知識工学（第 1 回）

二宮 崇（ninomiya@cs.ehime-u.ac.jp）

知識工学

この講義では、人間が持つ知識をどのように表現するのか、人間が行うような推論をどのように実現するのか、その方法について学びます。

講義内容

○記号に基づく知識表現

・命題論理

・一階述語論理

○確率に基づく知識表現

・ベイジアンネットワーク(有向グラフィカルモデル)

教科書

・Artificial Intelligence: A Modern Approach (3rd Edition): Stuart Russell, Peter Norvig (著), Prentice Hall, 2009

・エージェントアプローチ人工知能 第 2 版: S.J.Russell (著), P.Norvig (著), 古川康一 (翻訳), 共立出版, 2008

知識工学のウェブサイト

http://aiweb.cs.ehime-u.ac.jp/~ninomiya/ke/

論理的エージェント(7 章)

〇論理による推論

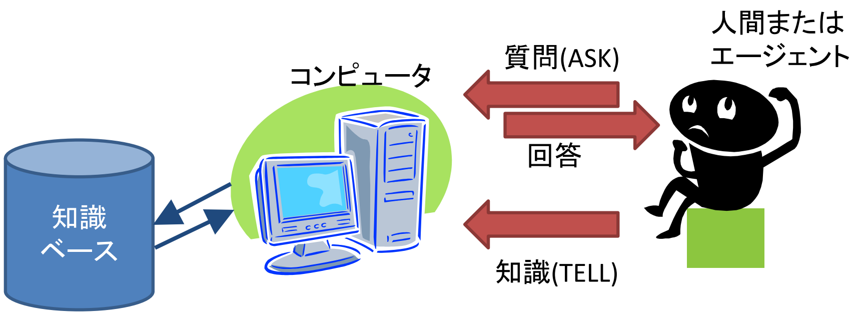
命題論理　　ブール関数(論理回路)＋推論

述語論理　　ブール関数＋(述語、限量子(∀、∃)、変数、関数、定数、等号)＋推論

§7.1 知識に基づくエージェント

知識ベース(knowledge base, KB): 「文」の集合。他の「文」から導出されない「文」は公理(axiom)と呼ばれる。

TELL と ASK: 知識ベースに対する操作。TELL は新しい「文」を知識ベースに加える(知識を増やす)。ASK は知識ベースに質問を投げかける。いずれもその操作に推論 (inference) を伴う。



§7.2 ワンパス・ワールド (Wumpus World)

論理による推論ゲーム

環境: 4x4 のマスから成る洞窟。エージェントは[1,1]からスタート。どこかのマスに、ワンパス、黄金がある。いくつかのマスには穴がある。ワンパスがいるマスや穴があるマスにはいるとエージェントは死んでしまう。ワンパスの周囲には「臭い」があって、穴のまわりには「風」が吹いている。

目的: この洞窟のどこかにある黄金をみつけてそれを拾ってこの洞窟から脱出する。

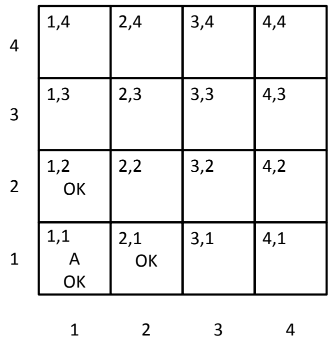
動作: エージェントは、マスを一つずつ動くことができる。一度だけ矢をうつことができる。矢はまっすぐすすんでワンパスにあたればワンパスを倒せる。[1,1]に来ればこの洞窟から脱出できる。黄金のマスで黄金をつかむことができる。

センサー: ワンパスの周りでは「臭い」を感じ、穴の周りでは「風」を感じる。壁にぶつかれば「衝撃」を感じる。黄金をみつければ「輝き」を感じる。ワンパスが死ねば「うめき声」が聞こえる。

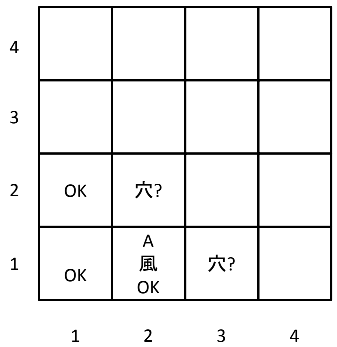
エージェントは最初は[1,1]の状況しかわからないが、移動することによって、他のマスの状況がわかるようになる。得られた知識から、あるマスに穴があるのかないのか、あるマスにワンパスがいるのかいないのか推論することができる。

例

(1) エージェント A は[1,1]からスタート。風や臭いがないので、[1,2]や[2,1]は安全とわかる(OK)。

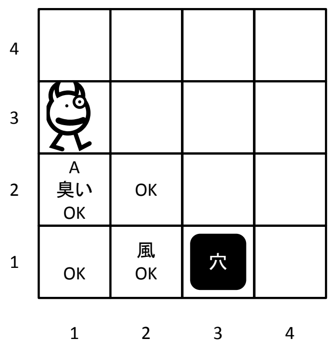


(2) 続いてエージェント A は[2,1]に移動してみる。



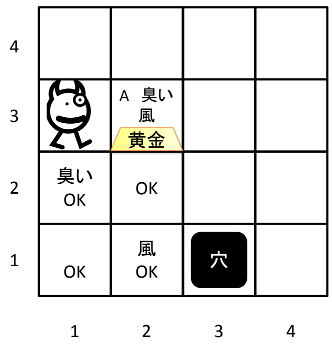
[2,1]では風を感じるので、[2,2]か[3,1]のどちらか、もしくは両方に穴があることがわかる。

(3) 続いて、エージェント A は[1,2]に移動してみる。



すると、臭いを感じるが、風を感じない。風を感じないので、[2,2]には穴がないことがわかる。よって、[3,1]に穴があることがわかる。[2,1]にいたとき臭いを感じなかったので、[2,2]にワンパスはいないことがわかる。従って、[1,3]にワンパスがいることがわかる。

(4)次にエージェント A は[2,2]に移動して、(その結果[2,3]も OK ということがわかるので)[2,3]に移動する。



ここで、黄金がみつかったので、黄金を拾って[1,1]に帰れば、このミッションは成功ということになる。

§7.4 命題論理

命題論理 = 論理式(ブール関数) + 推論

(つまり、命題論理はブール関数(=論理回路)に推論が加わった体系といえる)

〇論理式 (ブール関数)

論理式=ブール関数=論理回路

命題記号 (proposition symbol): 真($true$)か偽($false$)の値をもつ記号。P, Q, Rなどの大文字を使って表現する。$true$はTまたは1と書くこともある。$false$はFまたは0と書くこともある。

論理結合子(logical connective)

¬: NOT, 否定, ～ではない

∧: AND, 連言, かつ

∨: OR, 選言, または

⇒: 含意，ならば。本によっては、⊃や→が使われることもある。$P \Rightarrow Q$は$\neg P \vee Q$と等しい。

⇔: 同値，であるとき、またそのときにかぎり(if and only if)。$P \Leftrightarrow Q$は$(P \Rightarrow Q) \wedge (Q \Rightarrow P)$と等しい。

※含意記号⇒および同値記号⇔は、連言記号∧と同じブール関数の一種であることに注意

論理結合子の優先順序: ¬, ∧, ∨, ⇒, ⇔

例えば、$\neg P \ \vee \ Q \ \wedge \ R \ \Rightarrow \ S$は$((\neg P) \ \vee (\ Q \ \wedge \ R)) \ \Rightarrow \ S$と解釈する。

モデル: 各命題記号に対する真理値の割り当て。例えば、命題記号P_1, P_2, P_3を含む文に対し、モデルの一つは$m_1 \ = \ \{P_1 = false, P_2 = false, P_3 = true\}$となる。モデルが与えられれば、論理式の真理値が決定される。

真理値表: すべての可能なモデルに対する論理式の真理値を表にして並べたもの。

P	Q	$\neg P$	$P \wedge Q$	$P \vee Q$	$P \Rightarrow Q$	$P \Leftrightarrow Q$
$false$	$false$	$true$	$false$	$false$	$true$	$true$
$false$	$true$	$true$	$false$	$true$	$true$	$false$
$true$	$false$	$false$	$false$	$true$	$false$	$false$
$true$	$true$	$false$	$true$	$true$	$true$	$true$

命題論理における推論では論理式の同値関係は非常に重要な概念となる。真理値表の入力(命題記号)と出力(論理式)が等しい論理式は同値関係となる。$P \Rightarrow Q$は$\neg P \vee Q$と等しく、$P \Leftrightarrow Q$は$(P \Rightarrow Q) \wedge (Q \Rightarrow P)$と等しい。

P	Q	$\neg P$	$\neg P \vee Q$	$P \Rightarrow Q$
$false$	$false$	$true$	$true$	$true$
$false$	$true$	$true$	$true$	$true$
$true$	$false$	$false$	$false$	$false$
$true$	$true$	$false$	$true$	$true$

P	Q	$P \Rightarrow Q$	$Q \Rightarrow P$	$(P \Rightarrow Q) \land (Q \Rightarrow P)$	$P \Leftrightarrow Q$
$false$	$false$	$true$	$true$	$true$	$true$
$false$	$true$	$true$	$false$	$false$	$false$
$true$	$false$	$false$	$true$	$false$	$false$
$true$	$true$	$true$	$true$	$true$	$true$

混乱しやすい論理結合子①: $\lor$とXORの違い。$P \lor Q$はPかQが$true$ならば$true$となるが、P XOR QはPとQのどちらかのみが$true$のとき$true$となり、PとQが同時に$true$のときは$false$となる。直感的には「または」といったとき、両方とも$true$で良いのか、良くないのか考えないといけない。

混乱しやすい論理結合子②: $P \Rightarrow Q$はPが$true$でQが$true$ならば全体も$true$となる。しかし「5 が奇数ならば、東京は日本の首都である」という文は直感的にはおかしいと思うが、論理的には正しい、ということになる。もう一つ、Pが$false$であれば全体が常に$true$となる点がややこしい。例えば、「5 が偶数ならば、太郎は賢い」という文は太郎が賢いかどうかにかかわらず$true$である。これについては、$P \Rightarrow Q$は、「Pが$true$であるとき、私はQであると主張する。そうでなければ私は何も主張しない」と解釈すればよい。

また、$P \Rightarrow Q$は、$\neg P \lor Q$と等価であるため、選言的複合文と解釈することができ、この解釈も直感的には難しい。例えば、「西の空が明るい、ならば、明日は晴れる」ということと「西の空が明るくない、または、明日は晴れる」が等しい命題であることを理解するには時間がかかる。「みかんならば柑橘類である」と「みかんでない、または、柑橘類である」が等しい命題と解釈するにはかなりの論理的な思考作業が必要となる。

混乱しやすい論理結合子③: $P \Rightarrow Q$か$P \Leftrightarrow Q$か。「そのときに限って」と条件がつくときに、$P \Leftrightarrow Q$を使う。ワンパス・ワールドで、風を感じたとき、穴がその周囲にある、という知識は、

$$B_{1,1} \Rightarrow (P_{1,2} \lor P_{2,1})$$

ただし、$B_{i,j}$は[i,j]において、風を感じる場合$true$となり、感じない場合$false$となる命題記号であり、$P_{i,j}$は[i,j]に穴がある場合に$true$となり、ない場合には$false$となる命題記号である。「風を感じる場合には、[1,2]か[2,1]に穴がある」となっており、一見これでよさそうにみえるが、これではうまくいかない。$B_{1,1}$が$false$であるとき、$P_{1,2}$が$true$となるモデルを排除できていない。つまり、「風が吹いていないときは、まわりに穴がない」という知識が表現できていないことになる。従って、

$$B_{1,1} \Leftrightarrow (P_{1,2} \lor P_{2,1})$$

とするのが良い。

〇命題論理を用いた知識ベース

(知識ベースにおける文) = (命題論理の論理式)

知識ベースは文の連言: $TELL(KB, S_1) \ldots TELL(KB, S_n)$を行った場合、$KB = S_1 \land \ldots \land S_n$となる。

R_1:　$\neg P_{1,1}$

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

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

R_4:　$\neg B_{1,1}$

R_5:　$B_{2,1}$

$$KB = R_1 \land R_2 \land R_3 \land R_4 \land R_5$$