

アドホックネットワークの輻輳閾値

花澤 諒一[†] 森口 一郎[‡]

東京情報大学 総合情報学部 情報システム学科^{† ‡}

1. はじめに

アドホックネットワークは各ノードが無線電波を送受信し通信を行うため、通信を管理するサーバが必要なく、かつアクセスポイントや基地局が必要ないといった利点があり、今後一般的に普及することが見込まれる。一般に普及するにあたって、輻輳発生プロセスを解明することは、効率的なルーティング手法や新たな通信プロトコルの開発による輻輳抑制に役立つと考えられる。輻輳発生プロセスを解明するため、アドホックネットワークのネットワークモデル Random Geometric Network (以下 RGN) 上で通信シミュレーションを行い、輻輳を発生させた。また RGN との比較のため、インターネットのネットワーク構造に近いと言われているスケールフリーネットワークの一種である Barabási-Albert モデル (以下 BA) と、ノード間のリンクに規則性を持たないランダムネットワーク (以下 RN) 上でも同様のシミュレーションを行い、結果の比較をした。RGN、BA、RN を全て 1000 ノード、平均リンク数 6 でシミュレーションを行った。

2. シミュレーション方式

現在のインターネットで主流となっている通信方式は TCP/IP 通信であるため、本研究では TCP/IP 通信を前提としたシミュレーションを行った。TCP/IP には様々な機能があるが、その中で再送要求のみ考慮した。これはインターネット上で輻輳が悪化する主要原因が再送によるものであり、RGN においてもそれは変わらないと考えられるためである。再送要求可能数は、標準的な TCP/IP 通信の初期設定と同じく一律 5 とした。

3. 通信シミュレーション

シミュレーションはターン制で行い、パケットが発生するノードと目的地のノードは無作為に選定した。1 ターン内で、パケットの発生、移動、再送要求、破棄を行い、ターンを繰り返すことによって時間発展させた。また、本研究はネットワークの構造的特徴に着目したものであるため、ノードの個体差は考慮しない。そのため、各ノード 1 ターンあたりのキュー処理数を一律 2、受信バッファ数を一律 5 に設定した。1 ターンのパケット発生数は、パケット発生率とノード数の積により求められる。パケット発生率はプログラム内で与えたパラメータであり、0.001 から 1.000 まで 0.001 ずつ増加させてシミュレーションを行った。また、ターン数が少なすぎるとネットワーク上に十分にパケットが発生する前にシミュレーションが終了してしまうため、正確な結果が出力できない。そのため本シミュレーションでは十分にパケットを発生させるように 10000 ターンのシミュレーションを行った。そして、10000 ターン終了時に輻輳発生判定を行い、輻輳が発生したか判断した。

輻輳発生判定では、仮想ネットワーク上で輻輳が発生しているかを判断するために、処理が終了したパケットの何割が到達しているか (以下、パケット到達率) を参照した。パケット到達率が 100% ならば輻輳が発生していないと見なした。ここで処理が終了したパケットとは、宛先ノードに到達したパケットと破棄したパケットのことを指す。シミュレーション終了時点でネットワーク上に存在するノードは将来宛先ノードに到達するか不明なので考慮しない。

パケット到達率 R は、以下の式によって定義される。

$$R = \frac{A}{A+L} \quad (1)$$

ここで、 A は到達パケット数、 L は破棄パケット数を表す。破棄したパケットが存在しなかった場合、 $R=1$ となり輻輳が発生していない。また、破棄したパケットが存在した場合、 $R<1$ となり輻

Congestion Threshold on Ad-hoc Networks

[†]Ryouichi Hanazawa · Tokyo University of Information Sciences, Department of Information Systems.

[‡]Ichirou Moriguchi · Tokyo University of Information Sciences, Department of Information Systems.

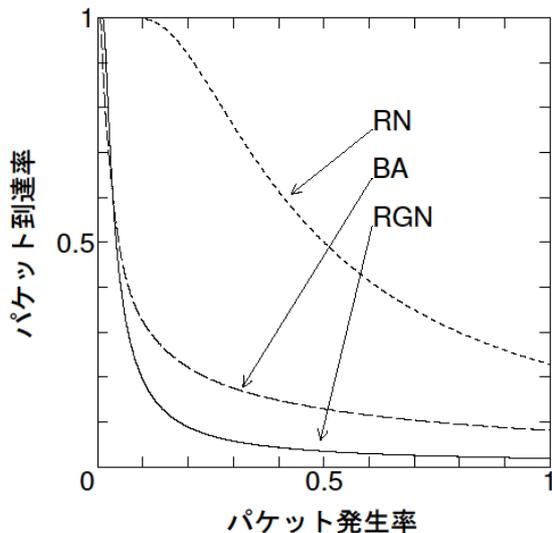


図 1 各ネットワークモデルの packets 到達率 (到達率が 1 未満になる packets 発生率が輻輳閾値)

輻輳が発生している。packets 発生率を変動させてシミュレーションを行い、初めて輻輳が発生したときの packets 発生率を輻輳閾値とした。

シミュレーションを行った結果、BA の閾値は「0.005」、RN の閾値は「0.067」、RGN の閾値は「0.010」となった(図 1)。RGN の輻輳閾値は BA 程ではないが RN と比較すると著しく低く、輻輳が非常に発生しやすいネットワークであることが判明した。RGN の輻輳閾値が低い原因追及のためにトラフィックが集中したノードを調査したところ、ノードが密集して形成された集団の間に位置するノードにトラフィックが集中し、輻輳が発生していることが判明した。また、RGN は閾値よりも packets 発生率を増加させていくと packets 到達率が急激に低下する。その結果、BA と比較すると輻輳閾値は BA よりも高いにも関わらず、packets 到達率は packets 発生率 0.036 で逆転し、以降は RGN の方が packets 到達率は低くなった。このことから、RGN は輻輳が悪化するに従い通信不可能となるノードが急速に増加するネットワークだということがわかる。

輻輳を抑制する手法として、BA ではリンクを多く持つノードのキュー処理能力を事前に向上させることが有効である[1]。しかし、RGN ではトラフィックが集中するノードをリンク数などのノードの情報からは事前に特定できないため、BA と同じ手法を用いることはできない。そこで、RGN では平均リンク数を増加させることで輻輳の抑制を見込み、平均リンク数を増加させてシミュレーションを行った。その結果、RGN は平均リンク数を増加させるに従い輻輳閾値が向上し、

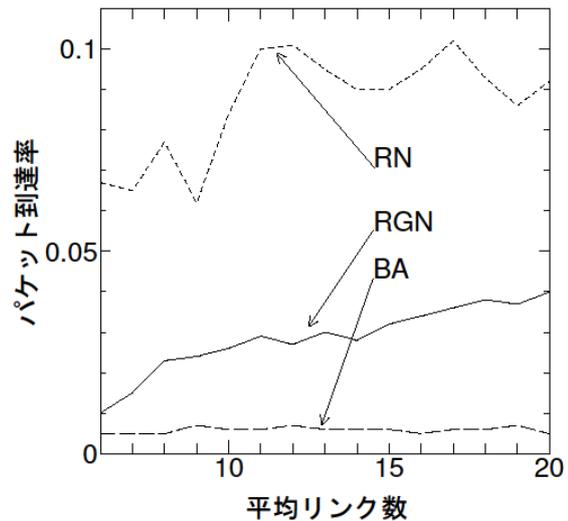


図 2 平均リンク数による輻輳閾値の推移

平均リンク数が 6 のときと比べて輻輳閾値が約 3 倍になることが判明した(図 2)。RGN は、平均リンク数を増加させると通信可能距離が広がるため、より遠くのノードと直接リンクを形成する。その結果、ノードの集団間で packets を受け渡すノードが存在しなくなり、輻輳閾値が向上すると考えられる。

4. まとめ

仮想ネットワーク上で通信シミュレーションを行い、トラフィック輻輳が発生させた結果、RGN は輻輳が発生しやすい構造を持つネットワークであり、その原因は、ノードの集団間に位置するノードにトラフィックが集中するためということが判明した。また、RGN の輻輳抑制手法として、平均リンク数を増加させることが有効だということがわかった。

結論として、アドホックネットワークのネットワーク構造では輻輳を回避することはできないことが判明した。平均リンク数を高めることで輻輳耐性を向上させることが明らかになったが、今後は平均リンク数が低いアドホックネットワークでの輻輳抑制手法を模索することが課題として残されている。

参考文献

- [1] A. Barrat, M. Barthelemy, A. Vespignani
 "Dynamical Processes on Complex Networks"
 p. 251, Cambridge University Press (2008).