

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

勝田 将太¹ 屋代 智之¹

概要: 著者らは、一種のモバイルエージェントであるNA(Nomadic Agent)を車両の持つ資源や特性に合わせ、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)システムを提案している[14]。本システムには、車車間通信により集めた交通情報をLTEを利用してサーバにアップロードし、共有するLTE方式がある[14]。しかし、LTE方式ではLTEを用いて交通情報をサーバに問い合わせを行うため、頻繁に問い合わせを行うとLTE基地局に大きな負荷がかかる。そのため、LTE方式を使う基準として、NAviの通信範囲内に存在する車両台数の閾値をあらかじめ決めておき、車両台数がその閾値を上回ったときにLTE方式を使う、限定LTE方式を提案した[14]。しかし、限定LTE方式ではあらかじめ車両台数の閾値を決めておく必要があり、道路環境によっては常にサーバに問い合わせを行ってしまう可能性がある。そこで、NAviが取得した交通情報に含まれる送信時刻から、その交通情報が何秒前の情報なのかを算出し、その経過した時間によってLTE方式を利用するか否かを選択する、lbLTE(latency based LTE)方式を提案する。また、シミュレーションを用いて提案方式の評価を行う。

A Proposal of the NAvi System that Provides Traffic Information by Reducing the Load of LTE

Abstract: NA(Nomadic Agent) is a kind of mobile agent using vehicle-to-vehicle communications and is used as a virtual infrastructure. NAvi(NA for vehicle information) is a NA based system which is applied to the VANET environment. NAvi operates on the onboard equipment of the vehicle and collects and disseminates the traffic information through vehicle-to-vehicle communications. Simultaneously, NAvi uploads these information to the cloud server via LTE communication to disseminate the information to the distant place and downloads the information of the distant place. This method has an advantage that the latency to get the information is reduced drastically. On the other hand, the load of the LTE infrastructure becomes heavy in case of congestion. To solve this problem, limited LTE method which utilize vehicle-to-vehicle communication in case of high traffic density has been proposed. This method decides to use LTE based on the surrounding vehicle number and that has a limitation to estimate the traffic situation. In this paper, latency based LTE(lbLTE) method is proposed. In this method, NAvi decides to use LTE based on the latency of the received information. The method is evaluated by the computer simulations and the results show the effectiveness of the proposed method.

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)[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により収集された情報をもとに、ピーコンやFM多重放送を利用して、渋滞や旅行時間などの道路交通情報をカーナビゲーションに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、ITSスポットサービスを利用するためには、対応したカーナビが必要となり、インフラ整備も必

¹ 千葉工業大学
Chiba Institute of Technology

要なため VICS 同様、提供範囲に限りがある。一方で自動車センサとして捉え、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 [4]。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 [5]。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)[6][7][8][9][10][13] 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 NA に端末密度に関わらずパケット配送を可能とする CAF(Carry and Forward) による DTN(Delay Tolerant Networking) 機能を付加した Navi(NA for Vehicle Information) システムを提案し、評価を行った [11][12]。Navi システムでは、CAF と車間通信を用いて交通情報の共有を行う CAF 方式と、車間通信により集めた交通情報を LTE を利用してサーバーにアップロードし、共有する LTE 方式がある。LTE 方式は、交通情報が必要な際にサーバーに問い合わせを行うことで情報を取得するが、その頻度が高い場合、LTE 基地局に大きな負荷がかかる。このため、LTE を利用する基準として、Navi の通信範囲内に存在する車両台数の閾値を予め決めておき、その閾値を下回ったときに、サーバに問い合わせを行い不足している交通情報の補完を行う、限定 LTE 方式の評価を行った。しかし、限定 LTE 方式では予め通信範囲内に存在する閾値を決めておく必要があり、道路環境によっては常にサーバに問い合わせを行ってしまう可能性がある。このため、隣接する交差点の Navi から取得した交通情報の経過時間により、LTE 方式と CAF 方式を使い分ける lbLTE 方式を提案し評価を行う。

2. 関連技術

2.1 CAF(Carry and Forward)

車両だけで構成する VANET(Vehicular Ad-hoc Network) 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。CAF(Carry and Forward) と呼ばれる手法ではパケットを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 [15][16]。

2.2 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 世代の技術も採用していることから、第 3.9 世代と称される移動体通信規格である。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、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 [17][18]。なお、LTE を拡張して最大通信速度が下り 1Gbps、上り 500Mbps の通信を実現する第 4 世代の規格として LTE-Advanced が提案されている。下りの通信には 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。

2.3 NA(Nomadic Agent)

本研究で提案している 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、特定の場所に留まり情報を蓄積・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。また、NA には発生・移動・消滅という 3 つの基本動作がある。

2.3.1 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。

2.3.2 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。

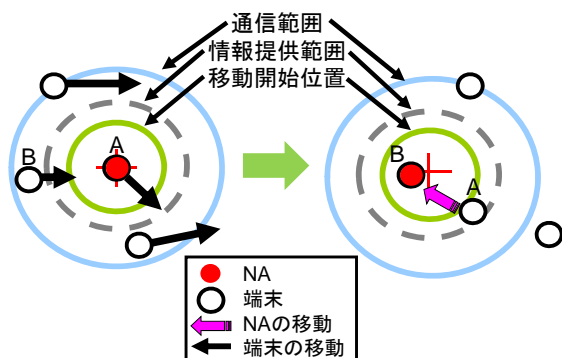


図1 NAの基本動作

2.3.3 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。

3. NAvi(NA for vehicle information)

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。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が移動するまでの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。NAviの発生位置は周辺道路の情報を収集しやすい交差点の中心とした。その理由として、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。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ている。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、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。

3.1 CAF方式

CAF方式では、マルチホップ通信により隣接する交差点に存在するNAviと交通情報の共有を行うが、何らかの理由により車両同士が通信できない場合、CAFを用いて情報共有を行う。CAF方式では、情報の転送先が見つからない車両が、情報を保持したまま移動を行い、隣接する交差点に向かう。交差点に到着した車両はNAviからのブロードキャストを確認し、ブロードキャストを確認できた場合は、そのNAviに向けて交通情報を転送する。交通情報を転送した際、同じリンクの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2)。しかし、隣接する交差点に到着してもNAviブロードキャストを確認できなかった場合は、協調動作が失敗したとみなし、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。

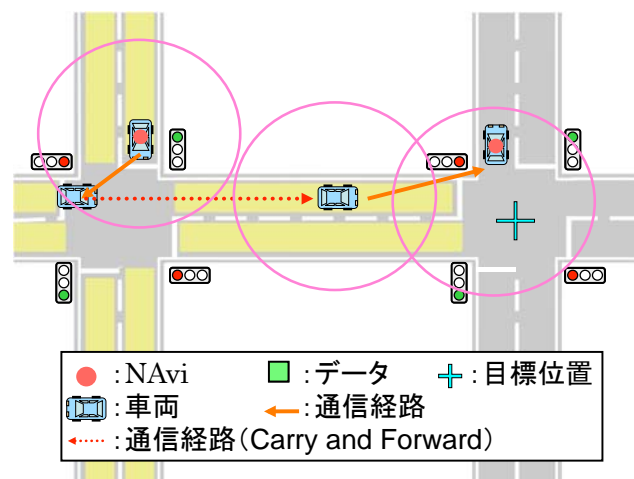


図2 CAF方式

3.2 LTE方式

NAviは自身の存在する交差点近傍の交通情報を車車間通信により収集し、収集した交通情報を1秒間隔でLTEを用いてサーバにアップロードし、交通情報をサーバに蓄積する。NAviは自身の保持している交通情報に不足があつ

た場合、LTE を利用し、サーバに対して交通情報の補完を要求する。要求されたサーバは LTE を利用し、NAvi に対して要求された交通情報を提供する。この間、サーバに交通情報を要求した NAvi が端末間を移動した場合、移動先の端末から LTE を利用し、サーバに移動先の端末を知らせる。そのため、NAvi が周辺車両を代表してサーバに情報を要求することで、周辺の車両は LTE を利用する事なく情報を受け取ることができる。

3.3 限定 LTE 方式

常にサーバに問い合わせを行う LTE 方式に対し、限定 LTE 方式では、NAvi の通信範囲内に存在する車両台数が、4 台、8 台、12 台を下回った場合に限り、NAvi は LTE を利用し、クラウドサーバから交通情報を補完することを可能とする方式である (以下、それぞれの方式を LTE4、LTE8、LTE12 方式と表記する)。

4. lbLTE 方式

lbLTE 方式では、§3.3 述べた限定 LTE 方式と同様に、NAvi は自身の存在する交差点周辺の交通情報を車車間通信により収集し、LTE を用いて 1 秒間隔でサーバにアップロードを行う。限定 LTE 方式では NAvi の通信範囲内に存在する車両台数を予め決めておき、その車両台数の閾値を下回ったときに限り、サーバに問い合わせを行っていたため、交通量の少ない環境では頻繁に交通情報をサーバに問い合わせってしまった。本提案方式では、取得した交通情報が何秒前に送信された情報なのかを判断し、サーバに交通情報の問い合わせを行うか否かを選択する。このサーバに問い合わせを行うまでの経過時間を 60 秒、50 秒、40 秒とした 3 つの方式について評価を行った (以下、それぞれの方式を LTE60s、LTE50s、LTE40s と表記する)。また、経過時間によってサーバに問い合わせを行うか否かを決めるため、道路環境の影響を受けずにサーバの問い合わせ回数を減らし LTE の負荷を軽減できると考えられる (図 3)

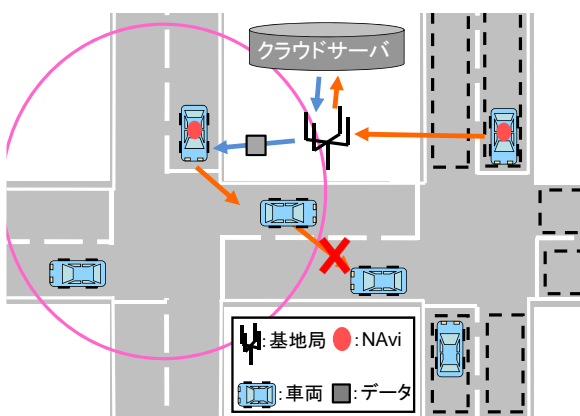


図 3 lbLTE 方式

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 | 3600 秒 |
| シミュレーション範囲 | 1600m × 1600m |
| 道路 | 片側一車線 |
| 車両進入台数 | 0.01~0.20(台/車線/秒) |
| 最高速度 | 60km/h |
| 通信方式 | IEEE802.11p, LTE |
| 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 | 1.0 秒 |

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 を使用し、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、400m 間隔で交差点が存在する格子状とした。また、青線の引いてある道路を国道と仮定した。シミュレーション時間は 3600 秒とし、シミュレーションパラメータを表 1 に示す。それぞれの端点から車両が進入する。この車両台数を変化させ、提案方式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 年度道路交通センサス 一般交通量調査 個別基本表」[19]を用いて、国道 14 号線の観測地名にある「千葉県習志野市谷津 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、平均 0.28 台/秒となる。なお、この値は上下線の合計であるため、片側 1 車線の交通量は半分の 0.14 台/秒とした。進入する車両台数の基準は 0.14 台/車線/秒とし、国道に接続する道路の進入台数は「平成 22 年度道路交通センサス 一般交通量調査 個別基本表」の「千葉県習志野市谷津 4 丁目 10-32」の地点を用い、交通量を 0.05 台/車線/秒とした。混雑時とそうでない時のシミュレーションを行うため、国道のみ混雑している環境を 0.2 台/車線/秒、そうでない環境を 0.01 台/車線/秒とし、その間を 0.01 台/車線/秒のきざみで変化させた。また、道路に進入する車両は設定値を平均とした一様乱数で決まる時間だけ間隔をあけた。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。

6. 結果

シミュレーションを行った結果を図 5~図 9 に示す。情報ロス時間の割合とは、NAvi の取得した交通情報が予め決められた時間が経過して破棄された後、また新たに交通情報を取得するまでの、交通情報を持っていない時間の累積時間の全時間に対する割合のことである。もし NAvi

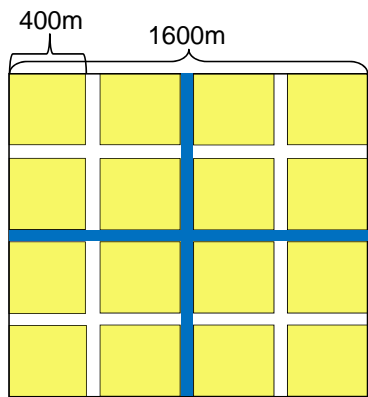


図 4 シミュレーション環境

が、情報を破棄する前に、現在保持している交通情報よりも新しい交通情報を取得できた場合は、古い情報は新しい情報に上書きされる。比較対象は、先行研究 [14] において、LTE と車車間通信を効率的に利用することのできた LTE8 方式とした。図 5 は各車両密度での情報ロス時間の割合であり、図 6、図 8 は車車間通信、LTE をそれぞれ利用した回数の合計、図 7、図 9 は Navi が取得した情報が送信されてから、Navi に到着するまでにかかった時間の平均である。図 5 より、提案方式は LTE8 に比べ車両進入台数が 0.01 台/車線/秒~0.06 台/車線/秒の時、特に情報ロス時間の割合が大きいことがわかる。これは、本提案方式は取得した交通情報が予め決められた時間を経過するまで、サーバに問い合わせを行わないのに対し、LTE8 では通信範囲内に存在する車両台数によりサーバに問い合わせを行うか否かを定めるため、車両密度が平均より低い環境では、LTE8 は頻繁にサーバに問い合わせを行い、情報ロス時間の割合が小さくなったためである。しかし、シミュレーションの対象とした国道の平均進入台数である 0.14 台/車線/秒付近では、提案方式と LTE8 の情報ロス時間の割合の差は小さくなっている。図 6 より、車両進入台数が大きくなるにつれ、提案方式のほうが車車間通信の回数が LTE8 に比べ多くなることがわかる。また、図 8 において、車両密度が増えても LTE の利用回数は大きく増加していないことから、LTE の利用を抑え車車間通信を有効に利用できていることがわかる。それに対し、LTE8 では車両進入台数が大きくなるにつれ通信範囲内に存在する車両台数が増加するため、LTE の利用回数が減少傾向にあるものの、提案方式の LTE60s や LTE50s と比べると、LTE を利用した回数に 40 回ほどの差が見られた。図 7 と図 9 においてはシミュレーションを行った各方式ごとに大きな差は見られなかった。しかし、0.05 台/車線/秒と比較的車両密度の低い環境では、LTE を利用して取得した交通情報が古いことがわかる。これは、交通量が少ないため、Navi の発生していない交差点が存在し、少し前に存在していた Navi がサーバにアップロードした情報を取得してしまったためである。LTE8 と提案方式を比較した結果、情報ロ

ス時間の割合に差が見られたが、車両密度が大きくなるにつれ差は小さくなり、LTE の利用回数を大幅に削減できることが分かった。このため、提案方式を用いることで LTE 基地局の負荷を低減し、車車間通信を効率的に利用することが出来ると考えられる。

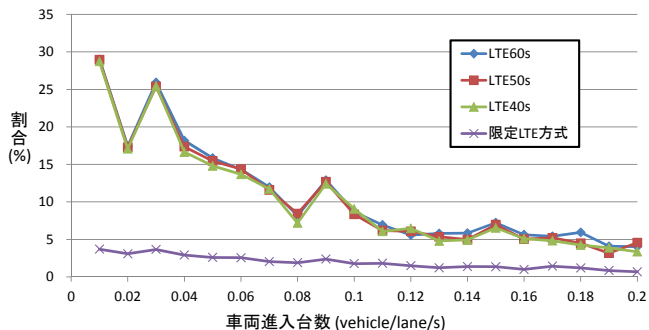


図 5 情報ロス時間の比率

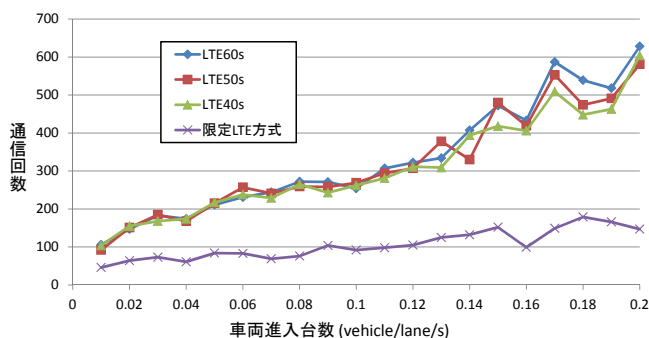


図 6 車車間通信の利用回数

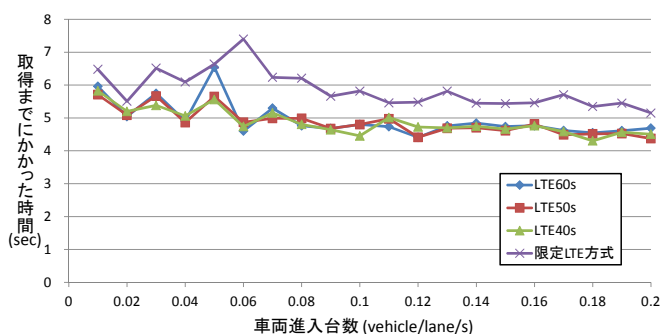


図 7 車車間通信で送信された情報を取得するまでの時間

7. 結論

VICS など、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交通情報を表示するシステムが ITS の一環として整備されている。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のため、サービスの提供

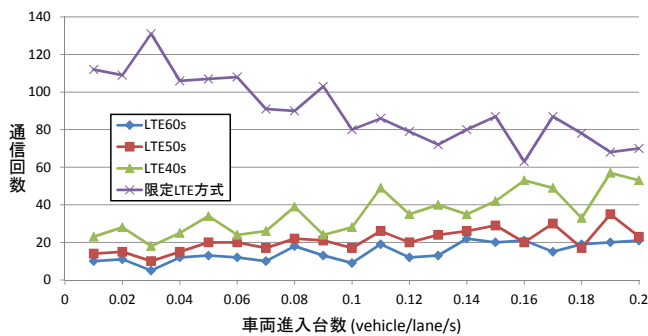


図 8 LTE の利用回数

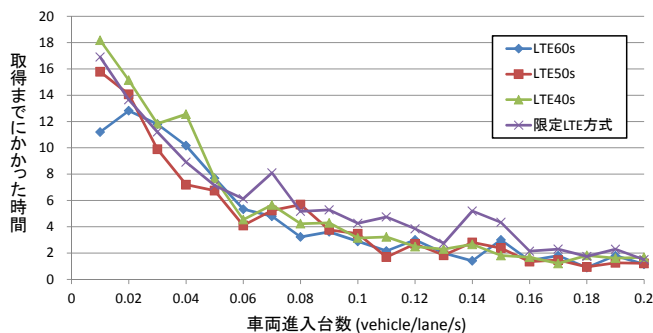


図 9 LTE で送信された情報を取得するまでの時間

範囲に限りがある。そこで鈴木らは、NA を車両がもつ資源や移動特性に合わせ、Carry and Forward による CAF 機能を付加した NAvi の提案と評価を行った [20]。しかし、CAF の性能は距離が離れるにつれて低下してしまうことや車車間通信を利用するため、情報の収集・提供できる範囲が道路環境の変化により安定しないという問題点がわかった。そこで、近年携帯端末で利用されている 3G 回線や LTE(Long Term Evolution) 等のモバイル用の回線に注目し、交通情報をサーバに蓄積し遅延時間の短い LTE を利用した NAvi システムの評価を行った。しかし、携帯端末と基地局を共用するため、一度に多数のアクセスが行われた場合、帯域不足が考えられる。そこで著者らは、NAvi の通信範囲内に存在する車両台数により、サーバの問い合わせを行うか否かを決定する限定 LTE 方式を用いた NAvi システムを提案した [14]。限定 LTE 方式を用いた NAvi システムでは、車両密度の高い環境の場合、LTE を利用する回数は少なくなったが、車両密度の低い環境では、LTE を利用する回数を抑えることが出来なかった。

そこで、本研究では LTE の利用回数を減らしながら、NAvi システムの特徴でもあるリアルタイムな情報共有を行うために、lbLTE 方式を提案した。本提案方式の評価にあたり、車両密度によって LTE を利用するかを決める限定 LTE 方式を比較対象とした。シミュレーションの結果、本提案方式と限定 LTE 方式と比較すると車両密度が 0.01 台/車線/秒の環境において、最大で 88%LTE の利用を抑えることが出来た。また、限定 LTE 方式との比較では、車車間通信を利用して、隣接する交差点に存在する NAvi に

交通情報が届くまでの時間と、サーバに問い合わせを行い NAvi が交通情報を取得するまでの時間については差は見られなかった。そのため、LTE の利用を抑え効率的に情報を取得できたと考えられる。車両密度の低い 0.01 台/車線/秒～0.06 台/車線/秒の環境においては、NAvi が保持している情報の数に限定 LTE 方式と提案方式で 25%ほどの差が見られたが、シミュレーション対象とした道路の平均進入台数である 0.14 台/車線/秒の環境では、NAvi が保持している情報の数が 4%しか差がなく安定した情報提供や取得が可能と思われる。本提案方式では、取得した情報の経過時間からサーバに問い合わせを行うまでの時間を 60 秒、50 秒、40 秒と 3 つの方式でシミュレーションを行ったが、取得できる交通情報の数などに差が見られないことから、LTE の利用回数が最も少なく、車車間通信によって交通情報を取得する回数の多かったサーバに問い合わせを行うまでの時間を 60 秒としたとき、最も LTE の利用回数を抑え一定の交通情報を取得できると考えられ、本提案方式を NAvi に用いる事で、渋滞緩和に高い効果が期待できる。今後の課題として、NAvi の移動や消滅が頻繁に発生するような環境では、安定した情報提供が行えない場合があった。そのため、DNA や ANA などを効率的に用いることで、より安定した情報提供が可能になると考えられる。

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.mlitt.go.jp/road/index.html>
- [4] HONDA Internavi <http://www.honda.co.jp/internavi/>
- [5] 国土交通省道路局, 「渋滞の現状と施策体系」 <http://www.mlitt.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] 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).
- [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, 「状況に適應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] 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).
- [12] 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).
- [13] 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).
- [14] 勝田将太, 屋代智之, 「LTE と車車間通信を用いて情報配信の安定性を高める Navi システムの提案」, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2013) シンポジウム, pp.1503-1509 (2013).
- [15] T.Small, Z.J.Haas, "Resource and Performance Trade-offs in Delay Tolerant Wireless Networks," in Proc. WDTN, (2005) .
- [16] T.D.C.Little, A. Agarwal, "An Information Propagation Scheme for VANETs," MCL Technical Report No. (Jul.2005) .
- [17] 「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.
- [18] Abeta, S. "Toward LTE commercial launch and future plan for LTE enhancements (LTE-Advanced)," IEEE International Conference on Communication Systems(ICCS) 2010, pp.146-150(17-19 Nov.2010).
- [19] 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"
- [20] 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).