

バッテリーレス・ユビキタスワイヤレス通信の検討

日大生産工(院) ○福島 悠平
日大生産工 田中 将義

1. はじめに

ユビキタス社会では、端末を至る所に偏在させ、様々な情報を収集し活用することができる。しかしながら、現在のワイヤレス端末は電池が消耗すると動作せず、頻繁な充電や電池交換はユビキタスの観点から課題が残る。

本研究では、電池を用いず、人体の動きからエネルギーを収集し、近距離無線通信端末Zigbeeを間欠動作させるシステムを提案し、システム構成、回路検討、通信実験を行なった。

2. バッテリーレス通信システムの概要

家電向けの短距離無線通信規格の一つであるZigbeeは、国内では2.4[GHz]帯の周波数を使用し、最高38.4[kbps]の通信速度、最大70[m]の通信距離を持つ。同種の技術であるBluetoothよりも低速で通信距離も劣るが、乾電池2本で数ヶ月～数年間稼動するという低消費電力が最大の特徴であり、通信速度、通信容量が小さい本システムの要件に適している。

Zigbeeの動作には、2.5[V]～3.6[V]の範囲で30[ms]の保持が必要である。

本システムは、Fig.1に示すように圧電素子を含む送信端末を靴に搭載し、歩行時の運動を利用して発電する。これにより得られたエネルギーをキャパシタに充電し、充電と通信を繰り返し行う構成である。

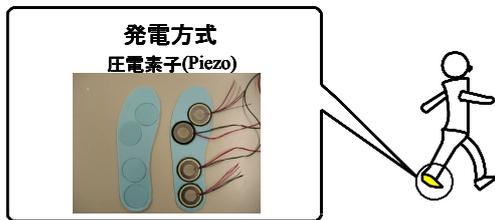
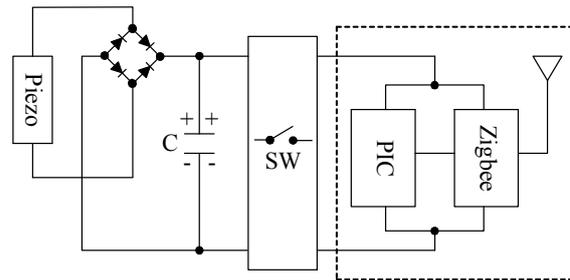


Fig.1 Image of battery-less power system

3. 送信端末

3.1 圧電素子と充放電制御回路

送信端末は、圧電素子、充放電制御回路、間欠動作回路によって構成され、Fig.2にその構成図を示す。



Piezo:圧電素子 SW:充放電制御回路 PIC:マイクロコントローラ
点線部:間欠動作回路

Fig.2 Configuration of transmitter circuit

本システムではバッテリーレス電源として交流最大15.0[V]を出力する圧電素子を使用する。発電された電圧は整流後一度キャパシタに充電され、充電電圧が3.6[V]に到達するとFig.2に示す充放電制御回路のSWがONとなり、キャパシタからZigbeeへ電圧を供給し通信を開始する。その後、電圧がZigbee動作下限値に低下するとSWを開放し、再び再充電に移行する。

Fig.3にキャパシタの充放電特性を示す。圧電素子によってZigbeeを動作させるためには、Zigbeeの動作電圧内で充電と通信を交互に繰り返す充放電制御回路が必要である。

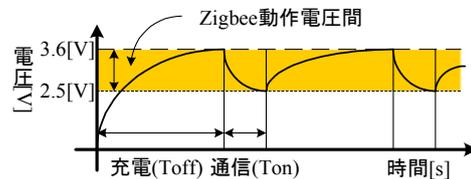


Fig.3 Voltage profile supplied to wireless system

この条件を満たす回路として、スイッチング素子にサイリスタ、ツェナーダイオード、FET等を用いFig.3のような充放電波形を実現した。Fig.4に製作した充放電制御回路のキャパシタ出力波形を示す。

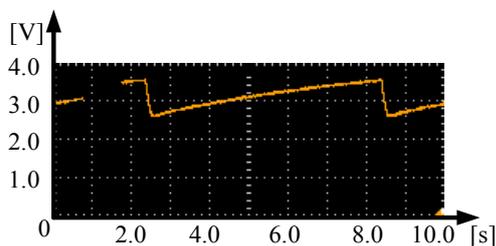


Fig.4 Profile of capacitor voltage

3.2 間欠動作回路

Zigbeeの通信方式はUART(Universal Asynchronous Receiver Transmitter)によるシリアル通信であり、13[Byte]~124[Byte]のまとまった単位のパケットで通信される。以下これをメッセージと呼ぶ。

Fig.5にメッセージのフレームフォーマットを示す。フレームフォーマットは、ヘッダー部分13[Byte]に加え、0[Byte]~111[Byte]の任意のDataを通信することができる。メッセージのヘッダー内には送信端末のシリアルID情報が含まれているので、メッセージの表示の際、端末を特定することができる。

Header 13[Byte]	Data 0[Byte]~111[Byte]
--------------------	---------------------------

Fig.5 Frame Format

本研究では、100[ms]以下の僅かな時間内にZigbeeへの電力供給から通信完了までを行なうことを目標としているため、充放電制御回路のSWがONとなり次第直ちにZigbeeを動作させなくてはならない。

したがって、Zigbeeについても充放電制御回路に対応して通信状態と非通信状態を繰り返す間欠動作回路の検討が必要である。

この問題を解決するため、Fig.6のようにPIC(Peripheral Interface Controller)によって送信コマンドをZigbeeに与える構成とし、Zigbeeの間欠動作を実現した。PICはROMに設計したプログラム通りに動作させることができるマイクロコントローラであり、今回送信端末に搭載するPIC内部には、電圧が供給されると自動でZigbeeに送信コマンドを送るプログラムを設計した。

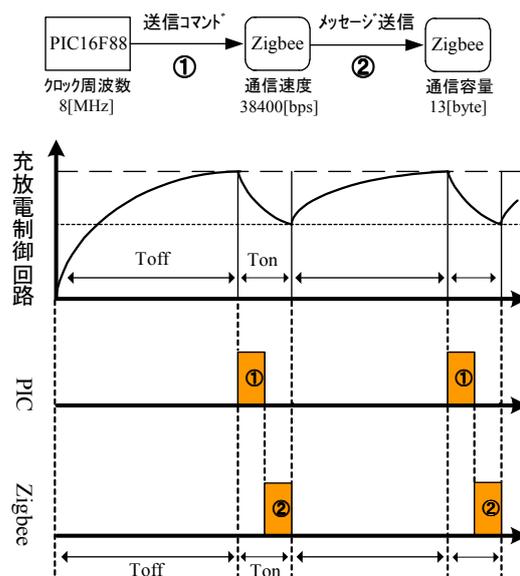


Fig.6 Configuration of intermittent performance

充電完了後、充放電制御回路によってPICとZigbeeに電力が供給されると、PICとZigbeeが起動する。PICのROMにはZigbeeに送信コマンドを送るプログラムが記述され、Zigbeeに絶え間なくコマンドを送る。Zigbeeは、電源が投入されてからメッセージ送信まで30[ms]の立ち上がり時間を要するため、立ち上がり時間を経過した後、PICからのコマンドを受けてメッセージを送信する。

送信されたメッセージは、通信距離内に存在するすべての受信端末にUART送信される。

Zigbeeの通信速度は最高速度の38400[bps]とする。これによりPICのクロック周波数は8.0[MHz]、動作電圧は3.0[V]となった。最小送信容量の13[Byte]のデータを38400[bps]で送信する場合、通信時間は約3.4[ms]となる。よってZigbeeの間欠動作に最低限必要な通信時間は、Zigbeeの立ち上がり時間と合わせて33.4[ms]となる。

送信端末の消費電流はZigbeeが通信時約45[mA]、PICがクロック周波数を8.0[MHz]としたとき約1.8[mA]となり、送信端末全体の消費電流は46.8[mA]、消費電力140.4[mW]となる。

この場合、Zigbeeの間欠動作に最低限必要な通信時間33.4[ms]を満足するキャパシタ容量は約607[μF]であり、圧電素子の出力を5.0[V]とした場合、充電時間は約3.66[s]となる。よって本間欠動作システムはバッテリーレス通信として十分適用可能といえる。

4. 受信端末とメッセージ表示アプリケーション

4.1 受信端末

受信端末は,Zigbee,信号レベル変換ICによって構成され,Fig.7にその構成図を示す。

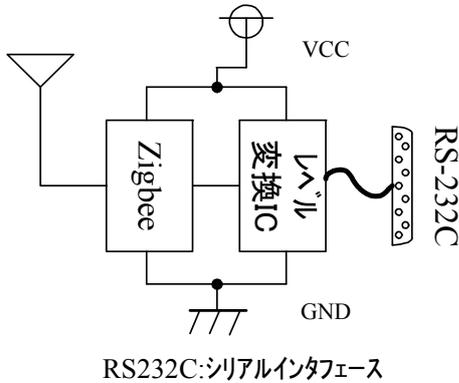


Fig.7 Configuration of receiver unit

受信端末が受信したメッセージは,ASCIIデータとしてPCに送信される.PCにデータを伝送するシリアルインタフェースとして,RS-232Cを使用し,PCと接続する。

UARTとRS-232とのレベル変換ICにはチャージポンプ昇圧回路が内蔵されており,外付けコンデンサを接続することで3.0[V]で動作させることができる。

受信端末にはPICを使用せず,受信したメッセージの処理はメッセージ表示アプリケーションにて行なう構成とした。

受信端末はPCと接続することを想定し,USBあるいはRS232Cのバスパワーから電力を供給することができるので電力面での懸念は無い。バスパワーの電圧はUSB,RS-232Cともに5.0[V]であるので,三端子低電圧レギュレータを用いて電圧の供給を3.3[V]一定とした。

4.2 メッセージ表示アプリケーション

Fig.8に構成図を示す。

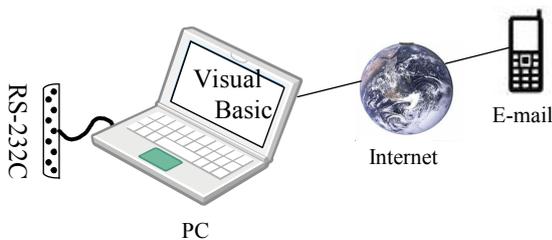


Fig.8 Configuration of network system

受信端末から出力されたメッセージは,RS232CケーブルによりPCに取得され,メッセージ表示アプリケーションがメッセージの処理,表示,保存,E-mail転送などを行なう。製作したアプリケーションはVisual Basic 6.0を使用した。シリアルポートの制御にはActiveXを用い,MSCommコンポーネントにより通信を行なっている。

アプリケーションを起動させたPCが受信端末からメッセージを取得すると,メッセージ全体から送信者ID情報のみを表示させる。

メッセージ表示アプリケーションでは,受信地点名とE-mailアドレスを登録しておくことで,受信結果(受信時間,受信地点,送信者ID)をアドレス先にインターネットを介して自動でE-mail送信することができる。また,受信結果をテキストデータに自動保存する機能も付加した。

E-mailの転送手段として,本システムではWindows Outlookを使用した。

5. 通信試験

5.1 間欠動作通信試験

Fig.9のように,間欠動作回路,Fig.7の受信端末, Fig.8のネットワークシステムを用いて通信試験を行なった。送信端末側は圧電素子と充放電制御回路は搭載せず,定電圧電源を使用した。

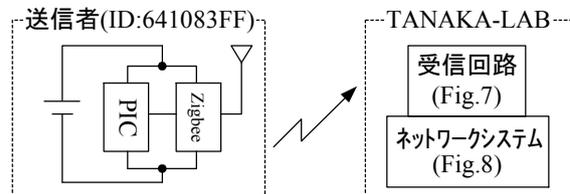


Fig.9 Test configuration

間欠動作回路に電源を入れると,ZigbeeとPICに電力が供給され,PICからの送信コマンドによりZigbee間で通信が行なわれる。そしてメッセージ表示アプリケーションに受信結果を表示させることを実現した。

Fig. 10に表示された通信結果(Result欄のみ抜粋)を示す。

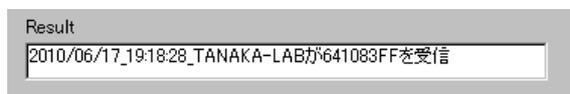


Fig.10 Result of communication test

間欠動作回路に電源を加えると瞬時に受信結果が表示される結果となった。これにより僅かな通信時間でも通信が行なえることを確認し、同時にZigbeeの間欠動作を実現した。

5.2 キャパシタ容量の決定

続いて、間欠動作通信試験から、電源を定電圧電源から3.6[V]の電圧を帯電させたキャパシタに変更し通信試験を行なう。定電圧電源から供給される直流波形の電圧から、Fig.6のような充放電波形の電圧でも通信を行なうことができるかを検討した。

また3.2項において、Zigbeeの間欠動作に最低限必要な通信時間33.4[ms]を満足するキャパシタ容量は約607[μF]であるとした。しかしこの値は理論値であるため、キャパシタ容量を変化させて実測で通信できる最小通信時間を確認する必要がある。

Table 1に各キャパシタ値における放電時間、充電時間、通信の可否を示し、Fig.11にZigbeeに加えた電圧波形を示す。

Table 1 Communication test result

キャパシタ容量 C[μF]	放電時間 Ton[ms]	充電時間 Toff[s]	Data [Byte]	通信可否
1000	55.1	6.02	83.3	可
660	36.3	3.98	1.0	可
470	25.9	2.83	NA	不可

Table 1より、1000[μF]のキャパシタを間欠動作回路に接続すると、間欠動作通信試験同様、メッセージ表示アプリケーションにFig.10のような受信結果が表示された。

これにより、本間欠動作回路は充放電波形の電圧供給に対応し、バッテリー通信の回路システムとして十分適用可能といえる結果となった。55.1[ms]の豊富な通信時間を確保できるため、Headerに加えて83.3[Byte]のDataを付加することが可能である。

その後キャパシタ容量を変化させていくと、C=660[μF]が通信に成功した最小の値となり、それ以下のキャパシタ容量では放電時間が不足し通信失敗となった。よって実測値で最低限必要な通信時間は36.3[ms]となり、本バッテリーシステムの充電時間は約3.98[s]となった。

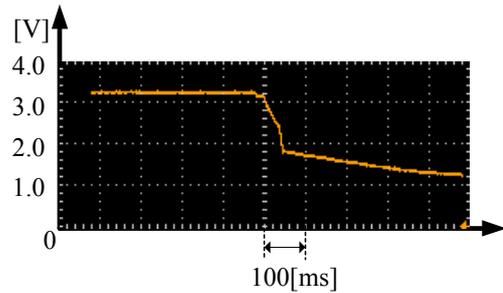


Fig.11 Voltage profile supplied to the proposed system

6. まとめ

本研究では、バッテリーレスエッジデバイス通信を実現するため、圧電素子の出力を効率的に端末に供給する充放電制御回路、バッテリー固有の間欠動作を実現するシステム構成及びその制御ソフトウェア、受信端末の回路構成、メッセージ表示アプリケーションを検討した。

バッテリー実現において大きな課題であるZigbee電源の間欠動作については、電圧供給直後にZigbeeへ送信コマンドを自動送信する役目をPICマイコンによって実現させた。間欠動作回路は充放電波形の電圧供給に対応し、バッテリー通信の回路システムとして十分適用可能といえる。

本バッテリー通信システムは36.3[ms]の通信時間から動作可能であり、約3.98[s]にて充電を完了させることができる。

今後は、圧電素子を含めての通信試験、靴への実装を含めた総合通信試験を実施し、本システムのバッテリーレスエッジデバイス通信システムへの実現性を明らかにする。

参考文献

- 1) 富森 英樹, エッジデバイス無線センサネットワークの構成法の研究 平成 18 年度卒業論文
- 2) 飛内 秀典, 圧電素子を電源とするエッジデバイス無線端末の研究 平成 18 年度卒業論文
- 3) 吉野 直樹, エッジデバイス・無線ネットワークの研究 平成 18 年度卒業論文
- 4) 飛内 秀典, 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エッジデバイス無線通信システムの研究 平成 20 年度修士論文
- 5) 福島 悠平, バッテリーレスエッジデバイス無線通信システムの研究 平成 21 年度卒業論文
- 6) 後閑 哲也: 改訂版電子工作のためのPIC16F活用ガイドブック(技術評論社)
- 7) Evangelos Petroustos: Visual Basic 6.0 パーフェクトガイド(翔泳社)
- 8) 飛内 秀典, 田中 將義: 信学会総合大会, B-20-2, p.606, 2009