

# ヒューマノイドロボットの心理モデルの構築 - 自己組織化マップを用いたコード化モデルの導入 -

○伊藤加寿子 (早稲田大学理工学部)

今西一剛 難波伸広 齊藤稔 (早稲田大学大学院)

Massimiliano Zecca (早稲田大学 先端科学・健康医療融合研究機構 生命医療工学研究所)

三輪洋靖 (独立行政法人 産業技術総合研究所 デジタルヒューマン研究センター・

早稲田大学 先端科学・健康医療融合研究機構 生命医療工学研究所・

早稲田大学 ヒューマノイド研究所)

高信英明 (工学院大学工学部・早稲田大学 ヒューマノイド研究所)

高西淳夫 (早稲田大学理工学部・早稲田大学 ヒューマノイド研究所)

## Construction of the Mental Model for Humanoid Robots - Introduction of Encoding Model Using Self Organization Map -

\*Kazuko ITOH, Kazutaka IMANISHI, Nobuhiro NANBA,  
Minoru SAITO, Massimiliano Zecca: Waseda University  
Hiroyasu MIWA: AIST, Waseda University  
Hideaki TAKANOBU: Kogakuin University  
Atsuo TAKAMISHI: Waseda University

**Abstract** — A conventional robot can show just one of behaviors defined by a user in response to a stimulus, though human behavior in response to a stimulus depends on the mood at the time. At first, it is necessary for a humanoid robot to store new information by itself. Therefore, we proposed an encoding model by using the self organizing map. The memory model with the encoding model and co-associative memory developed in 2004, allowed a humanoid robot to store information about a stimulus and generate the behavior in response to the stimulus depending on the mood.

**Key Words:** Neural Network, Associative Memory, Humanoid Robot

### 1. はじめに

演者らは、ニューロンの内部状態が調和振動子の運動方程式に従って変化し、ニューロン同士がカオス的な力で相互作用する相互結合型ニューラルネットワークについて研究しており、これまでに、2組のネットワークの作成し、それらの同じ位置のニューロン同士が結合している新しいタイプのネットワークを構築した[1]。そして、それぞれのネットワークに異なったパターンを記憶させ、連想記憶問題に適用した結果、それぞれのネットワークがもう一方のネットワークに記憶させたパターンを想起できることがわかった。一方、近年人間との共存が可能なパーソナルロボットの開発が盛んに行われている。従来のロボットはある刺激に対する認識が一意的で、決められた行動しかすることができないが、パーソナルロボットには、人間と同じようにコミュニケーションをとり、自分自身の経験に基づいて行動を決定するといったことが求められる。そこで本研究では、演者らの開発したニューラルネットワークの適用方法の1つとして記憶モデルを構築し、ロボットが自分自身の記憶を参照し、同じ刺激に対してもそ

のときの気分にあった認識と行動を可能とすることを目的とした。人間の記憶は、コード化、保存、想起という3つの過程から構成されているが、本モデルも同様に、コード化モデル(コード化・保存)、相互連想記憶モデル[2](想起)によって構成されている。本稿では、従来の心理モデル、2006年に新しく考案したコード化モデル、相互連想記憶モデル、記憶モデルを情動表出ヒューマノイドロボットWE-4RII(Waseda Eye No.4 Refined II)[3]-[5]へ導入した結果について述べる。

### 2. 従来の心理モデル

2004年までに開発された心理モデル[4][5]では、Fig.1のような覚醒-不覚醒、快-不快、確信-不確信の3軸からなる心理空間を提案し、心理空間内に式(1)のような情動ベクトル $\mathbf{E}$ を定義した。ここに、喜び、怒り、驚き、悲しみ、恐れ、嫌悪、無表情の7種類の情動をマッピングし、情動ベクトルが通過している領域の情動をロボットが表出する。また、人間の心理状態の遷移には短時間での変化である情動の他に、比較的長時間の弱い変化である気分があり、情

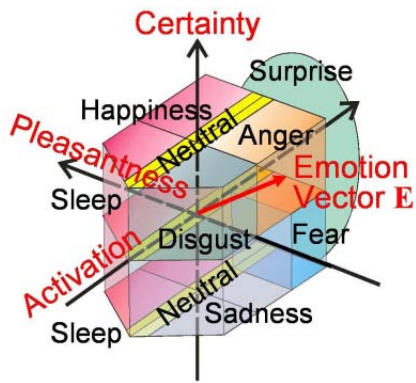


Fig.1 Mental Space

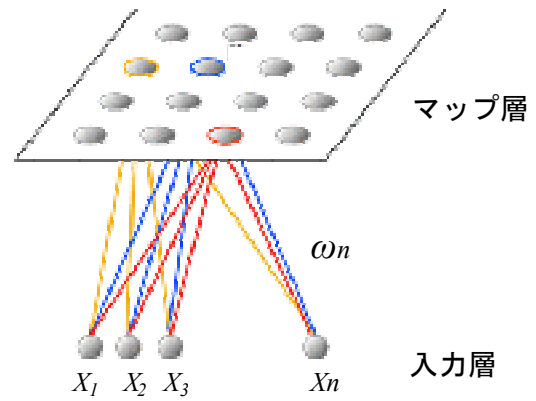


Fig.2 Self Organization Map

動と密接な関係があるとされている。そこで、式(2)のように覚醒-不覚醒と快-不快の2軸から構成される気分ベクトルを定義した。

$$E = (E_P, E_A, E_C) \quad (1)$$

$$M = (M_P, M_A, 0) \quad (2)$$

ここで、 $E_P$ ,  $E_A$ ,  $E_C$ はそれぞれ情動の快成分、覚醒成分、確信成分である。さらに、このモデルには、食欲、安全欲求、探索欲求の3つの欲求が組み込まれている。

$$N = \begin{bmatrix} N_A \\ N_S \\ N_E \end{bmatrix} \quad (3)$$

特に、食欲は人間の消費エネルギーに依存し、安静にしている状態でも消費する基礎代謝エネルギーと運動により消費するエネルギーの和で表される。基礎代謝エネルギーはロボットの心理状態によって変化し、ロボットの消費エネルギーはロボットに流れる総電流量など、内的小および外的刺激に依存するものとした。

### 3. 記憶モデル

#### 3.1 コード化モデル

従来のロボットは、前述した通り、刺激に対する認識が一意的で、その行動は事前に定義しておかなければならなかった。しかし、パーソナルロボットには決められた行動だけではなく、人間とのコミュニケーションを通して新たな行動を記憶し、その行動パターンを多様化していく必要がある。そこで、ロボットが知覚した刺激およびその刺激に関する情報をコード化、保存するため、自己組織化マップを用いてコード化モデルを構築した。

人間は目が覚めて覚醒し、刺激を受容できる状態になると、無制限に視覚刺激などを知覚するが、意識が向かなければ、入力された刺激のコード化は行

われず、記憶として保存されることはない。また、このとき向けた意識が大きければ大きいほど、その刺激を一時的に保存しやすくなり、これを何度も繰り返すことによって、忘却することのない長期記憶となる。そこで、本研究では、ロボットに何らかの刺激が入力された際に、意識の向いた刺激に対してコード化することとした。

また、自己組織化マップは、コホーネンによって提案されたモデルで (Fig.2)、多次元入力ベクトルの組み合わせに対して、特徴の類似したベクトルごとにネットワーク上にマッピングすることが可能である。自己組織化マップを用いて刺激のコード化を行う場合、まず各ニューロンへの入力が0~1の値となるよう入力刺激のデータ形式を変換する必要がある。つまり、ON・OFFしかとらない刺激に関しては0か1、連続的な値をとるものに関しては0~1となるよう正規化した。このように自己組織化マップに意識の向いた刺激を入力し学習させることで、ロボットへの刺激が複数ある場合でも、人間と同じように意識の向いた刺激のみをコード化することが可能となった。

#### 3.2 相互連想記憶モデル

人間の記憶は、一般に、気分の影響を強く受け、気分の状態依存性と気分適合性の関係にあるといわれている[6]。つまり、快い気分は快記憶を想起させ、不快な気分は不快記憶を想起させる傾向がある。従来の心理モデルでは、ある刺激に対する認識が一意的で、ロボットはその認識に相当する決められた行動しかすることができなかった。従って、カオスニューラルネットワークを用い、同じ刺激に対してもそのときの気分に合った最適な認識を可能とする相互連想記憶モデルを構築した。

相互結合型ニューラルネットワークの最も有名なモデルとして Hopfield Model が挙げられるが、このモデルでは局所的最小値となるとそこから抜け出せなくなってしまうため、近年ニューラルネットワークにカオスを用いる方法が研究されている。演者ら

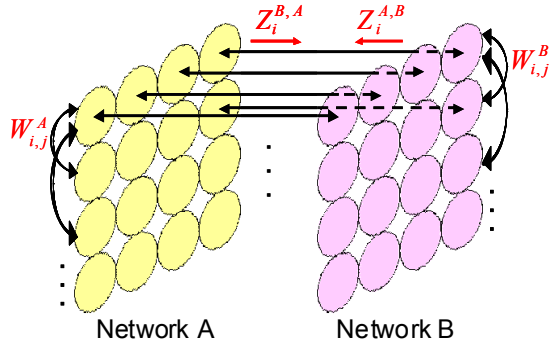


Fig.3 Model of Neural Networks

が提案したニューラルネットワークでは、ニューロンの内部状態が調和振動子の運動方程式に従って変化し、ニューロン同士がカオスの力で相互作用する。そして、このようなニューラルネットワークを Fig.3 のように2組作成し、それぞれの同じ位置のニューロン同士が結合している新しいタイプのネットワークを構築した。時刻  $t$  におけるネットワーク  $\alpha$  ( $\alpha=A$  or  $B$ )のニューロン  $i$  ( $i=1,2,\dots,N$ )の内部状態を  $x_i^\alpha(t)$ とすると、本モデルは次のようになる。

$$\ddot{x}_i^\alpha(t) + k\dot{x}_i^\alpha(t) + \omega_0^2 x_i^\alpha(t) = \frac{K}{\sqrt{\tau}} h_i^\alpha(n) \quad (4)$$

for  $n\tau \leq t < (n+1)\tau$  ( $n=0,1,2,\dots$ )

ここで、 $k$ は減衰定数、 $\omega_0$ は固有振動数である。また、 $f_i^\alpha(t)$ は他のニューロンからニューロン  $i$  への入力で、振幅が時間間隔  $\tau$  で階段的に変化するものとした。 $K$ は  $f(t)$ の大きさを自由に変えることのできるコントロールパラメータで、 $1/\sqrt{\tau}$ は時間間隔  $\tau$  が小さいとき有限な拡散定数を得るために必要である。

$h(n)$ は他のニューロンとの結合を表わす変数で、Fig.3 のように、ニューロン  $i$  は同じネットワーク内の全てのニューロンと、もう一方のネットワークのニューロン  $i$  とだけ結合しているものとした。

$$h_i^A(n) = \sum_{j=1}^N W_{i,j}^A y_j^A(n) + Z_i^{A,B} y_i^B(n) \quad (5)$$

$$h_i^B(n) = \sum_{j=1}^N W_{i,j}^B y_j^B(n) + Z_i^{B,A} y_i^A(n)$$

ここで、 $W_{i,j}^\alpha$ は同じネットワーク内のニューロン  $j$  からニューロン  $i$  への結合定数、 $Z_i^{A,B}$ はネットワーク B からネットワーク A への結合定数、 $Z_i^{B,A}$ はネットワーク A からネットワーク B への結合定数である。 $W_{i,j}$ はニューラルネットワークに  $P$  個のパターンを記憶させるため、ヘブ則によって決定した。

また、 $y(n)$ はニューロンの出力で、本研究ではカオス時系列のロジスティックマップを用いた。また、分岐パラメータ  $r(n)$ は、ニューロンの内部状態によって変調するため、ニューロン自身がカオスをコン

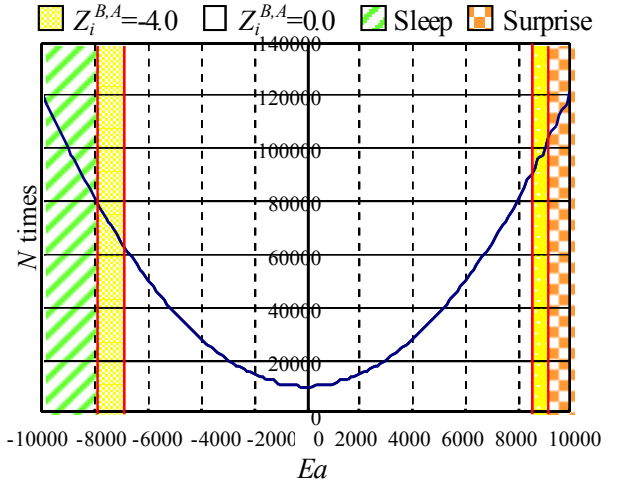


Fig.4 Connection between Performance and Activation level

トロールすることが可能である。

$$y_i^\alpha(n+1) = r_i^\alpha(n)(0.5 - y_i^\alpha(n))(0.5 + y_i^\alpha(n)) - 0.5 \quad (6)$$

$$r_i^\alpha(n) = 4 - b + b \cos^2 \beta x_i^\alpha(n) \quad (7)$$

ここで、 $b$ と $\beta$ はコントロールパラメータである。このようなネットワークにそれぞれ異なるパターンを記憶させた場合、ネットワーク同士が結合されていないと、自分自身が記憶したパターンしか想起することができない。しかし、ネットワークを結合することにより、もう一方のネットワークに記憶させたパターンも想起することが可能となる。

また、ネットワーク A に不快刺激、ネットワーク B に快刺激を記憶させる場合、 $Z_i^{A,B}$ をロボットの気分の快成分  $M_p$  で変化させることで、気分の状態依存性および気分適合性を実現することができる。しかし、人間は空腹により不快となっている場合でも、好きな食べ物（快記憶）を想起するため、 $Z_i^{A,B}$ を食欲にも依存させることで、この問題を解決した。

$$Z_i^{A,B} = M_p + N_A \quad (8)$$

さらに、人間は覚醒度が高すぎたり、低すぎたりするとうまく行動できず、中程度の覚醒が最適の遂行を導くと言われている[7]。従って、Fig.4 のように、ロボットの情動の覚醒成分  $Ea$  によって、ある刺激を認識するまでの時間、つまりニューラルネットワークの計算に要する時間を変化させた。また、覚醒度が中程度のときは気分適合性に従って記憶を想起するが、覚醒度が高すぎたり低すぎたりする場合は、気分と一致する記憶が想起されず、間違ってしまうときがあるようにした。

#### 4. コード化モデル実験結果

コード化モデルを情動表出ヒューマノイドロボッ



Fig.5 WE-4RII

Table 1 DOFs Configuration of WE-4RII.

Part	DOF
Neck	4
Eyes	3
Eyelids	6
Eyebrows	8
Lips	4
Jaw	1
Lung	1
Waist	2
Arms	18
Hands	12
Total	59

ト WE-4RII に実装し、評価実験を行った。情動表出ヒューマノイドロボット WE-4RII (Waseda Eye No.4 Refined II)[3]を Fig. 5 に示す。WE-4RII は視覚・聴覚・触覚・嗅覚の 4 感覚を有しており、情動および自発的な行動を表出するため Table 1 のような合計 59 自由度 (顔: 22, 首: 4, 肺: 1, 体幹: 2, 腕: 18, ハンド: 12) で構成されている。

Fig.6 に自己組織化マップを用いて刺激のコード化をおこなった結果を示す。この実験では、実験開始直後にロボットに赤いボールを提示し、それに対して意識を向けさせた。このボールがもつのは「赤い」という視覚刺激だけなので、これに対応するマッピングができていたことが確認できた。

## 6. 結論と今後の展望

本稿では、自己組織化マップを用い記憶のコード化モデルを構築した。これにより、複数の刺激が入力された場合、最も意識の向いている刺激を、コード化し、保存することが可能となった。また、その刺激が再び入力されると、相互連想記憶モデルに従って、気分合った認識を行うことができるようになった。そして、このモデルを WE-4RII に導入し、ロボットが意識の向いた刺激に関する情報をコード化できることを確認した。

ここでは、快記憶、不快記憶をそれぞれ1つずつとしたが、記憶数を増やすことで、より人間に近い行動を表出可能になると考えられる。

## 謝 辞

本研究は早稲田大学ヒューマノイド研究所で行われた。本研究のヒューマノイドコンソーシアムへの参加企業に対して感謝の意を表す。また、また本研究はヒューマノイド国際研究所 ROBOCASA にて行われた。イタリア外務省文化交流振興局の研究・

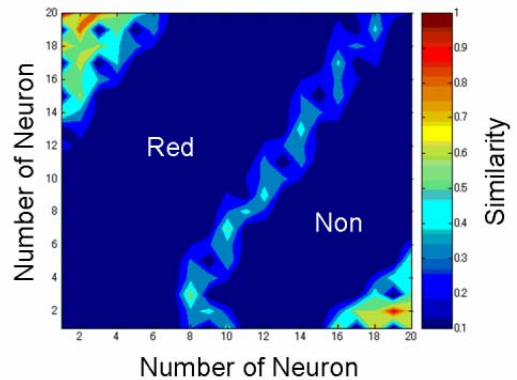


Fig.6 Experimental Result of Encoding

振興産業応用事業に感謝する。さらに、本研究の一部は、岐阜県からの委託である WABOT-HOUSE プロジェクトにより行われた。ここに謝意を表す。最後に、研究にご協力頂いた聖アンナ大学院大学 ARTS Lab, (株) 長田中央研究所, (株) NTT ドコモ, ソリッドワークス・ジャパン(株), 早稲田大学理工学総合研究センター, 早稲田大学文学部木村裕教授に感謝の意を表す。

## 参 考 文 献

- [1] Kazuko Itoh, et al.: “The Virtual Attractor in Mutually Coupled Networks”, Journal of the Korean Physical Society, Vol.40, No.6, pp.1018-1022, 2002.
- [2] Kazuko Itoh, et al.: “Application of neural network to humanoid robots –development of co-associative memory model”, Neural Networks, Vol.18, No.5-6, pp.666-673, 2005
- [3] Hiroyasu Miwa, et al.: “Effective Emotional Expressions with Emotion Expression Humanoid Robot WE-4RII”, Proceedings of IROS2004, pp.2203-2208, 2004.
- [4] Hiroyasu Miwa, et al.: “A New Mental Model for Humanoid Robots for Human Friendly Communication - Introduction of Learning System, Mood Vector and Second Order Equations of Emotion -”, Proceedings of ICRA2003, pp.3588-3593, 2003.
- [5] Hiroyasu Miwa, et al.: “Introduction of the Need Model for Humanoid Robots to Generate Active Behavior”, Proceedings of IROS2003, pp.1400-1406, 2003.
- [6] 高野陽太郎 編: 認知心理学 2 記憶, 東京大学出版会, 1995.
- [7] Donald Olding Hebb: 行動学入門 生理科学としての心理学, 紀伊國屋書店, 1975.