

平成21年 6月 22日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19560255
 研究課題名（和文） 同調制御による装着型パワーアシスト装置の操作性改善
 研究課題名（英文） Improvement of a wearable power assist system by synchronization based control
 研究代表者
 橋本 稔 (HASHIMOTO MINORU)
 信州大学・総合工学系研究科・教授
 研究者番号：60156297

研究成果の概要：

力学系の引き込み・同調を利用したパワーアシスト装置の制御法を提案し、その有用性を操作性の視点から検証することを目的として研究を進めた。シミュレーションと制御実験により、同調性、アシスト効果、操作感の観点から提案手法の評価を行った。その結果、一般的なコンプライアンス制御と比べ提案手法が操作性、柔軟性、アシスト性という点で優れていることが分かった。これらの制御実験により、提案手法の有用性が示された。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2008年度	1,800,000	540,000	2,340,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：ロボティクス

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：同調制御，パワーアシスト，リハビリテーション，バイオリボティクス

1. 研究開始当初の背景

(1) 日本社会は2014年には高齢化率が25%となり、4人に1人は65歳以上の高齢者となる。このような高齢社会において、高齢者の身体的機能の低下が社会問題となっている。そこで、近年ではこの運動機能の低下を補助することを目的として、装着型パワーアシスト装置が開発されている。この制御には、多くの場合、筋電位信号などの生体信号に基づいてアクチュエータを駆動する方法や、負荷

トルクを計測して、負荷トルクが軽減するように駆動力を発生する方法が用いられている。代表的な研究としては、筑波大学のHALや米国Kazeroniらによる研究などが挙げられる。これらのシステムは、実際に人間に装着され実証試験が行われているが、多くは健常者や兵士の運動能力を拡大するために使われており、運動機能低下者のパワーアシスト装置としての臨床実験は少ない。これにはいくつかの要因が考えられるが、その

一つとして装着型アシスト装置の操作性を挙げることができる。運動機能の衰えた高齢者が容易に使用できる操作性の良いアシスト装置の実現が望まれる。

(2) 人間同士の協調動作ではお互いの動きを同調させることによって1つの動きを生成されており、これによってお互いの負担を軽減させるとともに、滑らかな協調動作が実現されている。研究代表者らは、人間とロボットの自然な握手動作のために、ロボット制御に神経振動子を用いた同調制御を用いることを提案し、その有用性を心理実験により検証した。その結果、従来のインピーダンス制御に比べてより自然で負担の少ない握手が実現できることを示した。また、同調の強さ

(同調性)を調整するために同調性調整ゲインを設定し、これを変更することにより支配的な運動や服従的な運動を生成する方法を示した。この制御法では人間とロボットの相互作用トルクを計測し神経振動子の入力信号とするために、研究代表者らが開発したハーモニックドライブギヤ内蔵型トルクセンサを用いてきた。

(3) これらの研究を進める中で、この研究成果を発展させてパワーアシスト装置を制御することにより、人間同士の協調動作に学んだパワーアシスト装置が実現できるのではないかと発想に至った。これにより、従来にはない自然で操作性の良いアシスト装置が実現できるものと考えられる。

2. 研究の目的

本研究では力学系の引き込み・同調を利用したパワーアシスト装置の制御法を提案し、その有用性を操作性の視点から検証する。そのために、下肢部の4自由度パワーアシスト装置を試作し、提案手法を適用して歩行実験を行うとともに、心理・生理実験により操作性を評価する。これにより、操作性の良い装着型パワーアシスト装置を実現する基礎技術を確立することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 1自由度モデルで同調制御を用いたシミュレーションにより、アシスト動作としての有用性を検証する。人間の着座姿勢における膝関節を1自由度モデルでモデル化し、ここにアシスト装置の膝関節を並列に配置する。人間とアシスト装置の膝関節にそれぞれ特性の異なる2つの神経振動子を相互に結合させる。それぞれの神経振動子への入力信号は相互作用トルクとし、出力信号は関節目標角とする。各関節は角度の局所フィードバック制御により制御される。各関節の制御指令トルクを人間とアシスト装置に加え、運動方程式の数値積分により解を求める。これにより、初期状態において異なる振動を出力する

神経振動子が同調によって同一の運動を生成することを確認する。人間の負担軽減の程度を調べるために、人間の膝関節トルクがアシスト装置のない場合に比べどの程度低減されるか調べる。さらに、アシスト装置の同調性ゲインを変更し膝関節の運動軌道と関節トルクの変化を計算する。これにより、作業の種類や運動能力のレベルに合わせた制御が実現できるかどうか検討する。

(2) 上記制御法の有用性を調べるために、膝関節のみをアシストする装置を試作する。アシスト装置は、その両端を大腿部と脛部に固定し、装着者の膝関節位置近傍に1自由度関節を設置したリンク機構とする。関節は薄型のハーモニックドライブギヤ(CSD型)と薄型アクチュエータより構成する。ハーモニックドライブギヤには、代表者らが開発したトルクセンサを内蔵させる。このトルク計測法により、機構の柔軟性を損なうことなくトルク計測が可能となるだけでなく、トルク計測のために新たな機構を設置する必要がないため、容易にアシスト装置に挿入できる。このトルク信号からニューラルネットワークを用いて重力補償を行って相互作用トルクのみを推定する。生体筋電位計測は大腿部に電極を取り付けて行い、同調制御に用いる。

(3) 上記(2)で試作したアシスト装置を用いて膝関節制御の実験を行う。着座姿勢において、膝関節の周期運動を生成し、その操作性を評価する。操作性の評価は心理・生理実験によって行う。生理実験としては、大腿部の筋電位計測により筋活動量を推定し、アシスト装置によりどの程度筋負担が減ったか、定量的に評価する。この段階で、負担軽減に繋がらない場合は、(1)の研究を再度行って、新たなアシスト制御法を検討する。

(4) 下肢4自由度パワーアシスト装置の試作

両足の股関節、膝関節をアシストする4自由度アシスト装置を試作する。各自由度の基本的構成は1自由度の場合と同じであるが、下肢部に装着するための工夫が必要となる。人体に取り付けたときの負担を軽減するために、小型軽量で体にフィットしやすい構造とする。本試作機は、制御法の検証を主な目的とするためPCベースの制御系を構成し、アシスト装置とPC間はケーブルで接続する。

4. 研究成果

(1) 同調制御のシミュレーションを神経振動子を用いた方法と、力学系ベクトル場を用いた方法で実施した結果、同調性を調整することにより、アシスト効果を実現することができた。

(2) 制御実験により、同調性、アシスト効果、操作感の観点から提案手法の評価を行った。その結果、同調性を高めることにより、アシスト装置と人間との相互作用力が小さくなり、滑らかな運動が実現できることが分かった。また、同調性を適度に設定することによりアシスト効果が得られることが、筋電位計測から明らかとなった。さらに、一般的なコンプライアンス制御と提案手法の対比較法による心理実験により、提案手法が操作性、柔軟性、アシスト性という点で優れていることが分かった。

(3) これらの制御実験により、提案手法の有用性が示された。

(4) 歩行アシストに適用するために、関節トルク付き下肢4自由度のモーションアシスト装置を開発することができた。モータの軽量化を行い、ハーモニックドライブギヤ内蔵型トルクセンサ内蔵させた。全重量7Kgで製作でき、装着可能となった。

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4件)

- ① Xia Zhang and Minoru Hashimoto, SBC for Motion Assist Using Neural Oscillator, 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 659-664, Kobe, Japan, May 12-17, 2009. (査読有り)
- ② 張霞, 橋本稔: 「神経振動子を用いたモーションアシスト装置の同調制御 (関節運動を対象としたシミュレーションと実験)」, 第14回ロボティクスシンポジウム, pp. 399-404, 2009. (査読有り)
- ③ 橋本稔, 佐藤妙, 張霞, 小川尚希: 「モーションアシストシステムの同調制御」, 第11回建設ロボットシンポジウム論文集, pp. 101-108, 2008. (査読有り)
- ④ Tae Sato, Minoru Hashimoto, Mina Tsukahara: “Synchronization Based Control using Online Design of Dynamics and Its Application to Human-Robot Interaction,” Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, pp. 652-657,

December 15 -18, 2007, Sanya, China.

(査読有り)

[学会発表] (計5件)

- ① 張霞, 橋本稔: 「神経振動子を用いたモーションアシストのための同調制御- 同調性・アシスト効果の実験的検証-」, 日本機械学会北信越支部, 第46期総会・講演会論文集, 日本機械学会, 富山, 2009年3月7日.
- ② 張霞, 越一平, 橋本稔: 「神経振動子を用いたモーションアシスト装置の同調制御」, 第9回システムインテグレーション部門講演会(SI2008), 計測自動制御学会, 岐阜, 2008年12月5日~7日.
- ③ 小川尚希, 佐藤妙, 張霞, 橋本稔: 「モーションアシスト装置の同調制御」, 日本機械学ロボティクス・メカトロニクス講演会, 日本機械学会, 長野, 2008年6月5日~7日.
- ④ 佐藤妙, 張霞, 小川尚希, 橋本稔: 「力学系を用いた装着型モーションアシスト装置の同調制御」第8回システムインテグレーション部門講演会(SI2007), 計測自動制御学会, 2007年12月20日~22日.
- ⑤ 張霞, 佐藤妙, 小川尚希, 橋本稔: 「同調制御による装着型パワーアシスト装置の操作性改善 (シミュレーションによる検証)」, 福祉工学シンポジウム2007講演論文集, 日本機械学会, つくば, 2007年10月1日~3日.

[その他]

新聞記事: 東信ジャーナル (2009年1月1日号) 「人間共存型ロボット身近に一高齢者の歩行助け, 身体のリハビリに活用」, 橋本稔他.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

橋本 稔 (HASHIMOTO MINORU)

信州大学・総合工学系研究科・教授

研究者番号: 60156297

(2) 研究分担者

小林 俊一 (KOBAYASHI SHUNICHI)

信州大学・繊維学部・准教授
研究者番号：50225512

(3) 連携研究者