

# オープン・メッシュネットワークの研究開発 (082004001)

Research and Development on Open Mesh Network

## 研究代表者

間瀬憲一 新潟大学大学院自然科学研究科

Kenichi Mase Graduate School of Science and Technology, Niigata University

## 研究分担者

岡田 啓<sup>†</sup> 松井 進<sup>††</sup> 門田 和也<sup>†††</sup> 佐藤 弘起<sup>††††</sup> 坂田 匡通<sup>†††††</sup> 寺田 真介<sup>††††††</sup>  
阪田 史郎<sup>†††††††</sup> 飯塚 宏之<sup>††††††††</sup> 武下 行夫<sup>†††††††††</sup> 北爪 恵司<sup>††††††††††</sup>  
金子 昌彦<sup>†††††††††††</sup> 長谷部 聡<sup>††††††††††††</sup> 大和田 泰伯<sup>†††††††††††††</sup>

Hiraku Okada<sup>†</sup> Susumu Matsui<sup>††</sup> Kazuya Monden<sup>†††</sup> Hiroki Sato<sup>††††</sup> Masayuki Sakata<sup>†††††</sup>  
Shinsuke Terada<sup>††††††</sup> Shiro Sakata<sup>†††††††</sup> Hiroyuki Iizuka<sup>††††††††</sup>

Yukio Takeshita<sup>††††††††††</sup> Keiji Kitazume<sup>†††††††††††</sup> Masahiko Kaneko<sup>††††††††††††</sup>

Satoshi Hasebe<sup>†††††††††††††</sup> Yasunori Owada<sup>††††††††††††††</sup>

<sup>†</sup> 埼玉大学大学院理工学研究科 <sup>††</sup> 日立製作所システム開発研究所 <sup>†††</sup> 日立製作所システム開発研究所  
<sup>††††</sup> 日立製作所システム開発研究所 <sup>†††††</sup> 日立製作所システム開発研究所 <sup>††††††</sup> 日立製作所システム  
開発研究所 <sup>†††††††</sup> 千葉大学大学院融合科学研究科 <sup>††††††††</sup> 日本電気通信システム株式会社  
<sup>††††††††††</sup> 東京電波株式会社 <sup>†††††††††††</sup> 東京電波株式会社 <sup>††††††††††††</sup> 株式会社ウィビコム  
<sup>††††††††††††††</sup> 株式会社ウィビコム <sup>††††††††††††††††</sup> 独立行政法人情報通信研究機構

<sup>†</sup> Graduate School of Science and Engineering, Saitama University <sup>††</sup> Hitachi, Ltd., Systems

Development Laboratory <sup>†††</sup> Hitachi, Ltd., Systems Development Laboratory <sup>††††</sup> Hitachi, Ltd.,

Systems Development Laboratory <sup>†††††</sup> Hitachi, Ltd., Systems Development Laboratory

<sup>†††††††</sup> Hitachi, Ltd., Systems Development Laboratory <sup>††††††††</sup> Graduate School of Advanced

Integration Science, Chiba University <sup>†††††††††</sup> NEC Communication Systems, Ltd <sup>††††††††††</sup>

Tokyo Denpa Co., Ltd <sup>††††††††††††</sup> Tokyo Denpa Co., Ltd <sup>††††††††††††††</sup> WiVicom Co., Ltd <sup>††††††††††††††††</sup>

WiVicom Co., Ltd <sup>††††††††††††††††††</sup> National Institute of Information and Communications Technology

研究期間 平成 20 年度～平成 22 年度

## 概要

レイヤ 3 無線メッシュネットワーク・バックボーン用の新ノードを開発し、新潟大学キャンパス内にメッシュネットワーク・テストベッドを構築した。ルーティングプロトコル、アドレス衝突検出機能、メッシュネットワーク・バックボーン自動構成機能、輻輳制御機能、レート制御機能、ノード用無線 LAN ファームウェア・ドライバ、アンテナ複合制御技術、ルーティングプロトコル・セキュリティ技術、高信頼アドホックマルチキャスト通信技術、ネットワークシミュレーション技術などを開発し、テストベッドで動作検証・性能評価を行うことにより開発技術の優位性を実証した。

## Abstract

This research focuses on the Layer 3 Wireless Mesh Network (WMN), where, Internet Protocol (IP) packet relaying is performed in Layer 3 (Network layer) in the WMN backbone. An IP address is used to deliver IP packets from one MH (Mobile Host) to another through the WMN backbone. In this research, a number of essential technologies to realize the Layer 3 WMN, including systematic management of the IP and MAC addresses of each MH to support client side transparent mobility, duplicated address detection, backbone routing protocol, backbone structure autoconfiguration, routing security, high-reliability multicast, network simulation, etc., have been developed and verified using real-world testbed.

## 1. まえがき

IETF、IEEE 802 における関連技術の標準化を取り込んだオープン・スケーラブルなアーキテクチャを指向し、メッシュネットワークを実現する基盤技術の研究開発を進めた。主な研究成果を示す。

## 2. 研究内容及び成果

### 2. 1. 新ノード開発・テストベッド構築

ノードに使用されるマザーボードは既製品の中から選定した。当初目標に近い 20cm×15cm×2cm という小型な物を選定することができた。提案書記載の通り、技術基準適合証明を取得した(図 1、2)。

本テストベッドは分担研究機関、他の共同研究機関との開発技術検証にも広く利用され、実用化、事業化へつなげるための貴重なデータの収集が可能になった。避難所通信システムとそのアプリケーションはチュートリアルペーパーとしてまとめられ、通信分野の世界的に権威のあるチュートリアル、サーベイ論文掲載誌(IEEE Communications



図 1 ノード外観



図 2 ノード構成

Magazine)に掲載された。

## 2. 2. ルーティングプロトコル

IETF で標準化中のアドホックルーティングプロトコル OLSRv2 の実装を新潟大学と日立製作所で独立にタイムリーに進め、22年10月に相互接続実験に成功した。この結果はIETF会合に報告され、国際標準化貢献を行った。

## 2. 3. モバイル端末経路計算機能

モバイル端末に対しては通常の無線LANアクセスポイントとしての拡張サービスセット (ESS) を提供し、レイヤ2でのローミングをサポートすると共に、バックボーンに任意のリンク技術の採用を可能にし、ノード間でIPパケットによる中継を行う技術を開発した。

本成果はチュートリアルペーパーとしてまとめられ、IEEE Communications Magazine に掲載された。

## 2. 4. ノード・アドレス割当機能

ノードの無線インタフェースにIPアドレスをランダムに選定する方式において、ルーティング制御メッセージ内のアドレスにランダム値のキーを付加することにより同じアドレスでもキーが異なることで、重複アドレスの検出が可能になる。オーバーヘッドを削減する分割キーというオリジナルな技術を開発した。本技術は電子情報通信学会の論文としても掲載された。

## 2. 5. バックボーン自動構成機能

ノードに電源を入れるだけで自動的にメッシュバックボーンが構成される自動構成機能を実現した。ノード間に安定なリンクを設定し、構成完了までの時間を短縮する技術を確認した。

## 2. 6. バックボーン輻輳機能

無線マルチホップ特有のゲートウェイ近くでの無線チャネルアクセスの競合という問題に対して、レイヤ3無線メッシュネットワークの特徴を踏まえた、ネットワーク層におけるエンドツーエンド型の輻輳制御技術を確認した。

## 2. 7. レート制御機能

固定レート設定方式と半固定レート設定方式のそれぞれについて、必要な機能を開発し、無線LANドライバに対応する機能を実装した。オートレートとの比較では目標を大幅に上回る結果を得た。

## 2. 8. アンテナ複合制御機能

小型3セクタアンテナを、ダイバシチ性能を持たせる形で実現した。製作したアンテナ切替器は、マイクロストリップの特性を応用することで、低損失化を実現し、かつARIBでの要求を満足しつつ、最大限のアンテナ利得を得ることを可能にした。

## 2. 9. マルチインタフェース・マルチチャネル

ネットワークトポロジに関する情報をノード間で交換し、自律的に送信電力の調整を行う送信電力制御機能と指向性アンテナを組み合わせることで、シングルチャネルで構成したメッシュバックボーンに対し、4ホップ時点でも約6.7倍のスループットを達成できた。

## 2. 10. ルーティング・セキュリティ技術

不正な端末をメッシュネットワークに加入させないためのセキュア機能として①ノードの認証機能、②制御メッセージの完全性検証機能、③ユーザメッセージの転送時の完全性検証機能を開発し、セキュリティ未対策のOLSRv2と比較して、経路構築に伴うセキュリティオーバーヘッドの増加を9%以下に抑え、正当なノードのみでメッシュネットワーク構築可能であることを確認した。

## 2. 11. マルチサービス技術

ESS-IDごとに独立したサービスを実現するために、従

来のルーティングテーブルにESS-IDに対応するVLAN情報を追加したVLANルーティングテーブルを各メッシュアクセスポイントが保持することで、ESS-IDごとに独立したルーティングを行うことを可能とし、独立した4つのサービスが実現できることを確認した。

## 2. 12. 高信頼アドホックマルチキャスト通信

エンドツーエンドFEC機能をベースに、リンクバイリンクARQ機能とユニキャストルーティングプロトコルを利用し、高信頼マルチキャスト通信方式を開発した。実環境で性能検証を行い、高性能を確認した。

## 2. 13. ネットワークシミュレーション技術

無線の伝搬損失を実環境のリンク品質データから推定しモデル化を行う手法を確認し、高い精度でシミュレーションによるパケットレベルの性能推定が可能になった。

## 3. むすび

東日本大震災における通信インフラ破壊への対応として、東松島市宮戸地区にメッシュネットワークを構築し、避難所通信システムのサービスを提供中である。

オープン・メッシュネットワークはセンサネットワークのバックボーンとして高い親和性を有していることから、オープン・メッシュネットワーク技術の確立によりセンサネットワーク・ビジネスの促進・拡大が期待される。

### 【国際標準提案リスト】

[1] IETF, draft - speakman - manet - looping - issue -00, Routing Loop Issue in Mobile Ad Hoc Networks, 2009.5.25

### 【誌上发表リスト】

[1] 間瀬憲一、岡田啓、東信博、山口匠、“インターネットと連携した避難所利用者のためのメッセージ通信システム”、電子情報通信学会論文誌、Vol.J93-B No.10 pp.1356-1367, 2010.10

[2] K. Mase, “How to Deliver Your Message From / To Disaster Area”, IEEE Communications Magazine, 2011.1

[3] K. Mase, “Layer3 Wireless Mesh Networks — Mobility Management Issues”, IEEE Communications Magazine, 2011

### 【申請特許リスト】

[1] 間瀬憲一、岡田啓、避難所通信システム、特願2008-265743、日本、2008.10.14

[2] 岡田啓、間瀬憲一、秋間和樹、重複アドレス検出システム、特願2009-038828、日本、2009.2.23

[3] 門田和也、松井進、無線マルチホップ通信装置とその送信電力制御方法、日本、2010.1

### 【受賞リスト】

[1] Lee Speakman, Yasunori Owada, Kenichi Mase, IEEE COMSOC CQR Workshop Best Paper Award, “An Analysis of Loop Formation in OLSRv2 in Ad-Hoc Networks and Limiting its Negative Impact,” 2008.5.1

[2] 阪田史郎、総務省関東総合通信局長賞、2009.6.1

[3] 間瀬憲一、2010年IEEE Communications Society Communication Quality and Reliability Chairman’s Award, 2010.6.9

### 【報道発表リスト】

[1] “本学教員が東日本大震災の復興支援で本学が開発した避難所通信サービスを構築し、提供します” 2011.5.25

### 【本研究開発課題を掲載したホームページ】

[1] <http://www2.net.ie.niigata-u.ac.jp/SCOPE/>、ヒット件数 3216 (2008年11月23日~2011年5月2日)