

平成21年 5月29日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2008

課題番号：19560258

研究課題名（和文） 上肢運動支援用知的外骨格型ロボットシステムの研究

研究課題名（英文） A Study of an Intelligent Robot System for Upper-Limb Motion Assist

研究代表者

木口 量夫 (KIGUCHI KAZUO)

佐賀大学・理工学部・教授

研究者番号：90269548

研究成果の概要：

本研究では、これまでに開発した上肢多自由度運動支援用外骨格型ロボットを統合することにより、肩関節3自由度、肘関節1自由度、前腕1自由度、手首2自由度の合計7自由度の運動を支援する高い外骨格型ロボットを開発した。本ロボットでは、安全性について十分配慮し、安全な可動範囲以外は動かないような構造にした。

一方、ロボット使用者（装着者）の動作意思通りのパワーアシストを実現させるため、複数個所の筋電信号を用いて使用者の上肢運動を生成する力ベクトルを推定するアルゴリズムを提案した。また、パワーアシストを行う際に、カメラや超音波センサー等の情報を基に使用者（ロボット装着者）の環境とのインタラクションをモニターし、使用者の動作に問題や危険性が見られる場合には本来行うべき動作に補正したり、危険を回避する動作に補正したりする「認知アシスト付パワーアシスト」を実現させるためのアルゴリズムを提案し、有効性を実験により確認した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

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：知能ロボティクス、機械力学・制御

1. 研究開始当初の背景

高齢者や障害者等の筋力弱者の日常生活動作やリハビリテーションを支援するためのパワーアシストロボットの研究開発が活発に行われていたが、ロボット使用者（装着者）の動作意思通りのパワーアシストを行うための技術が不十分であり、限定された条件

下でパワーアシストが行われていた。また、運動を補助することのみ考慮されていたが、使用者の環境認知能力に衰えや異常がないことを前提にしているため、環境認知能力も補助する概念はなく、認知アシストに関する研究はなされていなかった。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、高齢者や障害者の日常生活に必要な上肢運動を知的に支援する外骨格型ロボットシステムの研究開発を目指すものとする。本ロボットは、ロボット使用者（装着者）の外側から装着し、装着者の環境認知能力を補いながら装着者の運動を自動的に支援（パワーアシスト）するシステムである。本ロボットシステムでは、リアルタイムにロボット装着者の生体信号（筋電信号）から装着者の生成動作推定を行う知的制御器と各種センサー情報を利用して装着者をサポート（認知アシスト）するロボット知能が重要となる。

(2) 本研究では、筋電信号を用いて装着者が生成しようとしている上肢のカベクトルをリアルタイムで推定し、推定したカベクトルの大きさに比例した力で推定したカベクトルの方向に動作補助を行うことにより、自然な動作補助を実現させることを目指すものとする。また、動作支援機能（パワーアシスト機能）以外に装着者を助ける（自動衝突回避や目標物へのガイド等のための動作補正）ためのロボット知能化を実現させるものとする。

3. 研究の方法

まず上肢多自由度の運動を補助する外骨格型パワーアシストロボットをロボット使用者（装着者）の安全を考慮して製作する。ロボットのアクチュエータとしてはDCモータを用いる。また、ロボットの手首部には力センサーを配置し、装着者とロボットとの動作の違いを検出できるようにした。本研究では、装着者の複数個所の筋電信号を基に使用者の動作意思通りの運動を生成できるように補助する手法を提案する。一方、パワーアシストロボットには、装着者と環境とのインタラクションをモニターするための各種センサー類を配置し、認知アシストを実現させる。

本研究では、筋電信号から筋活性量を抽出するため、RMS (Root Mean Square) 処理した複数個所の筋電信号を用いるものとし、抽出された複数個所の筋活性量を基にリアルタイムで装着者の上肢運動を推定し、装着者の動作意思通りの運動を補助する手法を提案する。

また、本研究では、装着者の環境とのインタラクションをステレオカメラや超音波センサー等を用いてモニターし、動作に問題があると判断された場合は、自動で使用者の動作の補正を試みるアルゴリズムを提案する。ステレオカメラは常に使用者の手先をモニターできるように3自由度で姿勢を変更できる台座の上に設置し、超音波センサーは使用

者の手首部に設置した。既存の上肢4自由度（肩垂直屈伸運動、肩水平屈伸運動、肘屈伸運動、前腕回内外運動）パワーアシストロボットにセンサー類を設置した図を図1に示す。

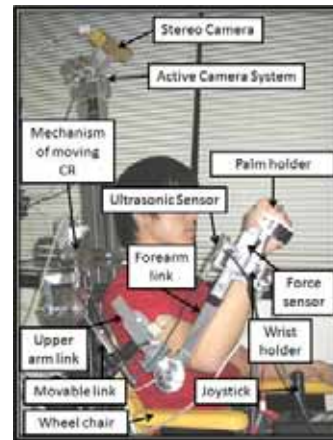


図1 認知アシスト用センサーを設置した4自由度パワーアシストロボット

本研究では、装着者の動作意思は常に筋電信号に現れるものとし、動作補正が必要と判断された場合においても基本的に装着者の動作意思を尊重した認知アシストを行うものとした。

4. 研究成果

製作した上肢多自由度外骨格型パワーアシストロボットの例として、上肢7自由度パワーアシストロボットを図2に、また、上肢7自由度運動のパワーアシストを行うために計測した筋電信号の電極の16箇所を図3に示す。

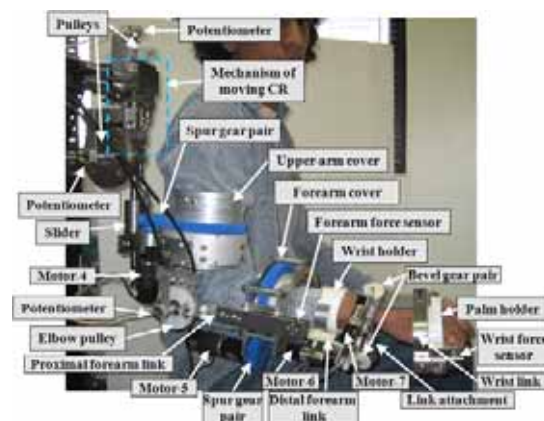


図2 上肢7自由度パワーアシストロボット

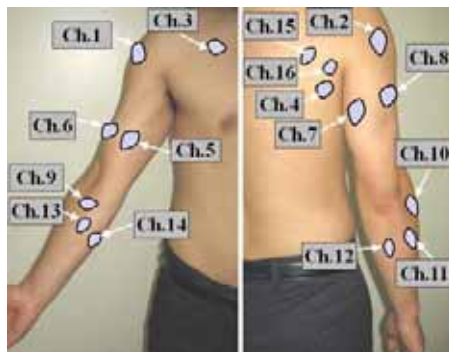
提案手法では、各筋電信号を筋電信号と関節トルクの下記の関係式を用いてリアルタイムで各関節トルクに変換し、ヤコビ行列を用いて手先カベクトルに変換する。ここで、関係式のウェイト値は上肢の姿勢により変

化し、個人差も大きいため、ファジィ・ニューロ調整器を用いて各装着者に対する調整を行う手法を提案した。ファジィ・ニューロ調整器の学習は、ロボット手首部の力センサー信号の値がゼロになるよう、誤差逆伝播法を用いて行った。各筋電信号を筋電信号と関節トルクの関係式は：

$$\begin{bmatrix} \tau_{sv} \\ \tau_{sh} \\ \vdots \\ \tau_e \\ \tau_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_{sv1} & w_{sv2} & \dots & w_{sv15} & w_{sv16} \\ w_{sh1} & w_{sh2} & \dots & w_{sh15} & w_{sh16} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ w_{e1} & w_{e2} & \dots & w_{e15} & w_{e16} \\ w_{f1} & w_{f2} & \dots & w_{f15} & w_{f16} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} CH1 \\ CH2 \\ \vdots \\ CH11 \\ CH16 \end{bmatrix}$$

ここで、 τ_i は*i*関節運動トルク、 w_{ij} はウエイト値、 CH_j は*j*チャンネルの筋電信号 RMS 値である。

- | | |
|------------------------------|---------------------------------------|
| ch.1: Deltoid-anterior part | ch.9: Pronator teres |
| ch.2: Deltoid-posterior part | ch.10: Supinator |
| ch.3: Pectoralis major | ch.11: Extensor carpi radialis brevis |
| ch.4: Teres major | ch.12: Extensor carpi ulnaris |
| ch.5: Biceps-short head | ch.13: Flexor carpi radialis |
| ch.6: Biceps-long head | ch.14: Flexor carpi ulnaris |
| ch.7: Triceps-long head | ch.15: Infraspinatus |
| ch.8: Triceps-lateral head | ch.16: Teres minor |



(a) Front view (b) Rear view

図3 電極箇所

提案したパワーアシスト手法の有効性は実験により証明した。

推定された手先力ベクトルを基にパワーアシストは行われ、装着者の動作に問題が見られない場合は、従来同様のパワーアシストが実施されるが、図4に示すように、本来あるべき手先軌道と異なる運動であると判断された場合は、ロボット側で装着者の手先部に補正力を加えることにより自動的に装着者の手先軌道を修正するアルゴリズムを提案した。

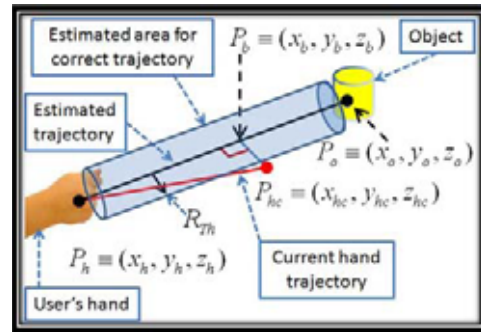


図4 手先軌道異常の推定

装着者の手先軌道を補正する際、装着者の手先力ベクトルが補正力方向と逆向きに変化した場合、ロボットによる自動補正が装着者の意思と反するものと判断し、ロボット側では別の可能性を模索する。ロボット側で別の可能性が判断できなかった場合は従来と同様のパワーアシストが行われる。

提案した認知アシスト手法の有効性は実験により証明した。

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11件)

① Kazuo Kiguchi, Manoj Liyanage, Yasunori Kose, “3D Perception-Assist for Upper-Limb Power-Assist Exoskeletons”, Proceedings of Joint 4th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 9th International Symposium on advanced Intelligent Systems, pp.1483-1488, 2008. 査読有

② R.A.R.C. Gopura, Kazuo Kiguchi, “Development of a 6 DOF Exoskeleton Robot for Human Upper-Limb Motion Assist”, Proceedings of 2008 4th International Conference on Information and Automation for Sustainability, pp.13-18, 2008. 査読有

③ R.A.R.C. Gopura, Kazuo Kiguchi, “A Human Forearm and Wrist Motion Assist Exoskeleton Robot with EMG-Based Fuzzy-Neuro Control”, Proceedings of IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics, pp.550-555, 2008. 査読有

④ Kazuo Kiguchi, Manoj Liyanage, Yasunori Kose, “Intelligent Perception Assist With Optimum Force Vector Modification For An Upper-Limb Power-Assist Exoskeleton”, Proceedings of IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics, pp.175-180, 2008. 査読有

⑤ Kazuo Kiguchi, Manoj Liyanage, Yasunori Kose, “Perception Assist with Active Camera for an Upper-Limb Power-Assist Exoskeleton”, Proceedings of Third Asia International Symposium on Mechatronics, pp.387-392, 2008. 査読有

⑥ Kazuo Kiguchi, Qilong Quan, “Muscle-Model-Oriented EMG-Based Control of an Upper-Limb Power-Assist Exoskeleton with a Neuro-Fuzzy Adjuster”, Proceedings of IEEE World Congress of Computational Intelligence, pp.1179-1184, 2008. 査読有

⑦ Kazuo Kiguchi, Manoj Liyanage, “A Study on a 4DOF Upper-Limb Power-Assist Intelligent Exoskeleton with Visual Information for Perception-Assist”, Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.3666-3671, 2008. 査読有

⑧ R.A.R.C. Gopura, Kazuo Kiguchi, “EMG-Based Control of Exoskeleton Robot for Human Forearm and Wrist Motion Assist”, Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.731-736, 2008. 査読有

⑨ Kazuo Kiguchi, Manoj Liyanage, “A Study on a 4DOF Upper-Limb Power-Assist Exoskeleton with Perception-Assist – Second Stage of Power Assist”, Proceedings of International Joint Conference on Biomedical Engineering Systems and Technologies – BIOSTEC 2008, Proceedings of International Conference on Biomedical Electronics and Devices, vol.1, pp.164-169, 2008. 査読有

⑩ R.A.R.C. Gopura, Kazuo Kiguchi, “Development of an Exoskeleton Robot for Human Wrist and Forearm Motion Assist”, Proceedings of Second International Conference on Industrial and Information Systems, 269, 2007. 査読有

⑪ Kazuo Kiguchi, Yasunobu Imada, Manoj Liyanage, “EMG-Based Neuro-Fuzzy Control of a 4DOF Upper-Limb Power-Assist Exoskeleton”, Proceedings of 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, pp.3040-3043, 2007. 査読有

[学会発表] (計 12 件)

① R.A.R.C. Gopura, Kazuo Kiguchi, “EMG-Based Control of a 6DOF Upper-Limb

Exoskeleton Robot”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会論文集, 2009. 査読無

② 古瀬泰徳, 木口量夫, “音声による情報伝達を用いた認知アシスト付パワーアシストロボットの研究”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会論文集, 2009. 査読無

③ R.A.R.C. Gopura, Kazuo Kiguchi, “Design of an exoskeleton robot for human upper-limb motion assist”, 第 26 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 2008. 査読無

④ R.A.R.C. Gopura, Kazuo Kiguchi, “Fuzzy-neuro Control of an Exoskeleton for Human Wrist Motion Support”, 日本機械学会 2008 年度年次大会講演論文集, 2008. 査読無

⑤ 木口量夫, リヤナゲ マノジ, 古瀬泰徳, “パワーアシストロボットのための知的認知アシスト”, 日本機械学会 2008 年度年次大会講演論文集, 2008. 査読無

⑥ R.A.R.C. Gopura, Kazuo Kiguchi, “Control of an Exoskeleton Robot for Human Wrist Motion Support”, 日本機械学会 IIP 部門講演会 (IIP2008) 講演論文集, pp.67-68, 2008. 査読無

⑦ 木口量夫, リヤナゲ マノジ, 古瀬泰徳: “Perception Assist with Active Cameras for a Power-Assist Exoskeleton Robot”, 日本機械学会 IIP 部門講演会 (IIP2008) 講演論文集, pp.181-182, 2008. 査読無

⑧ 木口量夫, リヤナゲ マノジ, “認知アシスト能力を有する上肢パワーアシストロボットの研究”, 第 13 回ロボティクス・シンポジウム, pp.93-98, 2008. 査読有

⑨ 木口量夫, 権奇龍, “上肢姿勢変化の影響を考慮した外骨格型ロボットの筋電制御”, 第 8 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会予稿集, 2007. 査読無

⑩ 木口量夫, “筋肉特性を考慮した上肢パワーアシストロボットの筋電制御”, 第 25 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 1J13, 2007. 査読無

⑪ R.A.R.C. Gopura, Kazuo Kiguchi, “Design of an Exoskeleton for Wrist Motion Assist”, 日本機械学会 2007 年度年次大会講演論文集, vol.5, pp.521-522, 2007. 査読無

⑫ 木口量夫, リヤナゲ マノジ, “センサ情報を利用した上肢運動パワーアシストロボットの研究”, 日本機械学会 2007 年度年次大会講演論文集, vol.7, pp.283-284, 2007.
査読無

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1) 研究代表者

木口 量夫 (KIGUCHI KAZUO)
佐賀大学・理工学部・教授
研究者番号: 9 0 2 6 9 5 4 8

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし