

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 28 日現在

機関番号：57403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01494

研究課題名(和文) 頭部旋回運動を利用した非接触・非拘束型ハンドフリー操縦インタフェースの開発

研究課題名(英文) Development of Hand Free Maneuvering System for Electric Personal Vehicle

研究代表者

大塚 弘文(Ohtsuka, Hirofumi)

熊本高等専門学校・制御情報システム工学科・教授

研究者番号：10223869

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：物体表面の距離情報を得られる短焦点深度センサを用いて頭部旋回動作を認識し操縦制御するシステムの開発成果を発展させ、本研究では、非拘束・非接触による電動車椅子等の機器制御のための新たな操縦インタフェースと、測域センサを活用した上半身の前傾動作と旋回動作による新型電動車椅子操縦システムを開発した。車椅子の操作性向上を目的とした車椅子の動作状況をフィードバックするインタフェースによりジョイスティック操縦時に匹敵する操縦ができることを評価実験によって明らかにした。そして、操縦者のストレス計測や乗り心地の評価を行って開発システムの有効性を検証した。

研究成果の概要(英文)：Be anticipated to become super aging society, many research works about welfare support have been done. Among them, there are many attempts to develop the intelligent wheel chair to support the movement of physically handicapped person. In our research, we paid our attention to the movement that a motor-cycle rider moves his/her head naturally and is going to turn to the desired direction, try to develop the simplified detection method of non-contact and non-constraining operator's upper body motion to maneuver the electric wheelchair without the influence of brightness of the surroundings. In addition, we develop interface to feed back the maneuvering status of the wheelchair in order to improve operability. Furthermore, a heart rate variability (HRV) analysis based on Lorenz plot and a mean distance measure has been applied. Experimental results show the effectiveness of the proposed method.

研究分野：制御工学

キーワード：福祉工学 制御工学

1. 研究開始当初の背景

我が国では超高齢化社会を見据えて、様々な福祉支援技術（アシステブテクノロジー、AT）に関する研究が注目を集めている。特に高齢者や障がい者の移手段の補助を目的とした様々な手法による知的電動車いすが近年精力的に行われており、その中でも重度障がい者（多重障がい）に対するハンドフリー操縦方式の確立が重要視されている。

このニーズに対する研究開発事例として、Yokota ら (S.Yokota et.al., “Improvement of Measurement and Control Scheme on Human Body Motion Interface”, *American Journal of Intelligent Systems*, Vol.2, No.4, pp.53-59, 2012) は座面の圧力分布変化により上半身の姿勢変化を操作量として電動車いす制御システム開発を行っている。また、Tamura ら (H.Tamura et.al., “A Study of the Electric Wheelchair Hands-Free Safety Control System Using the Surface-Electromyogram of Facial Muscles”, *Intelligent Robotics and Applications Lecture Notes in Computer Science*, Vol.6425, 2010, pp.97-104.) は、口の開け閉め動作による顔筋電位変化を操作量とする操縦システムを提案した。これらの手指以外の可動部位を用いて操縦デバイスを直接操作する方法では個々の身体的特徴やシステムの複雑さとともに操作者への高い侵襲性や操縦訓練負荷の増加が重大な決定となる。それに対して、前後左右の回転動作を伴う頭部ジェスチャの画像計測とその応用は非接触・非拘束の観点から操縦負担が非常に低く、近年多数の検討が画像処理技術の応用により検討されてきた。(例えば、Y.Satoh and K.Sakaue, “A Secure and Reliable Next Generation Mobility, -An intelligent electric wheelchair with a stereo omni-directional camera system -”, *Synthesiology*, Vol.2, No.2, pp.113-126, 2009 など) ただし、それら画像処理応用システムの動作性能は使用環境の明るさに大きく依存し操縦性能が劣化するという実用上の重大な欠点がある。

一方、申請者は、背もたれの圧力分布変化により上半身の姿勢変化を判別し操縦信号を生成する方式(図1)を Yokota らに先駆けて提案したほか、音声認識システムによる発話指令方式の車椅子操縦システムなどハンドフリー型の操縦インタフェースを開発してきた。その結果、動作環境の変化による残響や他者音声などの雑音による誤動作が操縦ストレスを増長する問題を明らかにした。また視覚サーボ方式を用いたポインティングデバイスを開発し、その機械システム操縦インタフェース開発への展開を検討してきた。これらの研究の結果、一定の使用条件の下で所望の操縦性能を達成したものの、類似研究と同様に使用環境条件の緩和が実用性向上の最大の課題となっている。

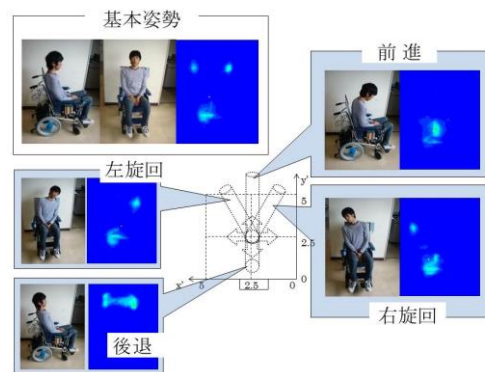


図1 背面圧力利用操縦インタフェース

2. 研究の目的

本研究では、環境の明るさに依存することなくセンサから対象物体までの距離情報を得られる短焦点深度センサを用いた非拘束非接触による頭部旋回運動オンライン検出法を簡素なアルゴリズムによって構築し、これを応用したジョイスティックに替わる全く新しいハンドフリー操縦インタフェースシステムの開発を目的とする。本研究によって、従来の画像処理技術応用による非接触頭部ジェスチャ認識などの関連技術の実用化を阻害する問題点であった使用環境の明るさ変化による認識精度の劣化、商用深度センサデバイスの焦点距離の長さ起因した設置スペース/搭載機器のサイズ拡大および処理速度の不足などの諸課題に対して根本的な解決を図り、生体情報計測データの分析による操縦者への操縦負荷評価に基づき新規操縦インタフェースの性能向上により実用化を目指すものである。

3. 研究の方法

本研究は以下の3段階で研究を進めることとした。すなわち、ジョイスティックの代替機能を実現する上で必要となる(1)ピッチ方向およびロール方向の頭部旋回動作検出法への拡張応用と(2)操縦インタフェースの起動/停止を随意に操作者が選択決定できるバーチャル・マスクインタフェースを開発し(平成27年度)、その上で(3)小型電動移動プラットフォームを開発し実装する。そして、複数操縦者による電動車いすの走行実験を実施し性能評価を行う。(平成28年度)さらに、(4)操縦者の挙動や生体信号のデータ分析による性能評価結果に基づく反復的なシステム改良により性能向上を図る。(平成29年度)

4. 研究成果

(1) ピッチ方向およびロール方向の頭部旋回動作検出法への拡張応用

昼夜問わず運用可能な非拘束かつ非接触での電動車椅子操縦システム構築のために、明るさに依存せず操縦者の身体形状を測定可能な深度センサ(Depth Sensor)を採用する

(図2)。深度センサは操縦者から焦点距離範囲の電動車椅子車体に固定し、操縦者の頭部深度データを制御用コンピュータ(PC)へ送信する。PC内部では頭部旋回運動を検出し、旋回角度に応じた電動車椅子の挙動を実現するためのモータ駆動指令信号をモータコントローラへと送信する。頭部旋回運動検出が起動可能な位置を、操縦者が意図的に頭部を移動させるポイントに設定することで、操縦意志に反して電動車椅子が移動する事態は未然を防止する。頭部旋回運動(ヨー方向)のオンライン計測のために、深度センサから得られた深度データの分布特性から顔領域の特徴(顔領域境界および顔領域の突出形状代表ピクセル座標、顔領域深度データ平均値)を得る(図3)。それら特徴量からジョイスティック操縦信号の代替信号を生成する。8の字モデルコースの走破実験結果例を図4に示す。複数被験者(眼鏡使用者)に対して、再調整することなく安定した操縦性能を、再現性をもって発揮することを実験により確認した。

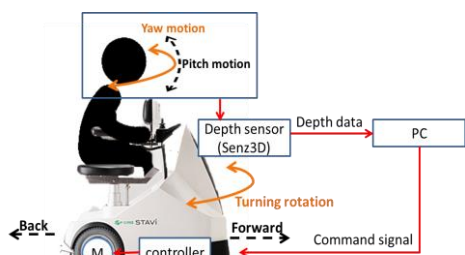


図2 開発システム概要

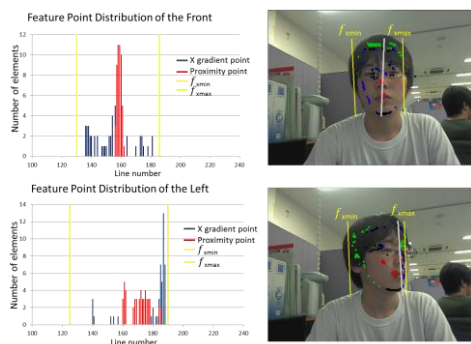


図3 頭部旋回運動推定出力例

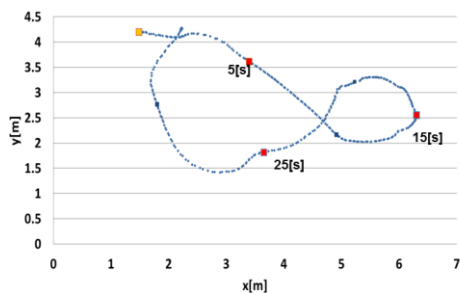


図4 8の字コース走行軌跡

(2) 操縦インタフェースの起動/停止を随意に操作者が選択決定できるバーチャル・マスクインタフェースの確立

操縦者-車椅子をブロック図によりシステム表現すると図5となる。通常のジョイスティック動作により操縦者は直接的に自身が発した操縦指令を視覚および触覚によりフィードバックされる。フィードバックアプリにより、これと同様のマイナーループを操縦者に提供し操作性向上を図る。

操作者の姿勢計測データを元にフィードバックアプリは①車椅子状態、②車椅子進行方向、③車椅子の前進速度と旋回量をアニメーションで表示することで車椅子の動作状況を操縦者へ提示する。バーチャル・マスクインタフェースの最小限機能を有するプロトタイプとして、図6に示すフィードバックアプリを開発した。システム起動の設定位置よりも遠方にある場合は円内にある三つの円のうち上部の円を赤く表示、前傾、捻転により設定位置に接近するにつれて中部の円を黄、下部の円を青と段階的に表示する。車椅子が操縦可能になれば、矢印の向きとインタフェース下部に表示している文字で車椅子の進行方向を示す。また動作中は青矢印、停止中は赤矢印のように色情報も用いる。車椅子の進行方向と速度は図6のように表示する。車椅子の速度が上昇すれば矢印の線幅の変更とインタフェース下部のバーで走行速度を示す。車椅子の進行方向は体幹捻転測定量と対応させることとなる。またその場旋回時のみ専用アニメーションを表示する。

(3) 小型電動移動プラットフォームへの実装

上述の深度センサを用いた車椅子操縦システムでは、操縦者の顔面凹凸の特徴抽出に

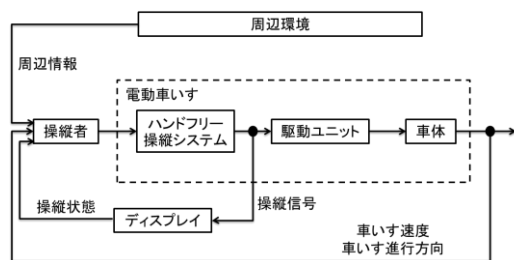


図5 ブロック図

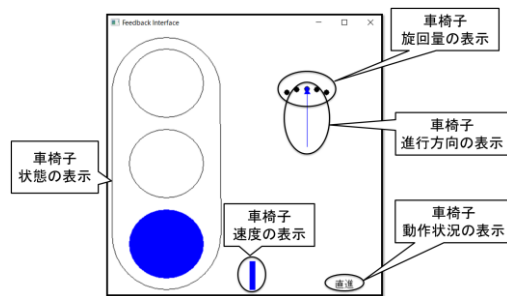


図6 操縦状態提示

より頭部ジェスチャをリアルタイム推定するため、深度センサを搭乗者の前方に配置する必要がある。後方移乗を要する汎用電動車椅子への適用を考慮し図7に示すように、測域センサを車椅子後方に配置し、操作者の体幹背面の非接触深度測定データに基づく操縦意図推定を行う方式によるハンドフリー操縦システムを構築した。実験風景を図8、走行軌跡の結果を図9、周回時間を表1、表2に示す。複数操縦者による評価実験の結果、提案システムを用いた操縦時の走行軌跡、走破時間は、ジョイスティック操縦時との差異は認められず、提案システムがハンドフリー操縦システムとしての実用性を確認できた。

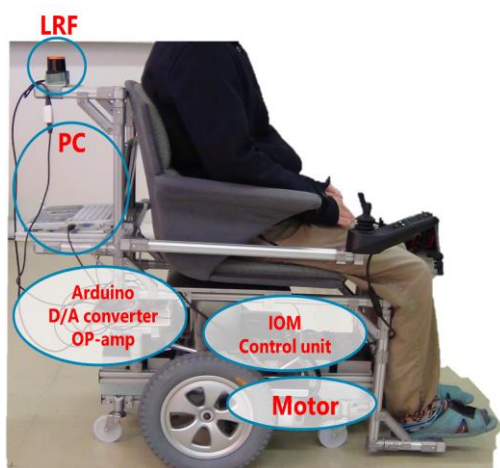


図7 背面非接触深度測定による操縦意図推定による小型電動車椅子への実装

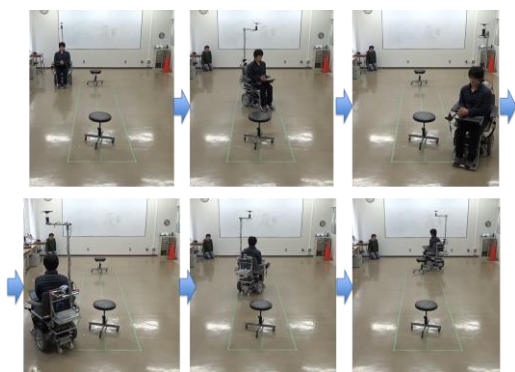


図8 走行実験結果

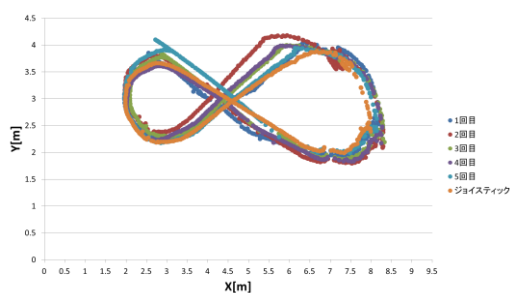


図9 走行軌跡 (実験結果)

表1 周回時間(ジョイスティック操縦)

	計測回数	合計時間[s]	平均周回時間[s]
被験者A	5	193	39

表2 周回時間(提案システム)

	計測回数	合計時間[s]	平均周回時間[s]
開発者A	5	198	40

(4) 操縦者挙動および生体信号のデータ分析による性能評価

車椅子搭乗時操縦者の心電図を測定し、心拍変動解析により反映されるストレスの変化状況から姿勢制御電動車椅子が与える搭乗者への影響を調査した。すなわち搭乗時のストレスの変化状況を時間的に詳細に観測するため、心拍変動データにローレンツプロット法(LP法)を適応し、短時間で解析可能な評価指標を抽出することで時間変化の考察を試みた。クランクコースとストレートコースの2コースを設定し複数被験者による走行実験を実施した。クランクコースが走破の難しさが上がり走行時間が増え、走行時のストレスレベルは全被験者において操縦方法によらず高くなる傾向が認められた。特に、走行中にコース逸脱が発生した被験者1名を除く他の3名についてジョイスティック運転より姿勢制御運転時の方がストレスレベルの低いことを確認できた。ジョイスティック操縦の場合、走行速度が上昇する傾向となり、全被験者がジョイスティック運転の方にストレスを感じたものと考えられる。

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 9 件)

- ① 西山 亮、ト 楠、大塚弘文、心拍動解析を用いた電動車椅子の乗り心地評価、第2回日本福祉工学会九州支部学術講演会論文集、pp. 26-27 (2017年11月18~19日北九州国際会議場、北九州市)
- ② 大塚弘文、柴里弘毅、嶋田泰幸、加藤達也、Hand-Free Maneuvering System for Electric Wheelchair using Laser Range Finder、Proceedings of the 11th Asian Control Conference、査読あり、pp. 1367-1372 (2017)
- ③ 大塚弘文、坂口明駿、柴里弘毅、嶋田泰幸、加藤達也、LRFを用いた電動パーソナルモビリティ操縦システム、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2017講演論文集(CD-ROM)、

- 2A1-H04(2017年5月・福島市)
- ④ 坂口明駿、大塚弘文、柴里弘毅、嶋田泰幸、機動性を向上させた座面昇降機能付き電動車椅子のハンドフリー操縦システム～バーチャルマスクインタフェースによる視覚フィードバック～、日本福祉工学会第20回学術講演会講演論文集、pp. 73-74
 - ⑤ 大塚弘文、樫本昂大、加藤達也、柴里弘毅、Non-contact Head Gesture Maneuvering System for Electric Wheelchair using a Depth Sensor、Proceedings of the 2015 Ninth International Conference on Sensing Technology、査読あり、pp.102-107
 - ⑥ 大塚弘文、柴里弘毅、嶋田泰幸、加藤達也、深度センサを用いた座面昇降機能をもつ電動車椅子のハンドフリー操縦システム、日本機械学会機械力学・計測制御部門 Dynamics and Design Conference 2016 講演論文集(CD-ROM)、515
 - ⑦ 大塚弘文、柴里弘毅、松下良助、加藤達也、深度センサを活用したパーソナルモビリティ操縦システムの開発、日本福祉工学会第19回学術講演会講演論文集、pp. 9-10
 - ⑧ 松下良助、大塚弘文、深度センサを用いた頭部ジェスチャ計測と操縦システムへの応用、JAPAN AT フォーラム 2015、講演論文集 pp. 71-72
 - ⑨ 松下良助、樫本昂大、大塚弘文、Non-Contact and Non-Constrained Maneuvering Interface System for Electric Wheelchair Using a Depth Sensor、The 4th International GIGAKU Conference in Nagaoka(IGCN2015)、査読あり、Sp-21、pp. 189

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

該当なし

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

該当なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大塚弘文 (OHTSUKA、Hirofumi)

熊本高等専門学校・制御情報システム工学
科・教授

研究者番号：10223869

(2) 研究分担者

柴里弘毅 (SHIBASATO、Koki)

熊本高等専門学校・制御情報システム工学
科・教授

研究者番号：60259968