

車車間通信に適したフラッディング

若山 公威

1. はじめに

近年アドホックネットワークの様々な場面での利用についての研究が盛んに行われている。アドホックネットワークとは基地局などのアクセスポイントを必要としない無線通信ネットワークのことであり、各無線端末が自律的にネットワークを構築することができる。このアドホックネットワークを車車間通信に用いることで、出会い頭の事故防止や事故発生時の玉突き事故防止など、車の安全走行を助ける ITS (Intelligent Transport Systems) アプリケーションシステムとして活用できる。

車車間通信においては、急ブレーキや衝突事故の際に周辺車両へ確実に情報を伝える必要がある。この情報を緊急情報と呼ぶ。アドホックネットワークにおいて、ネットワーク中の多数のノードに同一のデータを送信する方法としてフラッディングがある。しかし、従来のフラッディング方式ではトポロジの動的な変化に応じてノード間通信の成功率に大きな影響が生じるため、緊急情報の送信には適さない。フラッディング通信成功率が低下する主な原因としては、ノード密度が高い場所でのパケット衝突によるものと、端末密度が低い場所でのノード間距離が遠いことによるデータ到達率の低下があげられる。

本稿ではこの課題を解決するために、通信車両の位置情報を用いて緊急時情報を効率よく伝達する手法を提案する。そして、実環境の実験で得ら

れたデータを計算機シミュレーションに適用して、プロトコルの性能を評価する。

2. 既存のフラッディング方式

2.1. フラッディング

フラッディングとは、送信したいパケットをブロードキャストにて電波到達範囲内の全ノードへ送信し、受信したノードが再びそのパケットをブロードキャストすることを繰り返すことで、ネットワーク内の不特定ノードへ同一情報の配信を行うものである。不特定ノードへ送信するのではなく、自身のルーティングテーブルに載っていない特定のノードへ送信するために利用することもある。この場合は、目的のノードに届いたら、そのノードは転送をしない。また、TTL (Time To Live) にて転送回数を制限することもある。

フラッディングでは、新しいパケットを受け取ったノードは、必ず1度だけブロードキャストして近隣ノードへ転送することになる。近隣ノードが全て受け取っていたとしても、それを認識することができないからである。フラッディングされるパケットには、送信元ノードIDとシーケンス番号のような、他のフラッディングパケットと区別できるようなデータが入れられており、受け取ったノードはこの情報をローカルで保存しておく。この情報を用いて、ノードが同一内容のパケットを2度目以降受け取った場合には転送はしない。

フラッディングの利点として、制御情報は一切不要であり、制御が容易であることがあげられる。欠点としては、余分なブロードキャストによりネットワーク帯域を圧迫することがあげられる[1]。さらに、通常のユニキャスト通信の際はACK (Acknowledgement) パケットの返信がない場合には再送を行うものの、ブロードキャストの場合はACKパケットの返信と再送は行わないため、通信の信頼性が低くなるという問題もある。

アドホックネットワークの多数のユニキャストプロトコル手法は、フラッディングを使って経路情報の交換を行うため、フラッディングの効率化と信頼性の向上が必要となる。

2.2. フラッディング方式の分類

効率よく確実に情報をフラッディングするために、コリジョンを減らす方法が多く提案されている。文献[2]ではフラッディング方式を大きく4種類に分けている。これらは、単純フラッディング、確率を用いた手法、位置情報を用いた手法、近隣ノード情報を用いた手法である。

単純なフラッディングでは、各ノードが受け取ったメッセージを全て再送する。

確率を用いる手法では、転送するかどうかを確率に基づいて決める。一定時間内に受け取ったパケット数などに応じて転送するかどうかを決定するものもある。重複パケットチェック方式と呼ばれるものも含まれる。

位置情報を用いる手法は、パケットを受け取った場合、送信したノードから近いノードは転送しないで、遠いノードのみが転送するものである。

近隣ノード情報を用いる手法では、隣接ノードから定期的に Hello メッセージを受け取り、隣接ノード情報をもとに送信するかどうかを決める。

2.3. 既存方式の問題点

前節で述べた各方式を緊急時通信に使うには、それぞれ問題点が依然として残っている。

単純なフラッディングは隣接ノードが多いほど、大量のコリジョンを生じる。それによって通信の成功率に影響を与えることがある。確率を用いる手法と位置情報を用いる手法の欠点として、待ち時間を設定するため全体として受信に時間がかかることが挙げられる。これにより緊急時通信に要求された迅速性を満たすことが難しくなる。近隣ノード情報を用いる手法は Hello パケットの交換が必要である。従って、Hello パケットの膨大化

により、ネットワーク帯域を消費してしまうことで通信の成功率が悪化する。

3. 提案方式

3.1. 提案方式概要

アドホックネットワークでは安定した通信が困難である。その理由の1つとして、グレイゾーンがある[3]。グレイゾーンとは、ブロードキャストの packets は低いレートで送信されるため受け取ることができるが、データ packets は高いレートで送信されるため受信できない領域のことである。アドホックネットワークの各種ルーティングプロトコルで使われる Hello packets はブロードキャストで送信されるため、端末の存在は分かっているにもかかわらずデータを送信できないことになってしまう。電波状態は常に変動しているため、グレイゾーン付近での Hello packets は、バースト的に受信できたりできなかったりする場合がある。

重要なデータを送信する場合には、グレイゾーンに存在するノードを中継ノードに選ばないほうが好ましい。しかし、どのノードがグレイゾーンに存在しているかを正確に把握するのは困難である。

さらに、近い車両を転送先とする場合、電波受信強度が強く安定しているものの、混雑した環境ではネットワーク全体のメッセージ数が膨大となりコリジョンを招く。このため、最適の距離を選択することが必要となる。

また、フラッディングを効率化するため、1回の送信によって多くのノードが受信できることが望ましい。従って、周辺ノードの数が多いノードを転送ノードにすることも必要となる。

上記の考え方に基づいて、提案方式では、各ノードは位置情報を用いて優先度を算出し、自身と周辺ノードの優先度により転送処理を行う。

3.2. プロトコルの流れ

まず、電波状態を計測して、通信安定距離 D_S と最大通信距離 D_M を予め

設定しておく。

各車両は GPS を搭載しており、定期的に自車の位置情報（経度と緯度）を得るものとする。この位置情報が含まれた Hello パケットを交換することにより、各ノードは自分の隣接車両の位置情報を得る。そして、各ノードは、位置情報を使って自身と各隣接端末の車間距離及び前後関係を算出する。算出距離に応じて式（1）を使って優先度 P_1 を計算する。

$$P_1 = N + M + \sum_{l=1}^L \left(1 - \frac{D_l - D_S}{D_M - D_S} \right) \quad (1)$$

ここで、 N は注目しているノードとの距離が $D_S/2$ 以下の隣接端末数、 M は注目しているノードより後ろ（転送方向）、かつ距離が $D_S/2$ より大きく D_S 以下の隣接端末数を示している。 L は注目しているノードより後ろ（転送方向）、かつ距離が D_S より大きく D_M 以下の隣接端末数を、 D_l は注目ノードと各ノードとの距離を示している。つまり、 P_1 は図1のように、周辺ノードの数と次転送可能ノードへの距離による重みを考慮した値となっており、この値が大きいほど安定した電波範囲に隣接ノードが多いことを

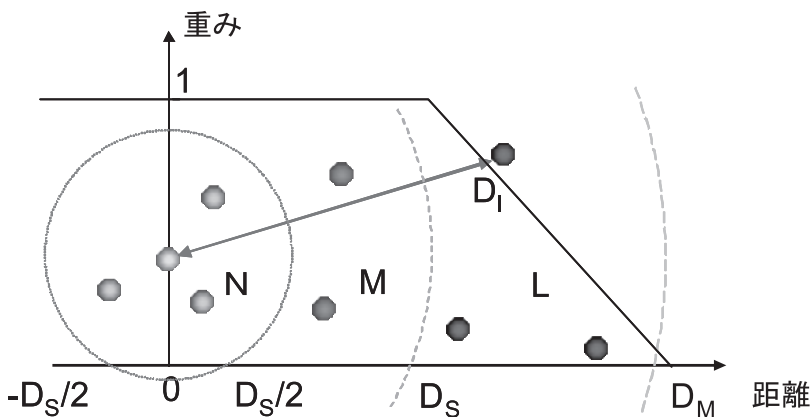


図1 P_1 の意味

意味する。 P_1 を位置情報と一緒に Hello パケットに入れて、隣接ノードと交換する。

緊急情報を送信するノードは、メッセージに priority 値を入れて送信する。送信元ノードの場合は0である。緊急情報を受信したノードは、送信ノードとの距離 D および優先度 P_1 を使って、式 (2)～式 (4) を用いて自身及び隣接端末の優先度 P を算出する。

$$D \leq \frac{D_s}{2} \text{ のとき} \quad P = \frac{2P_1 D}{D_s} \quad (2)$$

$$\frac{D_s}{2} < D \leq D_s \text{ のとき} \quad P = P_1 \quad (3)$$

$$D_s < D \text{ のとき} \quad P = P_1 \left(1 - \frac{D - D_s}{D_M - D_s} \right) \quad (4)$$

自身と隣接端末の優先度 P の比較によって自身の priority 値を決める。優先度が最も高いノードの priority 値は0で、以下、昇順に整数値をとる。priority 値が3より小さい場合、転送処理を行う。転送の際には、自身の priority 値と基本待ち時間 T の掛け算により待ち時間を算出し、待ち時間を経た後に転送する。転送ノードでは、メッセージ内の priority 値を自身の値に変更する。ただし、同一メッセージを再び受信したノードは、メッセージの送信 priority 値をチェックし、送信 priority 値がこのメッセージの priority 値より小さい場合、転送を行わないものとする。つまり、本方式は、1ノードのみではなく時間をずらして複数ノードが転送することにより、最終的な受信率の向上をはかるものである。

4. 提案方式の評価

4.1. シミュレーション環境の設定

提案システムの性能を評価するため、ns2[4]を使って計算機シミュレー

ションを行う。

現実と近いシミュレーション環境を得るため、実環境の通信状況を測定することが必要である。このため、名古屋工業大学構内の屋外通路において、IEEE802.11b 無線カードを有したノート PC 2 台を用いて受信率と位置の関係を調べた。1 台のノート PC を通路に配置して、もう 1 台のノート PC を始めは10メートル、その後10メートルずつ離しながら、各距離において1000回送信を行った。この実験結果を図 2 に示す。「深夜」は障害車両がほとんどない休日の21時30分から翌 1 時の時間帯に測ったデータであり、「昼間」は障害車両や人が多い平日の15時から18時に測ったデータである。

この結果から、当環境ではノード間距離が100メートル以下の場合には安定領域であることが言える。また、200メートル以上の場合にはほとんど受信できないことが分かる。従って、シミュレーションにおける通信安定距離 D_S は100 (m)、最大通信距離 D_M は200 (m) とした。

ns2 での電波伝搬モデルとして、実環境と最も近いモデルである Shadowing Model を用いた。実環境から得たデータによって、モデルのパラ

表 1 Shadowing Model のパラメータ設定

パラメータ	値
Path loss exponent	3.5
Shadowing deviation (dB)	4.0
Reference distance (m)	90.0

表 2 車線内でのノード間距離と速度

ノード数	車線内ノード間距離 (m)	各車線内での速度 (km/h)
30	100~140	100, 120, 140
60	60~100	60, 80, 100
90	20~60	20, 40, 60

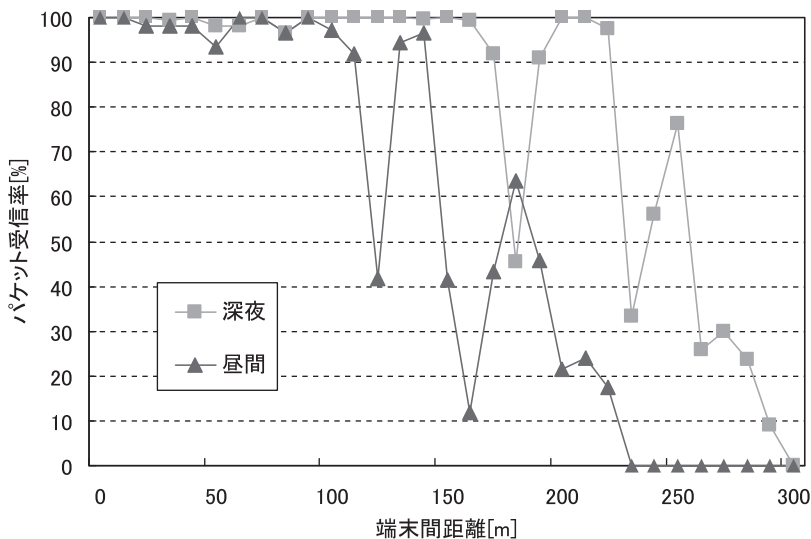


図2 端末間距離とパケット受信率の関係

メータを表1のように設定した。また、基本待ち時間 T は5 (ms) とした。

シミュレーションにおいては、長さ3000メートル、幅30メートルの3車線の仮想道路にノードを配置する。各車線間の速度は異なり、同一車線内ノードは同速度同方向に移動している。先頭ノードは緊急情報として、100 byte のデータを1秒間隔で50回送信を行う。

また、ノード密度による性能の評価を行うために、ネットワークに含まれるノード数を30、60、90と変化させて実験を行った。各車線内でのノード間距離と速度は表2のとおりとし、車線内でのノード配置はランダムとした。

4.2. シミュレーション結果と考察

図3に、単純フラッディングと提案方式でのコリジョン数の比較を示す。以下、全ての実験において5回試行を行い、その平均を実験結果とした。単純フラッディングでは、受信したパケットは必ず1度は再送するた

め、コリジョンが増えてしまう。特にノード密度が高くなると、パケットが衝突する確率が高くなるため、コリジョン数も増加する傾向にある。提案方式でもノード密度増加に伴いコリジョン数も増加しているものの、単純フラッディングよりも大幅に削減ができています。

図4に受信率の比較を示す。ノード密度が変わっても、単純フラッディングと提案方式は同等の受信率となっている。単純フラッディングにおいては、図3で密度を高くするとコリジョンが多くなったものの、図4では受信率は維持されていることが分かる。これは、今回の実験ではコリジョンが帯域を占める割合が少なく、通常の通信に影響が出なかったものと考えられる。今後、ノード密度をさらに高くして実験することが必要である。

図4においてノード密度が低い場合は、どちらの方式でも受信率が低くなっている。これは、ノード間の距離が長くなるため、電波が届きづらくなるためである。このような場合の対策としては、各ノードにおけるパ

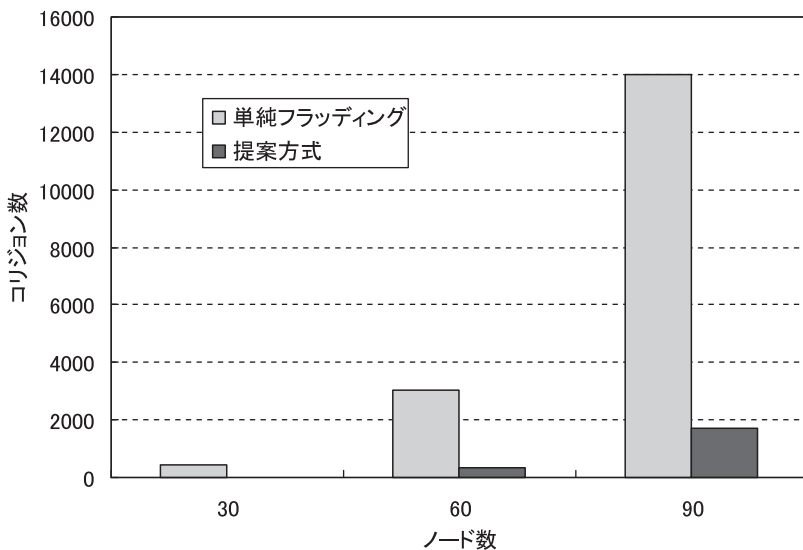


図3 コリジョン数

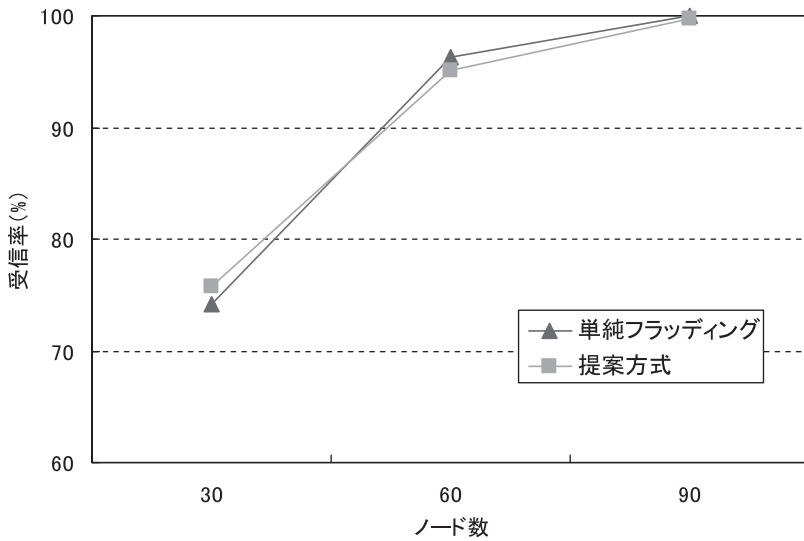


図4 受信率

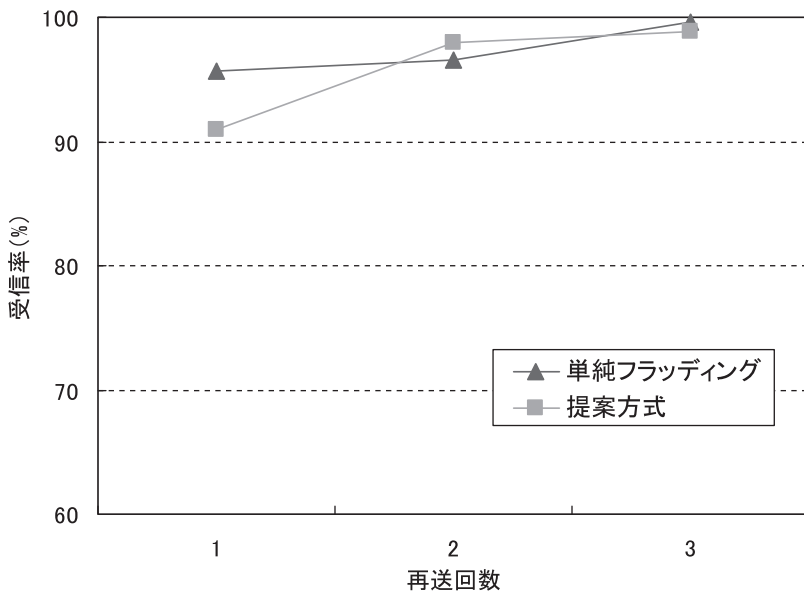


図5 再送を行ったときの受信率

ケットの再送が挙げられる。そこで、ノード数30において、50ms 間隔で再送回数を1回から3回まで変化させて実験を行った。この結果を図5に示す。再送を行うことにより両方式とも受信率の向上が見られる。特に3回再送を行うと100%に近い受信率となることが分かった。今回の提案方式は、中継するノード数を削減することによりコリジョンを防いでおり、ノード数が少ない場合には効果が出ない。これに加えて本方式では、受信率向上を目的に複数の中継ノードが時間差での転送も行っているものの、今回はこの効果は出ていないと考えられる。この原因については、さらなる調査が必要である。

5. まとめ

本稿では、大規模な車車間ネットワークでも動作可能なフラッディング方式として、車両の位置を用いて緊急時情報を効率よく伝達する手法を提案した。本方式は、周辺ノードの数と次転送可能ノードへの距離をもとに優先度を求め、優先度の高い順に転送ノードを決めるものである。

計算機シミュレーション実験の結果、単純フラッディングと比べて本提案方式では、受信率を保ちつつ、高密度のときのコリジョンを削減できることが分かった。さらに、低密度の場合、再送機能により到達率の低下を防ぐことが可能なことを検証した。

今後の予定として、周辺密度に応じてパラメータ及び再送数を制御する方式の検討が挙げられる。

謝辞

本研究を進めるにあたり御助言いただいた名古屋工業大学大学院岩田彰教授に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] Sze-Yao Ni, Yu-Chee Tseng, Yuh-Shyan Chen, Jang-Ping Sheu: The broadcast storm problem in a mobile ad hoc network, Proceedings of the Fifth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'99), pp. 151-162, 1999
- [2] Brad Williams, Tracy Camp: Comparison of Broadcasting Techniques for Mobile Ad Hoc Networks, Proceedings of the ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MOBIHOC), pp.194-205, 2002
- [3] Henrik Lundgren, Erik Nordstrom, Christian Tschudin: Coping with Communication Gray Zones in IEEE 802.11b based Ad hoc Networks, Proceedings of the 5th ACM International Workshop on Wireless Mobile Multimedia, pp.49-55, 2002
- [4] <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>