

慣性センサを用いた位置推定による 歩行時のスマートフォン利用危険場面の高精度な予測

佐伯 翼^{†1} 藤波 香織^{†2}

東京農工大学 大学院 工学府 情報工学専攻^{†1} 東京農工大学 大学院 工学研究院 先端情報科学部門^{†2}

1. はじめに

近年のスマートフォンの急激な普及に伴い、ユーザが端末へ過度に依存する状況が増加した。特に、歩行時に端末の画面を見続ける「歩きながらスマホ」と呼ばれる行為が多発し、周囲への注意力低下を招き死亡事故も増加している¹⁾。現状打開への一対策として、端末の内部処理による使用抑制が考えられるが、端末使用への抵抗感の増大により、ユーザがシステム利用を放棄する可能性が存在する。このリスクを減少させるため、規制場面を事故発生の可能性が高い危険時のみに限定し、過剰な使用抑制を回避して抵抗感を最小限に抑える必要がある。

上記を考慮して、著者らは移動履歴及び座標データベースを用いた歩行時の道路・踏切横断場面の予測の枠組みを開発してきた²⁾。GPSでの現在位置推定及び加速度・地磁気センサでの方角計測を組み合わせて、数秒後の移動地点である「次点」を予測する。現在位置と次点を結ぶ線分と、道路・線路を線分に細分割したセグメントとの交差の有無により、横断可能性を判定する。ただし、歩行データを用いた場面判定精度の評価では、GPSの測位誤差による精度低下、状況に応じた複数の次点予測アルゴリズムの選択必要性が明確になった。

以上を踏まえ、本稿では測位誤差縮小のための自律航法による現在位置推定、及びアルゴリズムの選択必要性回避のための多層ニューラルネットワークによる次点予測を従来手法に導入し、危険場面判定の高精度化を図る。

2. 手法概要

2.1 自律航法による現在位置推定

ステップ時の周波数・歩幅の線形回帰モデルを用いた自律航法により、加速度・地磁気センサ値及び直前位置を用いて現在位置を推定する。推定には回帰モデルのパラメータの動的な自動補正処理による、多様な歩行に対して頑健な屋内位置推定を可能とする先行研究手法³⁾を用いた。処理はステップ検知部、進行方向推定部、フィルタリング部、歩行モデル生成部、歩幅推定部、位置修正部に大別される(図1)。初期位置は3.1節の評価実験で用いた正解データの座標を利用して定める。

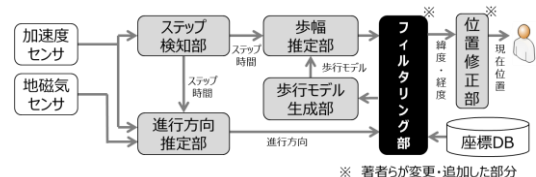
まず、ステップ検知部でローパスフィルタを適用した加速度センサ値を利用し、微小時間でのセンサ値変化量及びステップ最大所要時間、Dynamic Time Warping (DTW) 距離等を用いた閾値処理によりステップを抽出する。進行方向推定部では、抽出されたステップの加速

度センサ値波形に着目し、ピークから谷への移行区間で重力成分が1.0Gとなる時刻を探索する。上記時刻における方位を加速度・地磁気センサ値で算出し⁴⁾、端末の格納場所を考慮した補正を介して進行方向を推定する。同時に歩幅推定部では、抽出されたステップの所要時間を歩行周期と仮定してステップ周波数を算出し、これと歩幅の線形性を利用して歩幅を推定する。

次に、直前位置及び推定された進行方向・歩幅を用いて、フィルタリング部で現在位置を決定する。フィルタにはパーティクルフィルタを使用し、リサンプリング、状態方程式を用いたパーティクル移動、重みづけ処理を通して位置決定を行う。重みづけ処理での尤度の算出には座標データベース (OpenStreetMap⁵⁾) を利用し、セグメント外領域での尤度を0とした。ただし、先行研究とは異なり、横断時以外の路肩及び歩道上での高い滞在可能性を考慮して尤度を決定する。滞在中のセグメントにおいて、現在位置から遠方の境界線までの距離をセグメント幅で除算し、累乗した値を尤度とした。また、セグメント交差点付近では、経験則から尤度を一定値とした。

尤度が高いパーティクルについては、直前位置座標との距離を算出し、ステップ周波数と合わせて情報を蓄積する。歩行モデル生成部では、回転動作の検知時に蓄積した情報を用いて線形回帰モデルのパラメータを動的に調整する。なお回転動作は、加速度・地磁気センサ値の方位算出により、方位変化量の閾値処理で検知する。

さらに、長期的な計測による位置推定誤差の蓄積防止を図るため、先行研究³⁾になかった位置修正部を追加した。ここでは、自律航法での推定位置座標とGPS測位座標間で測位誤差以上の距離差分が生じた場合等に現在位置の補正処理を実施する。測位誤差以上の距離差分の発生時には、現在推定位置 N を含む直進区間 L を移動履歴で推定し、直進区間 L の延長線上で測位座標との距離が最小となる位置 P を計算する。上記位置が測位誤差範囲外に存在した場合には、求めた位置と測位座標 G を結ぶ直線上で測位誤差 R の範囲内となる位置 Q を求め、これを現在位置とする(図2)。上記補正処理で、GPS測位誤差による未横断時での誤判定の減少を図った。



※ 著者らが変更・追加した部分

図1 自律航法による現在位置推定

High-precision predicting of dangerous situation in texting while walking with movement detection by inertial sensors

Tsubasa SAEKI^{†1} Kaori FUJINAMI^{†2}

^{†1}, ^{†2} Department of Computer and Information Sciences, Tokyo University of Agriculture and Technology



図2 位置修正部での現在位置の補正処理

2.2 多層ニューラルネットワークによる次点予測

現在位置推定の利用で計算される緯度・経度移動差分、方角計測で取得される方位を移動履歴として蓄積する。従来手法では、蓄積した情報から変化量を算出する複数の次点予測アルゴリズム（移動点回転; MR）を定義し、現在位置と上記アルゴリズムの出力値である移動量を用いて次点を算出した²⁾。しかし、状況別でのアルゴリズム選択の必要性が生じ、システムが煩雑化するため、これを回避可能な多層ニューラルネットワークを導入する。入力ノードへの特徴量は方位、移動量に大別される。方位の特徴量には (1) 数回前の位置の取得時刻から現在時刻までの変化角、(2) 直前位置の取得時刻から現在時刻までの変化角を採用した。移動距離の特徴量には (a) 直前位置から現在の位置までの緯度・経度差、(b) 過去数回分の隣接する 2 点間の緯度・経度差の平均を採用した。出力ノードでの出力値は従来手法と同様に、緯度・経度方向の移動量とした (図 3)。なお、層数は 3 層とした。

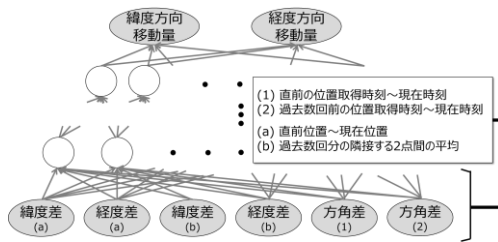


図3 多層ニューラルネットワークによる次点予測

3. 精度評価

提案手法の検証のため、従来手法の評価時に収集した被験者 1 名分の歩行データ（総計約 11.7km, 1 秒間隔の GPS 測位で 4644 サンプル）を用いて、判定結果と正解データを照合する形でオフライン評価を実施した。歩行データには、道路形状、歩行速度、歩行着地周期、セグメントに対する横断角度の条件をそれぞれ変化させた 32 通りの条件が含まれる。判定精度は実際の横断の有無と横断検知結果との一致率とした。また、多層ニューラルネットワークの訓練データには同歩行データを利用し、8 分割交差検定での評価を実施した。

3.1 評価結果

従来手法、自律航法 (DR) 及び多層ニューラルネットワーク (NN) の組み合わせ別の精度結果を図 4 に示す。従来手法の次点予測は、判定精度が最高である予測アルゴリズム選択時の数値を表記している。交通事故防止を目的とした安全確保の観点で、危険場面の使用抑制が最優先とされるため、横断場面に限定した判定精度を併記した。横断場面に着目すると、提案手法の現在位置推定

及び次点予測導入時での判定精度が 0.74 となっており、従来手法での判定精度 0.08 を上回る形となった。現在位置推定または次点予測の一方のみの導入時も、それぞれ 0.04, 0.26 だけ判定精度が向上した。ただし、横断・未横断場面を含めた全体精度では、現在位置推定・次点予測手法に依存せず、大きな精度差は見られなかった。

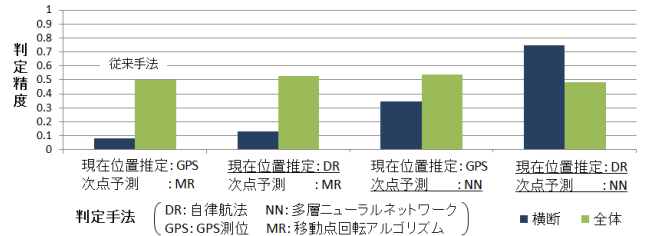


図4 判定精度結果

3.2 考察・今後の課題

3.1 節の結果を踏まえ、自律航法による現在位置推定及び多層ニューラルネットワークによる次点予測の導入が横断場面判定の高精度化に有効であることが判明した。ただし多層ニューラルネットワーク利用時は、自律航法の位置修正部での補正処理未横断場面での誤検出も多いため、枠組み変更の検討を実施する予定である。具体的には次点予測を導入した多層ニューラルネットワークに対する、移動距離等の現在位置推定の既存手法⁶⁾で利用されている特徴量の導入が挙げられる。加えて今後は、リアルタイム処理への適用及び個人差の影響考慮が課題である。

4. まとめ

本稿では、移動履歴及び座標データベースを用いた歩行時の道路・踏切横断場面の予測枠組みに対して、自律航法による現在位置推定及び多層ニューラルネットワークによる次点予測を導入した。歩行データを用いた評価では、横断場面での判定精度は従来手法と比較して 0.66 の精度改善を達成した。今後は、次点予測手法の変更及びリアルタイム処理への適応等を実施する予定である。

参考文献

- 1) National Highway Traffic Safety Administration, USA, 2012.
- 2) 佐伯 他, “地図情報と連携した歩行中におけるスマートフォン利用危険場面の推定”, 情報処理学会第 76 回全国大会, vol.3 pp.88-89, 2014.
- 3) F.Li, et al., “A reliable and accurate indoor localization method using phone inertial sensors”, Ubiquitous Computing 2012, pp.441-450, 2012.
- 4) “端末の向きと傾きを取得する方法 - 加速度センサと地磁気センサの利用 - Android 開発入門”, <http://android.keicode.com/basics/sensors-accelerometers-magnetic.php>
- 5) OpenStreetMap, “OpenStreetMap”, <http://www.openstreetmap.org/>
- 6) 横山 他, “ニューラルネットワークを用いた推測航法とカルマンフィルタによるナビゲーションシステムの性能解析”, 信号処理シンポ, pp.302-307, 2009.