

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 30 日現在

機関番号：32619

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560467

研究課題名(和文) 携帯電話位置情報に基づくユーザ協調型道路交通状況推定方式

研究課題名(英文) Estimation of Road Traffic Condition Based on Location Information of Mobile Phones

研究代表者

上岡 英史 (Kamioka, Eiji)

芝浦工業大学・工学部・教授

研究者番号：90311175

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000 円、(間接経費) 1,230,000 円

研究成果の概要(和文)：本研究は複数ユーザが持ち歩く携帯電話のみを用いて、交通状況の推定を行うための技術的課題に取り組んだものである。具体的には、交通手段の推定方式、定性的かつ定量的な交通状況推定方式、そして、携帯電話網負荷低減方式を明らかにすることである。解析的手法、および、シミュレーションを用いて提案手法を評価したところ、類似技術を用いた米国モバイルミレニアム・プロジェクトに比べて優位性を確認することに成功した。

研究成果の概要(英文)：This study proposes a mobile phone based road traffic estimation system which aims at clarifying how to estimate the vehicles' types, how to estimate the road traffic condition in a qualitative and quantitative way and how to alleviate the mobile network traffic load. From the result obtained by analytical ways and simulations, the effectiveness of the proposed system to the existing work, mobile millennium project in the U.S., was clarified.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学

キーワード：携帯電話 位置情報 ニューラルネットワーク 遺伝的アルゴリズム ユーザ協調型

1. 研究開始当初の背景

国土交通省の調査によると、交通渋滞による我国の経済損失は1兆円以上と試算されている。渋滞を緩和するためには渋滞検出システムが必要であり、都市部一般道路や高速道路上には交通監視システムが設置されている。しかしながら、これらは高コストなため、全ての地域をカバーしようとする、更なる財政悪化をもたらすことになる。設置コストを下げるために車車間アドホック通信の利用も提案されているが、十分な数の車がある程度様に道路上に存在しなければシステム自体が利用できない。

これに対して、米国のモバイルミレニアム・プロジェクトでは、携帯電話のGPS機能によって得られる位置情報を用いて、低コストの交通状況推定方法を提案している。具体的には道路をセグメントに分割し、各セグメントに存在する車の密度を算出する手法であるが、車の種類を判別できないため正確な交通状況を推定できていない。例えば、1台のバスに乗車している50人の携帯電話から得られる位置情報と、1人で乗車している50台の乗用車から得られる位置情報とでは、同じ50の位置情報でも意味する内容が異なるのは明らかである。さらに、時々刻々変化する携帯電話の位置情報を常に交通状況を推定するサーバへ送信するのは、携帯電話網の帯域を考えると非現実的である。

このように、本研究と関連して様々な技術の導入および提案がなされてはいるが、人々が利用するあらゆる道路の交通状況を推定する技術、そして、それらの有効性を評価する手法は確立されていない。

2. 研究の目的

モバイルミレニアム・プロジェクトは、既に広く行き渡っている携帯電話端末とそのネットワーク・インフラを利用するという点においては、低コストで交通状況を推定するために有効である。しかしながら、前節で述べたように、いくつかの改善すべき課題が存在する。本研究では、モバイルミレニアム・プロジェクトの弱点を克服するための技術検討を行い、以下の3つの課題に対する解決策を明らかにする。

(1) 交通手段の推定

携帯電話の位置情報からユーザが利用している交通手段を判断する。具体的には、乗用車、バス、オートバイ、徒歩を区別する。電車という交通手段も考えられるが、電車の地理的ルートは地図にマッピングすることで容易に推定できるため、ここでは推定対象から除く。

(2) 携帯電話網負荷の低減

携帯電話の位置情報は交通状況を推定するサーバに送信されるが、全ての携帯電話が常時位置情報を送信すると推定精度が向上

する半面、携帯電話網が輻輳する可能性がある。したがって、どのような状況のときに位置情報が有効利用されるかを検討し、推定精度を維持し、かつ、送信頻度を低くする手法を考案する。

(3) 提案手法の有効性および実現性評価

上記、交通手段の推定精度および交通状況推定精度の算出方法、そして、それらに対する携帯電話網負荷算出方法を考案し、本提案の有効性および実現性に関して定量的評価を行う。

3. 研究の方法

本研究における道路交通状況推定精度は、携帯電話の位置精度によって大きく左右される。したがって、交通手段の推定および渋滞状況の推定に関しては理論的な検討に加え、できる限り実用的な条件下で携帯電話を用いたフィールド実験を行い、提案手法の検証を行う。

研究の進め方は、既存技術調査から始め、位置精度測定実験および交通手段の違いによる速度変化測定実験により、提案手法で用いるパラメータの実測を行う。そして、それらの実測データをもとに交通手段の判別アルゴリズムおよび渋滞状況の定量的推定方法を考案する。

さらに、位置情報送信に伴う携帯電話網の負荷低減手法を見出すため、交通状況の推定に大きく関与するタイミングが走行中のどのような状態のときであるかを検討し、位置情報送信頻度と交通状況推定精度との関係を明らかにする。

以下、研究の方法に関する詳細を述べる。

(1) 関連研究調査

既存の交通監視システムおよび車載センサーなど、ITS分野における自動車の振る舞いや車種検出方法についてサーベイを行い、それらの利点・欠点を把握するとともに、本研究との関連を調査する。特に、検出精度と汎用的な適用の可能性について考察する。

(2) GPSによる位置精度確認実験

携帯電話のGPS機能によって得られる位置精度は、本研究において重要なパラメータとなる。一般的に知られている仕様レベルではなく、実際にそれぞれの条件下でどの程度の位置精度が得られるかを実験によって取得し、本提案手法の適用可能ケースを絞り込む。具体的には、道路幅および高層ビルからの距離に対する位置精度、ビル内外の判定精度などを検証する。

(3) 交通手段の違いによる速度変化(加速度)測定実験

位置情報の時間的変化から速度を計算できるが、携帯電話に内蔵されている加速度センサーも同時利用し、速度変化(加速度)の精度

を検証する。交通手段は、車種として乗用車、バス、オートバイ、そして、徒歩を含む計4つの場合について測定する。

(4) 交通手段の区別

交通手段を把握するには、徒歩(屋内静止状態を含む)判定、車1台あたりの乗車人数判定、車種の判定、という3つの判定方法を組み合わせることで、乗用車、バス、オートバイ、徒歩の判定が可能かどうかを検証する。具体的には、以下の方法で可能であると仮説を立て、仮説検証を行う。

徒歩判定

地図情報を利用して道路上でない場合は車ではないと判定し、交通状況推定には利用しない。

車1台あたりの乗車人数判定

位置情報および速度変化情報の同一性から、1台の車に乗車している人数を推定する。8人以上の場合はバス、3人から7人の場合は乗用車またはバス、3人未満の場合は不定となる。

車種の判定

上記不定の場合も含め、速度変化からオートバイ、乗用車、バス、徒歩を判定する。ただし、判定するための閾値設定は困難であるため、実測値データをもとにANN (Artificial Neural Network)を用いて判定する。

(5) 渋滞状況の推定

道路を複数のセグメントに分割し、各セグメントにおいて車が占有していないスペース(フリースペース)の割合とセグメント内車の平均速度から渋滞レベルを判断する。フリースペースの割合は、交通手段(オートバイ、乗用車、バス)およびそれぞれの存在数と平均的な車長、道路のレーン数、制限速度、セグメント内車の平均速度から計算する。

(6) 携帯電話網の負荷低減法

位置情報の送信頻度が高いほど交通状況推定精度は高くなるが、携帯電話網が輻輳する可能性がある。本研究では、車の速度変化が著しいときのみ位置情報を送信することでこれを改善できると考える。したがって、どの程度の速度変化を位置情報送信タイミングとすべきか判断するため、(4)、(5)の区別および推定の精度と、位置情報量との関係を明確化する。例えば、80%の推定精度を得るためには位置情報送信頻度がどの程度であるべきかを結論づけるための検討を行う。それらの結果を用い、常時位置情報を送信する場合と比較して必要使用帯域との関係を考察する。

4. 研究成果

本実験で一番重要なパラメータである、

GPSの位置精度確認実験結果について述べる。実験は、6階建ての建物が立っている道路の端からの距離を変化させ、その位置においてGPSによって計測された位置の精度を算出する。図1はその結果を示す。

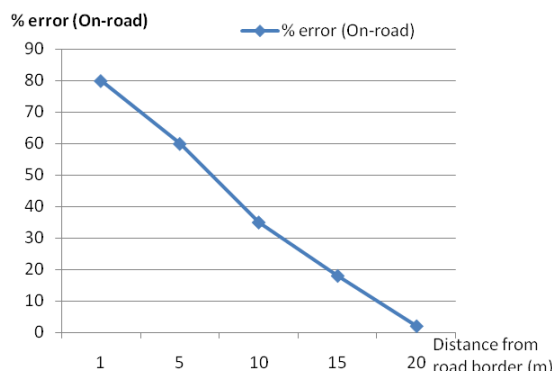


図1 GPS位置計測精度

図1からわかるように、道路の端から10m離れていれば、GPSの位置計測誤差は30%程度である。通常、歩行している時でさえ建物からは10m以上離れているのが一般的であるため、本研究ではGPSによって計測される位置精度は十分利用できることが分かった。

次に、交通手段の区別に関する研究成果について述べる。乗り物の種類によって加速の仕方や速度の範囲が異なることが予想される。また、歩行者やオートバイは車と異なり、外部空間に触れているため騒音が大きいと予想される。そこで、加速パターンによる判別、そして、移動速度の平均値と標準偏差、最高速度、最低速度、および、騒音の平均値と標準偏差を用いたニューラルネットワークによる判別推定を行った。これらの入力値はスマートフォンだけで測定できるのも、本研究の特徴である。結果として、オートバイ、乗用車、バス、徒歩という交通手段を、90%以上の精度で識別することに成功した。

さらに、渋滞状況の推定に関する研究成果について述べる。研究の方法の節で述べたように、セグメント化された道路内における車が占有していないスペース(フリースペース)の割合と、セグメント内に存在する車の平均速度を用いて渋滞状況を定性的に推定する方法を提案した。図2はその考え方を示す。横軸は車の平均速度、縦軸はフリースペースの割合を示す。右上部分(VERY GOOD)は交通状況が良い状態を示し、左下部分(BAD)は渋滞状況を示す。しかしながら、その他の部分に関しては、渋滞状況が良いのか悪いのか、定量的に判断することができない。そこで、閾値を導入して、前述のフリースペースの割合と平均速度から Goodness 値という値を計算する方法を提案し、交通状況を定量的に推定することに成功した。図3はそれを示す。Goodness 値が高いほど交通状況が良いことを示す。



図2 交通状況の定性的推定

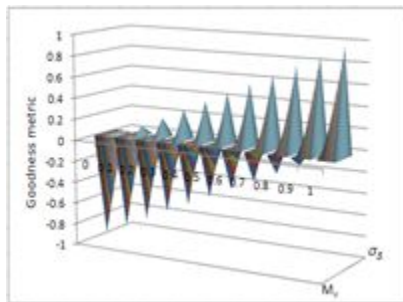


図3 交通状況の定量的推定

最後に、携帯電話網の負荷低減法に関する研究成果について述べる。GPS からの信号をもとに移動速度計算等を含め交通状況を推定するため、常時システムサーバへデータを送信してしまうと携帯電話網を圧迫することになるのは自明である。そこで、車の速度変化が著しく変化するときのみ携帯電話から位置情報を送信することで、携帯電話網の負荷低減を図った。これにより、常時位置情報を送信する場合と比較して、97.5%の負荷低減が可能であることを明らかにした。図4はその様子をグラフに示したものである。

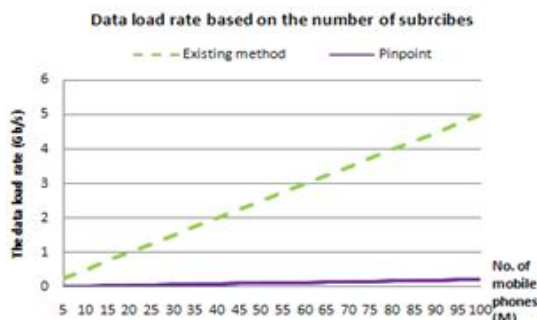


図4の横軸は携帯電話網において利用される携帯電話の数を100万単位で示したものであり、縦軸は携帯電話網に流れるデータ量をGiga-bit/second単位で示したものである。

最終的に、上記の定性的かつ定量的手法による交通状況推定性能を、シミュレーションを用いて評価した。結果として、米国のモバイルミレニアム・プロジェクトに比べて優位性を検証することができ、本研究目的を達成することに成功した。

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)

[雑誌論文](計4件)

- (1) Quang Tran Minh, Muhammad Ariff Baharudin, and Eiji Kamioka, "Synergistic Approaches to Mobile Intelligent Transportation Systems Considering Low Penetration Rate," *Pervasive and Mobile Computing*, Elsevier, Vol.10, Part B, February 2014, pp.187-202 (査読有). (DOI:10.1016/j.pmcj.2012.07.008)
- (2) Quang Tran Minh, Muhammad Ariff Baharudin, and Eiji Kamioka, "MC-TES: An Efficient Mobile Phone Based Context-Aware Traffic State Estimation Framework," *Journal of Information Processing*, Vol.21, No.1, 2013, pp.76-89 (査読有). (DOI:10.2197/ipsjip.21.76)
- (3) Quang Tran Minh and Eiji Kamioka, "Adaptive Approaches in Mobile Phone Based Traffic State Estimation with Low Penetration Rate," *Journal of Information Processing*, Vol.20, No.1, 2012, pp.297-307 (査読有). (DOI:10.2197/ipsjip.20.297)
- (4) Quang Tran Minh and Eiji Kamioka, "Traffic State Estimation with Mobile Phones Based on The "3R" Philosophy," *IEICE Transactions on Communications*, Vol. E94-B, No.12, 2011, pp.3447-3458 (査読有). (DOI:10.1587/transcom.E94.B.3447)

[学会発表](計14件)

- (1) Quang Minh Tran, Muhammad Ariff Baharudin, Eiji Kamioka and Shigeki Yamada, "Dynamic Effect of Vehicle Types on Traffic State Estimation," *Proceedings of the International Conference on Computing, Management & Telecommunications (ComManTel2013)*, 21-24 January, 2013, Ho Chi Minh City, Vietnam, pp.32-37.
- (2) Quang Tran Minh, Muhammad Ariff Baharudin, and Eiji Kamioka, "Context-Aware Mobile Intelligent Transportation Systems," *Proceedings of IEEE 76th Vehicular Technology Conference (VTC2012-Fall)*, Sep. 3-6, Quebec, Canada, 2012, CD-ROM.
- (3) Quang Tran Minh, Muhammad Ariff Baharudin, and Eiji Kamioka, "Mobile Phone Based Walker Recognition and Vehicle Classification," *Proceedings of the 9th IEEE Vehicular Technology Society Asia Pacific Wireless Communications Symposium (VTS APWCS2012)*, Kyoto, Japan, August 23-24, 2012, CD-ROM.
- (4) Quang Tran Minh, Muhammad Ariff

- Baharudin and Eiji Kamioka, "Uncertain Penetration Rate Issues in Mobile Intelligent Transportation Systems," Proceedings of the 6th International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU2012), Okinawa, Japan, May 23-24, 2012, pp.48-55.
- (5) Quang Tran Minh, Muhammad Ariff Baharudin and Eiji Kamioka, "Uncertain Low Penetration Rate - A Practical Issue in Mobile Intelligent Transportation Systems," Proceedings of the 26th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA2012), Fukuoka, Japan, March 26-29, 2012, pp.237-244.
- (6) Quang Tran Minh, Muhammad Ariff Baharudin, Eiji Kamioka, "Mobile Context-Aware Velocity-Density Inference Circuit," Proceedings of IEICE General Conference, BS-3-23, March 21, 2012, pp.S45-S46 (岡山).
- (7) Minh Quang Tran, Eiji Kamioka, "Intelligent Selection of Density-Velocity Estimation Models Using Mobile Multimedia," Proceedings of IEICE Society Conference, Planning, Control and Management on Networks and Services BS-6-5, September 13, 2011, pp.S38-S39 (札幌).
- (8) Quang Tran Minh and Eiji Kamioka, "Assuring Accuracy on Low Penetration Rate Mobile Phone-Based Traffic State Estimation System," Proceedings of IEEE 74th Vehicular Technology Conference (VTC2011-Fall), Sep. 5-8, San Francisco, USA, 2011, CD-ROM.
- (9) Quang Tran Minh and Eiji Kamioka, "Error-Tolerance in Quantifying Traffic States Using Mobile Phones," Proceedings of the 10th International Symposium on Autonomous Decentralized Systems (ISADS2011), Kobe, Japan, June 29-30, 2011, pp.559-563.
- (10) T.M. Quang, E. Kamioka, "Mobile Phone-Based Traffic State Estimation - The Penetration Rate Issue," IEICE Technical Report, Vol.111 No.75, June 2-3, 2011, pp.27-32 (岡山).
- (11) Quang Tran Minh, and Eiji Kamioka, "Pinpoint: An Efficient Approach to Traffic State Estimation System Using Mobile Probes," Proceedings of the 6th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM2010), Sep. 23-25, Chengdu, China, 2010, CD-ROM.
- (12) Quang Tran Minh and Eiji Kamioka,

"Granular Quantifying Traffic State Using Mobile Probes," Proceedings of IEEE 72nd Vehicular Technology Conference (VTC2010-Fall), Sep. 6-9, Ottawa, Canada, 2010, CD-ROM.

- (13) Tran Minh Quang and Eiji Kamioka, "Differentiation of Vehicle Mode for Accurate Traffic Congestion Estimation Using Mobile Phones," Proceedings of the 4th South East Asia Technical University Consortium Symposium (SEATUC2010), Tokyo, Japan, February 25-26, 2010, pp.229-232.
- (14) Tran Minh Quang and Eiji Kamioka, "MOBILE CONTEXT-AWARENESS FOR TRAFFIC ESTIMATION," Proceedings of the 4th South East Asia Technical University Consortium Symposium (SEATUC2010), Intensive Workshop, Tokyo, Japan, February 25, 2010, pp.5-8.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上岡 英史 (Eiji Kamioka)
芝浦工業大学
研究者番号 : 90311175

(2) 研究協力者

Tran Minh Quang (Tran Minh Quang)
国立情報学研究所