

無線フラッディングにおける 中継データおよび発信データの多重化方式

門 洋一

ATR 適応コミュニケーション研究所
〒619-0288 京都府相楽郡精華町光台2-2-2
E-mail: kado@atr.co.jp

あらまし 無線フラッディングは、事前の設定動作を必要とせず各ノードが受信したパケットを互いに近傍のノードに中継する通信である。単純なフラッディングでは電波の干渉が著しく発生するため、通信環境に応じて中継優先度を制御することが必要となっている。ところが発信源で生成されたパケット単位で中継優先制御を行うと、一つのパケットが空間内において電波リソース使用を一時的に占有する傾向があり、後発のパケットは近傍への伝播も先のパケットが掃けるのを待たなくてはならない。そこで本文では、無線フラッディングにおいて、中継データと発信データを多重化することで、複数のパケットが交錯するかたちで伝播する方法について検討を行った。

キーワード 無線, フラッディング, 優先度, 中継, 発信, 多重化

A Multiplexing Method of Relay Data and Transmission Data in Radio Flooding

Youti KADO

ATR Adaptive Communications Research Laboratories
2-2-2 Hikaridai, Seika-cho, Soraku-gun, Kyoto, 619-0288 Japan
E-mail: kado@atr.co.jp

Abstract Radio Flooding is communications where nodes relay received packets to their neighbors without preliminary setups. Since simple flooding causes great radio interference, controlling relay priorities is needed. But in flooding with the priority control for each packet made in a source, a sole packet tends to occupy the use of radio resource in the space, and following packets have to wait until the former packet end to flood. In this paper, we examine the multiplexing method of relay data and transmission data in radio flooding, intending to make multiple packets blended in flooding stage.

Keyword Radio, Flooding, Priority, Relay, Transmission, Multiplication

1. 研究の背景

無線フラッディング

ノードが密集する状況での不特定多数間の無線通信において、双方向通信による制御情報交換は限られた通信リソースに対する大きな負荷となる。無線フラッディングは、一対多のブロードキャストをベースに、マルチホップによってパケットを伝播させる通信である。ブロードキャストを用いるため、単純なフラッディングでは電波の干渉が著しく発生する。そこで通信環境に応じて中継優先度を制御して同時に信号を出すノード数を少なくし、干渉を低減させる方式が提案されている[1][2][3]。

パケット単位での中継優先度制御

中継優先度制御はフラッディングの発信源で生成したパ

ケット単位で行われる。通信環境の測定は、信号強度(SINR)[1]、GPS[2]等による位置情報から推定するものと、ノードそれぞれの位置での電波資源の使用量(受信電力強度)[3]によるものがある。いずれも、あるパケットの受信ノードが送信ノードより相対的に遠い位置のとき優先的に中継することで、伝播領域の効率的な拡大を意図するものである。電波資源の使用量を測定するもの[3]ではさらに、資源が多く使用されている位置のノードによる中継が抑制され、資源に余裕のある位置のノードによる中継が優先されることで、位置ごとの電波使用量を均等に最大限利用しようとする。

課題

パケット単位でのフラッディングでは、一つのパケットが

伝播する際に一時的に通信領域の通信資源を独占する傾向がある。通信バッファが十分にあるとき、複数のパケットが伝播していく際に、先に通信資源を独占したパケットが掃けてから別のパケットが通信資源を独占する。その結果、ある通信領域でいくつかのパケットがフラッディングしているときに、あるノードが新たにパケットを発生させても、そのノードの近傍への相対的に小さい通信領域へのフラッディングも、先に通信資源を使用しているパケットが掃けるのを待たなくてはいけなくなる。

また、もしパケットによる通信資源の独占を避けるために近傍のパケットを優先したり、後のパケットを優先したりすると、先のパケットがいつまでも到達できなくなる問題が生じる。

解決方法の検討

本文では、複数のパケットが交錯するかたちで伝播することを目的として検討を行う。そこで複数のパケットを収容したフレームを生成し、各ノードはフレーム単位で発信し、パケットレベルでのフラッディングを実現する方式について検討を行う。

2. パケット単位でのフラッディング

FIFOキュー

パケット単位でフラッディングさせるとき、それぞれのノードではFIFO(First In First Out)キューを持ち、先に到着したパケットから順に、中継優先度処理で与えられたタイミングでブロードキャストする。したがって早く伝播したパケットがより多く伝播する機会を得ることになる。伝播が進み、キューの先のパケットが中継パケットとして送信されるか、中継中止処理が実行されて、フラッディング域内でブロードキャストされる機会が減ると、待機しているパケットに中継される機会が回ってくる。しかしそこでも待

機しているパケットが複数あれば、その中でより先に伝播しているものが優勢的に伝播することになる。図1はシミュレーションで3つのパケットを同時にフラッディングさせたとき、フラッディング域内で当該パケットが新規に到着したノード数の推移をおおまかに示したものである。シミュレータは自作のもので、CSMAに相当する処理と受信電力による中継優先制御に相当する動作を実装したもので行った。受信電力による中継優先制御を行わなかった場合については、時間当たりの到着数が少なく、パケット到着が発生している期間が長くなったが、排他的にパケットが到着する傾向は図1と同じであった。

スタック(LIFOキュー)

次に、後に到着したパケットをそれぞれのノードのキューの先頭に挿入する方法を採る。その場合、LIFO(Last In First Out)キューあるいはスタックとなり、後に到着したパケットが先に到着したパケットの伝播機会を奪う形で伝播を開始する。図2は図1と同じシミュレーション条件から、キューの処理を上述の通りに変更し、またフラッディングパケットを入れるタイミングをずらした場合において、フラッディング域内で当該パケットが新規に到着したノード数の推移を示したものである。後に到着したパケットが優先されるため、先のパケット伝播が十分でないうちに後続のパケットが逆転して伝播する傾向がある。ノードの位置によって先に入れたパケットの伝播が後のパケットよりも遅れて伝播し順序が入れ替わることで、パケットの伝播が通信資源が多少うまく分配されることもある。図2ではパケットbがパケットcよりも後に到着したノードではパケットbが先にブロードキャストされる、という現象が発生している。

到着率の低下

このようにスタックを利用すると、後に到着したパケットが通信資源を確保することが可能となる。しかしキュー以外

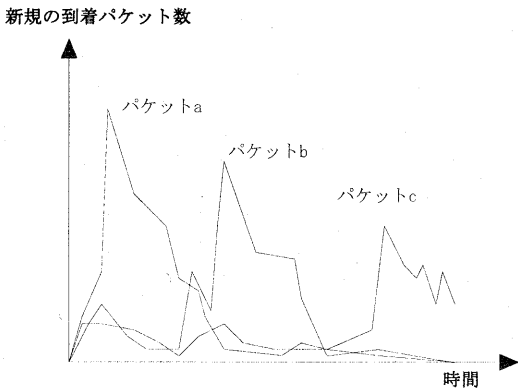


図1. 新規到着数の推移 FIFOキュー

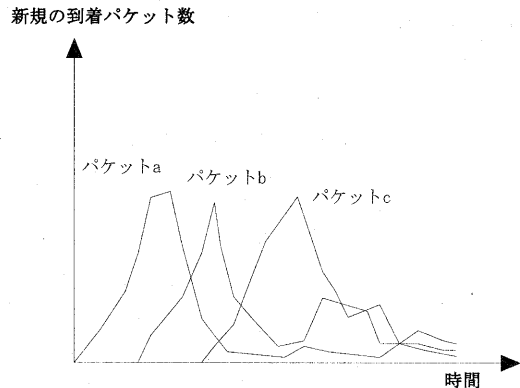


図2. 新規到着数の推移 スタック

を同一条件下でシミュレーションした際に、パケットがフラッドの域内で到達しえたノード数の割合がFIFOのときと比較して低下する。特に受信電力による中継優先制御を行っている場合に、FIFOとスタックとの到着率の落ち込みが大きい。受信電力による中継優先制御では波紋が広がるように伝播しているのに対して、伝播が交錯するスタックのケースでは伝播する波紋が干渉しあって広がり方が抑制されていると推定される。

3. パケットの多重化

パケットを多重化して1フレームとし、従来のパケットをブロードキャストするタイミングで複数のパケットの入ったフレームをブロードキャストする方式を検討する。

3.1. 基本動作

まず、多重化するにあたって基本的な動作について検討する。一つのノードで複数のパケットが中継待ちしているとき、すべてを1フレームに載せるのではなく、優先度の高いパケットから順に載せる方法が考えられる。基本的には先に到着したものが先に並び、フレームに載せて送信することにフレームに載ったパケットの優先度を下げる。それにより送信されていない、あるいは送信回数の少ないパケットが優先的にフレームに載る。送信されたパケットはフラッド域内でのプレゼンスが上がるので、優先度を冗長度と呼びかえる。優先度と冗長度とは正負が逆になる。

方法1：フレーム送信されたパケットの冗長度をインクリメントする。

3.2. 遠近に基づくパケット中継重み付け

パケット単位のフラッドの際に、伝播領域の効率拡大に大きな効果のあった中継優先度制御に相当するものが導入できるかどうか検討する。パケットが相対的に遠くのノードから到着した際に優先的に中継することは、パケットごとの制御であれば可能であったが、複数のパケットが一つのフレームに入っているケースで同じように動作させることはできない。ところで、一つのノードで複数のパケットが中継待ちしているとき、すべてを1フレームに載せるのではなく、優先度の高いパケットから順に載せる方法が考えられる。そこで、近くから届いたフレーム内のパケットについては当該ノード内においてフレームに載せる重みを下げる方法ことが中継優先度制御に相当すると考えられる。

方法2：フレーム受信したパケットが新規パケットの場合は受信の際の送信ノードからの近さに応じて冗長度に0以上の値を与える、既受信パケットは冗長度をインクリメントする。

3.3. フレーム送信タイミングの優先制御

しかし一方で、近い遠いだけの通信環境情報はフレーム送信の場合にはそぐわない。フレーム送信するタイミングは、ノードどうしでの電波の干渉を避けるように決定することが望ましい。受信電力強度はノードのある位置での電波資源の使用量を反映している。そこで受信電力強度によってフレームの送信タイミングを決定する方法を採用する。パケット単位でのフラッドにおいては大きな効果が確認されている方法である。

方法3：フレーム送信のタイミングは受信電力強度によって調整する。受信電力強度が大きいとき遅くなり、小さいとき早くなる。

また、方法2で受信したフレームの届いた距離を推定する現実的な方法として受信電力強度を採用する。

方法2'：フレーム受信したパケットが新規パケットの場合は受信の際の受信電力強度に応じて冗長度に0以上の値を与える、既受信パケットは冗長度をインクリメントする。

3.4. フラッド制御情報の搭載

フレームにフラッドパケットを多重化することによりパケットごとに付けられていたヘッダのオーバーヘッドが減少するメリットとともに、フラッドの制御情報をフレームに混載することも比較的小さいオーバーヘッドで可能となる。ここではフラッドの交錯によるパケットの到達率の低下分を補うためにも、制御情報の搭載を検討する。

フラッドはそもそも、パケットそのものをまんべんなく流通しようとするものである。そこでパケットよりも迅速に伝わる制御情報によってパケットの伝播状況をノード間で交換できれば、フラッドの効率化が期待できる。

方法4：パケット流通情報内に自ノード未受信のパケットがあれば、自ノードのパケット流通情報に自ノード未受信と記載する。

方法5：パケット流通情報内に他ノード未受信・自ノード既受信のパケットがあれば、当該パケットの冗長度をデクリメントする。

図3は方法4, 5をフローチャートで示したものである。

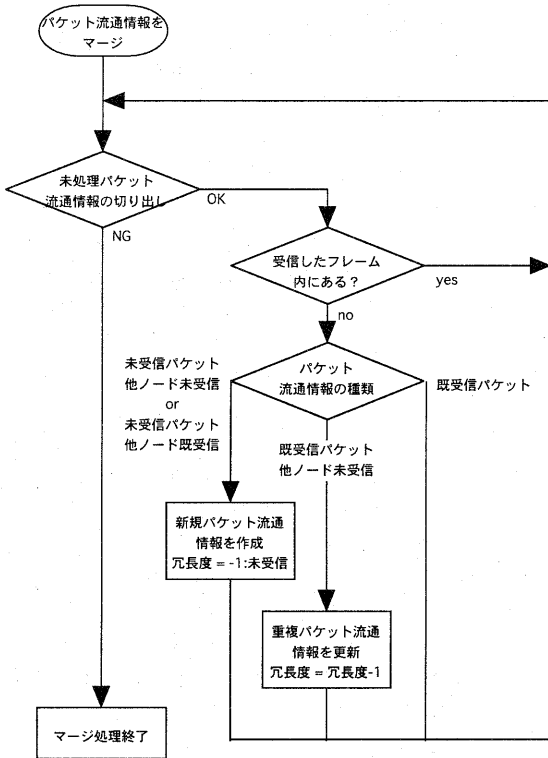


図3. パケット流通情報のマージ処理フロー

4. 評価

パケット単位でのフラッディングのシミュレータを改良して評価を行った。CSMAに相当する処理は残し、前節での方法1,2',3,4,5の処理を追加した。方法1における1フレームに収容するパケットの最大数を8、パケット流通情報に入れるパケット情報数の最大数を16とし、それぞれ冗長度の小さいものから順に構成した。ノードは60m間隔で縦10、横10ノードずつ平方に計100台配置した。

時間の単位は、1パケットのデータサイズ送信時間、また各フレームのヘッダ長、パケット流通情報のデータ長をそれぞれ1パケット長相当、SIFSを1パケット長のデータ送信時間相当、バックオフ・ウィンドウを平均1パケット長のデータ送信時間相当とした。

比較対象として、方法2'を省いた場合、方法2',3を省いた場合と、それぞれについて方法4,5を省いた場合、省いていない場合とで評価を行った。図4のグラフでは左から、(1,2',3,4,5), (1,2',3), (1,3,4,5), (1,3), (1,4,5), (1)と並べた。

評価項目はパケット伝播が理想値の6割に達するまでの所要時間と同じく8割に達するまでの所要時間について、送信電力を150mと300mとに設定してそれぞれ評価した。図4のグラフに示した。

グラフを比較すると、伝播に最も大きな効果をもたらす

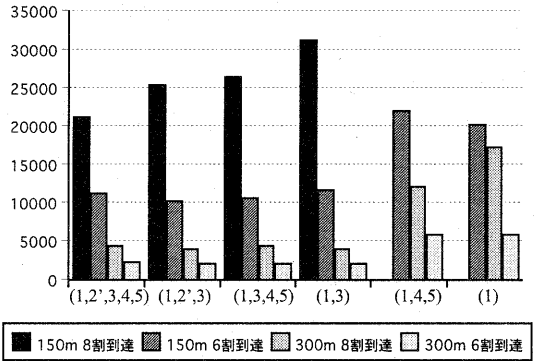


図4. パケット伝播にかかる所要時間

ているのは、方法3の実施であった。方法2'の実施、および方法4,5は伝播の条件が厳しくなると所要時間が大きくなったときに多少の効果が見られた。しかし、スムーズに伝播しているケースでは逆に所要時間が長くなっている場合もあった。制御情報を扱う方法は方法4,5には限ることではないので、もっと効果的な方法を今後別に検討することは今後の課題である。

5. まとめ

無線フラッディングにおいてパケットを多重化したフレーム単位で送信することで、後発のパケットが先行するパケットと交錯して伝播することを可能とする方法について検討を行った。フレームの送信タイミングの決定に受信電力に基づく制御が有効であることが分かった。一方で、フラッディング性能を上げるためにフレームに載せる制御情報については、さらなる検討が必要である。

付記：本研究は通信・放送機構の研究委託「自律分散型無線ネットワークの研究開発」により実施したものである。

文献

- [1] Sze-Yao Ni, Yu-Chee Tseng, Yuh-Shyan Chen, and Jang-Ping Sheu, "The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad Hoc Network," In Proc. IEEE/ACM Intl. Conf. on Mobile Computing and Networking (Mobicom' 99), pp.151-162, Aug. 1999.
- [2] Young-Bae. Ko and Nitin H. Vaidya, "GeoTORA: A protocol for geocasting in mobile ad hoc networks," Tech. Rep. 00-010, Dept. of Computer Science, Texas A&M University, <http://citeseer.nj.nec.com/ko00geotora.html>, March 2000.
- [3] 門 洋一, 大野雄一郎, 行田弘一, 大平 孝, "受信電力とキャリア検出により自律的に中継優先度と送信電力を決定するルーチング方式," 信学技報, RCS2000-6, pp.35-42, April 2000.