

大規模ユビキタスセンサネットワークを自己組織化する相互適応通信制御方式の研究開発 (051105002)

Adaptive Self-Organizing Communication Timing Control for Large Scale Ubiquitous Sensor Networks

研究代表者

関山浩介 名古屋大学大学院工学研究科 マイクロ・ナノシステム工学専攻
Kosuke Sekiyama Dept. of Micro-Nano Systems Engineering, Nagoya University

研究分担者

伊達正晃 久保祐樹
Masaaki Date Yuki Kubo
沖電気工業株式会社 研究開発本部 ユビキタスシステムラボラトリ
Corporate Research & Development Center, Oki Electric Industry Co., Ltd.

研究期間 平成 17 年度～平成 19 年度

本研究開発の概要

本研究では、大規模無線通信ネットワークを想定し、各ノードに簡易な位相振動子を実装し、定期的な制御信号を授受することで相互に通信衝突を解消する大規模位相差パターンを形成する位相拡散時分割方式(PDTD)を提案した。シミュレーション及び約 50 個の通信ノードによる実機実験においても従来の CSMA/CA を上回るスループットが実現できることが確認された。センサネットワークにおける通信平等性が確保でき、トポロジーのレイアウト変化にも自律的に対応する方式を提案した。さらに、本提案手法に基づいた通信ノードの省電力化の考察も行った。

Abstract

In this project, we proposed a novel communication timing control named Phase-Diffusion Time Division (PDTD) method. The cyclic control signal emitted by each wireless node self-organizes a large-scale phase difference pattern, which allows distributed collision free communication timing control. Empirical results with 50 communication nodes showed the TDMA outperformed conventional CSMA. We extended the basic method to cope with the presence of interference noise and abrupt topology changes, and the energy-saving issues of communication node were also studied.

1. まえがき

人やモノを始めとして、様々な対象・場所にセンサや無線ノードを遍在させ、それらが巧みに情報交換することによって生活空間を安全・快適にしてくれるユビキタス社会の実現が望まれている。そのような社会では、ユビキタスセンサネットワークを利用したシステムがいたるところに存在し、それらが相互接続しながら、さらに広い範囲で利用可能な社会ネットワークインフラに拡大成長することが予想される。こうした状況では、従来の通信方式では想定していないような数万規模以上の無線ノードが結合関係を変化させるネットワークが対象となるため、通信制御方式において様々な課題が浮上してくる。

本研究の目的は、上記のような大規模なユビキタスセンサネットワークで効率的に動作し、種々の状況変化に柔軟に対応できる通信制御方式を確立することである。これを達成することより、様々な状況変化が存在する動的な環境条件の下で、「適切な情報を、適切な人に、適切な形で」伝えるための、新たな社会情報基盤としてのセンサネットワークシステムが実現される。

2. 研究内容及び成果

2.1 自律分散通信タイミング制御方式

大規模な無線ネットワークでロスなく情報を収集するために、衝突を起さずに通信を行う方式を開発することが重要である。広域エリアのセンシング情報を収集するためには、マルチホップ通信でパケットを転送することが効果的であるが、マルチホップを行う場合には隠

れ端末問題などによって衝突が発生しやすくなり、スループットの低下が避けられない。本研究では各ノードが周辺のノードと相互作用を行い、衝突が起こらないように自己の送信タイミングを決定する方式として、位相拡散時分割方式 (Phase Diffusion Time Division : PDTD) と呼ぶ方式を開発した。PDTD では、各ノードは自己の送信タイミングを近傍に伝えるために周期的に制御信号を送信する。ノードが制御信号を受信した時には、自己と近傍ノードとの送信タイミングの時間差に応じて、自己のパケット送信タイミングを制御することで、自律分散的に衝突回避を実現するものである。これによって CSMA などの従来技術よりも多くのセンシング情報を収集できることが明らかとなった。また研究期間において PDTD の拡張として以下の同期アライアンス方式や干渉波の影響を考慮した拡張、省電力化に向けた拡張、トポロジー変化に対応するために拡張を行い、最終的な評価として、実機実装を行い実環境での評価実験を行った。

2.2 同期アライアンス方式

本通信タイミング制御の基本方式となる位相拡散時分割方式 (PDTD) に対し、更なるスループット向上を目標とした方式が位相拡散同期アライアンス方式である。位相拡散同期アライアンス方式では、通信衝突の発生しない位置関係にあるノードを判別する指標であるノードタイプを導入し、各ノードは自律分散的にノードタイプ獲得することで同期アライアンスの形成を実現する。この方式では PDTD よりも、よりスループットを向上させることがで

きることを明らかにした。

2.3 干渉回避方式

PDTD を実環境で適切に動作させるために、干渉波に対する頑健性の向上に取り組んだ。無線通信では有線の通信と異なり、無線の到達する範囲を明確に特定することは困難である。特に本研究の対象とするマルチホップ通信では中継のための送信が他の無線ノードの送受信に干渉を与えやすい環境である。そのため、干渉波の影響を無視して方式を検討することはできない。干渉波対応方式では、近傍ノードと受信強度情報を交換し、受信強度に基づいて干渉源のノードをグループ分けし、タイミング制御に利用することによって干渉波の影響を最小化できる。その結果、干渉回避方式を導入する前と比較して最大で約 1.5 倍のスループット向上が可能であることをシミュレーションによって確認した。

2.4 省電力化方式

センサネットワークでは、省電力化によって数年単位でセンサノードを動作させる技術が重要である。無線ノードの省電力化のためには、いかにしてパケット送受信以外の時間において無線デバイスをスリープ状態にするかが課題となる。PDTD において収束状態では、送信タイミングがスケジューリングされた状態となる。この状態では、各ノードは、自分宛のパケットが近傍ノードから送信されるタイミング、すなわち、受信を行う必要のあるタイミングを予測することができる。この情報をもとに無線デバイスの電源を切るスケジューリングを行うことが可能である。シミュレーションの結果、およそ 1% 程度のデューティで動作させることが可能であり、省電力化制御を行わない場合よりも 100 倍の長寿命化が可能となることを確認した。

2.5 トポロジー変化対応

PDTD では各ノードは自分の送信できる送信スロットサイズを適切に決定する必要がある。トポロジーが固定の場合は事前に設計することが可能であるが、設計コストの観点からも現実的とは言えず、またトポロジーの変化に対応できない。開発したトポロジー変化対応方式では、ノードが自己の送信キューサイズの変化を監視し、キューサイズに基づいて送信スロットサイズを自律的に制御することで、トポロジー変化に対して適切に対応する。評価実験は、次節で説明する大規模実機実験と同様の実験条件で行った。その結果、トポロジー変化に対応して柔軟に送信スロットサイズを調整する動作が確認され、ほぼ理論通り性能が得られることが明らかになった。

2.6 大規模実機実験

本研究で開発した位相拡散時分割方式を無線ノード(無線通信速度 256kbps、CPU:16MHz) に実装し、格子状に 48 (6×8) 個配置し、各無線ノードで発生したデータパケットをマルチホップでシンクノードに送信する実験を行った。大規模実験において、従来技術である CSMA と比較した優位性の検証とネットワークトポロジーが変化した場合における位相拡散時分割方式の動的適応について評価を行った。図 1 がその実験結果であり、CSMA との比較では、データパケットの発生頻度を徐々に大きくしていくと、最大で 60% 程度のスループット向上が実現できることを確認し、本方式はシンクノードへのデータトラフィックが多いほど優れた方式であることを明らかにした。

3. むすび

本研究開発ではマルチホップ通信における衝突回避を

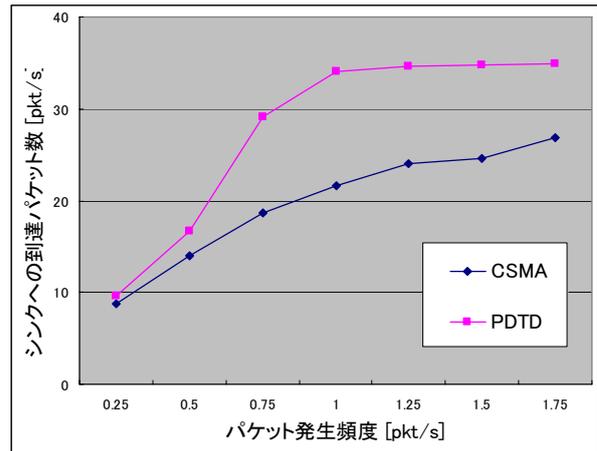


図 1 パケット発生頻度とシンクへの到達パケット数の関係

実現しスループットを向上することが可能な方式として、位相拡散時分割方式とその拡張方式を開発した。開発した方式は実機による評価によって有効性を示している。今後本研究開発や関連する様々な技術を融合することで、柔軟性の高い大規模なユビキタスセンサネットワークの実現へ結びつく展開が期待できる。

【誌上発表リスト】

- [1] KOSUKE SEKIYAMA, YUKI KUBO, SHIGERU FUKUNAGA and MASAOKI DATE, "Distributed Time Division Pattern Formation for Wireless Communication Networks", International Journal of Distributed Sensor Networks, Volume 1 issues3-4 pp.283-304 (2005)
- [2] Yuki Kubo and Kosuke Sekiyama, "Communication Timing Control with Interference Detection for Wireless Sensor Networks", EURASIP Journal on Wireless Communication and Networking, Algorithmic Aspects of Wireless Networks 2007, Article ID 54968, (2007)
- [3] Yuki Kubo and Kosuke Sekiyama, "Wireless Communication Timing Control with Interference Node Detection", The 18th IASTED International Conference on PARALLEL AND DISTRIBUTED COMPUTING AND SYSTEMS (PDCS 2006) (November 13-15, 2006)

【申請特許リスト】

- [1] 伊達正晃、関山浩介、鈴木克洋、“通信タイミング制御装置、通信タイミング制御方法、ノード及び通信システム”、日本、2006年1月20日
- [2] 久保祐樹、関山浩介、“通信タイミング制御装置、通信タイミング制御方法、ノード及び通信システム”、日本、2006年2月14日
- [3] 久保祐樹、関山浩介、“通信制御装置、通信制御方法、ノードおよび通信システム”、日本、2006年2月28日

【報道発表リスト】

- [1] “無線の制御技術開発” 日刊工業 9/16 (2面)
- [2] “福井大と沖電気「自己組織化」通信タイミング制御方式を開発し「ZigBee」に適用” WEB 日経 TechON 9/15 14:54
- [3] “無線ノードが通信タイミングを自動調整” 日経パイ ト 2005年11月号