

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 22 日現在

機関番号：82723

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K21498

研究課題名(和文)上半身の運動情報に基づいた歩行/走行運動評価・指導システムの開発

研究課題名(英文) Research and development of a gait evaluation system based on an upper body behavior

研究代表者

本城 豊之 (Honjo, Toyoyuki)

防衛大学校(総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工・システム工学群・助教)

研究者番号：20710643

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、人間の二足歩行運動時の全身の挙動を複数の慣性センサによって計測し、上下半身の運動状態を倒立振り子の数理モデルとして扱うことで定量評価を可能とする評価システムの開発を行った。これらを実現するために、複数の慣性センサによる運動状態の計測システムの構築、少ないセンサ数で評価を行うための省センサ化のためのセンサ計測部位の違いが評価値に与える影響の解析、歩行環境の異なる平地、トレッドミル上での人間の二足歩行計測実験を実施した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we developed a wearable system for gait evaluation with MEMS inertia sensors. Human model was treated as a rigid segments model and a virtual inverted double pendulum model. Gait was evaluated using this pendulum model behavior. We developed a measurement system with MEMS inertia sensors, investigated the effect of excluding body segments to reduce the number of sensors, and analysed human gaits on the level floor and treadmill.

研究分野：バイオメカニクス

キーワード：二足歩行 動作解析 慣性センサ

1. 研究開始当初の背景

二足歩行運動は人間の基本的な日常動作の一つである。高齢社会を迎えている今日において、歩行能力の維持・向上は寝たきりといった生活の質(Quality of Life: QOL)の低下を予防するためにも重要な課題である。また、ウォーキングは手軽に行えるエクササイズとして人気があり、近年の健康志向から幅広い層の方が日常的に実施している。しかしながら、二足歩行運動における歩き方に対する定量的な評価項目・指標は少なく、力学的、生理学的に有効な評価基準・指標の確立が必要である。また、光学式モーションキャプチャシステムを用いた実験室内での運動計測・解析が進んでいるが、日常的な運動を簡便に評価するためには、近年普及している小型で軽量のワイヤレス慣性センサ等のウェアラブルな計測機器と、タブレットPCやスマートフォンなどのポータブルな処理装置を利用したウェアラブル動作計測・評価システムの開発が必要である。

2. 研究の目的

過去の研究から、図1に示すような歩行中の上半身の重心運動から構成される仮想的な重心二重倒立振子モデルの姿勢が歩行速度に影響していることが分かっている(Honjo et al., 2013)。また、人間はエネルギー効率の良い歩行速度を選択していることから、歩行速度と効率性は深く関係している。このことから、歩行時の運動を二重倒立振子系から評価することを提案し、二重倒立振子系の計算に必要な運動情報を計測可能なウェアラブル評価システムを開発する、「上半身の運動情報に基づいた歩行/走行運動評価・指導システムの開発」を本研究の目的とした。

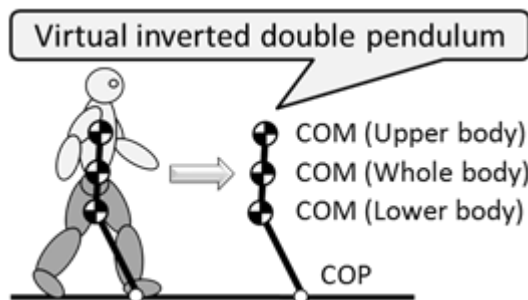


図1. 人体と重心二重倒立振子モデル

3. 研究の方法

二足歩行運動の定量的評価のための評価指標として、上述のように、Honjoら(2013)が示した人間の上半身と下半身の各重心位置から仮想的な二重倒立振子系を構築し、こ

の二重倒立振子系の姿勢角度に基づいて評価することを提案した。そのため、人体をヒューマノイドロボットのような13の剛体セグメントモデルで表し、各セグメントの重心位置等を人体の慣性パラメータデータを利用することで算出可能とした。

(1) 慣性センサによる運動計測システム

ウェアラブルかつワイヤレスな慣性センサ(加速度センサ、ジャイロセンサ、地磁気センサを内蔵、図2参照)を使用し、この慣性センサを装着した身体の1つの部位(セグメント)の運動を計測する。慣性センサをセグメント毎に全身に配置し、複数のセンサからの情報と人体を表した力学モデル(剛体セグメントモデル)から各セグメントの現在の位置姿勢を算出する。個々の慣性センサへの指令の送信や計測値の受信、センサ情報の同期、運動状態の算出のためのプログラミングにはMATLABとC/C++言語を使用した。

(2) 開発システムの省センサ化のための計測部位による評価値への影響解析

複雑な人体の運動を詳細に評価するためにはできる限り多くの身体部位の状態を多数のセンサ類を使用して計測することが必要となる。しかし、多数のセンサを同時に使用することは、データ通信や計算にかかる時間の増加、計測サンプリングレートの低下を招き、日常的な利用の簡便さを妨げるため、できる限り少ないセンサ数による運動評価が可能であることが望ましい。そのため、全身を計測した場合に近い結果となるより少ない計測状況とはどのようなものであるかを計算に使用するセグメントの組み合わせから数値的に解析した。



図2. ウェアラブル慣性センサ

4. 研究成果

(1) ロボット工学の知見を利用して、複数の慣性センサによって計測した身体の各セグメントの情報を基に、ヒューマノイドロボットのような剛体セグメントモデルで表された人体の運動計測システムの開発を行っ

た。開発したウェアラブル計測システムは、計測に使用するセンサ数や各センサの配置箇所、サンプリングレートや計測時間等を計測前に任意に変更可能であり、使用状況に応じて柔軟に調整される。計測結果は、計測中の状況をリアルタイムにアニメーションで描画することが可能であるため、センサ計測値による現在の状態を視認することができ、これによって計測中のミスや不具合を認識することができる。測定データに関しては、処理前の各センサのオリジナルデータや計算後の各セグメントの状態などを個別に出力可能であり、測定時の慣性センサの状態や設定なども記録・保存しているため、リアルタイムの評価のみならず、計測後のオフラインの解析等にも対応可能である。複数の慣性センサの利用にあたって、センサフェュージョンによるフィルタリングを実装し、センサの計測値に含まれるノイズやドリフトの補正を行った。

また、Bluetooth による無線通信においては、同時に使用する慣性センサの数とサンプリングレートによって計測データの欠損等が発生するため、複数回の計測実験を通じて、計測データの欠損が生じない使用センサ数と最大サンプリングレートの関係性の評価等も行った。

(2) これまでの研究では、光学式モーションキャプチャシステムを使用して人体の運動を計測する際は、図3に示すように、人体を13のセグメントで表現していたため、ウェアラブルシステムにおいて同様に行う場合13の慣性センサを必要とする。そのため、省センサ化のために、四肢のセグメント情報の一部を計算から除外した場合の評価値を求め、13セグメントから算出した評価値と比較した結果、図4に示すように、約半数の7か所のセグメントからの計算においても平均誤差が0.5[deg]以下になることを確かめた。今回の解析では四肢のセグメントは左右を1組として同時に計算から除外するかどうかを検討したため、今後は左右の対称性等を仮定し、どちらかのセグメントの計測結果から他方の運動を推定する等の補正を行うことで、更なる省センサ化が期待できる。このような計測するセグメントのプライオリティを調査することは、実際のシステムの利用のために有用であると考えられる。

(3) 人間はエネルギー効率の良い歩行速度を選択していることから、歩行速度と効率性が深く関係している。二重倒立振子系の姿勢角度における評価でも、光学式モーションキャプチャシステムを利用した平地における歩行計測実験から、姿勢角度は歩幅とは関係

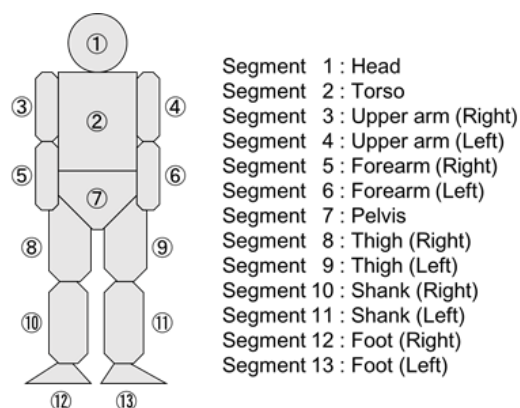
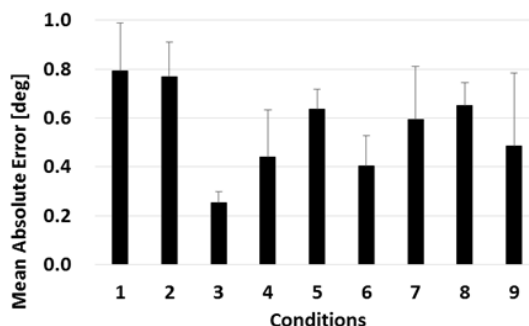


図3. 13のセグメントによる人体を模した剛体セグメントモデル

	Upper Body Segments				Lower Body Segments				Number of segments
	Head	Torso	Upper arm (Right & Left)	Forearm (Right & Left)	Pelvis	Thigh (Right & Left)	Shank (Right & Left)	Foot (Right & Left)	
Condition 1	○	○		○	○			○	7
Condition 2	○	○		○	○	○			7
Condition 3	○	○		○	○	○		○	9
Condition 4	○	○	○		○		○		7
Condition 5	○	○	○		○	○			7
Condition 6	○	○	○		○	○	○		9
Condition 7	○	○			○		○		5
Condition 8	○	○			○	○			5
Condition 9	○	○			○	○	○		7

(a) 計算に使用したセグメントの組合せ



(b) 13セグメントからの評価値と計算に使用したセグメントの組合せによる評価値との平均誤差

図4. 計算に使用するセグメント数の影響による評価値の変化

がなく、歩行速度によって変化することが示された。しかし、これはモーションキャプチャシステムのためのカメラを配置した測定室内を自由に移動した場合の結果であり、ベルト駆動のトレッドミル上での歩行においては平地歩行で確認されていた二重倒立振子系の挙動とは異なる挙動が検出された。そのため、平地を自由に歩く場合とベルト駆動のトレッドミルによる場合の歩行環境の違いが二足歩行運動に与える影響に関して検討する必要性が確認された。そこで、速度を規定して同一被験者において

歩行運動中、通常の歩行の様に重心が空間内を移動する場合と、ルームランナー上での歩行の様にその場にとどまる場合の歩行運動を比較し、歩行環境が異なる状況における上半身と下半身の協調関係を分析するための歩行計測実験を行った。

これらの研究結果は、今後ますます発展していくことが期待されるウェアラブルな人体の運動計測・評価システムの開発に寄与するものと考えられる。

<引用文献>

- [1] Honjo. T, Nagano. A, and Luo. Z.W, Parametrically excited inverted double pendulum and efficient bipedal walking with an upper body, *Robotica*, Vol. 31, No. 6, 2013, 875-886

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計2件)

1. Honjo. T, Fujimoto.M, and Isaka.T, A bipedal walking simulation using an inverted double pendulum model with a reduced number of body segments, *International Society for Posture and Gait Research World Congress 2017*, 2017
2. Honjo. T, Tanaka.T, Fujimoto.M, and Isaka.T, Effect of step length on upper body dynamics using an inverted double pendulum model, *International Society for Posture and Gait Research World Congress 2015*, 2015

6. 研究組織

(1) 研究代表者

本城 豊之 (HONJO, Toyoyuki)
防衛大学校・システム工学群・助教
研究者番号：20710643