

車車間通信におけるコリジョン数を削減するフラッディング方式の提案と評価

姜 巍[†] 川瀬 悠[†] 若山 公威^{††}
岩田 彰[†] 白石 善明[†]

ITS(Intelligent Transport Systems)における車車間通信へのモバイルアドホック無線通信の応用により、安全・安心運転や快適さの向上が期待されている。安全運転のための緊急時情報などを素早く共有するために、フラッディング方式を利用したシステムの開発が必要である。本論文では、車両の位置情報に基づいて計算する優先度を用い、緊急時情報を効率よく伝達するフラッディング手法を考案し、実環境の実験で得られたデータをシミュレーション環境(NS2)に適用して、比較実験によりプロトコルの性能を評価した。

An Effective Flooding Algorithm for Mobile Ad-hoc Networks

WEI JIANG[†], HISASHI KAWASE[†], KIMITAKE WAKAYAMA^{††},
AKIRA IWATA[†] and YOSHIKI SHIRAISHI[†]

With the application of Mobile Ad-hoc network for ITS(Intelligent Transport Systems) such as Car-to-Car communication, improvements in driving comfort and driving safety are being expected. For share emergency messages of the driving safety quickly, the development of a system using flooding is necessary. In this paper, for the effective propagation emergency messages, we proposed a flooding method using a prior value based the car's position information. By applying the data got from the experiment in reality environment to NS2 environment, we evaluated the protocol by comparative experiments.

1. はじめに

近年アドホックネットワークの利用が拡大しており、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アプリケーションシステムとして活用できる。車車間アドホック通信においては、安全性を高めるために確実に情報を周辺車両に伝えるシステムの開発が必要である。アドホックネットワークでは、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ーの動的な変化に

じてノード間通信の成功率に大きな影響が生じる。フラッディング通信成功率が低下する主な原因はノード密度が高い区域のバケット衝突によるものと端末密度が低い区域のノード間距離が遠いことによるデータ到達率の低下である。

本研究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考案し、実環境の実験で得られたデータをシミュレーション環境(NS2)に適用して、比較実験によりプロトコルの性能を評価した。

2. 既存のフラッディング方式

2.1 フラッディング

ネットワークブロードキャストは、ネットワーク内部の一つのノードが送信したデータを複数のノードが受信できる手段である。ブロードキャストはMANETに対して、大きな役割を持っており、多数のユニキャストプロトコル手法はブロードキャストを使って経路情報の交換を行う¹⁾。

既存の多くのユニキャストプロトコル手法はブロードキャストの1種類であるフラッディングを用いる。

[†] 名古屋工業大学
Nagoya Institute of Technology
^{††} 名古屋外国語大学
Nagoya University of Foreign Studies

しかし、フラッディングにより経路情報の配布もしくは交換を行う場合、ネットワークのノード数およびリンク数が増加するとともに経路制御情報交換のためのトラフィック（制御トラフィック）の量が増大し、通信トラフィックへの影響が大きくなる。また、ノード障害時には隣接する各ノードからフラッディングを行うため一時的な輻輳が生じる可能性がある。

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幾つか提案されている。提案されてフラッディング方式は主に4種類に分けることが出来る。単純なフラッディング、確率による手法、距離による手法及び近隣情報による手法である。単純なフラッディングは各ノードが受け取ったメッセージを全て再送する。確率による手法はトポロジー情報を用いた上、再送確率に従って、再送を決める。距離による手法はノードがある程度未受信区域をカバーした場合、再送する。近隣情報による手法はノードがハローパケットの利用によって隣接ノードの情報を収集し、隣接ノード情報を用いて再送するかどうかを決める。以下はそれぞれの代表プロトコルについて説明する。

2.2.1 単純なフラッディング

単純なフラッディングアルゴリズムは各ノードが同じパケットを受信した場合、一つ目は再送し、それ以外は破棄する。この過程が全てのノードが受信するまで続く。この方式はノード密度が低いネットワークで複数回パケット受信機械があるなどメリットがある。

2.2.2 確率による手法

代表するプロトコルの一つは記数フラッディング²⁾と呼ばれる。各ノードが再送閾値回数 N と最大待ち時間 T_{max} を設定する。メッセージを受信したノードはランダム数 R を出し、 R と T_{max} の掛け算により待ち時間 t を決める。ノードは t の時間間隔内で同じ内容のメッセージ受け取った回数が N よりも小さい場合転送する。特徴としては密度の高い区域では一部のノードが再送せず、密度低い区域では全端末が再送することによって、再送回数を減らしてコリジョンを減少する。

また、我々の研究室の川瀬が動的に転送する確率を変更する動的な確率型フラッディングプロトコルを提案している（以下、川瀬確率方式と呼ぶ）。

転送の決定を行うための確率式のパラメータは、直前にパケットを転送したノードとの距離と、パケットの進行方向側のノード数である。パケットの伝達方向は送信ノードから遠ざかるように伝えることになるため、パケットを中継するノードの主な目的は自身より

も送信ノードから離れる側、つまりパケットの進行方向側にパケットを転送することである（図1）。そのため、パケット受信に成功したノードのうち、直前の転送ノードとの距離が遠いものほど転送を行ったほうが良い。さらに、そのとき問題となるのが、自身よりパケット進行方向側にあるノードがパケットを受信できているかどうかである。自身よりもパケット進行側にあるノードのいずれかがパケットを受信している可能性が高い場合、自身はパケットを転送しなくてもよい必要性が低くなる。



図1 パケットの伝送方向

上記の考え方にに基づき、川瀬確率方式では以下の手順が提案されている。

各ノードがハローパケットの交換により周辺ノードの位置情報を収集する。それぞれのノードは、直前の送信ノード位置情報を参照して、送信ノードに近い側から位置パラメータ $pos:1\sim 4$ の値に対応付ける。そして、その直前の送信ノードとの pos 値に応じてパケットの進行方向側の pos 値1範囲のノード数 n の重みを変化させて、パケット転送確率に反映させる。川瀬確率方式では、これを実現するために pos 値に応じて以下の方程式により転送確率 P を計算する。

- (1) 直前の送信端末との pos 値=1 : $P=1-0.1*n$
- (2) 直前の送信端末との pos 値=2 : $P=1-0.05*n$
- (3) 直前の送信端末との pos 値=3 : $P=1-0.03*n$
- (4) 直前の送信端末との pos 値=4 : $P=1$

なお、重みの付け方はノード数 n が転送確率が50%になるようなとき、パケット進行方向側の $pos1$ の範囲で全ての n 個のノードが受信できない確率が 10^{-5} 乗を切るように設定した。これは、この方式がネットワーク中のメッセージ数を減らすことを主目的としておらず、確実に早く緊急情報を伝えることを目的としているためである。

2.2.3 区域による手法

距離によるフラッディング²⁾はコリジョンを減らす方法の一つとして提案されている。このプロトコルは各ノードの位置情報を使う必要があるため、送信ノードが自身の位置情報を送信メッセージのヘッダに加えて送信する。データを受信したノードは送信ノードの位置と自分自身の位置を比べて、自身の通信区域を計算する。最大待ち時間 T_{max} 内の時間を経た後、ノ-

ドは再送閾値距離 D より大きい場合のみ転送する。

2.2.4 近隣情報による手法

代表プロトコルの一つSBA(Scalable Broadcast Algorithm)²⁾では自分自身の2ホップ先の周囲情報を収集する必要がある。各ノードは自身の表記(IPなど)と自身の隣接ノードの情報をハローパケットに入れて定期的に周辺端末に送信する。周辺ノードからのハローパケットを全て受け取った場合、2ホップ先までの周囲情報の収集が完成する。この周囲情報を用いてフラディング制御を行う。例えば、あるノードBはあるノードAからブロードキャストメッセージを受け取ったとき、その時点でAはBの隣接ノードのことを、BはAの全ての隣接ノードを知っている。仮にBの隣接ノードの中で、Aの送信したパケットが届かないノードが存在する場合(自身の転送が必要な場合)、Bは待ち時間を設定する。その間、同内容データが他ノードから届いた場合はBが他ノードの情報による再判断をして、待ち時間後に、まだ転送する必要がある隣接ノードが存在している場合はメッセージを転送し、存在しない場合は放棄する。隣接ノードリストの最大隣接ノード数を d_{Nmax} 、自身の隣接ノード数は d_{me} とすると、待ち時間は算式[1]の計算結果と基準待ち時間 T_s の掛け算より算出する。

$$\frac{d_{Nmax}}{d_{me}} \quad (1)$$

3. 提案方式

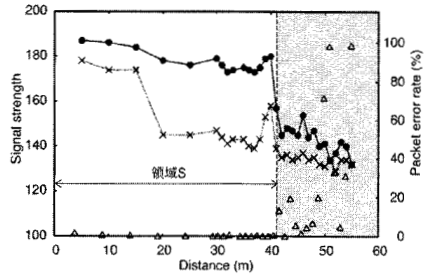
3.1 既存方式の問題点

第2章で述べた各方式を緊急時通信に使うには、それぞれの問題点がまだ残っている。単純なフラ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。また、大量の送受信のため、各ノードが電源を消費することによって通信の成功率に影響がでる。確率による手法と区域によ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。近隣情報による手法はハローパケットの交換が必要である。従って、ハロー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。既存方式の問題点を検討の上、車車間緊急時通信を前提として効率よく確実に情報をフラディングする新たな方式を提案する。

3.2 提案方式概要

無線装置は、ある閾値を設定して強度が閾値以上の

データを受信する。図2は、論文³⁾によって示された距離と電波強度の関係を表したものである。40メートル前後から、最大電波強度が急激に下がっている。ここでは40メートル以内を安定領域と呼ぶ。しかし、ロス率はそれ以降でもほぼ0である場所も存在し、電波強度に完全には依存していないことがわかる。



最大信号強度 (●), 最小信号強度 (×) とパケットエラー率 (△)

図2 ノード間距離と通信品質³⁾S.Itaya, et., "不安定な無線環境下における大規模アドホックネットワークの安定化", 情報処理学会論文誌, vol.46, No.12, pp.2850, 図2より転載

図3は、2ノード間の距離が31m(上)、46m(下)の時の、ハローパケットの信号強度の時間変動を表している。同じ位置であっても、電波強度は大きく揺らぎ、近いほど揺らぎは大きい傾向にある。

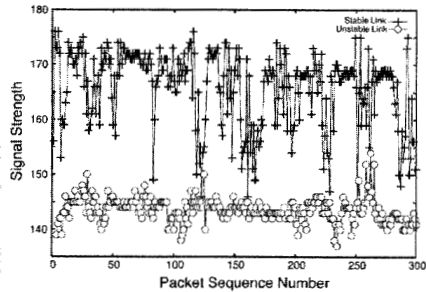


図3 二つ異なる地点での典型的な信号強度の時間変動³⁾S.Itaya, et., "不安定な無線環境下における大規模アドホックネットワークの安定化", 情報処理学会論文誌, vol.46, No.12, pp.2850, 図3より転載

結論としては、遠いノードを転送先とする場合電波受信強度が小さく(距離の2乗に反比例する)通信間の物理的な環境変化が起こる確率が高く、影響を受けやすい。近い車両を転送先とする場合、電波受信強度が

大きく安定している。しかし、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。それによって、最適の距離を選択することが一つの方向として考えられる。

また、フラッディングを効率化するため、一回送信より多くのノードが受信出来ることがよい。従って、周辺ノードの数が多しノードを転送ノードにすることをもう一つの方向として考えている。

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より転送処理を行う。

3.3 プロトコルの流れ

本方式では、通信安定距離 S と最大通信距離 M を予め設定している。

位置情報が含まれたハローパケットの交換により、各ノードが自分の隣接車両の位置情報を知っている。各ノードは位置情報によ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 2 によって優先度 $P1$ を計算する。

$$P1 = (N + M) * S + \sum_{o=1}^o (S - S * \frac{Do - S}{M - S}) \quad (2)$$

式に関する変数：

- ノードとの距離は $S/2$ 内の隣接端末の数 N 。
- ノードより後（転送方向）、かつノードとの距離は $S/2$ と S 間の隣接端末の数 M 。
- ノードより後（転送方向）、かつノードとの距離は S より大きい隣接端末の数 O 及びノードとの距離 Do 。

優先度 $P1$ を位置情報と一緒にハローパケットに入れて交換する。

送信元ノードは緊急情報が発生したら、メッセージのヘッダに送信 priority 値（発生源の場合：priority=0）を入れて送信する。

新たなメッセージを受信したノードは、送信ノードとの距離 D 及び優先度 $P1$ を使って、式 3～式 5 を用いて自身及び隣接端末の優先度 P を算出する。

$$\text{if}(D \leq S/2) \quad P = P1 * D * 2 \quad (3)$$

$$\text{if}(D > S/2 \quad \text{and} \quad D \leq S) \quad P = P1 * S \quad (4)$$

$$\text{if}(D > S) \quad P = P1 * (S - S * \frac{D - S}{M - S}) \quad (5)$$

自身と隣接端末の優先度 P の比較によって自身の priority 値 (P の降順より 0 から付け) を決める。priority 値が 3 より小さい場合、転送処理を行う。転送処理の内容では

- 自身の priority 値と基本待ち時間 Tb の掛け算

より待ち時間を算出する。

- メッセージの送信 priority 値を自身の priority 値で書き換える。

- メッセージリスト（重複メッセージチェックのため）が各メッセージのリスト priority 値が持っている (Default:255)、リスト priority 値を自身の priority 値で書き換える。

待ち時間を経た後、転送する。

同じ内容の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リスト priority 値より小さい場合、未完成の転送を停止。自身の priority 値を再計算する。そうではない場合メッセージのリスト priority 値マイナス 1。

4. 提案方式の考察

提案システムの性能を評価するため、NS2 を使ってシミュレーションを行う。

4.1 シミュレーション環境の設定

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。

4.1.1 実環境でパケット受信率の測定

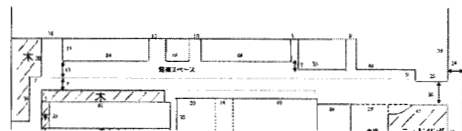


図 4 実験場所

実験環境（図 4）の通路に二つノードを用いて、受信率と位置の関係を調べる。一つのノードを左端に配置して、もう一つのノードを始めは 10 メートル、その後 10 メートルずつ離しながら、各距離で 1000 回で送信を行う。実験結果は図 5 に示す。「深夜」は障害車両がほとんどいない時で測ったデータ、「昼間」は障害車両や人が多い時で測ったデータ。

4.1.2 NS2 環境の設定

NS2 実験は実環境と最も近いモデル・Shadowing Model を用いている。実環境から得たデータによってモデルのパラメータが表 1 のように設定している。

二つのノード間の距離を変化させ、各距離ごとの受信率を測定する実験を行う。各距離で 1000 回送信をした結果は図 6 のようになる。この実験から、実験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

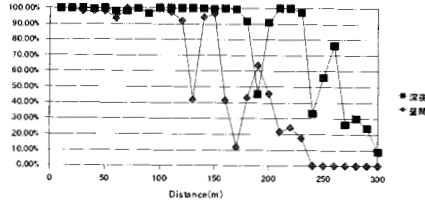


図 5 実験結果

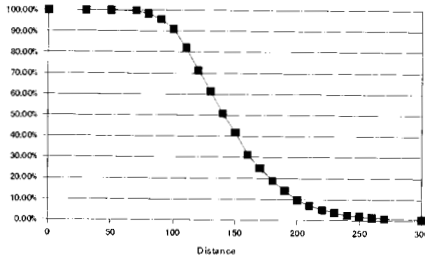


図 6 受信率と距離の関係図

パラメータ	値
path loss exponent	3.5
shadowing deviation(dB)	4.0
reference distance(m)	80.0

表 1 Shadowing Model のパラメータ設定

上の場合受信殆ど出来ないため、最大通信距離を 200メートルに設定する。

4.2 プロトコルの実装

提案方式を実装した上、比較対象として以下のフラッディングプロトコルを実装した。

- 単純なフラッディング
- 川瀬確率方式
- 記数フラッディング
- 距離によるフラッディング
- SBA

4.2.1 プロトコルのパラメータの設定

それぞれのプロトコルのパラメータが以下のように設定している。

- 川瀬確率方式
直前の送信端末との pos 値を「0-50m:1,50-100m:2,100-150m:3,150m-:4」に設定する。
- 提案方式
安定距離 S を 100 に設定する。
最大通信距離 M を 200 に設定する。

基本待ち時間 T_b を 0.005s に設定する。

- 記数フラッディング
最大待ち時間 T_{max} を 0.05s に設定する。
再送閾値回数 N を 3 に設定する。
- 距離によるフラッディング
最大待ち時間 T_{max} を 0.05s に設定する。
再送閾値距離 D を 70 メートルに設定する。
- SBA
基準待ち時間 T_s を 0.05s に設定する。
最大隣接ノード数を dN_{max} を 32 に設定する。

4.2.2 プロトコルの付加消費

それぞれのプロトコルの付加消費についてを調べる。送信パケットのネットワーク帯域付加消費は表 4.2.2 で示す、ハローパケットの付加消費は表 4.2.2 のようになっている。

プロトコル	消費量
単純なフラッディング	N/A
川瀬確率方式	N/A
提案方式	Priority 値 (1 byte)
記数フラッディング	N/A
距離によるフラッディング	位置情報 (16 byte)
SBA	N/A

表 2 送信パケットの付加消費

プロトコル	消費量
単純なフラッディング	N/A
川瀬確率方式	位置情報 (16 byte)
提案方式	位置情報+優先度情報 (18 byte)
記数フラッディング	N/A
距離によるフラッディング	N/A
SBA	隣接端末情報 (4*n byte)

表 3 ハローパケットのネットワーク帯域付加消費

4.3 シミュレーション実験

4.3.1 実験内容

長さ 3000 メートル、広さ 30 メートルの仮想道路にノードを散布する。

二種類の実験を行う：

- 各ノードは同速度同方向で移動している状態（併走）で実験を行う。
- ノードを 3 車線に分け、各車線間の速度は異なる。同一車線内ノードは同速度同方向に移動している状態（三車線）で実験を行う。

先頭ノードは 100byte のデータを 1 秒間隔で送信し、50 回送信を行う。

また、ネットワークに含まれるノードの密度を変化させて実験する。密度の変化は以下で示す。

- 低密度の場合、ノード数は 30 個、同車線ノード間の距離は 100m-140m、三車線速度は 100km/h、120km/h、140km/h。
- 中密度の場合、ノード数は 60 個、同車線ノード間の距離は 60m-100m、三車線速度は 60km/h、80km/h、100km/h。
- 高密度の場合、ノード数は 90 個、同車線ノード間の距離は 20m-60m、三車線速度は 20km/h、40km/h、60km/h。

4.3.2 実験結果

併走状態はトポロジが安定する実験である。この実験から、以下のことが判明した。

- (1) 図 7 より川瀬確率方式の送信数の増加率が単純フラッティング方式と似ていること。提案方式の送信数の増加率が単純フラッティング方式より小さいこと。計数フラッティングと距離によるフラッティング及び SBA の送信数の増加率が小さいこと。
- (2) 図 8 より単純フラッティング方式と川瀬確率方式のコリジョンが高密度の場合大量発生すること。提案方式のコリジョンの数が単純フラッティング方式から大きく削減されましたが高密度の場合が計数フラッティングと距離によるフラッティング及び SBA のコリジョンの数より多いこと。
- (3) 図 9 より単純フラッティング方式と川瀬確率方式及び計数フラッティングは併走状態の受信率が良いこと。提案方式は高密度の場合に受信率が相対的に良くないこと。
- (4) 図 10 より単純フラッティング方式と川瀬確率方式及び提案方式のフラッティング時間が短いこと。

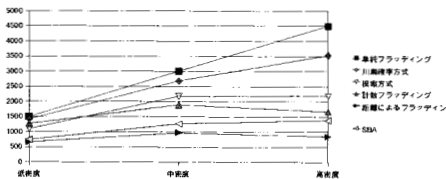


図 7 併走状態の送信総数

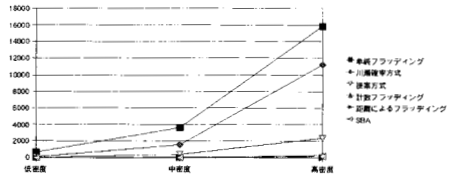


図 8 併走状態のコリジョン数

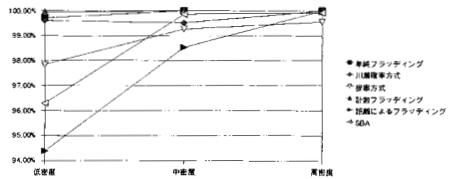


図 9 併走状態の受信率

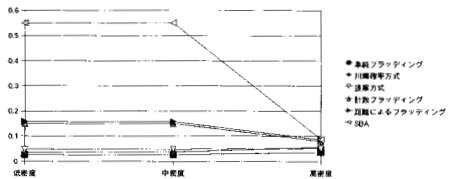


図 10 併走状態のフラッティング時間 (単位:秒)

三車線状態はトポロジの変化が激しい実験である図 11、図 12、図 14 より併走状態と同じ結論が出せる。つまり、単純フラッティング方式と川瀬確率方式の送信数の増加率が高いので、高密度の場合コリジョンが大量発生する。提案方式は送信数の増加率を単純フラッティング方式より抑えることが出来たので、コリジョンが大量に減らすことが出来た。高密度の場合、計数フラッティングと距離によるフラッティング及び SBA の送信数のコリジョンが少ない。また、単純フラッティング方式と川瀬確率方式及び提案方式のフラッティング時間が短い。図 13 よりトポロジの変化が激しい為、低密度の場合、受信率が激しく下がっている。

三車線低密度の場合、受信率を保障するため、再送実験を行い。再送間隔 0.05s。

図 15 より、再送機能を使って受信率大幅に上がることが出来る。川瀬確率方式と提案方式が 1 回目送信

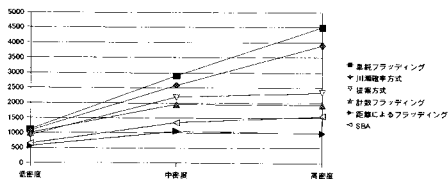


図 11 三車線状態の送信総数

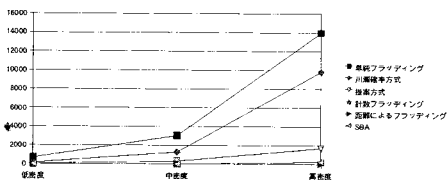


図 12 三車線状態のコリジョン数

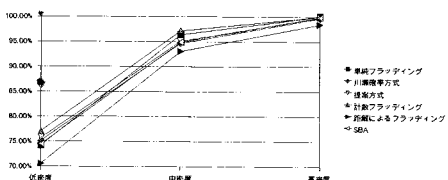


図 13 三車線状態の受信率

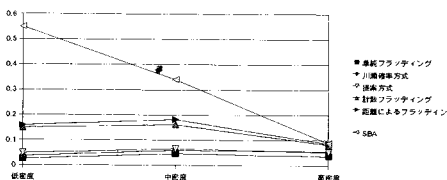


図 14 三車線状態のフラッディング時間 (単位:秒)

増加率が高いことがわかる。

5. まとめ

本論文では、大規模な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通信車両の位置や移動の予測を用いて緊急時情報を効率よく伝達する手法の有効性をシミュレーション環境 (NS2) に実装して検証した。また、他の既存方式及び本研究室の川瀬らによって提案された川瀬確率方式と比較する。シミュレーション実験は実環境と最も近いモデル・Shadowing Model

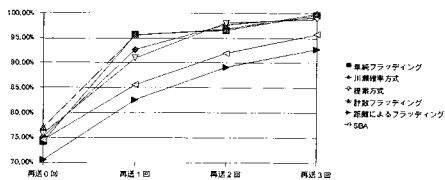


図 15 三車線低密度状態の再送回数と受信率の関係

を用いて、実環境から得たデータを利用して実験を行う。実証実験の結果として、本提案方式と川瀬確率方式が受信率を保ちつつ、伝達速度が早いことが示された。また、川瀬確率方式が高密度の状況にコリジョンが大量発生することと比べて本提案方式はコリジョンを減少させることに関して有効であることを証明した。また、低密度の場合、再送機能より到達率の低下を防ぐことを実験で証明した。

本提案方式及び川瀬確率方式の適応例として ITS における車車間緊急時通信など、有効性が期待できる。

課題として、本提案方式は高密度の場合パラメータの調整によって、コリジョンを更に減らすこと可能性がある。周辺密度に応じてパラメータ及び再送数を制御するようなプロトコルに改良することは一つの方法である。

参考文献

- 1) C. Ho, K. Obraczka, G. Tsudik, and K. Viswanath, "Flooding for reliable multicast in multi-hop ad hoc networks. In Proceedings of the International Workshop on Discrete Algorithms and Methods for Mobile Computing and Communication (DIALM)," pages 64-71, 1999.
- 2) Brad Williams, Tracy Camp, "Comparison of Broadcasting Techniques for Mobile Ad Hoc Networks,"
- 3) [1]S.Itaya,J.Hasegawa,A.Hasegawa,P.Davis,N.Kadowaki,S.Obana, "不安定な無線環境下における大規模アドホックネットワーク," 情報処理学会論文誌,vol.46,No.12,pp.2848-2856