

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	センサネットワーク向け低消費電力超広帯域インパルス無線機の研究
Title(English)	Study on low-power ultra-wideband impulse-radio transceiver for sensor network
著者(和文)	中川樹生
Author(English)	Tatsuo Nakagawa
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9879号, 授与年月日:2015年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:杉野 暢彦,中村 健太郎,黒澤 実,篠崎 隆宏,中本 高道,高田 潤一
Citation(English)	Degree:, Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9879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

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： 物理情報システム 専攻
Department of
学生氏名： 中川 樹生
Student's Name

申請学位(専攻分野)： 博士 (工学)
Academic Degree Requested Doctor of
指導教員(主)： 杉野 暢彦 准教授
Academic Advisor(main)
指導教員(副)：
Academic Advisor(sub)

要旨(和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

センサネットワークは、現実世界の情報をネットワークに取り込み、安心・安全・快適な社会を創り出すシステムである。あらゆる場所に設置された端末(センサノード)からの情報を収集するため無線通信機能が必須となる。超高帯域インパルス無線(UWB-IR: Ultra Wideband-Impulse Radio)通信は、電力効率が高い、高信頼、高精度な位置測定が可能という特長を有するため、センサネットワーク向け無線技術として期待されている。一方で、センサノードを様々な場所に配置するためには、センサノードの低電力化・長寿命化が大きな課題である。そこで、本論文では、UWB-IR 通信 LSI およびそれを搭載したセンサノード、位置測定システムの低消費電力化技術について、以下の各章で論じている。

まず、第2章では、UWB-IR 通信 LSI および受信機 ADC (Analog to Digital Converter) について述べる。UWB-IR 通信では、幅が約 2ns という短いパルス信号を用いて通信を行う。受信機ではこのパルス信号を低電力に捉える必要がある。パルス信号をデジタル化する ADC では、変換周波数に対し 1 桁以上高速な入力信号をアンダーサンプリングする必要があり、この特徴を利用し低電力化する構成を提案した。サンプル&ホールド回路のオペアンプをサンプル動作から分離してホールドモードでのみ使用し、同時にオフセットキャンセルが可能な構成である。これにより、オペアンプの動作速度を低速化でき、従来回路と比較して約 90%の低電力化が可能なことを示した。また、コンパレータに受動素子のみで構成される制御回路を追加し、入力電圧差が大きい場合の消費電流を抑制する回路構成を提案し、コンパレータの消費電力を約 25%削減できることを示した。提案した ADC および UWB-IR 通信 LSI を 0.18 μ m CMOS プロセスで試作、評価した。ADC の有効ビット数は 500MHz の目標帯域内において 5 ビット以上、-3dB 帯域幅は約 1GHz であり、電源電圧 1.8V、サンプリング周波数 32MHz の場合、消費電流は 1.3mA に抑制できることを確認した。

次に、第3章では、UWB-IR 通信 LSI を搭載したセンサノードおよび基地局について述べる。センサノードをあらゆる場所に設置するためには、サイズが小型であることが重要となり、小型のセンサノードには電池の容量に厳しい制限があるため、電池交換等の運用コストを考慮すると低電力であることが必須となる。そこで、小型、低電力が特長の UWB-IR センサノードおよび基地局を開発した。フレキシブル基板の適用やベアチップ実装技術で、端末は 1cc、基地局は 9cc という小型サイズを実現した。マイコン外部の RTC (Real Time Clock) を使用し待機中にマイコンをスタンバイ状態に移させる制御、不要な電源の遮断、UWB-IR 通信 LSI の動作状態の細やかな制御などの方法により低電力化を行った。またマイコンの電源遮断により待機電流を 1/25 に削減し、150mAh の電池で 5 分毎動作の場合、約 2.6 年の寿命が達成できると推察される。開発したセンサノードを評価し、伝送速度 258kbps、10.7Mbps でそれぞれ通信距離 30m、10m の通信ができることを示した。

更に、第4章では、通信と位置測定を同時に実現する高精度時間差計測方式について述べる。通信信号の到来時間差による位置測定において、誤差を 30cm 以下にするためには無線信号の到達時間差を ± 1 ns 以下という高い精度で計測する必要がある。1ns 精度での時間差計測には、通常 1GHz 以上で動作する回路が必要となる。また、時間差計測の基準となるクロック発振器には、周波数偏差が 0.3ppm 以下であることが求められる。このような計測回路では回路規模・消費電力の増大、およびコストの増加が課題となる。そこで、小面積、低電力化のため、通信で用いる 32MHz の低速なクロックとクロックの位相制御信号を活用して時間差を計測する方式を提案した。また、安価な水晶発振器を用いて高精度な時間差測定を行うため、周波数偏差を補正する方式を提案した。これらの方式は 32MHz の簡単なデジタルカウンタで実現可能であることを示した。提案方式を UWB-IR 通信 LSI に実装し、評価を行った結果、計測時間差の絶対値、通信距離、 ± 40 ppm の周波数偏差に依存せず、 ± 1 ns 以下の誤差で時間差を計測可能であることを実証した。

最後に、第5章では、本論文で明らかにされた結果について整理し、センサネットワーク向け UWB-IR 無線機の更なる低電力化に向けた課題について述べる。

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).

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻：	物理情報システム	専攻
Department of		
学生氏名：	中川 樹生	
Student's Name		

申請学位 (専攻分野)：	博士	(工学)
Academic Degree Requested	Doctor of	
指導教員 (主)：	杉野 暢彦	准教授
Academic Advisor(main)		
指導教員 (副)：		
Academic Advisor(sub)		

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

UWB-IR (ultra-wideband impulse radio) is an attractive technology for a wireless sensor network, because of its power-efficient, robust communication, and capability of accurate locationing. In this thesis, low-power techniques for UWB-IR transceiver LSI, sensor nodes, and locationing system are described.

In section 2, low-power UWB-IR LSI and ADC for a receiver are presented. The ADC needs to digitize short-pulse-width impulses, whose frequency is higher than the sampling frequency. Proposed ADC execute under sampling with low-current consumption by separating a sampling capacitor from an operational amplifier. In addition, a comparator with bias-current dynamic controller is proposed. The ADC and UWB-IR LSI are implemented in a 0.18- μ m CMOS process technology. The ADC achieves 1-GHz input bandwidth with 1.3-mA current consumption at 32 M samples/s from a 1.8-V supply.

In section 3, small-size low-power UWB-IR sensor nodes are described. Thanks to bear-chip implementation and a flexible printed circuit board, the size of the sensor node is only 1 cc. Low-power techniques, such as transition of microcontroller status to standby mode by using an external real-time clock, and detailed control of transceiver status, are applied. The estimated life time of a 150-mAh battery is approximately 2.6 years at once every five minutes operation. The sensor node can provide wireless communication at a transmission rate of 258 kbps, and 10.7 Mbps over a distance of 30, and 10 m, respectively.

In section 4, an accurate time-interval-measurement circuit for a locationing system is presented. To achieve 30-cm measurement accuracy, the measurement error of a time interval must be within ± 1 ns. The proposed circuit utilizes both a low-frequency clock and period-control signals of the clock to measure time intervals accurately with low power consumption and to correct the frequency deviation of an oscillator. The measured time interval has less than ± 1 -ns error, without depending on communication distance, and ± 40 -ppm frequency deviation of the oscillator.

In section 5, future problems concerning UWB-IR transceiver and sensor network are discussed.

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).