

拡張現実を用いた上肢用リハビリロボット開発と動態解析の精度検証

Accuracy verification of motion analysis for upper limb rehabilitation robot using AR

○学 菊地 大輔 (秋田高専) 正 木澤 悟 (秋田高専) 巖見 武裕 (秋田大)
千田 聡明 (秋田大) 松永 俊樹 (秋田大) 島田 洋一 (秋田大)

Daisuke KIKUCHI, NIT, Akita College
Satoru KIZAWA, NIT, Akita College
Takehiro IWAMI, Akita University
Satoaki CHIDA, Akita University
Toshiki MATSUNAGA, Akita University
Yoichi SHIMADA, Akita University

Key Words: Kinect v2, motion capture, motor dysfunction, upper limb rehabilitation, Unity, AR

1. 緒言

脳卒中を起因とする上肢片麻痺患者は、近年の高齢化に伴い増加傾向にあり、上肢の運動機能回復を目的としたリハビリテーション（以下リハビリ）には膨大な訓練時間が必要とする。そのため、リハビリの補助を行うセラピストの負担増加や患者の長期リハビリに対するモチベーション維持が課題である。しかしながら、それらの問題に対する医療分野のリハビリロボットは、大型かつ高価である。そこで、著者らは可搬性が良く机上でもリハビリが可能な卓上型上肢用リハビリロボットを開発した。また、本システムの特徴は、WEBカメラとAR(拡張現実)を用い、ロボットの自己位置を推定しロボットの位置決め制御を行っている。さらに、力覚センサを搭載し見かけの剛性等を可変できるインピーダンス制御も可能である。さらに、リハビリの進展状況を把握するためには上肢の動態解析が必須であるため、Kinect センサによる関節座標を取得する技術を開発した。これにより、上肢の肩、肘、手の位置情報を取得し、各関節角度等の運動学的変数および各関節モーメント等の動力学的変数を算出ができ、リハビリの評価指標をオンラインで把握できる。本稿では、開発した上肢リハビリシステムの概要と Kinect を用いた動態解析の精度検証について報告する。

2. 開発した上肢用リハビリシステム

Fig.1 に上肢リハビリシステムの外観を示す。ソフトウェアはロボットの制御と通信および Fig.2 に示すモニタ画面のグラフィカルユーザインタフェース (GUI)、さらに、リハビリ動態解析の 3 つのタスクに分割して開発した。リハビリの際は、患者はロボットの力覚センサを搭載したグリップを握り、随機的に操作する。駆動はオムニホイールであり、全方向の移動が可能である。リハビリは、患者の前方に設置されたモニタ画面に映し出される目標軌道円をトレースする。同時に AR 技術によりロボットの現在の軌跡もモニタ上に描画される。これにより、目標軌道の差異を認識しながら円軌道のリハビリが可能となる。そして、GUI の開発は Unity を用い、ゲーム性に富んだアプリ開発が可能であり、患者のリハビリに対するモチベーション維持を念頭に設計した。また、Kinect を用いて任意の関節に設置したカラーマーカの座標を解釈し動態解析を行う。Kinect 内蔵の RGB センサにより H(色相)、S(彩度)、V(明度)を状況に合わせ可変しカラーマーカの色情報を取得し、その後、色領域の 2 値化処理を行い、2 次元的に重心位置を算出する。さらに、内蔵の深

度センサで重心位置とカメラの距離を取得できる。以上の手順により、動態解析に必要な 3 次元の関節座標を取得できる。上肢動態解析の評価指標は、運動学的変数として関節角度の可動域、動力学的変数として関節周りに発揮した関節モーメントおよび筋収縮を評価する関節パワーとした。

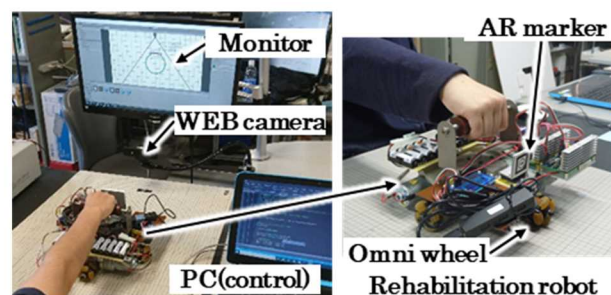


Fig.1 Rehabilitation system

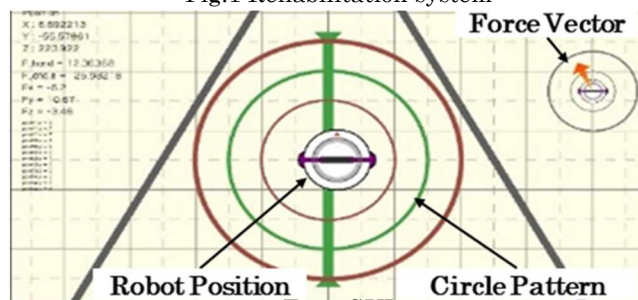


Fig.2 GUI

3. 実験方法

開発した動態解析の精度を検証するために実験を行った。精度検証は人間の運動解析において代表的なモーションキャプチャ VICON を利用した。VICON は誤差 0.1[mm]以下の高精度な計測が可能であり、VICON の計測結果を真値とした。Fig.3 に実験風景を示す。被験者は Kinect 用マーカと VICON 用マーカを右肩、肘、手首、手の甲に貼付し、グリップを保持した状態で、モニタに表示される直径 150[mm]の描円運動を 5 周ワンセットで行う。Kinect は各関節マーカをカメラの視野角に収めるために被験者の側面に設置した。関節角度等の運動学的変数は各関節の位置情報から内積で求められる。また、関節モーメント、関節パワーの動力学的変数は、Fig.4 に示す上肢剛体 3 リンクモデルを用いて逆力学計算に基づき算出した。なお、リハビリ動作は卓上の水平面で行われるため、リンクモデルも水平面に限定して構築した。

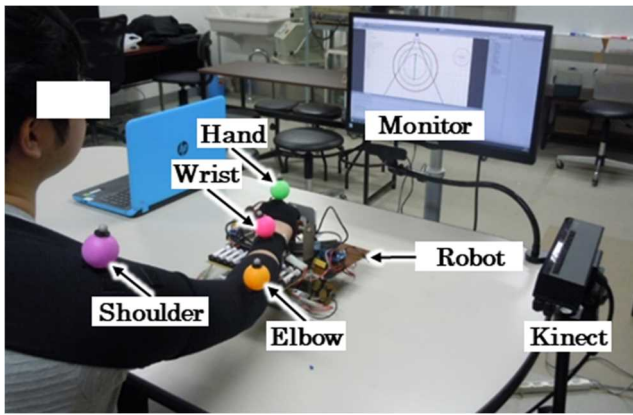


Fig.3 Actual image of the experiment

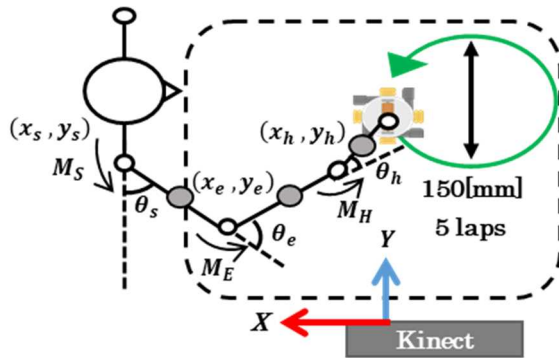


Fig.4 link-model of upper limb

Joint coordinate : (x, y) , Joint angle : θ ,
Joint moment : M

4. 実験結果

描円運動の軌跡を示す一例として，手の甲に貼付したマーカーの XY 座標を比較した結果を Fig. 5 に示す．Kinect の時間分解能は VICON と比較して劣り，移動軌跡は滑らかさに欠けているが，座標のトレース自体は良好である．また，肘関節の各評価値を比較した結果として，関節 X 座標を Fig. 6，関節 Y 座標を Fig. 7，関節角度を Fig. 8，関節モーメントを Fig. 9，関節パワーを Fig. 10 に示す．Table. 1 に，各評価値の計測誤差として平均絶対誤差 (MAE) と二乗平均平方根誤差 (RMSE) を算出した結果を示す．Kinect 計測による各座標値は，VICON の軌跡に良く追従しており，MAE はいずれも 5 [mm] 以内であった．動力学的変量に関して，RMSE やグラフから外れ値が認められる．これはソフトウェア上で Kinect の観測値に平滑化処理を施すことで除去できるのではないかと考えている．外れ値を考慮しても，VICON の計測波形と概ね一致していることが読み取れる．これにより，Kinect センサを用いて開発したシステムは，上肢の動態解析が可能であることを示した．

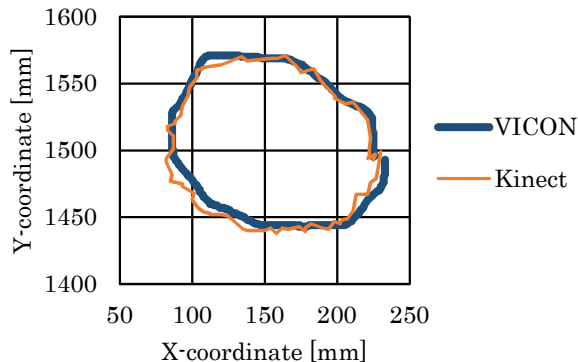


Fig.5 Comparison of hand movement trajectories

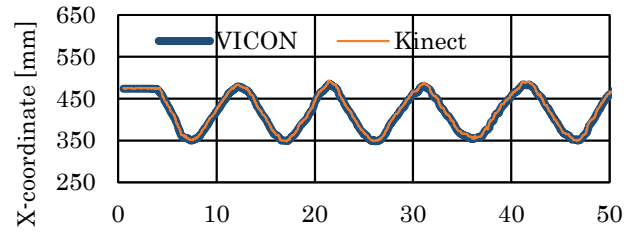


Fig.6 Elbow joint X-coordinate

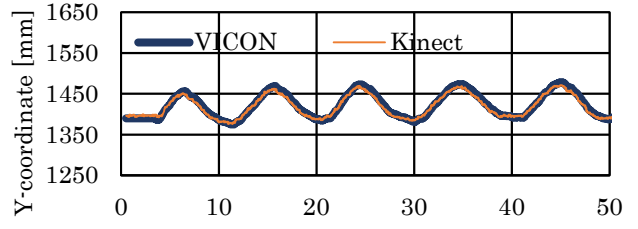


Fig.7 Elbow joint Y-coordinate

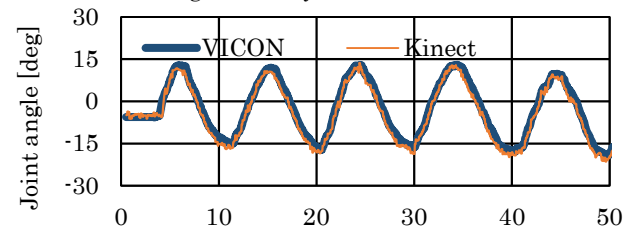


Fig.8 Elbow joint angle

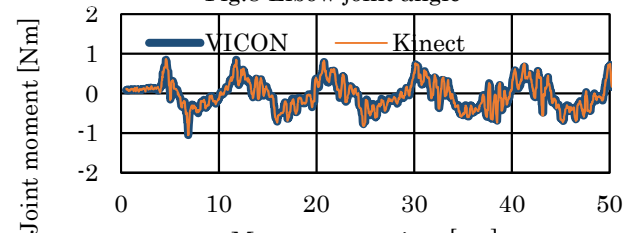


Fig.9 Elbow joint moment

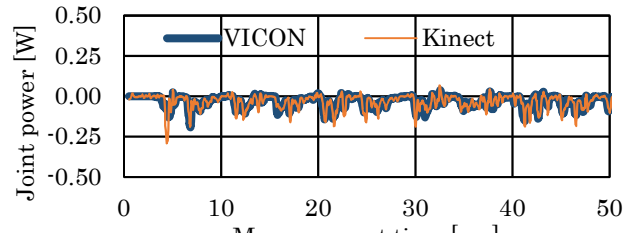


Fig.10 Elbow joint power

Table.1 Measurement error of elbow joint

	MAE	RMSE
X-coordinate [mm]	3.31	3.99
Y-coordinate [mm]	4.91	5.72
Joint angle [deg]	1.46	1.71
Joint moment [Nm]	0.04	0.22
Joint power [W]	0.03	0.21

5. 結言

安価で小型な Kinect センサを組込んで上肢動態解析システムを開発した．リハビリ評価値を，VICON から得られた評価値と精度検証した結果，Kinect は VICON に比べ分解能の面では劣るが，各評価指標を十分追従できていることを確認した．今後は，リハビリにおいて臨床実験を行い，リハビリ効果の評価項目についても検討する必要がある．