

AODVにおけるフラッディング特性評価

山村 翔, 中嶋 卓雄

東海大学 産業工学研究科

{saijm005@mail,taku@ktmail}.tokai-u.jp

Mobile Ad hoc Networks (MANET) におけるリアクティブ型ルーティングプロトコルの中で AODV が最も広範囲に利用されている。本研究では、AODV におけるパフォーマンスの劣化の原因となるフラッディングの特性を評価する。不要なフラッディングが発生する原因を詳細に検出するため、ネットワークシミュレータである NS2 を用いて、総パケット数、時系列、ブロードキャスト時のパケットの伝播の観点から検証した。結果として、3 点に共通して中間ノードの密度が影響を与えていることを確認した。

Evaluation of Flooding Characteristics of AODV

Natsuru Yamamura and Takuo Nakashima

School of Industrial Engineering, Tokai University

AODV has been most widely used in reactive type routing protocols in mobile Ad hoc networks. In this research, we evaluate flooding characteristics leading to the performance degradation. To detect this cause of inefficient flooding, we focus on three view points: the total number of packets, time-series analysis and propagation property over broadcasting. As the results, the density of intermediate nodes affects the inefficient flooding performance.

1. はじめに

Ad hoc ワイヤレスネットワークは有線ネットワークや基地局を用いずに 2 つの Mobile Node (MN) 間に通信リンクを確立する。この通信リンクは中間ノードに作用するルーティングプロトコルによって確立、維持される。通信リンクを確立するための単純かつ基本的な方法はフラッディングであるが、この手法はネットワークの帯域を多く使用するため、いくつかのルーティングプロトコルではフラッディングを抑える方法が考案されている。

それらのルーティングプロトコルの区分にリアクティブ型プロトコルおよびプロアクティブ型プロトコルがある。リアクティブ型プロトコルは経路確立の必要に応じて各ノードが情報を交換して経路を確立するというものであり、プロアクティブ型プロトコルは常に経路

表を更新し、それに基づいて経路を確立するというものである。

本稿ではリアクティブ型ルーティングプロトコルである Ad hoc On-demand Distance Vector (AODV) について取り扱う。

2. シミュレーション環境

今回は、MANET の一般的なネットワークモデルの中から、2 つの静止した通信ノード間に移動する中間ノードを配置して通信の中継を行うという形態を採用した。

シミュレーションは LBNL のネットワークシミュレータ NS2 を用い、ルーティングプロトコルに AODV を選択して行った。2 つの静止した通信ノード間で TCP コネクションを張り、通信を中継する中間ノードを 1,000m*1,000m のフィールド上に 4 つの異なる密度 (100m*100m 内に存在するノード数が

それぞれ 0.1, 1, 5, 10 個) となるようランダムに配置した。これらの中間ノードは配置時に設定された目的地に向かって 0, 5, 10, 15, 20 m/s (基地局, 徒歩, 自転車および自動車を想定) のあらかじめ定められた速度で動き続け, 10 秒おきに新しくランダムに決定された移動先が与えられる。MAC プロトコルは IEEE802.11, 無指向性アンテナを使用した。

3. シミュレーション結果

3.1 パケット総数にみる特性

本節および次節で掲載するデータは 5 回のシミュレーションの結果を平均したものである。また, パケットの受信回数を送信回数で割ることで, シミュレーション全体を通してのパケットの送信回数 1 回に対する受信回数の平均値を算出している。これはブロードキャストによって伝送される Route Request (RREQ) では 1 個の送信ノードに対応する受信ノードの個数の平均値となり, ユニキャストによって伝送される Route Reply (RREP) では送信ノードと受信ノード間での伝送の成功確率に近い数値となる。本稿ではこれらを便宜的にそれぞれ平均受信ノード個数, 平均伝達率と呼称している。

$$\text{RREQ 受信ノード数} = \frac{\text{RREQ 総受信回数}}{\text{RREQ 総送信回数}} \quad (1)$$

$$\text{RREP 伝達率} = \frac{\text{RREP 総受信回数}}{\text{RREP 総送信回数}} \quad (2)$$

なお, 表 1 はパケット DROP の発生理由を条件 (パケットの種類, 密度および速度) ごとに集計し, 上位 2 つを列挙したものである。表内で END はシミュレーションの終了に伴う破棄を, COL はパケット同士の衝突による損失を, RET は宛先ノードから到達確認が送信の再試行回数の上限を超えても得られなかったことを, IFQ はインターフェースキューのバッファ溢れによる損失を, ARP は古い ARP クエリが新しいクエリのキューイングによって破棄されたことを表す。

3.1.1 平均受信ノード数, 平均伝達率

図 1 より, RREQ の平均受信ノード数は密度 5 までは増加しているが密度 10 では若干低下している。これは, 式(1)における密度 5 からの分母の増加率が分子の増加率を上回った

ためであり, その一要因として密度の上昇に伴い RREQ パケットの送信量が増え, パケット同士の衝突頻度が高まったことが挙げられる。

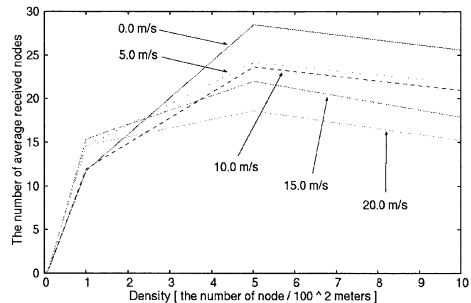


図 1 RREQ パケットの平均受信ノード数

図 2 より, RREP の平均伝達率は速度 0, 5, 15 m/s では密度 1 のとき最も高くなる。また, 速度 0, 15 m/s については密度が上昇するほど低下している。全体的に 0.0 m/s での伝達率が高いが, これはノードが移動しない条件下では DROP の発生頻度が抑えられるためだと思われる。

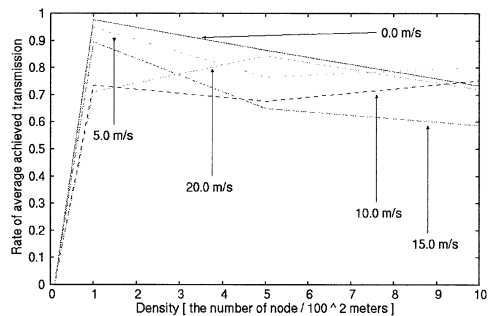


図 2 RREP パケットの平均伝達率

3.1.2 DROP 発生頻度

図 3 より, RREQ の場合, 密度 5 から密度 10 に変化したときの速度 15, 20 m/s での DROP 頻度の増加数が 5 倍近いものとなっている。対して, 速度 0, 5, 10 m/s のときの増加数は 2 倍程度であり, 速度による影響が見受けられる。また, 表 1 との比較から DROP の発生原因のほとんどはパケットの衝突によるものであり, 3.1.1 で述べた平均受信ノード数の低下に関してパケット同士の衝突が影響しているのではないかという予想を補強する形となった。

図 4 より, RREP の場合, 速度 0 m/s は密度 1 以上でほぼ一定の値を示す。速度 5, 15, 20 m/s は密度の増加に伴って DROP 数も増加

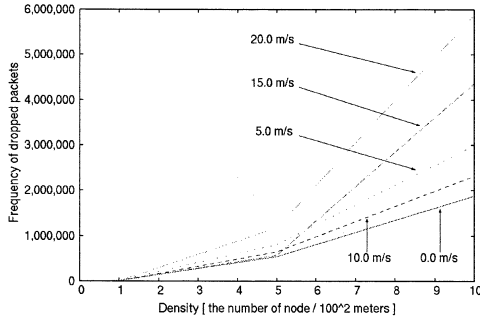


図3 RREQ パケットの DROP 発生頻度

しているが、速度 10 m/s では密度 10 の値が密度 5 のものよりも減少している。DROP の発生は低密度においては衝突が多くを占めているが、密度が高くなると ARP のバッファ溢れ、あるいはシミュレーションの終了時の破棄によるところが大きくなり衝突による影響は微小であった。ここから、RREP パケットの DROP は RREQ パケットが経路した経路の切断によるところが大きいのではないかと予想される。

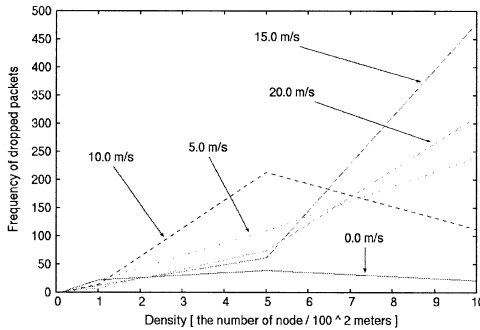


図4 RREP パケットの DROP 発生頻度

表 1 DROP 発生理由

Packet	Density	Speed	Reason [%]	
RREQ	1	0	COL: 99.91	TTL: 0.08
		20	COL: 100	
	10	0	COL: 99.99	TTL: 0.0007
		20	COL: 99.99	TTL: 0.0002
RREP	1	0	ARP: 48.18	COL: 35.45
		20	ARP: 52.5	END: 47.5
	10	0	END: 74.07	ARP: 21.29
		20	ARP: 45.55	END: 30.00

3.2 時系列にみる特性

本節においては RREQ 送信頻度、TCP-スループットを時系列に基づいて評価することで特性の抽出を試みている。横軸は時間[sec]を、縦軸は 1 秒間の RREQ パケットの送信頻度あ

るいは TCP-スループット[byte / sec]を表している。また、データの傾向を把握しやすい密度 1, 10, そして速度 0.0, 10.0, 20.0m/s を代表として掲載している。

3.2.1 RREQ 送信頻度

密度 1 での結果である図 5 において、RREQ の送信頻度は 0.0m/s では時間軸全体で一定値を保っているが 10.0, 20.0m/s では時間軸の前半に集中しており、後半部ではほとんど検出されない、すなわち RREQ パケットの送信がほぼ行われていない状態となった。一方、密度 10 の状態を示す図 6 では 0.0m/s は図 1 と同様の傾向にあるが 10.0, 20.0m/s は出現時間が増加し、時間軸全体に分散するようになった。

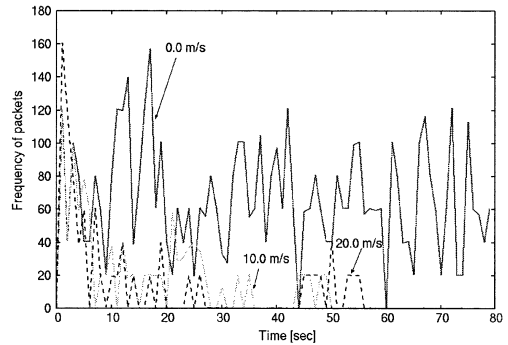


図5 密度 1 における RREQ 送信頻度

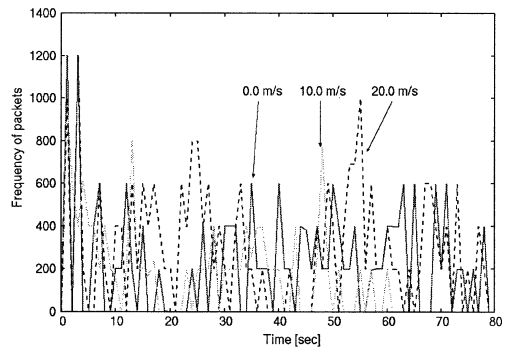


図6 密度 10 における RREQ 送信頻度

全体の傾向としては、密度が増すほどに RREQ 送信頻度が上昇する。0.0m/s は全密度を通して時間軸の右端、つまりシミュレーションの終わりまで送信を続けているが、その他の速度では密度が低い場合は時間軸の前半に集中し、密度が高くなるに連れ送信パケット数の増加、時間軸上での送信頻度の分散という影響が見受けられる。なお、この傾向は 10.0m/s が最も弱く、速度が上昇するほどに強くなる。

時間軸上で前方に集中する理由としては、低密度時にはノードの移動に伴って各ノードが通信可能範囲を超えて分散し、ノード間でパケットが到達しなくなるためか、あるいは経路が固定され、パケットを送信する必要がなくなるためであると考えられる。

3.2.2 TCP-スループット

図7より、密度1においては0.0m/sでのTCP-スループットが最も高く、シミュレーション時間全体を通してパケットの受信が行われていた。10.0, 20.0m/sは前半に集中しており、スループットも低く、この傾向は速度が上昇するほど表出している。密度10での結果を表している図8では、10.0, 20.0m/sも時間軸上での出現範囲が増加している。20.0m/sは特にその傾向が強くスループット、出現範囲ともに10.0m/sを上回っている。

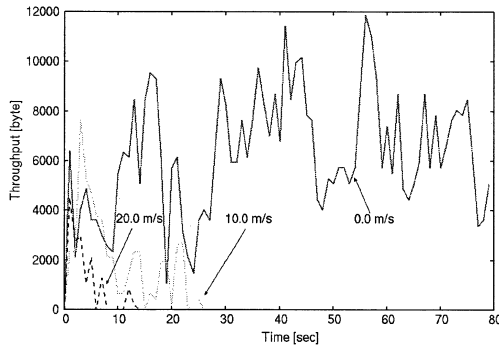


図7 密度1におけるTCP-スループット

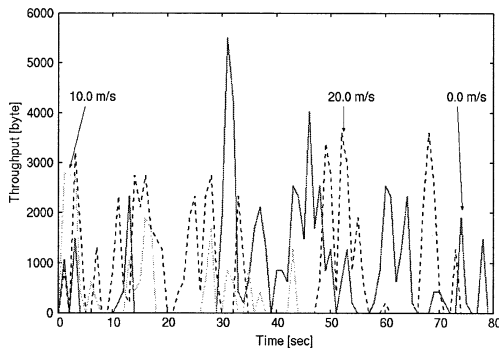


図8 密度10におけるTCP-スループット

また、全体的に密度10は密度1よりも最大スループットが低下している。時間軸上での傾向としてはRREQ送信頻度の結果と似たものとなった。このことから、前述のRREQが低減した理由は、経路の確立によるものではなく、

ノード間においてパケットが伝達できなくなるためだと推測される。

3.3 ブロードキャストにみる特性

本節ではRREQパケット送信におけるブロードキャストの状態を時系列とホップ数の関係から議論する。密度10, 速度20.0m/sの条件下におけるシミュレーション結果から以下の4項目に該当するデータを抽出した。①ホップ数が高く、生成ノードがエンドノード②ホップ数が低く、生成ノードが中間ノード、③ホップ数が平均的で、生成ノードがエンドノード④ホップ数が平均的で、生成ノードが中間ノード。

表2 データ①～④の詳細

	①	②	③	④
生成ノード	0	970	0	904
宛先ノード	1	0	1	1
最大ホップ数	12	5	7	9
平均ホップ数	7.48	2.50	4.90	4.70
送信時間	0.079	0.053	0.029	0.133
DROP時間	0.125	0.089	0.064	0.082
送信ノード数	1001	991	1000	994

表2において、生成ノードは各フラッディングの始めのノード番号を、送信時間は1回のフラッディングにおける生成ノードのRREQパケット送信から最後のRREQパケット送信までの経過時間を、DROP時間は初めにDROPが発生してから最後にDROPが発生するまでの経過時間を示している。

また、横軸に各ブロードキャストの開始から終了までの時系列、縦軸にRREQパケットのホップ数を取り、一回のフラッディングにおけるRREQパケット送信の開始から終了までを図示した。上図は時系列上でのRREQパケットの送信、下図はRREQパケットのDROPである。

① ホップ数が高く、生成ノードがエンドノードである場合

図9より、ホップ数が5~7のときに同ホップ数で送信時間に差が見られる。また、各ホップ数で一樣にDROPが発生している。ホップ数が6~9においては比較的伝播が緩やかな曲線を描いている。RREQ送信後、DROPが一定時間続いており、今回の4点の中では最もDROPの継続時間が長かった。

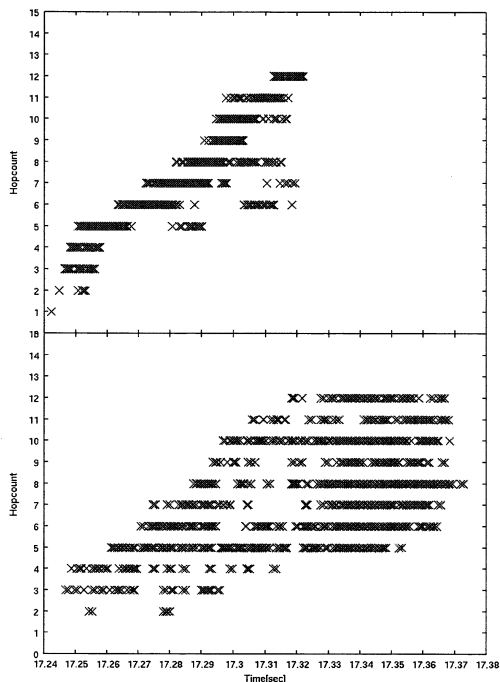


図9 ホップ数が高く、生成ノードがエンドノード

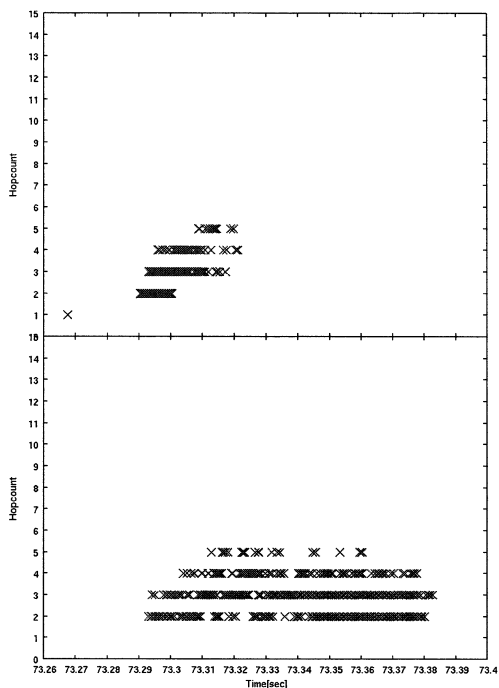


図10 ホップ数が低く、生成ノードが中間ノード

- ② ホップ数が低く、生成ノードが中間ノードである場合

図10より、生成ノードから送信されたRREQパケットが受信されるまでに遅延が生じている。①と同様に送信後にDROPが継続して発生しているが、①ほど継続時間が長くはなかった。

- ③ ホップ数が平均的で、生成ノードがエンドノードである場合

図11から、低次のホップから高次のホップへと順に伝達されているが、高次のホップで送信頻度にばらつきが見られる。他の場合と比較してRREQの送信時間の開始から終了までが短く、DROPの継続時間も最も短かった。

- ④ ホップ数が平均的で、生成ノードが中間ノードである場合

図12から、②と同様に生成ノードから次ホップに伝わるまでに遅延が発生している。高次のホップでは①と同様に送信時間にばらつきが見られる。

以上の実験結果に対し、次の点が抽出される。最大ホップ数・平均ホップ数の高低、RREQ送信時間のばらつきの有無、DROP時間の長短。まず最大ホップ数・平均ホップ数の高低は

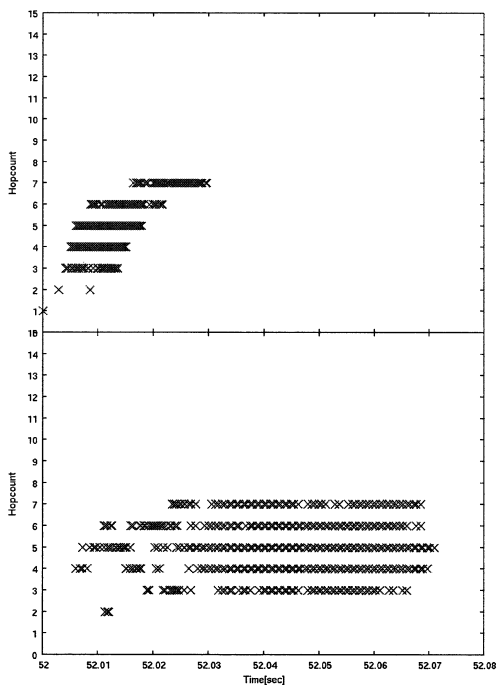


図11 ホップ数が平均的、生成ノードがエンドノード

RREQ パケットの伝播範囲に関係していると考えられ、高い場合は伝達範囲が広く、低い場合は逆に狭くなっていると考えられる。このことは単に生成ノードから宛先ノードまでの距離の長短だけではなく、中間ノード群中の宛先ノードまでの経路を保持しているノードの数によっても左右されると思われる。次に RREQ 送信時間のばらつきについてだが、同ホップ数のノード間で生成ノードからの距離に差がある場合に発生すると考えられる。これはノードの移動・配置による密集度の偏りに起因し、偏りが大きければばらつきが生まれ、小さければばらつきが生まれにくくなると予想される。最後に DROP 時間の長短は RREQ 送信時間の長短のみに影響されるものではないことが①と④において送信時間と DROP 時間の長短が逆転していることから予測され、またホップ数毎の DROP 経過時間にあまり差がないことから、各ホップ間の送信時間間隔によるのではないかと考えた。

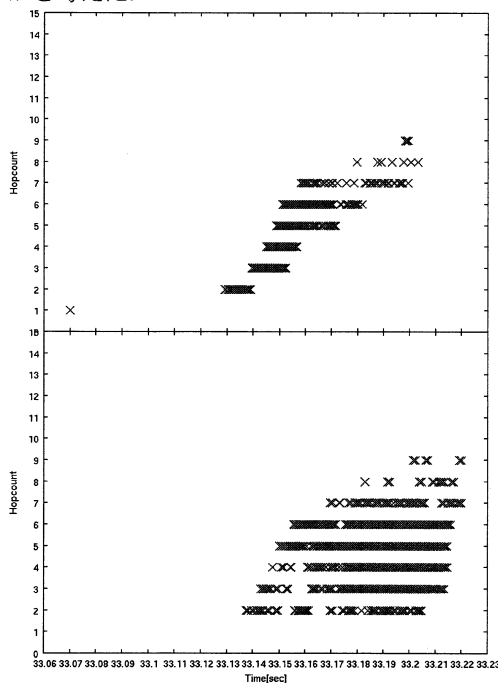


図 12 ホップ数が平均的、生成ノードが中間ノード

4. おわりに

今回の研究から次の結果が得られた。

まず、総パケット数の点から、密度が高くなると受信頻度に対する DROP 頻度が高くなり、RREQ および RREP の伝達率が停滞あるいは

低下する傾向があるということ。その原因としては RREQ ではパケット同士の衝突頻度の上昇、RREP では経路の変更頻度の上昇に伴うバッファ溢れが主要因であり、そのため、速度 15, 20 m/s 等の高い速度であると衝突回数、経路の変更回数が増加し、より DROP 頻度が高まることが予想される。

次に、時系列の点からは、低密度下では RREQ の送信頻度および TCP-スループットは共に 0.0m/s を除いて時間軸上で前方に集中する、すなわち早期にパケットの送受信が収束すること。これは、中間ノードが移動することで経路が途絶えることが理由として考えられる。また、高速度のノードが、より高密度での RREQ 送信頻度の増加や時間軸上での送信頻度の分散という影響を受けやすいのも通信が途絶した後、より早く再び通信可能な位置に移動するためだと思われる。

最後にブロードキャスト時の RREQ パケットのホップ数の点からブロードキャスト時の時系列データにおける最大・平均ホップ数、RREQ 送信時間のばらつき、DROP 継続時間の 3 点がそれぞれ RREQ パケットの伝達範囲、分散傾向、遅延時間に関係しているのではないかとこの予測を立てることができた。

今回の研究における共通項として、中間ノードの密度の影響が見受けられたため、今後の研究では、ノードの移動体モデルによる密度の変更とフラディングの影響をより精確に評価するための各種パラメータの模索および検証を行っていきたい。

参考文献

- [1] D. B. Johnson and D. A. Maltz, "Dynamic Source in Ad Hoc Wireless Networks", Mobile Computing, Kluwer Academic Publisher, Vol. 353, pp.153-181, 1996.
- [2] C. E. Perkins and E. M. Royer, "Ad Hoc of IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications 1999, pp.90-100, February, 1999.
- [3] UCB/LBNL/VINT groups.UCB/LBNL/VINT Network Simulator, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>, May, 2001.
- [4] 802.11-1999 IEEE Standard for Information Technology – LAN/MAN Specific requirements – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specification, 1999.