

平成 28 年 5 月 12 日現在

機関番号：14201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330370

研究課題名(和文) 車車間・路車間通信による情報収集に基づくCO2削減を目指した信号制御手法

研究課題名(英文) Signal Control Method for Reduction of CO2 Emission based on Information Gathering Using V2V and V2R Communication

研究代表者

梅津 高朗 (Umedu, Takaaki)

滋賀大学・経済学部・准教授

研究者番号：10346174

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：近年、自動車による排気ガス量の削減が求められている。排気ガス量は自動車の挙動によって大きく変化するため、信号機等の適切な制御による交通制御が排気ガス量削減に効果的であると考えられる。しかし、既存の信号機制御の多くは停止時間削減を目的としており、必ずしも排気量削減に効果的でないという問題点がある。また、現在、車車間などの実用に向けて開発が進んでおり、高度な情報収集方法によってよりきめ細かな信号制御を行える可能性が生じている。本研究では、より詳細な信号周辺の交通状況を把握し、移動にかかる時間を増やさないまま停止回数を削減できるような交通制御プランを算出する分散制御手法を提案した。

研究成果の概要(英文)：It is important to reduce the amount of CO2 emission from vehicles, since it takes a large part of total CO2 emission. The amount of CO2 emission significantly depends on the behavior of a vehicle. So, smooth traffic conditions controlled by well-designed signal control strategy is effective for the purpose. There have been a lot of signal control methods designed for reducing stop duration of vehicles. However more effective way to reduce CO2 emission is to reduce frequency of stops of vehicles. In this paper, I discuss about simulation based evaluation of signal controlling method for CO2 reduction.

研究分野：高度交通システム、モバイルコンピューティング

キーワード：CO2排出削減 信号制御 車車間・路車間通信 高度交通システム

1. 研究開始当初の背景

エネルギー消費の削減やCO₂排出量の削減は、環境問題を考える上での避けられない課題である。交通・運輸部門に着目すると、2006年に行われた東京都の調査によれば、運輸部門が温室効果ガスの発生に占める割合は実に26.2%に上り、そのほとんどが自動車の排気ガスによるものである。自動車の燃費は、運転挙動によって大きく変わることが知られており、排気ガスは特に自動車が加速する際に特に多く排出される。そのため、信号機等を適切に制御することで、自動車になるべく停車しないようスムーズに走行できる環境を構築する事は、自動車利用者らが目的地まで到達する旅行時間の短縮による利便性向上と共に、排気ガス量削減にも効果的であると考えられる。

2. 研究の目的

既存の信号機制御の多くは、円滑で効率的な交通を実現するため、旅行時間の削減を課題として設計されている。そのため、それらの手法は旅行時間の増加の原因となる停止時間の短縮が制御の目的とされている。同様の方針で、停車回数もある程度は削減出来ると思われるが、CO₂排出量削減という観点から評価した場合には改善の余地がある可能性がある。

また、現在、車車間通信などの実用に向けて開発が進んでおり、高度な情報収集方法によってより詳細な交通情報が収集でき、それらに基づくきめ細かな信号制御を行える可能性が生じている。

そこで、本研究では、より詳細な信号周辺の交通状況を把握し、移動にかかる時間を増やさないまま停止回数を削減できるような交通制御プランを算出する分散制御手法について検討を行った。

3. 研究の方法

本研究では、路側のセンサなどのインフラ

や、プローブカー、車車間、路車間通信などを介して収集したリアルタイムな車両の位置情報に基づき、より環境負荷が少なく、効率的な道路環境を実現できるように信号制御を行う手法について検討する。図1に、想定するシステムの概略図を示す。検討するシステムにおいては、リアルタイムに収集した情報から、効率的な信号切り替えタイミングを導出して信号を制御する。その結果は実際の交通流に影響を与え、その交通状況は再び情報収集され、以後の制御に用いられる。

提案手法では、まず、道路利用の効率を優先的に考え、なるべく平均旅行時間が短くなるよう、少なくとも、一般的に用いられる信号制御方式と同等かそれ以下の平均旅行時間がとなるように制御するという目標を置く。その上で、CO₂の排出量なるべく小さくなるように制御を行う。CO₂は車両が加速を行うときに特に多く排出されるため、車両に再加速を促すことになる信号での停止は、CO₂排出量の増大に繋がる。信号での停止は旅行時間の増大にも繋がるため、旅行時間を最小化する一般的な信号制御手法もCO₂排出量削減に有効である。しかし、よりCO₂削減を積極的に行うように目標を定めた制御を行う事で、排出量の更なる削減が可能である事は参考文献[1]で示した通りであり、この手法を一般化し、対象環境を広げることが研究の目標とする。

(1) 既存研究

自動車による排気ガス量の推計方法については様々な研究がなされており、自動車の走行における挙動から排気量を求める手法(参考文献[2、3])などが提案されている。これらのモデルによると、自動車による排気ガス量は、加速時に発生するものが大きな割合を占めており、同一の距離を走行する場合でも、一定の速度で走行する場合と、停止と発進を何度も行う場合では排気量に大きな違いが出ることが分かっている(参考文献[4])。よって、各交通流に対してどのように通行権を与えるかを決定し、交通流上の車両の挙動を制御す

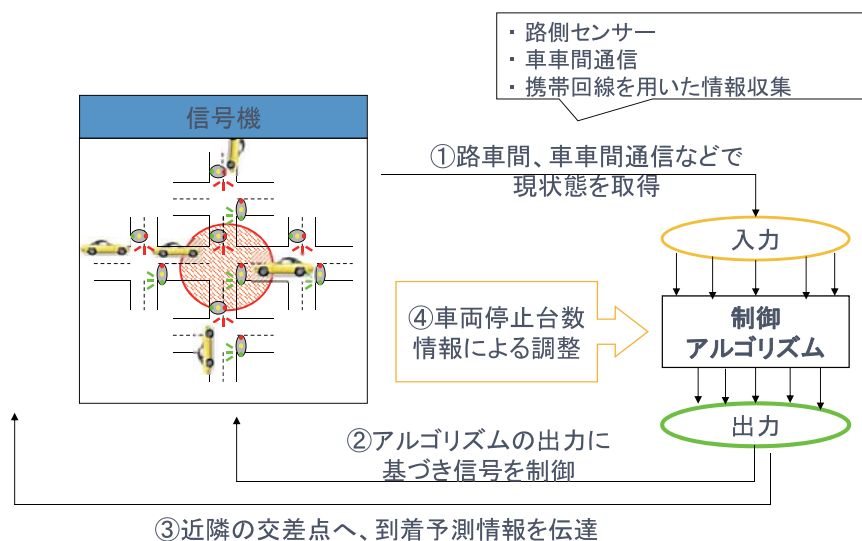


図1 提案する信号制御システムの概要

る交通信号制御の動作を改善することによって、発生する排気ガス量を削減できると考えられる。しかし、現在提案されている信号機制御手法は渋滞や遅れ時間の縮小を目的としたものが大半であり、排気ガス量の削減という観点から制御を行うシステムは少ないのが現状である。渋滞や遅れ時間の縮小を目的とした場合、信号機による車両の停止時間の削減が重要となるが、排気量最適化においては信号機による停止回数の削減が重要となる。しかし、参考文献[5]で述べられているように、信号機による停止時間と停止回数にはトレードオフ性があり、停止時間の削減を行う既存の手法が停止回数の削減に効果的であるとは必ずしも言えない。

また、代表的なマイクロ制御である RHODES(参考文献[6])は、評価関数を予想排気量とすることで排気量最適化に対しても対応できると考えられるが、対象エリア内の車両列の衝突を予測し、全ての衝突の回避方法の組み合わせに対する評価を求めるため、広域のエリアでは計算量が爆発的に増加し、適用が困難であるという問題点がある。また、信号機と車両の相互通信が可能な環境を想定し、車両に対して適切な走行速度情報を送信することで停止回数と排気量を削減する手法も提案されている(参考文献[7、8])、これらの手法では車両の信号機への到着時刻の調整のために信号機間で十分な道路長が必要であり、都市街路のように道路長が短いエリアに対して適用できないという問題点がある。

(2) 信号制御手法の目標

まず、1章で挙げた1つ目のポイントに関しては、様々な道路環境でも利用できるロバストなシステムとするため、事前に設定の必要なパラメータ数などが少なく済む、適応的な手法となっている事が望ましい。前述の参考文献[1]で検討した手法では、ニューラルネットワークベースの強化学習手法を適用することで、過去の実測値から自動的に予測が導出されるように工夫した。一方で予測精度の向上には大量の学習用データが必要となるため、シミュレーション上の全ての交差点を同様の構造として単一のニューラルネットワークで制御するよう信号システムを実装した。こうすることで、全交差点が類似した挙動を示すため、全てのデータを1つのニューラルネットの学習に用いることが出来、短時間での検討が可能となった。しかし、実際には種々多様な道路構造に対応する必要があるため、実環境においてこのような手法を用いることは難しい。

また、2つ目のポイントに関しては、すでに VICS のための情報収集や信号制御に用いられている車両センサなどのインフラや、携帯電話網を用いたプローブ情報など、様々な交通情報が利用可能である。しかし、全ての車両の正確な位置や速度を完全に網羅することは難しい。そのため、それらの組み合わせにより得られた情報で、十分な精度での制御が行

える事を示す必要がある。また、複数の信号が協調して都市全体など、広範囲の交通を纏めて制御するで、より一層の削減効果が見込めるため、複数信号間の協調に関しても検討する必要がある。

(3) 信号制御手法についてのシミュレーションによる評価

シミュレーションによる評価のため、交通シミュレータ VISSIM(参考文献[10])のバージョン 7.0 を用いたシミュレーション環境を構築した。シミュレーション環境では、シミュレーション内時間での一定時間ずつ交通シミュレータをステップ実行し、ステップ毎に車両に位置、速度、加速度を収集し、CO₂排出量を計算して記録する。また、シミュレーションのシナリオに応じて、シミュレータのパラメータなどを調整する。

交通シミュレータ VISSIM は、他のソフトウェアとの間の高い相互運用性を有している。まず、VISSIM は、VBScript、JScript、Python のスクリプトを読み込んでシミュレータ上で実行することができ、何らかのシナリオに基づくシミュレーションの自動実行などに利用できる。また、Windows で標準的に用いられる汎用的なソフトウェア間の通信規格である COM にも対応している。インストール後にシミュレータのメニューから COM サーバの登録を行うと、その Windows 上の他のソフトウェアから COM を介して VISSIM シミュレータを操作可能となる。実際に利用する場合は、COM に対応したプログラミング言語を用い、プログラム中で VISSIM オブジェクトを作成し、そのオブジェクトを介してシミュレータを操作することになる。この汎用性のため、Python、Ruby のようなスクリプト言語の他、C++ や Java や C# などの専用の開発環境上や、Excel 上の VBScript など、多くのプログラミング環境で VISSIM シミュレータを外部プログラムとして用いることができる。また、信号制御に関しては、DLL で書かれた外部プログラムで実装されており、独自の DLL を用意することでユーザは自由にシミュレーション内の信号を制御できる。本稿ではデバッグ作業の容易さから開発環境としては Visual Studio 2013、言語としては C# を用いてシミュレーション環境の構築を行った。

(4) CO₂排出量の推定

シミュレーションにおける CO₂ 排出量の推定には参考文献[3]の計算式およびパラメータを用いる。参考文献[3]では、定数 E_0 と、 $f_1 \sim f_6$ を定数項、および、係数とする速度と加速度についての二次式で得られる値の内の大きい方を推定排出量とする、CO₂ 排出量の近似式が提案されている。また、様々な車種に対してそれらのパラメータの適切な値が報告されている。具体的には、 $v_n(t)$ と $a_n(t)$ を時刻 t における車両 n の速度 [m/s]、および、加速度 [m/s²] とした場合の CO₂ 排出量 [g/s] を、下記

表 1. CO₂ 排出量推定のために用いるパラメータ

車種	E ₀	f ₁	f ₂	f ₃	f ₄	f ₅	f ₆
乗用車(ガソリン車)	0	0.553	0.161	-0.00289	0.266	0.511	0.183
乗用車(ディーゼル車)	0	0.324	0.0859	0.00496	-0.0586	0.448	0.23
バス	0	0.904	1.13	-0.0427	2.81	3.45	1.22

の $E_n(t)$ の式で推定する。

$$E_n(t) = \max[E_0, f_1 + f_2 v_n(t) + f_3 v_n(t)^2 + f_4 a_n(t) + f_5 a_n(t)^2 + f_6 v_n(t) a_n(t)]$$

なお、本稿のシミュレーションでは、ガソリン車、ディーゼル車、バスの 3 種類の車種を用いて予備実験を行った。これらの車種に対して参考文献[3]で紹介されているパラメータは表 1 の通りであり、これらを用いて CO₂ 排出量のシミュレーションを行った。

4. 研究成果

(1) シミュレーション実験

シミュレーション環境の動作確認と、手法の詳細な設計のための予備実験として、いくつかのシミュレーションを行った。まず、図 2 のような縦横 600m、交差点間の距離が 100m の格子状の道路ネットワークをシミュレーター上に構築した。車線数は対面 1 車線ずつで、各交差点には信号を設置した。右折レーンは設けていない。信号の切り替えパターンは、南北東西各方向へ直進する道路上の信号が常に同じ現示となるパターンと、赤と青が交互に現れるよう互い違いに設定したパターンの 2 種類を用いた。また、前者の直進道路上の現示が一致するパターンについては、信号サイクルが 60 秒と 120 秒の 2 種類を用いた。具体的な信号制御のシミュレーションシナリオは下記の 3 種類である。

- A) 直進道路上の信号現示が一致、信号サイクル 60 秒
- B) 直進道路上の信号現示が一致、信号サイクル 120 秒
- C) 直進道路上の信号現示が交互、信号サイクル 60 秒

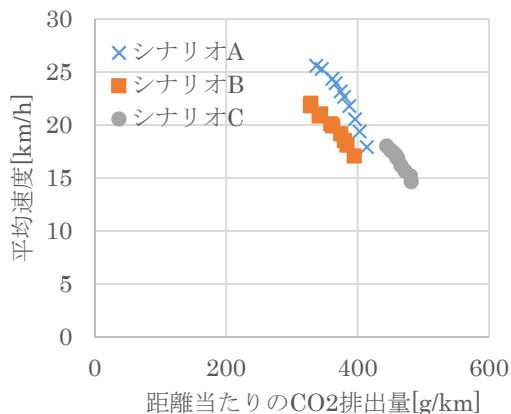


図 3 停止回数と CO₂ 排出量の関係

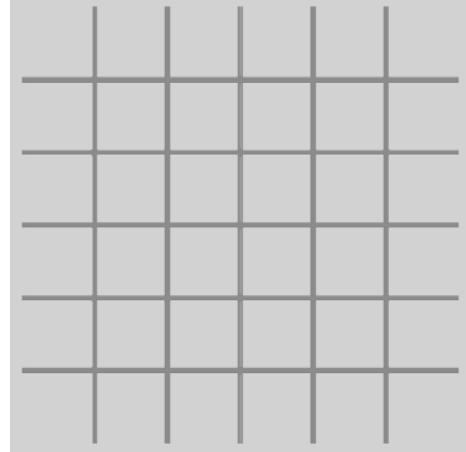


図 2 シミュレーションで用いた道路ネットワーク

南北東西の全ての端点から一様に車両を発生させ、各車両は直進の確率 0.8、右左折がそれぞれ 0.1 となるランダムウォークで走行させた。シミュレーション内に流入させる車両の種類は、ガソリン乗用車が 91%、ディーゼル乗用車が 7%、バスが 2% の割合でのランダムとし、車両流入割合を各端点から 100~460 台/時と変化させて実験を行った。なお 100 台/時の車両発生割合は、捌け残り車両が発生しない（ある交差点に赤信号のために停止した全ての車両が、次の青信号の間に交差点を通過しきる）程度、460 台/時は恒常的に渋滞が発生する程度の交通量となった。各パラメータセッティングに対してシミュレーション内の時間で 5 分間分をシミュレーションした。それ以外のパラメータについては VISSIM のデフォルトを用いた。

シナリオ A~C に対して、車両流入割合を各

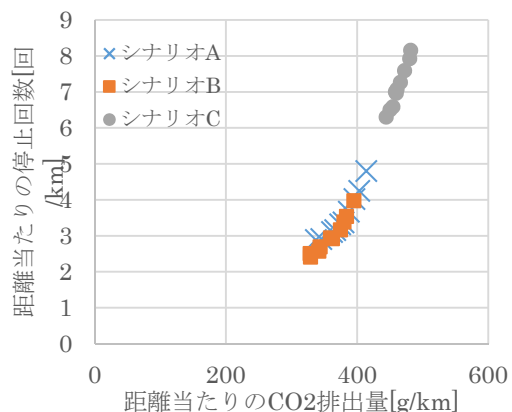


図 4 停止回数と CO₂ 排出量の関係

リンク当たり 100 台～400 台/時間まで、40 台/時間ずつ変化させて 10 回シミュレーションを行った結果を、図 3、図 4 に示す。CO₂ 排出量削減の指標として適当な要素を検討するため、CO₂ 排出量と、平均速度、および、停止回数との関係を調査した。図 3 には、移動距離当たりの CO₂ 排出量と平均速度を、図 4 には、移動距離当たりの CO₂ 排出量と移動距離当たりの停止回数を、信号制御シナリオ毎にグラフのスタイルを変えてプロットしてある。図 3 を見ると、平均速度と CO₂ 排出量の間には、信号制御シナリオ毎に異なった傾向を示していることが分かる。

図 3 の、平均速度と CO₂ 排出量の間を見ると、信号切り替え間隔の異なるシナリオ A とシナリオ B では、平均旅行時間に顕著な差が出ている。しかし、CO₂ 排出量は同様の範囲に収まっており、比較的差が少ない。また、信号切り替えの方針が異なるシナリオ C は、それらとは別の傾向が見て取れる。

一方で、図 4 からは、停止回数と CO₂ 排出量の間には、信号制御のシナリオ毎の傾向の違いは見られず、全体として 1 つの傾向を示している事が分かった。なお、それぞれの相関係数を求めると、平均速度と CO₂ 排出量との間の相関係数が約 -0.84 であり、停止回数と CO₂ 排出量との間の相関係数は約 0.98 となり、こちらからも、停止回数との間の極めて高い相関が見て取れる。これらの結果より、CO₂ 排出量を削減するという目標は、車両の停止回数を減らすという、よりシンプルで具体的な戦略により達成できる可能性が示された。

(2) 信号制御アルゴリズム

前章の結果より、車両の停止回数と CO₂ 排出量の間にはほぼ線形な関係が見いだされた。そこで、停止時間を延ばさないよう停止回数を最小化するという方針での制御が適当と考えられる。具体的なアルゴリズムとしては以下のように設計した。

- 1) 路車間、車車間通信、携帯通信網などを用いて車両の現在位置、速度などの情報を収集する。
- 2) 収集した情報に基づき、各交差点への到着予測を作成する。到着予測は、図 5 のような形で、自動車の到着予想を、現在からの経過時間を秒単位程度の適当な時間間隔毎に集計し、それぞれの時間に到着する台数の形で集計する。
- 3) あらかじめ定めた信号切り替え間隔の最小・最大間隔の範囲で、到着予想から、各時間での切り替えで停車すると予想できる車両台数を求める。
- 4) 3 で求めた予想から CO₂ 排出量が最小になると思われる信号切り替えタイミングの内、既に止まっている車両の停車時間を最小にするため、最も早いタイミングで信号を切り替える。
- 5) 到着予想と決定した切り替えタイミングから、各車両の交差点通過時間を予測し、予測情報を近隣の交差点へと伝達する。

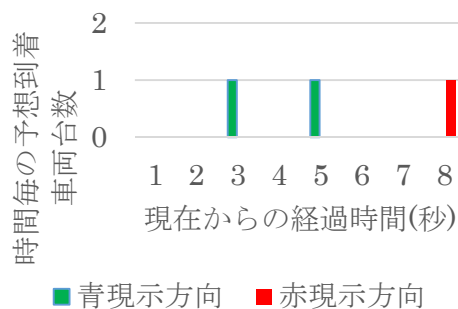


図 5 車両の到着台数予測

今後、上記のアルゴリズムをシミュレータ上に実装し、シミュレーション実験を通してその性能を評価する。5 の予測は右左折の可能性など複雑な状況を考慮する必要があるため、機械学習の利用などを検討する。

(3) まとめ

本稿では、ユーザの利便性を損なわないよう CO₂ 排出量をなるべく減らすよう信号制御を行う協調型信号制御手法に関する検討を行った。シミュレーション実験環境を構築し、予備的な実験を通して、制御アルゴリズムの基本方針を定め、アルゴリズムの概略を設計した。

今後の課題としては、制御手法をシミュレータ上に実装し、その性能を確かめる。また、情報収集の動作部分を無線ネットワークシミュレータなどと連携させることで、より現実的な動作に近いシミュレーション実験とする必要もある。更なる発展としては、現状のアルゴリズムの設計では、各交差点に対して最適と思われる制御を行った上で、その結果の予想を近隣の交差点へと伝達するのみとしているため、ローカルミニマムな制御に陥る可能性がある。そのため、より広範囲な情報を集めた上で、全体として最適な制御を行う手法を導入する等するなど、より一層の効率性も検討していく必要がある。

参考文献

- [1] T. Umedu, Y. Togashi, T. Higashino: "A Self-learning Traffic Signal Control Method for CO₂ Reduction Using Prediction of Vehicle Arrival", Proceedings of the 15th IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC 2012) (2012).
- [2] 横田 久司, 鹿島 茂, 國領 和夫, 田原 茂樹: "走行動態に基づく自動車からの環境負荷推計モデルの開発", 大気環境学会誌, Vol. 40, No. 2, pp. 67-82 (2005).
- [3] L. I. Panis, S. Broekx, R. Liu: "Modelling Instantaneous Traffic Emission and the Influence of Traffic Speed Limits", Science of the Total Environment, Vol. 371, pp. 270-285, Elsevier Science (2006).
- [4] H. Rakha, Y. Ding: "Impact of Stops on

Vehicle Fuel Consumption and Emissions”, American Society of Civil Engineers, Journal of Transportation Engineering, Vol.129, No.1, pp.23-32, (2003).

- [5] S. K. Zegeye, B. De Schutter, J. Hellendoorn, E. A. Breunese : “Reduction of travel times and traffic emissions using model predictive control”, Proceedings of the 2009 American Control Conference, pp.5392-5397 (2009).
- [6] P. Mirchandania, L. Head : “A real-time traffic signal control system: architecture, algorithms, and analysis”, Transportation Research Part C, Vol.9, pp.415-432 (2001).
- [7] S. Mandava, K. Boriboonsomsin, M. Barth : “Arterial velocity planning based on traffic signal information under light traffic conditions”, Proceedings of the 12th IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, pp.1-6 (2009).
- [8] K. J. Malakorn, P. Byungkyu : “Assessment of Mobility, Energy, and Environment Impacts of IntelliDrive-based Cooperative Adaptive Cruise Control and Intelligent Traffic Signal Control”, Proceedings of the 2010 IEEE International Symposium, pp.1-6 (2010).
- [9] VISSIM, <http://www.vissim.com/>

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 10 件)

- [1] Yuma Akai, Akihito Hiromori, Takaaki Umedu, Hirozumi Yamaguchi, Teruo Higashino : “Mitigating location and speed errors in floating car data using context-based accuracy estimation”, Proceedings of 13th International Conference on ITS Telecommunications (ITST 2013), pp. 104-110 (2013年9月, Tampere, Finland, 査読付き国際会議)
- [2] Takaaki Umedu, Yasuhide Otsubo, Teruo Higashino : “Cooperative Positioning Method Using On-Board LED Communication and Distance Measurement Devices”, 2014 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Taiwan (2014 ICCE-TW), pp.141-142 (2014年5月, 台北, 台湾, 査読付き国際会議)
- [3] Tomoyuki Tange and Akihito Hiromori, Takaaki Umedu, Hirozumi Yamaguchi, Teruo Higashino : “An Analysis Model of Queue Length Fluctuation at Signals Using Vehicle Trajectories”, 2014 International Conference on

Connected Vehicles & Expo (ICCVE 2014) (2014年11月, Vienna, Austria, 査読付き国際会議)

- [4] Takaaki Umedu : “DTN Based Information Processing Platform for Disaster Situation”, Proceedings of International Workshop on Informatics (IWIN2015) (2015年9月, Amsterdam, Netherlands, 招待講演)
- [5] Ryosuke Tanimura, Akihito Hiromori, Takaaki Umedu, Hirozumi Yamaguchi, Teruo Higashino : “Prediction of Deceleration Amount of Vehicle Speed in Snowy Urban Roads using Weather Information and Traffic Data”, Proceedings of 2015 IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2015) (2015年9月, Las Palmas de Gran Canaria, Spain 査読付き国際会議)
- [6] 丹下 智之, 廣森 聡仁, 梅津 高朗, 山口 弘純, 東野 輝夫 : “車両プローブ情報及び上流の信号パラメータに基づく信号待ち車列長推定手法の提案”, 2015年度 情報処理学会関西支部 支部大会 論文集、ページ E19 (2015年8月、大阪府大阪市)
- [7] 谷村 亮介, 梅津 高朗, 廣森 聡仁, 山口 弘純, 東野 輝夫 : “気象および交通データ解析に基づく積雪期における交通速度低下の推定手法”, 情報処理学会 第 163 回 マルチメディア通信と分散処理研究会 (DPS) (2015年10月, 長崎県雲仙市)
- [8] 丹下 智之, 廣森 聡仁, 梅津 高朗, 山口 弘純, 東野 輝夫 : “一部の車両軌跡情報および信号パラメータを用いた OD 交通量の推定手法”, 情報処理学会 第 64 回 高度交通システム研究会 (2016年3月, 石川県金沢市)
- [9] 梅津 高朗 : “信号制御によるCO2削減効果の交通シミュレーションによる評価”, 情報処理学会 第 64 回 高度交通システム研究会 (2016年3月, 石川県金沢市)
- [10] 梅津 高朗 : “CO2 排出量の削減を目的とした協調型信号制御手法”, 電気学会システム研究会 都市とエージェント技術 (2016年3月, 富山県富山市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

梅津 高朗 (TAKAAKI UMEDU)

滋賀大学・経済学部情報管理学科・准教授

研究者番号 : 10346174