

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24650038

研究課題名(和文) 位置情報サービス利用における位置プライバシー保護の研究

研究課題名(英文) A Study on Location Privacy Preserving for Location-based Service Usage

研究代表者

原 隆浩 (Hara, Takahiro)

大阪大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：20294043

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円、(間接経費) 870,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、近年、盛んに開発されている位置情報サービスにおいて、ユーザの位置プライバシーを保護するための手法を確立した。具体的には、ユーザの正確な位置や移動履歴をサービス提供者に知られることなく位置情報サービスを楽しむために、複数のダミーの位置情報をサービス提供者に送信する手法を考案した。考案手法は、実環境における様々な制約や、より現実的なユーザの移動モデルを想定しており、先行研究のアプローチと比較して、実環境における有効性が非常に高い。

研究成果の概要(英文)：In this research, we have established a series of approaches to preserve user's location privacy when using location-based services. Specifically, we have proposed some methods to generate a set of dummy locations sent to service providers so that the locations and trajectories of the users cannot be known by the service providers when using the services. The proposed methods are significantly more effective in the real world than other existing approaches, because these assume various physical restrictions in the real world and more realistic user mobility models.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：モバイルシステム 位置プライバシー 位置情報サービス

1. 研究開始当初の背景

近年、スマートフォンなどの高性能携帯電話の普及や高速無線通信技術の発展により、モバイルユーザに周辺の観光地やショップ、レストランなどの情報（位置依存情報）を提供する位置情報サービスが注目され、既に多くのサービスが運用されている。その一方で、位置情報サービスでは、ユーザが自身の位置をサービス提供者に通知しなければならないため、情報の不正利用や情報流出により、ユーザの現在位置や過去の移動履歴といったプライバシー（位置プライバシー）が侵害されるという脅威が指摘されている。そのため、位置プライバシー保護のための研究が近年盛んに行われている。

しかし、従来研究の多くは、ユーザが空間内の任意の場所を歩いたり、移動特性が非常にシンプル（例えばランダムに移動するものや停止せずに歩き続けるものなど）であるなど、現実的ではない想定が行われていた。また、ユーザの現在位置もしくは移動履歴のいずれかのプライバシーしか保証しないものが多い。そこで、より現実的な想定のもとで、ユーザの現在位置および移動履歴の両方に関する位置プライバシーの保護が重要と考え、本研究の着想に至った。

2. 研究の目的

本研究では、ユーザが位置情報サービスを継続的に利用する状況において、位置プライバシー保護のための実用的な手法を考案し、その有効性の検証を行う。具体的には、道路やユーザの移動速度といった物理的制約を考慮して、複数のダミーの位置情報を生成する手法を考案する（図1）。ユーザの位置情報とともに、ダミーの情報をサービス提供者に送信することで、サービス提供者はユーザとダミーを判別できないためユーザの位置プライバシーを保護できる。サービス提供者は、送信されたユーザとダミーの位置情報の全てに対して、それらに対応するサービスをユーザに返信する。ユーザは其中で、自身の実際の位置に対するサービス以外は破棄する。これにより、サービスの品質を低下させることなく、ユーザは位置情報サービスを受受できる。

ここで、ダミーを生成する際、異なる移動速度やユーザの嗜好など、さまざまな実環境の要素を想定する。また、ユーザが連続してサービスを利用することも想定し、ダミーがユーザと同様に自然に動くように、ダミーの移動軌跡を決定し、連続的にダミーを生成する。

3. 研究の方法

本研究では、様々な実環境の要素を考慮して、自然なダミーを生成する手法を考案する。具体的には、ショップやレストランなど静止



図1：ダミーを用いた位置曖昧化

しながら歩行移動するユーザと、車で移動するユーザを想定し、それぞれに対して異なるダミー生成手法を設計する。

考案手法の有効性を、シミュレーション実験および被験者実験により、統計量と視認性の両方の観点から評価する。これにより、考案手法により生成したダミー情報が、ユーザと識別が困難であり、ユーザの位置プライバシーを十分に保護できることを検証する。

4. 研究成果

本研究では、上記の研究目的を下記のように達成した。なお、本研究の一部は、マイクロソフト研究所を連携しながら推進した。

(1) 停止を伴う歩行ユーザの位置曖昧化
最初に、ユーザがレストランやショップなど、複数の場所で停止しながら移動する状況を想定し、ユーザと同様に複数個所で停止しながら移動するダミーを生成する手法を考案した。その詳細を以下に示す。

① ユーザの移動プランが既知の場合のアプローチ

まず、ユーザの移動プランが既知である単純化した移動モデルを想定し、効果的にダミーを生成する手法を考案した。この手法では、指定された数のダミーを一つずつ生成する。各ダミーの生成において、まずユーザの移動履歴の追跡性を低下することを目的とし、ユーザ（および他のダミー）と交差（共有）することが可能な停止地点を選択する。さらに、ユーザの現在位置の曖昧性を増すことを目的として、ユーザとダミーが広範囲に分散可能な停止地点を選択する。これらの停止地点を接続した軌跡をダミーの移動プランとする。

シミュレーション実験による評価の結果、考案手法は従来のアプローチと比較して、ユーザの現在位置の曖昧性をより高くでき、さらに移動履歴の追跡性を大幅に低くすることを確認した。

なお、この手法では、ユーザが既知の移動プランから逸脱して行動することは想定していない。また、ユーザがカフェのあとにショップに行くなど、ユーザの行動の嗜好は考慮していない。

② ユーザが移動プランを逸脱して行動した場合のアプローチ

次に、ユーザが既知である移動プランから逸脱して行動した場合の対応法について検討した。具体的には、まず移動プランを逸脱するケースを速度、経路、停止時間、停止地点などの観点から、いくつかのパターンに分類し、それぞれのパターンが性能に与える影響を調査した。その結果、停止地点以外の変更に対しては、①の考案手法の性能は比較的ロバストであることを確認した。一方で、停止地点の変更は、ユーザとダミーが交差しにくくなるため、移動軌跡の追跡性を大幅に高くしてしまうことを確認した。

この調査結果に基づいて、①の考案手法の拡張について検討した。拡張手法では、速度、経路、停止時間などの軽微なプランの変更であれば、ダミーの移動も軽微な変更で対応し、停止地点の変更などであれば、ダミーの停止地点や移動経路などの大幅な変更を試みる。

③ ユーザの嗜好を考慮したアプローチ

①（および②）の考案手法は、停止地点の意味的な属性（例えば、カフェやレストラン、ショップなど）は特に考慮せず、全ての停止地点を同等に扱っていた。しかし、実環境においてユーザは、ジム、カフェ、図書館、レストランの順で訪問する傾向が強いなどといったように、移動パターンや嗜好に関してある特性をもつことが一般的である。

このような特性を考慮せずにダミーを生成した場合、嗜好の特性の違いからユーザとダミーを容易に識別できてしまう可能性が高い。そこで本研究では、ユーザの嗜好を考慮したダミー生成法を考案した。この手法では、まずユーザの移動履歴を記録し、移動特性をモデル化する。このモデルでは、停止地点（訪問位置）に関して、そのカテゴリ（カフェ、ショップなど）の訪問頻度や遷移確率を木構造の節点と辺として表現する。そして、このモデルに基づいて、ユーザと同様の移動特性で移動しつつ、移動軌跡の追跡性の低下や、現在位置の曖昧性の向上を考慮して、ダミーを生成する。

図2の例では、濃い灰色のダミーを生成する際に、ユーザの訪問傾向に従いつつ、「ジム」訪問時にユーザおよび他のダミーと広範囲に分散することでユーザの現在位置の曖昧化を図り、かつ、「カフェ」訪問後にユーザと交差することで移動軌跡の追跡性を低下している。

シミュレーション実験による評価の結果、考案手法は他のアプローチ（①の手法など）と比較して、ユーザの位置の曖昧性、移動軌跡の追跡性の両方の観点から、大幅に良い性能を示すことを確認した。

(2) 車で移動するユーザの位置曖昧化

(1)では、歩行移動するユーザを想定していたが、ユーザが車で移動する場合、移動特性の観点から歩行ユーザとは大きな違いが生じる。例えば、車で移動する場合、以下のような特性がある。

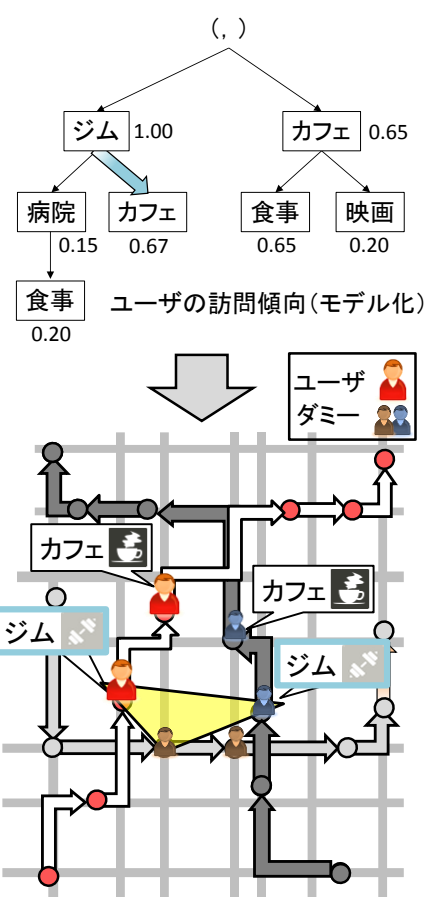


図2：ユーザの嗜好を考慮したダミー生成手法

- 交通規則（スピードや一方通行、信号など）にしたがって移動する。
- 歩行移動のようにぶらつきたり、逆方向に方向転換することなく、目的地に向かって最短経路で移動する傾向が強い。また、同一の道路上では信号などで停止する場合を除いて、ほぼ等速で移動する。このように、車で移動する場合の移動特性は制約が非常に強いため、(1)の考案手法のように、移動するダミーを完全に人工的に生成すると、不自然な移動になってしまうことが考えられる。

そこで本研究では、実際の車両から得られた移動軌跡のトレースデータ（GPSデータ列）を、ダミーの移動軌跡として用いる手法を考案した。この手法では、既知であるユーザの移動プランに対して、ユーザもしくは他のダミーと最低1回は交差するようなトレースデータを選択し、これを新たなダミーとして用いる。候補が複数存在する場合、できるだけ交差のタイミングが分散するように一つのトレースデータを選択する。

シミュレーション実験の結果から、この手法は単純ではあるが、他の手法と比較して、移動追跡性の低下の観点から大幅に良い性能を示すことを確認した。

(3) 研究成果の学術的重要性・インパクト

上記で示した本研究の考案手法は、位置情報サービス利用における位置プライバシー保護のための効果的かつ実用的なアプローチとして、国内外で学術的に高い評価を得ている。これまで理論研究に偏重気味であった当該分野において、現実的な想定のもと、効果的な解法を示した本研究は、今後の当該分野の方向性に大きな影響を与える可能性がある。

本研究の成果は5に示すように、論文誌に1編、国際会議に3編、国内学会に4編の論文として公表している。これらの中には、地理情報システム分野で世界最高峰の国際会議であるGISも含まれており、本研究成果の学術的重要性の高さを表している。また、国内学会において研究賞を受賞しており、雑誌論文[1]はそれに伴う推薦論文である。

社会的には、本研究成果は、位置情報サービスの安全性を位置プライバシー保護の観点から大幅に向上するものであり、今後の位置情報サービスの発展に大きく貢献するものと期待される。

以上のように、本研究成果は学術的および社会的にインパクトが大きく、挑戦的萌芽研究として、当初の目的以上の成果を達成したものと考える。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計1件)

- [1] 加藤 諒, 岩田 麻佑, 原 隆浩, 鈴木 晃祥, 荒瀬 由紀, Xing Xie, 西尾 章治郎, 停止するユーザの移動経路に基づいた位置プライバシー保護のためのダミー生成手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 55, No. 1, pp. 505-518, 2014年.

[学会発表] (計7件)

- [1] 加藤 諒, 岩田 麻佑, 原 隆浩, 鈴木 晃祥, 荒瀬 由紀, Xing Xie, 西尾 章治郎, 停止を伴うユーザの移動経路を考慮したダミーによる位置曖昧化手法, 情報処理学会マルチメディア通信と分散処理ワークショップ, pp. 210-218, 2012年10月8日, ホテル奥道後(愛媛県松山市).
- [2] Ryo Kato, Mayu Iwata, Takahiro Hara, Akiyoshi Suzuki, Yuki Arase, Xing Xie, Shojiro Nishio, A Dummy-based Anonymization Method Based on User Trajectory with Pauses, International Conference on Advances in Geographic Information Systems (GIS 2011) pp. 249-258, 2012年11月8日, Crown Plaza Redondo Beach & Marina Hotel (Redondo Beach, CA, USA).
- [3] 山本 彩奈, 岩田 麻佑, 原 隆浩, 荒瀬 由紀, Xing Xie, 西尾 章治郎, 車両トレースデータを用いたダミー生成による位置プライバシー保護手法, 情報処理学会研究報告, Vol. 2012-DPS-153, No. 12, 2012年11月, 彦根キャッスルホテル(滋賀県彦根市).

- [4] 加藤 諒, 岩田 麻佑, 原 隆浩, 荒瀬 由紀, Xing Xie, 西尾 章治郎, ダミーの広範囲な分散を考慮したユーザ位置曖昧化手法, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO 2013)シンポジウム, pp. 11-18, 2013年7月10日, ホテル大平原(北海道河東郡).
- [5] Ryo Kato, Mayu Iwata, Takahiro Hara, Yuki Arase, Xing Xie, Shojiro Nishio, User Location Anonymization Method for Wide Distribution of Dummies, International Conference on Database and Expert Systems Applications (DEXA 2013), Vol. 2, pp. 259-273, 2013年8月28日, University of Economics (Prague, Czech Republic).
- [6] Takahiro Hara, Ayana Yamamoto, Mayu Iwata, Yuki Arase, Xing Xie, Shojiro Nishio, Location Anonymization using Real Car Trace Data for Location Based Services, International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication (IMCOM 2014), 2014年1月10日, Sofitel Angkor Phokeethra Golf and Spa Resort (Siem Reap, Cambodia).
- [7] 加藤 諒, 松野 有弥, 原 隆浩, 荒瀬 由紀, Xing Xie, 西尾 章治郎, ユーザの訪問場所の傾向を考慮したダミーによるユーザ位置曖昧化手法, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO 2014)シンポジウム, pp. - 2014年7月10日(発表予定), ホテル泉慶(新潟県新発田市).

[その他] (受賞1件)

- [1] 情報処理学会 マルチメディア通信と分散処理ワークショップ, 優秀論文賞, 2014年10月.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

原 隆浩 (HARA TAKAHIRO)
大阪大学大学院・情報科学研究科・准教授
研究者番号: 20294043