

NA(Nomadic Agent)を用いた仮想インフラの提案

勝田 将太^{†1} 鈴木 勘久郎^{†1} 屋代 智之^{†1}

概要: ITS (Intelligent Transport Systems:高度道路交通システム) のサービスとして, VICS などのインフラが整備されているシステムでは, 安定したサービスを提供する事ができるが, インフラが設置されていない場所ではサービスを利用する事ができない. そこで, 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する事で, インフラが整備されていない場所でも ITS サービスが利用出来るようになると考えられる. NA の特性上, 情報を維持するために通信機器を搭載した車両が必要になることから, 交通量を変化させ NA の生存時間や移動距離についてのシミュレーションを行った. 本稿では, 交差点における仮想インフラのシステム評価を行い, 情報を維持するために必要な交通量と NA の活用領域を示す.

A Proposal of Virtual Infrastructure using Nomadic Agent

Abstract: ITS system is able to provide stable services where infrastructure is in provided, such as VICS. But can not be utilited by ITS services without infrastructure. NA (Nomadic Agent) is a kind of mobile agent using vehicle-to-vehicle communications and is used to form a virtual infrastructure. And therefore ITS services will be available. NA requires a vehicle equips a communication device in order to maintain the information. In this simulation, We changed the amount of traffic and made a simulation to evaluate the lifetime of the NA and it's position. In this paper, we evaluate the proposed system. and indicate enough traffic volume to maintain information.

1. はじめに

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] などインフラを用いた ITS サービスが普及してきている. VICS は, 道路上に設置された各種センサーにより収集された情報を基に, 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・提供にインフラの設置が必要となるため, インフラの整備されていない場所では情報を取得できない. また, 2009 年 10 月から ITS スポットサービスに対応したカーナビゲーションが発売されており, 全国の高速道路を中心にインフラの設置箇所は約 1600 箇所となっている. ITS スポットサービスでは対応したカーナビが必要な事や, VICS 同様にインフラの設置されていない場所ではサービスを受けることが出来

ない.

一方で自動車をセンサーとして捉え, 車両の速度データをはじめ, 位置情報, ワイパーのスイッチや ABS, エアバック等の各システムの作動情報 (プローブデータ) などを車両に搭載した通信機器によりセンターで集約し, その情報を基に目的地までの最速ルートを案内するサービスも登場している. [13]

また携帯電話の処理能力向上により, スマートフォンを用いてカーナビゲーションを行うサービスも展開されている. NTT ドコモが提供している「ドライブネット」[4] では, 携帯電話網から地図情報の取得やプローブ情報をはじめとする渋滞情報や, 駐車場の満空情報の取得などが利用できる. しかし携帯電話網を利用しているため, 利用者は月々の通信料を負担しなければいけない点や, 詳細な地図情報は表示に時間がかかることがあるといった問題も挙げられる.

こういった渋滞情報サービスをはじめとする ITS の情報提供は渋滞緩和や利用者の利便性向上に一定の成果を挙げていると考えられる. しかし, 交通渋滞による時間損失は

^{†1} 現在, 千葉工業大学
Presently with Chiba Institute of Tecnology

全国で年間約 38.1 億人時間とされ、人口一人当たり約 30 時間と試算されている。また車両の旅行速度低下は燃費悪化につながり二酸化炭素の排出を増加させ、環境問題にも影響を与えていると考えられる [5]。

そこで我々は NA(NomadicAgent)[6] ~ [8] を VICS におけるセンサや基地局等のインフラの代わりに、道路交通情報の収集・提供を行う仮想的なインフラ(仮想インフラ)として用いる。NA はインフラを必要とせず、特定の場所で情報収集・提供が可能な一種の Mobile Agent である。本稿ではシミュレーションを用いて交通量が変化したときの NA の生存時間や、交差点からの移動距離について評価し、提案方式の評価を行う。

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。図 1 に示すように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、端末の位置が動的に変化するため、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。そのため、小規模なネットワークとして主に利用されている。

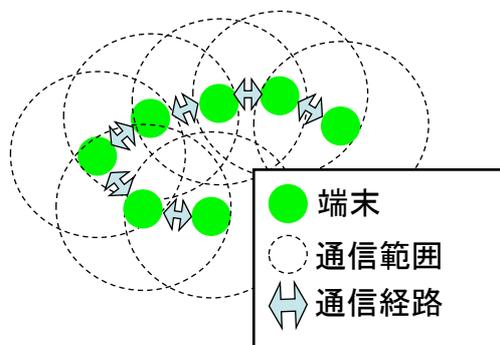


図 1 マルチホップ通信

2.2 IEEE802.11 無線 LAN

IEEE(the Institute of Electrical and Electronics Engineers:米電気電子学会)が定めた無線 LAN の規格である。それぞれの規格の利用周波数および最大通信規格を表 1、表 2 に示す。802.11b/a/g/n は現在主要な規格であるが、802.11p は ETC の通信や車車間通信等に用いることを目的としており、家庭内 LAN には利用されない。IEEE802.11 の変調方式は CCK(Complementary Code Keying:相補符号変調)や、DSSS(Direct Sequence Spread

Spectrum:直接拡散), OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing:直交周波数分割多重化)の 3 種類が規定されている。また、802.11n では送受信に複数のアンテナを用いる MIMO(Multiple Input Multiple Output) 技術が採用されている [9]。802.11p と他の 802.11b/a/g/n との違いは、802.11p は路車間や車車間通信など自動車環境を想定した規格のため、強固な接続と移動する車両への素早いセットアップを実現できることである。

表 1 IEEE802.11 規格の概要

名称	802.11b	802.11a	802.11g
利用周波数	2.4GHz	5GHz	2.4GHz
最大通信速度	11Mbps	54Mbps	54Mbps
変調方式	CCK, DSSS	OFDM	OFDM

表 2 IEEE802.11 規格の概要 2

名称	802.11n	802.11p
利用周波数	2.4, 5GHz	5.9GHz
最大通信速度	100 ~ 600Mbps	27Mbps
変調方式	OFDM	OFDM

3. Nomadic Agent(NA)

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利用し、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に押し続けることが可能な一種の Mobile Agent である。また、固定サーバを必要とせずその場の情報を管理し、サービスを提供することが可能である。NA の基本的な動作は、発生・移動・消滅という 3 つの動作がある。

3.1 NA の発生

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条件である。端末の通信範囲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。この条件では、NA を行列のできる飲食店の付近で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、災害時などに一時的に設置される避難本部に発生させることで、周辺住民に情報を収集または提供することが可能になる。

3.2 NA の移動

NA は発生した場所を中心として、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端末間の移動開始する位置 (移動開始位置)、NA を稼働させる範囲 (生存範囲) を設定する (図 2)。情報提供範囲の半径は、情報提供範囲内の全ての端末に情報提供が行えるように、端末の通信範囲の半分とする。移動開始位置については、NA が情報提供範囲外に出てしまう前に移動を行わなければならないため、情報提供範囲より小さく設定する。また生存範囲を設定する理由は、特定の場所に有益な情報が不必要な場所に広がることを防ぐためである。NA は発生後、生存範囲を越えるまで一定時間間隔でブロードキャストを行い、ブロードキャストを受信した端末が、自身の位置情報を返すことで周辺端末を把握する。この周辺端末の位置情報を基に、移動開始位置を越えた NA は次の移動先となる端末を選択し、移動を行うことで特定の場所に留まり続ける。

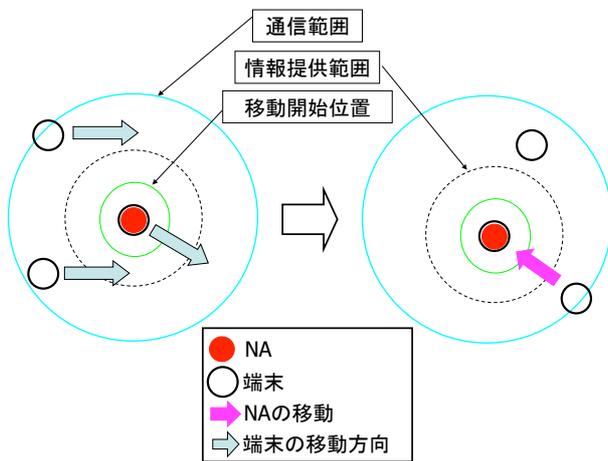


図 2 NA の基本動作

3.3 NA の消滅

移動先が見つからず生存範囲を越えた NA は蓄積・保持していた情報と共に消滅する。また、NA を保持している端末の電源が切れたり、端末が利用できなくなった場合も同様である。

4. NA を用いた仮想インフラの提案

図 3 のような交差点での、事故防止システムや交通情報を提供するシステムを想定するため、NA を交差点付近で発生させる。NA は交差点内の車両位置や速度などの情報を収集、管理するものとし、周辺車両への情報提供を行うための仮想インフラとして用いる。

4.1 前提条件

各車両は GPS 等から正確な位置情報が取得できるもの

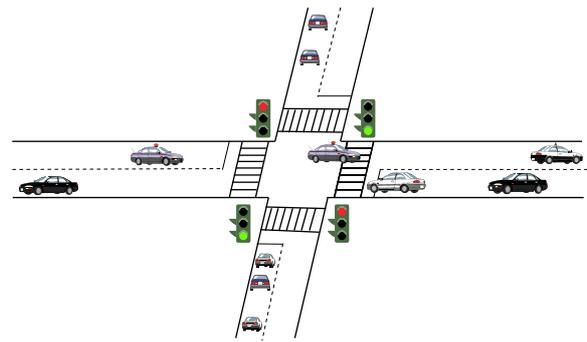


図 3 想定する交差点

とし、カーナビゲーションシステムにより地図情報を取得できるものとする。NA は 1 秒間に 1 度、自身の ID とともに自車両の情報をブロードキャストし、周辺車両に NA がすでに存在していることを知らせる。またブロードキャストを受信した車両は現在の速度、位置情報などを返信する。NA の発生場所は交通事故が多いとされている、交差点中央に発生するものとした [11]。

4.2 NA の動作

交差点に進入してきた車両は、2 秒以内に NA からのブロードキャストを受信できなければ、進入した交差点に NA が存在しないと見なし、自車両に NA を発生させブロードキャストを開始する。NA のブロードキャストを受信した車両は、自車両の速度、位置情報、進行方向などを返信し、情報は NA が蓄積、管理する。NA は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と情報提供範囲を決定する。また NA の移動方式として、信号待ち方式と対向車方式が存在するが、本稿では NA が移動開始位置を越えた時点でもっとも交差点の中心に近い車両に移動することとした [8]。

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[12] を用い、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図 4 のように、中央に交差点を 1 つ配置した形である。シミュレーション時間は 600 秒とし、シミュレーションパラメータを表 3 示す。それぞれの端点から車両が進入し、この進入する車両台数を変化させる事で、NA の移動距離や生存時間についてのシミュレーションを行った。車両進入台数の基準として、国土交通省道路局が作成した「平成 22 年度道路センサス 一般交通量調査 個別基本表」[14] を用いて、国道 14 号線の観測地名にある「習志野市谷津 4 丁目 2 番」の交差点をシミュレーションのモデルとした。この交差点では、昼間の 12 時間上下線の交通量が合計 12,595 台となっているため、毎秒平均 0.28 台となる。なお、この値は上下線の合計であるため、片側 1 車線の交通量として半分

の 0.14 台/s とした。0.14 台/s/Lane を中心として、混雑時とそうでない時のシミュレーションを行うため、進入台数は 0 台/s/Lane, 0.1 台/s/Lane, 0.14 台/s/Lane, 0.2 台/s/Lane, 0.3 台/s/Lane とした。上下の進入台数の平均値は固定し、左右の進入台数を変化させることとした。また、進入する車両台数は設定値を平均として、ランダムに変化させる。シミュレーションで利用する道路は、端点から交差点までの距離は全て 250m である。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おり、走行車線や交差点の位置情報が正確に分かるものとする。

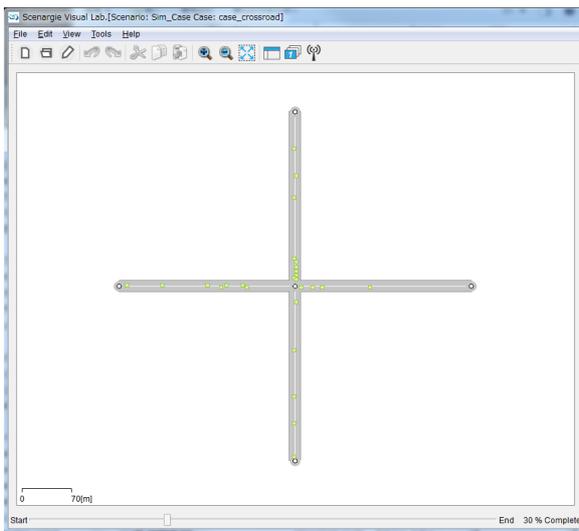


図 4 シミュレーション環境

表 3 シミュレーションパラメータ

パラメータ	シミュレーション環境
シミュレーション時間	600s
シミュレーション範囲	500m × 500m
道路	片側 1 車線
車両進入台数	0 台/s/Lane ~ 0.3 台/s/Lane
最高速度	60km/h
通信方式	IEEE802.11p
NA の生存範囲	100m
NA の情報提供範囲	半径 50m
NA の移動開始位置	半径 45m
NA のブロードキャスト感覚	1.0s

6. 結果

シミュレーションを行った結果を図 6~図 10 に示す。NA の交差点からの距離 (図 5) とは、交差点から NA を保持する車両の位置を表すものである。また、y 軸は移動距離に対して NA が存在する割合を表している。

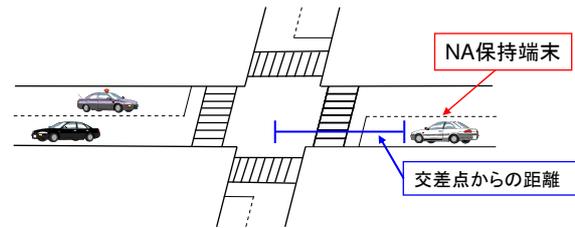


図 5 交差点からの距離

6.1 NA の交差点からの距離

6.1.1 進入台数 0.0 台

図 6 では上下の進入台数を 0.0 台/s/Lane に固定し、左右の車両進入台数を 0.1 台/s/Lane, 0.14 台/s/Lane, 0.2 台/s/Lane, 0.3 台/s/Lane と変化させた。上下からの進入台数が 0.0 台/s/Lane 固定のため、左右から進入する車両しか存在しない。従って、左右の車両台数に比例して NA の移動先が増加し、交差点の車両密度が増加することで、NA の移動距離が交差点の中心に集まる結果となった。また、0.1 台/s/Lane と 0.14 台/s/Lane の結果では最大で 100m 近くまで NA が移動した。

6.1.2 進入台数 0.1 台

上下の進入台数を 0.1 台/s/Lane で固定し、左右の進入台数を変化させた結果を図 7 に示す。上下の進入台数が 0.1 台/s/Lane で、左右が 0.3 台/s/Lane の結果では他の進入台数に比べ交差点から 10m 以内に NA が留まる割合が高い結果となった。0.1 台/s/Lane, 0.14 台/s/Lane, 0.2 台/s/Lane の結果では、あまり差は見られなかった。これは道路へ進入してくる車両台数が、この 3 つの値は約 0.5 台/s/Lane なのに対し 0.0 台/s/Lane と 0.3 台/s/Lane では、前後の計測値の差が 0.1 台/s/Lane である事が原因と考えられる。しかし、0.0 台/s/Lane の結果は他の値の結果から比べると NA の留まる範囲が極端に広い。原因として NA は、車両を移動しながら生存する一種のモバイルエージェントのため、単一方向からの車両が多いだけでは、長い時間生存することが難しいためである。

6.1.3 進入台数 0.14 台

上下の進入台数を 0.14 台/s/Lane で固定し、左右の進入台数を変化させた結果を図 8 に示す。上下の進入台数を 0.0 台/s/Lane と 0.1 台/s/Lane で固定した結果では、NA を最も交差点の中心付近に留めることが出来たのは左右の車両進入台数が 0.3 台/s/Lane の時であるのに対し、この結果ではわずかに 0.1 台/s/Lane が 0.3 台/s/Lane を上回る結果となった。これは、車両台数が増加するにつれパケットの衝突が発生してしまったため考えられる。

6.1.4 進入台数 0.2 台

上下の進入台数を 0.2 台/s/Lane で固定し、左右の進入台数を変化させた結果を図 9 に示す。図 8 では 0.1 台/s/Lane の値が最大なのに対しこの結果では、左右の進入台数が 0.14 台/s/Lane の値が最大となった。これも車両が増加す

るに従い、通信量が増えることによるパケット衝突が発生し、車両台数の多い環境では移動に時間がかかったためと考えられる。

6.1.5 進入台数 0.3 台

最後に上下の進入台数を 0.3 台/s/Lane で固定した結果を図 10 に示す。この実験結果で最も特徴的なのは左右の進入車両台数が 0.0 台/s/Lane の時である。これまでの図 6～図 9 では左右の進入台数が 0.0 台/s/Lane の時、他の進入台数の時に比べ極端に値が低い結果であった。しかし、上下の進入台数が 0.3 台/s/Lane では左右の進入台数が 0.0 台/s/Lane の場合でも極端に低い値ではなかった。原因として、車両進入台数が 0.3 台/s/Lane となると 1 度の信号で信号待機中の車両全てが交差点を抜けることが困難となり、渋滞が発生したため、左右の車両が存在しなくとも NA を交差点の中心付近で留めることが出来たことが考えられる。

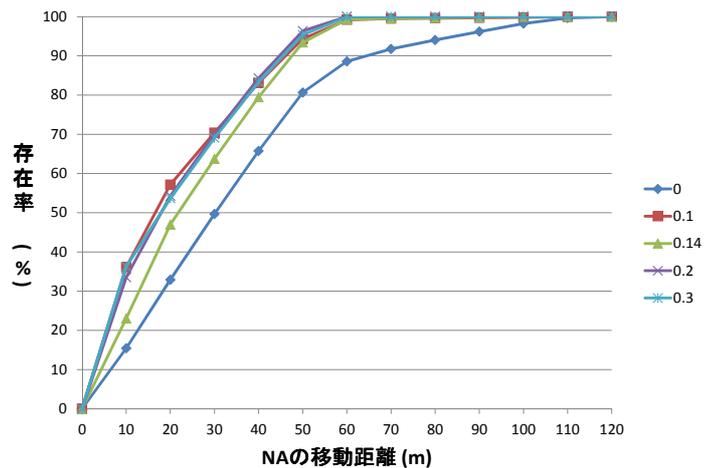


図 8 上下の進入台数 0.14 台/s/Lane

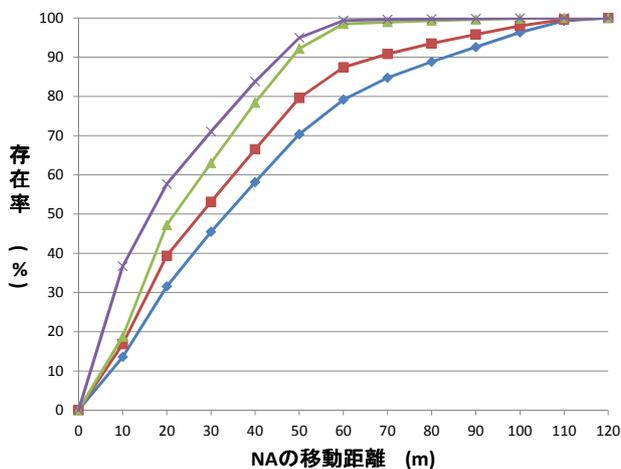


図 6 上下の進入台数 0.0 台/s/Lane

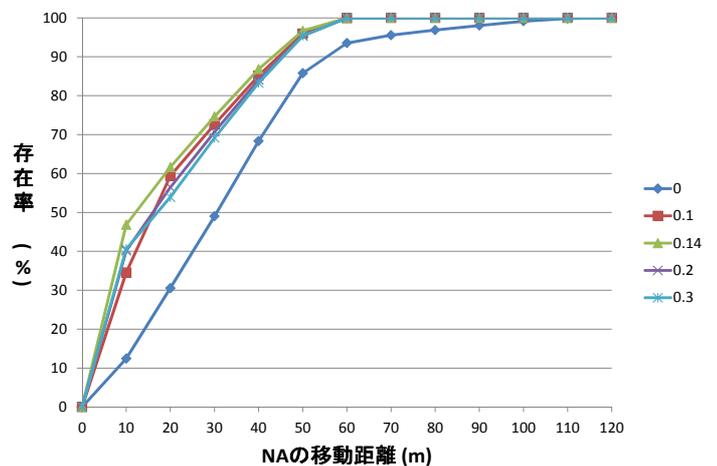


図 9 上下の進入台数 0.2 台/s/Lane

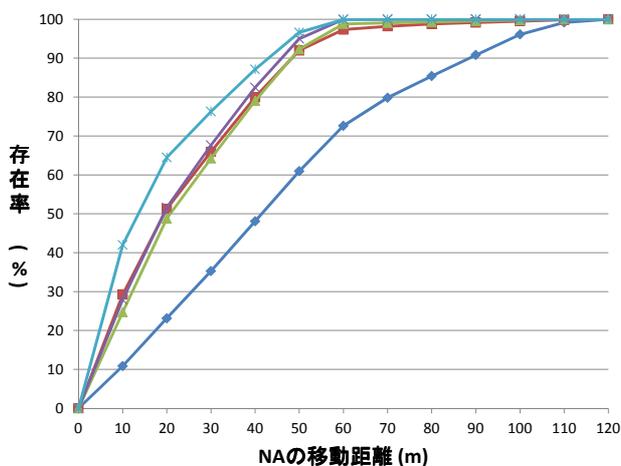


図 7 上下の進入台数 0.1 台/s/Lane

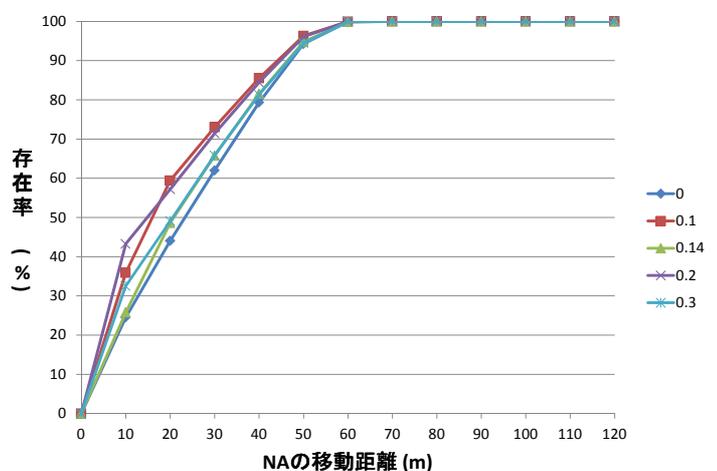


図 10 上下の進入台数 0.3 台/s/Lane

6.2 NA の生存時間

車両の進入台数に対する NA の生存時間を図 11 に示す。この図では、上下の進入台数と左右の進入台数を入れ替えた時に同じ値になるものについては、生存時間を計算する際は合わせて計算した。今回シミュレーションで用いた道路は十字路の交差点である。そのため上下の進入台数 0.3 台/s/Lane で左右の進入台数 0.1 台/s/Lane の実験結果と、上下の進入台数 0.1 台/s/Lane で左右の進入台数 0.3 台/s/Lane の結果は、道路全体を 90 度回転した時のシミュレーションと環境が変わらないため、同じ結果として集計した。図 11 から、全体的な傾向として上下、左右どちらかの進入台数が 0.0 台/s/Lane となると NA の生存時間が低下することが確認できた。また、進入車両が 0.2 台/s/Lane 以上になると、生存時間は 580 秒付近で一定となる。これは、シミュレーション時間が 600 秒であるため、NA が発生してからシミュレーション終了時間である 600 秒まで生存し続けたためである。

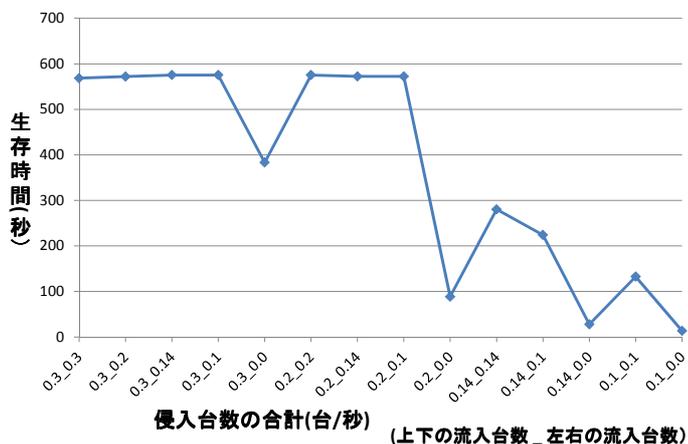


図 11 NA の生存時間

7. 結論

交差点での事故や渋滞による経済損失が非常に大きな問題となっており、事故防止や渋滞緩和への取り組みが求められている。これに対し既存システムの多くは、インフラの整備やメンテナンスを必要とし、コストを増加させている。本稿ではインフラなしで ITS サービスの提供を行うため、NA を用いた仮想インフラを提案した。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収集・提供を行うことが出来る。今回のシミュレーションでは、自動車の交通流を再現するためミクロ交通流シミュレータである MATES を利用し、リアルな交通流を再現した。また電波伝搬シミュレータである Scenargie を使い、NA を用いた仮想インフラシステムの動作について検証した。シミュレーション結果から、今回のような環境では、交差点に発生した NA は上下左右の進入台数の合計が 0.3 台/s/Lane を越えると、交差

点の中心から 50m 以内に生存でき、情報提供範囲内に留まることが可能になると考えられる。また、シミュレーションモデルとした道路の進入車両台数は平均 0.14 台/s/Lane となっており、図 11 から上下、左右共に平均交通量時の生存時間は、約 290 秒という結果となった。交通事故防止に用いる事を考えると、混雑していない時でも事故は発生するため、平均よりも少ない車両台数の場合でも NA が生存していることが望ましいと考えられる。また今回の実験では車両の進入台数を 0.0 台/s/Lane, 0.1 台/s/Lane, 0.14 台/s/Lane, 0.2 台/s/Lane, 0.3 台/s/Lane のステップで行ったが、NA の発生や消滅が比較的発生しやすい 0.1 台/s/Lane 以下の環境での詳細なシミュレーションも必要だと感じた。また、図 10 の左右からの進入車両が 0.1 台/s/Lane の時のように、多少車両の多い環境では NA の 60% は交差点の 20m 以内に留まることが出来た。しかし左右の進入台数が 0.3 台/s/Lane の時のように平均交通量の倍近い車両がいた場合、0.1 台/s/Lane の時に比べ、交差点の中心に NA が存在する割合が少なかった。これは、NA のブロードキャストに対する他車両の返信によるパケット衝突が発生していると考えられる。そのため、NA を保持している車両へパケットが到達していない事も考えられる。今回のシミュレーションは、交差点で発生した NA が、車両進入台数に対して交差点の中心からどのくらいの距離で存在することができるのかについて検証した。これにより、上下左右の車両進入台数の合計が約 0.3 台/s/Lane 以上の交通量がある時提案システムである、NA の仮想インフラを用いることで、インフラを必要としなくても持続的に情報を蓄積・周辺車両へ提供することができると考えられる。今後の課題として、パケット衝突の回避や車両台数が平均よりも少ない場合の NA 移動方法の検証、また交差点だけでなく高速道路や、信号のない一本道などいろいろな道路環境でのシミュレーションも検討する必要がある。

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] ITS スポット, "次世代の ITS の展開"
<http://www.mlit.go.jp/road/index.html>
- [4] ドコモ ドライブネット
<https://docomo-drivenet.jp/pub/login.html>
- [5] 国土交通省道路局, "渋滞の現状と施策体系"
<http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/tadm/Top03-01-01.html>
- [6] 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).
- [7] 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).
- [8] 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).
- [9] 阪田史郎, "ワイヤレス・ユビキタス", 秀和システム, 2004
- [10] 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 .
- [11] 政府統計の総合窓口, "平成 23 年中の交通事故発生状態"
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001086731>
- [12] Space-Time Engineering ホームページ
<http://www.spacetime-eng.com/jp/labSimulator.html>
- [13] HONDA internavi <http://www.honda.co.jp/internavi/>
- [14] 国土交通省, "平成 22 年度 全国道路・街路交通情勢調査 (交通センサス) 千葉県"
<http://www.mlit.go.jp/road/census/h22-1/data/pdf/kasyo12.pdf>