7D－1

並列接続ユニットによる記憶情報表現に関する基礎研究

－生命体モデルによる情報伝播表現と学習則定義　－

横井浩史　（北大工），嘉数侑昇　（北大工）

1. はじめに

工学的視点から記憶に関する多くの研究[1,2,3]がなされてきたが，ここでは新しく，ユニット間結合を考慮した生命体モデルによって与えられるネットワークによる並列接続ユニット構造を考え，記憶情報を並列接続ユニット構造内の調和振動の重ね合わせによって表現することを試みる．

知識情報処理を行なうネットワークの代表的なものとしてニューラルネットワークがある．ニューラルネットワークは，生体の能力の分散的情報処理機構を参考にして構築されたものであり，高度な記号列認識機能を持つ有効な情報処理手法である．

ところで，生体の情報処理においては絶対的な距離情報が重要な位置を占めているが，ニューラルネットワークではこれを扱うことは困難である．そこで，この位置情報をも処理対象とすることを目的としてネットワーク内に伝播する情報を波動によって表現することを試みる．さらにこれらの情報を表現するフレームとして，これまでに構築してきた生体モデルを用いる．ここで，情報を波動によって表現することは，外界（環境）の三次元情報を中枢神経系内で一次元情報の位相差結合に落とすことであり，生命体モデルとは，生体内の部分機能を数理的にモデル化を行なったものである．生命体モデルに於てユニットとは，一つの機能単位としていて，それぞれのユニットはそのユニットが持つ諸機能の一つとして場の状態に応じて結合子を生成/消滅させる機能を有する．結合子はユニットから他のユニットへの結合と情報伝播の媒体として生命体モデル内に表現されている．

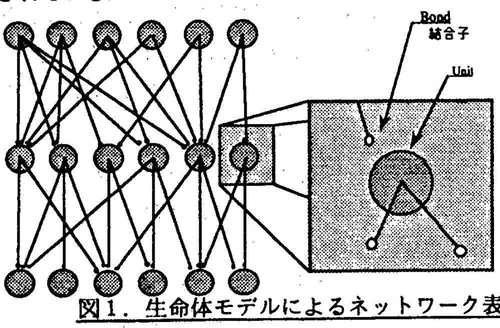


図1．生命体モデルによるネットワーク表現

2. 一次元波動方程式

まず，ネットワーク内を伝播する波動は減衰を考慮した一次元の波動方程式で代用できて，（１）式の様に与えるものとする．

$$\frac{\partial^2 x_i}{\partial t^2}=\frac{\omega_i^2}{k_i^2}\left(\frac{\partial^2 x_i}{\partial s^2}+\frac{\partial x_i}{\partial s}\right) \qquad (1)$$

（１）式から状態量qの一般解は（2）式のように求められる．

$$X(s,t)=\sum_{n=1}^{\infty} A_n \exp\left(i(\omega_n t-k_n s+\Delta_n)\right)+B_n \exp\left(i(\omega_n t+k_n s+\Delta_n)\right) \qquad (2)$$

状態量Xはこのように調和振動の重ね合わせとなる．

さらに，状態量Xが進行波のみで定義され，他のユニットの結合子からの入力波形を初期条件および境界条件として持つ場合には，A：振幅，ω：振動数，k：波数，Δ：位相差，はそれぞれ（３）－（10）式の処理を入力される結合子の個数分実行することによってえられる．まず，（３），（４）式のI_f,I_bは他のユニットの結合子からの入力波形であり，Qはユニットの出力波形である．

$$I_f=A_f\exp(i\theta_f),\quad \theta_f=\omega_f t-k_f s+\Delta_f \qquad (3)$$

$$I_b=A_b\exp(i\theta_b),\quad \theta_b=\omega_b t-k_b s+\Delta_b \qquad (4)$$

$$Q=A\exp(i\theta),\quad \theta=\omega t-ks+\Delta \qquad (5)$$

$$A^2=A_f^2+A_b^2-A_fA_b\cos(\theta_f-\theta_f) \qquad (6)$$

$$\theta=\tan^{-1}\left(\frac{A_f\sin(\theta_f)+A_b\sin(\theta_b)}{A_f\cos(\theta_f)+A_b\cos(\theta_b)}\right) \qquad (7)$$

$$\omega=\frac{\partial\theta}{\partial t}=\frac{1}{1+\tan^2\Delta}\left[\frac{\partial\tan\theta}{\partial t}\right]_{\theta=\Delta} \qquad (8)$$

$$k=\frac{\partial\theta}{\partial s}=\frac{1}{1+\tan^2\Delta}\left[\frac{\partial\tan\theta}{\partial s}\right]_{\theta=\Delta} \qquad (9)$$

$$\Delta=\tan^{-1}\left(\frac{A_f\sin(\omega_f t_1-k_f s_1+\Delta_f)+A_b\sin(\omega_b t_1-k_b s_2+\Delta_b)}{A_f\cos(\omega_f t_1-k_f s_1+\Delta_f)+A_b\cos(\omega_b t_1-k_b s_2+\Delta_b)}\right) \qquad (10)$$

ここで，t_1：時間経過量，s_1,s_2：各結合子の経路長としている．

3. 生命体モデル

フレームとして導入した生命体モデル[4,5,6]はユニット同士の相互作用とその他の機能素子（プリミティブ）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プリミティブに働く相互作用力がプリミティブ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，プリミティブ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は各プリミティブの張る三次元のポテンシャル場からなり，各プリミティブは，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位置ベクトルと方向ベクトルを決定する．

$$H(r_{ij})=\sum_i\sum_j h_{ij}\psi_{ij}+\sum_i\sum_j w_{ij}\chi_{ij}+\sum_i\sum_j d_{ij}\tau_{ij} \qquad (11)$$

(11)式で，Hは場の環境変数，h_{ij}はプリミティブ支配関数 rは位置ベクトル，W_{ij}はプリミティブが場に対して出力する波動，dijは生成物濃度　ψ_{ij},χ_{ij},τ_{ij}は情報交換軸である．

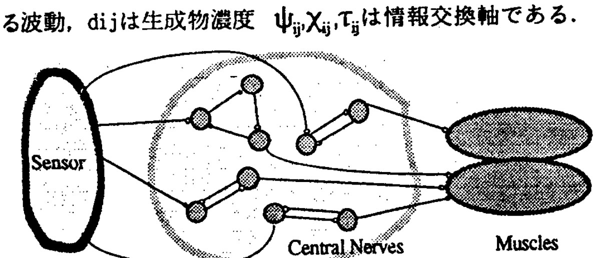


図2．神経組織による情報変換

A study on expression of memorized information
by parallel connected units.

Hiroshi YOKOI, Yukinori KAKAZU
Hokkaido University

4. 結合子の表現形

さらに，プリミティブの支配関数の標準型は次のように設定できる．

$$h_{ij}(r)=a_{ij}(r)+b_{ij}(r)+c_{ij}(r)+d_{ij}(r) \tag{12}$$

$$a_{ij}(r)=\sum_i \frac{(-1)^n B_{ijn}(n_{ij},r_{ij})\cdot q_{ijn}}{\alpha_n+(r_{ij}-r)^{\frac{2n}{k_{ij}}}} \tag{13}$$

$$b_{ij}(r)=\frac{\beta_1}{k_{ij}-K(r-\beta_1)^2} \tag{14}$$

$$c_{ij}(r)=\frac{S_i}{k_{ij}|\gamma+|r-r_{ij}|^2)} \tag{15}$$

$$d_{ij}|r|=\frac{m_i}{\delta+(r-r_{ij})^2} \tag{16}$$

ここで，$\alpha_n,\beta_1,\beta_2,\gamma,\delta$は，初期設定時の定数である．

この時(12)-(16)式の定数は，それぞれ(17)-(20)式のように表している．

$$q_i=(q_{1i},0,0,0,0) \tag{17}$$

$$K_i=(0,q_{2i},0,0,0) \tag{18}$$

$$S_i=(0,0,q_{3i},q_{4i},0) \tag{19}$$

$$m_i=(0,0,0,0,q_{5i}) \tag{20}$$

$$Q_i=(q_{1i},q_{2i},q_{3i},q_{4i},q_{5i}) \tag{21}$$

$$k_{ij}=k_{ij}^0+\frac{k_1}{2\pi}\left|\frac{d}{dt}\int H(r)\chi_{ij}d\phi\right| \tag{22}$$

$$w_{ij}(r)=W^{|r_{ij}-r|}\cos(\omega_{ij}|r_{ij}-r|-kt) \tag{23}$$

ここでQ_iは結合の強度を表す定数，k^0_{ij}はk_{ij}の基準値，wは減衰定数，kは端数，$B_{ijn}(n_{ij},r_{ij})$はプリミティブの形状を決める影響係数である．

プリミティブが結合子となるためには(24)式

$$q_{3i}=-q_{4i} \tag{24}$$

正の結合子：$q_{3i}>0$

負の結合子：$q_{3i}<0$

としている．このように設定することにより，結合が表現できる．さらに，結合の切断の機能は，プリミティブ間の結合力が歪振動の強度に依存することを利用して，各ユニットが発生する歪振動の減衰定数を(25)式とすることで特定のモードを持った結合切断の能力を表現している．

$$W_{ij}=\frac{w}{\nu+\frac{(r-r_{ij})^2}{k_{ij}}} \tag{25}$$

5. 学習によって変化する結合子のパラメータ

ここで扱う結合子のパラメータには3種類あって，それらは結合の強さ q，情報Xの減衰率 C，結合子の長さ（経路長）Sである．結合の強度は（26）式にしたがってその結合子の持つ情報量に依存して増減するとしている．

$$\frac{dq}{dt}=\int |X|dt \tag{26}$$

結合子の経路長は特に，結合がループを形成した場合にのみ共振周波数を特定できるので（実験図5）（27）式に従い，この共振周波数ω_1と他のユニットから望まれる周波数ω_1の差に依存するとしている．

$$\frac{ds}{dt}=\omega_1-\omega_2 \tag{27}$$

これらの学習によって，機能分化によりセンサーと筋肉の間にできた神経組織が情報の選択とフィルタリングを行なうことができることとなる．さらに，この神経組織が全ユニットの行動決定に任意性を持たせたことになる（図2）．

6. 計算機実験

数理モデルに基づいて計算機シミュレーションによって，ユニット群の特定の周波数に対する挙動，結合/結合の切断，波動の伝播，の様式を表現している．

7. まとめ

並列接続ユニット構造を生命体モデルによって表現した．この構造内における情報伝播様式を簡単な調和振動に対して計算機実験を行ない，シミュレーションによってこの数理モデルによって，結合子とユニットがループを形成した場合に特定の周波数に対してフィルタリング機能があることを確かめた．

8. 参考文献

1) T.Kohonen(1988);Self-organization and associative memory, Springer-Verlag.

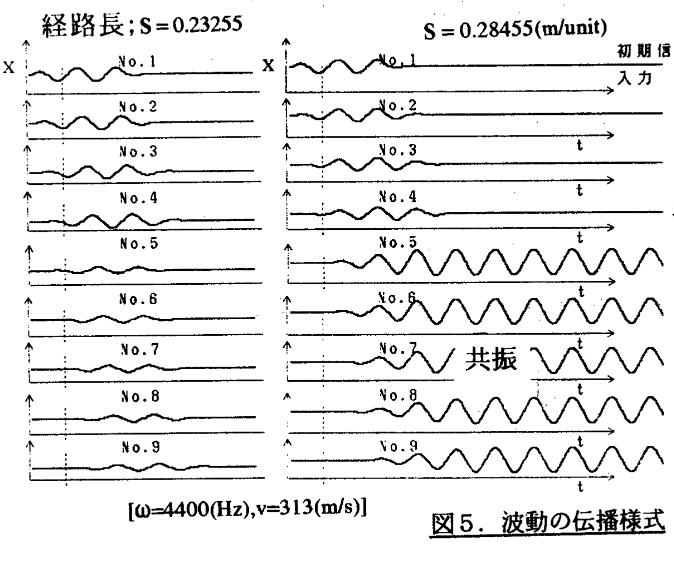
2) D.E.Rumelhart,J.L.Mclelland(1986); Parallel Distributed Processing, 1,2,MIT Press.

3) R.L.Klatzky(1980);Human memory,2nd ed,Freeman.

4)横井，嘉数；生命体モデル構築に関する基礎研究（高エネルギー場における粒子群の挙動シミュレーション），昭和63年電気関係学会北海道支部連合大会　P.293

5)横井，嘉数；生体の環境適応モデル構築に関する基礎研究，情報処理学会　1989秋期全国大会

6)横井，嘉数；生命体モデル構築に関する基礎研究（結合の記述），情報処理学会　1990秋期全国大会



[ω=4400(Hz),v=313(m/s)]

図5．波動の伝播様式

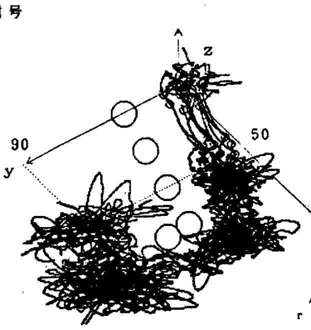
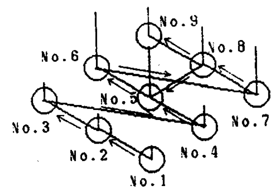


図3．ユニット群の特定の周波数に対する挙動



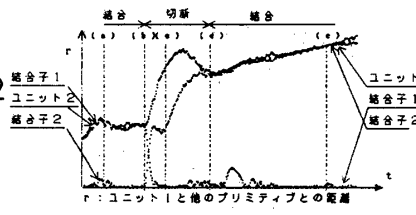


図4．結合と結合の切断