知識工学 II (第 5 回)

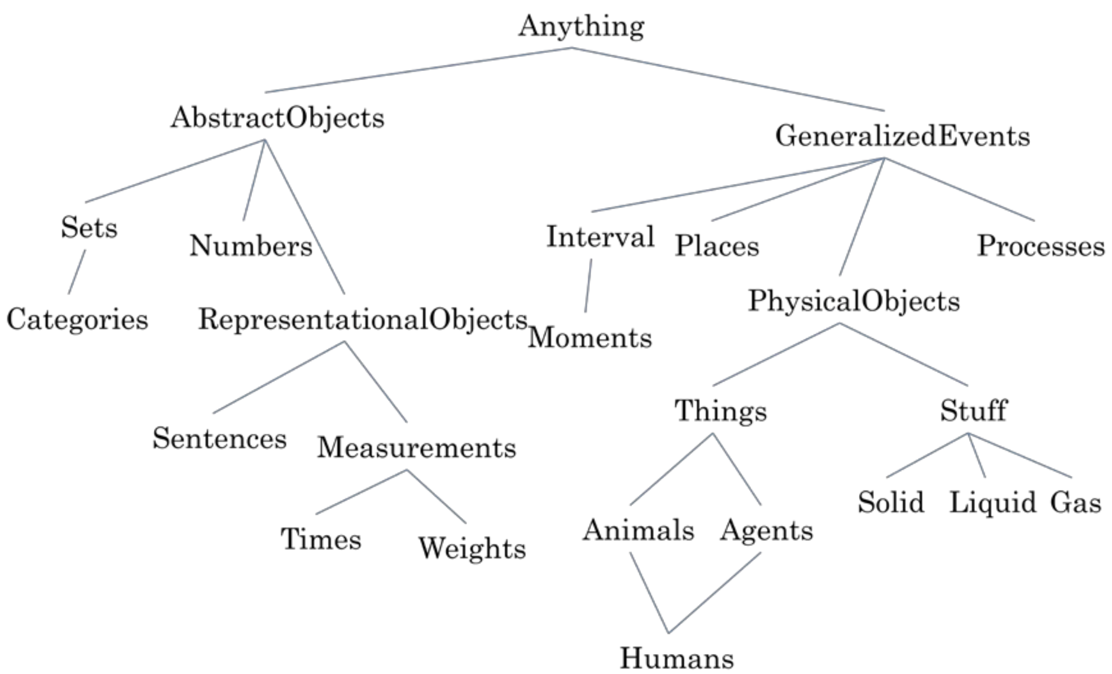
二宮 崇 (ninomiya@cs.ehime-u.ac.jp)

知識表現 (12)

§12.1　オントロジー工学

・行為、時間、物理的オブジェクト、信念などの抽象的概念の表現

上位オントロジー: 概念の一般的枠組み



特殊目的のオントロジー: コンピュータ回路、ゲーム、家電商品、インターネットショッピング、法律、特許

多くの特殊目的のオントロジー → 汎用目的のオントロジー？

§12.2 カテゴリとオブジェクト

カテゴリ: その構成要素からなる集合、もしくは Member と Subset という関係が定義されたより複雑なオブジェクト

オブジェクトをカテゴリに組織化。推論の多くはカテゴリレベルで起こる。

- オブジェクトの属性からカテゴリの要素であることを推論
- カテゴリの情報をつかってオブジェクトの予測をたてる

例

オブジェクトが緑色の斑紋のある皮をもち、大きくて卵形の形状をしている→スイカ

スイカ→フルーツサラダに使える

一階述語論理によるカテゴリの表現 (二つの流儀)

- 述語を使って表現
  - Basketball(b)　　メンバー、メンバーシップ
  - $\forall x\,(Basketball(x) \Rightarrow Ball(x))$　　サブカテゴリ、サブクラス、サブセット。
- カテゴリをオブジェクトとして具体化(reification)
  - Member(b, Basketballs),　$b \in Basketballs$ と略記。メンバー、メンバーシップ。
  - Subset(Basketballs, Balls),　$Basketballs \subset Balls$ と略記。サブカテゴリ、サブクラス、サブセット。$\forall s, t\ (s \subset t \Leftrightarrow \forall x\ (x \in s \Rightarrow x \in t))$

カテゴリをオブジェクトとして具体化する方法では、カテゴリと集合は同じものなのか否かという疑問がわくかもしれない。同じものとして扱ってもかまわないが、その場合は集合の公理を常に満たすようにカテゴリを扱わなければならない。集合の公理を満たさないカテゴリを扱いたい場合にはカテゴリのための公理と集合のための公理をわけておいたほうが便利であろう。例えば、集合の公理をまずカテゴリの公理として複写し、必要に応じてそれらの公理を書き換えていく、ということが考えられる。

〇カテゴリと継承(inheritance)と分類学(taxonomy)

・カテゴリ Food の全てのインスタンスは食べられる

・Fruit は Food の部分クラス

・Apple は Fruit の部分クラス

→全てのリンゴは食べられる

「リンゴが Food カテゴリの要素である」ということから、個々のリンゴは「食べられる」という性質を Food カテゴリから継承している。これらは例えば、述語表現では

$\forall x\ (Fruit(x) \Rightarrow Food(x))$

$\forall x\ (Apple(x) \Rightarrow Fruit(x))$

$\forall x\ (Food(x) \Rightarrow Edible(x))$

という記述によって表現され Apple である任意のオブジェクトは Edible ということになる。オブジェクト表現では

$\forall s, t\ (s \subset t \Leftrightarrow \forall x\ (x \in s \Rightarrow x \in t))$

$Fruit \subset Food$

$Apple \subset Fruit$

$\forall x\ (x \in Food \Rightarrow Edible(x))$

という記述で表現され、これらに対する推論により、$\forall x\ (x \in Apple \Rightarrow Edible(x))$ が得られる。

カテゴリとオブジェクトの記述の例

・あるオブジェクトはあるカテゴリの要素である。例: $BB_9 \in BasketBalls$

・あるカテゴリは別カテゴリの部分集合である。例: $Basketballs \subset Balls$

・あるカテゴリの全ての要素は属性を持っている。例: $\forall x\ (x \in Basketballs \Rightarrow Spherical(x))$

・あるカテゴリの要素はいくつかの属性から導かれる。例: $\forall x\ (Orange(x) \land Round(x) \land Diameter(x)=9.5'' \land x \in Balls \Rightarrow x \in Basketballs)$

・あるカテゴリはそれ自体属性を持っている。例: $Dogs \in DomesticatedSpecies$

〇互いに部分クラスの関係にないクラスの関係

・互いに素 (disjoint): 二つ以上のカテゴリが共通の要素を持たない。

$$\forall s\ (Disjoint(s) \Leftrightarrow \forall c_1, c_2\ (c_1 \in s \land c_2 \in s \land c_1 \neq c_2 \Rightarrow Intersection(c_1, c_2) = \{\}))$$

・網羅的分解(exhaustive decomposition): 部分クラスの要素の和集合が親クラスの要素の集合と一致

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

・分割(partition): 親クラスの要素を二つに分割

$$\forall s, c\ (Partition(s, c) \Leftrightarrow Disjoint(s) \land ExhaustiveDecomposition(s, c))$$

例

Disjoint({Animals, Vegerables})

ExhaustiveDecomposition({Americans, Canadians, Mexicans}, NorthAmericans)

Partition({Males, Females}, Animals)

〇メンバーシップの必要十分条件によるカテゴリの定義

$\forall x\ (x \in Bachelors \Leftrightarrow Unmarried(x) \land x \in Adults \land x \in Males)$

§12.2.1 物理的構成

PartOf: あるオブジェクトが別のオブジェクトの部分である。例: ドアとドアノブ

推移的: $\forall x, y, z\ (PartOf(x, y) \land PartOf(y, z) \Rightarrow PartOf(x, z))$

反射的: $\forall x\ PartOf(x, x)$

PartOf(Bucharest, Romania)

PartOf(Romania, EasternEurope)

PartOf(EasternEurope, Europe)

PartOf(Europe, Earth)

$\Rightarrow$PartOf(Bucharest, Earth)

〇合成オブジェクト

合成オブジェクトのカテゴリは、部品間の構造的関係によって定義

例: 2 足歩行する動物は胴体に 2 本の足がくっついている

$$
\begin{aligned}
Biped(a) \Rightarrow\ & \exists l_1,l_2,b\ (Leg(l_1) \land Leg(l_2) \land Body(b) \land PartOf(l_1, a) \land PartOf(l_2, a) \land \\
& PartOf(b, a) \land Attached(l_1, b) \land Attached(l_2, b) \land \\
& l_1 \neq l_2 \land \ \forall l_3\ (Leg(l_3) \land PartOf(l_3, a) \ \Rightarrow\ l_3=l_1 \ \lor\ l_3=l_2))
\end{aligned}
$$

〇まとまり(bunch)

集合を部分(PartOf)関係として持つ合成オブジェクト

例: BunchOf({$Apple_1$, $Apple_2$, $Apple_3$})

BunchOf({x})=x となることに注意

$\forall x\ (x \in s \ \Rightarrow\ PartOf(x, BunchOf(s)))$が常に成り立つ。BunchOf(s)はこの条件を満たす最小オブジェクト。

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

(BunchOf(s)は s の全ての要素を部品として持つ任意のオブジェクトに対して、その部分(PartOf)になっていなければならない。このように一定条件を満たす最小のものとして定義する仕方を「論理的最小化」と呼ぶ。)

〇計測

測定値: オブジェクトが持つ、高さ、質量、コストなどの値。

ある 1.5 インチの線分を L_1 とすると、

$Length(L_1)=Inches(1.5)=Centimeters(3.81)$

と記述される。

異なる単位の変換: Centimeters(2.54×d)=Inches(d)

オブジェクトの記述 (あるバスケットボールのオブジェクト, $Basketball_{12}$)

Diameter($Basketball_{12}$)=Inches(9.5)

ListPrice($Basketball_{12}$)=$(19)

適当な尺度がない測定値: 演習の難しさ、デザートのおいしさ、詩の美しさなど

→順序づけ

「Norvig の演習は Russell の演習よりも難しい」

$\forall e_1, e_2\ (e_1 \in Exercises \land e_2 \in Exercises \land Wrote(Norvig, e_1) \land Wrote(Russell, e_2) \Rightarrow$

$Difficulty(e_1) > Difficulty(e_2))$

c.f. 定性物理

○物質とオブジェクト

物質 (stuff): 個別のオブジェクトへの分割ができそうにないもの。例: バター、水、エネルギー。可算名詞⇔集合名詞。

物質の分割: $\forall x, y\ (x \in Butter \land PartOf(y, x) \Rightarrow y \in Butter)$

内在的属性: オブジェクトの属性ではなく、実体に備わる属性。比重、沸点、色など。$\forall x\ (x \in Butter \Rightarrow MeltingPoint(x, Centigrade(30)))$

外在的属性: オブジェクトの属性。分割されると保持されない。重さ、長さ、形など。