

バッテリーレス圧電/太陽電池ハイブリッド電源を用いた 無線通信の検討

日大生産工 (院)
日大生産工

○ 飛内 秀典
田中 將義

1. はじめに

現在、無線端末を用いた無線社会が浸透しつつある。しかし、現在の無線端末は電池が消耗すると動作せず、いつでもどこでもという観点から課題が残る。本研究では、電池が不要なバッテリーレス無線通信システムとして、人体の動き、および自然エネルギーを利用し発電するハイブリッド電源と低消費電力端末 ZigBee を用いたバッテリーレス無線通信システムを検討している。その中で課題である通信時間の増大を実現するためにキャパシタの充電時間の短縮と放電時間の拡大に取り組んでいる。今回圧電素子と太陽電池を用いたハイブリッド電源、およびその並列動作を可能とする回路構成を提案し、通信時間の増大を実現したので報告する。

2. システムの概要

2.1 バッテリーレス無線通信システムの概要

本システムでは、圧電素子を靴に組み込み歩行時の運動を利用して発電すると同時に、太陽電池を併用するハイブリッド電源によりキャパシタを充電し、このエネルギーで無線端末を動作させ、通信するシステムを検討した(Fig.1 参照)。Fig.1 の Terminal 1, 2 はキャパシタへの充電を終えると Server(Main Terminal)にデータを自動送信。Server は各 Terminal の ID や送信データを受信し、更に受信電界強度から Terminal との距離を知ることができる。また、Server の無線端末は PC などに繋がれており、インターネットに接続する。

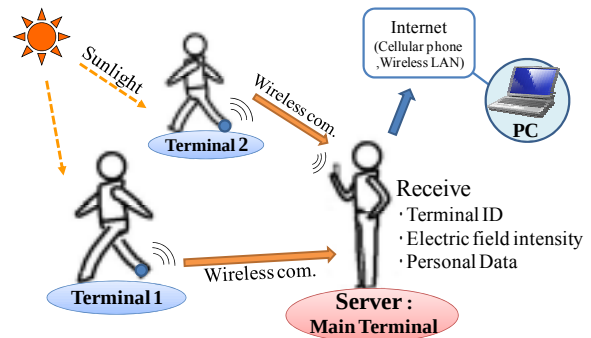


Fig.1 Image of battery-less wireless communication system

2.2 バッテリーレス端末の構成と原理

Fig.2 に本端末の構成図を示し、Fig.3 にキャパシタから無線端末 (ZigBee) への供給電圧特性を示す。充電開始時には SW は off でありキャパシタの充電電圧が V_{max} (ZigBee 定格電圧内で任意に設定) に達すると on となる。この時 ZigBee へ電圧を供給し通信を行う。このように本システムでは Fig.3 に示すように充電と通信が交互に行われるため、通信時間の拡大には、 $T_{on}/(T_{on}+T_{off})$ を高める必要がある。

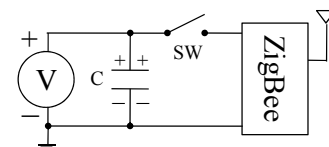


Fig.2 Configuration of Wireless System

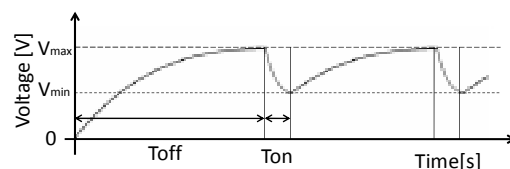


Fig.3 Voltage profile supplied for Wireless System

A Study on Ubiquitous Wireless Communications with Battery-less Terminals
Powered by Piezo/Solar Hybrid System

Hidehiko TOBINAI, Masayoshi TANAKA

2.3 ワイヤレス端末 ZigBee と送信データ

小型ワイヤレス端末として低消費電力端末である ZigBee を使用した。この動作には、2.5V ~ 3.6V の電圧を 50ms 程度保持することが必要である。ZigBee 間の通信距離は見通し約 70m であり、一度の通信に送信できるデータはヘッダ-(端末 ID 等)の 13Byte に加え、任意で 0Byte ~ 111Byte の 1-サ-データをまとめた 1 単位のパケットとして送信する。本研究では 1 パケットを 44Byte とした。44Byte の場合、通信時間は 30ms ~ 40ms となる。

3. ハイブリッド電源の検討

本パケット無線通信システムの実現において、キャパシタの充電時間(Toff)の短縮は通信頻度の向上に重要な課題である。上述のように ZigBee の受信範囲は 70m 程なので充電時間が長いと歩行時に 1 度も通信を行わないで範囲外に出てしまうことが考えられる。そこで圧電素子と太陽電池を併用したハイブリッド電源を使用し、充電時間の短縮を図った。

また圧電素子の欠点として、素子を歪ませていない場合(非歩行時)に発電することができない。また、太陽電池も日照時でなければ発電されない。ハイブリッド電源にすることでこれらの欠点を補うことが可能である。

3.1 ハイブリッド電源の構成

Fig.4 にハイブリッド電源の構成を示す。圧電素子と太陽電池を並列に接続している。この発生電圧でキャパシタを充電する。

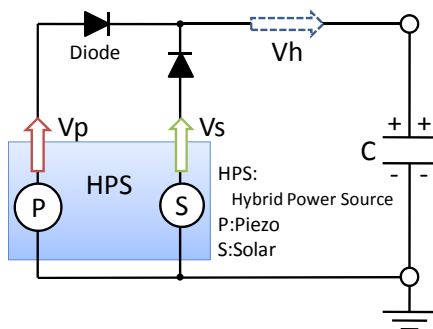


Fig.4 Configuration of Hybrid Power System (HPS)

3.2 ハイブリッド電源の充放電特性の理論解析

Fig.4 の構成において、キャパシタの両端の電圧 V_h は Fig.5 に示すように重畳の原理より圧電素子と太陽電池の電圧の和となる。

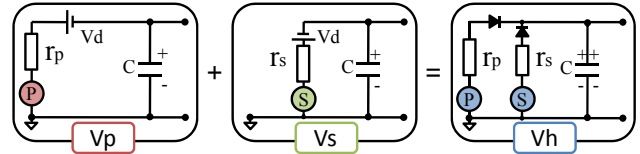


Fig.5 HPS output voltage is expressed by superposition of Piezo and Solar outputs

Fig.5 の V_h は以下の式で与えられる。

$$V_h = V_p + V_s \quad (1)$$

$$= (V_{s_p} - V_d)(1 - e^{-\frac{t}{C r_p}}) + (V_{s_s} - V_d)(1 - e^{-\frac{t}{C r_s}})$$

但し、 V_{s_p}, V_{s_s} : 圧電、太陽電池開放電圧

V_d : ダイオードによる電圧降下

V_h が V_{max} に達する時間 T_{off} は式(1)より次式で与えられる。

$$T_{off} \approx CR \cdot \log_e \left(\frac{V_{sh}}{V_{sh} - V_{max}} \right) \quad (2)$$

但し、

V_{sh} : ハイブリッド電源飽和電圧($= V_{s_p} + V_{s_s} - 2V_d$)

R : ハイブリッド電源内部抵抗($= (r_p + r_s)/2$)

一方、キャパシタ C にワイヤレス端末を接続した時の放電特性は以下の式で表わされる。

$$V = V_{max} \cdot e^{-\frac{t}{CR_l}} \quad (3)$$

但し、 $R_l = V_l / I_l$ とする。 R_l は負荷(ZigBee)の抵抗値であり負荷にかかる電圧 V_l の変化に依存する。

V が V_{min} (Zigbee の動作下限電圧)に達する時間 T_{on} は、式(3)より次式で与えられる。

$$T_{on} = CR_l \cdot \log_e \left(\frac{V_{max}}{V_{min}} \right) \quad (4)$$

3.3 充電特性の実測値

Fig.7 にハイブリッド電源によるキャパシタ充電特性(V_h)、圧電素子単独によるキャパシタ充電特性(V_p) および太陽電池単独によるキャパシタ充電特性(V_s)の実測値を示した。

また、各充電電圧が 3V に達するまでの時間を Table 1 に示した。

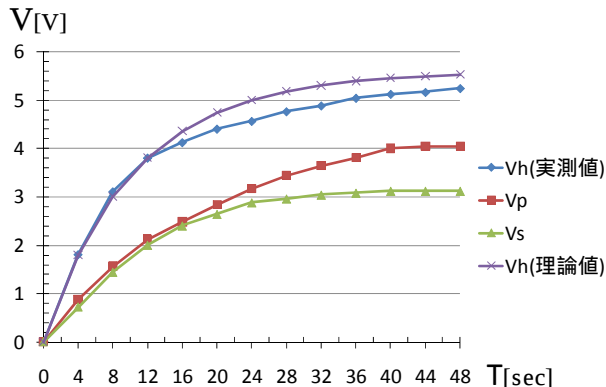


Fig.7 Profile of DC voltage generated from HPS

Table 1 Charging characteristics of hybrid system

Vmax [V]	Required time [sec]		
	Vs	Vp	Vh
3	30	22	8

ハイブリッド電源のキャパシタ充電時間は 8[sec] となり各単独の電源による充電時間と比較すると約 1/3 に短縮された。

また、3.2 の(2)式から $V_{max}=3[V]$ となる時間は $T_{off}=7.93[sec]$ であり理論値と実測値はほぼ一致している。

4. 放電時間を拡大する方法

ハイブリッド電源によりキャパシタの充電特性は向上した。この電源を用いて充電完了したキャパシタを並列に接続することにより、さらに通信時間を拡大する方法を検討した。

4.1 動作回路の構成とスイッチング動作

ZigBee を動作させる並列ハイブリッド回路の原理図を Fig.8 に示す。この構成は、各ハイブリッド電源により C1 と C2 の充電を行い C1、

C2 が共に目標電圧に達すると SW1, SW2 が同時に ON となるものである。充電終了後、C1 と C2 が並列に接続されることから回路全体の容量は $C1 + C2$ と大きくなり式(4)より放電時間が長くなり通信時間は拡大される。この結果 T_{on} は 176[ms]となる。実測値では 160[ms]であり、ほぼ理論通りの値を実現した。

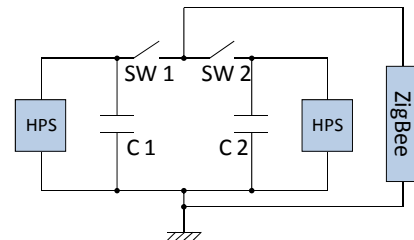


Fig.8 Configuration of Parallel Hybrid power sources for Zigbee terminal

5. 試作システムの性能

5.1 通信能力

Fig.9 に試作した本通信システムの写真を示す。靴のかかと部分に回路を装着している。

本電源により T_{off} は 8[sec]、 T_{on} は並列接続により 160[ms]となっている。

Table 2 に充放電の時間割合を示した。Piezo, Solar と比較し本提案の Hybrid システムにより通信時間割合 $T_{on}/(T_{on}+T_{off})$ [%]が約 3 倍増加したことがわかる。

Table 2 Transmission characteristics of hybrid system

Power Source	Charge Time T_{off} [s]	Transmission Time T_{on} [s]	$T_{on}/(T_{on}+T_{off})$ [%]
Piezo	22	0.16	0.72
Solar	30		0.53
Hybrid	8		1.96



Fig.9 Battery-less wireless System installed in a shoe

Table 3 に本通信システムの通信能力を示す．1 回に送信するデータ量は 88Bytes であり ハイブリッド電源とキャパシタの並列接続回路を用いることで最大 1294Bytes/min が送信可能となった．

Table 3 Transmission ability of hybrid system

Power Source	Transmission frequency /minute	Bytes /minute
Piezo	2.71	477
Solar	1.99	350
Hybrid	7.35	1294

5.2 通信の具体例

1 回に送信可能なデータ量は 88Bytes であり，ヘッダ-(端末 ID 等)の 13Bytes のほかに温度データ等の端末固有のアドロゲータを送信可能である．親機では，この情報とは別に受信レベルから受信電界強度を求めることが可能である．Fig.10 は，受信電界強度と距離の関係を示す実測値である．親機はこの受信電界強度から，子機との距離が把握できる．ZigBee の最大通信距離は見通しで約 70m である．- 90dBm を受信した場合，子機が通信可能範囲の境界付近に存在していると判断できる．

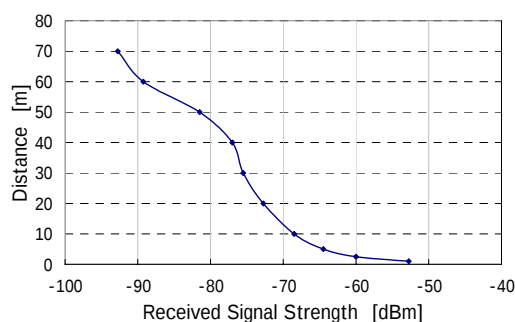


Fig.10 Distance versus received electric field intensity

6. バッテ리스イッチキス通信の適用例

システムの適用例を Fig.11 に示す．幼児がグループで行動する場合，幼児の靴に本 Terminal を組み込み，引率者の ZigBee との間で自動的に通信を行う．引率者の親機は子機からの ID および電界強度情報を受信し，幼児が近くにいるかどうかを確認することができる．更に受信電界強度から，集団を離脱しようとしている幼児を事前に察知することが可能である．

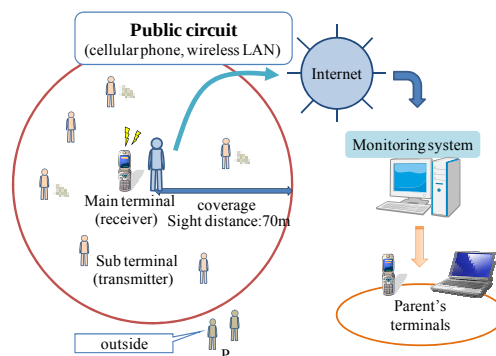


Fig.11 Infant movements monitor system using battery-less ubiquitous terminals

7. まとめ

本研究では，圧電素子と太陽電池を組み合わせたハイブリッド電源を使用しワイヤレス端末を動作させるバッテリスイッチキス通信を検討した．

課題であるキャパシタの充電時間の短縮を検討し，圧電素子あるいは太陽電池単独に比べて3倍の通信時間確保を可能とした．さらに充電完了後に並列接続に切り替える方法によりハイブリッド電源単独に比べ通信時間を約2倍にすることを可能にした．この結果，通信頻度の向上，通信時間の拡大を達成し，本バッテリスイッチキス通信システムの実現性を得た．今後は，一層の電源回路と発電システムの改良，通信時間の向上を検討する．

「参考文献」

- 1) J.Kymiss , C.Kendall , J.Paradiso , N.Gershenfeld : 「Parasitic Power Harvesting in shoes」 IEEE Computer Society Press, pp. 132-139, October 1998.
- 2) 飛内秀典，田中將義:2008 年電子情報通信学会総合大会論文集, B-20-10,p.391(2008)
- 3) 飛内秀典，田中將義:2008 年電子情報通信学会ソサイエティ大会論文集 , B-20-11 , p.392(2008)
- 4) 飛内秀典，田中將義:2008 年電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会論文集，講演番号 60 , p.60(2008)
- 5) 飛内秀典，田中將義:2007 年電子情報通信学会ソサイエティ大会論文集 , B-20-13 , p.392(2007)
- 6) 飛内秀典，田中將義:2007 年学術講演会論文集，2-33 , p.107