G-40

スマートフォン内蔵加速度センサを用いた徒歩及び自転車による移動種別の判別

Classifying of Walking and Biking Travel Types by Accelerometer in Smartphones

梅園 孝明 [1]　　勝間 亮 [1]
Takaaki Umezono　Ryo Katsuma

概 要

スマートフォンには様々なセンサが搭載されており, これらのセンサを用いて移動手段を判別する手法が多く提案されている．従来手法では, GPS や加速度センサ，ジャイロセンサなど複数のセンサを用いてスマートフォンを 1 つの場所に固定して判別することが多い．本研究では, 屋内外を問わず，少ない消費電力で判別するために，加速度センサのみを用いて歩行と自転車による移動の判別を行う．さらに，移動中のスマートフォンの保持状態として，ズボンのポケット内とリュックサック内を想定し, どちらの状態かについても判別する．判別には複数の機械学習分類アルゴリズムを用い，分類精度の評価を行った．分類の結果，約 90%で移動種別と保持状態の組合せを正しく判別できた.

1. はじめに

近年のスマートフォンの普及により，スマートフォンに標準搭載されている Bluetooth を用いたサービスが数多く提案されている．その一例として，スマートフォン端末間によるすれ違い通信がある．本研究では, このときの電波強度の変化に着目することで，すれ違った相手端末の進行方向や移動速度，移動状態を予測し，自端末の GPS などを併用することで，数秒後の相手端末の位置を推定するシステムの設計を目標とする．このように推定した位置情報は，交通安全支援や紛失した端末の発見に利用できると考えられる．しかし，このシステムの電波強度の変化で予測される速度は自分とすれ違い相手の相対速度であるため，まず自分の移動状態を判別する必要がある.

そこで本稿では，すれ違い通信が起こりうる移動手段である，徒歩と自転車での移動について，スマートフォン内蔵の加速度センサを用いて，移動状態の判別を判別を実験ベースで検証する．さらに，加速度の時系列データはスマートフォンの保持状態によって大きく変化することが考えられる．そのため，徒歩および自転車移動中のスマートフォン保持状態の代表例としてズボンのポケットとリュックサックを想定して，これらの保持状態の判別も行う.

2. 関連研究

スマートフォンのセンサを複数用いて移動手段を判別する手法は既に多く提案されている．Hur らの研究では, スマートフォンの加速度センサとジャイロセンサ，および GPS を用いて停止，歩行，走行，バス乗車，地下鉄乗車の 5 種の移動状態を分類している．この研究では特徴選択に独自の手法を用いることで，91.8%の分類精度を示している [1]．小林らの研究では，加速度センサ，地磁気センサ，GPS，マイクを用いて，停止，歩行，走行，自転車，自動車，バス，電車の 7 種の移動状態を推定するアルゴリズムを提案している [2]．この手法ではスマートフォンの保持状態に依らず推定が可能であり，また短時間で移動状態が変化することがないよう，過去一定時間のログから多数決により状態を推定している．これらは多くのセンサを同時に併用して，多種の移動状態を推定している．それに対し，本研究では Bluetooth の電波遮蔽物の少ない移動状態である徒歩もしくは自転車の 2 種をなるべく少ないセンサで高精度で判別したい.

また, 加速度センサのみにより移動手段を判別する手法も提案されている．Hemminki らの研究では，54 個の特徴量と 3 段階の階層的分類により，停止，歩行，バス，電車，路面電車，地下鉄，車の 7 種の移動状態をよりロバストに推定する手法を提案している．しかし，自転車は考慮されておらず，自転車と徒歩が高精度で判別可能かどうかは不明である.

また，目標とするシステムに関連のある，Bluetooth の電波強度による屋内測位手法について紹介する．Bluetooth の電波強度から端末の位置を推定する手法として, Zhuang らはチャネル分離型多項式回帰モデル，チャネル分離型フィンガープリンティング，外れ値検出，拡張カルマンフィルタリングを組み合わせて使用するアルゴリズムを提案している [4]．この手法は, 従来のチャネル集約型多項式回帰モデルやチャネル集約型フィンガープリンティングに比べ，より優れた精度で端末の位置推定が可能である．このモデルに端末の移動種別，移動速度によるドップラー効果などの影響を組み込むことで，本研究の目標のシステムが実現できると考えている.

[1] 大阪府立大学, Osaka Prefecture University, Sakai, Osaka 599–8531, Japan

3. 予備実験

本実験では，スマートフォン内蔵の三軸加速度センサから移動中の直線加速度を記録し，複数の機械学習分類アルゴリズムを使って, 移動方法とスマートフォンの保持状態の分類精度を評価した．また実験用端末として Xperia X Performance 2 台，直線加速度記録アプリとして Physics Toolbox Suite，機械学習ソフトウェアとして Weka を用いた．Physics Toolbox Suite の直線加速度計は秒間約 200 回の計測が可能である．

3.1 環境設定

スマートフォンの保持状態を，ズボンのポケットの中，リュックサックの中の 2 か所として，徒歩および自転車での移動を行い，2 種の保持状態と 2 種の移動方法の合計 4 パターンで加速度を測定した．リュックサックにはある程度の荷物が入っており，スマートフォンはその中に無造作に入れて測定を行った．またリュックサックの保持位置は，歩行による移動では背中，自転車による移動では自転車の前かごとした．

3.2 実験方法

ズボンのポケットとリュックサックにスマートフォンを入れ，歩行と自転車による移動を 6 回ずつ行った．移動区間は歩行，自転車ともに直線路であり，歩行では 150m, 自転車では 350m の距離であった．機械学習に使う特徴量抽出のために，得られた加速度データを一定周期に分割した．また分割周期を，0.5 秒, 0.55 秒, $\cdots$, 1.5 秒と 0.05 秒刻みで変化させ，計 21 種類の周期それぞれについて特徴量を抽出し，分類精度を評価した．x,y,z 軸の各加速度 a_x，a_y，a_z，および 3 軸の合計加速度 a_T に，大小 2 つの閾値 h_1，h_0（$h_1 > h_0$ とする）を表 1 のように設定し，分割後のデータの h_1 を上回った点の個数, h_0 を下回った点の個数 (以降本稿では, このような閾値を上回る，あるいは下回る点の個数の合計をピーク数と呼ぶ)，計 8 つのピーク数を求め，これらを特徴量として分類を行った．

表 1: 各加速度の閾値

	h_1	h_0
$a_x(m/s^2)$	3.0	-2.5
$a_y(m/s^2)$	4.5	-5.0
$a_z(m/s^2)$	8.0	-5.5
$a_T(m/s^2)$	15.0	2.0

機械学習ソフトウェアの Weka に特徴量データをセットし，複数の分類アルゴリズムで分類精度を評価した．今回は，機械学習アルゴリズムとして J48, Random Forest, BayesNet, SMO, KStar の 5 種類のアルゴリズムを使用した．

3.3 実験結果

それぞれのアルゴリズムの分類精度を分割周期毎に図 1 に示す．また最も判別精度の良かった，分割周期 0.95 秒における Random Forest の混合行列を表 2 に示す．ただし, 表 2 において W, B はそれぞれ移動状態の歩行と自転車を，下付き文字の p, r はそれぞれ保持状態のポケットとリュックサックを表すものとする．

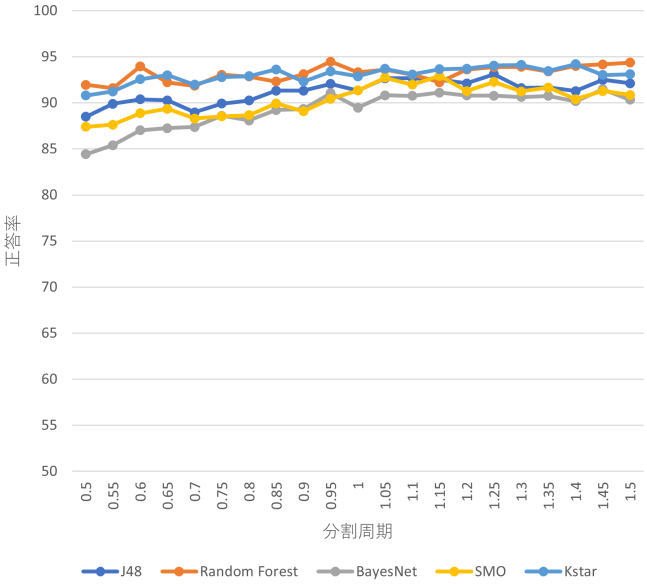

図 1: アルゴリズム, 分割周期ごとの分類精度

表 2: 分割周期 0.95 秒における Random Forest の混合行列

	W_p	W_r	B_p	B_r	判別精度 (%)
W_p	692	10	17	10	94.9
W_r	5	703	9	14	96.2
B_p	7	12	410	15	92.3
B_r	5	14	13	431	93.1

3.4 考察

分割周期を 0.95 秒以上にしたとき，全てのアルゴリズムでほぼ 90%以上の精度で判別をすることができた．分割周期が 0.95 秒未満の場合に判別精度が下がった原因としては，歩行時の運動周期が約 0.95 秒であり, 運動周期より短く分割したことで特徴量となるピーク数が大きく変化したためであると考えられる．また Random Forest と KStar による分類が全ての分割周期において 90%以上の分類精度を示しているが，分類の処理時間では Random Forest が 0.47 秒であるのに対し，KStar は 3 秒以上の時

間を要した．リアルタイムで自分の移動状態を判別することを想定しているため，Random Forest がより適したアルゴリズムであることがわかった．また，混合行列から自転車の判別精度が歩行より少し低いことが確認される．これは，自転車が路面状況やタイヤの空気の入り具合によって，不規則な振動を受けやすいためであると考えられる．

4. まとめ

本稿では，スマートフォン内蔵の加速度センサによって，歩行と自転車の移動状態を 90%以上の精度で判別することができた．閾値の最適化やノイズの除去によりより高い精度で判別できる可能性があると思われる．今後は本来の目的である，Bluetooth の電波強度の変化によるすれ違い相手の進行方向，速度の推定方法について検討していきたい．

参考文献

[1] Taeho Hur, Jaehun Bang, Dohyeong Kim, Oresti Banos and Sungyoung Lee: ”Smartphone Location-Independent Physical Activity Recognition Based on Transportation Natural Vibration Analysis” *Journal of Sensors, 2017*

[2] 小林亜令, 岩本健嗣, 西山智: 釈迦：携帯電話を用いたユーザー移動状態推定方式. 情報処理学会論文誌 *vol.50 No.1 pp.193-208 2009-01*

[3] Samuli Hemminki, Petteri Nurmi, Sasu Tarkoma: ”Accelerometer-Based Transportation Mode Detection on Smartphones” *Proc. of the 11th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, 2013*

[4] Yuan Zhuang, Jun Yang, You Li, Longning Qi and Naser El-Sheimy: ”Smartphone-Based Indoor Localization with Bluetooth Low Energy Beacons” *Journal of Sensors, 2016*