

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 20 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24656260

研究課題名(和文) スポーツ支援を目的とした広範囲・高速度・高安全運動支援システムの開発

研究課題名(英文) Development of motion support system for supporting sports training with a large operating range, high speed, and high safety

研究代表者

平田 泰久 (Hirata, Yasuhisa)

東北大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：20323040

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、スポーツトレーニングの支援を行うためサーボブレーキと複数のワイヤから構成される受動的運動支援システムを開発した。複数の低慣性なワイヤを用いることで高速で広範囲な運動支援が可能となり、またそのワイヤ張力をブレーキを用いて制御するため、非常に安全な支援システムが実現できた。本研究ではブレーキ制御可能領域を考慮した新しい制御手法を設計し、スポーツトレーニングの支援が行えることを実験によって確認した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we developed a passive motion support system consisting of multiple wires with servo brakes to assist human motion in the field of sports training. The wire-type motion support system has a large operating range and can be operated at high speed because of its low inertia. In addition, it is controlled by servo brakes, so that the system is very safe. We theoretically considered the feasible braking control region of the passive system and designed a novel control method for guiding the human motion. We illustrated the validity of the system through the experiments with developed system.

研究分野：ロボット工学

キーワード：制御工学 知能機械 人間支援システム

1. 研究開始当初の背景

水泳の過去の日本記録保持者との議論によると、水泳のフォームを適切に教えることができれば誰でも泳ぐことができ、実際、数十年前の日本記録は既に中学生でも出せる記録となっているという話がある。しかし適切なフォームを教えることができるトレーナーの数は限られており、水泳に限らずスポーツのトレーニングをどこでも手軽に受ける機会は必ずしも多くない。そこで誰でも手軽に利用できるスポーツトレーニングシステムを開発することは、子どもへのスポーツ教育はもちろん、すべての人がスポーツに親しめる生涯スポーツ社会の実現においても非常に重要である。

スポーツのティーチングを行うシステムとして、人間の手や足の運動をある目的の運動軌跡に拘束することや、力覚を提示することが可能なハプティックデバイスが考えられる。ハプティックデバイスの研究は近年非常に盛んであるが、ロボットアームを用いた構造のものが多い。この場合、広いティーチング範囲を確保するには非常に大きなロボットアームが必要となり、その結果、アームの慣性の影響から高速度運動が制限される場合がある。また、大きなアクチュエータを用いて高速度運動が実現できたとしても、アクチュエータの誤動作を考慮した安全性の確保は大きな問題となる。また、従来研究では広範囲な支援領域を確保するためにワイヤ型の運動支援システムの研究も行われているが、システムの駆動にはサーボモータを用いているため、高速度運動においてサーボモータが誤動作した場合の安全性の確保が課題の一つとなっている。

2. 研究の目的

従来我々は人間が操作力を加えて動かしている移動ロボットの車輪にサーボブレーキを取り付け、そのブレーキ制御に基づき移動ロボットに障害物回避や速度制御といった様々な機能を実現する運動制御技術の研究を行ってきた。これはたとえブレーキが誤動作しても移動ロボットが停止するだけであり、高機能が実現されながらも非常に安全なシステムとなる。そこで、本研究ではこのブレーキ制御技術を大きく発展させ、移動ロボットではなく図1に示すような3次元空間で人間の運動を支援する、ブレーキ制御を用いたワイヤ型パッシブ運動支援システムを研究開発する。

3. 研究の方法

従来のスポーツトレーニングでは、一般にトレーナーがプレーヤーの腕や足を持ち、目的の軌跡に沿わせるように動かすことで適切なフォームのティーチングや矯正を行ってきた。しかし、人間によるティーチングは、実際にスポーツで要求されるスピードとはかけ離れた遅い速度でのティーチングとな

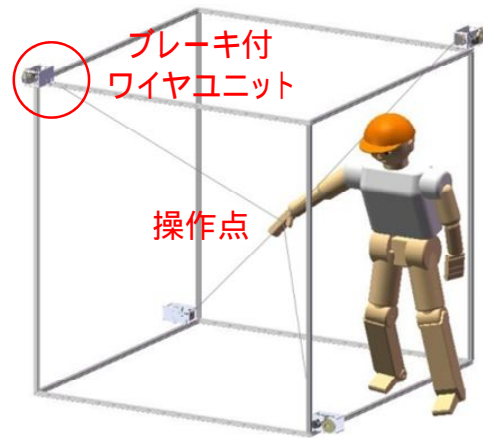


図1 ワイヤ型運動支援システム

る。そこで、ハプティックデバイスなどを用いて実際のスポーツ速度と同等の速度での運動支援を実現したいと考えるが、高速度で駆動するシステムの安全性の確保は容易ではない。特に従来のロボットアームを用いたハプティックデバイスでは、前述の通り、広範囲・高速度・高安全を実現することはハードウェアの制限から根本的に困難であり、リハビリテーションなどの比較的低速の運動支援には適しているが、スポーツトレーニングなどの高速度運動が要求される場合には不適であると考えられる。

そこで、我々はワイヤ型の運動支援システムを考える。数本の軽量のワイヤを用いることで、アーム型のシステムと比較して、運動に対する慣性の影響が非常に小さくなり、スポーツなどの支援で必要となる高速運動に適している。また、ワイヤは様々な支援形態に適応してその張り方を工夫することができるため、大きな作業範囲の確保が容易かつシステム構成の柔軟性が高い。ワイヤ型のハプティックデバイスはいくつか提案されているが、そのどれもがサーボモータで駆動される。サーボモータを用い能動的かつ高速に駆動されるワイヤでの運動支援を考えた場合、ワイヤが体に絡まることも想定され、絡まった状態でワイヤに能動的な張力が働いた場合には、アーム型ハプティックデバイスより危険となる恐れがある。

そもそもスポーツのトレーニングを考えた場合、訓練者はあらかじめおおよそのスポーツ動作を知っており、能動的にその動作を行うことが可能である。トレーニングシステムとしては、その人間の能動的な動作と理想的な動作を比較し、理想的な動作に近づけるように補助的な力を加えるだけでよいと考える。そのため、本研究で提案するブレーキ制御に基づくワイヤ型運動支援システムは、スポーツトレーニングに非常に適しており、かつ、システムに何らかの異常があっても操作点が停止するだけということから非常に安全で、使用者に与えるダメージも非常に小さいと考えられる。

しかしながらサーボブレーキはワイヤが引き出された場合にのみブレーキ張力が発生するという特性を持っており、サーボモータを使ったシステムと比べて運動制御性能が大幅に制限される場合がある。すなわち、提案するシステムを的確に制御するためには、人間が能動的に動かす操作点の運動から、どのワイヤがブレーキ力を発生できるかを解析し、図2に示されるようなブレーキ力を発生できるワイヤのみで構成されるブレーキ発生可能領域を求める必要がある。そして、人間の運動によって変化するブレーキ発生可能領域から、人間の運動を適切に誘導するためのブレーキ力を求め、運動支援を実現する。このようなブレーキ発生可能領域に基づく運動制御手法は、従来のサーボモータの制御とは大幅に異なり非常に挑戦的な研究である。また、ブレーキ付ワイヤユニットの数や配置によってもブレーキ発生可能領域が変化するため、目的の運動支援動作に応じて最低限必要なワイヤ数や最適なワイヤ配置なども考える必要があり、これらの導出も非常に挑戦的な研究である。

具体的な研究計画として、平成24年度では、まず平面内において人間の運動を支援するシステムの開発を行い、そのプロトタイプを基に、ブレーキ制御条件の理論的解析や運動支援のための基盤制御技術を研究開発する。平成25年度以降は、ハードウェアとしては、回生ブレーキを用いたワイヤユニットを実現することで低消費電力かつ高応答性を有するユニットを開発するとともに、3次元空間内での運動支援を実現するシステムを研究開発する。また、理論的にワイヤユニットの数や配置に基づく制御性能の変化の解析を行い、最終的に具体的な適用範囲を絞り、評価実験を行う。

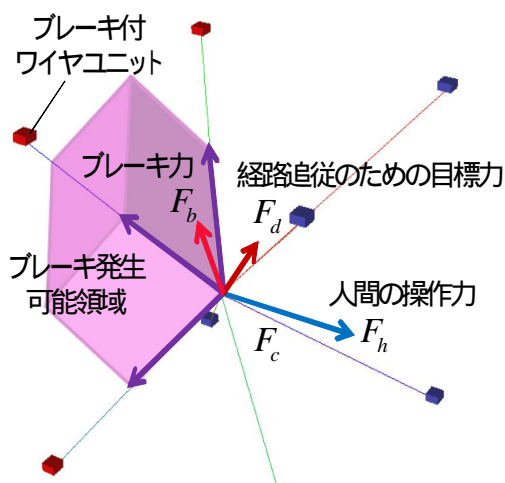


図2 ブレーキ発生可能領域

4. 研究成果

平成24年度は、図3に示すような平面内において人間の運動を支援するシステムの開発を行い、そのプロトタイプを基にブレーキ制御条件の理論的解析や運動支援のための基盤制御技術を研究開発した。具体的には、ブレーキ機能付きワイヤユニットを開発し、パッシブ型運動支援システムのプロトタイプを開発した。次にブレーキ制御条件の理論的解析を行い、ワイヤの配置や人間の加える力の向きなどに基づいて、ブレーキ力の発生できる領域がどのように変化し、その領域に基づいて運動支援を実現するために制御性能がどのように変化するかを理論的に解析した。運動支援を実現するためには、ワイヤによって拘束された操作点のある経路に追従させることや、その操作点に力覚情報を提示することが求められる。ブレーキ制御に基づいてこのような様々な運動制御を実現するために、単にサーボモータを利用したロボットの運動制御技術の応用ではなく、利用者が操作点に加える外力の情報とブレーキ力が発生できる領域とを考慮した新しい人間協調型ブレーキ制御基盤技術を構築した。

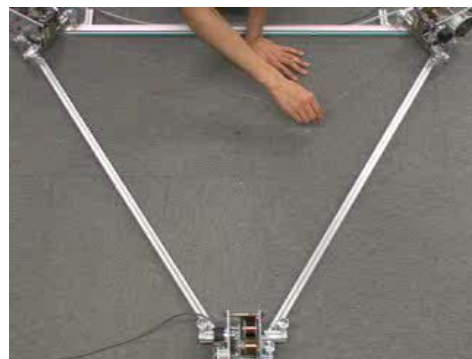


図3 平面型運動支援システム

平成25年度は、ワイヤユニットの数・位置に基づく制御性能解析とシステム設計をするための要件について検討を行った。サーボモータを利用したワイヤ駆動型ハプティックデバイスでは、実現したい運動自由度数に対して一本多いワイヤを用いることが必要であるということが理論的な解析でわかっている。しかしブレーキ制御に基づくシステムでは、ワイヤユニットの配置位置と操作点の運動方向の関係において、運動制御性能が大きく変化する。ワイヤユニットを増やすことで運動制御領域を増やすことはできるが、ワイヤの張力の影響が操作点に働く力に対して大きくなることや多数のワイヤが運動の邪魔になるなどの問題がある。そこで、ワイヤユニット数・配置とブレーキ力発生可能領域の関係を理論的に解析し、実現したい運動性能に対する最適なワイヤユニット数やその配置を検討した。また、回生ブレーキを用いた低消費電力型システムの開発を行

った。サーボモータのドライバアンプを改良することにより、モータを回生ブレーキとして利用した。これによりパウダブレーキなどと比べて高速な応答性を実現するとともに、消費電力を低くするシステムが実現できた。

平成 26 年度は、図 4 に示すようなワイヤ型パッシブ運動支援システムを開発し、前年度までに構築してきた運動制御手法を適用することで実際のスポーツ動作を想定した評価実験を行った。卓球での素振り動作を理想フォームに追従させる実験では、高速で素振りをするラケットのある一点を目標軌道に追従させるように制御を行った。それにより、制御を行わない場合に比べて、制御を行うと理想的なフォームに追従できることが示された。また、手首のスナップを必要とする動作を想定し、ある一点の位置だけでなく、回転も制御できる手法を提案した。これは、制御する対象である人間が操る操作棒にブレーキを用いてモーメントを加え、その回転運動を制御するものである。これにより、回転も含んだより複雑なスポーツ動作を実現できることが示された。また、スポーツ動作のみではなく、習字や楽器演奏といった技能習得にも対応するために人間にどのような操作力を提示すべきか検討を行うとともに、障害者のリハビリテーションシステムへの応用を検討した。



図 4 3次元運動支援システム

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)

〔学会発表〕(計 2 件)

Yasuhisa Hirata, Kota Kawamata, Kana Sasaki, Aya Kaisumi, Kazuhiro Kosuge, Eric Monacelli, Regenerative Brake Control of Cycling Wheelchair with Passive Behavior, Proceedings of the IEEE international Conference on Robotics and Automation, 2013 年 5 月 8 日, カールスルーエ, ドイツ.

Yasuhisa Hirata, Yuki Tozaki, Kazuhiro Kosuge, Wire-Type Human Support System Controlled by Servo Brakes, Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2012 年 10 月 10 日, ファロ, ポルトガル.

〔図書〕(計 1 件)

平田泰久, 技術情報協会, パワーアシスト・ロボットに関する材料, 電子機器, 制御と実用化, その最新技術, 2015, 392-403.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

平田 泰久 (HIRATA YASUHISA)

東北大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：20323040