

被災者救出用バッテリレスワイヤレス通信システムに関する研究

日大生産工(院) ○渡邊 啓佑 日大生産工 田中將義

1 まえがき

スマートフォンなどの携帯端末や近距離ワイヤレス通信は日常不可欠な通信手段となってきた。

しかし、スマートフォンなどの携帯端末の使用には、バッテリが必要であり、さらに通信網のインフラ設備の稼働が前提である。非常災害時に、インフラの通信遮断やバッテリ切れが発生すると被災者は救援要請の通信手段を失う。著者らは、この問題に対処するため非常災害時用のバッテリレスワイヤレス通信システムを提案し、災害時の電力インフラと通信インフラの遮断時でも通信が可能な被災者救出用バッテリレスワイヤレス通信システムを提案している⁽¹⁻⁴⁾。さらに、屋内外に関わらず被災者の位置を推定する機能を附加したバッテリレスワイヤレス通信システムの検討を行った。

2 本バッテリレスワイヤレス通信システムの概要

図1に被災者救出用バッテリレスワイヤレス通信システムのイメージを示す。

本バッテリレス通信は、非常時に被災者が安否情報を、周辺を巡回する救助隊に送信することを想定している。本システムでは、手動発電器を用いて端末のキャッシュを充電し、このエネルギーを用いて自動的に被災者識別用のIDと選択したメッセージを送信する。救助隊側では、送信情報を異なる3点の位置の中継局で受信し、受信情報に各地点のGPSデータと受信強度を追加し、親局に送信する。親局は3点から受信した情報を基に被災者の位置情報を推定する。被災者の位置を推定した救助隊は送信元にアンサーバック(ACK)を返す双方向通信により、被災者は救助要請が無事救援隊に通知できたことを確認することができる。

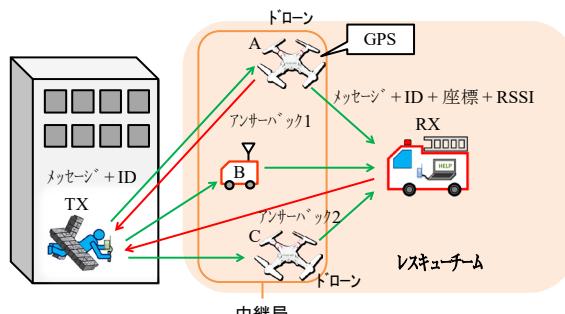


図1 被災者救出用バッテリレスワイヤレス通信システムのイメージ

3 バッテリレスワイヤレス通信システムの構成

本端末の構成図を図2に示す。手動充電器、充放電制御回路、小型プロセッサ(PIC)，無線端末(TX)，送信確認用LED，受信確認用LEDとPICに接続されたメッセージ選択と受信状態切り替え用のDIPスイッチから構成される。

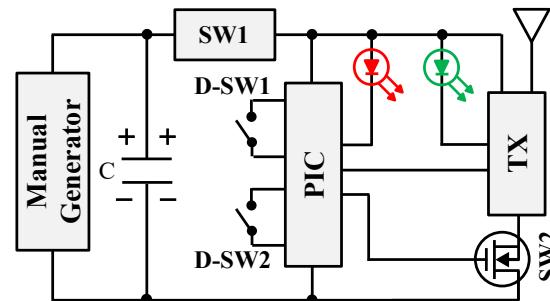


図2 PIC制御型バッテリレスワイヤレスシステム構成図

図3に示すように、本システムでは、手動発電器により充電されたエネルギーを有効利用するため、SW1, SW2とPICで構成された充放電制御回路により、キャッシュへの充電と端末の動作電圧範囲内での放電(通信)の切り替えを自動で行う。したがって、本端末で通信を行う際に被災者が行う操作は、手動発電器で充電を行い、DIPスイッチ1 (D-SW1) にて送信するメッセージを選択、情報送信後にDIPスイッチ2 (D-SW2) により被災者位置推定完了通知の受信に備える状態に切り替えるのみであり、その他は自動で送受信動作する。

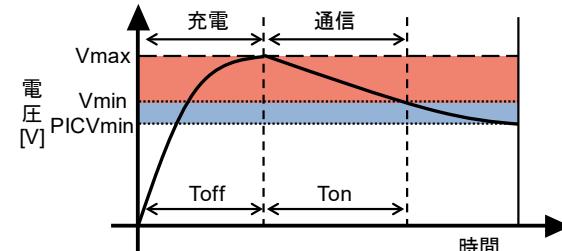


図3 充放電プロファイル

Study on Battery-less Wireless Communication System for Rescue Victim

Keisuke WATANABE, Masayoshi TANAKA

4 動作シーケンス

本システムの動作シーケンスを図4に示す。

通信時のシーケンスは以下のようになっている。

- ① 端末（子機）の充電完了後、PICに電源が投入され、PICからのコマンドによりTXの電源が投入される。
- ② TXの後、DIPスイッチによって選択されたメッセージとID、送信元アドレスを3点の中継局に送信する。
- ③ 被災者から情報を受信した中継局は、被災者にACKを返す。受信確認用LEDによりACKを確認した被災者は、ACKのみ送信する状態（受信状態）に切り替え、後の位置推定完了通知受信に備える。
- ④ 中継局はACKを返した後、受信した情報にGPSにより取得した各地点の座標と受信強度を追加し、1つの受信局に送信する。受信局は3点の中継局から受信した情報を基に被災者の位置を自動的に推定する。
- ⑤ 被災者の位置の推定が完了した救助隊は、被災者に対し位置推定完了通知を被災者からのACKを確認するまで繰り返し送信する。

被災者は受信状態に切り替え後に受信確認用LED点灯を確認することにより、救助隊要請が通知できたことを確認することができる。

本システムの救助要請に必要な時間は、2.2[s]である。

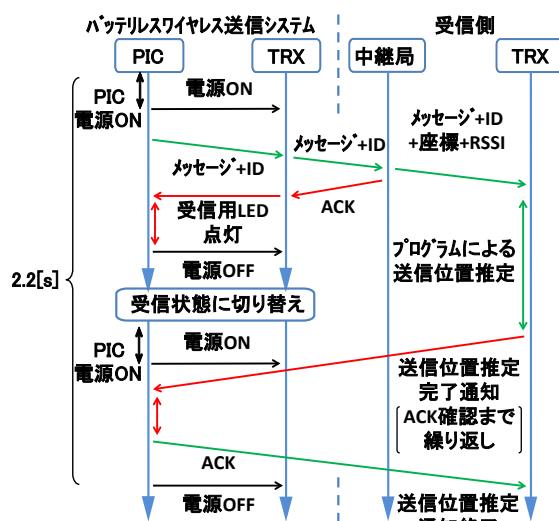


図4 被災者救出用バッテリレスワイヤレス通信システムの動作シーケンス

5 充電用キャパシタ容量

本送信システムで使用する充電用キャパシタの充電時間 T_{off} は式(1)、放電時間 T_{on} は式(2)で求められる。

$$T_{off} = CR_1 \cdot \log_e \left(\frac{V_s}{V_s - V_{TX,max}} \right) \quad (1)$$

$$T_{on} = CR_2 \cdot \log_e \left(\frac{V_{TX,max}}{V_{TX,min}} \right) \quad (2)$$

C : キャパシタ容量

T_{on} , T_{off} : 放電時間, 充電時間

R_1 : 発電器の内部抵抗

$V_{TX,max}$, $V_{TX,min}$: 動作間電圧の上限と下限値

R_2 : 負荷抵抗

V_s : 発電器の解放電圧

図5に、出力抵抗:7.3 [Ω]、解放電圧:5.8 [V]の手動発電器を使用した時の充電用キャパシタの容量と充放電時間の関係を示す。

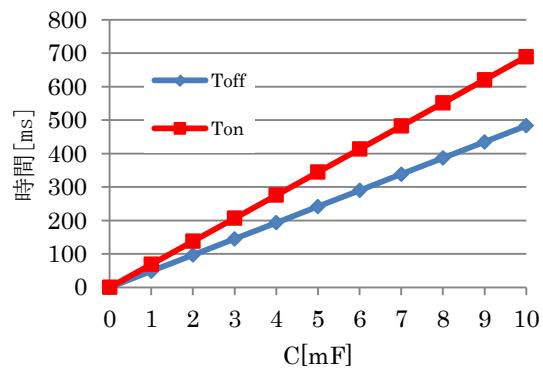


図5 キャパシタ容量と充放電時間の関係

本システムの通信時間 T_{on} （放電時間）に対応したキャパシタ容量を用いることで最小限の充電時間で通信を行うことができる。

本システムは送信するメッセージのデータ量によって図4の送信時間、返信コマンド、返信の時間が変わり、その結果通信時間も変わる。

図6に送信メッセージ量と本システムの充放電時間 $(T_{off} + T_{on})$ の関係を示す。

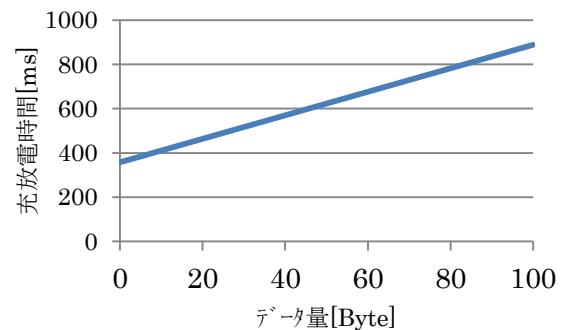


図6 送信データ量と充放電時間の関係

6 伝送情報とフレーム構成

本システムが送信する情報のフレーム構成を図7に示す。

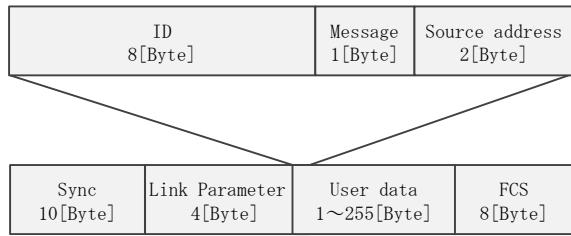


図7 送信情報のフレーム構造

送信するメッセージのフレームフォーマットは、オーバーヘッドの22[Byte]に加え、1~255[Byte]の任意のメッセージを送信することができる。オーバーヘッドの構成は、送受信の同期をとるためのSyncが10[Byte]、Link Parameterが4[Byte]、Link Parameterとは、本システムが使用しているTXが送信先を決定するための複数のIDである。そしてエラーを検出する8[Byte]のFCSで構成されている。

ユーザーデータには最大255文字のメッセージを選択することができるが、User dataのデータ数が大きいほど充電時間が長くなるため、データ数は可能な限り小さいことが望ましい。そのため、送信するデータ数は、送信者を特定するためのIDが8文字、送信者の状況を伝えるためのメッセージ1文字、送信端末のアドレス2文字の合計11文字のユーザーデータの送信を検討している。8文字の送信者IDは32進数を用いることにより最大で12桁のIDを表すことができる。

メッセージに使用する1文字(a,b,...h)は、表1のように送信する1文字のメッセージに対応した内容を予め決めて、送信に使用するデータ数を最小限にし、被災者の状況に応じたメッセージを救助隊側に送信することができる。

表1 救助メッセージパターンの例

メッセージ	場所	内容
a	屋内	怪我をしている
:		:
d		複数人いる
e	屋外	怪我をしている
:		:
h		複数人いる

送信するメッセージ1文字は図8に示すようにPICに接続された複数のDIPスイッチのON、OFFの組み合わせにて決定することができる。

PICには多数のDIPスイッチを接続することが可能であるが、本システムの回路の小型化のため、図8のように本システムに使用するDIPスイッチは3個程度を検討している。

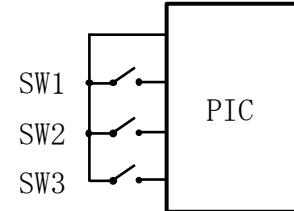


図8 メッセージ選択スイッチ

7 被災者の位置推定方法

受信強度と通信距離の関係を図9に示す。見通し通信時と建物が密集した地域での伝搬状況が大きく異なる。このため本システムでは、二つの状況に対応するために、被災者が周囲の状況を親局に知らせる方法とした。

以下に被災者が建物内にいる場合の位置検出方法を示す。

- ① 被災者は居場所の状況（屋内/屋外）を端末スイッチ（図2のD-SW1）にて救助隊に送信。
- ② 救助隊は、送信者のメッセージから屋内/屋外を判別し、該当の受信強度と通信距離の関係を選択。
- ③ 救助隊は被災者との距離を推定、被災者の位置を検出。

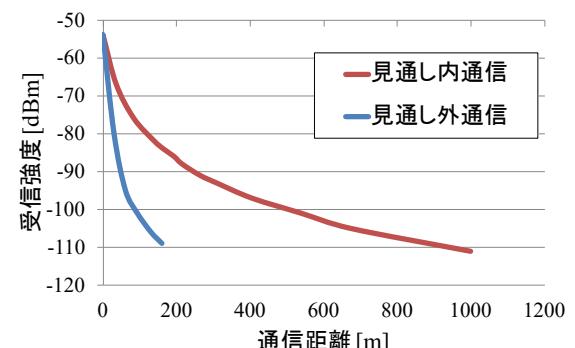


図9 受信強度と通信距離の関係

8 実験結果

8.1 通信性能実験

通信試験として、本通信システムを表2の通信条件にて市街地、平地、TXを土の中に30[cm]埋めた状態の3つの環境で親機との通信を行った。

通信条件を表2、通信試験結果を表3に示す。

本システムの通信に必要な平均消費電力は151[mW]であるが、この消費電力は、出力抵抗:7.3[Ω]、解放電圧:5.8[V]の手動充電器を一握りす

ることで充電できる電力量で充分通信できる電力量である。

表2 通信条件

情報	11 characters
周波数	429 [MHz]
送信電力	10 [mW]
送信速度	4800 [bps]

表3 通信性能

情報	11 characters
通信時間	246 [ms]
通信距離	市街地 800 [m]
	平地 1800 [m]
	土の中 500 [m]
平均消費電力	151 [mW]
空中線電力	10 [mW]
充電時間	170 [ms]

本システムでは、通信が終了時に自動で電源をOFFにするが、その際、充電用キャパシタに余ったエネルギーは次回の通信に再利用される。

7.2 見通し内通信での送信位置推定実験

本システムを用いて見通し内通信での送信者TXの位置を推定する実験を郊外にて行った結果を図10に示す。

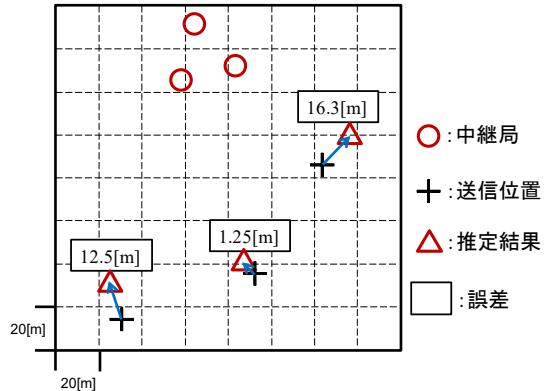


図10 見通し通信での被災者位置推定実験結果

郊外にて見通し通信内での送信位置検出実験を行った結果の位置推定誤差は1 ~16 [m]であった。

7.3 見通し外通信での送信位置推定実験

本システムを用いて見通し外通信での屋内の送信者TXの位置を推定する実験を行った結果を図11に示す。

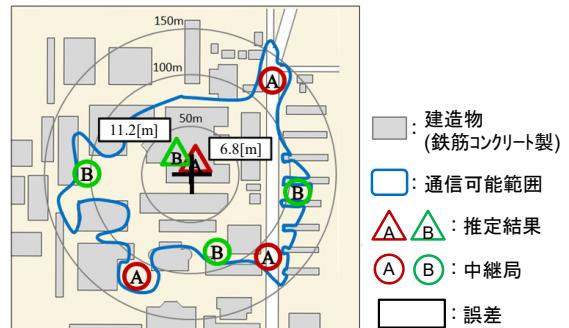


図11 建物密集地の屋内にいる被災者位置推定実験結果

建物密集地にて通信可能範囲を測定した結果、最大180 [m]であり、送信位置検出実験を行った結果の位置推定誤差は7 ~11 [m]であった。

9まとめ

本研究では、災害時の電力インフラと通信インフラの遮断時に被災者が通信手段を失う問題に対処するため、手動発電器、充放電制御回路、PICによりTXを間欠動作させ、被災者の負担を減らすため、最小限の操作によって通信を行うことができる被災者救出用バッテリレス通信システムの検討を行った。

151 [mW]の消費電力で市街地で800 [m]、平地で1800 [m]、送信側を30 [cm]土に埋めた状態での通信では500 [m]の通信が可能なバッテリレスワイヤレス通信システムを用いて、見通し内通信での送信位置を1~16 [m] の範囲、見通し外通信では7~11 [m]の範囲で推定することができた。

11文字のメッセージを送信する場合、通信時間251 [ms]、充電時間170 [ms]と充電から通信まで短時間で行うことが可能であることを明らかにした。また、DIPスイッチにてメッセージを選択することにより、被災者が簡単な操作で状況を救助者に伝達し、状況適した通信距離と受信強度の曲線を選択することにより位置の推定の精度向上を可能にしている。

今後は、推定可能範囲の拡大方法と充電器の小型化などの充電方法の検討を進めていく。

「参考文献」1.渡邊啓佑, 田中将義, 信学会総合大, B-18-64, 2016, 2.渡邊啓佑, 田中将義, 信学会サエティ大, B-18-7, 2016, 3.福島悠平, 田中将義, 信学会総合大, B-19-10, 2012, 4.福島悠平, 田中将義, 信学会サエティ大, B-19-31, 2011