

氏 名 末永 俊一郎

学位（専攻分野） 博士（情報学）

学位記番号 総研大甲第 1243 号

学位授与の日付 平成 21 年 3 月 24 日

学位授与の要件 複合科学研究科 情報学専攻
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 無線センサーネットワークにおけるプログラムの動的配備

論文審査委員 主 査 准教授 吉岡 信和
教授 山田 茂樹
教授 米田 友洋
准教授 計 宇生
教授 本位田 真一（国立情報学研究所）
教授 大須賀 昭彦（電気通信大学）

無線センサネットワーク (Wireless Sensor Networks : WSN) は、センサデータを取得できる多数のノードが無線によって接続されるネットワークである。WSNは、ノードを物理的に敷設するだけでセンサデータの取得を可能にすることから、有線ネットワークを敷設することが困難であった場所における適用が期待されている。従来、WSNは特定のアプリケーションのために敷設し、そのアプリケーションだけのために運用されるのが一般的であった。WSNの実用化が進む将来においては、費用対効果の観点から、WSNが予め敷設された環境下で、複数のアプリケーションを運用する形態が現実的となる。

WSNのアプリケーションは、アプリケーションを実現できるプログラムを、WSNを構成するノードに配備することによって実現される。敷設されたWSNで複数のアプリケーションを運用する場合、アプリケーションを追加する際にはプログラムをWSNに追加すること、アプリケーションを削除する際にはプログラムをWSNから削除すること、アプリケーションの動作を変更する場合には配備されたプログラムを変更する必要がある。こうした運用形態においては、アプリケーションを構成するプログラムを動的にノードに配備する手法が有効であると既存研究によって示されている。

本研究では、WSN内部でアプリケーション固有の計測を行い、WSN内部でアプリケーション固有の処理を行うアプリケーションを複数構成することを想定する。これらのアプリケーションは空間的な計測を必要とするため複数のプログラムで構成される。本論文では、こうしたアプリケーションをLCA (Locally Centralized Applications) と定義する。既存研究は、LCAを構成する際に以下の2つの課題を抱える。

(課題1) LCA のようにWSN 内部で複数のプログラムが連携するアプリケーションを構築する際に、プログラマにアドホックな実装を強制し、その結果、LCAの継続的な構成を困難にする課題がある。WSN内部でアプリケーション固有の処理を実施するLCAを継続的に構成するために適したアーキテクチャが必要となる。

(課題2) LCAが稼働場所を変更する場合、既存研究では複数のプログラム間で通信を実施し、移動の同期を行う必要がある。WSNではノード間の通信の際にパケットロスがあることが良く知られている。複数のプログラムが移動を行う際に通信に高く依存をした手法をとると、一部のプログラムが移動を開始できない可能性、移動に失敗する可能性が生じる。この結果、アプリケーションは、新たな稼働場所におきプログラム数の不足により処理を継続できない課題がある。

本研究ではこれらの課題を解決し、WSNの実利用を促進するために、LCAの継続実行を目標とし、以下2つの提案を行う。

(提案1) アプリケーション (LCA) を構成する際のアーキテクチャの提案

Master, Slave-S, Slave-M の3つのコンポーネント化されたプログラムから構成されるアーキテクチャを用いてLCAを構成する。

(提案2) 複数プログラムの動的配備手法の提案

一つのプログラム (Master) が他のプログラム (Slave-M, Slave-S) を生成し、複数プログラムを動的に配備する手法を提案する。

本研究ではこれら提案に対する評価をシミュレーション環境を用いて実施した。提案するアーキテクチャによって既存手法よりLCAの継続的な構成を行う際の信頼性を、約15%~50%向上した。また、提案する動的配備手法によって、動的配備の成功率を約20%~40%向上した。以上の結果から、提案手法は、複数のプログラムで構成されるアプリケーション (LCA) を既存のWSN内で複数運用する際の有効な手段の一つとなることがわかった。

論文の審査結果の要旨

本論文は、無線センサネットワーク (WSN: Wireless Sensor Networks) 上で、信頼性の高い複数のアプリケーションを効率よく開発・運用するためのアーキテクチャ、および そのミドルウェアの提案である。WSNは、温度や湿度などのセンサデータを取得できる多数のノードが無線によって接続されるネットワークである。そして、WSNは、ノードを物理的に敷設するだけでセンサデータの取得を可能にすることから、有線ネットワークを敷設することが困難であった場所における適用が期待されている。しかしながら、各ノードは、OSやアプリケーションを搭載することが可能であるが、そのバッテリーやメモリ領域などのリソースやネットワークの信頼性が極めて低く、アプリケーションを切り替えて効率よくセンサデータを活用することは用意ではない。そこで、本論文では、この課題を解決するために複数の種類のコンポーネントが、動的にWSN上に配備されるアーキテクチャ、および、ミドルウェアを提案している。

第1章では、本系の背景としてWSNのアーキテクチャの紹介と、それを利用したアプリケーションの構築のためのOS、および、ミドルウェアの紹介をしている。そして、本研究の必要性と目的を述べている。

第2章では、WSNに関する研究動向を、言語、OS、ミドルウェア、ハードウェア、ネットワークという分野について網羅的に行っている。そして、本研究の対象であるミドルウェアについて詳しく解説している。具体的には、コンポーネントの静的配置と動的配置の違いについて説明した後、最新の動的配置の研究について紹介し、研究に関する背景・動向の必要十分な解説となっている。

第3章は、まず、本研究で仮定しているアプリケーションの特徴について規定した後、2章で紹介した従来の研究でこのアプリケーションを構築する場合の課題を詳しく述べている。具体的には、アプリケーションの構築容易性、および、信頼性に関して問題が生じることを示している。そして、その課題を解決するためにミドルウェアとしてどのような機能を提供すべきかの要求を整理している。

第4章では、提案手法を説明している。具体的には、本手法では、アプリケーションの構築を容易にするために、3種類のコンポーネントで組み合わせるアプリケーションを構築する新しいアーキテクチャを提案している。さらに、これらのコンポーネントの実行に関して信頼性を確保しつつ動的に配備するためのアルゴリズムを提案している。さらに、これらを実現するミドルウェアの実現について詳細に述べている。

第5章では、提案手法を客観的に評価している。具体的には、従来の手法と提案手法について、コード量、通信量などがどれくらい変わるのかを数式を使って比較し、信頼性が高まることを客観的に示している。さらに、簡単なプログラムを使って、想定環境でどれくらいの信頼性の向上が見られるかについて、シミュレータを使って実験的に示している。加えて、ネットワークの信頼性をパラメータとし、そのパラメータが変化した場合に、従来と比べてどれくらい提案手法が有効かを示し、想定範囲内ではおおむね有効であることを確認している。

出願者は、以上の研究成果を、査読論文1件、査読付き国際会議4本などにまとめている。

本論文の提案内容は、新規性・有効性・信頼性において十分であると判断でき、学術的にも社会的にも価値があり、博士の学位論文として十分であるものと認められる。