慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	多様なセンサからデータを取得するゼロ電力すれ違い通信システムの実現
Sub Title	Zero communication power opportunistic communications system
Author	三次, 仁(Mitsugi, Jin)
Publisher	
Publication year	2015
Jtitle	科学研究費補助金研究成果報告書 (2014.)
JaLC DOI	
Abstract	気象観測や構造物の故障診断をターゲットに, センサの情報をすれ違いざまに取得するシステムの実現に向け研究開発を行った。基本構想は, センサ側で必要となる通信に必要な電力を読み取り装置から供給するパッシブ無線システムを適用し, センサ中の通信サブシステムとセンシングサブシステムが不揮発性メモリを共有することにある。多少の読み漏らしを許容する仮想タグ方式, 安定に電力を供給するためのアンテナ指向制御, 高速・非同期な情報通信を簡単なデバイスで実現するマルチサブキャリア通信方式, 様々な種類のRFタグとインターネットでそうしたセンサ情報を収集している情報システムを柔軟・効率的に結びつける情報システムを開発した。 The objective of this research is to develop a set of technology to realize zero-communications power opportunistic sensor data retrieval. The feature of this research is the use of dual interface passive communication in which the communication subsystem and sensing subsystem inside a sensor share a common NVRAM. Since the sensor data is empowered and executed by passive communications. There is no need to synchronize the sensing timings and transmitting timings, which yields extremely low power consumption sensing systems. We developed virtual tag system to handle inevitable RF tag read failure. A lightweight antenna direction control provides an extended reading time. We also developed a brand new multisubcarrier transmission scheme to speed up and synchronize the sensor readings. To properly interconnect sensor application and each sensor RF tag data, we propose an information system architecture with which we can efficiently control and share the data obtained from sensors.
Notes	研究種目 : 基盤研究(C) 研究期間 : 2012 ~ 2014 課題番号 : 24500095 研究分野 : 無線通信
Genre	Research Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KAKEN_24500095seika

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９、Ｚ－１９　（共通）

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

平成 ２７ 年　 ６ 月　 ６ 日現在

機関番号：３２６１２
研究種目：基盤研究(C)
研究期間：2012～2014
課題番号：２４５００００９５

研究課題名（和文）多様なセンサからデータを取得するゼロ電力すれ違い通信システムの実現

研究課題名（英文）Zero Communication Power Opportunistic Communications System

研究代表者
三次　仁（MITSUGI, JIN）

慶應義塾大学・環境情報学部・准教授

研究者番号：４０３８３９２１

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　4,100,000円

研究成果の概要（和文）：気象観測や構造物の故障診断をターゲットに、センサの情報をすれ違いざまに取得するシステムの実現に向け研究開発を行った。基本構想は、センサ側で必要となる通信に必要な電力を読み取り装置から供給するパッシブ無線システムを適用し、センサ中の通信サブシステムとセンシングサブシステムが不揮発性メモリを共有することにある。多少の読み漏らしを許容する仮想タグ方式、安定に電力を供給するためのアンテナ指向制御、高速・非同期な情報通信を簡単なデバイスで実現するマルチサブキャリア通信方式、様々な種類のRFタグとインターネットでそうしたセンサ情報を収集している情報システムを柔軟・効率的に結びつける情報システムを開発した。

研究成果の概要（英文）：The objective of this research is to develop a set of technology to realize zero-communications power opportunistic sensor data retrieval. The feature of this research is the use of dual interface passive communication in which the communication subsystem and sensing subsystem inside a sensor share a common NVRAM. Since the sensor data is empowered and executed by passive communications. There is no need to synchronize the sensing timings and transmitting timings, which yields extremely low power consumption sensing systems. We developed virtual tag system to handle inevitable RF tag read failure. A lightweight antenna direction control provides an extended reading time. We also developed a brand new multisubcarrier transmission scheme to speed up and synchronize the sensor readings. To properly interconnect sensor application and each sensor RF tag data, we propose an information system architecture with which we can efficiently control and share the data obtained from sensors.

研究分野：無線通信

キーワード：RFID　すれ違い通信　高速通信　情報システム

１．研究開始当初の背景:

気象や放射線量などの環境データや，橋梁・道路などの歪み，振動数などの構造データを多くの地点で継続して定点観測することで，大きなトレンドを把握することや，問題が起こる前に対策を講じることができる。こうした環境・構造物センシングに必要な電力は多くの場合，電池で供給されるため，センサ機器の省電力化は重要な研究開発課題となっている。河川の水位情報など即時的な対応が必要なデータを除けば，センサーデータの取得や，データ読み取り・センサ死活監視などの通信は頻繁に行われることは少ない。したがって，電力の大部分は，センシング待機・通信待ち受け時に消費される。このうち，センシング待機については一定の周期でマイクロコントローラ(MCU) を待機モードからセンシングモードに遷移させれば低消費電力で実現可能であり，最近の省電力 MCU を用いると，センシング待機で数 10nA 未満(3V 駆動）を実現することは難しくない。このレベルであれば市販のコイン電池(CR2025 相当=220mAh) で 1 年以上電池交換なしで動作する。一方，通信に関しては，携帯電話のように階層的な呼出制御を行い，大容量のリチウムイオン電池を使う場合でも連続待ち受け時間は 700 時間程度にすぎない。無線センサネットワークでは待ち受け時間を短くする目的で，多くの適応 sleep 制御が提案されているが、本質的な改善はなされていなかった。本研究はパッシブ通信技術と情報システムの工夫により、この問題を抜本的に解決する技術を開発する。

２．研究の目的：

移動体ですれ違いざまにセンサを個体識別し、各々のセンサのデータ構造・データ量（データスキーマ）を個体識別子を用いてクラウド上のサービスから取得し、データスキーマに合致した方式で蓄積したセンサデータを効率的に読み取ることができる情報システムを,センサ側では通信に関する消費電力や待機電力ゼロで実現する。

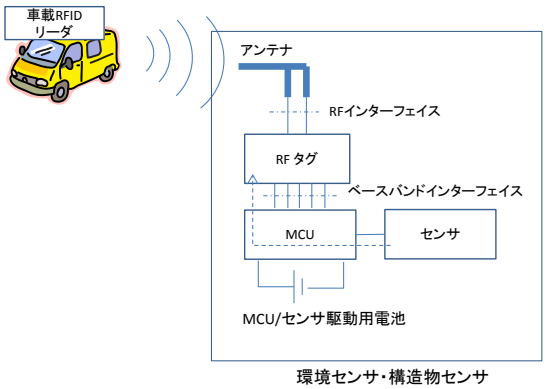

図 1　パッシブ RF センサを用いたすれ違い通信の構想

３．研究の方法：

この目的に対して我々は，メモリに対して RF インターフェイスとベースバンドインターフェイスを有する RF タグを用い，取得したセンサデータを MCU がベースバンドインターフェイスを通じて RF タグのメモリに書き込んでおくことで，読み取り装置（リーダライタ）が任意のタイミングで RF タグに蓄積したデータを取得する通信方式を提案し、センサ側は通信に関して電力ゼロを実現できることを機能モデルによって示した（図 1)。

この技術をさらに実用の段階に進めるためには、以下３つの性能・機能仕様を満足する必要があると考え、検討および実証を進めた。

1. センサデータ構造:ISO や IEEE における RF タグに関する標準技術をサーベイし、センサーデータ（ユーザデータ）読み取りに関して達成しうる性能を評価し、確実な読み取りを実現することや実際の構造物センシングにおける要求条件も考慮しながら、センサデータ構造を検討した。
2. 無線プロトコル： RF タグ側に蓄積したデータを高速伝送するためには、パケット再送することによるオーバーヘッドが大きいため、パケット符号化やデータの分散配置が有効と考えられる。読み取りを行う時間をできるだけ長く確保するために、移動体の動きに合わせてアンテナの指向方向を制御することも検討する。

   また特に構造物センシングではセンサ単体データの取得に加えて、複数センサの同期した取得が重要であることが明らかであるため、複数の RF センサからストリーミングデータを取得する方法についても検討を進めた。
3. データスキーマレゾルバ：

   センサの個体識別子から関係するサービスをルックアップするサービスとして ONS(Object Naming Service)が SCM（サプライチェーンマネジメント）を中心に用いられている。ONS はインターネットの DNS の仕組みをそのまま用いているため、センサ種類に応じて分散配置できるスキーマレゾルバとして有望であるが、現状の標準仕様では ONS は制御 PC にスキーマリゾルバの URL や Web サービスを通知することが使い方として自然である。したがって制御 PC がスキーマを解決するためには、ONS から得た URL 等に再度問い合わせる必要があり、通信時間に大きな制約があるすれ違い通信では速度が不足する可能性がある。そこで DNS を用いるスキーマレゾルバから構築し、制御 PC からの問い合わせを受付けてスキーマ解決までを実施するエージェントの基本部分を開発した。

また１．の標準技術サーベイを行う過程で、リーダ装置に読み取るべき RF タグの個体識別子に応じたフィルタを記述する技術の重要性に気づき、このフィルタ記述をより一般的に記述するための共通ミドルウェアについても検討を進めた。

４．研究成果

(1) センサデータ構造

移動するリーダライタからの読み取りにおいてはフェージングなどにより読み取りにくい RF センサが存在するため、いくつかの RF タグを読み落としても複数の RF タグ上にセンサーデータを適切に分割して配置するバーチャルタグ方式を考案した。

また ISO/IEC, GS1 では、センサ種と取得した値を key-value ペアにしてユーザデータとして保存する方式が主流であることを調査によって明らかにし、特にストリームタイプのデータでは key-value ペアでのセンサデータ記述が困難であることを認識した。これらを踏まえ、RF タグ上でのデジタル化を必ずしも要求せず、アナログデータのままリーダライタに伝送する方法を考案した。

(2)無線プロトコル

RF タグ側に蓄積したデータを高速伝送するためには、一回の Read コマンドで読み取るブロック長をできるだけ長くすることが有効であるが、パケット内で 1 シンボルでも損失した場合にはフレームチェック(CRC) によりパケット全体を再送信するリスクがある。そこで誤り訂正符号/パケット符号化により冗長化し、リーダライタ側ではフレームチェックに失敗した場合にも誤り訂正を試みることで、パケット再送による遅延を防止する手法の効果を数値シミュレーションによって明らかにした。

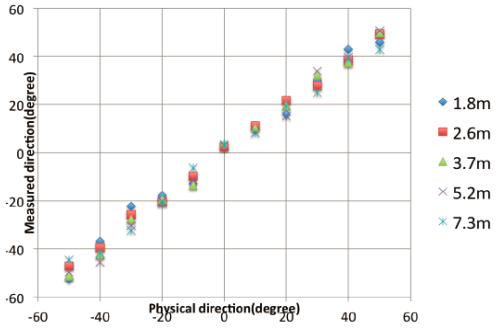

図 2　移動する RF タグを追尾するモノパルスシステムの精度確認試験結果.7m 程度の距離で 3 度の精度を実現している。

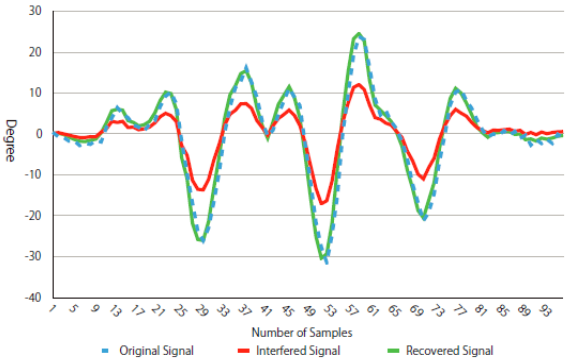

図 3　リーダ側での干渉除去により同時に応答する RF タグの信号を分離

すれ違い時の読み取り時間をより長く安定に確保するために複素モノパルス方式による RFID 方向検知についても検討を進め、アナログフロントエンド回路を付与することで安価なソフトウェア無線装置を用いても方向検知が可能であることを明らかにした（図 2)。

さらに、複数 RFID タグのセンサー情報を同時に同期して取得する方法を考案し、実証によって、その有効性を確認した。複数のセンサー情報を同時に送信するために、サブキャリアの周波数的な繰り返し特性を利用し、逐次干渉除去をソフトウェア無線を用いて行う方式である。提案手法ではさらに、帯域幅を極限まで圧縮するために、センサーデータをアナログ変調で送付することも試みた（図 3)。

(3)情報システム

移動する車で道路やトンネルなどの状況データを収集したり、スーパーマーケット等のバックヤードで、商品の賞味期限等を電子タグから高速で読み書きするために、resolver, subscriber, manager と呼ばれる新たなコンポーネントを有する情報システムアーキテクチャを、既存の国際標準(ISO, GS1)を大幅に変更することなく導出し、その効果を実験によって実証した。従来方法では、電子タグとリーダライタの間の無線通信の高速化やプロトコルの高度化によって高速化を狙っていることに対して、提案手法では情報システムアーキテクチャとしてアプローチしている点が異なる。

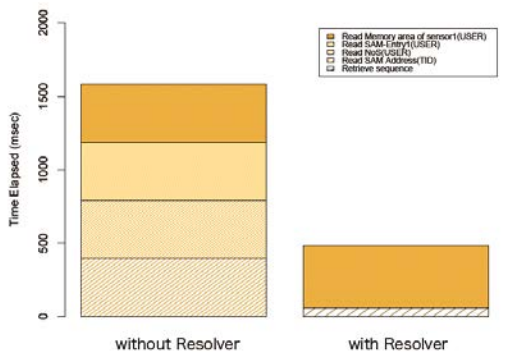

図 4　リゾルバを用いることでタグメモリにスキーマを書くよりも早くユーザデータを取り出せる

図 5　Manager を用いることで重複した読み取り要求を統合し高速化

resolver は電子タグの ID をキーにして、メモリデータスキーマをクラウド上で分散的に管理するサブシステム、subscriber は、複数のアプリケーションからのユーザデータ読み取り要求を集約するサブシステム、manager はメモリスキーマと、ユーザ読み取り要件に応じて、リーダライタの読み取り制御を行うサブシステムである。提案したアーキテクチャの有効性を示すために、まず現状技術によるユーザメモリアクセスの時間の構成を取得・分析する装置を作成し、商用リーダライタでは、一般的に電子タグの Inventory(一斉呼び出し）に多くの時間を要していることを明らかにした。この結果を踏まえ、既存のプロトコルと提案手法による読み出し速度をある商用リーダライタで比較すると、ユーザメモリの読み出しを 3.3 倍高速化できることが明らかになった。また様々なユーザが一つの電子タグのユーザメモリの中のデータを断片的に取得する要求を manager が認識した場合は、自動的に読み取り領域を最適化する手法を manager に実装し、そうしなかった場合に比して 2.5 倍（読み取り領域が 3 つ）の高速化が可能であることを明らかにした(図 4、図 5)

またセンサ情報を含む RFID タグの応用エリアとして、サプライチェーンマネージメント(SCM)への適用についても検討を実施し、国際標準のデータ交換方式を用い、さまざまなプロダクトの SCM に適用可能な RFID システムプラットフォーム構築方法を考案し、実際に農業トレーサビリティシステムに適用した。この情報システムにおいては、RFID の個体識別子と、農業トレーサビリティなどの上位のサービスで用いる識別子（在庫管理単位番号＝SKU）を関係づける機能によって、プラットフォームの汎用性を高めている。さらに RF タグの読み取りデータを効率的・汎用的にフィルタし、データを指定してイベント購読しているアプリケーションに通知するシステムを考案し、実装した。

５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計　１件）

① Rajoria, Igarashi, Mitsugi, Kawakita, Ichiakwa, “Comparative Analysis on Channel Allocation Schemes in Multiple Subcarrier Passive Communication System”, accepted for publication in IEICE TransB. Special Section on Emerging Technologies on Ambient Sensor Networkstoward Future Generation, September, (2015). 査読あり

〔学会発表〕（計　１１件）

① Igarashi, Sato, Kawakita, Mitsugi, Ichikawa, “A Feasibility Study on Simultaneous Data Collection from Multiple Sensor RF Tags with Multiple Subcarriers”, IEEE RFID 2014, pp.141-146, (2014). April 10, Orlando(US),

② Igarashi, Miyazaki, Sato, Mitsugi, “A Network Architecture for Fast Retrieval of User Memory Data from Sensor RF Tags”, IEEE RFID, pp.184-190, (2013), .May 2, Orlando(US),

〔図書〕（計０件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計１件）

名称：無線通信システム
発明者：三次仁、川喜田佑介、市川晴久
権利者：同上
種類：特許
番号：特願 2014-207279
出願年月日：2014 年 10 月 8 日
国内外の別： 国内

○取得状況（計０件）

〔その他〕

なし

６．研究組織

(1)研究代表者

三次　仁（MITSUGI, Jin）
慶應義塾大学・環境情報学部・准教授
研究者番号：40383921

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし