

脳型情報処理をおこなうヒューマノイドロボットの研究

○中村 仁彦, 稲邑 哲也 (東大, JST)

Research on Humanoid Robots with Brain-Like Information Processing

*Yoshihiko Nakamura and Tetsunari Inamura (Univ. of Tokyo, JST)

Abstract— In this paper, we describe an ongoing research project under the CREST program of JST. The project aims to synthetically build the brain for humanoid robots. The efforts of the University of Tokyo team cover (1) theory of kinematics/dynamics computation, (2) behavior capture system, (3) nonlinear dynamics as information processing, and (4) brain-like paradigms of information processing.

Key Words: Humanoid, Brain Science, Nonlinear Dynamics, Behavior Capture

1. はじめに

コンピュータや情報通信などの基盤技術の進展, 21世紀の幕開けに臨んで社会の科学技術への期待の高まりを背景にロボティクスは大きなパラダイムシフトの時期を迎えている. 脳科学は生物学, 医学, 心理学, 言語学, 非線形数学, 計測技術などの学際的な研究が進み, さまざまな仮説や理論が立てられている. 一方で, 社会の関心は科学技術の中でも人間関連分野に向けられている. 医療福祉, ゲノム, 遺伝子治療, ゲームエンターテインメント, CGとフィルム, 個人情報通信機器などである.

大きな計算資源を前提とし, 整備された固定環境でしか機能しない運動能力(低自由度数)でなく, 心理学系数学と研究目的の一部を共有し, 人間や生命を含め, 応用においても人間に直接役立つ, Open-Endedなロボットの研究としてヒューマノイド研究の中心的なパラダイムがある.

著者等は平成10年度秋から5年間の計画で, 科学技術振興事業団の戦略的基礎研究推進事業(CREST)の領域「脳を創る」の一プロジェクトとして「自律的行動単位の力学的結合による脳型情報処理機械の開発」(代表: 中村仁彦)を実施している. このプロジェクトでは簡単に言えば「ヒューマノイドの脳を創る」ことを目標にしている. 本論文では, このプロジェクトが目指すところ, および約2年が経過した現在までの著者等の研究の経過について報告する.

2. シンセティックに脳を創る

生物や人間の体の感覚器や筋肉の微細構造と約 1500[cc]の脳の中にある約 1000 億個のニューロンがもつ情報構造とそれらが持つ複雑性を, ニューロンの微視的なモデル化, さらに非侵襲的脳活動計測によってメソスコピックな脳の計算構造を観察することで, 徐々に理解しつつある. しかし, 現在の科学技術でこれらを人工的にまねて超大システムを再構成し脳の情報処理や計算理論をシンセティックに検証することは, 残念ながら不可能であるといわざるをえない. 「脳を創る」ことによって, われわれの「脳の理解」を検証するためには, 脳のマクロな機能を抽象化した数学モデルや, 感覚器や筋肉の組織を工学的に抽象化・一般化した制御サブシステムを用いて, このシンセシス問題に立ち向かうのが一つの立場

である.

人の感覚器と筋肉が生まれつき, あるいは脳神経系の可塑性によって構成した協応構造に替えて, 工学的に設計した自律行動単位をヒューマノイドに与える. 自律行動単位とは, センサ情報によって行動するように構成された制御サブシステムである. この自律行動単位をロボティクスで蓄積されてきた様々な制御法や計算法と多種のセンサを用いて数多く実装する. この中には直接的な運動だけではなく, 幾何情報計算とそれに基づく判断や, 一部の記号処理なども一般化した行動として含める.

東京大学(中村仁彦, 佐々木正人), 京都大学(土屋和雄), 大阪大学(浅田稔, 潮俊光), 埼玉大学(吉澤修治), UCLA(Z. Shiller), 電総研(比留川博久), 機械研(荒井裕彦)の研究チーム(括弧内はチーム代表者)を組み, 大きな目標に戸惑いながらも議論を行い研究を進めている.

3. これまでの研究の経過

3.1 運動計算論

著者らは人間のように複雑に構造が変化するリンク系の運動学, 動力学を効率的に計算する方法を発表している¹⁾. これはHRPプロジェクトでも採用され仮想ロボットプラットフォームの計算エンジンに使われている. また, 構造可変性の特徴を持たせたまま並列分散計算をさらに進めて効率的なアルゴリズムを開発中である²⁾. これによってヒューマノイドの運動計算の複雑さの問題は解決されよう. 計算効率の高い順動力学計算を利用して, 力学的に実現可能でないようなヒューマノイドの全身運動を力学的に整合性をもった運動に変換することを提案し, 「力学フィルター」と呼んだ³⁾.

3.2 ヒューマノイド制御

ヒューマノイドの動的歩行の安定化制御について, 足裏ZMP情報に基づく足首トルク制御, 胴体のジャイロセンサに基づく股関節フィードバックなどの安定化アルゴリズムをシミュレータ上で検証している⁴⁾. 一方, 鉄道車両や自動車の制御で使われるスカイフック制御をヒューマノイドの頭部位置制御に適用し, これを目標運動にした上で, ZMP条件を満たすように全身の加速度の最小自乗ノルム解を求める方法をシミュレータ上で検

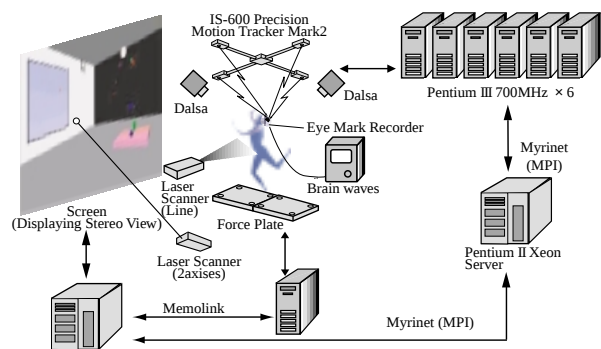


Fig.1 The real-time motion capture system

証している³⁾。これらはいずれもヒューリスティックなアルゴリズムであるが、これらの集合体を作り安定度の高い歩行を実現することが重要と考えている。

3.3 人間計測法

ヒューマノイドのような多自由度機械の運動を以下に自然に生成すべきか、また自然な運動を確実に発現させるためのセンサの利用や制御のアルゴリズムはどうあるべきか、これらに人間の計測を頼りに接近しようとしている。このためにビヘービアカプチャシステムを開発中である⁵⁾⁶⁾。人間の全身運動、視線、床反力、脳波の同時計測と3D映像提示を組合わせて行うことで、認知とその結果としての運動を関連づけようとしている。このシステムの全体像を Fig.1 に示す。

3.4 非線形力学

力学的な周期軌道からカオス軌道への遷移、周期軌道への引き込みやカオス同期といった現象が、脳の学習、記憶、連想、意識などの機能と結びついていると考えられている。著者等は非線形力学をロボットの情報処理に利用することについて研究を行っている⁷⁾⁸⁾。

3.5 脳型情報処理

脳の情報処理のパラダイムとして幾つかの話題がある。その中でも長期記憶、短期記憶の問題について研究して一つの実装を行ったのが⁹⁾である。また「ものまね学習」についても川人ら¹⁰⁾、や國吉ら¹¹⁾の先駆的な研究があるが、最近著者らは連続的な他者行動の観察から原始シンボルの発生、自己行動の生成までを行うシステムの実装について研究を行った¹²⁾¹³⁾。(Fig.2)

4. おわりに

本報告では CREST のプロジェクトで実施している「脳型情報処理をおこなうヒューマノイドロボットの研究」の目指すところと、東京大学の著者等のチームで現在までに行った研究成果について簡単に紹介した。研究の詳細については各々の文献を参照されたい。

なお、本研究は科学技術振興事業団 CREST「自律的行動単位の力学的結合による脳型情報処理機械の開発」の支援を受けた。

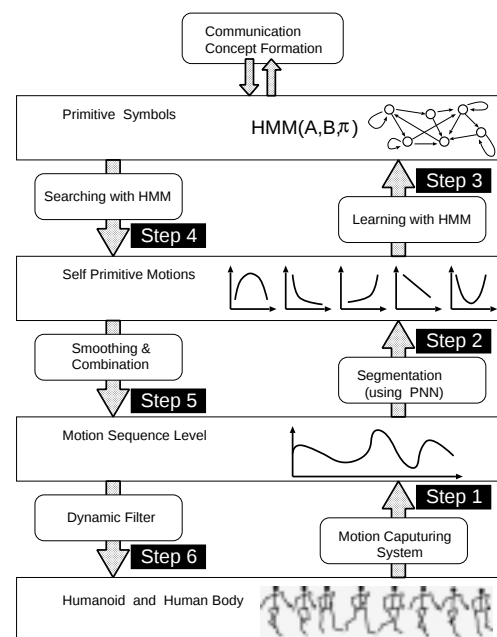


Fig.2 The mimesis system using primitive symbols

参考文献

- 1) 中村, 山根, 永嶋. 構造変化を伴うリンク系の動力学計算法とヒューマンフィギュアの運動計算. 日本ロボット学会誌, Vol.16, No.8, pp.1152-1159, 1998
- 2) 山根, 中村. 仮想仕事の原理を用いた並列化可能な高速順動力学計算法. 第18回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 2000
- 3) 山根, 中村. 力学フィルタによるヒューマノイドの運動生成 - 仮想プラットフォームへの適用 -. 第17回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.1213-1214, 1999
- 4) 黄, 中村, 荒井, 谷江. 運動能力解析の2足歩行ヒューマノイドシミュレータ. 第18回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 2000
- 5) 藤原, 岡本, 山根, 中村. ビヘービアカプチャシステムにおけるリアルタイムモーションキャプチャ. 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会予稿集, pp.2A1-79-119, 2000
- 6) 星野, 山根, 岡田, 中村. トラッキングモーションキャプチャ. 第18回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 2000
- 7) 中村, 山崎. 反射行動の重ね合わせ理論とその多指ハンドの反射的把持動作への応用. 日本ロボット学会誌, vol.15, No.3, pp.136-147, 1997.
- 8) 関口, 中村. 非線形力学系の軌道パターンを利用したロボットの行動制御. 第18回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 2000
- 9) 水島, 中村. 脳の情報処理モデルに基づくロボットの記憶構造. 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会予稿集, pp.1A1-28-037, 1999.
- 10) Miyamoto, H., Schaal, S., Gandolfo, F., Koike, Y., Osu, R., Nakano, E., Wada, Y., Kawato, M. A Kendama learning robot based on bi-directional theory. Neural Networks, Vol. 9, No. 8, pp.1281-1302, 1996.
- 11) Y. Kuniyoshi, M. Inaba and H. Inoue. Learning by Watching: Extracting Reusable Task Knowledge from Visual Observation of Human Performance, IEEE Trans. on Robotics and Automation, vol.10, no.6, pp.799-822, 1994.
- 12) 戸嶋, 江崎, 稲邑, 中村. 他者行動の観察と自己行動要素による原始シンボルの生成. 第18回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 2000
- 13) 稲邑, 戸嶋, 江崎, 中村. ミメシスループと原始シンボルを用いた全身行動の生成. 第18回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 2000