

車車間・路車間通を用いた車線別の渋滞情報の検出手法

大高 宏介[†] 戸川 望[†] 柳澤 政生[†] 大附 辰夫[†]

[†] 早稲田大学 理工学部 コンピュータ・ネットワーク工学科

〒 169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1

Tel:03-5286-3396, Fax:03-3203-9184

E-mail: tohtaka@ohtsuki.comm.waseda.ac.jp

あらまし 近年の ITS 技術の進化に伴ってカーナビにおける測位精度や経路案内の技術が高まりつつあるが、出発地から目的地までの所要時間の測定精度は未だに十分とは言えず、いかにして正確な渋滞情報を取得するかが課題となっている。特に車線ごとに混雑状況が異なることが大きな影響を及ぼすため、既存の渋滞情報の検出方法の問題を起すことなく、交差点などにおいて車線ごとに混雑状況が異なる場合があったとしてもそれを個別に検出することが必要である。そこで本稿では、車車間通信および路車間通信を用いることにより、一般道路の各交差点において車線別に渋滞情報をリアルタイムに検出するための手法を提案する。ビーコンから通信を開始して車車間通信を繰り返すことで車両の情報を収集し、その情報から渋滞を通過するまでに要した時間を算出する。また、シミュレーションによりこの手法の有効性を示す。

キーワード VICS 車線別渋滞情報 車車間通信 路車間通信

A Detection Method of Line Congestion Information by Using Vehicle-to-Vehicle and Road-to-Vehicle Communication

Kousuke OHTAKA[†], Nozomu TOGAWA[†], Masao YANAGISAWA[†], and Tatsuo OHTSUKI[†]

[†] Department of Computer Science, Waseda University

3-4-1 Ohkubo, Shinjuku-ku, Tokyo, 169-8555, Japan

Tel:03-5286-3396, Fax:03-3203-9184

E-mail: tohtaka@ohtsuki.comm.waseda.ac.jp

Abstract As the ITS technology evolves, the measurement accuracy and the technology of the route guide is rising. But, because the measurement accuracy of the time required from starting point to destination is not high enough, it is problem how to acquire accurate congestion information. Especially, because difference in congestion situation for each lane exerts a great influence on calculation of the time required, if the congestion level is different for each lane, it is necessary to detect congestion information for each lane in the intersection without causing a problem which was seen in conventional congestion-detecting method. Then, we propose a method to detect congestion information of each lane by using Vehicle-to-Vehicle and Road-to-Vehicle Communication technology in real time in the intersection on a general road. Time required to pass the congestion is calculated by using the information which was gathered by iterative communication among cars which starts from a beacom. After that, we show the effectiveness of this method by simulating it.

Key words VICS Congestion Information according to the Lane Vehicle-to-Vehicle Communication Road-to-Vehicle Communication

1. はじめに

1996年にVICSによるサービスが開始されて以来[1]、近年のGPSによる測位精度の向上や経路探索に関する研究の発展

により、カーナビゲーションシステム(以下カーナビ)の普及が進んでいる。カーナビによって現在地から目的地までの経路案内を受けることが可能となった。経路作成におけるパラメータとして距離、料金、および出発地から目的地までの所要時間など

が挙げられる。これらのパラメータのうち、距離と料金は一定の値であることから容易に算出できるが、所要時間は道路の混雑度という動的な値が影響してくることから、正確に算出することは非常に困難である。そのため、いかにして正確な混雑状況を取得するかが重要な問題となる。

現在渋滞情報を取得するための主な方法として、

- (1) AVI(Automatic Vehicle Identification) システム
- (2) 超音波感知器を用いた方法
- (3) ビデオカメラでの撮影画像から推定する方法

などが挙げられる。

(1) AVIシステム[2]は、道路上に設置されたカメラによって車両のナンバープレートを読み取り、複数の箇所でも同一車両を識別できたらその時間差から旅行時間を割り出すものである。この手法では、カメラの設置区間単位での渋滞情報しか取得できないため、設置区間が広い場合その区間内のどの部分が渋滞であるのかを詳しく把握することができず、また設置区間を狭くするためには設備費用が膨大になるという欠点がある。

(2) 超音波感知器を用いた方法は[9]、道路上に設置された超音波感知器によって一定時間間隔に交通量と車両占有率を測定し、その値から平均走行速度を割り出すものである。最終的には求めた平均走行速度から、過去の統計情報との照合、あるいはシミュレーションによる測定によって旅行時間を算出するが、いずれの場合でも事故やイベントといった突発的な事象に対応できないという欠点がある。

(3) ビデオカメラでの撮影画像から推定する方法[7]は、道路上に設置されたビデオカメラからの撮影画像に処理を施し、車両台数や走行速度を取得するものである。この手法では、車両が混雑している時にはトラッキングが生じ、複数の車両を区別することが困難である点と、(1)と同様に設置区間単位での渋滞情報しか取得できない点が欠点として挙げられる。

加えて、(1)と(3)では天候などの撮影環境によって精度が変わることも欠点として挙げられる。このように、現在利用されている渋滞情報の検出方法には様々な問題点が伴い、十分正確な所要時間を検出できるようになるための方法は存在しないのが現状である。

ここで、正確な所要時間を算出することに注目すると、「直進車線はすいているが、左折車線は混んでいる」といった状況に対応することも必要である。このような状況は、図1に示すように、主に交差点において頻繁に生じる現象である。

このような現状から、(1)~(3)で挙げた欠点を越えことなく、かつ車線ごとに混雑状況が異なる場合があったとしてもそれを個別に検出することを可能とする渋滞情報の検出手法を提案する。ビーコンから通信を開始して車車間通信を繰り返すことで車両の情報を収集し、その情報から車両が車両列の最後尾に着いた時刻から先頭車両になった時刻、すなわち渋滞を通過するまでに要した時間を算出する。提案手法では車車間通信と路車間通信を利用し、これにより渋滞情報の検出範囲を(1)~(3)で挙げた手法と比べ拡大し、事後処理をすることなくリアルタイムに検出し、天候の影響から回避することができる。

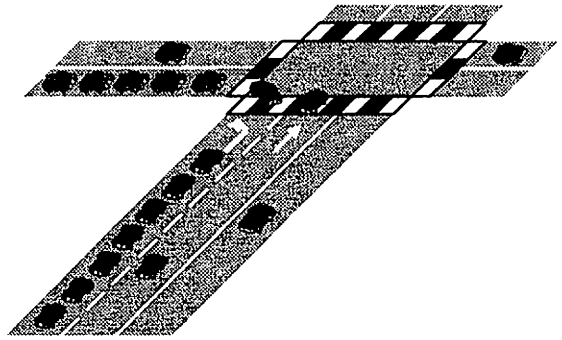


図1 車線によって混雑度が異なる例

2. 車車間・路車間通信装置

ここでは、車車間通信および路車間通信を説明する。

2.1 車車間通信装置

車車間通信とは、近傍の車両同士で車載の無線通信装置を介して情報をやりとりするものである。自車両の情報を提供、あるいは他車両からの情報を取得することで、出合いがしらの衝突の回避や、自車両からは見えない前方画像の取得などが可能となる。このように、車車間通信技術は主に安全運転の支援の面での応用が期待されており、近い将来通信装置の普及化が検討されている[3]。

提案手法では、この車車間通信装置の利用を前提としている。通信装置は、車載LANの中の情報系車載LAN規格として注目を集めつつある[4]IEEE1394規格を採用する。この通信規格を表1に示す。

次に、車車間通信装置に関する技術であるスペクトル拡散通信を用いた車間距離の測定方法[5],[6]を説明する。この技術により、特定の通信相手に関して車間距離を算出し、かつその車両に限定してデータを送受信することが可能となる。この通信の確立までの手順を図2に示す。各車両には、それぞれ個別のPN符号系列が割り当てられる。また、通信相手を特定するまでの手順は、反射フェーズとPN符号系列送出フェーズの2つのフェーズから構成され、これらを交互に繰り返す。

(1) 反射フェーズ

反射フェーズでは、受信した信号は他車両から送られてくるPN符号であると仮定する。そこで、自車両のID、自車両のPN符号系列、次に反射フェーズに入る予定時刻(現在の時間差分)をパケット化し、受信番号で拡散して、それを反射フェーズが終了するまで送信し続ける。それと同時に受信番号に対して自車両のPN符号系列で逆拡散を試みる。

表1 IEEE1394の通信規格

通信速度	100Mbps
周波数帯	60GHz帯
送信電力	10mW
変復調方式	FSK
通信範囲	100m

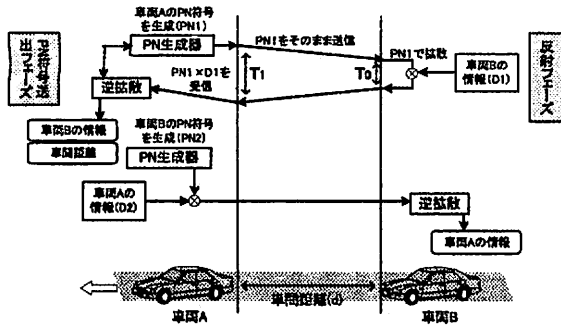


図2 通信確立までの手順 [5]

(2) PN 符号送出フェーズ

PN 符号送出フェーズ中にある車両は、自車両の PN 符号を送信し続ける。それと同時に、もし受信信号があればそれに対して自車両の PN 符号系列で逆拡散を試みる。

Step1 相手車両が存在し、その車両が反射フェーズ中であれば、相手車両は自車両の PN 符号を用いて情報を拡散して自車両に向けて送信してくるので、受信信号を逆拡散すると相手車両の情報が入ったデータを取り出すことができる。

Step2 これと同時に、送信した信号と受信した信号の時間差から車間距離を求めることができる。複数の車両から受信信号を得た場合には、車間距離の中で一番小さい車両を通信相手として選ぶ。

Step3 車両は、ここで取得した情報を元に相手車両が次に反射フェーズに移ると思われる時刻が分かるため、その時刻に自車両の情報 (車両 ID と PN 符号系列) をパケット化して、それを相手の PN 符号系列を利用して拡散し、相手車両に送信する。

Step4 各車両は反射フェーズにおいて自車両の PN 符号系列で逆拡散をしているので、受信信号を逆拡散することができたならば、相手車両が自車両の PN 符号系列を既知であることになる。

2.2 路車間通信装置

路車間通信とは、道路に設置された基地局と車載の無線通信装置との間で双方向に通信するもので、ETC に挙げられるように、すでに実用化が進んでいる。

提案手法では路車間通信の基地局として電波ビーコンを採用する。電波ビーコンでは、1Mbps の通信速度で 10KByte の情報を、時速 120km で走行する車両とやりとりが可能である。設置費用が低いため今後さらに設置台数の増加が見込まれている。

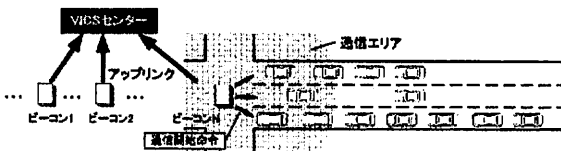


図3 検出する渋滞の状況

3. 車線別渋滞情報の検出方法

本節では、車車間・路車間通信を用いて車線別に渋滞情報を検出するための方法を提案する。渋滞を検出する状況の例を図3に示す。交差点の信号機付近にビーコンが設置され、一定時間間隔でビーコンが各車線の先頭車両へ通信開始命令を送信する。通信開始命令を受け取った先頭車両は、車線ごとに後続の車両と車車間通信によってデータの伝達を行い、渋滞情報の検出に必要なデータを収集する。収集されたデータは最終的に、VICS において情報処理・収集を担う VICS センターへアップリンクされる。

3.1 章では、渋滞情報を検出する際に必要となる車群情報を取得する手順を説明する。3.2 章では、取得された車群情報から旅行時間を算出する手順を説明する。3.3 章では、車車間通信を車線を区別して行い各車線ごとに車群情報を取得する方法を説明する。

3.1 車群情報の取得

まず始めに、1 つの車線に注目してその車線上にいる車両の渋滞情報の検出方法を説明する。通信開始後、車両間でスペクトル拡散方式を用いて通信し、データを伝達していく過程を以下に示す。

Step1 先頭車両はビーコンから通信開始命令の信号を受けると、後方に自車両の PN 符号を送信する。

Step2 先頭車両の PN 符号を受信することができた全ての車両は、この信号で自車両の情報を拡散したものを応答信号として送信する。ここでいう車両の情報とは、車両を識別するための車両 ID である。

Step3 先頭車両は、受け取った各車両からの応答信号から車間距離を算出することにより、一番近い車両を選出する。

Step4 応答信号により各車両の車両 ID を得ているので、送信先を 3. で決定した最近接の後続車両に指定して、

- 通信開始時刻
- 自車両 ID

の 2 つを書き込んだデータを送信する。このデータを、「車群情報」と呼ぶことにする。

Step5 車群情報を受け取った車両は、Step1 から始まる手順を行い、車群情報に後続車両との車間距離および自車両 ID を書き込んで後続車両へ送信する。この操作を、最後尾車両へ車群情報が到達するまで繰り返す。ここで言う最後尾車両とは、Step1 の操作を行ったときに応答信号を受け取ることができなかった車両と定義する。

Step6 最後尾車両は車群情報に書かれた車両 ID を元に、データを前方の車両を経由して、先頭車両に送信する。このときには信号は最寄りの車両のみを経由する必要はなく、車両の順序は考慮せずに送信してよい。

Step7 車群情報を受け取った先頭車両は、そのままビーコンへ送信する。

この手順を図4に示す。Step7 でビーコンが得た車群情報から、1 つの車線に関して、通信開始時刻および渋滞を形成している車両 ID が得られる。また、車間距離と車両長の和から渋

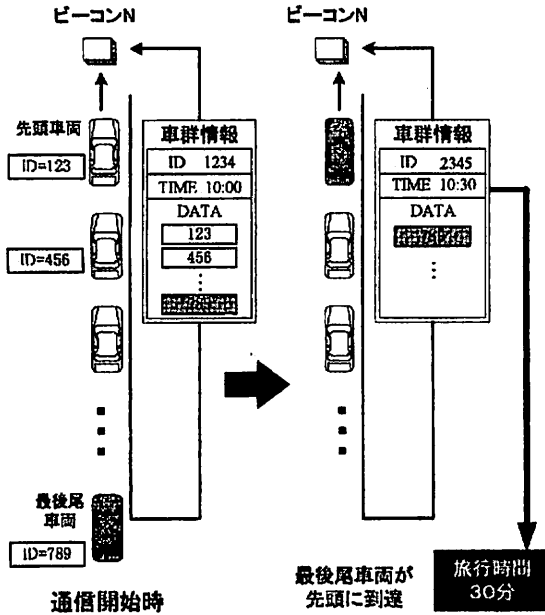


図5 旅行時間の算出手順の例

滞長を算出することも可能である。このようにしてビーコンが車群情報を一定時間間隔にて作成する。

なお、ここまで述べた手順は1本の車線に注目した渋滞情報の検出のためのものであり、各車線でこれと同様の手順を踏むことにより、車線別に渋滞情報が得られることになる。車線を特定して通信する方法については後に述べる。

3.2 旅行時間の算出

次に、得られた車群情報から渋滞情報として旅行時間を算出する手順について説明する。旅行時間の算出は、各ビーコンから収集された車群情報をもとにVICSセンターで行う。

ここでいう旅行時間とは、検出の対象となっている渋滞を通過するのにかかる時間を指し、渋滞の最後尾に到着した時刻から渋滞の先頭に到着する時刻までの時間差である。旅行時間の測定する手順は以下の通りである。また、この例を図5に示す。
Step1 ビーコンが取得した車群情報から、渋滞の中の先頭車両と最後尾車両の車両IDが分かるので、車群情報を識別する車群情報IDとともにVICSセンターで記録しておく。

Step2 集められた車群情報の中から、時刻 t_1 で取得した車群情報で最後尾車両として記録された車両IDが先頭車両の車両IDとして記録されている車群情報を検索する。

Step3 車両IDが一致した車群情報が見つかったと、その車群情報の通信開始時刻 t_2 と t_1 の差が渋滞の最後尾車両が先頭車両となるまでの時間、すなわち渋滞の旅行時間となる。

このようにして、渋滞情報として交差点を通過するまでの旅行時間を、限りなくリアルタイムに近いタイミングで得ることができる。

3.3 車線の区別方法

3.1章で述べた車群情報の取得方法は、一車線のみ注目し

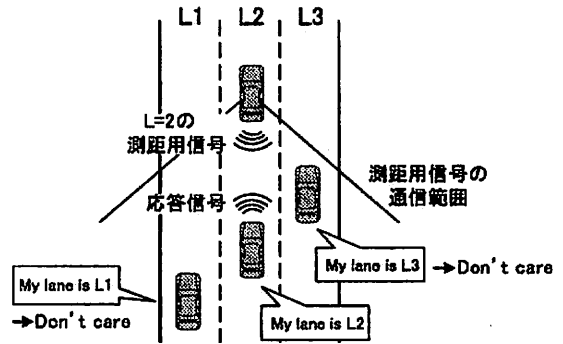


図6 車線を区別する手法の例

たものであり、複数の車線が存在する道路に適用する場合には問題点が生じる。それは、PN符号を送信する際に、送信範囲にある程度幅があることから隣の車線の車両も反応して応答信号を送ってしまうことである。このため、隣の車線の車両が最寄りの車両であると認識して車群情報を送信してしまう可能性がある。従って、このような現象が発生しないようにするために車線を区別して通信するための方法が必要となる。

この問題に対しては、画像処理によって自車両の存在する車線を認識するための既存の研究[8]を用いることで解決を図る。

前段階として、車載カメラからの映像により各車両は常に自車両が何番目の車線に存在しているか(一番左の車線か、一番右の車線か、あるいは複数ある場合を含めた中央の車線か)を各自で認識する。さらに測距用信号に車線の情報に関する領域を含ませ、先頭車両が車線番号を書き込み、通信を開始する。これにより、測距用信号を受信した車両は、現在位置している車線と信号内の車線に関する値とを比較し、一致していれば応答信号を送るようにすることで隣接する車線と区別して通信することが可能となる。この例を図6に示す。

4. シミュレーションによる評価

3章では車線ごとの旅行時間の情報がリアルタイムに得られることが示されたが、この手法を実用性の面で考えた場合には、車群情報を得るためにかかる時間が十分小さい値である必要がある。そこで本章では、提案手法の実用性を検証するためにシミュレーションによって渋滞情報の検出に要する時間を測定する。

4.1 評価指標

まず、車群情報を取得するまでにかかる時間が満たすべき条件について考える。

通信の開始と車群情報のビーコンへの返却は先頭車両を介して行うため、通信を開始し、最後尾車両を経由して車群情報が先頭車両に戻ってくるまでの間に先頭車両がビーコンの通信範囲外に出ないことが必要である。従って、車群情報の検出に要する時間の上限は、先頭車両がビーコンの通信範囲内に滞在する時間となる。

ここで、本手法では電波ビーコンを用いることを想定してお

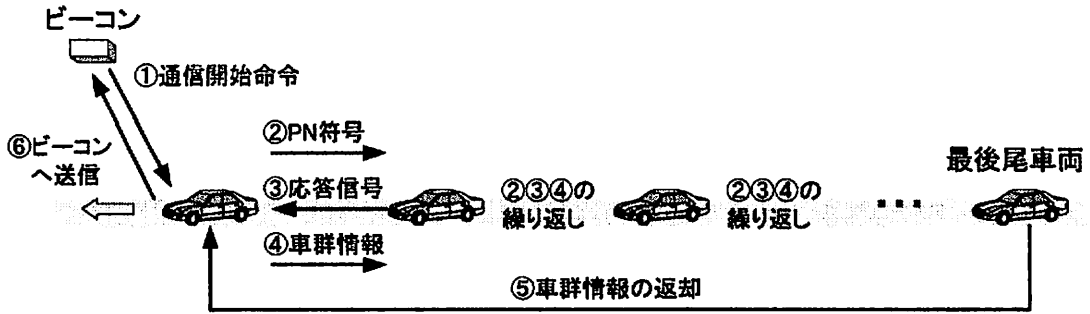


図4 データの伝達の流れ

表2 シミュレーションにおける設定

無線 LAN 規格	IEEE802.11b
伝送速度	11Mbps
伝送範囲	半径約 100m
周波数帯	2.4GHz
車両台数	10 台~30 台
車両間隔	10m

り、その通信範囲は 70m である。また、「道路政策評価通達集」によると、渋滞の定義を時速 20km 以下としている。従って、距離を速度で割って算出した結果、先頭車両の通信範囲内での滞在時間は 12.6[sec] となった。

以上より、渋滞情報に要する時間は 12.6[sec] 以内という条件を満たせば提案手法の実現が可能であることが分かった。この時間内に通信可能な車両台数を評価指標とし、シミュレーションする。

4.2 シミュレーション

ビーコンから通信を開始し、車群情報を車両間の送受信によって伝達し、最後尾車両に到達した後再びビーコンに車群情報を返すまでにかかる時間を ns-2(network simulator version2) [10] を用いて測定する。任意の数のノードを車両に見立てて 1 列に等間隔で配置し、最初のノードを先頭車両ノード、最後のノードを最後尾車両ノードとする。その上でビーコンノードを送信ノード、最後尾車両ノードを受信ノードとしてパケットを送信し、到着するまでの時間を測定する。

シミュレーションにおける各設定を表 2 に示す。各車両の通信装置の搭載率は 100% とし、車両の移動は想定せず停車しているものとする。

測定は車両台数が 10 台から開始し、5 台刻みで 30 台まで増加させ、10 回測定した平均を採用した。30 台を上限とした理由は、これ以上の台数ではシミュレーションの実行時間が急激に増加するためである。図 7 に、車両台数が 10 台から 30 台のときにおけるパケット到達までの所要時間を示す。

図 7 から、導出した通信時間の上限 12.6[sec] 以内で渋滞情報が検出できるのは、車両台数が 639 台以下のときであることが分かった。車両 600 台は、渋滞時の距離にして約 6km 以上であり、一般道における交差点の間隔を想定すると、これはほとんどの場合において十分な値であると言える。

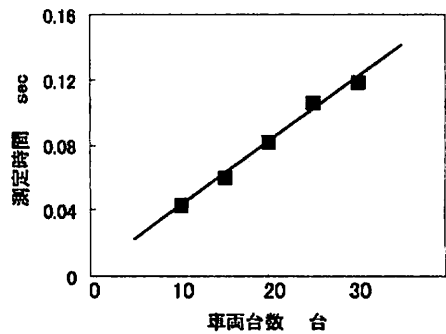


図7 車両台数と検出時間の関係

また、もし交差点間の距離が 6km 以上あるような道路があったとしても、新たなビーコンを中継地点として設置することで解決できる。ただし、このような場合や、もしくは渋滞が複数の交差点にまたがって続いているときには、各ビーコン間で通信によって連携し、重複する車両 ID の処理方法の構築が必要となってくる。この点が今後の特筆すべき課題として挙げられる。

5. おわりに

本稿では、車車間通信技術および路車間通信技術を用いることにより、車線別に渋滞情報を検出するための手法を提案した。本手法では、交差点に電波ビーコンを設置し、各車両が通信装置を備えることによって、既存の渋滞情報の検出手法の欠点を解決し、かつ車線によって混雑度が異なる状況でも個別に旅行時間を取得することが可能となる。

また、シミュレーションにより、定められた時間内に車群情報として取得できる車両の数は 600 台以上であり、このことから 6km 程度の渋滞であれば対応が可能であるという結果が得られた。この値は交差点間の距離を考慮すると十分大きなものであると言えるため、提案手法の実用性が示された。

今後の課題としては、ビーコン間での通信機能による連携を持たせることで対応可能な状況を拡大することができることから、このためのシステムについて考察していく必要がある。

文 献

- [1] (財) 道路交通情報通信システムセンター, VICS の挑戦, (財) 道路交通情報通信システムセンター (VICS センター), 1996.
- [2] 金山憲司, “画像処理ナンバプレート読取りを用いた旅行時間計測について,” 電子情報通信学会論文誌, D vol.109, no.7, pp.477-484, 1989.
- [3] 総務省調査研究会, “ニーズ・普及予測等の取りまとめ方法について,” ワイヤレスブロードバンド推進研究会, 2005.
- [4] 藤瀬雅行, “ミリ波 ITS 通信システム-車をより安全で快適に-, ” 電子情報通信学会論文誌, Vol.87 No.9, pp.744-749, 2004.
- [5] 水井深, 松下温, “動的に PN 符号を割り当てる車両間通信プロトコル:DPA,” 電子情報通信学会論文誌, A vol. J81-A no. 4, pp. 496-504, 1998.
- [6] 水井深, 中川正雄, 内田雅敏, “スペクトル拡散方式を用いた車両間通信・測距統合システム,” 電子情報通信学会論文誌, B-II vol. J87-B-II no. 5, pp. 342-349, 1995.
- [7] 阪神高速道路株式会社 HP,
<http://www.hanshin-exp.co.jp/company/technology/douro/syuuusyuu.html>, 2001.
- [8] 二宮芳樹, 太田充彦, 高橋新, “高速パターン照合手法を利用したレーン認識システム,” 電子情報通信学会論文誌, D-II vol. J86-D-II no.5, pp. 625-632, 2003.
- [9] 山根憲一郎, 横田孝義, 伏木匠, “広域交通情報サービス向け旅行時間推定法,” 電子情報通信学会論文誌, D-I vol. J87-D-I no.3, pp. 329-338, 2004.
- [10] Network Simulator - ns (version 2),
<http://www.mash.CS.Berkeley.EDU/ns/>, 1999.