波動場に於ける自律機械群に関する基礎研究

4R－9

－積木問題へのアプローチ－

横井浩史（北大工），嘉数侑昇（北大工）

1．はじめに

積み木問題は記号処理の立場から多くのアプローチがなされてきた代表的な計画問題の一つである．そこでのアプローチは，問題を簡略化するために問題に含まれる物理的制約条件を無視し，記号論による探索問題を対象としていた．しかしながら，無視された物理的制約条件の中には，問題を解くうえで不可欠な要素が存在する．例えば，個々の積木の形状，積木間の相互作用，および，重力の影響などである．ここでは，これらの要素を考慮したうえで積木問題へのアプローチを試みる．そこで，複数の積木（ここではユニットと呼ぶこととする）の物理的相互作用と情報処理を分散処理システムとして実現するために，自律機械群のモデルとして表現することを試みる．また，このモデルを利用して，積木問題へのアプローチを図る．具体的には，各ユニットの行動を制限するルールを波動場によって表現し，このルールを用いることにより，問題の解空間を探索する．

2．積木問題

積木問題は，従来より記号論理による推論を用いて問題解決が試みられている計画問題であり，特にSTRIPSシステム[1]が有名である．これら従来の手法は大きくは次のような処理である．

1)積木の物理的制約条件をできるかぎり無視して，問題を記号のリスト群として扱っている．

2)さらにこれらリストの変遷規則を状態遷移規則として定義したうえで，この状態遷移規則により到達可能な状態をすべて列挙し全ての場合の状態のTreeを作る．

3)このTreeを探索するすることにより目的とする解を見つけることで問題解決を行なう．

上記の処理では大前提として，”状態は都合よく離散化されること”と”物理的な制約は無視できる”ことの２点をおいている．しかし，実際には状態は連続であり，無視できない物理的制約も存在する．そこで，ここでは，

a)状態は連続

b)積木の形状，積木間の相互作用，

c)重力の影響

これらを考慮した問題へアプローチすることを試みる．

A Study on Autonomic Machines in the Vibrating Potential Field - An Approach to Autonomic Building Block Problem -
Hiroshi YOKOI, Yukinori KAKAZU
Faculty of Engineering, Hokkaido University

3．自律機械群のダイナミクス

3.1.エントロピー増加量最小化

ここで設定する自律機械群全体を支配する力学系の大きな枠組みとして生体の力学の概念を導入することを試みる．すなわち，生体の研究においては，古くから生体を熱力学的システムとしてとらえることにより，生体内部に発生するエントロピー増加量を最小化する方向に動く力学が存在することが提唱されている．そこで，機械群を生体群として考えて，その全エントロピーを(1)式，力学を(2)式のように設定する．これから，目的関数は(3)式のように設定できる．

$$\xi = E + Q + P \tag{1}$$

$$\frac{d\xi}{dt} = \frac{dE}{dt} + \frac{dQ}{dt} + \frac{dP}{dt} \geq 0 \tag{2}$$

$$\mathrm{Min}\left\{ \frac{dE}{dt} + \frac{dQ}{dt} \right\}, \mathrm{Max}\left\{ \frac{dP}{dt} \right\} \tag{3}$$

ここで，変数はそれぞれ，x：設定した系の全エントロピー，E：ユニット群に流入するエントロピー，Q：ユニット群内部のエントロピー，P：ユニット群から流出するエントロピーとする．

3.2.数理モデル

フレームとして導入した数理モデル[2]はユニット（積木）同士の相互作用とその他の機能素子（部品）の相互作用を波動場を導入することにより統一的に扱うことを目的として以下に述べるような数理モデルとして構築できる．この数理モデルは各素子に働く相互作用力が素子の重心と向きに対して影響する場合を取り扱っている．そこでは，素子の集合体をユニット，又は組織体としてきた．対象とする波動場Hは各素子の張る三次元のポテンシャル場からなり，(4)式とする．各素子は，このように設定された様式にしたがって情報を受け取ることによってその状態量である運動量と角運動量を決定する．

$$H(\boldsymbol{r}_{ij}, \theta_{ij}) = \sum_i \sum_j h_{ij}\psi_{ij} + \sum_i \sum_j w_{ij}\chi_{ij} \tag{4}$$

ラグランジの運動方程式

$$\mathbb{L} = \frac{1}{2}\sum_i \frac{\boldsymbol{p}_i^2}{m_i}\psi_p + \frac{1}{2}\sum_i \frac{\boldsymbol{q}_i^2}{I_i}\psi_q - \left(H(\boldsymbol{r}, \theta)\right) \tag{5}$$

ラグランジの運動方程式を解くことにより運動量 $\boldsymbol{p}$ および角運動量 $\boldsymbol{q}$ は(6)-(7)式で求められる．

$$\boldsymbol{p}_i = -\frac{\oint H(\boldsymbol{r}, \theta)\, \psi_i \, d\phi}{\partial \dot{\boldsymbol{r}}_i} \tag{6}$$

$$q_i = \frac{\oint H(\boldsymbol{r},\theta)\,\psi_i\,d\phi}{\partial\dot{\theta}_i} \tag{7}$$

各ユニット座標軸は(8)-(9)式の波動方程式で与える．

$$\frac{\kappa}{2}\frac{d\zeta^2}{d\phi^2}+E_{ij}\zeta = 0,\quad (\zeta = \psi_{ij}, \chi_{ij}, \tau_{ij}) \tag{8}$$

$$\zeta_{ij}(\phi) = 0,\ (|\phi|=a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}) \tag{9}$$

ここで，変数はそれぞれ，，H：波動場の環境変数，r：位置ベクトル，q：方向ベクトル，h：ユニット支配関数，w：ユニット波動，ψ：ユニット支配関数に対するユニット座標軸，χ：ユニット波動に対するユニット座標軸，𝕃：設定した系のラグランジアン，*p*：運動量ベクトル，*q*：角運動量ベクトルとする．

4.問題解決の流れ

本数理モデルに於ける問題解決の流れは，まず提示された問題をエントロピーとポテンシャル関数形式に変換され数理モデル内に与る．この時数理モデルはエントロピー増加量を最小にするように情報処理を行ない解を生成する．さて，本数理モデルを積木問題へ適用することを試みる．そのために以下の4項目を設定する．

1) 積木群の状態遷移を連続関数によって定義するために，目標ユニットの周辺の場の減衰項を調整できる関数Uを用意する．

$$U_k(\boldsymbol{V},\boldsymbol{A}_i,\boldsymbol{B}_i) = \left(\lambda_V \boldsymbol{V} + \sum_i \lambda_{A_i}\int \boldsymbol{A}_i\psi_A + \lambda_{B_i}\int \boldsymbol{B}_i\psi_B\right) \times \left(\sum_i \exp(-|A_i + (f_{B_i} - f_{A_i})|)\right) \tag{10}$$

ここで，第一項は周囲の状況を観測する項であり，第二項は目標の満足度にしたがって変化する項である．Vは目標ユニットから周囲の場へのベクトルとし，Aiは目標ユニットより他の目標ユニットへのベクトル，Biは目標ユニットから積木群へのベクトルをそれぞれ表わしている．また，fはユニットの固有振同数を表わす．λは定数ベクトルとする．

2) 減衰項C

$$C(x,y) = \left(1 - \sum_i U_i(\boldsymbol{V},\boldsymbol{A}_j,\boldsymbol{B}_j)\right)^{-1} \tag{11}$$

10),11)式よりブロックが目標に一致するほど目標の周囲は減衰項が大きくなり，目標からの波動は伝播しなくなる．

3) ユニットの動作に関する優先度は波動場の強度の順に手続き的に決定されるものとする．

4) 目標状態は波源の位置で与える．

これらの設定の下で本モデルを積木問題へ適用し，その過程を計算機シミュレーションにより示す．

計算機実験A

初期状態を図2a)として目標地点に波源をセット．対象とするユニットは長方形とし3個セットした．このような前提の下でシミュレーションを実行した結果e)のように積み上げることができた．

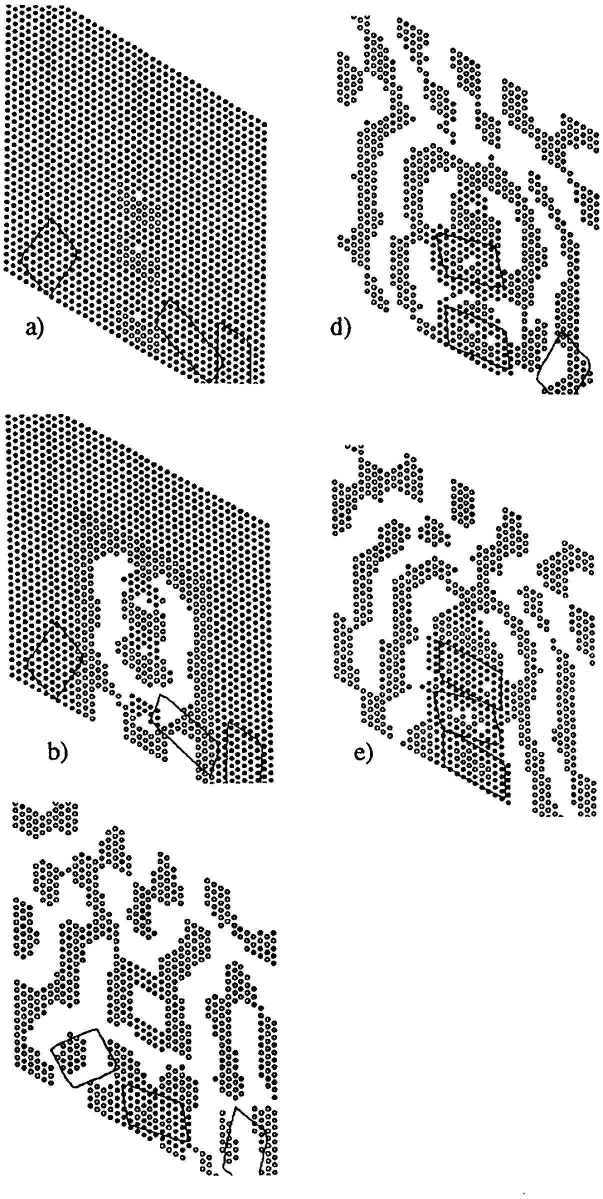

図2．積木問題のシミュレーション

5.まとめ

積木問題の解法のために自律機械群の挙動を表現する数理モデルを用い計算機実験で動作確認を行なった．また，これにより分散管理されたユニット群による自律的積木問題解決の可能性を示した．

参考文献

1)Nilsson,N.J.:Principles of Artifical Intelligence, Tioga Pub. Co.,1980.

2)横井，嘉数；自律機械群の挙動に関する基礎研究-機械群の自律的構造形成-，ロボティクス・メカトロニクス講演会’91，論文集vol.A P183.