred throughout the whole interval } i\text{”}$$

$$T(Working(Stuart), TodayLunchHour)$$

فرآیندها

تمایز بین رویداد گسسته و رویداد مایع

PROCESSES

رویدادها (رویدادهای گسسته) *Events (Discrete Events)*	فرآیندها (رویدادهای مایع) *Processes (Liquid Events)*
	جوهر فضایی *Spatial Substances* / جوهر زمانی *Temporal Substances*
مشابه اشیای خاص	مشابه جنس و چیز

حساب سیال

FLUENT CALCULUS

حساب سیال
Fluent Calculus

جسمیت‌بخشی به ترکیب سیال‌ها (نه سیال‌های منفرد)

$Both(e_1, e_2)$: the event of two things happening at once $(e_1 \circ e_2)$

مثال: یک نفر راه می‌رود و همزمان آدامس می‌جود.

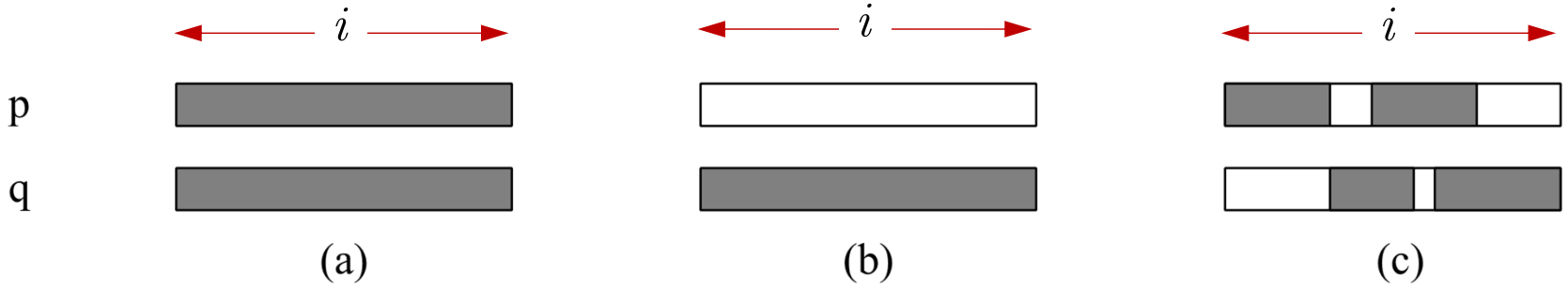
$$\exists p, i \ (p \in People) \wedge T(Walk(p) \circ ChewGum(p), i)$$

"$\circ$" function is commutative and associative.

حساب سیال

رویداد ترکیبی

COMPLEEX EVENT



(a) $T(Both(p,q),i)$ or $T(p \circ q,i)$

(b) $T(OneOf(p,q),i)$

(c) $T(Either(p,q),i)$

حساب سیال

بازه‌های زمانی

TIME INTERVALS

$$Partition(\{Moments, ExtendedIntervals\}, Intervals)$$

$$i \in Moments \Leftrightarrow Duration(i) = Seconds(0)$$

$Start(i)$, $End(i)$ denote the start and end moments of an interval i;

$$Interval(i) \Rightarrow Duration(i) = (Time(End(i)) - Time(Start(i)))$$

Time scale: such as $Seconds(s)$

$$Time(Start(AD2001)) = Date(0, 0, 0, 1, Jan, 2001)$$
$$Date(0, 20, 21, 24, 1, 1995) = Seconds(3000000000)$$

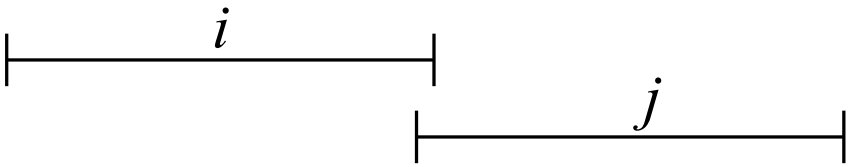
using these constructs one can define the functions $Meet(i, j)$, $Before(i, j)$, $Overlap(i, j)$, ...

حساب سیال

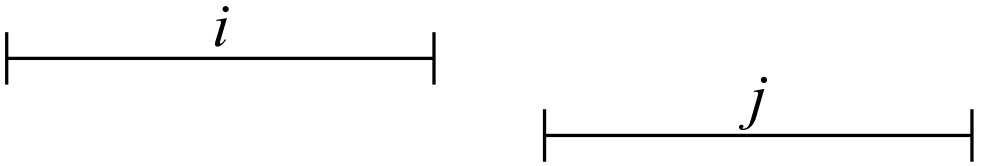
محمول‌هایی روی بازه‌های زمانی

PREDICATES ON TIME INTERVALS

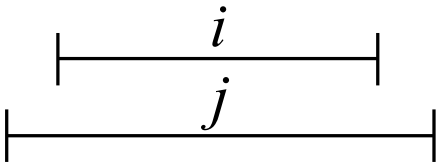
Meet(*i*,*j*)



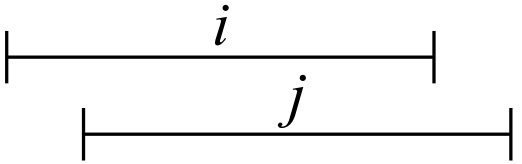
Before(*i*,*j*)
After(*i*,*j*)



During(*i*,*j*)



Overlap(*i*,*j*)
Overlap(*i*,*j*)



حساب سیال

محمول‌هایی روی بازه‌های زمانی

PREDICATES ON TIME INTERVALS

$$
\begin{aligned}
Meet(i,j) &\Leftrightarrow End(i) = Begin(j) \\
Before(i,j) &\Leftrightarrow End(i) < Begin(j) \\
After(j,i) &\Leftrightarrow Before(i,j) \\
During(i,j) &\Leftrightarrow Begin(j) < Begin(i) < End(i) < End(j) \\
Overlap(i,j) &\Leftrightarrow Begin(i) < Begin(j) < End(i) < End(j) \\
Begins(i,j) &\Leftrightarrow Begin(i) = Begin(j) \\
Finishes(i,j) &\Leftrightarrow End(i) = End(j) \\
Equals(i,j) &\Leftrightarrow Begin(i) = Begin(j) \wedge End(i) = End(j)
\end{aligned}
$$

شیئ فیزیکی

بیان خواص شیئ فیزیکی با سیال‌های حالت

PHYSICAL OBJECT

شیئ فیزیکی
Physical Objects

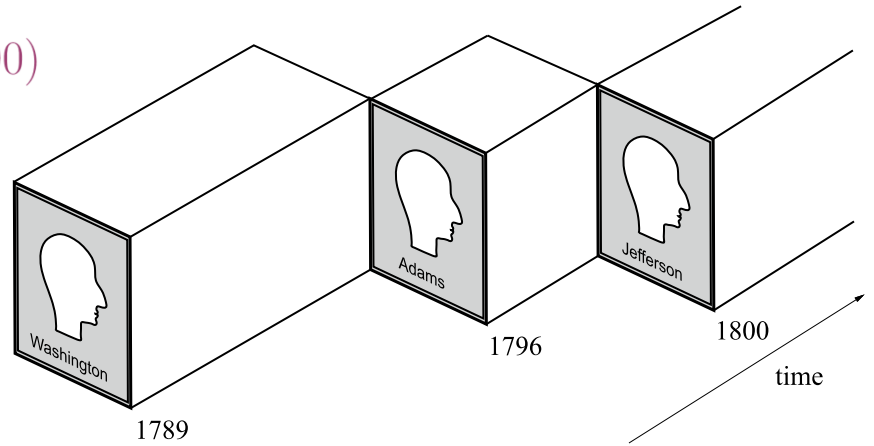
تکه‌ای از فضا–زمان
(شیئ فیزیکی می‌تواند به عنوان یک رویداد تعمیم‌یافته دیده شود)

e.g., USA can be thought of as an event.

We can describe changing properties of USA using state fluents:
$E(Ppopulation(USA, 271000000), AD1999)$

$President(USA)$ denotes a single object that consists of different people at different times:
$T(President(USA) = GeorgeWashington, AD1790)$

$=$ is a function symbol,
logical $=$ is not something that can change over time.



هوش مصنوعی

بازنمایی دانایی

۴

رویدادهای ذهنی و اشیای ذهنی

اشیای ذهنی ـ رویداد ذهنی

عامل می‌تواند باورهایی داشته باشد و باورهای جدیدی را استنباط کند.

- در مورد دانایی در مورد باورها؟
- در مورد دانایی در مورد فرآیند استنتاج؟

در محیطهای چندعاملی،
استدلال یک عامل در مورد حالت‌های ذهنی سایر عامل‌ها مهم می‌شود.

شیئ ذهنی *Mental Object*	**رویداد ذهنی** *Mental Event*
آنچه در سر (KB) عامل وجود دارد.	فرآیندی که اشیای ذهنی را دستکاری می‌کند.

روابط بین عامل‌ها و اشیای ذهنی
believes, knows, wants, ...

$$Believes(Lois, Flies(Superman))$$

دانایی و باور

KNOWLEDGE AND BELIEF

Knowledge is justified true belief

دانایی = باور درست موجه

$Knows(a, p)$: agent a knows that proposition p is true.

KnowsWhether: **می‌داند که آیا**

$$KnowsWhether(a, p) \Leftrightarrow Knows(a, p) \vee Knows(a, \text{“}\neg p\text{“})$$

$$Knows(a, s) \Rightarrow Believes(a, s)$$

KnowsWhat: **می‌داند که**

$$KnowsWhat(a, \text{“}PhoneNumber(b)\text{“}) \Leftrightarrow$$
$$\exists x\ Knows(a, \text{“}x = PhoneNumber(b)\text{“}) \wedge x \in DigitStrings$$

دانایی، زمان و کنش

KNOWLEDGE, TIME, AND ACTION

دانایی یک عامل (یا سایر عامل‌ها) در طول زمان تغییر می‌کند.

مدل‌سازی تأثیرات:
ترکیب استدلال در مورد رویدادها، کنش‌ها، زمان و دانایی

$$T(Believes(Lois, \text{“}Flies(Superman)\text{“}), Today)$$
$$T(Believes(Lois, \text{“}T(Flies(Superman), Yesterday)\text{“}, Today))$$

هوش مصنوعی

بازنمایی دانایی

۵

سیستم‌های استدلال برای دسته‌ها

سیستم‌های استدلال برای دسته‌ها

نمونه‌ی سیستم‌های مخصوص استدلال برای دسته‌ها

شبکه‌های معنایی
Semantic Networks

- یک نمایش گرافی از پایگاه دانایی
- دارای الگوریتم‌های کارآمد برای استنتاج عضویت در دسته‌ها

منطق‌های توصیفی
Description Logics

- یک زبان صوری برای تعریف ساخت و تعریف تعریف دسته‌ها
- دارای الگوریتم‌های کارآمد برای تصمیم‌گیری در مورد روابط زیرمجموعه/ابرمجموعه بین دسته‌ها

شبکه‌های معنایی

SEMANTIC NETWORKS

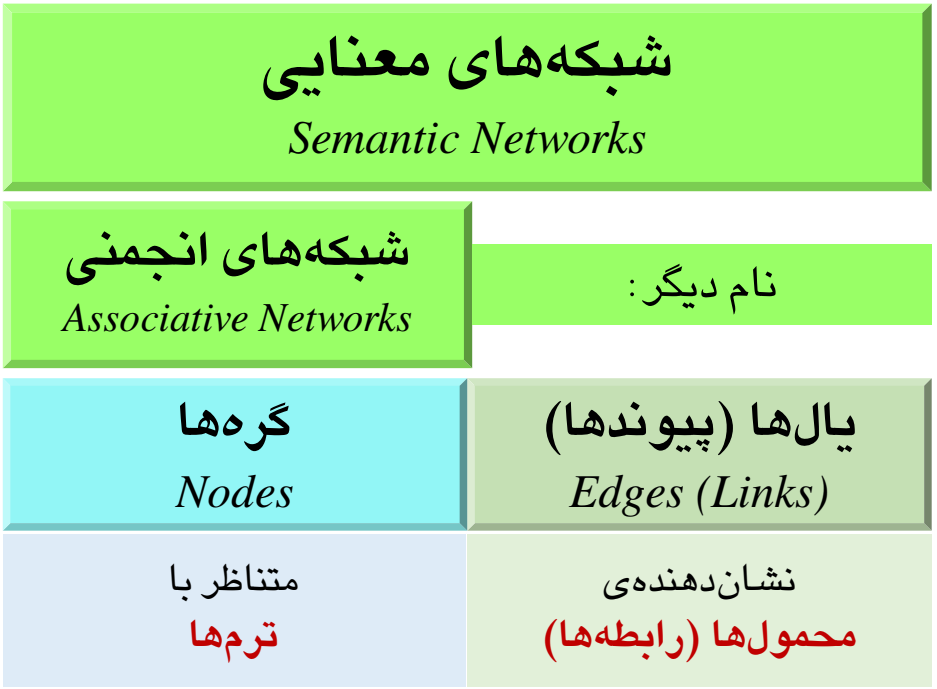
شبکه‌های معنایی
Semantic Networks

بازنمایی اشیا، دسته‌های اشیا و روابط آنها

امکان استفاده از مفهوم **وراثت** و **استدلال وراثتی**

شبکه‌های معنایی

SEMANTIC NETWORKS



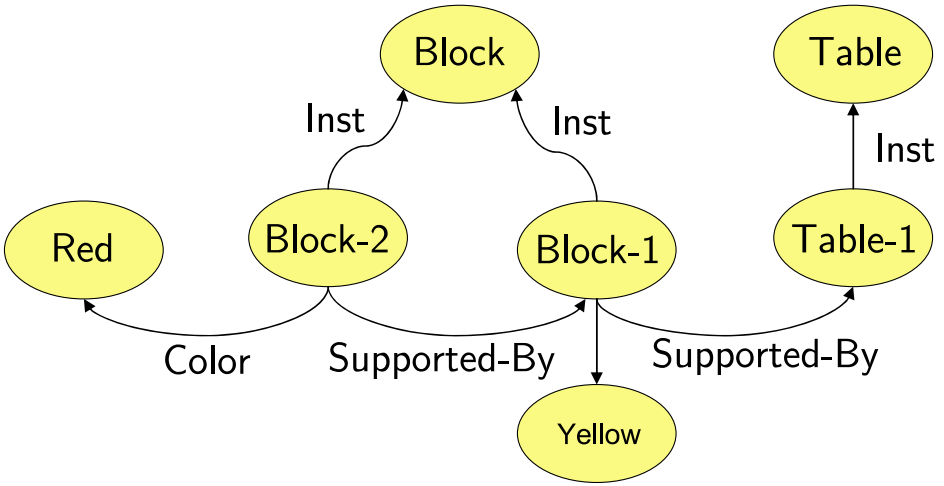
شبکه‌های معنایی

نمایش یک صحنه با منطق مرتبه اول و شبکه‌های معنایی: مثال

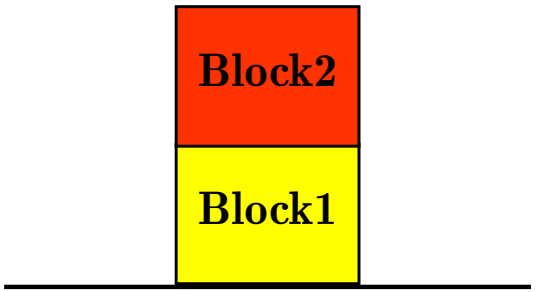
SEMANTIC NETWORKS

$Inst(Block2, Block)$
$Color(Block2, Red)$
$SupportedBy(Block2, Block1)$
$Inst(Block1, Block)$
$Color(Block1, Yellow)$
$SupportedBy(Block1, Table1)$
$Inst(Table1, Table)$

منطق مرتبه اول



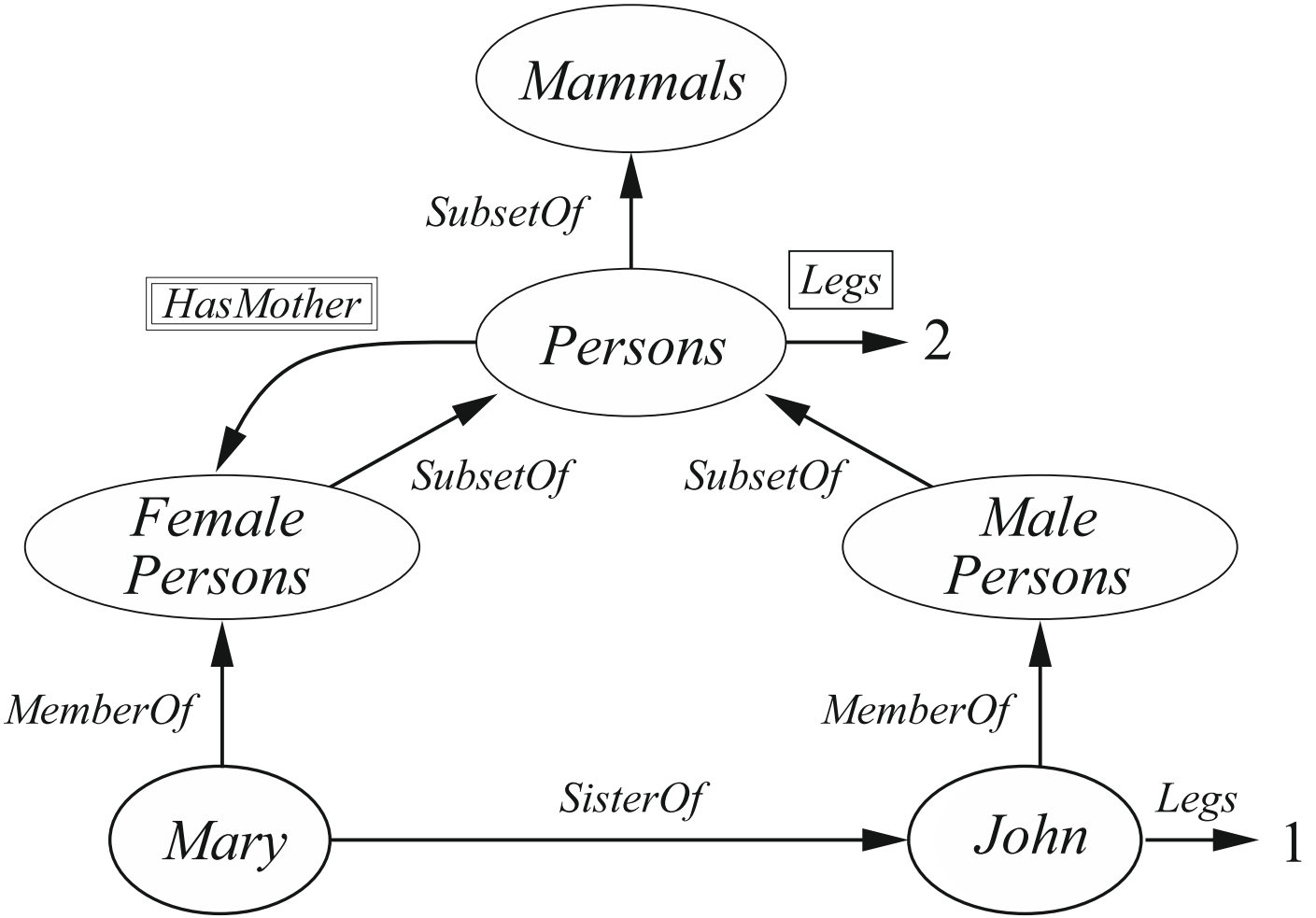
شبکه‌ی معنایی



شبکه‌های معنایی

مثال

SEMANTIC NETWORKS



چهار شیئ، چهار دسته و روابط آنها

شبکه‌های معنایی

نمادگذاری

SEMANTIC NETWORKS

Link Type	Semantic	Example
$A \xrightarrow{Subset} B$	$A \subseteq B$	$Cats \subseteq Mammals$
$A \xrightarrow{Member} B$	$A \in B$	$Tuna \in Cats$
$A \xrightarrow{R} B$	$R(A, B)$	$Tuna \xrightarrow{Age} 12$
$A \xrightarrow{\boxed{R}} B$	$\forall x \quad x \in A \Rightarrow R(x, B)$	$Birds \xrightarrow{\boxed{Legs}} 2$
$A \xrightarrow{\boxed{\boxed{R}}} B$	$\forall x \quad \exists y \quad x \in A \Rightarrow y \in B \wedge R(x, y)$	$Birds \xrightarrow{\boxed{\boxed{Parent}}} Birds$

شبکه‌های معنایی

وراثت و سلسله‌مراتب IS-A

SEMANTIC NETWORKS

وراثت
Inheritance

نمونه‌ها، خصوصیات دسته‌ها را به ارث می‌برند.

رابطه‌ی وراثت در طول سلسله‌مراتب is-a منتشر می‌شود.

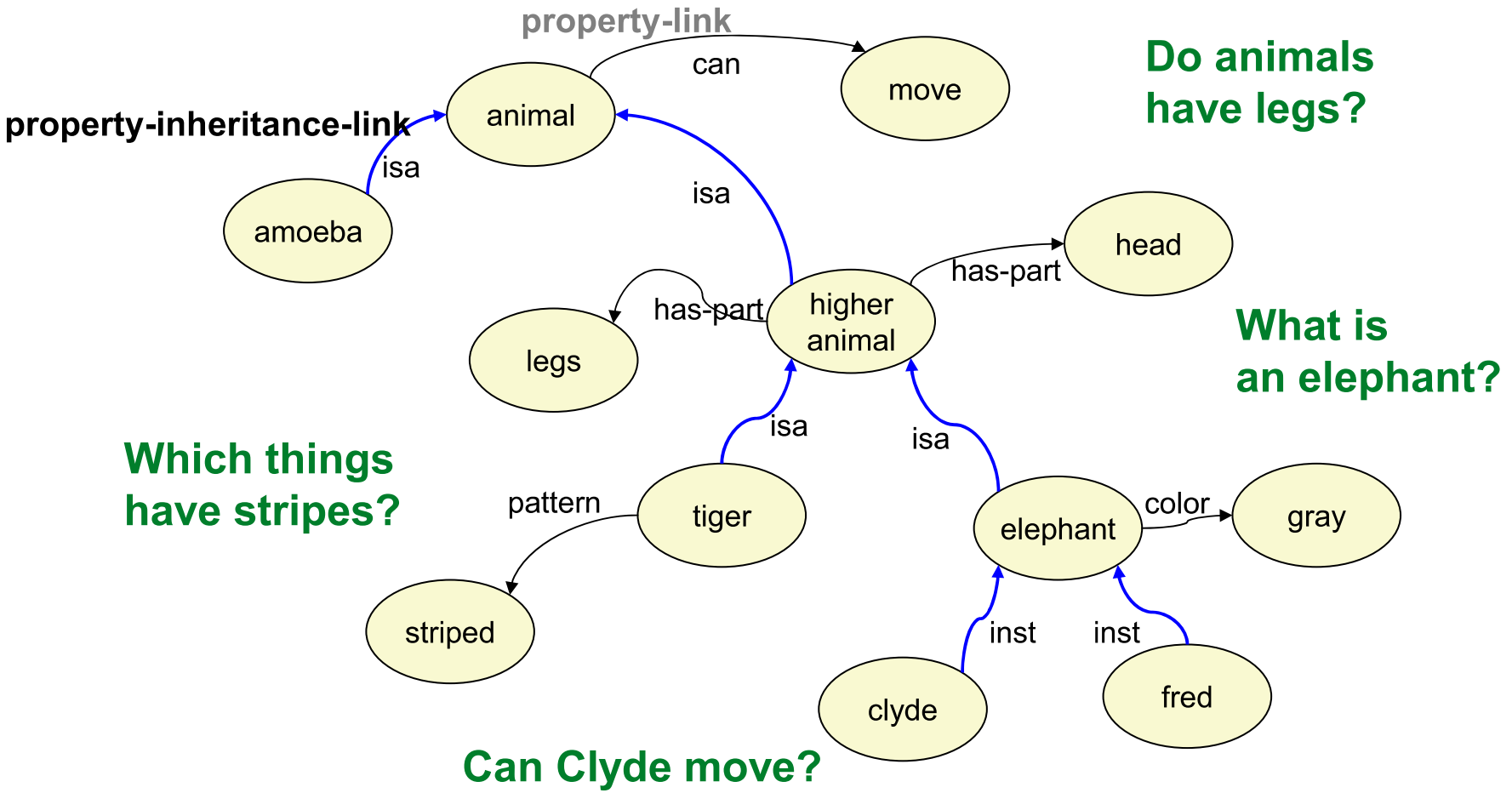
برای دسترسی به اطلاعاتی که مستقیماً اشاره نشده‌اند،
باید پیوندهای is-a و inst را دنبال کرد
تا مقادیر بر اساس وراثت تعیین شوند.

– **inst** $\in$ member of
– **is-a** $\subseteq$ subset of

شبکه‌های معنایی

وراثت و سلسله‌مراتب IS-A: مثال

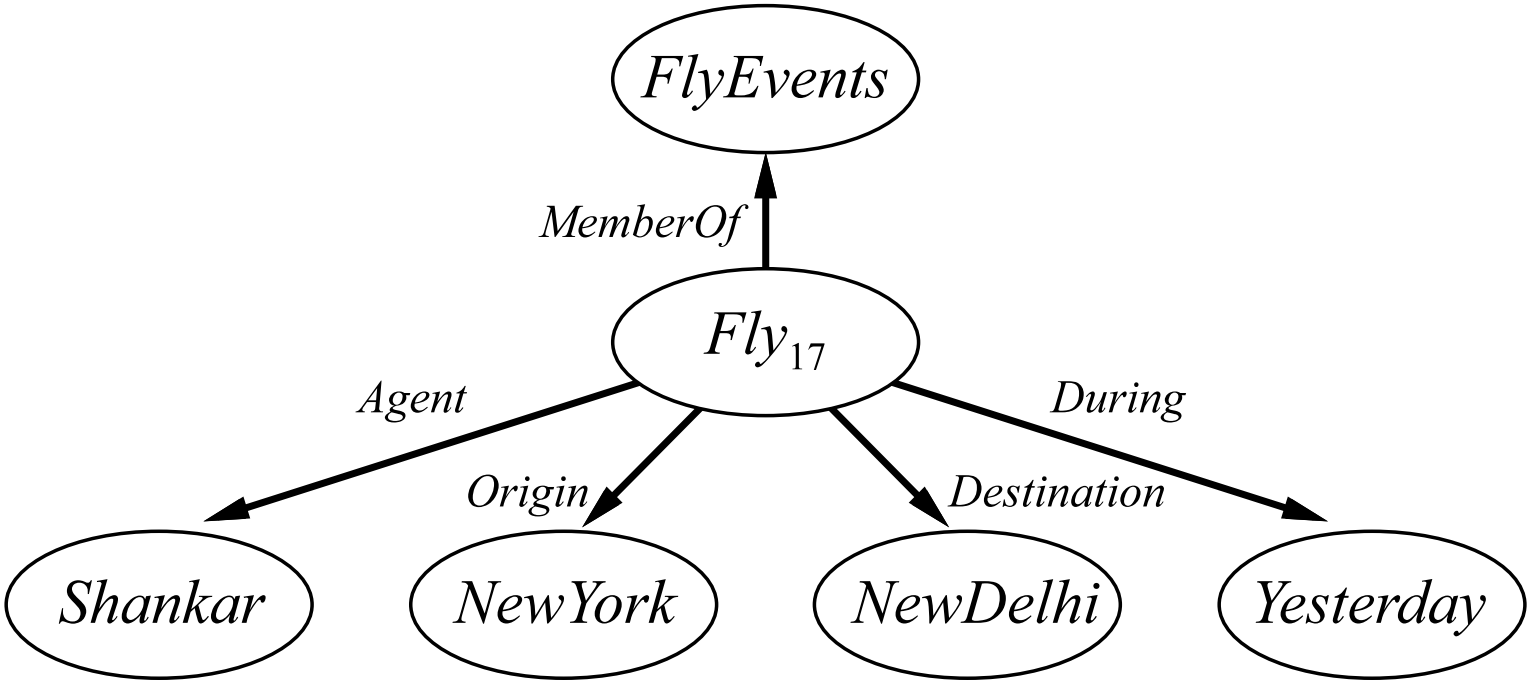
SEMANTIC NETWORKS



شبکه‌های معنایی

مثال

SEMANTIC NETWORKS



در شبکه‌های معنایی، پیوندها فقط می‌توانند رابطه‌های دودویی را بیان کنند.

راه‌حل: جسمیت‌بخشی به گزاره به‌عنوان یک رویداد

بازنمایی مقادیر پیش‌فرض: اعمال از طریق مکانیزم وراثت

قاب‌ها

FRAMES

قاب‌ها

Frames

بازنمایی دانایی در قالب کلیشه‌ها

Marvin Minsky (1975)

قاب‌ها

نمایش یک صحنه با منطق مرتبه اول و قاب‌ها: مثال

FRAMES

$$Inst(Block2, Block)$$
$$Color(Block2, Red)$$
$$SupportedBy(Block2, Block1)$$
$$Inst(Block1, Block)$$
$$Color(Block1, Yellow)$$
$$SupportedBy(Block1, Table1)$$
$$Inst(Table1, Table)$$

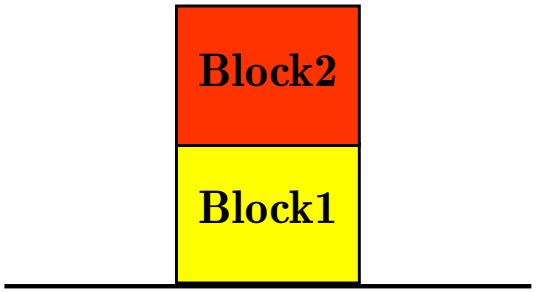
منطق مرتبه اول

Frame	Attribute (slots)	Werte (fillers)
block-2 :	inst :	block
	color :	red
	supported-by :	block-1
	...	...

Frame	Attribute (slots)	Werte (fillers)
block-1 :	inst :	block
	color :	yellow
	supported-by :	table-1
	...	...

Frame	Attribute (slots)	Werte (fillers)
table-1 :	inst :	table
	color :	
	supported-by :	
	...	...

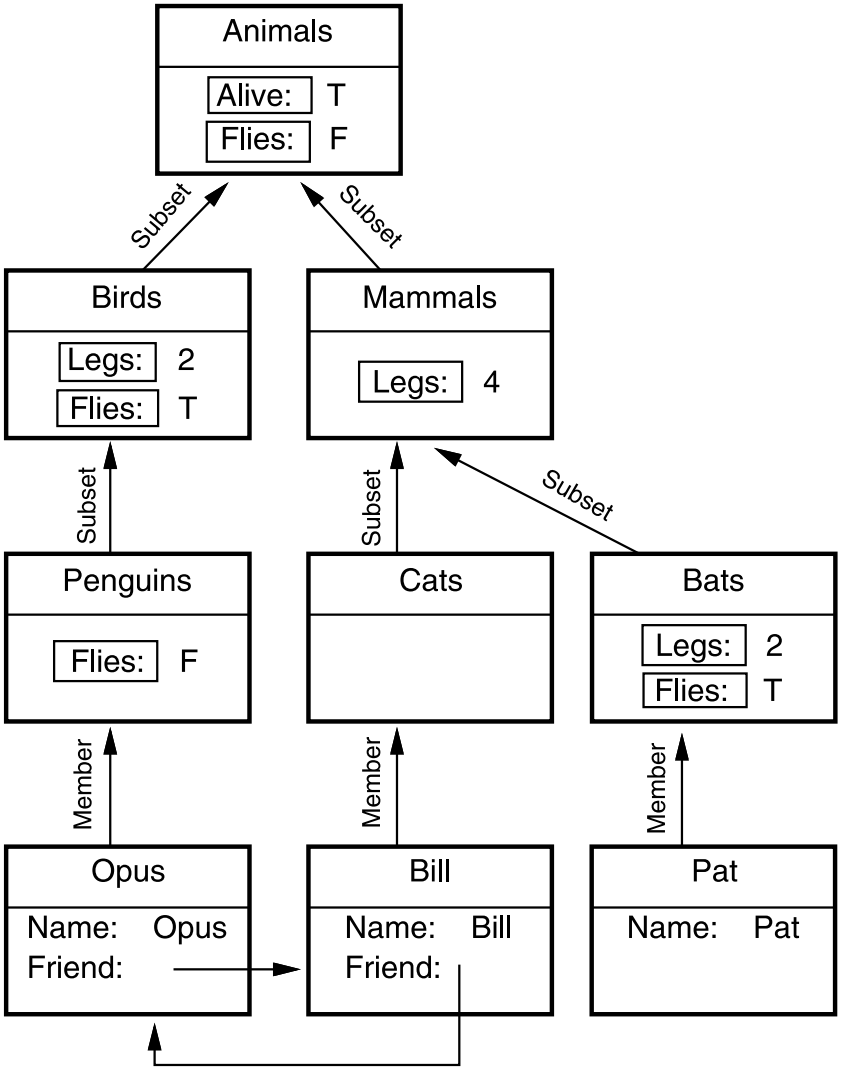
قاب‌ها



قاب‌ها

مقایسه‌ی «پایگاه دانایی مبتنی بر قاب‌ها» و «منطق مرتبه اول»

FRAME-BASED KB VS. FOL



(a) A frame–based knowledge base

Rel(Alive,Animals,T)
Rel(Flies,Animals,F)

Birds ⊂ Animals
Mammals ⊂ Animals

Rel(Flies,Birds,T)
Rel(Legs,Birds,2)
Rel(Legs,Mammals,4)

Penguins ⊂ Birds
Cats ⊂ Mammals
Bats ⊂ Mammals

Rel(Flies,Penguins,F)
Rel(Legs,Bats,2)
Rel(Flies,Bats,T)

Opus ∈ Penguins
Bill ∈ Cats
Pat ∈ Bats

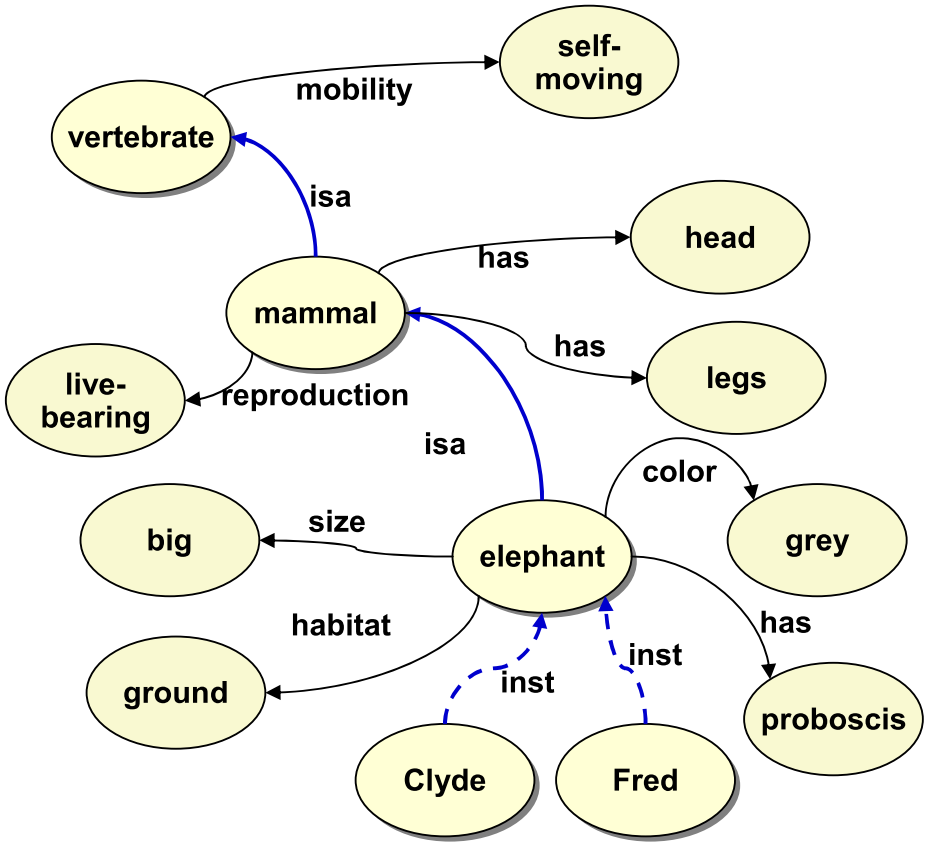
Name(Opus,"Opus")
Name(Bill,"Bill")
Friend(Opus,Bill)
Friend(Bill,Opus)
Name(Pat,"Pat")

(b) Translation into first–order logic

وراثت

در شبکه‌های معنایی و قاب‌ها

INHERITANCE IN SEMANTIC NETS AND FRAMES



object	property	value
mammal :	isa :	vertebrate
	reproduction :	livebearing
	has :	head, legs
	...	...

object	property	value
elephant :	isa :	mammal
	color :	grey
	has :	proboscis
	size :	big
	habitat :	Boden

object	property	value
Clyde :	inst :	elephant
	color :	grey
	has :	proboscis
	size :	big
	habitat :	ground

منطق توصیفی

DESCRIPTION LOGIC

منطق توصیفی
Description Logic

منطق و نمادگذاری طراحی‌شده برای توصیف
تعریف‌ها و خصوصیات دسته‌ها

عملیات استنتاج تعریف شده برای منطق توصیفی	
سابسومسیون *Subsumption*	بررسی اینکه آیا یک دسته زیرمجموعه‌ی یک دسته‌ی دیگر است یا خیر (به‌وسیله‌ی مقایسه‌ی تعریف آنها)
طبقه‌بندی *Classification*	بررسی اینکه آیا یک شیئ متعلق به یک دسته است یا خیر
سازگاری *Consistency*	بررسی اینکه آیا ضابطه‌ی عضویت در یک دسته به لحاظ منطقی ارضاپذیر است یا خیر

منطق توصیفی معمولاً فاقد نقیض و ترکیب فصلی است (برای تضمین زمان استنتاج غیرنمایی).

منطق توصیفی

مثال: زبان CLASSIC

DESCRIPTION LOGIC

$$
\begin{array}{rcl}
Concept & \rightarrow & \textbf{Thing} \mid ConceptName \\
& \mid & \textbf{And}(Concept, \ldots) \\
& \mid & \textbf{All}(RoleName, Concept) \\
& \mid & \textbf{AtLeast}(Integer, RoleName) \\
& \mid & \textbf{AtMost}(Integer, RoleName) \\
& \mid & \textbf{Fills}(RoleName, IndividualName, \ldots) \\
& \mid & \textbf{SameAs}(Path, Path) \\
& \mid & \textbf{OneOf}(IndividualName, \ldots) \\
Path & \rightarrow & [RoleName, \ldots]
\end{array}
$$

The syntax of descriptions in a subset of the CLASSIC language.

$$Bachelor = And(Unmarried, Adult, Male) .$$

The equivalent in first-order logic would be

$$Bachelor(x) \Leftrightarrow Unmarried(x) \wedge Adult(x) \wedge Male(x) .$$

منطق توصیفی

مثال : زبان CLASSIC

DESCRIPTION LOGIC

Notice that the description logic has an an algebra of operations on predicates, which of course we can't do in first-order logic. Any description in CLASSIC can be translated into an equivalent first-order sentence, but some descriptions are more straightforward in CLASSIC. For example, to describe the set of men with at least three sons who are all unemployed and married to doctors, and at most two daughters who are all professors in physics or math departments, we would use

$$And(Man, AtLeast(3, Son), AtMost(2, Daughter),$$
$$All(Son, And(Unemployed, Married, All(Spouse, Doctor))),$$
$$All(Daughter, And(Professor, Fills(Department, Physics, Math)))) .$$

هوش مصنوعی

بازنمایی دانایی

۶

استدلال با اطلاعات پیش‌فرض

استدلال با اطلاعات پیش‌فرض

REASONING WITH DEFAULT INFORMATION

"The following courses are offered: CS101, CS102, CS106, EE101"

How many courses are offered?

- Four (db)
  - Assume that this information is complete (not asserted ground atomic sentences are false)
    = CLOSED WORLD ASSUMPTION (CWA)
  - Assume that distinct names refer to distinct objects
    = UNIQUE NAMES ASSUMPTION (UNA)
- Between one and infinity (logic) = OPEN WORLD ASSUMPTION (OWA)
  - Does not make these assumptions (CWA, UNA)
  - Requires completion.

سیستم‌های نگهدار درستی

TRUTH MAINTENANCE SYSTEMS (TMS)

Many of the inferences have default status rather than being absolutely certain

- Inferred facts can be wrong and need to be retracted
  = BELIEF REVISION.
- Assume KB contains sentence P and we want to execute $\text{TELL}(KB, \neg P)$
  - To avoid contradiction: $\text{RETRACT}(KB, P)$
  - But what about sentences inferred from P?

Truth maintenance systems are designed to handle these complications.

هوش مصنوعی

بازنمایی دانایی

۷

مثال:

دنیای خرید اینترنتی

دنیای خرید اینترنتی

THE INTERNET SHOPPING WORLD

A Knowledge Engineering example

An agent that helps a buyer to find product offers on the internet.
IN = product description ($precise$ or $\neg precise$)
OUT = list of webpages that offer the product for sale.

Environment = WWW

Percepts = web pages (character strings)
Extracting useful information required.

دنیای خرید اینترنتی

THE INTERNET SHOPPING WORLD

Find relevant product offers

$$RelevantOffer(page, url, query) \Leftrightarrow$$
$$Relevant(page, url, query) \wedge Offer(page)$$

- Write axioms to define $Offer(x)$
- Find relevant pages: $Relevant(x, y, z)$?
  - Start from an initial set of stores.
  - What is a relevant category?
  - What are relevant connected pages?
- Require rich category vocabulary.
  - Synonymy and ambiguity
- How to retrieve pages: $GetPage(url)$?
  - Procedural attachment

Compare offers (information extraction).

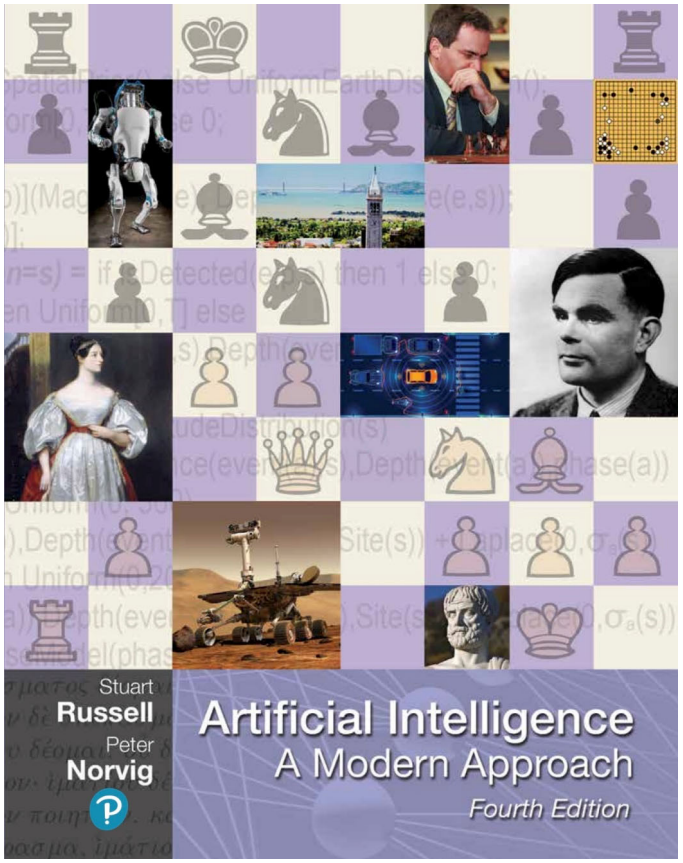
هوش مصنوعی

بازنمایی دانایی

۸

منابع

منبع اصلی



Stuart Russell and Peter Norvig,
Artificial Intelligence: A Modern Approach,
4th Edition, Prentice Hall, 2020.

Chapter 10

CHAPTER 10

KNOWLEDGE REPRESENTATION

In which we show how to represent diverse facts about the real world in a form that can be used to reason and solve problems.

The previous chapters showed how an agent with a knowledge base can make inferences that enable it to act appropriately. In this chapter we address the question of what *content* to put into such an agent's knowledge base—how to represent facts about the world. We will use first-order logic as the representation language, but later chapters will introduce different representation formalisms such as hierarchical task networks for reasoning about plans (Chapter 11), Bayesian networks for reasoning with uncertainty (Chapter 13), Markov models for reasoning over time (Chapter 17), and deep neural networks for reasoning about images, sounds, and other data (Chapter 21). But no matter what representation you use, the facts about the world still need to be handled, and this chapter gives you a feeling for the issues.

Section 10.1 introduces the idea of a general ontology, which organizes everything in the world into a hierarchy of categories. Section 10.2 covers the basic categories of objects, substances, and measures; Section 10.3 covers events; and Section 10.4 discusses knowledge about beliefs. We then return to consider the technology for reasoning with this content: Section 10.5 discusses reasoning systems designed for efficient inference with categories, and Section 10.6 discusses reasoning with default information.

10.1 Ontological Engineering

Ontological engineering

In "toy" domains, the choice of representation is not that important; many choices will work. Complex domains such as shopping on the Internet or driving a car in traffic require more general and flexible representations. This chapter shows how to create these representations, concentrating on general concepts—such as *Events*, *Time*, *Physical Objects*, and *Beliefs*—that occur in many different domains. Representing these abstract concepts is sometimes called **ontological engineering**.

Upper ontology

We cannot hope to represent *everything* in the world, even a 1000-page textbook, but we will leave placeholders where new knowledge for any domain can fit in. For example, we will define what it means to be a physical object, and the details of different types of objects—robots, televisions, books, or whatever—can be filled in later. This is analogous to the way that designers of an object-oriented programming framework (such as the Java Swing graphical framework) define general concepts like *Window*, expecting users to use these to define more specific concepts like *SpreadsheetWindow*. The general framework of concepts is called an **upper ontology** because of the convention of drawing graphs with the general concepts at the top and the more specific concepts below them, as in Figure 10.1.