

携帯電話網を併用した位置情報管理に基づく 車車間通信手法の提案

野村 晃啓¹ 佐藤 健哉¹

概要：

知的交通システム (ITS : Intelligent Transport Systems) において、道路交通の安全性や効率性、快適性の向上を目指す研究が盛んに行われている。中でも車車間通信では、接続された車両のみで構成される自律分散型ネットワークである VANET (Vehicular Adhoc Network) がインフラ設備を必要としないネットワーク形態として注目されている。VANET におけるルーティングプロトコルの 1 つである位置情報利用型では、VANET 全体への制御メッセージ等の配信が不要であり、VANET における有望なアプローチであると考えられる。しかし Unicast 型伝送方式の場合、Location Service を利用することが前提となる。既存の Location Service ではパケットを VANET 全体にフラッディングする必要があるため、帯域逼迫といった問題が発生する。このため、VANET に適応した Location Service が求められている。本研究では、VANET 内の全車両の位置情報を一元管理したサーバをインターネット上に配置し、携帯電話網を用いて各車両がサーバへ問い合わせることで、終点車両までの経路情報を取得できる Location Service を提案する。これにより既存手法におけるオーバーヘッドを削減し、シミュレータ評価により提案手法において送信パケット数の削減とパケット到達率の向上を確認した。

Proposal for Inter-Vehicle Communication Based on Location Management Using Cellular Network

TERUAKI NOMURA¹ KENYA SATO¹

1. はじめに

近年、ITS の分野において、道路交通の安全性や効率性、快適性の向上を目指す研究が活発化している [1]。

車車間通信システムでは、赤外線通信 [2] や可視光通信 [3] 等を用いた通信手法が提案されているが、その中でも接続された車両のみで構成される自律分散型ネットワークである VANET (Vehicular Ad hoc Networks) がインフラ設備を必要としないネットワーク形態として多くの関心が向けられている [4]。車車間通信システムの実現により、渋滞を予測し車両密度の低い経路探索を行う渋滞回避などといった道路交通情報サービスや、ドライバの運転付加を軽減する隊列走行、車両同士の衝突防止を目的とした安全運転支援サービスが期待されている。

VANET では通信回数やトラフィック量におけるオーバー

ヘッドが増大することで、宛先車両までのパケット到達率の低下といった問題がある。特に位置情報利用型プロトコルにおいて利用される Location Service は、この問題に拍車をかける形となっている。そこで、これらのオーバーヘッドを考慮した効率的な Location Service の提案が必要である。

一方で、事故発生時に携帯電話網を利用して自動的に緊急コールセンターへ通報することで、迅速な援助の提供を目的とした車両緊急通報システムが注目されている。欧州では、車両緊急通報システムを eCall [5] と呼び、2018 年 4 月以降新たに販売されるすべての自動車に eCall の搭載義務化が決定している。これに伴い、携帯電話網を利用した新たなサービスも期待される。

本研究では、VANET 内の全車両の位置情報を一元管理したサーバをインターネット上に設置し、携帯電話網を用いて各車両がサーバに問い合わせることで、終点車両ま

¹ 同志社大学大学院理工学研究科情報工学専攻

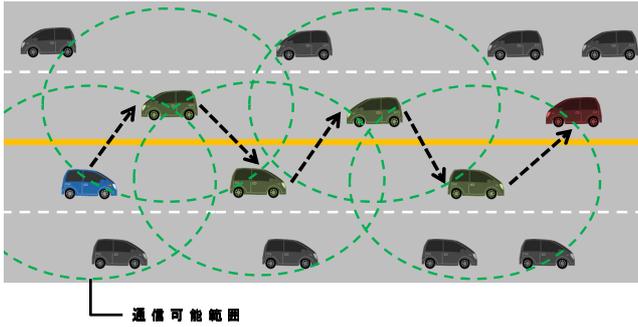


図 1 VANET の概要

での経路情報を取得できる新しい Location Service を提案し、VANET におけるオーバーヘッドの削減を目的とする。

2. VANET

2.1 概要

VANET とは、車車間通信に利用される自律分散型ネットワークのことで、インフラ設備を必要とせず、無線で接続できる端末のみで構成される。通信の宛先とする終点車両が通信範囲外に存在する場合、始点車両から終点車両間に位置する車両を中継車両としてマルチホップ通信を行い、間接的に通信を実現する。図 1 に VANET の概要を示す。

2.2 従来手法

2.2.1 フラッドイング

フラッドイングとは、宛先となる車両を指定せず、Broadcast により通信範囲内の全周辺車両へデータを伝送する手法である。最も代表的であるピュアフラッドイングは、パケットを受信した車両は予め指定されたホップ数に達するまで Broadcast を繰り返す方式である。Broadcast 信号が帯域幅を逼迫することにより、Broadcast Storm[6] という現象が発生する問題がある。

2.2.2 位置情報利用型

位置情報利用型は、固有の車両 ID を用いず GPS 等から得られる位置情報を用いてルーティングを行いパケットを伝送する手法である。この手法では、予め各車両が定期的な位置情報が付加された Hello メッセージを Broadcast を用いて配信することで周辺車両との位置情報の共有を行い、これらの位置情報から中継車両選択を行い終点車両までパケットを伝送する。中継車両の選択方法の例として、Greedy Forwarding[7] が挙げられる。Greedy Forwarding では、パケットの伝送を行う車両は終点車両の方向に対して最も前進距離が大きい車両を中継車両として選択する。位置情報利用型では定期的な Hello メッセージの配信は周辺車両に限られる。そのためアドレスベースルーティング型のように VANET 全体に制御メッセージを送信する必要がないので、比較的オーバーヘッドが小さい手法である。

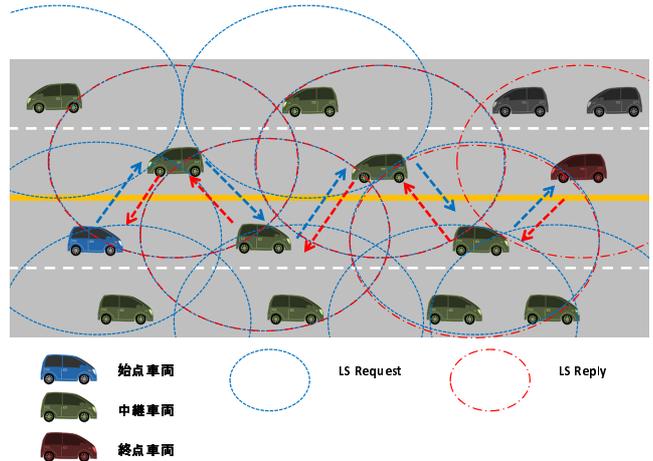


図 2 Location Service の概要

しかし始点車両から終点車両に対して 1 対 1 の通信を行う Unicast を用いる場合、Location Service と呼ばれる機能を用いて終点車両の位置情報を知る必要がある。

2.2.3 Location Service

Location Service について図 2 に示す。Location Service は、車両 ID からその車両の位置情報を探索する機能を指す。主に位置情報利用型において始点車両が Unicast を行う際に、宛先とする終点車両の位置情報を保持していない場合に利用される。始点車両は終点車両の車両 ID を付加した LS Request パケットをフラッドイングし、周辺車両は終点車両に届くまで受信した LS Request パケットを転送していく。LS Request パケットが終点車両に届いた場合、終点車両は自身の位置情報を付加した LS Reply パケットを元の経路をたどって始点車両へ応答する。

3. Location Service の問題点

Location Service では、LS Request パケットを VANET 全体にフラッドイングする必要があるため、VANET におけるトラフィック量の増大が懸念される。またこれに加えて、Location Service 開始から終了までの遅延や電波干渉によるパケットロスにより、パケット到達率の低下といった問題が発生する。これは前述の VANET におけるオーバーヘッドの問題に拍車をかける形となっており、VANET に適応した Location Service の手法を検討する必要がある。

4. 提案手法

4.1 概要

本研究では、VANET 内の全車両の位置情報を一元管理したサーバをインターネット上に設置し、携帯電話網を用いて各車両がサーバに問い合わせることで、終点車両までの経路情報を取得できる新しい Location Service を提案する。これにより VANET における帯域逼迫を抑制し、3 章

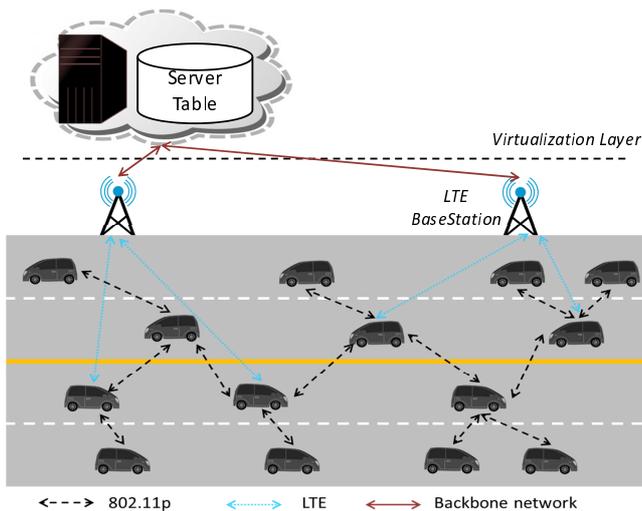


図 3 提案手法のフレームワーク

で指摘した既存の Location Service における問題点を解決する。そして結果として、VANET 性能の向上を図る。提案手法のフレームワークを図 3 に示す。

4.2 前提条件

提案手法における車両の前提条件として以下を挙げる。

- (1) 全ての車両は無線通信機器が搭載されている
- (2) 全ての車両は車線の判別が可能な位置測位システムが搭載されている
- (3) 全ての車両は LTE モジュールが搭載されている

4.3 提案手法の構成

提案手法の構成を図 4 に示す。提案手法では Unicast 配信要求を行う複数のアプリケーションと、Broadcast と Unicast の車車間通信、また携帯電話網を用いた Location Service から構成される。

アプリケーション層では、緊急性の高い安全運転支援アプリケーションを始めとした多くのアプリケーションが備わっている。各アプリケーションでは、必要な時間・宛先に向けた Unicast 配信要求を行う。車車間通信では、周辺車両に対する周期的な Broadcast と、アプリケーション層から要求を受けた Unicast の 2 つの配信機能を用いる。この 2 つの配信機能を用いて、車両情報等を通信範囲内外の車両に広告する。Unicast では、始点車両から終点車両に対して、1 対 1 のマルチホップ通信を実現する。Unicast 配信要求時に始点車両が終点車両の位置情報を保持していない場合、Location Service の要求を行う。始点車両は携帯電話網を使用して、終点とする車両 ID を含む LS Request パケットをサーバに送信することによって、始点車両から終点車両までの経路情報で構成される LS Reply パケットを受け取ることができ、この経路情報を利用した Unicast が実現される。この前提として、各車両は車両 ID や位置などを含む LS Update パケットをサーバに周期的に送

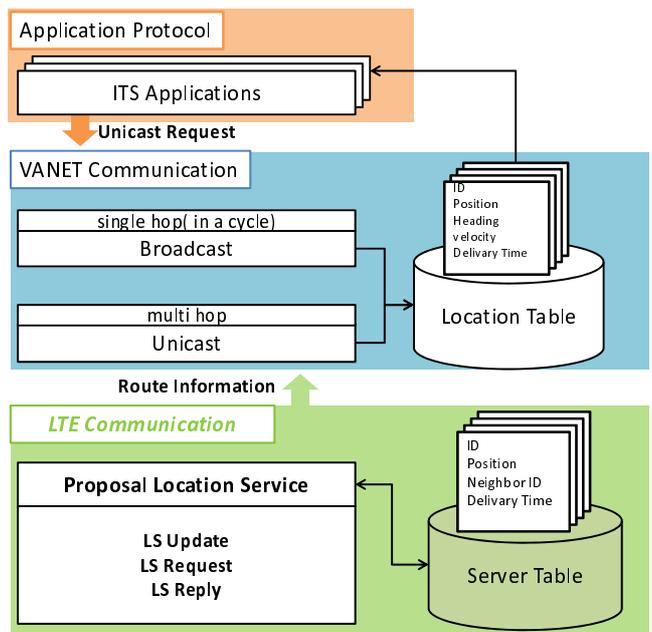


図 4 提案手法の構成

信し、サーバがこれらを管理する。また、Broadcast 及び Unicast によって得られた車両情報は、車内データベースの Location Table に格納する。

5. 提案する Location Service

提案する Location Service について図 5 に示す。また、提案する Location Service に用いられるパケットの構成を図 6 に示す。既存の Location Service は、始点車両から LS Request パケットをフラッディングし、LS Request パケットが終点車両に届いた場合、終点車両は自身の位置情報を付加した LS Reply パケットを元の経路をたどって始点車両へ応答する必要があった。一方提案する Location Service では、サーバが VANET 内の全車両から携帯電話網を用いて周期的に送信される LS Update パケットを管理する。これにより VANET 内の車両は携帯電話網を利用してサーバへ問い合わせを行うだけで、即自的に Location Service を利用することができる。また従来では、自身の Location Table に格納されている情報から中継車両を選択し伝送を繰り返すことで、終点車両に対してのマルチホップ通信を実現した。しかし経路の確立を行わずに伝送を繰り返すので、選択した中継車両によっては終点車両までの経路が存在しない場合がある。そこで提案する Location Service では、サーバにおいて始点車両から終点車両までの経路を計算し提供することで、到達性が高いマルチホップ通信を実現する。

提案する Location Service における、LS Update の処理シーケンスを図 7 に示す。VANET 内の各車両は、車両 ID、送信時刻、位置情報、隣接車両 ID リストを含む LS Update パケットを生成し、周期的にサーバへ送信する。こ

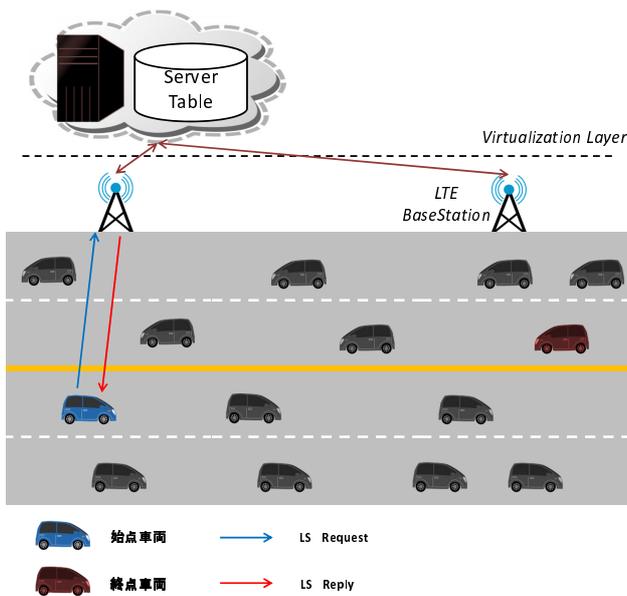


図 5 提案する Location Service

LS Update Packet

NodeID	SequenceNumber	SendTime	Position	NeighborIDList
--------	----------------	----------	----------	----------------

LS Request Packet

NodeID	SequenceNumber	SendTime	destNodeID
--------	----------------	----------	------------

LS Reply Packet

ServerID	SequenceNumber	SendTime	NodeIDVector
----------	----------------	----------	--------------

図 6 提案する Location Service に用いられるパケットの構成

ここで隣接車両 ID リストとは、Broadcast によって得られた周辺車両の車両 ID のことであり、サーバでの経路情報の計算に用いられる。LS Update パケットを受信したサーバは、格納されている情報からサーバテーブルを更新する。

提案する Location Service における、LS Request から LS Reply までの処理シーケンスを図 8 に示す。Location Service の開始要求が発生した場合、始点車両は車両 ID、終点車両 ID を含む LS Request パケットを生成し、サーバに送信する。LS Request パケットを受信したサーバは、サーバテーブルを参照し、始点車両から終点車両に至るまで順に中継車両を選択していき、選択した中継車両の車両 ID 群から構成される経路情報を生成する。この際の中継車両の選択は、LS Update パケットから得られた各車両における隣接車両 ID から Greedy Forwarding によって順に選択する。そしてサーバは計算した経路情報を含む LS Reply パケットを生成し、始点車両に送信する。始点車両が LS Reply パケットを受信すると Location Service を完了する。

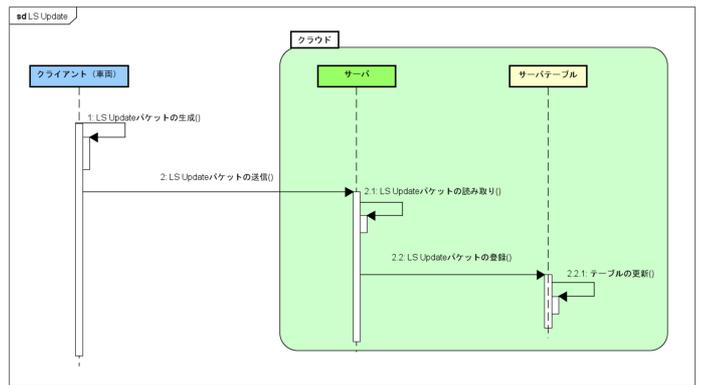


図 7 LS Update の処理シーケンス

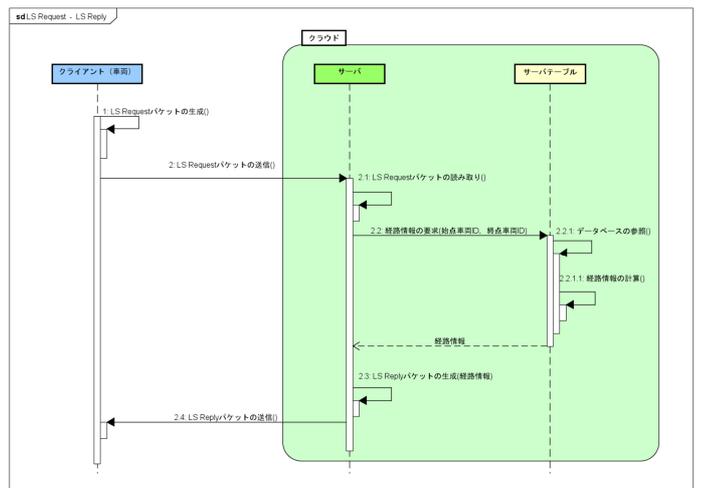


図 8 LS Request から LS Reply までの処理シーケンス

そして始点車両は Location Service によって得られた経路情報と車両情報から構成されるパケットを生成し、Unicast を開始する。この際に宛先とする中継車両は、パケットに付加された経路情報から先頭の車両 ID を取り出し、決定する。以降パケットを受け取った中継車両は、同様の動作により次の中継車両を決定し、終点車両に至るまで中継を行い Unicast を実現する。

6. 評価

6.1 シミュレータ

本研究では、提案手法の性能評価にシミュレータとして Scenargie[8] を用いた。Scenargie は Space-Time Engineering (STE) 社が開発したネットワークシミュレータである。様々な拡張モジュールと組み合わせることで、LTE や車車間通信、マルチエージェントシミュレーションなど多様なモデルを構築することができる。また、近年の通信システムや評価シナリオが複雑になってきていることから、シナリオ作成の作業を大幅に低減する工夫がなされている。その例として、GUI によるシナリオ作成や地図データと通信システムのグラフィカルな情報表示、電波伝播解析機能などが挙げられる。

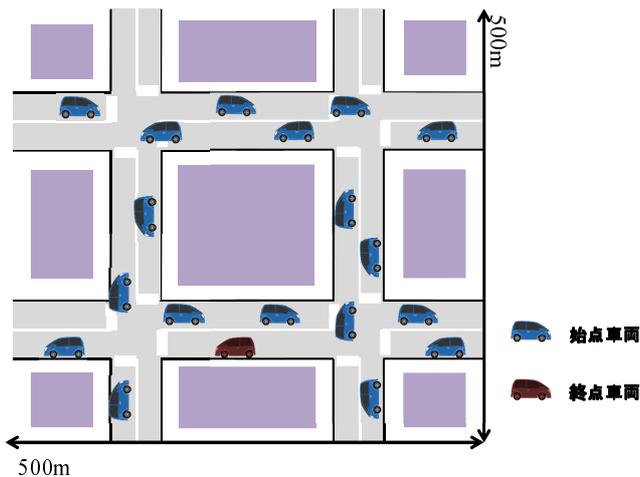


図 9 シミュレータ環境

表 1 シミュレーションパラメータ

シミュレータ	Scenargie 1.7	
シミュレータ時間	100s	
車両台数	30 台/60 台/90 台	
モビリティモデル	GIS-BASED-RANDOM-WAYPOINT	
MAC 層	ARIB STD T109	LTE(提案手法のみ)
ネットワークインターフェース	無線	
使用周波数帯	700MHz	2.5GHz
電波伝播モデル	ITU-R P.1411	LTE-Macro
電波出力	20dBm	23dBm
アンテナ地上高	1.5m	

6.2 評価モデル

図 9 にシミュレータ環境を示す。本シミュレータ環境では、障害物に囲まれた 4 つの交差点を有する 500m 四方のエリアを想定する。

評価では、表 1 で示したシミュレーションパラメータを用いる。モビリティモデルの GIS-BASED-RANDOM-WAYPOINT は、各車両がランダムに通過点を決定しその通過点を走行するように道路に沿って移動していくモデルである。車両速度は、各車両が 30km/h~70km/s をランダムに速度変更をしながら走行するものとする。モビリティモデル及び車両速度にランダム要素を加えることで実際の車両走行環境に近いものを再現する。ITU-R P.1411 モデルは、道路マップ情報を考慮した電波伝播モデルであり、道路の形状に応じて電波が減衰するので、直接波と地面からの反射波を考慮した Two-Ray モデルと比べると現実に近いモデルとなっている。

本研究では、緊急性の高いアプリケーションにおいても対応できるかを検証するため、安全運転支援アプリケーションを想定したシミュレーションを行う。評価項目は、VANET における送信パケット数、Location Service を介した Unicast 配信完了までの遅延時間、Location Service を介した Unicast 配信におけるパケット到達率とする。

比較手法とする既存手法及び提案手法では、位置情報利

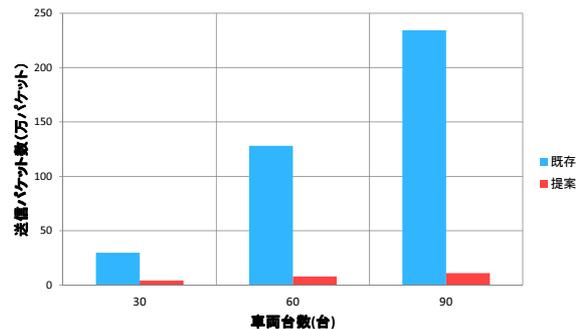


図 10 VANET における送信パケット数

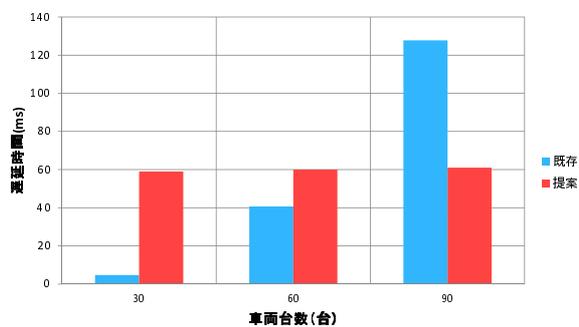


図 11 Location Service を介した Unicast 配信完了までの遅延時間

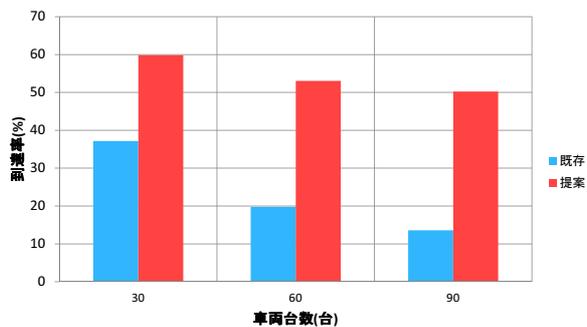


図 12 Location Service を介した Unicast 配信におけるパケット到達率

用型の Unicast 型伝送方式を用い通信範囲内外の車両に対して周期的に車車間通信を行う。Unicast 配信要求時に始点車両が終点車両の位置情報を保持していない場合、それぞれの Location Service を利用して Unicast を行う。また本シミュレーションでは、VANET 内で 1 つに特定された終点車両に対して Unicast を行う。これにより様々な通信距離、車両の位置関係をとる通信のシミュレーションを実現する。

6.3 評価結果

評価モデルにおけるシミュレーション結果を図 10, 図 11, 図 12 に示す. 図 10 は VANET における送信パケット数を, 図 11 は Location Service を介した Unicast 配信完了までの遅延時間を, 図 12 は Location Service を介した Unicast 配信におけるパケット到達率を表している.

7. 考察

7.1 送信パケット数

図 10 から, 提案手法では, 既存手法に比べ VANET における送信パケット数を 9 割ほど削減できていることが確認できる. 既存手法では Location Service の際に, フラディングによって始点車両から終点車両に達するまで Broadcast を繰り返すため, この過程で生成されるパケットが増加する. 一方, 提案手法における Location Service は, あらかじめ VANET 内の各車両からの LS Update により, サーバは VANET 内の車両の位置情報を管理しているため, LS Request と LS Reply の 2 回の通信によって Location Service が完結する. これにより, 既存手法の VANET における送信パケット数の大部分を占めていた Location Service のパケットを削減できている.

7.2 遅延時間

図 11 から, 提案手法では, 既存手法に比べ車両台数が 30 台, 60 台において遅延時間が増加した. これは提案手法における Location Service では, 車両台数に関係なく 50ms ほどの LTE 接続遅延が発生した為である. また既存手法での VANET における終点車両のまでの到達パケットが, 平均 2hop の比較的近距离の通信が多かったということも理由の 1 つである. 一方で車両台数が 90 台においては, 提案手法では, 既存手法に比べ遅延時間が半分以下に減少した. これは既存手法における Location Service はフラディングを行うのでパケットの衝突が頻繁に発生し, Location Service 完了までの遅延時間が大きくなったためである. 提案手法では, どの台数においても 60ms ほどの遅延時間であり, 100ms 間隔で送信を行う安全運転支援アプリケーションを想定しても許容できる範囲に収まっている.

7.3 パケット到達率

図 12 から, 提案手法では, 既存手法に比べ到達率が大幅に向上していることが確認できる. 位置情報利用型の通信方式では, パケットの衝突や遅延が発生した場合, 車両の移動特性により終点車両までのパケット到達率が低くなる. 提案手法では, 既存手法に比べ, 送信パケット数や遅延時間を削減できたことから, パケットの衝突回数の抑制や通信の即時性が向上し, 到達率が向上したと考えられる.

7.4 提案手法の考察

3 つの評価項目から, 提案手法では携帯電話網を利用した Location Service を用いることで, 既存手法と比較して VANET における送信パケットの削減, トラフィック量の抑制を行った. その結果, 遅延時間が増大した項目もあったが, 一定して 100ms 以下の遅延時間であったので許容範囲であるといえる. パケット到達率においては, 既存手法と比較して向上した. 特に車両密度が増加するほど, 評価項目における VANET 性能の向上率の増加を確認でき, 提案手法の優位性を示した. 今後は, サーバが VANET 内の全車両の位置情報を一元管理している点を生かし, 複数経路や動的なルーティングといった手法により, より低遅延で高い到達性を目指す.

8. おわりに

ITS (Intelligent Transport Systems) の分野において, 無線通信技術を利用して周辺環境の把握を行う VANET (Vehicular Ad-hoc Network) が注目されている. VANET では他車両を経由することで電波の特性上通信が届かない車両に対してもデータの送受信が可能となる. 安全運転支援のような緊急性の高いアプリケーションでは, 定期的かつリアルタイムに通信範囲内外の車両に対して位置や速度といった車両情報を通信することが求められるため, オーバヘッドの増大は大きな問題となっている. また VANET における様々なルーティングプロトコルの中で, 比較的オーバヘッドが小さい手法として位置情報利用型のプロトコルが注目されている. しかしながら位置情報利用型では, Unicast 型の通信方式の場合 Location Service の利用が前提となっており, 前述の VANET における問題に拍車をかける形となっている. そのため, VANET に適応した Location Service が求められる. 一方で, 携帯電話網の車載化の動向から, 携帯電話網を利用した新たな ITS アプリケーションも期待されている.

そこで, 本研究では携帯電話網を併用した Location Service を提案することで, VANET におけるオーバヘッドを抑制し, 性能を向上させる手法を提案した. 提案手法では, あらかじめ VANET 内の各車両が携帯電話網を用いて位置情報等をサーバに周期的に送信し, サーバがこれを一元管理を行う. これにより LS Request と LS Reply の通信により Location Service が実現され, 既存手法と比べてオーバヘッドを削減することができる. 提案手法の評価では, Scenargie を用いたシミュレーションにより, 既存手法との比較を行った. シミュレーション結果から, 提案手法では既存手法と比べ, 送信パケット数が減少し, それに伴って到達率の向上を確認できた. また車両密度が増加するにつれ, 既存手法との VANET 性能の向上率が高くなることが確認でき, 総じて提案手法の優位性を示すことができた.

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 (JP16H02814) および文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 津川 定之：高度道路交通システムにおける通信システム, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.J82-B, No.11, pp.1958-1965(1999).
- [2] 藤井 治樹, 平尾 良和：赤外線による車々間通信, 電子情報通信学会技術研究報告 SANE, 宇宙・航行エレクトロニクス, Vol.96, No.276, pp.9-13(1996).
- [3] 中川 正雄：可視光通信と ITS, 電子情報通信学会技術研究報告 ITS, Vol.106, No181, pp.25-30(2006).
- [4] 間瀬 憲一：車々間通信とアドホックネットワーク, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.J89-B, No.6, pp.824-835(2006).
- [5] ETSI Organization, available from <http://www.etsi.org/news-events/news/960-2015-05-european-parliament-makes-ecall-mandatory-from-2018> (accessed 2016.04.18).
- [6] Yu-Chee Tseng, Sze-Yao Ni, Yuh-Shyan Chen, Jang-Ping Sheu: The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad Hoc Network, Proceedings of the IEEE/ACM MOBICOM, pp.151-162(1999).
- [7] Takagi Hideaki, Kleinrock Leonard, Optimal Transmission Ranges for Randomly Distributed Packet Radio Terminals, IEEE Transactions on Communications, Vol.32, No.3, pp.246-257, 1984.
- [8] SPACE-TIME Engineering, available from <http://www.spacetime-eng.com/jp/index.html> (accessed 2016.04.20).