

連続ポテンシャル場を用いた位置関係の推定

山田 篤, 西田 豊明, 堂下 修司

京都大学・工学部・情報工学教室

時間や空間など人間が常識的にもつ概念の取り扱いにおいては、これらが連続性をもつことによって漠然性に関する問題が生ずるが、これまでに我々の直観に合うような形での漠然性の問題に対する本格的な取り組みはあまり行われていない。

本論文では、このうち空間的な概念の取り扱いに関して、タスクを空間的な状況記述から拘束条件を抽出・統合して一つの合理的な解釈を導き、これをディスプレイ上に表示することに設定し、この解釈に連続ポテンシャル場の概念を用いることを提案する。この方法によって連続的な拘束条件が表現でき、さらに領域の概念の導入により不連続な拘束条件にも対応できる。

Reasoning about Relative Location with Continuous Potential Field

Atsushi YAMADA, Toyooki NISHIDA, and Shuji DOSHITA

Department of Information Science
Kyoto University
Sakyo-ku, Kyoto 606, Japan

This paper describes a method for reasoning spatial conditions from spatial descriptions using "continuous potential field". As the concept 'space' or 'time' has continuity, the problem of 'vagueness' must be solved to deal with such concepts.

In this paper, we pick up spatial constraints from descriptions, and calculate reasonable model of the object world at all times. To make reasonable model, we use continuous potential function, which is mapping from a location to the cost (or potential) of the location. We also use 'region' to represent discontinuity.

1. はじめに

時間や空間などの人間が常識的にもつ概念を取り扱うシステムを考えた場合、これらの概念は連続的であるので、漠然性(Vagueness)の問題が生じる。ここで漠然性の問題とは、連続的な広がりを持ち、連続的に変化する可能性の中からの選択の問題をいう。しかし、これまでこの問題に関して、我々の直観に合うような形での本格的な取り組みはあまり行われていない。

本論文では、このうち空間的な概念にあらわれる漠然性に焦点を当てる。タスクとして、空間的な状況記述から拘束条件を抽出、統合して一つの合理的な解釈を導き出し、これをディスプレイ上に表示することを考える。このとき問題となるのは、連続的な拘束条件の表現の方法と、それらの解釈の方法である。

状況意味論^[1]では、言語表現の意味は、対象世界にあるものの間の拘束条件であると捉えられている。従って、言語理解が行われるためには、この意味をもとに、積極的な推論を行って、対象世界の具体的なモデル化をはかる必要がある。拘束条件が漠然性をもつときにも暫定的なモデルを作って、その理解がなされなければならない。表示されるモデルは、各拘束条件を統合した一つの例である。このモデルは、常に修正可能で、その時々において最も確からしいものでなければならない。また、漠然性をモデルの表現能力としてもたせ、モデル自体は一つの例として提示することは、計算量の低減につながる。

本論文では、このようなモデルの構築法として、連続ポテンシャル場の概念を用いた方法について検討する。なお、空間的概念には、一部不連続な概念も存在するので、領域の概念を併用する。以下では、はじめに空間的な概念について考察した後に、連続ポテンシャル場を用いた表現法を示す。

2. 空間的概念

空間的概念のなかには、距離、位相、方向、形状、動きなど多くの概念が含まれる。このうち、距離や方向は連続的な概念であり、壁や禁止領域によって不連続性がつくられる。本論文では、距離と方向を中心に取り扱い、これに不連続な概念を付け加えていく。

自然言語には、空間に関する豊かな語彙と表現法があり、空間的概念へのアナロジーも多い。図1に空間的な状況記述の例を示す。

これまで自然言語理解では、大分大学の岡田による図形と言語の関係に関する包括的な研究^{[4][5][6]}があるが、漠然性問題は本格的に取り組みされていない。空間的概念はあらかじめ量子化され、記号的表現

に置き換えて処理されていた。たとえば、G. Novakの研究^[3]では、対象は固有のケースフレームをもち、前、後、左、右、上、下などの空間的概念は、ケースフレームの各スロットにすぎなかった。しかし、このような概念でさえも図2のような場合には漠然性が問題になる。

◎ グランドセントラル駅

背後にパンナム・ビルを背負うこの古びた建物が有名なグランドセントラル駅。“広い”という形容をする時よく使われる。この駅は、線路がすべて地下にあるため、外から見る限りでは日に500本近く列車の出入りがあるとは思えない程の静けさ。地下で、123もの路線を結んでいるが、2層になっているので、上にあるパーク街に高層ビルを建てることができたという。
交通公社ポケットガイド115アメリカ東部
1979, p. 61より引用

図1. 空間的状況記述の例

- A: 「テレビの右にステレオを置いて下さい。」
B: (ステレオを置く)
A: 「テレビからもっと離して下さい。」
B: (ステレオを動かす)
A: 「もっと前に置いて下さい。」

図2. 漠然性の問題の例

空間的概念の漠然性を取り扱った研究として、E. Davis, D. McDermottによるファジィモデル^[2]がある。ファジィモデルでは、ある対象と別の対象との相対的位置関係はその対象のもつ局所的な座標系を用いて表される。対象の正確な位置が決められない場合の暫定的な位置の決め方として、その中では一定の確率で存在し、外では存在確率が0になるような領域の概念が用いられた。この手法の問題点は、対象が存在し得る領域と存在し得ない領域の境界で、対象の存在確率が不連続に変化することである。もとの空間的な概念が連続的であった場合、この不連続性はふさわしくない。

我々の手法では、漠然性に関する拘束条件を、与えられた定義域からコストまたはポテンシャルへの関数(以下、ポテンシャル関数と呼ぶ)によって定義し、系全体からのポテンシャルが最小となる位置を最も確からしい解釈とみなす^[7]。このモデルをポテンシャルモデルと呼ぶ。ポテンシャルモデルでは、ポテンシャル関数として連続関数を選ぶことにより、連続的な変化を表すことができる。また、ポテンシャルの重畳により、複数の拘束条件を同時に考慮に入れることができ、修正可能性をもつ。

3. ポテンシャルモデル

我々は最尤点を摂動法によって求める。はじめに、位置を推定しようとしている対象の位置を仮決めし、それを初期値としてポテンシャル場から受ける「力」に比例した分だけ摂動をかける。ポテンシャル関数の値が小さいほど確からしいと考えるため、ポテンシャル場から受ける「力」は、直行座標系で考えた場合、ポテンシャル関数の符号をかえたものをx方向、y方向に偏微分したものと考えられる。このプロセスを位置を推定中のすべての対象の動きが十分に小さくなるまで繰り返す。モデルとしての妥当性はモデルによって予測される最尤点の位置ばかりでなく、ポテンシャル関数そのものの性質や、摂動における各対象の動きからも評価される必要がある。

位置決めされる対象の位置の初期値の求め方については現在十分には考察していないが、拘束条件が複雑である場合に、すべての拘束条件が満足されるように、いくつかの対象の位置の初期値を定めることは必ずしも容易ではないと思われる。このため、以下で考える摂動アルゴリズムでは、対象がはじめにどこにおかれても最尤点に達するよう配慮した。

以下では、ポテンシャルモデルを構成する各概念について述べる。

3. 1 純粋ばねモデル

二つの対象間の関係を表す簡単なポテンシャルモデルとして、ポテンシャル関数が対象の間に張られた仮想的な「ばね」のポテンシャルエネルギーとして定義される「ばねモデル」を考える。このばねは理想的であり、そのポテンシャルエネルギーはばねの「のび」の2次関数で与えられるものとする。このポテンシャル関数の符号をかえたものを位置に関して微分したものは、ばねの「張力」に相当する。系に含まれるすべてのばねのポテンシャルエネルギーの和を最小にする位置では、対象に働く「張力」は平衡する。新たな拘束条件が加わると、その拘束条件に対応するばねが追加され、平衡点は移動する。

ばねモデルでは、仮想的なばねのばね定数は正とする。ばね定数が負の場合、遠くに行くほどポテンシャル関数の値が急激に小さくなり、平衡点が定まらない可能性が生じる。

2次元で考えた場合の点(x, y)における一本のばねによるポテンシャル及び張力は以下ようになる。

(ただし、ばねの自然長は0または正とし、ばね定数をKとする。また、ばねの一端は(x₀, y₀)に固定されているものとし、ポテンシャルをP(x, y)、張力を

(f_x(x, y), f_y(x, y))とする。)

(a) 自然長が0のばね

$$P(x, y) = Kd^2 / 2 = K((x-x_0)^2 + (y-y_0)^2) / 2$$

$$f_x(x, y) = Kd_x = K \cdot (x_0 - x)$$

$$f_y(x, y) = Kd_y = K \cdot (y_0 - y)$$

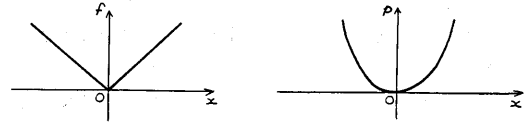
(b) 自然長が正(=L)のばね

$$P(x, y) = K \cdot (\sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2} - L)^2 / 2$$

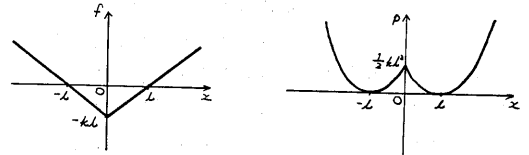
$$f_x(x, y) = \frac{K \cdot (\sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2} - L) \cdot (x_0 - x)}{\sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}}$$

$$f_y(x, y) = \frac{K \cdot (\sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2} - L) \cdot (y_0 - y)}{\sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}}$$

(b)のポテンシャル関数は点(x₀, y₀)において微分不可能である。摂動の過程で対象の位置がたまたまこの点の上に来たら、故意に摂動をかける必要がある。これらの関数のグラフをy=0に固定して、図3に示す。



(a) 自然長が0のばね



(b) 自然長が正(=L)のばね

図3. ばねのポテンシャル関数

例としてある部屋の中に「ステレオ」、「テレビ」、「本棚」があり、「テレビ」と「本棚」の位置がすでにわかっているとき、次の文が与えられたとする。

(1) 「ステレオはテレビと本棚の間にある」

ばねモデルではこの文章に対する拘束条件を、図4のように「テレビ」と「ステレオ」、「ステレオ」と「本棚」の間に張られた2本の仮想的なばねによって表す。「テレビ」の位置を(0, 0)、「本棚」の位置を(10, 0)、2本のばねはどちらも自然長0、ばね定数1であるとすると、「ステレオ」の位置(x, y)に関するポテンシャルP(x, y)は、

$$P(x, y) = x^2 + y^2 + (x-10)^2 + y^2$$

で与えられる。この値を最小にする位置は、(5, 0)であり、「テレビ」と「本棚」のちょうど中間にある。



図4. 純粹ばねモデルの例
(「ステレオはテレビと本棚の間にある」)

この例はそれほど複雑ではないが、ばねモデルを用いる利点は、その逐次追加性または修正可能性にある。

同時に、純粹ばねモデルには、限界があることもわかる。図3のポテンシャル関数のグラフから明らかに、ばねモデルで方向を表すことはできない。上の例において、文(1)につづいて、

(2) 「ステレオは壁より少し前にある」

という文が与えられたとする。純粹ばねモデルのみを用いた「前」という概念の表現のしかたは次の2通りが考えられる。

(方法1) 「壁」と「ステレオ」の間に自然長が正のばねを張って「壁」と「ステレオ」が接することを防ぐ。

(方法2) 「壁」の前方に適当な点をとって、そこから「ステレオ」を引くばねを張る。

どちらの方法にも共通する問題が二つある。第一に、「前」という概念は本来方向を表す概念であるのに対して、純粹ばねモデルにおいてばねに表しているのは、距離の概念である。このため(方法1)をよくみると、「壁」と「ステレオ」の間に張られたばねは「前」という概念を表していない。「ステレオ」-「テレビ」、 「ステレオ」-「本棚」間のばねがあるため、はじめて「前」が表現されている。第二に、「壁」を点としてモデル化することには無理がある。逆に「壁」を長さのある対象とすれば、「壁」のどの点と「ステレオ」との間にばねを張るかが問題となる。どちらの方法でもばねが壁につながる点または「前方」を表す点は、平衡点と共に「壁」に平行に「スライド」して、「前」を表すばねが常に「壁」に対して垂直に保たれるようにする必要がある。

次に、位置を決める順序の問題がある。純粹ばねモデルにおいて同一面内にばねを張っていったのでは、その表現能力は制限されてくる。この解決法として、ばねを張る際に、モデルを階層的に作る事が考えられる。

以下では、純粹ばねモデルの拡張としての、方向ポテンシャル、禁止半平面、階層などの概念について順

次述べてゆく。

3.2 方向ポテンシャル

方向性の概念を表現するために方向ポテンシャル関数を導入する。方向ポテンシャル関数として、基準点からある一定の方向にあるすべての位置で最小値を取り、そこから方向がずれるに従って加速的に値が増えてゆくものを考える。

ある方向を基準点と角度の組によって表す。原点(0, 0)を基準点とし、x軸の正の方向から反時計まわりに回った角度が θ である方向を表す方向ポテンシャル関数 $P(x, y)$ とそれによる力 $f_x(x, y)$, $f_y(x, y)$ を次のように与えることが考えられる。

(a) $\theta = 0$ のとき:

$$P(x, y) = (K_1 y^2 + K_2) / (x + 1/\delta)$$

$$f_x(x, y) = (K_1 y^2 + K_2) / (x + 1/\delta)^2$$

$$f_y(x, y) = -2K_1 y / (x + 1/\delta)$$

x軸の正方向を表すポテンシャル関数は、x軸上では双曲線 $K_2 / (x + 1/\delta)$ 、x座標を固定すると最小値が $1 / (x + 1/\delta)$ なるy座標の2次関数 $y^2 + 1 / (x + 1/\delta)$ である。この様子を図5に示す。

(b) $0 < \theta < 2\pi$ のとき:

「方向 θ 」に対するポテンシャル関数は、上で定義されたものを θ だけ回転したものである。

すなわち、

$$x' = x \cdot \cos \theta - y \cdot \sin \theta$$

$$y' = x \cdot \sin \theta + y \cdot \cos \theta$$

これらを(a)の各式に代入すると、

$$P(x', y') = \frac{K_1 (-x' \cdot \sin \theta + y' \cdot \cos \theta)^2 + K_2}{x' \cdot \cos \theta + y' \cdot \sin \theta + 1/\delta}$$

$$f_x(x', y') = -\frac{K_1 \cdot 2 \sin \theta (x' \cdot \sin \theta - y' \cdot \cos \theta)}{x' \cdot \cos \theta + y' \cdot \sin \theta + 1/\delta}$$

$$+ \frac{\cos \theta (K_1 (x' \cdot \sin \theta - y' \cdot \cos \theta)^2 + K_2)}{(x' \cdot \cos \theta + y' \cdot \sin \theta + 1/\delta)^2}$$

$$f_y(x', y') = \frac{K_1 2 \cos \theta (x' \cdot \sin \theta - y' \cdot \cos \theta)}{x' \cdot \cos \theta + y' \cdot \sin \theta + 1/\delta}$$

$$+ \frac{\sin \theta (K_1 (x' \cdot \sin \theta - y' \cdot \cos \theta)^2 + K_2)}{(x' \cdot \cos \theta + y' \cdot \sin \theta + 1/\delta)^2}$$

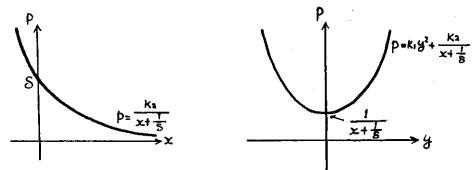


図5. 方向ポテンシャル関数 ($\theta = 0$)

この方向ポテンシャル関数を用いて方向概念を表現しようとする二つの問題が生ずる。第一に、その方向線上において、ポテンシャルは漸近的に0に近付いていく。しかし、日常的に用いられる方向概念は距離の概念を含んでいるものと思われる。この解決のために、方向ポテンシャルとばねモデルの併用を考える。即ち、距離概念をばねモデルによって与えて、ある方向の一定の距離のところを最も確からしくするようにする。この様子を図6に示す。

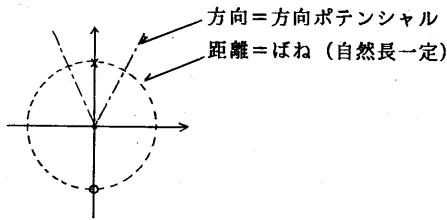


図6. 方向の概念
(方向ポテンシャルとばねモデルの併用)

別の方法として、方向ポテンシャルを用いずに、1点をとりあえず決めてしまい、そこから長さ0のばねを張るということも考えられる。しかし、この方法では距離と方向の概念が分離されておらず、たとえば方向だけが変わっても、新たに全く別個の点を取る必要が生じ、現実的でない。

第二に、先の方向ポテンシャル関数では、意図した方向と逆の方向に位置する点では、順方向の点よりもポテンシャル関数の値が小さくなってしまふ。この問題を解決するために禁止半平面という概念を導入する。すなわち、意図された方向と逆方向にある半平面を禁止半平面とし、最尤点探索過程でそこが探索されないようにする。これについては次節で述べる。

3.3 禁止半平面

禁止半平面は、1本の境界直線によって特性化される半開領域である。これは境界直線上の1点 (x_0, y_0) と、x軸の正の方向を基準としてはかった直線の傾き θ によって表される。 θ の指す方向の右側の半平面が禁止される領域である。換言すると、位置 (x, y) がこの半平面に含まれるための条件は、

$$x \sin \theta - y \cos \theta - x_0 \sin \theta + y_0 \cos \theta \geq 0$$

が成り立つことである。(境界上も禁止されるものとみなす。)

禁止半平面は不連続な拘束条件を実現する。禁止半平面の境界での不連続な変化を認めずに、ここでポテ

ンシャルを急激に変化させることにより、全体をポテンシャルで統一的に取り扱う方法も考えられるが、ポテンシャル関数が相当複雑になる恐れがあるので、ここでは、禁止半平面を導入する。

対象によって、禁止対象とならないものも有り得るので、禁止される対象は、禁止半平面毎に宣言するものとする。

禁止半平面に関して次の二つのアルゴリズムが必要となる。

(a) 禁止半平面脱出アルゴリズム:

対象が、禁止半平面中ではいつしまったときにそこから脱出させるためのアルゴリズム。

(b) 禁止半平面非訪アルゴリズム:

禁止半平面外におかれている対象が、摂動アルゴリズムによって再び禁止半平面内に入らないようにするアルゴリズム。

それぞれのアルゴリズムについて、以下に示す。

3.3.1 禁止半平面脱出アルゴリズム

禁止半平面脱出アルゴリズムは、禁止半平面の中にある対象を禁止半平面の境界に向かって移動させる。対象が境界に達すると、強制的に境界上をぬけて禁止されていない半平面へ対象を移し、本アルゴリズムは完了する。禁止半平面脱出に際し、対象を単に境界に対して垂直に移動させる方法も考えられるが、ここでは、対象に関する他の拘束条件からの影響を考慮に入れる。即ち、他の拘束条件から対象が受ける力のうち、禁止半平面の境界に対して垂直な成分は無視するが、境界に平行な成分は摂動に寄与させる。

禁止半平面が、点 (X, Y) と向き θ なる境界によって特性化される半平面であるとき、現在のアルゴリズムは、その半平面の中の位置 (x, y) に置かれた対象を5回の摂動で境界まで移動させるようになっている。各摂動における対象の移動量は、境界に平行な成分 (d_{HX}, d_{HY}) と境界に垂直な成分 (d_{UX}, d_{UY}) に分けて計算する。

(d_{HX}, d_{HY}) と (d_{UX}, d_{UY}) は次のように与えられる。

(a) 境界に平行な成分 (d_{HX}, d_{HY}) :

対象にかかっている力として表される、他の拘束条件の影響を $f \equiv (f_x, f_y)$ とする。 (d_{HX}, d_{HY}) は、 f の境界に平行な成分 (f_{HX}, f_{HY}) を定数倍したものとす。

$$F_H \equiv |(f_{HX}, f_{HY})| \text{ とすれば,}$$

$$F_H = f_x \cos \theta + f_y \sin \theta$$

であるから、その x, y 成分を求めると、

$$f_{HX} = F_H \cos \theta = f_x \cos^2 \theta + f_y \sin \theta \cos \theta$$

$$f_{HY} = F_H \sin \theta = f_x \sin \theta \cos \theta + f_y \sin^2 \theta$$

を得る。これを定数倍して、

$$d_{HX} = C(f_x \cos^2 \theta + f_y \sin \theta \cos \theta)$$

$$d_{HY} = C(f_x \sin \theta \cos \theta + f_y \sin^2 \theta)$$

を得る。

(b) 移動量の境界に垂直な成分 (d_{UX} , d_{UY}):

各振動において、対象の境界に垂直方向の移動量は、禁止半平面脱出アルゴリズムが開始されたときに対象の置かれていた位置から境界までの距離 L の $1/5$ とする。

対象のはじめの位置を (x_0, y_0) とすれば、境界との距離 L は、

$$L = |(x_0 - Y) \sin \theta - (y_0 - Y) \cos \theta|$$

である。ゆえに、

$$d_{UX} = -L \sin \theta / 5$$

$$d_{UY} = L \cos \theta / 5$$

を得る。

3.3.2 禁止半平面非訪アルゴリズム

禁止半平面非訪アルゴリズムは、対象が振動を受けた後に禁止半平面に入るかどうかをチェックする。もし入るようならば、対象を境界の反対側の禁止されていない半平面まで移動させる。そのとき、対象が禁止半平面の境界に当たった後、その境界に沿うように移動させる。

振動アルゴリズムの示唆した座標を (x, y) とする。

$$L = x \cdot \sin \theta - y \cdot \cos \theta - X \cdot \sin \theta + Y \cdot \cos \theta > 0$$

ならば、対象は振動を受けた後、禁止半平面に入り込むので、対象を (x', y') に移動させる。ただし、

$$x' = x - (1 + \epsilon) \cdot L \cdot \sin \theta$$

$$y' = y + (1 + \epsilon) \cdot L \cdot \cos \theta \quad (\epsilon \text{ は正の微小量})$$

である。この様子を図7に示す。

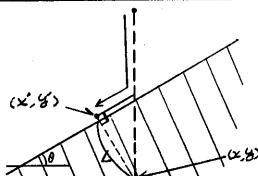


図7. 禁止半平面非訪アルゴリズムの適用

3.4 禁止線

壁は、その線にあることだけを禁止された特殊な領域と考えられる。また、何であっても壁を通り抜けることはできない。以上の考察のもとに、壁を禁止半

平面の境界だけが残ったものとしてとらえ、禁止線 の概念を導入する。

禁止線は直線 (両端のないもの)、半直線 (一端のみあるもの)、線分 (両端があるもの) のうちのいずれかである。禁止線が途切れない限り、その片側にある対象は他の側に移ることができない。

禁止線からの脱出並びに非訪については、禁止半平面のそれに準ずる。

3.5 線方向ポテンシャル

方向ポテンシャルを導入しただけではまだ「壁の前」は表現できない。そこで禁止線の片側という方向を表すために、方向ポテンシャルをさらに拡張したものと し、線方向ポテンシャルを導入する。

たとえば、両端が $(x_a, 0)$, $(x_b, 0)$ であるような禁止線の北側 ($\theta = 90^\circ$) を表す線方向ポテンシャルは次のようになる。

(a) $x < x_a$ のとき

$$P(x, y) = \{K_1 (x_a - x)^2 + K_2\} / (y + 1/\delta)$$

(b) $x_a \leq x < x_b$ のとき

$$P(x, y) = K_2 / (y + 1/\delta)$$

(c) $x \geq x_b$ のとき

$$P(x, y) = \{K_1 (x - x_b)^2 + K_2\} / (y + 1/\delta)$$

3.6 拡張された枠組みを用いた空間概念の表現
以上に述べた拡張によって、新たに表せるようになったいくつかの空間的な概念を示す。

3.6.1 方向概念

方向概念は、方向ポテンシャル、ばね、禁止半平面を組み合わせて表現される。たとえば、「北」という概念は次のように表す。

方向ポテンシャル = $\pi/2$

ばね = 一定の距離だけ離れたところが最も確からし

い

禁止半平面 = $\{(x, y) \mid y < 0\}$

(x - y 座標系の y 軸の正の方向を「北」とした。)

3.6.2 禁止領域

禁止領域は、禁止半平面の集まりを考え、その共通部分 (Intersection) によって表される凸図形である。禁止領域は閉領域または半開領域のいずれかである。ある点が禁止領域に含まれるための条件は、その点が禁止領域を構成するすべての禁止半平面に含まれることである。

禁止領域を構成する禁止半平面が表す領域のうち、

その共通部分に含まれない部分は捨てられる。このため、禁止半平面の境界は常に直線であったが、禁止領域の境界は一般に線分、または半直線になる。

禁止領域に入ってしまったときに脱出するには、それを構成する禁止半平面の一つを選び、これに対して禁止半平面脱出アルゴリズムを適用する。また、禁止半平面非訪アルゴリズムは禁止領域を構成する禁止半平面の各々に適用される。

3.7 階層性

3.7.1 階層性の導入

空間的な状況の取り扱いでは、すべての対象の位置を同時に決めなければならないような状況に遭遇することはまれである。空間的状況記述の解析の結果、対象の位置決めに関する情報が得られることが多い。たとえば、通常の文脈で、「aはbの前にある」という発話が行われるときは、bはすでに文脈に登場しており、bの位置はすでにわかっていることが多い。

我々のシステムでは、このような外部からの位置決め順序関係に関する情報を反映させるために、wrt (with respect to) ならびに need という記法を許す。たとえば、「aはbの前にある」という拘束条件は、

a : constrained wrt b,
need b,
such that is-in-front-of(a, b)

というように表される。wrt は位置決めに影響を及ぼすすべての対象に対して適用される。need はその対象の位置決め時にすでに定まっていなければならない対象に対して適用される。

ばねを張る際の wrt 及び need の関係を図8に示す。

Sをその階層での静点、Dを動点とする。

- (a) SとSの接続：ありえない。
- (b) SとDの接続：D constrained wrt S & need S
(DはSに対して下位の階層になる。)
- (c) DとDの接続：それぞれ wrt other but not need
(両者が同一階層内にあることになる。)

図8. ばねと階層関係

needによる位置決め順序関係によって対象の間に階層性が与えられる。xの位置がyの位置を決める際に必要(need)であるとき、対象xが対象yの上位階層にあるという。

階層関係が与えられても、位置決めは単純に上位の階層から一方向になされるとは限らない。場合によっては、下位の階層までの位置決めを行った後に上位の

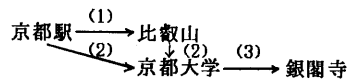
階層を修正する必要が生ずることがある。

図9に階層的な位置決め例を示す。

・入力文章

- (1) 比叡山は京都駅の北にあります。
- (2) 京都大学は比叡山と京都駅の間にあります。
- (3) 銀閣寺は京都大学の東にあります。

・位置決め順序



・結果

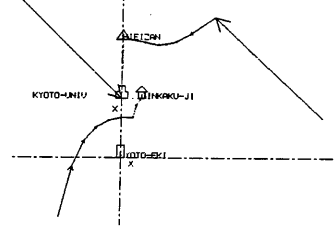


図9. 階層的な位置決め適用例

3.7.2 階層の崩壊

前節で定義した階層は、必ずしも安定ではない。位置決め順序関係が異なる階層間のループを含めば階層関係が崩壊する。したがって、階層の崩壊が生じた場合、ループのある対象を含む階層を一つにまとめてしまう方法と、ループの一部を修正して、階層関係が崩れないようにする方法が考えられる。前者は、実現は簡単であるが、計算量が増加する。後者は、計算量は増えないが、意味が変わってしまう恐れがある。たとえば、次のような例を考える。

- Aの東にBがある。 (Aを固定して、B)
- Bの西にCがある。 (Bを固定して、C)
- Cの西にAがある。 (Cを固定して、A)

この状況は実現可能にも関わらず、ループをなしている。そこでまず階層を壊すことを考える。A、B、Cの階層を分けて考え、そこに親子関係をつけた結果、この現象は起こったので、階層を外して、1つの階層にまとめ直して考える。この場合の問題点は、階層を作らずに方向を表現する方法とその階層内での位置決めをどのように行うかということである。また、場合によっては相対的位置関係だけしか明らかにならないときもある。次にループを壊すことを考える。一階層内で閉じているようなループは考えにくいので、ループのどこか一部を壊して、階層間にまたがるループを破壊する。先の例の場合、最後の言明に注目し、

Cの西にAがある。 → Aの東にCがある。
 とする。このときの問題は、このような書換え規則の
 形と適用方法である。視点を問題にすると「Aの東に
 B」と「Bの西にA」は必ずしも同じではない。

4. 処理の流れ

システム全体の処理の流れを図10に示す。(自然言
 語との接続部は現在作成中である。)

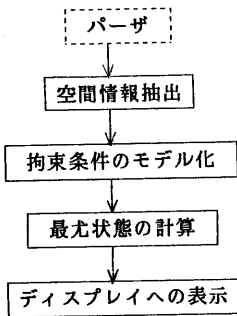


図10. 処理の流れ

次に最尤状態の計算のアルゴリズムを示す。

- (1) 状態の初期化。
- (2) 初期モデル構築。
- (3) 参照可能ノード (決定済みノード) のリストを作る。
- (4) 1つの階層の処理
 - 階層内の各ノードについて以下の計算をする。
 - (a) つながっているばねの寄与
 - (b) 影響を受ける方向のポテンシャルの寄与
 - (c) 禁止されている領域に関する処理
 - (c-1) 禁止領域に入っている場合
 - (c-2) 境界上にいる場合
 - (c-3) 禁止領域に入ろうとしている場合
 階層内のノードがすべて決定済みになるまでこれを繰り返す。

だんだん階層を下げていって、すべてのノードが決定済みになるまで行う。

5. まとめ

本論文では、空間的な概念の取り扱いに関して、連続ポテンシャル場の概念を用いて、解釈の段階に応じて拘束条件を統合した上で、モデルの表現能力としては、漠然性を取り扱い得る方式について述べた。

ポテンシャルを用いた本方式の有効性は、位置推定の全過程を通じて確かめられなければならない。現在、

本方式にしたがった空間状況記述解析システムを作成し、改良を重ねている。

本論文で詳しくは、ふれなかった問題にフィードバックの効果がある。下位の階層において、より上位の階層で作成したモデルの変更を要求する場合について、考察中である。

また、これからの課題としては、離散的な選択の可能性 (曖昧性の問題) が生じたときに、本方式ではどれか一つに仮に決めてモデルを構築していくが、その一つが崩壊したときに別の可能性に移行できるような、平行世界の管理の問題が考えられる。

参考文献

- (1) Barwise, J. and Perry, J., Situations and Attitudes, The MIT Press, 1983.
- (2) Davis, E., Organizing Spatial Knowledge, Report 193, Yale University, 1981.
- (3) Novak Jr., G. S., Representations of Knowledge in a Program for Solving Physics Problems, in Proc. IJCAI-77, 1977, 286-291.
- (4) 岡田, 田町, 自然語および図形解釈のための単純事象がい念の分析および分類, 電子通信学会論文誌, Vol. 56-D, No. 9, 523-530, 1973.
- (5) 岡田, 田町, 図形の意味解釈とその自然語記述 - 要素的図形認識と構造分析, 電子通信学会論文誌, Vol. 59-D, No. 5, 323-330, 1976.
- (6) Okada, N., Towards a Unified Understanding of Natural Language and Picture Patterns, in Proc. Intl. Sympo. on Language and Artificial Intelligence, Kyoto March 16-21, 1986.
- (7) 山田, 西田, 堂下, 初等力学問題文における空間的状況記述理解, 情報処理学会第33回全国大会予稿集, 1986, 3L-3.