

Carry and Forwardを用いて広範囲の交通情報の 収集・提供を行うNAviシステムの提案

鈴木 勘久郎^{†1} 屋代 智之^{†1}

ITS(高度道路交通システム)の一環としてVICS(道路交通情報通信システム)が整備されている。しかし、VICSは情報更新を5分毎に行うため、一般道路で利用するには更新頻度が低くリアルタイム性に欠ける場合がある。そこで、特定の場所に存在し続け、その場の情報を収集・提供可能なNA(Nomadic Agent)に注目する。本稿では、Carry and Forwardを利用し、車両特性を考慮した、広範囲な交通情報の収集・提供を行うNAvi(NA for vehicle information)システムを提案する。

A Proposal of NAvi System Which Collects and Provides Wide-Range Traffic Information Using Carry and Forward

KANKUROU SUZUKI^{†1} and TOMOYUKI YASHIRO^{†1}

VICS(Vehicle Information and Communication System) is a part of ITS(Intelligent Transport System) and is maintained in Japan to provide various traffic information. This information is updated in every 5 minutes and the interval is much longer to use on the general road. To keep more real-time traffic information, we proposed NA(Nomadic Agent) system, which collect and provide the information related to the specific place. In this paper, we propose NAvi(NA for vehicle information) system. In the system, the agent uses Carry and Forward to collect and provide wide area traffic information considering vehicle characteristics.

^{†1} 千葉工業大学
Chiba Institute of Technology

1. はじめに

情報技術を用いて人と車両と道路を結び、交通事故や渋滞等の道路交通問題の解決を目指すITS(Intelligent Transport Systems: 高度道路交通システム)が政府を中心として推進されている。ITSの一環としてVICS(Vehicle Information and Communication System: 道路交通情報通信システム)やETC(Electronic Toll Collection System: ノンストップ自動料金収受システム)等が整備され、渋滞緩和に一定の成果を上げている。また、ITSスポットサービスは、カーナビやETCなど別々の端末で行ってきた各種サービスを一つにまとめたシステムで、首都高速道路、阪神高速道路、名古屋高速道路において、40箇所サービスが実施されている¹⁾。しかし、交通渋滞による経済損失は年間約11兆円で、時間損失は年間約50億人時間、人口一人当たり約40時間と試算されている。時間損失は減少傾向にあるが、未だに大きな問題となっている²⁾。エネルギー消費の増加等も深刻であり、渋滞緩和への取り組みが望まれている。

また、携帯端末の処理能力の向上に伴い車載機の能力も向上し、多様な位置情報サービスに対応するVICS対応端末の搭載車両も年々増加している。VICSは、道路上に設置された各種センサによって収集された情報をもとに、渋滞や旅行時間などの道路交通情報をパソコンやFM多重放送を利用して送信し、カーナビゲーション等の車載機に文字や図形で表示するシステムである。しかし、情報の収集・提供にインフラを必要としており、提供範囲を広げるためにはセンサ、基地局の整備が必要なため、サービスの提供範囲に限りがある。また、情報更新は5分毎に行われるので、一般道路で利用するには更新頻度が低く、リアルタイムに交通情報を受け取れない場合がある。

本稿では、インフラを必要とせずに特定の場所の情報収集・提供が可能なNA(Nomadic Agent)⁵⁾⁻⁸⁾と端末密度に関わらずパケット配送を可能とするCarry and Forward^{3),4)}に注目する。この技術を活用し、常にその場のリアルタイムな情報の収集を可能とする。また、インフラを使用しないことで、サーバやセンサの設置や基地局の整備を行う必要が無くサービスの提供が容易である。NAは、歩行者が持つ携帯端末で構成するアドホックネットワーク上での利用を想定しており、特定の場所で情報の収集・提供が可能な一種のMobile Agentである。文献9)では、車車間通信を対象としたアドホックネットワーク(VANET: Vehicular Ad-hoc Network)環境でのNAの利用を考慮している。しかし、交差点単位での情報収集・提供のみを考慮しており、1つのNAが情報収集可能な範囲に限りがある。そのため、広範囲の交通情報の収集・提供が困難である。

本研究では文献 9) の NA を拡張し、複数の NA に Carry and Forward を利用したマルチホップ通信による協調動作をさせることで、一般道路で広範囲な交通情報の収集・提供を目指す NAvi システムを提案する。本研究では、渋滞の程度を表す情報を交通情報と呼ぶ。

2. 関連技術

2.1 アドホックネットワーク

アドホックネットワークとは、専用の基地局を用いずに複数の端末同士で、一時的に相互接続することによって構成されるネットワークのことである。

アドホックネットワークでは、多数の端末同士を接続するのにマルチホップ通信を用いている。図 1 のように、マルチホップ通信では、他の端末を中継しながら通信エリアを拡大できるというメリットがある。さらに、基地局が無い地域でもネットワークの利用が可能である。しかし、動的に位置が変化する端末の間での通信経路の確立が難しいため、安定した通信環境を提供することが困難である。そのため、主に小規模なネットワークとして利用されている。

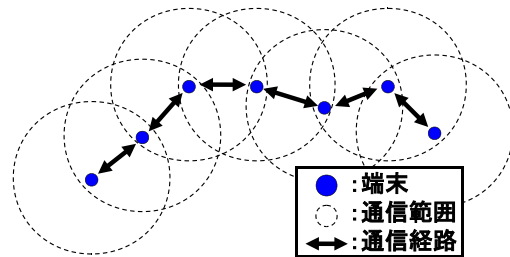


図 1 マルチホップ通信
Fig.1 Multi-hop Communication

2.2 Carry and Forward

車両だけで構成する VANET が注目されている。VANET とは、車両間アドホックネットワークのことであり、固定のインフラを用いることなく車両間で一時的なネットワークを構成する技術である。VANET 環境ではトポロジーの変化が激しく起こるため、車両密度が低い状態では通信範囲内に車両がない可能性が高くなり、パケット送信を行うことが難しいという問題点がある。Carry and Forward と呼ばれる手法ではパケットの転送可能な

車両がない場合、車両がパケットを保持したまま移動し、新たな転送相手が現れれば転送を再開する。これにより、車両密度の高低に関わらずパケット配送の継続が可能となる。

2.3 NA(Nomadic Agent)

本研究で提案する NAvi の背景となる技術として、NA がある。NA とは、GPS 等の位置検出デバイスから得た位置情報をもとにアドホックネットワークを使用し、端末間を自律的に移動することで、特定の場所の情報をその場所に残し続けることが可能な一種の Mobile Agent である。NA は、特定の場所に留まっている間に情報を蓄積・提供することにより、固定サーバを必要とせずにその場の情報を管理し、サービスを提供することが出来る。さらに NA はミドルウェアとして開発されているため、実装するアプリケーションによって、様々なサービスを提供することが可能となっている。

NA は、発生・移動・消滅という 3 つの基本動作を行う。まず NA は、端末のアプリケーションによって設定された条件に一致した場合に発生する。発生条件は 3 つある。1 つめは、位置情報による発生条件である。端末が設定された特定の位置付近に移動した際、付近に NA の存在を検出できなければ発生させる。2 つめは、周辺の端末密度による発生条件である。端末の通信範囲内等の特定の範囲に存在する端末数が設定以下、あるいは以上等の条件により発生する。3 つめは、ユーザが任意で発生させる場合である。ユーザが使用している端末から、任意の場所で NA を発生させる。

次に移動動作を行う。NA の基本移動動作を図 2 に示す。NA は発生した場所を基準（発生位置）とし、発生位置を中心に NA が情報提供を行う範囲（情報提供範囲）、NA が特定の場所に留まるために移動動作を開始する位置（移動開始位置）、NA を稼働させる範囲（生存範囲）を設定する。NA は発生後、生存範囲外に移動するまで一定間隔でブロードキャストを行い続ける。NA からのブロードキャストを受信した端末が NA に自身の位置情報を返すことで、NA は周辺端末の位置情報を把握する。この周辺の位置情報をもとに NA は次の移動先となる端末を選択する。

NA は生存範囲を越えると消滅するが、端末の電源が切れたり、端末を利用することが出来なくなった場合でも NA は消滅する。NA が消滅すると共に蓄積・保持していた情報も全て消滅する。NA が生存範囲を設けて消滅を行う理由は、特定の場所において有益な情報が不必要な場所に広がるのを防ぐためである。

3. 関連研究

関連研究として、VANET 環境での利用を想定した NA の発生・移動方法について述べ

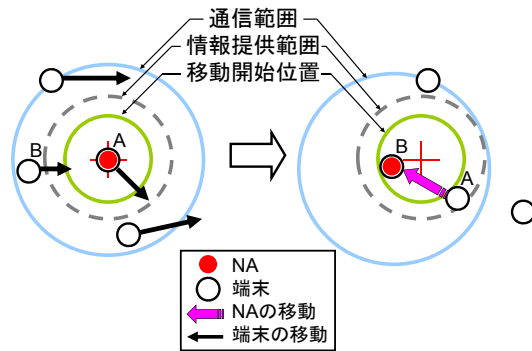


図 2 NA の基本移動動作
Fig.2 Basic Operation of NA

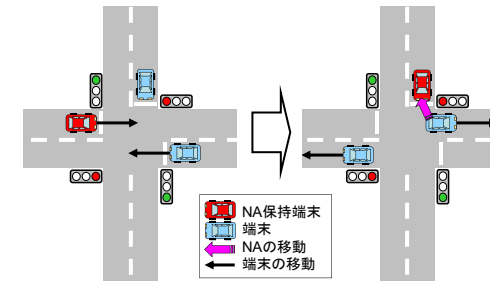


図 3 信号待ち方式
Fig.3 Signal Waiting Method

る⁹⁾。

各端末は、カーナビゲーションから得られる地図情報によって位置を把握することが出来る。端末が交差点付近に移動した際、NA からのブロードキャストを受信できなかった場合、交差点に NA が存在しないものと判断し、NA を発生させる。交差点に発生させる理由は、周辺道路の情報を収集しやすい場所であり、交差点付近では右左折や信号によって車両が減速・停止を行うため、比較的容易に NA の移動を行うことが出来るためである。

次に NA 保持端末はブロードキャストによって得た他端末の位置情報・移動速度を利用し、移動先端末を決定する。移動方式には、以下の 2 つがある。

1 つめは、対向車方式である。NA 保持端末が発生位置から遠ざかる方向に移動している場合、対向車線を移動している端末は発生地点に向かって移動している。このような場合、NA は対向車線を移動している端末に移動する。また、対向車線に複数の端末がある場合は、一番近い端末に対して移動する。この方式により、無駄な移動をせずに NA が発生地点付近に戻ることが出来る。

2 つめは信号待ち方式である。車両が赤信号で必ず止まることを利用し、NA の移動先端末を決定する。この方式では、交差点に信号待ちで停止している端末が存在する場合、図 3 のように NA は信号待ちの端末に移動する。信号待ちの端末が複数ある場合は、発生地点に最も近い端末に移動する。また、NA 保持端末が信号待ちを行っている場合、他端末への移動を行わない。この方式により、NA が生存範囲外に出ることによる消滅を防げるため、安定した情報収集・提供を可能にしている。

4. 提案方式

4.1 NAvi(NA for Vehicle Information)

NAvi(NA for Vehicle Information) とは、歩行者用の NA を車両の移動特性に合わせたものである。歩行者と車両の移動特性の違いから、生存範囲・移動開始位置・情報提供範囲を広げることで、NA が移動するためにかかる時間が考慮されている。さらに、車両は歩行者と比べ移動方向に制限があるため、移動先の選択方法に規則性を持たせることによって、より確実に情報を提供することを可能にする。

4.2 NAvi の動作

§3 で述べた発生方法より、車両が交差点を通過する際、交差点付近に NAvi が存在しなければ、車載端末は NAvi を発生させる。発生した交差点を発生位置とし、発生位置を基準として生存範囲・情報提供範囲が決定される。

§3 で述べた移動方法より、NAvi に対向車方式と信号待ち方式を取り入れる。NAvi は一定間隔でブロードキャストしており、その返信によって相手の位置情報、移動速度等車両情報を収集している。収集した情報を活用し、NA は交差点付近に留まり続けるように車両間を移動し続ける。また、2 つの方式に当てはまらない状態の場合、より初期位置に近い端末へ移動する。生存範囲を超えた場合、NAvi は収集したデータと共に消滅する。

本研究では図 4 の様に、ある交差点から隣接する交差点までの各車線をそれぞれリンクと定義する。NAvi は収集した位置情報・進行方向から他車両の通過してきたリンクを把握し、収集した車両の移動速度・位置情報・進行方向の情報を集約し、リンク毎に平均速度を算出する。この平均速度より各リンクの渋滞判別を行う。この際、リアルタイムな情報を提供す

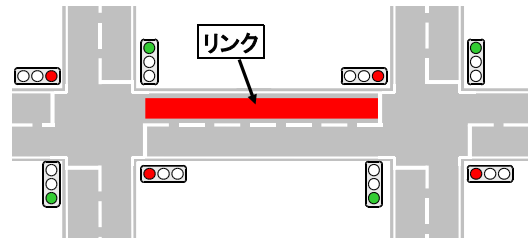


図 4 リンク
Fig. 4 Link

るため、一定時間経過した交通情報等の情報は古い情報とみなし破棄する。また、NAvi は他車両から収集した位置情報・通信履歴から隣接する交差点に存在する NAvi の存在を確認し、マルチホップ通信を用いて交通情報の共有を行う。この動作を協調動作と呼ぶ。この協調動作により広範囲の交通情報を各 NAvi は短時間で保持することが可能となる。本研究では、協調動作の際にマルチホップ通信を行うためにルーティングを行っており、NAvi との通信履歴と位置情報を利用して追跡する追跡ルーティングと交差点の位置情報と Carry and Forward を利用した位置ベースルーティングをそれぞれ検討する（図 5,6）。

追跡ルーティングを用いた協調動作では、車両と隣接する NAvi との通信履歴と位置情報を利用して通信経路を構築し、保持している交通情報をあて先である隣接する NAvi にむけて転送する。隣接する NAvi は交通情報を受け取った場合、送られてきた NAvi に対して保持している交通情報の転送を行う。隣接する NAvi から 60 秒間交通情報が返ってこなかった場合、協調動作が失敗したと見なして再送を行う。

位置ベースルーティングを用いた協調動作では、各端末が保持する地図情報から隣接する交差点の位置を目標として、通信経路を構築し交通情報の転送を行う。通信経路上で転送先が何らかの理由で存在しない場合、交通情報を保持している車両は転送先が現れるまでその情報を保持しながら移動を行う。転送先が見つかったら交通情報の転送を再開する。交通情報を保持している車両が隣接する交差点に到達し、NAvi からのブロードキャストを確認できなかった場合、協調動作が失敗したと見なして、情報を保持している車両はその情報を付加した NAvi をその交差点に発生させる。NAvi からのブロードキャストを確認できた場合、その NAvi に向けて交通情報を転送する。

協調動作の際、NAvi 同士が持っている同じリンクの交通情報は、より新しい情報に上書きされ、古い情報は消滅する。

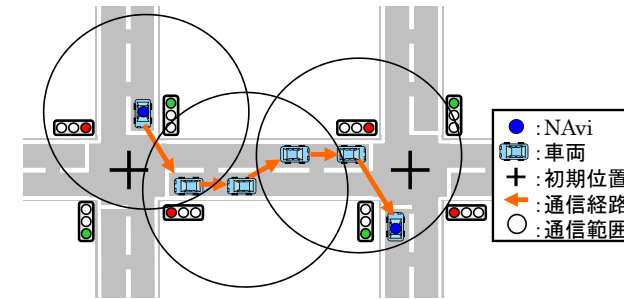


図 5 追跡ルーティングを利用した協調動作
Fig. 5 Cooperated Operation Using Pursuit Routing

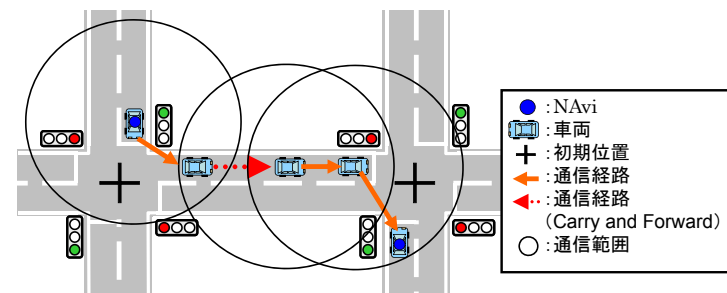


図 6 位置ベースルーティングを利用した協調動作
Fig. 6 Cooperated Operation Using Positional Based Routing

5. シミュレーション環境

シミュレータには、Space-Time Engineering 社の Scenargie Ver.1.3 を用いた。シミュレーション環境は、1200m 四方のマンハッタンモデルとし、400m 間隔で交差点が存在する片道 1 車線の道路構造を想定した (図 7)。総リンク数は 48 である。車両は 0~60km/h で車道をランダムに走行し、同じ車線の進行方向 50m 以内に車両が存在する場合、速度の減速を行う。前方車両が 10km/h 以下の場合、前方の車両と同じ速度となる。端末搭載率を 20% ずつ変化させ、シミュレーション時間は 3600 秒とし、端末搭載車両と非端末搭載車両の合計車両台数は 1200 台としている。端末搭載率とは、全体の車両のうちどれだけの車両に車載機が搭載されているかを表す値である。また、シミュレーションは端末搭載率毎に 5 回ずつ行っている。表 1 にシミュレーションパラメータ、図 7 にシミュレーション環境を示す。図 7 で示されている黄色い四角の部分は建物を表しており、建物を囲むような格子状の線が道路となっている。

各車両は IEEE802.11p 規格の無線 LAN 装置、GPS、カーナビゲーションシステムを搭載している。GPS 測位の誤差はないものとし、正確な位置情報を取得できる。また、カーナビゲーションシステムが持つ地図情報によって、リンク・交差点の位置情報が正確にわかるものとする。平均移動速度が 20km/h 以下のリンクを渋滞とみなし、情報が発生してから 120 秒経過すると古い情報とみなし破棄する。

表 1 シミュレーションパラメータ
Table 1 Simulation Parameters

項目	シミュレーション環境
計測時間	3600s
シミュレーション範囲	1200m x 1200m
道路	片側一車線
信号サイクル	60s
車両台数	1200 台
端末搭載率	20 ~ 100%
最高速度	60km/h
通信方式	IEEE802.11p
通信範囲	半径 100m
NA の生存範囲	半径 200m
ブロードキャスト間隔	1.0s

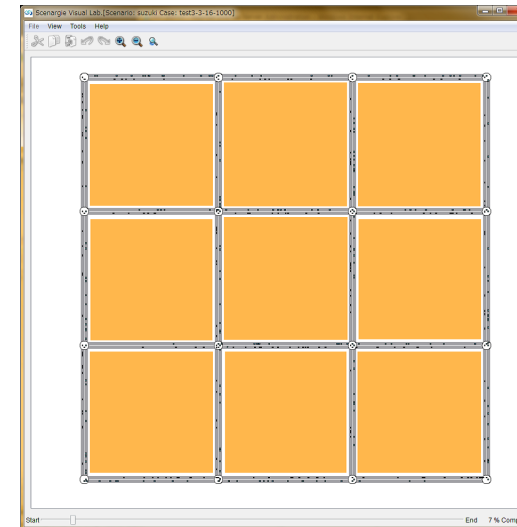


図 7 シミュレーション環境
Fig. 7 Simulation Environment

6. 結 果

追跡ルーティング方式の Navi (以下、追跡方式) と位置ベースルーティング方式の Navi (以下、位置方式) と文献 9) の NA (以下、参考方式) を比較する。各方式について、端末搭載率を変化させ、NA の平均情報保持率の変化を評価する。

情報保持率は以下の式により算出する。

$$\text{情報保持率} = \frac{\text{NA が保持している交通情報のリンク数}}{\text{シミュレーションの総リンク数}} \quad (1)$$

図 8 に追跡方式・位置方式・参考方式の端末搭載率の変化による平均情報保持率の変化を示す。平均情報保持率とは、式 1 により算出されたシミュレーション回数分の情報保持率を平均した値である。図 8 より、位置方式が他の方式に比べて、平均情報保持率が全体的に高いことがわかる。参考方式の場合、NA が存在する交差点から離れた情報を収集する際、タイムラグが多い情報を収集するため、収集した車両情報・交通情報がすぐに破棄されてしまうためだと考えられる。一方、追跡方式では、協調動作を行うため参考方式に比べ情報保持率

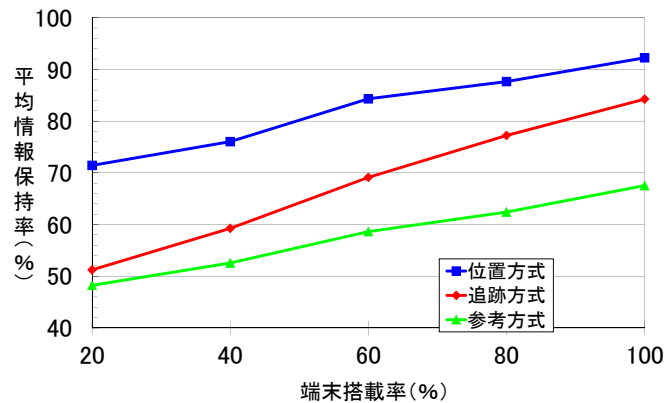


図 8 平均情報保持率
Fig. 8 Average Information Holding Rate

が高い値を示している。しかし、端末搭載率が低い場合、追跡するため通信履歴を持つ端末が途中で存在しなくなる場合が多く、協調動作が行えず情報保持率が低くなってしまふことが考えられる。位置方式では、途中で通信経路が切断されても Carry and Forward を行うことにより、隣接する交差点の NAvi に対して交通情報の転送を行うことが可能なために情報保持率が高くなっている。これにより、特に端末搭載率が低い場合、他方式に比べて情報保持率で大きな差が見られたと考えられる。

7. 結 論

交通渋滞による経済損失が非常に大きな問題になっており、渋滞緩和への取り組みが求められている。これに対し、既存のシステムの多くはインフラを必要としている。しかし、全ての道路にインフラを整備することは非常に困難であるため、インフラを必要としない NA が検討されてきた。NA は、データを保持したまま端末間を自律的に移動することで、インフラを必要とせず特定の場所で情報の収集・提供を行うことが出来る。さらに文献 9) では、VANET 環境を考慮した NA を利用することで、車車間通信におけるネットワークポロジの激しい変化に対応できるようになり、仮想インフラを用いた道路交通情報配信システムが提案されている。また、この NA の移動方法により交差点で安定した情報収集・提供を可能にしている。しかし、文献 9) での NA は各交差点での情報収集・提供のみ

を考慮しており、1 つの NA が情報を収集可能な範囲に限りがある。そのため、文献 9) の移動方式では、広範囲な交通情報の収集・提供を行うことが困難である。そこで本稿では、参考文献を拡張し、NA に追跡ルーティングによる協調動作を行う NAvi とさらに位置情報ルーティングを用いた Carry and Forward による協調動作を加えた NAvi の二つを利用した道路交通システムを提案した。この NAvi システムで導入されている協調動作により、1 つの NA では情報の収集が難しい範囲を複数の NA で補い、広範囲の交通情報の収集・提供を可能にしている。この NAvi システムをネットワークシミュレータ Scenargie を利用して評価した。

シミュレーションでは、端末搭載率を変化させながら、参考方式・追跡方式・位置方式の平均情報保持率を比較することで評価を行った。その結果、Carry and Forward を用いた位置方式で端末搭載率が低い状態でも高い平均情報保持率を示すことができた。また、参考方式に比べ位置方式の方が、全体的に約 20 ポイント高い平均情報保持率を示した。これは、提案方式では協調動作を行うことで交通情報を補うことが可能なため、NAvi が再発生した時に交通情報を再収集する時間を少なくすることが出来たからだと考えられる。さらに、追跡方式と位置方式を比べると、端末搭載率が低い場合、位置方式が約 20 ポイントほど高い値を示すことができた。これは、追跡方式では、端末密度が低くなってしまふ場所が多くなり、途中で通信経路が切断されてしまふ状況が多くなってしまふのに対して、位置方式の場合は Carry and Forward を行うことにより隣接する交差点の NAvi に対して交通情報の転送を行うことを可能にしているからだと考えられる。

また、本研究では 120 秒以上経過したリンク情報を NA が保持していた場合、そのリンク情報は破棄されるため、リアルタイムな情報のみを保持している。これより、リアルタイムな情報の提供ができたと考えられる。

以上より、Carry and Forward を用いた位置方式を利用することで、端末搭載車両密度が低い状態でも一般道路においてリアルタイムかつ広範囲な交通情報の提供が可能であることが示された。

今回のシミュレーションでは、交通情報のみの収集・提供を考慮したが、実際の環境では、交通情報だけでなく、旅行時間や付近の事故発生場所の報告等様々な位置情報サービスが存在する。今後は、これらの位置情報サービスについても検討する必要があると考えられる。

参 考 文 献

- 1) ITS スポットサービス .http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/spot_dsrc/index.html

- 2) 国土交通省道路局 . <http://www.mlit.go.jp/road/>
- 3) 村井翔悟, 石原進, 「宛先端末の移動予測を用いた無線アドホックネットワークにおける Carry and Forward に基づく経路制御に関する一検討」, 情報処理学会研究報告, モバイルコンピューティングとユビキタス通信, Vol.2007, No.116, pp.41-48(2007).
- 4) 村井翔悟, 石原進, 「VANET における移動する宛先に向けた Carry and Forward に基づく追跡型ルーティングの検討」, 電子情報通信学会技術報告, アドホックネットワーク, Vol.108, No.151, pp.37-42(2008).
- 5) 菊池聡敏, 八木啓介, 加藤泰子, 屋代智之, 「Nomadic Agent の提案と応用」, 情報処理学会第 16 回高度交通システム研究会, Vol.2004, No.19, pp.7-14(2004-3) .
- 6) 屋代智之, Thomas F.LaPorta, 「Nomadic Agent System : インフラに依存しない位置情報サービス提供システム」, 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.12, pp.2952-2962(2005) .
- 7) 仁平和博, 井上昭, 屋代智之, 「状況に適応して複製を生成する Adaptive NA(ANA) の提案」, 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.12, pp.3103-3111(2006).
- 8) 仁平和博, 井上真吾, 沖原光晴, 屋代智之, 「位置情報提供サービスが可能な Nomadic Agent の耐障害性に関する提案」, 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.12, pp.2963-2972(2005).
- 9) 久保田和也, 屋代智之, 「交差点における NA を用いた仮想インフラの提案」, 情報処理学会研究報告 ITS 高度交通システム, Vol.2007, No.90, pp.27-32(2007).