

時区間表現を用いた時間概念の帰納的学習

7G-3

岩佐英彦¹

大川剛直²

馬場口 登¹

手塚慶一³

¹大阪大学工学部

²大阪大学情報処理教育センター

³関西大学工学部

1. はじめに

例題からの概念学習における例題は従来、属性とその属性値の集合として記述されるものが多い。この場合、概念は正の例題を全て含み負の例題を排除するような、与えられた属性に関する記述として獲得される。このようにして獲得される概念は時間の変化に対して静的であるが、これと同時に人間は時間と密接に関連する概念も取り扱っていると思われる。

つまり、時間的に変化する世界を考えた場合、複数のイベントがある一定の順序で発生することや、世界の状態がある規則にしたがって推移することにより、ある概念が表される場合が考えられる。本稿では、このような順序関係によって表される概念を時間概念と呼び、これを時区間表現で記述された例題から学習する手法について検討する。

2. 時区間表現を用いた例題の表現

以下では、ブロックワールドを例に用いて考察する。ブロックワールドのような単純な世界におけるイベントの発生やそれにもなう状態の変化の様子は、状態空間型の知識表現を用いて表すことが可能であるが、ここではより実際的な問題にも対応可能な知識表現として、状態の持続の概念や、並列的なイベントの記述に適しているとされる時区間を用いた知識表現を用いることとする^{[1][2]}。2つの時区間の順序関係は図1に示す述語によって表される。

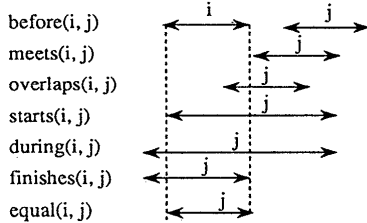


図1 時区間の順序関係

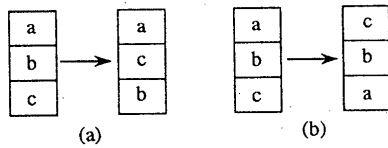
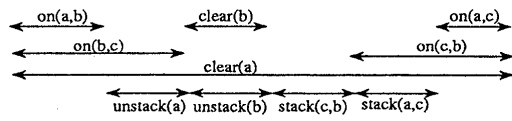


図2 ブロックの移動の例

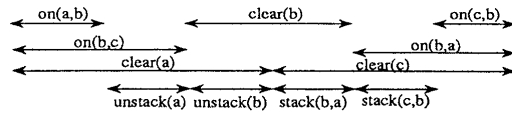
図2(a)(b)のようなブロックの移動を考える。また、各々の移動の様子を示すイベントの発生、状態の推移を図3(a)(b)に示す。ただしclear(a, l)はブロックaの

上が時区間lにおいて空いている状態を、on(a, b, l)はブロックaがブロックbの上にある状態を示すものとする。イベントstack(a, b, l)はブロックaをbの上のせる動作を、unstack(a, l)は積んであるブロックaを下ろす動作を表すものとする。

以下では図3(a)(b)の記述をそれぞれ例題1, 例題2と呼ぶ。次にこれらの例題が表している時間概念を学習する手法を検討する。



(a) 図2(a)の記述



(b) 図2(b)の記述

図3 時区間表現を用いた例題の記述

3. 時間概念の例題からの学習

3.1 時間概念

図3で示した2つ例題の共通点が「2つのブロックの位置を入れかえている」ことであることは容易に理解できる。この2つのブロックの位置を入れかえるという概念をexchange(X, Y)で表すものとし、この概念の正の例題として先の2つの例題が与えられたとしよう。この概念は例題中の時区間の順序関係のある規則性によって形成されるものであり、ここではこのような概念を時間概念と呼ぶ。目標はこれらの例題を用いて、exchange(X, Y)を表す一般的な記述を帰納的に学習することである。

3.2 例題の提示

あらかじめ決まっている属性とその属性値の集合として例題が記述されている場合とは異なり、順序付けられた時区間の集合として例題が与えられる場合、例題間で時区間の対応付けを行うことが必要となる。ここではそのために2つの例題をexchange(b, c)とexchange(a, c)として与える。これにより学習アルゴリズムは例題1ではブロックbとcが、例題2ではブロックaとcがこの概念を形成するために必要不可欠であり、exchange(X, Y)の2つの引数の位置から、例題1のbと例題2のaがXに、同様にcとcがYに各々対応しているという情報を得る。

3.3 不要な記述の削除

例題中の全ての時区間が目標概念の形成に必要ではないと考えられるため、時区間の対応付けを行う前に獲得しようとする概念に無関係な時区間を削除する。どの時区間が不要であるかの判定は一般に困難であるが、ここでは例題の提示の際に引数に含まれているブロックに注目し、これを引数に持たない述語の記述を削除するものとする。時区間の順序関係の記述は、推移則によって時区間の順序が推論される場合があるために保存しておく。

3.4 時区間の対応付けと一般化

次に2つの例題間で時区間の対応付けを行う。

まず3.3で記述を削除した例題をそのまま用いて対応付けを行う。定数は変数に変換して対応付けを行うが、目標概念を示す述語中に現れる変数は、自分と同じ名前の変数以外とはマッチしないものとする。対応付けは、マッチ可能な引数を持つ同じ述語の時区間で行う。時区間に関する記述はこの場合考慮しない。時区間の数は例題毎に異なるため、1対1の対応付けを行うことはできず、対応付けられない時区間も現れる。

さて、この例の場合、対応づけ可能な時区間が存在しない。つまりこの2つの例題はこのままでは共通部分を抜き出すことが不可能である。このような場合に対応付けを行うためにはなんらかの知識が必要となるが、ここではあるブロックの上と下に位置するブロックには上下関係があるということを表す背景知識として、

$on(X, Y, I1) \wedge on(Y, Z, I2) \wedge duplicate(I1, I2) \rightarrow$
 $above(X, Z, I3) \wedge$
 $constraint(I3, duplicate-part-of(I1, I2)),$
 $on(X, Y, I) \rightarrow above(X, Y, I).$

という規則が存在するものとする。

ただしここで、

$duplicate(i, j) \equiv overlaps(i, j) \vee starts(i, j) \vee$
 $during(i, j) \vee finishes(i, j) \vee equal(i, j)$

であり、 $constraint(i, duplicate-part-of(j, k))$ は、時区間jとkの重複部分が区間iとなる条件を示すものとする。例えば $overlaps(j, k)$ の時、この条件は、

$starts(i, k) \wedge finishes(i, j)$

と表される。

この規則は例題2に適用でき、その結果例題2の記述は、図4のようになる。

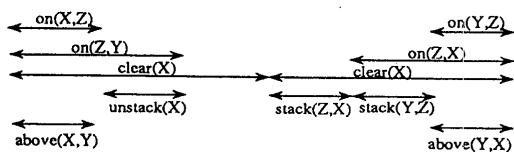


図4 例題2への記述の追加

ここで再び2つの例題間で時区間の対応をとると、先に示した背景知識において、 $above(X, Y, I)$ は $on(X, Y, I)$ より一般的であるので、例題1の $on(X, Y)$ 、 $on(Y, X)$ を例題2の $above(X, Y)$ 、 $above(Y, X)$ に対応させることが可能であり、共通部分として、

$exchange(X, Y) \leftarrow above(X, Y, I1) \wedge$
 $above(Y, X, I2) \wedge before(I1, I2)$

を獲得する。ここに現れる2つの時区間の順序関係が、 $before$ であることは、3.3において削除せずに残されている時区間の順序に関する記述から、Allenの時間論理^[2]を用いて計算する。これは、

$before(i, j) \wedge before(j, k) \rightarrow before(i, k).$

のような規則を用いて計算される。

他の時区間については、この例の場合これ以上の一般化の規則が存在せず、対応がとれないものとし、共通しない部分として削除する。この2つの例題を提示された段階ではこの記述が目標概念 $exchange(X, Y)$ となる。

4. 学習アルゴリズムの検討

以上の考察により、時区間表現で記述された例題からの時間概念の学習アルゴリズムを構成する。まず目標概念、例題集合、背景知識を定義する。

【諸定義】

【目標概念】

例題内に現れるオブジェクト間に成り立つn項関係。

【例題集合】

各例題はオブジェクト間の関係とそれが成り立つ区間が記述されたものであり、目標概念の具体例として引数を代入したものをラベルとしてつけて提示される。

【背景知識】

例題中に現れる時区間が、ある条件を満たす場合に、それを表す新たな記述を例題に加えるための知識および述語間の一般特殊関係を表す知識。

以上の定義に基づいて、与えられた例題集合から例題を特徴付ける一般的記述を求めるアルゴリズムを以下に示す。

【学習アルゴリズム】

- (1) 与えられた最初の例題のラベルを用いて、ラベルの引数と無関係な記述を削除定数を変数に変換したものを目標概念として記憶する。
- (2) 2つ目以後の例題が与えられると、まず(1)同様に不要な記述を削除し、定数を変数に変換する。
- (3) 記憶している目標概念の記述と、与えられた例題間で時区間の対応付けを行う。同じ引数をもつ同じ述語か、背景知識によって包含関係が成り立っている述語の成立区間を表す時区間を対応付けることができる。
- (4) 例題の記述の中で、対応付けられなかった記述に対して背景知識を用いた一般化を行う。一般化が行われた場合(3)に戻る。これ以上一般化が行われない場合は先へ進む。
- (5) 例題の記述から、対応付けがされなかった記述を削除する。対応付けされた2つの述語が異なる場合、背景知識においてより一般的とされるものを選択する。次に対応付けられた時区間の順序関係の計算を行い、目標概念として記憶する。
- (6) 新たな例題があれば(2)へ戻り、なければ終了する。

5. おわりに

本稿では時区間表現を用いて記述された例題集合からの時間概念の帰納的学習について検討した。提案手法は、背景知識を利用することにより例題間の共通点を目標概念として獲得するものである。今後はグループ化された時区間の対応付けなどを考慮してアルゴリズムを洗練して行く予定である。

【参考文献】

[1]新田克己: "時間を含む知識の表現と推論", 人工知能学会誌, Vol. 3, No. 5, pp. 563-571(1988).
 [2]Allen, J.F.: "Reasoning About Plans". Morgan Kaufmann, pp. 1-67(1991).