

片方向リンクを含むMANETにおけるデータメッセージ配送手法

小杉 正昭

桧垣 博章

東京電機大学 理工学部

東京電機大学 未来科学部

情報システム工学科

ロボットメカトロニクス学科

E-mail:kosugi@higlab.net

E-mail:hig@higlab.net

モバイルアドホックネットワークにおける無線マルチホップ配送経路の検出成功率の向上には、片方向無線通信リンクを含むことを許すことが有効である。しかし、双方向無線通信リンクと異なり、片方向無線通信リンクにおけるデータメッセージの配送においては受信確認 (Ack) メッセージによる送達確認とタイマを用いた再送信機構によるバックワードエラーコレクション (BEC) が利用できないという問題がある。本論文では、あらかじめ定められた回数だけ繰返しデータメッセージを送信するフォワードエラーコレクション (FEC) を用いて片方向無線通信リンク上のデータメッセージ配送を行うことを提案する。これら2つの高信頼配送手法の性能比較により、等しい配送成功率を実現する場合にデータメッセージの送信回数が少ない場合にはFECのほうがBECよりも無線通信リソースの消費が小さいこと、データメッセージの送信回数が多い場合、無線通信リソース消費が同一ならばFECによる配送成功率の低下は十分に小さいことを明らかにする。

Data Message Transmission in MANET with Uni-Directional Links

Masaaki Kosugi

Hiroaki Higaki

Department of Computers

Department of Robots

and Systems Engineering

and Mechatronics

Tokyo Denki University

Tokyo Denki University

E-mail:kosugi@higlab.net

E-mail:hig@higlab.net

In order for improvement of route detection probability of wireless multi-hop message transmission in mobile ad-hoc networks, it is reasonable to make multi-hop message transmission routes with uni-directional links available. Different from in bi-directional links, it is impossible to adapt backward error correction (BEC) mechanism with acknowledgment messages, timers and message retransmission in uni-directional links. This paper discusses forward error correction (FEC) mechanism in unreliable wireless transmission links. Here, multiple copies of each data message are transmitted. The number of the copies are predetermined and all the copies are transmitted independent of results of transmission of previous copies. By comparison of performance of these error correction mechanisms, for achieving the same message transmission ratio, FEC consumes less wireless transmission resources than BEC especially in unreliable wireless transmission environment if the number of copies of messages is relatively small. On the other hand, if the number of copies of messages is relatively large, message transmission ratio in FEC is lower than in BEC with the same wireless transmission resources; however, the difference is negligible. Hence, data message transmission through uni-directional links with FEC is useful for higher connectivity and higher reliability in mobile ad-hoc networks.

1 背景と目的

近年、IEEE802.11 [1]、Bluetooth [2] 等の無線 LAN プロトコルを利用したモバイルネットワークが広く構築されている。隣接移動コンピュータ間を接続する無線通信リンクは一般に有線通信リンクと比較して低信頼であり、送信元移動コンピュータから送信された無線信号を送信先移動コンピュータが正しく受信できない場合がある。その配送成功確率は、送受信移動コンピュータ間の距離、周辺無線ノイズの強度、他の無線通信信号との衝突等に依存する (図 1) [5]。このような環境において、配送成功確率を向上させるためには、送信先移動コンピュータからの受信確認 (Ack) メッセージとタイマを用いた再送信機構の導入が一般的であり、これを実現するためには、送受信コンピュータ間が双方向無線通信リンクで接続されることが前提となる。しかし、無線デバイスの特性や移動コンピュータの残電力量によって制約される無線信号送信電力の差異によって、隣接移動コンピュータ間が片方向無線通信リンクによって接続される場合が考えられる。片方向無線通信リンクで接続される移動コンピュータ間では、Ack メッセージの送達が可能であり、再送信機構を導入することで配送成功確率を向上させることはできない。しかし、アドホックネットワークにおける無線マルチホップ配送においては、片方向無線通信リンクを配送経路に含むことを許容することにより、経路検出確率の向上、配送経路の短縮といったメリットを享受することができる [4]。そこで、本論文では、片方向無線通信リンクを活用する方法として、同一メッセージを複数回送信する手法の導入を検討し、それによる通信性能を評価する。

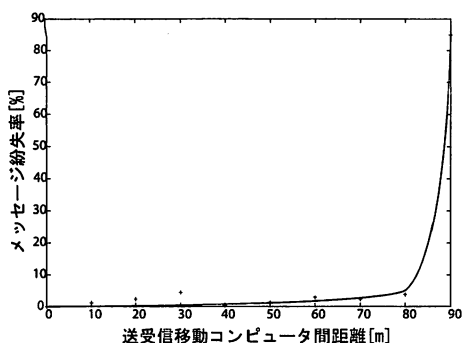


図 1: 送受信移動コンピュータ間距離とメッセージ紛失率

2 無線マルチホップ配送

無線アドホックネットワークでは、無線通信デバイスを備えた移動コンピュータがメッセージの送信元移動コンピュータ、送信先移動コンピュータとなるだけで

はなく、中継移動コンピュータとしても機能することで、無線マルチホップ配送を実現する。一般に、移動コンピュータからの無線信号到達距離は、無線通信デバイスの性能や残電力量によって制約される。また、無線通信がブロードキャストを基礎としており、他の無線信号との衝突を回避する必要があることから、無線信号到達距離を一定値以下に制約する必要がある。このような環境においても移動コンピュータ間の接続性を高く維持するために、無線マルチホップ配送を行なう必要がある。無線マルチホップ配送を行なうためには、送信元移動コンピュータから送信先移動コンピュータまでの配送経路を探索、検出、構築する必要があり、様々なアドホックルーティングプロトコルが提案されている [3]。

これまでに提案されている多くのアドホックルーティングプロトコルは、隣接移動コンピュータ間の無線通信リンクは双方向であるという条件のもとに設計されている。ここでは、片方向無線通信リンクは無線マルチホップ配送経路の一部としては用いられない。これは、片方向無線通信リンクが少数である場合には問題とはならないが、性能が異なる多様な無線通信デバイスを搭載した移動コンピュータが混在したり、移動コンピュータの残電力量が均一でない状況において、無線信号到達範囲の大きさに対して移動コンピュータ密度が比較的低い場合には多数の片方向無線通信リンクが存在することが考えられる。このとき、無線マルチホップ配送経路の決定過程において、片方向無線通信リンクを配送経路に含めないという制約を設けることによって、経路検出の成功確率が低下する、検出される配送経路長の拡大によって、メッセージ配送コストが上昇する、という問題が発生する。この問題を解決するために、片方向無線通信リンクも無線マルチホップ配送経路に含むことを許容するルーティングプロトコルが設計されている [4, 6]。

3 高信頼通信手法

送信元移動コンピュータ M_S から送信先移動コンピュータ M_D に送られた無線信号には、通信路においてノイズが重畳される。無線通信リンクは有線通信リンクに比べてノイズの影響が大きく、低信頼な通信路しか提供できないと言われている。通信路におけるノイズの影響が存在する環境において、より高信頼な通信を行なうための手法として、受信確認 (Ack) メッセージの送達とタイマを用いた再送信機構によるバックワードエラーコレクション (BEC) が広く利用されている (図 2)。ここで、メッセージ配送が失敗する確率 (メッセージ紛失率) を f 、再送信回数の最大値を n_b 、無線信号伝達遅延を d とするとき、メッセージ配送成功確率 P_b 、送信先移動コンピュータがメッセージを受信するまでに要する平均時間 (メッセージ配送遅延) D_b 、配送プロ

トコルが終結するまでの平均時間 T_b は次式で与えられる。

$$P_b = 1 - f^{r_b} \quad (1)$$

$$D_b = \sum_{k=1}^{r_b} (2k-1) f^{k-1} (1-f) d \quad (2)$$

$$T_b = 2d \cdot \{ \{1 - (1 + r_b) \cdot \{f(2-f)\}^{r_b} + r_b \cdot \{f(2-f)\}^{r_b+1}\} / (1-f)^2 + r_b \cdot \{f(2-f)\}^{r_b} \} \} \quad (3)$$

BECにおいては、送信先移動コンピュータへのメッセージ配送が成功しても、送信元移動コンピュータへの Ack メッセージ配送が成功しなければ、メッセージの再送信が続けられるため、 $D_b \leq T_b$ となる。

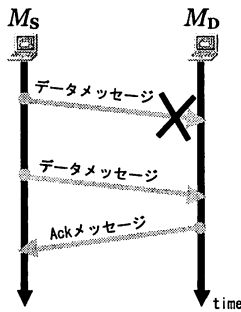


図 2: バックワードエラーコレクション

前章で述べた片方向無線通信リンクにおいては、送信先移動コンピュータから送信元移動コンピュータへの無線信号伝達を行なうことができないため、BECを利用することはできない。そこで、送信先移動コンピュータへのメッセージ配送の成否に関わらず送信元移動コンピュータがあらかじめ定められた回数だけメッセージを繰返し送信するフォワードエラーコレクション (FEC) を導入することによって、より高信頼な通信を実現する方法を導入することが考えられる (図 3)。BEC と同様、メッセージ配送が失敗する確率 (メッセージ紛失率) を f 、繰返し送信回数を r_f 、無線信号伝達遅延を d とするとき、メッセージ配送成功確率 P_f 、送信先移動コンピュータがメッセージを受信するまでに要する平均時間 (メッセージ配送遅延) D_f 、配送プロトコルが終結するまでの平均時間 T_f は次式で与えられる。

$$P_f = 1 - f^{r_f} \quad (4)$$

$$D_f = \sum_{k=1}^{r_f} k f^{k-1} (1-f) d \quad (5)$$

$$T_f = r_f d \quad (6)$$

ここで、 $r_b = r_f$ であるならば、(1) 式と (4) 式から $P_b = P_f$ であり、(2) 式と (5) 式の比較から

$(2k-1)f^{k-1}(1-f)d > kf^{k-1}(1-f)d$ であることより $D_b > D_f$ である。すなわち、FEC における繰返し送信回数が BEC における最大再送信回数と等しいならば、メッセージ配送の成功確率は等しく、FEC を用いる方が BEC を用いるよりも短時間でメッセージを配送することができる。ただし、FEC では、メッセージ配送の成否に関わらずあらかじめ定められた回数だけメッセージの配送を繰り返すことが必要であるのに対し、BEC では、メッセージ配送の成功が確認された時点で送信元移動コンピュータからのメッセージ配送を停止し、プロトコルを終結することができる。無線通信はブロードキャストを基礎としており、ある移動コンピュータが無線信号を送信しているとき、その到達範囲に存在する移動コンピュータは他の移動コンピュータからの無線信号を同時に受信することはできないという制約がある。このため、プロトコル終結までの時間が延長することは、無線通信リソースの占有時間が拡大することを意味しており、ネットワーク全体としてのスループットを低下させることになる。

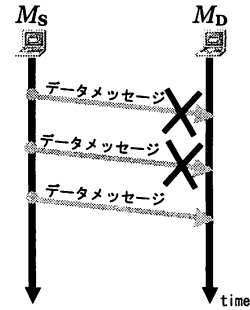


図 3: フォワードエラーコレクション

4 通信性能評価

本章では、前章で述べた配送プロトコル終結までの時間 (T_b と T_f) の比較評価を行なう。

図 4 に示される曲線は、 $r_b = r_f$ という前提のもとで、プロトコル終結までの時間が等しくなる送信回数 (BEC における再送信回数および FEC における繰返し送信回数) をメッセージ紛失率 f に対して求めたものである。曲線上よりも送信回数を大きくした場合には、 $T_b \leq T_f$ すなわち BEC の方がプロトコル終結までの時間が短く、送信回数を小さくした場合には、FEC の方がプロトコル終結時間が短い。前章末で述べたように、ブロードキャストを基礎とする無線通信においては、単一の移動コンピュータが無線通信リソースを占有することは好ましくない。そこで、送信回数は小さく設定することが求められるが、図 4 では与えられたメッセージ紛失率に対して、送信回数を小さく設定すると FEC の方が短時間でプロトコルが終結することが

示されている。ただし、送信回数を小さく設定することによってメッセージ配送成功確率は低下することになる。高いメッセージ配送成功確率を得るためには、送信回数を大きく設定することが必要となり、この場合は、BECの方が短時間でプロトコルが終結し、必要とする無線通信リソースが小さくなる。

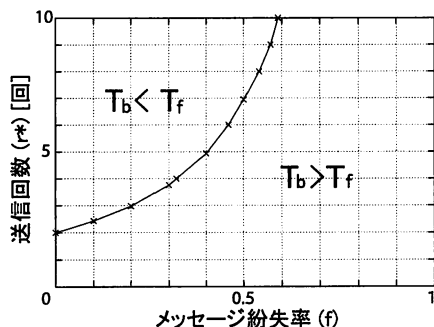


図 4: プロトコル終結時間 T^* の比較

そこで、BECにおいて設定した各最大再送信回数 (r_b) における平均プロトコル終結時間と同じ時間でプロトコルを終結させるように FEC の繰返し送信回数を設定した場合において、メッセージ配送の成功確率が BEC に対して FEC がどの程度低下するかをメッセージ紛失率 (f) に対して評価した結果を図 6 に示す。図 4 に示される $T_b < T_f$ の領域において、FEC が BEC よりも低いメッセージ配送成功確率となっており、その差は BEC の最大再送信回数 r_b の増加とともに拡大している。しかし、 $r_b \leq 10$ の範囲では、その差は最大でも 0.8% に留まっている。これは、無線通信リソースの占有という観点から FEC が BEC に対して大きく劣ることはないことを示している。

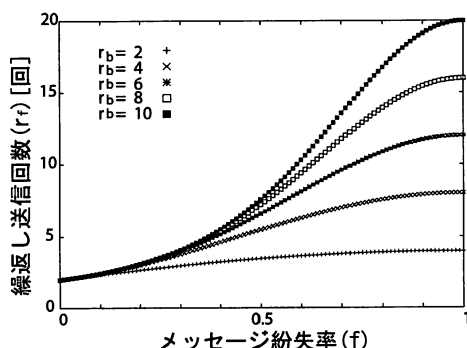


図 5: 同一プロトコル終結時間となるメッセージ送信回数

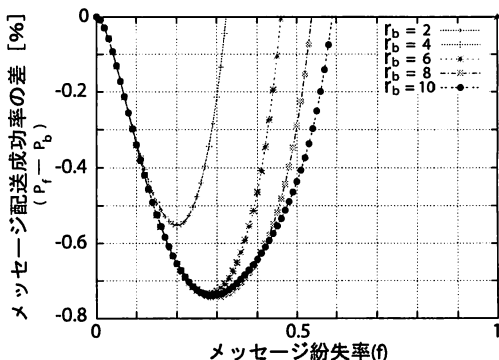


図 6: 同一プロトコル終結時間におけるメッセージ配送成功確率の低下

5 まとめ

無線マルチホップ配送において、高接続性と低遅延を実現するための片方向無線リンクを含む配送経路によるメッセージ配送を実現するために、メッセージ配送の成否に関わらずあらかじめ定められた回数だけメッセージを繰り返し次ホップ隣接移動コンピュータへ送信する手法の導入が、配送コストの観点から妥当であることを通信性能評価を行なうことによって示した。片方向無線リンクを含むアドホックルーティングプロトコルと本配送手法との組み合わせによって、より高い接続性、より低い配送遅延、より高い信頼性を持つ無線マルチホップ配送を実現することができる。

参考文献

- [1] "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," Standard IEEE 802.11 (1997).
- [2] "Wireless (MAC) and (PHY) Specifications for Wireless Personal Area Networks," Standard IEEE 802.15.1 (2002).
- [3] Perkins, C.E., "Ad Hoc Networking," Addison-Wesley (2001).
- [4] 坂本, 桧垣, "LBSR: 非対称リンクを含む MANET のためのルーティングプロトコル," 情報研報, Vol. 2006, No. 120, pp. 119-124 (2006).
- [5] 島田, 桧垣, "再送信代行を含む無線マルチホップ配送の性能評価," 情報研報, Vol. 2006, No. 98, pp. 33-40 (2006).
- [6] 西澤, 荻野, 原, 塚本, 西尾, "アドホックネットワークにおける片方向リンクを考慮したルーティング方式," 情報処理学会論文誌, Vol. 41, No. 3, pp. 783-791 (2000).