T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	バッテリーレス無線通信集積回路システムに関する研究
Title(English)	
著者(和文)	白根篤史
Author(English)	Atsushi Shirane
出典(和文)	学位:博士（工学）, 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9855号, 授与年月日:2015年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:益　一哉,植之原　裕行,若林　整,石原　昇,伊藤　浩之,岡田　健一,横山　道央
Citation(English)	Degree:, Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9855号, Conferred date:2015/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	物理電子システム創造　専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士　（　工学　） Doctor of
学生氏名： Student's Name	白根　篤史	指導教員（主）： Academic Advisor(main)	益　一哉　教授
		指導教員（副）： Academic Advisor(sub)	伊藤　浩之　准教授

要旨（和文 2000 字程度）
Thesis Summary（approx.2000 Japanese Characters ）

本論文は「バッテリーレス無線通信集積回路システムに関する研究」と題し、全 6 章から成る。利便性の高い社会から、安心かつ安全な社会への展開を目指して、あらゆるものの情報をセンシングし共有、活用するために Internet of Things（IoT）技術やセンサネットワーク技術の飛躍的進展が期待されている。2020 年頃にはネットワークに一兆個を超えるセンサが接続されると予想されており、これらセンサを活用する技術の構築が必要である。この一兆個センサ時代に向けて、急速な無線トラフィックの増大による電波資源の枯渇、そして膨大な数のバッテリーの交換および充電コストの急増が課題となっている。本論文では、一兆個センサ時代における周波数利用効率の向上およびバッテリーレス化を同時に実現する無線通信集積回路システムについてまとめた。

第 1 章「序論」では、一兆個センサ時代に向けた課題である電波資源の枯渇およびメンテナンスコストについて論じ、周波数利用効率の高いバッテリーレス無線センサ端末の研究開発の重要性を述べた。

第 2 章「センサシステム」では、無線センサ端末システムについて、概要、目標仕様を示し、センサシステム実現に向けた本研究の基礎的アプローチについて述べた。異種機能集積アプローチでは、多様な機能が集積化されることで、機能同士の融合を促し、相乗的な性能向上を目指すことが可能である。階層縦断アプローチでは、システム、アーキテクチャ、回路およびデバイスと複数の階層にわたってアプローチすることにより、回路階層だけでは解決困難な課題やトレードオフを解決することができる。これら二つのアプローチをもとにキャリア供給変調技術、通信開始検知電源管理技術、チューナブルインピーダンス整合技術の三つの具体的な技術を提案した。

第 3 章「電源回路」では、電力供給および電源管理を担う電源回路の設計、試作結果について述べた。まず 5.8GHz RF 信号を利用してキャパシタを充電し、蓄えたエネルギーを利用して、安定な 0.6V の電源電圧を生成する回路の設計および 65nm CMOS プロセスによる試作､評価結果について述べた。次に、通信開始検知電源管理技術を提案し、新たに RF Signal Detector (RF-SD)を搭載することで、通信の開始を考慮したセンサ端末の起動を可能とする手法を提案し、設計、180nm CMOS プロセスによる試作、測定評価を行いエネルギー利用効率および充電効率の向上を確認した。

第 4 章「無線通信回路」では、インピーダンス整合回路を含む無線通信回路の設計、試作結果について述べた。まずキャリア供給変調技術を基にした二つの送信回路を提案した。第１は、キャリア供給型送信回路であり、親機から来る RF 信号をキャリア信号として再利用することで、高周波 PLL を不要にし、低消費電力化を実現した。さらに、IF 帯において、直交変調を実現することで、高精度かつ低消費電力で周波数効率の高い多値変調の実現を可能にした。第２の Backscattering 型送信回路では、キャリア供給型送信回路の問題点であったアンテナ数および消費電力の増大を解決した。この送

信回路では、新たに IF-based Quadrature Backscattering 技術を提案、採用することで、キャリア周波数帯の回路における消費電力を無くし、さらにキャリアの供給および変調信号の出力をアンテナ一つで実現することができる。65nm CMOS プロセスを利用した Backscattering 型送信回路では、113μW の低消費電力で 2.5Mb/s 32QAM 変調を実現した。また、センサ端末の動作周波数拡大を目指し、MEMS プロセスを用いたチューナブルインピーダンス整合技術についても述べ、新たに提案したプレーナ型ソレノイド形状をもつ可変インダクタを使用することで、動作周波数帯域の拡大の見込みを得た。

第 5 章「無線センサ端末」では、第 3 章、第 4 章で述べた電源回路及び無線通信回路を搭載した無線センサ端末について述べた。前章までに試作した 65nm CMOS チップを中心に、温度センサ内蔵マイコンを利用することでセンサ端末を構成し、温度センシングと無線通信実験を行った。実験よりセンサ端末は、バッテリーレスで無線通信動作を実現できることを確認した。また無線センサ端末の試作結果をまとめ、目標仕様および従来研究に対する位置づけを論じ、近距離無線通信応用において消費電力を抑えながら優れた周波数利用効率を実現していることを確認した。

第 6 章「結論」では、研究で得られた成果を総括し、将来展望を述べた。

本論文は、無線通信集積回路システムにおいて、キャリア供給変調技術、通信開始検知電源管理技術、チューナブル整合技術を提案し、RF CMOS 集積回路設計、試作、評価を通じてバッテリーレス化および周波数利用効率の向上を実証したものであり、工学および工業の発展に大きく貢献する。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ（T2R2）にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	物理電子システム創造　専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of　（　工学　）
学生氏名： Student's Name	白根　篤史	指導教員（主）： Academic Advisor(main)	益　一哉 教授
		指導教員（副）： Academic Advisor(sub)	伊藤　浩之 准教授

要旨（英文 300 語程度）
Thesis Summary（approx.300 English Words ）

The number of sensors that connect to network will be a trillion. The trillion sensors promise the higher quality of life and new user experiences. To realize the trillion sensors era, the key challenges are the large amount of batteries and wireless traffic. This study focuses on battery-less wireless sensor devices (WSDs) and the improvement of spectral efficiency as the solution for the challenges. This thesis presents battery-less integrated circuits and systems for the trillion sensors era.

In the presented wireless sensor system, the WSDs use an RF energy harvester (RF-EH) instead of a battery. Wireless communication is a star topology: a reader device communicates with many WSDs. This study exploits two approaches, which are the diverse integration and different layer approach such as system, architecture and circuit layer. Based on these approaches, this study presents the provided carrier modulation, power management with the detection of the communication timing, and tunable impedance matching.

In the power source and management circuit, the RF-EH charges the storage capacitor, and the low dropout voltage regulator (LDO) provides 0.6V regulated power supply voltage for the transceiver.

In the transmitter, this study presents the IF-based quadrature backscattering technique, which is based on the provided carrier modulation. By using this technique, the transmitter fabricated in 65nm CMOS process achieves 2.5Mb/s 32QAM modulation with 113μW. In addition, this study presents the tunable planar solenoidal inductor fabricated in MEMS process. Using this MEMS inductor and the RF-EH, the tunable impedance matching circuit is expected to be wider operation frequency range.

Finally, this study presents the WSD that consists of a microcontroller unit and the fabricated chip including the power source and management circuit and the wireless transceiver. The WSD can realize the temperature sensing operation and the battery-less wireless communication.

The techniques presented in this thesis realize not only the battery-less wireless communication but also the high spectral efficiency, and thus contribute to the realization of the trillion sensor era.

備考 ： 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ（T2R2）にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).