

Radio On Demand Networks 技術を用いた オンデマンド型無線センサーアクチュエーターネットワーク (ROD-SAN) の研究開発 (131103006) Feasibility Study of Radio On Demand Sensor and Actuator Networks

研究代表者

伊藤 哲也 日本電気通信システム株式会社
Tetsuya Ito NEC Communication Systems, Ltd.

研究分担者

長谷川 晃朗[†] 阪田 史郎^{††} 池永 全志^{†††} 四方 博之^{††††}
Akio Hasegawa[†] Shiro Sakata^{††} Takeshi Ikenaga^{†††} Hiroyuki Yomo^{††††}
[†]株式会社国際電気通信基礎技術研究所 ^{††}千葉大学大学院 ^{†††}九州工業大学 ^{††††}関西大学
[†]Advanced Telecommunications Research Institute International
^{††}Graduate School Chiba University ^{†††}Kyushu Institute of Technology ^{††††}Kansai University

研究期間 平成 25 年度～平成 26 年度

概要

消費する電力および電波資源を必要最小限とする ROD に対応したオンデマンド型無線センサーアクチュエーターネットワーク (ROD-SAN) を提案し、技術開発を行った。WSAN 用無線信号に対応した Wake-up Receiver、オンデマンド型アクセスを有効利用した無線アクセス方式、大規模オンデマンドマルチホップルーティング方式を開発し、開発技術を搭載したオンデマンド型の無線センサーアクチュエーターノードを用いた実証実験により、省電力性能とレスポンス性能が両立可能であることを確認した。

1. まえがき

無線センサーネットワーク (WSN) に対して、アクチュエーターノードを収容した無線センサーアクチュエーターネットワーク (WSAN) が IoT/M2M の基盤技術として期待されている。WSAN には、ネットワークが消費する電力を最小限にするという WSN が持つ課題に加え、アクチュエーターをリアルタイムに制御するためにレスポンス性能を高めるという課題がある。これらの課題はトレードオフ関係にあり、双方を両立することは難しい。

本研究開発では、消費する電力および電波資源を必要最小限とする Radio On Demand Networks (ROD) 技術を用いて、WSAN を大幅に省電力化すると共に応答時間を最小化することで、高レスポンスなデマンドサービスを提供するオンデマンド型無線センサーアクチュエーターネットワーク (ROD-SAN) 技術を確立することを目的とした。

2. 研究開発内容及び成果

高い省電力性能とレスポンス性能を両立する ROD-SAN を構成する、Wake-up Receiver を搭載したオンデマンド型無線センサーアクチュエーターノード (ROD-SAN ノード) を開発した。

ROD-SAN ノードは無線データ通信が可能な稼働状態と、低消費電力で動作する Wake-up Receiver で Wake-up Signal の検出のみを行う休止状態の 2 つの状態を持つ。一定時間通信が行われない場合に休止状態へ遷移し、他のノードが送信する Wake-up Signal を検出した場合に稼働状態へ遷移して無線データ通信を開始する。データ通信がない場合に休止状態を維持するため無駄な電力消費がない。また、間欠動作による電力削減方式と異なり、データ通信の発生契機に通信相手のノードのみを起動し通信を行えるため応答性も高い。通信経路上のノード間でこの動作を繰り返しデータ転送することで、必要なノードのみ稼働するオンデマンド型ネットワークを提供できる (図 1)。

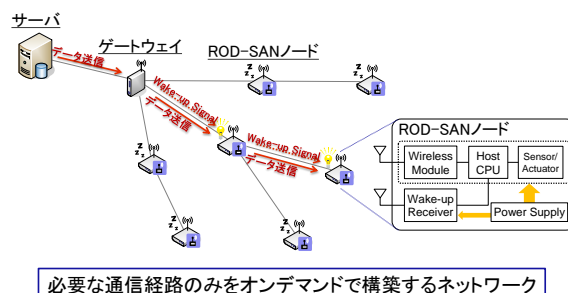


図 1 ROD-SAN 概念図

本研究開発は、研究項目を IEEE 802.15.4 対応ウェイクアップ方式とオンデマンド型アクセス方式、オンデマンド無線アクセス対応ルーティング方式の 3 つに分割して研究開発に取り組んだ。さらに、ROD-SAN の効果を検証するため実証実験を実施した。

2. 1. IEEE 802.15.4 対応ウェイクアップ方式

ROD-SAN ノードに搭載する Wake-up Receiver は、IEEE802.15.4g 規格に対応し、同規格の無線フレームの送信時間の長さ (フレーム長) を検出する方式とした。本方式は、発振器が不要な包絡線検波によりフレーム長を検出するため、消費電力を極限まで抑えられると共に、単純な回路で構成可能であるという特徴がある。また、ノード毎に固有の Wake-up ID を定義し、フレーム長と Wake-up ID を関連付けることで、個別のノードを起動可能とし、無駄に稼働するノードを抑止する。本方式を搭載した Wake-up Receiver を試作開発し、Wake-up Signal 待ち受け消費電力 0.5mW 以下の性能を達成した。

また、Wake-up Signal 送信時の電力低減のため、Wake-up Signal に用いるフレーム長をなるべく短いフレーム長及びフレーム数で構成する Wakeup Signal 構成方式を考案した。シミュレーション評価により、データ送信ノードの平均消費電力を 70%削減できることを確認した。

2. 2. オンデマンド型アクセス方式

WSAN は単一チャネルで運用することが多く、隠れ端末問題による無線フレームの衝突や干渉が問題となる。そのため、データ送信時に衝突や干渉の少ないチャネルを選択し、そのチャネル情報を含んだ Wake-up Signal で通信対象ノードを起動させ、指定したチャネルに切替えながらデータ通信を行うオンデマンド型アクセス方式を考案した。また、マルチホップ転送の際にチャネルを切替えて転送すると、チャネル切替による遅延が発生する。そのため、マルチホップ中継ノードは一定のルールに従いチャネル切替を行わないアルゴリズムとした。本アクセス方式のシミュレーション評価により、既存アクセス方式と比較してパケットエラーレートを最大 60%低減、遅延時間を最大 55%低減する効果が得られることが分かった。

2. 3. オンデマンド無線アクセス対応ルーティング方式

自律分散型のルーティング方式は、経路情報の構築や維持に関わる制御パケットの交換を各ノードが非同期で行う場合がある。つまり、ノード稼働状態と休止状態の遷移も制御パケットの交換にあわせて非同期で行えれば、無駄な消費電力を削減できる。そこで、上述のオンデマンド型アクセス方式を利用し、経路情報の構築や維持にかかる電力を必要最小限とするオンデマンド無線アクセス対応ルーティング方式を提案した。本方式において、経路情報の構築や維持を行う主ノードと行わない副ノードに役割を分け、制御パケットの交換も必要最小限となるよう設計した。シミュレーション評価により、本方式を用いない場合と比較し、配信率が最大 21%向上、平均消費電力は最大 11%削減する結果を得た。

また、既存のルーティング方式に代わる新たなデータ収集方式として、オンデマンド型無線地中センサーネットワークを提案した。これは、Wake-up Receiver を搭載したセンサーノードを地中に埋設し、シンクノードが地上からセンサーデータを収集する方式である。試作機を用いた実験によって、深さ 50cm の地中にセンサーノードが埋設された状況において、地上シンクノードから周囲 5.5m の範囲にある地中センサーノードを 100%の確率で起動成功しデータ通信も可能であることを確認した。

2. 4. 実証実験

ROD-SAN による高い省電力性能とレスポンス性能の効果検証のため、各提案方式を搭載した ROD-SAN ノードを開発し実証実験を行った。400m×200m の屋外で中央に 3 階建ての建物が存在する環境に ROD-SAN ノードを 20 台設置し、定期的なセンサーデータの収集と非定期的なノードの制御を行った。検証項目は、ROD-SAN ノードの稼働状態の比率である稼働率、センサーデータの収集率、制御に対する応答時間である平均応答時間の 3 つの項目とした。実証実験結果(表 1)より、収集率、平均応答時間で同程度の性能が得られ、ROD-SAN では稼働率を 10分の 1 以下に大幅に削減できている。つまり、ROD-SAN による高い省電力性能と高いレスポンス性能の両立が可能であることを示した。

表 1 実証実験結果

方式	常時稼働 SAN	ROD-SAN
稼働率	100%	9.7%
収集率	98.2%	94.3%
平均応答時間	1.6 秒	2.6 秒

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

本研究開発で得られた成果は、電力需給制御サービスだけではなく、さまざまな産業へ展開が期待できる。省電力性能の高さは電力確保や電池交換の手間を軽減するため、主に屋外で利用される農業や漁業などの一次産業に適している。また、工場や社会インフラ維持監視についても無線ネットワークの省電力化、高レスポンス化の効果を享受できる。今後、温度特性や防水特性などの環境耐性を向上させる実用化開発と各産業への商用展開を進めると共に、オンデマンド型ネットワークの特徴や性能を活かした新規サービスや産業を創出し、社会への貢献を行う。

また、ROD-SAN のオンデマンド型のアプローチは、電力だけではなく電波を資源としてとらえ、使いたいときだけ電力及び電波を利用するアプローチである。本アプローチは、電波の有効利用につながるものであり、ホワイトスペースの有効利用やコグニティブ無線の研究領域へ波及し、通信効率の向上と無線周波数利用方法の新たな潮流を生み出すものと考えている。

4. むすび

消費する電力および電波資源を必要最小限とする ROD-SAN を提案した。オンデマンド型ネットワークの実現のため、IEEE802.15.4g に対応した Wake-up Receiver、オンデマンド型アクセス方式、オンデマンド無線アクセス対応ルーティング方式を技術開発した。提案方式を搭載した ROD-SAN ノードを用いた実証実験を行い、高い省電力性能とレスポンス性能が両立できることを確認した。

今後は実用化開発を進めると共に、さまざまな産業へ商用展開を進める予定である。

【誌上発表リスト】

- [1]Suhua Tang, et al., “Optimization of Frame Length Modulation Based Wake-Up Control for Green WLANs,” IEEE Transactions on Vehicular Technology Vol.64 No.2 (2015 年 2 月)
- [2]Tomoyuki Tani, et al., “Wake-up Frame Detection using Correlated Received Signal Strength for On-Demand WiFi Wake-up,” IEEE International Conference on Communication Systems 2014 (2014 年 11 月)
- [3]T. Hidaka, et al., “Transmission Channel Switching on the Basis of Channel Utilization in ROD-SAN,” Proc. of International Conference on Future Networks Systems and Security 2015 (2015 年 6 月)

【申請特許リスト】

- [1]阿部憲一ほか、“無線マルチホップネットワーク”、日本、2014 年 3 月 14 日
- [2]阿部憲一ほか、“無線装置およびそれを備える無線ネットワーク”、日本、2014 年 2 月 7 日
- [3]四方博之ほか、“無線装置、それを備えた無線通信システムおよび無線装置に置いて実行されるプログラム”、日本、2014 年 7 月 16 日

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

http://www.ncos.co.jp/news/news_130826-2.html