

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 22 日現在

機関番号：82704

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2015～2016

課題番号：15H06900

研究課題名（和文）力触覚技術による抽象度の高い動作情報の定量化

研究課題名（英文）Quantification of motion information using haptics technology

研究代表者

溝口 貴弘（Mizoguchi, Takahiro）

公益財団法人神奈川科学技術アカデミー・戦略的研究シーズ育成事業・研究員

研究者番号：80759308

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は福祉・介護分野でのロボット活用を目的とし、人に優しくロボットが動作するために必要な情報について研究を行った。人間同士の福祉・介護ではセラピストが経験に基づき力加減を行うことで優しく動作を支援している。ロボットが行う場合はロボットの動きと患者の動きがお互いを阻害しないよう、患者の非言語または抽象的な情報をロボットが認識する必要がある。本研究では運動中の機械力率を計測することで患者の身体の変化をロボットが取得する方法を提案した。

研究成果の概要（英文）：This research focuses on robotics systems on health care and wellness field. Humans are capable of achieving human support tasks because they have experiences and haptics sense. When robots replace the task, they are required to achieve the gentle and kind motions. Patients and robots should not have conflicts in their motion; thus, robots need to understand patients' motion. This research proposes a method to acquire the change of human body characteristic by using power factor in the motion.

研究分野：制御工学

キーワード：力触覚技術 動作情報 インピーダンス 力率

1. 研究開始当初の背景

近年、少子高齢化の加速する社会では労働力の確保が深刻な問題となっている。平成24年に総務省が行った人口推移では2010年と比べ2060年には日本の総人口が32%減少すると推定されている。さらに、65歳以上の非生産年齢とされる高齢者の人口が2010年の23%から2060年には40%まで増加するとされている。2010年には高齢者1人を2.77人の生産年齢の国民が支えることで日本の豊かさを維持しているが、人口減少と高齢者増加の影響により2060年には高齢者1人に対し、1.28人の生産年齢人口しか確保できなくなる。つまり、全ての生産年齢労働者がこれまでの2倍以上の労働を行わなければ現状の豊かさを維持できなくなる計算である。

このような社会背景のもと、これまでの研究実績から力触覚情報および運動における力率を活用することで、福祉・介護分野での身体支援においてロボットによる労働力支援を達成するため本提案を行った。

2. 研究の目的

本研究ではロボットと人間の物理的なインタラクションを含む、福祉・介護分野においてロボットを導入するために必要となる技術を開発する。少子高齢化が深刻化する日本ではリハビリテーションセンターや介護施設での労働力不足が問題となっており、効率化や自動化の需要が多く存在するものの、これらの動作には人間同士の経験に基づく非言語で定量化の難しいインタラクションを多く含むため、自動化が進まないでいる。実際の現場ではセラピストと患者の間で、セラピストの経験に基づいたコミュニケーション上での抽象的なやりとりから、物理的な運動支援が達成されている。麻痺患者等に代表される身体に硬直のみられる患者のリハビリテーションでは、セラピストは患者に対し硬直を緩和するストレッチに近い施術を行う。セラピストは患者の身体のコババリを感触として身体で感じ、力を増減することで、患者の身体にかかる負担を減らしつつ、身体の曲げ伸ばしを支援している。患者からは「いたい」や「きつい」等の抽象的な表現によるフィードバックがセラピストに与えられるが、これらは毎回同じ定量的な量を意味しているわけではなく、セラピストの経験に基づき程度を判断している。これは人間が力触覚を感じ取る機能を持っているから可能な対応である。そのため、ロボットを用いた福祉・介護動作の代替にはロボットが力触覚を認識し、患者の意図を理解し、力加減を行う機能が必要となる。

3. 研究の方法

本課題においては3つの研究課題を推進することで、抽象度の高い人間の動作を定量化する。

- (1) 研究計画 A: 双方向制御による抽象度の高い情報の取得・共有
- (2) 研究計画 B: 身体機能の解析に基づく統一的な定量化および動作支援手法の確立
- (3) 研究計画 C: 力触覚機能付き運動支援ロボットの開発

研究計画 A は双方向制御技術に基づいた力・速度センシングにより動作を計測し、患者やセラピストの理解しやすい形で提示するソフトウェア研究である。研究計画 B は力触覚技術に基づき、動作をインピーダンスの変化として計測し、力率によって提示する理論研究である。研究計画 C は本研究成果を実装し、実際に試験を行う装置の開発である。これらを組み合わせることによって抽象度の高い情報をロボットが動作指標として活用可能な定量情報へと変換する。

4. 研究成果

(1) 平成27年度の研究成果

平成27年度に実施した研究では研究計画 A, B に相当する研究として、人間の動的な身体特性の変化を運動力率として定量化することに成功した。本技術の評価では人間の身体特性をインピーダンス（剛性、粘性）という指標を用いて表す。麻痺等の影響により身体のコババリの強い動きを剛性として取り扱い、身体特性のうち剛性と粘性の割合を力率として計測することで身体特性の変化を計測した。運動はエネルギーを消費することで達成されるが、エネルギー源がもともと持っているエネルギーが全て運動によって消費される訳ではなく、機械系の運動においては双対量である速度と力の位相差によって変換される割合が変化する。この割合を示し指標が力率である。負荷のインピーダンス特性によっては力率が高く、エネルギーが運動に変化しやすい場合と力率が低く運動に変化しにくい場合が存在する。リハビリテーションにおいては身体に硬直があり、剛性が高い場合はセラピストの補助が運動に変化しにくく、低い力率として検出されることとなる。

図1に運動時の力率を計測する方法を示す。人間の動作は正弦波等の一定振幅、周期をもつ動作ではない為、ひずみ波という概念を用いて力率を導出する。手順①は人間から計

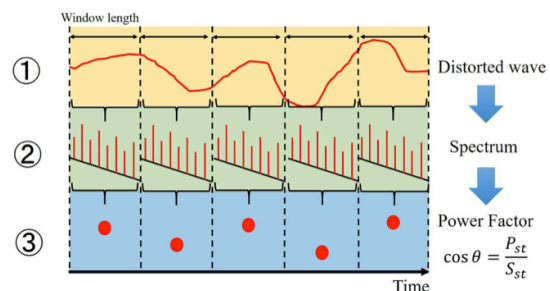


図1 力率計測方法

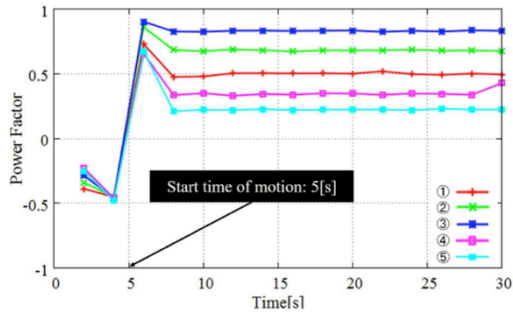


図2 力率計測の予備実験

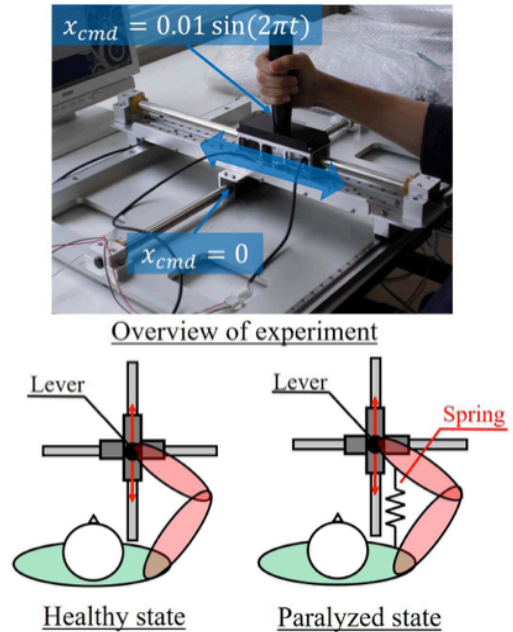


図3 人間の身体特性計測実験

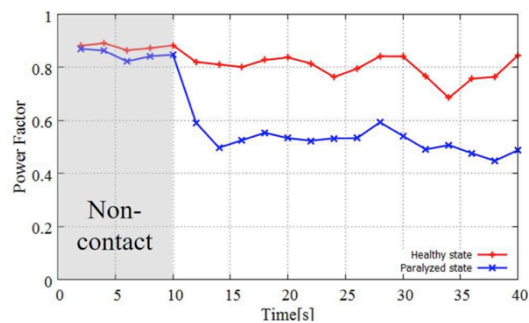


図4 人間の身体特性計測結果

測された速度、力情報を表す。手順②ではこれを短時間離散フーリエ変換によってスペクトルに変換する。手順③ではスペクトル情報に基づいて、各周波数での速度、力の実効値を導出し、これらを統合し、ひずみ波での力率を導出する。予備実験としてあらかじめ剛性、粘性が明らかな接触環境を用意し、力率の導出を行った結果を図2に示す。①、②、③、④、⑤と数字の増加に合わせ、インピーダンス内の剛性比率が高まる接触環境を用意した。結果より剛性が高まると力率が減少するという理論通りの結果が得られた。

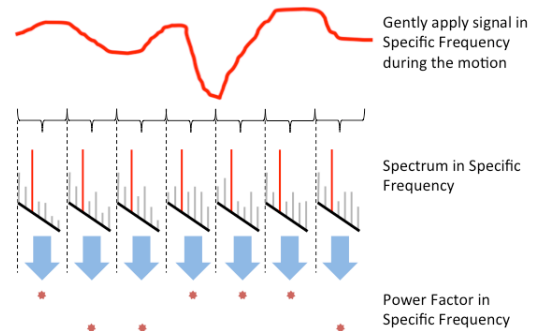


図5 特定周波数に着目する力率導出法

さらに実際に人間の身体特性を計測する実験を行った。研究当初は指先や足先のリハビリテーションを想定していたが、セラピストとの議論の結果、本技術は腕の機能を計測することに適しているとの知見を得た為、上肢の身体特性の計測を行った。また、実験装置に関しては研究協力者から上肢リハビリテーション支援装置(図3)を借用することで研究を継続することとし、研究計画Cでは回路、電源等、実験装置のハードウェアを開発することとした。

図4に実際に人間の身体特性を計測した結果を示す。赤線は通常の動作を行った場合の計測結果である。人間の動きは受動的である為、数値の高い力率が計測された。一方青線は意図的に体をこわばらせた(剛性を付与した)実験結果である。剛性の上昇により力率の低下が計測された。本結果を用いることで力率を用いた人間の身体特性の定量化が可能となる。

さらに本計測には双方向制御が必須であると考えていたが、外部から周期信号(図中 x_{cmd})を印加することで、双方向制御を用いる手法と同等の計測結果を得ることができた為、双方向制御で必須となる2台1対のマスター・スレーブロボットを用意する必要がなくなり、本技術の導入が大幅に簡易化された。これは研究計画AおよびBの成果としては、研究開始当初の想定を大きく超える成果であった。

(2) 平成28年度の研究成果

平成27年度の研究成果から、平成28年度では動作中における身体特性を力率で表現する方法を研究した。平成27年度の研究では周期信号を印加することで人間が受動的に身体特性を変化させた場合の定量化方法を検討したが、本研究では人間が能動的に動いている場合でも同様の計測が可能であるか検討した。さらに特定周波数に着目して導出することで力率の計算手法の簡略化が可能であることを示した。

図5に特定周波数に着目する力率計測手法を示す。印加した周期信号の周波数に関してのみ力率を計算することで全体の力率を計測することと同等の結果が得られることがわかり、運動中の力率が計測可能となった。

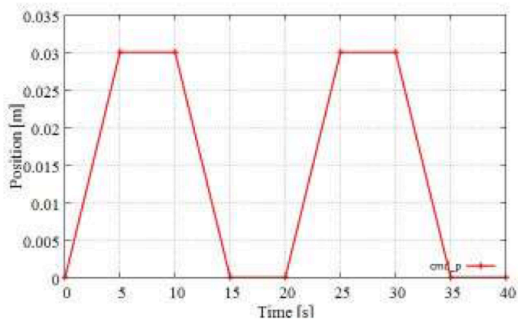


図6 動作軌道

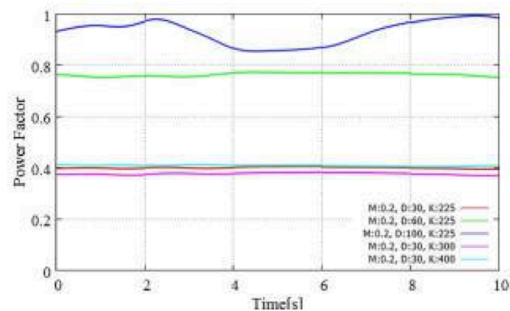


図7 計測された力率

本理論の有用性を実験により確認した。図6は人間が能動的に動作をした場合を模擬した実験時の軌道を表す。図7は計測された力率を表す。能動的に動作を行った場合でも特定の周波数に着目することでインピーダンス特性に従い力率が変化していることが確認された。また、本手法の効果により、力率の計算が簡略化された計算負荷を低減することができる。

(3) 研究成果の概要

本研究では力率によってリハビリテーション動作内に内包され、言語化されていない身体特性を力率によって定量化する方法を提案した。提案手法の有用性は実際に人間の上肢を対象とした実験によって示すことができ、当初の予定通り遂行することができた。

セラピストは身体特性の変化を力や身体のコワばりとして感じ取り、患者はそれを「いたい」などの抽象的な表現でフィードバックする。本技術の成果によって力率を計測することで患者の身体特性と施術装置の制御がぶつかり合わないよう制御を構築することが可能となる。これはリハビリテーションのみならず、人機協働作業が必要となる今後のロボット技術に必要な技術である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計2件)

(1) S. Osada, T. Shimono, T. Mizoguchi,

and K. Ohnishi, "Experimental Verification of Active Motion Evaluation of Mechanical Power Factor Analysis Using the Specific Frequency Component," The IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization, 2017年3月6日-8日, 長岡技術科学大学(新潟県・長岡市)

(2) S. Osada, T. Mizoguchi, T. Shimono, and K. Ohnishi, "Experimental Evaluation of Upper Limb Function by Using the Mechanical Power Factor," The 42nd Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society, 2016年10月24日-26日, フィレンツェ(イタリア).

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況(計0件)
なし

○取得状況(計0件)
なし

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

溝口 貴弘 (MIZOGUCHI, Takahiro)
公益財団法人神奈川科学技術アカデミー・
戦略的研究シーズ育成事業・常勤研究員
研究者番号: 80759308

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

下野 誠通 (SHIMONO, Tomoyuki)
長田 眞一 (OSADA, Shin'ichi)