

有線/無線相互補完通信を用いた マルチゲートウェイメッシュネットワークの提案と実装

河合 孔明[†] 遊佐 直樹^{††} 峰野 博史^{†††}[†] 静岡大学情報学部 ^{††} 静岡大学創造科学技術大学院 ^{†††} 静岡大学大学院

1 はじめに

大規模災害の被災地や通信インフラが安定稼働しない発展途上国において、その場で短時間に安定な通信インフラを構築する仕組みが求められている。本研究では、通信インフラを誰でもどこでも簡単に構築可能にする AMGMN (Adaptive Multi-Gateway Mesh Network) を提案する。AMGMN は、有線 LAN、および無線 LAN を利用可能なマルチゲートウェイメッシュネットワークである。ワイヤレスメッシュネットワークに有線 LAN のリンクを加えることで、敷設が容易かつ電波障害に耐えられるネットワークを実現する。マルチゲートウェイに対応させることで負荷分散を行う。また、誰でも簡単にネットワークを構築可能にするために、ネットワーク構築を自動化する。

2 関連研究

ワイヤレスメッシュネットワークの代表例として IEEE 802.11s [1] が挙げられる。IEEE 802.11s はノード間通信を無線 LAN で行い、ノード間の配線を不要にすることでネットワークの敷設を容易にする。しかしながら、無線 LAN のみの通信は電波障害の影響を受ける。複数のチャネルを用いて電波障害を緩和する手法 [2] も存在するが、距離や障害物による電波障害の防止は目的とされていない。

通信阻害要因の異なる通信を組み合わせることで通信の信頼性、安定性を向上させる手法として、有線と無線を組み合わせた有線/無線相互補完通信 [3] や IEEE 1905.1 [4] がある。しかしながら、マルチゲートウェイの実現方法については言及されていない。

3 AMGMN の提案

3.1 AMGMN の概要

有線 LAN と無線 LAN が混在するメッシュネットワークを実現するために、インタフェース統合機能を用いて有線 LAN と無線 LAN を 1 つのインタフェースに統合する。マルチゲートウェイを実現するために、マルチゲートウェイルーティングによって、ゲートウェイ機能をもつノードを 1 つ含むトポロジを複数組み合わせる。ネットワーク構築の自動化を実現するために、メッシュネットワークの自動構築、および外部ネットワークへの経路の自動的維持を行う。メッシュネットワークの自動構築は、ブータブル USB 内に自動構築スクリプトを用意しておき、OS 起動時にス

クリプトを呼び出すことで行う。外部ネットワークへの経路の自動的維持は、3.4 節で述べる環境適応機能によって、外部ネットワークに対する送受信パケットの転送先を変更することで実現する。以降、それぞれの機能の詳細を述べる。ここで、環境適応機能の実現のために、転送先の違いによってノードの役割を定義する。ノードの役割にはゲートウェイノード、中継ノード、アクセスポイントノードがあり、それぞれ AMGMN とインターネットゲートウェイ間のパケット転送、他ノードへのパケット転送、クライアントと AMGMN 間のパケットの転送を行う。インターネットゲートウェイとは、外部ネットワークへの直接的経路を持つ機器を指す。

3.2 インタフェース統合機能

図 1 にプロトコルスタックの構成図を示す。有線 LAN と無線 LAN の統合は AMGMN driver によって行う。無線 LAN はアドホックモードに設定しておき、他のノードへの無線経路を構築する。AMGMN driver 内ではルーティングテーブルを基にパケットの宛先 MAC アドレスの書き換えを行い、適切なネットワークインタフェースを用いてパケット送信を行う。ルーティングテーブルの作成については、3.3 節で述べる。

3.3 マルチゲートウェイ向けルーティング

AMGMN では、有線/無線相互補完通信 [3] のルーティング手法をベースとした AMGMN routing protocol を用いてルーティングを行い、マルチゲートウェイを実現する。AMGMN routing protocol は図 1 の AMGMN routing program 内で動作しており、ルーティングテーブルを作成する。図 2 のように、DODAG (Destination Oriented Directed Acyclic Graph) トポロジを複数構築し、各ノードをすべての DODAG トポロジに参加可能にすることで複数のゲートウェイノードを利用可能にする。各ノードは図 2 のように、ランクというゲートウェイノードに対する相対的な距離を表す指標を持っている。ランク値は、メトリックと親ノードのランク値を合計して求める。各ノードは安定な経路を選択するために、自身のランク値を最小にするノードを親ノードとして選択する。メトリックは Hello パケット受信時に無線の受信強度である RSSI から計算す

A proposal and implementation of Multi-gateway Mesh Network with Wired/Wireless Mutually Complementary Communication

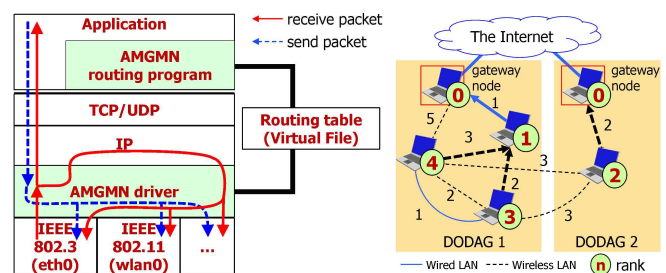
Takaaki Kawai[†], Naoki Yusa^{††}, Hiroshi Mineno^{†††}[†] Faculty of Informatics, Shizuoka University^{††} Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University^{†††} Graduate School of Informatics, Shizuoka University

図 1: プロトコルスタック

図 2: 経路選択

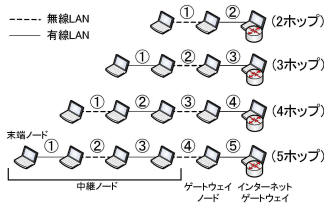
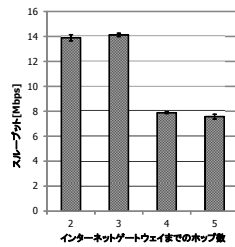


図3: ルーティング



オーバーヘッドの評価トポロジ 図4: 各ホップ数のスループット

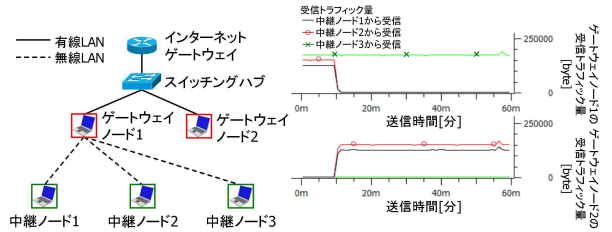


図5: 負荷分散評価トポロジ 図6: 受信トラフィック量

る。有線 LAN リンクについては、比較的通信が安定するため、通信が可能な場合には無限の RSSI 値を持つものとする。メトリックに初期値を設定しておき、RSSI が閾値を下回った場合にメトリックを増加させることで、不安定な経路の先にあるノードが親ノードとして選択されにくくする。自身のランク値を最小にするノードが複数存在する場合には、子ノード数が最も少ないノードを親ノードとして選択することで、簡易的な負荷分散を行う。子ノード数の通知は各ノードの Hello パケットによって行う。

ノードが自分宛てでないパケットを受け取った場合は、パケットを AMGMN driver に折り返し、再送を行う。パケットを折り返す機能はアプリケーション層と IP 層で実装可能であるが、ユーザー空間とカーネル空間とのメモリコピーによるオーバーヘッドを削減するために、IP 層のフォワーディング機能を用いて実現する。

3.4 環境適応機能

環境適応機能を実現するために、外部ネットワーク側インタフェースを予め定義しておき、eth1 と呼ぶ。eth1 が存在しない場合はノードを中継ノードとして動作させる。eth1 が存在し、インターネットへの経路がある場合にはゲートウェイノード、ない場合にはアクセスポイントノードとしてノードを動作させる。インターネットへの経路の有無の確認は、eth1 からインターネットゲートウェイ内にある DNS サーバへの IP アドレスのリクエスト、および eth1 からインターネット上にある端末への ping の送信によって行い、これらに成功した場合にはインターネットへの経路があると判断する。

4 評価

4.1 評価環境

AMGMN を実装するブータブル USB の OS は Ubuntu 12.10 32bit を使用し、各ノードの構築はノート PC でブータブル USB を起動して行う。ノート PC は、有線 LAN NIC(RTL8111/8168B)、無線 LAN NIC(AR5BHB92) を1つずつ内蔵したものを使用する。内蔵 NIC はノード間通信に利用し、外部ネットワークとの通信には USB 外付け有線 LAN NIC(UE-100TX-G3) を使用する。インターネットゲートウェイは、評価に必要なログを取るためにノート PC で構築する。

4.2 ルーティングオーバーヘッドの評価

マルチホップによるルーティングオーバーヘッドを評価する。図3に示す通り、トポロジを1直線にしてホップ数を増加させる。無線 LAN リンクが複数存在するところは、別の SSID を割り当てて一直線のトポロジを実現する。末端ノードからインターネットゲートウェイに TCP パケットを送信し、各ホップ数のスループットを比較する。各ホップ数で 10 回分のスループットの平均を結果とする。

各ホップ数のスループットを図4に示す。図4より、ホッ

プ数が3から4に増加したときにスループットが1/2に低下したことがわかる。この原因は、トポロジ内の無線 LAN リンクが2つに増加し、RTS/CTS によって片方の無線 LAN リンクが送信待ちになったことだと考えられる。しかしながら、RTS/CTS 以外を原因とするスループットの低下は見られなかったため、無線 LAN の限界スループットを達成しており、ルーティングオーバーヘッドは極めて小さいといえる。

4.3 マルチゲートウェイによる負荷分散の評価

ゲートウェイノード追加時の親選択の動作から負荷分散を評価する。評価トポロジを図5に示す。スイッチングハブを介してインターネットゲートウェイにゲートウェイノード1, 2 を接続する。中継ノード1, 2, 3 を用意し、ゲートウェイノードに自動的に無線 LAN で接続させる。実験開始から 10 分間はゲートウェイノード2の無線 LAN を無効化しておき、10 分後に有効化する。実験開始時に中継ノードからインターネットゲートウェイに ping を送信し、各ゲートウェイノードで受信トラフィック量を記録する。実験は 60 分間行う。中継ノード1, 2, 3 の送信パケットサイズはそれぞれ 1000, 1200, 1400 バイトとする。

図6にゲートウェイノード1, 2 の受信トラフィック量を示す。実験開始から 10 分間はゲートウェイノード2の無線 LAN を無効化しているため、ゲートウェイノード1に全中継ノードの送信トラフィックが集中している。10 分間経過後、無線 LAN を有効化したことで、中継ノード1, 2 の送信トラフィックがゲートウェイノード1 から2 に移動している。したがって、複数のゲートウェイノードのうち、子ノード数が少ないものを自動的に親ノードとして選択し、負荷分散を実行できたといえる。

5 終わりに

本研究では、有線 LAN と無線 LAN が混在するマルチゲートウェイメッシュネットワークである AMGMN を提案し、ブータブル USB として実装することで、誰でもどこでも簡単に構築できる通信インフラを実現した。評価では、ルーティングオーバーヘッドが極めて小さいこと、マルチゲートウェイによる負荷分散が実現できていることを確認した。今後は、パス選択の性能を向上するため、ランク値の最適な決定方法を検討し、OSPF や RIP といった既存マルチパス通信手法との比較を行う。

参考文献

- [1] “802.11s-2011”, IEEE, 2011.
- [2] Liu, Y., et al.: “Channel assignment exploiting partially overlapping channels for wireless mesh networks”, In Global Telecommunications Conference, GLOBECOM 2009. IEEE, pp. 1–5, 2009.
- [3] 遊佐 直樹, 他.: “PLC/RF 相互補完通信における環境変化に追従可能な DODAG ルーティングメトリックスの研究”, 情報処理学会論文誌 コンシューマ・デバイス & システム, Vol. 3, No. 1, pp. 77–86, 2013.
- [4] “IEEE Standard for a Convergent Digital Home Network for Heterogeneous Technologies”, IEEE, 2013.