

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),<br>学位授与機関:東京工業大学,<br>報告番号:甲第9879号,<br>授与年月日:2015年3月26日,<br>学位の種別:課程博士,<br>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;<br>Conferring organization: Tokyo Institute of Technology,<br>Report number:甲第9879号,<br>Conferred date:2015/3/26,<br>Degree Type:Course doctor,<br>Examiner:,,,,, |
| 学位種別(和文)          | 博士論文                                                                                                                                                                      |
| Category(English) | Doctoral Thesis                                                                                                                                                           |
| 種別(和文)            | 審査の要旨                                                                                                                                                                     |
| Type(English)     | Exam Summary                                                                                                                                                              |

## 論文審査の要旨及び審査員

| 報告番号        | 甲第  | 号      | 学位申請者氏名 |     | 中川 樹生 |     |
|-------------|-----|--------|---------|-----|-------|-----|
| 論文審査<br>審査員 |     | 氏 名    | 職 名     |     | 氏 名   | 職 名 |
|             | 主査  | 杉野 暢彦  | 准教授     | 審査員 | 中本 高道 | 教 授 |
|             | 審査員 | 中村 健太郎 | 教 授     |     | 高田 潤一 | 教 授 |
|             |     | 黒澤 実   | 准教授     |     |       |     |
|             |     | 篠崎 隆宏  | 准教授     |     |       |     |

## 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「センサネットワーク向けの低消費電力 超広帯域インパルス無線機の研究」と題し、5 章から構成されている。

第 1 章「序論」では、安心・安全・快適な社会を創り出すためのセンサネットワークを実現するためには、現実社会の様々な情報を収集するために各処に配置された端末（センサノード）の低電力化・長寿命化が大きな課題となっていることを指摘している。特に、情報を送受信するための無線通信機能は必須であり、電力効率がよく、高信頼、通信と同時に高精度な位置測定が可能である超広帯域インパルス無線（UWB-IR: Ultra Wideband-Impulse Radio）通信方式が注目されている方式であるとしている。以上より、UWB-IR 無線通信 LSI およびそれを搭載したセンサノード及び位置測定システムの低消費電力化技術が本論文の目的であるとしている。

第 2 章「UWB-IR 無線通信 LSI および低電力 ADC」では、UWB-IR 無線通信 LSI および低電力な受信機 ADC (Analog to Digital Converter) について述べている。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い、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。このとき、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る。この特徴を利用し低電力化する構成を提案している。提案では、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となるように構成している。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% の低電力化が可能であることを示している。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ている。提案した ADC を含む UWB-IR 無線通信 LSI を 0.18  $\mu\text{m}$  CMOS プロセスで試作して、評価した結果、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ている。

第 3 章「低消費電力 UWB-IR センサノード」では、UWB-IR 無線通信機を搭載したセンサノード及び基地局について述べている。センサノードをあらゆる場所に設置するためには、それ自身が小型であることが要求され、そのため小型のセンサノードに内蔵する電池の容量には厳しい制限が生ずる。電池交換等の運用コストを考慮するとセンサノード自体が低消費電力であることが必須の条件となると指摘している。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として、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ている。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遷移させる制御、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消費電力化を行っている。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 年の寿命を達成できるとしている。この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ている。

第 4 章「高精度低電力時間差計測技術」では、通信と同時に高精度な位置測定を実現する UWB-IR 時間差計測方式について述べている。UWB-IR を用いて通信パケットの到達時間差による位置測定誤差を 30cm 以下にするためには、最大 3.5ms の長い時間を  $\pm 1\text{ns}$  以下という高い精度で計測する必要がある。単純な方式により 1ns 精度での時間差計測を達成するためには、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ことを指摘している。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ている。また、それほど高精度でない安価な水晶発振器を用いても高精度な時間差測定を行えるように、周波数偏差を補正する方式を提案している。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ている。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、 $\pm 40\text{ppm}$  の周波数偏差に依存せず、 $\pm 1\text{ns}$  以下の誤差で時間差を計測可能であることを実証している。

第 5 章「結論」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ての今後に残された課題について述べている。

以上を要するに、本論文は、センサネットワーク向け UWB-IR 無線機によるセンサノード実現のための低消費電力化技術及び高精度時間差計測方式について論じたもので、工学上、工業上貢献するところが大きい。よって本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認められる。