

ヒューマノイドロボットの心理モデルの構築 － 意識・行動モデルの導入 －

三輪 洋靖 (早稲田大学理工学部)

伊藤 加寿子, 松本 宗道, 今西 一剛, Muhamad Aizuddin, 忽滑谷 裕子(早稲田大学大学院)

Massimiliano Zecca, Stefano Roccella, Maria Chiara Carrozza, Paolo Dario

(聖アンナ大学院大学 ARTS Lab・ROBOCASA)

高信 英明 (工学院大学工学部・早大ヒューマノイド研究所)

高西 淳夫 (早稲田大学理工学部・早大ヒューマノイド研究所)

Construction of the Mental Model for Humanoid Robots - Introduction of Consciousness and Behavior Model -

Hiroyasu Miwa: Department of Mechanical Engineering, Waseda University

Kazuko Itoh, Munemichi Matsumoto, *Kazutaka Imanishi, Muhamad Aizuddin, Yuko Nukariya:

Graduate School of Science and Engineering, Waseda University

Massimiliano Zecca, Stefano Roccella, Maria Chiara Carrozza, Paolo Dario

ARTS Lab, Scuola Superiore Sant' Anna, ROBOCASA

Hideaki Takanobu: Kogakuin University, Humanoid Robotics Institute

Atsuo Takanishi: Waseda University, Humanoid Robotics Institute

Abstract - The authors believe that it will be necessary for personal robots to react to the several stimuli sensed from the environment in order to realize natural interaction between human and robots. And, robots have to change their behavior through their learning if the result is not proper. Therefore, we introduced the consciousness and behavior model for humanoid robots to Emotion Expression Humanoid Robot WE-4RII (*Waseda Eye No.4 Refined II*) developed in 2004. WE-4RII can react to the stimuli sensed at the same time and, change its behavior according to its consciousness and learning.

Keywords: humanoid, mental model, consciousness, emotion

1. はじめに

現在, 産業用ロボットは工場において組み立てや搬送など, さまざまな用途で活躍しているが, あらかじめプログラムされた動作しかできず, 新しい動作の定義には高い専門知識を必要とする. しかし, 将来, パーソナルロボットが普及すると, 産業用ロボットのような画一的な動作ではなく, 接する人間によって動作を変化させたり, 自発的に行動を起こしたりする必要があると考えられる. また, 筆者らはそれらの行動を人間とのコミュニケーションの中で構築する必要があると考えている. そこで, 筆者らは情動表出ヒューマノイドロボットを開発することにより, ロボットのパーソナリティを表現し, 人間らしい情動表出を行うことで, 人間との円滑なコミュニケーションに必要な機能の実現を目標としてきた. われわれは2001年, ロボットパーソナリティを導入し, 2002年, 情動方程式の拡張, 学習, 気分の導入, 2003年, 欲求の導入と心理モデルの拡張を行った[1]~[3]. 本稿では, 2004年に導入した, 複数の刺激入力に対するロボットの刺激選択を明確にするための意識モデルおよび, ロボットが出力する

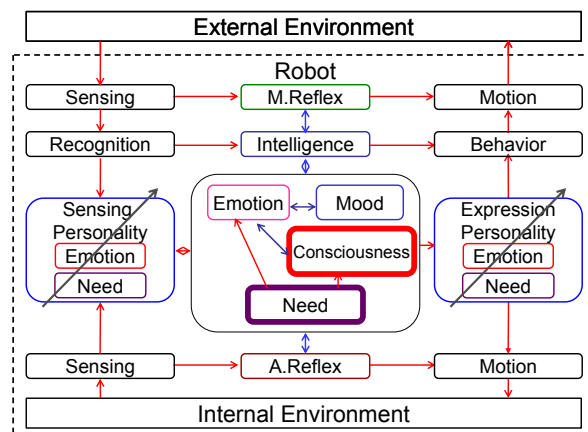


Fig. 1 New Mental Model for Humanoid Robots

行動を選択し, 行動の多様化を目的とする行動モデルについて述べる.

2. 意識モデル

2.1 人間の意識

人間の意識に関する研究は心理学の視点や認知科学の視点からなされており, いくつかの理論が提唱されている. その中で, われわれは安西らのモデル

に着目した[4]。このモデルは認知過程に関わる意識を覚醒・アウェアネス・自己意識の3つの層に階層化したものである。覚醒レベルの意識は覚醒した状態で外部からの刺激を受容可能な状態であり睡眠と対に扱われるものである。一例として寝ている人に大きな音刺激を入れても反応しにくいなどが挙げられる。アウェアネスレベルでの意識は特定の対象や事象に向けられる意識であり刺激を知覚し、注意に基づく刺激選択性が観察される段階である。自己意識については意識の対象が自分自身である場合を指す。本研究においては最も低次元なものからモデル化することを考え、これらのうち覚醒・アウェアネスの意識に注目し数理モデル化を行うこととした。

2.2 意識モデルを統合した心理モデル

心理モデルに意識を導入することによりロボット自身が情動的評価、欲求状態に基づき外部への行動の対象を選択し出力することを可能とする。意識モデルと行動モデルを統合した心理モデルを Fig. 1 に示す。感情空間に関しては、Fig. 2 に示すように、従来と同様の、快度・覚醒度・確信度の3軸からなる感情空間を適用した。ロボットの心理状態は、この心理空間[3]内を移動する情動ベクトルによって表される。

2.3 覚醒レベルの意識

覚醒レベルの意識の導入に関しては、情動ベクトルに着目し、この覚醒度成分に比例し、意識量係数を導入することで式(1)の意識総量を定義した。これによりロボットの覚醒状態に応じた意識の容量を決定する。

$$C_T = K_{CT} \cdot E_A \quad (1)$$

C_T : Total Amount of Consciousness

K_{CT} : Consciousness Amount Coefficient

E_A : Activation Component of Emotion Vector

2.4 アウェアネスの意識

アウェアネスの意識による刺激の選択については感受個性に大きく関係するもの、そのときの欲求状態と関係の強いもの、強度の大きな刺激ほど意識が向けられやすいと考え、式(2)の相対意識量行列を導入した。そして式(1)で求めた意識容量を相対意識量で振り分けることで各刺激ごとの絶対意識量を決定する。(式(3))。

$$C_{Ri} = |S_i \cdot P_{Si}| + |N \cdot \Delta N| \quad (2)$$

C_{Ri} : Component of Relative Consciousness Matrix

i : Stimulus

S : Stimulus Strength

P_{Si} : Sensing Personality

N : Need Vector

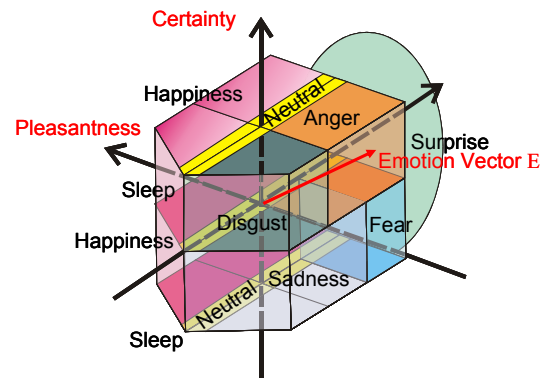


Fig. 2 3D Mental Space

$$C_{Ai} = \frac{C_{Ri}}{\sum C_{Ri}} \cdot C_T \quad (3)$$

C_{Ai} : Absolute Consciousness

これらのモデルで決定された絶対意識量のうち最も大きな値を持つ刺激をロボットが意識を向け、意識が向けられた刺激に対してロボットは行動や情動を出力するものとする。これによって食欲のあるときはボールよりも、りんごに意識を向けるなど内面の状態をより自然な形で動作として出力することが可能となった。

3. 行動モデル

人間の行動の多くは学習に基づいたものといわれている[5]。そこで本研究では、心理学の分野で広く研究されているオペラント条件付け学習に着目した。オペラント条件付け学習とは自発した行動に対して偶然にもその個体にとって利益となる結果をもたらした場合、その行動の出現頻度が増大し、逆に結果が不利益な場合、出現頻度が減少するという学習で出現頻度を増大させるものを強化、減少させるものを罰と呼ぶ。オペラント条件付け学習モデルについては行動心理学者 Clerk Hull により数理的なモデルが構築されている[6]。この学習モデルに基づき、欲求に対する行動ポテンシャルを定義し、複数の行動の中からロボット自身がどの行動を出力すべきかを選択する行動モデルを構築した。

3.1 強化行動ポテンシャル

Hull の理論では刺激と反応との間で形成される行動傾向である習慣を中心としている。しかし習慣強度のみではどの行動が起こるのかを予測するのは困難であると考え、強化子として与えられる食物の重量等で表される誘引の大きさに注目し誘引動機付けを導入した。導入にあたっては、モデルを汎用的にするため、Hull のモデルを簡素化し、式(4)の強化行動ポテンシャルを定義した。

$$B_{R_SHR} = 1 - 10^{-k_{BR} \cdot n_{BR}} \quad (4)$$

$$B_{R_SER} = B_{R_SHR} \cdot B_{R_K}$$

B_{R_SER} : Reinforcement Behavior Potential

B_{R_SHR} : Reinforcement Habit Strength

B_{R_K} : Reinforcement Incentive Motivation

n_{BR} : The Number of Reinforcement

k_{BR} : The Coefficient of Reinforcement

3.2 罰行動ポテンシャル

Hull の行動理論では罰による行動確率の抑制は考慮されていない。しかし罰の導入はロボットの行動生成過程において不可欠である。本研究では罰は心理学において強化と対とされているとみなし式(4)を罰に拡張し、式(5)の罰行動ポテンシャルを定義した。

$$B_{P_SHR} = 1 - 10^{-k_{BP} \cdot n_{BP}} \quad (5)$$

$$B_{P_SER} = B_{P_SHR} \cdot B_{P_K}$$

B_{P_SER} : Punishment Behavior Potential

B_{P_SHR} : Punishment Habit Strength

B_{P_K} : Punishment Incentive Motivation

n_{BP} : The Number of Punishment

k_{BP} : The Coefficient of Punishment

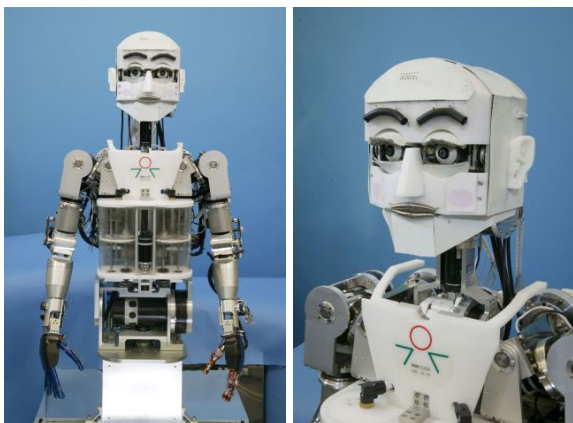
3.3 行動ポテンシャル

以上の強化行動ポテンシャルと罰行動ポテンシャルを重ね合わせることで行動ポテンシャルを式(6)のように定義した。ロボットの出力可能な行動をあらかじめ定義しておき、各行動の行動ポテンシャルを求め、最も有益になると考えられる行動が出力される確率が最も高くなるが、無関係な行動も出力可能であり、ロボットの行動多様化を可能とした。

$$B_{SER} = B_{R_SER} - B_{P_SER} \quad (6)$$

3.4 行動の情動的評価

行動ポテンシャルに基づいて出力した行動がロボットにとって適切か不適切であったかをロボット自身が評価し以後の行動に反映するため、行動を情動



(a) Whole View

(b) Head Part

Fig. 3 WE-4RII

によって評価する情動評価値を式(7)のように定義し、行動の直後ほど大きく情動評価値に反映されるようにした。

$$B_E = \left\{ -k_{BN} \cdot \frac{dN}{dt} + k_{Bpl} \cdot E_p \right\} \cdot k_{BE} \quad (7)$$

B_E : Behavior Evaluation Matrix

k_{Bpl} : Pleasantness Evaluation Coefficient

k_{BN} : Need Evaluation Coefficient

N : Need Matrix

E_p : Pleasantness Component of the Emotion Vector

k_{BE} : Time Effects Coefficient

4. 情動表出ヒューノイドロボット WE-4RII

2004 年に開発された情動表出ヒューノイドロボット WE-4RII (Waseda Eye No.4 Refined II) の写真を Fig. 3 示す。WE-4RII は情動および多様な行動を表出するために片腕 9 自由度の心理志向型ロボットアームおよび片手 6 自由度のハンドを有しており、合計で 59 自由度となっている。また、視覚・聴覚・触覚・嗅覚の 4 感覚および身体情報の検出が可能となっている。さらに、眉・眼瞼・口唇・顔色・声・首・腰・腕・手の動きによる情動表出が可能である。

5. 評価実験

意識・行動モデルが統合された心理モデルを情動表出ヒューノイドロボット WE-4RII に実装し、それぞれ評価実験を行った。

5.1 意識モデル評価実験

ロボットに以下 5 つの刺激を与え、それらの意識量がどのように変化するかを確認する実験を行った。実験は 指標追従、ロボットの右側面をなでる、ロボットの左側で音の提示、ロボットの右側面を弱く叩く、ロボットの左側面を強く叩くという順に WE-4RII に刺激を与え各刺激の絶対意識量を計測した。実験結果を Fig. 4 に示す。実験の結果、最

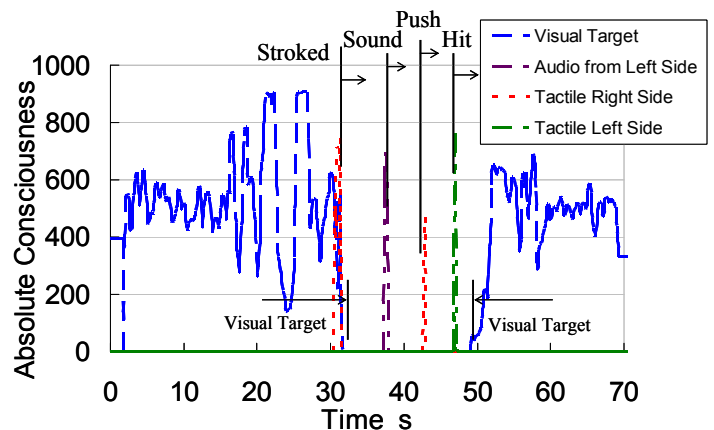


Fig. 4 Result of Consciousness

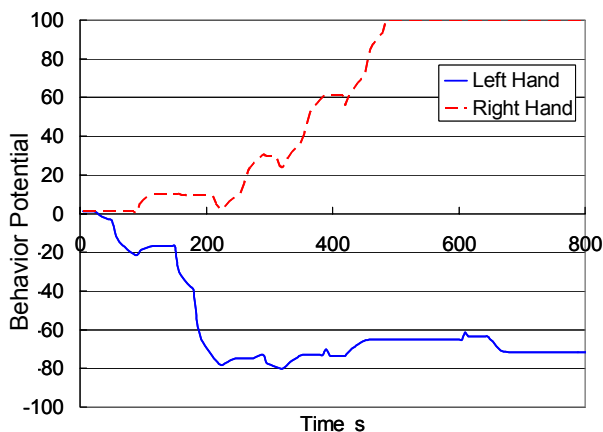


Fig. 5 Behavior Potential Transition

初は視標追従を行っているため、ロボットの意識は視標にある。しかし、頭部右側をなでるとロボットの右側に意識が向くことで、追従を行っていた視標に対する意識が減少しロボットは右側へ振り返った。次に左側で大きな音を提示したときは聴覚意識が移っていることが分かる。このときロボットは大きな音がした左耳への意識が高まり、体を音源方向に向けた。次に、ロボットは頭部右側を軽くさわられ、続いて最後に頭部左側を思い切りたたかれるが、右側面を弱く叩いたときと、最後に左側面を強く叩いたときで意識量に大きな差があり、刺激の大きさによって意識量が変化していることが確認できる。これらの結果から従来の心理モデルでは不可能であった複数の刺激に対する刺激選択が明確化され、さらにその刺激選択の結果をロボットの行動に反映させることにより、意識している刺激に対する動作が可能になったことが確認された。

5.2 行動モデル評価実験

行動モデルの有効性を確かめるため、左手か右手で握手を求めるといふ2つの行動を用いてオペラント条件付けに関する評価実験を行った。実験は、右手を出した場合、握手を行い、その後10回頭部右側をなでる(快刺激)。左手を出した場合、5回頭部左側を叩く(不快刺激)ということを繰り返し、それぞれの手で握手を求める回数を計測した。実験結果をFig. 5 および Fig. 6 に示す。実験の結果、左手を出したとき罰を与え、右手を出したとき強化を与えることを繰り返すことで、右手の行動ポテンシャルは増加し、左手の行動ポテンシャルは減少していくことが確認された。さらに、Fig. 6 より0~250[s]では左手を出すことが多いが、時間の経過とともに右手を出す学習が徐々に進み、750~1000[s]の区間では右手しか出さなかった。以上のことから、行動モデルに対する効果が確認され、ロボットが自律的に最適と判断した行動を選択可能であることが確認できた。

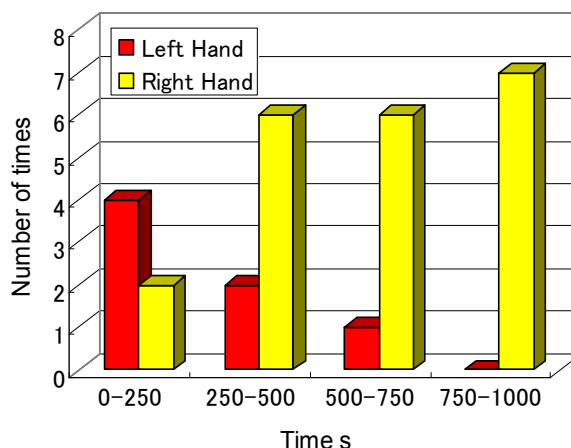


Fig. 6 Result of Behavior change

6. 結論と今後の展望

- (1) 複数の刺激に対する刺激選択が可能な意識モデルを構築した
- (2) Hull の数理モデルに基づいたオペラント条件付け学習のモデルを構築し行動ポテンシャルにより出力する行動をロボットが選択する行動モデルを構築した。
- (3) 現在は覚醒・アウェアネスレベルの意識に基づき意識モデルを構築しているが、これらは意識の下層のレベルであるため今後は、より上位のモデルについても導入を行う必要があると考えられる

謝辞

本研究は早稲田大学ヒューマノイド研究所にて行われた。本研究所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します。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・振興産業応用事業に感謝致します。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。ここに謝意を表します。最後に、研究に協力頂きました聖アンナ大学院大学 ARTS Lab, ソリッドワークス・ジャパン(株)、(株)NTT ドコモ、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します。

参考文献

- [1] 三輪ら: “ヒューマノイドロボット用心理モデルの構築 - 学習システム・気分ベクトル・2次情動方程式の導入 -”, 日本ロボット学会 創立20周年記念学術講演会, 2C16, 2002
- [2] 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 the 2003 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp3588-3593, 2003.
- [3] Hiroyasu Miwa, et al.: “Introduction of the Need Model for Humanoid Robots to Generate Active Behavior”, Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.1400-1406, 2003.
- [4] 安西祐一郎ら: 認知科学9 注意と意識, 岩波書店, 1994.
- [5] 鈴木清: 心理学 経験と行動の科学, ナカニシヤ出版, 1991.
- [6] 河合伊六: 行動の基本 Clark L. Hull, ナカニシヤ出版, 1980.