

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20500070

研究課題名(和文) センサネットワークにおける通信制御と情報統合に関する研究

研究課題名(英文) Communication control and information integration for sensor networks

研究代表者

重井 徳貴 (SHIGEI NORITAKA)

鹿児島大学・理工学研究科(工学系)・准教授

研究者番号：90294363

研究成果の概要(和文)：

本研究では、センサネットワークにおける通信コスト低減により、センサノードの稼働時間を改善するとともに観測領域全体の均一な観測を可能とした。また、送信機の増幅器の省電力化に貢献する OFDM 信号のピーク電力抑圧法において、GA を用いた効果的な手法を実現した。さらに、情報統合の技術として、汎化能力に優れ、高速な処理が可能なベクトル量子化アルゴリズムを提案した。

研究成果の概要(英文)：

Firstly, this study improved the operating time of sensor nodes by reducing the communication cost and also improved the coverage time of the whole observation area. Secondary, as a contribution to the power saving of transmitter amplifier, this study proposed GA based peak power reduction methods for OFDM signal. Further, as effective information integration techniques, this study proposed vector quantization algorithms based on ensemble learning that have good generalization ability and good time efficiency.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度			
2007年度			
2008年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・計算機システム・ネットワーク

キーワード：無線センサネットワーク、低消費電力通信プロトコル、クラスタリング、適応的ルーティング、OFDM

1. 研究開始当初の背景

ユビキタスネットワーク社会の実現において、センサネットワークは重要な基盤技術の一つである。センサネットワークは、無線通信機能を持つセンサノードから構成され、

全ノードがルータとして機能し、ノード間の通信はマルチホップで行われる。センサノードは1～数年の長期間、メンテナンスフリーでの動作が要求されることから、消費電力で支配的な通信をいかに効率的に行うかと

いうことが重要となっている。また、センサネットワークは大量のデータを収集することが可能なため、情報統合のための効果的な技術の確立も重要である。

省電力通信のための基盤技術として、ネットワーク構成法、フロー制御などに関する技術がある。ネットワーク構成技術に関しては、大規模ネットワークでは、一般に、全ノードが同等であり位置情報がわからないため、センサ同士が協調して自律的にネットワークを構成できることが求められる。フロー制御技術に関しては、その主な役割は通信における信頼性と輻輳を制御することであるが、省電力通信のためには消費電力も考慮した適応的な手法の実現が望まれる。

情報統合は、通信の省電力化に加え収集したデータを有効活用することが目的である。通信の省電力化に関しては、**direct diffusion** や **data-centric approach** などのようにデータの転送中に情報統合を行うことで、送信データ量が削減できる。また、情報統合にモバイルエージェントを用いることも考えられているが、情報統合の質は、エージェントが訪問する順番に依存し、その経路を求めることは NP 完全問題であることが知られている。また、データマイニングなどに用いることができる有用な手法としてベクトル量子化がある。この手法では、高い汎化能力と高速な学習アルゴリズムの実現が望まれている。

2. 研究の目的

前述のように、ユビキタスネットワーク社会実現の基盤技術であるセンサネットワークにおいては、省電力を実現する無線通信技術、および多量のセンサデータを有効に利用するための情報統合技術が必要とされている。このことに鑑み、本研究では、以下を具体的な目的として、研究を遂行した。

- (1) 電力効率に優れる通信プロトコルの開発として、「クラスタリングを用いた通信プロトコル」において、従来法よりも優れた手法を実現する。
- (2) ネットワークの稼働時間の改善に効果がある複数のシンクノードを配置したネットワークモデルにおいて、従来法よりも優れたマルチホップ通信のためのルーティングプロトコルを実現する。
- (3) 送信機の増幅器の省電力化に貢献する OFDM 信号のピーク電力抑圧法において従来法よりも優れる手法を実現する。
- (4) 効果的な情報統合の技術として、汎化能力に優れ、高速な処理が可能なベクトル量子化アルゴリズムを実現する。

3. 研究の方法

前述の(1)～(4)のそれぞれの目的について、以下のように研究を遂行した。

(1) クラスタリングを用いた通信プロトコル

- ① 従来法(**LEACH**, **HEED**, **ANTCLUST** など)についてレビューを行い、省電力性能に影響を与える要因を明らかにする。
- ② クラスタリングにベクトル量子化を用いる手法について検討する。中央管理方式と自律的な実行を可能とする分散制御方式について検討し、分散制御方式における課題を明らかにする。
- ③ 上記の検討を踏まえ、分散制御方式における効果的な通信プロトコルを提案する。
- ④ さらに、「情報統合」の技術を導入し、更なる省電力化について検討する。

(2) 複数シンクを有するネットワークモデル

- ① 従来法(**AAR**, **PORP** など)についてレビューを行い、ネットワーク稼働時間の障壁となるボトルネックノードの発生要因について検討する。
- ② 上記の検討を踏まえ、強化学習などのソフトコンピューティングの手法を導入し、経路テーブル構築と経路選択のための効果的なアルゴリズムを提案する。

(3) OFDM 信号のピーク電力抑圧

- ① ピーク電力のための技術である **Tone Injection** に関する従来法(**SLM**, **ニューラルネットワーク** など)についてレビューを行い、抑圧性能と計算時間の観点から問題点について検討する。
- ② NP 完全問題である **Tone Injection** によるピーク電力抑圧法に遺伝的アルゴリズムを導入し、効果的な手法を実現する。

(4) ベクトル量子化アルゴリズム

- ① 主として識別器などの学習に用いられてきたアンサンブル学習についてレビューを行う。
- ② アンサンブル学習のアルゴリズムをベクトル量子化の学習に導入することを検討し、データ圧縮やクラスタリングなどにおいて効果的な手法を実現する。

4. 研究成果

前述の(1)～(4)のそれぞれの目的に関する研究成果は次の通りである。

(1) クラスタリングを用いた通信プロトコル

- ① クラスタリングを用いたセンサデータ収集機構において、中央管理型と自律分散型の二つの手法を提案した。クラスタリングを用いたデータ収集では、ネットワークを構成するセンサノードが複数のクラスタに分割され、各クラ

スタからはクラスタ内のデータを集約した代表ノードのみが基地局へのデータ送信を行うことで低消費電力を実現する。この場合、クラスタリングに電池残量と消費電力を反映させることと通信オーバーヘッドが大きくないことが重要であった。中央管理型の提案法では、データを集約する基地局においてクラスタリングを行い、電池残量とノードの配置を考慮するように拡張された適応的ベクトル量子化法を新たに提案した。自律分散型としては、通信オーバーヘッドを小さく保ったまま、電池残量とノード密度を考慮する手法を提案した。従来法の LEACH, HEED, ANTCLUST と比べ、提案法はいずれも稼働時間の改善に効果があり、特に、中央管理型と自律分散型はそれぞれノード密度が高い時と低い時に効果的であることを数値実験により示した。図 1 にノード密度が低い場合の結果を示す。これらの成果については、論文(6)および図書(1)で発表した。

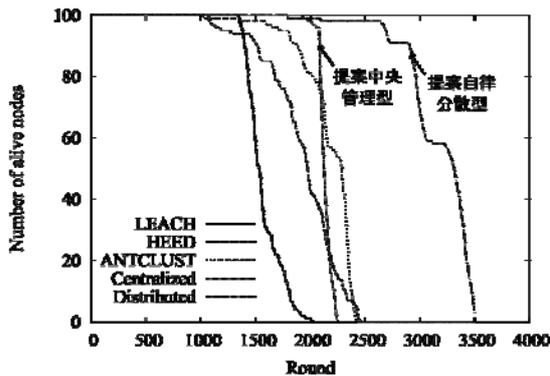


図 1. ノード密度が低い場合のラウンド数に対する稼働ノード数の変化

- ② 上記の①の自律分散型の手法を改善し、近傍ノード数に基づく手法を提案した。この手法では、クラスタリングに必要とされるブロードキャスト半径を近傍ノード数に基づき決定することにより、通信による消費電力を抑えながら、より均一なクラスタ形成を可能とした。これにより、データを収集するクラスタヘッドの消費電力を低く抑えることを可能とした。また同時に、ノード全ての消費電力を抑えるために、近傍ノード数を少ない通信量で把握する方法を提案した。さらに、この手法に適応的マルチホップ通信を導入し、センサノードの稼働時間の更なる改善を達成した。このマルチホップ通信を用いる手法の最大の利点は、全てのセンサノ

ードの稼働時間がほぼ等しくなることである。これにより、従来法では困難であった観測領域全体の均一な観測を可能とした。図 2 にその結果を示す。これらの成果は、論文(4)で発表した。

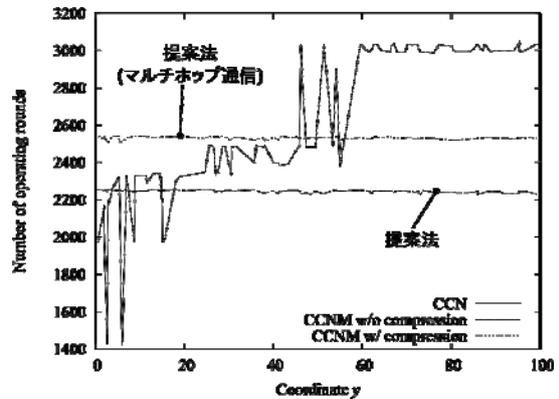


図 2. 基地局からの距離に対する各ノードの稼働ラウンド数

- ③ 上記の②の手法を改善するために、「近傍ノード数に基づく手法」に新たに“long-term sleep”という概念を導入した。これはセンサノードが多い領域において、余剰と思われるノードを自律的に休止させるという手法である。これによりネットワークの稼働時間を改善した。これらの成果は、論文(3)で発表した。
- (2) 複数シンクを有するネットワークモデル情報収集効率と負荷分散に優れる複数のシンクノードを配置したネットワークモデルにおいて、適応的ルーティングプロトコルを提案した。ルーティングテーブルの構築においてノード密度を考慮するとともに、経路選択に適応的温度調整を伴うボルツマン選択を用いることで、マルチホップ通信において通信コストを抑えながら多様な経路を実現する手法を提案した。これによりネットワーク全体の稼働時間を改善した。これらの成果は、学会発表(2)で発表した。
- (3) OFDM 信号のピーク電力抑圧
送信機の増幅器の省電力化に貢献する OFDM 信号のピーク電力抑圧法において従来法より優れる手法を実現した。提案法は、ピーク電力を抑圧する送信シンボルの組み合わせの決定に GA を用いる手法において、GA の処理を高速化するとともに抑圧性能を改善した。図 3 にピーク電力抑圧性能の評価結果を示す。これらの成果は、論文(1)と(2)で発表した。

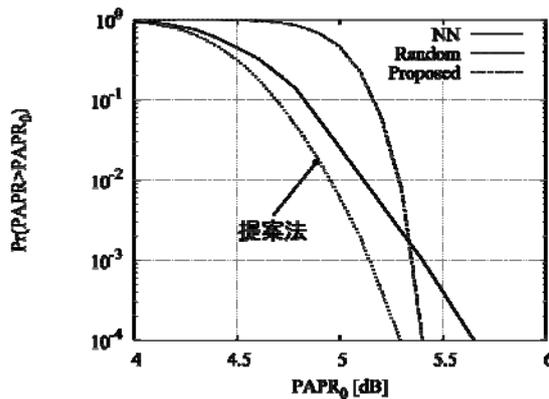


図 3. ピーク電力抑圧性能(左側に位置するほど抑圧性能は高い)

- (4) ベクトル量子化アルゴリズム
 データ圧縮やデータのクラスタリングに有用な処理であるベクトル量子化の精度の改善について検討した. 提案法として、アンサンブル学習の Boosting と AdaBoost を導入した手法を考案し、従来法より高精度なデータ圧縮とクラスタリングが可能であることを数値実験により示した. また、提案手法の有効性を、人工データと画像データを用い、数値シミュレーションにより検証した. その結果、Bagging は学習が高速であり、AdaBoost は精度の改善に効果があることを明らかにした. これらの成果は、論文(6)および学会発表(6)で発表した.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 7 件)

- (1) N. Shigei, H. Miyajima, K. Ozono, K. Araki “Acceleration of Genetic Algorithm for Peak Power Reduction of OFDM Signal,” IAENG International Journal of Computer Science, Vol.38, Issue 1, pp.32-37 (2011), 査読あり
- (2) N. Shigei, H. Miyajima, K. Ozono, “Time-Efficient Genetic Algorithm for Peak Power Reduction of OFDM Signal,” Proc. of The World Congress on Engineering and Computer Science 2010, pp. 186-191 (2010), 査読あり
- (3) N. Shigei, H. Miyajima, H. Morishita, “Energy Consumption Reduction of Clustering Communication Based on Number of Neighbors for Wireless Sensor Networks,” IAENG International Journal of Computer Science, Vol.37, Issue 3, pp. 296-303 (2010), 査読あり
- (4) N. Shigei, H. Morishita, H. Miyajima, “Energy Efficient Clustering

Communication Based on Number of Neighbors for Wireless Sensor Networks,” Proc. of IMECS 2010, Vol. II, pp. 762-767 (2010), 査読あり

- (5) N. Shigei, H. Miyajima, M. Maeda, L. Ma, “Bagging and AdaBoost algorithms for vector quantization,” Neurocomputing, Vol.73, pp. 106-114 (2009), 査読あり
- (6) N. Shigei, H. Miyajima, H. Morishita, M. Maeda, “Centralized and Distributed Clustering Methods for Energy Efficient Wireless Sensor Networks,” Proc. of IMCECS 2009, Vol. I, pp.423-427 (2009), 査読あり

[学会発表] (計 6 件)

- (1) 紫尾豪氏, 重井徳貴, 宮島廣美, “GA を用いた OFDM 信号のピーク電力抑圧法の IFFT 省略による改善,” 情報処理学会火の国情報シンポジウム 2011, 2011-3-8 (福岡市)
- (2) 勝田信, 重井徳貴, 宮島廣美, “複数のシンクを有するセンサネットワークのためのマルチホップ通信における適応的経路構築,” 日本知能情報ファジィ学会九州支部学術講演会, 2010-12-11 (北九州市)
- (3) 紫尾豪氏, 宮島廣美, 重井徳貴, “サブバンド分割を用いた OFDM 信号のピーク電力抑圧に対する GA の適用,” 電気学会電子・情報・システム部門大会, 2010-9-2 (熊本市)
- (4) 森下宏樹, 重井徳貴, 宮島廣美, “センサネットワークのための近傍ノード数に基づく省電力クラスタリング通信,” 情報処理学会 第 50 回モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究発表会, 2009-9-11 (神奈川県川崎市)
- (5) 森下宏樹, 重井徳貴, 宮島廣美, 前田道治: “センサネットワークにおけるベクトル量子化を用いたクラスタリング手法” 電気関係学会九州支部連合大会, 2008-9-25 (大分市)
- (6) N. Shigei, H. Miyajima, M. Maeda, L. Ma: “Bagging and AdaBoost Algorithms for Vector Quantization” International Symposium on Neural Networks, 2008-9-25 (中国北京), 査読あり

[図書] (計 1 件)

- (1) N. Shigei, H. Morishita, H. Miyajima, M. Maeda, Chapter 18 “Residual Energy Based Clustering For Energy Efficient Wireless Sensor Networks,” Intelligent Automation and Computer Engineering, Lecture Notes in Electrical Engineering, Vol. 52, Springer-Verlag, pp.231-242 (2010)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

重井 徳貴 (SHIGEI NORITAKA)

鹿児島大学・理工学研究科 (工学系)・准
教授

研究者番号 : 90294363

(2) 研究分担者

宮島 廣美 (MIYAJIMA HIROMI)

鹿児島大学・理工学研究科・教授

研究者番号 : 60137669