

平成30年6月25日現在

機関番号：82404

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K12616

研究課題名（和文）重度肢体不自由者に実用可能な運動計測手法の開発

研究課題名（英文）Development of a practical motion measurement method for severely physically handicapped persons

研究代表者

高嶋 淳 (Takashima, Atsushi)

国立障害者リハビリテーションセンター（研究所）・研究所 福祉機器開発部・研究員

研究者番号：90711284

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、近年研究開発が目覚ましく低価格化した、慣性計測装置を複数用いた簡易的な計測システムの構築を行った。開発したシステムを光学式三次元計測装置と同時に使い、健常者および重度肢体不自由者を対象に上肢を用いた電動車椅子操作中の運動計測を行い性能検証を行った。本研究では、重度肢体不自由者の代表例として、C3の高位頸髄損傷者を選定した。健常者はC3の高位頸髄損傷者を模擬し、上肢の可能範囲を制限した。これにより、開発機器の性能が十分であることを検証し、その上で、C3の高位頸髄損傷者であっても上肢を用いた電動車椅子操作が可能であることを定量的に示し、本研究の目的を達成した。

研究成果の概要（英文）：In this research, we have constructed a simple measurement system using multiple inertial measurement sensors. Using the developed system, we performed motion measurement during motorized wheelchair operation using upper limbs for healthy subjects and those with severely physically handicapped persons and verified its performance. In this study, C3 high-level spinal cord injured person was selected as a representative example of severely physically handicapped person. Healthy subjects simulated C3 high cervical spinal cord injuries and restricted the possible range of upper limbs. According to the result, we verified that the performance of the development equipment is sufficient, and quantitatively showed that it is possible to operate the electric wheelchair using the upper limbs even in the C3 high-level spinal cord injured person, and the purpose of this study was achieved.

研究分野：福祉工学，計測工学，制御工学

キーワード：慣性計測装置 IMU 頸髄損傷 脳性麻痺

1. 研究開始当初の背景

我が国では少子高齢化が進み、それに連動するように身体障害者の数も増加している。その内、肢体不自由者が約半数を占めており、その対策が重要である。これらの人々に対し、我が国が得意とするロボティクスを使用した高度な支援機器開発に注目が集まっているが、臨床の現場において満足に使用できるものは少ない。それは工学設計に有効な障害者情報の欠如が主な要因である。精密な運動計測情報は福祉機器開発に極めて重要かつ有効であるが、現在計測されているもののほとんどが歩行に関する計測であり、歩行できない重度の肢体不自由者の運動計測情報は非常に少ない。その理由は、運動計測に一般的に用いられている光学式運動計測装置が、重度肢体不自由者の計測には適さないからである。

重度の肢体不自由者は、手足に拘縮や、背骨に変形があることが多く計測用マーカが運動を阻害したり、車椅子などによるマーカの遮蔽（オクルージョン）が発生しやすい。また、特定の姿勢をとることができないなど、キャリブレーションが困難、などである。その一方で、加速度・角速度センサを一体化した慣性計測装置（IMU）の発展は目覚ましく、高性能、小型になったため、これを用いた運動計測装置が開発されている。精密な運動解析への使用実績はほとんどないが、オクルージョンが発生せず、設計要件を適切に評価・設定することで、重度の肢体不自由者に対して臨床現場で実用的に使用できる運動計測装置が実現可能と考えた。

2. 研究の目的

本研究では、重度の肢体不自由者の運動を、介護施設や病院などの臨床現場において医療従事者でも容易に計測可能とする、複数の IMU による運動計測システムを構築することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究は以下の 2 つの問題に大別できる。

- (1) 臨床面：実用的設計要件の抽出と評価
- (2) 工学面：設計要件における IMU の自己位置推定

である。

(1) を実現するために、対象者、運用者、開発者の 3 者の相互評価ループによる当事者参加型開発手法を用いて、随時評価を行いながら開発を進める。(a) 計測システムを装着する障害当事者の身体的、心理的負荷、および、(b) 実際に運用する医療従事者の身体的、心理的負荷を考慮することで、実用的設計要件を構築する。

(2) を実現するために、(c) 臨床現場の環境調査を行い、医療機器や福祉機器との干渉をなくし、設置や手間のないキャリブレーション手法を構築する。

4. 研究成果

(1) 臨床面：臨計測技術の現状と使用場面を明確にするためのワークショップを開催し、機器の設計要件と制約条件を抽出した（業績①、②）。共同研究者である理学療法士 2 名により、重度肢体不自由者が入所・通院している施設に勤務し、入所者の運動計測に関心のある理学療法士を 4 名選出してもらい、それに作業療法士および理学療法士のファシリテータ 2 名、エンジニア 1 名、経験豊富なエンジニアおよび理学療法士のオブザーバ 2 名を加えた計 9 名によるワークショップを実施した。ワークショップでは、IMU のデモンストレーションを交え、運動計測・評価の場面設定および機器に必要な要求機能、また、現場での機器使用に関する禁止事項など制約条件について話し合い、KJ 法に類似したカードに要点をまとめず開花する作業により、機器の設計要件、使用場面の抽出を行った。これにより、主に小児を対象としたりハビリテーション効果検証に用いる機器が重要かつ有効であることが抽出できた。機器に対する要求機能としては、独立に 3 箇所以上同時計測が可能であること、制約条件として小児の運動を阻害しない程度の大きさとする事が挙げられた。

(2) 工学面：IMU の初期位置および初期姿勢を臨床現場で無理なく取得する方法が必要である。そこで現状の臨床現場で頻繁に利用されているスマートフォンやタブレット、デジカメによる静止画から初期姿勢を算出することとした。大きさと向きが既知の身近な物体と一緒に IMU を撮影することで、三次元の初期位置を確定した。

最初に、本提案手法の有効性を検証するために、脊髄損傷者 1 名に対して、ローラー台上および室内空間での車椅子漕ぎ動作の計測を

行った．上半身の各関節ごとに IMU を取付けた．IMU の自己位置推定には相補フィルタを用いた．また，真の値と比較するために，IMU に反射マーカを取付け，光学式モーションキャプチャによる同時計測を行った．その結果，光学式モーションキャプチャの計測データは車椅子漕ぎ動作により反射マーカが隠され抜けの多い計測データとなった．それに対して IMU で計測結果は，計測精度は落ちるが，抜けなく計測でき，本提案手法の有効性を確認した（業績③）．

これらの結果を踏まえて，頸髄損傷児の電動車椅子操作におけるコントローラ位置と操作性について計測と評価を行った．その先駆けとして，図 1A に示すように，各関節可動域を計測対象の頸髄損傷児に対応させ固定した健常者 1 名を対象とし，実験を行った．その結果，図 1B,C に示すように，コントローラの最適位置を定量的に探索することができた（業績⑧）．

最後に，頸髄損傷児に対して電動車椅子操作の計測を実施し，対象が利用する電動車椅子や医療機器と干渉することなく計測が実施できることを確認し，処方されたコントローラ位置が最適位置に近い状態であることを定量的に確認した．これらの結果から提案手法により本研究の目的は達成できたと考える．

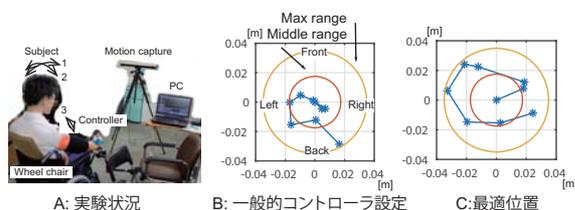


Fig. 1: 重度肢体不自由者を模擬した健常者実験結果．

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(8件)

- ① 白銀暁, 高嶋淳, 佐藤春彦, 中村美緒, 井上剛伸. 実用性の高い運動計測手法の開発に向けた開発支援ワークショップの実践. 第 30 回八工学カンファレンス in おきなわ, 那覇, November 2015.
- ② 高嶋淳. 国立研究所における福祉機器開発の取り組み. ヒューマンセントリックロボ

ティクス研究専門委員会 第 8 回若手研究会, 大分, January 2016. 2016/1/30.

- ③ 高嶋淳. 脊損・頸損者に対する体温制御の試み. ヒューマンセントリックロボティクス研究専門委員会 第 9 回若手研究会, 武雄, January 2017. 2017/1/28 15:00-15:20.
- ④ Satoshi SHIROGANE, Atsushi TAKASHIMA, Takashi HANDA, and Toshiaki TANAKA. Accuracy of three-dimensional sternal posture measurement using a rgb-d camera system for assessment of wheelchair seating: A pilot study. In ISPO World Congress 2017, p. 528, South Africa, May 2017.
- ⑤ Atsushi Takashima, Kensuke Sato, Kenta Takizawa, Jun Suzurikawa, Yukiharu Higuchi, Ming Huang, Yoshinori Teshima, Toshiyo Tamura, Daisuke Kurabayashi, Takenobu Inoue, et al. Construction of a soft wearable body cooling system for persons with spinal cord injury. In Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2017 39th Annual International Conference of the IEEE, pp. 913–916. IEEE, July 2017.
- ⑥ Kenta Takizawa, Jun Suzurikawa, Yukiharu Higuchi, Huang Ming, Toshiyo Tamura, Daisuke Kurabayashi, Takenobu Inoue, Toru Ogata, and Atushi Takashima. Characterization of the pierce two-node model under exercise load by parameter optimization toward construction of a modified thermal model for persons with spinal cord injury. In Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2017 39th Annual International Conference of the IEEE, pp. 2466–2469. IEEE, 2017.
- ⑦ K. Takizawa, J. Suzurikawa, Y. Higuchi, H. Ming, T. Tamura, D. Kurabayashi, T. Inoue, T. Ogata, and A. Takashima. Prediction of core temperature decrease induced by neck cooling in wheelchair athletes with spinal cord injury using

the pierce two-node model and parameter search. In 2017 IEEE Life Sciences Conference (LSC), pp. 178–181, Dec 2017.

- ⑧ Atsushi Takashima, Satoshi Shirogane, Motonori Hoshino, and Yo Iwasaki. Wheel chair control skill assessment for the persons with severe physical disabilities. In the 2018 World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, No. T10-048, June 2018. 6/4,5.

〔論文〕(1件)

- ① Sato Haruhiko, Kusayanagi Koki, Kondo Yu, Kamide Naoto, Shiba Yoshitaka, and akashima Atsushi. Knee extensor strength assessed using a vertical squat and a simple geometric model to calculate joint torque: An evaluation of validity and clinical utility. *Geriatrics & Gerontology International*, 査読有, March 2018.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高嶋 淳 (TAKASHIMA Atsushi)

国立障害者リハビリテーションセンター
(研究所)・研究所 福祉機器開発部 研究員
研究者番号 : 90711284

(2) 研究分担者

白銀 暁 (SHIROGANE Satoshi)

国立障害者リハビリテーションセンター
(研究所)・研究所 福祉機器開発部 研究室長
研究者番号 : 90404764

(3) 研究分担者

佐藤 春彦 (SATO Haruhiko)

北里大学・医療衛生学部 准教授

研究者番号 : 30274062

(4) 連携研究者

井上 剛伸 (INOUE Takenobu)

国立障害者リハビリテーションセンター
(研究所)・研究所 福祉機器開発部 部長
研究者番号 : 40360680