

3H-10

時間概念を導入したプランニング
における状態と動作の表現および推論制御

友納正裕

日本電気(株) C & C 情報研究所

1. はじめに

プランニングとは、ある目標を実現するための一連の行動の手順を決定することである。初期のプランニングシステムでは、動作主(エージェント)は1人とし、動作を瞬間的な状態変化としていたため、並列に重なり合う複数の動作を表現できなかった。このようなモデルは多くのエージェントが並列に活動する現実世界の問題に適用するには不十分であり、時間や複数エージェントの概念を取り入れた研究が最近盛んに行なわれている。このような分野においては、時間の表現方法、状態や動作のモデル化などが重要な問題となる。時間概念を導入したシステムとして、Allenの時区間論理を用いたシステム[1]があるが、推論に因果関係が反映されない、効率が悪い、などの問題がある。本稿では、その問題点を解決するための状態や動作の表現方法、効率的な推論制御の手法について述べる。

2. 時区間論理を用いたプランニングシステム

Allenの時区間論理[2]は、2つの時点にはさまれた時区間を時間概念の基本表現とする。時区間同士の時間関係として13種類設定されている。これらの時間関係の間には推移規則が用意されており、時間関係が既知である時区間の間にその推移規則を次々と適用することにより、未知の時区間の関係を求めることができる。

Allenは時区間論理をプランニングに応用している[1]。まず、状態や動作の成り立つ期間に対して時区間が割り当てられる。これらの時区間の間には、動作とその結果の間の因果関係、同時に起こり得ない状態などの制約条件に基づく時間関係が設定される。これらの制約条件が正しく設定されていると、プランニングはすべて時間推論によって自動的に行なわれる。

Allenのシステムでは、動作は継続時間(時区間)をもつので並列に重なる動作の時間関係を表現することができる。しかし、推論過程では、状態や動作の間の因果関係や制約条件などがすべて時区間の時間関係に還元されてしまうため、作成された計画を因果関係や制約条件で説明づけることができず、計画の修正や失敗時の対処がしにくくなるという問題点がある。

もう1つの問題に計算効率がある。時間推論は、すべての時区間の組について関係を伝搬させていく制約伝搬アルゴリズムを用いているため、時区間の個数を N とすると、

A Representation of States, Actions and Plans
for Planning using Temporal Knowledge

Masahiro Tomono

NEC Corporation

その計算量は N^3 に、記憶量は N^2 に比例する[3]。これらの計算のうち、プランニングにとって重要なのは一部であり、むだな計算が多く行なわれている。

3. プランニングモデル

Allenのシステムの問題点の原因は、すべてを時間関係に還元してしまうため、本来プランニングにとって中心的役割を果たす因果関係や制約条件が推論制御に直接生かされないことにある。ここで提案するモデルの基本思想は、因果関係や制約条件を時間推論の過程に反映させて、動作の時間関係を効率よく求めることである。

3.1 状態と動作の表現方法

ここでは、簡単のため、状態や動作はそれ以上分解できない原子的(atomic)なものと考えて議論を進める。

Allenのシステムを含めて、従来の多くのプランニングシステムにおいては、状態を基本的なものと考え、状態の変化によって動作を表現していた。一方、動作あるいはイベントを基準に、動作の結果として状態を表現するモデルがKowalsky[4]やLansky[5]によって提案されている。本モデルでは、動作を基準に考えている。

状態の開始、終了は動作によりなされる。すなわち、状態の時区間は動作によって表現される。状態は基本的には次のような2つ組で表わされる。

$$S = \langle A_s \ A_f \rangle$$

状態 S の成立する時区間は動作 A_s の結果として開始され、動作 A_f によって終了する。その様子を図1に示す。グラフ表現では、円は状態、長方形は動作を意味している。動作は継続時間をもつため、 A_f の実行中の状態は一般的には未定義(図1破線)となる。 A_f の実行中に S が成り立つかどうかは、 S や A_f の具体的な内容に依存する。ここでは簡単のため、 A_f の開始時で S が終了するとする。

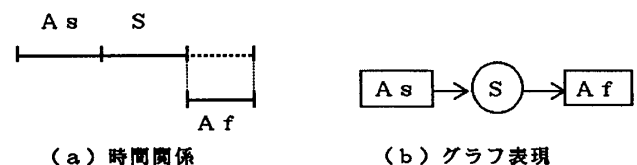


図1 状態の表現

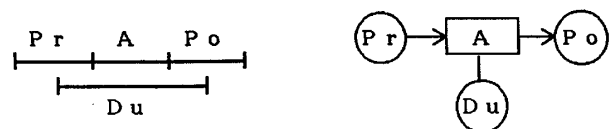


図2 動作の表現

動作は状態を変化させるものである。動作は基本的には、次の3つ組で表わされる。

$$A = \langle Pr \ Po \ Du \rangle$$

Pr, Po, Duはそれぞれ状態の集合で、事前条件(Pre-condition)、事後条件(Post-condition)、持続条件(During-condition)と呼ばれる。動作Aの実行により、状態Prは状態Poに変化する。DuはAが実行されている間に成り立つべき状態である。その様子を図2に示す。Aが正しく実行されるためには、Aの実行の直前にPr, Duが成り立つ必要があるため、Pr, DuはAを実行するための副目標になりうる。PoはAの実行の結果(の予定)としてとらえられる。

3.2 状態と動作の関係

Allenのシステムでは、状態と動作両者の時間関係に関する時間推論によってプランニングが行なわれた。本モデルでは、状態の時区間は動作で表現されるから、状態同士および状態と動作の間の時間関係はすべて動作同士の時間関係に帰着される。これら動作同士の時間関係は、たとえば図3のような関係に基づいて設定される(ただし、簡単のため単純化している)。

①手段目標関係

動作の事前条件、持続条件が成り立つための条件である。図は、動作A1の持続条件S1を開始させる動作A2はA1より先に、S1を終了させる動作A3はA1より後に実行すべきことを示している。記号<と>はそれぞれ「…より前に」、「…より後に」を意味する。

②接続目標

ある時区間Gの間に状態S1, S2が同時に成り立つための条件である。

③競合回避

動作A1の結果が、動作A3の事前条件S1に排反する時、動作A1が動作A3と競合しないための条件である。A1が、S1を開始させる動作A2より先に実行されるか、S1を必要とする動作A3より後に実行されれば競合は回避される。

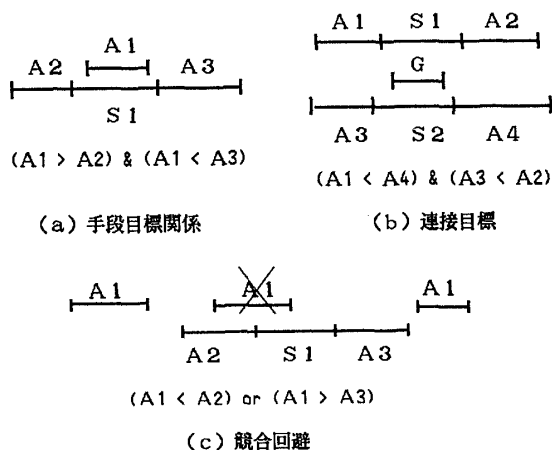


図3 プランニングに用いられる制約条件の例

3.3 推論制御

プランニングは、状態と動作の関係を表わすネットワークに基づいて行なわれる。積木A, B, Cを積み重ねる問題に対するネットワークの一部を図4に示す。図は手段目標関係の他に、状態S2(Cの上にBが載っている)と状態S4(Bの上にAが載っている)が接続目標で、状態S1(Bの上に何も無い)がS4と排反することを表わしている。

推論の際、ネットワーク上の因果関係や排反関係などに基づいて、前節で述べたような動作間の時間関係が設定されていく。その時間関係は大局的には正しいとは限らないので、時間推論をネットワーク全体に行なって矛盾のない時間関係の組合せを求めていく。その際、Allenのシステムのように制約伝搬アルゴリズムによってすべての時間関係を求めることはせず、因果関係や制約条件で設定された時間関係だけをたどってその一貫性をチェックする。

たとえば、図4では、動作A4の結果と状態S1の競合を回避するには、前節の競合回避条件から

$$(A4 < A1) \ \text{または} \ (A4 > A2)$$

であればよい。A4 < A1の場合は、A1がS4を終了させる動作となり、接続目標条件から

$$A2 < A1$$

となるが、これは手段目標関係

$$A1 < A2$$

に反し、矛盾が生じる。一方、A4 > A2では矛盾が生じないため、これが解となる。

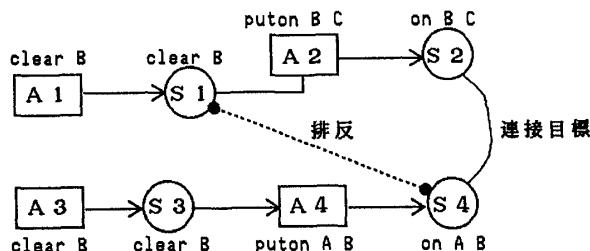


図4 計画のネットワーク

4. おわりに

時間概念を導入したプランニングにおける状態と動作の表現方法および効率的な推論方法について述べた。Allenのシステムでは、考慮すべき時区間の個数が状態と動作の個数の和であったのに対して、本システムでは、基本的には動作の個数だけであり、しかも因果関係や制約条件にしたがって推論が進むため、考慮すべき時間関係(時区間の組合せ)は著しく少なくてすむ。

参考文献

[1] J.F. Allen, J.A. Koomen, "Planning Using a Temporal World Model", IJCAI-83, pp. 741-747, 1983.
 [2] J.F. Allen, "Maintaining Knowledge about Temporal Intervals", Communications of ACM, Vol. 26, No. 11, pp. 832-843, Nov. 1983.
 [3] M. Vilain, H. Kautz, "Constraint Propagation Algorithms for Temporal Reasoning", AAAI-86, pp. 377-382, 1986.
 [4] R. Kowalski, M. Sergot, "A Logic-based Calculus of Event", New Generation Computing 4, pp. 67-95, 1986.
 [5] A. Lansky, "A Representation of Parallel Activity Based on Events, Structure, and Causality", Workshop on Reasoning about Actions and Plans, pp. 123-159, 1986.