

論文内容の要旨

博士論文題目

A Study on Maximizing k -coverage Lifetime of Wireless Sensor Network

無線センサネットワークの k 重被覆維持時間最長化に関する研究

氏名 勝間 亮

(論文内容の要旨)

無線センサネットワーク (WSN) では、センシング対象領域をセンサのセンシング範囲により十分に被覆することと、長時間稼働が求められる。被覆に関して、センシング精度を高めるため、 k 重被覆 (監査対象領域上の各地点を k 個センサで被覆) がしばしば求められる。既存研究では k 重被覆や稼働時間延長を扱ったものがあるが、対象領域の k 重被覆が維持される期間 (k 重被覆維持時間) を最大化する手法は無い。本研究では、3つの異なるアプローチで、WSN の k 重被覆維持時間の最大化を目指す。

最初のアプローチでは、まず、可動ノードと静止ノードで構成される WSN の k 重被覆維持時間を最大化する。この問題では可動ノードの移動スケジュールとデータ収集経路切替スケジュールを求める。本問題は NP 困難であり、準最適解を実用時間で求めるため、遺伝アルゴリズムを用いた近似アルゴリズムを考案した。シンクに近いセンサノードは、より遠方のノードのデータを中継するため通信量 (通信回数) が多くなる。そのため、長距離パスを持つノードの通信量を減らすデータ収集木を構築することで、各ノードの電力消費量を均一化する。シミュレーションの結果、100 から 300 ノードの WSN において、既存手法に対して、本手法は 140% から 190% の k 重被覆維持時間が達成できることを確認した。

2 番目のアプローチとして、 k 重被覆するのに十分な数の静止ノードで構成される WSN の k 重被覆維持時間を最大化する問題を扱う。本問題では各時刻のノードの動作モード (スリープやセンシング等) およびデータ収集経路を決定する。この問題に対し、必要最小限のノードを稼働させて残りをスリープさせることで、WSN の k 重被覆維持時間を最大化する手法 (Single tree method) を考案した。本手法では、 k 重被覆を最小個数のセンシングノードで保つため、 k 重被覆への貢献度が高いノードを優先的に選択してセンシングさせ、センシングしないノードの一部には通信の中継をさせる。シミュレーションの結果、100 から 500 ノードの WSN において、本手法は、従来手法と比較して 1.1 から 1.7 倍の k 重被覆維持時間を達成できることを確認した。

最後のアプローチとして、前述のノードの動作モード決定問題に対して、ノードの故障への耐性を持つ k 重被覆維持時間の最大化手法を考案した。WSN ではノードの故障により、フィールドの被覆度合が減少することがある。本手法ではこの問題に対し、フィールドを 1 重被覆するノードの集合 (レイヤ) を複数求め、各レイヤにおいて独立にデータ収集木を構築し、 k 個の稼働レイヤを選択する。ノードの故障が起きたとき、稼働レイヤを適切に変更することで k 重被覆を保つ。本手法と Single tree method との比較シミュレーションの結果、1 ノード故障発生時において、本手法は常に $k-1$ 重以上の被覆を保つ一方、 k 重被覆維持時間は Single tree method の 5% 減にとどまることを確認した。

(論文審査結果の要旨)

本論文は、無線センサネットワークにおいて、センシング対象領域の k 重被覆維持時間を最大化するための手法を 3 種の異なるアプローチから提案している。

1. 可動ノードと静止ノードで構成される WSN の k 重被覆維持時間を最大化する問題を定式化し、その問題を解くための手法を提案している。対象問題は NP 困難であり、準最適解を実用時間で求めるため、遺伝アルゴリズムを用いた近似アルゴリズムを提案している。提案手法では、バッテリー消費量のバランスをとるため、長距離パスを持つノードの通信量を減らすデータ収集木を構築している。また、対象領域の k 重被覆を素早く高精度で判定するための十分条件を提案し、計算の高速化を図っている。実験により、提案手法は、既存手法よりも高精度で k 重被覆を判定でき、また、WSN の k 重被覆維持時間を延長できることが示されている。

2. k 重被覆するのに十分な数の静止ノードから構成される WSN の k 重被覆維持時間を最大化する問題に対し、必要最小限のノードを稼働させて残りをスリープさせる手法を提案している。提案手法では、いずれかのノードのバッテリーが枯渇する時刻を予測し、その時刻に各ノードのスリープ・アクティブの再決定を行うことでスリープスケジューリングを行っている。また、 k 重被覆を最小個数のセンシングノードで保つため、 k 重被覆への貢献度が高いノードを優先的に選択してセンシングさせている。実験により、提案手法の各部位は k 重被覆維持時間延長に対して有効であることが示されている。

3. ノードの故障への耐性を持つスリープスケジューリングを提案している。提案手法では、ノードの故障によるフィールドの被覆度合の減少を軽減するため、複数のデータ収集木を構築している。フィールドを 1 重被覆するノードの集合 (レイヤ) を複数求め、各レイヤにおいて独立にデータ収集木を構築し、 k 個のレイヤを稼働させることで対象領域を k 重被覆している。ノードの故障が起きたときは、稼働レイヤを適切に変更することで k 重被覆を維持していく。前述のスリープスケジューリング手法との比較実験より、1 ノード故障発生時において、本手法は常に $k-1$ 重以上の被覆を保つ一方、 k 重被覆維持時間は 5% 減にとどまることを確認した。

これら本論文で提案されている手法は、実用性をもち、かつ問題設定および解法は新規性を有するものであり、数理モデル化と問題解決の分野の発展に貢献するものである。

よって、本論文は、博士 (工学) 学位論文としての価値があるものと認める。