

階層的概念構造に基づく再プランニング

3M-9

指原利之[†], 和泉憲明[‡], 黄瀬浩一[†]

[†]大阪府立大学工学部 [‡]静岡大学情報学部

1 まえがき

近年、インターネットに代表される分散システムにおいて情報検索などを代行するエージェントが注目され、活発に研究されている [1]。エージェントは環境を観測し、プランを立て、実行することにより目標を達成する。

一般に、エージェントの環境は時々刻々と動的に変化するため、プラン中の動作が実行できなくなる場合がある。したがって、エージェントが目標を達成するためには環境の変化に応じて再プランニングを行ない、プランを修正する必要がある。通常、環境の変化は小規模であるため、一度立てたプランには再利用可能な部分が多いが、プランの修正範囲を最小限にとどめ、かつ、その修正を効率的に行なうような再プランニングの研究はほとんど行なわれていない [2]。

そこで、本稿では、環境の変化に対して最小限のプランの修正により目標を効率的に達成するための枠組として、階層的概念構造に基づいて再プランニングを行なう手法を提案する。本手法の特徴は、状態と動作の階層構造に基づいて、プランニングならびに再プランニングを行なうことにより、両者の処理の範囲を限定できることである。これにより、環境の変化に応じた再プランニング時において、一度立てたプランを最大限に再利用できるような修正を効率的に行なうことができる。

2 階層的概念構造

本手法は、抽象化した状態と動作を用いてプランを作り、それを徐々に具体化することにより探索空間を制限するという、階層プランニングの考え方に基づくものである。このためには、対象世界の状態と動作を抽象化した階層構造が必要になる。

ところで、一般に対象世界には、種々の概念および概念間の関係が存在する。ここでは概念間の関係として概念間の包含構造に着目し、これをグラフにより表現したものを階層的概念構造とよぶ。本研究では、階層的概念構造から、状態と動作の階層構造を得ることを考える。

方針の概略は以下の通りである。例えば、性質を表す一項述語記号 P に対してある概念 c を項として適用すると、状態表現の述語論理式 $P(c)$ となる。このような概念と状態の関係を用いて、階層的概念構造における概念を、概念の性質や概念間の関係を表す述語記号に対し項として適用することにより状態表現の階層構造を得る。このとき、各状態表現をそれが成り立つような状態のクラス（以下、状態クラスとよぶ）と考える。

図1に状態の階層構造例を示す。状態の階層構造において、プランに用いることのできる個々の動作規則は、例えば、 $S_{11} \rightarrow S_{12}$ のように、動作の前提の状態クラスと結果の状態クラスの間の関係で表される。このような、状態クラス間の関係もクラスとみなし、以下動作クラスと呼ぶ。また、 $S_{11} \rightarrow S_{21}$ と $S_{12} \rightarrow S_{22}$ のような、前提および帰結の状態クラスの親クラスがそれぞれ同じであるような動作クラスは、 $S_1 \rightarrow S_2$ のように1つにまとめられ、新たにその親クラス間の動作クラスとする。このようにして、動作クラスについても階層構造を得ることができる。

以上により得られた状態と動作の階層構造において、親クラスに対する子クラスの各状態と各動作では、親クラスで成り立つ述語論理式が子クラスでも成り立つので、階層プランニングに必要な階層構造の性質を満たす。

3 階層構造を扱うアルゴリズム

本節では、一度立てたプランを最大限に再利用するための再プランニングを示すために、その基になるプランニングアルゴリズムを示し、その後、再プランニングについて述べる。以下、階層構造における各層を抽象度の低い順にレベル1、レベル2、...とよぶ。

3.1 プランニング

プランニングとは、初期状態から目標状態へ至る動作列を求めることである。この動作列は状態と動作の階層構造における初期状態のクラスから目標状態のクラスへ至る関係の列である。これを求めるため、本稿では上位レベルでプランを立て、それを下位レベルのプランに展開するという手法をとる。

まず、最も抽象度の高いレベルからプランニングを始めるために、初期状態のクラスおよび目標状態のクラスそれぞれの抽象度を上げ、これらが同一の状態クラスになるレベル（図2①）を求める。次に、そのレベルの1つ下のレベルでプランニングを行い（図2②）、以降、

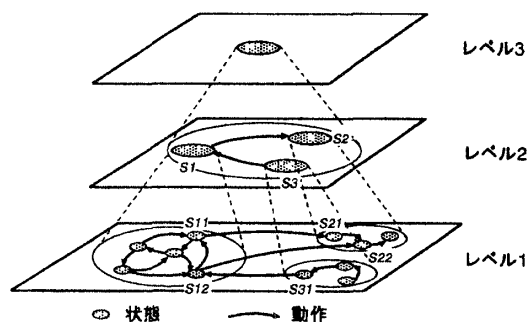


図1: 状態の階層構造例

Replanning Based on Structure of Hierarchical Concept
Toshiyuki Sashihara[†], Noriaki Izumi[‡], Koichi Kise[†]
[†]College of Engineering, Osaka Prefecture University
[‡]Faculty of Information, Shizuoka University

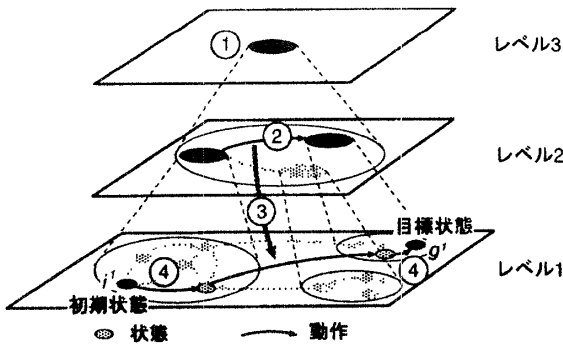


図 2: 階層的概念構造を用いたプランニング例

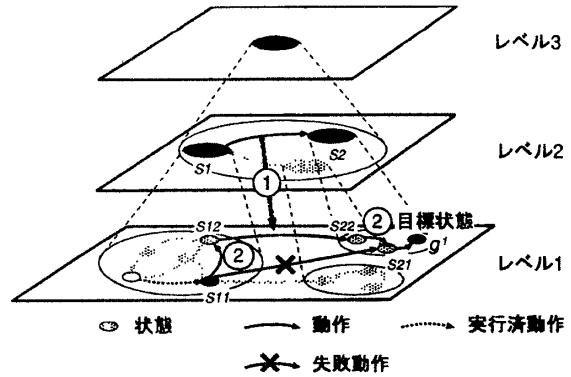


図 4: 階層的概念構造を用いた再プランニング例

- step1. $i^n = g^n$ となるような n を求める。
- step2. レベル $n-1$ において、初期状態のクラス i^{n-1} 、目標状態クラス g^{n-1} として、それぞれの兄弟クラス間を遷移する動作を用いてプランニングを行ない、得られたレベル $n-1$ のプランを現プランとする。
- step3. 現プランのレベルを k としたとき、 $k=1$ ならば、プランニングは終了。そうでなければ step4 へ。
- step4. 現プランの各々の状態遷移 $S_i \rightarrow S_j$ に対し、 $S_{i,2} \rightarrow S_{j,1}$ となるような $S_{i,2}, S_{j,1}$ を、それぞれクラス S_i, S_j の子クラスから見つける。
- step5. 現プランの各々の状態遷移 $S_i \rightarrow S_j$ に対し、
- もし、 S_i がプランの最初の状態のクラスならば、 $i^{k-1} \rightarrow S_{i,2}$ 間を、クラス S_i の子クラス間の動作を用いてプランニングし、step6 へ。
 - もし、 S_j がプランの最後の状態のクラスならば、 $S_{j,1} \rightarrow g^{k-1}$ 間を、クラス S_j の子クラス間の動作を用いてプランニングし、step6 へ。
 - 以上の2つ以外の場合、 $S_{i,1} \rightarrow S_i$ に対し、step4 で見つけたものが $S_{i,2} \rightarrow S_{i,1}$ としたとき、 $S_{i,1} \rightarrow S_{i,2}$ 間を、クラス S_i の子クラス間の動作を用いてプランニングし、step6 へ。
- step6. step4, step5 で得られたレベル $k-1$ のプランを現プランとし、step3 へ。

図 3: プランニングアルゴリズム

最も抽象度の低いレベルに到達するまで、あるレベルでプランが完成すれば下位レベルへの展開(図2③)と未プランニング部分のプランニング(図2④)を繰り返す。この結果、初期状態から目標状態へ至る動作列が得られる。

アルゴリズムを図3に示す。ここで、 i^k, g^k はそれぞれレベル k における初期状態のクラスと目標状態のクラスである。また、入力される初期状態のクラスと目標状態のクラスは同一のレベルと仮定している。

3.2 再プランニング

プラン中のある動作が実行に失敗すると再プランニングを行なう。本手法では、再プランニング時に再び同じプランが生成されないようにするため、まず、失敗した動作が実行不可能であるという知識をプランナの知識に加える。次に、その動作をプランから取り除き、その部分に対してプランニングアルゴリズムの step4 から再プランニングを行う。図4に再プランニングの例を示す。

ここでは、クラス S_1 とクラス S_2 の間を遷移する動作が失敗した場合を示している。まず、失敗した動作 $S_{11} \rightarrow S_{21}$ が実行不可能であるという知識をプランナに加えた後、プランから $S_{11} \rightarrow S_{21}$ を取り除き、 $S_1 \rightarrow S_2$ を満たすレベル1での動作 $S_{12} \rightarrow S_{22}$ を探す(step4; 図4①)。次に、未プランニング部分である $S_{11} \rightarrow S_{12}$ と $S_{22} \rightarrow S_{21}$ をプランニングする(step5; 図4②)ことで再プランニングが完了し、 $S_{21} \rightarrow g^1$ のプランが再利用される。また、再プランニングが失敗すれば、上位レベルのプランに該当する動作(図4の動作 $S_1 \rightarrow S_2$) が実行不可能であるとして、そのことをプランナの知識に加え、以降同様に、プランニングアルゴリズムの step4 からプランニングを続ける。

以上に示したように、本手法のプランニングでは、上位レベルのプランの状態クラスにより探索空間を限定できるため、効率的なプランニングが可能である。また、再プランニングは、プランニングから一貫して行なわれるため、プランニング同様、上位レベルのプランにより探索空間が限定でき、かつ、プランの修正部分も限定できるため、効率的である。

4 むすび

本稿では、階層的概念構造とそれを扱うアルゴリズムを与えることで、一度立てたプランを最大限に活用できる再プランニングの枠組を提案した。

今後の課題として、プランニング・プラン実行・再プランニング・センシングを統合化した枠組[3]への本アルゴリズムの実装、および階層的概念構造の生成方法の確立などが挙げられる。

参考文献

- [1] C.A.Knoblock: "Planning, Executing, Sensing, and Replanning for Information Gathering", Proc. of the 14th IJCAI, pp.1686-1693(1995).
- [2] 山田誠二: "エージェントのプランニング", 人工知能学会誌, Vol10, No.5, pp.677-682 (1995).
- [3] N.Izumi, et al.: "A First-Order Theory of Agent Models with a Layered Architecture", Proc. of the Second ICMAS, p.444(1996).