

車車間通信による出会い頭事故防止支援を目的とした プロトコルの提案

羽鳥 遼平[†] 岡田 陽次郎[†] 重野 寛[‡]
慶應義塾大学大学院理工学研究科[†] 慶應義塾大学理工学部[‡]

現在、車車間通信による車両アドホックネットワーク構築手法の研究が盛んに行われている。車両アドホックネットワークでは、ネットワークを構築する際に道路形状の影響を大きく受けるが、道路形状を考慮した車車間プロトコルは少ない。道路形状の影響を受ける一例として、見通しの悪い交差点がある。この形状では、優先道路の車両と非優先道路の車両が通信を行う際に建物などの外的要因によりシャドウイングの問題が生じ、車車間通信を行うことが難しくなる。そこで本稿では、このような外的要因の影響を抑えるために車両の位置からパケット送信を動的に変化させるルーティングプロトコルを提案する。シミュレーションにより、提案プロトコルの性能を評価し、提案手法の有効性を示す。

A Proposal of Vehicle-to-Vehicle Protocol to Support Preventing Intersection Accident

Ryohei HATORI[†] Yojiro OKADA[†] Hiroshi SHIGENO[‡]
Graduate School of Science and Technology, Keio University[†]
Faculty of Science and Technology, Keio University[‡]

Recently, the construction methods of vehicular ad hoc networks are actively researched. In a vehicular ad hoc network, while the road greatly influences when the network is constructed, the vehicle-to-vehicle protocol that consider the road is a little. There is an intersection as an example of receiving the influence of the road. In the intersection, when the vehicle which runs the priority road communicates with the vehicle which runs non-priority road, the problem of shadowing is caused by the buildings. As a result, the inter-vehicle communication becomes difficult. In this paper, we propose a routing protocol that dynamically changes the packet transmission from the position of the vehicle. We evaluate this proposal by the computer simulation and verify the effectiveness of the proposal method.

1 はじめに

ユビキタス社会の到来によってモバイル通信技術の関心が高まり、ITS (Intelligent Transport Systems: 高度交通システム) への取り組みが盛んに行なわれ注目されている。

ITS では事故情報や渋滞情報を車車間通信により配信することでリアルタイム性の高い情報を取得する方式の検討が行われている。そこで移動端末のみで自律的に構成されるアドホックネットワークの研究結果を車車間通信に適用することが盛んに検討されている [1]。車車間通信では、道路上を走る車両がノードとなるため通信を行う際、道路形状などの外的要因の影響を大きく受ける。しかし、従来検討されてきた車車間通信をアドホックネットワークに適用したプロトコルの中で、道路形状などの外的要因の影響を考慮したプロトコルは少ない。外的要因の影響を受ける一例として、交差点におけるシャド

ウイングの問題が挙げられる。交差点でシャドウイングが起きた場合、交差点内に車両がいないと通信することが出来なくなり、宛先車両へパケットを送ることは難しくなる。既存プロトコルでは、交差点内に車両がいなくてもパケットを送信してしまうため、宛先車両へ到達しないパケットが増えトラフィック量が増加してしまう。その結果、パケット衝突が発生しパケット到着率が減少してしまう。

そこで本稿では、シャドウイングの影響を受けず出会い頭事故防止支援を行うために、車両の位置からパケット送信を動的に制御するプロトコルを提案する。提案方式は、シャドウイングの影響を受けずにパケット送信を行う警告パケット送信制御と、必要な位置情報だけを交換するために位置情報散布を制限するビーコン送信周期制御から成り立っている。これらを行うことにより、トラフィック量を減少しながらもパケット到着率を向上させる。

2 関連研究と問題点

2.1 関連研究

車車間通信を用いた車車間ネットワークの構築では、想定するアプリケーションにより要求条件が異なってくる。例えば出会い頭事故防止を支援するアプリケーションが車車間通信に求める要件として、100msec 程度の時間間隔で隣接車両の情報を受信することが要求される [2]。

文献 [3] や文献 [4] などは、音声通話や画像伝送などを目的としている。これらに求められる条件は、パケット到着率の高い安定したルーティングを行うことである。文献 [3] は、安定性の高い経路構築方式として経路探索処理に車両の相対速度情報を付加した方式を提案している。相対速度を付加することにより、自車両に近い速度の車両を中継車両として選べるため経路破棄の確率が低くなる。文献 [4] は、経路探索処理を行う際、送信車両と中継車両間のシグナル強度を測定し最も安定したシグナル強度の車両を中継車両として選択する手法を提案している。この方式は、中継車両が送信車両に近い場合はホップ数が増え、遠い場合は経路破棄の確率が高くなってしまいう問題を解決している。

文献 [2] や文献 [5] などは、事故警告を行うために警告パケットを伝搬している。出会い頭事故防止支援の要求条件のように、事故情報の伝搬ではリアルタイム性が重視される。よって、これらは経路を構築しない位置ベース型プロトコルやフラッディングに制約を設けた散布プロトコルを適用している。文献 [2] は、車両が交差点などにおいて新たな車両と出会うと瞬時にパケット中継を開始すると共に、重複する中継を検出し停止する機能によってパケット中継による冗長な通信トラフィックの増加を低減する手法を提案している。この方式は、受信強度や位置情報などで制限を設けた結果、それらの情報に該当しないと判断すると中継が全く行われず、隣接車両の位置や動きを把握できなくなってしまう問題を解決している。文献 [5] は、通常走行車両と急ブレーキなどの危険な走行をする異常走行車両を識別し、異常走行車両になった場合、事故を起こす危険性が高いと考え、異常走行車両がパケットを伝搬し、後続車に衝突の危険をリアルタイムに警告することを提案している。パケットを伝搬する際にオーバーヘッドの増加を防ぐために、異常走行車両が他の異常走行車両からのパケットを受信した場合にはパケットを伝搬しないという制限を設けている。

2.2 既存方式の問題点

本稿では交差点における出会い頭事故防止支援を目的としているため、交差点上で車両アドホックネットワークを構築する際の既存方式の問題点を述べる。上記で示したように警告パケットの伝搬ではリアルタイム性が求められる。よって、経路構築に時間のかかるリアクティブ型プロトコルは事故防止には適していない。リアクティブ型プロトコルにより出会い頭事故防止を図ったときの問題点を以下に述べる。図 1 はビルなどの建物がある見通しの悪い交差点で優先車両から非優先車両へ警告パケットを送る状況を示している。図 1 の車両 S と車両 D が通信を行う際、車両 A が交差点内にいないと通信を行うことが出来ない。車両 A が移動し図 1 の右図になったとき車両 S と車両 D は経路を構築し始める。しかし、車両 A が交差点内にいる時間は非常に短いため経路を構築している間に車両 A が交差点から出てしまう状況が生じる。よって、警告パケットを送ることが出来なくなってしまう。



図 1: 見通しの悪い交差点における車車間通信

これらから、出会い頭事故防止支援には位置ベース型や散布プロトコルが適していると言える。位置ベース型の代表的なプロトコルである GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing) [6] では、宛先へ最も近いノードを中継車両として選択している。しかし、交差点形状では、シャドウイングの影響により宛先へ最も近い車両を中継車両として選択したとしても中継車両が交差点内にいなければ通信を行うことが出来ない。GPSR では、宛先車両へ届かない場合でも一定周期で常に警告パケットを送ってしまうため冗長な警告パケットが増加しトラフィック量が増加する。また、位置情報を散布する際に使用するビーコンによってもトラフィック量が増加してしまうという問題もある。

すなわち、交差点において位置情報型のプロトコルを使用する場合、位置情報の必要性に応じたビーコンの散布と道路環境を考慮した警告パケットの送信をする必要があることが分かる。

3 提案方式

本稿では、交差点における出会い頭事故防止支援を目的とし、交差点に差し掛かる車両の位置からパ

ケット送信を動的に変化させるプロトコルを提案する。本手法における2つの機能として、冗長なビーコンを削減するために位置情報更新の必要性に応じてビーコンの送信周期を制御するビーコン送信周期制御と交差点内に中継車両がいる時のみ送信車両にパケットを送信させる警告パケット送信制御を提案する。これらを行うことにより、トラフィック量を低減しつつパケット到着率を上げ、出会い頭事故防止支援を図る。

また、これらを行う際の前提条件を、各車両はGPSにより自車両の位置を既知、各車両は自身のIDは既知、各車両は優先道路、非優先道路を既知とする。

以下に、提案の詳細を示す。

3.1 想定環境

本稿で想定する道路環境を図2に示す。

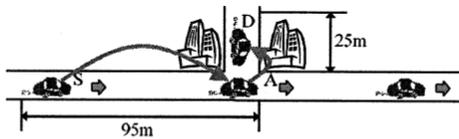


図 2: 想定環境

車両 S は交差点手前 95m 以内の優先道路を走行している車両を示し、車両 D は交差点手前 25m 以内の非優先道路を走行している車両を示している。尚、車両 D は、交差点手前 5m で停止するものとする。また、車両 A は交差点内に存在する車両を示している。図 2 は、車両 S から車両 D へパケットを送信する状況を想定している。車両 S から車両 D へパケットを送信する際に、交差点でのシャドウイングの問題から車両 D がパケットを受信できるのは交差点内に車両 A がいるときのみである。

3.2 ビーコン送信周期制御

位置情報更新の必要性に応じ、車両速度、速度ベクトル、車両の移動距離を考慮しながらビーコンの送信周期を動的に変化させる手法について説明する。

以下では、まず位置情報更新の必要性を説き、その後、ビーコン送信周期制御の詳細について説明する。

3.2.1 位置情報更新の必要性

近隣車両の位置情報を正確に維持するために、ビーコン送信周期は短いほうが良いが、一方でトラフィック量が増加してしまう。車車間通信において近隣車両の変化は、道路形状や建物などの外的要因の影響を受けやすい。道路上を走行している車両はこのよ

うな外的要因の影響を受けるため、その時々状況により位置情報更新の必要性は変わってくる。

具体的な例を用いて説明する。図 3 は優先道路を走行している車両 A の位置情報更新の必要性が変化していく様子を示している。図 3 の左図の車両 S と車両 A は同一車線を走行しており、類似した運動をしていると考えられる。よって、車両 A の通信範囲から車両 S が抜ける可能性は低く、位置情報更新の必要性は低いと考えられる。しかし、図 3 の右図で車両 A の通信範囲に車両 D が入ってきた時、車両 A と車両 D は優先、非優先の関係であるため車両 A の通信範囲内に車両 D が存在している時間は短くなり、位置情報更新の必要性は高いと考えられる。すなわち、交差点内では位置情報更新の必要性が高くなるのが分かる。

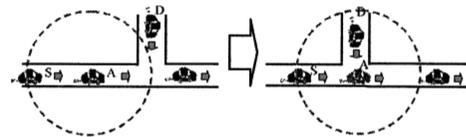


図 3: 位置情報更新の必要性

これらの考えを基に、トラフィック量を抑制しながらも、出会い頭事故を防止することができるビーコン送信周期を車両速度、速度ベクトル、車両の移動距離から決定する。

3.2.2 ビーコン送信周期の決定

車両速度、速度ベクトル、車両の移動距離を考慮しビーコン送信周期を決定する手法について説明する。まず、近隣車両との速度ベクトルのなす角度 θ を計算し、閾値 θ_i を設けることにより、位置情報の必要性の高い交差点で頻繁に位置情報を交換できるように制御する。まず、 θ と θ_i の関係を図 4 に示す。図 4 右図の矢印はそれぞれ図 4 左図の車両 A、B の速度ベクトルを表している。図 4 から 2 車両のなす角度 θ が領域 Y、領域 Z に含まれている場合、2 車両は交差点を走行していると判断できる。しかし、車両が交差点内で止まっている場合車両は速度ベクトルを保持していない。そこで、以下のような場合分けをする。

- 車両が走行し θ が Y、Z に含まれている場合
2 車両が交差点内にいると判断し 100msec で位置情報を交換する。
- 車両が走行し θ が Y、Z に含まれていない場合
2 車両は類似した運動をしていると判断する。

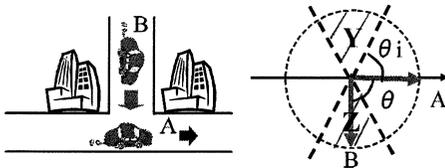


図 4: 速度ベクトルによる場合分け

類似した運動をしている場合、頻繁に位置情報を交換する必要はない。そこで、一定周期で位置情報を交換するのではなく、(1)式から移動距離に応じてビーコンの送信を動的に変化させる。

$$\Delta t = \frac{3600}{1000 \times v} \times \Delta x \quad (1)$$

ここで、 Δt はビーコン送信周期、 v は速度、 Δx は速度別に決定される走行距離を示している。

● 車両が停止している場合

車両は 10km/h になったときの速度ベクトルを保持している。これは、GPS を用い独自に測定した結果、速度が 10km/h 以下になったとき、進行方向誤差が大きくなったからである。よって停止車両が走行中の車両からビーコンを受信したとき、停止車両が 10km/h で走行していると仮定し、上記の場合分けに基づきビーコン送信周期を決定する。

以上のように位置情報の必要性に応じてビーコン送信周期を変化させることによって、通信オーバーヘッドを低減しながらも出会い頭事故を防止できる。

3.3 警告パケット送信制御

交差点に差し掛かる車両の位置を考慮し、交差点に中継車両がいるときのみ警告パケットを送信する手法について説明する。図 5 に提案手法の例を示す。図 5 の車両 S は警告パケット送信車両、車両 D は警告パケット宛先車両、車両 A は警告パケット中継車両を示している。各車両はビーコンを 1 ホップ内の車両にブロードキャストしている。提案方式でビーコンは、自身の ID、位置情報を通知すると共に、交差点におけるシャドウイングの影響の有無を確認するために使用される。

車両 A が車両 D からのビーコンを受信した場合、車両 A はシャドウイングの影響を受けずに車両 D と通信が出来る。そこで、車両 D からのビーコンを受信した車両 A は、自身後方 95m 以内の車両へ警告要求パケットを送信する。この警告要求パケット

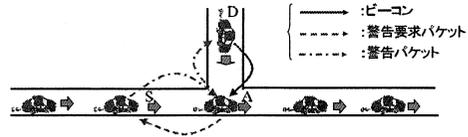


図 5: 警告パケット送信制御

を用いることにより、パケット送信車両は宛先車両と通信可能であることを認知できる。また、警告要求パケットを送信する際、警告要求パケットの中に警告パケットの送信時間の閾値として車両 D のビーコン送信周期を入れ、警告パケット送信車両へ警告パケット送信時間の最大値を通知する。警告要求パケットを受信した車両 S は、車両 D へパケットを通知できると判断し、車両 A 経由で車両 D へパケットを送信する。

このように、宛先車両からのビーコンを受け取った車両が宛先車両と通信可能であることを判断することによって警告パケットの送信をコントロールし、既存方式の様な宛先車両へ到達不可能である冗長なパケットを除去している。

4 評価

4.1 シミュレーションモデル概要

本方式の有効性を計算機シミュレーションにより評価を行った。シミュレーションモデルを図 6 に、シミュレーション条件を表 1 に示す。図 6 の車両 S は警告パケット送信車両、車両 A は警告パケット中継車両、車両 D は警告パケット宛先車両を示している。

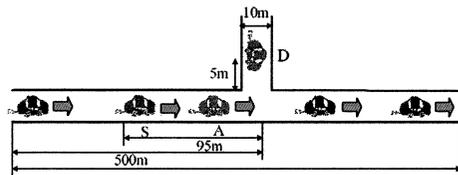


図 6: シミュレーションモデル

シミュレーションでは、優先道路を走行する交差点後方 95m 以内の車両から非優先道路の交差点後方 5m で停止している車両へ警告パケットを送った。優先道路を走る 1 台目の車両が交差点内に入ったとき通信を開始し、交差点を通過する車両が 20 台になった時通信を終了した。

道路モデルは、優先道路一車線、優先道路の 500m 地点に非優先道路のある T 字路をモデルとした。尚、本シミュレーションでは、シャドウイングの生じる状況をモデルとしているため、交差点の角に高さ 25m

表 1: シミュレーション条件

優先道路	直線 1000m, 片側 1 車線
非優先道路	優先道路 500m 地点, 幅 10m
車両台数	20 台
平均速度	40,50,60,70,80,90km/h
無線通信方式	IEEE802.11b
無線通信距離	100m
警告パケット送信間隔	10msec
Δx	2.5m
θ_i	70°

以上の建物が建っている状況を想定している。これは、高さ 25m 以上の建物が建っている場合、屋上を経由したパケット伝搬をほとんど無視できるからである。

車両は、非優先車両の場合、交差点 5m 手前で必ず停止するものとした。これは一般的な交差点で非優先車両は交差点 5m 手前で停止するからである。優先車両は、優先道路を走行する 20 台の平均速度が設定平均速度となるように走行させた。尚、交差点を抜けた優先車両が警告パケットを受信した場合、警告パケットを破棄させた。

無線通信方式は、IEEE802.11b をモデル化したものを使用した。無線通信距離は、IEEE802.11b の最大通信距離である 100m を設定した。

4.2 比較対象および評価項目

4.2.1 比較対象

以下の 3 つの経路構築方式を比較対象とした。

- **proposal**

本研究の提案方式である。

- **GPSR**

位置ベース型のプロトコルである GPSR を評価に用いる。警告パケットは交差点 95m 手前から警告パケット送信周期で常に送信され、中継車両が交差点を抜けていた場合警告パケットを破棄している。また、ビーコンは一定周期で送信されている。

4.2.2 評価項目

以下の 2 つの項目について評価した。それぞれの横軸は、優先車両の平均速度とする。これは、平均速度により優先車両が交差点内に滞在する時間が変化するからである。

- **パケット到着率**

シミュレーション時間の間に生成された警告パケットと宛先車両へ到達した警告パケットの割合を示す。

- **トラフィック量**

単位時間あたりに位置情報の伝達のため使用された制御パケットと警告パケットの合計パケット数を示す。制御パケットにはビーコン、提案方式では警告要求パケットが含まれている。

4.3 シミュレーション結果と考察

以下にシミュレーション結果を示し、それぞれについて考察を行う。

4.3.1 パケット到着率

図 7 は警告パケットのパケット到着率と優先車両の平均速度の関係を示したものである。

全体の傾向として、平均速度が上がるにしたがって、パケット到着率が低下している。平均速度が上がると、送信車両と宛先車両が通信を行うことができる条件である中継車両が交差点内にいる時間が短くなる。これによりパケットが宛先車両へ到達する機会が減少するため、全体的に平均速度が上がるとパケット到達率が低下すると言える。

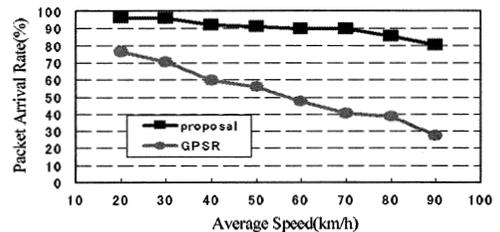


図 7: パケット到着率

proposal と GPSR を比較する。proposal では平均速度が増加しても、パケット到着率の減少を抑制出来ていることが分かる。一方、GPSR は平均速度が上がるにつれパケット到着率が減少している。proposal では警告パケット送信制御により交差点内に車両がいる時のみ警告パケットを送信しているため、交差点内に中継車両がないときに送信される冗長な警告パケットを大幅に削減しているが、GPSR では交差点手前 95m から常に警告パケットを送っているため冗長な警告パケットが増えてしまう。また、proposal ではビーコン送信周期制御を行っているため、GPSR よりも冗長なビーコンを削減している。これらから、

proposalはGPSRよりも警告パケットの送信数が減り、パケット衝突により警告パケットが宛先車両へ届かないという問題も解決しているためこのような結果になったと言える。

以上より、出会い頭事故防止支援に必要な警告パケットを送るために、交差点内の車両を優先的に選択することにより冗長な警告パケットを削減し、パケット到達率を増加させることに成功した。よって、提案方式の有効性を示すことが出来た。

4.3.2 トラフィック量

図8は、トラフィック量と平均速度の関係を示したものである。

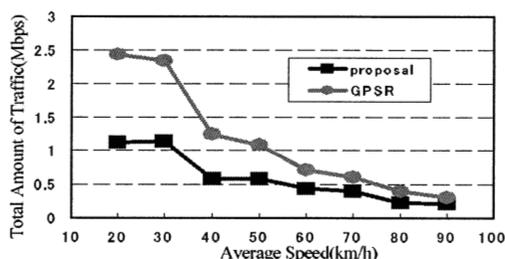


図8: トラフィック量

全体的な傾向として平均速度が上がるにつれ、トラフィック量は減少している。トラフィック量は警告パケット、制御パケットであるビーコン、proposalの場合は警告要求パケットを含んでいる。この中で、トラフィック量にはブロードキャストを行っているビーコンが最も影響していると考えられる。平均速度が上がるにつれ車両密度が減り、自身の通信範囲の車両数が減るため、平均速度が上がるにつれトラフィック量が減少しているといえる。

proposalとGPSRを比較する。proposalはGPSRよりも低速時には最大約60%のトラフィック量を削減している。これは、ビーコン送信周期制御を行っていることが最も影響している。ビーコン送信周期制御を行い交差点内ではビーコンを100msecで送信し、それ以外ではビーコンの送信を抑制しているproposalは、一定周期でビーコンをブロードキャストしているGPSRより送信ビーコン数が少なくなる。よって、必然的にトラフィック量は減少する。また、proposalは警告パケット送信制御により警告パケット数も削減しているためGPSRよりも低いトラフィック量になっている。proposalは警告パケット送信制御を行う際に、警告要求パケットを送信してい

るがGPSRよりも低いトラフィック量となっているため警告要求パケットの影響は小さいと考えられる。

以上より、ビーコン、警告パケットのトラフィック量を抑制している提案手法は既存方式と比べ低いトラフィック量を示すことが出来た。これにより、トラフィック量を削減しながらも出会い頭事故防止支援が出来たと言える。

5 おわりに

本稿では、交差点における出会い頭事故防止を支援するために、交差点に差し掛かる車両の位置を考慮し、交差点内に中継車両がいる時のみパケット送信を開始するプロトコルを提案した。シミュレーションにより位置ベース型の代表的なプロトコルであるGPSRと比較した結果、平均速度に関わらず、本方式は既存方式よりも約30%高いパケット到着率と約50%トラフィック量を低減することができた。以上より、中継車両の位置情報を考慮しパケット送信を動的に制御することで、宛先車両へパケットを高い確率で届けることが出来、提案手法の有効性を確認することが出来た。

謝辞

本研究の一部は、文部科学省科学技術振興調整費による委託業務「先端融合領域イノベーション創出拠点の形成コ・モビリティ社会の創成」により実施されたものです。

参考文献

- [1] 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, Vol.J89-B, No.6, pp. 824-835, 2006.
- [2] 茂木信二, デーブウィロー・ジャン・ボンニワット, 堀内活規. 車々間通信のためのパケット中継制御方式の提案. 電子情報通信学会論文誌, Vol.J91-A, No.1, pp. 95-104, 2008.
- [3] 吉田成志, 新井国充, 浅見重幸, 三木哲也. 車両アドホックネットワーク向けルーチング方式の提案. 電子情報通信学会論文誌, Vol.J88-B, No.8, pp. 1434-1443, August 2005.
- [4] Valery Naumov Rainer Baumann Thomas Gross. An evaluation of inter-vehicle ad hoc networks based on realistic vehicular traces. In *ACM MOBIHOC'06*, pp. 1434-1443, May 2006.
- [5] Xue Yang Jie Liu Feng Zhao. A vehicle-to-vehicle communication protocol for cooperative collision warning. In *IEEE MobiQuitous'04*, pp. 114-123, April 2004.
- [6] B.Karp H.T.Kung. Gpsr:greedy perimeter stateless routing for wireless networks. In *ACM MOBICOM'00*, pp. 243-245, 2000.