

時刻と位置の連続記録から滞留場所と移動経路を抽出する

時空間的アルゴリズムの開発

雨宮 有 , 齊藤 知範 , 雨宮 護 , 島田 貴仁 , 原田 豊

Spatio-Temporal Algorithm Detecting Trip Patterns.

Tamotsu AMEMIYA , Tomonori SAITO , Mamoru AMEMIYA , Takahito SHIMADA
and Yutaka HARADA

Abstract: An algorithm is proposed to extract long-staying regions (anchors) and trip paths between anchors based on time-location measurement by GPS devices. Anchors are recognized with high density peaks on kernel density analysis of GPS log. Paths between anchors are filtered out to detect trips from one anchor to another. Each trip is associated with time stamps, at its endpoints, which indicate direction of each trip and order of trips in daily activity.

Keywords : 行動分析(Behavior Analysis) , アンカー(Anchor) , 経路(Path) ,
カーネル密度関数(Kernel Density Function)

1. はじめに

環境犯罪学の分野では, 1)犯意をもった犯罪者, 2)ふさわしいターゲット, 3)不法行為を予防することができる監視者の不在, の3条件が同じ時間的・空間的領域にそろったときに犯罪が発生しやすいといわれている(Cohen and Felson, 1979; Brantingham and Brantingham, 1991). 児童の

登下校時および放課後の行動パターンを分析して立ち寄り先と移動経路を特定することにより, 児童の安全確保のための対策の立案や, 施策の有効性評価に役立つ基礎データを得ることができる. しかし, 実際の行動記録にもとづいて行動パターンを分析するには, 短い時間間隔での詳細な位置記録が必要であり, またそのような大量の時刻 - 位置データを効率よく処理して行動パターンを探索する方法も知られていなかった.

本研究では, GPS を用いて記録した児童の時刻 - 位置データから行動パターンを抽出する効率的

なアルゴリズムを開発したので報告する．

2. 方法

GPS による 1 回の測位記録を測位イベントと呼ぶことにする．一連の GPS のログは，多数の離散的なイベントの集合体であるが，測位間隔が等間隔 τ であれば，時刻 t_e におけるイベントは $t_e - 0.5$ から $t_e + 0.5$ までの間の児童の平均的な位置をあらわしているとみなすことができる．このとき，一連のログに記録されているすべてのイベントに対してカーネル密度関数を用いて空間的な密度分布を求めることにより，測位されたポイントの集中度を一連のログの期間における児童の存在密度と解釈することができる．

一方，日常生活のなかでその付近に長く滞留する傾向のみられる領域をアンカーと称するが，児童の場合は自宅，学校，よく行く遊び場，習い事や学習塾などの場所がアンカーに相当する．測位ポイントの存在確率密度が高い領域をアンカー領域として認識した上で，アンカー間を結ぶ経路を検出することにより，児童の一日の行動をアンカーでの滞在とアンカー間の移動として捉えることができる．

3. データ

2006 年 11 月から 12 月の間に，兵庫県神戸市のある小学校の 2 年生および 5 年生児童各 30 人を対象として，GPS 付き携帯電話を携行して 14 日間の移動経路を記録する測定実験を実施した（齊藤ほか，2007）．測位方法は GPS による単独測位と携帯電話の中継局を基準として用いた測位を併用した．測位の時間間隔は $\tau = 15$ (秒) である．

3.1 欠測値の補正

児童が校舎内や複合商業施設あるいは鉄道高架下の商店街など堅牢な構造の建物内にいるときは電波の受信状態が悪く，GPS による測位も携帯電話の中継局を用いた位置推定もできない場合がある．本測定実験の場合，児童は多くの時間を校舎内で過ごし，また登下校時にも堅牢な建物の中

を通過することが多いため，全体の計測回数に占める欠測の割合が多い．このような条件のもとで欠測の場合のイベントを単純に除外して処理すると，ある時刻に児童がどこかに「存在した」という情報が失われて推定した存在密度分布に偏りが生じる．これを防ぐため，本測定実験では測位に失敗した場合でも測位を試みた時刻 t_e とともに位置情報 $(x_e, y_e) = (0, 0)$ を記録した．欠測の直前 t_1 と直後 t_2 にある測位成功イベント (x_1, y_1) および (x_2, y_2) を用いて，時間に関する比例配分

$$\begin{cases} x_e = x_1 + (x_2 - x_1) * (t_e - t_1) / (t_2 - t_1) \\ y_e = y_1 + (y_2 - y_1) * (t_e - t_1) / (t_2 - t_1) \end{cases}$$

により欠測時の位置を推定することで，存在密度の推定にバイアスがかかることを防いでいる．

3.2 はずれ値の補正

GPS の受信状態によっては，測位された位置がその前後に測位された位置とおおきく外れた場所を示す場合がある．このような「はずれ値」は，それまでの移動経路のトレンドからはずれた，鋭いスパイク状の形を示す（図 1）．

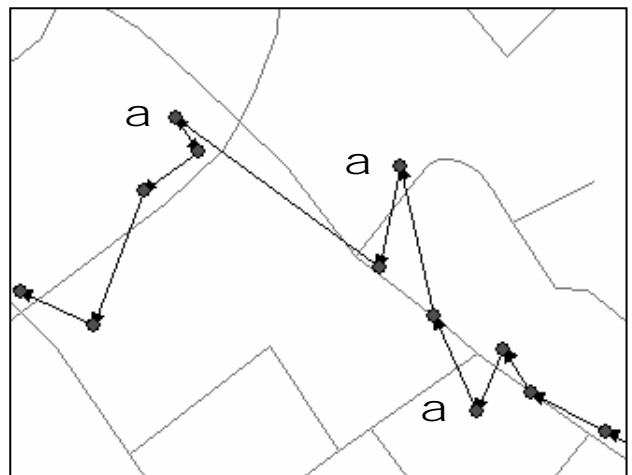


図 1． はずれ値（矢印）を含む経路の例

スパイクの頂点の角度に閾値を設定し，閾値よりも小さい角のスパイクをなす場合にははずれ値

とみなして、計測不能イベントと同様に前後の測位データを用いて比例配分により位置を推定した。閾値は測位に失敗したイベントを補正した後のデータを目視点検して設定した。

4. アルゴリズム

アンカーの検出

1) ログから測位ポイントを作成し、カーネル密度関数法により空間的な密度分布を求める。密度をZ軸として表示すると、滞留時間が長い領域には高密度のピークがあらわれる(図2)。

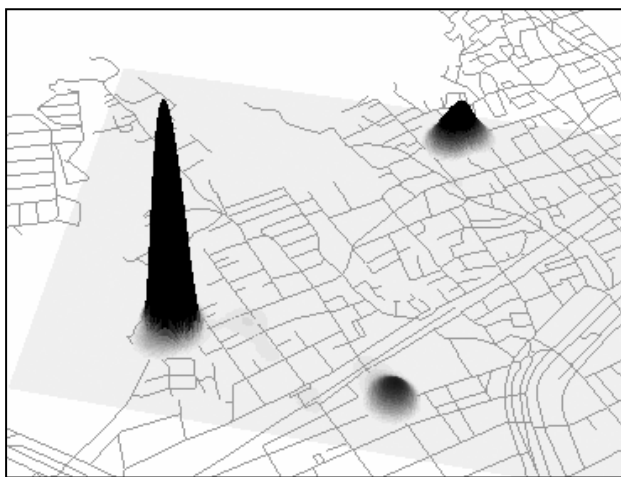


図2．測位ポイントの空間密度分布．

2) 適当な閾値を設定して、密度分布が閾値を超える領域と閾値以下の領域を判別する。
3) 密度分布が閾値を超える領域、および閾値以下の領域のそれぞれをポリゴン化し、閾値を超える領域には識別番号を割り当てる。

経路の検出

4) 測位イベントを時刻の順に結んで、行動経路をあらわすラインデータを作成する。このときラインを構成する折れ線の頂点を、空間座標(x, y)に加えてライン上の連続関数として時刻 t_e の値をもつ(x_e, y_e, t_e)で構成することにより、次のステップ5で経路がアンカー領域の境界を

横切る時刻を取得できるようにしておく。

5) 行動経路ラインデータをアンカー境界で切断し、短いパスに分割する。分割後のパスの端点(切断点)における時刻と、端点が接するアンカーの識別番号を求める。
6) パスの各々について、次の操作をおこなう。
アンカー領域の内部にあるパスを捨てる
始点と終点で同じアンカーに接するパスを捨てる

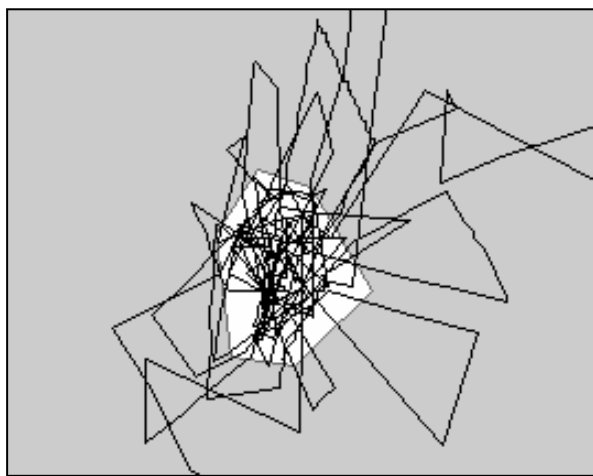


図3．アンカー境界を出入りするパス．

図3では、ステップ3で作成したアンカー領域を白ヌキで示している。仮に上記のアンカーが児童の自宅周辺であって、児童は帰宅後ずっと家にいたとしてもGPS測位の性質により計測される位置が時間とともに変動することは避けられない。操作は、別のアンカーを目指して移動しているのではなく、大きな変動によってたまたまアンカー外部に位置が記録されたイベントを結ぶパスを除外するものである。

7) 以上の操作により残ったパスは、あるアンカーから出て別のアンカーへ入る移動経路を示している。各パスの端点の時刻を比較し、時間的に早い方が始点、遅い方が終点となるようにパスの方向を調整する。
8) パスを始点の時刻の順にソートする。これにより、時間経過とともにどのアンカーからどのア

ンカーへ移動するのかを追跡することができる。ひとつのアンカーには複数のパスが出入りすることがあるが、前のパスが入ってから次のパスが出るまでの時刻の差によって、そのアンカーでの滞留時間を知ることができる。

5. 解析例

図4にデバイス番号 KU004 の装置によって測位されたポイントを示す（2006年12月8日午後、1559点）。地図の中央右下寄りにこの児童が通う小学校がある。

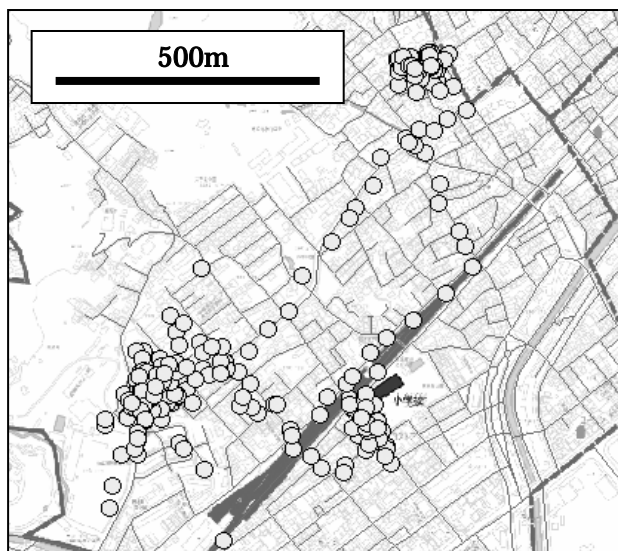


図4．解析例に用いた測位ポイント

このデータに本アルゴリズムを適用し、図5に示す1から3までのアンカー領域と4本の経路が抽出された。アンカー3が小学校、2が児童の自宅、1は学習塾と思われる。移動の順序と開始時刻は以下ようになった。

- 1： 3 2（15:21:50，学校から帰宅）
- 2： 2 3（19:48:44，一旦学校に立ち寄り）
- 3： 3 1（19:58:36，学校から塾へ）
- 4： 1 2（22:54:34，塾から帰宅）

6. 今後の課題

現段階では検出されるアンカーの個数が適当になるように、アンカーだと判定する存在密度の閾

値を先験的に与えている。今後は滞在時間をパラメータとするなどの方法で判定を自動化して、立ち寄り先を検出・カウントするとともに、GPS測位と同時に実施したシール式冊子を用いた行動記録（齊藤ほか，2007）との対照による検出精度の検証が必要と考える。

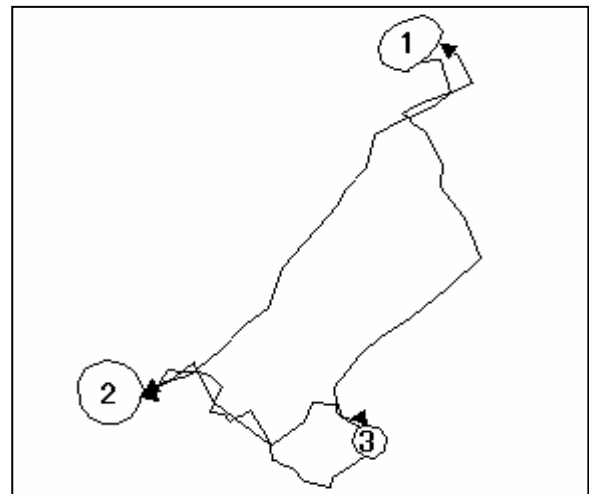


図5．抽出されたアンカーと移動経路

謝辞

本研究の一部は、科学技術振興調整費「電子タグを利用した測位と安全・安心の確保」の一環として実施した。記して感謝します。

文献

- 齊藤知範・島田貴仁・茂串 誠二・菊池 城治・原田豊（2007），「子どもの安全確保における測位の諸課題 - GPS 測位端末を用いた児童の空間行動測定実験を事例として - 」，CSIS DAYS 2007 研究アブストラクト集，p. 30
- Brantingham, P. J. and Brantingham, P. L. (1991) "Environmental Criminology", Prospect Heights : IL.
- Cohen, L. E. and Felson, M. (1979) "Social Change and Crime Rates Trends: A Routine Activities Approach", American Sociological Review, vol.44, pp.588-608.