

Kinect を用いた上肢リハビリ用動作解析システムの開発

Development of Rehabilitation System for Upper Limbs using Kinect

○学 佐藤 悠斗 (秋田高専)
学 安保 俊彦 (秋田大 (院))

正 木澤 悟 (秋田高専)
正 巖見 武裕 (秋田大)

Yuto SATO, NIT, Akita College
Satoru KIZAWA, NIT, Akita College
Toshihiko ANBO, Akita University
Takehiro IWAMI, Akita University

Key Words : Kinect v2, motion capture, motor dysfunction, upper limb rehabilitation, self-position recognition

1. 緒言

事故, 病気等によって引き起こされる上肢の運動機能障害は, リハビリを行うことによって改善が期待される。上肢リハビリのための機器は多く存在するが, そのほとんどは据え置きの大掛かりなものが多く, 設置場所やコストの面で在宅での利用は困難であった。そこで, 著者らは先行研究として, 持ち運び可能であり, 患者が卓上で手軽にリハビリを行うことができ, かつ安価な上肢リハビリ支援装置の開発を行ってきた。また, リハビリの効果を確認, 評価するためには, 身体の動作解析が必要である。医療福祉分野では, 運動機能の計測, 評価にモーションキャプチャが応用されている。代表的な装置として Crescent 社の VICON があるが, これは非常に高価で, 設置場所も制限される。一方で, Microsoft 社からゲーム機の周辺機器として販売されている Kinect v2 は安価で小型な他, 深度センサやマーカレスでの関節位置推定などの機能を搭載しており, モーションセンサとして様々な分野で応用されている。そこで, 著者らはモーションキャプチャの代替えとして Kinect v2 を上肢リハビリ支援装置へ応用することを検討した。しかし, Kinect v2 に搭載されている関節推定方式は, 著者らの先行研究において測定精度の点で劣り, 汎用性にも欠けることが分かった。そこで, 本研究では, その推定方式の代替えとして, Kinect v2 の深度センサおよび RGB カメラと画像処理を応用し, そして任意位置に設置したマーカを追従させる, より高精度な位置情報の取得が可能なシステムを開発した。また, 開発したシステムを上肢リハビリ支援装置に組み込み, リハビリ動作の解析に利用することも検討した。

2. Kinect v2 を用いた位置情報の取得方法

Kinect は, Microsoft 社が発売する, RGB カメラ, 深度センサ, マイクなどを内蔵し, 人間の骨格を認識する機能も有する多機能センサデバイスである。本研究では Kinect v2 (Fig.2.1) を使用した。Kinect v2 には, センサが人間を認識して捉え, その各関節位置を推定する機能がある。しかし, Kinect v2 の関節推定機能は, 関節が重なった場合に正確に



Fig. 2.1 Kinect v2

認識されない問題が見られた。また, 実際の関節位置には個人差もあるため, 精度や安定性の面で正確な関節位置取得に用いるのは困難であった。そこで本研究では, より高精度な関節位置および任意位置情報の取得のため, Kinect v2 とピンポン玉等を利用した球体カラーマーカを用いる方法を検討した。

Fig.2.2 に Kinect v2 を用いたマーカ位置認識の模式図を示す。Kinect v2 の RGB カメラ画像から, 画像処理ライブラリ OpenCV3 を用い,

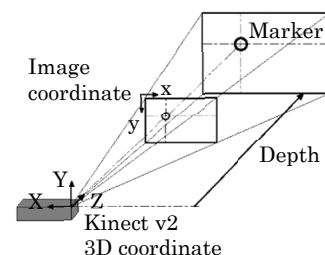


Fig. 2.2 Marker position recognition

マーカの色を識別することによって画像上のマーカの中央の座標(Image coordinate)を取得する。このとき識別する色は, カメラ画像上のマーカの H(色相), S(彩度), V(明度)の 3 値を取得しこれをもとにして任意に決めることができ, その場の測定環境の色や明るさに合わせて使用するマーカの色を取捨選択できる。ただし, 測定点ごとに異なる色を用いる。また, 深度センサによって, 取得したマーカの座標における深度(Depth)を取得する。これらをもとに Kinect v2 を基準としたマーカの 3 次元座標(3D coordinate)を計算する。座標は, PC 上のコンソール画面にリアルタイムで表示, csv ファイルへの記録が可能である。

3. 上肢リハビリ支援装置

Fig.3.1 に開発した上肢リハビリ支援装置の外観を示す。患者は, 卓上に置いた装置本体のグリップを片手で握り, 前面モニタに表示された目標軌道に沿うように腕を動かし装置を操作する。移動機構にはオムニホイールを採用し, 各ホイールのモータをそれぞれ PWM 制御することで, 卓上平面上の全方向への移動を可能としている。また, 各モータに取り付けたエンコーダによって, 回転角情報の取得も可能である。装置本体上部にあるハンドグリップの基部には力覚センサが設置され, 加えられた力を感知する。このセンサ値をフィードバックし, 力の向きに, 力の大きさに比例した速さで駆動するように各モータを制御する。センサは小さな力も感知できるため, 麻痺患者でも随意方向

への十分なリハビリ動作が可能である。リハビリ動作解析のための各位置情報の取得には、開発した Kinect v2 によるシステムを応用した。装置本体、患者の肩、肘、手首関節にマーカーを取り付け、各マーカーを同時に Kinect v2 に認識させ、装置本体および患者の上肢の動きを捉える。また、取得した装置本体の位置情報をもとに、装置本体の現在位置(初期位置からの移動量)をモニタに描画することより、患者は常に目標軌道と現在位置を確認しながら直感的なリハビリを行うことができる。

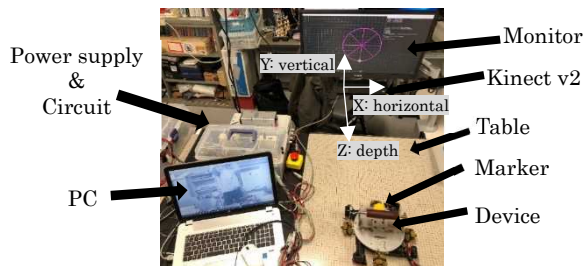


Fig. 3.1 Rehabilitation device

4. 開発したシステムの座標精度検証実験

4.1. 実験方法

開発したシステムの座標取得の精度検証のための実験を行った。VICON は代表的な動作解析装置であり、誤差 1mm 以下の高精度な計測が可能である。そこで、精度の基準として VICON を用いて同時に計測を行った。開発した上肢リハビリ支援装置では、主にリーチング動作によるリハビリを想定している。そこで、実験では、Fig.4.1 に示す、前後 300mm、左右 300mm の 2 種のリーチング動作各 5 往復を測定した。被験者は健康者 1 名とした。また、測定対象の動作速度について検証するため、制御プログラムにより装置に一定の速度を与え自動で動作させ、被験者は腕の動作をそれに従わせるものとした。速度は 50[mm/s] を基準とし、その 1 倍、2 倍、3 倍の 3 段階を測定条件とした。また、マーカーのサイズについて検証するため、 $\Phi 40$ 、 $\Phi 30$ 、 $\Phi 20$ の 3 種類の球体カラーマーカーを用いて、これらを測定条件とした。計測箇所は、Fig.4.2 に示すように、装置本体、左肩、左肘、左手首の計 4 箇所とし、それぞれに球体カラーマーカーを設置し、さらに、VICON 用の赤外線反射マーカーを各マーカーの上部に設置した。VICON での計測値を真値として扱い、Kinect v2 での計測誤差を求めることで精度検証を行った。なお、両者で測定周期が異なるため、Kinect v2 の測定周期に合わせ、VICON のデータを測定後に改めてサンプリングした。また、計測時に座標の原点や測定点、開始時間を両者で完全には一致できずズレが生じるため、両者で得たそれぞれの座標の波形を重ね合わせた上で比較検討した。

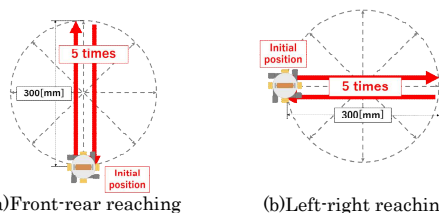


Fig. 4.1 Motions for measurement and analysis

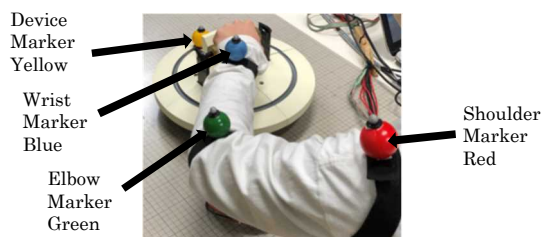


Fig. 4.2 Marker position

4.2 実験結果

計測結果の一例として、 $\Phi 40$ 、1 倍速、前後リーチングにおける装置本体の Z 座標の計測結果を Fig.4.3 に示す。VICON と Kinect とで座標軌道がよく一致していることが確認できる。また、1 倍速、前後リーチングにおける各取得座標の平均誤差および誤差の標準偏差のマーカーサイズによる比較を Fig.4.4~4.6 に示す。前後リーチングは平面上の運動であるため、各 Y 座標の変化、誤差は小さかった。 $\Phi 40$ 、手首の X 座標の誤差が特に大きくなっているが、これは手首の曲げにより手首のマーカーが遮蔽され正しく認識できなくなることによるものと考えられる。また、マーカーサイズが小さいほど、各点の Z 座標の誤差の標準偏差が大きい傾向があるが、X、Y 座標についてはマーカーサイズによる差は少ないことがわかる。このことから、マーカーサイズを小さくすると、マーカーの色認識への影響は少ないが、深度センサによる計測の誤差が大きくなりやすいといえる。しかし、 $\Phi 20$ においても誤差の標準偏差は 5~10[mm] 程度であり、開発したシステムは上肢リハビリ支援装置を用いたリハビリ動作を十分な精度で捉えることができると考えられる。

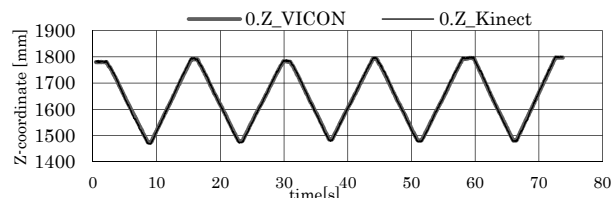


Fig. 4.3 One example of measurement result

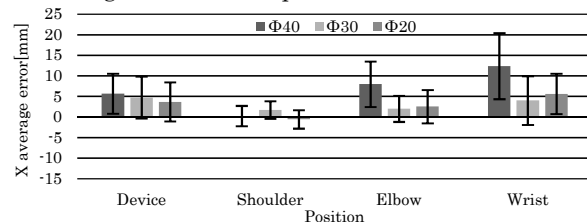


Fig. 4.4 Average error & standard deviation of X

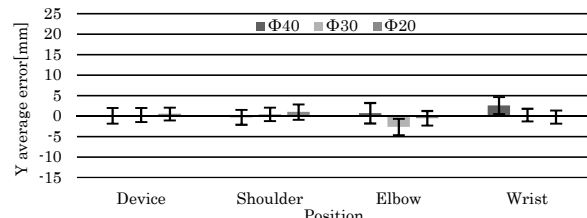


Fig. 4.5 Average error & standard deviation of Y

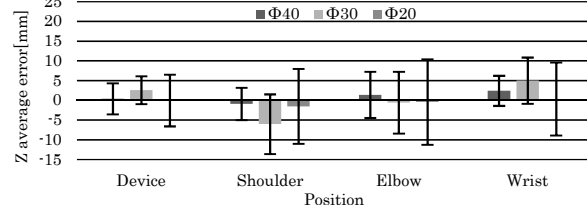


Fig. 4.6 Average error & standard deviation of Z

5. 結言

本研究では、Kinect v2 によるモーションキャプチャシステムを開発し、上肢リハビリ支援装置へ応用することを検討した。任意位置に設置した任意色の球体マーカーを追従させることで位置取得を行った。開発したシステムの精度検証実験により、リハビリ装置に応用するのに十分な精度の位置情報が得られることが確認できた。また、球体マーカーのサイズダウンを行った。今後はマーカーの遮蔽の対策、Kinect v2 の最適な設置位置、角度について、測定可能な速度や測定点数の限界についての検証を行っていきたい。