

記号と運動をむすぶ脳型情報処理の研究

中村仁彦、山根 克

情報理工学系研究科 知能機械情報学専攻

概要

ロボットの知能の実現には、連続的に流れて行く人間やロボット自身の身体運動や外界の情報を、記号化して用いるが必要になる。これはデータの圧縮という意味と、圧縮・低次元化することによって物事の本質を浮かび上がらせるという意味がある。私たちの研究室では身体運動が外界からの連続情報から記号の世界を作り、身体に根ざした知能を構成する研究を行ってきている。この研究の平成17年度の成果を以下にまとめる。

1. ミメシス理論に基づく記号と運動の情報処理

連続的な身体運動を統計的情報処理によって記号化する研究を 1998 年頃から開始している。一組の統計的パラメータがある運動パターンを表す記号と考え、統計的な運動認識や、モンテカルロ的な運動生成に利用した。またパラメータ組間に距離を定義することによって、記号間に空間構造をもたらすことができた。本年度は、以下のような成果を得た。

(1) 運動データの教師なし学習なし分節化法

HMM を用いて運動データの力学モデルを逐次アップデートして行き、それが変化するところを運動パターンの区切りとするものである。教師なし学習なしで、生の運動データのみを使いヒューリスティクスを持ちないところが新規な点である。文献 18 と Bastien Janus 君の修士論文がその成果である。

(2) 部分観測からの運動データの認識と生成

観測データが運動データの全体を表していない場合に、条件付確率を用いて統計的に運動を認識することと、運動を生成する方法を与えた。文献 15、21 がその成果である。

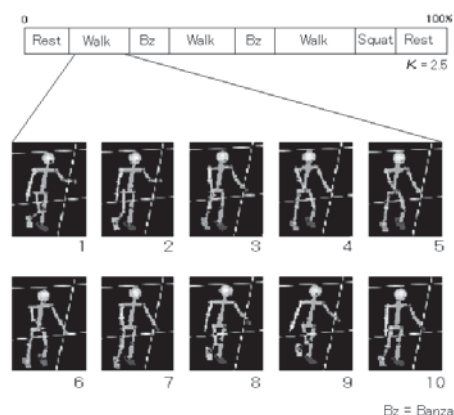


図1 運動パターンの教師なし学習なし文節化法

(3) 関係性の記号化に基づいた人間とロボットのコミュニケーション理論

運動パターンを HMM で記号化した原始記号空間の上位階層としてさらに HMM の記号空間を作る。ロボットは下位の記号空間を用いて自分自身の運動と、目の前に居る人間の運動を認識する。その両方の結果、つまり自身と人間の運動を記号化したものを上位階層の HMM の入力とし、この階層で関係性の記号化を行う。もっとも単純なコミュニケーションの方法は関係性の認識結果を、そのままその後の行動規範として短絡させることである。このような考え方でヒューマノイドロボットと人間の長時間の格闘技を実現させた。実際の接触は行わず。両者は離れたところでお互いの運動を観測しながら技を繰り出すというものであった。文献 25,26 がその成果である。この様子は愛知万博で開催されたプロトタイプロボット展で 10 日間にわたって実演された。

2. バイオメカニクスと感覚情報の計算

ロボティクスの運動学と動力学の計算法を高度化することによってより大規模なメカニズムの計算

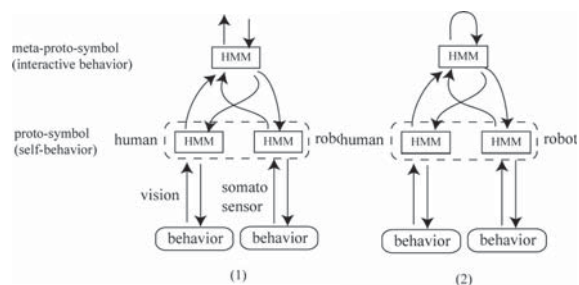


図2 階層的 HMM を用いたコミュニケーション理論

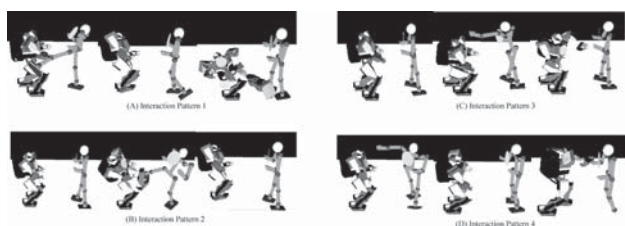


図3 人間とヒューマノイドの格闘技(愛知万博)

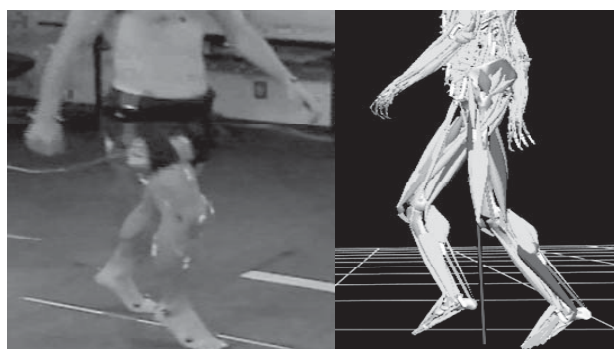
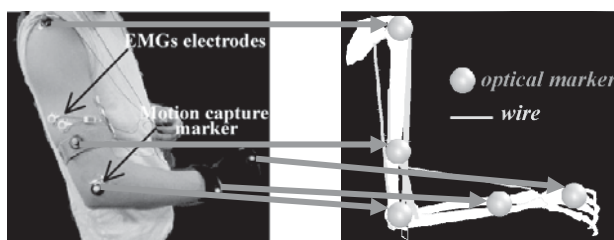


図4 筋骨格力学計算を用いた筋パラメータ推定



を行う技術を開発してきている。この中で人間の筋骨格系の大規模モデルを作り、人間の筋肉や腱、靱帯で感じている深部体性感覚をモーションキャプチャーデータから計算によって求める方法について成果を挙げてきた(文献 12)。17 年度はこの技術を医療やスポーツ科学に応用する研究をはじめ萌芽的な成果を得た。文献 27-30 では人間の筋肉のいくつかのパラメータを推定する方法、および関節の粘弾性パラメータを推定する方法を開発している。後者は、神経内科において運動性神経疾患の診断を医師の目視に頼っていたものを、客観的に運動データからの計算で行う方法への応用が期待されている。



図5 タップダンスをする UT- μ : magnum

3. ヒューマノイドロボットの機構と制御

ヒューマノイドロボットの機構と制御の研究においてもいくつかの成果を得た。文献 21-22 では UT- θ と呼ぶバックラッシュクラッチと二重球面股関節をもつヒューマノイドロボットの制御に関するものである。文献 3, 6, 7, 8, 10 はヒューマノイドの運動制御の理論である。文献 22-24 では UT- μ 2: magnum という小型ヒューマノイドの開発を行った。文献 19 は外装の意匠設計の自由度を高めるための小型ヒューマノイドの設計法の研究である。これは UT- γ : guchida と呼ばれるロボットである。

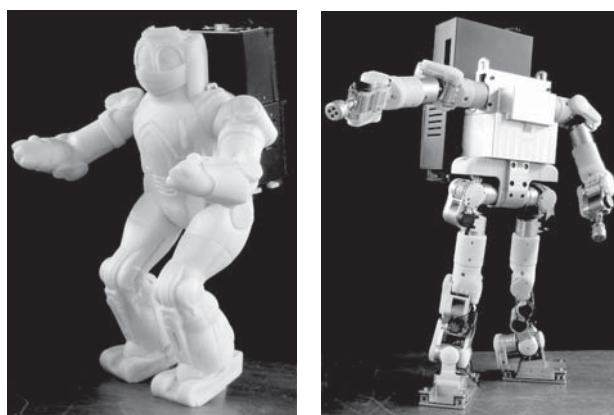


図6 UT- γ : guchida (右)と外装を着た姿(左)

謝辞

ここで報告したもの以下の研究費の支援を受けて行った研究の成果の一部である。

- (1) 科学研究費補助金、基盤研究(S)、知能の力学的情報処理モデルの展開 (代表: 中村仁彦)
- (2) 科学研究費補助金、基盤研究(A)、筋骨格モデルの動力学計算による神経筋疾患の診断・リハビリテーション支援手法の開発 (代表: 山根 克)
- (3) NEDO次世代ロボット実用化プロジェクト プロトタイプ開発支援事業、アニマトロニック・ヒューマノイドロボットの研究開発 (代表: 中村仁彦)
- (4) NEDO産業技術研究助成事業、筋骨格・神経モデルと非侵襲的な運動計測に基づく全身筋・神経情報推定装置の開発と応用 (代表: 山根 克)

成果発表

1. Katsu Yamane, Yoshihiko Nakamura, Masafumi Okada, Noriaki Komine, and Ken'ichi Yoshimoto: "Parallel Dynamics Computation and H-Infinity Acceleration Control of Parallel Manipulators for Acceleration Display," ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, vol.127, pp.185-191, 2005.
2. Masafumi Okada and Yoshihiko Nakamura: "Development of a Cybernetic Shoulder -A Three-DOF Mechanism That Imitates Biological Shoulder Motion-", IEEE Transactions on Robotics, vol. 21, no.3, pp.438-443, 2005.
3. Qiang Huang and Yoshihiko Nakamura: "Sensory Reflex Control for Humanoid Walking," IEEE Transactions on Robotics Vol.21, No.5, pp.977-984, 2005.
4. 中村仁彦:「特集について:ロボティクスと神経科学」学術月報, no.2, pp.4-6, 2005.
5. 中村仁彦:「記号と運動を融合する情報処理」学術月報, no.2, pp.20-26, 2005.
6. 杉原知道, 中村仁彦: "ZMP-重心モデルと台車型倒立振子モデルのアナロジーによるヒューマノイドロボットの高機動化制御," 日本ロボット学会誌, vol.24, no.1, pp.74-83, 2006.
7. 杉原知道, 中村仁彦: "時間二重外乱吸収法に基づくヒューマノイドロボットの全身協調運動制御," 日本ロボット学会誌, vol.24, no.1, pp.64-73, 2006.
8. 杉原知道, 中村仁彦: "非駆動自由度の陰表現を含

んだ重心ヤコビアンによる脚型ロボットの全身協調反力操作," 日本ロボット学会誌, vol.24, no.2, 2006.

9. Masafumi Okada, Kenta Osato, and Yoshihiko Nakamura: "Motion Emergence of Humanoid Robots by an Attractor Design of a Nonlinear Dynamics," IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.18-23, Barcelona, Spain, April 18-22, 2005.
10. Tomomichi Sugihara and Yoshihiko Nakamura: "A Fast Online Gait Planning with Boundary Condition Relaxation for Humanoid Robots," IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.306-311, Barcelona, Spain, April 18-22, 2005.
11. Hiroaki Tanie, Katsu Yamane, and Yoshihiko Nakamura: "High Marker Density Motion Capture by Retroreflective Mesh Suit," IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.2895-2900, Barcelona, Spain, April 18-22, 2005.
12. Katsu Yamane, Yusuke Fujita, and Yoshihiko Nakamura: "Estimation of Physically and Physiologically Valid Somatosensory Information," IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.2635-2641, Barcelona, Spain, April 18-22, 2005.
13. Tatsuro Endo and Yoshihiko Nakamura: "An Omnidirectional Vehicle on a Basketball," IEEE International Conference on Advanced Robotics, pp.573-578, Seattle, USA, July 18-20, 2005.
14. Bastien Janus and Yoshihiko Nakamura: "Unsupervised probabilistic segmentation of motion data for mimesis modeling," International Conference on Advanced Robotics, Seattle, USA, July 18-20, 2005.
15. Dongheui Lee and Yoshihiko Nakamura: "Probabilistic Model of Whole-body Motion Imitation from Partial Observations," International Conference on Advanced Robotics, Seattle, USA, July 18-20, 2005.
16. Wataru Takano, Hiroaki Tanie, and Yoshihiko Nakamura: "Key Feature Extraction for Probabilistic Categorization of Human Motion Patterns," International Conference on Advanced Robotics, pp.424-430, Seattle, USA, July 18-20,

2005.

17. Dirk Wollherr, Yoshihiko Nakamura, and Fabio Zonfrilli: "Active-Passive Knee Control for the Humanoid UT-Theta," International Conference on Advanced Robotics, pp.692-697, Seattle, USA, July 18-20, 2005.
18. Fabio Zonfrilli, Dirk Wollherr, and Yoshihiko Nakamura: "Walking Control of the Humanoid UT-Theta," International Conference on Advanced Robotics, pp.698-704, Seattle, USA, July 18-20, 2005.
19. Tatsuhito Aono and Yoshihiko Nakamura: "Design of Humanoid with Insert-Molded Cover Towards the Variety of Exterior Design of Robots," IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.1476-1481, Edmonton, Canada, August 2-6, 2005.
20. Hideki Kadone and Yoshihiko Nakamura: "Symbolic Memory for Humanoid Robots using Hierarchical Bifurcations of Attractors in Nonmonotonic Neural Networks," IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.2900-2905, Edmonton, Canada, August 2-6, 2005.
21. Dongheui Lee and Yoshihiko Nakamura: "Mimesis from Partial Observations," IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.1911-1916, Edmonton, Canada, August 2-6, 2005.
22. Tomomichi Sugihara, Kou Yamamoto, and Yoshihiko Nakamura: "Architectural Design of Miniature Anthropomorphic Robots Towards High-Mobility," IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.1083-1088, Edmonton, Canada, August 2-6, 2005.
23. Tomomichi Sugihara, Kou Yamamoto, Wataru Takano, Katsu Yamane, and Yoshihiko Nakamura: "Animatronic Humanoid Robot System That Responsively Interacts with Humans," 36th International Symposium on Robotics, TH1C5, Tokyo, Japan, November 30-December 1, 2005.
24. Tomomichi Sugihara, Wataru Takano, Katsu Yamane, Kou Yamamoto, and Yoshihiko Nakamura: "Online Dynamical Retouch of Motion Patterns Towards Animatronic Humanoid Robots," 2005 IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, pp.117-122, Tsukuba, Japan, December 5-7, 2005.
25. Wataru Takano, Katsu Yamane, and Yoshihiko Nakamura: "Primitive Communication of Humanoid Robot with Human via Hierarchical Mimesis Model on the Proto Symbol Space," International Conference on Humanoid Robots, Tsukuba, Japan, December 5-7, 2005.
26. Wataru Takano, Katsu Yamane, Yoshihiko Nakamura: "Primitive Communication of Humanoid Robot with Human via Hierarchical Mimesis Model on the Proto Symbol Space," IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, pp.167-174, Tsukuba, Japan, December 5-7, 2005.
27. Gentiane Venture, Katsu Yamane, and Yoshihiko Nakamura: "Identifying Musculo-tendon Parameters of Human Body Based on the Musculo-skeletal Dynamics Computation and Hill-Stroeve Muscle Model," International Conference on Humanoid Robotics, pp.351-356, Tsukuba, Japan, December 5-7, 2005.
28. Gentiane Venture, Katsu Yamane, and Yoshihiko Nakamura: "Identification of human musculo-tendon subject specific dynamics using musculo-skeletal computations and non linear least square," International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics, Pisa, Italy, February 20-22, 2006.
29. Gentiane Venture, Katsu Yamane, and Yoshihiko Nakamura: "In-vivo Estimation of the Human Elbow Joint Dynamics during Passive Movements Using Musculoskeletal Model Computations," International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics, Pisa, Italy, February 20-22, 2006.
30. Gentiane Venture, Yoshihiko Nakamura, and Katsu Yamane: "Application of non-linear least square method to estimate the muscle dynamics of the elbow joint," IFAC Symposium on System Identification, Newcastle, Australia, March 29-31, 2006.