

2014 年度

東京大学 人工物工学研究センター
人工物と人との相互作用研究部門

移動ロボティクス研究室 (太田研究室) 研究紹介

〒277-8568 千葉県柏市柏の葉 5-1-5
東京大学柏キャンパス総合研究棟 5F

TEL

教授室 509 : 04-7136-4252
助教室 564 : 04-7136-4272
研究室 559, 561 : 04-7136-4260
研究室 534A, 535A : 04-7136-4276

FAX

: 04-7136-4242

URL: <http://www.race.u-tokyo.ac.jp/otalab/index-j.htm>

メンバー

教授	太田 順
助教	緒方 大樹
特任研究員	黄 之峰, 朱 丹丹
博士課程学生	加藤 裕基, Jorge David Figueroa Heredia, 姜 平, 木村 宣隆
修士課程学生	大橋 二紗夫, 辻本 和晃, 片山 貴裕, Veerachart Srisamosorn, 白石 匠, Sahloul Hamdi, 林静思
学部 4 年生	伊藤 拓, 松井 尚孝
秘書	田村 美香, 中村 綾子

研究の概要

我々は 1989 年から群知能ロボットの研究を行ってきました。我々は、「ある空間に滞在し、動作している人間」、「人間を支援する知的エージェントとしてのロボット」、「ロボットと人間が相互作用する環境」の三者から構成される系を考えてきました。我々は、動作計画手法、進化的計算、最適化工学、制御工学等を理論的基盤として、ロボット工学、サービス工学、生産システム工学に関する研究プロジェクトを遂行しています。最終的には人間と相互作用し人間を支援するエージェントの知能並びに運動・移動機能を解明し、人を含むマルチエージェントシステム設計論の構築を目指します。現在は「マルチエージェントロボット」、「大規模生産／搬送システム設計と支援」「移動知、人の解析と人へのサービス」という 3 つの分野において研究を行っています。

具体的には以下のテーマについて研究を進めています。

マルチエージェントロボット

ロボットの把持作業教示システムの開発

小型移動ロボットによる台車を用いた大型物体の搬送

大規模生産／搬送システム設計と支援

ピックアンドプレースを行う複数マニピュレータのディスパッチングルール設計

製造ラインにおける画像認識の処理手順の最適化手法を用いた生成

移動知、人の解析と人へのサービス

看護スキル学習用ロボット患者開発

複数の麻痺情報を再現可能な患者ロボット

起立姿勢維持制御モデルの検討

人間同士の時間的共創過程の解明

ソーシャル情報から抽出したユーザ行動目的に基づく推薦システム

小脳除去ラットの歩行解析による小脳障害部位特異性の検討

ロボットの把持作業教示システムの開発

家庭・オフィス環境において活動するサービスロボットの普及が望まれている．ここで，ロボットが多様な物体を把持するための情報を得ることが不可欠である．本研究では，そのような情報を生成するための教示システムを提案している[1]．

我々は，まず，力センサ付きの専用教示ツールを新たに開発した(Fig.1(a))．人間がこのツールを用いて自然な動作で物体の把持操作を遂行する中で，物体形状，物体把持力，物体把持位置，物体把持方向に関するデータを取得する．Fig.2に処理過程を示す．床面，グリッパ，物体の相対位置を計測することで，グリッパが物体のどの部分を把持しているかが分かる．このツールはここで想定しているサービスロボット(Fig.1(b))上に搭載されている物体把持用グリッパと同様な機構を有している．このツールを利用することで，ロボットを直接用いることなく，物体把持に必要な情報を獲得できる．Fig. 3は方法論の概要を表している．(a)で示すようにRGB-Dセンサを用いることで仮想スペース（直方体）内の物体の形状を計測する．(b)は，人間が教示ツールを用いて作業を行い，その情報をRGB-Dセンサで計測している状況を示している．Fig.4は教示データの一例であり，把持力と把持位置が示されている．

当該システムの開発により，ダイレクトティーチングのように教示データを直接的に利用することができ，かつ実演教示のように自然な動作で教示ができるシステム構築を目指している．

Key words: robot teaching, RGB-D sensor, grasping

Reference

FIGUEROA, Jorge, OTA, Jun, "Semi-direct Teaching Method for Grasping Objects in Service Mobile Robot Systems - Teaching Data Generation", IEEE international conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2013, pages 2390 – 2395.

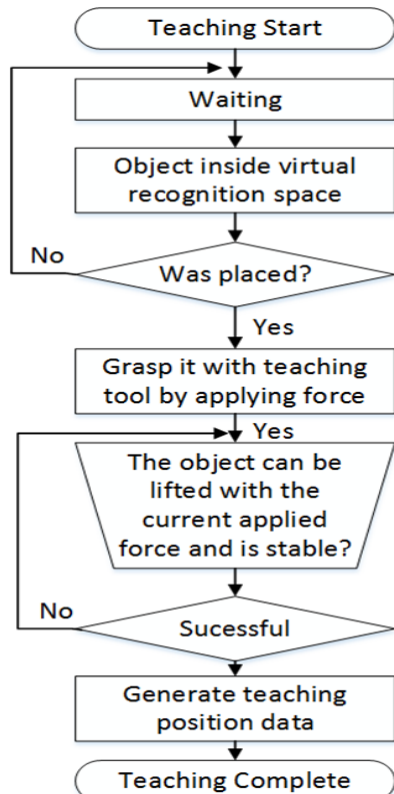


Fig. 2 Flowchart showing the process of teaching

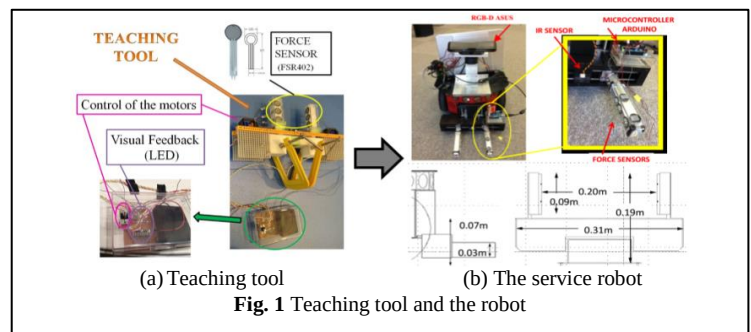


Fig. 1 Teaching tool and the robot

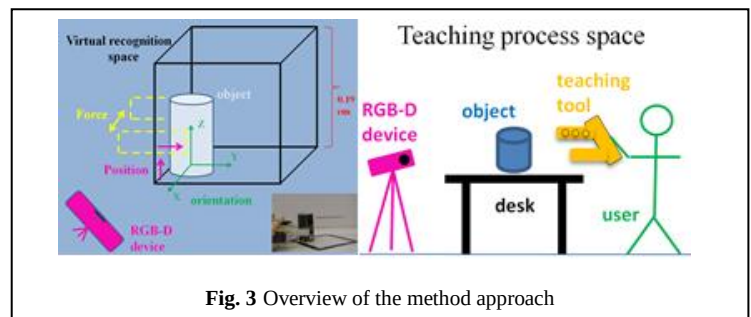


Fig. 3 Overview of the method approach

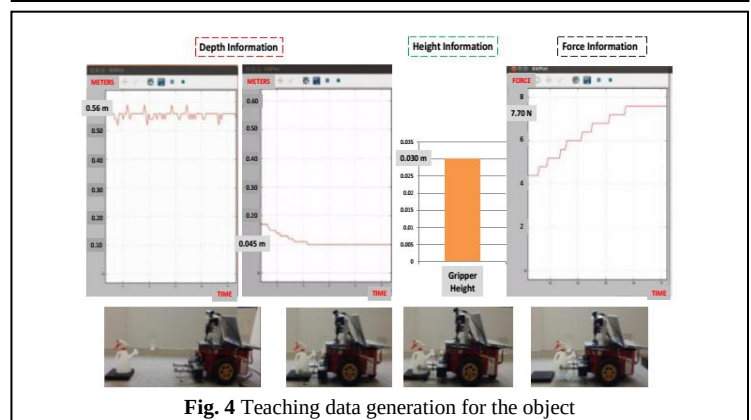


Fig. 4 Teaching data generation for the object

小型移動ロボットによる台車を用いた大型物体の搬送

広い作業空間をもつ移動ロボットは、人間に代わって身体的負担の大きい作業を行うことが期待されている。例えば、工場内での搬送作業や家庭・オフィス内での片付け作業など様々な場面における応用が考えられる。ここで上記の作業を想定すると、作業環境が狭いためロボットを小型化せざるを得ないという状況は多い。

人間の生活空間における机や棚などの大型物体を小型移動ロボットに搬送させるには、ロボットにかかる重量負荷をいかに軽減するかが重要となる。本研究では、ロボットへの重量負荷を軽減する狙いで、ロボットが台車を用いる搬送手法を提案する。問題設定として、床に置かれた物体を2台の移動ロボットで台車に積載して搬送することを扱う。

本手法では2台の移動ロボットにより、次の手順で物体を台車に積載する。まず、エンドエフェクタを搭載した物体傾斜用ロボットが物体の一点を押すことで物体を傾け、床と物体間にできた隙間に台車搬送用ロボットが2台の台車を挿入する(Fig. 1)。その後、物体傾斜用ロボットが物体の反対側に回り、再び物体を傾けて台車搬送用ロボットが残りの台車を挿入する(Fig. 2)。この過程において物体を傾斜させる際に、「物体積載済み台車のすべり」と「押し反力によるロボットの転倒」が生じる危険性が高い(Fig. 3)。これらの問題に対して、前者はすべり止めを貼った板をエアシリンダ駆動で床に押し付けることで、後者は移動作業車を参考にアウトリガー（作業時に車体の安定性を高める装置）を用いることで解決を図る。

KeyWords : Mobile robot, Object transportation, Hand cart

Reference

- [1] 大橋二紗夫, 上西康平, 永田英憲, Figueroa Jorge, 加藤裕基, 緒方大樹, 太田順, 精密工学会2014年度春季大会講演論文集, (2014)
- [2] 上西康平, 大橋二紗夫, 永田英憲, Figueroa Jorge, 黄之峰, 加藤裕基, 緒方大樹, 太田順, 精密工学会2014年度春季大会講演論文集, (2014)



Fig. 1 使用するロボットおよび台車

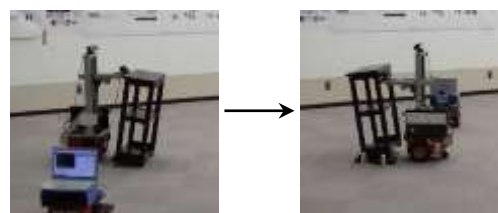


Fig. 2 作業手順

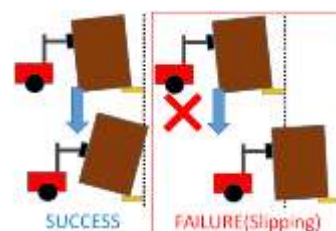


Fig. 3 物体傾斜時における問題（台車すべり）

ピッキングアンドプレース作業のための複数ロボットシステムの統合設計

生産能力を向上させ、販売価格を低減させ、そして複数ロボットシステムをピッキングアンドプレース作業へ短時間で適用させるため、ロボットアームとその基底位置を素早く適切に選択しなくてはならない。しかし、それらの選択は、経験を積んだ技術者が評価指標を何度も評価することによって行われるため、多くの計算時間を要してしまう。

本研究では、ロボットアームとその基底位置の選択を複数ロボットシステムの統合設計と呼び、提案手法(Fig. 1)によってそのシステムの統合設計(Fig. 2)を高速に実現する。多目的粒子群最適化(MOPSO)を用いて、適切なロボットアームをいくつかの候補の中から選択し、粒子群最適化(PSO)を用いて、ロボットアームの基底位置を探索する。そして、待てない顧客を伴う M/M/1 の待ち行列モデルを用いて評価指標を推定する。シミュレーションベースの統計的推定を用いて評価指標を推定する手法と比較して、提案手法が効果的で効率が良い手法であることをシミュレーションによって示した。提案手法によって求めたロボットアームとその基底位置は、比較手法と似ていたが、提案手法による計算時間は 0.48 時間で、これは比較手法と比べて 1/20 以下であった(Fig. 3)。

Key words: Integrated design of multi-robot system, MOPSO, PSO, M/M/1 queueing model, pick-and-place task

Reference

- [1] Y. J. Huang, R. Chiba, T. Arai, T. Ueyama, and J. Ota, Integrated design of multi-robot system for pick-and-place tasks, in Proc. IEEE Int. Conf. on Rob. and Bio., pp. 970-975 (2013)

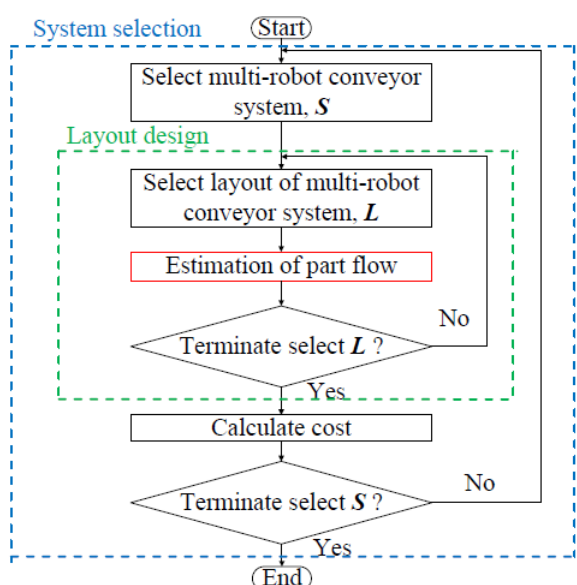


Fig. 1 Proposed method

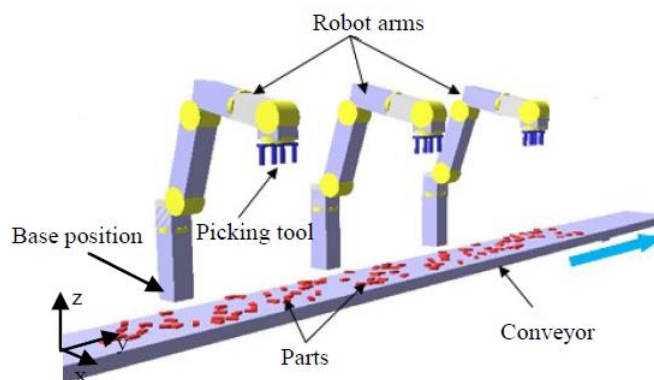


Fig. 2 A multi-robot system consists of multiple robot arms

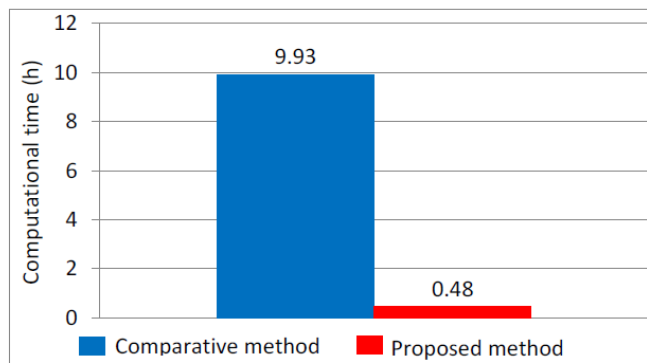


Fig. 3 Computational time for proposed method and comparative method

製造ラインにおける画像認識の処理手順の最適化手法を用いた生成

生産能力の向上や生産コストの削減のため、製品の組立や検査など多くの作業が自動化されており、そのために画像認識技術が用いられている。画像認識を行うためには、画像中から認識対象を見つけ、識別の基準である特徴をもとに見つけた認識対象を識別することが必要となる。そのため、画像変換・特徴抽出・識別という3つの処理が一般的に行われ、これらの処理を適切に設計することで画像認識を行うことができる(Fig. 1)。この設計は専門家によって成されているが、画像変換のための処理の組み合わせが膨大でありさらに各処理の変数(画像変換パラメータ)を調整する必要があることや、画像変換の処理の違いによって認識対象を識別するために相応しい基準および基準値(識別辞書)が変わること、そして設計した処理手順の適切さが認識結果、さらには作業が達成可能かどうかでしか評価できないことなどにより、多くの時間と労力を要してしまう。

本研究では、製造ラインにおいてロボットが物体を把持する作業のために物体の形状および位置を認識することを例に取り(Fig. 2)、画像変換パラメータと識別辞書にのみ焦点を当て、画像変換パラメータを調整しながら識別辞書を生成する手法を提案する(Fig. 3)。提案手法では、識別辞書ではなく認識対象の画像をあらかじめ与えることで、画像変換の処理ごとに適切な識別辞書を生成することができる。目的関数として、第一に形状の認識率を最大化すること、第二に位置誤差の最大値を最小化することを定め、最適化を行う。識別辞書をあらかじめ与え、画像変換パラメータ毎に決定しない手法と比較して、認識率の観点から良い結果を得られることを示した(Fig. 4)。

Key words: optimization, image recognition, parameter tuning, identification dictionary

Reference

[1] 辻本和晃, 黄沿江, 新井民夫, 植山剛, 緒方大樹, 太田順: 最適化アルゴリズムを用いた画像認識パラメータの調整による認識性能の向上, 精密工学会 2014 年度春季大会講演論文集, 2014

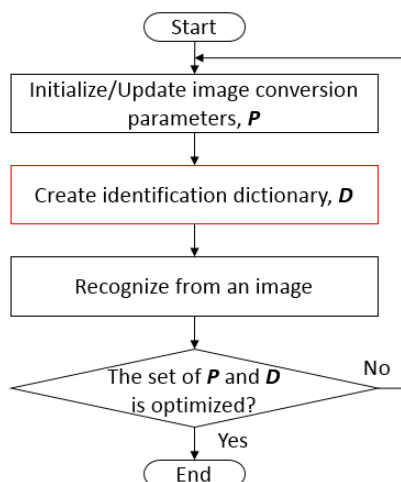


Fig. 3 提案手法

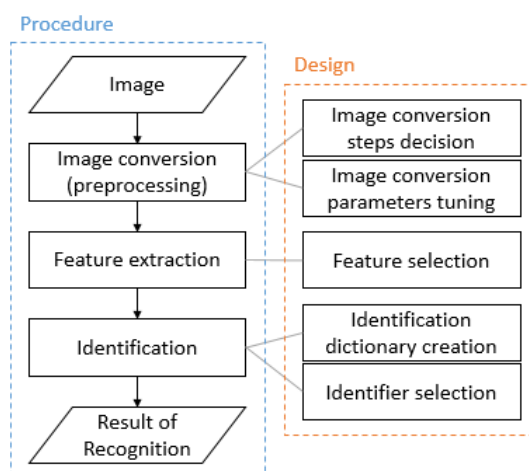


Fig. 1 画像認識の手順およびその設計



Fig. 2 画像認識の対象作業

Method	Evaluation index	
	Recognition rate (F-measure)	Maximum position error [pixel]
Proposed method	1	4.04
Comparative method	0.875	4.04

Fig. 4 認識結果の比較

看護スキル学習用のロボット患者開発

看護ケアには、入浴介助や着衣交換など、患者の身体を対象としたスキルが多く存在する。患者と看護師の双方の安全のために、看護師はこれらのスキルを適切に習得することが求められる。看護教育の現場においては、これらのスキルを学習する際、マネキン、もしくは、健常者を模擬患者として訓練が行われる。しかしながら、マネキンでは患者の関節を正確に再現できていないといった問題があり、また、健常者においても麻痺患者や筋力の低下した患者を再現できないといった問題があるため、実際の患者に対応したスキルを獲得することが困難である。

そこで、本研究では、人間の関節の動きを再現可能であり、かつ、看護学生と最低限の相互作用を可能とするロボット患者の開発を行っている。2つのタイプのロボット患者を開発しており、1つは車いす移乗学習用のロボットであり (Fig. 1, 2) , もう一方は寝衣交換学習用のロボットである (Fig. 3, 4) 。前者では、四肢と腰部の関節を、後者では、上肢の関節の再現を試みている。また、前者では、使用者からの声かけにより、関節のロックとアンロックが切り替わるといった相互作用を達成している。

Key Words : 患者ロボット, 看護スキル, スキル習得

Reference

- [1] Zhifeng Huang, et.al. “Design of a robot for patient transfer training,” *In Proceeding of 2013 SICE Annual Conference*, Nagoya, 2013, pp. 246–254.
- [2] Ayanori Nagata, et.al. “Mannequin robot to measure movement of patient’s arm by nurse during exchange of the patient’s wear on bed,” *In Proceeding of 2014 JSPE Spring Conference*, Tokyo, 2014, pp. 895-896.

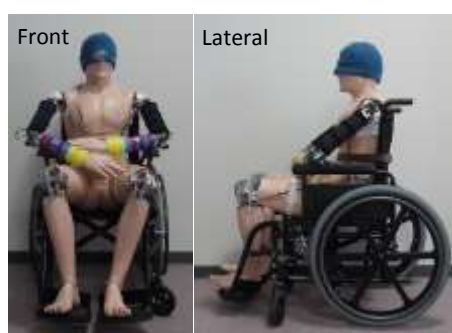


Fig.1. 車いす移乗学習用患者ロボット



Fig.2. ロボット患者を用いた車いす移乗の様子

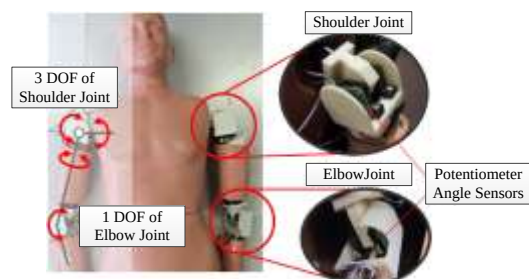


Fig.3. 寝衣交換学習用患者ロボット



Fig.4. ロボット患者を用いた寝衣交換の様子

複数の麻痺症状を再現可能な患者ロボット

看護師には、様々な患者の症状に応じて看護ケア動作を行うスキルが求められている。例えば、患者の全身を動かし、患者の症状によって大きく影響を受ける看護ケア動作として、寝衣交換動作が挙げられる (Fig.1)。しかしながら、現在看護教育の現場では健康者やマネキンを模擬患者として看護ケア動作の訓練が行われており、新人看護師が多様な症状の患者に適応するスキルを身につけるには不十分であると考えられる。

そこで本研究グループでは、複数の症状を再現可能な模擬患者ロボットの研究を行っている。本研究では、再現する症状として麻痺を取り上げた。麻痺は脳卒中の後遺症などで現れるため、実際に看護師が麻痺患者を看護する機会が多いためである。また、麻痺には、麻痺部位の筋の緊張が亢進して関節がこわばった状態になる痙攣性麻痺、麻痺部位の筋が弛緩して関節が緩んだ状態になる弛緩性麻痺があり、さまざまな状態が考えられるからである。

全身を持つ患者ロボットで複数の麻痺症状を再現可能にするために、単一の機構で、制御によって痙攣性麻痺と弛緩性麻痺の双方の関節状態を再現することを目指している。実際にロボットの肘関節を試作し、動作実験を行った (Fig.2)。今後は看護ケア動作の教育システムとして使用可能なように、ロボットの全身の関節へと拡張を行っていく予定である。

Keywords: 看護動作, 教育システム, 患者ロボット, 複数症状

References

- 1) 片山貴裕, 黄之峰, 永田英憲, 金井 Pak 雅子, 前田樹海, 北島泰子, 中村充浩, 相田京子, 桑原教彰, 緒方大樹, 太田順. 複数の症状を再現可能な患者ロボットを用いた看護動作教育システム. 精密工学会 2014 年春季大会講演論文集. 2014



Fig.1 寝衣交換



Fig.2 試作したロボットの肘関節

起立姿勢維持制御モデルに関する研究

起立時の姿勢制御のメカニズムの解明は、脳の理解や神経疾患の治療法に大きく貢献すると考えられる。生理学者は動物実験に基づいた4足歩行の定性的な姿勢制御モデルを提案しているが、それらが人間起立時の姿勢制御に対応できるかは不明である。ほとんどの工学系研究者は人間の姿勢制御モデルとして逆振り子モデルを適用しているが、それには筋骨格系の複雑さが充分には考慮されていない。

本研究の目的は、筋力の影響を十分に考慮した筋骨格系モデルに基づいて、動物の4足歩行の姿勢制御モデルが人間の起立姿勢の維持にも適応できるかどうかを検証することと、姿勢制御におけるフィードフォワード制御の影響を調査することである。

本研究では以下の2つの仮定を立てる。

1. 人間の姿勢制御は、フィードフォワード (FF) とフィードバック (FB) の2つの筋緊張制御からなる (Fig.1)。
2. フィードフォワード制御は姿勢の安定を改善する機能を持つ。

この仮説1を検証するため、本研究では、100msまでdelay timeを増加させ、FF+FBの制御によって人間の筋骨格系が立っていられるかをチェックした。

また、仮説2を検証するため、あるdelay timeにおいて、安定性指標として関節動揺の大きさをFF+FBとFBについて比較しどちらがより良い姿勢の安定性をもたらすのかを調査した。

結果、FF+FBとFBの両方で筋骨格系モデルの起立姿勢が維持でき、姿勢制御のメカニズムはこれら2つの制御方式からなるものだと示唆された。しかし、FFを含むシステムはよりよい安定性を示した (Fig.2)。こういった安定性の改善の機能は、おそらく網様体脊髄路の働きによる結果だと考えられる。今後は、より人間の筋骨格系に近い複雑な制御系を考え、それを実験データによって検証することを目指す。

Keywords: Postural control, Musculoskeletal model, biological simulation

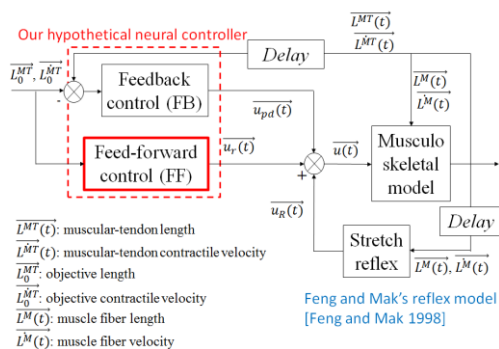


Fig.1 Stance postural control model

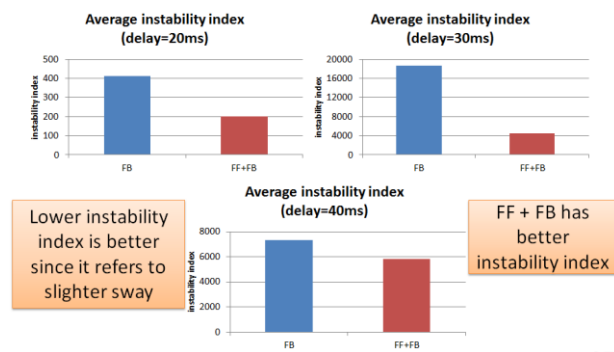


Fig.2 Stability index

人間同士の時間的共創過程の解明

スポーツやオーケストラに見られるように、人間は、多者間で協調しながら行動することができる。そこには、感覚情報の処理と統合、運動指令から運動の遂行、および、他者との協調などにかかる複数の時間遅れが存在しているが、それにもかかわらず、人間は他者と協調してリアルタイムに運動を生成している。このような人間の共創的コミュニケーションは、ヒューマンインタフェースやヴァーチャルリアリティなどの分野に見られるように、人間と人工物の協調が問題となる人工物の設計を考える上でも重要である。

そこで、心理学的な行動実験を用いて、共創的なプロセスの特徴とメカニズムを明らかにすることを目指している。具体的には、指タッピングによる3者間の協調的リズム生成課題を用いている。結果、人間のリーダに2人が同時に合わせるリズム生成は、メトロノームに2人で合わせる時よりも、テンポが速くなりやすいことが明らかとなった。これは、人間が外界の刺激よりも無意識のうちに早く指をタップすることと、人間のリーダは、追従する二人の生成するリズムを無視するように言われていたにもかかわらず、無意識のうちに影響を受けていたためと考えられる。また、メトロノームとのリズム生成においては、メトロノームに追従してリズムを生成する傾向があるのに対して、人間同士でリズムを生成するとき、他者の作るタイミングを予期的にとらえていることが示唆された。

Keywords: 時間的共創、多者間コミュニケーション、協調的リズム生成

References

- 1) T. Ogata, T. Katayama, Y. Miyake and J. Ota, Cooperative Rhythm Production between Three People through Auditory Signals. In Proceedings of 23rd International Symposium on Micro-Nano Mechatronics and Human Science, pp. 456—459, Nagoya, Nov. 2012.
- 2) 片山貴裕、緒方大樹、三宅美博、太田順、3 者間リズム生成課題を用いた複数の他者との時間的協調の観察とモデル化. 第 25 回自律分散システムシンポジウム資料, pp. 215—220、仙台、2013

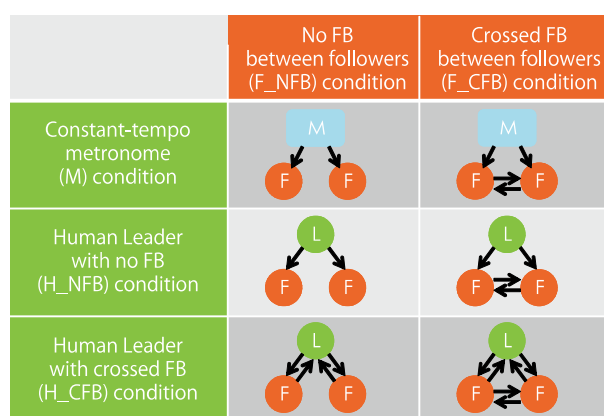
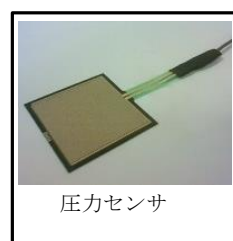


Fig. 2 テンポを一定に保つリーダの条件とそれに合わせてリズムを生成するフォロワ2人の条件。矢印の方向にタイミング情報が伝えられることを意味している。

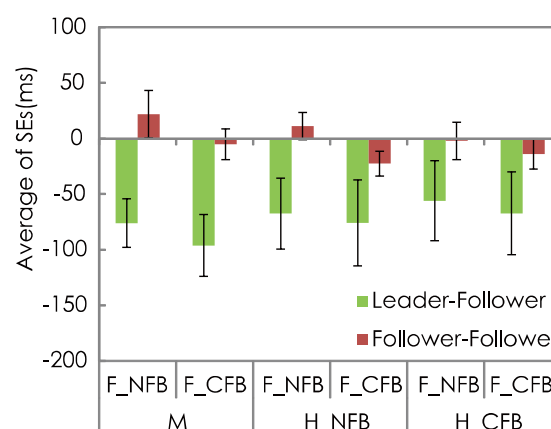


Fig. 3 同期誤差 (SE) の結果。フォロワはリーダに対して早打ちする傾向がある。人間同士の方がその傾向は小さい。

ソーシャル情報から抽出したユーザ行動目的に基づく推薦システム

近年、人々は様々な種類の問題を解決するため、日常生活において様々なメディアから推薦情報を受信する機会が増加している。たとえば、Google 社の AdSense 広告では、検索した情報に関連する広告が結果ページの右側に表示される。Amazon.com 社では、顧客の購買に伴うあらゆる行動に基づき顧客の興味を推測、関連する商品が推薦される。StumbleUpon では、自分の興味のある領域をあらかじめ提供することで、関連するニュースをまとめて推薦する。

このような背景のもと、本研究では、「ソーシャル情報から抽出したユーザの行動目的に基づく推薦システム」を提案する。ユーザの行動目的に基づく点で従来の推薦システムとは異なる。本推薦システムを構築するため、第1に長期的な行動目的の辞書を構築する。ユーザの行動目的は Twitter の投稿から動詞と名詞の組み合わせを抽出する。その後、文書クラスタリング手法の一種である LDA の拡張により、これらの行動目的を複数の異なるトピッククラスターに分類する。Fig.1 に行動目的のクラスタリング結果を示す。同じ行動目的でも異なるトピックに分類されるケースがあることが分かる（例：lose weight）。将来的には、Wikipedia 等の外部リソースを利用し、大規模な辞書を構築することを検討中である。

Reference

- [1] Zhu D, Fukazawa Y, Karapetsas E, et al. Activity-based topic discovery[J]. *Web Intelligence and Agent Systems*, 2014, 12(2): 193-209.
- [2] Dandan Zhu, Yusuke Fukazawa, and Jun Ota, Estimation of User's Activity from Tweets through Tri-Layer Clustering Model, *Proc. of the Seventh International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking*.
- [3] Zhu D, Fukazawa Y, Ota J. Tri-Layer-Cluster Generation Model for Activity Prediction[C], *Proc. of the 2013 IEEE/WIC/ACM International Joint Conferences on Web Intelligence (WI) and Intelligent Agent Technologies (IAT)*, 359-366, 2013.

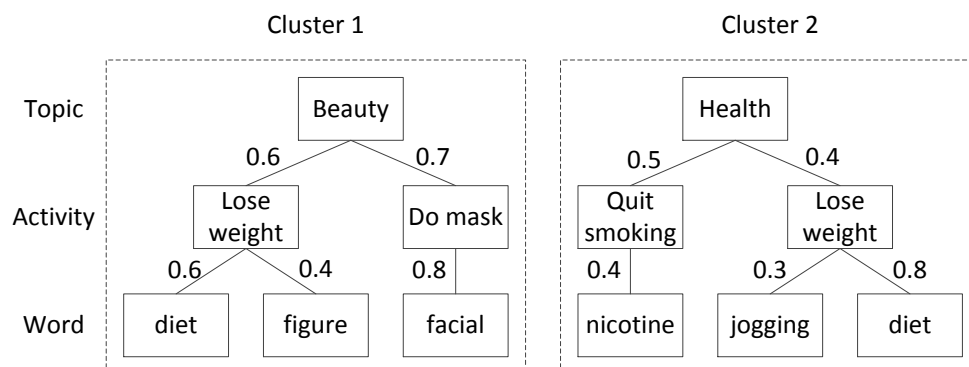


Figure 1: Tri-layer clusters

小脳除去ラットの歩行解析による小脳障害部位特異性の検討

小脳疾患は運動障害の一因であり、小脳性の運動障害を低減するためには小脳の根本的な機能を明らかにすることが必要である。根本的機能を明らかにすることは、障害症状の診断・治療やリハビリ・予防などの方法論を考えるための大きな補助となり得る。また、小脳には機能の部位特異性があり、障害部位によって発生する症状が異なることが臨床例や小脳障害動物の実験によって知られている。しかし、小脳の部位特異性についての研究は不十分といえ、特に各障害部位による歩行における運動機能への影響についての研究は見られない。

そこで本研究では、部分的に小脳を除去したラットを用いて歩行における運動機能への影響の小脳障害部位特異性を評価する。現段階では、小脳中央部や外側部の除去を行ったラットを作成し、各部位の障害が特に姿勢異常や筋緊張低下・運動速度低下・情動機能への影響として現れるという仮説を基に四肢のモーションの計測と筋電計測、トレッドミルの追従速度の測定、自発的運動量の測定 (Fig.1) を行った。特に、四肢のモーション計測では、Fig.2 に示すように前肢後肢の踏み出し時の角度を計測した。その結果、小脳中央部を除去したラットでは後肢の動きに異常が見られたが、小脳外側部のみを除去したラットでは前肢後肢の動きへの影響は見られなかった。しかし、外側部と後方中央部を同時に除去したラットには前肢の動きに異常が見られた。

Keywords: Decerebellation, Site Specificity of Cerebellar Function, Gait Analysis of Slope Walking, Posture Control

References

- 1) 白石 匠, 高草木 薫, 千葉 龍介, 太田 順, 小脳部分切除ラットの歩行運動における四肢の軌道・伸筋の筋電計測による部位特異性の考察, 第 26 回自律分散システム・シンポジウム資料, pp.303-304, 2014
- 2) 白石 匠, 高草木 薫, 千葉 龍介, 緒方 大樹, 太田 順, ラットの小脳部位特異性解明のための動作・筋電計測による傾斜面歩行解析, 2014 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp. 893-894, 2014

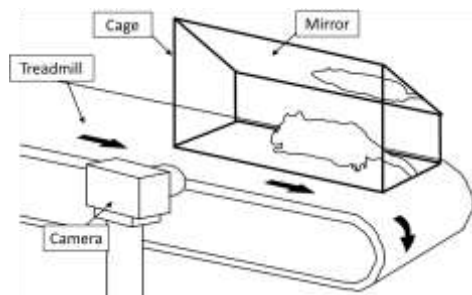


Fig. 1 Walking experiment

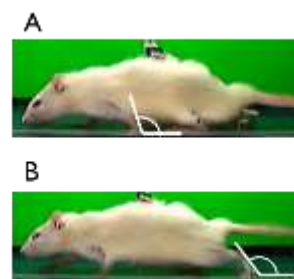


Fig. 2 measurement of motion of limbs

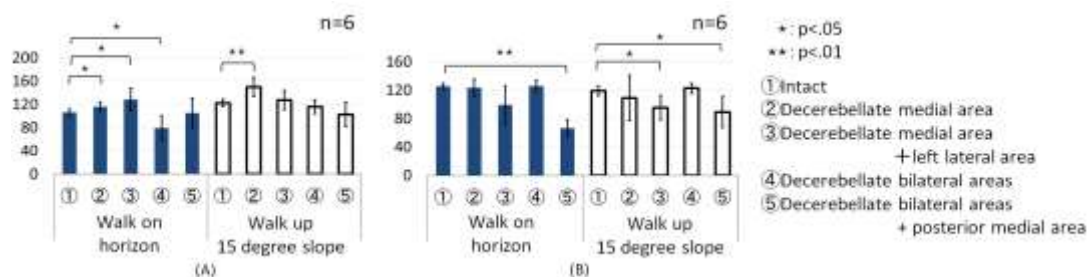


Fig. 3 measurement of angle between each limb and plane when toe off (A)forelimb (B) hindlimb