2005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)

(工学部システム創成学科・知能設計コース)

〒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)		
客員教授	田 国会			
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, 山野辺 夏樹		
修士課程学生	·程学生 坂本 浩平, 各務 幸樹, 実川 達明, 原 辰徳			
	Chee Siong LOI	H, 段 峰, 竹下 和孝, 藤井 浩光,		
	Mark Ismael BC	DYONAS		
学部4年	宇藤 祐光, 後	藤 洋平,林 智治,吉光 陽平		
	横井研究室(諸	認知発達機械研究室)		
助教授	横井 浩史	(工14・826号室 03-5841-8549)		
博士課程学生	松下 光次郎,	Alejandro Hernandez ARIETA, 加藤 龍	,	
	北 佳保里			

修士課程学生 中村 達弘,藤田 哲士朗

学部4年 加毛 誠, 小林 俊一, 松本 史彦

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)
	千葉 龍介	(工14・826 号室	03-5841-6486)
博士課程学生	Chomchana TREV	/AI, 星野 智史,	
	Jose Ildefonso Uda	ang RUBRICO,寺	林 賢司, 田村 雄介
修士課程学生	小栗 健一郎,藤	田 武久,承 敏鋼	,藤井 紀輔, 二階堂 諒
学部4年	金指 央樹		
研究生	李 凱		

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ている.杉正夫特任助手(2003年4 月採用)、千葉龍介特任助手(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.

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とらえ,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,横井浩史助教授):身体と環境との相互作用における脳・細胞集団の理論,携帯機能の知的インタフェース構築.



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.

<u>知能システム学研究室(新井民夫教授)中心のテーマ</u>

- ロボットサッカーを題材とする脚型自律ロボットの行動知能開発(新井教授・上田助
 手)
- 状態行動地図を用いた実時間行動決定(新井教授・上田助手)
- パノラマ画像による自己位置推定(新井教授・パドヴァ大 Pagello 教授)
- サイクルタイムを考慮した力制御パラメータ設計(新井教授・横浜国大 前田講師)
- 動力学シミュレータを用いた複雑組立作業の解析(新井教授)
- 熱疲労を考慮したロボット群の最適動作計画(新井教授)
- 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)
- サービス工学と創造的設計支援システム(新井教授・首都大 下村教授)

ARAI – YOKOI – OTA LAB

- サービス CAD システム (新井教授・首都大 下村教授)
- Service model using Petri nets (新井教授・田客員教授・首都大 下村教授)

認知発達機械研究室(横井浩史助教授)中心のテーマ

- 人間・機械の相互適応(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)
- 電気刺激による感覚フィードバック(横井助教授・新井教授)
- 多次元的センサー情報統合(理論)による SMA の制御応答性の向上に関する研究(横 井助教授・新井教授)
- 進化ロボティクス:制御と形態の共進化における動的安定移動の獲得(横井助教授・ 新井教授)

<u>移動ロボティクス研究室(太田順助教授)中心のテーマ</u>

- 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)**
- ユーザ適応型卓上作業支援システム(杉特任助手・太田助教授・新井教授)[※]
- グラフ上の反応拡散方程式を用いた大規模システムの制御(杉特任助手・太田助教 授・新井教授)
- 競争的共進化を用いたロバスト設計(千葉特任助手・太田助教授・新井教授)
- 異質群ロボットを用いた大規模搬送システム(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)
- マルチエージェントによる平置き倉庫内搬送のスケジューリング(太田助教授)
- 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.

ARAI – YOKOI – OTA LAB

工学部 14 号館,武田先端知ビル(本郷キャンパス)



ロボットサッカーを題材とする脚型自律ロボットの行動知能開発 (新井教授・上田助手)

ロボットサッカーは、実世界で行動する人工知能ための標準問題となっている.東京大学・ 中央大学チーム"ARAIBO"はロボットサッカーの世界大会である RoboCup の一部門, Four-Legged Robot League に, 1999 年以来, 毎年参加している. 2003 年, 2004 年大会には, サッカー競技と平行して行われる RoboCup Challenge という基礎技術の競技会で、それぞ れ第3位,準優勝の成績を残している.

ARAIBO ではロボカップへの参加を通じ、ロボットに実世界で作業を行わせるための要 素技術の研究を行っている.これまでに、動的計画法を用いた行動の事前計画・その計画 結果のベクトル量子化による圧縮法・パーティクルフィルタを用いた自己位置推定手法

(Monte Carlo localization, MCL)の改良・曖昧な状態推定下における実時間行動決定法 (real-time Qmdp value method) 等のアルゴリズムを提案,実装,評価してきた.また,そ の他にも、カラーカメラ画像の色識別を行うためのキャリブレーションツール、歩行動作 自動作成ツール、センサノイズ等を忠実に再現するシミュレータ等の開発、評価を行って きた.

現在は上記研究を統合・応用し、一般家庭で作業に従事する自律ロボットを実現させる ことを目標としている.

Keywords: RoboCup, Pet Robots, Dynamic Programming, Vector Quantization, Particle Filters

- 1) 小林祐一, 深瀬武, 上田隆一, 湯浅秀男, 新井民夫: "実時間性と観測コストを考慮した四脚ロボ ットのサッカー行動設計",日本ロボット学会誌, Vol. 21, No. 7, pp. 802-810, 2003.
- 上田隆一, 深瀬武, 小林祐一, 新井民夫, 神谷昌吾: "ベクトル量子化による決定論的方策地図の 2)
- 不可逆圧縮",日本ロボット学会誌,Vol.23,No.1,pp.104-112,2005.
 3) 上田隆一,新井民夫,浅沼和範,梅田和昇,大隅久: "パーティクルフィルタを利用した自己位置 推定に生じる致命的な推定誤りからの回復法",日本ロボット学会誌,Vol.23,2005(掲載予定).





Fig. 2 value function for goalkeeper behavior



Fig. 3 Soccer Simulator

状態行動地図を用いた実時間行動決定 (新井教授・上田助手)

ロボットサッカーでは、画像処理や行動決定に実時間性が強く求められる.チーム "ARAIBO"では、SONY製脚型ロボット(ERS-7,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,ロボットの取り得る全ての状況について取るべき行動を記述した表を予め作成しておき,ロボットに搭載するという手段が考えられる.この 表を参照するだけで,ロボットは素早く行動決定を行うことが可能となる.

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(状態行動地図) と,自己位置推定法を組み合わせて,各状況に応じて適切な行動を選択する方法を設計, 実装した. Fig.1 は,状態行動地図に従って行動決定を行うフォワードロボットのボール 接近例で,ロボットはシュートに有利な体勢となるようにボールへ回り込みながら接近し ている.

これに関連して、大規模な状態行動地図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. Fig.2 は、2次元の状態行動地図をベクト ル量子化によって約3分の1の容量にまで圧縮した例である.

Keywords: Dynamic programming, Vector Quantization

- 1) Ryuichi Ueda, Takeshi Fukase, Yuichi Kobayashi, Tamio Arai, Hideo Yuasa, and Jun Ota: "Uniform Monte Carlo Localization Fast and Robust Self-localization Method for Mobile Robots," *Proc. of ICRA-2002*, pp.1353-1358, 2002.
- Ryuichi Ueda, Takeshi Fukase, Yuichi Kobayashi and Tamio Arai: "Vector Quantization for State-Action Map Compression," Proc. of ICRA2003, pp.2356-2361, 2003.
- 3) 上田隆一, 深瀬武, 小林祐一, 新井民夫, 神谷昌吾: "ベクトル量子化による決定論的方策地図の 不可逆圧縮", 日本ロボット学会誌, Vol.23, No.1, pp.104-112, 2005.



Fig. 1 Behavior of a forward Robot



Fig. 2 Vector Quantization for State-Action Map(2D)

パノラマ画像による自己位置推定 (新井教授・パドヴァ大学 Pagello 教授)

移動ロボットがカメラ画像から自己位置を推定する手法として,既知の自己位置・姿勢 で予め撮影された画像群と現在の入力画像とを比較し,その結果から自己位置推定を行う ものがある.本研究グループでは,通常のカメラを水平方向に回転して撮影することで得 られる,180°パノラマ画像を用いた自己位置推定手法について研究を行っている.

具体的には、まず対向する2方向を定め、複数の観測地点にてそれぞれの方向のパノラマ画像を撮影し、参照画像群を構成する (Fig. 1). 次に、入力画像と参照画像との類似度の計算を行い (Fig. 2)、それぞれの観測地点での参照画像と入力画像との類似度を求める (Fig. 3). この結果より、類似度の高い地点がロボットが存在する確率が高い場所であるとして自己位置を推定する.

本手法では入力画像の撮影方向の情報が必要であるが、実際に自己位置推定を行う場合、 この情報は未知である.そこで、Monte Carlo localization と呼ばれる、ロボットの自己位 置・姿勢を仮定した多数のサンプル点の分布により位置・姿勢の確率密度を表現する手法 を併用することで、本手法の実問題への適用を目指す.

Keywords: Self-Localization, Panoramic Image, Monte Carlo Localization

- Ryuichi Ueda, Takeshi Fukase, Yuichi Kobayashi, Tamio Arai, Hideo Yuasa, and Jun Ota: "Uniform Monte Carlo Localization - Fast and Robust Self-localization Method for Mobile Robots," Proc. of ICRA-2002, pp.1353-1358, 2002
- Ryuichi UEDA, Tamio ARAI and Kohei SAKAMOTO, Toshifumi KIKUCHI and Shogo KAMIYA: "Expansion Resetting for Recovery from Fatal Error in Monte Carlo Localization - Comparison with Sensor Resetting Methods," Proc. of IEEE/RSJ IROS 2004, pp. 2481-2486, 2004.



サイクルタイムを考慮した力制御パラメータ設計 (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.

そこで本研究では、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してい る.具体的には、理論的に求めることが困難なサイクルタイムを考慮するため、作業のシ ミュレーションを繰り返し行い、その結果として得られるサイクルタイムを評価値とした パラメータ探索を行う.提案手法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力制御パラメータが獲得できることを確認し、提案手 法の有用性を示した.

Keywords: Cycle Time, Force Control, Admittance, Robotic Assembly, Optimization

- 1) Natsuki Yamanobe, Yusuke Maeda, Tamio Arai: "Designing of Damping Control Parameters for Peg-in-Hole Considering Cycle Time," IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.1129-1134, 2004.
- Natsuki Yamanobe, Yusuke Maeda, Tamio Arai, Tetsuaki Kato, Takashi Sato, Kokoro Hatanaka: "Design of Damping Control Parameters for Peg-in-Hole by Industrial Manipulators Considering Cycle Time," IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp.3351-3356, 2004.
- 3) 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, 2P1-L1-20, 2004.



Fig. 1 Schematic View of Designing Force Control Parameters





Fig. 2 Simulator for Peg-in-Hole Operations

Fig. 3 Simulator for Clutch Assembly

動力学シミュレータを用いた複雑組立作業の解析 (新井教授)

現在製造現場においては、生産ラインの多様化・短命化を背景に、組立作業のような複 雑な作業をロボットにより自動化したいという要求が高まっている. ロボットを用いて作 業を適切に実現するためには、適切な作業戦略を構築する必要があり、そのためにはロボ ットの挙動と作業状態との関係など作業に対する深い理解が必要となる. しかしながら複 雑な組立作業の場合、幾何学的・力学的な解析が困難である. そこで本研究室では、動力 学シミュレータを用いて複雑組立作業の解析を行うというアプローチを提案している. 作 業解析に動力学シミュレータを用いることで、実際には観察が困難であるような微細な現 象に対しても詳細なデータを測定することが可能となる.

本研究では、産業的に自動化の要求の高いクラッチ嵌合作業(Fig.1)に対して解析を行った.クラッチ嵌合作業は、中心ずれ・角度ずれのある対象に対して探索を行いながら挿入を行う複雑な組立作業である.本研究では特に探索動作に着目し、探索速度と作業効率の定性的な関係性を求めた.まず基礎実験をもとに実際をよく再現する詳細なシミュレータを作成し(Fig.2)、これを用いて様々な探索速度においてシミュレーションを行った. 作業データから解析を行った結果、探索速度の増加は作業効率を上昇させる一方で、作業対象物同士の嵌まり易さを低減させるために作業効率の低下をまねくことが確認された(Fig.3).このような考察から、クラッチ嵌合作業のような探索を伴う挿入作業においては、効率的に作業達成するための適切な探索速度が存在するという知見が得られた.

Keywords: Analysis, Dynamic Simulator, Robotic Assembly, Force Control

References

 藤井浩光,山野辺夏樹,新井民夫,渡邉淳,加藤哲朗,佐藤貴之,畑中心:"クラッチ嵌合作業シ ミュレータの構築及びそれを用いた作業解析",精密工学会卒業研究発表講演会,2005.



Tooth of Spline Gear Reaction Force by Contact



熱疲労を考慮したロボット群の最適動作計画 (新井教授)

近年のFA化により,工場内で作業を行うロボットマニピュレータには長時間停止する ことなく稼動する安定性が求められている.しかし長時間の連続作業では,ロボットが動 作するたびにアクチュエータで発生する熱が蓄積されていき,オーバーヒートによる活動 停止をきたす.作業の安定性を考えた場合,アクチュエータの熱制御は非常に重要な問題 である.つまり,アクチュエータに生じるトルクを小さく抑える軌道計画と,放熱のため の適度な休息を与えるタスク配分を考える必要がある.

本研究では、コンベア上を流れるワークに対し Pick-and-Place 作業を行う複数台のロボ ットからなる作業ライン (Fig. 1)を考え、ロボットの疲労の抑制とライン全体の作業効率 の上昇を目的としたロボット群の最適動作計画を行っている.ロボットの動作間隔は非常 に短いため、状態行動地図を利用して行動決定を行う.状態行動地図は離散化された各状 態に対するロボット群の行動を記述したもので、事前に作成しておけば作業時には地図を 参照するだけで行動を決定することが出来る.本研究ではシミュレータ (Fig. 2)を用いた 強化学習により状態行動地図を作成する. Fig. 3 に得られた地図の一部を示す.ワークを 全て処理するという条件の下で、学習の結果発生トルクを抑えるような軌道やロボット間 でのワーク分配といった行動が獲得され、作業効率の改善が見られた.

Keywords: Robot fatigue, State-action map, Reinforcement Learning, Motion Planning

- 1) Koki Kakamu, Natsuki Yamanobe, Tamio Arai, Atsushi Watanabe, Tetsuaki Kato, Koji Nishi: "Task Assignment of High-Speed Handling Operations to Multiple Robots Considering Robot Fatigue," Digital Engineering Workshop, 2005.
- 2) 各務幸樹,山野辺夏樹,新井民夫,渡辺淳,加藤哲朗,西浩次:"複数台ロボットのピッキング作業における熱疲労を考慮した状態行動地図の作成,"2005 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集,pp.1233-1234,2005.



Fig.1 Handling system with multiple robots



Fig.2 Simulator of handling system



Fig.3 Obtained state-action map system

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

- 宮澤清和,前田雄介,新井民夫: "確率的な手法によるグラスプレス・マニピュレーションの計 画",2005 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集,pp.1243-1244,2005.
- Kiyokazu MIYAZAWA, Yusuke MAEDA and Tamio ARAI: "Planning of Graspless Manipulation based on Rapidly-Exploring Random Trees," Proc. of 6th IEEE Int. Symp. on Assembly and Task Planning (ISATP2005), 2005 (to appear).



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

サービス工学と創造的設計支援システム (新井教授・首都大学東京 下村教授)

今や人工物の生産が必ずしも人類の幸福に直結していないことは周知の通りであり、こ の状況下において工学もまた新たなミッションを持つことが求められています.そしてそ の鍵は、人工物をサービスの伝達・供給・増幅するためのデバイスであると考える点にあ ります.従来の工学が機能を議論の対象とし、その実現に必要なコストを下げることをそ の目的としていたのに対して、新しい工学は、「もの」としての人工物ではなく、「サービ スを提供するための人工物」という観点から再構築することを意味します.

そのための総合的な方法論の体系として、サービス工学を提案します.これは、サービ ス産業のためだけでなく、人工物を製造する製造業にとっての付加価値を増大するための 手法です.現在社会においては、主に環境的な側面から人工物の過剰な生産を停止するこ とが求められていますが、そのためにはそれを経済的に補償する手段が必要であり、これ はすなわち人工物のものとしての価値だけではなく、人工物のライフサイクル全体での知 識やサービスによる付加価値を増大することを意味します.

このような背景のもと,我々はサービス を Fig.1 のように定義し,サービス設計を 支援するためのツールであるサービス CADの開発に取り組んでいます.サービス CADの目的は,設計者の保有する知識だけ では創出することが困難であるような高い 創造性を有するサービスを開発するための 環境を提供することにあり,データベース に蓄積した既存のサービス事例に対して柔 軟な推論を適用し,これを実現します.

このようなサービス CAD を開発するにあたっては,異なる領域に属する様々な知識を 統合し,柔軟かつ創造性の高い設計を実現する設計支援の方法を新たに開発することが必 要となります.このような目的に対して,我々はアブダクションを基本とする知識統合の 方法が,上記の目的を実現するための基本メカニズムとして使用可能であると考えていま す.下村教授は,Universal Abduction Studio と呼ぶ統合推論環境に関する研究を行ってお り,この Universal Abduction Studio においては,多様な知識を柔軟に統合し,また,多様 な推論メカニズムを自由に選択する機構を提供することにより,設計者による高度な創造 的設計を支援するための研究および開発,さらにサービス CAD への具体的な応用方法の 検討が行われています.

Keywords: Service Engineering, Service CAD, Design Methodology, Abduction

- 1) Y. Shimomura and T. Tomiyama: "Service Modelling for Service Engineering," In Knowledge and Skill Chains in Engineering and Manufacturing: Information Infrastructure in the Era of Global Communications, IFIP International Federation for Information Processing, Vol.168, E. Arai, J. Goossenaerts, F. Kimura, K. Shirase (Eds.), Springer, pp.31-38, ISBN-0387238514, 2005.
- T. Arai and Y. Shimomura: "Proposal of Service CAD System -A Tool for Service Engineering-," Annals of the CIRP, Vol.53/1, (ISSN 1660-2773), pp.397-400, 2004.
- 3) H. Takeda, H. Sakai, Y. Nomaguchi, M. Yoshioka, Y. Shimomura and T. Tomiyama: "Universal Abduction Studio -Proposal of A Design Support Environment For Creative Thinking In Design-," Proceedings of the 14th International Conference on Engineering Design -ICED03-, CD-ROM, Stockholm, Sweden, 2003.

サービス CAD システム(新井教授・首都大学東京 下村教授)

当研究室では製品の高付加価化を実現する要素としてサービスに着目し、サービスの設計・開発・生産のための工学的な手法を提供するサービス工学研究を進めている.またその応用としてサービスの設計支援システムであるサービス CAD システム(Fig.1)[1]の構築を目指し、Service Explorer と呼ばれるプロトタイプ(Fig.2)をこれまでに開発している.

Service Explorer を用いることによって、フロー・スコープ・ビュー[2]と呼ばれるサブモ デル概念を用いてサービスを整理し、記述することが可能である.記述されたサービスは 事例データベースへと蓄えられ、関係者間の情報交換や、以後のサービス設計の素材とし ての利用が期待できる.また本プロトタイプでは、記述されたサービスに対して QFD

(Quality Function Development)をベースとした評価を行うことで、カスタマーの要求に対 する重要度を、サービスの各構成要素に対する重要度へと展開できる.本評価手法の一部 として、AHP (Analytical Hierarchy Process)、Dematel 法などの数理的な手法を追加的に導 入している.設計者は、本評価結果を利用しながら、自身の提供するサービスのフローや 実現構造の改善設計を行うことが可能である.これまでにメンテナンスサービス、ホテル サービス、機器開発などにおけるサービスの改善や高度化の実績を上げている.

現在では、サービス CAD システムの設計支援機能の実現に重点を置き、以下の研究を 行っている.

- (1) 蓄積された設計事例からサービスの設計知識を獲得し, 適切に管理する枠組みの構築
- (2) サービスの設計上の意思決定を支援する,種々の数理的手法を用いた評価手法の拡充
- (3) 蓄積された設計事例,設計知識に対して種々の推論を施し,新たなサービスの設計解 を半自動的に導出する機構の構築

Keywords: Service Engineering, Service Design, Service CAD

- 1) Arai, T. and Shimomura, Y: "Proposal of Service CAD System -A Tool for Service Engineering-," Annals of the CIRP, 53-1, (ISSN 1660-2773), pp.397-400, 2004.
- 2) 下村芳樹, 原辰徳, 渡辺健太郎, 坂尾知彦, 新井民夫, 冨山哲男: "サービス工学の提案 第1報 サービス工学のためのサービスのモデル化技法-", 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 71, No. 702, pp. 315-322, 2005.

Fig1. A Concept Scheme of Service CAD System

Fig2. Screenshots of Service Explorer

Service model using Petri nets (Prof. T. Arai, Prof. G. Tian (visiting professor from Shandong Univ.),

and Prof. Y Shimomura (Tokyo Metropolitan Univ.))

A novel engineering paradigm called *service engineering* is proposed to change our modern society in order to achieve "appropriate production, appropriate consumption, and least waste" rather than "mass production, mass consumption, and mass waste". A *service* is defined as *an activity that changes the state of a service receiver*. A service model consists of three sub-models: scope model, view model and flow model^[1].

We present a research framework for service engineering based on a kind of high-level Petri Nets—Hierarchical Colored Petri Nets^[2]. In this framework, a flow model is presented in top level net so as to describe the structure of a target service as a chain of agents existing in the service (see Fig.1). Then the sub pages corresponding to the substitution transitions of the top level net give the inner structure, which determines the sub services including all agents as receivers (see Fig.2). Thus the sub pages show a scope model. Moreover, there are also substitution transitions in the scope model; the sub pages corresponding to them give the view models expressing the relationships among the RSPs (Receiver State Parameters), CoPs (Content Parameters), and ChPs (Channel Parameters) (see Fig.3).

In this framework, we can represent information of material flow, and deal with RSPs for the complicated service system with hierarchy and modularity method:

4 In the top level net, we can give the flow model to describe the whole service structure coarsely and crudely, but in this way we can represent the complicated relationship clearly for a large scale of services.

4 In the sub-page of a flow model, we can give the scope model to determine sub service which we are interested in.

It will be very helpful in intensifying, improving, and automating the whole service, including service creation, service delivery, and service consumption.

We illustrate the development procedure by studying some service cases — Restaurant Service, Consumer Electronics Rental Service, the optimizing and scheduling problems of material distributing centre of one of the important parts of the supply chain, using CPN—TOOLS simulation software

Keywords: service engineering, hierarchical colored Petri nets, modeling

- 1) Shimomura, Y., *et al.*: "A proposal for service modeling," Proceedings of the 3rd International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, pp. 75-80, 2003.
- 2) TIAN Guohui, *et al.*: "A Framework for Service Engineering Based on Hierarchical Colored Petri nets," International Conference on Machine Automation (*ICMA2004*), 2004.

Fig.1 Flow model of Producing-Consuming System

Fig.2 Scope model of Consumer Electronics Rental Service

Fig.3 View models of Consumer Electronics Rental Service

人間・機械の相互適応 (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気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気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, 情報処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,情報処理的な適応学 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. 本研究では,自己組織的クラスタリングの考え方を応用することで人間の適応過程を解析 し, EMG 信号パターンの時間的変動に対しても手指運動パターンの識別性能が保持される ような適応学習の方法論を提案した.

Keywords: EMG, Adaptable Control for Individual Characteristics

- 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, Vol.10, No.1, pp.9-12, 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.
- T. Fujita, R. Katoh, A. H. Arieta, H. Yokoi and T. Arai: "SOM based Analysis of Prosthetics Application for Mutual Adaptation," Proceedings of The Second International Workshop on Man-Machine Symbiotic Systems, pp.231-240, 2004.

Fig. 1 EMG classification method.

Fig. 2 Inputting instruction signals from the keyboard.

多自由度高出カ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複雑な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等、この点で工業用のロボットハ ンドとは、本質的に異なる.本研究では、複数の自由度を有したまま軽量でかつ高出力を 実現するような関節機構として、指部に干渉駆動型適応関節方式を、また手首関節部にパ ラレルワイヤ型干渉駆動関節方式を採用した.

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.1 に示す. Fig.1(a)は,ワイヤ駆動経路が関節直上に位置す る場合であり,ワイヤが関節に駆動力を伝達しないため受動関節となる.(b)では,ワイヤ 駆動経路が関節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,ワイヤ駆動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.

3. パラレルワイヤ型干渉駆動関節方式 複数のワイヤで動力伝達し制御対象を操作 するパラレルワイヤ機構と、複数のアクチュエータを協調させて各主要動作に働かせ、か つ各々が全動作に可能な限り高出力を働かせる干渉駆動機構を組み合わせた機構である. これにより、制御対象とアクチュエータを離すことが可能(軽量化)、かつ複数自由度を有 したまま高出力が実現可能となる.この関節の主眼点は、各回転軸にワイヤ張力をロスレ スで伝達するメカニズムの設計であり、本研究では、回転軸をオイルレスベアリングで構 築し、これをワイヤ周導面として Fig.2 のように設計することで、高出力を実現する2・3 自由度関節を開発した.これらを用いて、ロボットハンドを構成した結果を Fig.3 に示す.

Keywords: Multi-D.O.F. Prosthetic Hand, Adaptive Joint for Interference-driven Mechanism, Interference Driven Link based on Parallel-Wire Mechanism

- 1) A. Hernandez Arieta, H.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.
- 2) Y. Mizoguchi, H. Yokoi, T. Arai, et al.: "Development of Interference Driven Link of Prosthetic Hand," Proceedings of the 2nd International Workshop on Man-Machine Symbiotic Systems, pp.421-427, 2004.

Fig.1 Adaptive Joint Mechanism.

Fig.3 Multi-D.O.F. EMG prosthetic hand

ARAI – YOKOI – OTA LAB

電気刺激による感覚フィードバック (横井助教授・新井教授)

現在,身障者が筋電義手(Fig.1)を使用する際,身障者へのフィードバックはその運動 を認識する視覚のみと情報が少ないため,脳内に適切な body schema を構築することが困 難である.つまり,義手を自分の体と一部として認識することが難しく,思い通りに制御 するのが困難である.本研究では,筋電義手に取り付けた圧力センサー(Fig.2)から得ら れる把持情報(触覚情報)を電気刺激(Fig.3)によって人間へフィードバックすることで, 適切な body schema を構築し,操作者がより思い通りに義手を制御可能にすることを目的 とする.しかし,触覚情報を人間の神経に直接的に電気刺激してフィードバックするため, 刺激信号が義手の制御信号源となる筋電位にノイズとして混入する.そのため,動作の識 別が困難となるといった問題があげられる.そこで本研究では,表面電気刺激と干渉電気 刺激という二つの電気刺激の方法論を比較し,実験から干渉刺激より表面刺激のほうがノ イズの影響は少なく,影響の個人差も小さかったという知見を得た.今後,電気刺激と body schema との関係を明らかにし,自分の体の一部として利用できる機能代替機器の開発を目 指す.

Keywords: EMG control, Biofeedback, subconscious control, extended proprioception.

- Alejandro Hernandez Arieta, Ryu Katoh, Wenwei Yu, Hiroshi Yokoi, and Yukinori Kakazu: "Prosthetic hand control with tactile sensory feedback," ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2P2-3F-A7, 2003
 Alejandro Hernandez Arieta, Wenwei Yu, Hiroshi Yokoi et al.: "Integration of a Multi-D.O.F.
- Alejandro Hernandez Arieta, Wenwei Yu, Hiroshi Yokoi et al.: "Integration of a Multi-D.O.F. Individually Adaptable EMG Prosthetic System with Tactile Feedback," IAS-8, F.Groren et al.(Eds) IOS Press, pp.1013-1021, 2004.
- 3) Hiroshi Yokoi, Alejandro Hernandez Arieta, Ryu Katoh, Wenwei Yu, Ichiro Watanabe, Masaharu Maruishi: "Mutual Adaptation in a Prosthetics Application," Embodied Artificial Intelligence edited by Fumiya Iida, Rolf Pfeifer, Luc Steels, and Yasuo Kuniyoshi, LNCS/LNAI series of Springer, Springer, 2004.

Fig.1 EMG controlled Prosthetic Hand

Fig. 2 Pressure Sensors

Fig.3 Electrical Stimulation Electrodes

多次元的センサー情報統合(理論)による SMA の 制御応答性の向上に関する研究 (横井助教授・新井教授)

1. はじめに ある種類の金属材料では、変形後にある一定の温度以上に加熱すると元 の形状に回復する性質をもつ合金がある.この合金は、「形状記憶合金」または「SMA: Shape Memory Alloy」と呼ばれている.SMA を利用する利点として、形状回復力が大きい、 形状回復ひずみも大きく、駆動温度範囲も広く、耐食性や耐疲労性に優れているために実 用的に広く用いられている.SMA をアクチュエータとして利用するためには、加熱、冷却 を繰り返す必要があるので、その応答性が課題となる.本研究は自然放熱における放熱器 を導入し最適加熱法で SMA の応答速度の向上を目指している.

2. 自然放熱における応答性の向上 SMA アクチュエータの高速制御を中心として自 然冷却のメカニズムの有効性について検討してきた. プロトタイプとして作成した SMA アクチュエータは,直線型記憶・ワイヤータイプ SMA と放熱機構を組み合わせて製作し た. 放熱機構は金属チューブおよび放熱材 (シリコングリス)を組み合わせたものである. SMA の温度制御のための熱伝導モデルを用いた数理解析を行ってきた (Fig.1). 提案した 放熱機構を利用すると,形状記憶合金の熱を多く放熱する働きを理論上と実験 (Fig.2) で 示した.

3. ロボットハンドの駆動 金属チューブを利用することによって, SMA の支持点を任意の位置へ移動可能な方法論を提案し,これにより,微小領域における収縮運動を実現した.現在,ロボット指を SMA で駆動する機構 (Fig.3)を構築しており,従来手法のサーバーモータと比較すると SMA を使用することによってロボットハンドの軽量化・小型化・携帯性を実現することが可能になる.

Keywords: Shape Memory Alloy, heat sink, response, robotic finger actuation

Fig.1 Heat model

進化ロボティクス:制御と形態の共進化における動的安定移動の獲得

(横井助教授・新井教授)

進化ロボティクスは,生物の進化メカニズムを工学的に模倣した自動設計方法を利用して,自律ロボットシステムの構築を目的としている.この手法は,人間の先見的な設計知識を極力導入しないため,予期しない機能の獲得できることに利点がある.

本研究では、この進化ロボティクスの手法に注目し、「制御」と「形態」を探索次元と して走る・跳ねるなど高度な動的安定性のある「移動」機能を有するロボットの開発を目 指す.

- (i) 仮想空間内おいて、ロボットは5球体の集合体と表現し、球の重量・大きさ・回転 方向(形態変数)および多層ニューラルネットワークの重み(制御変数)、最適関 数をして移動量を設定し遺伝的アルゴリズムを用いて進化させた. その結果により、移動機能を有するために「効果的である次元」の検証を行った(Fig.1).
- (ii) 仮想空間においてロボットに単純振動などの最小限の「制御」を設定し、その物理 特性を利用する「形態」を進化的計算により求めた.また、求められた結果を現実 世界において実機製作により、歩行特性の検証を行った.その結果、安定歩行が得 られることが確認され、身体性が情報処理を軽減する可能性を確認した(Fig.2).

Keywords: Evolutionary robotics, Genetic Algorithm, Morphology, Locomotion

References

1) Kojiro Matsushita, Max Lungarella, Chandana Paul, and Hiroshi Yokoi: "Locomoting with Less Computation but More Morphology," Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), pp.2020-2025, 2005

Fig. 1 Co-evolution of morphology and controller

Fig. 2 Pseudo-Passive Dynamic Walker

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

- 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," Integrated Computer-Aided Engineering, Vol.11, No.3, pp.195-212, 2004.
- C. Trevai, R. Takemoto, Y. Fukazawa, J. Ota and T. Arai: "Local Obstacle Avoidance with Reliable Goal Acquisition for Mobile Robots," 7th Int. Symp. Distributed Autonomous Robotic Systems (DARS2004), pp.41-50, 2004.
- Y. Fukazawa, C. Trevai, J. Ota, H. Yuasa, T. Arai, H. Asama and K. Kawabata: "Realizing Exploration and Rearrangement Task of Multiple Unknown Objects by an Actual Mobile Robot," Advanced Robotics, Vol.19, No.1, pp.1-20, 2005.

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り,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いる.

セル生産方式では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 熟練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,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、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、組立作業の効率向上、作業者にとってより使いやすい生産環境の実現などが期待できる.

これまでにプロトタイプモデルを実装し (Fig.2), 簡単な組立作業を自走式トレイで支援するデモンストレーションを行った (Fig.3). 今後は提案システムの効率および使いやすさを評価する予定である.

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) Masao Sugi, Makoto Nikaido, Yusuke Tamura, Jun Ota, Tamio Arai, Kiyoshi Kotani, Kiyoshi Takamasu, Seiichi Shin, Hiromasa Suzuki, Yoichi Sato: "Motion Control of Self-Moving Trays for Human Supporting Production Cell 'Attentive Workbench'," Proc. of the 2005 IEEE Int'l Conf. on Robotics and Automation (ICRA 2005), pp. 4091-4096, 2005.

with vital signs monitor

Fig. 1 Overview of Attentive Workbench

Trays with essembly parts

Fig. 2 Prototype Model

Fig. 3 Assembly Support by Trays

ユーザ適応型卓上作業支援システム (杉助手・太田助教授・新井教授)

我々人間の日常生活において、卓上における作業が占める割合は非常に高く、これを知 的システムによって支援することは非常に有益であると考えられる.これに対して本研究 グループでは、ユーザを物理面、情報面の双方から支援するシステムとして Attentive Workbench (AWB)を提案している.

本研究では、AWB においてユーザが必要とする物体を自走式トレイによってユーザの 手元まで搬送する支援の実現を目的としている (Fig.1). このためには、システムはユー ザの意図するターゲットを推定する必要がある. これに対して本研究では以下の3つのア プローチを採用した. (1) 少ない情報から人間の主観的な指差し方向を推定することで、 指差し奉公人式辞対の精度を高める (Fig.2). (2) センサから得られる空間情報とユーザの 行為系列に基づいた時間情報を動的ベイジアンネットワークによって統合することで、指 差しの誤差による影響を吸収する. (3) ユーザの行為系列や指差し特性に応じて自走式ト レイの配置を適切に変更することで、システムにとっての負荷を低減し、指差しの誤推定 を低減する. 以上のアプローチを統合することにより、ユーザの指差しからユーザの意図 するターゲットを正しく推定するシステムを実現した (Fig.3).

Keywords: Attentive Workbench (AWB), pointing gesture, Dynamic Bayesian Network

- Yusuke Tamura, Masao Sugi, Jun Ota, and Tamio Arai: "Deskwork Support System Based on the Estimation of Human Intentions," Proceedings of the 13th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, pp.413-418, 2004.
- 2) 田村雄介, 杉正夫, 太田順, 新井民夫: "卓上作業支援システムのための作業者意図の推定", 計 測自動制御学会論文集, Vol.41, No.7, 2005 (掲載予定).

Fig.1 Overview of deskwork support with self-moving trays

Fig.3 Target estimation based on pointing gesture

グラフ上の反応拡散方程式を用いた大規模システムの制御 (杉助手・太田助教授・新井教授)

湯浅らはグラフ上の反応拡散方程式により自律分散システムをモデル化することを提案 している.そこではシステム全体はグラフで表現され,各自律要素がグラフの頂点,自律 要素間の相互作用がグラフの枝となる.グラフ上のポテンシャル関数によってシステム全 体の目標を定義し,そのポテンシャル関数の勾配系に従って各自律要素を時間発展させる ことで,大域的な目標を実現するために各要素がどのように振舞えばよいかを求めること ができる.このモデルは広い適用範囲を持ち,本研究室では以下の応用研究を行っている.

自律分散型交通信号網制御:多数の交通信号を連動させ,交通状況に応じて適切に制御 することにより,交通効率を改善することが可能となる.本研究で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.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.これまでに簡単な環境でシミュレーションを行い,定常的な交通状況および 動的交通状況に対する提案手法の有効性を確認している.

ジョブショップスケジューリング:本研究では、ジョブの追加や削除の発生、作業時間 の誤差などの外乱や現実的な制約(切替制約など)を考慮した大規模なジョブショップス ケジューリング問題を扱う.個々の工程を自律要素とみなし、順序制約(各ジョブの工程 の順序に関する制約)と容量制約(一つの機械が同時に処理できる作業の数に関する制約) とをポテンシャル関数で表し、ポテンシャルの極小値となる実行可能解へと生産スケジュ ールを変化させる.この手法と工程の作業順序入れ替えによる解の改善とを組み合わせる ことにより、外乱や現実的制約の存在する環境において質の良い実行可能解を求めること を目指している.

Keywords: Reaction-Diffusion Equation on a Graph, Traffic Signal Control, Job-Shop Scheduling

- 湯浅秀男, 伊藤正美: "グラフ上の反応拡散方程式と自律分散システム", 計測自動制御学会論文 集, Vol. 35, No. 11, pp.1447-1453, 1999.
- 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.
- 3) 承敏鋼, 杉正夫, 太田順, 山本政, 伊藤宏樹, 井上和佳: "Decentralized Job-Shop Scheduling by Reaction-Diffusion Equation on a Graph," 計測自動制御学会第 17 回自律分散システム・シンポジウム資料, pp.87-92, 2005.

Fig. 1 Overview of Offset Control

Fig. 2 Traffic Simulation

Fig. 3 Sample of Constraints with 3-job 3-machine problem

競争的共進化を用いたロバスト設計 (千葉助手・太田助教授・新井教授)

現在, 無人搬送車(Automated Guided Vehicle; AGV)を用いた搬送システムが普及しており(Fig. 1), 本研究では AGV 搬送システムの設計問題を扱っている.

この AGV 搬送システムの重要な設計要素のひとつが走行経路である. 走行経路とは, AGV 群をガイドするための, AGV 群が走行を許される経路ネットワークを指す. ここで, 従来研究の多くが, ひとつのタスク(搬送要求群)に対し走行経路の最適化を行っているが, 生産システムにおけるタスクは日々変動し, その都度走行経路を変更することが不可能な 場合が数多く存在する. したがって,様々なタスクの可能性があり,どのタスクに対して も効率的なシステム,すなわちタスクに対しロバストなシステムを設計することが求めら れている. 現在の生産システムにおいては,タスクは多様化しており,可能性のある全タ スクを入力してテストすることは時間を要するため不可能である.

そこで本研究では, Fig.2 の手順を提案する. 1.) 搬送効率の良い走行経路を GA により 求める. 2.) 効率の悪いタスクを GA により発見する. 3.) 競争的共進化の概念を用いるこ とにより, タスク発見および走行経路設計を, 相関を保ちながら, 交互に進化する.

工学的応用における競争的共進化では,問題自体が動的に変わることによって,設計対象が特定の問題に特化することを抑制し,高い適応性を持った個体の設計が可能である. この考えに基づき,走行経路とタスクを競争的共進化させることによって,特定の搬送要求に特化した走行経路ではなく,様々な搬送要求に対応可能な走行経路を設計した.

本手法の有効性を検証するためにシミュレーションによる実験(Fig.3)を行い,これから 有効な走行経路と AGV 群の行動(Fig.4)が得られた.

Keywords: Competitive Co-evolution, AGV Transportation System, Flow-path Network Design

References

1) 千葉 龍介,太田 順,新井 民夫, "競争的共進化を用いた AGV 搬送システムにおけるロバスト な走行経路の設計法," 第17回自律分散システム・シンポジウム資料, pp. 21-26, 2005.

Fig. 1 AGV Transportation Systems

Fig. 3 Simulation for AGV Systems Design

Fig. 2 Design Process with Co-evolution

Fig. 4 Designed Network and AGV behiviors

異質群ロボットを用いた大規模搬送システム (太田助教授)

近年の港湾物流におけるコンテナ貨物の取扱量は年々増加傾向にあり、それに伴い物流の自動化に向けた様々な視点からの研究がなされている.本研究室では、Fig. 1 に示す港 湾自動化コンテナターミナルにおける AGV 搬送システムを題材に、システム内で稼動す る荷役・搬送・蔵置機器に対して、それぞれが知能を有したロボット群であるとし、異質 群ロボットを用いた大規模搬送システムの実現に向けた研究を行っている.

AGV 搬送システムの構築にあたっては、以下の3つの問題を統合的に考慮する必要があ る.(I) AGV 搬送システムの最適設計,(II) レイアウト特性による性能評価,(III) AGV 搬 送システムの高効率運用法.(I) は AGV 搬送システムに投入するロボット台数やレイアウ トを設計パラメータとし、各パラメータを短時間で最適に設計する問題のことで、本研究 室ではこれまでに数理モデルである待ち行列ネットワーク理論と Fig. 2 の示す搬送モデル をハイブリッドに用いた最適設計方法論を提案してきた.(II) は、複数のシステムレイア ウトが候補として挙がった際に考慮される問題で、これまでに垂直型および Fig. 1 の示す 水平型の AGV 搬送システムの性能評価を行い、水平型 AGV 搬送システムの有効性が確認 してきた.(III) は AGV 搬送システムの作業効率向上のために必要とされる問題であり、 本研究ではこれまでに異質な群ロボット間における協調行動則の設計、コンテナの蔵置ス ケジューリング、およびコンテナの搬送計画を行う方法論を提案してきた.また、提案し た高効率運用法を適用した AGV 搬送システムは、従来法を用いた運用を考慮しない AGV 搬送システムに対し、設計コストが大幅に減少することも分かっている.

Keywords: Multi-Robot, AGV, Transportation System, Optimal Design, System Management

- 1) 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を用いた AGV 搬送システムの最適設計論",計測自動制御学会産業論文集, Vol.4, No.1, pp. 1-9, 2005.
- Satoshi Hoshino, Jun Ota, Akiko Shinozaki, and Hideki Hashimoto: "Comparison of an AGV Transportation System by Using the Queuing Network Theory," Proc. 2004 IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robots and Systems (IROS'04), pp. 3785-3790, 2004.
- Satoshi Hoshino, Jun Ota, Akiko Shinozaki, and Hideki Hashimoto: "Optimal Design, Evaluation, and Analysis of AGV Transportation Systems Based on Various Transportation Demands," Proc. 2005 IEEE Int. Conf. Robotics and Automation (ICRA'05), pp. 1412-1418, 2005.

Fig. 1 The Horizontal AGV Transportation System in Automated Container Terminal

Fig. 2 The Modeled AGV Transportation System

搬送センター設計アルゴリズムの開発(太田助教授)

工場等で生産された多品種の製品を入庫し、小売店や問屋へ出庫する配送センターは物 流の根幹を成す非常に重要な設備である.本研究では、配送センターのマテリアルフロー 設計問題、すなわち「品種毎に決められた量の出庫を決められたリードタイム内に実現す る配送センター内での倉庫サイズ、倉庫用クレーン・荷姿変換装置の台数、装置間の製品 の流量を求める問題」を解決する設計アルゴリズムの構築を目指している.

Fig.1 に解析対象となる搬送システムのフローを示す.大きく分けて、一次保管倉庫、荷 姿変換装置(デパレタイザ、ロボット)、二次保管倉庫、倉庫から荷物を出し入れするクレ ーンの四種類の装置から構成される.Fig.2~4 に提案フローモデルを示す.ここでは、出 庫数の多い A ランク品目と少ない B ランク品目 (Fig.4) に分けてモデル化し、さらに A ランク品目については発注から出庫までの時間帯 (Fig.2) と、出庫から次の発注までの時 間帯 (Fig.3)の二種類に分けてモデルを構成している.この三種類の時不変ネットワーク フローモデルを統合した時変ネットワークフローモデルを用いて導解を行った.このモデ ルを混合整数計画問題として定式化、導解し、解導出時間の高速化を実現した.

上記アルゴリズムを Intel Pentium M 900MHz 計算機上に実装し,実際の搬送データを用いて検証した.約 50 種類程度の相異なるリードタイムに対する導解を 5 分程度で行うことができた.また得られた結果より,上記モデルの有効性を示した.

Keywords: Warehouse management, Material flow, Logistics

References

- 1) Yasunaga, T., Ota, J., Kobayashi, T., Ito, T., Higashi, T. and Tamura, H.: "Development of Design Algorithm for Logistics Networks," Proc. 2004 IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robots and Systems (IROS2004), pp.1251-1256, 2004.
- 2) 安永能子,太田順,小林豊和,伊藤富男,東俊光,田村博文,秋吉正崇:"ロジスティクス・ネット ワーク設計自動化アルゴリズムの開発",第17回自律分散システム・シンポジウム資料,pp.81-86, 2005.

Fig. 1 material flow in the delivery center Fig. 2 flow model for rank A product (Order - Delibery)

Fig.3 flow model for rank A product (Delibery - Next order)

Fig. 4 flow model for rank B product

マルチエージェントによる平置き倉庫内搬送のスケジューリング (太田助教授)

平置き倉庫内におけるエージェント(搬送カート)群による搬送計画問題は,多大な計 算時間を要する.この計画問題とは「倉庫内の作業要求(要求量の物品を棚から集積所へ 搬送すること)を満たすエージェント群の経路生成をすること」であり,その解法の確立 を本研究の目的とする.効率的な搬送のためには,搬送時間のみならず事前計画時間の最 小化を行わなければならない.この目的のために,一連の搬送作業を三つの部分問題に分 割し,それぞれを逐次的に解くことで計画時間を抑制する手法の提案を行っている(Fig.1).

第一の経路生成(Route Generation: RG)では,作業要求に従って搬送経路の生成を行う. ここでは,総搬送距離の最小化と搬送回数(すなわち集積所への発着回数)の最小化を目 指す.経路割付(Route Assignment: RA)では,経路生成で得られた搬送経路を,各エージ エント群に割付ける.ここでエージェント間の負荷の平均化と最大作業時間の最小化を目 指す.そして,本研究の特色である優先順位操作(Dispatching)では,1)エージェントの 優先順位を付け,2)割付けられた経路を辿ることにより並べ替える,という操作を行う. 上記のルールは計算の高速化を考慮したシミュレーションベースのスケジューリング法の ー手法である.これにより,エージェント同士の衝突や渋滞を抑制可能である.

上記の手法を,現実の平置き倉庫のモデルにシミュレーションによって適用したところ (Fig.2),前述の優先順位操作により,衝突や渋滞による遅延を少なくすることが可能で あった.様々な作業仕様に対して比較を行った結果,本優先順位操作を行わない場合に比 べ,高い効率が得られたことがわかった (Fig.3).

Keywords: multiple-agents, routing, warehouse automation, scheduling

References

 Rubrico, J.I.U., Ota, J., Tamura, H., Akiyoshi, M. and Higashi, T.: "Route Generation For Warehouse Management Using Fast Heuristics," Proc. 2004 IEEE/RSJ IROS2004, pp. 2093-2098, 2004.

Fig. 1 Multistage solution to the picking problem

Fig. 2 Simulation software for the warehouse picking problem

Fig. 3 Improvements gained from the dispatching procedure

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.リ ンク構造は、複数姿勢の3次元医用画像から得られる骨のサーフェスモデルを用いて求め ることができる¹⁾.3次元医用画像として,被曝の危険性のない MR 画像を使用する場合, 骨の領域の境界が不明瞭で、単純な閾値処理等により抽出することはできない、そのため、 1姿勢あたり100枚もの画像から一枚一枚手作業により領域を抜き出すことになるが、こ れには熟練した者でも1姿勢あたり3時間ほどを要する.そこで、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省力化技術として, 以下に述べる骨モデルの位置合わせによる手法を提案した²⁾.(1)1 姿勢分の MR 画像から 手動で骨領域を抜き出し,骨のサーフェスモデルを作成する.(2)対象となる MR 画像をボ リュームレンダリング表示し、代表的な特徴点の座標を指定すること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、個別に骨のサーフェスモデルを抽出 する場合と同程度の精度を保ちながら、約3分の1の時間で骨の位置姿勢を求められるよ うになった.

Keywords: Human, Modeling, Computer Manikin, Hand Bones, Registration, MRI

- 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) Satomi KAMOJIMA, Natsuki MIYATA and Jun OTA: "Identification of Position and Orientation of Hand Bones from MR Images by Bone Model Registration," IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.2021-2027, 2004

Fig.1 Outline of Digital Hand

Fig. 2 Initial Configuration Settlement