

## 分散型電力測定システムにおける無線信号伝送についての研究

## A study on radio signal transmission for distributed electric-power measuring system

ドアン クォング マン†  
Cuong Manh Doan

古関 隆章‡  
Takafumi Koseki

弓長 建中‡  
Kenchu Yuminaga

芦谷 正裕‡  
Masahiro Ashiya

1. まえがき<sup>[1]</sup>

電力需要の時間的偏在は、エネルギー供給の重要な課題となっている。電力ピーク負荷をオフピーク帯へシフトさせるために、瞬間的に使用される電力の情報が必要である。

様々な電気製品から使用される電力情報を収集する分散型電力測定システムを考える。個々の電力測定器の配線は簡単でないため無線通信技術を応用する。ケーブルなしで通信するテクノロジーは赤外線無線通信、HomeRF、無線LAN などがあるが、Bluetooth 無線通信技術は免許不要の2.45GHz 帯で稼動し、消費電力が少ないという特長を持っているので、これを用いたシステムを考える。そして、ISM 周波数帯を使用した安価で高速な小規模無線データ転送システムを Bluetooth により構築するための簡単なプロトコル階層とデータ転送アルゴリズムを研究する。

研究目的は以下のようにまとめられる。

- (1) 無線通信の応用
- (2) 安価、低消費電力
- (3) 簡単な構造のプロトコル
- (4) 電磁波ノイズのような外乱へのロバスト性

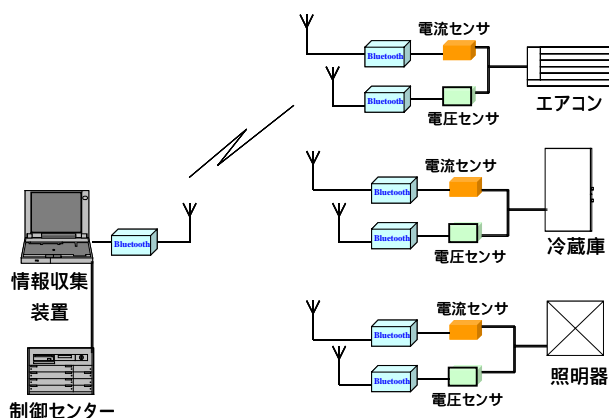


Fig. 1 : Outline of power-measuring system

本資料では、電力測定の目的に用いる無線通信に必要なとされる機能について、Bluetooth の持つ技術的な性能との関係を論じる。

## 2. Bluetooth センサ

## 2.1 Bluetooth センサの概要

従来のシステムでは電力を測定するために、センサによる電流値と電圧値のアナログ信号はケーブルで、情報収集装置に送られている。しかし、提案システムでは、Bluetooth を使用して、無線でデータを伝送する。ただし、データ転送する際 ACL (Asynchronous Connection-Less) リンクを使わなければならない。しかも、ACL リンクに対するデータはデジタル信号でしか構成出来ないため、センサによって測定した電流値と電圧値は、Bluetooth チップに転送される前に A/D コンバータによって、アナログ信号からデジタル信号に変換される必要がある。図 2 には、センサと Bluetooth セットとの接続関係を示す。

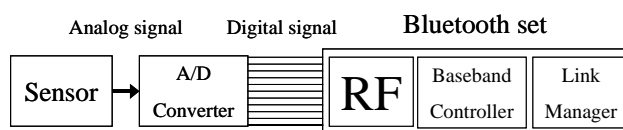


Fig. 2 : Concept of sensor and Bluetooth set

## 2.2 無線伝送の情報ソースとしてのセンサの技術

電流センサは、1 次側電流  $I_p$  により発生する磁束を磁気回路に集約し、それをホール素子により測定することにより、電流を測定する。このホール素子からの出力はアンプで増幅され、1 次側電流と同等の 2 次側電圧波形として出力される。

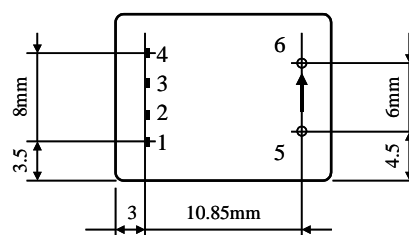


Fig. 3 : Structure of current sensor

図 3 のピンについて、ピン 1 と 3 はセンサの電源でありピン 2 と 4 は 2 次側電流の出力であり、ピン 5 と 6 は 1 次側電流の入力である。

利用されるセンサの特徴は、小型、軽量、低消費電力、センサの電源が可変であること 1 次側と 2 次側回路が絶縁されていることである。

† 東京大学大学院・情報理工学系研究科・電子情報学専攻

‡ (社) ナナレム株式会社

### 2.3 A/D コンバータ

ACL リンクを利用してデータが転送されるので、センサで測定した信号は A/D コンバータにより、デジタル化される。

### 2.4 センサ信号のための Bluetooth<sup>[2]</sup>

Bluetooth のリンクはアプリケーションのコマンドにより、制御することができる。想定する伝送システムでは、センサで測定された電流値と電圧値だけ伝送するので、音声層及び SOC (Synchronous Connection- Oriented) リンクが必要でなくなり、プロトコルスタックは簡単になる。

また、情報の伝送原理のひとつは情報データパケットをスロット単位で転送することである。Bluetooth の仕様により、周波数ホッピングの 1600hops/s を使用するので、スロットは  $1/1600=625 \mu s$  である。ただし、6 のスロットがひとつブロックに定まり、SCO リンクと ACL リンクが共に存在する場合には、SCO リンクのデータ ( 音声 ) が優先されるので、ブロック内に残ったスロットを利用して、ACL リンクのデータ ( この場合には電圧値と電流値 ) を転送することになる。この場合、音声層及び SCO リンクがなければ、ACL リンクのためのスロット数が多くなるため、データの伝送レートも高くなる。

### 3. 電磁波ノイズと干渉成分の除去評価<sup>[3][4][5]</sup>

Bluetooth の信号劣化の原因は以下の通りであると考えられる。

- (1) Bluetooth チップはセンサの近くに設置するため、センサからの電磁波ノイズの影響を受ける。
- (2) 周囲環境に電子レンジや無線 LAN など多くの電気機器があるので、信号が劣化する。
- (3) 分散型システムには、多チャンネルがあるので干渉信号の影響もある。

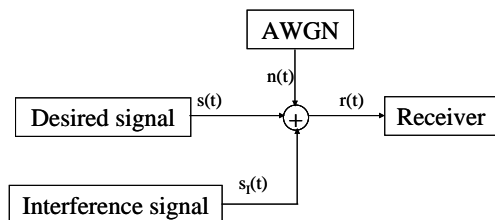


Fig. 4 : The block diagram of communication path  
受信アンテナで受信される信号 :

$$r(t) = s(t) + n(t) + s_I(t) \quad (1)$$

但し、希望信号  $s(t)$  は以下のように示す。

送信アンテナから送られる信号 :

$$s(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T}} \cos(2\pi f_c t + \phi(t)) \quad (2)$$

$E_b$  : シンボル当たりのエネルギー

$T$  : シンボル周期 ;  $f_c$  : 搬送波周波数

        : 出力位相差 ;          : 情報信号

出力位相差 :

$$\phi(t) = 2\pi h_f \sum_{i=n-L+1}^n \alpha_i q(t-iT) + \pi h_f \sum_{i=-\infty}^{n-L} \alpha_i \quad (3)$$

干渉信号  $s_I(t)$  は次のように示される。

$$s_I(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T}} \cos(2\pi(f_c + f_d)t + \phi_2(t)) \quad (4)$$

$f_d$  : 希望信号周波数の差 (0, 1, ..., 78MHz)

サブシステムではアダプティブ周波数ホッピング方法を利用して、希望チャンネルが利用する周波数帯を避けた周波数帯を利用する。その結果は図 5 を示す。

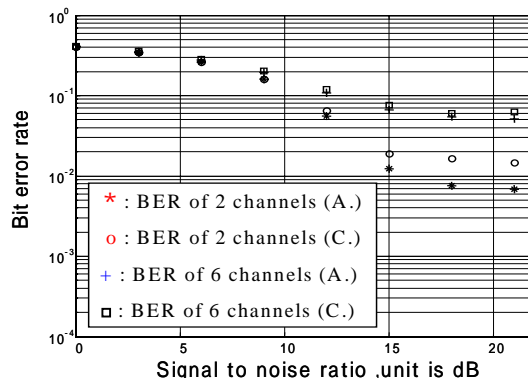


Fig. 5 : BER under interference environment

上図から、アダプティブ周波数ホッピングを利用する場合 (A) の BER は利用しない場合 (C) の BER より小さく、通信品質が改善することを示した。

電磁波ノイズの周波数帯域が Bluetooth のそれとが重なる場合、その周波数帯を避けて、希望チャンネルを設定することにより、通信品質が改善できることを確認した。

### 4. まとめと今後の課題

様々な電化製品の電流センサと電圧センサで測定した情報をケーブルではなく、低消費電力で免許が不要な 2.45GHzISM 周波数バンドの Bluetooth 無線技術を利用し、伝送システムを提案した。電磁波ノイズと多チャンネル間の干渉に対する除去評価をシミュレーションで行いアダプティブ周波数ホッピング方法が通信の品質向上に有用であることを確認した。

今後、BlueCore 開発システムを使って、Bluetooth の限られた通信容量を利用し、実用化に向けた検討をする。

#### 参考文献

- [1] 正田英介 : “分散型電源を中心とした地域電力供給システム : マイクログリッド” 第 1 回、マイクログリッド勉強会
- [2] The official website of Bluetooth Special Interest Group(SIG) <http://www.bluetooth.com>
- [3] Robert E. Van Dyck, A. Soltanian, "Clause 6 Physical Layer Models", IEEE P802.15 Wireless Personal Area Networks, July 2001
- [4] Andrea Conti, Davide Dardari, "Bluetooth and IEEE 802.11b Coexistence: Analytical Performance Evaluation in Fading Channel", IEEE Journal on selected areas in communications, Vol. 21, No. 2, pp. 259-268 Feb. 2003
- [5] M. Chiani, "Performance of BPSK and GMSK with multiple co-channel interferences" in Proc. 7<sup>th</sup> IEEE Int. Symp. Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, pp. 833-837, Oct. 1996