

# 博士論文審査報告書

## 論文題目

### **Study of Medium Access Control (MAC) Layer Energy Efficient Protocol for Wireless Ad-Hoc and Sensor Networks**

省電力無線アドホックセンサネットワークの  
MAC レイヤプロトコルに関する研究

申請者

モハマッド	アリフザマン
Mohammad	ARIFUZZAMAN

国際情報通信学専攻  
ワイヤレスシステム研究 II

2015年 6月

無線センサネットワークは健康機器、医療機器、家電機器、工場での製造機器や防災のためのモニタリング装置などの多くの応用が期待されている。無線センサネットワークはランダムに設置された多くの小さな無線センサノードで構成される。このために、無線センサノードの長寿命化は重要な研究課題となる。本論文では、無線センサネットワークのMAC (Medium Access Control) Layerに注目し、高効率伝送、低遅延伝送を実現しながら省電力を図る無線センサネットワークのプロトコル方式に関する研究成果について述べている。

本論文は2つの省電力無線センサネットワークプロトコルについて提案している。一つは、IH-MAC (Intelligent Hybrid MAC)であり、ネットワークの広範囲に変化するトラヒックに対応できる制御方法を提案している。すなわち、高トラヒック条件下では省電力化よりもチャネル利用効率の維持を優先し、低トラヒック条件下では省電力制御を優先する方法について述べている。具体的にはチャネルのスケジューリング方法としてブロードキャスト接続とリンク接続の2つのモードを有し、トラヒックの状況に応じてスケジューリングをダイナミックに可変する方式であり Request-To-Send (RTS), Clear-To-Send (CTS)を用いることで省電力化を目的とした送信電力制御が可能である。二つ目の提案として、EP-MAC (Efficient MAC with Parallel Transmission MAC)について明らかにしている。EP-MACはTDMA (Time Division Multiple Access)方式を基本として、ノード間の同期を維持しながら並列伝送する方法であり、各ノードから送信されるパケットが同期していることで、Activeパケットと Sleepパケットを制御し、無線センサネットワーク全体の消費電力を削減することが可能である。

本論文は英語で執筆されている。以下、各章ごとに概要を述べ評価を加える。

第1章では、「Introduction」として、無線センサノードは多くの応用システムに適用できることを述べている。無線センサネットワークを実用化する上で、主要な課題は無線センサネットワークの省電力化であることを示している。従来の無線センサネットワーク構成は、TDMAモードと放送モードによる方式を有することを述べている。いずれの方法も遅延時間と伝送効率がトレードオフの関係となり、実用化において不十分であることを述べている。このために、省電力制御機能を有するMACレイヤプロトコル方式が必要であることについて述べている。

第2章では、「Wireless Sensor Network and Applications」として、無線センサネットワークの応用として防災、環境、健康、省電力ビルディングモニタリングシステムなど多くの応用があることを紹介している。

第3章では、「MAC protocols」として、無線センサネットワークの多くの研究がMACレイヤの構成について行われてきているが、無線センサの省電力化に注目した研究が少ないことを述べている。従来の無線MACプロトコルとしてCSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance)が採用され各センサから送信されるパケットの衝突防止制御が行われてきたが、CSMA/CAはノード間の送受信タイミングがずれることから省電力化制御には十分ではないことを述べている。

第4章では、「Related Works」と題して、無線センサネットワークの主要性能として伝送効率、伝送遅延時間以外にセンサのランダム配置によるスケラビリティの解決が重要であることを述べている。その中で、パケットの衝突回避、オーバヒアリング、プロトコルオーバヘッド、アイドルヒアリングと省電力化との関係について明らかにしている。特に、省電力化方式としてアイドル時間の短縮化を目的としてLow duty cycle プロトコルと無線センサのWake-up制御方法との関係について述べている。さらに、従来無線センサネットワークの省電力化を目的として研究された具体的なMACプロトコルである同期送信方式のS-MAC(Sensor MAC)、Q-MAC(Quality of Service MAC)とIH-MAC、EP-MACとの関係について述べている。

第5章では、「Proposed Intelligent Hybrid MAC(IH-MAC) Protocol for WSNs」と題して、IH-MACについて詳細に述べている。IH-MACはCSMAとTDMAによる制御方法を採用すると共に、broadcast schedulingとlink schedulingを用いてトラヒックの条件に応じて適応的に可変することで省電力化を図る方法と、優先制御送信方式を用いることでタイムアウト制御送信方式を用いたT-MAC(Time out MAC)に比べて優れた伝送効率を得る方法を述べている。また、送信電力を最小化するために、RTS, CTSを用いて、送信電力を適切に制御することで送信電力の省電力化を制御する方法について述べている。合わせてノード間のパケットの並列通信を行い遅延時間の短縮化方法について述べている。本章では、無線センサネットワークの電力消費解析モデルを示し、従来提案されてきたS-MAC, T-MACと省電力、伝送効率、遅延特性について比較しIH-MACが総合的に優れていることを述べている。

すなわち、本章ではトラヒック条件は利用状況に応じて適応的に無線センサネットワークの動作を切り替えるIH-MACを提案し、優れた特性を有することを明らかにしたことは高く評価できる。

第6章では「Proposed Energy Efficient MAC with Parallel Transmission (EP-MAC)

protocol for WSN] と題して、無線センサネットワークで省電力高効率伝送することを可能とする通信方式について述べている。EP-MACはTDMA方式を基本として、スケラビリティの課題を解決する方法について述べている。また、同一クラスタ内の送信パケット信号同期伝送方式について述べている。送信パケットの無い場合はsleepモードとすることで全体の電力制御を行っている。さらに、EP-MACではパケット毎に送信電力制御を行うことで一層省電力化が可能となることについて述べている。従来のS-MAC、T-MACと比較して、EP-MACがエネルギー効率、伝送効率、パケット遅延特性の観点から総合的特性として優れていることを示している。

すなわち、本章では各ノードからのパケット送信を同期させて送信パケット毎に制御することで、無線センサネットワーク全体の省電力化を可能としたEP-MACを提案し、優れた省電力特性を有する無線センサネットワークを実現できることを明らかにしたことは高く評価できる。

第7章では「Conclusions and Scope of future works」と題して、省電力無線センサネットワークのMAC制御方式としてIH-MACとEP-MACを提案したことについて述べている。提案方法により、MAC制御による無線センサネットワークの省電力化が可能となったことを明らかにしている。

以上要するに、本論文は、無線センサネットワークにおいて、伝送効率とパケット遅延時間を保証しながら省電力化制御を可能とするMAC制御方式を明らかにしている。

この研究の成果は、健康機器、医療機器、家電機器、製造機器、防災モニタリング装置などへ適用する省電力化を目的とした無線センサネットワークを実現するために必須なMAC制御方式の提案である。従って、国際情報通信学の発展に寄与するところ極めて大であり、本論文は博士（国際情報通信学）の学位を授与するに値するものと認める。

2015年6月4日

審査員

主任 早稲田大学教授 工学博士（新潟大学）  
（専門分野：無線通信工学）

佐藤 拓朗

早稲田大学教授 工学博士（東北大学）  
（専門分野：無線通信工学）

嶋本 薫

早稲田大学名誉教授 博士（工学）（早稲田大学）  
（専門分野：無線通信工学）

松本 充司

新潟大学名誉教授 工学博士（早稲田大学）  
（専門分野：情報通信工学）

間瀬 憲一