

緊急出動経路交通量制御のための 車車間・路車間通信を用いた緊急車両経路更新方式

寺島 晃己¹ 高見 一正¹

概要：近年，事故や火災，災害等の事案は増加し，緊急通報の件数が年々増加している．これに伴い，緊急車両（パトカー，救急車，消防車等）の出動件数も増加傾向にある．本稿では，緊急車両の目的地への到着時間を短縮するため，車車間・路車間通信により経路を確保する方式を検討する．また，一般車両の渋滞を回避して目的地までの所要時間増加への影響を抑えることを目的とする．具体的には，緊急車両は一般車両及び路側機へ経路更新メッセージを送信することで安全な経路を確保し，一般車両の負担を軽減するために，緊急車両が通過後は制限した経路を随時解除する方式とした．新宿駅周辺の地形モデルでシミュレーションを行い，提案する経路更新方式と既存の経路確保方式及び一般走行方式の平均到着時間について比較した．経路更新方式が緊急車両の到着時間を改善でき，且つ，一般車両への影響も削減出来ていることを確認した．

An Emergency Vehicle Route Update Method using V2V, V2R Communications for Emergency Dispatch Route Traffic Control

KOKI TERASHIMA¹ KAZUMASA TAKAMI¹

1. はじめに

近年，事故や火災，災害等の事案は増加し，緊急通報の件数が年々増加している．これに伴い，緊急車両（パトカー，救急車，消防車等）の出動件数も増加の傾向にある．特に高齢者の急病患者が年々増えており，救急車両の出動の要請が上昇傾向にある．さらに，緊急車両の走行時間の増加も問題点に挙げられる．都市部や高速道路，脇道の少ない地域などの交通渋滞等により，緊急車両が指令を受けてから現場に到着するまでの所要時間が年々伸びるなど状況は悪化している．また，これらの原因による被害者の救命率の低下などが懸念される [1]．また，緊急車両と一般車両の出会い頭の衝突の危険がある．例えば，緊急車両が赤信号の交差点に進入する場合，青信号側の方から一般車両が緊急車両に気付かず侵入してくる事例が少なからず発生している．両者の不注意による点も大きいと考えられるが，緊急車両のサイレンや警報の通達にも限界があるとも考えられる．

このような交通状態の改善や交通事故の減少，輸送の効率化のために ITS (Intelligent Transport Systems) [2][3]の技術開発が進められている．特に，本稿の関連システムとして現場急行支援システム (FAST : Fast Emergency Vehicle Preemption Systems) [4]の研究が現在進められている．このシステムは緊急車両の走行を検知し，緊急車両を優先的に走行させ，現場への到着時間の減少，また緊急車両に起因

する交通事故の防止を目的としたシステムである．例えば，緊急車両の通行回数の多い地区（道路）に路側機（光ビーコン）を配置し，走行中の緊急車両を検知する．緊急車両の走行に合わせ，目的の信号機を制御するシステムである．緊急車両の通行を光ビーコンで察知し，対象となる信号機を操作する．しかし，緊急車両を認識して処理するまでに 10～15 分の時間がかかるとされている．また，利用頻度の高い主要経路にしか導入されてない．さらに，FAST では一般車両等への通知が直接されることがないため，緊急車両を優先しても，対象となる道路を走行中の車両の経路変更等の回避にはつながらない．

緊急車両が優先して走るルートに対して事前に情報を得ることができれば，一般車両にとっても緊急車両への直接的な対応を迫られることはなくなると考える．また，緊急事態の発生場所，時間，等の状況によって行き先などが変わる緊急車両に対して，リアルタイムで且つ柔軟に走行経路確保を行うことでの交通の円滑化などの問題の解消，また一般車両に対して情報を提示することで，事故などの危機回避が可能となる．さらに，自動運転制御の導入により，緊急車両に対する処理の自動化を行えば，事故の減少につながると推測される．尚，VANET (Vehicular Ad-Hoc Networks) [5][6]に基づく緊急車両の警告システム [7]も提案されている．しかし，評価は緊急車の運転手への聞き取りアンケートのみであり，緊急車両の目的地への到着時間の削減効果のシミュレーションによる評価はされていない．また，路側機の効果，建物の影響を考慮したより現実に近い電波伝搬モデルも考慮されていない．一方，このような

¹ 創価大学工学部情報システム工学科
Faculty of Engineering, Soka University

問題に対処するため、筆者等も緊急車両のための経路確保方式 [8]を提案した。本式は、車車間通信と路車間通信を用いて経路確保メッセージをシングルホップで配信し、一般車両の経路進入を防ぎ、到達時間の短縮を行った。しかしながら、通信範囲内全ての一般車両に同一の指示を下していたため、一般車両が渋滞して目的地への到着時間が増加した。また、シミュレーション評価に使用したシナリオマップは、格子状であり、実世界の地形に即していない。

本稿は、緊急車両の到達時間を短縮しつつ、一般車両の負担の軽減を目的とする。緊急車両は一般車両及び路側機へ経路更新メッセージを送信することで安全な経路を確保し、また一般車両の負担を軽減するために、進入制限した経路を随時解除する方式を提案する。第2章で提案システムの概要と課題を列挙し、その解決策を示す。第3章で提案方式を評価するために試作したシミュレーションシステムについて述べ、第4章で評価方法、評価結果を示す。第5章で本研究のまとめと今後の課題を記す。

2. 緊急車両の走行位置情報を考慮した使用経路情報更新方式

本章では、提案方式の詳細、及びその経路確保メッセージの拡散法として路側機による方法と一般車両による方法の2方式を示す。

2.1 緊急車両の通過経路情報の逐次更新方式

緊急車両が通過経路情報などを含んだ経路更新メッセージを近隣の車両に送信することで、緊急車両が使用する経路への進入回避を促す。また、路車間通信を通じ、使用経路の近くの路側機に経路情報を知らせることで、一般車両の進入を防ぐ。また、通過経路への進入を解除するメッセージを経路確保とは別に生成するのではなく、経路更新メッセージ内の情報を動的に更新することで、経路を解除する手法を用いる。これにより新たなメッセージを生成する必要がなく、フラッティングの影響を削減できる。そのためには、緊急車両が現在走行している経路を把握する必要があるため、緊急車両はそのメッセージを送信する毎に、現在の通過道路情報を取得する。次に現在使用している経路と前回送信したメッセージ内に含まれる通過経路情報を照合し、既に通過した経路情報をそのメッセージ内から破棄することで、通過後の経路情報を更新する。そのメッセージ送信元が移動体であることから、位置情報を随時取得することで、正確かつ効率的な経路の解除が可能になると考えられる。

例えば、図1のような地図において、緊急車両が図1の赤枠で示されるスタート地点(Fire Department)からゴール地点(Hospital)に移動する際、到着までの経路を計算し、使用経路(枠線内の道路)を決定する。その後、それらの道路IDを含んだ経路更新メッセージを一般車両に向けてプロ

ードキャストする。この際のそのメッセージ送信間隔を T とする。

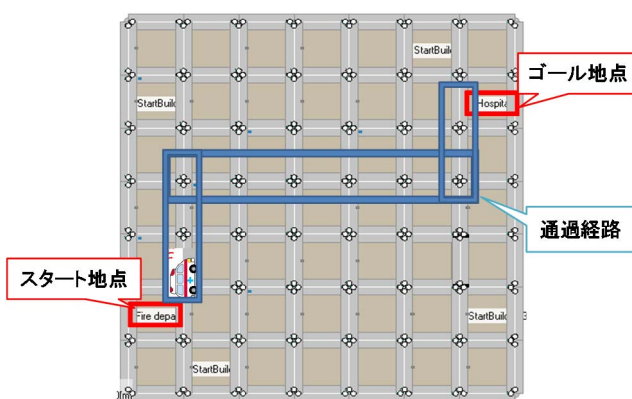


図1 緊急車両使用経路の取得
Figure1 Acquisition of an emergency vehicle route.

緊急車両は T 秒ごとにそのメッセージを送信する際に、自身の走行位置情報を確認し、最新の配信メッセージの経路情報と照合する。図2では、現在の位置情報から既に通過した道路ID(点線枠線内の道路)を経路情報内から破棄し、経路更新メッセージを送信する。受信した一般車両はその経路情報を更新し、通行可否を逐次判定する。

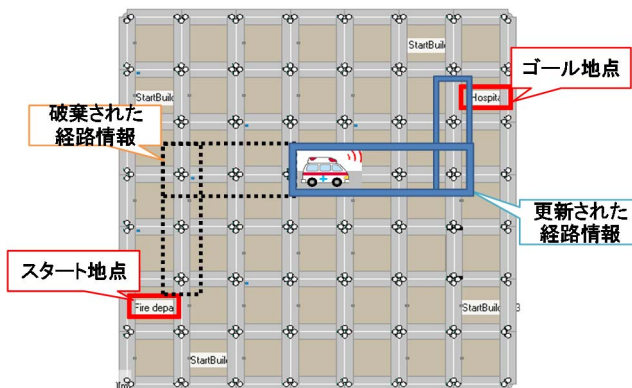


図2 緊急車両使用経路の確保と更新
Figure 2 Ensure and update emergency vehicle route.

一般走行では、緊急車両の現場到達時間が遅延し、経路確保方式では、一般車両が渋滞を起こし、走行時間が増大した。本提案の目標を図3のように位置づけ、これらの問題点の改善を図る。

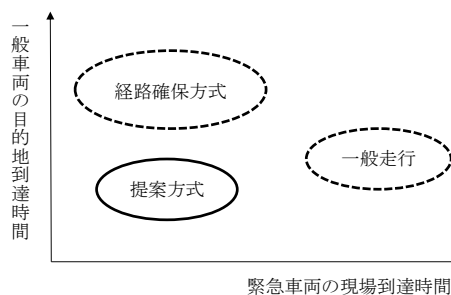


図3 提案方式の目標と位置づけ
Figure 3 Goal and positioning of the proposed scheme.

通信方式は VANET を用い、緊急車両が発信したメッセ

ージをマルチホップで一般車両まで送信する。尚、路側機へは専用のネットワークを介して送信する。送信端末と受信端末の両方に専用の車車間通信機器とアプリケーションが実装されていることを前提とする。本稿で想定する車車間通信プロトコルスタックを図4に示す。提案方式は、アプリケーション層に位置づけられる。ネットワーク層は、単純なパケットキャリー・アンド・フォワードプロトコルであると仮定する。また、本稿では、ネットワーク層の機能及びネットワーク層とアプリケーション層の間の機能配分については考慮しない。

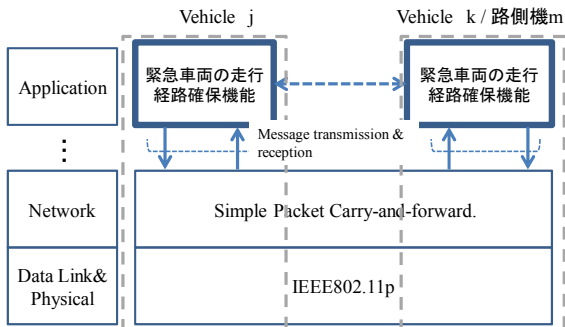


図4 想定するVANETのプロトコルスタック
Figure 4 Example of the assumed inter-vehicle communication protocol stack.

以上述べた方式を実現するため課題として、緊急車両及び路側機が送信する経路更新メッセージの定義と送受信及び各車両の動作のアルゴリズムを明確化する必要がある。走行経路情報や複数の緊急車両が介した場合の救急度による優先度などの複数の情報要素が必要となる。また、フラッティングの影響を削減するため、メッセージの有効期限や破棄条件などについても定義する必要がある。

2.2 経路更新プロトコルと処理アルゴリズム

経路更新メッセージには、緊急車両通過経路情報以外にフラッディングの影響を削減するために、Forwarding CountとSequence Numberをメッセージに設定する。Forwarding Countは後述するマルチホップ通信内で使用し、ホップ回数を制限することで、伝搬範囲を限定する。また、緊急車両から一定間隔で送信されるメッセージ毎にSequence Numberを割り当てることで、受信済みのメッセージの再受信を防ぐ。そして一般車両の負担を軽減するために、Discard Timeを設定する。一般車両は一度、メッセージを受信してから一定間隔後にそのメッセージを破棄することで、通行禁止経路を解除し、通常運転を行う。なお、Discard Time内に新しいメッセージが受信された場合はメッセージを更新する。

＜経路更新メッセージに設定する情報要素＞

- ① 緊急車両通過経路情報(RoadID)
- ② Forwarding Count(FC)
- ③ Discard Time(Td)
- ④ Sequence Number(SqN)

以上で述べた提案方式の処理ステップを以下にまとめる。

STEP1. 緊急車両は出発地から目的地までの走行経路を決定し、通過道路IDを含んだ経路更新メッセージを一般車両や路側に向けてT秒毎にブロードキャスト。

STEP2. 緊急車両はそのメッセージを送信する際に、自身の走行位置情報と配信した最新のメッセージの経路情報を照合する。

STEP3. 現在走行位置情報から、既に通過した道路IDを配信するメッセージ内から破棄して経路情報を更新する。

STEP4. 更新した経路更新メッセージを送信する。

STEP5. 目的地に到着するまでSTEP2~STEP4を繰り返す。

2.3 経路隣接路側機からのメッセージ拡散法

路側機とは、交差点、信号機等に設置された情報通信インフラを指す。本稿での路側機の役割は、緊急車両の経路更新メッセージ配信の中継を務めることである。図5に示すように、緊急車両が使用する経路付近に存在する路側機からメッセージをあらかじめ送信することで、効率的なメッセージの伝搬を目指す。前提として、シミュレーション内に存在する路側機はネットワークでつながっているものとする。

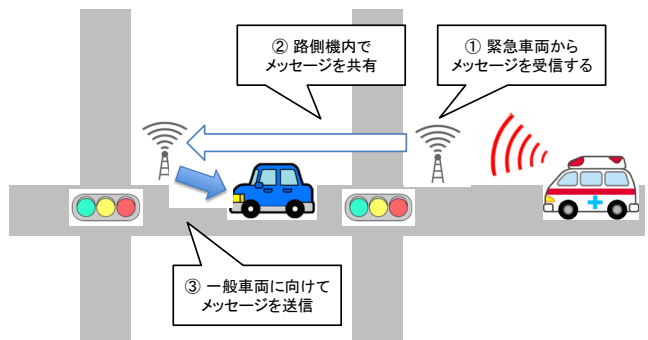


図5 路側機を用いたシングルホップ通信
Figure 5 Single-hop communication using a roadside unit.

上記で述べた路側機の処理ステップを以下にまとめる。

STEP1. 緊急車両から経路更新メッセージを受信した後に、マップ内に存在する全路側機内でそのメッセージを共有する。

STEP2. そのメッセージを共通された路側機は、自身の位置情報と経路情報を照合する。

STEP3. お互いの位置情報がLm以内であった場合、該当する路側機は、近接する一般車両に向けて、そのメッセージをシングルホップでブロードキャストする。

STEP4. そのメッセージを破棄する間隔をTdとし、Td秒以内に新たなメッセージが受信した場合はメッセージを更新し、送信する。

STEP4. Td秒以内に新たなメッセージが受信されなかった場合、受信済みメッセージを破棄する。

2.4 一般車両からのメッセージ拡散法

本メッセージ送信方式では、図 6 に示すように、緊急車両から経路更新メッセージを受信した一般車両が、他の一般車両に向けてマルチホップで情報を送信する。メッセージをマルチホップすることで、メッセージの伝搬範囲を効率的に拡大し、多くの一般車両がメッセージを受信することが期待される。

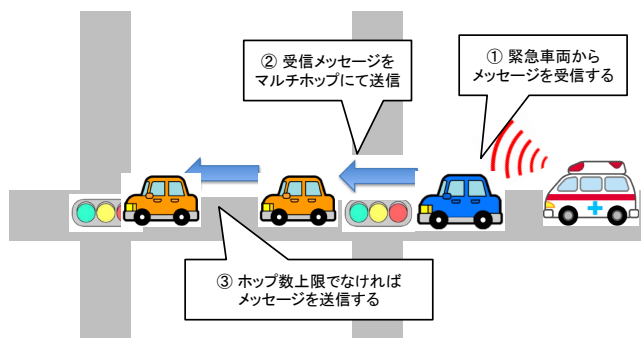


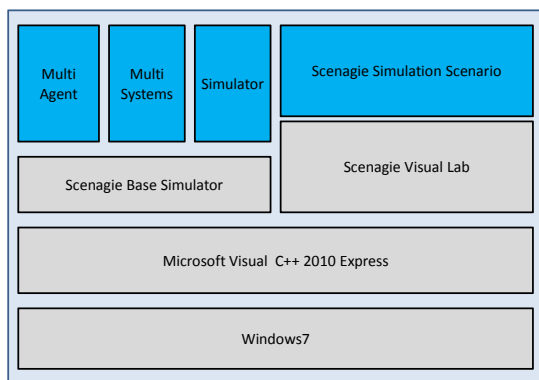
図 6 車車間通信を用いたマルチホップ方式
Figure 6 Multi-hop system using a vehicle-to-vehicle communication.

上記で述べた一般車両の処理ステップを以下にまとめる。

- STEP1. 一般車両は緊急車両から経路更新メッセージを受信した後、ホップ数を確認する。上限に達していた場合はメッセージを破棄する。
- STEP2. ホップ数が上限に達していない場合、メッセージのシーケンス番号を確認する。既に受信したメッセージであった場合、メッセージを破棄する。
- STEP3. 受信していないシーケンス番号であった場合、ホップ数を 1 増やし、メッセージを他の一般車両に向けて、ブロードキャストする。

3. 評価システム

Scenargie シミュレータ [9]をベースに、緊急車両の経路更新メッセージを配信できる機能をカスタマイズして試作した。図 7 にソフトウェア開発環境を示す。



(注) :カスタマイズしたモジュール

図 7 Scenargie シミュレータ [9]開発環境
Figure 7 Scenargie simulator [9] development environment.

Scenargie は Base Simulator と Visual Lab の二つのシステムから構成される。試作システムの開発環境は Windows 7 上に Microsoft Visual C++ 2010 Express を導入する。Base Simulator 上の Multi Agent Multisystems Simulator のモジュールは Microsoft Visual C++ 2010 Express 上で追加や修正を行った。Visual Lab は Simulation Scenario を作成し、Base Simulator 上の各モジュールの変更点を踏まえ、シミュレーションを行った。

4. 評価

シミュレーションにより、提案方式と経路確保方式、一般走行を比較した。提案方式は 2 つのメッセージ拡散法である、路側機を用いたシングルホップ通信と、一般車両を用いたマルチホップ通信で比較した。本章では、評価条件と緊急車両の平均到着時間、一般車両の平均到着時間に関する結果を示す。

4.1 シミュレーション条件

表 1 で示した条件で、シミュレーションを行った。より現実に即したシミュレーションを行うために、Open Street Map [10]を使用し、図 8 に示すように新宿駅近郊のシナリオを作成した。シミュレーション開始から一般車両はランダムに選定された建物より、ランダムに選定された建物へ走行する。一方、緊急車両は指定した Start Building から Goal Building へと走行する。一般車両の目的までの平均所要時間と、緊急車両の平均所要時間、及び、受信された総パケット数を測定する。尚、比較する経路確保方式のメッセージフォロワーディングはシングルホップとした。

表 1 シミュレーション条件
Table 1 Simulation conditions.

項目	条件
シナリオマップ	新宿駅周辺 3.5×2[km]
シミュレーション時間	900 秒
一般車両数	500 台
緊急車両数	1 台
緊急車両の出発点	Start Building
緊急車両の目的地	Goal Building
緊急車両の送信周期 T	10 [秒]
路側機の送信可能位置情報範囲 L	100 [m]
Discard Time(Td)	30 [秒]
無線通信方式	IEEE 802.11p
移動モデル	Random Way Point
電波伝搬モデル	ITU-R p.1411
シミュレーション回数	10[回]
路側機の位置	信号機に併設

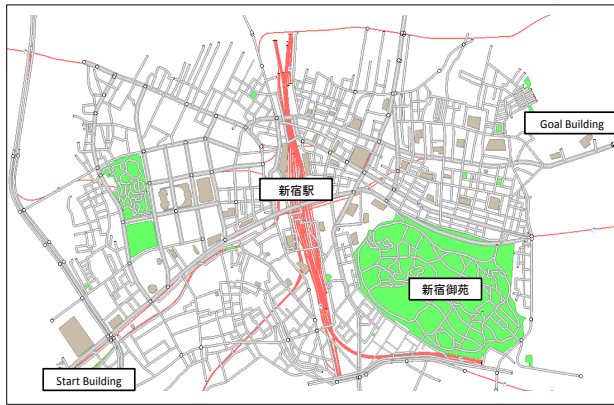


図 8 新宿駅周辺シナリオ
Figure 8 Near Shinjuku Station scenario.

4.2 緊急車両の目的地までの平均所要時間

図 9 にそれぞれの送信方式における緊急車両の目的地までの平均到着時間と、一般走行の到着時間に対する削減比率を示す。

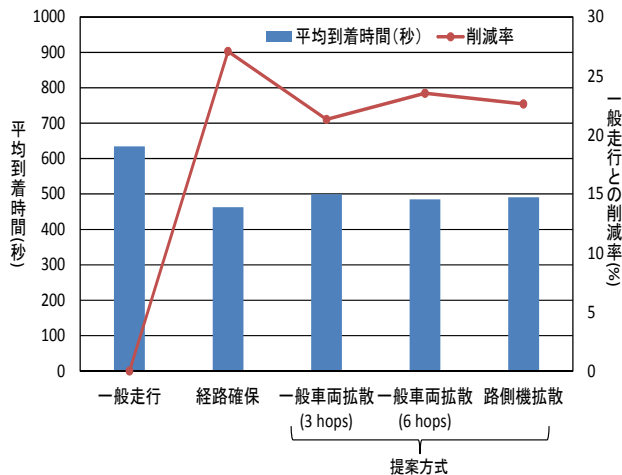


図 9 緊急車両の現場到達時間の平均と削減率
Figure 9 Average and reduction ratio of the site arrival time of the emergency vehicle.

図 9 から見て取れるように、経路確保方式が最も緊急車両の到達時間を削減している。これは、一般車両への経路確保メッセージ内において、経路の解除を行わないために、緊急車両使用経路へと侵入する一般車両が提案手法に比べて少なくなるためと考えられる。経路確保方式には劣るとはいえ、提案方式を用いた 3 つのメッセージ配信方式においても、20%以上の削減に成功した。マルチホップ(6 hops)に比べて、マルチホップ(3 hops)の削減比率が小さくなったのは、ホップ数の違いからメッセージを受信することができた一般車両の数が少なかったことが考えられる。また、マルチホップ(6 hops)と路側機シングルホップでは、削減比率に大きな差は生まれなかった。これは、ホップ数上限 6 のマルチホップ通信と、路側機を用いたシングルホップ通信では、メッセージを受信できた一般車両の数に大きな違いが生まれなかったと考えられる。

提案方式を用いた全ての方式において、緊急車両の到着時間を 20%以上削減することに成功し、本システムが緊急車両の現場到着時間に影響を与えていることがわかった。

4.3 一般車両の目的地までの平均所要時間

次に図 10 に各方式における一般車両の目的地到達時間を示す。制限された経路が解除されない経路確保方式の平均到達時間が長くなっているのが見て取れる。一方で提案手法を用いた 3 つの方式は一般走行との差が 10 秒以内に収まっている。一般車両が経路を変更しながらも、到達時間に大きな差異が出なかったのは、新宿駅周辺には、細かな迂回ルートが多く存在することが理由として考えられる。

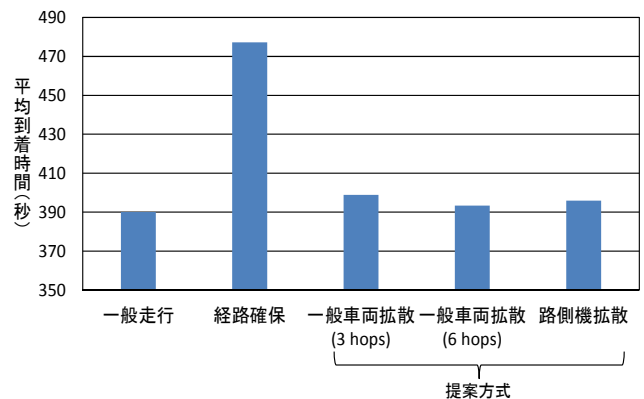


図 10 一般車両の現場到達時間の平均
Figure 10 Average on-site arrival time of the general vehicle.

また、シミュレータの関係上、一般車両は目的地までの道が制限され、かつ迂回ルートが存在しない場合、車両が停止してしまう問題が起きた。これに対処するために、経路を制限され、かつ迂回ルートが存在しない場合にはメッセージを破棄する機能を実装した。こうしたシミュレーション上の都合も、提案方式のメッセージ拡散法の違いにおいて大きな差異が生まれなかった理由として考えられる。

さらに図 10 から伝搬範囲を拡大しても、一般車両の平均到達時間の短縮にはつながらないことが見て取れる。これは伝搬範囲を拡大したとしても、一般車両は同一のメッセージを受信し、破棄しているためと考えられる。また、経路情報に関係のある位置を走行する一般車両へメッセージを送信するといった考慮が必要であると考えられる。

提案手法により、経路確保方式の課題としてあげられていた一般車両における負担の軽減に成功した。

4.4 一般車両の平均総受信パケット数

図 11 に提案方式における一般車両が受信した総パケット数の平均を示す。マルチホップ(6 hops)と路側機シングルホップを比較すると、大きな差異が生まれていない。ここからも、車々間通信を用いたマルチホップ方式と、路側機を用いたシングルホップ通信では、メッセージを受信できた一般車両の数に大きな違いはないことがわかる。また、当然の結果ながら、hop 数制限の違いから、hop 数が 3 と 6 では平均の差異が見られるが、図 8 から見て取れるよう

に、緊急車両の現場到達時間には大きな影響を及ぼしていない。上記のようにシミュレーションの都合も関係しているが、ここからも拡散範囲の拡大が、緊急車両の到達時間を短縮に繋がるわけではないことが見て取れる。

図 8、図 9 及び図 10 より、ホップ数制限 3 のマルチホップにおける通信が、受信される総パケット数を抑えつつ、緊急車両と一般車両それぞれの現場到達時間の短縮を実現することがわかった。

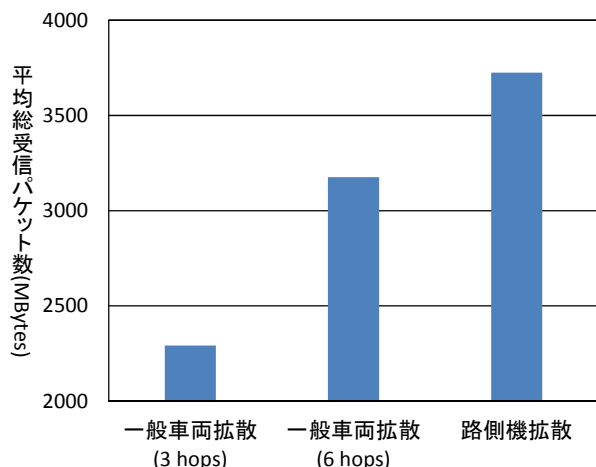


Figure 11 Total average number of received packets of the general vehicle.

4.5 提案方式と比較方式の時間差効果

緊急車両と一般車両の双方の平均到着時間を軸として提案方式と比較方式の時間差効果の違いを図 12 に示す。本シミュレーション条件では、各方式の時間差は緊急車両で-140~+20 秒程度、一般車両で-80~+10 秒程度で、大差ではなかったが、提案方式が最も短く、総合的に優位である。

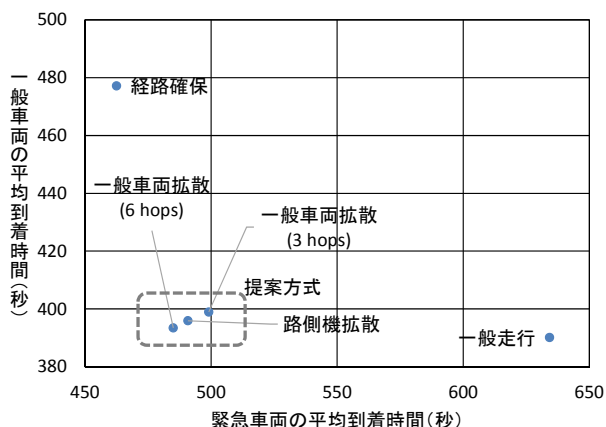


図 12 提案方式と比較方式の時間差効果

Figure 12 Effectiveness of the proposed method and the comparison methods from the time difference.

5. まとめ

車車間通信・路車間通信を用いた緊急車両の経路情報を更新して周期的に配信を行い、経路を確保する手法を提案

した。シミュレーション結果では、緊急車両の移動時間を短縮し、かつ一般車両の渋滞を軽減することに成功した。

今後の課題としては、車両数、緊急車両数を増やして、より実環境に沿ったシミュレーションにより、提案方式の優位性を示す必要がある。現行のシミュレーションシナリオでは、緊急車両が一般車両を追い越すことができないことや、赤信号で停車している車両はメッセージを受信しても経路を変更することができず、緊急車両は信号が変わるまで待機するしかないといった状況が存在する。こうした状況を改善した上でシミュレーションする必要がある。

参考文献

- [1] FDMA, "Saving anyone and anything that can be saved," Chapter 2, Rescue operations, First-aid, http://www.fdma.go.jp/en/pdf/top/en_03.pdf (accessed on 9 March 2016).
- [2] Gomez, A. Diaz, G. and Boussetta, K.. Virtual Police Agents for ITS Traffic Routing. 11th International Conference on ITS Telecommunications (ITST2011), ITS1, August 23-25, 2011.
- [3] Ohtsuka, E., "Communications policy and ITS in Japan," ITS Telecommunications (ITST 2008), 8th International Conference on , vol., no., pp.1,3, 24-24 Oct. 2008, doi:10.1109/ITST.2008.4740214.
- [4] "FAST," <http://www.utms.or.jp/english/system/index.html> (accessed on 2nd March 2016).
- [5] Saif. Al-sultann, Moath. M.Al-Doori, AliH. Al-Bayatti, and Hussien Zedan, "A comprehensive survey on vehicular Ad Hoc network," Journal of Network and Computer Applications, 37, pp.380-392, 2014.
- [6] Mohandas, B.K. Nayak, A. Naik, K. Goel, N.. ABSRP- A Service Discovery Approach for Vehicular Ad Hoc Networks. Asia-Pacific Services Computing Conference (APSCC '08), IEEE , pp.1590,1594, 9-12 Dec. 2008, doi: 10.1109/APSCC.2008.44.
- [7] Andreas, B. Schaub, F. Kargl, F. and Weber, M.. A VANET-based emergency vehicle warning system. IEEE Vehicular Networking Conference (VNC), 28-30 Oct. 2009.
- [8] Moroi, Y. and Takami, K.. A Method of Securing Priority-use Routes for Emergency Vehicles Using Inter-vehicle and Vehicle-road Communication. in proceedings of the Seven IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS2015), 27-29 July, 2015.
- [9] "Scenargie," Space-Time Engineering, <https://www.spacetime-eng.com/en/index.html> (accessed on 9 March 2016).
- [10] "Open Street Map," <https://www.openstreetmap.org>, (accessed on 9 March 2016).