

## 環境制約を用いた GPS 移動軌跡からの旅行者状態推定

修学旅行向け避難支援・安否情報共有におけるデータ活用

## Tourist Status Estimation from GPS Trajectory using Environmental Constraints

笠原秀一\*1      森幹彦\*1      棕木雅之\*1      美濃導彦\*1  
 Hidekazu Kasahara      Mikihiro Mori      Masayuki Mukunoki      Masahiko Minoh

京都大学学術情報メディアセンター\*1  
 Academic Center for Computing and Media Studies, Kyoto University

We develop a student tracking and evacuation support system for school trip. It is difficult for the teachers who monitor students during group activities to detect any abnormal behavior or accidents from a large volume of GPS trajectories, and the teachers need automatic estimation of student status such as transportation modes or any accidents. Depending on their needs, we propose a transportation mode estimation method using environmental constraints from GPS trajectory, and an abnormal behavior detection method in walking mode.

## 1. 旅行者の状態推定

筆者らは修学旅行生向け避難支援・安否確認システム ETSS(Education Tour Support System) を構築したが、修学旅行管理者である教員にとって膨大な GPS 移動軌跡から修学旅行生の状態 (利用している交通機関と長期間滞留) を推定するのは負担が大きく、自動化が求められている。こうした状態推定は一般の旅行者にも適用できる。そこで本研究では、観測点  $i(x_i, y_i, t_i)$  の時系列集合  $(x, y)$  は緯度経度,  $t$  は時刻) である旅行者の GPS 移動軌跡を入力とし、徒歩や列車, 路線バス, タクシーといった移動モード  $v$  の系列として旅行者行動を出力する手法を提案する。また、徒歩モードにおける異常状態の推定についても考察する。

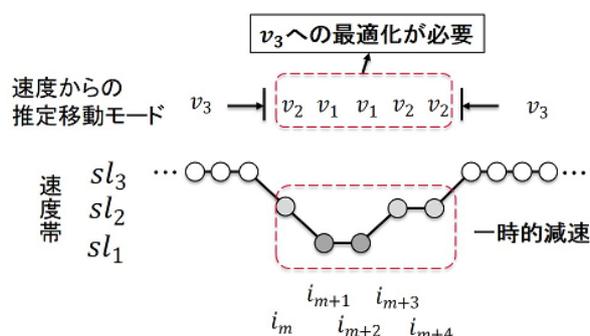


図 1: 一時的減速の例

## 2. 移動モード推定

## 2.1 速度を用いた移動モード推定の問題点

従来、速度等観測対象の特徴量を用いた移動モード推定が研究されている [Hemminki 2013, Bolbol 2012]. しかし、鉄道や車両は駅や交差点で一時的に加減速 / 停止するので、移動モードは巡航 / 加減速 / 停止という移動状態の複合体である。そのため、速度だけでは、図 1 で示すように、本来移動モード  $v_3$  である観測点  $i_m \sim i_{m+4}$  の一時的な加減速や停止を、より低速の別の移動モード  $v_1$  あるいは  $v_2$  に誤推定する問題がある。正しい推定には、速度による推定の後、観測点が巡航 / 加減速 / 停止のいずれの状態かを判断して移動モードを修正する方法が考えられる。

## 2.2 提案手法概要

提案手法では、(1) 観測点  $i$  の位置する空間に存在する環境制約に基づいて、全ての観測点  $i$  に速度の関数として移動モード  $v$  の存在確率  $P_i(v)$  を与え、観測点  $i$  の移動モード  $v_i$  を推定し、(2) 複数の観測点間の速度変化を用いて移動モード  $v_i$  を修正する。速度の時系列変化を利用するため、移動モード  $v_i$  が同一の連続する観測点群をセグメント  $g$  と定義する。GPS 移動軌跡に含まれる測定誤差は、拡張カルマンフィルタ処理と固定区間平滑化法を適用して修正する。

## 2.3 速度と環境制約を用いた移動モードの推定

観測点  $i$  に移動モード  $v$  の存在確率  $P_i$  を与えて移動モードを推定する。存在確率  $P_i$  は環境制約によって異なる。環境制約とは移動モードの一意的な決定条件となる移動制約であり、空間上の位置に依存した空間条件と速度の組み合わせとして示されるので、速度によっては移動モードを一意的に決定できない弱い環境制約 (準環境制約) となる場合もある。

はじめに、空間条件が無い場合について述べる。存在確率  $P_i$  は、全ての移動モードで取り得る上限速度から下限速度までを適当な数に分割した速度帯  $sl$  において各移動モード  $v$  が存在する確率であり、推定データを訓練データから算出する。空間条件がない状態における  $P_i$  の定義を式 (1) に示す。式 (1) で、 $sl$  は観測点が含まれる速度帯、 $v$  は移動モード、 $V$  は全ての移動モード、 $ct_v$  はある速度帯  $sl$  に属する移動モード  $v$  の観測点の合計である。

$$P_i(v; sl) = \frac{ct_v}{\sum_{k \in V} ct_k}, v \in V \quad (1)$$

続いて、式 (1) に空間条件  $e$  を導入したものを式 (2) に示す。式 (2) で、 $e$  は空間条件、 $E$  は全ての空間条件、 $ct_{v,e}$  は速度帯  $sl$  に属し、空間条件  $e$  が存在する空間に位置する移動モード  $v$  の観測点数の合計である。存在確率  $P_i = 1$  となる  $e$  と  $sl$  の組み合わせが環境制約であり、存在確率  $P_i < 1$  となる場合は準環境制約である。式 (2) で存在確率  $P_i$  が最大となる

連絡先: 笠原秀一, 京都大学, 〒 606-8501, 京都府京都市左京区吉田二本松町, hidekazu.kasahara@mm.media.kyoto-u.ac.jp

移動モード  $v$  を観測点  $i$  の移動モード  $v_i$  と推定する

$$P_i(v; sl, e) = \frac{ct_{v,e}}{\sum_{k \in V} ct_{k,e}}, v \in V, e \in E \quad (2)$$

移動モード  $v_i$  が同一と推定された連続する観測点群をセグメント  $g$  と定義する。なお、タクシーと路線バスのように速度分布が類似しており、空間条件  $e$  と速度  $v_i$  だけでは区別できない移動モードは、同一移動モードとして推定した後、移動特徴の差異を用いて区別する。移動特徴の差異は分析対象に依存するが、本研究では路線バスがバス停で停車する特徴を利用し、セグメントにおける減速比率の差異を用い、閾値よりも高ければ路線バス、低ければタクシーとした。

## 2.4 速度の時系列変化に基づく移動モードの修正

速度の時系列変化に基づいて移動モードを修正する。車両や列車は一定の速度で移動し、短時間で移動モードは変化しないが、バス停や駅で一時的減速を行うので、減速・停止が一時的減速か他モードへの切替かを判断し、継続の場合は前後セグメントに統合する。統合の判断は、(1) 減速・停止を含むセグメント  $g$  の継続時間  $l_g$  が十分短い、(2) 環境制約と矛盾しない、(3) 短時間では移動モードは変化しない、という条件で行う。

まず、条件 (1) について、セグメント継続時間  $l$  を変数とする移動モードの存在尤度  $h(l)$  を用いて、セグメント  $g$  の継続時間  $l_g$  が一時的減速とみなせるほど十分短いという状態を定義する。尤度関数  $h(l)$  は訓練データからカーネル密度推定を用いて計算する。連続するセグメント  $g, k$  において、 $h(l_{g+k}) > h(l_g)$  なら両者を統合する。条件 (2) に従い、観測点  $i$  において修正移動モード  $v$  が  $P_i(v; sl, e) = 0$  ならば統合しない。条件 (3) については、セグメント  $g$  の前後  $iv$  におけるセグメント変化数  $cx(g)$  を式 (3) と定義し、 $cx(g+k) < cx(g)$  となるとき  $g, k$  を統合する。 $c(g, iv)$  は  $g \sim iv$  でのセグメント変化数である。時間間隔  $iv$  は定数として与える。

$$cx(g) := c(g, -iv) + c(g, iv) \quad (3)$$

上記の条件下、セグメント数が変化しなくなるまで統合を繰り返す。

## 2.5 実験

提案手法を評価するために、実データを用いて移動モードを推定した。対象者は班別自由行動中の修学旅行生と添乗員計 19 名である。うち 16 名分を評価データ (288,400 観測点)、3 名分を訓練データ (49,938 観測点) とした。推定する移動モード  $v$  は徒歩、路線バス、タクシー、列車の 4 つとした。実験の結果、正解データに対して 86.3% の推定率となった (表 1)。

表 1: 提案手法の推定結果 (再現率 86.3%)

推定	正解			
	バス	タクシー	列車	徒歩
バス	3,633 (19.4%)	2,162 (5.2%)	0 (0%)	409 (0.2%)
タクシー	8,564 (45.6%)	30,912 (75.0%)	997 (3.0%)	7,694 (4.0%)
列車	110 (0.6%)	1,645 (4.0%)	31,176 (92.6%)	3,286 (1.7%)
徒歩	6,460 (34.4%)	6,501 (15.8%)	1,501 (4.5%)	182,327 (94.1%)

## 3. 徒歩モードにおける異常行動地点の検出

徒歩モードにおける旅行者行動は、観光スポットへの移動、見学といった正常な行動と、道間違え、事故といった異常な行動に大別できる。異常な行動を自動的に検出できれば、旅行管理者への警告に利用でき、有用である。平井ら [平井 2015] は、ある観測点の近傍において長時間滞留することを異常と定義し、移動軌跡を道路ネットワークのノードに置換して計算したノード間の移動速度を用いて長時間の滞留を検出することで、異常行動の発生地点の検出している。しかし、この手法では観光地での見学も異常行動と誤推定する点が問題である。

そこで我々は、正常な旅行者行動を、一般的な移動時間による観光スポット間移動及び観光地における見学と定義し、それ以外の行動を異常と定義することを提案する。観光スポット間の一般的な移動時間は、多数の訓練データを機械学習することで得られる。観光スポットの位置情報は外部データベースから入手できる。また、多くの人が訪れる観光スポットは訓練データから抽出することもできる。しかし、オンラインでは、システムにとって旅行者が次に訪問する観光スポットは未知であるため、全ての観光スポットに対して一般的な移動時間での移動であるかを判定しなければならない。事前に旅行者に予定を入力して貰う方法もあるが、時間的制約や天候などの要因により、旅行者はしばしば予定を変更するので、本提案の範囲である異常状態の検出には適当では無い。

また、旅行者は見学以外に食事や休憩を目的とした滞留も行う。こうした滞留を正常な旅行者行動に包含するかは正常行動の定義に関わるが、旅行管理者への警告として利用するならば、事故など本来の異常行動と区別する必要がある。食事や休憩を正常な行動と見なした場合、食事や休憩を取れるレストランや喫茶店などは、観光スポットよりも数が多いので地理情報だけでは推定が難しく、時間帯や回数といったコンテキストを利用する必要がある。

## 4. まとめと今後

本研究では、旅行者の移動に関する環境制約を用いた GPS 移動軌跡からの移動モード推定と、徒歩モードにおける異常状態検出を提案した。今後、加速度計などの利用による移動モード推定精度の向上を図る。また、徒歩モードでの異常検出アルゴリズムの実装を行うことを予定である。

## 参考文献

- [Hemminki 2013] Hemminki, S., Nurmi, P., Tarkoma, S.: Accelerometer-based transportation mode detection on smartphones. In Proceedings of the 11th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (p. 13). ACM.(2013, November).
- [Bolbol 2012] Bolbol, A., Cheng, T., Tsapakis, I., Haworth, J.: Inferring hybrid transportation modes from sparse GPS data using a moving window SVM classification. Computers, Environment and Urban Systems, 36(6), 526-537. (2012).
- [平井 2015] 平井聡平, 笠原秀一, 椋木雅之, 美濃導彦.: D-12-30 GPS 移動軌跡を用いた旅行者の異常行動地点検出. 2015 年電気情報通信学会総合大会, パターン認識・メディア理解 A, 82. (2015-03-13)