

離散記憶項目の構造形成—波動場モデルによるアプローチ—

7F-2

山田孝治 横井浩史 嘉数侑昇

北海道大学

1. はじめに

人間のように柔軟な知識処理は大量なデータを扱う上で新しく情報処理に必要とされている要素のひとつである。ここでは人間の知識の動きに着目することで波動場を知識間相互作用の場と考え、波動場におけるユニット群の力学的特性に基づいた知識処理機構を構築することを目的とする。従来PDPによる記憶モデルでは学習による知識獲得を行ってきたが、追加学習や、ネットワークへのユニットの追加等の困難さの問題を持っている^[1]。一方、生命体モデル構築の研究にはじまる場の相互作用モデルでは、波動表現されたユニットが構成する波動場 (Vibrating Potential Field, VPF) を利用することで、波動関数による統一的な系の記述が可能となり、波動情報の多重性、構成要素の独立性、拡張性が期待できる^{[2][3]}。^[4] 本研究では場の相互作用を人間の知識処理に適用し記憶のモデル化を行う。以下では波動場上に定義したポテンシャル関数で構成されたユニットをひとつの記憶項目とし、その項目間相互作用を利用した記憶モデルを考える。現在、項目間の関係はあらかじめ与えることにより陽に表現されていた^[5]。本発表では、入力されたキー情報に基づいて自己組織的に構造を形成する波動場ユニット群による記憶モデルを提案する。

2. 波動場 (VPF) モデル

波動場モデルでは、その構成要素となるユニットおよび扱う情報を、固有のポテンシャル関数および出力波動関数で表現し、それらの重ね合わせにより構成されるひとつの波動場を考える。ユニットはその場における特定の波動を観測することで他のユニットとの情報交換を行う。これによりユニットは不特定多数のユニットと通信可能となる。ここではこのモデルをVPFモデルと呼ぶ。以下ではVPFモデルの基本式を記述する。まずVPFは、ユニットの特徴を表す固有波動 ψ および χ 上に張られたポテンシャル関数により構成される。波動場 H を環境を表す変数として、

$$H(\mathbf{r}, \mathbf{n}) = \sum_i \left\{ \sum_j h_{ij}(\mathbf{r}, \mathbf{n}) \psi_{ij}(\mathbf{v}) + \sum_k w_{ik}(\mathbf{r}, \mathbf{n}) \chi_{ik}(\mathbf{v}) + \sum_m g_{im} \phi_i(\mathbf{v}) \phi_m(\mathbf{v}) \right\} \quad (1)$$

ここで h_{ij} : ユニットのポテンシャル関数,
 w_{ij} : ユニットの場への出力波動関数,
 \mathbf{r} : 位置ベクトル, \mathbf{n} : 方向ベクトル,
 ψ, χ : 固有波動, ϕ : ユニット間通信波動.

ユニットの動作はラグランジュの運動方程式により運動量 p , 角運動量 q が求められる。

生体内部のエントロピー増加量を最小化するという生体のメカニズムの熱力学的挙動とのアナロジーから、ユニット群近傍の全熱量 ξ , エントロピー S として

$$dS = \frac{d\xi}{T(P)}, \quad (\xi = E + Q + P) \quad (2)$$

ここで E : ユニット群への流入熱量,

Q : ユニット制御量によるエネルギー,

P : ユニット群からの流出エネルギー.

目的関数は、このエントロピー増大化を最小にすることであり、

$$\frac{dS}{dt} = \frac{d(E+Q+P)}{dtT(P)} \geq 0 \quad (3)$$

に関して dS/dt を最小化することである。すなわち、

$$\text{Min} \left(\frac{dE}{dt} + \frac{dQ}{dt} \right), \quad \text{Max} \left(\frac{dP}{dt} \right), \quad (4)$$

を満たすようにユニットは動作する。

ユニットのポテンシャル関数は

$$h_{ij}(\mathbf{r}, \mathbf{n}) = \sum_n \frac{(-1)^n B_n(\mathbf{r}, \mathbf{n}) \cdot q_n}{\alpha_n + (\mathbf{r} - \mathbf{r}_{ij})^{2n/k_{ij}(\mathbf{r}, \mathbf{n})}} \quad (5)$$

で記述する。 $B_n(\mathbf{r}, \mathbf{n})$ はユニットの形状および相互作用を決定する関数である。ユニットは $k_{ij}(\mathbf{r}, \mathbf{n})$ により場の状態を観測し、出力波動 $w_{ij}(\mathbf{r}, \mathbf{n})$ を決定する。

$$k_{ij}(\mathbf{r}, \mathbf{n}) = k_0 + \frac{k_1}{2\pi} \left| \frac{d}{dt} \oint H(\mathbf{r}, \mathbf{n}) \chi_{ij}(\phi) d\phi \right| \quad (6)$$

$$w_{ij}(\mathbf{r}, \mathbf{n}) = B_n(\mathbf{r}, \mathbf{n}) W^{|\mathbf{r}_{ij} - \mathbf{r}|} \exp(j\omega_0 |\mathbf{r}_{ij} - \mathbf{r}| - \eta t), \quad (7)$$

ここで k_0 : 基準値, n, α_n, k_1, η : 定数.

3. 記憶モデル

記憶された知識概念は記憶項目とその間の関係により表現する. ここでは記憶項目は離散的にユニットで表現され, 固有のポテンシャル関数と波動関数を持つと仮定し, ユニットの固有波動の違いによりその属性を表現する. また同じ固有波動によるユニット群で構成された波動場を属性場とする. 項目間関係はユニット間通信波動 ϕ を出力することによって異なった属性との相互作用を表現する.

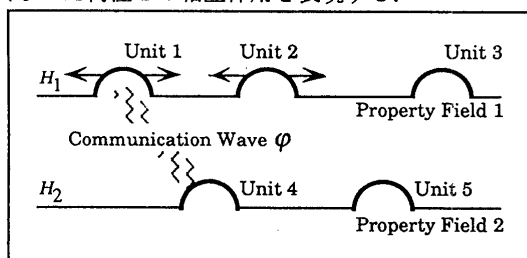


図1 波動場とユニット (1次元)

想起は波動場において特定のユニットを検索キーとして, 検索波動を発生させる. 想起過程は想起される記憶項目ユニットの検索キーユニットへの距離の最小化である. まず検索波動が届く検索範囲内の相当する記憶項目が想起すなわちキーユニットへの漸近運動を始める. ユニットの通信波動により他の属性の項目の連想を行う.

4. 実験

2次元波動場における簡単な実験を行った. ポテンシャル関数が, 5サイズ, 4形状で表されるユニットを用意し, 特定のユニットの想起過程とユニット群の検索波動に対する構造化の様子をみる. 図2に実験結果を示す. 図2-Aでは中心に位置する円形のユニットを検索キーユニットとして長方形ユニットを想起している. 長方形ユニットは三角形ユニットと作用することで, 三角形ユニットの連想が行われている. 検索波動に対し想起に関係ないユニットが障害となっているが回避できている. その際, 想起ユニットの運動エネルギーを受けることでも回避運動を行っている. 図2-Bでは記憶項目すべてを想起するような検索波動を出力した場合である. キーユニットの初期位置は図2-Aと同様であるが, 想起されるユニット群により移動している. しかし, 想起ユニットは追従しキーユニットと想起ユニットとの位置関係すなわち構造を維持し続けていることがわかる.

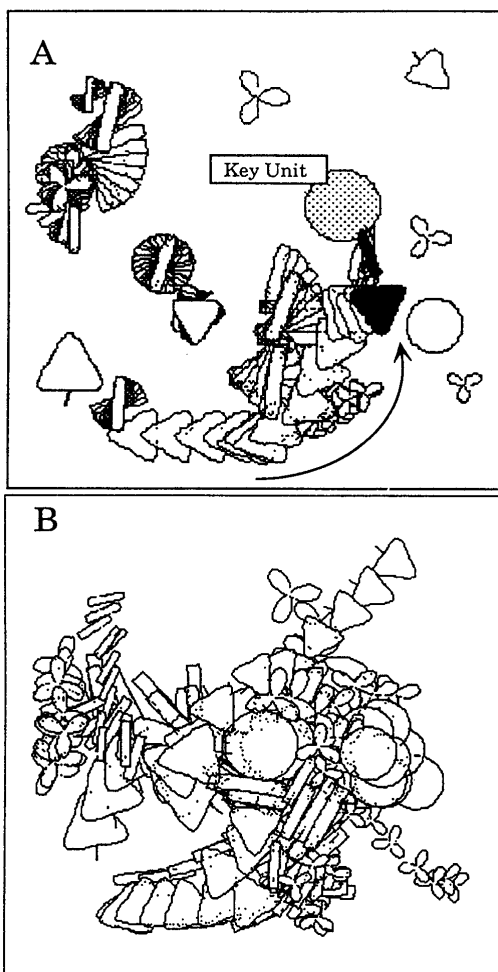


図2 2次元波動場における想起

5. おわりに

波動場において表現された離散記憶項目の想起とその項目間関係の構造化の形成を簡単な実験によって示した.

参考文献

- [1]例えば, 小谷津孝明(編): 認知心理学講座2—記憶と知識, 東京大学出版会(1985).
- [2]横井, 嘉数: 生命体モデル構築に関する基礎研究—波動場に於ける情報交換—, 信学技法, NLP92-31 pp1-8, (1991).
- [3]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化形成—, 日本機械学会ROBOMEC'91講演論文集, Vol. A, pp.183-186 (1991).
- [4]山田, 横井, 嘉数: 波動場における知識表現と想起システムに関する基礎研究, 日本機械学会ROBOMEC'92講演論文集, Vol. B, pp.7-10 (1992).
- [5]山田, 横井, 嘉数: 波動場における離散化記憶項目の想起, 信学秋全大(1992).