

J16106P

卓上型無線上肢リハビリロボットの開発

Development of the Desktop Wireless Upper-Limb Rehabilitation Robot

○学 菊地 大輔^{*1}, 只野 孝明^{*2}, 三浦 雅弘^{*2}, 金野 正史^{*3}六平 澄人^{*4}, 木澤 悟^{*1}, 巖見 武裕^{*2}, 島田 洋一^{*2}Daisuke KIKUCHI^{*1}, Takaaki TADANO^{*2}, Masahiro MIURA^{*2}, Seiji KONNO^{*3}Sumito MUSAKA^{*4}, Satoru KIZAWA^{*1}, Takehiro IWAMI^{*2} and Yōichi SHIMADA^{*2}^{*1} 秋田工業高等専門学校 National Institute of Technology, Akita College^{*2} 秋田大学 Akita University^{*3} 株式会社 K エンジニアリング Inc. K Engineering^{*4} 秋田未来株式会社 Akitamirai Inc.

In recent years, with the increase of hemiplegia patients due to the sequelae of stroke, the burden on the therapist tends to increase. In order to solve this problem, rehabilitation robots are developed in the world. In our laboratory, we have been developing rehabilitation robots for patients with upper limb paralysis that are smaller and cheaper than existing robots. Also, we developed an application that incorporates a quantitative evaluation system for upper extremity function and an AR game to improve the patient's motivation. We made the robot wireless and made the whole system compact, examined a simple camera-calibration method for AR application.

Key Words : Rehabilitation, Upper limb function, Motor Dysfunction, Unity, Vuforia, AR, Camera Calibration

1. 結 言

脳卒中の後遺症による運動機能障害者のリハビリにおいて、療法士の負担を減らすためリハビリロボットの開発が活発に行われているが、高価かつ大型で据え置きが多い⁽¹⁾⁽²⁾。それに対し著者らは、上肢麻痺患者を対象とし、安価で設置が容易かつ、可搬性に優れたロボットの開発を行ってきた。本研究では可搬性をより高め、施設や自宅でのリハビリを視野に無線リハビリロボットの開発を行った。また、患者のリハビリに対するモチベーションを高め、リハビリの評価や効果を視覚的に得るため AR アプリケーションを用いた開発を行った。

2. 卓上型上肢リハビリロボットの概要

本研究におけるリハビリロボット（図 1）は上肢の可動域に対応するためオムニホイールを搭載し、平面上全方位の移動が可能である。モータ制御用に搭載された Raspberry Pi Zero WH には Bluetooth 通信機能が備わっており、メイン PC との無線通信を可能としている。図 2 はリハビリシステムの全体図である。制御・力センサ情報のやり取りを無線化しているため、システム全体が小規模である。ロボットに取り付けられた AR マーカ（図 1）をウェブカメラ（図 2）で認識し、位置情報を利用したアプリケーションをモニタ（図 2）に描画している。

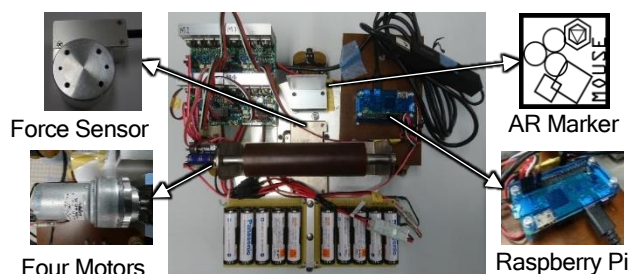


Fig1. Entire mechanism of rehabilitation robot

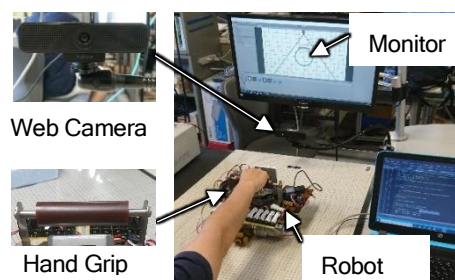


Fig2. Rehabilitation system

3. 制御システムの概要

図2のようにロボットのハンドグリップを握ると、力覚センサ(図1)が手先力を感知し、センサ情報が Raspberry Pi を経由してメイン PC へ送られる。メイン PC では手先力情報と位置情報から、仮想的な機械インピーダンスを算出し、ロボットの速度情報が生成される。重度の麻痺患者を対象としたリハビリロボットはロボットに剛性を与え手先を受動的に動かす⁽³⁾が、本研究は随意的な操縦が出来る軽度な麻痺患者を対象としているため、剛性による操作性低下を考慮し、粘性と慣性のみで速度情報を生成した。生成した速度は Raspberry Pi へフィードバックされ、各モータ(図1)に信号し、ハンドグリップに力を加えた方向にロボットを駆動させることが可能である。加えて、仮想インピーダンスの粘性・慣性を調整することでロボット速度を制御し、使用者の筋力やリハビリ内容に沿った操縦を実現できる。

4. AR アプリケーションの概要

上肢機能の定量的な評価や、リハビリの継続的なサポートを実現するために、ゲームエンジン Unity を用い AR アプリケーションの開発も同時に行った。Unity に統合されている AR ライブラリ Vuforia により、ロボットに設置された AR マーカ(図1)をカメラで捉え位置情報を取得し、ロボットの自己位置をディスプレイへ反映することが可能である。これにより、腕の伸展屈曲運動を目的とした、リハビリの基本動作であるリーチ動作(図3)や円運動(図4)を視覚的にサポート出来るシステムを開発した。さらに、現在開発中であるが、ゲーム性のあるアプリケーションも構築が可能である。これらアプリケーションの描画に合わせ、ロボットの仮想インピーダンスを変更することで、ロボットに粘性や慣性、疑似的な外乱を与え、患者に視覚的な体験と共に様々なリハビリメニューの提供が可能である。

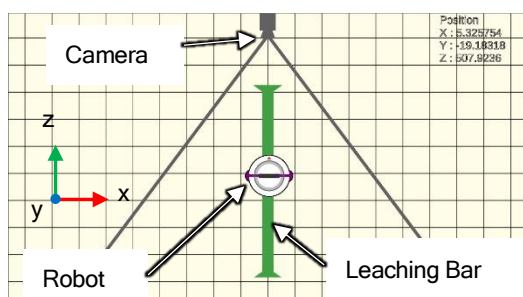


Fig3. Application(a)

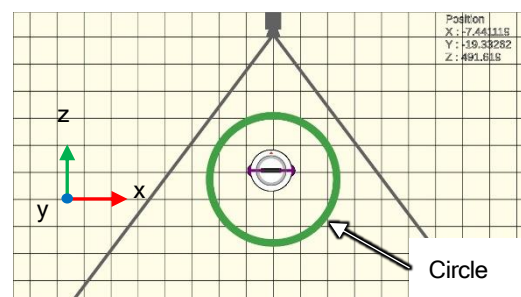


Fig4. Application(b)

5. Vuforia における位置推定誤差の校正

AR (Vuforia) の位置認識で得た座標は、一般的な単一カメラではレンズ歪み・焦点距離により実際の座標との誤差が生じ、上肢機能評価の役割が十分に期待出来ない可能性があり、カメラ誤差の校正は必須である。本ロボットは市販のウェブカメラとの併用を想定しており、誤差の校正はユーザーへ付託する必要があるため一般的なカメラ内部パラメータ特定の手法⁽⁴⁾を用いることは困難である。ロボットの移動は上肢の可動域程度の距離と想定されることから、校正範囲を限定し、校正を容易に行える手法を検討した。Vuforia 公式フォーラムにて公開されている適正距離の指標(マーカサイズ[mm]×10)にのっとり、カメラから 500mm (図1の AR マーカサイズ: 50mm×50mm) を校正範囲とした。リハビリロボットの可動範囲はカメラに対し水平方向と奥行き方向に限られ、垂直方向の位置情報は使用せず、校正は必要としない。また、カメラの水平方向誤差は奥行き方向と比較して極めて小さいため、検討対象は誤差が特に顕著であるカメラの奥行き方向とした。位置推定誤差実験はカメラの正面に AR マーカを設置し、カメラがマーカ全体を捉える 50mm 地点から適正距離の 500mm 地点まで 10mm 間隔で測定し、実際の距離と Vuforia による位置推定結果を比較した。使用したウェブカメラは図2に示した株式会社ロジクール製の Logicool HD Webcam c925e である。

6. 実験結果

図 5 に Vuforia によるマーカ位置推定結果と実際の距離に対する誤差の測定結果を示す。実際の距離に対する誤差はマーカ距離が遠くなるほど増加傾向にあり、推定位置と正の相関関係が強い。よって、実際の距離に対する誤差は近似が可能である。以上より、図 5 のデータを対数変換後に 2 次式近似し、誤差 ε_z を求め、式 (1) の結果となった。 z は推定位置である。Vuforia の位置推定結果と式 (1) との差分を取れば、誤差の補正が可能となる。そこで実際の距離に対し、補正前・補正後における推定位置の誤差を比較(図 6)すると、補正前の最大誤差 15.8mm に対し補正後は誤差が最大 1.9mm に収まっており、改善したといえる。

$$\varepsilon_z = -2E^{-5}z^2 + 0.0371z + 2.693 \quad (1)$$

ユーザーの校正手段として、本実験で行った誤差算出の手順をプログラミングし、半自動的に行えるものを検討する。ユーザーの作業はカメラの正面で AR マーカを前後に移動させ、カメラからの距離を決定することのみである。今後は、マウスのクリックなど単純操作で校正できるユーザーインターフェースの構築が必要である。

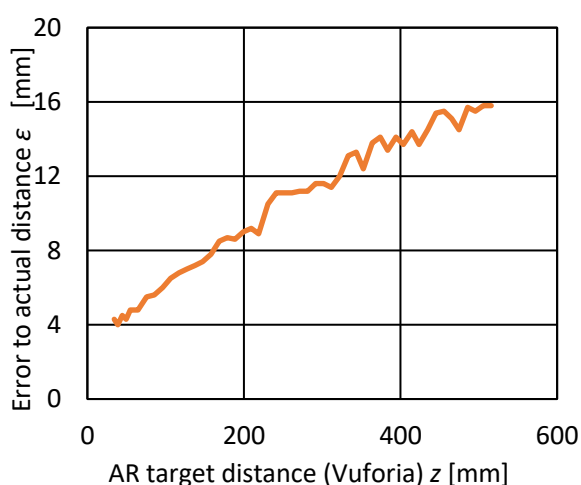


Fig5. Error of Vuforia distance

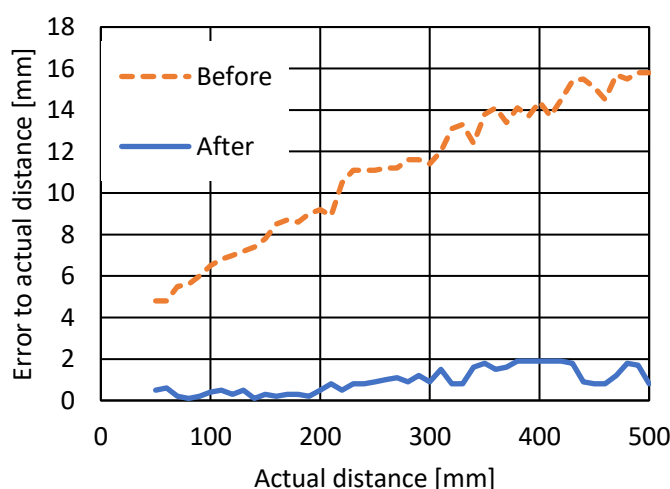


Fig6. Error of Vuforia distance

7. 結 言

本研究では上肢麻痺患者を対象とした卓上型無線上肢リハビリロボットの開発を行った。開発したロボットは制御の無線化により、従来のものと比較して小型なリハビリシステムを提供できる。同時に開発を行った AR ライブラリを用いたアプリケーションはロボット制御と組み合わせ、患者の継続的なリハビリをサポートできる。また、カメラ誤差の傾向について調べ、容易に誤差校正が出来る手法を検討した。今後は誤差校正の半自動化を目指し、次いでリハビリの定量的評価が出来るアプリケーション開発を進める予定である。

文 献

- (1) 高橋香代子, 竹林崇, “上肢ロボット ReoGo-治療機器としての可能性と運用方法について-”, バイオメカニズム学会誌 37(2): 87-92, 2013.
- (2) Milena G., Pierina C., et al, “ROBOT THERAPY FOR FUNCTIONAL RECOVERY OF THE UPPER LIMBS”, J Rehabil Med 41: 971-975, 2009.
- (3) 宮坂裕之, 富田豊, Orand Abbas, 谷野元一, 武田湖太郎, 岡本さやか, 園田茂, “回復期脳卒中患者に対する上肢ロボット訓練の効果”, Japanese Journal of Comprehensive Rehabilitation Science (2015)
- (4) 中野学, 田治米純二, 野村俊之, “一般カメラモデルの PnP 問題に対するグレンナー基底を用いた統一的解法”, 「画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2011)」, 2011 年 7 月