

2004 年度

東京大学 大学院工学系研究科 精密機械工学専攻

知能システム部門

(新井研究室・横井研究室・太田研究室)

研究紹介

(工学部システム創成学科・知能社会システムコース)

〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

TEL: 03-5841-6486 / FAX: 03-5841-6487

URL: <http://www.arai.pe.u-tokyo.ac.jp/>

新井研究室 (知能システム学研究室)

教授 新井 民夫 (工 14・827 号室 03-5841-6457)
助手 上田 隆一 (工 14・822 号室 03-5841-6486)
博士課程学生 熊谷 英樹, 浅見 一夫, 京 昭倫, 山野辺 夏樹
修士課程学生 坂本 浩平, 宮澤 清和, 各務 幸樹, 実川 達明,
Chee Siong LOH
学部 4 年 宇藤 祐光, 竹下 和孝, 藤井 浩光

横井研究室 (認知発達機械研究室)

助教授 横井 浩史 (工 14・1126 号室 03-5841-8549)
博士課程学生 加藤 龍 (研究指導委託)
学部 4 年 藤田 哲士朗, 溝口 勇貴

太田研究室 (移動ロボティクス研究室)

助教授 太田 順 (工 14・825 号室 03-5841-6456)
特任助手 杉 正夫 (武田先端知ビル・303 号室 03-5841-1173)
産学官連携研究員 千葉 龍介 (工 14・826 号室 03-5841-6486)
博士課程学生 香月 理絵, Chomchana TREVAI, 星野 智史,
Jose Ildefonso Udang RUBRICO, 寺林 賢司
修士課程学生 鴨島 里実, 田村 雄介, 安永 能子, 小栗 健一郎,
藤田 武久, 承 敏鋼
学部 4 年 齊藤 陽一, 二階堂 諒, 渡辺 哲朗

知能システム部門 (Intelligent Systems Division)

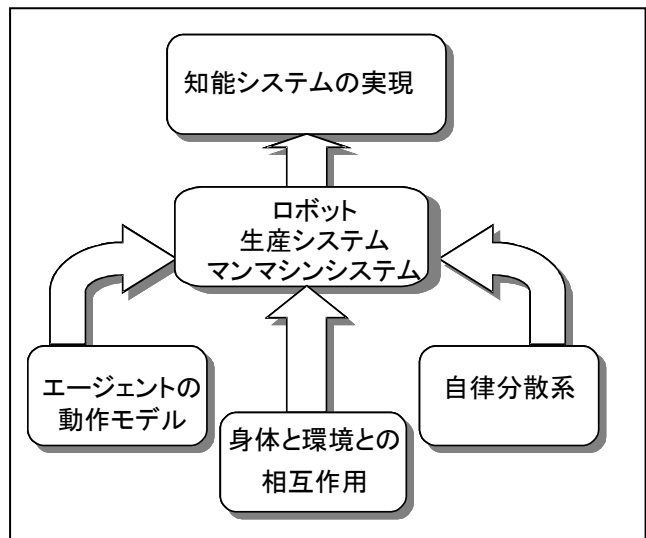
(知能システム学研究室・認知発達機械研究室・移動ロボティクス研究室)

知能システム部門は、3名の教授・助教授と3名の助手・研究員から構成される。従来からの新井民夫教授、太田順助教授に加えて、2004年3月より横井浩史助教授が北海道大学から着任し、自律分散システムや生体システムの研究を進める。杉正夫特任助手(2003年4月採用)、千葉龍介産学連携研究員(2004年4月採用)、並びに上田隆一助手(2004年4月採用)はそれぞれ若い力で新しい分野へ挑戦している。なお、前田雄介助手は横浜国立大学へ講師として異動した。

本部門はロボティクス、認知発達メカニズム、システム工学技術を融合・発展させた**知能システム**の確立を目指す。同部門は人間と機械の共生、ロボットの移動と行動知能、自律分散系について研究を行うことで、究極の知能システム構築原理を追求する。また生産システム、マンマシンシステムを知的適応システムとして捉え、構築することを試みる。

それらの関係を右図に示す。

- **人間と機械の共生 (知能システム学研究室, 新井民夫教授)**: 実世界で生存するロボット, 技能・操作のモデル化と最適化, 教示, 柔軟な生産システム.
- **成長発達における適応機能の研究 (認知発達機械研究室, 横井助教授)**: 身体と環境との相互作用における脳・細胞集団の理論, 形態機能の知的インターフェース構築.
- **ロボット行動の研究 (移動ロボティクス研究室, 太田順助教授)**: ロボットの移動・行動知能, 群ロボット制御, ロボットのための環境整備法, 知的行動の数理的解析.



具体的には以下のテーマについて研究を進めている。

知能システム学研究室 (新井民夫教授) 中心のテーマ

- サッカーにおける四脚ロボットの実時間行動決定 (新井教授・上田助手)
- グラスプレス・マニピュレーションの解析と計画 (新井教授・横浜国大 前田講師)
- サイクルタイムを考慮した力制御パラメータ設計手法の構築 (新井教授)
- ホロニック組立システム (新井教授)
- サービス工学の研究 (新井教授)

ARAI – YOKOI – OTA LAB

認知発達機械研究室（横井 浩史 助教授）中心のテーマ

- 人と機械の相互適応系—多自由度筋電義手のための個性適応型制御—（横井助教授・新井教授）
- 多自由度高出力ロボットハンドの開発（横井助教授・新井教授）
- 環境温度適応型 SMA 制御法の開発（横井助教授・新井教授）

移動ロボティクス研究室（太田 順助教授）中心のテーマ

- 実環境とのインタラクションによる複数知能エージェントの行動獲得（太田助教授・新井教授）
- Attentive Workbench: 手を差し伸べる組立システム（杉特任助手・太田助教授・新井教授）※
- 交通信号網の自律分散型制御（杉特任助手・太田助教授・新井教授）
- ロボットの知的行動を支援する環境整備法（太田助教授・新井教授）
- 移動マニピュレータによる複数作業実現（千葉研究員・太田助教授・新井教授）
- 港湾物流における AGV 搬送システムの最適設計論（太田助教授）
- 搬送センター設計アルゴリズムの開発（太田助教授）
- 平置き倉庫における自律エージェント群の経路生成（太田助教授）
- 共進化による生産システム設計（千葉研究員・太田助教授・新井教授）
- デジタルハンド—MR 画像からの手骨位置姿勢同定—（太田助教授・産総研 宮田研究員）

※ この研究は東京大学大学院情報理工学系研究科並びに工学系研究科精密機械工学専攻が遂行している 21 世紀 COE プログラム「情報科学技術戦略コア」の支援を受けている。

前田 雄介 (MAEDA, Yusuke) 移動先

国立大学法人 横浜国立大学 大学院工学研究院 システムの創生部門 システムのデザイン分野

〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5 Tel/Fax: 045-339-3918 <mailto:maeda@ynu.ac.jp>

工学部 14 号館，武田先端知ビル（本郷キャンパス）



人工物工学研究センター（駒場リサーチキャンパス）



サッカーにおける四脚ロボットの実時間行動決定 (新井教授・上田助手)

ロボットサッカーは実世界で行動するロボットの知能を研究するための標準問題となっており、その世界大会である RoboCup (Robot soccer world cup)が毎年開催されている。東京大学・中央大学連合チーム “Team ARAIBO”は、RoboCup の一部門である SONY four-legged robot league に 1999 年から毎年参加し、脚型ロボット(ERS-210, 通称 AIBO)を用いて実時間性が求められる状況での画像処理、行動知能の研究を行っている。

実時間でロボットが行動する場合、情報量と観測時間のトレードオフが常に存在する。ロボットはカメラの制御、画像処理時間を極力抑えなければならず、自身の位置さえもはっきりしない状況で行動する必要がある。このような場合に事前設計の意図どおりにロボットを動作させることは非常に困難である。

そこで、情報既知を前提として動的計画法を用いて得た行動計画結果と、情報不足を表現する自己位置推定法を組み合わせ、情報不足の状態から適切な行動を選択する方法を設計、実装した。Fig.1 は、この手法によるキーパーロボットのゴール帰還行動の例で、ロボットはゴールに入るために十分な自己位置の情報が得られるまでゴール前で待機し、得た後にゴールに入っている。これに関連して、大規模な行動計画結果をロボットに実装するためにベクトル量子化を用いて圧縮する手法の提案、実装も行っている。

また、別のアプローチとして、シミュレータにより PC 内に試合状況を再現し、この環境内で仮想ロボットに行動を獲得させる試みを行っている。このシミュレータ (Fig.2) の特徴は、実機のカメラ画像の歪みやノイズを忠実に再現することである。仮想ロボットは実機と同じ画像処理を用いて環境を認識して行動するため、獲得した行動が実環境でも通用することが期待される。

Keywords: Dynamic programming, Vector Quantization, Simulator

References

- 1) Ryuichi Ueda, Takeshi Fukase, Yuichi Kobayashi, Tamio Arai, Hideo Yuasa, and Jun Ota: “Mobile Robot Navigation based on Expected State Value under Uncertainty of Self-localization,” *Proc. of IROS*, pp. 473-478, 2003.
- 2) Ryuichi Ueda, Takeshi FUKASE, Yuichi KOBAYASHI and Tamio ARAI: “Vector Quantization for State-Action Map Compression,” *Proc. of ICRA2003*, Taipei, Taiwan, 2003.
- 3) Kazunori Asanuma, Kazunori Umeda, Ryuichi Ueda and Tamio ARAI: “Development of a Simulator of Environment and Measurement for Autonomous Mobile Robots Considering Camera Characteristics,” *RoboCup International Symposium*, Padova, Italy, 2003.

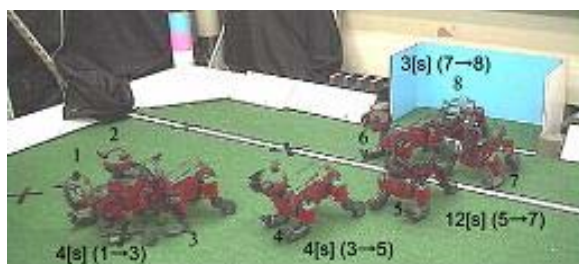


Fig. 1: Behavior of a goalkeeper robot

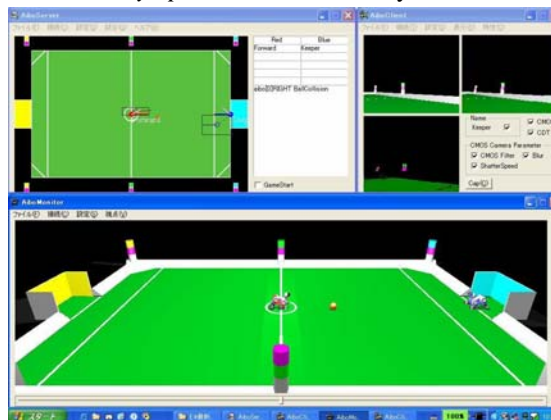


Fig. 2: Simulator

グラスプレス・マニピュレーションの解析と計画

(新井教授・横浜国立大学 前田講師)

物体を把持せずに、押す・転がすなどして操るグラスプレス・マニピュレーション(Fig. 1)は、少ない力で物体を操作できること、把持が不可能な状態でも操作可能であることから、ロボットに人間のような器用な操りを実現させる上で重要である。ロボットの動きとの対応が自明ではないため、計画には障害物回避だけでなく力学の考慮が必要となる。また、操作が不可逆（押せても引けない、など）な場合があることも、計画を困難にしている。

当研究室では、この問題を扱うために必要な、グラスプレス・マニピュレーションの力学解析手法と計画アルゴリズムについて研究を行っている。力学解析としては、操作の確実性の定量的評価や過大な内力の発生可能性を判定する手法を提案している。動作計画については、2本指による持ち替えを含むマニピュレーションの計画を扱い、操作の確実性を考慮に入れた作業手順の生成を実現した(Fig. 3)。Probabilistic Roadmaps などの手法を参考に、コンフィギュレーション空間を適応的にサンプリングすることで、計画時間を高速化している。計画されたマニピュレーションを多指ハンドで実行した例を Fig. 4 に示す。

Keywords: Manipulation Planning, Graspless Manipulation

References

- 1) Yusuke MAEDA and Tamio ARAI: “A Quantitative Stability Measure for Graspless Manipulation,” Proc. of 2002 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, 2002.
- 2) 前田 雄介, 新井 民夫: “グラスプレス・マニピュレーションのためのロボット指の動作計画”, 第8回ロボティクスシンポジウム予稿集, pp.391-396, 2003.
- 3) L. E. Kavraki et al: “Probabilistic Roadmaps for Path Planning in High-Dimensional Configuration Spaces,” IEEE Trans. on Robotics and Automation, vol.12, No.4, pp.566~580, August 1996.

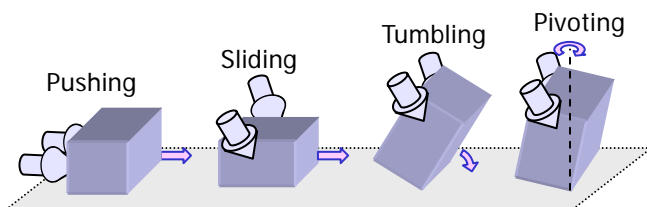


Fig. 1 Graspless Manipulation

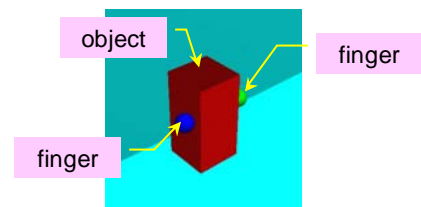


Fig. 2 Model of Graspless Manipulation

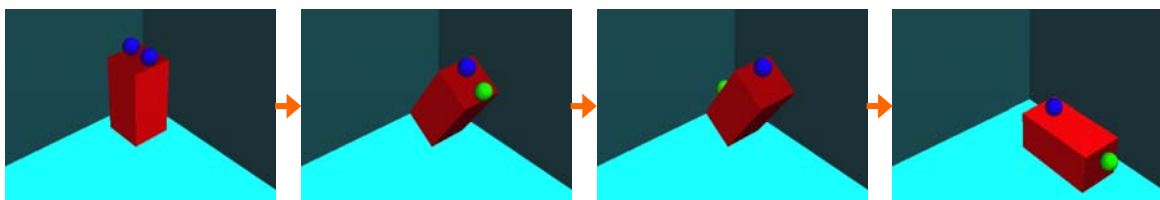


Fig. 3 Planned Tumbling Operation with Regrasping

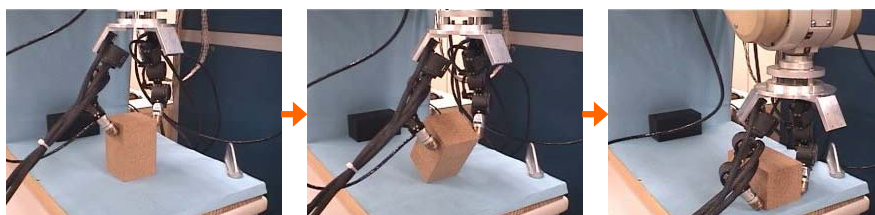


Fig. 4 Execution of Planned Tumbling Operation by Multi-Fingered Hand

サイクルタイムを考慮した力制御パラメータ設計手法の構築 (新井教授・横浜国立大学 前田講師)

現在、製造現場においては、ロボットによる複雑な組立作業の実現が要求されている。ここで、組立作業のような接触を伴う作業をロボットにより実現するためには力制御が有効であり、適切な力制御のためには適切な力制御パラメータが必要である。また、産業的にはサイクルタイム、すなわち作業開始から終了までの時間、の短縮が最重要課題であり、短いサイクルタイムで適切に作業を達成することのできるパラメータが要求されている。

本研究では、上記の要求を満たす力制御パラメータを設計する手法を提案する。具体的には、理論的に求めることが非常に困難であるサイクルタイムを考慮するため、作業のシミュレータを用い、シミュレーションの結果として得られるサイクルタイムを評価値としてパラメータ探索を行う。このパラメータ探索は、制約条件つき非線形最適化問題として定式化され、この最適化問題を解くことにより、サイクルタイムを短縮する準最適パラメータを獲得する (Fig.1)。

この設計手法を、典型的な組立作業である Peg-in-Hole 作業および複雑な作業であるクラッチ嵌合作業に適用した。まず実機による基礎実験をもとにシミュレータを作成し (Fig.2, Fig.3)、そのシミュレータを用いてパラメータ探索を行った。その結果として、サイクルタイムを短縮する準最適なパラメータが獲得できることが確認され、提案手法の有用性を示した。

Keywords: Cycle Time; Damping Control; Admittance; Robotic Assembly, Optimization

References

- 1) Natsuki Yamanobe, Yusuke Maeda, Tamio Arai: “Designing of Damping Control Parameters for Peg-in-Hole Considering Cycle Time,” IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2004.
- 2) 山野辺 夏樹, 前田 雄介, 新井 民夫: “クラッチ嵌合作業におけるサイクルタイム短縮のためのダンピング制御パラメータ設計,” ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2004.

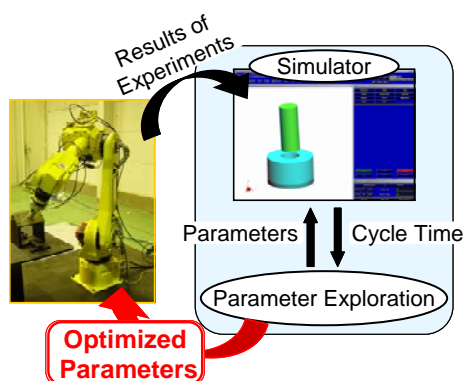


Fig. 1 Schematic View of Designing Force Control Parameters

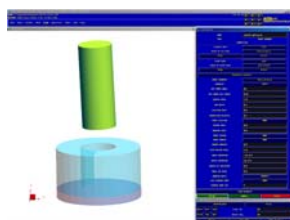


Fig. 2 Simulator for Peg-in-Hole Operations

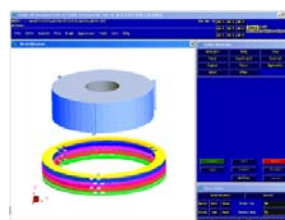


Fig. 3 Simulator of Assembly of Clutch

ホロニック組立システム (新井教授・横浜国立大学 前田講師)

現在、生産の形態は大量生産から多品種少量生産へと変わりつつある。従来の集中管理型の生産システムは、耐故障性、汎用性、あるいは動的な生産計画への対応力といった“柔軟性”に欠けるため、高い柔軟性を備えた自律分散型の生産システムが研究されている。本研究室では、IMS (Intelligent Manufacturing Systems)のホロニック生産システムプロジェクトに参加し、ホロンの概念に基づくホロニック組立システムを提案している。

ホロンは自律性と協調性を兼ね備えたシステム要素であり、ホラーキーと呼ばれる階層型の制御構造を形成する。本システムでは、生産管理ホロン、および機器に対応する実行ホロンがホラーキーを形成する (Fig. 1)。頂点のタスクホロンが製品の生産を命令されると、命令は分解を繰り返されつつ下位の階層へと受け渡される。生産管理層の末端であるオペレーションホロンは、契約ネットプロトコルに基づく交渉によって実行ホロンを確保し、部品の移動あるいは挿入などの作業を機器に遂行させる。提案システムは、複数のロボットから構成される組立セルとして実装されている (Fig. 2)。また、システムの自律分散的構造を利用して、機器の追加 (Fig. 3)・削除などシステムの容易な物理的再構成を可能にする機能“Plug & Produce”の実現を目指しており、機器の追加時に必要な機器間相互位置の自動キャリブレーション (Fig. 4) などの研究も進めている。

Keywords: Holon, Holarchy, Assembly, Manufacturing Systems, Plug & Produce

References

- 1) 井澤 秀益, 前田 雄介, 菊地 悠, 小河 寛揮, 杉 正夫, 新井 民夫, “ホロニック組立システムの開発 (第1報),” 精密工学会誌, Vol. 70, No. 3, pp. 368~373, 2004.
- 2) 前田 雄介, 菊地 悠, 井澤 秀益, 小河 寛揮, 杉 正夫, 新井 民夫, “ホロニック組立システムの開発 (第2報),” 精密工学会誌, Vol. 70, No. 4, pp. 506~511, 2004.
- 3) Masao SUGI, Yusuke MAEDA, Yasumichi AIYAMA Tomokazu HARADA and Tamio ARAI: “A Holonic Architecture for Easy Reconfiguration of Robotic Assembly Systems,” IEEE Trans. on Robotics and Automation, Vol. 19, No. 3, pp. 457~464, 2003.
- 4) T. Arai, Y. Maeda, H. Kikuchi, M. Sugi: “Automated Calibration of Robot Coordinates for Reconfigurable Assembly Systems,” Annals of the CIRP, Vol. 51, No. 1, pp. 5~8, 2002.

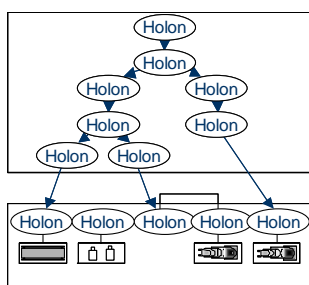


Fig. 1 Holarchy for Holonic Assembly Cell



Fig. 2 Holonic Assembly Cell

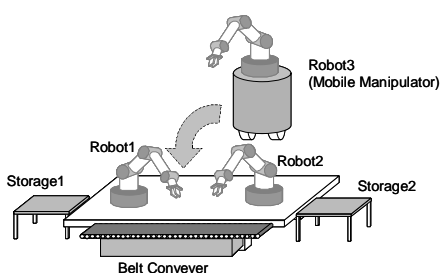


Fig. 3 Plug-in of a New Device

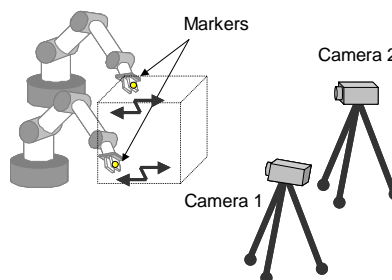


Fig. 4 Automated Calibration for Plug & Produce

人と機械の相互適応系—多自由度筋電義手のための個性適応型制御—
(横井助教授・新井教授)

1. **はじめに** 体表面から計測する筋肉の活動電位ポテンシャルは、表面筋電位 (EMG) と呼ばれ、人体の活動を非侵襲型の簡便な電氣的計測にて記録できる伝統的な方法の一つである。EMG は、筋膜表面を伝播して筋の収縮を制御する生体信号であるため、その計測・解析することで人の筋活動の様相を電氣的に把握できる興味深い信号である。EMG のこの性質は、前腕切断者などの意図推定に利用され、義手制御への応用がなされてきた。

しかしながら、EMG は非線形性の高い波形をもつ信号であり、また個人差や時間的変動による影響が非常に大きいため、その解析はかなり難度が高い。我々はこの問題に対して、情報处理的な適応学習の方法論を導入することで、数多くの手先運動パターンの識別に成功し、多自由度-筋電義手の制御法を提案してきた。この研究枠では、情報处理的な適応学習の方法論の EMG 分析能力を向上させるために、さらに、人の適応行動についてもその調査対象とすることで、人と機械の相互適応系の様相を明らかにすることを目指している。

2. **多自由ハンドと個性適応型制御** 多自由度ハンドの運動を制御するための入力信号は、EMG の他にも筋音、筋緊張度 (硬さ) 等が研究されている。機械学習の考え方を導入することにより、EMG と手指運動パターンとの対応関係を後天的に獲得させる方法論が有効であり、このような方法論を個性適応型制御 (Fig.1) と呼び、その開発を行っている。

3. **バイオフィードバックと人の適応過程の観測** 触覚や力覚は、義手の最重要な課題であるにも関わらず、未だ商品化には結びついていない。手先の触覚をフィードバックする技術として、断端部への電気刺激や振動、圧迫力を付与するものが一般的である。この研究枠においても電気刺激を応用した触覚フィードバックを用いて人の知覚への直接刺激と適応学習の補助的役割を目指した研究を行っている。さらに f-MRI により義手適用時の人間への影響を臨床的に評価することでその有効性を検証する (Fig.2)。

Keywords: EMG, Adaptable Control for Individual Characteristics, FES, Bio-feedback

References

- 1) 横井浩史, 兪文偉, 成瀬継太郎: “筋電義手の新しい制御法”, 日本義肢協会 PO アカデミージャーナル, 第 10 巻, 第 1 号, pp9-12, 2002.
- 2) Ryu Katoh, Hiroshi Yokoi et al., "Evaluation of Biosignal Processing Method for Welfare Assisting Devices - Evaluation of EMG Information Extraction Processing Using Entropy -", Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.14, No.6, pp.573-580, 2002.

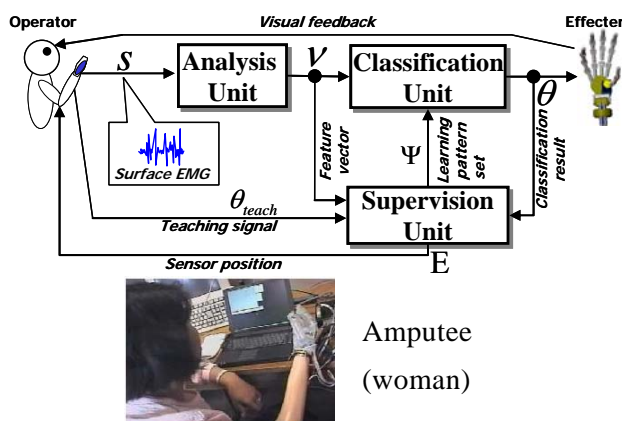


Fig.1 Adaptable control for individual characteristics, and Adaptation to an amputee.

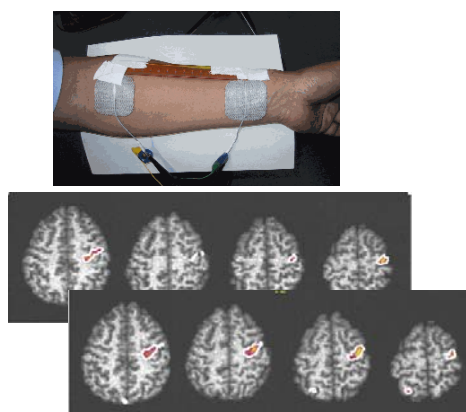


Fig.2 Tactile feedback using FES, and Change in f-MRI image after applied to the EMG prosthetic hand.

多自由度高出力ロボットハンドの開発

(横井助教授・新井教授)

1. **はじめに** 本研究は、日常生活への適応を想定した筋電義手用のロボットハンドの構築を目的としている。筋電義手は、人の手の機能代替機器であり、その必要とされる機能は、簡単な把持動作から細かいもののマニピュレーションまで多岐に渡る。また、重量制限の制約も大きく、耐水性、完全自律型でなければならないなど、この点で工業用のロボットハンドとは、本質的に異なるものとなる。本研究では、多機能・軽量・耐水・自律などの機能を併せ持つロボットハンドの開発を目指す。ここでは、tendon wire 方式を拡張し、複数のアクチュエータ出力を有効に用いるために干渉駆動型適応関節方式を提案する。

2. **干渉駆動型適応関節方式** 提案手法は、tendon wire を用いて関節を駆動する方式の一種であり、その機構を Fig.4 に示す。Fig.3(a)は、ワイヤーの経路が関節の直上に位置する場合であり、この場合、ワイヤーは関節に駆動力を伝達しないため受動関節となる。(b)においては、ワイヤーの経路が関節の直近にあるため関節を駆動するモーメントアームが小さくなり、高速（低トルク）の動力伝達となる。(c)は、ワイヤーの経路が関節から離れるため、その距離に応じてモーメントアームが大きくなるため高トルク（低速）の動力伝達となる。本方法論を用いて、ロボットハンドを構成した結果を Fig.1 と Fig.4 に示す。

Keywords: Mult-D.O.F. EMG Prosthetic Hand, Tendon-driven Mechanism, Adaptive Joint for Interference-driven Mechanism, Passive and Active Joint

References

- 1) Alejandro Hernandez Arieta, Hiroshi Yokoi, et al. "Integration of a Multi-D.O.F. Individual Adaptable with Tactile Feedback for an EMG Prosthetic System", Intelligent Autonomous Systems 8 F.Groren et al.(Eds.) IOS Press, pp.1013-1021,2004.



Fig.1 Robot hand system.

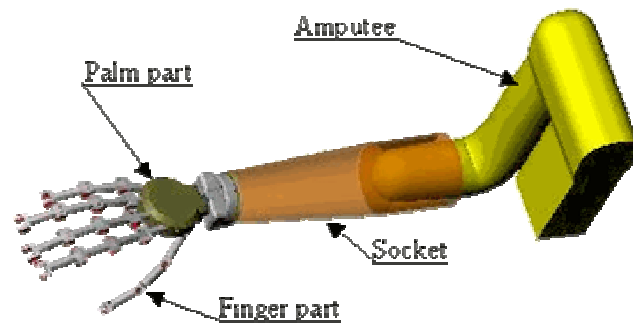


Fig.2 Powered prosthetic hand for forearm.

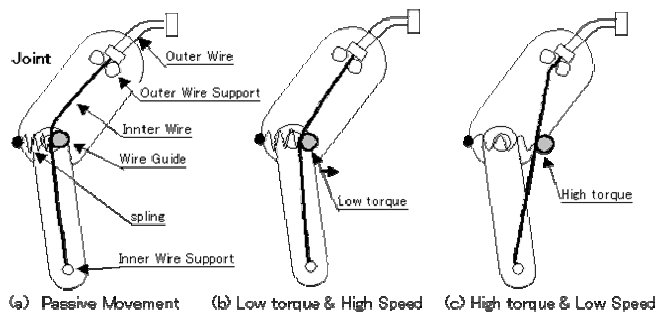


Fig.3 Adaptive joint mechanism.

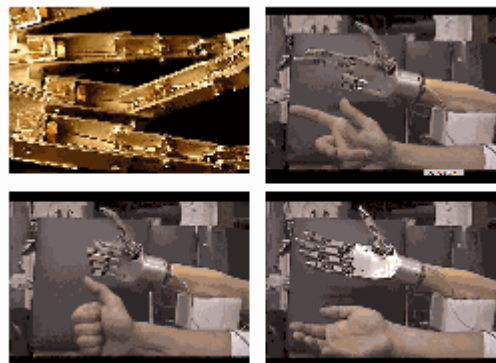


Fig.4 Multi-D.O.F. EMG prosthetic hand.

実環境とのインタラクションによる複数知能エージェントの行動獲得 (太田助教授・新井教授)

本研究グループでは、実環境とのインタラクションを繰り返すことにより、知的行動を獲得する複数のエージェントシステムに関して研究を行っている。Fig.1はシミュレーションにおける、複数のエージェントのナビゲーション行動獲得である。複数のエージェントは未知環境において、センサと環境とのインタラクションの結果により、互いに回避行動を行い、目的地へと到達する。

シミュレーションで行った結果により、実機のエージェントにおける検証も Fig.2 のように行われた。実機における検証実験では、シミュレーションで生成できない不確定なノイズなどの影響下においても、実世界のエージェントが行動可能かどうかを検証できる。本研究における結果により、様々なアプリケーション(例えば、清掃ロボット、警備ロボットなど)での実機エージェントの実用化の基礎となる頑健なナビゲーション機能が得られる。

Keywords: Multiple Mobile Robots, Exploration, and Navigation

References

- 1) C. Trevai, Y. Fukazawa, H. Yuasa, J. Ota, T. Arai and H. Asama. "Cooperative Exploration Path Planning for Mobile Robot by Reaction-Diffusion Equation on a Graph. special issue of Integrated Computer-Aided Engineering(ICAE).
- 2) Y. Fukazawa, C. Trevai, J. Ota, H. Yuasa, T. Arai and H. Asama. "Region Exploration Path Planning for a Mobile Robot Expressing Working Area By Grid Points", Advanced Robotics The international journal of the Robotics Society of Japan.
- 3) Y. Fukazawa, C. Trevai, J. Ota, H. Yuasa, T. Arai and H. Asama. "Acquisition of Intermediate Goals for an Agent Executing Multiple Tasks", IEEE Transaction on Robotics.

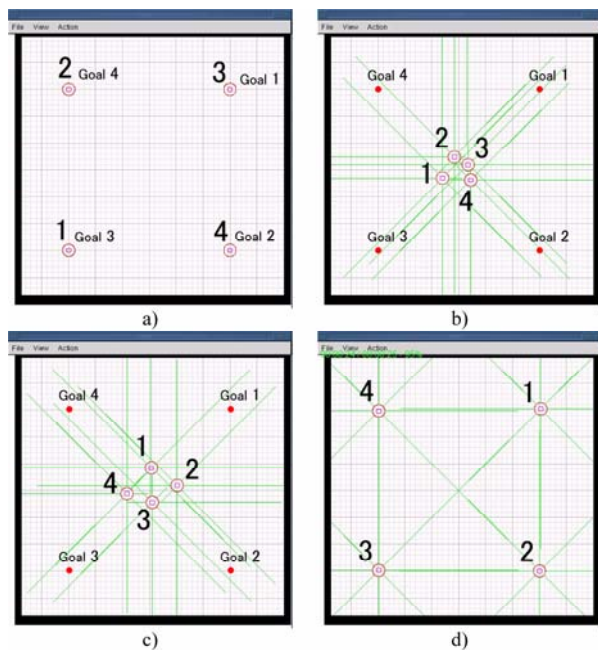


Fig. 1 Simulation of Distributed Mobile Robots Navigation

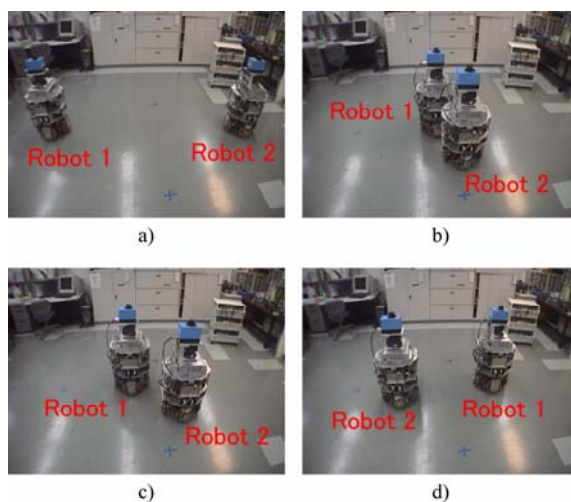


Fig.2 Experiment of 2 Mobile Robots

Attentive Workbench: 手を差し伸べる組立システム

(杉助手・太田助教授・新井教授)

今日の生産形態は大量生産から多品種少量生産へと変わりつつある。このため近年、特定製品の大量生産に特化した自動化生産ラインに代わり、人間作業者をを用い、各作業者が製品を最初から最後まで生産する“セル生産方式”が用いられるようになってきている。

セル生産方式では熟練作業者が必要となる。個々の作業者の差異が製品の品質のばらつきに直結するため、均質な作業者が多数必要となる。しかし近年、少子化や製造業離れが顕著であり、均質な熟練作業者を確保することは困難になると予想される。

上述の現状に対する一つの解決案として、セル生産システムを知能化・機械化して作業者を情動的・物理的に支援するシステムの採用が考えられる。そのようなシステムのプロトタイプとして本研究室では、精密機械工学専攻・高増教授，山本講師，木村教授，先端科学技術研究センター・鈴木宏正教授，生産技術研究所・佐藤助教授，システム情報学専攻・新助教授らと共同で、Attentive Workbench（気の利く作業台，以下 AWB）の開発を行っている（Fig.1）。

AWB では、システムは作業者の意図をジェスチャや生体データ（脈拍や呼吸など）から認識する。システムはプロジェクタやディスプレイを用いて作業者に情報（製品の組立方法など）を提示し、また自走式トレイ群を用いて組立に必要な部品の手渡しや完成品の片付けなどを行う。これら情報面・物理面両面の作業者支援により、作業者の個性に影響されない製品品質，組立作業の迅速化，作業者にやさしい生産環境の実現などが期待できる。

本研究室では現在提案システムの実装を進めている。また本研究室では AWB の家庭環境への応用を目指しており、センサ情報と過去の作業履歴とを統合して作業者の意図を精度よく認識する手法を開発した。

謝辞 本研究は 21 世紀 COE プログラム「情報科学技術戦略コア」の支援を受けている。

Keywords: Cell Production System, Attentive Workbench (AWB), EnhancedDesk

References

- 1) 杉正夫, 田村雄介, 太田順, 新井民夫, 木村文彦, 高増潔, 鈴木宏正, 新誠一, 佐藤洋一, 山本晃生, 小谷潔: “Attentive Workbench — 手を差し伸べる生産システム 第 1 報: 自走式トレイ群の制御システム”, 第 21 回日本ロボット学会学術講演会, 2B27(CD-ROM), 2003.
- 2) 田村雄介, 杉正夫, 太田順, 新井民夫, 高増潔, 鈴木宏正, 佐藤洋一: “Attentive Workbench を用いた卓上作業の支援,” 第 16 回自律分散システム・シンポジウム資料, pp. 291-296, 2004.

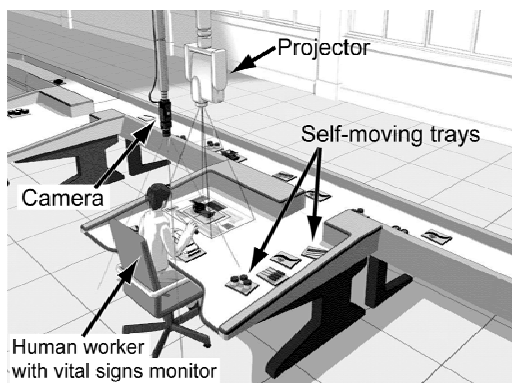


Fig. 1 Overview of Attentive Workbench

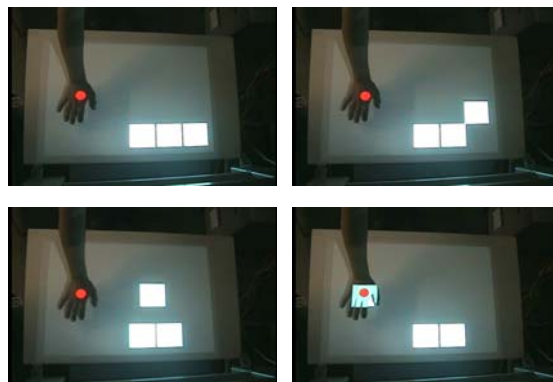


Fig. 2 Demonstration of Attentive Workbench with Virtual Self-Moving Trays

交通信号網の自律分散型制御

(杉助手・太田助教授・新井教授)

自動車の保有台数が増加するのに伴い、渋滞の発生等の問題が顕著になっており、既存の道路をより効率良く利用することが必要である。そのための具体的な方法の一つに交通信号制御がある。交通信号制御の制御形態には単独制御（個々の信号を独立に扱い、他の信号の影響は考慮しない）、系統制御（同一道路上の信号群を調整する）、および広域制御（系統制御を道路網に拡張したもの）の3種があるが、このうち特に広域制御は大きな効率改善を実現できるものとして期待されている。従来の広域制御では交通量調査に基づいてオフライン最適化問題を解き、得られた解に従って信号群を集中管理する。しかしこの方法では事故など想定外の状況や交通流の動的な変化に対処することが困難で、また計算量の問題があり、制御対象地域を拡大することも難しい。

本研究は、交通信号網を非線型結合振動子系としてモデル化し、振動子系の挙動をグラフ上の反応拡散方程式によって記述することで、交通信号網の広域制御を自律分散的手法に実現する (Fig.1)。各信号は、それぞれの局所的な交通状況に応じ、スプリット（信号が各方向の交通流に与える青信号時間の比）、オフセット（隣接する信号同士の青信号開始時刻の差）、およびサイクル長（信号の周期）を調節する。これにより、動的な交通流への対処や広い制御対象地域への適用を目指す。

簡単な環境（基盤状の道路網、右左折はなく直進のみの交通流）を想定してシミュレーションを行い、提案手法の有効性を調べた (Fig. 2)。その結果、提案手法は定常的な交通流に対して高い交通効率を実現するとともに、交通流が動的に変化する場合にも迅速に対応できることが確認できた。

今後は現実の交通データを適用し、提案手法の有効性を検証する予定である。

Keywords: Traffic Signal Control, Nonlinear Coupled Oscillator System, Reaction-Diffusion

Equation on a Graph

References

- 1) 杉正夫, 湯浅秀男, 新井民夫: “グラフ上の反応拡散方程式による交通信号網の自律分散型制御”, 計測自動制御学会論文集, Vol. 39, No. 1, pp. 51~58, 2003.
- 2) 杉正夫, 湯浅秀男, 太田順, 新井民夫: “サイクル長制御を取り入れた自律分散型交通信号制御”, 計測自動制御学会論文集, Vol. 39, No. 8, pp. 767~776, 2003.

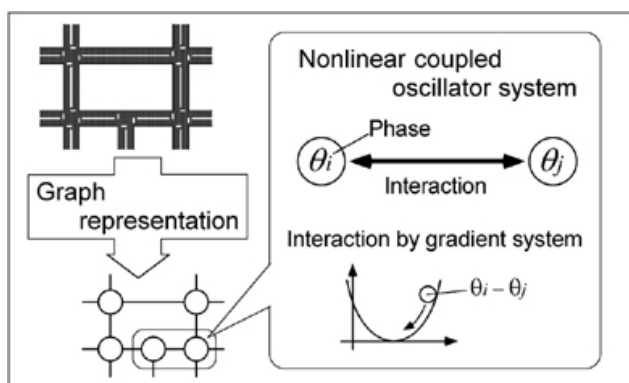


Fig. 1 Overview of Offset Control

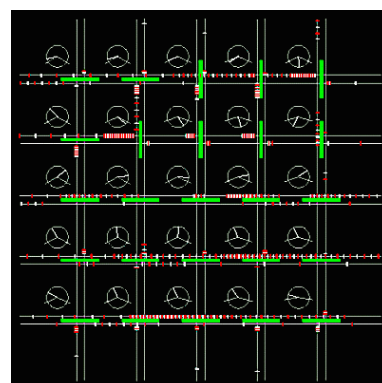


Fig. 2 Traffic Simulator

ロボットの知的行動を支援する環境整備法

(太田助教授・新井教授)

近年、家庭内で作業を行うロボットへの期待が高まっている。しかし、物体認識及び作業理解の難しさがネックとなり、ロボットが作業を行うことは難しい。そこで本研究では、fig. 1 に示すマークがロボットの物体認識と作業理解を補助するという、新しいコンセプトを提案している。

その要素技術として、四つの円と QR コードからなるマークの設計、様々な物体配置に対して頑健にその位置姿勢を計測するためのマークの計測方法、マークの貼付位置とロボットが作業時に用いるセンサの種類とを信頼性理論を用いて統合的に設計する手法、以上三つを扱った。そして昨年度は、データベースに格納する教示データを簡単に作成する方法を提案した(fig. 2)。初めに、“Open the door.”などの命令を実行するためにとる経路の種類をロボットが推論する。次に、その結果を基にロボットが教示データを作成するために必要な教示項目を決定し、それらをユーザーに質問する。ユーザーはそれにキー入力や部分的な実演の形で回答する。この対話を通じて教示データが作成されてゆく。

Keywords: Service Robotics, Environmental support, Manipulation, Teaching, Reasoning

References

- 1) 香月 理絵, 太田順, 水田貴久, 新井民夫, 植山剛, 西山強志: 三次元位置姿勢計測を行う人工マークの設計, 第 20 回 日本ロボット学会学術講演会, 1A34, 2002.
- 2) 香月理絵, 太田順, 田村雄介, 水田貴久, 鬼頭朋見, 新井民夫, 植山剛, 西山強志: “マークを用いたロボットの多種類物体ハンドリング,” 日本機械学会論文集 C 編, 691, 70, 766/773, 2004.
- 3) 香月理絵, 水田貴久, 太田順, 鬼頭朋見, 新井民夫, 植山剛, 西山強志: “信頼性理論を用いたロボットの作業環境整備法と動作生成法,” 精密工学会誌, 70, 2, 224/229, 2004.
- 4) 香月理絵, Roland Siegwart, 太田順, 新井民夫: “専門家でないユーザーとロボットとの対話を通じた作業教示,” ロボティクス・メカトロニクス講演会 2004.

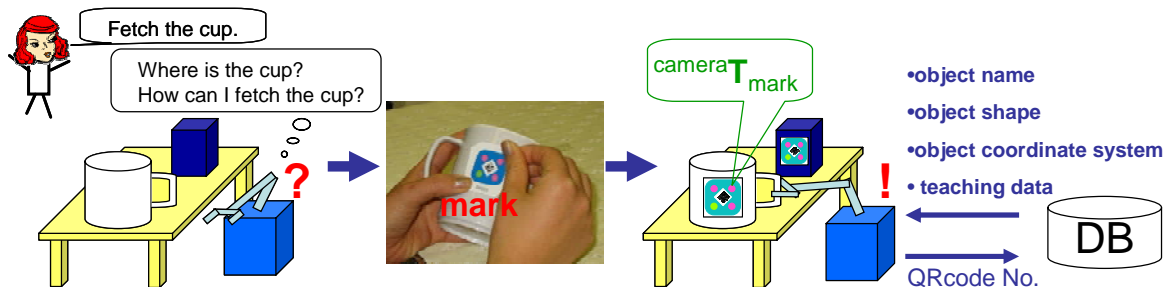


Fig. 1 Concept of task realization with marks

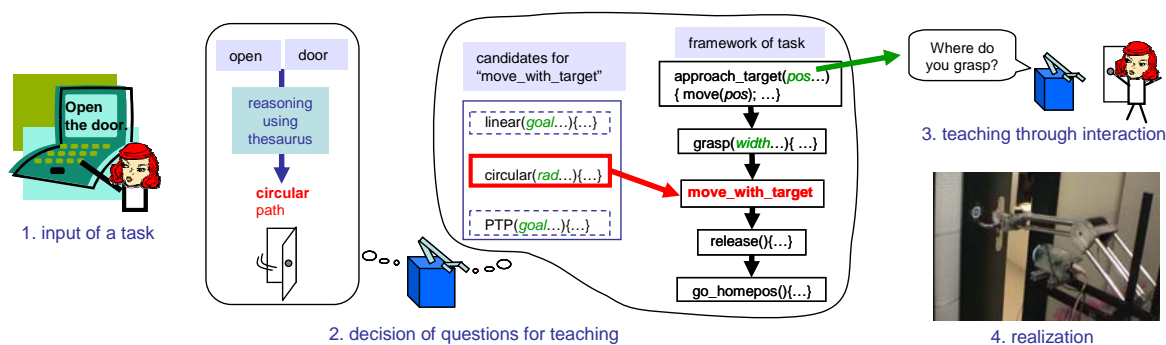


Fig. 2 Overview of teaching through interaction

移動マニピュレータによる複数作業実現

(千葉研究員・太田助教授・新井教授)

現在の生産現場における産業用ロボット利用において、多品種少量・変種変量生産の要望から、移動マニピュレータ(Fig.1)が商品化されており、その活躍を広げつつある。移動マニピュレータは工場内で移動⇒作業⇒移動⇒作業…を繰り返す。本研究では、生産現場で自律的に移動して作業をする移動マニピュレータを対象とし、その動作計画問題を扱う。

移動マニピュレータにより複数の作業を実行するために必要となる計画は次の2種類である。1) 全作業を達成するために、停止すべき位置の数の最小化計画。2) 各停止場所を巡回する経路計画。前者の計画は、作業への可操作性と停止誤差への考慮から、2箇所以上の作業を遂行可能な停止位置を探索したいという要求に基づく。また、後者の計画は、考慮すべき事柄として車両のノンホロノミック性が挙げられ、経路において極端な曲率の変化がなく、なおかつ最短化したいという要求に基づく。

これらの問題に対し、本研究では以下の手法を提案する。1) に対しては、誤差を含んだ可操作性のテンプレートの作成する(Fig.2)。そして集合分割問題(Set Partitioning Problem : SPP)を変形した最少集合分割問題(Least Set Partitioning Problem : LSPP)を提案し、これに帰着させ適切な分枝限定操作により解決する。2) に対しては、操舵角の連続性と最大角制限を考え、直線・円弧間にクロソイド曲線による経路を挿入する。また障害物回避のための経路ノードを可視グラフ法の改良手法により求め、最短経路を生成する(Fig.3)。これら2つの手法により、移動マニピュレータによる複数作業が可能な計画を実現した(Fig.4)。

Keywords: Mobile manipulator, navigation, non-holonomic constraint, Manipulability

References

- 1) Tomomi Kito, Jun Ota, Rie Katsuki, Takahisa Mizuta, Tamio Arai, Tsuyoshi Ueyama, Tsuyoshi Nishiyama: "Smooth Path Plannig by Using Visibility Graph-like Method," Proc. 2003 IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp. 3770-3775, 2003.



Fig. 1 Mobile manipulator

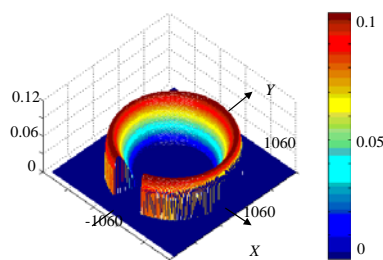


Fig. 2 Manipulability Template

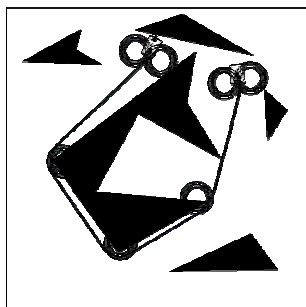


Fig. 3 Genelated paths with proposed method

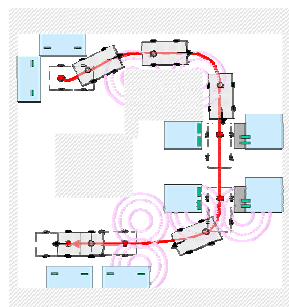


Fig. 4 Planning positions and paths

港湾物流における AGV 搬送システムの最適設計論

(太田助教授)

本研究では、港湾物流における AGV 搬送システムの最適設計論の提案および、各搬送システムの性能評価を行う (Fig.1). 港湾物流における搬送システムに要求される制約として、「貨物船により運ばれてきた荷物をいかにして時間内に蔵置場所へ運びきるか」という問題が存在する. 本研究ではこの搬送制約に対し、搬送システムの効率化すなわち最適設計を行うことで、当該問題を解決する.

本設計問題は組合せ最適化問題として考えることができる. すなわち、搬送システムの最適設計を行うためには、(1)要求仕様を満たすための各作業エージェントの最適台数、(2)エージェント間で荷物の受け渡しを行う際に必要となる最適作業経路数、についてそれぞれ評価基準に基づいた設計を行う必要がある.

本研究では、数理モデルとして待ち行列ネットワーク理論により搬送システムのモデル化を行う. そして、局所的に Simulation-based Optimization 法を適用することによって搬送システムの最適な設計を行う方法論の提案を行う. Fig.2,3 に本提案手法により設計された搬送システムの結果を示す.

Keywords: AGV, transportation system, queuing network theory, optimal design methodology

References

- 1) 星野智史,太田順,戸田和行,篠崎朗子,橋本英樹: 待ち行列理論による AGV 搬送システムの設計, 日本ロボット学会学術講演会, 2003.
- 2) 星野智史,太田順,篠崎朗子,橋本英樹: 待ち行列ネットワーク理論による港湾物流 AGV システムの性能評価法, 自律分散システム・シンポジウム, 2004.
- 3) 星野智史,太田順,篠崎朗子,橋本英樹: 待ち行列ネットワーク理論による AGV 搬送システムの最適設計法, 精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, 2004.

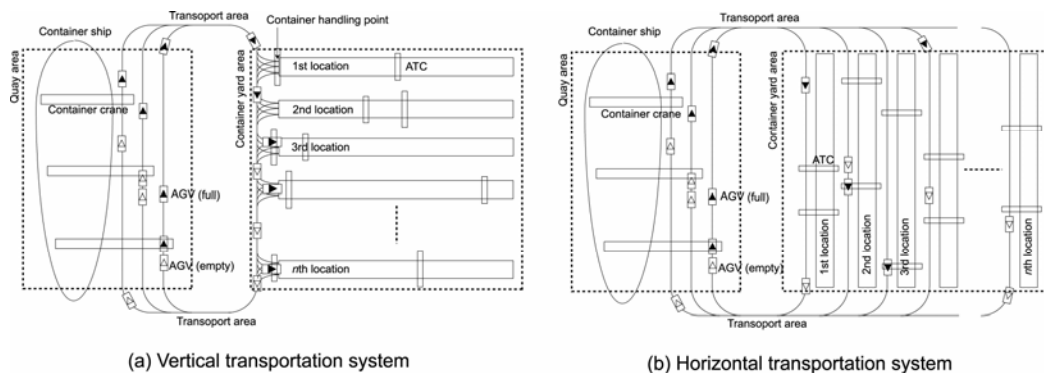


Fig.1 Two types of the AGV transportation system

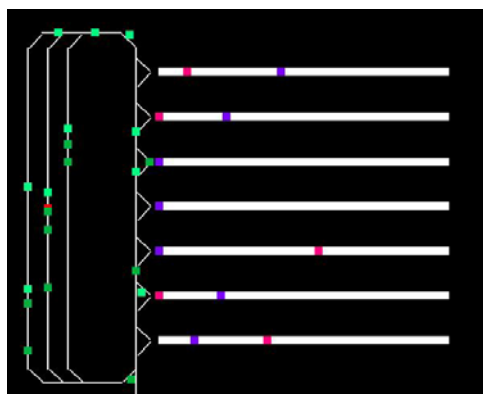


Fig.2 Vertical transport simulator

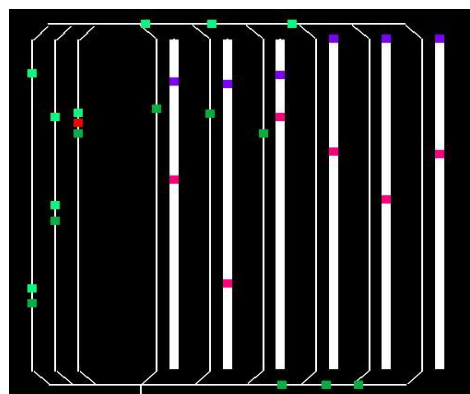


Fig.3 Horizontal transport simulator

搬送センター設計アルゴリズムの開発 (太田助教)

搬送センターは、消費者に直接または間接的に製品を出荷する施設である。消費者の多様な需要に応える搬送センターを設計するには、ロジスティクスネットワークが不可欠である。搬送センターを設計する際、製品の流量や倉庫容量、装置の種類と数量を定める必要がある。もちろん消費者の需要に応えることが求められ、搬送センターの広さによる制約も存在する。現在では搬送センターの設計は人の手によって行われ、設計者の経験と直感的な判断による設計となっている。しかしこの手順は非常に煩雑であり、設計者によるところの大きい設計となっている。

本研究の目的は、搬送センター設計のためのアルゴリズムの提案である。これより理論的な設計理論を開発し、設計者の負担を軽減することを目標とする。具体的には、ロジスティクスオブジェクトモデルを用いてマテリアルフローや装置の台数・種類などを求める。

Fig.3 は提案モデルから求めた、在庫量の推移を表すグラフである。左のグラフは製品の発注間隔を一定にしたままリードタイムを変化させている。リードタイムが短いほど最大在庫量は大きい。右のグラフは発注間隔とリードタイムの比を一定にして発注間隔を変化させている。発注間隔が短いほど最大在庫量が少なく、一定値に収束することがグラフからわかる。

Keywords: Warehouse management, Material flow, Logistics

References

- 1) Takako Yasunaga, Jun Ota, Toyokazu Kobayashi, Tomio Ito, Toshimitsu Higashi, Hirofumi Tamura: “Development of Design Algorithm for Logistics Network”, submitted

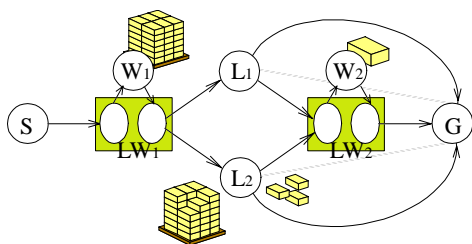


Fig. 1 mixed flow model

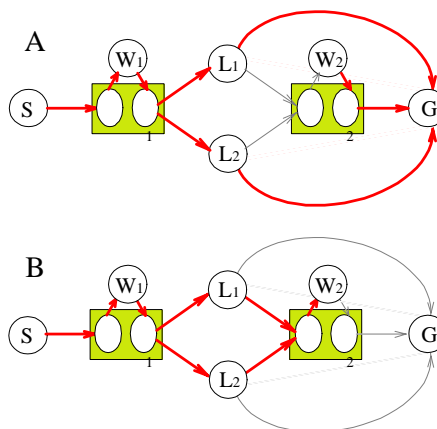


Fig. 2 material flow depending on time

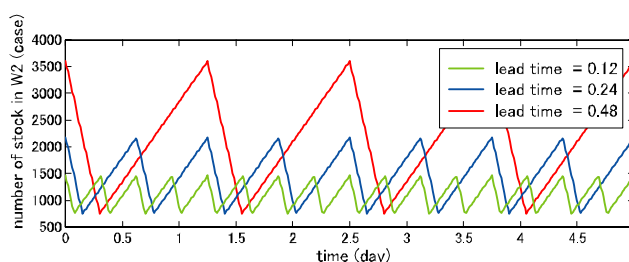
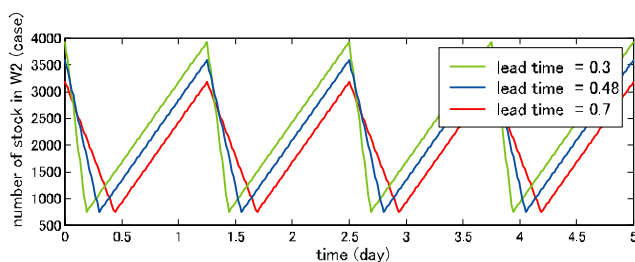


Fig. 3 amount of stock in W2

平置き倉庫における自律エージェント群の経路生成 (太田助教授)

本研究では、平置き倉庫におけるマルチエージェント経路計画を、Fast Heuristics を用いて行う手法の提案を行い、その有効性をシミュレーションにより検証する。平置き倉庫を用いた生産形態全体の最適化への予備問題として、まず、エージェントの行動経路を含んだ平置き倉庫におけるスケジューリング問題を解決する。この問題は、平置き倉庫内において、パレット置き場から共通積載場へのパレット搬送タスクに対する走行経路を生成する問題である。全経路長が短く、生成される経路の本数が少ないほど好ましい。

この問題は NP 困難な多目的最適化問題を構成するため、従来の探索手法では非常に計画時間を要する。そこで、本研究では、グリッド距離を用いてシステムを分割搬送経路問題(Split-Delivery Vehicle Routing Problem : SDVRP)にモデル化し、研究に適合する様々なヒューリスティックを用いた手法により解決を図る。本研究では、代表的なヒューリスティックである最近傍法(Nearest-Neighbor (NN) heuristic)や従来提案されている Savings heuristic of Clarke and Wright を含む 21 個の手法を適用する。ここにおいて NN 法には、Nearest-Fill (NF)と Nearest-Fill Farthest-Start (NFFS)という 2つのヒューリスティックが存在する。更には、現在提案されている SDVRP の改良手法では、数値的なヒューリスティックも考えられ、普及している。高速経路生成ヒューリスティックをマルチエージェントに適用する新たな手法により、短時間の計画で良質な解を得ることを可能としている。この改良手法と組み合わせた greedy NFFS heuristic は、様々なテストにおいて経路の最小化と経路の最短化において優れた解の導出を可能とした。

Figure 1 に、SDVRP 問題において生成された経路の一例を示す。

Keywords: multiple-agents, route generation, routing, warehouse automation, heuristics, planning, planner

References

- 1) Jose Ildefonso U. Rubrico, Jun Ota, Toshimitsu Higashi, Hirofumi Tamura, Masataka Akiyoshi: "Route Generation For Warehouse Management Using Fast Heuristics", IROS 2004. Submitted.

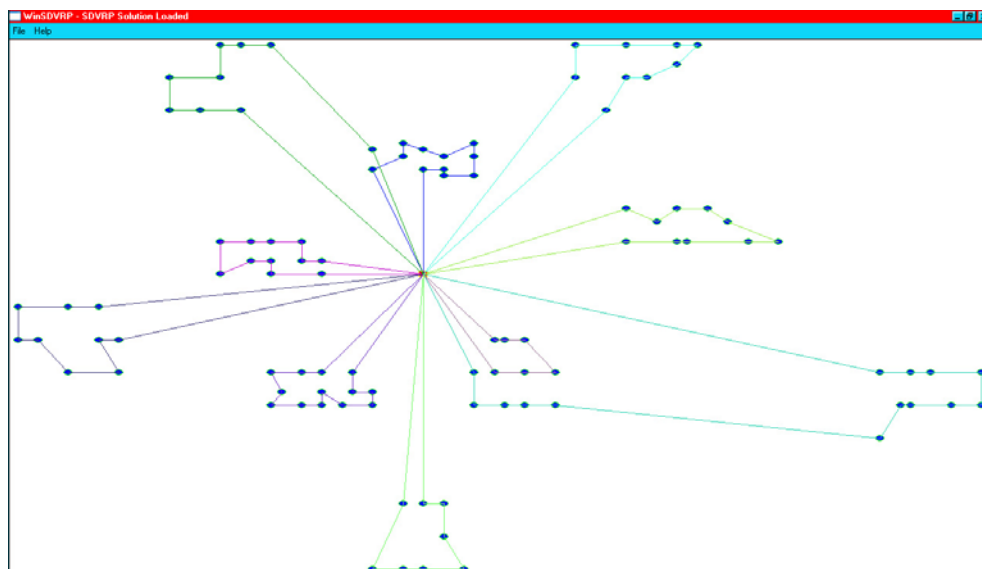


Fig.1 Generated routes on a benchmark instance using the DTH3 algorithm

共進化による AGV 搬送システムの統合設計

(千葉研究員・太田助教授・新井教授)

AVG(無人搬送車)による物品の搬送システムは、現在、工場内生産の自動化に対する効率的なシステムとして普及しつつある。AGV は環境中に複数台存在し、部品類を倉庫から機械まで繰返し搬送する(Fig.1)。この AGV 搬送システムを設計するためには多くの労力を要することから、本研究では設計手法の提案を行う。AGV 搬送システムの設計における部分問題として、1)行動則設計、2)走行経路設計が挙げられる。前者は、部品の搬送を達成するための行動計画アルゴリズムの設計を指し、後者は、走行精度の問題から必要である、AGV をガイドする経路の設計を指す。この2種類の問題により AGV 搬送システムの効率は影響されるが、更にこの2種の問題はお互いに影響を及ぼす。すなわち、適切な行動則は走行経路に依存し、適切な走行経路は行動則に依存する。したがって、システムの効率化を図るためには3)統合設計が必要となる。AGV 搬送システムでは、多くの物品搬送と疎な走行経路の作成という、2つの目的がある。

これらの問題を解決するために、次の手法を提案する。1)行動則を行動計画時の情報量という観点からパラメータ化し、遺伝的アルゴリズムにより設計。2)走行経路を、セル分割した環境におけるセル間の接続として表現し、遺伝的アルゴリズムにより設計。3)統合設計を協調的共進化によって実現。これらの手法により、従来の設計法(Fig.2, Fig.3)に比べ、効率的な AGV 搬送システムの設計を可能とした(Fig.4)。協調的共進化においては、パートナー選択手法の提案と進化周期の自律的変更を用いることにより、効率化を可能とした。

Keywords: Automated Guided Vehicle, Flow Path Network, Transporter Routing, Co-evolution

References

- 1) R. Chiba, J. Ota, T. Arai, "Integrated Design for Routing and Network in AGV Systems using Co-evolution," Proc. IEEE Int. Conf. Robotics, Intelligent Systems and Signal Processing, pp .318-323, 2003.

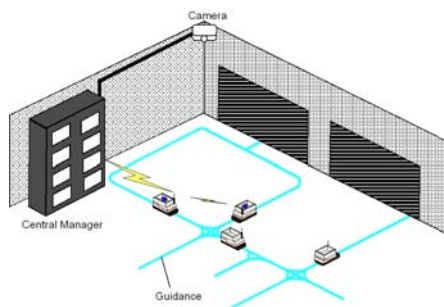


Fig. 1 AGV transportation system

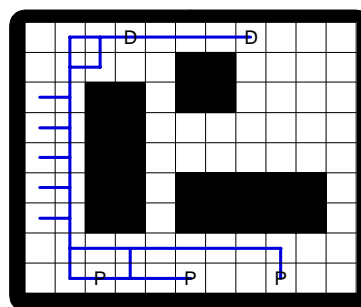


Fig. 2 Network with reactive approach

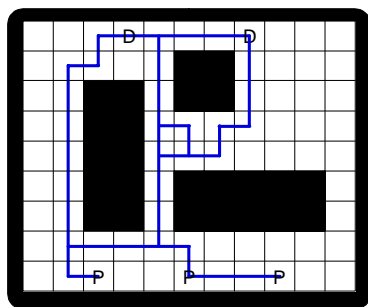


Fig. 3 Network with semi-dynamic approach

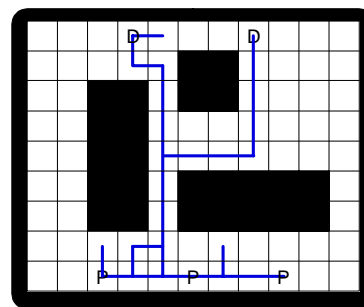


Fig. 4 Network with proposed approach

デジタルハンド —MR 画像からの手骨位置姿勢同定—

(太田助教授・産総研 宮田研究員)

昨今、製品の設計・評価過程の省力化のために、人間を数値モデル化して計算機上に表現する、いわゆるコンピュータマネキンへの期待が高まっている。すでに、設計製品と人体との干渉チェックなど現場での利用が始まっている。しかし、人が手を使って操作する製品の多さにもかかわらず、現状提供されている手部のモデルは粗雑であり、製品設計に用いるには不十分である。

そこで本研究室では、産業技術総合研究所のデジタルヒューマン研究センターと共同で、手部に特化したコンピュータマネキン、すなわちデジタルハンド(Fig. 1)のための手部モデルの研究を進めている。様々な姿勢・動きを正確に再現できるモデルを作成するためには、手部の正確なリンク構造 (i.e. 関節中心位置や関節回転軸) を求める必要がある。これは、複数姿勢の3次元医用画像 (MRI) から骨格情報を抽出することで求めることができる¹⁾。そのため、同一被験者の姿勢の異なる複数の MR 画像から骨の正確な位置姿勢を迅速に安定して求める技術を開発している²⁾。

3次元医用画像として、被曝の危険性のない MR 画像を使用するが、これは骨の領域が不明瞭であり、単純な閾値処理等では骨領域を特定することはできない。そこで、以下に述べるモデルマッチング手法を考案した。(1) 1姿勢分の MR 画像から手動で骨領域を抜き出し、骨ポリゴンモデルを作成する。(2) 骨の位置姿勢を求める対象とする MR 画像をボリュームレンダリング表示し、手動でモデルの初期位置姿勢を決定する(Fig. 2)。(3) モデル内部に含まれる MR 画像の輝度値の和が最大となるモデルの位置姿勢を計算により求める。以上により、骨の位置姿勢を正確に短時間で求めることに成功した。

Keywords: Human, Modeling, Computer Manikin, Hand Bones, Registration, Medical Imaging

References

- 1) 宮田なつき, 栗原恒弥, 鴨島里実, 持丸正明, 河内まき子, 太田順: “医用画像を用いた手部リンク構造導出手法の検討”, 第21回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 1A11, 2003.
- 2) 鴨島里実, 宮田なつき, 太田順, 持丸正明, 河内まき子, 増谷佳孝: “骨モデルマッチングによるMRI画像からの手骨位置姿勢同定”, 2004年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, N07, 2004.
- 3) J. H. Ryu, N. Miyata, M. Kouchi, M. Mochimaru, and Kwan H. Lee: “Analysis of skin movements with respect to bone motions using MR images,” Society of CAD/CAM International Symposium, 2003.

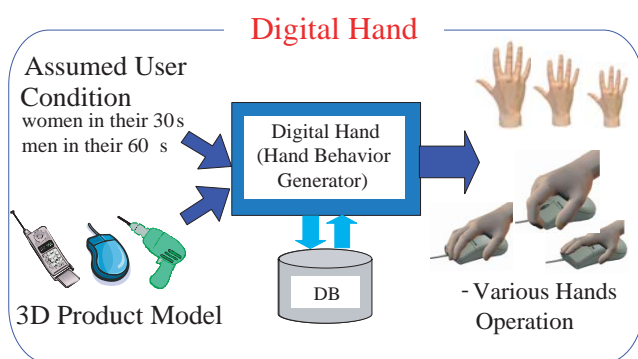


Fig.1 Outline of Digital Hand

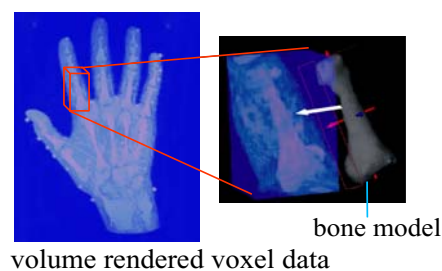


Fig. 2 Initial Configuration Settlement