

## 時空間モデルを用いた図形的推論の枠組み

嶋田 晋

中京大学 情報科学部

記号による推論は、従来のAIにおいて強力な方法であるが、同時にその弱点も指摘され続けてきている。このため、最近では図による推論の研究が進んでいる。しかしある対象を単に図に描いただけでは、その知識をすぐに推論に使うことはできない。問題解決に必要な知識の多くは図の時間的変化を含んでいる。この論文では、時空間モデルを使った図形的推論の新しい推論方法を提案する。この方法は、物体認識、動作予測、動作計画などに適用できる。

Diagrammatic Reasoning with Time-Space Model

Susumu Shimada

School of Computer and Cognitive Sciences, Chukyo University

Symbol based reasoning is a powerful method in conventional AI. At the same time, weakness of the method has been pointed out. Recently the research in diagram based reasoning is in progress. But if we simply draw a static digram to represent an object, we can't use this knowledge to make an inference directly. The knowledge used in most problem solving includes variation of a diagram with time. This papar proposes a new method with time-space model. Time-space model includes both diagram and its sequence of motion. This method is applicable in object recognition, prediction of motion and motion planning.

## 1. はじめに

人工知能における中心的な手法である記号を用いた推論方式には、様々な限界が指摘されている。そもそも人間が行なう推論はすべて記号で記述できるのだろうかという疑問もある[Kosslyn 80]。そこで最近では、図による推論(Diagrammatic Reasoning)の研究が進んできており、その成果が期待される[仲谷 93]。

しかしある対象を図で正確に記述しようとすればするほど、その図は個別性を強めてしまい、図による表現は一般性を失ってしまう(図のインスタンス性)。また静止した図では時間的変化を含まないために図の変化を別に与える必要が生じてくる。問題解決に必要な知識には、多くの場合、図形の時間的変化を含んでおり、これを表現できるような枠組みが要求される。

そこで、図形とその運動系列を含む時空間モデルを使った図形的推論の枠組みを提案した。第2章では、図形を使った推論の一般的な方法と時空間モデルを提案する。第3章では、個別の問題解決でどのように時空間モデルが使われるかを示し、理論に基づいて試作したシステムについて説明する。第4章では、結論と展望について述べる。

## 2. 時空間モデルとそれによる推論方法

### 2-1. 人間の記憶に関する考察

人間が視覚や触覚といった感覚器官を通して外界の情報を取り込むときには、静止した状態で外界を観察する(たとえばある物体をじっと凝視する)よりむしろ動的な状態で情報を扱っている。このことから、人間には対象物体に関する動的な記憶像が形成されていると考えることができる。それらがある程度、抽象化された記憶となつて、外界の対象物体を認識したりすることが可能になる。高度に抽象化された記憶として静止した図形、さらには記号が存在していると考えることができる。

### 2-2. 時空間モデル

人間の記憶に対する考察に基づいて、計算機上のモデルとして、時空間モデルを提案する。時空間モデルとはいくつかの基本形状とその運動列からなる。形状については、点、線分、面などに抽象化され、運動についても並進運動、回転運動、拡大-縮小などに抽象化されていると仮定する。

これらの組み合わせとして、実世界を表現するモデルを構築することができると思う。そしてこのモデルを使って、物体を認識したり、物体の動作を予測したり、動作を計画したりすることを試みる。ここで重要なことは、いずれも一見異なる様式の問題解決であるが、時空間モデルを使うことによって統一的に扱える可能性があることである。

### 2-3. 時空間モデルによる推論

この時空間モデルを用いた推論の基本的な枠組みを示す。ここでは抽象的なレベルで推論方式だけを与えるが、個々の問題解決において具体化される。

#### (1) 時空間モデルの構成

- ・対象物体はいくつかの基本形状の組み合わせとして表現され、基本形状の大きさは離散化されている
- ・運動もその方向と大きさが離散化されている（運動の単位が存在する）
- ・基本形状にいくつかの運動列を作用させることにより、時空間モデルが構成される

#### (2) 推論方式

次の3ステップの繰り返しによって行なわれる。

ステップ1：時空間モデルにおいて、ある時点で可能な運動列を列挙する

ステップ2：ある基準に従ってその中から運動列を選択する

ステップ3：運動列を作用させる

### 3. 時空間モデルを使った問題解決

#### 3-1. 問題解決のサイクル

自律的に行動するロボットを考えると、行動のためにはいくつかの問題解決を行なうことが必要になってくる。まず環境を認識し（認識問題）、認識した世界で自分がどう行動すればよいかを計画し（計画問題）、アームを動かすなどの行動をする（行動問題）。このとき対象物体の運動を予測することも必要になる（予測問題）。認識－予測－計画－行動という問題解決の列ができており、これがサイクルをなしている。

今回は、認識問題と計画問題において時空間モデルを使った問題解決方法を示す。

#### 3-2. 認識問題

ここでの認識問題とは、環境内に「何があるか」という記号レベルの認識をするのではなく、これからの動作を計画するために物体が「どう配置されているか」を認識する問題と定義する。これは同時にコンピュータビジョンにおける物体認識の問題でもある。柔軟な物体モデルとして時空間モデルを持ち、入力された画像とのマッチングによって物体を認識する方法である。

多様な時空間モデルを持てばより多様な認識が可能になるが、ここでは最も基本的な形状として、2次元の基本形状（長方形）を考える。入力像としては単眼、モノクロの1枚の画像を処理して二値化した画像を対象とする。

#### (1) 時空間モデルの構成

最初にある大きさの基本形状（長方形）を配列上で定義する。配列上に仮想的な座標平面を作る。配列内の1点に注目すると、運動を作用させることによりその座標は変化する。1単位の運動後の座標値を双方向のリスト構造に蓄積することにより、点の軌跡（時間的変化）を表現することができる。

さらに形状についても配列上をスキャンする方法で双方向のリスト構造で表現することができる。こうして時間軸と空間方向についてのリスト構造で時空間モデルを構成することができる（図1）。このように予め計算結果をリスト構造に記憶していれば、リストの操作だけで運動を作用させることができる（図2）。

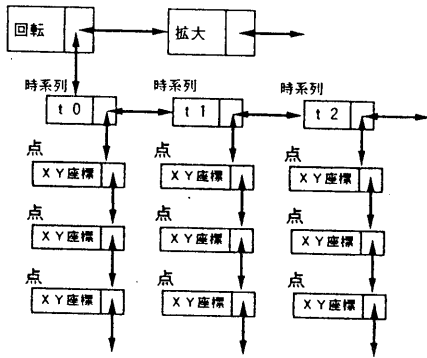


図1. 時空間モデルのリスト構造

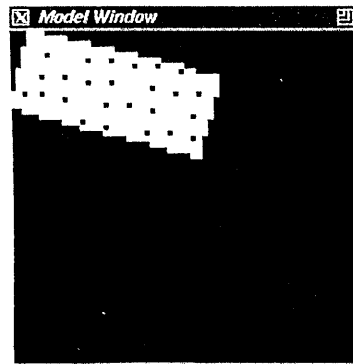


図2. リスト操作による運動作用

運動は次のように離散化させて作用させる（図3に概念図）。

- ・回転運動：5°を単位として360°回転させる。
- ・拡大縮小：最初の形状を最大として、まず縦方向に10%ずつ小さくしていった列を作る。それぞれに対して横方向に10%ずつ小さくしていった列を作る。最大の10%の大きさを最小とする。

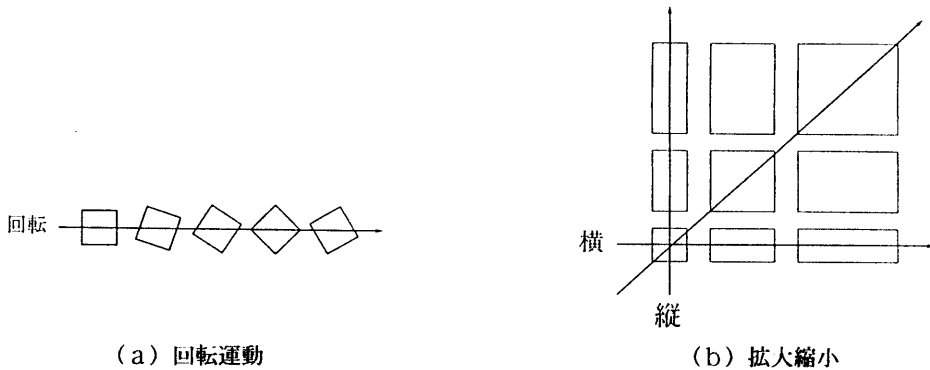


図3. 運動の離散化（概念図）

## (2) 推論方式

探索を行なうために対象となる画像の前処理を行なう。まず二値画像に含まれる面の周辺を抽出し、線分を追跡していき一定の長さ以上を取り出す。これを囲む領域を小配列として保存する。このとき、線分の傾きを離散化された方向として記録する。この傾きを持った小配列が時空間モデルとのマッチングを開始する位置となる。

探索の方法は次の通りである。

- ・目標：時空間モデルと二値画像とのマッチングの面積が最大
- ・開始：小配列内線分の傾きに近い回転角をもった最小の図形から始める  
この回転角を持った図形に対して縦横の拡大列が対応している

- ・探索：縦方向の拡大列をたどりマッチングの面積が大きくなる方向に進む  
進めなくなった時点で横方向の拡大列に進む
- ・終了：マッチングの面積が変化しなくなった時点で探索終了

### (3) 試作システムとその評価

(1)、(2)に基づいて、2次元画像から基本形状（長方形）を認識するシステムを試作した。対象とした画像は、建造物や道路からなる風景の写真で、画面内に含まれる基本形状を1個につき数秒のオーダーで認識した（図4）。これはビルを構成する面や道路が抽出された結果と思われる。

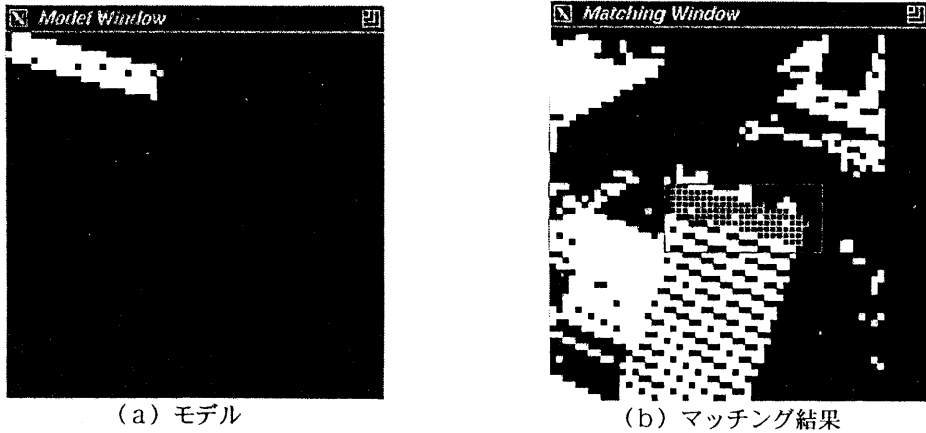


図4. 認識結果

## 3-2. 計画問題

記号表現を使った計画問題は従来からも研究されてきているが、ここでの計画問題とは、ある目的を達成するために制約条件の中で物体をどう動かせばよいかという問題と定義する。

具体的な問題として、倉庫から荷物を運びだす搬出問題を考える。2次元平面上でいくつかの壁によって仕切られた倉庫内に長方形の荷物があり、それを移動させる方法を計画する。

### (1) 時空間モデルの構成

荷物を点として扱うことができれば時空間モデルを使わなくても計画はできるが、長方形の形状をしている場合には、壁の間隙を通り抜けるために回転させる必要がある。このため長方形に回転運動を作用させた列が時空間モデルとなる。この場合回転は $45^\circ$ で離散化されており、リスト構造が対応している。移動させる運動としては並進運動もあるが、これは計算によって生成することにする。

### (2) 推論方式

荷物の置かれた位置が出口に近ければ、直線的に出口に向かって進むことができるが、倉庫内が壁で区切られている場合には、荷物の初期位置から出口まで直線的に進むことができない。このような場合には、周囲の壁を判断して中間位置にサブゴールを自動的に生成する。サブゴールに対する推論は次の

通りになる。

- ・目標：サブゴール
- ・開始：勝手な位置から始める
- ・探索：可能な運動候補（並進、回転）を列挙  
可能な運動を作用させた結果が目標に最も近づく運動を選択する
- ・終了：サブゴールに到達すれば終了

### (3) 試作システムとその評価

(1)、(2)に基づいて、搬出問題を解決するシステムを作成した。倉庫の中の任意の場所に置かれた荷物を出口まで運びだす計画（経路と運動）を生成することができた（図5）。また倉庫内の壁の配置を組み替えても計画を生成することができた。ただしこの計画は最短などの最適性を持つものではない。

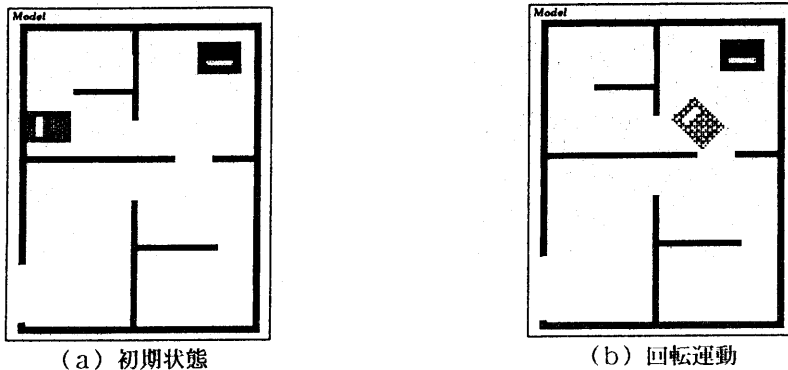


図5. 搬出問題

## 4. 結論と展望

時空間モデルを使った図形的推論によって、いくつかの問題解決を行なうことができたことで、図形的推論の有効性が確かめられた。また時空間モデルを使うことによって、異なる様式の問題解決を共通の枠組みで解決することが可能になった。

この方法を有効にするためには今後、次のような研究が期待される。

- ・動的記憶の抽象化からの時空間モデルの生成
- ・実機のロボットに動作を行なわせることによる現実との相互作用
- ・高度に抽象化された記憶としての記号的推論との関係

## 参考文献

- [仲谷 93] 仲谷善雄:図による推論の研究の最新動向,人工知能学会誌,Vol. 9, No. 2, pp. 210-215(1993).  
[Kosslyn 80] Kosslyn S. M.:Image and Mind,Harverd Univ.Press(1980).