

超低消費電力フィールドモニタリングシステムの開発

(株)四国総合研究所 電子技術部 中西 美一
(株)四国総合研究所 土木技術部 藤本 知規

キーワード： フィールドモニタリング
無線通信式
超低消費電力

Key Words : Field Monitoring
Wireless
Ultra-low Power

Development of the ultra-low power wireless field monitoring system.

Shikoku Research Institute, Inc., Electronics Technology Department

Yoshikazu Nakanishi

Shikoku Research Institute, Inc., Civil Engineering Department

Tomoki Fujimoto

Abstract

Current our society doesn't equip enough field monitoring capability mainly due to high device cost and high electric power consumption. Ultra low electric power consumption and reasonable cost field monitoring systems are essential to protect our society from unprecedented natural disasters such as large scale inundation due to torrential rain along with huge typhoon.

We have been developing ultra-low power and reasonable cost wireless field monitoring platform technology which is called openATOMS. In this article, we show newly developed water level wireless monitoring system based on openATOMS. It equips ultrasound water level sensor, rainfall sensor and high-resolution still image camera, and it operates at least five years with internal battery.

1. はじめに

近年、従来の想定を超えた規模の自然災害が多発する中、多くの場所で水位や地すべりの常時モニタリングシステムの整備が喫緊の課題となっているが、既存のモニタリングシステムは非常に高価であること、コストの掛かるインターネットクラウドサービスの利用が前提となっているものが殆どであること、ならびに、センサ部の消費電力が大きく商用電源が必要となる場合が多いことなどが課題となり、地域住民の期待通りには導入が進んでいない。

著者らは、システム開発コストおよびデバイスコストを大きく低減すると共に、クラウドサービスに依存しないフィールドモニタリングシステム構築用共通プラットフォーム技術である openATOMS の開発、ならびに、それを活用した超低消費電力フィールドモニタリングシステムの開発を進めている。¹⁾²⁾³⁾⁴⁾

本稿では開発した超低消費電力フィールドモニタリングシステムの概要、ならびに、その具体的な実装例として無線通式水位モニタリングシステムについて報告する。

2. openATOMS の概要

openATOMS は、①IoT 無線通信機能と LTE 通信機能ならびにエッジクラウド機能を搭載したデータ収集ユニット、および、②IoT 無線通信機能を搭載したセンサユニットで構成されており、1 台の①に最大 100 台程度の②を IoT 無線通信で接続可能となっている。

センサユニットは、独自開発の超低消費電力マイコン基板である NICE32、および、市販の各種センサで構成される。各種センサを NICE32 へ接続する方法として、アナログ電圧、UART 通信、I2C 通信、SPI 通信、1Wire 通信、および、パルス入力に対応しており、市販の殆どのセンサを接続可能である。

2.1 NICE32 について

NICE32 はセンサユニットのコアデバイスとして独自開発したもので、低消費電力で処理性能の高い最新設計の MCU を中心に、各種センサを接続するための複数の IO 回路を搭載している。回路設計では徹底した低消費電力化対策を施してあ

り、NICE32 単体の待機電流は定期動作に必要な内蔵 RTC を動作させた状態で $7\mu\text{A}$ 程度と低く、各種センサを接続した場合もその電源供給を厳密に管理することで $10\mu\text{A}$ 以下となっている。

外部記憶装置として、最大 32GB の microSD メモリを搭載可能で、動作パラメータの設定や IoT 無線通信では伝送できない大量のデータの保存もできるようになっている。

通信方式は 2.4GHz_ZigBee, 920MHz_MultiHop, 920MHz_LPWA(LoRa) から用途に応じて選択でき、通信方式が変わってもそのプロトコルの違いは接続ドライバソフトウェアが吸収し、アプリケーションソフトウェアからはほぼ共通の API で通信可能となっている。

また、基本ソフトウェアとして、極低消費電力動作をサポートする独自開発の S.OS_32 を搭載している。S.OS_32 では極低消費電力で動作する MCU 内蔵 RTC による間欠動作が可能で、待機時には MCU のクロックを停止する他、接続されたセンサへの電源供給をミリ秒単位で制御することにより消費電力を低減している。

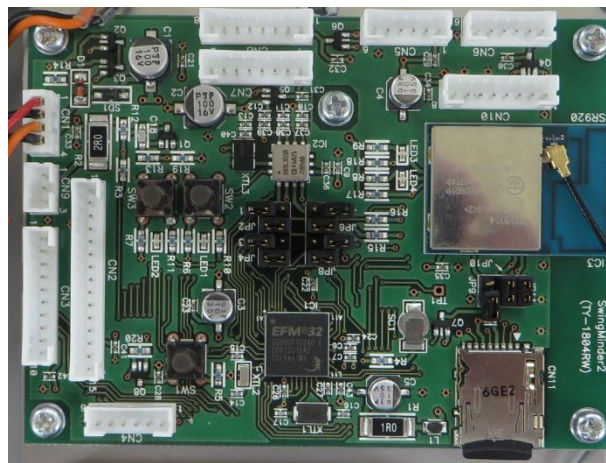


図-1 NICE32 電子回路基板

2.2 センサについて

センサ類の選定は常に難しい問題である。性能、コスト、消費電力を調査し、目的別に最適と思われるセンサを選定し、その接続ドライバソフトウェアを開発しなければならない。必要になってから探していたのでは間に合わないため、定期的に市販センサの状況を調査し、使えそうなセンサを事前評価すると共に接続ドライバソフトウェア

を開発し、必要な時は直ぐに使えるように準備するという地道な作業を10年以上継続してきた。

センサユニットは現時点で、超音波水位センサ、降雨量センサ、気温・湿度センサ、マルチポイント温度センサ、放射温度センサ、日射センサ、照度センサ、CO₂濃度センサ、傾斜センサ、地すべりセンサ、振動センサ、騒音センサ、塵埃センサ、人検知センサ、静止画像カメラ等に対応している。選定基準は必要十分な性能を有しかつ安価であることで、騒音センサなどは300円のMEMSマイクとソフトウェアによる信号処理を組み合わせで実現している。

静止画像カメラは1600×1200の高画質タイプを選定しており、JPEG圧縮後のデータサイズが100KB以上となるため、無線送信はせずNICE32に搭載されているmicroSDメモリに保存する仕様とした。1撮影当たりの所要時間はmicroSDメモリへの保存時間を含めて3秒以下で電流消費量は330mA・secであり、単三型Li乾電池×2本で3万枚程度の撮影が可能である。画像を無線伝送できないカメラの価値に疑問を抱かれるかもしれないが、センサと連動した撮影画像を回収できれば災害の発生状況の分析等に有効であることは容易に想像できるであろう。

2.3 データ収集ユニットについて

データ収集ユニットはIoT無線ネットワークとインターネット間のゲートウェイとしての機能と計測データを蓄積・処理するエッジクラウドサーバとしての機能を搭載している。コンピュータ基板には安価なオープンソースハードウェアであるBeagleBoneとオープンソースソフトウェアであるLinuxを採用し、様々なフィールドモニタリングに柔軟に対応できる独自開発のソフトウェア(ATOMSエンジン)を搭載している。ATOMSエンジンは移植性を考慮してJava言語で記述しており、使用するコンピュータハードウェアを変更してもほぼ無修正で動作する。

3. 水位モニタリングシステムとしての実装例

センサユニットには様々なセンサを搭載できるが、ここでは超音波水位センサ、降雨センサおよび静止画像カメラを搭載した、920MHz_LPWA無線通式水位モニタリングシステムとしての実

装例について報告する。openATOMSを利用することで、開発期間は1ヶ月程度と当社における従来のシステム開発期間の1/5以下とすることができた。(人件費換算で10百万円→2百万円)

3.1 基本仕様

[水位センサユニットの仕様]

- ・水位計測範囲 : 0.5~10m
- ・降雨量計測範囲 : ~100mm/hr
- ・画像解像度 : 1600×1200 pixel
- ・無線通信距離 : 20mW出力 最大5km程度
250mW出力 最大15km程度
- ・電池寿命 : 3~5年
(画像撮影頻度による)
- ・重量 : 2kg
- ・動作可能温度 : -20~60°C

[データ収集ユニットの仕様]

- ・インターネット接続 : LTEモバイル回線
- ・センサユニット接続数 : 16
- ・データ蓄積および参照 : 内蔵クラウドサーバ
- ・消費電力 : 11W
- ・動作可能温度 : 0~40°C
- ・LTE通信費 : 900円/月

水位計測は現場設置の容易な超音波距離計測方式とし、降雨量計測は転倒升方式とした。超音波水位センサの部品コストは9,300円、降雨センサは19,000円、静止画像カメラは3,000円程度で、さらに防水加工などの追加コストが掛かり、これらはセンサユニットの製造コストのうちかなりの部分を占めている。

カメラを使用せず、10分間隔で水位計測を行った場合のセンサユニットの平均消費電力は0.7mW程度と小さいため、その電源はコスト、信頼性およびメンテナンス性を考慮し、単三型Li乾電池を6本内蔵し5年間電池交換なしで使用できる設計とした。Li乾電池は自己放電率が1%/年未満と極めて小さく、また、-40~60°Cの温度帯で安定して使用可能であることから、現時点では他の如何なる電源方式よりも信頼性が優れており、かつ、安価である。

一方、無線中継局は常時100mW程度の電力を消費するため乾電池電源での動作は現実的ではなく、商用電源を確保できない場合はA4サイズ程

度の太陽電池と Li-ion 蓄電池を組み合わせる方式が最良の選択肢である。

データ収集ユニットの消費電力は 11W 程度と大きいため、商用電源が必要である。

静止画像は予め NICE32 に設定した撮影時間帯で、水位計測と連動して撮影されるようになっている。また、水位計測の時間間隔は水位の変化率に応じて自動調整できるようにもなっている。

NICE32 には 16GB の microSD メモリを搭載しており、10 万枚程度の静止画像を保存できるが、1 撮影当たり 330mA・sec の電流消費量があるため、3 万枚の撮影を行うと電池寿命が 2/3 程度 (5 年→3 年) となる。

河川の急激な増水や斜面の崩壊をセンサで検知しても、センサ情報だけではその現象の原因を解析し、今後の予防手段を講じるには不十分であることが多い。センサの計測値に大きな変動があった時の静止画像が記録できていれば、それらの作業の迅速化と高精度化に役立つものと思われる。



図-2 カメラ画像サンプル

IoT 無線通信方式には 920MHz_LPWA (LoRa) を採用しており、電波利用料の不要な 20mW 出力タイプでも、見通しを確保できれば 5 km 程度の通信距離があり、市街地でも 1 km 程度の通信は可能である。また、400 円/年の電波利用料の納付が必要になる 250mW 出力タイプを使用すれば、3 ~ 15km の通信距離があり、より広範囲のモニタリングが可能である。更には、太陽電池電源の無線中継局を設置することにより 4 ホップ程度の無線中継が可能となるため、大規模な水位モニタリ

ングシステムが容易に構築可能である。

3.2 センサユニットの外観

図-3 に降雨センサを除くセンサユニットの外観を示す。ユニット本体は簡易防水構造の ABS 樹脂ケース内に NICE32 電子回路基板と電池ボックス (単三×6 本) を収容している。NICE32 および電源は -20~60℃ で安定動作するため、特別な耐環境対策は不要で、屋外の直射日光下に暴露設置可能である。

本体左側の塩ビパイプの下側先端に超音波水位センサを接続している。右側の塩ビパイプの中には、920MHz_LPWA 無線通信モジュールとアンテナを収容している。センサモジュール、通信モジュールを接続するケーブル長は最大 5 m となっている。安価で耐候性に優れる塩ビパイプを利用することで防水構造を安価に実現している。ただし、超音波水位センサは音速補正用の温度センサを内蔵しているため、直射日光を当てないように日よけを設置することが望ましい。

本体下のカメラモジュールも簡易防水構造となっているが、レンズの汚損を防止するため、現場設置時には雨よけを取り付けることが望ましい。カメラモジュールと NICE32 間は 4 Mbps の高速通信を行っており接続ケーブルの最大長は 70cm と短い。別途長距離通信用のドライバモジュールを使用すれば 10m 程度まで延長可能である。カメラは撮影角 52° のピンホールレンズを搭載しているが、M12 マウント方式の任意の撮影角のレンズに交換可能である。



図-3 センサユニットの外観

3.3 フィールド試験

図-4 にフィールド試験におけるセンサユニットの設置状況を示す。超音波水位センサモジュールはその下方の障害物を避けて設置する必要がある。また、無線通信モジュールはできるだけ高所に設置することが望ましい。本体ボックスはメンテナンスのためアクセスが容易な設置方法とすることがある。

センサユニットの設置とメンテナンスは簡単ではない場合が多いため、コンパクトかつ軽量で、内蔵電池電源で長期間動作可能であることのメリットは非常に大きい。また、優れたパッケージングは設置作業の省力化とメンテナンス性の向上に大きく寄与するため、様々な現場での利用を想定したデザインとする必要がある。



図-4 センサユニットの設置状況

データ収集ユニットはセンサユニットの設置場所から 1 km 程離れた商用電源の確保できる場所に設置しており、台風に伴う豪雨時にも安定して水位計測データの受信が行えることを確認し

ている。データ収集ユニットにはコンパクトなクラウドサーバ機能が搭載されており、インターネット経由で PC、スマホなどの WEB ブラウザを接続し、現在水位の参照や過去の水位変動グラフを表示することができるようになっている。また、スマホからの簡単な操作で、任意の水位でメール通報するように設定することもでき、近隣住民の安全を守る街角水位計として必要十分な機能を搭載している。



図-5 データ収集ユニットの設置状況

4. まとめ

本報告では、openATOMS の概要ならびにそれをベースに開発したフィールドモニタリングシステムの一例として「無線通信式水位モニタリングシステム」を紹介した。コスト低減対策としては、openATOMS という共通プラットフォーム技術の利用により開発コストを抑制するとともに、性能とコストのバランスに優れたセンサを選択することで、既存の製品に対して 50%以上の低コスト化を実現している。また、センサユニットの低消費電力化対策としては、低消費電力で高性能な 32bitMCU の採用ならびに LPWA 無線通信技術の採用というハードウェア面の工夫に加えて、低消費電力動作を実現する独自開発の基本ソフトウェアと、センサへの電源供給制御を厳密に行うというソフトウェア面の工夫により、内蔵乾電池電源で 5 年間の連続動作を実現している。

開発した無線通信式水位モニタリングシステムは、現在フィールド試験により実環境下での実用性検証を継続して実施しており、今後いくつかの改良を加えた後に製品化の予定である。本シス

テムが地域社会の安全安心の向上に多少なりとも貢献できれば幸いである。

[謝辞]

本研究は、四国電力(株)新規事業部殿より委託を受け実施したものである。

最後に、無線通信式水位モニタリングシステムの開発ならびにフィールド試験に多大なるご協力を頂いた、香川高等専門学校、高松琴平電気鉄道(株)、四国旅客鉄道(株)の関係各位に深く感謝いたします。

[参考文献]

- 1) 中西美一：openATOMS を活用した各種フィールドモニタリングシステムの開発と運用，電気学会全国大会論文集（C 部門），2011
- 2) 中西美一：高性能かつ安価な農業用環境モニタリングシステム（HaPPiMinder）の開発，電気学会全国大会論文集（C 部門），2013
- 3) 中西美一：次世代 openATOMS の開発について，四国電力・四国総合研究所研究期報 No. 107 ，2017
- 4) 天野雄一郎他：無線式振動モニタリングシステム SwingMinder の開発，四国電力・四国総合研究所研究期報 No. 109 ，2018