

6H-4 アドホックネットワークのためのマルチパス・ルーティングの評価

茂木 信二 吉原 貴仁 堀内 浩規

(株)KDDI 研究所

1. はじめに

筆者らは、宛先までに伝送されるデータパケット数の増加や伝送遅延の短縮を目的にアドホックネットワークのためのマルチパス・ルーティング・プロトコルをこれまでに提案している^[1]。

本稿では、本プロトコルの有効性を検証するため、シミュレーションにより従来プロトコルと比較評価を行い、評価結果と考察を述べる。

2. 提案プロトコルの概要と適用例

2.1. 提案プロトコルの概要

提案プロトコル^[1]は、アドホックネットワークの代表的なルーティング・プロトコル AODV (Ad hoc On-demand Distance Vector Routing)^[2]に対し以下の拡張を図ることで経路の維持に必要な経路発見の回数を減らし、結果として、経路発見に必要な制御メッセージ数の削減や経路切断などから復旧までの時間を短縮する。

- (1) 送信元の要求を契機に、一回の経路発見で宛先に至る単一経路を得る AODV に対し、一回の同報で互いに共通なリンクを持たない複数経路を得る。
- (2) 複数経路のうち、アクティブ経路と呼ぶ一つの経路を実際の通信に使い、残りをバックアップ経路として管理する。
- (3) 一度利用可能になった経路が利用できなくなると再度制御メッセージの同報により代替経路を発見する AODV に対し、同報することなく、経路の切断の時点で利用可能なバックアップ経路に切り替えて通信の継続を試みる。
- (4) 上記(1)及び(2)を実現するため、AODV の RREP(Route Reply)に宛先に至るまでに転送経路が交わる回数を示す交差数を追加導入する。

2.2. 提案プロトコルの適用の例

図1に示すように、AODVと同様の手順に従い、送信元SからRREQ(Route Request)を同報して(図1(1)-(8))宛先DからSに至る帰還経路を、また、DからSに向けてRREPを帰還経路に沿って送信(例えば、図1(9)(11)(15)(18)や(10)(13)(17)(19)など)してSからDに至る転送経路を発見する。ただし、RREPを受信したノードが複数の帰還経路を持つ場合、RREPの交差数の値を1増加する。

送信元Sは、RREPを最初に受信した後に受信するRREPにより、Dとの間に複数経路が存在することを検出するが、さらに図2の手順に従い、互いに共通なリンクを持たない複数経路を発見する。

例えば、図1のFは交差数の値がEより小さいGを選択し、SはFを選択する。Sは選択した転送経路Fに向かってデータパケットの送信を行い(S,F,G,H,D)がアクティブ経路となる。アクティブ経

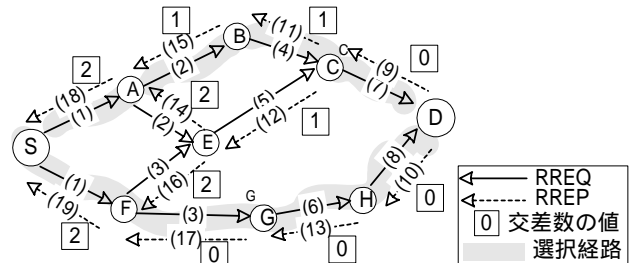


図1 提案プロトコルの適用の例

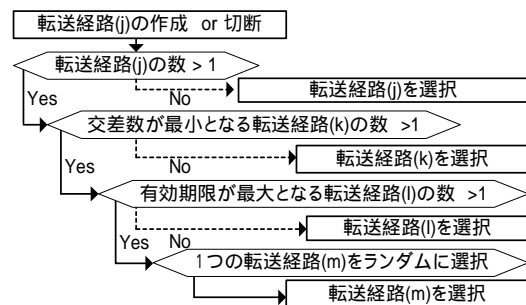


図2 経路の選択手順

路が切断した場合Sは先に選択した転送経路を除いて図2の手順を行い、バックアップ経路となる(S,A,B,C,D)を用いてデータパケットを送信する。

3. 評価と考察

3.1. 評価項目

提案プロトコルの有効性を検証するためシミュレーションにより従来のマルチパス・ルーティング・プロトコル^[3]との比較評価を行う。バックアップ経路を用いることで経路発見の実行回数を抑制する効果を評価する以下の(1)をはじめ、アドホックネットワークのルーティング・プロトコルの性能を評価する際に一般に用いる以下の(2)(3)を評価する。

- (1) 経路発見回数：単位時間あたりに経路発見を行う回数の平均値とする。
- (2) 伝送遅延比率：送信元がデータパケットを送信してから宛先が受信するまでの時間となる伝送遅延の平均値を求める。伝送遅延比率は、提案プロトコルの伝送遅延の平均値を従来プロトコルの伝送遅延の平均値で規格化した値とする。
- (3) パケット到達率：宛先が受信したデータパケット数を送信元が送信したデータパケット数で規格化した値とする。

3.2. シミュレーション環境

OPNET^[4]を用いてシミュレーション環境を構築した。ノードの電波の到達距離は250mとし通信速度を2Mbpsとする。MAC(Medium Access Control)層にはIEEE802.11 DCF (Distributed Coordination Function)を用いる。

提案、及び従来のいずれプロトコルに対しても無線リンクの切断の検出にMAC層からの通知による検出方法とネットワーク層の検出方法の双方を用い

る．MAC 層からの通知による検出方法は，MAC 層において次ホップに対するユニキャストのデータ伝送が失敗した場合にその次ホップとの無線リンク切断が通知される方法である．ネットワーク層の検出方法は，ノードが定期的に送信する Hello メッセージを用いる方法である^[2]．

ノードの移動モデルは Random waypoint モデル^[5]とする．100 のノードは 2700 m × 500 m の長方形領域内のランダムな位置から移動を開始する．その位置と異なる移動先の位置をランダムに選択し，あらかじめ指定する最大速度の間からランダムに選択した速度 ($0 < \text{速度} \leq \text{最大速度}$) で移動する．移動先の位置に到着した場合，同様に移動先を選択して移動を繰り返す．ノードの移動性に対するプロトコルの性能を明らかにする観点から，最大速度の値を変えて評価を行う．

送信元は宛先にデータパケットを一定の割合でユニキャストする CBR(Continuous Bit-Rate)としその割合は 2 packets/sec とした．送信元と宛先の組はシミュレーション開始前にランダムに選択し，その数は 10 組とした．(1)(2)(3)の項目の結果は，それぞれ異なる 5 通りの移動シナリオをシミュレートした結果の平均値とし，シミュレーション時間は 100 sec とした．

3.3. 評価結果 (図 3)

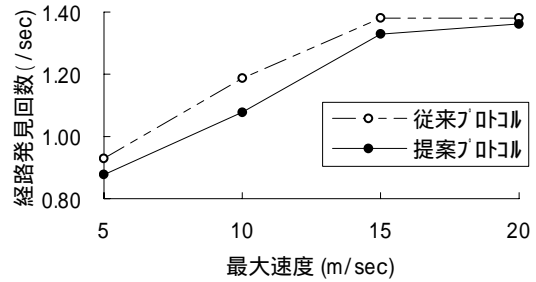
図 3 (a)よりいずれの最大速度においても提案プロトコルは従来プロトコルに比べ経路発見回数が少ない．図 3 (b)より伝送遅延比率は，最大速度の値が 15, 20 m/sec と大きいときは双方のプロトコルでほぼ同一の値になった．最大速度の値を 5, 10 m/sec とするとき提案プロトコルは従来プロトコルに比べ伝送遅延が短縮している．図 3 (c)では，最大速度の値が大きくなるに伴ってパケット到達率が減少しているものの，提案プロトコルは従来プロトコルに比べいずれの最大速度においてもパケット到達率が大きい値を得ている．

3.4. 考察

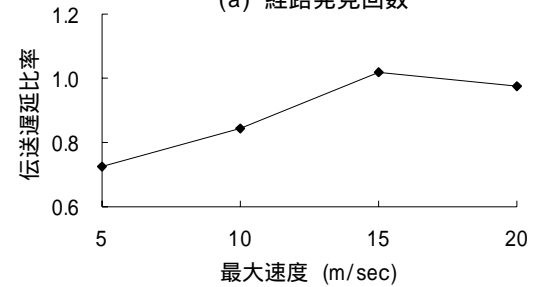
提案プロトコルと同様に従来プロトコルもアクティブ経路からバックアップ経路へ切り替えが可能である．しかしながら，宛先までのホップ数が大きい場合，実際にバックアップ経路が存在する場合であってもその経路を発見できない問題がある^{[1][3]}．これに対し提案プロトコルはホップ数の大小にかかわらずバックアップ経路を発見できるため，従来プロトコルに比べ経路発見回数が抑制できる (図 3 (a))．

なお，ホップ数の大きいバックアップ経路に切り替えるまでにその経路が有効である割合は，移動性が大きい場合よりむしろ中域の移動性の場合になると考えられる．これより，最大速度が 5, 10 m/sec で示される中域の移動性において提案プロトコルが従来プロトコルに比べ伝送遅延が短縮されていると考えられる (図 3 (b))．また，経路発見回数の抑制により同報する RREQ の数を削減する結果，提案プロトコルはより多くのデータパケットを伝送可能となったと考えられる (図 3 (c))．

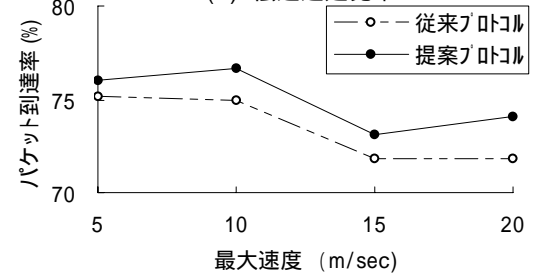
これより，パケット到達率を改善すると共に中域の移動性における伝送遅延の短縮を可能とする提案プロトコルは有効と言える．



(a) 経路発見回数



(b) 伝送遅延比率



(c) パケット到達率

図 3 シミュレーション結果

4. おわりに

本稿では，提案済みのアドホックネットワークのためのマルチパス・ルーティングの有効性検証を目的に，シミュレーション評価を行った．その結果，従来のマルチパス・ルーティングに比べ提案プロトコルは宛先までに伝送されるデータパケット数を改善すると共に中域の移動性において伝送遅延を短縮することが明らかになった．

今後は提案プロトコルを応用することでデータパケットを転送する負荷分散を図ること等が課題である．

謝辞 日頃ご指導頂く (株) KDDI 研究所浅見所長，松島副所長，ならびに水池取締役に感謝する．

参考文献

- [1] 茂木 他, "アドホックネットワークのためのマルチパス・ルーティングの提案", 信学技報, IN2002-125, 2002.
- [2] C.E.Perkins et al., "Ad Hoc On-demand Distance Vector Routing", In Proc. of 2nd IEEE Wksp. Mobile Comp. Sys. and Apps., 1999.
- [3] M.K.Marina et al., "On-demand Multipath Distance Vector Routing for Ad Hoc Networks", In Proc. of ICNP, 2001.
- [4] シミュレーションモデル開発実行環境 OPNET Modeler, OPNET Technologies, Inc., <http://www.opnet.com>.
- [5] J. Broch et al., "A Performance Comparison of Multi-Hop Wireless Ad Hoc Network Routing Protocols", In Proc. of IEEE/ACM MOBICOM, 1998.