

審査の結果の要旨

氏名 黄豆

都市解析や交通計画などにおいて、人々の移動軌跡データ(モビリティデータ)はその応用が大いに期待され、様々な研究がなされている。しかしながら、移動軌跡データは個人情報であり、個別データを共有することには非常に大きな制約が課されている。そのため、詳細な個別情報を研究に用いることができるのは、そうした個人情報にアクセスすることができる研究グループに限られている。一方、モビリティデータを集計化したデータは個人情報ではないため、幅広く流通させることが可能ではあるが、詳細な情報は欠落しており、研究上の価値は限られる。

こうした制約を軽減するためには、統計的な性質がほぼ同じと考えられる擬似的なデータを、オリジナルなモビリティデータから作成し、その疑似データを研究に利用すると言った方法が考えられる。また個別のモビリティデータは、全体の母集団から得られる比較的少数のサンプルデータであり、偏りも存在するため、母集団の状態を推定するためには、適切な拡大推計の方法が必要である。この拡大推計は、統計的な性質がオリジナルデータとほぼ等しい疑似データを大量に生成するという考えと非常に似ており、偏りの少ない形で疑似データを適切に生成できれば、それをもって母集団の状態推定とすることも可能である。しかし、偏りや精度評価を行う必要があり、こうした観点からの研究はほとんど行われていないのが現状である。

本論文は、人々の個別の移動軌跡データ(モビリティデータ)から統計的に類似した疑似モビリティデータを作成する手法を開発し、その手法を改良しながら拡大推計への応用についても研究開発を進めたものである。本論文は、全6章からなっている。

第1章はイントロダクションであり、研究の背景と目的をまとめている。

第2章は人の移動軌跡データ(モビリティデータ)を生成するモデルの開発である。具体的には、深層学習の1手法である変分自己符号化器(VAE; variational autoencoder)を、モビリティデータに適用することで、モビリティデータ空間を潜在変数空間にマッピングし、潜在変数空間内でのモビリティデータの分布を、適切な確率分布で近似することにより、その確率分布から類似の個別モビリティデータを生成するものである。

第3章は、類似データの検索に基づくモビリティデータの生成である。VAEに基づくモビリティデータの生成は、軌跡の詳細については再現精度があまり良くないという問題がある。そこで軌跡の詳細に関しては、過去の軌跡データの断片の中から類似しているものを検索し、その部分だけをその類似断片で置き換えることで、細部に至るまでリアリティの高い疑似モビリティデータを生成できることを示した。その際、類似度の評価に当たって、エンコーダーを利用することで、類似した断片軌跡を非常に高精度に検索できることを示した。

第4章は制約条件付きの深層学習を実現するための微分可能な投影方法の開発である。変分自己符号化器を利用した疑似モビリティデータの生成にあたっては、様々な制約条件に適合するように疑似データを生成しなければならない場合がある。疑似モビリティデータを居住地に着目して集計した値が夜間人口の合計値に等しくなるといった制約や、特定路線に関する疑似モビリティデータの集計値が交通量の観測値に等しくなるといった制約が例として挙げられる。こうした場合には疑似データの生成に際して、制約条件を課す必要がある。この制約条件は多次元空間における部分空間として表現され、制約条件を満たすことはその部分空間への投影として定式化できる。しかし従来の研究で

は投影関数が微分できないため最適化計算に膨大な時間を要した。本論文では微分可能な投影関数表現を開発したうえで、深層学習における学習(最適化)に組み込むことで、高速な学習を可能とした。

第5章は、線形な制約条件を考慮した軌跡データの生成である。これまで開発された手法を統合して、モビリティデータの制約付き生成を行った。制約なしの生成に比べて、より新地に近い生成結果が得られることを確認した。

第6章は結論と今後の課題であり、研究成果と今後の研究展望についてまとめている。

以上、まとめると本論文は、これまでほとんど取り上げられてこなかった個人のモビリティデータの疑似データの生成手法に着目し、深層学習手法に制約付き学習を取り込むなど革新的な方法を開発し、流通可能な疑似データの生成や、サンプルデータであるモビリティデータを用いた合理的な拡大推計への道を開いたことは、空間情報科学への多大な貢献であると考えられる。よって本論文は博士(環境学)の学位請求論文として合格と認められる。

(1950字)