

# 多様なセンサ接続を可能とする WSN プラットフォームの実装と社会応用

Implementation and Social applications of sensor connection practicable WSN Platform

大塚孝信\*<sup>1</sup> 鳥居 義高\*<sup>1</sup> 伊藤 孝行\*<sup>2</sup>  
Takanobu Otsuka Yoshitaka Torii Takayuki Ito

\*<sup>1</sup>名古屋工業大学大学院 情報工学専攻

Nagoya Institute of Technology, Department of Computer Science

\*<sup>2</sup>名古屋工業大学大学院 情報工学専攻, 情報科学フロンティア研究院

Nagoya Institute of Technology, Department of Computer Science, Frontier Research Institutes

As a field utilizing WSN, it is expected to be active in agriculture, fishery and disaster prevention fields. However, in general WSN, it is necessary to redesign the circuit and rewrite the software for different supply voltages and interfaces for each sensor, and operate a system specially designed for each field, so the system There is no compatibility between them, and because it is expensive, its application to real fields has not progressed. We installed different supply voltages and interfaces for each sensor as a system including software controllable circuit boards and made it possible to connect different sensors for each field. Furthermore, by constructing a server application capable of centralized management of data installed in a plurality of fields, a WSN platform capable of easily using actual data of various fields is implemented and used in a real field.

## 1. はじめに

WSN を活用したフィールドとして、農業、漁業および、防災分野での活躍が期待されている。しかし、一般的な WSN においては、センサごとに異なる供給電圧やインターフェースに対して回路の再設計やソフトウェアの書き換えが必要であり、フィールドごとに専用設計されたシステムを運用している。そのため、システム間の互換性もなく、高価であることから実フィールドへの応用が進んでいない。我々は、センサ毎に異なる供給電圧とインターフェースをソフトウェア制御可能な回路基板を含めたシステムとして実装し、フィールド毎に異なるセンサを接続可能とした。さらに、複数のフィールドに設置されたデータを一元管理可能なサーバアプリケーションを構築することにより、様々なフィールドの実データを容易に利用可能な WSN プラットフォームを実装し、実フィールドにおいて運用している。

本論文の構成を示す、まず、2 章で WSN における異種センサ接続の重要性と本研究の解決する課題について示す。そして、3 章において課題を克服するための設計指針とその実装について示す。そして 4 章において試作したシステムの評価と実社会応用について述べる。さらに、5 章において本研究と関連する先行研究を紹介する。そして最後に、6 章で本稿のまとめと今後の課題を示す

## 2. WSN における異種センサ接続の課題

本節では、異種センサ交換時におけるユーザーへの影響について述べる。WSN 分野における異種センサ接続に関する課題は認識されており、1-Wire 規格ユーザへの負担の少ない多様なセンサの交換を実現するための研究 [1] や、異種センサ情報を設定ファイルとして定義する研究 [2]、及び 3 種類程度のア

連絡先: 大塚孝信, 名古屋工業大学大学院 情報工学専攻, 〒 466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器町, TEL: 052-745-7968, FAX: 052-735-7407, E-mail: otsuka.takanobu@nitech.ac.jp

ナログセンサ交換が可能な製品 [13] がある。しかし、どの研究もセンサ変更時には最低限ソフトウェアの全面書き換えが必要であり、ユーザ自身が行うにことが困難である。また、センサがそれぞれ多様なインターフェースを持っていることである。センサは、それぞれ固有のインターフェースを持っている。インターフェースとは、センサを動作させるために必要な電力、センサ自身との通信形式、センサの制御方法をはじめとするセンサを動作させるために必要な要素のことである。一般的にセンサなどの電子素子は、それぞれ異なるインターフェースを持つために、付け替えるためには、既存のデバイスを電子素子毎のインターフェースに合せたものへ修正する必要がある。通信ノードにセンサを接続する場合も同様であり、通信ノードへ多様なセンサを接続させるためには、それぞれのインターフェースに対応する必要がある。ユーザへの負担の少ない、多様なセンサの交換を実現するための問題点は、通信ノードに対し、ユーザの負担になりうるような修正を行うことなく、多様なセンサに対応させることである。具体的には、センサを接続するだけでセンシング開始可能なプラットフォームを実現する必要がある。次章では実際のシステム実装について述べるとともに、課題それぞれの解決について述べる。

## 3. 異種センサ接続を可能とする WSN システムの実装

本章では、本研究で提案する WSN プラットフォームについて説明する。本研究で提案する機構を WSN システムに実装した場合の WSN システム全体の動作について説明する。図 1 において、以下の流れにより、WSN システムは、接続されたセンサ識別し、センサデータ収集を行う。

- (1) 外部センサコネクタを介し、通信ノードへセンサが接続される。通信ノードはセンサが接続されたことを検知し、その種類を特定した後、Web サーバへセンサを制御するために必要な情報を要求する。
- (2) Web サーバは、通信ノードからの要求をゲートウェイを



図 1: 提案プラットフォームの流れ

介して受け取る。センサに必要な情報を通信ノードへ送信する。

- (3) 通信ノードは、Web サーバからセンサを制御するために必要な情報をゲートウェイを介して受け取る。情報に従いセンサへ命令を送り、センサからデータを取得する。
- (4) 通信ノードは、一定時間おきに取得したデータを Web サーバへ送信する。
- (5) Web サーバは、通信ノードから受信したデータを保存する。ユーザからのアクセスに対して、保存したデータをグラフとして可視化したものを返す。

以下に詳細を示す。

(1) は、通信ノードによるセンサを制御するために必要な情報の要求を示している。WSN システムのユーザは、データを収集するため通信ノードに新たなセンサを接続する。通信ノードはセンサが接続されたことを検知し、どのようなセンサが接続されたかを種別する。本研究では、センサが接続されたことの検知、および接続されたセンサの種別を行う機構をセンサと通信ノードとの物理的な接続点であるコネクタに実装し、コネクタをもとに行っている。

種別の後、通信ノードは接続されたセンサの制御方法を把握しているか否かで挙動が変化する。制御方法を把握している場合は、(4) へ移行し、センサからデータを取得する。通信ノードがセンサの制御方法を把握していない場合は (2) へ移行し、サーバよりセンサの制御情報を取得する。

(2) は、通信ノードからサーバへのセンサの制御方法に関する情報の要求を示す。通信ノード、およびセンサには、それぞれを一意に指定する ID が割り振られており、ここでは、それぞれをノード ID、およびセンサ ID と呼ぶ。通信ノードから受信した情報の中には、どのノードにどのセンサが接続されたかを示すノード ID、およびセンサ ID が含まれている。サーバは、受信した情報内のセンサ ID に一致する制御情報を返信する。(3) へ移行する。

(3) は、通信ノードがサーバからの返信により、(1) にて接続されたセンサの制御情報を取得し、情報をもとにセンサから情報を取得することを示している。

(4) は、通信ノードによるセンサから取得したデータの Web サーバへ送信を示している。データの送信間隔については、通信ノードにより設定されている。設定された時間を経過すると通信ノードがセンサと通信を行って観測値を取得し、データとして通信ノード自体が計測している通信ノードの GPS 情報、通信ノード内部のバッテリーの電流値と電圧値および、太陽電池の電流値と電圧値をデータとして統合し、サーバへ送信する。以後、通信ノードが (4) を繰り返す。ユーザがデータの計測に用いるセンサを変更する際に (1) に移行する。

(5) は、通信ノードがセンサによって計測したデータの受信を示す。サーバは通信ノードからデータを受信すると、受信したデータをデータベースサーバへ格納する。ユーザは Web サーバへアクセスすることによって、通信ノードが収集したデータを閲覧することができる。Web サーバはデータベースに格納されているデータを可視化して、ユーザへ提供する。

### 3.1 ハードウェアの実装

本システムは、ソフトウェアによるセンサ通信制御を可能とするため、センサとの接続に関してはマイコンと外部センサコネクタに接続し、電源供給に関しては DC-DC コンバータにより供給電圧を変更している。

また、屋外における継続的な動作を可能とするため、太陽電池による自律的な稼働を可能としている。さらに、正常に太陽電池により充電できているか否かの確認のため、太陽電池からの入力電圧・電流、蓄電池からの出力電圧・電流についても表面実装されたセンサにより計測している。

以上により、異種センサへの電源供給を可能とするとともに、ソフトウェア処理によりセンサとマイコン間の通信方式の変更が容易な構造としている。また、GPS モジュールを内蔵し、通信ノードの位置が変更された場合においても web システムにより位置を容易に把握できるシステムとしている。

さらに、通信モジュールについては、通信のみを受け持つ構造となっており、拡張基板上に搭載されるため、変更が容易となっている。

### 3.2 ソフトウェアの実装

本章では、実装したソフトウェアについて述べる。通信ノードには、NXP 社製 mbed LPC1768 が搭載されている。mbed 上には、ノード全体を管理するためのミドルウェアであるバイナリファイルがあり、センサ固有の情報は設定ファイルであるプロファイルとしてサーバ上に格納される。ミドルウェアについては C 言語にて開発され、NXP 社の提供するオンライン開発環境 [10] を利用して実装した。

ミドルウェアには、オンボードのセンサの通信を管理するプロファイルが、センサ毎のクラスファイルとして格納されている。外部センサとの接続に関しては、接続されたコネクタ内部の EEPROM と通信を行うことで、センサ個別のプロファイルをサーバから取得し、センサ毎に異なる通信制御を行う。そのため、センサ毎にプロファイルを作成し、サーバにて一元管理することで異種センサのデータ読み込みに対応出来る。また、web サーバから各通信ノード個別にアクセスし、サンプリングレートをはじめとした設定を変更可能である。センサデータの閲覧に使用する web-UI については Ruby on Rails と MySQL により実装している。ソフトウェアアーキテクチャを図 2 に示す。

通信ノードとサーバ間には通信ノードの無線通信を集約するゲートウェイが存在する。ゲートウェイは、通信ノードの情報を集約し、3G 通信を利用した WSN もしくは LAN 回線にてサーバへデータを送信する。また、本通信ノードには最大 3 つのセンサが接続可能である。デジタルセンサとのインターフェースは I<sup>2</sup>C と SPI 形式が利用可能であり、アナログセンサとの接続は電圧式を用いて接続する。

以上により、I<sup>2</sup>C 及び SPI に接続されたセンサの通信についてはサーバ内のセンサ毎のプロファイルにより定義され、容易に変更が可能である。以上により、異種センサの接続に対応可能なシステムを実装した。

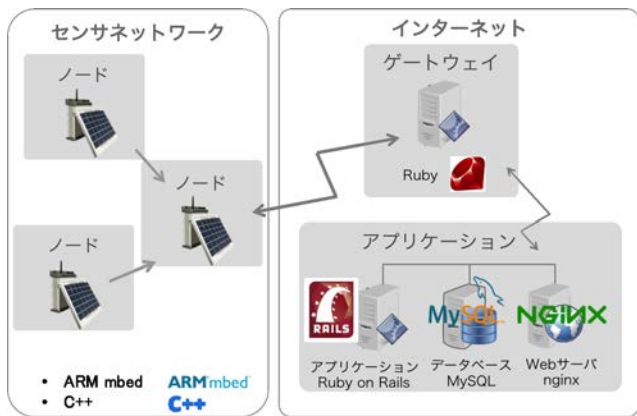


図 2: ソフトウェアアーキテクチャ

## 4. 評価実験

### 4.1 異種センサ接続試験

実フィールドへの応用実験に先立ち、基本的要件の確認のため試験を行った。オンボードセンサに加え、以下の外部センサを接続し、センシングデータが正常に送信されるかどうかについて確認した。

- センシズ社製 圧力式水位センサ HM-500
- マキシム社製 デジタル温度センサ DS18B20+
- パナソニック社製 デジタル人感センサ AMN31111

表 1 に接続試験の結果を示す。

表 1: 異種センサ接続試験結果

| センサ名      | 通信規格             | 供給電圧 | オンボード | 動作確認 |
|-----------|------------------|------|-------|------|
| CCA-705JZ | UART             | 3.3V | Yes   | OK   |
| ina226 -1 | I <sup>2</sup> C | 3.3V | Yes   | OK   |
| ina226 -1 | I <sup>2</sup> C | 3.3V | Yes   | OK   |
| HM500     | Analog(V)        | 6V   | No    | OK   |
| DS18B20+  | Digital(1-Wire)  | 6V   | No    | OK   |
| AMN31111  | Digital(I/O)     | 6V   | No    | OK   |

以上の結果により、オンボード及び外部センサについて接続を確認するとともに、サーバに対し正常にデータが送られていることを確認した。

### 4.2 実フィールドにおける応用

本節では、実フィールドにおける実際の運用試験について述べる。大規模豪雨発生時においては、一級河川の氾濫対策として、河川本線へ流入する支線の水門を閉鎖する。そのため、支線周辺の排水が行われず、冠水被害が発生する。本システムは、冠水被害発生時の冠水規模を判断するための可搬型アドホック水位計として開発され、試験運用後も引き続き静岡県三島市の河川において、継続的に水位を測定する長期試験を行っている。実に設置された水位計測システムを 3 に示す。

本システムは 2016 年 4 月より継続して運用されており、本提案プラットフォームにより異種センサの接続にも対応している。そのため、必要に応じて他センサの接続を容易に行うことが出来る。また、2017 年 3 月より運用を開始する真珠養殖向けである海水温予測のための複合気象センサノードに関しても、



図 3: 河川支線に設置された水位計測システム

水位監視装置と同じく提案システムにより運用される。異種センサを実フィールドにおいて柔軟に変更可能なシステムは他にないため、より多くのフィールドにおいて導入を予定している。

## 5. 関連研究

### 5.1 WSN における研究動向

インターネットの常時接続やスマートフォンの普及により、遠隔地の情報を即時に取得することが可能となっている。その中でも特に、回路基板の高密度化、シリコンデバイスの製造技術の向上により、無線通信モジュールやセンサの小型化、高性能化が進んでいる。また、スマートフォンに代表される機器の爆発的な普及により、従来は高価であったセンサや無線通信モジュールが一般的なユーザーでも容易に入手可能である。そのため、遠隔地の温度や湿度などの環境情報をユーザーが送信し、共有することで世界中の環境情報を収集する”Sensorpedia” [11] や”xively” [12] といったプラットフォームが登場してきている。しかし、これらのサービスにおいては情報を見ることは可能であっても、共有されたセンサ情報を処理し、ユーザーに適切なインタラクションを返す目的として設計されていない。また、ユーザーに対するサービスとしてのソフトウェア及びハードウェアに汎用性がなく、ユーザーの目的に応じたセンサの追加や削除が困難である。

我々は、大規模に高密度の情報を収集可能なセンサネットワークデバイスとサーバーアプリケーションを開発し、環境データの収集を行っている [14]。また、ワイアレスセンサネッ

トワーク分野においては、消費電力の低減を目的としたセンサ配置の最適化に関する研究 [15] や、センサノードアプリケーションの構築にエージェント技術を適用した研究 [16] も存在する。さらに、運用面での管理容易化を狙い、目的に応じたノードのプログラムを用意しておくことで、用途に応じたセンサネットワークの構築の容易化についての研究 [17]、状況に応じたネットワークトポロジを自律的に構成する研究 [18] もあり、多様な計測を行うフレームワークとしての WSN の研究が盛んである。

しかし、これらのデバイスは用途ごとにカスタマイズされており、センサ接続の汎用性が確保されていない。つまり、同じシステムで多様なセンサを接続することが可能であれば、他用途に使用することができるため、WSN を利用した環境情報収集がより広く利用できる。

## 6. まとめと今後の課題

本論文では、異種センサ接続を可能とする WSN プラットフォームについて、ハードウェアとソフトウェアの双方について示した。特に、汎用性を確保した WSN においては、ハードウェアとソフトウェアの融合が重要である。すなわち、ハードウェアだけが優れていてもソフトウェアとして完成していなければ使用に耐えないということである。本論文で紹介した技術を組み合わせるだけでなく、利用者の求めるサービスとして統合することが重要である。

また、WSN においては、無線通信技術や異常検知、及び低消費電力などを代表とした多くの課題が存在するが、自律稼働を目的とする WSN は主に計算量と消費電力といったハードウェア上の制約が大きい。そのため、ソフトウェアだけではなく、ハードウェア自体をソフトウェアにより制御することを示すとともに、ソフトウェア制御に適したハードウェアアーキテクチャについても実装した。

本研究は既に屋外での WSN に関するさまざまな知見 [8][9] の収集が完了しており、社会応用を進めている。

## 参考文献

- [1] Perera, M. D. R., Meegama, R. G., & Jayananda, M. K., "FPGA based single chip solution with 1-wire protocol for the design of smart sensor nodes", *Journal of Sensors*, 2014.
- [2] 川原貴裕, 松浦知史, 洞井晋一, 藤川和利, 砂原秀樹: 多様なセンサを考慮した組込機器用ミドルウェアの開発 (OS・ミドルウェア, 組込技術とネットワークに関するワークショップ ETNET2008), *情報処理学会研究報告. EMB, 組込みシステム*, Vol. 2008, No. 32(2008), pp. 209 - 214.
- [3] 平藤雅之, et al. "オープン・フィールドサーバ及びセンサクラウド・システムの開発." *農業情報研究* 22.1 (2013): 60-70.
- [4] 吉田将司, 千葉元, and 北條晴正. "富山湾における環境観測用センサネットワークの構築-III.-海水温観測システムの運用と課題-." *日本航海学会論文集* 128.0 (2013): 153-159.
- [5] Saxena, Vishal, et al. "Design and fabrication of a MEMS capacitive chemical sensor system." *Microelectronics and Electron Devices*, 2006. WMED'06. 2006 IEEE Workshop on. IEEE, 2006.
- [6] Semiconductors, Philips. "The I<sup>2</sup>C-bus specification." Philips Semiconductors, 2000
- [7] Zhiming, Yi. "The realization of SPI serial bus interface [J]." *Automation and Instrumentation* 6, 2006
- [8] Otsuka, Takano, Yoshitaka Torii, and Takayuki Ito. "Challenges and implementation of ad-hoc water gauge system for the grasp of internal water damage." 14th International Conference on Computer and Information Science (ICIS), 2015 IEEE/ACIS . IEEE, 2015
- [9] Takano Otsuka, Yoshitaka Torii, and Takayuki Ito. "A proto-type of a portable ad hoc simple water gauge and real world evaluation." *The Proceedings of the 2nd International Workshop on Smart Simulation and Modelling for Complex Systems*, 2015
- [10] ARM mbed, <https://www.mbed.com/en/>, 2016.3.20 閲覧
- [11] Sensorpedia, <http://www.sensorpedia.com/>, 2015.12.8 閲覧
- [12] Xively, <http://xively.com/>, 2015.12.8 閲覧
- [13] 住友精密工業センサネットワーク事業部, "無線センサーネットワーク MOTE", <http://www.xbow.jp/01products/index.html>. 2015.12.8 閲覧
- [14] 大塚孝信, 鳥居義高, and 伊藤孝行. "気圧センサノードを用いた局地的異常気象検知アルゴリズムの提案." *情報処理学会研究報告. ICS,[知能と複雑系]* 2014.4 (2014): 1-6.
- [15] Dhananjay Lal, Arati Manjeshwar, Falk Herrmann, Elif Uysal-Biyikoglu, Abtin Keshavarzian, "Measurement and Characterization of Link Quality Metrics in Energy Constrained Wireless Sensor Networks", *Proc of IEEE International Conference on Global Communications Conference*, pp.446-452, (2003)
- [16] 長 建太, 大須賀 昭彦, 本位田 真一, "知的移動エージェントによるマルチパーパスワイヤレスセンサネットワークアプリケーション", *情報処理学会論文誌, Vol47, No,12*, pp.3165-3178, 情報処理学会, 2006.
- [17] Hill, J., Szewczyk, R., Woo, A., Hailar, S., Culler, D.E., Kristofer, S, and Pister, J.: "System Architecture Directions for Networked Sensors", *Archeitctural Support for Programming Languages and Operating System3*, pp.93-104, 2000.
- [18] Fbk, C" L., Roman, G.-C. and Lu, C. "Rapid Development and Flexible Deployment of Adaptive Wireless Sensor Network Applications", *Proceedings of 25th IEEE international Conference on Distributed-Computing Systems*, pp.653-662 (ICDes,05), 2000