

環境電磁波をエネルギー源とするユビキタス・ワイヤレス通信の検討

日大生産工(院) ○大窪 健作
日大生産工 田中 將義

1. はじめに

今現在「いつでも、どこでも」通信を行えるワイヤレス通信が浸透している。しかしワイヤレス通信端末は電池が消耗すると動作せず、バッテリー交換等の手間を考えると活動範囲が限定されてしまい「どこでも」という観点から課題が残る。

この問題を解決するにあたって、本研究では通信に必要な電力を得るために環境電磁波の利用(energy harvest)に着目した。環境電磁波とは我々に周囲に飛び交い、受信されず無駄になっている携帯電話やラジオの電波、電源ラインから発生するノイズ等である。通信に環境電磁波を利用して電力を供給できれば、バッテリーレス・ユビキタス・ワイヤレス通信が可能となる。

2. 本研究の適応例

本検討では構造物において突然の倒壊直前の異常を検知してアラームと自動送出するシステムを念頭に置いて、構造物の倒壊には前兆が見られており、傾き、振動等が前兆として挙げられる。

この前兆を察知し、周辺の利用者にアラームを通知するシステムである。この構成ならば二次災害を防ぐシステムである。通例、これらの前兆を検知するセンサは、高所や構造物の内部に設置するために、人の手が届かず、バッテリーの保守は容易でない。バッテリーレス・ワイヤレス端末が実現すれば保守が簡単となり、利便性が向上する。

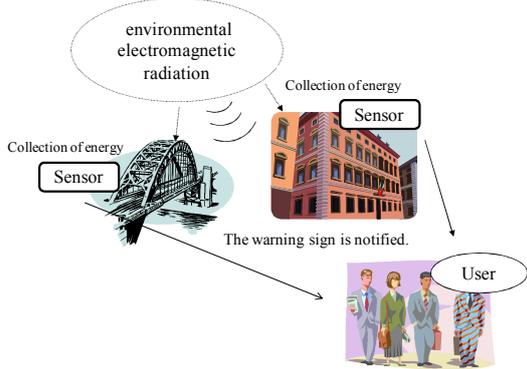


Fig.1 Warning system using battery-less ubiquitous wireless terminals

3. 環境電磁波を利用したユビキタス通信システム概要

3.1 環境電磁波の周波数成分の測定

室内で観測した環境電磁波のスペクトラムをFig.2に示す。

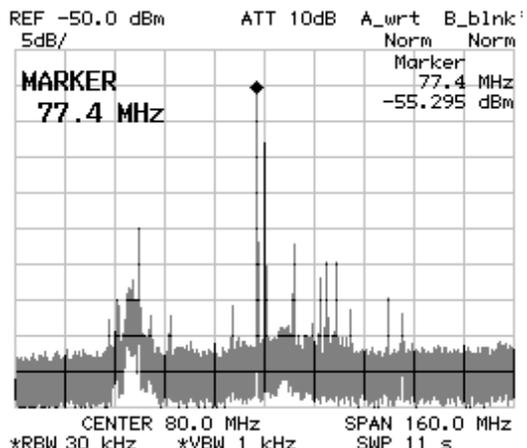


Fig.2 Spectrum of environmental electromagnetic radiation (Indoor)

測定結果から環境電磁波の主成分20[kHz]から100[kHz]と80[MHz]帯である。と周波成分が分かった。今回は20kHzから100kHz帯の周波数帯の回収を目指した。

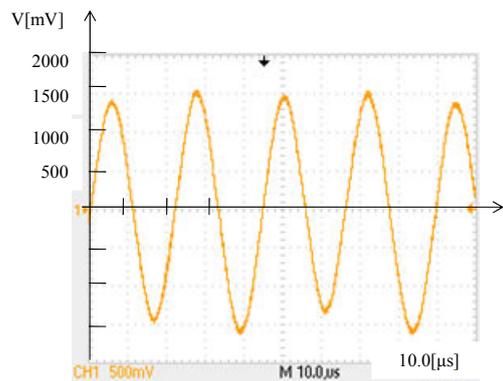


Fig.3 Output voltage obtain from energy harvest

A Study on Ubiquitous Wireless Communication Energy-harvesting
Environmental Electromagnetic Radiation Power

Kensaku OKUBO and Masayoshi TANAKA

また環境電磁波のアンテナの出力電圧を測定した結果をFig.3に示す.

3.2 アンテナの検討

20kHz~100kHz帯の低い周波数成分を回収するアンテナの検討を行った.
今回は検討したアンテナをFig.4, Fig.5に示す.

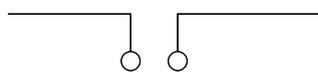


Fig.4 Straight line type antenna

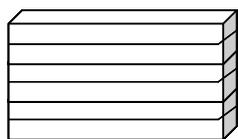


Fig.5 Loop antenna

3.3 回収したエネルギーの蓄積方法

今回はバッテリーレスでの通信を目指しているためキャパシタにアンテナから回収したエネルギーを一旦充電し,それを電源として用いる形式をとる. Fig.6にバッテリーレス通信端末用電源の構成図を示す.
この際環境電磁波は交流であるため整流回路を通じてキャパシタ充電する形式をとる.

今回受信することができた低い周波数成分である9kHz~100kHzの周波数帯の電圧を高めるためにトランスを用いた. Table.1に10[μF]のキャパシタを使用した充電電圧の過度現象を示す.

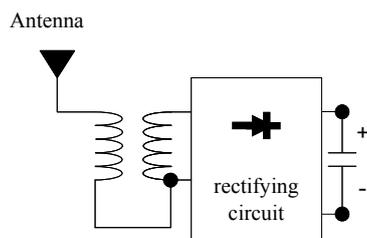


Fig.6 Power supply for wireless terminal

Table.1 Output voltage produced form environmental electromagnetic radiation

Kind of antenna	Output voltage [V]
Straight line type antenna	8.0
Loop antenna	0.9

ループアンテナでは鎖交する磁界により起電力を発生させるため,低い周波数では回収効率が悪い結果となった.

ここでStraight line type antennaの出力インピーダンスをキャパシタに充電する際の充電波形から算出した.

Fig.7にStraight line type antennaを用いたキャパシタ充電波形(実測波形)を示す.

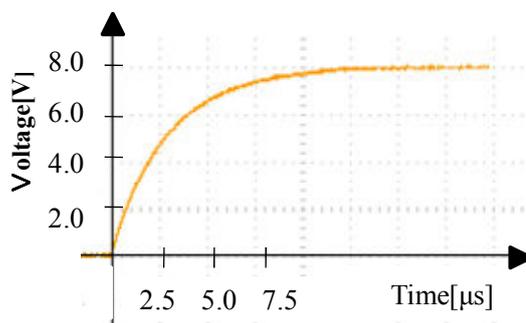


Fig. 7 Capacitor charging characteristics using environmental electromagnetic radiation

キャパシタが充電する時の波形は以下の式で与えられる.

$$V = V_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{CR}} \right) \quad (1)$$

$$\frac{dV}{dt}(t=0) = \frac{V_0}{CR} \quad (2)$$

Fig3.5の直線型アンテナを用いて8.0[V]を実現している実測波形から上記の式を用いてアンテナの出力インピーダンスを算出した.
計算の結果アンテナの出力抵抗の大きさは約400[kΩ]であることが分かった.

4. バッテリーレス・ワイヤレス端末の検討

本研究では環境電磁波をアンテナから受信しキャパシタを充電し,この電圧でワイヤレス通信端末を動作させる構成である.

Fig.4.1に本システムの構成図を示す.

ただし,電圧は持続的に通信端末の電力供給出来ないため行うことで通信端末を間欠動作させ通信する. Fig.8にイメージ図を示す.
SW1,SW2のON-OFFの切り替えにより無駄なく充電を行い,効率よく通信する方式となっている.

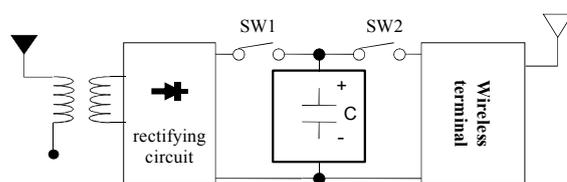


Fig.8 Configuration of battery-less wireless terminal

小型ワイヤレス通信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 $V_{min}=2.5[V] \sim V_{max}=3.6[V]$ の電圧を50[ms]程度保持する必要がある. この端末の通信距離は見通し約70[ms]である. Fig.2にキャパシタからZigbeeに供給する電圧の理想的な出力波形を示す.

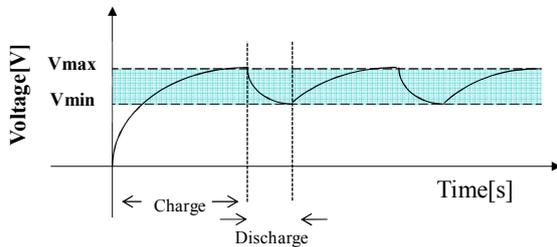


Fig.9 Ideal voltage profile supplied to wireless Terminal

充電, 放電を効率よく行うために充放電制御回路を検討した. 回路の作成にはツェナーダイオード, サイリスタ等を用いた.

作成した回路での実測波形をFig.10に示す.

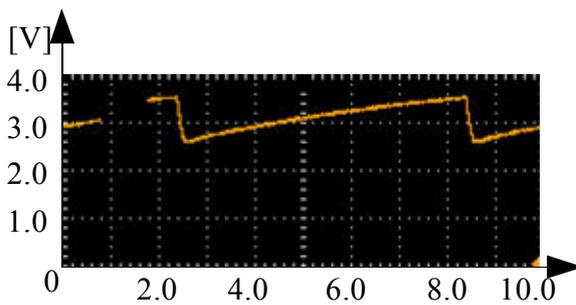


Fig.10 Voltage waveform of charging and discharging capacitor.

アンテナの出力インピーダンスの値から電圧保持がZigbee動作に必要な50[ms]保持できるキャパシタ容量の算出を行った. この本研究のワイヤレス通信において, 充放電制御回路に属しているキャパシタ容量によって通信頻度が決定される. 充電と通信が交互に行われるため, 通信時間の拡大には, 充電時間 (T_{charge}) と通信時間 ($T_{discharge}$) で示すと

Duty Ratio = $T_{charge} / (T_{charge} + T_{discharge})$ で表わすことができ, この数値を高めることが必要である. 下記の式を用いて計算を行った.

$$T_{charge} = C1 \cdot Ra \cdot \log e \left(\frac{Vh}{Vh - V_{max}} \right) \quad (3)$$

$$T_{discharge} = C2 \cdot Rz \cdot \log \left(\frac{V_{max}}{V_{min}} \right) \quad (4)$$

$$Duty \text{ ratio} = \frac{T_{on}}{(T_{on} + T_{off})} \propto \frac{C2}{C1} \quad (5)$$

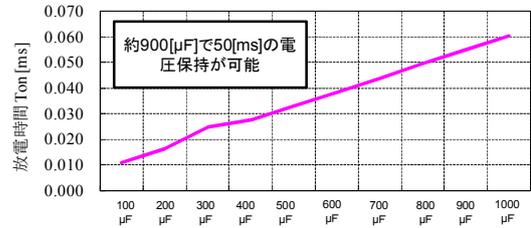


Fig.11 Discharging time versus capacitor volume ($C1=C2$)

$Vh = 8[V]$ (open-circuit voltage)
 $V_{max} = 3.6[V]$
 $V_{min} = 2.5[V]$

最低でもキャパシタ容量が900[μF]以上であればZigbeeを動作させることが可能である.

5. 充電時間の短縮に向けた検討

本システムでは通信頻度を高める必要がある. そこで方式として直並列スイッチング回路を検討した. この方式は充電の際は同キャパシタ量のコンデンサを二個充電する形式をとる.

この形式ならば全体のキャパシタ容量が半分となり, 充電時間が半分となる. またこのままで通信を行ってしまうとキャパシタ量が半分のままなので通信時間も半分となるので通信の際は充電したキャパシタを並列に接続することによって合成キャパシタ容量を2倍して放電時間の拡大を目指す構成である.

また, この構成なら供給電圧の分圧が可能であるためZigbeeの耐圧電圧以上の電圧がかかることも回避できる.

実際回路構成に基づいて回路を作成した.

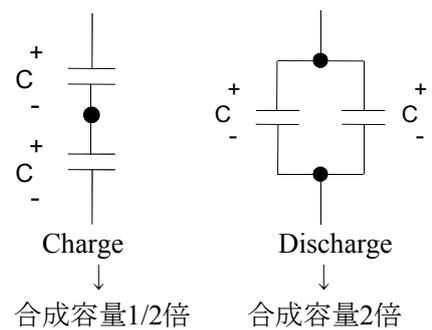


Fig.12 Configuration of Series/parallel switching circuit

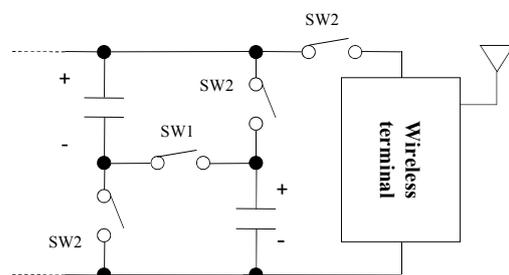


Fig.13 Series/parallel switching circuit

$R_z=150[\Omega]$ (Zigbeeの入力インピーダンス)
 $R_a=400[k\Omega]$ (アンテナの出力インピーダンス)
 キャパシタ容量C1とC2の通信頻度 (Duty Ratio) の比較を行った。

Fig.14 にキャパシタ容量に応じた理論値計算結果を示す。理論値上, Duty ratioが約4倍の効率変化を示すことが出来た。

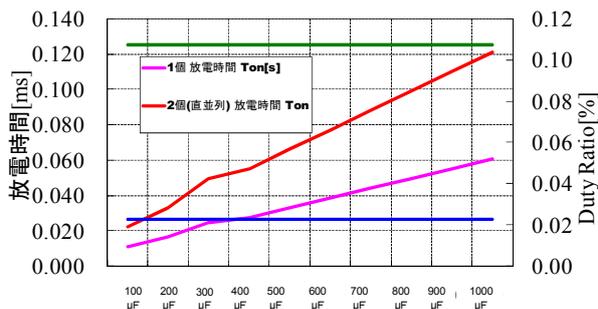


Fig.14 Discharging time and duty ratio versus capacitor volume

ここで先ほど求めた最低キャパシタ容量900[μF]においてのC1とC2での通信回数の比較を行った。Table2に理論値計算結果を示す。

C1では Capacitorでは約4分に1回の通信が可能。

C2においては約1分間に1回の通信が可能となり, 実用的な数値となったのでシステム実現の見通しがたった。

Table2 Comparison of duty ratio for several capacitor values

Amount of capacitor C1[μF]	One capacitor		Duty Ratio[%]
	charge time[sec]	discharge time[sec]	
450	108.3	0.025	0.02
900	216.7	0.050	0.02

Amount of capacitor C2[μF]	Series - Parallel circuit		Duty Ratio[%]
	charge time[sec]	discharge time[sec]	
450	46.19	0.050	0.11
900	92.38	0.099	0.11

7. まとめ

環境電磁波からエネルギーを回収するため, アンテナで集めたエネルギーを充電する回路の検討を行った。

最大8.0[V]の出力電圧の確保ができたため, Zigbeeの動作が可能である見通しを得た。

キャパシタ容量の最適化により, キャパシタ容量最低限900[μF]あれば通信が可能であることが分かった。

最低キャパシタ容量900[μF]においてのC1, C2との比較を行った結果, C1では4分に1回の通信が可能であり, キャパシタの直並列変換回路を用いると約1分間に1回の通信が可能となり, 実用的な数値となり, システム実現の見通しがたった。

今後は Zigbee を含めた通信試験の検討を行う。

参考文献

- 1) 富森 英樹「エッジレスワイヤレス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) 井上 恭史「環境発電をエネルギー源とするエッジレス・ワイヤレス通信の研究」(平成20年度 卒業論文)
- 3) 皆川 瑛「環境発電をエネルギー源とするエッジレス・ワイヤレス通信の研究」(平成20年度 卒業論文)
- 4) 飛内 秀典「圧電素子を電源とするエッジレス・ワイヤレス端末の研究」(平成20年度 修士論文)
- 5) 大窪 健作「環境電磁波を用いたエッジレス・ワイヤレス通信の研究」
- 6) Zigbee 開発ハンドブック (実践入門ネットワーク) 著者 鄭立 (出版社 リックテレコム)