

運動動作解析システムの構築とその応用

藤 賢一朗^{a)} · 田村 宏樹^{b)} · 淡野 公一^{c)} · 外山 貴子^{d)} · 帖佐 悦男^{e)}

Development of Motion Analysis System and its Applications

Kenichiro FUJI, Hiroki TAMURA, Koichi TANNO, Takako TOYAMA, Etsuo CHOSA

Abstract

The term biological motion is often used by researchers studying the patterns of movement generated by living forms and sport forms. We study the pattern recognition system of motion using the biological motion data. Biological motion data are acquired using 3D motion capture system. However, the system needs marker and mounting is load. In this paper, the biological motion capture system was built using kinect sensor. Our proposed system can be obtained easily the position of the main joint position. We tested our proposed system in the pattern recognition of the tennis form and locomotion and its evaluations.

Keywords: Kinect sensor, Locomotion

1. はじめに

近年、スポーツや医療・福祉分野における特定の動作の解析をはじめ、映画、アニメーション、ゲームなどエンターテインメントにおける表現、演出効果など様々な分野で人間の動作情報を必要とする機会が多くなってきた。しかし、人の動作を評価する場合、評価する人の主観によるところが大きくあいまいである。そこで、人のさまざまな動作をデジタル的に解析するためにモーションキャプチャシステムが用いられる。モーションキャプチャシステムとは、人の主要関節位置にマーカを装着し、各マーカの動作を位置情報や加速度情報などにリアルタイムに変換し、コンピュータに取り込むシステムである。モーションキャプチャシステムはさまざまな方式があり、それぞれ特徴がある。以下に実際に行ったシステム方式について示す。また、それらの特性をまとめた表を表1に示す。

- 光学式モーションキャプチャシステム

被験者の主要関節位置にマーカを取り付け、複数のカメラでマーカを撮影することで動作の取得を行う。高精度であり、また、マーカの装着時の負荷が小さいといった利点がある。しかし、高価であり、また、カメラの死角になる位置や

動作によってマーカが隠れる場合、精度が著しく低下する欠点がある。

- 慣性式モーションキャプチャシステム

小型の加速度センサやジャイロセンサをマーカとして用いて、被験者の角速度や加速度を測定する。センサの小型化、軽量化が進んでおり、被験者への負担は小さいものとなっている。また、手軽であるため、環境に依存しない測定が可能である。一方で、センサのサンプリングレートや測定レンジによって精度が低下する可能性がある。

- kinect を用いたモーションキャプチャシステム

kinect センサで被験者を撮影することにより動作の取得を行う。kinect センサはカメラ、赤外線カメラを搭載しており、マーカレスで人の骨格情報を検出することができる。そのため、システムが容易で安価に構築することができる。しかし、サンプリング周波数が 30Hz と低く、光学式モーションキャプチャシステムと同様に体のひねりなどがあつた場合精度が低下することがあるため、激しいスポーツなどの運動用には不向きである。また、屋外で使用することはできない。

モーションキャプチャシステムはさまざまな分野に応用されている。モーションキャプチャシステムを用いることにより、医療工学分野ではリハビリやロコモの診断などの際、健常者との差異を分析する

^{a)}電気電子工学専攻大学院生

^{b)}電気電子工学科准教授

^{c)}電気電子工学科教授

^{d)}技術職員

^{e)}宮崎大学医学部整形外科教授

表1 モーションキャプチャシステムの特徴

system	accuracy	outdoor use	Equipment for user
optical	○	×	Marker
acceleration	○	○	Miniaturized sensors
kinect	△	×	Nothing

ことで役立てられることが期待できる。ここでロコモとは、運動器の障害のために要支援、介護となる危険性の高い状態のことで、これは健康寿命の短縮、ねたきりや要介護状態の3大因子ともいわれている¹⁾。要支援、介護とならないためには、予防、早期発見、早期治療が重要である。そのために、簡易的な診断方法としてロコモチェックと呼ばれる診断が行われている。診断方法は、日本整形外科学会で定められた機能評価基準に基づいて日常生活における自立度判定や運動機能の評価が行われている。ただ、この評価基準のなかには経験則で定められたあいまいな評価も多く、現在もロコモチェックのルール改正が行われているのが現状である。そのため、ロコモチェックを数値的に解析し、評価することが重要となり、動作データを取得するための手法として、モーションキャプチャシステムが用いられる。ここで、医療工学分野のシステムの用途では、素早い動作を対象にしておらず、高精度なデータ取得は必要ではない。それよりは、装着負荷が小さく、システムが簡易的なもののほうがよい。そのため、表1より、マーカレスで簡易的に構築できる kinect センサを用いたモーションキャプチャシステムが適している。

そこで本研究は、医療工学用途であるロコモチェックで使用することを想定し、kinect センサを用いたモーションキャプチャシステムを構築した。だが、動作取得において kinect センサは高精度であるとはいえない。そこで、kinect センサのシステムの有用性の検討を行った。そして、歩行動作の対象動作として、kinect センサのシステムからバイオリジカルモーションデータを取得できることを確認した。

2. バイオリジカルモーションの計測方法

本章では、モーションキャプチャシステムでのバイオリジカルモーションの計測方法について述べる。1章で述べたように、本実験では kinect センサのシステムを採用しているため、このシステムに重点を置いて述べる。なお、これ以外に光学式モーションキャプチャシステム vicon(インターリハ株式会社)を

用いて測定を行ったのでここで述べておく。しかし、高精度である反面、環境に依存し、動作によってマーカ隠れが発生する恐れがあったため今回は採用しなかった。

2.1 kinect センサによる計測方法

本節では、kinect センサを用いたシステムによる計測方法について述べる。本システムは、被験者の動きを kinect センサ((株)Microsoft)で捉えることでデータ取得をしている。kinect センサの写真を図1に示す。kinect センサとは、ジェスチャーを行うことにより操作を行うことができるゲームシステムのことで、RGBカメラ、赤外線センサ、マルチアレイマイクロフォンを搭載している³⁾。データの計測方法については、被験者全体が写るように kinect センサを設置し、RGBカメラ、赤外線カメラで被験者の主要関節位置を投影することによって位置情報(x, y, z軸)を取得している。kinect センサは一般的なモーションキャプチャシステムと違い、被験者との奥行きを検出し骨格情報を算出することができるため、マーカレスで構築することができる。骨格情報を取得する様子を図2に示す。図2のように、両肘を直角に曲げたポーズをとることによりカメラから映像を解析し、骨格情報をトラッキングすることができる。

2.2 vicon による計測方法

本節では、vicon を用いたシステムによる計測方法について述べる。本システムは、被験者に赤外線マーカを装着し、被験者の動作を赤外線カメラを搭載した vicon(インターリハ株式会社)を用いてデータ取得を行っている。赤外線カメラ(インターリハ株式会社, MX-T)の特徴として、サンプリング周波数は1000Hzである⁴⁾。計測方法としては、被験者の主要関節部位に赤外線マーカを装着し、このマーカの動きを複数台の赤外線カメラで追跡することによりデータ取得をしている。得られるデータは3軸(x, y, z軸)の位置情報の他、関節角度や関節モーメント、筋張力などさまざまな情報をリアルタイムに計測できる。例として、大きく足踏み動作をした場合の右肩のz軸データを図3に示す。図3のピークがでている部分が腕を大きく振っているときである。

3. 先行研究

本章では、ロコモに関する先行研究²⁾について述べる。先行研究では、歩行動作を対象としたロコモ

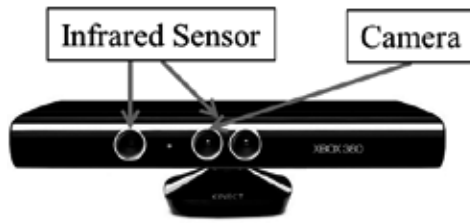


図1 kinect センサ



図2 kinect センサによる骨格情報の取得

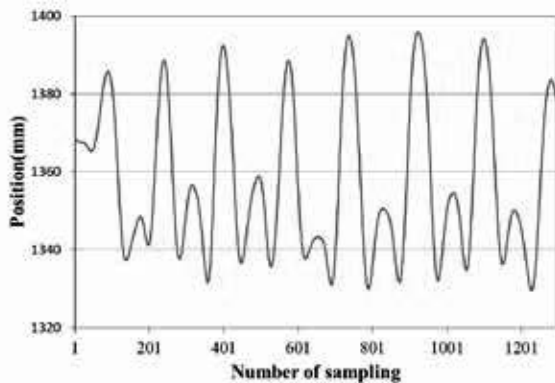


図3 vicon による右肩のz軸の位置情報

の研究が行われている。ここでロコモ(ロコモティブシンドローム)とは、運動器の障害により要介護になるリスクの高い状態にあることである。先行研究では、ロコモ教室(専門医によるロコモ予防、改善を目指した活動)参加者の歩行動作を分析することで、ロコモ教室参加者の歩行状態を調査している。被験者について、ロコモ教室参加者は 60.3 ± 5.8 歳の女性6名、健常者は 30.3 ± 8.1 歳の女性6名であり、ロコモ教室参加者は腰痛や膝痛などの病気を患っている。計測方法として、被験者の歩行動作におけるバイオロジカルモーションデータは光学式モーションキャプチャシステム vicon Nexus(vicon 社)、床反力装置 (AMTI 社) を用いて取得する。分析に使用する

特徴量は、右足の歩行パラメータ (cadence, single support, stride length, speed), 下肢の各関節角度 (矢状面), 関節モーメント (矢状面) である。歩行分析をした結果として、歩行中の立脚期において、健常者に比べ膝関節角度やモーメントの低下および足関節の角度の低下がみられ、その要因として下肢筋力の低下が考えられることが報告されている。そのため、ロコモトレーニングを継続して行うことで下肢筋力の維持、向上を図ることが重要であるということが述べられている。

4. kinect センサを用いたシステムの有用性の検討

kinect センサの特徴はマーカレスで構築できることだが、加速度センサに比べサンプリング周波数が 30Hz と小さく、データ欠損などの要因で精度が低下する可能性がある。そこで本章では、他のシステムと kinect センサのシステムを比較することで、kinect センサを用いたシステムの有用性の検討を行った。具体的には、光学式モーションキャプチャシステム vicon、文献⁵⁾で報告されている加速度センサを用いたシステムとの比較、検討を行う。

4.1 vicon との比較

まず、光学式モーションキャプチャシステム vicon との比較を行った。動作として、大きくその場で足踏みする動作を対象とした。実験風景の様子を図4に示す。実験条件・環境として、図4のように被験者に vicon 指定の赤外線マーカを装着し、kinect センサと vicon とで同時に撮影を行う。なお、データの取得開始は kinect センサと vicon とで同時に行うものとする。ここで、実際に足踏み動作を行ったときの vicon によって得られた手首のz軸情報を図5、kinect センサによって得られたものを図6に示す。図5、図6を比較すると、大まかな概形は同じだが、kinect センサでは細部の特徴量が捉えきれないことがわかる。その要因としてサンプリング周波数が小さいことが挙げられるが、この他の差異の要因としては実験環境が関係してくる。その理由として、これらのシステムの特徴量はセンサを基準にした位置情報であるため、kinect センサと vicon のカメラの位置がほぼ同じ位置に置かれていないと正しく比較することができないためである。そのため、kinect センサの有用性を検討するために vicon を使用することは適していないと考え、次節に示す比較方法で検討を行った。



図4 vicon, kinect システムの実験風景



図7 実験風景

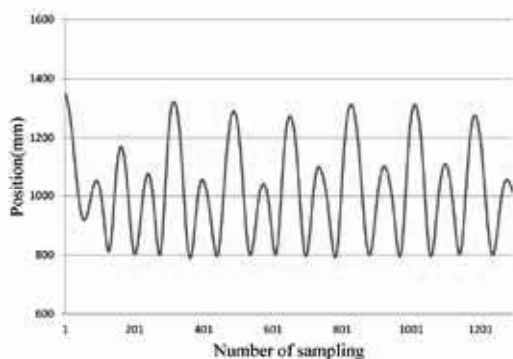


図5 vicon による手首の z 軸の位置情報

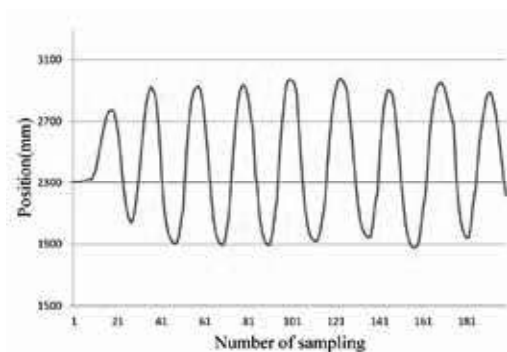


図6 kinect センサによる手首の z 軸の位置情報

4.2 加速度センサのシステムとの比較

本節では文献⁵⁾の加速度センサのシステムとの比較について述べる。文献⁵⁾では、テニススイングを対象動作として、加速度センサのシステムによりテニス経験者、未経験者のスイングデータを取得し、Loocv(Leave-one-out-cross validation)法を用いた重回帰分析により相関関係を評価している。ここでは、文献⁵⁾と同様の解析を kinect センサのシステムについても行い、検討する。次節に実験の詳細を示す。

4.3 実験条件

被験者はテニス経験者5名、未経験者5名の計10名とし、フォアハンドストロークを5回分取得する。動作を行う場所は直射日光の当たらない室内で行う。このとき、ビデオカメラで動作の様子を撮影し、明らかに不自然なスイングは除外するものとする。図7に実験風景の写真を示す。図7は、被験者がテニススイングをしているところを kinect センサで撮影している様子である。図7のように、kinect センサは被験者の全身が写るように設置している。ここで、今回はテニスラケットを持たずにテニススイングをしている。その理由は、kinect センサがテニスラケットを腕の一部として捉えてトラッキングしてしまうためである。ただし、実際にテニススイングをするときと同様のフォームでスイングしてもらうために、被験者にはボールを実際に打つような意識を持ってテニススイングをするよう指示している。例として、kinect センサのシステムで得られた被験者 Y.Y の手首の位置情報 (x,y,z) のグラフを図8に示す。横軸はサンプリング数、縦軸は位置情報である。図8では、ピーク近くまで変化している箇所が1スイングを示しており、5スイング分のデータを取得できていることがわかる。なお、被験者は健常な20代男性10名とする。

4.4 解析手順

解析に用いる特徴量は、文献⁵⁾で述べられている利き腕の手首、肘、肩の連動性(手首、肘の平均値、手首、肩の標準偏差)とする。ただし、kinect センサによって得られるデータは位置情報であるため、位置情報を加速度情報に変換して解析に用いる。解析は、加速度センサの重回帰分析結果を教師データとして用いる。そして、その結果から kinect センサのシス

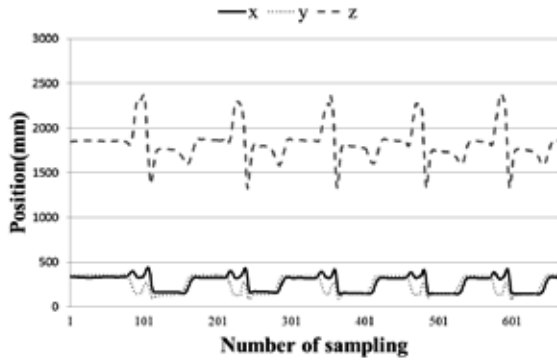


図 8 Kinect センサによる手首 x, y, z 軸の位置情報

テムから得られた特徴量の推定を行うことで、加速度センサのシステムと Kinect センサのシステムの比較を行う。

4.5 解析結果

本節では、前節の解析手順によって得られた Loocv 法による重回帰分析結果を示す。加速度センサの重回帰分析結果のパラメータを用いて Kinect センサから得た特徴量を解析した結果のグラフを図 9 に示す。横軸はテニス経験年数、縦軸は重回帰分析によって得られた推定値である。図 9 について、相関係数 R^2 の値が 0.659 という結果より、Kinect センサにも相関関係があることがわかる。加速度センサのシステムと比較してみると、Kinect センサのシステムで得られたグラフは加速度センサのシステムで得られた解析のグラフより全体的に縦軸方向にシフトしている傾向がみられた。この傾向を考慮すれば、加速度センサのシステムと似たような結果が得られることが期待できる。

また、図 10 に Kinect センサのシステムで得られたデータのみを用いて Loocv 法による重回帰分析を行った結果のグラフを示す。図 10 より、加速度センサのシステムに比べると相関係数 R^2 は 0.482 という低い値になった。そこで、テニス経験者の下界値で境界線を引くことで識別した一人のイレギュラーな被験者を除いて再検討を行った。イレギュラーな被験者を除いた場合の結果の相関係数 R^2 は 0.776 という結果となり、イレギュラーな被験者を除いた場合は高い相関関係があると判断できる。Kinect センサのシステムは簡易的な扱いを目的としているため、得られた解析結果が高精度でなくても、ある程度のクラス分類ができれば構わないと考える。本節で示した実験結果より、著者らは Kinect センサを用いた

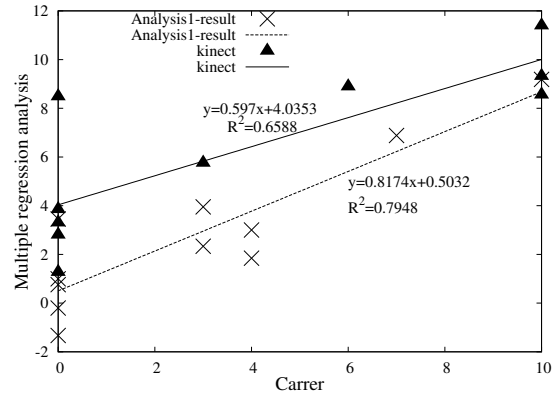


図 9 加速度センサの重回帰パラメータを用いた Kinect センサの重回帰分析結果

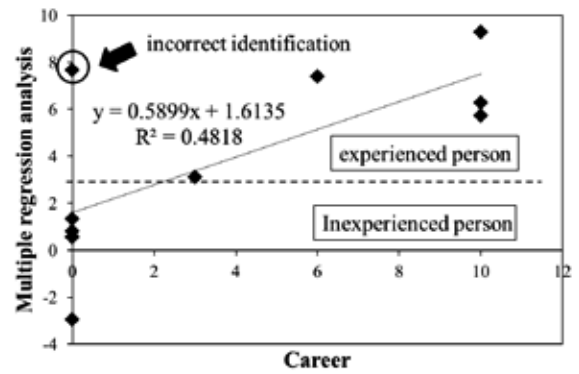


図 10 Loocv 法による重回帰分析結果 (Kinect センサ)

システムに有用性があると判断した。

5. Kinect センサによる歩行動作の取得

本章では、歩行動作のデータ取得について述べる。本研究では、3章で述べた先行研究²⁾と同様に、歩行 1 歩分の足関節の角度を Kinect センサから取得し、取得したデータを比較することで評価を行った。実験環境は、室内で、センサに対して垂直方向に歩行するものとする。以下に計測、評価手法を示す。なお、被験者は健常者 Y.S, H.T の 2 名とする。

1. Kinect センサで測定できる範囲で被験者に歩行動作を行ってもらい、足首、膝の 3 軸の位置情報 (x,y,z) を取得する。
2. 取得した位置情報から 1 歩分のデータを切り出し、図 11 に表す足関節角度を式 (1) から算出する。
3. 歩行のピークを揃えるために DP マッチングを

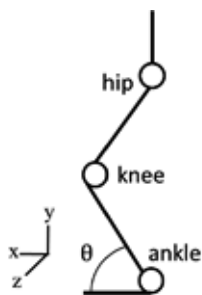


図 11 足関節角度

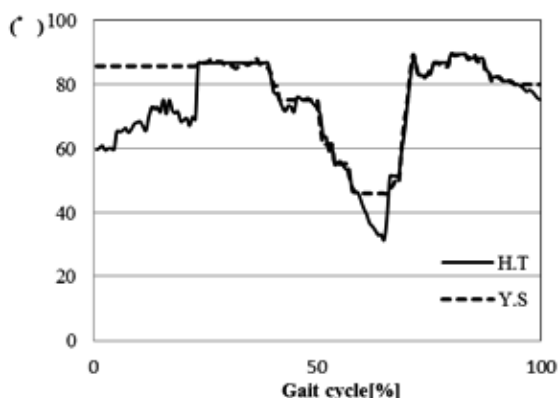


図 12 歩行中の足関節角度

用いて被験者どうしを比較する.

$$\theta = \cos^{-1} \frac{X}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \quad (1)$$

- θ [deg] : 足関節角度
- X, Y [mm] : X, Y 軸方向の足首, 膝間距離

5.1 実験結果

本項では, kinect センサより得られた歩行1歩分の足関節角度の結果について述べる. 被験者 Y.S., H.T の足関節角度の比較結果を図 12 に示す. 図 12 より, 2 名の足各節角度には類似した波形がみられることがわかる. また, 先行研究²⁾ の vicon により得られた歩行中の足関節角度と比較したところ, 似たような波形が得られた. よって, 波形のピークの差異を比較することで, vicon と同様にロコモ患者との差異を抽出できるのではないかと考えられる.

6. おわりに

本研究では, 医療工学用途であるロコモチェックで使用することを想定し, マーカレスで簡易的に構築

できる kinect センサを用いたモーションキャプチャシステムを構築した. kinect センサはサンプリング周波数が低いためデータ取得において欠損が生じる場合がある. そのため, kinect センサのシステムを加速度センサのシステムと比較したところ, 解析結果より kinect センサに有用性があることが確認できた. また, kinect センサのシステムを用いて歩行動作のデータ取得を行った. その結果, 足各節角度において健常者には類似した特徴が得られた. 得られた波形のピークの差異を比較することで, vicon と同様にロコモ患者との差異を抽出できるのではないかと考えられる. 今後は, ロコモ患者のデータとの比較を行い, 解析, 評価を行うことができるシステムを構築していく予定である.

参考文献

- 1) ロコモティブ症候群, <http://www.jcoa.gr.jp/locomo/teigi.html> (アクセス 2012 年 2 月)
- 2) 河原勝博, 帖佐悦男, 鳥取部光司, “ロコモ参加者の歩行分析”, スポーツメディカル構想推進の取組み紹介, <http://www.kenspo.jp/modules/contents1>
- 3) Kinect OpenNI のサンプルプログラムを動かしてみる, <http://www.m-tea.info/2010/12/kinect-openni.html> (アクセス 2012 年 2 月)
- 4) VICON, <http://www.irc-web.co.jp/> (アクセス 2012 年 2 月)
- 5) 藤賢一朗, 前田貴哉, 田村宏樹, 外山貴子, 淡野公一, “加速度センサを用いた室外用スポーツ動作解析システムの構築とその応用”, 火の国情報シンポジウム, 2010