

令和元年6月15日現在

機関番号：32678

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2017～2018

課題番号：17H07156

研究課題名（和文）モデル予測制御に基づく先制型の仮想モバイルネットワークの資源最適化の研究

研究課題名（英文）Anticipatory resource optimization based on model predictive control in virtual mobile networks

研究代表者

塩本 公平（Shimoto, Kohei）

東京都市大学・知識工学部・教授

研究者番号：00535750

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,300,000円

研究成果の概要（和文）：多量の移動データを集めて特徴を抽出し人の将来の移動先を予測する方法を開発した。BIDE法と呼ばれる系列パターンマイニング法により頻出移動パターンを抽出し、移動先を予測する方法を検討した。約200人分の5年半の移動データを用いて評価した結果、次の移動先を70%の確率で予測できることが明らかになった。

従来のトラフィック量の測定・予測だけで帯域割り当てを行うと、エリア内のユーザ数が変化した場合に追従できないが、エリアごとのユーザ数を予測してトラフィック量を見積もり、モデル予測制御を行う方法を検討し、指数平滑を援用することで短時間変動がある場合でも適切に帯域割り当てができることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

個人の移動データを系列パターンとしてモデル化し、マイニングアルゴリズムで分析することで、頻出移動パターンを抽出し、それをもとに移動予測ができることを示した。モバイル通信の設計や保守だけでなく、防災・安全、交通・運輸などへの応用が考えられる。自治体などと連携し防災・避難計画に役立てたり、鉄道会社と連携して沿線の都市計画へ活用することが考えられる。今後は、日本国内の大都市圏での人の移動データの分析に取り組み、これらのモバイル通信網の設計以外の応用にも取り組む。

また、精度の向上や計算時間の短縮などの性能向上に取り組む一方で、使い勝手の良いソフトウェアの作成に取り組む。

研究成果の概要（英文）：We developed a method that predicts the future location of human. The proposed method employs a sequential pattern mining algorithm called BIDE method to extract frequent trajectory patterns from a large amount of human trajectory data and calculates a score of frequent trajectory pattern to predict the future location of human. We evaluate the proposed method using about 18,000 trajectory data collected from 200 users during five and a half years and demonstrate that the proposed method yields 70% accuracy of prediction.

Conventional resource allocation methods that use only traffic data could perform poorly when the numbers of users in the areas fluctuate. We develop a model predictive control for resource allocation method that uses not only traffic data but also predicted number of human in areas. We demonstrate that the proposed method, with help of exponential smoothing, allocates sufficient resource even when short-term fluctuation exists.

研究分野：コンピュータネットワーク

キーワード：モバイルネットワーク モデル予測制御 移動データ 系列パターンマイニング 資源割り当て

1. 研究開始当初の背景

第五世代モバイル網 (5G 網) に向けて、人流・交通流に加え、Internet of Things (IoT) 等の多様な移動体への対応などで、通信トラフィックの需要予測が困難になると想定される。本研究では、移動の予測誤差が生ずる状況においても、理想状態との乖離が最小となるようにフィードバックをかけ、ネットワーク資源を柔軟に割り当てるために「モデル予測制御」をネットワーク資源の割り当て制御に応用し、制御の安定性を図りつつ、最高の Quality of Experience (QoE) を提供することを目的とする。ネットワーク資源の割り当て制御に適切な空間粒度の移動予測モデルとその推定法を確立し、モデル予測制御を用いたネットワーク資源の最適化を実現する。

2. 研究の目的

5G 網に向けて、人流・交通流に加え、IoT 等の多様な移動体への対応などで、通信トラフィックの需要予測が困難になると想定される。移動の予測誤差が生ずる状況においても、ネットワーク資源を柔軟に割り当て、最高の QoE を提供することが重要である。予測が困難な場合にも、理想状態との乖離が最小となるようにフィードバックをかけ、制御の安定性を図るために、「モデル予測制御」をネットワーク資源の割り当て制御に応用することが本研究の特徴である。本研究においては、ネットワーク資源の割り当て制御に適切な空間粒度の移動予測モデルとその推定法を確立し、モデル予測制御を用いたネットワーク資源の最適化を実現することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 人流・交通流の移動予測法

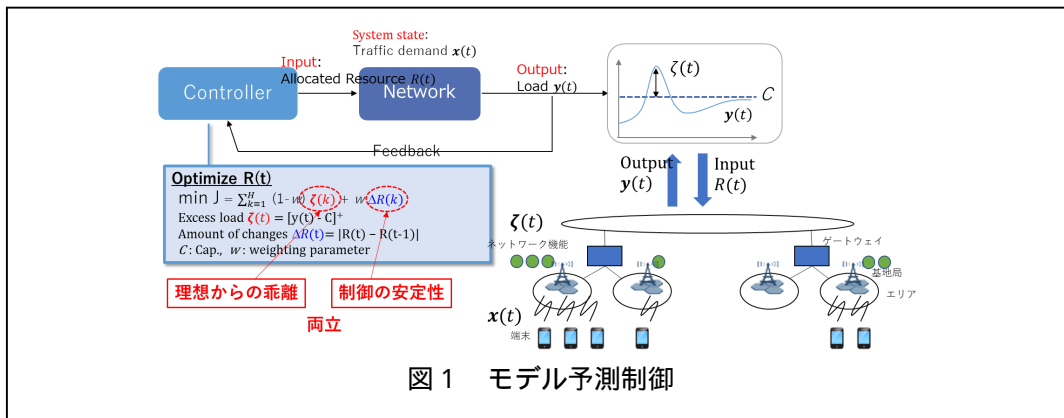
各エリアにおいて観測されるトラフィック量は時間とともに変動するが、これは通信トラフィックを発する人流・交通流が移動することにより生ずる成分と個々の情報源からのトラフィックにより生ずる成分がある。各エリアの観測された通信トラフィック量の時系列データから、空間移動による成分と時間変動による成分に分解し、それぞれの予測モデルを構築し、合成することでトラフィック変動を予測することが有効であると考えられる。

ネットワーク資源の割り当て制御を目的とすると、適切な空間粒度の移動モデルを明らかにする必要がある。個々の移動体の予測や集団の移動体の予測に関する研究を踏まえて、適切な空間粒度の移動モデルを明らかにするために、SDN と NFV による制御の空間粒度と移動モデルの空間粒度の整合をとりつつ、検討を進めた。

集団としての移動を考えた場合、各エリアの人口の時系列の変化が、人流の移動によって引き起こされるとみて、人流の移動モデルを構築することが有効であると考えた。エリア毎の時系列データから、隣接エリアへの人流・交通流のフロー量を推定し、この隣接エリアへの移動フロー量がその後も移動し続けると仮定して人流・交通流の分布を推定し、クラウドの資源量の割り当て方法を検討した。

(2) モデル予測制御を用いた資源の最適化

空間移動モデルを用いて、SDN と NFV による割り当てネットワーク資源の最適化手法を検討した。図 1 に示すように、モデル予測制御では、予測誤差が生ずる状況においても、理想との乖離の最小化と制御の安定性の両立を図りながら最適化を図る。ネットワーク機能に割り当てる資源量やその実現のために必要なネットワーク資源量を予測された需要に応じて割り当てるが、資源を超過した需要を最小化することで QoE を最大化する一方で、割り当て資源の変更量を最小化することで安定化を図る方法を検討した。



## 4. 研究成果

本研究課題での成果は3つある。頻出移動パターンの抽出、移動先の予測、資源割り当てである。以下では、これらの3つの研究成果について述べる。

### (1) 頻出移動パターンの抽出

移動端末の行動パターンに類似性があることに着目し、多量の移動データをマイニングすることで、将来の移動パターンを予測することを目標に、移動端末の移動データを多量に蓄積し、マイニングし、頻出移動パターンのデータベースを作成する方法を開発した。具体的には、各移動データを時間軸と空間軸を離散化することで系列パターンに変換し、系列パターンマイニングアルゴリズムである PrefixSpan 法と BIDE 法を適用し、マイニングに要する時間、抽出できる移動パターン数を評価した。

評価にあたっては、Microsoft Research Asia が GeoLife Project として公開している北京エリアの人の移動データを用いた。この移動データは、2007年4月から2012年8月にかけての182人の移動データで、GPSから得られた緯度、経度、時間の時系列データが含まれており、通勤、通学、買い物、食事、徒歩や自転車での移動などが含まれており、全部で17,621回分の移動データで、総行程は120万km、総時間は48,000時間である。

移動データの頻出パターンのマイニングについて、まず PrefixSpan アルゴリズムを適用した。PrefixSpan では計算時間が長大化し、時間粒度が細くなるにつれ頻出移動パターンの経路の長さが極端に短いものまでカウントする結果、頻出移動パターン数が多くなりすぎていることが明らかになった。そこで、この問題の改善策として BIDE 法の適用を検討した。BIDE 法は飽和系列パターンのみを抽出する頻出系列パターンマイニング法の一つであり、PrefixSpan 法のような非飽和系列パターンまでを抽出してしまう方法に比べると、重要な頻出系列パターンのみを抽出する。時間粒度を60分した場合についてそれぞれの方法が抽出する頻出パターンを評価した結果、PrefixSpan 法では頻出パターンの閾値である minsup が10と100の場合では、25,000と1,500になるのに対し、BIDE 法では10,000と1,000に抑えられることが明らかになった(図2)。また、時間粒度を30分した場合では、PrefixSpan 法では150,000と5,300となるのに対し、BIDE 法では60,000と4,800に抑えられることが明らかになった(図3)。

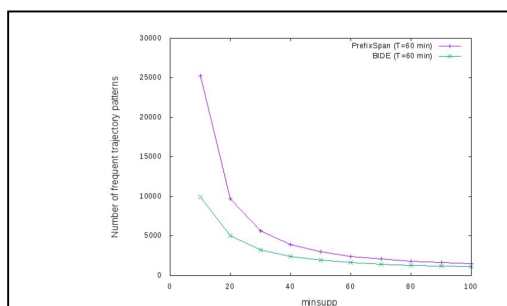


Fig. 12. Number of frequent trajectory patterns; T=60min.

図2 頻出移動パターン数 (T=60秒)

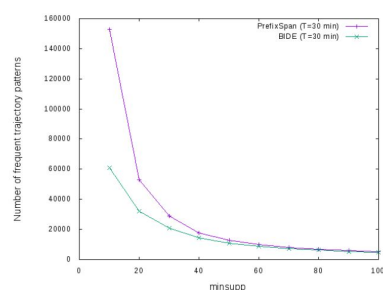


Fig. 13. Number of frequent trajectory patterns; T=30min.

図3 頻出移動パターン数 (T=30秒)

### (2) 移動先の予測

頻出移動パターンのデータベースをもとに、移動先の予測方法を開発した。移動先を予測したい移動端末のこれまでの移動パターンに最も似ている頻出移動パターンを抽出するため、対象ユーザのそれまでの移動と頻出パターンの類似度を評価するスコア値を計算し、直近のNステップに滞在したエリアが最も一致するものが最も高いスコア値になるようにスコア値の関数を設計した(図4)。このスコア値を用いて、将来の人流移動を予測する方法を開発した。予測精度を評価した結果、次の移動先を70%の確率で予測できることが明らかになった(図5)。

本研究の特徴は、系列パターンマイニング (PrefixSpan 法および BIDE 法) と呼ばれる手法を移動データのマイニングに適用することで、効率的に頻出移動パターンを抽出することである。以上の成果について国際会議論文としてまとめて、IEEE International Conference on High Performance Switching and Routing (HPSR) 2019 に投稿し、採択された。IEEE HPSR 2019 は高性能情報通信に関する国際会議で、2019年5月26日から29日に中国の西安市で開催予定である。

$$mfp(F, p) = \arg \min_{\text{all } f_i \in F} \text{score}(f_i, p).$$

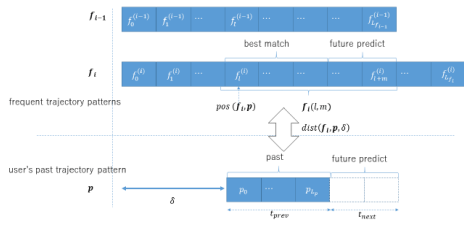


Fig. 6. Computing the partial frequent trajectory pattern most similar to the user's past trajectory.

図4 類似度を評価するスコア値

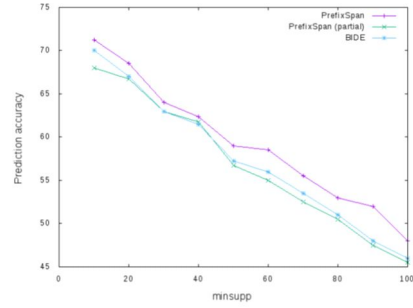


Fig. 10. Prediction accuracy obtained by the methods using the frequent trajectory patterns and frequent partial trajectory patterns.

図5 移動先の予測精度

### (3) 資源割り当て

人流移動の予測をもとに、モデル予測制御によるモバイル資源のエリア割当法について検討した(図6)。従来のトラフィック量の測定だけを用いた帯域割り当てを行うと、エリア内にユーザ数が大きく変化した場合に、帯域割り当てが追従できないことが問題であるが、エリアごとのユーザ数を正確に予測することで、問題を解決することが本研究の特徴である。9x9の格子状エリアを対象に、昼夜時間レベルの変動と短時間の変動を考慮して評価した結果、短時間変動の振幅が大きくなると、モデル予測制御を用いても、資源割り当て量が不足しうることが明らかになったため、指数平滑と分散を考慮した安全マージンを見込んだ帯域割り当てをすることで、割り当て量の不足を防ぐことを明らかにした(図7と図8)。今後は、トラフィック量の測定だけを用いた帯域割り当て法との比較評価、エリアにいる人口のうち実際に資源を必要とするモバイル通信を行うユーザを階層ベイズを用いて推定して精度良く資源割当を行う方法を検討する。

$$\begin{aligned} \text{minimize} \quad & \sum_{\text{all } i} [N_i(t)u^{CPU} - x_i^{CPU}(t)]^+ \quad (4) \\ & + [N_i(t)u^{MEM} - x_i^{MEM}(t)]^+ \\ \text{subject to} \quad & \sum_{\text{all } i} x_i^{CPU}(t) \leq X^{CPU} \quad (5) \\ & \sum_{\text{all } i} x_i^{MEM}(t) \leq X^{MEM} \quad (6) \end{aligned}$$

図6 モデル予測制御による資源割当

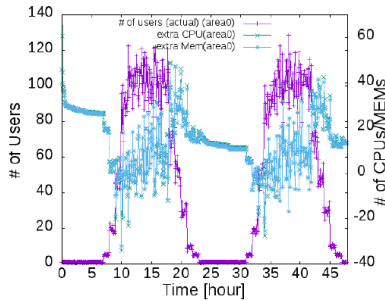


Fig. 9. Allocated resources and time-dependent change of number of users(Business Area)  $\sigma = 0.10, \alpha = 0.5, w = 0.05$

図7 指数平滑のみを援用した場合

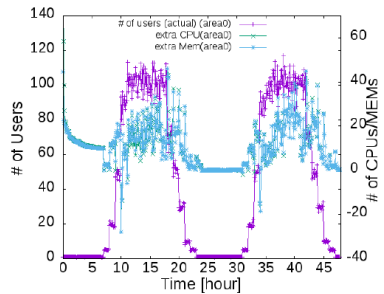


Fig. 10. Allocated resources and time-dependent change of number of users(Business Area)  $\sigma = 0.06, \alpha = 0.5, w = 0.05$

図8 安全マージンも援用した場合

## 5 . 主な発表論文等

〔学会発表〕(計4件)

S. Enami and K. Shiomoto, "Spatio-temporal human mobility prediction based on trajectory data mining for resource management in mobile communication networks," In Proc. IEEE HPSR 2019, May 2019

榎波、塩本、「頻出系列パターンマイニングに基づく時空間の移動体予測」電子情報通信学会ソサイエティ大会 2018年

榎波、斎藤、阿部、塩本、「ミクروسケールとマクروسケールのモビリティを考慮した人流・交通流の分析予測技術の研究」電子情報通信学会総合大会 2018年

榎波、斎藤、塩本、「ミクロスケールとマクロスケールのモビリティを考慮した人流・交通流の分析予測技術の研究」電子情報通信学会 NS 研究会 2018年

〔その他〕

「人の移動先を予測するアルゴリズムを開発 ~ビッグデータを活用し、モバイル基地局の効率的な配置を提案~」東京都市大学ニュースリリース(2019年5月31日)

<https://www.tcu.ac.jp/news/newsrelease/20190531-22654/>

関連記事掲載

ベテランの経験から GPS データ分析へ：

「人の移動パターンを予測」でモバイル基地局配置に効果 東京都市大学が開発

<https://www.atmarkit.co.jp/ait/articles/1906/03/news027.html>

## 6 . 研究組織

(1)研究分担者

なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。