

博士論文の要旨及び審査結果の要旨

氏名	NABIL SABOR NAFAEA KOLTA
学位	博士（工学）
学位記番号	新大博（工）第50号
学位授与の日付	平成29年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
博士論文名	Optimized-Based Routing Protocols for Improving the Performance of Wireless Sensor Networks (無線センサネットワークの性能改善のための最適化ルーティングプロトコルの研究)
論文審査委員	主査 教授・佐々木 重信 副査 教授・菊池 久和 副査 准教授・村松 正吾 副査 准教授・西森 健太郎 副査 准教授・金 ミンソク 副査 Professor・Mohammed Abo-Zahhad Abo-Zeid (エジプトー日本科学技術大学(E-JUST))

博士論文の要旨

無線センサネットワーク (WSN) は、監視、医療面、環境調査などの分野における新たな情報収集技術として、近年多くの研究開発が行われている。WSN は多くのセンサノードと呼ばれる小型の無線通信機能を有するデバイスで構成される。センサノードの電源容量は限られているため、エネルギー効率は WSN の寿命に大きく影響する。これまで WSN において多くのルーティングプロトコルが開発されているが、本研究ではエネルギー効率およびスケーラビリティに関して優れている階層型ルーティングプロトコルに着目した。階層型ルーティングでは、ネットワークをクラスタに分割する。各クラスタはデータを集約すると共にそれを基地局に送信するヘッドノード (CH) とセンシングしたデータを CH に転送するメンバノードとで構成されるが、WSN の寿命と性能を向上させる最良のヘッドノードの選択は NP 困難な問題である。

本論文ではこの問題に対して、免疫アルゴリズム (Immune Algorithm) という最適化アルゴリズムの導入によりセンサノードの消費エネルギーのバランスをとり、WSN の寿命と性能の向上を狙った新しい階層型ルーティングプロトコルを開発し、その効果を示したものである。

第2章では、これまでの WSN における階層型ルーティングプロトコルに関して、詳細な文献レビューを行っている。これまでに発表された論文をルーティング方式、応用や制御方式などの観点から分類したうえで、エネルギー効率やスケーラビリティなどの観点から各プロトコルの特徴の比較を示した。

第3章では前章のレビューをもとに、単一ホップルーティングによる WSN の寿命の向上を狙いとして、免疫アルゴリズムに基づく高エネルギー効率階層型ルーティングプロトコル (IEERP) を提案した。IEERP は、多目的免疫アルゴリズム (MOIA) の導入によりネットワークを最適クラスタに分割し、センサノード間の消費エネルギーのバランスとデータ通信コストの最小化を基準に最良のヘッドノードを見つけるアルゴリズムである。

シミュレーションにより IEERP プロトコルが、WSN の安定期間、ネットワーク寿命およびエネルギー消費バランスについて他のプロトコルより優れていることを明らかにした。

第4章ではセンサノード間のエネルギー消費を平衡化させる不均一マルチホップ平衡免疫クラスタリング (UMBIC) プロトコルを提案した。IEERP プロトコルではヘッドノードがデータを単一ホップルーティングで基地局 (BS) に配信するが、センサノードの送信範囲が限られているため、BS から遠いヘッドノードのエネルギー消費が大きくなる。UMBIC は、不均一クラスタリングメカニズムと MOIA アルゴリズムを利用して、ネットワークを最適な不等クラスタに分割することで密度の異なる WSN の寿命を改善する。また CH が動作不能になった場合に備え、副 CH を各クラスタに割り当てる。さらに以前のラウンドの任意の CH の残余エネルギーが閾値よりも小さい場合に再度クラスタ化を行うことで、余分な制御パケット通信を削減する。シミュレーションにより、UMBIC プロトコルが同種および異種 WSN のネットワーク持続期間およびエネルギー消費に関して他のプロトコルより優れていることを示した。

第5章では、現実の応用で想定される移動ノードをサポートするために UMBIC プロトコルに改良を加えた Adjustable Range ベースのマルチホップ免疫クラスタリング (ARBIC) プロトコルを開発した。ここでは MOIA アルゴリズムと RTR (Redundant Transmission Range) スキームを導入し、MOIA アルゴリズムを用いて最適な安定クラスタを構築する際の属性として、モビリティファクタ、残存エネルギー、接続性、リンク接続時間、エネルギー消費を利用する。ARBIC プロトコルは、メンバノードの速度に基づいて RTR スキームを使用して CH の送信範囲を変更することにより、ネットワーク接続性の向上をねらった。シミュレーションにより他のプロトコルと比較して、ARBIC プロトコルが効果的にパケット配信率を向上させると同時に、送信範囲の調整可能なセンサを使用することにより、より低いエネルギー消費と遅延を提供できることを示した。

第6章では提案法を含む各種の階層型ルーティングプロトコルの動作を可視化し、比較するためのグラフィカルベースの教育シミュレーションツール (Gbest-WSN) を開発した。Gbest-WSN は Matlab 環境に基づいて構築されており、ルーティングとクラスタリングプロセス中にネットワークに生じている現象について 2D または 3D 表示が可能である。またさまざまなシミュレーション方法や異なるネットワーク構成のシミュレーション結果を比較する機能を持っており、結果を Excel または MAT ファイルなどに出力可能である。

第7章で、本研究のまとめと今後の研究課題について述べている。

## 審査結果の要旨

本研究は、無線センサネットワークにおける階層型ルーティングプロトコルについて、エネルギー効率と通信品質などの性能を両立させるためのクラスタ化プロトコルの設計に、免疫系アルゴリズムを導入するという新しいアプローチを試みている。本論文ではシングルホップネットワーク、マルチホップネットワーク、移動する端末を含むネットワークに対応した新しいプロトコルを開発し、その効果を示している。合わせて、これらのプロトコルと、既存の代表的なプロトコルの動作と性能評価を可視化するシミュレーションツールを開発しており、学術的価値・実用的価値とも高いものである。これらの成果は、4本の学術論文(全て筆頭著者)にまとめられており、十分な学術的成果を上げている。

よって、本論文は博士(工学)の博士論文として十分であると認定した。