

平成22年6月10日現在

研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19700077  
 研究課題名（和文） 無線ヘテロジニアスネットワークにおける非対称マルチキャスト通信の提案と実証実験  
 研究課題名（英文） Proposal and Experimental Verification of the Asymmetric Multicast Communication in Heterogeneous Wireless Networks  
 研究代表者  
 LIM AZMAN・OSMAN（リム アズマン・オスマン）  
 北陸先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・准教授  
 研究者番号：90435793

研究成果の概要（和文）：シームレスに統合された無線ヘテロジニアスネットワークの実現は、より多様な通信サービスの効率的な提供を可能にする。本研究では、無線 LAN メッシュネットワークとセンサーネットワークから構成される無線ヘテロジニアスネットワークにおけるマルチキャスト通信に関する技術獲得を目標として、非対称リンクを許容する新しい方式を提案し、シミュレーションおよびテストベッドによる実証実験でその有効性を確認した。

研究成果の概要（英文）：With the growing interest in various wireless networks, the need for seamless integration and efficient transmission of heterogeneous wireless networks is becoming increasingly important. In heterogeneous wireless networks, communication between pair of a sensor and a mesh node may be asymmetric, meaning that the sensor may receive data from the mesh node but not vice versa. In this research work, we focus on the asymmetric multicast communication and propose a multicast over tree-based routing (mTBR) protocol to improve the performance of conventional protocol in terms of routing overhead, packet delivery ratio, and delay. We evaluate the proposed mTBR through simulation and verify its performance using the experiment of heterogeneous wireless networks, which consists of 802.11b/g (Wireless LAN networks) and 802.15.4 (sensor networks).

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,300,000	0	1,300,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
総計	3,000,000	510,000	3,510,000

研究分野：情報学

科研費の分科・細目：計算機システム・ネットワーク

キーワード：マルチキャスト、経路制御プロトコル、木構造、無線メッシュネットワーク

## 1. 研究開始当初の背景

無線メッシュネットワークは、無線 IP 基地局をメッシュ状に無線接続し、有線との接続を最小限にとどめつつ無線ネットワークの被覆領域の拡大を図る方法である。無線アドホックネットワークの研究を拡張する形で研究が進められており、ネットワーク層では IETF 標準において、データリンク層及び物理層においても IEEE802 標準において標準化検討が行われている段階であった。

一方、センサーネットワークは、主に自律的にデータ測定を行うセンサー群で構成されるネットワークであり、電源、通信速度、通信距離、計算能力などに関し、無線 IP 端末と比較して厳しい制約があることを想定して研究が進められている。IEEE802.15.4 (ZigBee) といった標準化検討も活発になり始めた段階である。また無線 LAN メッシュネットワークと同様に、無線アドホックネットワークの研究で電源や通信速度を制約やメトリックとした方式が主に検討されていた。

通信方式・性能が異なる複数のネットワークを選択的に使用するものにハイブリッドネットワークがあるが、ヘテロジニアスネットワークとは特に異種のネットワークが有機的に協調動作するものをいう。ハイブリッドネットワークでは、異種・複数のネットワークを上位のレイヤから選択して利用する構成をとるのに対し、ヘテロジニアスネットワークでは、異種・複数のネットワークインタフェースを同時に備えたノードがそれぞれ他方のネットワークに対する接続ポイントとなり、一方のネットワークから見て他方のネットワークノードを互いに収容する構成をとることで有機的な協調動作を実現しようとする。

無線 LAN メッシュネットワークとセンサーネットワークから有機的に構成されるヘテロジニアスネットワークを対象にし、また、その上で動作するマルチキャストプロトコルを実現するために、ノード位置の一定の安定性・応用サービスに求められる頑健性を前提に、特にトラフィックの特性・通信/計算/電力資源の不均等性に着目して、転送経路の形状を検討した結果、単方向の共有経路を非対称パスとして利用することが、前提とする無線ヘテロジニアスネットワークの特性と呼応する方式として候補に挙げるにいたっている。

## 2. 研究の目的

無線 LAN メッシュネットワークとセンサーネットワークから構成される無線ヘテロジニアスネットワークにおいて、異種ネットワークのノードが混在するノード間のリンクをたどってパケットをマルチホップさせる

ことにより、1対多のマルチキャスト通信を行う際に、非対称な経路を許容して最適な経路を選択し伝送する方式の提案とテストベッドの構築による性能評価を行い、実効性を確認すること。研究活動項目は以下の通り。

- (1) IEEE802.11b/g、IEEE802.15.4 の通信ネットワークを混合した無線ヘテロジニアスネットワークにおける非対称マルチキャスト（及びユニキャスト/ブロードキャスト）通信プロトコルの解析的分析による方式考案
- (2) 同上通信プロトコルのコンピュータシミュレーション評価と方式改良
- (3) 同上通信プロトコルを実装したテストベッド構築と性能評価実験

## 3. 研究の方法

平成 19 年度は、「IEEE802.11b/g、IEEE802.15.4 の通信ネットワークを混合した無線ヘテロジニアスネットワークにおける非対称マルチキャスト（及びユニキャスト/ブロードキャスト）通信プロトコルの解析的分析による方式考案」に重点を置く。研究手順は以下のようになる。

- (1) 解析・シミュレーション用に無線ヘテロジニアスネットワークの構成を設計する。40~60 m<sup>2</sup> 1 セグメントオフィス・60~80 m<sup>2</sup> 3LDK アパートメント・120~200 m<sup>2</sup> ビニールハウスなどを想定して、無線メッシュノード、センサーノードを配置。ノードの通信/計算/電力資源の設定を実施。
- (2) Multicast On-demand Distance Vector や Distance Vector Multicast Routing Protocol、Core-Assisted Mesh Protocol、Tree-based Routing Protocol 等の既存プロトコルを模したヘテロジニアスネットワーク向けの通信プロトコルモデルを構築。単方向の共有経路を非対称パスとして利用する通信プロトコルモデルを構築。
- (3) サーバとノート PC、データ解析ソフトウェアを購入し、種々に想定し設計した無線ヘテロジニアスネットワークの構成を入力、ネットワークノードの性能の入力を行ってデータ解析により、入力した無線ヘテロジニアスネットワークの特性を得る。
- (4) 既存プロトコルを模したプロトコルモデル、および提案しようとする非対称プロトコルモデルに則り、無線ヘテロジニアスネットワークの構成ごとに、起こりうるトラフィックパターンを数個設定して、スループット、遅延、待ち行列長、パケット配

信率の分析を行う。

送信元ツリー型、共有ツリー型、メッシュ型の各無線マルチホップマルチキャストプロトコルの強み・弱みを把握し、また提案しようとする単方向の共有経路を非対称パスとして利用する通信プロトコルが現時点で従来型のプロトコルとどのような相違点があるかを、スループット、遅延、待ち行列長、パケット配信率など性能の面で比較しつつ、設計したヘテロジニアスネットワークの構成および入力するトラフィックパターンに対して、どのような相関があるかを仔細に分析する。

提案しようとする単方向の共有経路を非対称パスとして利用する通信プロトコルが、あらゆる状況において性能面で著しく劣っている場合、「単方向の教諭経路を非対称パスとして利用する」こと自体の負の要素を洗い出した上で、代替となるプロトコル構成方針を改めてこの時点で打ち立てる必要が生じる。その場合にも、従来型のマルチキャストプロトコルの解析により得られた知見に基づき、従来型マルチキャストプロトコルに共通して見出された弱みについて着目し、その弱みを克服するために可能な工夫について見当をつけることで、代替となるプロトコルの構成方針を再考案する。

提案しようとする通信プロトコルが、いくつかの状況において性能面で従来のマルチキャストプロトコルを上回る性能を見せた場合には、うまくいかない場合と同様に性能向上の要因を明確にし、その要因によってどこまでさらなる性能向上が可能かを見極めてプロトコルの動作設定にフィードバックさせて、より提案しようとするプロトコルを効果の高いものに仕上げる。

平成 20 年度は、「IEEE802. 11b/g、IEEE802. 15. 4 の通信ネットワークを混合した無線ヘテロジニアスネットワークにおける非対称マルチキャスト（及びユニキャスト/ブロードキャスト）通信プロトコルのコンピュータシミュレーション評価と方式改良」を実施しつつ、テストベッドの構築を進める。

前年度において得られた一定の性能向上が解析的に認められる提案プロトコルに、従来型プロトコルを含めてネットワーク層におけるシミュレーションを NICT の研究資産である OPNET ないしは QualNet シミュレータを利用して実施する。シミュレーションに際しては、解析的評価を行う際に設計した無線ヘテロジニアスネットワークの構成、無線メッシュノード、センサーノードの通信/計算/電力資源の設定、入力するトラフィックパターンを利用する。テストベッドの構築は、無線 AP、PC に導入するメッシュライブラリ、10 個のセンサーノードを含むセンサーネッ

トワークキットを購入して進める。メッシュライブラリは、各年度にわたり購入する PC に導入する。テストベッドの構築に際しては、ネットワーク層のプログラミングも自ら実装し、評価するためのトラフィックの設定なども随時実施する。

平成 21 年度は、「IEEE802. 11b/g、IEEE802. 15. 4 の通信ネットワークを混合した無線ヘテロジニアスネットワークにおける非対称マルチキャスト（及びユニキャスト/ブロードキャスト）通信プロトコルを実装したテストベッド構築と性能評価実験」を実施する。

#### 4. 研究成果

平成 19 年度は主に、IEEE802. 11b/g および IEEE802. 15. 4 の混在した無線ヘテロジニアスネットワークにおける非対称マルチキャスト通信の分析を行った。従来の Multicast On-demand Distance Vector や Distance Vector Multicast Routing Protocol、Core-Assisted Mesh Protocol など多くのマルチキャスト通信プロトコルは、主に同種の通信ノードからなる無線ネットワーク向けに提案されており、無線ヘテロジニアスネットワークに適用するには以下に挙げる無線ヘテロジニアスネットワークの 3 つ特徴が障害となっている。

- ・トポロジーの変化が予測不可能なアドホック環境
- ・非常に多様な終端装置
- ・通信リンクの非対称性

そこで、無線ヘテロジニアス環境向けの非対称マルチキャストプロトコルを考案し、マルチプル・ユニキャストプロトコルと比較した数学的な基本評価を行った。提案プロトコルは、multicast over tree-based routing (mTBR) に付随して動作を説明に入る。マルチキャストでデータが実際に流れるマルチキャスト木構造 (mTree) を構成する中継ノードは mTree ノードとして、mTree 表を保持管理する。mTree ごとに葉に向かう側のノードを子ノードとして、子ノードのアドレスを mTree 表の当該マルチキャストアドレス (MA) のエントリーの子ノードアドレスフィールド (Child field) に入力して管理する。受信したマルチキャストパケットの MA のエントリーは mTree 表にあり、さらに当該エントリーに子ノードがいるときにはマルチキャストパケットを転送する。

次に挙げるのは、ビデオ映像を流すことを想定した具体的なパラメータを想定し、さらにノードをランダムに配置するトポロジーのシミュレーションを行い、マルチプル・ユニキャストと提案する mTBR 方式との比較を行った評価結果である。結果のグラフを図 1 に示す。

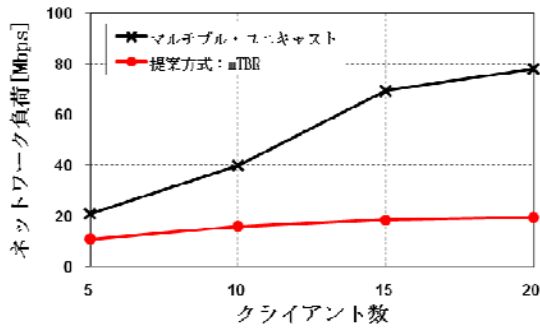


図1 ネットワーク負荷の比較

横軸はクライアント数を示し、また縦軸はネットワーク内で発生したトラフィックの総量を表している。このグラフから分かるように、クライアント数が増えるといずれもネットワークの負荷は増えているが、提案手法ではネットワークの負荷の伸びはマルチプル・ユニキャストを比較して非常に緩やかになっている。提案手法は、クライアントが20ノードの時で、75%の径路制御オーバーヘッドを削減することを明らかにした。

平成20年度は主に、前年度において考案した無線ヘテロジニアス環境向けの非対称マルチキャストプロトコルについて、さらに分析・改良を進めた。MAC層において、従来用いられていたロードキャスト packets を、今回、マルチプル・ユニキャストの繰り返しに置き換え、さらにネットワーク層の mTBR も手順の見直しによりさらにオーバーヘッドの低減を図った。図2と図3のグラフは、シミュレーションによる評価を実施した結果を示したものである。

シミュレーションでは、Rootの対角に位置するノードをサーバとした。クライアント数が少ない場合から多い場合にわたって、いずれの場合も提案手法は、配信率はMAODVを上回り、遅延は3分の1以下に抑えられるなど性能が優れている。検討初期には、行ったシミュレーションにより、mTBRでMAC層のブロードキャスト packets を用いることが、パケット配信率の低下に繋がっている可能性が疑われたが、MAC層に改良を施し、パケット配信率の向上とオーバーヘッド低減を計ることで、最終的なシミュレーションの結果では、パケットの高い配信率とトラフィック収容量が数倍に増えることが確認された。

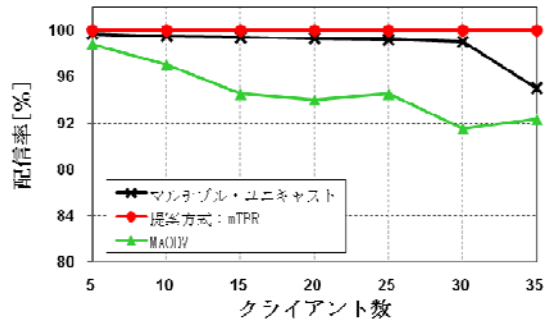


図2 配信率の比較

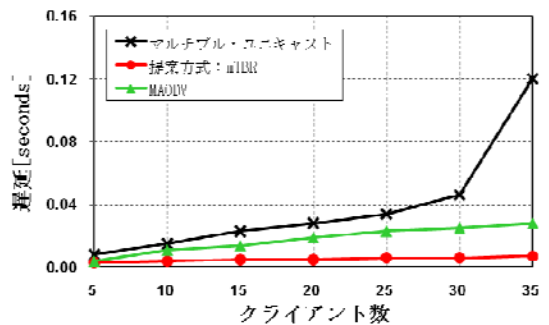


図3 遅延の比較

平成21年度は主に、無線メッシュネットワークとセンサーネットワークから構成される無線ヘテロジニアスネットワークにおいて、異種ネットワークのノードが混在するノード間のリンクをたどってパケットをマルチホップさせることにより、1対多のマルチキャスト通信を行うためのプロトコルを実装したテストベッドを構築し、動作実験による性能評価を行った。

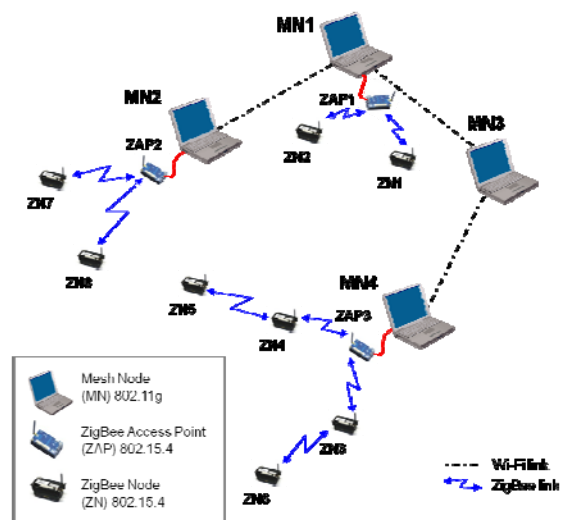


図4 実験評価シナリオ

前年度までに考案した無線ヘテロジニアス環境向けの非対称マルチキャストプロトコルを実装環境で評価するために、前年度に

開発を進めたテストベッドの構成を改良した。次に述べる実験では図4で示されるシナリオを実行した。まず、無線メッシュルータの機能を4台のノードPC上に再現してそれぞれにZigBeeシンクノードを各1台計4基インタフェースとして取り付け、また別に8基のZigBeeセンサーノードを用意した。そして無線メッシュネットワークとセンサーネットワークの融合したネットワークの性能評価実験を行うにあたり、従来方式として、ゲートウェイノードだけがマルチキャストグループを把握しているモデルの動作実装と、マルチキャストグループ情報がネットワーク内のノード間で共有される提案するmTBR方式の動作実装を行った。遅延の測定に代えて、無線メッシュゲートウェイノードからZigBeeノードまでの下りをマルチキャスト、そのマルチキャストメッセージへの返信を上りのユニキャストで行わせてラウンドトリップタイム(RTT)を測定した。

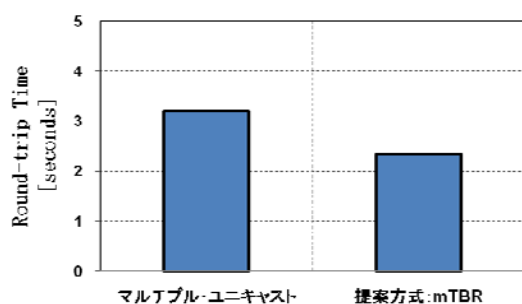


図5 ラウンドトリップタイムの比較

実験評価を実施した結果のグラフを図5に示す。このグラフから分かるように、ラウンドトリップについては、提案方式は従来方式と比較して約30%平均所要時間を小さくすることが確認された。これは動作実験のトポロジーにおけるホップ数の削減率に近い値であり、より大きなトポロジーが想定されるネットワークにおいては提案方式で削減されるホップ数の比率が大きくなるため、平均のラウンドトリップに要する時間の短縮率は相対的に大きくなると見込まれる。

本研究においては、今後の発展が見込まれる無線ヘテロジニアスネットワークにおいて有効なマルチキャストを実現するための新しい方式の提案を行い、小規模なテストベッドを構築してその実効性を確認した。想定する無線ヘテロジニアスネットワークは比較的規模の大きいセンサー・アクチュエータ・ネットワークであり、本研究で獲得した技術の導入による一層の効果が期待される。今後はトラフィックの実験だけでなく、具体的なサービスアプリケーションを動作させる、より大規模なセンサーおよびアクチュエ

ータから構成される無線ヘテロジニアスネットワークの研究を本研究での成果を織り交ぜながら進める予定である。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① Azman Osman Lim, Xudong Wang, Youiti Kado, and Bing Zhang, "A hybrid centralized routing protocol for 802.11s WMNs," Special Issue on SI Advanced Wireless Mesh Networks, Mobile Networks and Applications (MONET), Springer Netherlands. vol.13, no.1-2, pp.117-131, April 2008, 査読有
- ② Xudong Wang and Azman Osman Lim, "IEEE 802.11s wireless mesh networks: Framework and challenges," Ad Hoc Networks, Elsevier. vol.6, no.6, pp.970-984, August 2008, 査読有

[学会発表] (計2件)

- ① 門洋一, 張兵, リム アズマン オスマン, ツリー型無線メッシュネットワークにおけるマルチキャスト経路制御プロトコルの提案と評価, 電子情報通信学会アドホックネットワーク研究会, vol.108, no.151, pp.79-84, 2008.7.25, 函館
- ② 門洋一, 服部聖彦, リム アズマン オスマン, 張兵, 無線メッシュネットワークにおけるツリーベース経路制御プロトコルを活用したマルチキャスト, 電子情報通信学会アドホックネットワーク研究会, vol.107, no.516, pp.79-84, 2008.3.5, 横須賀

[産業財産権]

○出願状況 (計2件)

- ① 名称: 無線ネットワークおよびそれにおけるマルチキャスト方法  
発明者: 門洋一, 張兵, リム アズマン・オスマン  
権利者: 独立行政法人情報通信研究機構  
種類: 公開特許  
番号: 特許公開 2010-028293  
出願年月日: 平成20年7月16日  
国内外の別: 国内

- ② 名称: 無線ネットワークおよびそれにおける無線通信方法  
発明者: 張兵, 門洋一, 服部聖彦, リム ア

ズマン・オスマン

権利者：独立行政法人情報通信研究機構

種類：公開特許

番号：特許公開 2009-206650

出願年月日：平成 20 年 2 月 26 日

国内外の別：国内

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

LIM AZMAN・OSMAN (リム アズマン・オスマン)

北陸先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：90435793

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：