

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 6 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K12462

研究課題名(和文) 観測データに基づく人の移動履歴の推定

研究課題名(英文) Large-scale multi-target tracking problem to identify massive people flow in urban area

研究代表者

梅谷 俊治 (Umetani, Shunji)

大阪大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：80367820

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：防災、交通、マーケティングなどの分野で、個人の移動履歴を収集・加工したデータベースを利用して時々刻々変化する人の流れを解析する研究や調査が盛んに行われている。しかし、データに含まれる個人情報の扱いやデータの欠損・不備などの問題により、広い範囲にデータベースを完全な形で公開することは困難である。本研究では、地域内の各地点に配置されたセンサーから観測される各時刻の交通量を入力データとし、時空間に拡張された大規模なネットワーク上における整数計画問題を解くことで、限られた観測データから個人の移動履歴を推定する手法を提案する。

研究成果の概要(英文)：Analysis of spatiotemporal people flow in urban area has become increasingly important in many application including marketing and public services. Although we can partially monitor people flow by tracking various devices such as mobile phones and IC tickets, it is quite incomplete because some privacy and integration issues still remain. To identify massive people flow from fragmentary observed data, we solve large-scale multi-target tracking problem by integer programming approach.

研究分野：組合せ最適化

キーワード：トラッキング

1. 研究開始当初の背景

防災、交通、マーケティングなどの分野で、個人の移動履歴を収集・加工したデータベースを利用して、時々刻々と変化する人の流れを解析する研究や調査が盛んに行われている。特に最近では、Suicaなどの交通系ICカードや携帯端末など個人の移動履歴データを取得する手段が整備されるようになり、データベースの充実とともに潜在的な需要は増加の一途をたどっている。しかし、これらのデータベースは個人のプライバシー情報を多く含むために、企業や個人などの幅広い層にデータベースを完全な形で公開することは非常に困難である。また、移動履歴データの欠損や不備によりデータベースの構築が困難な場合も少なくない。このような状況の下で、限られた観測データから個人の移動履歴を高い精度で推定する手法は、現代社会のサービスを支える重要な基盤技術となることが期待できる。

2. 研究の目的

研究代表者は、地域内の各地点に配置されたセンサーから観測される各時刻の交通量を入力データとし、時空間に拡張された大規模なネットワーク上の最適化問題を解くことで、各人の移動履歴を推定する方法を提案し(図1)、各都市圏の人の流れデータを用いた数値実験で高い精度を達成した。しかし、十分な質と量の観測データを利用できない現実的な状況では精度が著しく低下する問題が生じている。

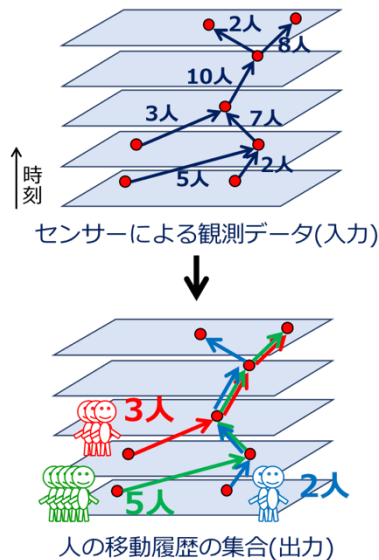


図1：観測データに基づく人の移動履歴の推定

本研究では、大規模な都市圏において限られた観測データから個人の移動履歴を高い精度で推定する手法の開発を目的とする。人はごく限られた種類の経路のみを高い確率で利用する性質に着目し、一部の移動履歴データから各経路候補の組み合わせを求めることで、限られた観測データから個人の移動履歴を高

い精度で推定する。

観測データから移動体の軌跡を推定する問題は移動体追跡問題(multi-target tracking problem)として知られ、コンピュータビジョンやライフサイエンスなど産業や学術の幅広い分野で研究されている。しかし、大規模な都市圏における数万~数百万人の移動履歴の推定は今までにない大規模な移動体追跡問題である。

本研究では、移動体追跡問題を時空間に拡張されたネットワーク上の最適化問題に定式化することで、大規模な都市圏における数万~数百万人の移動履歴を少ない計算量で推定する手法を実現する。

3. 研究の方法

本研究では、大規模な都市圏において限られた観測データから数万~数百万人の移動履歴を高い精度で推定するために、一部の移動履歴データから各経路候補の利用確率を学習した上で、観測される交通量との誤差を抑えつつ最も利用確率の高い経路候補の組み合わせを求める問題を時空間に拡張したネットワーク上の整数計画問題として定式化し、整数計画ソルバーにより短時間で解を求めた。

また、出力された推定結果を適切に評価するために、出力した経路と実際の経路を類似度に従って対応付ける手法を提案した。

(1) 整数計画法による人の移動履歴の推定

地域内の交通網を表すネットワークを時間軸方向に拡張した時空間ネットワーク(time-space network)を用いて、地域内の各地点に配置されたセンサーから観測される各時刻の交通量を各枝を流れるフロー量で表すことで問題を定式化する(図2)。

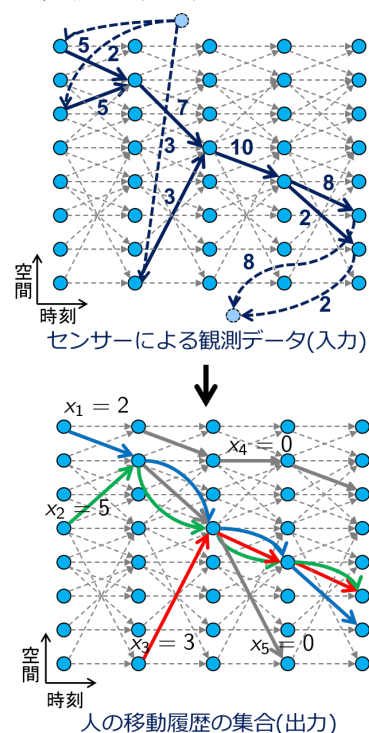


図2：時空間ネットワークによる移動体追跡問題の定式化

個人の移動履歴は時空間ネットワーク上での単純パスで表現され、本研究では、これを経路と呼ぶ。可能な経路候補全体の集合を P 、各経路候補 $p \in P$ を利用する人数を変数 x_p で表すと、時空間ネットワーク上の各枝のフロー量の推定値を計算できる。これと観測データから得られる各枝のフロー量の実測値との誤差を最小化する問題は整数計画問題に定式化できる。

この定式化では、可能な全ての経路候補 $p \in P$ に対して変数 x_p を用意するため問題の規模が大きくなり過ぎる、最適解が多数存在しておよそ人が取り得ないような経路を出力する可能性が高いなどの問題点がある。そこで、東京大学空間情報科学センターが各都市圏のパーソントリップ調査をもとに作成した研究機関向けの人の流れデータを用いて、時空間ネットワーク上の始点と終点の各組に対して実際に利用された経路の種類を集計したところ、始点と終点のほとんどの組に対して実際に人が利用する経路は数種類しかないことが確認できた。

提案手法では、人の流れデータより実際に利用された経路の集合を取り出した上で、各経路の出発時刻を前後にずらして得られる経路候補からなる集合 P' を生成する。可能な全ての経路 $p \in P$ ではなく生成した経路候補 $p \in P'$ のみを考慮した定式化を考えることで、問題規模の縮小と人が取り得る経路の出力を実現する。さらに、観測データから得られる各枝のフロー量が極端に少ない枝を通る経路候補が実際に利用されたとは考えにくい。そこで、観測データから得られるフロー量が十分に多い枝のみを含む経路候補の集合のみを考慮することでさらに経路候補を絞り込む。

(2) 経路の対応付けを用いた推定結果の評価

これまでの研究では、出力した経路と実際の経路が時空間ネットワーク上で完全に一致した場合を正解として移動体追跡問題の正答率を評価していた。しかし、これは例えば電車乗換えが1本前後しただけで不正解と判定される非常に厳しい評価指標で、出力した推定結果が適切に評価されているとは言い難い。そこで、出力した経路と実際の経路の類似度に従って対応付ける手法を提案する。

具体的には、出力した経路と実際の経路が完全に一致しない場合は、動的時間伸縮法 (dynamic time warping) を適用して、出力された経路と実際の経路の類似度を計算する。ここで、類似度の総和が最大となる経路同士を対応付けを計算する必要が生じるが、この対応付けを割当問題と呼ばれる多項式時間で解ける組合せ最適化問題に帰着することで正確な評価値を効率的に計算できる。

4. 研究成果

東京大学空間情報科学センターが公開する人の流れデータをもとに、山口、長野、高知、富山、仙台、道央、中京、大阪の8都市圏の6~9時の移動者を対象として移動履歴を推定

し、その推定結果を評価した (表1, 2)。推定結果の評価には、再現率 (recall) と適合率 (precision) の調和平均である F 尺度を用いた。

表1: 各都市圏における人の移動履歴を推定する問題の概要

| 都市圏 | 実際の移動人数 | 経路候補数 | ネットワークの枝数 |
|-----|---------|---------|-----------|
| 山口 | 11,614 | 25,647 | 19,248 |
| 長野 | 15,685 | 45,870 | 27,379 |
| 高知 | 17,944 | 64,166 | 25,105 |
| 富山 | 24,292 | 52,238 | 45,962 |
| 仙台 | 33,515 | 179,507 | 62,155 |
| 道央 | 36,422 | 172,459 | 71,764 |
| 中京 | 104,176 | 295,854 | 230,595 |
| 大阪 | 129,942 | 424,292 | 344,319 |

表2: 各都市圏における人の移動履歴の推定結果

| 都市圏 | 完全に一致する経路のみ正解 | 類似度の十分に高い経路を正解 |
|-----|---------------|----------------|
| 山口 | 0.690 | 0.917 |
| 長野 | 0.676 | 0.872 |
| 高知 | 0.578 | 0.847 |
| 富山 | 0.774 | 0.905 |
| 仙台 | 0.595 | 0.833 |
| 道央 | 0.640 | 0.844 |
| 中京 | 0.641 | 0.792 |
| 大阪 | 0.660 | 0.823 |

表2より分かるように、完全に一致した経路のみを正解とみなした場合には、推定結果の F 尺度はおよそ 0.6 から 0.7 であった。一方で、類似度が十分に高い経路を正解とみなした場合には、推定結果の F 尺度はおよそ 0.8 から 0.9 であり、都市圏における人の移動経路を高い精度で推定できていることを確かめた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計5件)

- ① 梅谷 俊治, 田原 大地, 森田 浩, 観測データに基づく人の移動履歴の推定, 計測自動制御学会 第58回システム工学部会研究会「人・モノをとらえる数理的アプローチ」, 2018.
- ② N. Uematsu, S. Umetani, H. Morita, An integer programming model of route assignment problem for reducing traffic congestion in urban area, *INFORMS Annual meeting*, 2017.
- ③ 田原 大地, 梅谷 俊治, 森田 浩, 移動体推定追跡問題の推定結果に対する評価方法, 第61回システム制御情報学会 研究発表講演会, 2017.

- ④ 平山 紗羅, 安藤 正樹, 蓮池 隆, 梅谷 俊治, 定点観測データに基づく人の移動履歴の推定, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 春季研究発表会, 2017.
- ⑤ 安藤 正樹, 平山 紗羅, 蓮池 隆, 梅谷 俊治, 都市圏における地点間観測数制限下での人の移動履歴の推定, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 春季研究発表会, 2017.

[その他]

ホームページ等

<https://sites.google.com/site/shunjiumentani/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

梅谷 俊治 (UMETANI, Shunji)

大阪大学・大学院情報科学研究科・准教授

研究者番号：80367820

(2) 研究分担者

蓮池 隆 (HASUIKE, Takashi)

早稲田大学・理工学術院・准教授

研究者番号：50557949