

測域センサを用いた靴の外郭検出に基づく 接地位置および方向推定法の提案

坂口 勇大^{1,a)} 濱谷 尚志^{1,b)} 内山 彰^{1,c)} 東野 輝夫^{1,d)}

概要：足圧中心は身体の運動能力と密に関連しているため、効果的なトレーニングの実現や転倒リスクの評価などにおいて重要であることが知られている。これまで、計測装置の制約により足圧中心の測定はトレッドミルなどの限定された環境における歩行や走行運動に対して行われてきた。一方、装着型センサ技術の発展により、近年ではインソール型や靴下型の圧力センサが利用可能になってきており、普段と同じ運動環境で足圧中心を計測できる環境が整いつつある。しかし、複雑な動作を伴う運動の場合、足圧中心と足の動きを関連づけて分析する必要があるため、足圧中心に加えて足の接地状態を把握する必要がある。そこで本研究では、環境に設置した測域センサにより得られた靴の局所的な外郭形状から足の接地位置および方向（姿勢）を推定するための手法を提案する。本稿では、局所的な外郭形状と事前に用意した靴の全外郭形状との照合を行うテンプレートマッチング法、および靴の形状を楕円で近似し、局所的な外郭形状に最も適合する楕円を決定し、足の姿勢を推定する方法を考案した。それぞれの推定法の特徴を確認するため、静止した状態での推定精度について性能評価を行った結果、測距誤差の影響のため、楕円推定法の精度がテンプレートマッチング法よりも高く、センサから 4m までの距離においては平均位置誤差 2.4cm、平均角度誤差 8.3° であることが分かった。

キーワード：測域センサ、足部姿勢推定、テンプレートマッチング、楕円推定

1. はじめに

左右それぞれの足裏にかかる圧力の中心（足圧中心、Center of Pressure (CoP)）は身体の運動能力と密に関連しているため、効果的なトレーニングの実現や転倒リスクの評価などにおいて重要であることが知られている [1], [2]。一般に足圧中心の測定には、床反力計やシート状の圧力センサなどが用いられる。これらの測定機器は高精度かつ高サンプリングレートであるが、測定範囲がプレートやシートの大きさに限られ、測定環境がトレッドミルや実験室などに限定される。このような測定環境に対する制約のため、足圧中心の測定は立位、歩行、走行のみを対象に行われてきた。

一方、装着型センサ技術の発展により、近年ではインソール型 [3] や靴下型 [4] の圧力センサが発売されるようになってきており、普段と同じ運動環境で足圧中心を測定できる環境が整いつつある。しかし、複雑な動作を伴う運動

の場合、足圧中心と足の動きを関連づけて分析する必要があるため、足圧中心に加えて足が接地した時の位置と方向を把握する必要がある。

運動中の足の姿勢を把握する方法として、マーカーを用いた様々なモーションキャプチャシステムが存在する。モーションキャプチャでは、足の姿勢のみならず身体全体の姿勢を高精度に取得できるが、マーカーを身体の複数箇所に装着する必要があるが、多数のカメラを周囲に設置する必要があるなどの制約がある。マーカーレスのモーションキャプチャ方式として、Kinect などの深度センサを利用する方法 [5] も存在するが、バレーボールやテニスなどの運動を想定すると検出範囲が狭いという課題がある。一方、足に慣性センサを装着し、カルマンフィルタなどを用いて足の姿勢を推定する方式 [6] も存在するが、本質的に姿勢推定の誤差が蓄積するため、このような手法のみでは高精度に足の姿勢を追跡することは難しい。

そこで本研究では、運動環境に設置した測域センサを用いて足の接地位置および方向（以降、姿勢と呼ぶ）を推定するための手法を提案する。測域センサは、走査面上の各方向に存在する物体までの距離を誤差数 mm で取得可能であり、ロボットの制御や人検出の目的で用いられる。

¹ 大阪大学大学院 情報科学研究科

a) y-sakagt@ist.osaka-u.ac.jp

b) h-takasi@ist.osaka-u.ac.jp

c) uchiyama@ist.osaka-u.ac.jp

d) higashino@ist.osaka-u.ac.jp

提案手法では、地面から数 cm の高さに測域センサを設置することで、接地時の靴の局所的な外郭形状を取得する。本稿では、局所的な外郭形状から足の姿勢を推定する手法として、テンプレートマッチング法および楕円推定法の2種類を考案し、それぞれの特性について調査を行った。テンプレートマッチング法では、センサにより取得した局所的な外郭形状と、事前に用意した靴の全外郭形状を照合することにより、足の姿勢を推定する。一方、楕円推定法では、センサの測域平面における靴の全外郭形状を楕円と見なし、取得した局所的な外郭形状に最も適合する楕円を決定することにより、足の姿勢推定を実現する。

提案手法の性能を評価するため、靴を様々な位置・角度でセンサの測域範囲内に置くことで実機実験を行った。その結果、テンプレートマッチング法は計算量が大きいにもかかわらず測距誤差の影響を受けやすく、楕円推定法よりも精度が低いことが確認できた。一方、楕円推定法ではセンサから 4m までの距離においては平均位置誤差 2.4cm、平均角度誤差 8.3° であることが分かった。

2. 関連研究

2.1 運動中の姿勢推定

運動中の人の姿勢推定のための技術として、モーションキャプチャ装置がよく知られる。モーションキャプチャでは、ユーザはマーカを装着し、複数台のカメラによってマーカを立体的に認識することで高精度な姿勢推定を実現している。しかし、計測装置が高価である、マーカの装着や大掛かりな機器が必要であり、専用の計測環境でのみ測定が可能である、といった欠点により、実環境での日常的な足圧中心の計測には不向きである。一方、安価に利用可能なモーションキャプチャーとして、深度センサー Kinect が挙げられる。Kinect では、マーカを用いることなく身体の動きを認識可能である [7]。文献 [5] では、Kinect を用いて足部に注目した位置、および向きの推定方法を提案している。しかしながら、Kinect は計測可能範囲が狭くバレーボールやテニスなどの運動に適用できない、といった課題がある。

別のアプローチとして、カメラ画像に写ったユーザの姿勢を解析する手法が提案されている [8], [9], [10]。カメラを用いることで導入のコストが小さく、広範囲の情報を収集できることが利点である。ユーザの位置検出のためには背景差分や特徴点検出による方法を用いているが、カメラと被写体の距離が遠いほど被写体の情報が荒くなり、得られる情報の粒度が低下することが課題である。また、照明の変化や上半身による下半身のオクルージョンが原因となり、足の領域をロバストに抽出することが難しい。

2.2 足部の姿勢推定

靴やスリッパの形状の装着型デバイスを用い、装着者の床

面上の足の動作を検出する方法が提案されている [11], [12]。このシステムでは仮想空間とのインタラクションに必要なステップやタップ動作の検出のためにトリガーの装着や電位の計測を行っており、つま先にマーカを装着し、カメラで撮影した映像を分析することで足の角度の計測を行う。こういった手法では、専用の靴型デバイスを用意する必要があり、ユーザが普段利用している靴を利用できないことが欠点である。

また、足に慣性センサを装着し、カルマンフィルタなどを用いて足の姿勢を推定する方式 [6] や、加速度センサと慣性センサを組み合わせたステップ、および着地時の傾斜角度推定方式 [13] も提案されているが、本質的に姿勢推定の誤差が蓄積するため、このような手法のみでは高精度に足の姿勢を追跡することは難しい。一方で、このような方式を併用することにより、本研究においてオクルージョンにより靴の外郭の点群が測定できない場合でも、継続的に取得可能な慣性センサを利用し大まかな足の姿勢を推定できる可能性がある。

足部の動きを認識しユーザ入力などのインタラクションに活用するため、平面を測域可能なセンサを床から約 1cm の高さに設置し、足の姿勢をセンシングする手法も提案されている [14]。この手法では、インタラクションにおいて主となる踵を接地したまま足先を上下させる動作（タップ動作）、足を接地したまま上下左右に移動させる動作（スライド動作）、足を浮かせ、元の場所に着地する動作（足踏み動作）の3種のアクションを定義している。本研究の主目的である足圧中心と組み合わせた分析のための足の動き解析のためには、床面に設置した測距センサの情報やスポーツごとに特徴的な動きを組み合わせ、さらに詳細な動きに分類する必要がある。

3. 提案手法

測域センサは平面上を高精度かつ広範囲に測距可能であり、地面付近の高さに設置することで、接地している時の靴の外郭形状を取得できる。一方で、測域センサの特性上、単一のセンサでは一方向から見通せる範囲での物体の外郭を検出するに留まり、靴全体の外郭を検出することはできない。そこで本研究では、得られる局所的な靴の外郭形状から靴全体の形状を推定することにより、足の姿勢を推定する。

以降の節では、用いる測域センサの特性、想定環境、測域センサによる足部の検出方法、および足の姿勢を推定する2種類のアルゴリズムについてそれぞれ述べる。

3.1 測域センサの特性

測域センサには北陽電機製 UTM-30LX [15] を用いた。UTM-30LX の仕様を表 1 に示す。UTM-30LX は、レーザー光を用いて 0° から 270° までの角度 (0.25° 刻み) に対し

表 1 測距センサ UTM-30LX の仕様

測距原理	Time Of Flight 方式
測距範囲	30m, 270°
検出物体	13cm (距離 10m での最小値, 距離により異なる.)
測距精度	[0.1,10]m : ±30mm, (10,30]m : ±50mm
角度分解能	0.25°
操作時間	25ms/scan

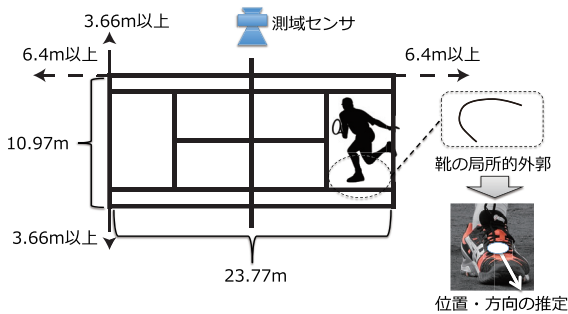


図 1 提案手法の概要 (テニスコートの例)

て, 30m までの距離にある物体を認識することが可能である。ただし, レーザ光の反射を利用した計測を行うため, 手前にある物体によって後方の物体までの距離が計測できなくなるオクルージョンと呼ばれる課題が存在する。

この課題に対し, 本研究では得られる局所的な外郭形状から足全体の姿勢を推定するため, テンプレートマッチング法および楕円推定法の 2 種類の方式を提案する。テンプレートマッチング法では, 足全体の外郭形状をあらかじめスキャンしてテンプレートとして保持しておき, マッチングに利用することで, 局所的な外郭形状や検出点数が少ない場合においても, 足の姿勢推定を実現する。楕円推定法では, 足の外郭全体を楕円と見なし, 検出された点群に対して楕円推定を適用することで, 足の姿勢を推定する。

また, 測域センサでは 0° から 270° まで 0.25° 刻みの計 1080 の角度成分 θ に対して, 距離を r_θ とすると各計測点は $m(\theta, r_\theta)$ と表せる。この計測点は, xy 座標平面系では

$$(m_x, m_y) = (r_\theta \cos \theta, r_\theta \sin \theta) \quad (1)$$

と変換できる。この定義から, 測域センサによる測距の特性として, 対象までの距離 r に比例して計測点の間隔が疎になることが分かる。そのため, 遠距離の物体に対しては検出点の数が少なくなり, 形状の検出精度が低下するという問題があるが, 本研究では姿勢推定法の基本設計を目的とし, 検出点の減少に対する解決策は今後の課題とする。

3.2 想定環境

図 1 にテニスコートにおける提案手法の概要を示す。この図のようにテニスコート等においてフィールド全体が検出範囲内に収まるように測域センサを設置する。測域センサにはわずかな高さがあるため, 地面から高さ数センチの水平面が検出範囲となる。この検出範囲において, 各選手

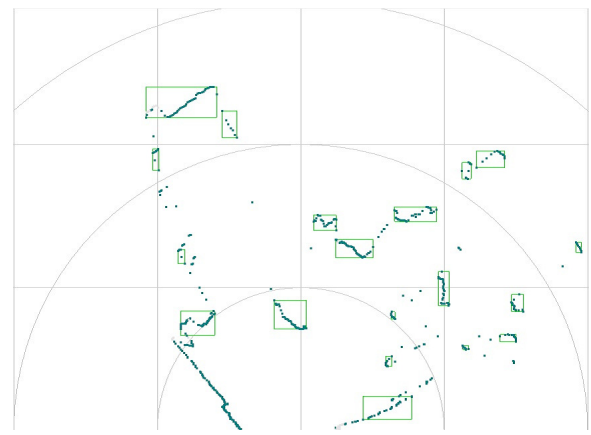


図 2 測域センサの計測結果例

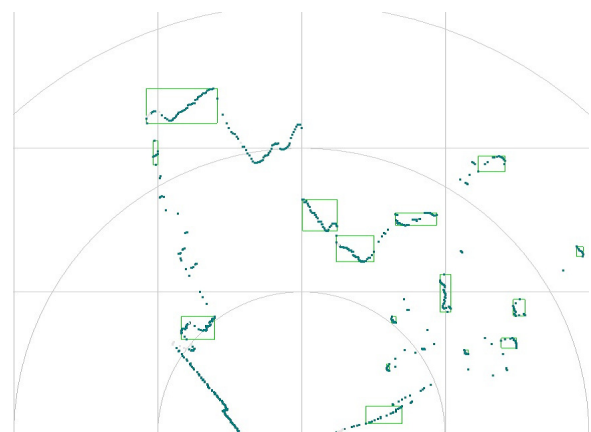


図 3 背景点群

の足の局所的な外郭が得られる。提案手法では, 得られた足の局所的な外郭から, 足の位置および方向を推定する。実際の競技中は各選手が移動するため, 測域センサから得られる足部の外郭と選手を対応づけることは困難である。このため, 靴に搭載した圧力センサから予測される着地タイミング, 各選手の加速度, またはカメラによる大まかな選手の位置などの情報を用いて, 個人を識別する必要がある。本研究では, 個人の識別は可能なものとし, 個々の足が着地した時に測域センサにより得られる足の局所的な外郭からの位置と方向の推定を目標とする。

3.3 足の検出

測域センサの特性上, わずかな測距誤差が存在する。この影響を軽減するため, まず Mean Filter により f フレームの測距結果の平均を取り, 計測点群として用いる。実験では経験的に $f = 10$ としており, 使用した測域センサの仕様では 1 フレームが 25 ミリ秒であるため, 250 ミリ秒間の平均を取っている。

図 2 に示すように, センサで得られる計測点群は, 本研究で想定している運動する人物の足以外に, 部屋の壁や設置物を含んでいる。これらの足以外の静止している物体を背景と呼ぶ。足の位置および方向を推定するためには, ま

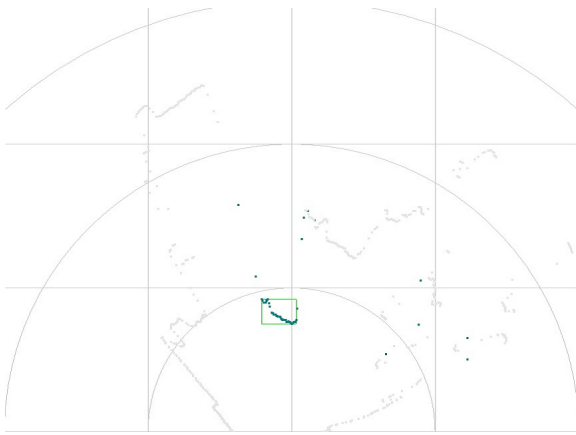


図 4 抽出された点群

測域結果から足に該当する点群を抽出する必要がある。

そこで、文献 [16] をはじめ多くの手法で用いられる背景差分法を利用する。背景差分法では、背景のみが存在する状態で背景の点群 (図 3) を収集しておき、背景点群と計測した点群 (図 2) の差分を取ることで、足に該当する点群のみを抽出する (図 4)。測域対象となる平面において、角度 θ ごとの物体までの距離を r_θ (mm) とし、角度ごとの背景点群までの距離を \hat{r}_θ とする。測域センサの測距誤差の影響を考慮し、背景のみが存在する状態で 1 秒間計測した角度 θ の距離 r_θ のうち、最小値を角度 θ における背景までの距離 \hat{r}_θ とする。角度 θ に対して計測された点について、

$$r_\theta > \hat{r}_\theta + 10$$

となる計測点は全て背景とし、除外する。背景差分によるフィルタの精度を高めるため、ここでは経験的に定めた 10mm のマージンを加えている。

以上のようにして抽出された点群は個々の足に該当する点群を含むため、これらの点群をさらに足ごとの点群にクラスタリングする。この際、背景差分により抽出した点群はノイズを含んでおり、足の外郭部分以外が残存する可能性がある。そこで、点群のクラスタリングを行う際に、想定される足の外郭に対して極端にサイズの小さいクラスタをノイズと見なし、除外する。

クラスタリングは、最短距離法に基づく階層型クラスタリング [17] と同様にして行う。すなわち、測域センサの隣り合うセンシング角度 $\theta, \theta + 0.25$ について、計測された 2 点 $p_\theta, p_{\theta+0.25}$ 間の距離

$$d(p_\theta, p_{\theta+0.25}) = \sqrt{r_\theta^2 + r_{\theta+0.25}^2 - 2 \cdot r_\theta \cdot r_{\theta+0.25} \cos\left(\frac{\pi}{720}\right)}$$

が閾値 Th_{r_θ} 未満の点を同一クラスタに分類し、次の角度 $\theta + 0.25$ と $\theta + 0.5$ に対して、同様の判定を行う。この判定を繰り返して、角度の隣り合う 2 点間の距離が Th_{r_θ} 以上の点が見つかった場合は、それまでに分類した点群を単一のクラスタとして確定する。その後、同様にして新しいクラ

スタへの分類を開始する。閾値 Th_{r_θ} は異なる足に属する検出点と同一の足に属する検出点を区別できるように設定する必要がある。このため、想定される足の外郭を表す隣接する角度の検出点のうち、距離が最大のものよりも大きな値に設定すれば、同一の足に属する検出点の分類成功率が高くなる一方で、異なる足を同一の足に誤って分類してしまう可能性も高くなる。また、3.1 節で述べたように測域センサの特性上、センサから検出点までの距離が長いほど、計測可能な点の間隔が広がるため、想定される足の外郭の検出点の間隔も広がってしまう。このような特性のため、センサから検出点までの距離に応じて閾値 Th_{r_θ} を次のように定めることにより、できる限り高精度なクラスタリングを行う。

$$Th_{r_\theta} = 15 \cdot \min(r_\theta, r_{\theta+0.25}) \cdot \frac{\pi}{720} \quad (2)$$

前述のように背景差分をとることによって抽出された点群にはわずかなノイズも含まれている。このようなノイズを取り除くため、分類したそれぞれのクラスタに対して、クラスタに属する点数が 4 つ以下の場合は、靴に対して小さすぎると判断し、除外する。さらに、それぞれのクラスタに対してバウンディングボックスをとり、一辺の長さが 400mm を超える場合も、靴以外の物体と見なし、除外する。

以上のようにして抽出・分類した個々の靴の外郭を表す点群に対して、靴の姿勢を推定するため、次節で述べるアルゴリズムを適用する。

3.4 姿勢推定アルゴリズム

3.3 節で述べた方法により分類された個々の靴の外郭の一部を表す点群から、靴の姿勢を推定する。そのためのアプローチとして、テンプレートマッチング法および楕円推定法の 2 種類が考えられる。テンプレートマッチング法では、あらかじめ靴の全外郭の形状を生成しておき、得られた局所的な外郭と比較することで最も適合する姿勢を求める。楕円推定法では靴の形状を楕円で近似し、得られた点群に最も適合する楕円を求めることにより靴の姿勢を推定する。テンプレートマッチング法では、正解データ構築のためあらかじめ靴の全外郭をスキャンしておく必要がある。一方、楕円推定法では事前に必要な情報が靴のサイズのみであり、労力のかかる事前データ収集が必要ない点が長所であるが、楕円で靴の形状を近似するため、前後方向の判定ができない。したがって、一定期間の靴の移動方向や足圧など、別の情報を併用して方向を推定する必要がある。

3.4.1 テンプレートマッチング法

テンプレートマッチング法では、事前に靴全体の外郭形状をテンプレートとして用意する。このため、靴の外郭の複数箇所から測距センサで識別可能な形状 (突起状など) のマーカーを装着し、靴全体の外郭形状がスキャンできるよ



図 5 靴の外郭のテンプレート

うに靴の方向を 90 度ずつ変えて 4 回の測域を行う。マーカーを装着しており、靴の方向が計測点群から分かるため、方向を変えときの角度は厳密である必要はない。この 4 つの局所的な外郭形状をマーカーの位置に合わせて結合し、テンプレートとして保持する (図 5)。測域センサのノイズによる測距誤差を軽減するため、テンプレートは角度ごとに一定期間の測距結果の平均をとることで構築する。本研究では、経験的に 1 秒間 (角度ごとに 40 サンプル) の平均をとることとした。

3.3 節で述べた手法により分類された 1 つのクラスタ P に属する測域平面上の点 $\{p_i\}_{i=1}^n$ について、それぞれの座標を $\{(x_i, y_i)\}_{i=1}^n$ とする。また、テンプレートをクラスタ P に重なる範囲で位置 l に配置し、角度 θ だけ回転させたときの点群を

$$\hat{P}^{l,\theta} = \{(x_i^{l,\theta}, y_i^{l,\theta})\}$$

とする。位置 l はテンプレートの重心とする。

このとき、クラスタ P とテンプレート $\hat{P}^{l,\theta}$ の類似度 $\text{sim}(P, \hat{P}^{l,\theta})$ を以下のように定義する。

$$\text{sim}(P, \hat{P}^{l,\theta}) = \sum_{i=1}^n \delta(p_i, \hat{P}^{l,\theta})$$

where

$$\delta(p, \hat{P}^{l,\theta}) = \begin{cases} 1 & (\text{if } \exists q \in \hat{P}^{l,\theta} | p = q) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases}$$

全ての位置 l 、角度 θ について、上記の類似度を求め、最も類似度の高い l, θ を推定結果とする。

テンプレートマッチング法は総当たりによるマッチングを行うため、計算量が大きい。具体的には、テンプレートの位置 l 、角度 θ を定めたときに、テンプレートと計測点群との類似度計算に最大 mn 回の座標一致判定が必要であり、これを考え得るテンプレートの位置 l 、角度 θ の全組み合わせに対して行うため、計算量は $O(mn|l||\theta|)$ となる。ここで、 $|l|, |\theta|$ はそれぞれ考え得るテンプレートの位置、角度のパターン数である。このような理由から、テンプレートマッチング法を用いてリアルタイムに推定を行うことは

困難である。しかしながら、プレー中の足の位置、方向やそれらの情報から得られる足圧中心を競技後に分析し、プレーヤーのパフォーマンスを評価したり、コーチが休憩時にそれまでのデータからプレーヤーのコンディションを見極めるといった用途に活用できると考えられる。

3.4.2 楕円推定法

楕円推定法 [18] は、与えられた点群を楕円の一部と見なした時に、最も適合する楕円を最小二乗法により決定する手法である。靴の形状は楕円に近いので、検出された局所的な外郭を表す点群に対して楕円推定法を適用することで、足の位置および方向を推定する。ただし、楕円の形状は点対称であるため、前後左右の区別ができない。この問題に対しては、前述のように移動方向や足圧などの情報を併用することで、解決できる可能性がある。本研究では、楕円推定法における方向の推定は $[0^\circ, 180^\circ]$ の範囲で行うものとし、前後左右の判別は今後の課題とする。

1 つのクラスタ P に属する測域平面上の全ての点 $\{p_i\}_{i=1}^n$ に対して、文献 [18] に示されている LIN アルゴリズムを適用することにより、最も適合する楕円 E を決定する。LIN アルゴリズムは点の数 n に対して計算量 $O(n)$ となるアルゴリズムであり、高速な計算が可能である。

楕円推定では楕円の大きさに対する制約を付与できないため、計算された楕円 E は想定される足の外郭の大きさに合わない場合が多い。しかしながら、方向は実際のものと同致していると考えられる。このため、楕円の傾きは維持したまま拡大・縮小することにより、想定される足の外郭の大きさと合致した楕円推定結果を得る。楕円の拡大・縮小は、点群のうち測域センサに最も近い点を中心として行う。これは、検出された点群は靴の外郭をそのまま表しており、推定結果の楕円の外郭が検出された点群にできる限り沿うようにするのが妥当なためである。実験における楕円の大きさは実際の靴のサイズから長軸 300mm、短軸 150mm と定めた。このようにして決定された楕円の中心を推定位置、長軸の角度を推定方向とする。

4. 性能評価

4.1 実験環境

テンプレートマッチング法および楕円推定法の性能を評価するため、実機実験を行った。室内の床に測域センサ UTM-30LX を設置し、距離 1m から 4m で 1m ずつ、角度 0° から 315° の範囲で 45° ずつ靴の姿勢を変化させた。靴底全体が完全に床面に設置している状態を対象として実験を行うため、靴のみを測定範囲内に置き、プレーヤーの靴が接地している状態を擬似的に再現した。靴は図 6 に示す 28cm 用の靴を用いた。評価項目として、位置誤差および角度誤差を示す。なお、Mean Filter を適用した後の 1 サンプルあたり (過去 250ms のデータ) の計算時間は、テンプレートマッチング法で約 30 秒であった。一方、楕円推



図 6 実験に用いた靴

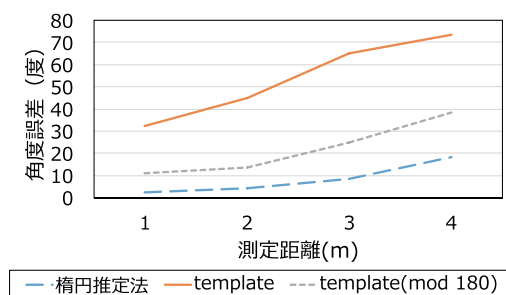


図 7 測定距離に対する角度誤差

定法の 1 サンプルあたりの計算時間は 0.3 秒であった。

4.2 評価結果

図 7 は測域センサからの距離を変化させたときの角度誤差を示している。テンプレートマッチング法の角度誤差は、楕円推定法の角度誤差と比較して非常に大きいことが分かる。対して楕円推定法は、3m 以内であれば誤差 10° 以内の高い精度で角度推定を行うことができる。また、両手法とも測定距離が増大するとともに角度誤差が大きくなっている。これは、測域センサと検出物体の距離が離れるにつれて計測される点の数が減少し、相対的にノイズやデータの揺れの影響が大きくなるためであると考えられる。

また、図 8 は測域センサからの距離を変化させたときの位置誤差を示している。角度誤差と同様に、テンプレートマッチング法の位置誤差は楕円推定法と比較し非常に大きいことが分かる。対して楕円推定法は、3m 以内であれば最大誤差 2cm 程度の精度で位置推定を行うことができる。推定位置は角度に大きく依存して決まるため、楕円推定法よりもテンプレートマッチング法の角度誤差が大きいことから、この結果は妥当であると言える。

以上の結果から、テンプレートマッチング法は計算量が大きいにもかかわらず、楕円推定法と比較して精度が低いことが分かった。この理由として、図 5 から分かるように

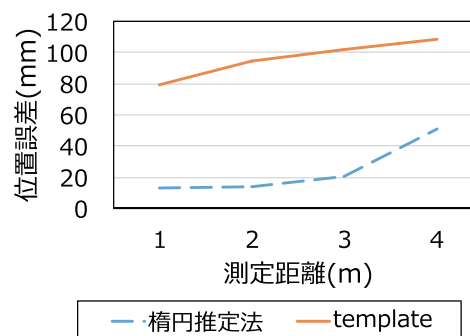


図 8 測定距離に対する位置誤差

テンプレートを 180° 回転させた時の外郭形状がよく似ていることが挙げられる。そこで、楕円推定法と同様に 180° の反転を許容するため、テンプレートマッチング法で導出された推定角度に対し、法 180 に対する商をとった結果が図 8 の template (mod 180) である。この結果を見ると、当然ながら反転を許容した際の角度誤差は許容前と比べ大幅に改善しており、反転時の類似性が誤差の主要因であったことが分かる。しかし、楕円推定と比較すると依然として誤差が 10° から 20° ほど大きい。これは、テンプレートマッチング法がノイズに対して弱く、測距センサの性質上起こるわずかな点の揺れに推定結果が影響されやすいことが原因と考えられる。

また、Mean Filter により軽減されてはいるものの、センサの測距誤差の影響や、得られる外郭形状が局所的であるという要因も重なって、テンプレートマッチングによる姿勢推定精度が低くなっている。したがって、測距誤差を含み、局所的な外郭形状しか得られない想定環境においては、計算量の少ない楕円推定法によりおおよその足の姿勢を推定することが妥当であると考えられる。

5. まとめ

本研究では、スポーツ支援のため、接地している時の足の位置および方向（姿勢）を環境に設置した測域センサにより推定する手法を提案した。測域センサにより得られる情報は靴の外郭形状の一部であるため、この情報から靴全体の外郭を推定することで、姿勢を推定する必要がある。このため、テンプレートマッチング法または楕円推定法の 2 種類を考案した。テンプレートマッチング法は事前に用意した靴の外郭と得られた局所的な外郭のマッチングを行う。一方、楕円推定法は靴の外郭形状を楕円として近似し、得られた局所的な外郭形状に最も適合する楕円を算出することで、姿勢推定を実現する。

実機実験による評価結果より、テンプレートマッチング法は計算量が大きいにもかかわらず、測距誤差の影響を受けやすく、楕円推定法よりも精度が低いことが確認できた。一方、楕円推定法ではセンサから 4m までの距離において

は平均位置誤差 2.4cm, 平均角度誤差 8.3° であることが分かった。

参考文献

- [1] Takeda, T., Sakai, Y., Kuramoto, K., Kobashi, S., Ishikawa, T. and Hata, Y.: Foot age estimation for fall-prevention using sole pressure by fuzzy logic, *Proceedings of Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, IEEE, pp. 769–774 (2011).
- [2] Matsuda, S., Demura, S. and Uchiyama, M.: Centre of pressure sway characteristics during static one-legged stance of athletes from different sports, *Journal of Sports Sciences*, Vol. 26, No. 7, pp. 775–779 (2008).
- [3] Moticon: Moticon, Moticon (online), available from (<http://www.moticon.de>) (accessed 2015-09-05).
- [4] Sensoria Inc.: Sensoria Fitness Socks, Sensoria Inc. (online), available from (<http://www.sensoriafitness.com>) (accessed 2015-09-05).
- [5] Paolini, G., Peruzzi, A., Mirelman, A., Cereatti, A., Gaukrodger, S., Hausdorff, J. M. and Della Croce, U.: Validation of a method for real time foot position and orientation tracking with Microsoft Kinect technology for use in virtual reality and treadmill based gait training programs, *Neural Systems and Rehabilitation Engineering, IEEE Transactions on*, Vol. 22, No. 5, pp. 997–1002 (2014).
- [6] Yun, X., Bachmann, E. R., Moore IV, H. and Calusdian, J.: Self-contained Position Tracking of Human Movement Using Small Inertial/Magnetic Sensor Modules, *Proceedings of Robotics and Automation, 2007 IEEE International Conference*, IEEE, pp. 2526–2533 (2007).
- [7] Gabel, M., Gilad-Bachrach, R., Renshaw, E. and Schuster, A.: Full body gait analysis with Kinect, *Proceedings of Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, IEEE, pp. 1964–1967 (2012).
- [8] Krogh, P., Ludvigsen, M. and Lykke-Olesen, A.: "Help Me Pull That Cursor" A Collaborative Interactive Floor Enhancing Community Interaction, *Australasian Journal of Information Systems*, Vol. 11, No. 2 (2004).
- [9] Nielsen, J. and Gronbaek, K.: MultiLightTracker: Vision based simultaneous multi object tracking on semi-transparent surfaces, *Proceedings of International Conference on Computer Vision Theory and Applications. VISAPP 2006* (2006).
- [10] Grest, D., Frahm, J.-M. and Koch, R.: A Color Similarity Measure for Robust Shadow Removal in Real Time., *VMV*, Citeseer, pp. 253–260 (2003).
- [11] LaViola Jr, J. J., Feliz, D. A., Keefe, D. F. and Zeleznik, R. C.: Hands-free multi-scale navigation in virtual environments, *Proceedings of the 2001 symposium on Interactive 3D graphics*, ACM, pp. 9–15 (2001).
- [12] Rey, B., Lozano, J. A., Alca níz, M., Gamberini, L., Calvet, M., Kerrigan, D. and Martino, F.: Super-feet: a wireless hand-free navigation system for virtual environments, *Virtual Reality*, Springer, pp. 348–357 (2007).
- [13] Satoh, T., Hiromori, A., Yamaguchi, H. and Higashino, T.: A novel estimation method of road condition for pedestrian navigation, *Proceedings of Pervasive Computing and Communication Workshops (PerCom Workshops), 2015 IEEE International Conference on*, IEEE, pp. 427–432 (2015).
- [14] 鈴木茂徳, 高橋伸, 田中二郎: 測域センサによる足の位置と動作の認識手法, 全国大会講演論文集, Vol. 72, pp. 407–408 (2010).
- [15] Hokuyo Automatic Co. LTD.: UTM-30LX, Hokuyo Automatic Co. LTD. (online), available from (<http://www.hokuyo-aut.jp/02sensor/07scanner/download/products/utm-30lx/>) (accessed 2015-09-05).
- [16] 藤田和久, 樋口雄大, 廣森聡仁, 山口弘純, 東野輝夫, 下條真司: 多数の訪問者が滞留する展示会場における群衆検出システムの設計開発, 情報処理学会研究報告. MBL, [モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会研究報告], Vol. 2014, No. 20, pp. 1–9 (2014).
- [17] Kaufman, L. and Rousseeuw, P.: *Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis*, John Wiley, 1st edition (1990).
- [18] Fitzgibbon, A. W. and Fisher, R. B.: A Buyer's Guide to Conic Fitting, *Proceedings of the 6th British Conference on Machine Vision (Vol. 2)*, BMVA Press, pp. 513–522 (1995).