

# NAviを用いて仮想インフラの生存時間を 延長させる手法の検討

岡本 広大<sup>1,a)</sup> 屋代 智之<sup>1</sup>

**概要:** 鈴木らは、一種のモバイルエージェントである NA (Nomadic Agent) を車両の持つ特性に合わせ、車車間通信を用いて交通情報を配信する仮想インフラとして、NAvi (NA for vehicle information) システムを提案した [10]。このシステムは路側機等の外部のインフラ設備を必要としないという利点があるが、通信ノードの移動や通信性能の低下によって NAvi が消滅した場合、蓄積した情報が失われるという欠点も存在している。本研究では通信端末を保持する歩行者に着目し、これを利用する事で NAvi の生存時間を延長させる手法を提案する。また、シミュレータを用いて提案方式の評価を行う。

## 1. はじめに

人と車両と道路を通信で結び、事故や渋滞といった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。現在では VICS (Vehicle Information and Communication System: 道路交通情報通信システム) [1] や ETC (Electronic Toll Collection System: ノンストップ自動料金収受システム) [2], ITS スポットサービス [3] 等の ITS サービスが普及してきている。VICS や ITS スポットサービスから提供される情報は有益である一方、これらは情報の収集・提供にインフラを必要としており、普及と維持の両面でコストがかかる。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) [4]~[9] を仮想インフラとして用いた場合の評価を行った。また、鈴木らは VANET 環境での利用を想定した NAvi (NA for vehicle information) システムを提案し、評価を行った [10][11]。さらに、勝田らは NAvi システムが収集した交通情報をサーバにアップロードし情報の喪失を防ぐと共に、LTE の帯域圧迫を抑えつつ隣接交差点の情報を収集する lLTE 方式を提案し評価を行った [12]。

現状、車車間通信を行うためのデバイスは普及しているとは言いがたいが、個人が携帯する通信可能なデバイスとして、スマートフォンが普及していることから [13]、我々はスマートフォンを用いて車車間通信を行う方式を検討する。これにより、車両の搭乗者だけでなく、周辺の歩行

者が保持するスマートフォンを利用する事ができると考えられる。NAvi の生存範囲内に車両が存在しない場合等に NAvi は消滅するが、周辺の歩行者が NAvi のデータを保持している場合、その保持データを用いてサービスの提供を継続することや、再度発生した NAvi に保持データをコピーして情報の損失を防ぐことができる。本研究では、周辺の歩行者が保持するスマートフォンに、NAvi のバックアップとして動作する HANAvi (Human Assisted NAvi) を発生させる方式を提案し、評価を行う。

## 2. 関連技術

### 2.1 モバイルアドホックネットワーク

モバイル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り構成されるネットワークのことである。多数の端末同士をアクセスポイントの介在なしに相互接続する形態 (マルチホップ通信) をとっているため、他の端末を中継しながら通信エリアを拡大できる特徴がある。さらに基地局が無い地域でもネットワークを利用することができる。しかし、端末の移動や故障によって通信のトポロジが経時的に変化するため、基地局を用いた通信と比べると不安定であり、安定した通信環境を提供することが困難である。このため、効率よく、信頼性のあるルーティングを行うための手法が検討されている [14]。

#### 2.1.1 モバイルアドホックネットワークにおける ack-carry 方式を用いた情報配布手法

藤井らは、少量の固定端末と多数の移動端末が存在するアドホックネットワーク環境下において、ある情報が有用でない地点へのフラディングを抑制し、有用な地点への

<sup>1</sup> 千葉工業大学  
Chiba Institute of Technology  
<sup>a)</sup> okamoto@ysr.net.it-chiba.ac.jp

フラッディングを促進する手法を提案した [15]. 固定端末は小さな TTL の設定された情報のフラッディングを開始し、最終的に情報を受け取った移動端末が発信元の固定端末に接近して通信した場合に、自身がこれまで通信してきた固定端末の ID を発信元に渡す。これによって通知された固定端末を、フラッディングを延長する端末とすることで、情報発信元に向かう端末が多い方向へのフラッディングは促進され、情報発信元に向かう端末が少ない方向へのフラッディングは抑制される。また、状況の変化等によって交通流が変わった場合、固定端末は一定時間以上渡されなかった他の固定端末の情報を破棄し、その方向へのフラッディングを抑制する。これらの動作により、インターネットに接続していない少量の固定端末でも、指向性を持ったフラッディングを実現することができる。

## 2.2 NA(Nomadic Agent)

本研究で提案する HANAvi の背景となる技術の 1 つとして 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構築する通信端末間を自律的に移動し、一定の範囲内に留まり続ける一種の Mobile Agent である。このような動作により、ある特定の場所の情報をその場所に残し続けることができる。また、周辺の情報を蓄積・提供することにより、固定サーバを必要とせずその場所の情報を管理し、サービスを提供することができる。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 には発生・移動・消滅という 3 つの基本動作がある。

### 2.2.1 発生

NA が発生するための条件は 3 つあり、1 つめは位置情報による発生である。端末が設定された特定の位置に移動した際、付近に NA が存在する事を検出できなければ NA を発生させる。例として、高速道路のパーキングエリアやサービスエリアなどで発生させることで、利用者の調査が可能である。2 つめは、周辺の端末密度による発生である。端末の通信範囲内に存在する端末数が設定以下、あるいは設定以上などの条件により発生する。例として、渋滞が発生した場所に NA を発生させることにより、混雑情報の収集や提供が可能になる。3 つめは、ユーザが任意に発生させる場合である。この方法ではユーザが任意の場所、任意のタイミングで発生させることができる。例として、交通事故が発生した場合に周辺車両へいち早く事故が発生した場所を知らせることで、二次災害などを回避する事が可能になる。

### 2.2.2 移動

NA の基本移動動作を図 1 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時間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 は周辺端末の位置を把握する。この情報をもとに NA は次の移動先となる端末を選択する。NA を保持する端末が移動し、移動開始位置に差しかかった場合、NA は次の移動先として選定した端末に移動し、一定の範囲内に留まり続ける。

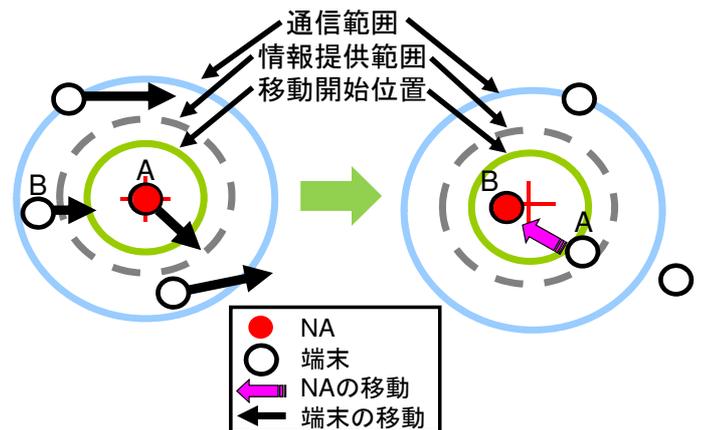


図 1 NA の基本動作

### 2.2.3 消滅

NA は発生時に設定した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。また、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、NA が消滅すると同時に蓄積・保持していた情報も全て削除される。

## 2.3 DNA(Dual NA)

NA を保持している端末の電源が落ちてしまう、端末が地下に移動する等で通信が不可能になった場合は、NA は消滅してしまう。このような状況に対応するために、図 2 に示す DNA(Dual NA) 方式では、NA は情報提供範囲内に存在する端末に自身の複製を発生させ、お互いの状態を常に把握することで、より安定したサービスの提供を可能にする [8].

### 2.3.1 DNA の動作

特定の地点で最初に発生した NA を MainNA とする。MainNA は一定時間ネットワークを監視し、自身の他に NA が存在しないことを確認して、発生位置に最も近い端末に対となる SubNA を発生させる。MainNA は、通常の NA と同様に情報の収集・提供を行う。SubNA は MainNA の提供する情報をチェックし、保持しているデータとの間に差分が存在する場合、MainNA に対して差分データの要求または送信を行うことにより、両者が保持するデータの同期を行う。2 つの NA が同じ情報を提供すると帯域を無

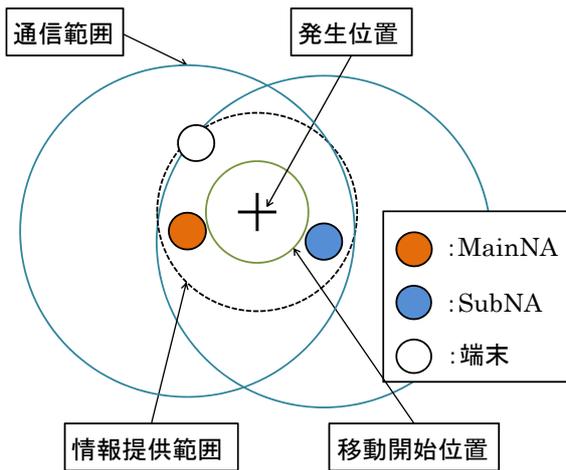


図 2 DNA

為に圧迫するため、情報提供はMainNAのみが行う。

### 2.3.2 DNAの複製

MainNAとSubNAは、対となるNAからの通信が一定時間受信できなくなった場合、発生位置に最も近い端末にNAを発生させ、自身の持つデータを複製する。この際、複製を発生させたNAがSubNAだった場合、SubNAは自身をMainNAとし、新たに発生させたNAをSubNAとする。これにより、情報提供範囲内に常に2つのNAを存在させ、より安定したサービスの提供を可能としている。

### 2.3.3 DNAの統合

一方のNAが情報提供範囲外に存在している状況でもう一方のNAが複製を行った場合、情報提供範囲外に存在していたNAが再び戻ってくる可能性がある。この時、NAが情報提供範囲内に3つ以上存在してしまう状態になるため、不要な負荷がかかる端末が発生する。このような状態を防ぐため、戻ってきたNAは他のNAと保持データの同期を行った後に、消滅する。これにより、情報提供範囲内には常に2つのNA(MainNA, SubNA)のみが存在するようになる。

## 2.4 Navi(NA for vehicle information)

本研究で提案するHANaviの背景となる技術のもう1つがNaviである。Navi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。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、より確実に情報提供範囲内に留まることを可能にする。Naviの発生位置は、最初にNaviを発生させた車両の位置ではなく、周辺道路の情報を収集しやすい交差点の中心とした。また、交差点につきNaviは1つだけ発生する。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し、Naviは収集した他車両の位置情報・進行方向・移動速度から通過してきたリンクと速度を把握し、集約した情報からリンク毎に平均速度を算出し、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、収集から一定時間経過した交通情報等は古い情報とみなし破棄する。また、隣接する交差点に別のNaviが存在する場合、マルチホップ通信を用いて交通情報の共有を行う。

## 3. HANavi(Human Assisted Navi)

Naviシステムにおいて、Naviが消滅した場合は保持していたデータも失われ、事前にデータをサーバにアップロードする等の対策をしなければ、失われたデータを利用することはできなかった[12]。そこで我々は、通信デバイスをスマートフォンで代用することで周辺の歩行者をシステムに組み込めると考え、Naviのデータを長時間保持可能なHANaviを提案する。HANaviは歩行者が保持する端末に発生し、DNA方式におけるSubNAと類似した挙動を行うNAである。HANaviは対応するNaviとデータの同期を行い、Naviが消滅した場合はデータを保持したまま動作し続け、新たなNaviが発生した時に保持していた過去のデータをNaviに提供する、一種のバックアップとして動作する。歩行者の移動速度は車両に比べて遅いため、HANaviが交差点内に留まる時間はNaviよりも長くなると考えられる。

### 3.1 HANaviの動作

交差点内にNaviが発生した場合、Naviは周辺の各端末が保持する情報(速度・加速度・種別データ等)から歩行者端末を把握し、発生位置に最も近い歩行者端末にHANaviを発生させる。HANaviはNaviと同一の初期位置・生存範囲・移動開始位置等のパラメータを持ち、歩行者端末間を移動して交差点付近に留り続け、Naviとのデータの同期を行う。交差点内からNaviが消滅した場合でもHANaviはデータを保持し続け、交差点内に車両が新たに進入してきた場合、その車両の端末にNaviを発生させ、自身が保持していた過去のデータを複製する。これにより、Naviのサービスを継続させることができる。

### 3.2 HANaviの問題点と解決

HANaviを用いない方式と比べて通信数が増加しており、通信衝突の可能性が増大すると考えられる。Naviへの通信とHANaviへの通信とが衝突した場合、HANaviはNaviの移動や生存を妨げる存在になり得るため、HANaviが介在する通信において、通信衝突の可能性は可能な限り引き下げられる必要がある。HANaviは次の移動先選定のために周辺の歩行者の情報も取得するが、歩行者端末全ての返信は必須ではないため、歩行者端末の返信数を削減する事で通信衝突の可能性を低減する。HANaviは2種類の返信確率 $p_1, p_2$ を使ってブロードキャストを行い、 $p_1$ に対して返信されたパケットの受信数 $x_1$ と、 $p_2$ に対して返信されたパケットの受信数 $x_2$ をそれぞれ記録する。 $x_1, x_2$

が多い場合にはそれぞれ  $p_1, p_2$  を低下させ、逆に  $x_1, x_2$  が少ない場合には  $p_1, p_2$  を増加させることで、一定以上の返信数の確保による移動先決定の安定化と、不要な返信の排除による通信衝突の回避を行う。また、周辺の端末数は  $x_1/p_1, x_2/p_2$  で予測できる。周辺の端末が減少した場合には、 $x_1/p_1, x_2/p_2$  共に減少すると考えられるが、通信衝突によって  $x_1, x_2$  が低下した場合、返信確率が高い方の受信率が大きく低下し、 $x_1/p_1, x_2/p_2$  に差が生まれると考えられる。このように2種類の返信確率  $p_1, p_2$  を用いることで、通信衝突を推測できる。

#### 4. シミュレーション

シミュレータには、Space-Time Engineering 社の Scenargie を使用した。シミュレーション環境は図3に示す500m四方の単一の十字路とし、歩行者は20~2000人を配置した。シミュレーションパラメータを表1に示す。歩行者には、一様乱数で定められた1~300秒の待ち時間の後に十字路の端から交差点付近の公園に移動、到着後は出発点とは別の十字路の端に移動し、最後に自分が元いた位置に戻る、という動作を行わせており、時間が経つにつれて混雑の度合いが大きくなるようになっている。HANAviの移動方式は通常のNAと同様に、発生位置から最も近い端末に移動するものとした。返信確率  $p$  は1.0~0.1まで0.1ずつ変化させたものと、0.01の合計11パターンを用意した。また、 $p_1 > p_2$  とし、 $0.5 \leq p_1 \leq 1.0$ ,  $0.01 \leq p_2 \leq 0.5$  とした。 $p$  の変化は、 $x_1 < x_2$  である場合か  $20 < x_2$  である場合に  $p_1, p_2$  共に0.1低下、 $x_1 \leq 10$  である場合に  $p_1, p_2$  共に0.1上昇するものとした。返信確率が低下して0になった場合の返信確率は0.01とした。以上の条件下でシミュレーションを行い、HANAviの生存時間と移動位置、時刻ごとのパケット受信率を算出する。また、比較方式として  $p$  を変化させず全ての歩行者が返信する方式についても同様にシミュレーションを行った。

各歩行者はIEEE802.11g規格の無線LAN及びGPS機能を有する端末を保持しており、自身や交差点の位置情報が正確に分かるものとする。また、今回はNAviが存在しない状態で、HANAviはシミュレーション環境内に長時間されるかの検証を目的としているため、シミュレーション環境内にNAviは発生させていない。

#### 5. 結果

##### 5.1 生存時間

図4に各パラメータにおける生存時間を示す。生存時間は、シミュレーション環境内にHANAviが存在していた時間の合計であり、シミュレーション時間に近いほど長く存在していたということになる。提案方式、比較方式共に大きな違いは見られず、生存時間はシミュレーション時間に対して高い割合を維持しており、環境内の歩行者が少ない

表1 シミュレーションパラメータ

項目	シミュレーション環境
計測時間	600秒
シミュレーション範囲	500m × 500m
道路	片側一車線
歩行者数	20~2000人
通信方式	IEEE802.11g
通信距離	50m
情報提供範囲	半径25m
移動開始位置	交差点中心から20m
生存範囲	交差点中心から100m
HANAviのプロードキャスト間隔	1秒
電波伝搬モデル	2波モデル

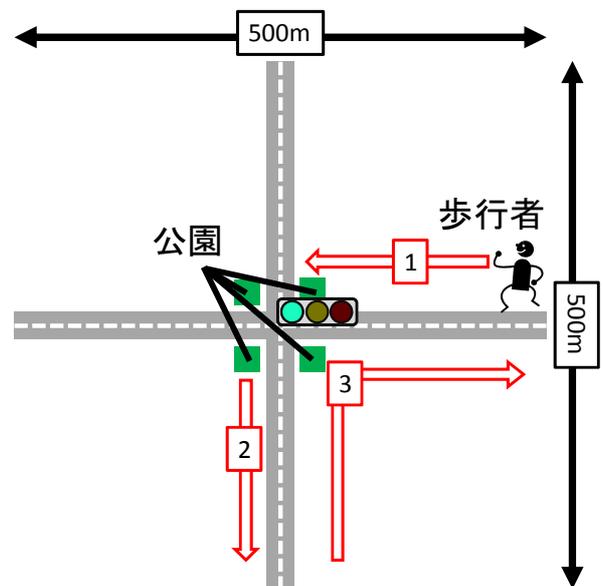


図3 シミュレーション環境

場合においても、HANAviは比較的長い時間生存し、NAviのバックアップとして動作できると言える。

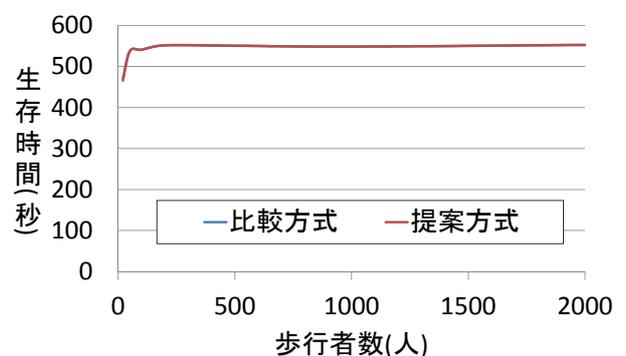


図4 HANAviの生存時間

##### 5.2 HANAviの移動位置

環境内の歩行者が20~2000人である場合の、HANAviの位置を1秒ごとにプロットした図を提案方式(図5)、比

較方式 (図 6) 共に示す。環境内の人数が少ない場合は、交差点中心から大きく外れた位置に HANA<sub>vi</sub> が存在しているが、人数が多ければどちらの方式でも交差点付近に留まっていることが分かる。§5.1 の結果と合わせ、環境内の歩行者数が少ない場合は N<sub>Avi</sub> との互助動作にあたって、N<sub>Avi</sub> と HANA<sub>vi</sub> が通信できないといった事態が発生する可能性が考えられる。

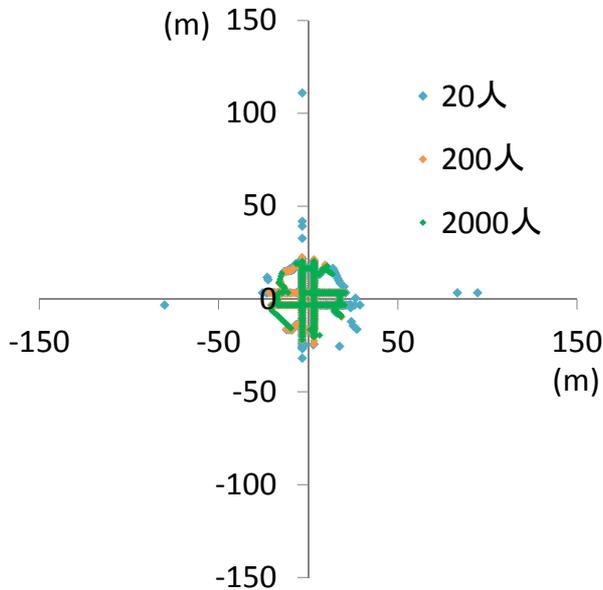


図 5 提案方式における HANA<sub>vi</sub> の位置

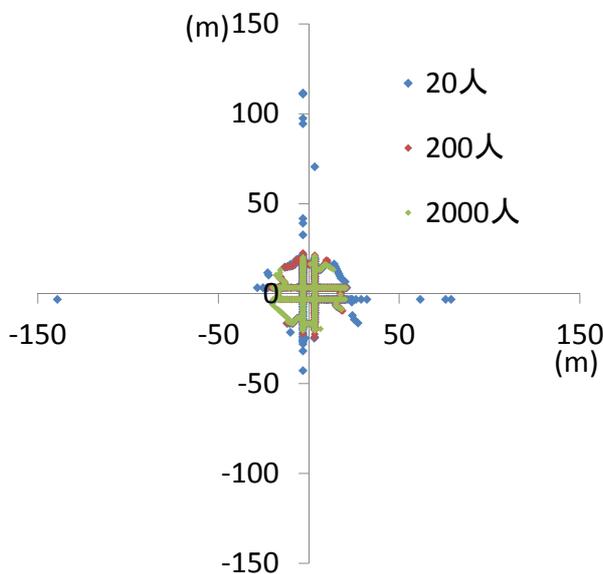


図 6 比較方式における HANA<sub>vi</sub> の位置

### 5.3 パケット受信率

各歩行者数におけるパケット受信率を図 7 に示す。パケット受信率は HANA<sub>vi</sub> が受け取った返信数  $acc$  と各歩行者が HANA<sub>vi</sub> に送ったパケットの合計数  $rep$  から、 $acc/rep$

で算出している。提案方式  $p_1$  は返信確率  $p_1$  時の受信率、提案方式  $p_2$  は返信確率  $p_2$  時の受信率、提案方式総合は提案方式における全パケットの受信率をそれぞれ表している。環境内の歩行者数が 200 人程度までであれば返信確率  $p$  を操作しない比較方式の方が良い受信率を出しているが、歩行者数が 500 人を超えると提案方式総合の受信率が比較方式を上回る結果となった。また、シミュレーション環境内の歩行者数が 1000 人である場合の、時間帯パケット受信率を図 8 に示す。HANA<sub>vi</sub> 生存時間が 250 秒を経過した辺りから、比較方式のパケット受信率が大幅に下がっており、ここで大きな混雑が起こったのだと推測できる。同時点での提案方式  $p_1$  では、パケット受信率の低下がいくらか抑制されている。提案方式  $p_2$  は受信率 0 と 1 を繰り返しているが、これは  $p_2$  に対して返信されたパケット数  $rep_{p_2}$  が少ないために、通信衝突が起きて  $acc$  が低下した場合、比較方式や  $p_1$  に対する返信に比べて  $acc/rep$  に与える影響が大きくなるためだと予想される。これらのことから、周辺人数によって返信数を削減する事は通信衝突の回避に有用であると分かったが、図 7 において、提案方式  $p_2$  のパケット受信率はいずれの状態においても 80% 前後となっており、高いとは言えない。返信確率の遷移アルゴリズムや初期返信確率等の更なる検討が必要だと考えられる。

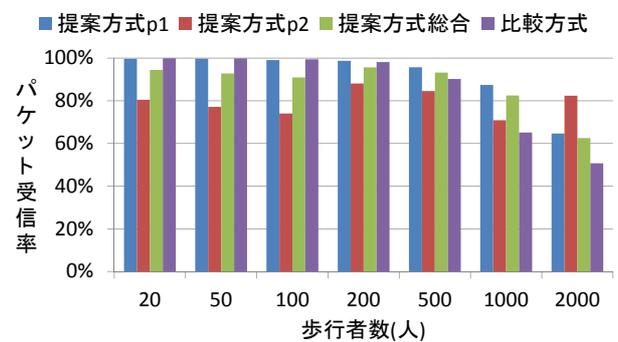


図 7 パケット受信率

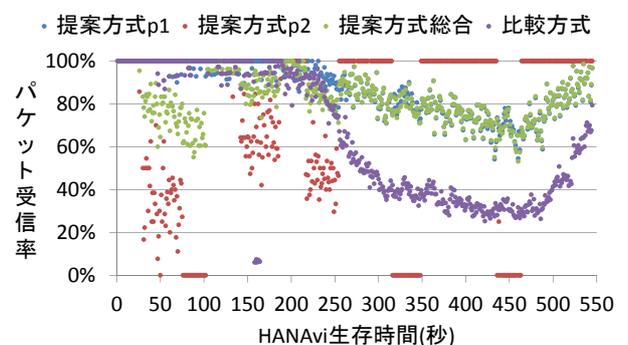


図 8 歩行者数 1000 人時のパケット受信率/秒

## 6. 結論

VICS や ITS スポットサービス等, 路上のインフラを利用する ITS サービスが普及してきている. しかし, そうしたインフラの設置や維持にはコストがかかるため, 我々は仮想インフラとして利用可能な NA を提案し, 評価を行ってきた. NA を VANET 環境に適応させた NAvi システムは, 車両に対しリアルタイム性のある情報を提供可能だが, 利用するためには別途車車間通信用のデバイスが必要となり, また, 周辺車両が少ない場合にはサービスを継続できないといった難点があった. そこで, 本研究では現在急速に普及しているスマートフォンを通信デバイスとして利用することで NAvi システムを容易に実現し, かつ歩行者が保持するスマートフォンに NAvi のバックアップとして動作する HANAvi を発生させることで, NAvi システムのサービス提供を安定させる検討を行った. これにより, 歩行者が保持する HANAvi は, 長時間に渡ってデータを保持し続けることが可能であると分かった. また, HANAvi の通信が NAvi の通信と衝突しないよう, 歩行者の返信数を確率で操作する事で通信数の削減を試みた. 結果的に衝突の可能性は低減されたが, 返信確率の決定法には課題が残る結果となった. 実際の通信端末数と衝突数・衝突率を確かめ, より精度の良い返信確率決定法を検討する必要がある. この他, NAvi の生存時間への寄与率や, NAvi との互助動作の検討等が今後の課題として挙げられる. また, 現状では歩行者にとって利点の無いシステムであるため, 何らかのインセンティブを用意すべきだと考えている.

## 参考文献

- [1] VICS HOME PAGE  
<http://www.vics.or.jp/>
- [2] ETC 総合情報ポータルサイト  
<http://www.go-etc.jp/>
- [3] 国土交通省, 「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-<br/>html/spot_dsrc/index.html)
- [4] 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)
- [5] 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)
- [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] 勝田将太, 鈴木勘久郎, 屋代智之, 「NA(Nomadic Agent) を用いた仮想インフラの提案」, 情報処理学会研究報告高度

- 交通システム (ITS), 2012-ITS-51, pp.1-7 (2012-11-08)
- [10] 鈴木勘久郎, 屋代智之, 「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」, 情報処理学会研究報告高度交通システム (ITS), 2011-ITS-45, pp.1-7 (2011-06-17)
- [11] 鈴木勘久郎, 屋代智之, 「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」, 情報処理学会研究報告高度交通システム (ITS), 2012-ITS-48, pp.1-7 (2012-03-09)
- [12] 勝田将太, 屋代智之, 「LTE の負荷を軽減して渋滞情報を提供する NAvi システムの提案」, 情報処理学会研究報告高度交通システム (ITS), 2014-ITS-56, pp.1-7 (2014-02-27)
- [13] 総務省, 平成 25 年通信利用動向調査  
[http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/  
statistics/data/140627-1.pdf](http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/<br/>statistics/data/140627-1.pdf)
- [14] 尾根田倫太郎, 桧垣博章, 「無線マルチホップ配送における無線ノード位置広告手法」, 情報処理学会論文誌, Vol.53, No.7, pp.1875-1883(2012)
- [15] 藤井俊充, 加治充, 佐々木勇和, 原隆浩, 西尾章治郎「モバイルアドホックネットワークにおける ack-carry 方式を用いた情報配布手法」, 情報処理学会論文誌, Vol.53, No.1, pp.286-297(2012)