



歩行運動の移動型計測手法に関する研究

Mobile Motion Capture Method for Walking Person

湯浅雄介¹⁾, 田村秀貴¹⁾, ヤェム ヴィボル¹⁾, 雨宮智浩²⁾, 北崎充晃³⁾, 池井 寧¹⁾

Yusuke YUASA, Hideki TAMURA, Vibol YEM, Tomohiro AMEMIYA, Michiteru KITAZAKI, Yasushi IKEI

1) 首都大学東京 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6, yuasa-yusuke@ed.tmu.ac.jp)

2) 東京大学大学院 (〒113-8654 東京都文京区本郷 7 丁目 3-1, amemiya@vr.u-tokyo.ac.jp)

3) 豊橋技術科学大学 (〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1, mich@cs.tut.ac.jp)

概要: 本研究では, 他者の経験の共有を目的とした追体験システムのために, 移動型身体運動計測システムを開発している. 本システムは, 移動機に光学式身体運動計測器, 計測器姿勢を補正する床面測定・車体姿勢測定器を搭載し, 歩行者に追従しながらマーカ位置を計測する. 本稿では, 屋外を歩行する人の足位置を平坦路, 傾斜路の 2 条件について計測した結果を示す.

キーワード: 歩行運動, 追従計測, Segway, 足運動軌道, 追体験

1. 序論

実世界空間での他人の体験を再現できれば, 多様な空間情報と身体的スキルを共有し学習すること, あるいは娯楽として旅行の体験を共有するなどの応用が期待できる. 実世界空間での体験の基礎となる歩行は, 通常, 広い空間の移動を可能とする. その共有のためには, 歩行移動する人に追従しながらその身体運動を計測[1]する必要がある. 現在のモーションキャプチャ装置の多くは, 小さい固定空間で高精度計測を行う構成で, 広範囲の運動に適用できない.

本研究では, 屋外での歩行者に追従しつつ身体運動を計測するシステムを開発した. 本システムは, 光学式運動計測器 (OptiTrack), 深度センサ (RealSense), 9 軸センサを電動移動機 (Segway) に装備することにより, 屋外を移動する歩行者を追跡して身体運動を計測する構成である. 通常は固定して用いる OptiTrack が Segway とともに移動するため, その姿勢変化を補正するために深度センサ及び 9 軸センサを使用した. 本論文では, 本システムの構成, 及び屋外歩行運動の計測結果について報告する.

2. 移動型身体運動計測システム

図 1 は本システムでの計測時の概要である. システム構成を図 2 に示す. 移動機 Segway (i2 SE Cargo) に搭載したマーカ位置計測器 (Optitrack V120:Duo, 640×480, 120 fps), 深度センサ (Intel RealSense Depth Camera D435, 640×480, 60 fps), 9 軸センサ (TSND151, 1000 Hz 加速度・角速度, 100 Hz 地磁気) および, 環境映像撮影用カメラが計測系であり, 歩行者はアクティブマーカを装着する.

2.1 身体運動計測

歩行者の身体の後方の頭部, 腰, 両肘, 両膝の計 6 か所



図 1: 移動型身体運動計測システムの概要

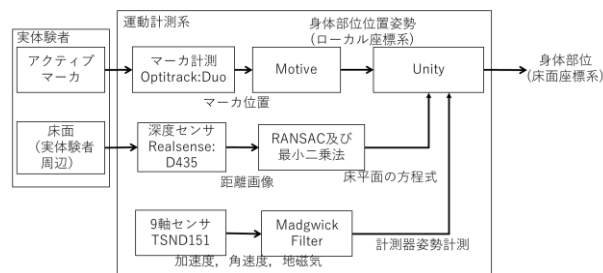


図 2: 移動型身体運動計測システム構成

に, 発光型 (アクティブ) マーカを取り付けた. 各マーカは, 固有の ID で識別される.

2.2 床面計測

床平面の計測は, 深度センサから得られる距離画像から床の点群データを取り出し最小二乗近似で床平面の法線ベクトルを求める. その際, RANSAC (RANdom SAmple Consensus)[2]処理で点群データに含まれる外れ値

を除外した。床平面上の代表点として点群データの重心を用いた。

2.3 車体姿勢計測

Segway の姿勢計測に 9 軸センサ（加速度センサ、角速度センサ及び磁気センサ）を用い、姿勢推定に Madgwick Filter [4] を適用した。計測器が固定された Segway の姿勢が追跡中に変動する量を計測し、身体運動のデータを補正する。

3. 歩行運動計測の予備実験

3.1 目的

歩行者を追跡しながら、その運動を本システムで計測し、機能の予備評価を行う。計測部位の位置が、床面に対して適切に計測されているかどうかを評価した。

3.2 実験参加者・実験方法

実験参加者は、身長 169cm の本学の男子学生である。下腿部のマーカは、膝の裏側の少し下に装着した。歩行する地面として、平面と傾斜面を取り上げた。傾斜面の角度は、最大 3.5 度で、上り坂と下り坂を評価した。実験参加者は、平面と傾斜面の両方において、歩行周期 1.4 秒で直線歩行を行い、その後ろから計測システムが追従した。

3.3 結果及び考察

図 3、図 4 に平面と傾斜面を歩行した場合の計測結果を示す。両図中の青線は、実験参加者の左下腿部に設置したマーカの床面からの高さを示す。オレンジの線は、計測した床面の傾斜角度を示す。

平面と傾斜面の両条件において、青線の下腿部高さは約 1.4 秒周期で変動し、歩行時の脚の上下運動を表している。平面歩行では波形の繰り返し変動がほぼ一定であるが、傾斜面では負荷による歩行の変動が表れている。

図 3 のオレンジ線の平均は、 0.140 ± 0.180 度であり、Segway の運動はほぼ補正されていることがわかる。

図 4 において、10~17 秒の区間が上り坂、及び 17~23 秒の区間が下り坂を示す。上り坂歩行時に計測された床面の傾斜角度は 2.649 ± 1.018 度、下り坂歩行時は -2.795 ± 0.740 度であった。実際に歩行計測を行った傾斜面の傾斜は 3.5 度であるため、計測結果には約 1 度の誤差が発生した。また、傾斜路の走行の不安定さから、傾きの変動もみられる。

床面の傾斜角度の誤差は、傾斜角度が変化する付近において取得した距離画像から引き起こされたと考えられる。平面、上り傾斜路、下り傾斜路が連続する路面を連続的に計測した場合、異なる傾斜が含まれる距離画像を平面として算出しているため、正しい傾斜からの誤差が生じていると考えられる。

4. 結論

本研究では、計測器が歩行者に追従して走行し、歩行運動を連続的に計測する移動型身体運動測定システムの開発とその予備評価を行った。追従する移動機として運動の柔軟性が高く歩行者との適合性が高い Segway を用いることで、追跡しながらの計測が非常に容易となった。Segway の走行に伴う計測系の姿勢変化を検出することに

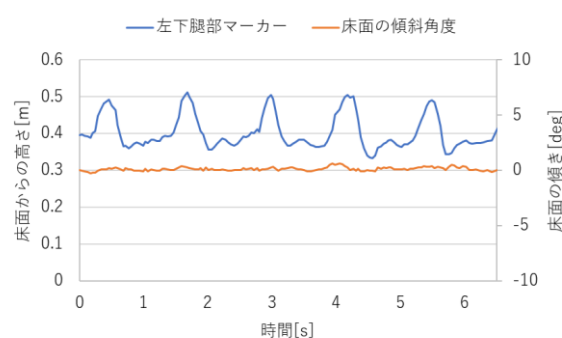


図 3：平面歩行時の計測結果

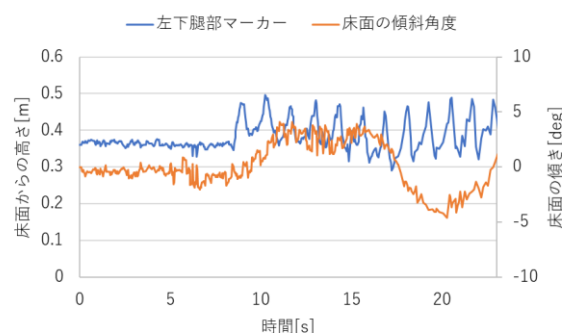


図 4：傾斜面歩行時の計測結果

より、屋外において平面および傾斜面上を歩行する人の運動を測定することができた。

今後の課題として、計測の安定性をさらに高め、誤差を減少させることがある。さらに、記録した歩行地点の映像の補正も行い、追体験の品質を高めることがある。

謝辞 本研究は、JSPS 科研費 (JP26240029, JP18H04118)、総務省 SCOPE (191603003)、SCAT, JKA などの支援により実施された。ここに謝意を表する。

参考文献

- [1] Greg Welch, Eric Foxlin : Motion Tracking: No Silver Bullet, but a Respectable Arsenal, IEEE Computer Graphics and Applications, pp. 24-38, 2002.
- [2] Martin A. Fischler, Robert C. Bolles : Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography , Communications of the ACM CACM Homepage archive, Volume 24, Issue 6, pp. 381-395, 1981.
- [3] Sebastian O.H. Madgwick : An efficient orientation filter for inertial and inertial/magnetic sensor arrays, 2010.