

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 21 日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21710165

研究課題名（和文）生体モニタリングと災害時の捜索救助を目的とする無線タグ

研究課題名（英文）RFID for medical monitor and disaster relief

研究代表者

渡邊 浩太（WATANABE KOTA）

北海道大学・大学院情報科学研究科・助教

研究者番号：20322828

研究成果の概要（和文）：本研究は、電波式パッシブ無線タグと温度センサ等のセンサを組み合わせることによる体温等の生体モニタリング、大規模災害時にがれき等の埋まった行方不明者捜索に活用できるシステムの構築を目指す研究である。そのためには、微弱な電波を受信して、その電波のエネルギーで動作する極めて省電力な無線タグを開発する必要がある。そこで、最適化計算等により、省電力な温度センサを持ち、長距離通信が可能な無線タグの開発を行った。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is development of radio frequency identification (RFID) systems which can monitor medical data such as body temperature. Moreover, this system helps to search missing persons in disaster. For this purpose, RFID with very low power consumption should be developed. An ultra low power and long communicable RFID with thermal sensor is developed using optimization techniques.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：通信工学

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・社会システム工学・安全システム

キーワード：無線タグ，電磁界解析，温度センサ

1. 研究開始当初の背景

近年、RFID に代表される無線タグに注目が集まっている。中でも電波式パッシブ無線タグは、タグ自身に電源を持つ必要がなく、信号読み取り機（リーダ）から送られてくる電波をエネルギー源として動作する。そのため、小型・軽量で半永久的に使用できる。そこで本研究では、学校、老人ホーム、病院等での使用を想定し、無線タグを名札に取り付けることによる日常の入退出管理のみならず、温度センサ等のセンサを組み合わせるこ

とにより、体温等の生体モニタリング、さらには地震等の大規模災害時にがれき等に埋まった行方不明者の捜索に活用できるシステムの構築を目指す。

無線タグには電磁誘導方式と電波方式（UHF、マイクロ波）の2種類に大別されるが、長距離通信が可能なのは電波方式である。特にUHF帯を用いる無線タグは最大10m程度の長距離通信が可能である。また、マイクロ波の無線タグよりも波長が長いために、無線タグと読み取り機の間には障害物があっても

影響を受け難い利点がある。この UHF 帯の無線タグは日本では数年前に認可されたばかりで、新しい利用方法を模索されている段階である。

タグ自身に電源を持たないパッシブ方式の無線タグでは、受信した電波を整流して動作電源とするため、数 μW 程度と極めて低消費電力な回路で構成する必要がある。研究レベルでは、通信可能距離が 10m を超えるタグの試作例が国内外で報告されているが、実際に利用可能な規格に沿った方式ではない。特に、温度センサ等のセンサと無線タグを組み合わせて物理量を測定に利用する際、アナログで取得されるセンサ情報を読み取り機に送り返すためには、センサ値のデジタル変換 (AD 変換) が必要になる。しかしこの AD 変換回路は非常に多くの消費電力を必要とするため、パッシブ方式の無線タグでの利用が難しい。研究レベルで試作されている温度センサ付きタグはセンサの値をアナログ値のまま返信しており、通信規格に準拠していない。従って、10m 超の通信距離を確保しつつ同時にセンサ値を返信する無線タグの実用化が期待されている。

2. 研究の目的

上記の背景を踏まえて本研究では、温度センサを搭載しつつも消費電力を抑えて長距離通信が可能な無線タグの開発を目指す。事前研究により、超低消費電力な温度センサを試作し、パッシブ方式の無線タグで動作できる可能性があることが判明した。そこで、この温度センサを付けた無線タグの試作と評価を第一の目的とする。

無線タグの設計においてはアンテナ形状の設計がきわめて重要である。これは、効率的に電波を受信するためには、タグの回路とアンテナとのインピーダンス整合が必要となるばかりでなく、アンテナの電波反射率を変化させて情報を返信ため、その反射率の変化が大きくなるようなアンテナ形状を求める必要があるからである。そのため、実際に使用されている無線タグのアンテナの設計は経験則に基づいて行われているが、指向性・利得・放射抵抗・サイズ等の特性を希望通りに設計するのは難しい。そこで、遺伝的アルゴリズムに代表される発見的手法を用いて、アンテナの形状最適化を行う。

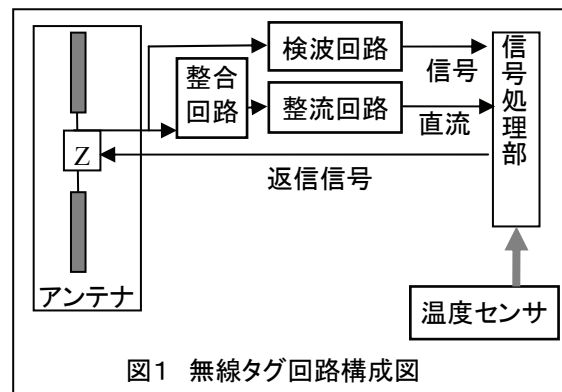
3. 研究の方法

温度センサ付きの無線タグの構成図を図 1 に示す。アンテナで受信した電波は検波回路により復調し、読み取り機から送られてきた指令信号を取り出す。また、同時に電波を整流して動作に必要な直流電源を作り出す。信号処理部では、受信した指令信号に解釈し、温度センサなどの情報を乗せた返信デジタル

信号を作成する。そして、アンテナ素子間に取り付けられた可変インピーダンス素子 (図中の Z) を用いて、アンテナの反射率を変化させることで、読み取り機に返信する。

長距離通信可能な無線タグを開発するためには、微弱な電波を効率良く整流して動作に必要な直流電圧を発生させる必要がある。そのためには、アンテナと整流回路とをインピーダンス整合させる必要があるばかりでなく、共振を利用して整流回路への入力電圧を高める必要がある。その役割を果たす整合回路の設計を重点的に行う。また、使用する温度センサは、温度情報をパルス幅に変換して出力する。この出力は簡単なデジタル信号処理をすることで、無線タグの通信規格 (ISO/IEC18000-6) に準拠して読み取り器に情報を返信することができる。また、一回のデータ通信は数m秒で完了するため、通信中にタグが動くことによる電波強度の変動は無視できる。

実際の無線タグの試作においては、集積回路の設計・試作は困難であるため、通常の電子部品を用いる。検波回路と整流回路はダイオードとコンデンサから構成できるが、これは市販素子を用いる。また信号処理部も市販の超低消費電力マイコンを使用する。



4. 研究成果

(1) 試作タグの設計製作

事前研究で開発した低消費電力な温度センサを用いてパッシブ型無線タグが実現可能かどうかの評価をシミュレーションおよび試作を行って評価した。その際、4W EIRP 出力の読み取り器から距離 10m の位置に無線タグを置いた状況を想定した。このとき無線タグが受信できる電力は約 $41\mu\text{W}$ であり、アンテナの受信開放電圧は約 0.12V となる。整流回路はダイオードの順方向降下電圧の影響から、入力電圧が概ね 0.3V 以下で整流効率が急激に低下する。そのため、単純にアンテナと整流回路を接続しても、無線タグを動作させることはできない。そこで、アンテナと整流回路とのインピーダンス整合を担う整合回路にスタブおよびインダクタを追加することで、共振の Q 値を高めることにした。

SPICE を用いたシミュレーションの結果、上記の条件下で、信号処理部の動作に必要な直流 2V を生成できることがわかった。このときのシミュレーション条件は以下の通りである。

- ・整流回路構成：±3 段対称コッククロフト・ウォルトン回路
- ・負荷抵抗：500k Ω
- ・ダイオード：Avago Technologies HSMS-8101
- ・コンデンサ：15pF
- ・アンテナインピーダンス：16.15+j21.45 Ω
- ・整合回路：40nH インダクタ，スタブ

さらに、上記の整流回路を含む無線タグを実際に試作し、消費電力を測定したところ、温度センサおよび信号処理を行うマイコンを含めた消費電力は 8 μ W であった。これらの結果から、通信可能距離 10m で動作する温度センサ付き無線タグを実現できる可能性が高いことがわかった。

(2)最適化と数値解析技術

無線タグの数値解析では、FDTD (Finite difference time domain method) 法による電磁界解析と、無線タグ内部の電気回路の解析を連成して行う必要がある。このとき、電磁界解析における解析のタイムステップに対して、無線タグ回路、特に整流回路の時定数が非常に長いため、解析にはかなりの時間ステップを要し、計算時間が長くなる問題があった。本研究では、定常状態における整流回路の直流出力電圧が最も知りたい情報であり、定常に至るまでの過渡応答はあまり重要ではない。そこで、定常解を求める逐次計算において、収束の遅い成分と速い成分に分離することで収束性を改善する TP-EEC (time-periodic explicit error correction) 法を採用した。これにより、解析時間の短縮を実現できた。

アンテナの形状最適化計算では、ダイポールアンテナよりも小型化できるミアンダ・アンテナおよび、平面格子アンテナを考え、形状最適化を行った。最適計算には遺伝的アルゴリズムを採用した。また、無線タグの等価インピーダンスは一定であると近似し、それと整合が取れるアンテナインピーダンスを持ちつつ、アンテナの面積が最小化とゲインの最大化を目的とする最適化を行った。その結果、図 2 に示すような 12mm \times 46mm 角程度の大きさの小型なミアンダ・アンテナを見出すことができた。ただし、平面格子アンテナの最適化では、形状の自由度が大きく、解の探索空間が広いために、最適計算が難しいことも判明した。

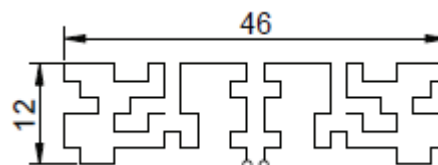


図 2 最適化したアンテナ形状

(3)ダブルアンテナの提案

パッシブ方式の無線タグは、読み取り器からの電波を受信すると共に、温度情報等のデータを返信する必要がある。前述のように返信には、アンテナ素子間に挿入した可変インピーダンス素子を用いて、アンテナの反射率を変化させることにより行う。しかしながら、このインピーダンスの変化は、アンテナと整流回路とのインピーダンス整合を阻害することであり、電波の受信効率の低下、すなわち通信可能距離の低下をもたらす。この問題点を解決する方法として、受信アンテナと返信アンテナを分離する方法の検討を行った。ここで、返信アンテナは電波を放射する必要はなく、単に反射率を変化させるだけでよいので、既存のアンテナ形状にこだわる必要はない。

このダブルアンテナの有効性の基礎検討として、受信・返信アンテナに半波長ダイポールと 1/4 ダイポールを用いたときの評価を行った。特にこの二つのアンテナの相互影響を電磁界シミュレーションにより調べた。その結果、受信・返信共に半波長ダイポールアンテナを用いると、相互影響が強く現れ、返信アンテナが情報を返信すると受信アンテナのアンテナインピーダンスが変化し、インピーダンス整合を維持できないことがわかった。一方、受信アンテナに半波長ダイポール、返信アンテナに 1/4 波長アンテナを用いると、二つのアンテナを近づけても相互影響をほとんどなく、インピーダンス整合を維持できることがわかった。同時に、返信アンテナの素子間に挿入した可変インピーダンス素子を用いて、返信アンテナの反射率を変化させて、読み取り器にデータを返信できることがわかった。これらの知見から、従来よりも受信効率の高いアンテナを持つ無線タグを開発できる可能性があることがわかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5 件)

- ①H. Makimura, Y. Watanabe, K. Watanabe, H. Igarashi, Evolutional Design of Small Antennas for Passive UHF-Band RFID, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 47, No. 5, pp. 1510-1513, 2011, 査読有

②Y. Watanabe, K. Watanabe, H. Igarashi, Optimization of Meander Line Antenna Considering Coupling Between Nonlinear Circuit and Electromagnetic Waves for UHF-Band RFID, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 47, No. 5, pp.1506-1509, 2011, 査読有

③渡部雄太, 牧村英俊, 渡辺浩太, 五十嵐一, 電波型パッシブ RFID のための媒質効果の低減, 日本 AEM 学会誌, Vol.19, No.2, pp.286-291, 2011, 査読有

[学会発表] (計 15 件)

①Yuta Watanabe, Kota Watanabe, Hajime Igarashi, Pareto Optimization of Antennas for Passive UHF-band RFID, 15th international symposium on applied electromagnetics and mechanics, 2011年9月7日, Napoli Italy

②Kota Watanabe, Yuta Watanabe, Hajime Igarashi, Hiroshi Waki, Double Antennas for Passive Long Range UHF-Band RFID, 15th international symposium on applied electromagnetics and mechanics, 2011年9月7日, Napoli Italy

③Yuta Watanabe, Kota Watanabe, Hajime Igarashi, Accelerated FDTD Computation Applied to Antenna Shape Optimization, 18th International Conference on the Computation of Electromagnetic Fields, 2011年7月12日, Sydney Australia

④Yuta Watanabe, Kota Watanabe, Hajime Igarashi, Topology Optimization of UHF-band Antennas, 14th International IGTE Symposium on Numerical Field Calculation in Electrical Engineering, 2010年9月20日, Graz Austria

⑤Hidetoshi Makimura, Yuta Watanabe, Kota Watanabe, Hajime Igarashi, On Unphysical Solutions Obtained by Moment Method in Optimization of Wire Antennas, 14th International IGTE Symposium on Numerical Field Calculation in Electrical Engineering, 2010年9月20日, Graz Austria

⑥Yuta Watanabe, Kota Watanabe, Hajime Igarashi, Optimization of Meander Line Antenna Considering Coupling between Non-linear Circuit and Electromagnetic Waves for UHF-band RFID, 14th Biennial IEEE Conference on Electromagnetic Field Computation, 2010年5月9日, Chicago USA.

⑦H. Makimura, Y. Watanabe, K. Watanabe, H. Igarashi, Evolutional design of small antennas for passive UHF-band RFID, 14th Biennial IEEE Conference on Electromagnetic Field Computation, 2010年5月9日, Chicago USA.

⑧Yuta Watanabe, Kota Watanabe, Hajime Igarashi, FDTD Analysis of UHF-band RFID for Metallic Objects, 17th International Conference on the Computation of Electromagnetic Fields, 2009年11月23日, Florianopolis Brasil

⑨ Hidetoshi Makimura, Kota Watanabe, Hajime Igarashi, Optimization of Meander Line Antenna on Dielectric Substrate for UHF-band RFID, 8th International Symposium on Electric and Magnetic Fields, 2009年5月26日, Mondovi Italy

⑩. Yuta WATANABE, Kota WATANABE, Hajime IGARASHI, FDTD Analysis of UHF-band RFID Considering Dielectric Effects, 8th International Symposium on Electric and Magnetic Fields, 2009年5月26日, Mondovi Italy

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡邊 浩太 (WATANABE KOTA)

北海道大学・大学院情報科学研究科・助教

研究者番号：20322828