

VANETにおける緊急車両接近通知のための
ブロードキャスト中継制御法

北川 湧己

立命館大学

情報理工学部

学籍番号: 2600150124-0

指導教員: 野口 拓, Alberto Gallegos Ramonet

平成31年1月24日

内容梗概

本論文は、筆者が立命館大学情報理工学部において行った「VANETにおける緊急車両接近通知のためのブロードキャスト中継制御法」の成果をまとめたものである。

近年、無線通信機器を搭載した車両間のみでネットワークを構築する、VANET(Vehicular Ad-Hoc Network)に関する研究が盛んに行われている。VANETの利用を想定したアプリケーションとして、緊急車両の接近を通知するため、フラッディングを通信の基本手法としたアプリケーションが多く考案されている。しかし、VANETでは自動車が常に移動しているため、安定したネットワークの構築が難しく、通信の中継制御が困難である。加えて、建物や車自体が通信を遮断してしまうシャドウィングなどが発生することや車両が少ない環境では通信が遮断されてしまうことなどの問題を抱えている。路側機を用いて、通信を行う路車間通信もあるが、同様の問題がある。そこでVANETの不安定な環境において、シャドウィングの発生率を抑え、効率よく情報を伝達するための中継制御法が検討されている。

本論文では、緊急車両接近通知での使用を想定し、車両、路側機を併用したブロードキャスト中継制御をするプロトコルを作成し、車車間通信のみのブロードキャスト中継制御との性能比較を行う。VANETのアプリケーションではシャドウィングの発生が問題であるため、車両、路側機を併用することで建物のシャドウィングが発生する可能性のある環境では車両を用いて通信し、車両が多く走行している環境では路側機を用いて通信することによって、シャドウィングの問題を解決できると考えた。性能評価では、目的ノード(緊急車両の目的地)までのパケット到達率、ホップ数の検証を行った。シミュレーションによる実験の結果、提案手法が車車間通信のみよりもパケット到達率が向上する結果を得られることを示した。

目 次

第1章

緒論

近年, 通信技術の進歩に伴い, 移動端末同士のみでネットワークを一時的に構築し, アクセスポイントなしで無線通信を行うモバイルアドホックネットワーク (MANET: Mobile Ad-hoc Network) や, 車両, 路側機を通信端末としてネットワークを構築し, 無線通信を行う車両アドホックネットワーク (VANET: Vehicular Ad-hoc Network) の研究が注目されている [1]. MANET は自然災害時などで通信インフラが被害を受けた時の利用が期待されている. MANET の技術を車両の通信に応用させる VANET は事故通知や緊急車両接近情報を共有することができ, 緊急車両の走行を安全かつ, 現場到着時間を縮めるなどの様々な安全運転支援が期待されている.

救急車や消防車, パトカー等の緊急車両はサイレンや, 赤色灯などで道路を優先的に走行し, 一刻も早く現場に到着することが求められている. 特に救急車は到着 1 分の遅れにつき救命率が約 10% 低下する [2]. 総務省消防省の発表によると平成 28 年中の現場到着所要時間は平均 8.5 分となっており [3], 現場到着までの所要時間を短縮することは非常に重要な課題である. 時間を短縮するために車車間通信, 路車間通信を用いた緊急車両接近通知の研究がされているが, 車車間通信では, 車両が存在しないときには通信ができないことや車両自体がシャドウィングの原因になる問題があり, 路車間通信では建物がシャドウィングの原因になるという問題で, 現場までに通信が遮断される要因が残されている [4][5][6].

そこで本論文では, VANET を用いて, 車両, 路側機を併用したブロードキャスト中継制御を用い, 一般的な車車間通信とネットワークシミュレーションで実験を行い, 目的地までの通信成功率やホップ数を調査し, 有効性を示す.

本論文の章構成について, 第 2 章では, VANET の概要, 緊急車両に関する VANET について述べ, 第 3 章では提案方式について述べる. 第 4 章では, シミュレーションによって実験を行った結果と考察を述べ, 第 5 章では, 結論を述べ, 本論文の成果をまとめる.

第2章

VANET

2.1 概要

近年, 道路交通問題の解決を目的とした高度道路交通システム (ITS: Intelligent Transport System) の研究が盛んに行われている. これらの研究の一つとして, 自動車に無線通信機器を搭載した車両同士で行う車車間通信や, 車両と道路上の通信機器とで通信を行う路車間通信がある. これらの通信にアドホックネットワークを組み合わせる (VANET) ことにより, インフラ設備がない場所や自然災害時でも通信が可能になる. 以下, 車車間通信, 路車間通信はアドホックネットワークでの通信を示していることとする. この VANET を用いた様々なアプリケーションが開発されており, 車両同士の衝突を未然に防ぐ安全運転支援や渋滞の情報を共有するシステムなどがある.

2.2 車車間通信

車車間通信は車両に搭載された通信機を用いて車両が相互に無線通信を行い, 様々な情報の交換を行うものである. 各車両の走行情報の共有により, 車両同士の衝突回避や, 安全運転支援につながる. 車車間通信を図 2.1 に示す. 車車間通信では, 端末同士 (車両同士) で自律的にネットワークを構築し, 宛先に直接通信できない場合には間の車両が中継車両となり, マルチホップ通信を行う. この際, ネットワークトポロジやネットワークの状態を管理する基地局がないため, リアルタイムで車両の動きや環境を考慮したルーチングを行うことが重要である. 大型車両は車高が一般車両に比べて高いため, 周辺車両によるシャドウィングが発生する可能性が低い. そのため, 一般車両よりもパケットを送受信しやすいという研究結果もある [6]. このような事実を考慮しながら, 車車間通信の効率的なマルチホップ通信を実現

する様々なルーチングの研究が盛んに行われている [4][5][7][8].

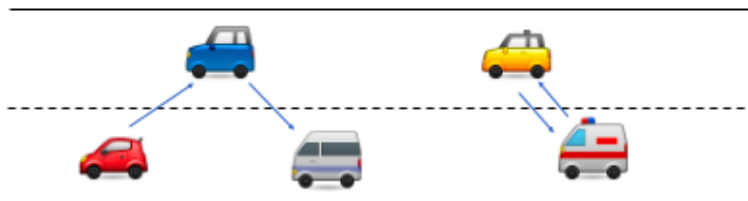


図 2.1: 車車間通信

2.3 路車間通信

路車間通信は、道路に設置された路側機 (RSU: Road Side Unit) と車両で無線通信を行い、様々な情報の交換を行うものである。路車間通信を図 2.2 に示す。路車間通信の代表的なアプリケーションとして、ETC(Electronic Toll Collection system: 自動料金収集システム) や VICS(Vehicle Information and Communication System: 道路交通情報通信システム) がある。ETC は高速道路の入り口に設置されている通信機と車載の通信機で無線通信を行い、料金所に止まることなく、自動でスムーズに料金の支払いができるシステムである。料金所での一時停止が渋滞の原因の一つであったが、ETC の導入により、解消することができた。VICS は渋滞情報、交通規制情報などの道路交通情報を車内に搭載されているカーナビに届けるシステムであり、これらの情報はカーナビのルート検索や渋滞の回避に活用されている [9].

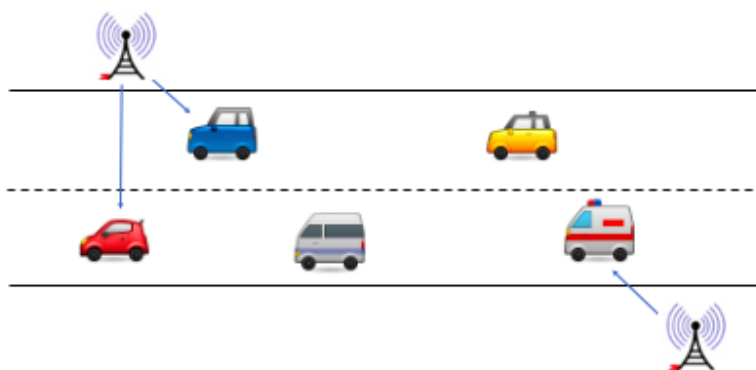


図 2.2: 路車間通信

2.4 緊急車両に関する VANET

2.4.1 緊急車両出動の現状と問題点

総務省消防庁によると平成 28 年中の緊急出動の件数は約 620 万件であり、年々増加傾向にある [3]。また、ドイツ政府の調査によると、一回の緊急出動の中で交通事故に巻き込まれる可能性のある場面が平均 17 回発生している。この結果から、緊急車両が出しているサイレンやライトでは一般車両や歩行者に十分な注意が届いていないということが示されている。実際に救急車にカメラを設置して緊急出動の様子を調査した結果、渋滞に巻き込まれることや、一般車両の間違った行動によって、平均で約 1 分の遅れが発生している。緊急車両はサイレンやライトなどで注意を促しているが一般車両にはある程度近づくまで認知されておらず、サイレンが聞こえたとしても、緊急車両がどの方向から来ているのかが認知できない場合もあるため、誤った行動をしてしまうことが多い。これらにより、現場到着の遅れが発生している [6]。

2.4.2 関連研究

緊急出動において、遅れが発生していることは人命救助の観点から大きな問題となっている。このような遅れを減らすために VANET を用いた緊急車両の接近通知を行い、一般車両に適切な行動を促すシステム研究がされている [4]。ここで緊急車両の接近通知とは緊急車両の優先通行を円滑にするために、一般車両に事前に接近通知パケットを散布することである。このパケットを受信した一般車両は、パケット内にある緊急車両に関する情報を取得し、適切な行動をとる。受信したパケットを再度、中継して散布することで、周辺車両も適切な行動をとることが可能である。このように、接近通知パケットを広く伝搬させることで、緊急車両の優先通行をサポートする。緊急車両の接近通知は不特定多数の車両へ通知する必要があるため、フラッディングが有効であると考えられる。フラッディングはブロードキャストを繰り返し行うため、接近通知パケットを広範囲に散布可能である。しかし、ピュアフラッディングでは隣接車両同士が同時にブロードキャストを行うため、パケット衝突やブロードキャストストームなどの問題が発生する [10]。これらの冗長なパケットを減らすために、緊急車両の接近通知ではフラッディングを改良し、遭遇車両すべてに散布する手法が必要である。そのための既存手法として、CB-Flooding について述べる [4]。

CB-Flooding とは受信車両が中継すべきかを自律的に判断して散布範囲を制御する条件ベースのフラッディング手法で、ブロードキャスト制御としては Greedy Forwarding を用いて中継を行う。これにより、冗長なパケットを抑えることができる。Greedy Forwarding とはアドホックネットワークにおける経路制御法の一つであり、目的ノードまでの経路を発見せずにパケット転送を行う方式である [10]。目的ノードとは緊急車両の目的地を指す。この方式では転送するパケットに目的ノードの位置情報を含め、次の転送先ノードの選択に自ノードよりも目的ノードに近く、かつ目的ノードに最も近いノードを選択することにより、目的ノードに効率良くパケットを転送する手法である。図 2.3 に CB-Flooding の動作例を示す。これは緊急車両から交差点までパケット伝搬を表している。緊急車両 A がブロードキャストすると、青実線で示した通信範囲内の一般車両 B, C が受信する。一般車両 C は隣接テーブルを用いて、ブロードキャストを受信した一般車両の中で最も交差点に近いと判断し、ブロードキャストを中継する。一般車両 B も同様に行い、交差点に最も近いのは一般車両 C だと判断し、中継を行わない。次に一般車両 C が中継したパケットを赤点線の通信範囲内の緊急車両 A, 一般車両 B, D, E が受信する。各車両は先と同様に行い、結果としてブロードキャストする車両は E が選択される。このようにして目的ノードまでパケットを伝搬させる。しかし、CB-Flooding は車車間通信のみを用いる手法なので車両数が少ない過疎地域や深夜帯などでは通信が遮断される。車両がない道路では緊急車両の遅れは少ないが、もし緊急車両が一般車両の少ない道路から多い道路に出たとき、車両が少ない道路で通信が遮断されているためにパケットが散布されていない。この結果、一般車両は適切な行動を選択することができず、緊急車両に遅れが出る。そのため、車両が少ない地域でも通信が遮断されず、パケット散布の冗長性を抑えながら目的ノードにパケットを到達させるフラッディング手法が必要である。

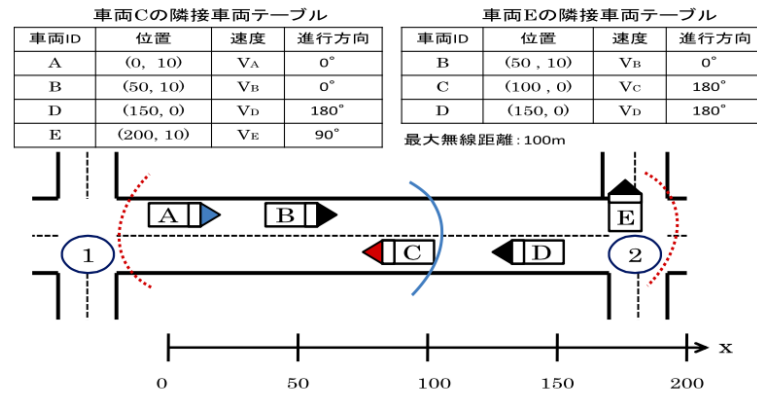


図 2.3: CB-Flooding の通信方法 ※原田 亮, 鈴木 理基, 神田 翔平, 重野 寛, "CB-Flooding(Condition Based): 緊急車両接近通知のための条件ベースフラッディング手法", 「情報処理学会」, 53, p198, 図2 参照, 2011

第3章

緊急車両接近通知のためのブロードキャスト制御

3.1 概要

緊急車両の接近通知を一般車両のドライバーに知らせるために目的ノードまで高いパケット到達率を実現する方法として、車車間通信だけでなく、車両、路側機を併用するブロードキャスト中継制御法を提案する。

図 3.1 に提案手法の概要を示す。緊急車両が出動する際に、緊急車両の目的地など、一般車両が緊急車両の位置や進行方向を認知するために必要な情報が含まれた接近通知パケットを作成しブロードキャストする。パケットを作成および中継時に、次に中継すべきノードの種類 (NHT: Next Hop Type)(車両または路側機) を記載する。パケットを受信したノードのうち、NHT に該当し、目的地に最も近いノードのみがパケットを中継する。中継を行うノードは次の NHT を決定し、それをパケットに記載してブロードキャストする。この中継制御法を繰り返すことにより、目的地までパケットを到達させる。

高いパケット到達率を実現するためのシャドウィング問題の解決方法として、建物のシャドウィングが起きる可能性のある環境では車両を用いてパケットを中継する。車両密度が高く、車両自体によるシャドウィングが起きる可能性のある環境では、大型車両や路側機を用いて中継する。また、この中継ノードの選択を目的地に一番近いノードにすることによって、トラヒックの増加を抑えることができる。このように車両と路側機を併用することによって、車車間通信と路車間通信のシャドウィングによる通信の遮断を防ぎつつ、トラヒックを小さくすることができる。

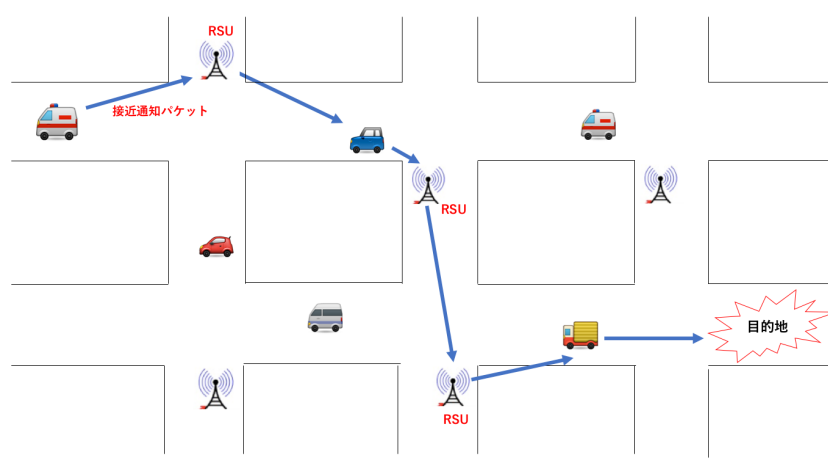


図 3.1: 提案手法の概要

3.2 提案方式のアルゴリズム

提案手法のアルゴリズムを図 3.2, 3.3 に示す. 前提条件として, 車両, 路側機にはそれぞれ ID が設定されている. 車両, 路側機は Hello メッセージを定期的に散布しており, 各ノードは隣接ノードが格納された隣接テーブルを所持している. 隣接ノードとは自ノードから 1 ホップで通信可能なノードのことをいい, それらの情報を格納したものを隣接テーブルという. 緊急車両は緊急出動の際にパケット内に緊急車両の現在地, パケット送信時刻, 目的地の位置, 送信元ノード ID, ホップ数, 次にブロードキャストするノードの種類 (NHT) の情報を含むパケットをブロードキャストする. パケットサイズはヘッダ (IP, UDP, IEEE802.11p) の 54 バイトにデータの 16 バイトを加えた 70 バイトとなる. パケットを受信したノードはホップ数が上限を超えていないかを確認する. パケット受信車両が大型車両の場合, パケットの送受信がしやすいため, 即時にブロードキャストを行う. パケット受信車両が一般車両または路側機の場合, 隣接テーブルの中でブロードキャストを受信したノードを予測し, その中で, NHT のノードの種類であるかつ, 最も目的地に近いノードを選択する. 選択されたノードが自分自身の場合, ブロードキャストで中継する. これらの処理を繰り返し行うことによって, ブロードキャストで中継していき, 目的地にパケットを到達させる.

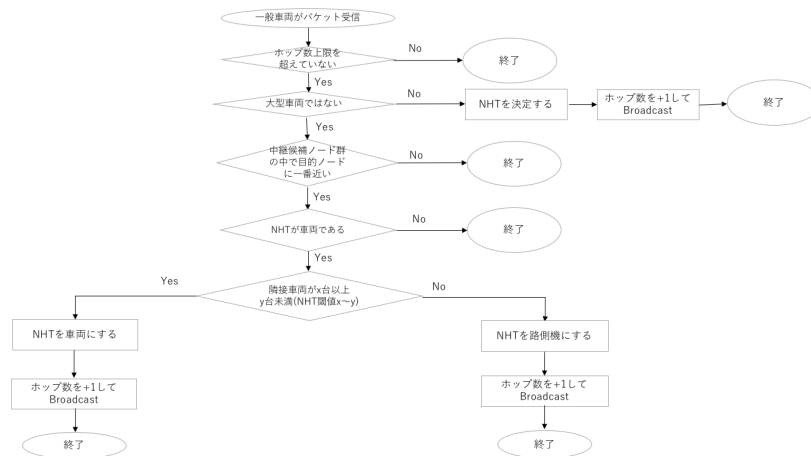


図 3.2: 一般車両のアルゴリズム

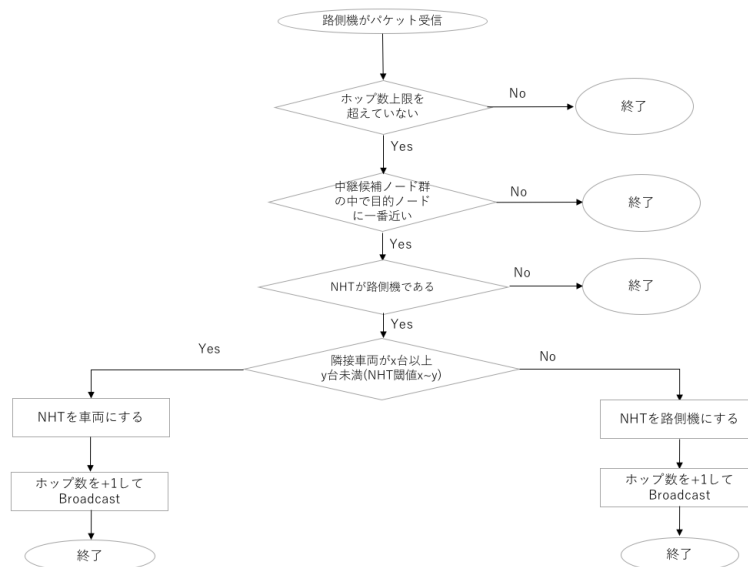


図 3.3: 路側機のアルゴリズム

3.3 Hello メッセージ制御

Broadcast が始まる前に Hello メッセージを 1~2 秒の間隔でランダム時間に散布する。Hello メッセージは自分の ID と位置情報を含めたパケットである。パケットサイズは、ヘッダ (IP, UDP, IEEE802.11p) の 54 バイトにデータの 6 バイトを加えた 60 バイトとなる。Hello メッセージを受信すると、各ノードの隣接テーブルに格納される。表 3.1 に隣接テーブルの例を示す。

表 3.1: 隣接テーブルの例

車両ID	位置情報
Node(2)	(22, 78)
Node(5)	(31, 2)
Node(11)	(156, 221)
Node(26)	(201, 267)
Node(27)	(58, 194)
Node(30)	(107, 32)
Node(33)	(298, 13)

3.4 ブロードキャスト制御

3.4.1 NHT の決定

パケットを作成および中継する場合, 次に中継を行うノードの種類(NHT)を決定する. NHT は中継を行うノードの隣接テーブルの車両台数に基づいて決定される. 2つの NHT 閾値 x, y を用いて, 隣接テーブルの車両が x 台以上 y 台未満の場合, NHT は車両になる. それ以外の場合, NHT は路側機になる.

3.4.2 緊急車両

緊急車両は緊急出動の際, 接近通知パケットを作成し, ブロードキャストする. パケット作成時に 3.4.1 項の手順にしたがって NHT を決定する.

3.4.3 一般車両・RSU

接近通知パケット受信したノードが車両または路側機の場合, 隣接テーブルの中で同じ接近通知パケットを受信したノードを送信元の位置と通信範囲から予測する. 各ノードの通信範囲 (半径 $R[m]$) は既知であると仮定しており, 送信元の位置は隣接テーブルから予測できる. この2つの要素から接近通知パケットを受信した他ノードを予測できる. 予測したノード

ド群と自ノードを合わせて中継候補ノード群とする。次に、中継候補ノード群の位置と接近通知パケット内の目的地の位置に基づいて、中継候補ノード群から目的地までの距離をそれぞれ計算する。それぞれの距離の計算式は、他ノードから目的地までの距離を D 、自分と目的地までの距離を M_D 、他ノードの位置座標を (O_X, O_Y) 、目的地の位置座標を (D_X, D_Y) 、自分の位置情報を (M_X, M_Y) とし、式 (3.1, 3.2) に示す。

$$D = \sqrt{(D_X - O_X)^2 + (D_Y - O_Y)^2} \quad (3.1)$$

$$M_D = \sqrt{(D_X - M_X)^2 + (D_Y - M_Y)^2} \quad (3.2)$$

最後に中継候補ノード群の中から目的地に最も近く、かつ、NHT に該当するノードが自分の場合、ブロードキャストで中継する。パケットを中継する場合、3.4.1 項の手順にしたがって NHT を決定する。車両自体がシャドウィングの原因になる可能性を減らすために、パケットを送受信しやすい大型車両にパケットが受信されれば、大型車両は必ずブロードキャストで中継する。また、冗長なパケット転送を減らすために、ホップ数制限を行う。ホップ数の上限値はネットワーク全体であらかじめ決められており、パケット受信時に上限に達していれば中継を行わない。このブロードキャスト中継制御法を繰り返すことで目的地にパケットを到達させる。

3.5 接近通知方法

提案手法の最終目標は、緊急車両の目的地到着までの時間を短縮するということである。そのため、一般ドライバーは事前に緊急車両の位置を認知し、緊急車両が円滑に走行できるような行動をとらなければならない。緊急車両からのブロードキャストパケット内のパケット送信時刻を確認すれば、ある程度の緊急車両の位置がわかる。これを一般ドライバーに知らせるために車内のカーナビや TV などの画面に図 3.4 に示すイラストを表示させることによって、緊急車両の位置と進行方向を一般ドライバーに認知させる。緊急車両がブロードキャストした接近通知パケットは瞬時に目的地まで到着する。しかし、緊急車両が実際に一般車両に接近するまでにはパケット受信からタイムラグが発生する可能性があるため、どれくらい前に一般ドライバーに緊急車両の接近通知を行うかが重要になる。文献 [6] では約 30 秒前に知らせることで一般ドライバーは焦らずに適切な行動を起こせるという結果がある。緊急車

両の位置や進行方向を事前に知ることによって、一般ドライバーが安全で迅速な対応ができ、緊急車両は円滑に目的地まで走行できる。

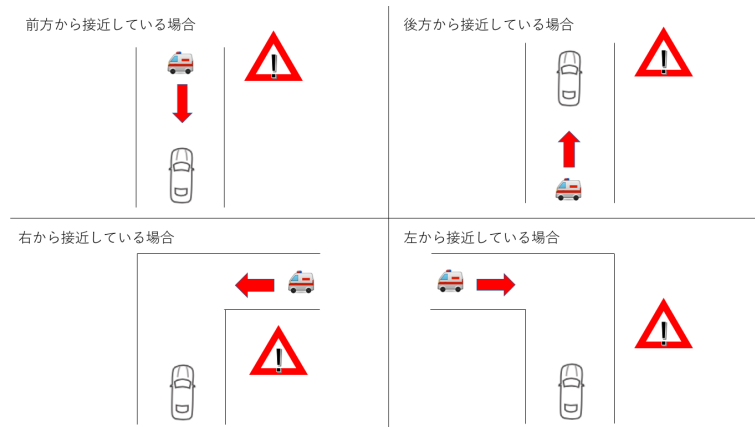


図 3.4: 接近通知の表示画面

第4章

性能評価

4.1 実験概要

本シミュレーションでは, 片側2車線の道路を想定し, 提案手法と比較手法(車車間通信のみ)をNS-3(Network Simulator version3)[11]を用いて評価した. 車両数とNHT閾値を変化させ, 目的地までのパケット到達率および平均ホップ数を評価尺度とする. シミュレーションパラメータを表4.1に示す. シミュレーション領域は $300\text{m} \times 300\text{m}$ で, 緊急車両の初期位置を(0, 0)の地点とし, 目的地を(300, 300)とする. 初期配置した車両以外の車両の流入や流出はなく, 全ての車両は道路上にランダムに配置され, 時速40kmの等速度でランダムに移動する. 路側機は図4.1のような配置とする. 図4.1において, 赤ノードが路側機である. 路側機は100[m]間隔で設置されており, 路側機上に格子状で道路があると想定している. 緊急車両の初期位置(青ノード)からブロードキャストが始まり, 目的地(黄ノード)までのパケット到達率, ホップ数を評価する. シミュレーションの試行回数は, 各20回ずつ試行し, 1回ごとに車両の初期位置は変更する. 以上の条件下で評価を行う.

表 4.1: シミュレーションパラメータ

Simulator	NS-3.29
PHY layer	802.11p
Transmission range (R)	100[m]
Road length	300[m]
Number of emergency vehicle	1
Number of cars	10~40
Number of RSU	11
Initial position of sender	(0, 0)[m]
Destination	(300, 300)[m]
Hello packet size	60[byte]
Broadcast packet size	70[byte]
Limited hopcount	9

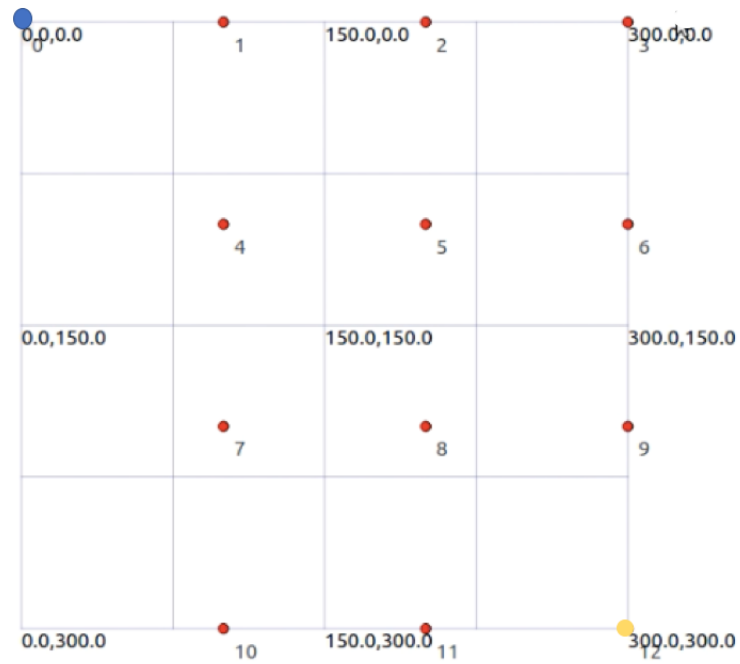


図 4.1: 路側機の配置

4.2 評価方法

評価尺度として、目的地までのパケット到達率とホップ数を計測した。パケット到達率は目的地までパケットが確実に伝搬しているかの割合であり、この値が高いほど、信頼性のあ

るフラッディングが行われていることを示す。ホップ数は目的地まで経由した車両、路側機の台数であり、この値が小さいほど、トラヒックは小さくなる。

4.3 シミュレーション結果

4.3.1 パケット到達率

図 4.2 に NHT 閾値を変化させた場合の、車両ノード数の変化に対するパケット到達率を示す。NHT 閾値 1~3, 1~4, 1~5 はそれぞれ NHT 閾値 x, y を $(x, y) = (1, 3), (1, 4), (1, 5)$ とした提案方式を表している。提案手法は比較手法に比べて、ノード数を変更してもパケット到達率が高い数値を示している。これは車両が少ない場所であっても路側機を使用して通信しているため、目的地までにパケットが遮断されていないからである。NHT 閾値を変化させても、提案手法のパケット到達率にあまり影響はなかった。これは中継を一般車両、路側機のどちらで行っても、問題なく通信ができていることを示している。この環境で車両数が 40 台になると提案手法と比較手法のパケット到達率はほぼ変わらなくなるが、これはこの範囲では車両が 40 台あれば、各車両の通信範囲に車両が存在するため、目的地まで通信が遮断されないという結果を示している。提案手法は車両数が少ない環境でも目的地までパケットが到達するため、車両数に依存せず、有効性を示せた。

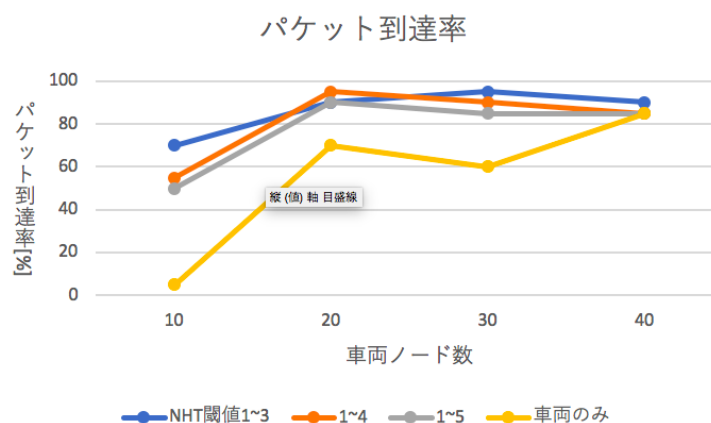


図 4.2: パケット到達率

4.3.2 ホップ数

図 4.3 に NHT 閾値を変化させた場合の、車両ノード数の変化に対するホップ数を示す。提案手法と比較手法の目的地までのパケットホップ数はあまり大きな差がないという結果を得た。これは目的ノードに一番近いノードが中継しているため、ノード数や NHT 閾値を変化させても、ホップ数が変わらないということである。提案手法で車両以外に路側機を使用してもホップ数が変わらず、パケット到達率が向上していることを示している。

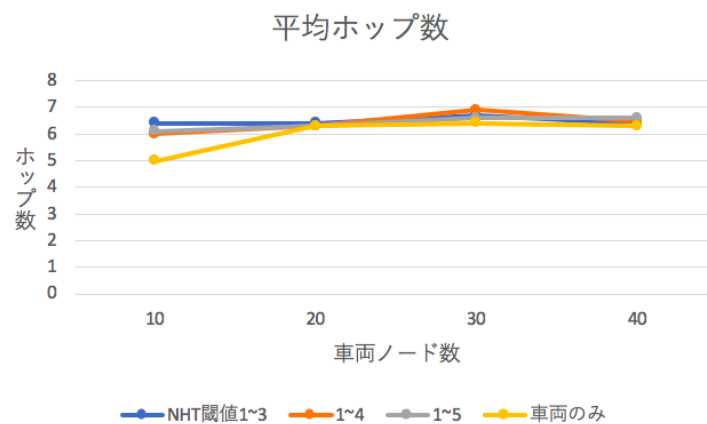


図 4.3: ホップ数

第5章

結論

本論文では、車両密度によって通信方法を変更する、VANETにおける緊急車両接近通知のためのブロードキャスト中継制御を提案した。シミュレーションにより、提案手法はホップ数を抑えつつ、パケット到達率は車両が存在しない環境でも路側機を使用して通信を中継するため、車車間通信のみの場合より増加する傾向が見られた。車両ノード数が10~40台のどの状況でもパケット到達率が比較手法を下回ることはなかった。以上の結果から、提案手法は、車両密度の低い環境、高い環境でも車両数に依存することなく、有効な中継制御であることを示した。

今後の課題として、実環境での使用が求められているために、実環境により近い環境でシミュレーションを行うことが求められる。今回の提案手法ではシャドウイングなしで行ったため、提案手法と比較手法の大きな差は見られなかった。また、車両と路側機の通信範囲をそれぞれ設定し、路側機の位置を変更すると、異なったシミュレーション結果になることが考えられる。

謝辞

本論文では筆者が立命館大学情報理工学部情報コミュニケーション学科において行なった「VANET における緊急車両接近通知のためのブロードキャスト中継制御法」の成果をまとめたものである。

本研究を遂行するにあたり、全過程を通じて懇切丁寧なる御指導、御鞭撻を賜わった、立命館大学情報理工学部 野口 拓准教授, Alberto Gallegos Ramonet 特任助教に深甚なる感謝の意を表す。

立命館大学情報理工学部において、御指導、御教授を賜わった情報ネットワークング研究室の山本 寛准教授, ワイヤレスネットワークシステム研究室の前田 忠彦教授を始め、各教員の方々に衷心より御礼申し上げる。

ネットワークシステム研究室の諸兄には、日頃より多くの御助言、御協力戴き、種々の面でお世話になった。ここに深謝申し上げます。

ここに記して、以上の方々に深甚なる感謝の意を捧げる。

参考文献

- [1] 阪田 史郎, 間瀬 憲一, 高橋 修, ”4群5編 モバイル IP, アドホックネットワーク”, 「電子情報通信学会」, 46, pp1-2, 2010
- [2] 国土交通省東北地方整備局, ”救急医療アクセスの向上による便益”
<http://www.thr.mlit.go.jp/bumon/b00097/k00360/h13jhyouka/2105hpsiryou/sankousiryou2105.pdf>, (最終アクセス日: 2019/1/17)
- [3] 総務省消防省, ”救助活動の現状”, http://www.fdma.go.jp/neuter/topics/fieldList9_3.html/, (最終アクセス日: 2019/1/17)
- [4] 原田 亮, 鈴木 理基, 神田 翔平, 重野 寛, ”CB-Flooding(Condition Based): 緊急車両接近通知のための条件ベースフラッディング手法”, 「情報処理学会」, 53, pp194-202, 2011
- [5] 中沢 隆紀, 小花 貞夫, Tang Suhua, ”CCNに基づく車車間通信による狭域道路・交通情報の効率的な収集方式”, 「情報処理学会」, 80, pp417-418, 2018
- [6] Andreas Buchenscheit, Florian Schaub, Michael Weber, ”A VANET-based Emergency Vehicle Warning System”, IEEE Vehicular Networking Conference(VNC), 10.1109/VNC.2009.5416384, pp1-8, 2009
- [7] Ben Ding, Zehua Chen, Yan Wang, Hui Yu, ”An improved AODV routing protocol for VANETs”, Wireless Communications and Signal Processing(WCSP), 10.1109/WCSP.2011.6096736, pp1-5, 2011
- [8] 小川 一太郎, 横山 想一郎, 山下 倫央, 川村 秀憲, 酒徳 哲, 柳原 正, 大岸 智彦, 田中 英明, ”Deep Q-Network を用いた自動運転車のゆずりあいによる交流化の効率化”, 「人工知能学会」, 3Z2-04, pp1-3, 2018

- [9] TDK Techno Magazine, "VICS と ETC の仕組み",
<http://www.vics.or.jp/know/about/index.html>, (最終アクセス日: 2019/1/19)
- [10] 山本 潮, 小野里 好邦, "宛先ノードへの到達可能性を考慮した Greedy Forwarding", 「情報処理学会論文誌」 54, pp621-629, 2013
- [11] Network Simulator ns3, <https://www.nsnam.org>, (最終アクセス日: 2019/1/10)