

## 実環境下における分散型センサネットワークの提案

大島 浩太\* 大塚 英悟† 櫻田 武嗣†† 原 宏‡ 渡辺 直明‡ 萩原 洋一†† 寺田 松昭\*

\*東京農工大学大学院 共生科学技術研究院 †東京農工大学大学院 工学府

††東京農工大学 総合情報メディアセンター

‡東京農工大学 農学部附属フィールドサイエンスセンター

本稿では、農工大のサテライトキャンパスであるフィールドミュージアム3箇所にセンサネットワークを構築する際の検討事項について述べる。構築するセンサネットワークは、農学分野での研究利用が可能なものとし、外的要因による障害対応や特殊なセンシング結果時のセンシングデータ量の向上方式を特徴とする。また、フィールドミュージアムそれぞれの環境条件の違いを活かし、環境がセンサネットワークに与える要因の解析を行うことを目標としている。

## A Proposal of Decentralized Sensor Network For Agricultural Use

Kohta OHSHIMA\* Eigo OTSUKA† Takeshi SAKURADA†† Horoshi HARA‡

Naoaki WATANABE‡ Yoichi HAGIWARA†† Matsuaki TERADA\*

\* Institute of Symbiotic Science and Technology † Graduate School of Engineering

†† Information Media Center ‡ Field Science Center, Faculty of Agriculture

Tokyo University of Agriculture and Technology

A decentralized sensor network was preliminarily constructed at three field museums, Tamakyuryo, Tsukui, and Karasawasan, in TUAT satellite campus in order to develop a real-time environmental database for agricultural studies which offers a real-time access via the Internet. Features of the network include the robustness against external troubles and the guaranteed quantity of the sensing data in the case of unusual sensing. Different environments of each field museums would also cause different types of unexpected responses to the network, which enables us to evaluate major environmental factors affecting the network.

### 1. はじめに

本稿では、農工大のサテライトキャンパスであるフィールドミュージアムへのセンサネットワーク構築に関する検討事項について報告する。工学分野研究者、農学分野研究者の連携

により得られる、農学研究で利用するための要件を備えたセンサネットワークの研究・開発および実践的評価を目標としている。異なる環境条件の地形に設置することで、環境がセンサネットワークに与える影響を明らかにする。

小型機器の低価格化や小型化、稼働時間の向上などを背景に、複数のセンサ機器をネットワークで接続することで一つのシステムを構成するセンサネットワークの研究開発が盛んに行われている。機器自体に無線機能を持たせ、電池で長時間駆動するセンサ機器を使うことで、時間制限は生じるものの、これまで設置が難しかった場所に設置できるという特徴がある。

センサネットワークはこれまで多くの研究やデバイスの開発がなされている。バッテリーを備えたセンサ端末の生存時間延長や通信効率の向上、ネットワークの自律形成、センシングデータの収集技術に関するものが多く、実際に屋外にセンサネットワークを構築した事例は少ない。これは、センサネットワークが企業にとってニーズが曖昧で、製品化が難しいことに起因していると考えられる。そこで、本稿では農学分野の研究利用にニーズを特化することとした。

農学分野では、古くからセンサ機器による環境モニタリングが行われてきた。高価なセンサ機器を人力で管理するという運用形態が多く、機器の故障はデータを回収する人が発見するまで分からないという問題があった。また、雨量や日照、風速などをセンシングする場合、通常その地域を代表する結果が得られる代表性のある箇所へのセンサ機器の設置が求められる。しかし、計測精度の高いセンサ機器は大きい場合があり、設置が容易な場所に設置されているケースも多い。センサネットワークを利用することで、管理の効率化や故障機器の早期発見および代表性のある箇所へのセンサ設置が可能となる。

センサネットワークの農学研究利用にあたり、解決すべき課題が2つある。1点目はセンサ機器の精度である。小型で安価なセンサは高

価なセンサ機器に比べると精度が低いものが多い。2点目は設置環境である。屋外といっても環境条件は多岐に渡り、湿度が高い、雷が多いなど、精密機器の動作に影響する環境が多い。湿度は無線通信距離に影響し、雷は機器そのものの故障に繋がる。本稿では、これらの課題を解決可能なセンサネットワークに関する検討について述べる。

## 2. 実環境設置に関する検討

本章では、農学研究利用に関するニーズおよび我々がセンサネットワーク構築場所に予定しているフィールドミュージアムについて述べる。

### 2.1 農学研究利用に関するニーズ

農学分野において、日照、雨量、気温、湿度、水質といったデータは植物の成長や動物の生態などを解析する際に重要なデータである。農工大の農学部では、図1に示すセンサ機器などを使ってこれらのデータ計測を行っている。センサ機器は、計測データを機器内に保存するため、定期的に人が回収する必要がある。したがって、遠隔地にセンサ機器を設置している場合は回収のために出向く必要があり、リアルタイムに遠隔地から計測結果を利用することはできない。携帯電話やPHSのデータ通信機能を利用して遠隔地モニタリングできる製品は存在するが、高価なものが多い。また、筒状の上部から入った雨量を計測する雨量計(図1右下)では、設置場所によって筒内に落ち葉が入り正確な計測ができず、人がデータ回収を行って初めて発見できるという問題がある。機器の故障発見も同じタイミングになる。



図 1 利用中のセンサ機器

センサ機器の設置場所には 2 つのニーズがある。

- ・ 特定のオブジェクト(樹木など)近辺の計測
- ・ 気象など地域を代表できるデータの計測

双方に共通するのは、場所を選ばないセンサ機器の設置である。小型機器を使うことで、設置場所の自由度は高まる。しかし、屋外への設置では、電源や通信手段の確保が重要となる。電池や太陽電池パネルによる電源は、連続稼働時間や確保できる日照量に問題があり、電源問題の解決に十分ではない。特に森林では太陽電池の利用は難しい。また、通信手段として無線を利用する場合は、送信電力と受信電力および通信量で電力が消費される。特に、送信電力は距離に応じて増加する。したがって、機器の設置箇所やセンシングタイミングに制約が生じる。

## 2.2 フィールドミュージアム概要

農工大は首都圏に 7 箇所のフィールドミュージアム(以下、FM)を所有している。本研究では、FM 多摩丘陵、FM 津久井、FM 唐沢山をセンサネットワーク構築環境として利用を予定している。それぞれの特徴を以下に示す。

### FM 多摩丘陵

東京都八王子市に位置する波丘地。波丘地と

は、丘が波のようにうねっている地形を意味し、尾根に囲まれた小さな集水域である。地形は起伏に富み、図 2 のように木々に囲まれた林や平地部分が混在している。



図 2 FM 多摩丘陵

### FM 津久井

神奈川県に位置する FM である。高原にある牧草地帯で風が強い(図 3)。湿度が低く、日照をさえぎるものが少ないため、太陽電池や風速発電などで電力確保が見込まれる。



図 3 FM 津久井

### FM 唐沢山

栃木県に位置する山。木々が多く、主に林業に関する演習に利用されている(図 4)。山の周囲が平地であるため、落雷が多く電子機器の故障が多い。



図 4 FM 唐沢山

それぞれの FM にある研究棟は、農工大工学部キャンパス(東京都小金井市)と NTT B フレッツで接続されており、十分な帯域の通信網が確保されている。

### 3. 提案システム概要

#### 3.1 提案システム構成

提案システム構成を図 5 に示す。各 FM に小型センサ端末を配置し、計測データを大学キャンパスに設置したデータ蓄積サーバに保存する。センサ端末は、電源や通信経路を確保できる箇所については有線接続を行うことで、稼働時間や不安定な通信から開放する。有線接続が困難な箇所については、電池で稼働する無線接続端末を利用する。有線接続のセンサ端末にも無線接続機能を付与し、無線接続端末からの計測データを受信し、データ蓄積サーバに転送する。利用者は、インターネット経由でデータ蓄積サーバにアクセスすることで、各 FM でのセンシング結果を参照、活用する。

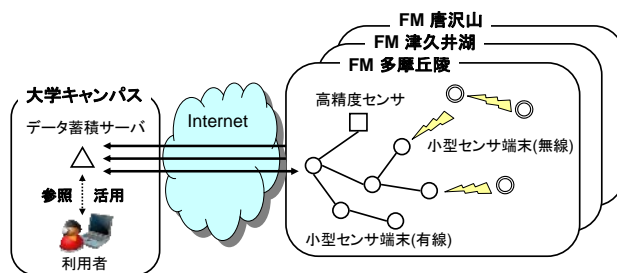


図 5 システム構成

#### 3.2 センサ端末

センサ端末を選ぶ条件として、研究利用可能なデータを採取できるセンサデバイスを接続できること、大量に配置するため低価格であることが挙げられる。センサと通信機能を備えた端末として、Mica Mote[1]、Smart Its[2]、uPart[3]などがある。これらは、センサそのものが端末に組み込まれており、センサの追加は容易ではない。研究利用を想定した場合は自由にセンサを追加できることが望ましい。最近 USB 接続可能なセンサデバイスが多く発売されていることもあり、USB 接続可能な端末として L-Box[4]と Armadillo[5]を選択した。これらの機器は、USB 端子を備えているので自由にセンサデバイスを接続することが可能である。また、OS が組み込み Linux なので方式開発における柔軟性が高い。

センサデバイスは Engine K30[6]を利用する。K30 は CO2 濃度センサで、USB 接続機能を備えている。まずは、地球温暖化の要因である温室効果ガスを計測可能なセンサネットワークを構築する。

#### 3.3 通信方式

屋外へのセンサ端末の設置は様々な障害により動作が不安定になることが多い。我々はこれまでに FM 唐沢山に遠隔監視システムを構築・運用[7]しているが、落雷などによる機器故障やメンテナンスによる回線停止によりシ

システムが使えない場合があった。そのため、障害がサービスそのものの停止に繋がることのない方式が求められる。

アドホックネットワークは無線接続端末が協調動作を行うことで機器の障害時にも通信が可能である。そこで、アドホックネットワークを採用することとした。センサ端末は固定して設置するため、常に周囲のノードを確認してルーティングテーブルを作成する Proactive 型プロトコルである OLSR[8]を採用する。しかし、OLSR は移動端末を対象としているため、固定端末で利用するとルーティングテーブル作成用の制御情報の通信に無駄が多い。そこで、端末が有線か無線かを判別し、制御情報の通信頻度の最適化を行う。

### 3.4 センシング方式

センサデバイスのセンシング間隔を動的に変更することで、環境の変化に柔軟に対応できる方式を提案する。山火事などの災害が発生すると、センサの計測結果は通常と異なる値を示す。これまでに我々は、物理的な空間を通信電波距離に応じて一定の大きさの格子(グリッド)に分割するグリッドベースのセンサネットワークにおいて、通常と異なる値を示した時(イベント)にセンシング密度を動的に変更する方式を開発している[9]。密度の変更により通常時より多くの計測データを取得できるため、異常時の状況を詳細に知ることができる。

本稿で扱うセンサネットワークはグリッドベースではないため、これまでの方式は使えない。そこで、センシング結果がある閾値より高い場合にセンシング間隔を短くすることで異常時により多くの情報を取得する方式を開発した。効果は計測する対象やセンサデバイスの種類に関係するため、今後有効性を検証する。

### 3.5 提案システムの特徴

提案システムは、有線・無線接続センサ端末を混在することで、安定したセンシングを行いつつ、一時的にセンシングを行いたい箇所のセンシングを可能としている。また、異なる環境条件の FM に設置することで、環境条件の違いがセンサネットワークに与える状況を解析することが可能となる。特に、波丘地、森林、牧草地帯の違いを解析することができ、都市部である大学キャンパスも含めると 4 つの異なる地域による影響を得ることができる。

## 4. 関連研究

自然環境にセンサネットワークを構築した事例がある。野鳥の生態観測[10]、樹木の調査[11][12]、火山活動[13]、氷河の観測[14]などを目的としている。これらは主にセンサ端末そのものがセンシング機能を持つ組み込み端末を用いており、観測対象に特化したセンサネットワークである。したがって、柔軟なセンサデバイスの追加により利用者のニーズを重視する本研究とは方針が異なる。

## 5. まとめ

本稿では、農学研究で利用可能なセンサネットワークの構築を目標に、ニーズ主体のセンサネットワークの設計について述べた。設置を予定しているフィールドミュージアム 3 箇所の環境条件を明らかにし、耐障害性のある通信方式、異常時に多くのセンシング結果が得られる方式の提案を行った。今後は、センサネットワークの構築と実践的評価を行い、有効性を明らかにする。

## 謝辞

本研究の一部は、共生情報工学推進経費の助成を受けている。

## 参考文献

- [1] Mica Mote, Crossbow Technology Inc.,  
<http://www.xbow.com/>
- [2] M. Beigl, H. Gellersen. Smart-Its: An Embedded Platform for Smart Objects, In Proc. Smart Objects Conference (SOC 2003), Grenoble, France (2003).
- [3] M. Beigl, A. Krohn, T. Riedel, T. Zimmer, C. Decker, M. Isomura: The uPart experience: Building a wireless sensor network, Proceedings of the ACM/IEEE Fifth International Conference on Information Processing in Sensor Networks, Memphis, USA (2006).
- [4] L-Box, NTT コムウェア,  
<http://www.nttcom.co.jp/l-box/>
- [5] Armadillo, Atmark Techno, Inc.,  
<http://armadillo.atmark-techno.com/>
- [6] CO2Engine K30, SenseAir,  
<http://www.senseair.se/>
- [7] 萩原洋一, 古谷雅理, 大島浩太, 櫻田武嗣, 瀬川大勝, 並木美太郎, 中森真理雄: ネットワークカメラを用いた監視システムの拡張, 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.4, pp.1665--1674 (2007).
- [8] T. Clausen, P. Jacquet: Optimized Link State Routing Protocol (OLSR), RFC3626 (2003).
- [9] 大塚英悟, 大島浩太, 寺田松昭: センサネットワークにおけるセンシング密度のイベント適応方式の検討, FIT2007, 第4分冊, pp.191--192 (2007).
- [10] R. Szewczyk, E. Osterweil, J. Polastre, M. Hamilton, A. Mainwaring, D. Estrin: Habitat monitoring with sensor networks, CACM, Vol.47, No.6, pp.34--40 (2004).
- [11] M. Batalin, M. Rahimi, Y. Yu, S. Liu, G. Sukhatme, W. Kaiser, M. Hansen, G. Pottie, D. Estrin: Call and Response: Experiments in sampling the environment, ACM SenSys04, pp.25--38, Baltimore, Maryland (2004).
- [12] 伊藤昌毅, 片桐由希子, 石川幹子, 徳田英幸: Airy Notes : 緑地計画のための無線センサネットワークによる環境モニタリング, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.1, pp.69--82 (2008).
- [13] G. Werner-Allen, K. Lorincz, J. Johnson, J. Lees, M. Welsh: Fidelity and Yield in a Volcano Monitoring Sensor Network, OSDI2006, pp.381--396, Seattle, (2006).
- [14] K. Martinez, P. Padhy, A. Elsaify, G. Zou, A. Riddoch, J. K. Hart, H. L. R. Ong: Deploying a Sensor Network in an Extreme Environment, SUTC06, pp.186--193, Taiwan (2006).