

プローブカーへの情報提供手法と 予測時間精度に基づく効果分析手法の提案

Proposal of information provision to probe vehicles and
the evaluation index of time prediction precision

水野 敬太*¹ 金森 亮*² 伊藤 孝行*²
Keita Mizuno Ryo Kanamori Takayuki Ito

*¹ 名古屋工業大学大学院 工学研究科情報工学専攻
Nagoya Institute of Technology, Department of Computer Science

*² 名古屋工業大学大学院 産業戦略工学専攻
Nagoya Institute of Technology, School of Techno-Business Administration

In most cities, traffic congestion is a main problem that should be tackled. Traffic control/operation systems based on information gathered from probe vehicles have attracted a lot of attentions. In this paper, we examine some provision of travel information to solve traffic jam. Although it is a conventional to provide the mean of historical accumulated data, we introduce 25 percentile and 75 percentile because a distribution of link travel time tend to have two peaks. And we evaluate the accuracy of information based on the scheduling cost that consists of early and late arrival.

1. はじめに

本章では、本研究の概要と構成について述べる。多くの都市で自動車の交通渋滞が問題になっている。自動車の増加によって発生する諸問題の解決策として、近年増加しているプローブカーからの情報収集が注目を集めている。本研究では、車両の移動時間を削減するために過去の移動時間などの情報が取得でき、車両と相互通信し、交通状況などを共有できる環境を想定し、渋滞・混雑解消を目標としてプローブカーへの情報提供の実験をおこなう。

本研究では、プローブカーから収集される車両の道路通過時間の蓄積データについて、従来の経路案内で利用されていた蓄積データの平均値ではなく、蓄積データの25パーセンタイル値と75パーセンタイル値を利用する。また、蓄積データから予測される車両の移動時間とシミュレーション上で移動に要した時間との差から効果分析をおこなう。

本論文では、第1章で研究の概略を述べ、第2章では研究の背景と目的を示し、第3章で本研究で提案する情報提供手法について説明をおこなう。第4章では効果分析手法について本研究の手法を示し、第5章でシミュレーションによる実験をおこない、第6章で本論文についてまとめをおこなう。

2. 研究の背景と目的

本章では、本研究の背景と目的について述べる。自動車は多くの国民に欠かすことのできない交通手段となっている。しかし、自動車の混雑・渋滞発生による経済的効率性の低下、大気汚染や温暖化などの地球環境悪化、交通事故発生など解決すべき問題も多い。

諸問題を解決する方法として電気自動車など次世代自動車の普及促進に加えて、経路情報提供、及びロードプライシングなど、ITS (Intelligent Transport System: 高度道路交通システム) による交通運用・管理施策が注目されている。なかで

も経路探索情報提供においては、センサーによる車両感知やナビゲーションシステムを備えた車両(プローブカー)が増加しており、情報収集・提供の技術も高度化してきている。また、プローブカーから収集される蓄積データから、信号や渋滞に巻き込まれることで遅く通過する車両と巻き込まれずに早く通過する車両に二極化することが観測されている。

次にプローブカーへの情報提供に関する先行研究と本研究の目的について述べる。プローブカーへの情報提供について、高橋らの研究 [1] では、プローブカーから収集される蓄積データだけではなく、未来の交通状況を予測することにより、プローブカーへの経路案内をおこなった。また森川らの研究 [2] では、プローブカーから収集される蓄積データに加えて、目的地までの経路上にある右左折の回数のコストを設定し、経路案内をおこなった。先行研究で挙げた二つの研究では、プローブカーから収集される道路通過時間の蓄積データの平均値を通過予測時間として、目的地までの経路を探索し、プローブカーに情報提供をおこなっていた。また、プローブカーへの情報提供の効果分析として、全車両の移動時間の合計を利用していた。

本研究の目的は、車両の道路通過時間が二極化することに着目した蓄積データの利用方法を提案し、車両の移動時間を削減することである。また、効果分析手法として、一般的な総所要時間に加えて、過去の研究では利用されていなかった目的地までの予測移動時間と実際の移動時間の差(精度)による効果分析を提案することである。

3. プローブカーへの情報提供手法

本章では、本研究でおこなうプローブカーへの情報提供手法の詳細の説明をおこなう。経路探索をおこなう為の情報提供手法として、従来の過去の移動時間の蓄積データの平均値利用に加えて、車両の移動時間は渋滞状態と非渋滞状態により二極化する傾向があることから、過去の移動時間の蓄積データの25パーセンタイル値と75パーセンタイル値を利用した経路探索による情報提供を提案する。

本実験では、蓄積データの25パーセンタイル値と75パーセンタイル値の二つのデータを利用する。プローブカーに二つ

驟 n 掘蜈: 水野 敬太, 名古屋工業大学大学院 情報工学専攻 伊藤 孝行研究室, 愛知県名古屋市昭和区御器所町, 052-735-7968, mizuno.keita@itolab.nitech.ac.jp

の値のどちらを提供するのかを決定するために、予備実験として、蓄積データの25パーセンタイル値のみを利用した場合と75パーセンタイル値のみを利用した場合のシミュレーション実験をおこなう。二つの場合の車両の移動時間を従来の蓄積データの利用方法である平均値を利用した場合の車両の移動時間と比較する。本研究では、車両の移動距離によって渋滞への巻き込まれやすさなどの要素が変化することに着目し、車両の移動距離別に平均値、25パーセンタイル値、及び75パーセンタイル値を利用した場合の車両の移動時間を比較する。蓄積データの25パーセンタイル値を利用した場合に蓄積データの平均値を利用した場合よりも移動時間が削減されている車両の移動距離と、蓄積データの75パーセンタイル値を利用した場合に蓄積データの平均値を利用した場合よりも移動時間が削減されている車両の移動距離を比較結果から得ることにより、蓄積データの25パーセンタイル値と75パーセンタイル値を利用する車両の移動距離を設定し、二つの蓄積データ利用方法を合わせた情報提供をおこなう。

4. 予測時間精度に基づく効果分析手法

本章では、本研究で提案する効果分析手法についての説明をおこなう。プローブカーへの情報提供による効果分析について、従来の車両の移動時間による評価に加えて、プローブカーに提供する予測時間と移動時間との差(精度)を考慮に入れることを提案する。予測時間よりも早く到着する場合よりも遅く到着する場合の方がコストが高いとされている[3]ため、情報提供による効果分析に遅延コストを指標として導入した。プローブカーに情報提供をおこなった効果として、移動時間が削減された場合に、車両の予測移動時間と実際の移動時間の差も同時に削減されるのであれば、移動時間の削減のみを効果分析とすればよいことになる。したがって、本実験では、プローブカーへ情報提供をおこなった際に、車両の移動時間が削減された場合であっても、蓄積データから算出する目的地までの予測移動時間より実際の移動時間の方が多く時間がかかってしまう遅着が発生した場合に、車両の移動時間だけでなく、予測移動時間との差を考慮に入れる必要があること示されるものとする。

5. 評価シミュレーション

本章では、本研究で提案した情報提供をおこない実験結果を示す。また、遅延コストによる効果分析をおこなう。

5.1 実験環境

本研究の評価実験で用いる道路ネットワークは交通シミュレーション用検証データを提供している交通シミュレーションクリアリングハウス[4]の吉祥寺、三鷹のデータを利用する。ネットワークは57個のノード、137本のリンクで構成されている。また、シミュレーションで移動させる車両はおよそ17000台であり、本実験では、プローブカーの割合をおよそ50%に設定している。図1はシミュレーション実験に用いた吉祥寺、三鷹のネットワーク図である。

5.2 交通流シミュレーション

本研究では、プローブカーに提供する予測移動時間とシミュレーション上での移動時間との差を考慮するために移動時間の再現性が高く、個々の車両の経路選択を制御できるセルトランスミッションモデル[5]を基にして交通流シミュレーションを実装した。本研究で作成した交通流シミュレーションの再現性を検証するために、車両の移動時間の平均二乗平方根と単回

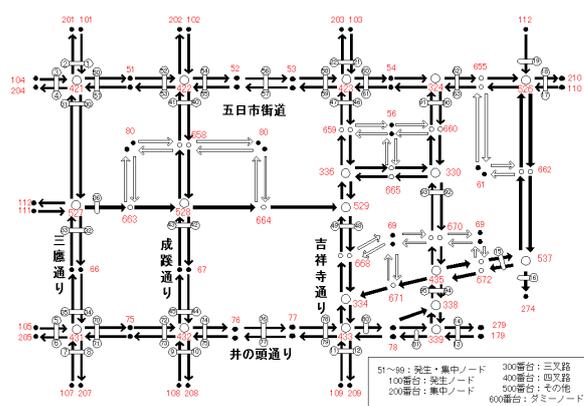


図1: 本実験で利用した吉祥寺, 三鷹のネットワーク図

帰係数について、セルオートマトンモデルに基づくシミュレーションと比較実験をおこなった。セルオートマトンモデルは離散型モデルであり、実装が容易なモデルである。平均二乗平方根は車両の移動時間の実測値とシミュレーション上での移動時間の差を表すものであり、値が0に近いほど、単回帰係数は値が1に近いほどシミュレーションでの車両の移動時間が実測値と近いことを表している。

モデル	平均二乗平方根	単回帰係数
セルトランスミッション	2.029	0.835
セルオートマトン	3.502	0.339

表1: セルトランスミッションモデルとセルオートマトンモデルの平均二乗平方根と単回帰係数の比較

表1はセルトランスミッションモデルとセルオートマトンモデルの平均二乗平方根と単回帰係数を比較した結果である。表1から本研究で実装したシミュレーションの移動時間の再現性が高いことが示された。

本実験では車両の道路通過時間が二極化することに着目した情報提供手法を提案するため、二極化を再現できるシミュレーションが必要となる。

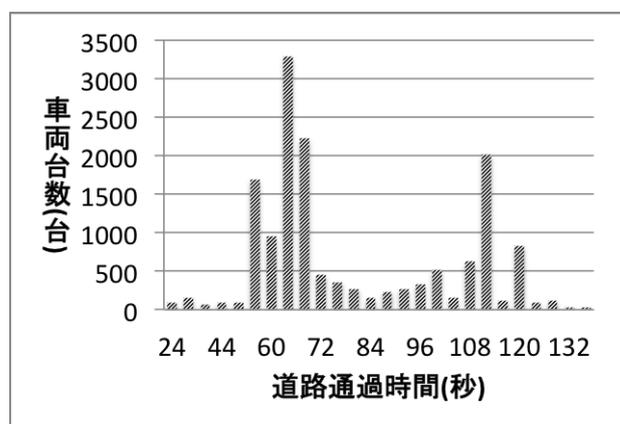


図2: シミュレーションをおこなった際のあるリンクにおける車両の通過時間と通過台数

図 2 は本実験で用いるシミュレーションで車両の移動をおこなった際の、ネットワーク上のあるリンクの車両の通過時間と通過台数を示している。図 2 で示している通り、本実験で用いるシミュレーションでは、車両の道路通過時間の二極化を再現することができる。

5.3 実験結果

プローブカーへの情報提供をおこなった場合の、車両の移動時間について従来の情報提供手法である蓄積データの平均値と 25 パーセンタイル値, 75 パーセンタイル値を車両の移動距離別に比べた結果を示す。

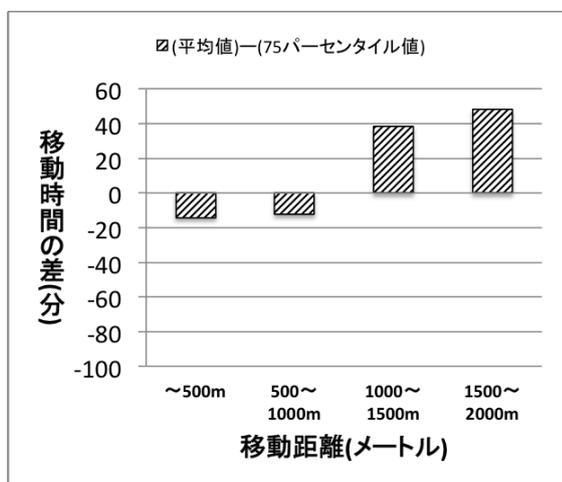


図 3: 蓄積データの平均値を利用した場合と 75 パーセンタイル値を利用した場合の車両の距離別移動時間の差

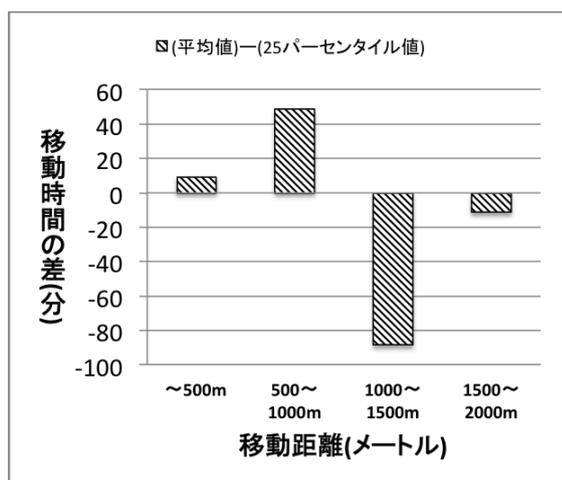


図 4: 蓄積データの平均値を利用した場合と 25 パーセンタイル値を利用した場合の車両の距離別移動時間の差

図 3 と図 4 は車両の目的地までの移動距離別に、蓄積データの平均値を利用した場合と 75 パーセンタイル値を利用した場合の車両の移動時間の差を示している。グラフの値が大きいくほど、蓄積データの平均値を利用した経路案内を提供した場合よりも車両の移動時間が短いことを表す。図 3 では、1000メートル以上の移動距離の車両は蓄積データの平均値を利用した場合よりも 75 パーセンタイル値を利用して経路案内を提

供した場合に車両の移動時間が削減されていることが分かる。図 4 では、1000メートル以下の移動距離の車両は蓄積データの平均値を利用した場合よりも 25 パーセンタイル値を利用して経路案内を提供した場合に車両の移動時間が削減されていることが分かる。

図 3 と図 4 のグラフから、25 パーセンタイル値を利用して経路探索をおこなうことで移動時間の削減される車両の移動距離と 75 パーセンタイル値を利用して経路探索をおこなうことで移動時間の削減される車両の移動距離が示された。よって、1000メートル以下の移動距離の車両は蓄積データの 25 パーセンタイル値を利用した経路案内を、1000メートル以上の移動距離の車両には蓄積データの 75 パーセンタイル値を利用した経路案内をおこなうことを提案する。車両の移動距離に応じて蓄積データの 25 パーセンタイル値と 75 パーセンタイル値を利用した場合の効果を示すために、情報提供をおこなわない場合、蓄積データの平均値を利用した場合、蓄積データの 25 パーセンタイル値を利用した場合、及び蓄積データの 75 パーセンタイル値を利用した場合の経路案内の効果と比較をおこなう。比較には全車両の移動時間の合計による効果分析を用いる。

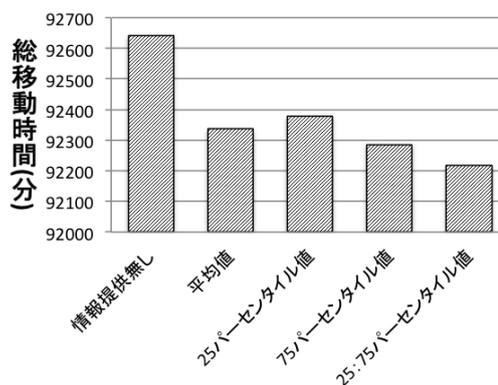


図 5: 各情報提供における全車両の移動時間の合計

図 5 は、情報提供をおこなわない場合、蓄積データの平均値を利用した場合、蓄積データの 25 パーセンタイル値を利用した場合、蓄積データの 75 パーセンタイル値を利用した場合、及び本研究で提案する車両の移動距離に応じて蓄積データの 25 パーセンタイル値と 75 パーセンタイル値を利用した場合の経路案内をおこなったシミュレーション実験の結果である。図 5 のグラフの値は各情報提供の場合の全車両の移動時間の合計を示している。図 3 のグラフから分かるように、本研究で提案した車両の移動距離に応じて蓄積データの 25 パーセンタイル値と 75 パーセンタイル値を利用し、経路案内をおこなう場合が最も全車両の移動時間の合計を削減することが示された。

図 5 の蓄積データの 75 パーセンタイル値を利用して道路通過時間を予測した場合と、距離に応じて蓄積データの 25 パーセンタイル値と 75 パーセンタイル値を利用して道路通過時間を予測した場合の情報提供手法について、車両の目的地までの予測移動時間とシミュレーション上での移動時間の差についてのデータを示す。

図 6 と図 7 は、蓄積データの 75 パーセンタイル値を利用して道路通過時間を予測した場合と、距離に応じて蓄積データの 25 パーセンタイル値と 75 パーセンタイル値を利用して道路通過時間を予測した場合の車両の目的地までの予測移動時間と

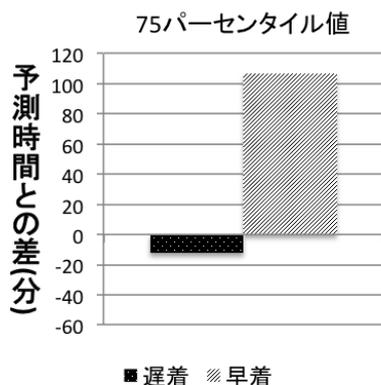


図 6: 蓄積データの 75 パーセンタイル値を利用して予想した移動時間と実際の移動時間の差

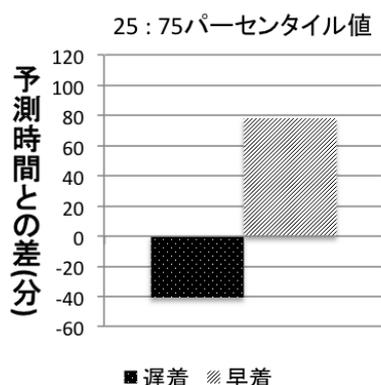


図 7: 車両の移動距離に応じて蓄積データの 25 パーセンタイル値と 75 パーセンタイル値を利用して予想した移動時間と実際の移動時間の差

シミュレーション上での移動時間の差である。図 5 から分かるように、距離に応じて蓄積データの 25 パーセンタイル値と 75 パーセンタイル値を利用した場合の方が、蓄積データの 75 パーセンタイル値を利用して経路案内をおこなった場合よりも全車両の移動時間の合計が削減されている。しかし、図 6 と図 7 で示されているように、蓄積データの 75 パーセンタイル値を利用した場合の方が、距離に応じて蓄積データの 25 パーセンタイル値と 75 パーセンタイル値を利用して経路案内をおこなった場合よりも、予測移動時間より到着時間が遅れている。

6. まとめ

本章では、本論文のまとめをおこなう。本研究では、自動車の増加によって多く発生している混雑や交通渋滞によって引き起こされる経済的損失などや、近年のプローブカーの増加と車両の道路通過時間が二極化することを背景として示した。次に、プローブカーへの情報提供に関する先行研究を挙げ、プローブカーから収集される蓄積データの利用方法について、道路通過時間が二極化すること考慮に入れていないことを示した。また、車両の予測移動時間と実際の移動に要した時間との差について、予想より移動に時間がかからない「早着」と予想

より移動に時間のかかる「遅着」のコストが存在することを示した。シミュレーションの実験として、道路通過時間の二極化を考慮に入れた蓄積データの 25 パーセンタイル値と 75 パーセンタイル値を利用した経路案内をおこない、従来の蓄積データの平均値を利用した場合よりも車両の移動時間が削減されている移動距離を確認した。蓄積データの 25 パーセンタイル値と 75 パーセンタイル値を利用した経路案内の実験結果から、車両の移動距離に応じて蓄積データの利用方法を変更することを提案し、シミュレーション実験から提案した情報提供手法により車両の移動時間が削減されることを示した。また、車両への情報提供手法の効果分析について、車両の移動時間の合計に加え、遅延コストを指標に導入することを提案した。シミュレーション実験の結果から、車両の移動時間の合計が減少するような情報提供手法をおこなった場合であっても、予想移動時間よりも実際の移動時間が多くなるような遅着コストが増大する可能性があることを示し、車両の移動時間の合計のみでなく遅着コストにより情報提供の効果分析をおこなう必要があることを示した。本研究の今後の課題として、大規模なネットワークでのシミュレーション実験がある。本実験では、吉祥寺、三鷹のネットワークデータセットでシミュレーション実験をおこなったが、リンク数は 137 本、車両台数はおよそ 17000 台という小規模なデータセットだったため、大規模なネットワークで実験をおこなうことにより、本研究で提案した車両の移動距離に応じて道路通過時間の蓄積データの利用方法を変える手法の効果をより現実世界に近い設定で確認することができる。本研究で提案する情報提供手法では、車両の目的地までの移動距離に応じて、蓄積データの 25 パーセンタイルと 75 パーセンタイル値の利用を分けて実験をおこなった。今後は車両の移動距離だけでなく、車両の出発時刻などに応じて、蓄積データの 25 パーセンタイルと 75 パーセンタイル値の利用を分ける実験をおこなっていく必要がある。

謝辞

本研究の一部は、内閣府の先端研究助成基金助成金（最先端・次世代研究開発プログラム）により助成を受けている。

参考文献

- [1] 高橋 淳：自動車交通円滑化のための Anticipatory Stigmergy を用いた予見的経路情報提供手法の提案情報処理学会研究報告，[知能と複雑系](2012)
- [2] 森川 高行：動的経路案内システム「PRONAVI」の開発と性能評価実験，交通工学，Vol.42，No.3，pp.65-75(2007)
- [3] Vickrey, W.S. : 「Congestion theory and transportation investment」, American Economic Review, Vol.59, pp.251-260(1969)
- [4] 交通シミュレーションクリアリングハウス : <http://www.jste.or.jp/sim/index.html>
- [5] Carlos F. Daganzo: The cell transmission model: A dynamic representation of highway traffic consistent with the hydrodynamic theory, Transportation Research B, 28(4):269-287(1994)