

脚部装着カメラ端末の3次元位置・姿勢推定による 歩行運動認識手法の検討

○田井 克典 (関西学院大学), 河野 恭之 (関西学院大学)

Walking Motion Recognition Method with the Position and Pose Estimation of Leg Mounted Camera Devices

○Katsunori TAI (Kwansei Gakuin University), and Yasuyuki KONO (Kwansei Gakuin University)

Abstract: This paper presents the method for recognizing the user's walking motion with estimating position and pose of leg mounted camera devices by analyzing the images captured by them. The position and orientation of each device are estimated by recognizing and tracking the feature points in the camera images and the output value of the orientation sensor.

1. はじめに

本稿ではユーザの脚部に装着したカメラ端末の3次元位置・姿勢を推定することによりユーザの歩行運動を認識するシステムを提案する。近年、社会の高齢化に伴い高齢者の健康な生活をサポートする様々なリハビリテーション技術が注目されている。高齢者の介護が必要になる原因に転倒による骨折や関節疾患などが挙げられるが、これらは加齢による身体機能の悪化や歩行能力の低下によるものであることが多い。高齢者にとって歩行能力の低下を防ぐための歩行トレーニングは、健康状態の維持やQOL(生活の質)の向上のために必要不可欠である。しかし適切な歩行トレーニングを行うためには専門医による指導やトレーニング施設などの特別な環境が必要である。そこで本研究ではユーザの脚の関節の上下に装着した端末のカメラと傾きセンサで取得した情報を用いてユーザの歩行運動を認識することで、特別な環境を必要としない歩行トレーニング支援システムの開発を目指す。

2. 関連研究

カメラ画像からカメラの自己位置・姿勢を推定する手法は数多く提案されている。濱田ら[1]は、環境カメラで撮影した画像から抽出した特徴点とモバイルカメラにより撮影した画像から抽出される特徴点のマッチングを行い、モバイルカメラの3次元位置・姿勢を推定する手法を提案している。この手法では計測範囲を撮影する環境カメラを用意する必要があり、モバイルカメラの自己位置・姿勢推定は環境カメラにより撮影可能な範囲の空間内でのみ行われる。本研究ではユーザの周囲の環境を記録する環境カメラを用いず、ユーザに付随したカメラのみを用いることでより容易な歩行

認識の実現を目的とする。また加速度センサの出力値を積分することで端末の変位を推定する手法があるが、計測する時間と共に推定位置の誤差が蓄積されるという問題がある。さらに、本研究の手法では脚の各部位に取り付けた端末の姿勢が脚の動きに合わせて変化するため、加速度センサの出力値により端末の変位を推定するためには、端末を基準とする座標系から世界座標系への座標変換を行ったうえで各座標軸の加速度センサの出力値を積分する必要がある。これにより更なる誤差の増大が懸念される。太田ら[2]は加速度センサの出力値に対してハイパスフィルタとローパスフィルタによるフィルタリング処理を施したうえで端末を基準とする座標系から世界座標系への座標変換を行うことによりこの誤差の軽減に成功したが、この手法により室内での歩行運動を認識可能な範囲まで誤差を補正することは困難である。そこで本研究では端末の位置の推定には端末のカメラで撮影したカメラ画像のみを使用し、端末の姿勢の推定にはカメラ画像と傾きセンサの出力値を使用する。

3. 提案手法

本研究ではシステムが要求するハードウェア要件を比較的容易に実現可能であるという理由から、ユーザの歩行運動の認識を行うための端末にAndroidスマートフォン(ASUS ZenFone2 ZE551ML)を使用する。このスマートフォンは最大1,920×1,080(Full HD)の解像度の動画を撮影することが可能で、加速度センサや地磁気センサ、ジャイロセンサを搭載している。このスマートフォンにデータ計測用に作成したAndroidアプリケーションをインストールし、ユーザの脚の各部位に装着する。それぞれのスマートフォンのカメラと傾き

センサにより取得した情報からスマートフォンの 3 次元位置と姿勢を推定することでユーザの歩行運動を認識する。

3.1 スマートフォンの装着

ユーザの片脚に 4 台、両脚で計 8 台のスマートフォンを装着する。それぞれのスマートフォンをユーザの身体に固定するために、専用の装着ベルトを作成した。この装着ベルトは Fig.2 に示すようにナイロン素材のベルトとスマートフォンを固定するフリップカバーで構成される。ベルト部に取り付けたアジャスタによりユーザの足の直径や装着部位によってベルトの長さを調整可能である。スマートフォンと装着ベルトにより構成されるユニットを以下では「計測ユニット」と呼ぶ。計測ユニットの装着例を Fig.2 に示す。



Fig.2 計測ユニットと装着例

3.2 歩行運動の認識

本研究ではユーザの足の各部位に取り付けたスマートフォンでユーザの周囲に配置された AR マーカを撮影することで、スマートフォンの 3 次元位置・姿勢を推定する。AR マーカの認識やマーカの識別、座標変換行列の計算などの処理には ARToolKit を用いる。端末のカメラにより AR マーカを撮影することでカメラ座標系における AR マーカの位置・姿勢を表す座標変換行列が導出される。この行列の逆行列を求めることにより、AR マーカ座標系における端末のカメラの 3 次元位置・姿勢を推定する。本研究で使用する AR マーカは[Fig.3]に示すようなマーカ画像である。このマーカ画像は正方形の白黒画像で、外側のマーカ検出用の黒枠部分と内側のマーカ識別用の 4×4 の解像度の画像で構成される。また、本研究では Android スマートフォンの傾きセンサによって端末姿勢の認識を行う。カメラ画像による端末の姿勢の計測値と傾きセンサによる端末の姿勢の計測値の平均値を端末の姿勢の計測値とする。

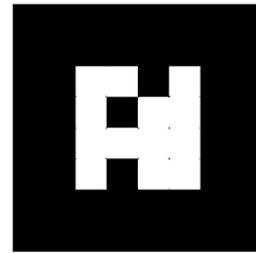


Fig.3 本研究で使用する AR マーカの例

4. 評価実験

本研究の提案手法による歩行運動の認識精度を評価するための実験を行った。実験では本研究の提案手法による歩行運動の計測と、光学式モーションキャプチャシステムによる歩行運動の計測を同時に行う。被験者の体にスマートフォンを装着し、それぞれのスマートフォンでカメラと傾きセンサによる計測を行う。そして両手法の計測結果を比較し、提案手法の歩行運動認識の精度評価を行う。

4.1 実験方法

実験会場の概略図を Fig.4 に示す。被験者は 10m×14m の長方形の部屋の中央を歩行する。被験者の左右には 40cm 四方の AR マーカを配置する。この AR マーカを被験者の足の各部位に装着した計測ユニットのカメラにより撮影する。また光学式モーションキャプチャシステムの仕様上、計測を始める前にあらかじめ動きを記録する範囲をキャリブレーション空間として設定する必要があり、歩行の計測は被験者がキャリブレーション空間を通過する間のみ行われる。部屋の四隅に光学式モーションキャプチャシステム用のカメラとライトを合計 4 セット配置する。このカメラは部屋の中央のキャリブレーション空間が画像内に収まるように向きを調整する。キャリブレーション空間の設定を行った後に、本研究の計測ユニットを被験者の身体の各部位に装着し計測を開始する。

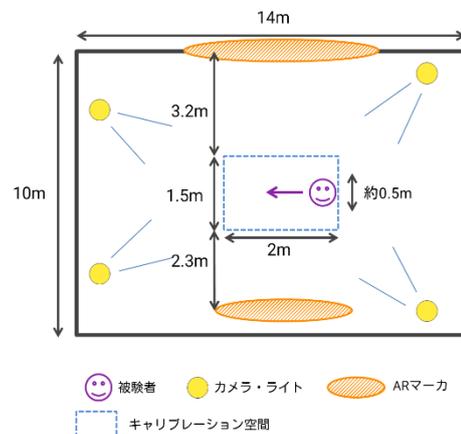


Fig.4 実験会場の概略図

4.2 実験結果と考察

本手法による歩行の認識誤差の出力結果の一部を Table.1 に示す. 実験で計測したすべての部位で大きな誤差が生じた. 大きな誤差が見られた区間では AR マーカの認識が失敗してしまっていることが多く, これは撮影されたカメラ画像のモーションブレンダーや手や腕などによるオクルージョンに起因するものであると考えられる. これらの誤差は画像処理によるブラー除去やオクルージョン発生区間の位置・姿勢の計測値をその前後の計測値により推定した値で補完することで軽減可能であると考えられる. また計測された誤差はマーカに対するカメラの位置が正面に近いほど, またカメラからマーカまでの距離が大きいほどカメラの位置・姿勢推定精度が低下するマーカ式 AR システムの性質にも起因するものであると考えられる. 実験では本研究の提案手法の歩行の認識精度の検証を行うために光学式モーションキャプチャシステムによる計測を同時に行ったが, 光学式モーションキャプチャシステムで使用するカメラはキャリブレーション空間の全体がカメラ画像内に収まるように設置する必要があるため, 設定するキャリブレーション空間の広さによって計測に必要な部屋の面積も大きくなる. また, 被験者の左右に設置する AR マーカは, モーションキャプチャシステムのカメラで撮影されるキャリブレーション空間に干渉しないように設置する必要があるため, キャリブレーション空間からある程度離れた位置に設置する必要がある. このために脚の各部位の認識に大きな誤差が生じたと考えられる. これらの誤差は被験者に対してより近い場所に AR マーカを配置することで誤差を減少させることが可能であると考えられる. またマーカを使用しない状況でカメラの自己位置を計測する手法を用いることで, AR マーカの性質から生じるカメラの位置・姿勢認識の誤差を解消することが可能であり, 特別な計測環境を用意せずに歩行の認識を行うことができると考えられる.

Table.1 認識誤差の出力結果(一部抜粋)

右太腿						
	x	y	z	x.rotate	y.rotate	z.rotate
最大誤差	286	851	658	96	146	88
最小誤差	7	14	192	0	0	1
誤差平均	80	451	474	30	33	38
白ふくらはぎ						
	x	y	z	x.rotate	y.rotate	z.rotate
最大誤差	197	861	689	110	77	93
最小誤差	7	13	58	4	25	2
誤差平均	115	471	303	60	53	53

各座標値は[mm], 回転角は[deg]で表す

5. まとめと今後の展望

本研究ではユーザの歩行トレーニングを支援するシ

ステムにおける歩行運動の認識の処理を行うために, センサ端末のカメラと傾きセンサを用いて脚の各部位の3次元位置・姿勢を推定した. 提案手法による脚の各部位の位置・姿勢推定の精度を検証するために, モーションキャプチャシステムによる脚の各部位の位置・姿勢の計測結果との比較を行う実験を行った結果, 推定位置・姿勢に大きな誤差が生じた. 提案手法による歩行運動の高精度な認識を実現するため, 端末の3次元位置・姿勢推定システムの改善が必要不可欠である. また今後はマーカレス AR システムを用いた歩行運動認識システムの実装を目指す. Klein ら [3] による PTAM(Parallel Tracking and Mapping)はカメラ画像内の特徴点のトラッキングと環境地図の更新を別スレッドで行うことにより, 高速な自己位置推定が可能であるため, 本研究における端末の自己位置推定手法として適用することができると考えられる. そこで本研究におけるユーザの歩行運動の認識手法としての利用を見据え, PTAM を Android OS にて実装した. PTAM の導入により, ユーザの周囲に計測用の環境を用意することなく歩行運動の計測を行うことが可能になると考えられる. 今後, PTAM を用いた端末の自己位置推定システムの実装や計測精度の検証を行い, マーカを必要としない歩行運動認識システムの実現を目指す.

謝辞

本研究は, 文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業(平成 26 年~平成 30 年)(事業番号:S1411038)により支援を受けて行われた. ここに付記し, 謝意を表す.

参考文献

- [1] 濱田修平, 北原格, 亀田能成, 大田友一. “環境カメラ画像情報を用いたモバイルカメラの位置・姿勢推定”, 情報処理学会第 70 回全国大会, “2-315” - “2-316”, 2008.
- [2] 太田麗二郎, 廣津登志夫. “高機能携帯端末の加速度センサを利用した移動推定手法”, 情報処理学会第 74 回全国大会, “1-193” - “1-194”, 2012.
- [3] Georg Klein, David Murray. “Parallel tracking and mapping for small AR workspaces.”, In Proc. Sixth IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality(ISMAR'07), pp. 1-10, November 2007.