

BCS-1-19

ZigBee 端末への間欠マイクロ波無線電力供給システムの研究開発

Study and Development of an Intermittent Microwave Power Supply System for ZigBee Devices

市原卓哉
Takuya Ichihara篠原真毅
Naoki Shinohara三谷友彦
Tomohiko Mitani京都大学 生存圏研究所
Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto Univ.

1 研究背景および目的

ワイヤレスセンサネットワークは様々な用途において注目されており、温度のモニタやセキュリティなどの管理システム等に応用されている [1]。電池駆動させ無線通信を用いることで配線コストが削減でき、設置場所の変更も有線より低コストで行うことができる。また、電池駆動により電源を確保することが難しい場所での運用も可能となる。しかし、多くのセンサ端末を持つワイヤレスセンサネットワークではそれぞれの機器に対しての電池交換が定期的に必要となるため、それによる運用コストが増大する。そこで、無線電力伝送により端末の電源を確保することでメンテナンスフリーに近いセンサネットワークを構築できることが期待される。

本研究ではワイヤレスセンサネットワークに適した無線規格である ZigBee を搭載した端末への無線電力伝送を行う。ZigBee は無線 LAN や Bluetooth など他の通信規格と比べ消費電力が小さく、製造コストも低いという利点を持つ。先行研究 [2] を踏まえ、間欠的に送電マイクロ波を照射することで、ZigBee 端末間の通信を妨害せず要求電力を供給することを目指す。

2 本研究で使用する ZigBee 端末

ZigBee 端末として本研究では TOCOS 製 TWE-001 評価開発キットを用いた。ZigBee にはネットワークを統括する親機と中継機能を持つ子機 (中継端末)、中継機能を持たない子機 (終端端末) がある。これら 2 種類の子機の消費電力を表 1 に示す。終端端末は中継を行わないためデータ送信時以外スリープすることで消費電力を小さくすることができる。しかし、ネットワークに参加していない状態ではネットワークに参加するために親機または中継器からの信号を受信する必要があるため消費電力が一時的に上昇する。

子機は 1.145 s 毎に 2 ms 間データ送信を行う。親機は子機からの通信が途絶えて 15 s を超えるとその子機をネットワークから除外する。除外された子機は再びネットワークに参加する手続きを行う必要がある。

表 1 TWE-001 子機の消費電力

種類	ネットワーク参加時	ネットワーク非参加時
終端端末	9.46 mW	61.8mW
中継端末	57.4 mW	57.1mW

3 送受信システム

電波資源の節約のため、通信用電波と給電用電波は同じ周波数が望ましい。しかしその場合、給電波を照射す

るとその強度によっては通信が妨害され正常な通信が行えなくなる [2]。通信を妨害しない照射マイクロ波の強度には 2 種類ある。1 つはネットワークに参加した状態でマイクロ波が照射された中でも通信が切断されない通信可能電力密度である。他方はマイクロ波照射中に非参加状態からネットワークに参加できるネットワーク参加電力密度である。これらの電力密度を上回ると端末は通信が不可能となる。このように給電波による通信の妨害を解決するため、本研究では間欠的にマイクロ波を照射し受電していない時間に通信を行う方法を提案する。

現在図 1 のように、間欠なマイクロ波をアンテナで受電し、整流回路で直流に変換し、キャパシタと DCDC コンバータで安定して端末へ電力を供給するシステムを構想している。

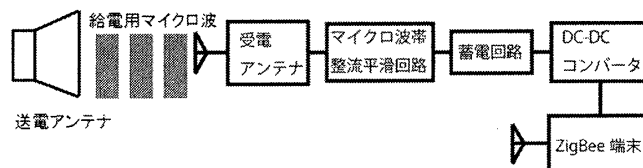


図 1 送受電システム

4 マイクロ波中での ZigBee 通信実験

ZigBee 子機にマイクロ波を照射して給電波の通信への影響を測定した。連続マイクロ波中での通信実験と間欠マイクロ波中での通信実験を行い、間欠波を用いることにより通信への影響が緩和されることを確認した。その方法と結果を次に示す。

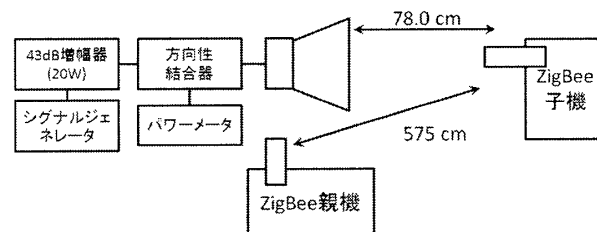


図 2 マイクロ波中の ZigBee 通信実験

4.1 連続マイクロ波中での ZigBee 通信実験

図 2 の測定系を用いて、ZigBee 子機にホーンアンテナを用いてマイクロ波を照射し、ZigBee 子機 2 種と親機が通信が行える最大電力密度の周波数特性を測定した。この時、ZigBee 通信の周波数は 2.4150 GHz に設定した。また、中継端末は中継を行っていない。照射するマイクロ波の周波数は 2.4000 GHz から 2.5000 GHz まで

2.5 MHz ごとに測定を行った。

終端端末についての結果を図3に示す。横軸は照射したマイクロ波の周波数であり、縦軸は通信を妨害しないマイクロ波の電力密度の最大値である。終端端末と中継端末の両者ともに最大ネットワーク参加電力密度は最大通信可能電力密度以下になっていることが確認できた。また、電波防護指針で定められている電力密度の上限 (1 mW/cm^2) より大きな電力密度でも通信が正常に行われる範囲が全体の6割であった。一方で、ZigBee 通信で使用している周波数近傍では僅かなマイクロ波でも通信が切断され復帰することができなくなった。中継端末においてもほぼ同じ結果が得られた。

この結果から最大通信可能電力密度が最小となった 2.4125 GHz のマイクロ波を間欠に照射し通信状況が改善するか実験を行った。

4.2 間欠マイクロ波中での ZigBee 通信実験

前述の実験と同様の状況で、照射するマイクロ波においてデューティ比を 0.1, 0.5, 0.9 の3通りについて実験を行った。パルス周波数は 1.00 Hz から 500 Hz までの範囲で同様の電力密度を測定した。

結果は以下ようになった。デューティ比が 0.1 と 0.5 の時ではパルス周波数が 1.00 Hz から 200 Hz の範囲でパルス中の電力密度が 7.00 mW/cm^2 の時でも正常に通信が行われた。これは実際の使用を考えると十分な電力密度である。子機2種ともに同様の結果が得られた。また、 300 Hz 以上では長時間通信を行わせると子機がネットワークから除外された。さらに、 500 Hz 以上では ZigBee 通信中に確実にマイクロ波が照射されるので通信は不可能であった。一方でデューティ比が 0.9 の時は同期を行っていない現段階では通信は行われなかった。

以上よりエラーなく通信を行わせるためには給電波と ZigBee 通信との間で同期をとる必要がある。

5 整流回路

先行研究 [2] で作成された整流回路の1つを取り出し、図4の回路でその RF/DC 変換効率を測定した。整流回路は 140Ω で効率が最大となるよう設計されている。周波数は 2.46 GHz 、負荷は 138.1Ω 抵抗である。連続マイクロ波での変換効率は入力電力に従って増加し、 60 mW 付近で効率 65 % となり飽和した。その後入力電力が 180 mW を超えると効率が低下し始めた。

次に間欠マイクロ波での変換効率を測定した。搬送波周波数 2.46 GHz 、パルス周波数 1.00 Hz で平均入力電力 16 mW , 65 mW , 101 mW の3通りについて、デューティ比を 0.1 から 1 までの範囲で変換効率を測定した。方形波が出力されたため、その一周あたり平均電力を評価した。結果を図5に示す。デューティ比が小さくなるに従って変換効率が上昇した。これはデューティ比に反比例してパルス中の電力が増加するためである。しかし、パルス中の電力が 180 mW を超えると効率が低下するため平均入力電力 65 mW , 101 mW の低デューティ比では効率が低下した。

このことから間欠マイクロ波を用いることで通信を妨害しないだけでなく、任意の電力を供給する際に整流回路を高効率で動作させることができることがわかった。

6 まとめと今後の予定

今回、ZigBee 端末からは雑音となる給電波の通信への影響と、間欠マイクロ波に対する整流回路の変換効率を評価した。前者では通信で使用する周波数近傍を用いて連続マイクロ波を照射すると僅かな電力密度で通信が切断されたが、間欠にマイクロ波を照射すれば通信周波数においても通信が妨害されないことを確認できた。後者では、端末の消費電力で RF/DC 変換効率が最大となるよう給電波のデューティ比を設定できることがわかった。今後、通信が確実に行えるよう ZigBee 通信と給電波で同期をとる方法を検討していく。

参考文献

- [1] 鄭立, "ZigBee 開発ハンドブック", 株式会社リックテレコム, 2006.
- [2] 鈴木 望 他, "ZigBee センサネットワークに対するマイクロ波無線電力供給システムの研究開発 II", 信学技報 WPT2010-21, 2011.

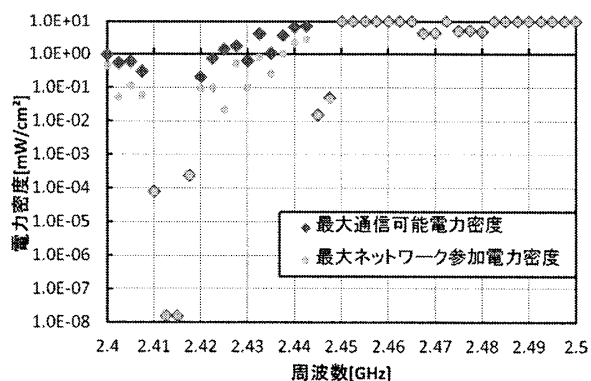


図3 終端端末の照射マイクロ波に対する周波数特性

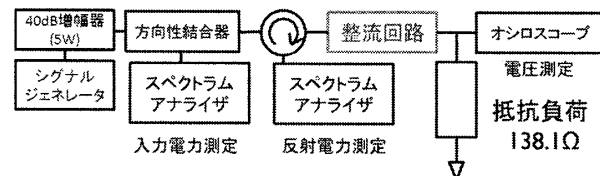


図4 整流回路の変換効率測定

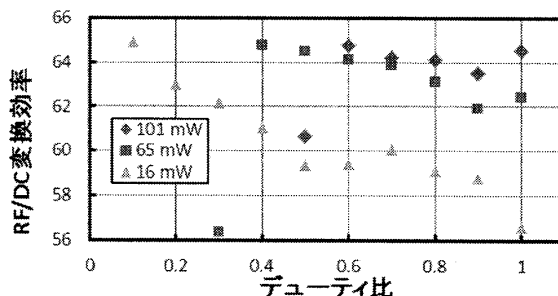


図5 整流回路の変換効率