

ユーザの移動軌跡における滞留点推定と応用の提案

岡田 和也^{†1} 横山 輝明^{†2} 奥田 剛^{†1}
桼原 茂^{†1} 門林 雄基^{†1} 山口 英^{†1}

人々は日常生活の中で、意図を持った滞留と移動を繰り返している。本論文では、ユーザの移動軌跡から、ユーザが関心を持っていると考えられる地点を推定する手法について提案する。推定された地点群は、あるユーザの関心によって結びついていることとなる。従って、地理上の地点を、物理的な位置関係ではなく、人々の関心を反映したネットワーク構造としてとらえることができる。このネットワークは、人々の移動によって動的に構成され、一見すると無関係に見える地点間への関連性を表す。我々は、このネットワークを利用した関心指向の地理サービスやコミュニケーションについても議論する。

Proposal of a Method for Extracting Points of Interest from User's Trajectory

KAZUYA OKADA,^{†1} TERUAKI YOKOYAMA,^{†2} TAKESHI OKUDA,^{†1}
SHIGERU KASHIHARA,^{†1} YOUKI KADOBAYASHI^{†1}
and SUGURU YAMAGUCHI ^{†1}

We are interested in user's geographical trajectories that are represented by moves and stops. We believe that these stops may indicate user's points of interest, and the graph representation of trajectories can be used for information dissemination that has more utility than proximity-based ones. In this paper, we develop the method for extracting stops from raw trajectory measurements. In our experiments, we evaluate the nature of stops that are extracted from trajectory measurements. We also discuss the application of networked geographic information systems.

1. はじめに

近年、位置情報を取得できるデバイスの普及により、ユーザの位置を利用するサービス²⁾³⁾などが登場している。これらのサービスでは、コンテンツに位置情報を付与する事で、ユーザに周辺の情報を提供することを実現している。このように、GPS などを用いて位置情報を容易に取得利用できるようになっている。今後は、日常生活における位置情報の記録や利用が、より一般化すると考えられる。

日常生活におけるユーザの移動軌跡は、ユーザの意図を持った滞留と移動の繰り返しから構成されている。そこで、我々は、ユーザの移動軌跡に含まれる滞留に注目する。地点での滞留は、ユーザが何らかの関心をその地点に持っている事を示していると考えられる。従って、地理上の地点を、物理的な位置関係ではなく、

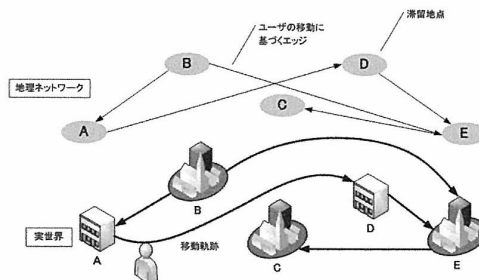


図 1 地理ネットワーク概念図

人々の関心を反映したネットワーク構造としてとらえることができる。この滞留点と、ユーザの移動から構成されるネットワーク構造を地理ネットワークと呼ぶ(図 1 参照)。

地理ネットワークは、地点間の関係性を利用した実世界の近傍性に限らない情報配信や、特徴的な経路発見に利用できると考える。例えば、複数人の地理ネットワークを重ね合わせる事で、地点間の移動人数に

^{†1} 奈良先端科学技術大学院大学
Nara Institute of Science and Technology

^{†2} サイバー大学
Cyber University

応じて広告を配信することができる。また、地理ネットワークを介した情報交換などのメッセージング機能を実現できると考える。

本論文では、ユーザの移動軌跡における特徴を利用した滞留点を推定する方法を提案する。そして、実験ではユーザの移動軌跡を収集し、提案手法により移動軌跡から滞留点を抽出できることを示す。また、地理ネットワークの特徴を応用したサービスについて考察する。

2. 関連研究

地理的な場所やユーザの位置などは、実世界での重要な情報となる。近年の GPS やセンサ類の発達により、位置情報の取り扱い是一般化しつつある。この位置情報を利用した、様々なサービスが研究開発されている。

コンテンツへの位置情報の付与と位置情報に基づいた検索機能によって、特定地点やユーザの近傍に関する情報の提供サービスが登場している。これらのサービス²⁾³⁾では、店舗情報や地図が提供がされる。位置情報の過去履歴に基づいて、ユーザごとに情報を提供する位置情報のパーソナライズも研究されている。論文⁶⁾では、現在位置だけではなくユーザの移動履歴を基にした情報推薦を提案している。

ここまでの位置情報の利用は、現在位置や指定に基づいた情報提供を行っていた。しかし、現実的には位置は厳密に指定されるよりも、範囲をもって指定できる事が求められている。研究⁹⁾では、実空間の近傍性ではなく、論理空間上での近傍性に基づいたコンテンツ提示手法を提案している。異なる範囲を持つコンテンツ同士の間隔関係に基づいてリンクを生成し、離れた位置の情報を取得することを実現している。

それに対して、コンテンツを発見する指標として位置情報を利用するのではなく、位置情報を分析し実世界の行動履歴を把握する研究もされている。論文⁸⁾では、ユーザの移動軌跡に含まれるネットワーク構造の抽出と利用を提案している。論文の中では、ユーザの行動履歴を直感的に把握するために、イベントなどから特徴的な地点を抽出しネットワークを構成して提示している。提案では、滞在、買い物などをした地点をノードと見なし、ユーザの移動によってそれらのノード間にパスを生成して移動軌跡をグラフ構造で表現する事に成功している。このグラフ構造は、実世界の隣接関係によらない、地点間の関連性を示していると見る事ができる。グラフにおけるノードはユーザの明示的な行動や、暗黙的なユーザの滞在によって定義

することができる。論文⁷⁾では、暗黙の情報を利用して現在地を推定を行なっている。この論文では、ユーザの訪れた施設を特定するために GPS の緯度経度情報から滞在した地点を推定する手法を提案している。この手法では、GPS の信号が一定時間途切れた時は屋内に、信号の受信を再開して一定時間が経過したら屋外に出たと判断することで滞在した位置を推定している。

多くのノードを発見するためには、ユーザの暗黙的な行動からの推定が重要である。本論文では、ユーザが関心のある地点に長く滞在する特徴に着目して、関心を示す滞留点の推定を行なう。

3. 滞留点の推定実験

本節では、ユーザの移動軌跡の収集方法について説明する。そして、移動軌跡から滞留点を推定する手法を検討する。

3.1 収集方法

無線 LAN の情報から位置を推定する Locky¹⁾⁵⁾を用いた位置情報収集プログラム作成し、ユーザの移動軌跡を収集する。

Locky では、予め GPS の緯度経度情報とその場所で確認できる無線 LAN 基地局 (AP) の BSSIDなどを記録して AP データベースを作成する。これにより、無線 LAN のみで AP の BSSID を確認して、緯度経度の位置情報を推定する事が可能となる。

位置情報の収集には、Locky で公開されている Locky Toolkit 内のプログラムを基にして、位置情報収集プログラムを作成する。この位置情報収集プログラムでは、1 秒間隔でその時点の UNIX 時間、緯度、経度のデータを収集する。そして、これらのデータを一つのファイルに記録する。ここで、緯度・経度は世界測地系 (WGS84) 形式で記録される。

ただし Locky では、AP を検知できない場合や、AP から取得した BSSID が AP データベースに存在しない場合には、現在の緯度・経度を推定できない。このような場合には、位置情報収集プログラムは緯度、経度のデータを記録しないこととした。

今回は、奈良から大阪へ買い物に行く一人のユーザを被験者として実験を行なう。その際に、被験者に位置情報収集プログラムが動作するノート PC を持ち歩いてもらう事で移動軌跡の収集を試みる。

被験者は、Google Map⁴⁾ で表示した図 2 の範囲を移動する。この図には、後述の実験結果のデータも表示されている。

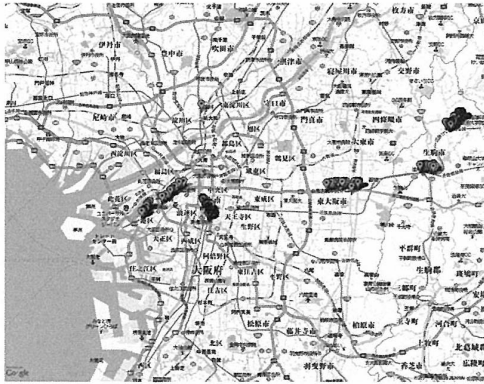


図 2 被験者の移動経路

3.2 収集環境

実験には、無線 LAN を内蔵したノート PC を利用する。実験環境の詳細を下記に示す。

- ノート PC: Think Pad T60(200733I)
- OS: Windows XP SP3
- Java Version: 1.6.0.05
- Locky Toolkit: β1(2006/11/24 公開版)
- Locky AP データベース: 2008/06/06 公開版

3.3 関心ポテンシャルの定義

実世界におけるユーザの行動を観察すると、ユーザは関心のある地点に長く滞留する傾向があると考えられる。関心のある地点では、ユーザが何かしらの行動をするために、必然的に滞留時間が長くなる。逆に、滞留時間の長い地点は、そのユーザが関心を示す潜在的な場所と推定される。滞留した地点とその付近には、ユーザの関心を引きつける何かがあると考えられる。

そこで、対象地点とその近傍についてのユーザの関心を表す関心ポテンシャルを定義する。関心ポテンシャルは、ユーザの関心が地点から遠ざかるごとに小さくなることからある一定の範囲でなくなるものとする。

このように範囲を持った関心ポテンシャルを定義することにより、ユーザの動き、周辺の影響によって位置情報がぶれて記録される場合であっても対応することができる。なぜなら、滞留している地点では記録される地点の密度が高いために、関心ポテンシャルが高くなるからである。

3.4 関心ポテンシャルの計算

位置情報収集プログラムで収集したデータの欠落を補うための処理を行なう。データ中で、2 秒以上取得できていない部分を、その前後のデータを用いて 1 秒間隔で線形補間し等間隔のデータにする。線形補間したデータは、1 秒毎の地点を示しているため同じ緯度

経度を持つ地点数から関心ポテンシャルの強さとなる各地点の滞留時間を求める。

上記の処理を施したデータから、各地点 i とその周辺の関心ポテンシャル $p_i[\text{lat}][\text{lon}]$ を式 (1) により計算する。lat, lon は、地点 i の緯度経度 $\text{lat}_i, \text{lon}_i$ を距離 D が $r[\text{m}]$ 以下の範囲内で x, y 方向へ d 度刻みで変化させる。この関数により、地点 i の滞留時間 h_i を頂点として底面の半径が r の円錐状のポテンシャルが計算される。今回の実験では、関心ポテンシャルの半径 r を 10[m], 刻み幅 d を 0.00001 度と設定した。

$$p_i[\text{lat}][\text{lon}] = -\frac{h_i}{r} \cdot D + h_i \quad (1)$$

i : 地点の番号

lat: 地点 i から変化させた緯度

lon: 地点 i から変化させた経度

D : 地点 i と緯度経度を変化させた位置との距離

r : 範囲

h_i : 地点 i における滞留時間

地点間の距離 $D[\text{m}]$ は、式 (2) のヒュペニの計算式により求める。

$$D = \sqrt{(M \cdot \text{dP})^2 + (N \cdot \cos(\text{aP}) \cdot \text{dR})^2} \quad (2)$$

aP: 2 地点の平均緯度

dP: 2 地点の緯度差

dR: 2 地点の経度差

M: 子午線曲率半径

N: 卯酉線曲率半径

ユーザの関心ポテンシャルは、式 (1) により計算した各地点の関心ポテンシャルの合成として表現される。

4. 実験結果

本節では、移動軌跡を収集した結果と、そのデータから滞留点を推定した分析結果を説明する。

4.1 移動軌跡の収集結果

実験での計測時間は、2008 年 7 月 20 日に大学を 13:23:56 に出発し、街中で収集端末のバッテリーが切れる 19:47:35 までの計 6 時間 23 分 39 秒間であった。被験者は、所属する奈良の大学院（領域 A）から最寄り駅（領域 A）へ自転車で移動した。次に、最寄り駅から電車に乗り、生駒駅（領域 B）を通過しつつ大阪へと向かった。この時、沿線にある石切（領域 C）も通過した。その後は、地下区間を移動し目的地である大阪の難波駅（領域 D）に到着した。この間に、位置情報収集プログラムにより収集できたデータ数は 6874 地点であった。

図 3 に、収集したデータを散布図で示す。この図で

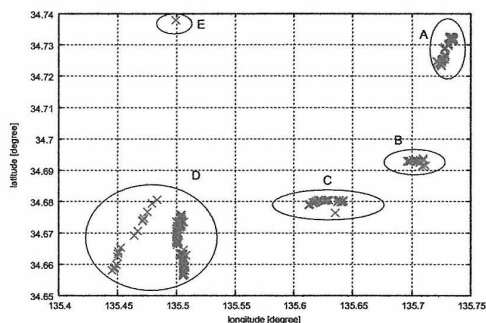


図 3 被験者の移動軌跡

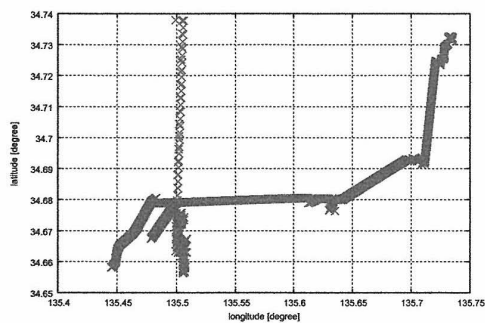


図 5 線形補間後の移動軌跡

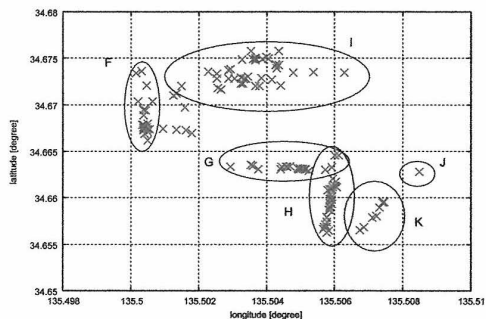


図 4 移動軌跡内の領域 D 部

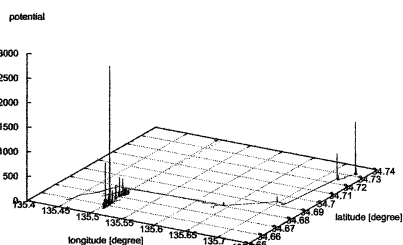


図 6 移動軌跡全体の関心ポテンシャル

は、横軸が経度、縦軸が緯度を表している。A,B,C,Dの各領域間でデータが取得できていないのは、被験者が電車で移動中、もしくはトンネル中においてAPを検知できず位置情報が収集できなかったからである。

図 3 の領域 D の拡大図を図 4 に示す、F,G,H,I,Kの領域は、街中の大通りであり、密に位置情報が取得できている事が確認できる。

また、領域 E,J は、実際には訪れていない地点であり、データに誤りがある事が確認された。領域 E の点は、領域 D を移動中に記録されたものであり、実際に移動していた地点から約 10[km] 離れた地点である。これは、元々領域 E に存在した AP が Locky のデータベースに登録された後に領域 D に移動したために発生した誤りである。これらの誤りを含みつつも、被験者の移動した周辺の地点を記録することができた。

4.2 推定結果

図 5 は、取得データを 1 秒ごとの移動記録として線形補間した結果である。図 6, 図 7 は、この補間したデータを基に関心ポテンシャルを計算した結果である。

これらの図から、被験者が滞留した地点が、関心ポテンシャルの高い領域として示されていることがわかる。一方で、被験者の移動中は、関心ポテンシャルが

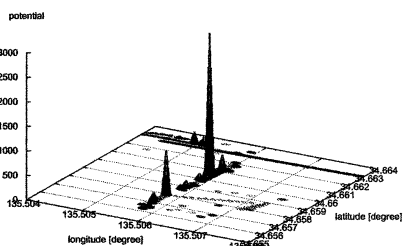


図 7 領域 D 周辺の関心ポテンシャル

低くなり滞留した区域とは異なる事がわかる。位置情報収集プログラムで誤って記録された地点も、滞留時間が少ないため関心ポテンシャルが低く示されて区別が容易となっている。

関心ポテンシャルが高くなっている付近が、被験者にとって関心をもって滞留した地点を含んでいると考えられる。滞留点は、ユーザの移動軌跡中に存在しており、それぞれの地点は滞留した順序でつながりを

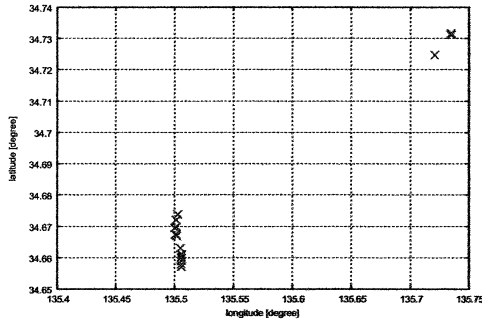


図 8 抽出した滞留点

持っている。これより、滞留点を移動によって接続されたグラフ構造と見ることができ、地理ネットワークを構成することができると考える。

図 6 において、関心ポテンシャルの高い領域のデータを手動で抽出した結果が図 8 である。抽出した地点を、Google Map にマーカーで表示し各地点の周辺状況を確認した。その結果、抽出した滞留点は、大学、駅（2 駅）、ファーストフード店、電気屋周辺であることが分かった。これらの地点は、実験準備、電車待ち、休憩、買い物で滞留した地点であった。被験者からの聞き取り調査により、これらの滞留点は被験者が明らかな意思をもって行動した地点であることが確認できた。

しかし、抽出した滞留点の中には、関心を持って滞留していない地点も含まれていた。これらの地点は、被験者の歩行速度が遅いために、同じ地点が長く記録され関心ポテンシャルが高く計算されたためであると考えられる。そのため、各滞留点付近における速度を考慮して、移動と滞留地点を分離する必要がある。

また、尺度を大きくすると、図 6 より領域 A と領域 D という大きな範囲での滞留が見える。一方で、尺度を小さくすると、図 4 のように各領域内で複数の滞留点の存在が確認できる。このように、尺度の違いにより認識できる滞留点の範囲も変化する事がわかる。

5. 滞留点の応用

本節では、滞留点を利用した地理ネットワークの応用について議論する。滞留点と、ユーザの移動から構成されるネットワーク構造が地理ネットワークである。この地理ネットワークによって、ユーザの関心に基づいた地点間のつながりを把握することができる。下記では、地理ネットワークの性質の応用について考察する。

5.1 特徴的な経路発見

地理ネットワークでは地点間が移動人数により重み付けられるため、地点間の特徴的な移動経路の発見することができる。

この性質は、観光地などで名所を回る最適な経路の発見サービスに応用できる。さらに、地理ネットワークの地点はユーザの滞留によって構成するため、施設以外にもユーザが立ち止まった地点や、イベントが行なわれた地点など実世界の施設には現れない地点を動的に発見してする事も可能になる。

5.2 地理ネットワークを介した広告配信

ユーザの関心に基づいた地点間のつながりを構成して、広告配信に利用できる。例えば、現在の電車広告では、その沿線に存在する施設、イベントの情報を広告として掲載している。これは、鉄道を利用するユーザにとって生活圏である沿線周辺の情報が重要であるという性質に基づいている。

地理ネットワークを利用する事で、鉄道といった手段を選ばずにユーザの移動軌跡から、ユーザが良く利用する地域、施設を特定することで効率の良い広告配信が可能となる。複数のユーザの移動軌跡を重ね合わせて地理ネットワークを構成する事で、同一領域にいるユーザの地点間の頻度によって地理間の強さが決まる。このように、現在の位置を利用した情報配信ではできない広告経路の構成も可能になる。

この広告配信経路と現在の電車広告との大きな違いは、広告配信する地点が人の移動経路によって構成される点である。そのため、人の移動履歴の変化を追従する事で、新しい施設の登場などによるユーザの変化を反映して動的に広告配信を行なう事もできる。また、地理的に離れた地点であってもユーザの移動が多ければ、それらの地点間の関連性を検出できる。これにより、対象を限定した広告の表示や、実世界の位置に制限されない情報配信が可能になる。

5.3 移動経路指向のメッセージ配信

地理ネットワークは、過去に訪れた地点に基づいて構成される。このネットワークを利用して、移動経路指向のメッセージ配信サービスを実現できる。地理ネットワークにおいて滞留点間のつながりは、その地点間の移動経路の存在を表現している。従って、経路上で発生した情報を地点間のつながりに応じて配信する事が可能である。

例えば、電車などの交通機関で発生した障害情報を、対象区間を利用したユーザに対して経路を辿る事で配信することが可能である。また、地理ネットワークからわかる地点間のつながりの強さを基に、障害が発生

した区間を利用するユーザが多い地点に障害情報を配信する事も可能となる。これにより、交通機関を利用したユーザだけでなく、利用する可能性が高いユーザがいる地点にも情報を配信することができる。

No.TOD14, pp.98–109 (2002).

6. おわりに

本論文では、Locky を用いた位置情報収集プログラムによりユーザの移動軌跡を収集し、関心ポテンシャルを計算する事で移動軌跡から滞留点を推定した。この滞留点と、ユーザの移動を用いる事により地点間の関連性が明らかになる。これにより、ユーザの関心を反映した地点間の地理ネットワークを構成する事ができる。この地理ネットワークを用いる事により、実世界の近傍性に限らない広告情報の配信などが可能となる。

今後の課題としては、提案した関心ポテンシャルの妥当性の検証が挙げられる。さらに、複数ユーザからの大量のデータを用いた地理ネットワークの具体的な構成方法の検討や、地理ネットワークの性質を利用したサービスの考察が重要な課題である。

参 考 文 献

- 1) Locky - <http://www.locky.jp/>
- 2) ぐるなび - <http://www.gnavi.co.jp/>
- 3) EZナビウォーク - <http://eznavi.auone.jp/map/>
- 4) Google Map - <http://maps.google.co.jp/>
- 5) 吉田廣志, 伊藤誠悟, 河口信夫, 無線 LAN を用いた位置推定ポータル Locky.jp と基地局データ収集手法, 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICO2006) シンポジウム, Vol. 1, pp. 281–284 (2006).
- 6) Sineenard, P., Toshikazu, K., Query Processing Algorithms for Time, Place, Purpose and Personal Profile Sensitive Mobile Recommendation. In Proceedings of the 2004 International Conference on Cyberworlds(CW'04).pp.423–430 (2004).
- 7) Takeuchi, Y., Sugimoto, M.: CityVoyager: An Outdoor Recommendation System Based on User Location History, In Proceedings of Ubiquitous Intelligence and Computing (UIC2006), Wuhan and Three Gorges, China, pp.625–636 (2006).
- 8) 伊藤昌毅, 徳田英幸: ユーザの行動を反映した位置履歴表示システムの構築, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICO2003) シンポジウム, pp.477–480 (2003).
- 9) 平松治彦, 角谷和俊, 上原邦昭: 位置依存情報配信システムのための空間ハイパーメディアの枠組み, 情報処理学会論文誌: データベース, Vol.43,