

データと電力同時伝送のための周波数共同利用技術の研究開発 (135106101)

A Study on Simultaneous Wireless Data and Power Transmission

研究代表者

猿渡俊介 静岡大学

Shunsuke Saruwatari Shizuoka University

研究分担者

川原圭博 Yoshihiro Kawahara

東京大学 The University of Tokyo

研究期間 平成 25 年度～平成 27 年度

概要

無線 LAN、Bluetooth、ZigBee などの無線通信技術により、様々なものがネットワークに接続されるようになった。本研究では、ネットワーク機能だけでなく、電力供給機能をも電波によってワイヤレス化することを目的とする。電波はすでに通信でも利用されているため、有限である電波資源を有効利用するための仕組みが求められる。本研究では、同じ周波数帯でデータと電力の同時伝送を可能とする周波数共同利用技術の研究開発を行った。具体的には、電力伝送とデータ伝送の両方を備えた無線アクセスポイント技術、無線アクセスポイントからの電力を受信してセンサを駆動する無線ノード技術、無線アクセスポイントと無線ノード間で電力伝送とデータ伝送を効率的に行うための通信プロトコルを開発した。無線アクセスポイントはソフトウェア無線を用いて、無線ノードおよび通信プロトコルは MSP430・CC2420・Contiki OS を用いて実装した。

1. まえがき

無線 LAN、Bluetooth、ZigBee などの無線通信技術により、心拍センサ、体重計、テレビ、デジカメ、ランニングシューズなど様々なものがワイヤレスによってネットワークに接続されるようになった。ワイヤレス化の最大のメリットは有線という物理的な制約から解放されることによる利便性の向上と新たなサービスの創出である。例えばランニングシューズに組み込まれた加速度センサによってユーザの走行距離を計測・蓄積して他のユーザに公開したり走行距離を競ったりすることでランニングに対するユーザのモチベーションを喚起するといった 10 年前には存在しなかったサービスが実現されている。

我々は、ネットワーク機能だけでなく、電力供給機能をもワイヤレス化したいと考えている。電力供給機能をワイヤレス化することができれば、バッテリー交換や充電の手間が削減できるだけでなく、これまでワイヤレス化が困難であった対象をもワイヤレス化できる可能性がある。

これに向けて、本研究ではデータと電力を同時伝送するための周波数共同利用技術を実現することを目的とする。図 1 に我々が想定している最終ゴールを示す。図 1 では、無線アクセスポイントから無線ノードに対してデータと電力を電波で同時伝送している。データはアクセスポイントと無線ノードで双方向に、電力はアクセスポイントから無線ノードへと一方向に送信される。

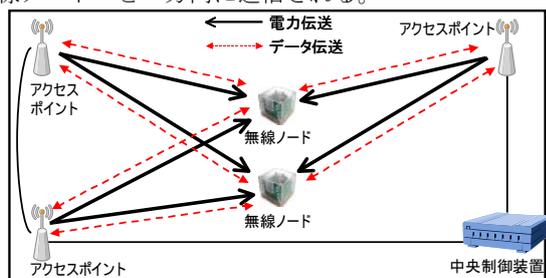


図 1 最終ゴール

2. 研究開発内容及び成果

2. 1. 無線アクセスポイント技術

本稿では、1 つの周波数帯で電力伝送とデータ通信を同時に実現することを SWIPT (Simultaneous Wireless Information and Power Transfer) と呼ぶ。アクセスポイントでは、アナログキャンセル回路とデジタルキャンセル回路を組み合わせることによって自己干渉信号をキャンセルする。まず、位相制御回路によって自身が送信した信号と逆位相の信号を受信信号と足し合わせるアナログ信号での干渉除去を実現する。次に、デジタル回路でさらに干渉除去を行う。

アナログキャンセレーション AGC や ADC の性能を超えた信号を除去するために、アナログ干渉除去を設計して基本性能を評価した。アナログ干渉除去を実現するために、アナログ信号の振幅と位相を制御可能な QHx220 を用いたバランキャンセル回路を実装した。バランキャンセル回路は、バラン (Balun: balanced-unbalanced) 回路を利用して自己干渉を除去する技術である。アンテナを 3 つ必要とするアンテナキャンセレーションに対して、アンテナの本数が 2 本で済むというメリットがある。

デジタルキャンセレーション これまでの干渉除去手法は、バースト的に発生するデータ伝送同士が衝突した場合の干渉除去手法であった。データ伝送ではパケットの中身が未知であるため、逐次干渉除去などのように片方のデータ伝送の中身を得てからもう一方のパケットを抽出するのが一般的であった。それに対して、電力伝送信号干渉除去手法は、バースト的に発生するデータ伝送と定常的に発生している電力伝送が衝突した際に、電力伝送信号の波形が既知であることに着目する。データ伝送と電力伝送が衝突してもそれぞれの情報伝達と電力供給に影響を与えない手法を実現することに取り組んだ。具体的には、重畳したデータを分離できることを確認するため、電力信号が既知であることを利用して信号分離する干渉除去を用いた送信機と受信機を実装した。送信機と受信機は、ハードウェアとしてソフトウェア無線機である Universal Software Radio Peripheral N200 (USRP N200)、ソフトウェアとして USRP Hardware Driver (UHD) と C++ を用いた。実機評価の結果、干渉除去によるデータ分離の実

現可能性を確認した。開発成果の目標は送信電力 10 dBm(10 mW)での 1 Mbps のデータ伝送と送信電力 10 mW の電力伝送が衝突した場合でも、1 Mbps のデータ伝送のビットエラーレートに変化がない手法を実現することであった。本研究では、送信電力-4.2 dBm での 400 kbps のデータ伝送と送信電力-4.3 dBm の電力伝送が衝突した場合でも、400 kbps のデータ伝送に変化がない手法を実現した。数値が目標よりも小さくなっているのは入手できた実験装置のハードウェア性能と処理能力の制約に依るものであり、基本的には 10 dBm、1 Mbps でも同等の結果が得られると考えている。

2. 2. 無線ノード技術

プロセッサにテキサスインスツルメンツ社の CPU である MSP430、無線通信として IEEE 802.15.4 の物理層を提供する CC2420 を具備した TelosB を改造してスーパーキャパシタと RF-DC 変換回路を接続し、無線電力伝送対応の無線ノードを構築した。MSP430 上ではオペレーティングシステムとして SICS (Sweden Institute of Computer Science) で開発された Contiki OS を用いて、Contiki OS 上のタスクとして通信プロトコルを実装した。RF-DC 変換回路にはさまざまなものが提案されているが、RF 信号を DC 電力に変換する際に同時に昇圧することが可能である Dickson チャージポンプを選定した。Dickson チャージポンプは、エネルギーハーベスティングや無線ノードへの応用が期待されている RF-DC 変換回路である。Dickson チャージポンプを設計するにあたり、段数は 5 段とし、ダイオードには降下電圧の小さい Skyworks 社製の SMS7630 を選定した。出力電圧や効率の向上にはアンテナとのインピーダンスマッチングが不可欠であるため、アンテナを接続する SMA ポートと Dickson チャージポンプとの間に、1 つのコンデンサとインダクタで形成されたマッチング回路を挿入した。

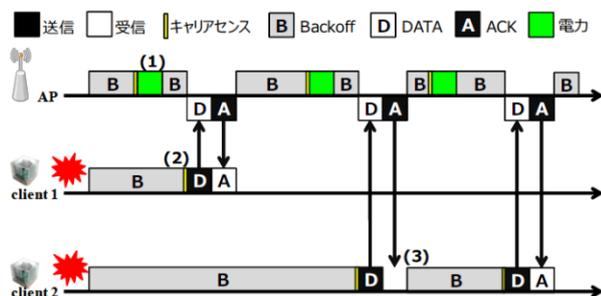


図 2 P-CSMA/CA

2. 3. 通信プロトコル

本研究で肝となるのが MAC プロトコルである。2 つの周波数帯で別々にデータ伝送と電力伝送した場合と比べて、1 つの周波数帯で共同利用した場合でも性能が劣化しない通信プロトコルを実現した。

P-CSMA/CA は、電力信号をフレームと見なして、データフレームと電力フレームがアクセス権を競う通信方式である。図 2 に P-CSMA/CA の動作を示す。アクセスポイントでは、通常の CSMA/CA と同様にランダム時間バックオフした後にキャリアセンスして、他のノードが通信していなかった場合には電力フレームを送信する。アクセスポイントは電力フレームの送信が終了しても ACK の受信は行わない。電力フレームを送り終わると同時に、次の電力信号を送信するためのコンテンションを開始する。センサノードでは、センサデータが発生するとアクセスポイントと同様にランダム時間バックオフした後にキャリ

アセンスして、アクセスポイントや他のセンサノードが通信していなかった場合にはデータフレームを送信する。センサノードによるデータフレームの送信では、アクセスポイントの電力の送信と異なり、ACK を待ち受けて再送制御を行う。この時の再送制御方式は通常の CSMA/CA と同様である。

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

現在、計測器メーカーやデバイスメーカーなど多くの企業から本研究の成果について問い合わせをいただいている。問い合わせの多くはスペックに関するものや試してみたいという内容である。ハードウェアの製造データ、シミュレーションソースコード、ソフトウェア無線のソースコードを早い段階で公開し、様々な企業で試行ができる環境を整えて行きながら社会展開を進めたい。また、技術的な観点では、より大容量の電力を送信できる仕組みを研究開発する予定である。

【誌上发表リスト】

- [1]Kotomi Kuroki, Shiho Kodera, Narito Kurata, Takuji Hamamoto, and Shunsuke Saruwatari, “Poster: Data-Centric Task Scheduling for Battleship Island Monitoring”, Proceedings of the 13th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (ACM SenSys'15) pp417-418 2015 年 11 月 3 日)
- [2]Yoshiaki Narusue, Yoshihiro Kawahara, and Tohru Asami, “Maximum Efficiency Point Tracking by Input Control for a Wireless Power Transfer System with a Switching Voltage Regulator”, IEEE MTT-S Wireless Power Transfer Conference (IEEE WPTC'15) (2015 年 5 月 14 日)
- [3]Keita Yamazaki, Yusuke Sugiyama, Yoshihiro Kawahara, Shunsuke Saruwatari, and Takashi Watanabe, “Preliminary Evaluation of Simultaneous Data and Power Transmission in the Same Frequency Channel”, IEEE Wireless Communications and Networking Conference (IEEE WCNC'14) (2015 年 3 月 12 日)

【申請特許リスト】

- [1]猿渡 俊介、“データ伝送と電力伝送を共存するためのメディアアクセス制御方式”、出願番号：特願 2015-194700、2015 年 9 月

【受賞リスト】

- [1]猿渡 俊介、情報処理学会 MBL 研究会 優秀論文賞、“無線全二重通信によるデータと電力同時伝送のためのメディアアクセス制御方式”、2015 年 10 月