

## 道路環境の変化における Carry and Forward を 用いた NAvi システムの性能評価

鈴木 勘久郎<sup>†1</sup> 屋代 智之<sup>†1</sup>

車車間通信を利用した一種のモバイルエージェントである NA (Nomadic Agent) を仮想インフラとして利用し, Carry and Forward による DTN 機能を付加した NAvi (NA for vehicle information) システムをすでに提案した。しかし, 道路環境によって DTN の性能が変化する。このため, 遠方との通信は路車間通信で行うほうが効率的である場合が考えられる。本稿では, 道路環境の変化における NAvi システムの性能を評価し, NAvi システムの活用領域を示す。

### The quality assessment of the NAvi system using Carry and Forward in change of road environment

KANKUROU SUZUKI<sup>†1</sup> and TOMOYUKI YASHIRO<sup>†1</sup>

NA (Nomadic Agent) is a kind of mobile agent using vehicle-to-vehicle communications and is used to form a virtual infrastructure. We have proposed the NAvi (NA for vehicle information) system which added the DTN function by Carry and Forward to NA. However, the performance of DTN changes depend on the road environment. For this reason, the case to perform more efficient communication between distant places by vehicle-to-roadside communication can be considered. This paper estimates the performance of the NAvi system in various road environment, and the practical use domain of a NAvi system is shown in it.

<sup>†1</sup> 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<sup>1)</sup>。しかし, 交通渋滞による経済損失は年間約 8 兆円で, 時間損失は年間約 38.1 億人時間, 人口一人当たり約 30 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<sup>2)</sup>。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ビーコンや 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。そこで我々はインフラを必要とせず特定の場所の情報収集・提供が可能な NA (Nomadic Agent)<sup>7)-11)</sup> 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<sup>3),4)</sup> による DTN 機能を付加し, 市街地における仮想インフラとして NAvi (NA for Vehicle Information) システムを提案した。しかし, NAvi システムの Carry and Forward の性能は道路環境によって変わる可能性が考えられる。

一方, 近年携帯端末で利用されている 3G 回線や LTE (Long Term Evolution) 等の基地局を利用した路車間通信による交通システムの研究が盛んに行われている。しかし, 基地局を設置するほど設置費や整備費のコストが大きくなることや, 近距離の通信における場合でもサーバなどの処理時間は固定であるため, 近距離通信の場合では情報の伝達に無駄な遅延が発生する場合が考えられる。そのため本研究では, NAvi システムの車車間通信による性能を評価し, システムが対応可能な領域を示し, LTE 等の路車間通信と NAvi システムの活用領域を検討する。なお, 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間同士で、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。

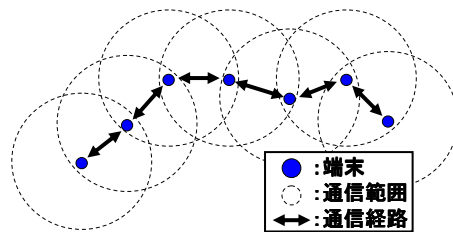


図1 マルチホップ通信  
Fig.1 Multi-hop Communication

### 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。<sup>3),4)</sup>

### 2.3 LTE(Long Term Evolution)

LTE (Long Term Evolution) は、移動体通信の第3世代の周波数帯を使いながら第4

世代の技術も一部に採用していることから、第3.9世代の規格と称される。NTTドコモが2010年に開始したデータ通信サービス「Xi(クROSSi)」として利用されている。このLTEは携帯電話事業のみならず、パソコン関連機器やデジタルカメラ、カーナビ等の車載機器への搭載も検討されており、今後さらに普及すると考えられる。主な特長として高速、低遅延である点が挙げられる。第4世代で導入されるOFDMAを採用し、アンテナ構成にはMIMOを用いており、これにより周波数の利用効率を向上させて高速化を図っている。これに伴い、端末の収容能力が拡大し、大容量の通信を可能にする。また、遅延に関してはパケットの転送における伝送遅延が5ms以下、ネットワークへの接続における制御遅延が100ms以下である。4多重のMIMOを利用すれば下り最大300Mbps、上り最大75Mbpsの高速な通信が実行できる。<sup>5),6)</sup>

なお、このLTEを拡張して最大通信速度が下り1Gbps、上り500Mbpsの通信を実現するLTE-Advancedが提案されている。LTE-Advancedは、LTEの機能を拡張した規格である。下り最大通信速度1Gbpsを目指し、そのために8対のアンテナから成る8多重のMIMOを実装する。また、上り側の通信についても2多重、4多重のMIMOに対応させることが検討されている。

### 2.4 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。設定された特定の位置付近に端末が移動した際、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。

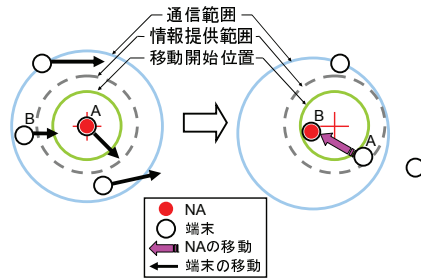


図2 NAの基本移動動作  
Fig.2 Basic Operation of NA

### 3. NAvi システム

VANET 環境での利用を想定した NAvi について述べる。

#### 3.1 NAvi(NA for Vehicle Infomation)

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。次に NAvi の発生・移動方法を述べる。

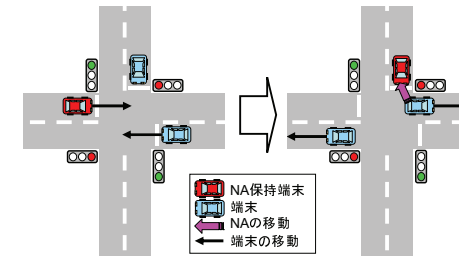


図3 信号待ち方式  
Fig.3 Signal Waiting Method

#### 3.2 NAvi の発生・移動方法

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、一定時間内に他の NAvi 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 NAvi が存在しないものと判断し、自身で NAvi 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 NAvi の移動を行うことが出来るためである。

次に NAvi 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。NAvi 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、NAvi 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、交差点に一番近い端末に対して移動する。

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、NAvi 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。NAvi は生存範囲を超えた場合、収集したデータと共に消滅する。

本研究では図4のように、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

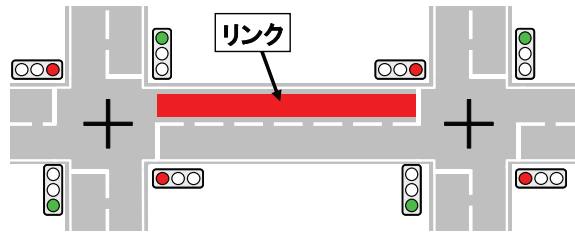


図 4 リンク  
Fig. 4 Link

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．協調動作により各 NAvi は広範囲の交通情報を短時間で保持することが可能となる．

協調動作は、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（図 5）．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．

#### 4. シミュレーション環境

ネットワークシミュレータには、Space-Time Engineering 社の Scenargie Ver.1.5 を使い、交通流シミュレータには MATES を利用した．シミュレーション環境は距離による道路変化と車両密度による道路変化の 2 パターンを想定した．一つは車両密度は 160m/台と固定で交差点間距離が 200m, 400m, 800m, 1600m, 3200m, 6400m の片側一車線の格子状道路を想定する（パターン 1：図 6）．もう一つは、交差点間距離は 800m 固定で車両密度が 5m/台, 10m/台, 15m/台, 20m/台, 40m/台, 80m/台, 160m/台の片道一車線の道

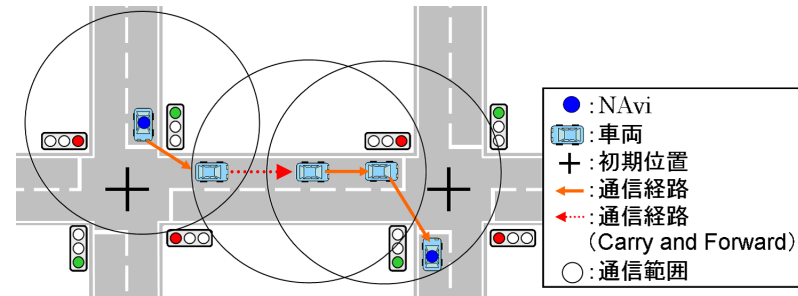


図 5 NAvis の協調動作  
Fig. 5 Cooperation operation of NAvis

路構造を想定する（パターン 2：図 7）．パターン 1 の総リンク数は 24、パターン 2 の総リンク数は 80 である．共通の条件として、車両は 0～60km/h で車道を走行し、シミュレーション時間は 3600 秒とした．表 1 にシミュレーションパラメータを示す．図 6, 7 で示されている四角い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．また、道路上の緑色の四角形が車両を表している．

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 測位の誤差はなく、正確な位置情報を取得できるものとする．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す．パターン 2 のシミュレーション環境でのみ、30 秒、60 秒、120 秒をそれぞれ交通情報を保持する情報保持時間として設定し、情報が発生してから情報保持時間を経過した場合、その情報は古い情報とみなし破棄する．3 つの情報保持時間を設定する事で、情報保持時間による情報保持率の影響を検証し、どの程度の位置情報サービスが可能であるかを把握することが可能だと考えられる．

#### 5. 結 果

情報保持率は以下の式により算出する．

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

また、NAvis の生存率は以下の式により算出する．

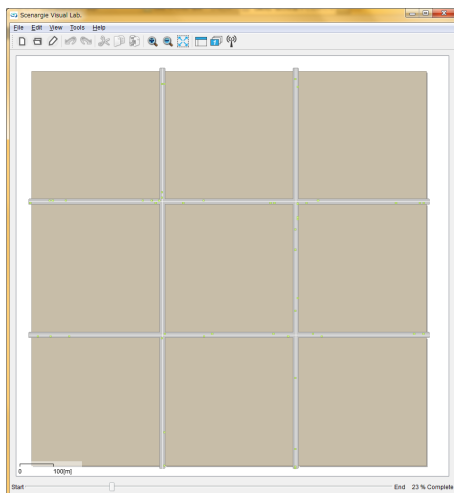


図 6 シミュレーション環境 (パターン 1)  
 Fig. 6 Simulation Environment(pattern 1)

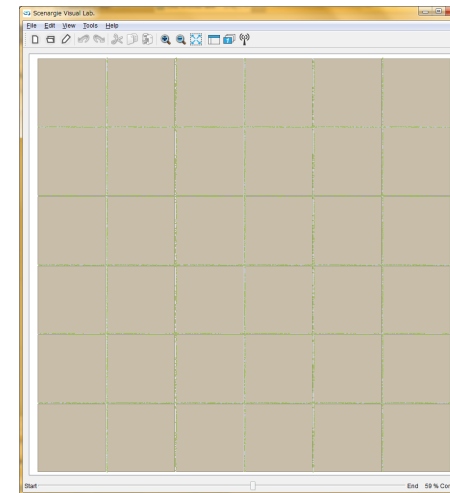


図 7 シミュレーション環境 (パターン 2)  
 Fig. 7 Simulation Environment(pattern 2)

$$NAvi \text{ 生存率} = \frac{NAvi \text{ の生存時間}}{\text{シミュレーション時間}} \quad (2)$$

図 8 に交差点間距離の変化における協調動作の情報伝達時間の変化を示す。伝達時間は NAvi が情報を転送し始めた時間から隣接する交差点の NAvi に情報が届いた時間の差を表している。図 8 より、交差点間距離が長くなるにつれて情報伝達時間が増加していることがわか

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

項目	パターン 1	パターン 2
車両密度	160m/台	5,10,15,20,40,80,160m/台
交差点間距離	200m,400m,800m,1600m,3200m,6400m	800m
道路	片側一車線	
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	
計測時間	3600s	

る。特に 200m, 400m と 6400m の交差点間距離で比較した場合、顕著な差が示されている。これは、車両密度が 160m/台であるため、協調動作中に Carry and Forward による情報伝達が多くなってしまったため、距離が長くなるにつれて車両が情報を保持する時間が長くなり、情報の伝達に時間がかかってしまうことが原因と考えられる。

図 9 に各車両密度における情報保持時間が 30 秒, 60 秒, 120 秒の平均情報保持率の変化と NAvi の生存率を示す。平均情報保持率とは、式 (1) により算出された情報保持率を各交差点で平均した値である。図 9 より、車両密度が 40m/台程度あれば、安定した情報の収集・提供を行うことが可能であると考えられる。しかし、車両密度がこれ以上大きくなってしまった場合、平均情報保持率が情報保持時間によって低下することが示された。これは、車両密度が大きくなると通信よりも Carry and Forward による情報配送を行う場合が多くなり、情報保持時間内に転送先の NAvi に送ることが出来ずに破棄される場合が増加することが原因だと考えられる。次に、情報保持時間が 30 秒, 60 秒, 120 秒の場合をそれぞれ比較する。情報保持時間が短くなるにつれて情報保持率が低下していることが示されている。これは、協調動作による交通情報の更新が間に合わなくなることにより、それぞれの NAvi が保持できるリンクの数が減少してしまうためだと考えられる。特に情報保持時間が 30 秒



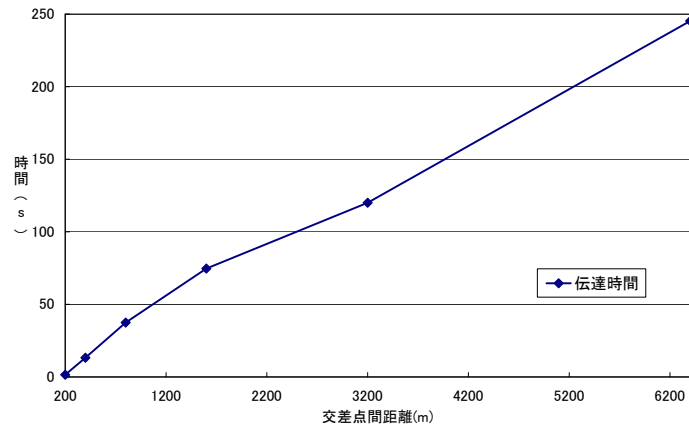


図 8 情報伝達時間  
Fig. 8 Data trip time

で車両密度が 160m/台の場合、20%程度の情報保持率となっており、各 NAvi が保持している交通情報の範囲はそれぞれの NAvi が存在する交差点近傍のリンク程度になっていると考えられる。そのため、これよりも情報保持時間を短くする場合、DTN 機能による協調動作は難しいということが考えられる。

## 6. 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、我々は VANET 環境を考慮した NAvi を利用することで、インフラを必要としない位置情報サービスを提供可能な NAvi システムを提案した。しかし、Carry and Forward による協調動作の性能は道路環境によって変化すると考えられる。また、近年 LTE などの路車間通信を利用した位置情報サービスが研究されているが、基地局を設置するほど設置費や整備費のコストが大きくなることや、距離に関係なくサーバなどの処理時間は固定であるため、近距離の情報伝達に無駄な遅延が発生する場合が考えられる。そのため、NAvi システムで対応可能な道路環境を明らかにし、LTE 等を利用した路車間通信と車車間通信の効率の良い活用領域を検討する必要があると考えられる。そこで本研究では、ネットワークシミュレータ Scenargie と交通

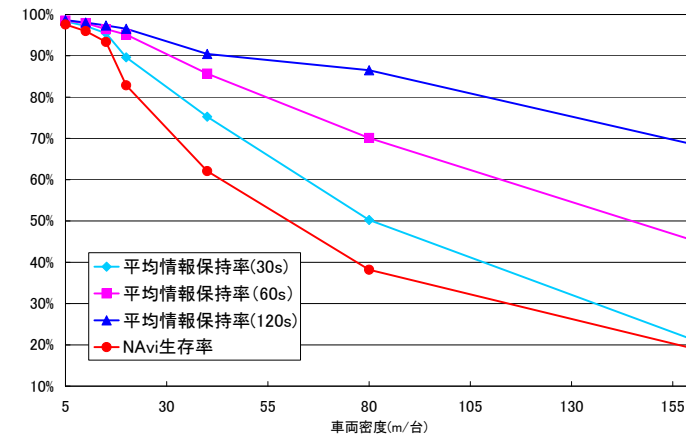


図 9 平均情報保持率  
Fig. 9 Average Information Holding Rate

流シミュレータ MATES を利用した 2 パターンの環境を想定し、NAvi システムのシミュレーションを行った。シミュレーションの環境として、一つは車両密度を 160m/台として、交差点間距離を変化させ、NAvi システムの協調動作における情報伝達時間の変化を評価した。もう一つは、交差点間距離を 800m とし、車両密度を変化させ、情報保持時間を 30 秒、60 秒、120 秒の 3 つの条件として情報保持率の変化を評価した。

パターン 1 では、交差点間距離を変化させることで情報伝達時間の変化を検証した。結果より、交差点間距離が長くなるにつれて情報伝達時間が低下していることが示された。LTE による路車間通信を用いた位置情報サービスを考慮した場合、情報の伝達にサーバなどの処理によって数秒～数十秒かかることが予測される。そのため、NAvi システムを仮想インフラとして導入すると交差点間距離が 400m 以下まで対応可能と考えられる。しかし、本評価では車両密度が 160m/台であるため、協調動作中に Carry and Forward による情報伝達が多くなってしまふ。これにより、距離が長くなるにつれて車両がデータを保持する時間が長くなり、データの伝達に時間がかかってしまったことが考えられる。

パターン 2 では、30 秒、60 秒、120 秒の情報保持時間をそれぞれ設定し、車両密度の変化によって NAvi の平均情報保持率の変化を比較、評価した。また、NAvi の生存率との情報保持率の比較・評価も行った。結果から、情報保持時間にかかわらず車両密度が 40m/台

程度であれば安定した情報の収集・提供を行うことが可能であると考えられた。しかし、車両密度がそれ以上になる場合、平均情報保持率が情報保持時間によって低下することが示された。また、情報保持時間が短時間になるにつれて協調動作による交通情報の更新が間に合わなくなり、それぞれの NAvi が保持できるリンクの数が減少することで情報保持率が低下すると考えられる。

2 パターンのシミュレーション結果から、NAvi システムを用いた仮想インフラの活用範囲は交差点間距離が 400m 以下、車両密度が 40m/台程度までの道路環境であれば対応することが可能であると考えられる。そのため、それ以上の領域は、路車間通信による位置情報サービスの方が有効であると考えられる。しかし、本評価では情報伝達時間を車両密度が 160m/台の場合でのみ行っているが Carry and Forward の使用頻度によって情報伝達時間は変化すると考えられる。そのため、今後は車両密度を小さくした場合、どの程度 NAvi システムの協調動作における伝達時間が向上するか検証を行い、NAvi システムの DTN 機能の使用率が少ない協調動作で、どの程度対応可能か検証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](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/sisaku/tadm/Top03-01-01.html>
- 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コピキタス通信, 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) 「LTEってなんだろう?」, 日経 NETWORK 2010 年 11 月号, pp.16-31, 日経 BP 社, 2010-10-28.
- 6) 蓬田宏樹, 竹居智久, 「LTE で始まるハードな戦い」, 日経エレクトロニクス 2010 年 9 月 6 日号, pp.25-47, 日経 BP 社, 2010-09-06.
- 7) 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).
- 8) 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).
- 9) 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).
- 10) 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).

- 11) 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).
- 12) 佐藤雅明, 石田剛朗, 堀口良太, 清水克正, 春日仁, 和田光示, 植原啓介, 村井純, 「実車両を用いたセンタレスプローブ情報システムによる道路交通情報生成アルゴリズムの提案と評価」, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.1, pp.253-264,