

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 16 日現在

機関番号：14101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420366

研究課題名(和文)無線センサネットワークにおけるネットワーク変動に適応可能な省電力システム制御技術

研究課題名(英文)Power saving technique adapting various network changes for wireless sensor networks

研究代表者

森 香津夫 (MORI, KAZUO)

三重大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：90324540

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：無線センサネットワーク(WSN)の省電力化技術であるDutyCycle動作(通信機能のON/OFFを繰り返す間欠動作)に関し、特に、クラスター型WSNにおけるON期間の各クラスターへの割り当て技術やON期間でのチャネルアクセス技術に関して、各種ネットワーク変動(トポロジー変動やトラフィック変動)への適応を簡便な制御方法で可能とする制御技術について研究を進めた。研究成果として、クラスター移動に対処可能なON期間割当制御法とその高度化技術であるON期間再割当制御法、および、クラスター間のトラフィック不均一に対処可能なバックオフ制御法を提案し、計算機シミュレーションによる特性評価によりその有効性を確認した。

研究成果の概要(英文)：This research investigates the duty cycle operation (ON/OFF alternative operation for communication functions), which is one of energy saving techniques, for wireless sensor networks(WSNs), especially allocation mechanism for ON periods to clusters and channel access technique in the ON period for cluster-based WSNs, which can cope with various network changes such as topology change and traffic fluctuation. The ON period allocation scheme coping with cluster mobility, the ON period reuse allocation scheme which is an enhanced version of the ON period allocation scheme, and the backoff control scheme coping with traffic non-uniformity between clusters are proposed for cluster-based WSNs with various network changes, and are evaluated by computer simulation. The evaluation results proves that the proposed schemes improve system performance and are effective for cluster-based WSNs with various network changes.

研究分野：無線通信工学

キーワード：通信方式(無線) センサネットワーク ネットワーク変動 省電力技術 チャネルアクセス技術

1. 研究開始当初の背景

研究開始当初、無線センサネットワーク (WSN) は、環境測定、工場内 FA (Factory Automation) や家庭内 HA (Home Automation) 等への応用が期待される将来性豊かな無線ネットワークであった。WSN の主な研究課題の1つが省電力動作技術の実現であり、その有力技術として DutyCycle 動作 (通信機能の ON/OFF を繰り返す間欠動作) やクラスタ化技術の研究が進められていた。

一方、WSN ではネットワークトポロジや通信トラヒックの時間的・地理的変動などのネットワーク変動の発生が想定されており、これらへの対応策が急務であった。ネットワーク変動対応として、位置情報特定機能等の高度な機能を使用することを前提に議論が進められていたが、低機能デバイスで構成される WSN への適用時にはこの前提が大きな障害となることが懸念されていた。WSN ではセンサデバイスの価格、筐体サイズ、処理能力や電力消費量の制約から高機能制御の実装は難しいためである。

そこで、高機能制御を必要としない簡易制御によりネットワーク変動への柔軟な適応が可能な制御手法の確立が課題となっていた。

2. 研究の目的

本研究では、WSN における省電力化制御技術に関して、各種ネットワーク変動に対処可能な制御方式を確立することを目的とした。クラスタ型 WSN における DutyCycle 動作技術に着眼し、特に、各クラスタへの ON 期間の割り当て技術や ON 期間でのチャネルアクセス技術に関して、クラスタ移動によるトポロジ変動やクラスタ間のトラヒック変動への適応を、簡便な制御方法で可能とする制御技術を確立することを目指した。

3. 研究の方法

本研究では、主な応用システムとして工場内 FA、医療・介護システムなどを想定して、1台のロボットや1人の人間が複数のセンサデバイスを装備し、それらがクラスタを形成してクラスタ全体で移動するクラスタ型 WSN を研究の対象とする。物理層と MAC (メディアアクセス制御) 層には、パーソナルエリアネットワーク (PAN) 向けの標準通信規格 IEEE802.15.4 を適用して、そのビーコンモードでの動作を想定する。特に、工場内 FA への応用を念頭に、クラスタ移動によるトポロジ変動とトラヒック変動のある環境下で、高伝送特性・低消費電力動作を可能とする簡易制御による DutyCycle 動作制御技術の開発を行う。

研究期間は3年間であり、研究は段階的に進める。第1段階では、[課題1]クラスタ移動に対応可能な簡易型自律分散 DutyCycle 動作制御法、第2段階では、[課題2]トラヒック適応制御との併用を可能にする

DutyCycle 動作制御の高度化手法を進める。これら考案方式の性能評価および有効性検証は、計算機シミュレーションにより実施する。

4. 研究成果

平成25年度は、[課題1]クラスタ移動に対応可能な簡易型自律分散 DutyCycle 動作制御法について研究を進めた。具体的には、クラスタ移動に起因するトポロジ変化により発生するクラスタ間におけるビーコン衝突の問題に着眼し、ビーコン衝突を可能な限り回避可能な各クラスタへの ON 期間割り当て制御法の研究を進めた。ここでは、通信機能以外の付加的機能 (例えば、GPS による位置情報取得機能など) を必要としない簡便な自律分散制御法の確立を目指し、各クラスタにおける ON 期間の使用状況を他クラスタが発するビーコンの受信状況モニタリングにより判断して、各クラスタが使用可能な (ビーコン衝突の発生確率が小さい) ON 期間を適切に選択する手法を研究した。

その後、これらの検討により得られた ON 期間選択法の特性評価を、計算機シミュレーションにより実施した。その結果、提案手法ではランダムに ON 期間を選択する方法と比較して、伝送特性および消費電力特性が向上することが明らかとなった。

本研究成果は、国際学会 VTC2013-spring (開催地: Dresden) と ICST2013 (開催地: Wellington) にて公表されている。

平成26年度は、[課題1]について、平成25年度の研究内容を発展させ、簡易型自律分散 DutyCycle 動作制御法におけるシステム特性改善手法の研究を進めた。ここでは、重複割り当て ON 期間の更なる低減を目指した。空間的な不均一トラヒック環境で生じる各クラスタにおいて必要となる ON 期間長の違いに着目し、ON 期間再利用制御について研究を進めた。低トラヒッククラスタに割り当てられた ON 期間の未使用部分を他のクラスタの ON 期間として再利用することにより、重複割り当てを回避して、システム特性の向上を目指した。

この検討により得られた ON 期間再利用制御法の特性評価を、計算機シミュレーションにより実施した。その結果、提案手法を用いることで、伝送特性および消費電力特性が向上することが明らかとなった。

本研究成果は、国際学会 VTC2014-Fall (開催地: バンクーバー) などで公表されている。また、平成25年度実施の簡易型自律分散 DutyCycle 動作制御法については、平成26年度に図書としてまとめられ出版されている。

平成27年度は、[課題1]と[課題2]の研究を並行して進めた。

[課題1]については、平成26年度の研究内容を更に発展させ、簡易型自律分散 DutyCycle 動作制御法におけるシステム特性向上手法の研究を進めた。ここでは、割り

当てられた ON 期間での伝送特性の更なる向上を目指し、各センサノードのチャンネルアクセス制御技術について研究を進めた。ON 期間の開始部ではチャンネルアクセスが集中して伝送特性が劣化するため、その対策として分散バックオフ制御を併用する方式を提案した。この分散バックオフ併用方式の特性評価を、計算機シミュレーションにより実施し、提案手法を用いることで、伝送特性および消費電力特性が向上することが明らかとなった。

また、[課題 2]トラヒック適応制御との併用を可能にする DutyCycle 動作制御の高度化手法については、クラスタ間のトラヒック変動に対処できるバックオフ制御法の検討を実施した。トラヒック量に応じたバックオフ窓を使用することで、伝送トラヒック量の違いに起因する伝送特性の不均一性を緩和できることが確認できた。

これらの研究成果は、国際学会 VTC2015-Spring (開催地：グラスゴー)などで公表されており、論文誌への投稿が行われている(現在査読中)。また、平成 26 年度実施の簡易型自律分散 DutyCycle 動作制御法についての論文が電子情報通信学会論文誌に掲載されている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 6 件)

- (1) Akiyuki Yamauchi, Kazuo Mori, Hideo Kobayashi, “Traffic Adaptive BE Control for inter-cluster communications in IEEE802.15.4 Cluster-based Wireless Sensor Network with Spatial Non-uniform Traffic,” Proc. of the 2015 Ninth International Conference on Sensing Technology (ICST2015), pp.310-315, Auckland, New Zealand, Dec. 2015, 査読有, DOI: 10.1109/ICSensT.2015.7438413
- (2) Kazuo Mori, Hideo Kobayashi, “Simple Autonomous Active Period Selection with Reuse Mechanism for Cluster-based Traffic Adaptive WSNs under Cluster Mobility,” IEICE Transactions on Communications, vol.E98-B, no.8, pp.1561-1570, Aug. 2015, 査読有, DOI: 10.1587/transcom.E98.B.1561
- (3) Kazuo Mori, Hideo Kobayashi, “Effect of Distributed Backoff to Active Period Reuse Mechanism in Cluster-based IEEE 802.15.4 WSNs with Cluster Mobility and Non-uniform Traffic,” Proc. of IEEE 81th Vehicular Technology Conference (VTC2015-Spring), pp.1-5, Glasgow, UK, May 2015, 査読有, DOI: 10.1109/VTCSpring.2015.7145795
- (4) Kazuo Mori, Katsuhiro Naito, Hideo Kobayashi, “Active Period Reuse

Mechanism for Autonomous Active Period Selection in Cluster-tree Traffic Adaptive IEEE 802.15.4 WSNs with Cluster Mobility,” Proc. of IEEE 80th Vehicular Technology Conference (VTC2014-Fall), pp.1-5, Vancouver, Canada, Sept. 2014, 査読有, DOI: 10.1109/VTCFall.2014.6965850

- (5) Kazuo Mori, Katsuhiro Naito, Hideo Kobayashi, “Effect of Distributed Backoff Mechanism to Simple Autonomous Active Period Selection Control in Cluster-tree Type IEEE 802.15.4 WSNs with Cluster Mobility,” Proc. of 2013 Seventh International Conference on Sensing Technology (ICST2013), pp.215-220, Wellington New Zealand, Dec. 2013, 査読有, DOI: 10.1109/ICSensT.2013.6727645
- (6) Kazuo Mori, Katsuhiro Naito, Hideo Kobayashi, “Simple Active Period Selection Scheme for Cluster-Based IEEE 802.15.4 WSNs with Dynamic Network Changes,” Proc. of 2013 IEEE 77th Vehicular Technology Conference (VTC2013-Spring), pp.1-5, Dresden, Germany, May 2013, 査読有, DOI: 10.1109/VTCSpring.2013.6692753

[学会発表](計 4 件)

- (1) 森 香津夫, “[招待講演]無線センサネットワークにおける適応化 MAC 技術,” 電子情報通信学会 無線通信システム研究会 ネットワークシステム研究会, 伊勢観光文化会館(三重県・伊勢市), 2014 年 12 月 18 日
- (2) 山内 陽之, 森 香津夫, 内藤 克浩, 小林 英雄, “トラヒック偏りを伴うクラスタ型センサネットワークのクラスタヘッド間通信におけるトラヒック適応 BE 制御手法,” 電子情報通信学会 無線通信システム研究会, 伊勢観光文化会館(三重県・伊勢市), 2014 年 12 月 18 日
- (3) Akiyuki Yamauchi, Kazuo Mori, Hideo Kobayashi, “Adaptive BE Control for IEEE802.15.4 Cluster-Based Wireless Sensor Network with Spatial Non-Uniform Traffic,” The 4th International Symposium for Sustainability by Engineering at MIU (IS2EMU 2014), 三重大学(三重県・津市), 29 Sept. 2014
- (4) 當 雄介, 森 香津夫, 小林 英雄, 内藤 克浩, “空間不均一トラヒックを伴うクラスタ型無線センサネットワークにおけるフレーム連結の伝送特性への影響,” 平成 26 年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, 中京大学(愛知県・名古屋市), 2014 年 9 月 8 日

[図書](計 1 件)

- (1) Alex Mason, Subhas Chandra Mukhopadhyay, Krishanthi Padmarani Jayasundera (editor), Kazuo Mori, et al,

Sensing Technology: Current Status and Future Trends III (Smart Sensors, Measurement and Instrumentation), p.426 (pp.133 - 155), Springer, 2014

〔産業財産権〕

出願状況（計 0 件）

該当なし

取得状況（計 0 件）

該当なし

〔その他〕

ホームページ等

該当なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森 香津夫 (MORI, Kazuo)

三重大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号： 90324540

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし