

「脳を創る」

平成10年度採択研究代表者

中村 仁彦

(東京大学大学院工学系研究科 教授)

「自律行動単位の力学的結合による脳型情報処理機械の開発」

1. 研究実施の概要

平成11年度は、脳科学の知見に基づくヒューマノイド・システム理論の展開、ヒューマノイドの運動計画と制御の計算理論、人間の運動情報と認知情報の同時計測環境の開発、歩行機械の歩行パターン生成と制御、学習と対話による行動獲得、シンボル生成・判別とシンボルマニピュレーションについて焦点を絞って研究を実施した。

2. 研究実施内容

(1) グループA

平成11年度には、(1)記憶の短期・長期構造、(2)自己行動単位による他者行動の理解、(3)カオス的情報処理と行動制御、(4)認知過程と行動の同時計測システムの開発、(5)クラスタ型分散計算による実時間ロボットシミュレータ、(6)統計的経験表現に基づくロボットの対話と行動生成、などで成果を上げた。(1)、(2)、(3)では脳科学の知見をロボットの行動の情報処理に実装することを目指した。(4)では、人間の注目点、瞳孔径、脳波などの認知情報と運動情報を同時計測するシステムの開発を進め、(5)では28関節、34自由度のヒューマノイドロボットのシミュレーションや運動制御を高速で行う計算論とその実装を進めた。(6)では人間との対話によって行動知識を獲得・蓄積するロボットを研究した。

(2) グループB

頸髄損傷者の日常動作獲得における「同時的姿勢」の発達について研究を実施した。日常行為の再学習課程に注目し、その遂行を多くの動作をゴール達成に有意義な系列として組織化し、有用な動作を選択する過程とみなしてこの点から行為発達を記述することを目的とした。行為発達の観察結果は、行為の遂行はゴールに向けた微細な動作の系列化によって達成されているだけでなく、各動作間の同時的協調というより高次の運動レベルへと発達を遂げていたことを示している。

(3) グループC

四脚歩行機械の自律分散制御系は、運動制御系、歩行パターン制御系から構成される階層構造型制御系である。脚運動制御系は歩行パターン制御系からの指令

値をもとにフィードバック制御によりアクチュエータを駆動する。歩行パターン制御系は非線形振動子により構成され、環境の変化に対して相互引き込み現象により、互いの位相差を調整し環境変化に適応した歩行パターンを形成し、安定な歩行を実現する。提案した制御系の有効性をシミュレーション、実験により検証した。

(4) グループD

同一構造の学習器を複数用いて階層的に構築することによる行動獲得法を提案した。下位の層はそれぞれ異なったサブゴールを担当し、低レベルな行為を学習する。同時に上位の層は下位の学習器を利用し、より高いレベルの行為を学習する。学習器が担当するサブゴール、タスクは自律的に決定され、また階層も自律的に構成される。提案する手法をロボカップに出場しているロボットに適用し、検証した。

(5) グループE

ペトリネットを用いた移動ロボットのモデル化とそのLLPスーパーバイザ制御の研究では移動ロボットによる建物内の探索問題を取りあげ、ペトリネットによってモデル化した後にLLP (limited lookahead policy) スーパーバイザ制御を行う手法を提案している。この手法はリアルタイムな制御を行うことができ、逐次詳細化などによりモデルの動的な更新にも対応できる。また逐次詳細化はLLPスーパーバイザの計算効率を改善するという効果もある。

経験に基づいて環境を分類する能力を学習することができる視覚付移動ロボットを開発した。この能力によりロボットはカメラ画像の領域分割において不変量を見つけ出し、ロボットの内的な相互作業に関連づけることができる。これと同時にロボットはセンサーモーターマッピングを学習する。このマッピングは将来アフォードランスの検出に利用することができる。

(6) グループF

線形判別分析は画像認識等で多用されるが、新規データを追加するには計算を初めからやり直さねばならないという欠点がある。本研究では、このやり直しを不要とするオンライン型の線形判別分析アルゴリズムを提案した。具体的には、種々の型のオンライン線形判別分析アルゴリズムを提案し、それらの収束性を理論的に解明した。また、顔画像からの個人識別問題にそれらを適用し、適応能力の実証や識別性の比較を行った。

(7) グループG

幾何情報から行動生成を行う第一歩として、一般的で完全なロボットの動作計画アルゴリズムであるシルエット法を再検討し、その代数計算アルゴリズムを大幅に改良し、全体として計算量の低減を実現した。新しいアルゴリズムでは、非

線型代数方程式の零次元の解を浮動少数点演算を用いて求めることによって、動作計画アルゴリズムを実装することができる。

(8) グループH

(1)ヒューマノイドロボットのためのシミュレーション環境を構築した。アクチュエータ特性を導出したり、ロボットの能力を推定することができる。(2)2足歩行ロボットの動的安定性を考慮した歩行パターンのオフライン生成法を研究した。ここでは、まず路面の制約条件を満足した足軌道を生成し、次にZMP規範に基づいて滑らかな胴体運動を導出する。(3)歩行中に生じる予期せぬ変動と環境外乱を、センサで実時間計測し、軌道を修正し、動的安定歩行を実現するフィードバック制御則を考案した。

3. 主な研究成果の発表（論文発表）

- "Development of the Torso Robot—Design of the New Shoulder Mechanism 'Cybernetic shoulder' —," Y. Nakamura, M. Okada, S. Hoshino, Preprints of 6th International Symposium of Experimental Robotics, pp.452-461, Sydney, Australia, March, 1999.
- "The Chaotic Mobile Robot," A. Sekiguchi and Y. Nakamura, Proc. of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.172-178, 1999.
- "Dynamics Computation of Closed Kinematic Chains for Motion Synthesis of Human Figures," K. Yamane and Y. Nakamura, Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.1108-1114, 1999.
- "Development of Humanoid Simulator as an Efficient R&D Platform," Y. Nakamura, K. Yamane, F. Nagashima and H. Hirukawa, Proc. of International Symposium on Robotics Research, 1999.
- "Dynamics Computation of Structure-Varying Kinematic Chains for Motion Synthesis of Humanoid," K. Yamane and Y. Nakamura, Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation, Vol.1, pp.714-721, Detroit, Michigan, May, 1999.
- "Synthesis, Learning and Abstraction of through Parameterized Smooth Map from Sensors to Behaviors Skills Sensors," N. Mizushima, T. Yamazaki and Y. Nakamura, Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation, Vol.3, pp2398-2405, Detroit, Michigan, May, 1999.
- "Making Feasible Walking Motion of Humanoid Robots From Human Motion Capture Data," A. Dasgupta and Y. Nakamura, Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation, Vol.2, pp1044-1049, Detroit, Michigan, May, 1999.
- "Development of the Cybernetic Shoulder --A Three DOF Mechanism that Imitates Biological Shoulder-Motion --," M. Okada, Y. Nakamura and S. Hoshino, Proc. of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.543-548,

1999.

- "Adaptive pick-and-place behaviors in a whole-body humanoid robot with an autonomous layer based on parallel sensor-motor modules," I. Mizuuchi, M. Inaba and H. Inoue, Robotics and Autonomous Systems, Vol. 28, pp. 99-113, 1999.
- "Developmental Methodology for Building Whole Body Humanoid System," F. Kanehiro, Y. Tamiya, M. Inaba and H. Inoue, Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems , pp.1210-1215, 1999.
- "Acquisition of Probabilistic Behavior Decision Model based on the Interactive Teaching Method," T. Inamura, M. Inaba and H. Inoue, Proc. Of International Conference on Advanced Robotics, pp. 523-528, 1999.
- "チェインドフォーム・マニピュレータの設計、" 鄭 宇眞、中村 仁彦、日本ロボット学会誌、17(1),pp. 61-67, 1999.
- "非ホロノミック・トレーラシステムの操舵機構設計と制御、" 中村 仁彦、江崎 秀明、鄭 宇眞、日本ロボット学会誌、17(6), pp.839-847, 1999.
- "人のような動きをするロボット、" 山根 克、中村 仁彦、第5回日本IFTtoMM会議シンポジウム前刷集、 pp.26-32,1999.
- "頸髄損傷者の日常動作獲得における「同時的姿勢」の発達" 佐々木 正人、宮本 英美、小池 琢也他、東京大学大学院教育学研究科紀要、1999年版、
- "A Study on optimal of a biped locomotion machine," K.Tsuchiya, K.Tsujita and Y.Kawano, Artificial Life and Robotics 3, pp.50-60, Springer Verlag, 1999.
- "Autonomous Decentralized Control of a Quadruped Locomotion Robot using Oscillators, "K.Tsujita, A.Onat, K.Tsuchiya and Y. Kawano, 5th International Symposium on Artificial Life and Robotics, 2000.
- "A Motion Control of a Two-Wheeled Mobile Robot," K.Tsuchiya, T.Urakubo and K.Tsujita, IEEE International Conference on Systems,Man, and Cybernetics,1999.
- "A Deterministic Annealing Algorithm for a Combinatorial Optimization Problem by the use of Replicator Equations," K.Tsuchiya, T.Nishiyama and K.Tsujita, IEEE International Conference on Systems,Man, and Cybernetics,1999.
- "A Trajectory and Force Control of a Manipulator with Elastic Links, " K.Tsujita, K.Tsuchiya and Y.Kawano, International Symposium on Artificial Intelligence,Robotics and Automation in Space , 1999.
- "Behavior Acquisition by Multi-Layered Reinforcement Learning," Yasutake Takahashi and Minoru Asada, Proc. of the 1999 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp. 716 -721, 1999.
- "Grounding symbols through sensorimotor integration," MacDorman, K. F., Journal of

- the Robotics Society of Japan, 17(1), pp.20-24, 1999.
- "Why is cognitive robotics promising?," Nakamura, T., Sato, T., Kuniyoshi, Y., Hiraki, K., Shibata, T., Asada, M., MacDorman, K. F. & Tani, J. , Journal of the Robotics Society of Japan, 17(1), pp.38-43, 1999.
 - "Prediction-Based Control in Chaotic Discrete-Time Systems," T. Ushio and S. Yamamoto, IEEE Conference on Decision and Control, 1999.
 - "Stability Analysis for Interconnected Hybrid Systems," S. Yamamoto and T. Ushio, Thirty-Seventh Annual Allerton Conference on Communication, Control , and Computing, 1999.
 - "Partition nets: An efficient on-line learning algorithm." MacDorman, K. F. Proc. of International Conference on Advanced Robotics, pp. 529-535, Tokyo, 1999.
 - "Heuristics for projecting of a sensorimotor mapping," MacDorman, K. F., Proc. of 30th International Symposium on Robotics(ISR-99), pp. 169-176, Tokyo, 1999.
 - "逐次学習型の線形判別分析アルゴリズムについて--- 学習アルゴリズムの提案と局所収束性の証明---," 平岡 和幸、濱平 仁、信学技報、NC99-73, pp. 85-92, 1999.
 - "近傍モデル遺伝的アルゴリズムによる多目的最適化、" 村川 正宏、吉澤 修治、情報処理学会論文誌、 40(4), pp. 1792-1800, 1999.
 - "A new method for magneto-encephalography: A three-dimension magneto-meter-spatial filter system," K. Toyama, K. Yoshida, Y. Kondo, S. Tomita, Y. Takanashi, Y. Ejima and S. Yoshizawa, Neuroscience, 91(2), pp. 405-415, 1999.
 - "筋肉の Hodgkin-Huxley 方程式における周期倍分岐の連鎖、" 寺田 和子、吉澤 修治、西村 千秋、日本神経回路学会誌、 6(2), pp. 99-105, 1999.
 - "Bifurcation of the Hodgkin-Huxley equations for muscles as a model of sodium channel diseases," 寺田 和子、吉澤 修治、西村 千秋、NOLTA'99, Hawaii, pp. 203-206, 1999.
 - "A High Stability Smooth Walking Pattern for a Biped Robot," Q. Huang, S. Kajita, N. Koyachi, K. Kaneko, K. Yokoi, H. Arai, K. Komoriya, and K. Tanie, Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation, Vol.1 pp. 65-71, 1999.
 - "Walking Patterns and Actuator Specifications for a Biped Robot," Q. Huang, S. Kajita, N. Koyachi, K. Kaneko, K. Yokoi, T. Kotoku, H. Arai, K. Komoriya, and K. Tanie, Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Vol.3, pp. 1462-1468, 1999.
 - "Development of a Humanoid Robot Simulator," Q. Huang, S. Kajita, K. Kaneko, Kazuhito Yokoi, N. Koyachi, T. Kotoku, H. Arai, N. Imamura, K. Komoriya, K. Tanie, Proc. of Second International Symposium on Humanoid Robots, Vol.1, pp. 115-120, 1999.