

複数拠点統合型センサネットワークテストベッド X-Sensor の設計と実装

神崎 映光[†]

原 隆浩[†]

中山浩太郎[†]

若宮 直紀[†]

下條 真司^{††}

[†]大阪大学大学院情報科学研究科

^{††}大阪大学サイバーメディアセンター

無線センサネットワークを対象とした研究は盛んに行われているが、その大半はシミュレーション実験による性能評価を行っており、実環境における実証実験を行っているものは数少ない。また、実環境上で実証実験を行う場合、複数の異なる環境を構築することは非常に困難である。そこで本研究では、これらの問題を解決するため、複数拠点に設置されたセンサネットワークを統合利用できるセンサネットワークテストベッドである X-Sensor を設計、実装する。X-Sensor は、複数の拠点に無線センサネットワークを構築することで、複数の異なる実証実験環境を提供する。また、各拠点において取得したデータを蓄積し、ユーザに提供する。

The Design and Implementation of X-Sensor, a Sensor-Net Testbed Integrating Multi-Networks

Akimitsu KANZAKI[†]

Takahiro HARA[†]

Kotaro NAKAYAMA[†]

Naoki WAKAMIYA[†]

Shinji SHIMOJO^{††}

[†]Grad. Sch. of Information Science and Technology, Osaka Univ.

^{††}Cybermedia Center, Osaka Univ.

Although many researches on wireless sensor networks are devoted, almost all of them evaluate their methodologies by simulation experiments. In other words, there are few researches which conduct experiments in real environments. In addition, it is very difficult to construct various different environments for evaluating methodologies in the real environment. In this paper, we design and implement a new sensor network testbed, X-Sensor, that integrates multiple wireless sensor networks deployed at difference sites in order to solve these problems. X-Sensor provides an experimental testbed by constructing wireless sensor networks at multiple sites. Moreover, X-Sensor accumulates the data acquired in each network and provides it for the users.

1 はじめに

近年の無線通信技術の発展や計算機の小型化に伴い、センシングデバイスを搭載した小型の無線通信端末（センサノード）で構築する無線センサネットワークに注目が集まっている。無線センサネットワークは、複数のセンサノードが無線で接続し、協調的に動作することで、環境センシングや建物内のセキュリティシステム、物体追跡をはじめとしたさまざまなアプリケーションへの応用が可能である。そのため、無線センサネットワークを対象とした数多くの研究が、ネットワークプロトコルやデータ管理を中心に盛んに行われている。しかし、現在行われている研究の大半は、提案した手法をシミュレーション実験によって評価するに留まっており、実ネットワークを利用した動作確認や実証実験を行っているものは数少ない。これは、提案した手法を適用する大規模な無線センサネットワークを実ノードを用いて構築することが非常に困難であるこ

とに起因する。また、所望の環境を構築できた場合でも、ネットワークトポロジ等を変更し、複数の環境で実証実験を行うことは、依然として困難であると考えられる。

そこで本研究では、上記の問題を解決するため、複数拠点統合型センサネットワークテストベッドである X-Sensor の設計と実装を行う。X-Sensor では、複数拠点に設置されたセンサネットワークを統合し、実証実験環境としてユーザに提供する。これにより、さまざまな環境における提案手法の実装実験が可能となる。また、X-Sensor では、各拠点において収集したデータを蓄積し、ユーザに提供する。これにより、データ解析やデータマイニング等の分野における手法の性能を、膨大量の実データを用いて評価することが可能となる。

以下では、第2章で、本研究で設計、実装した X-Sensor について述べる。第3章では、関連研究を紹介し、本研究との差異について議論する。最後

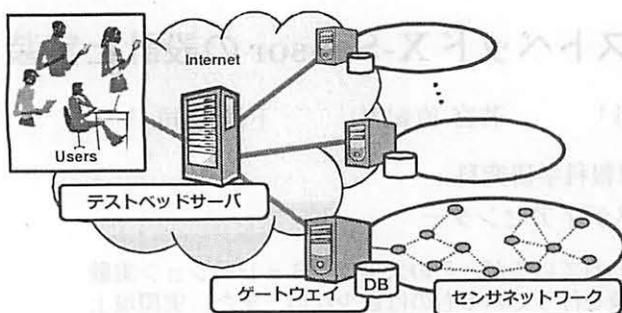


図 1: テストベッド概観

に第 4 章で本稿をまとめ、本研究の今後の課題について述べる。

2 X-Sensor

本章では、本研究で設計、実装したセンサネットワークテストベッドである X-Sensor について述べる。

2.1 テストベッド概観

X-Sensor は、センサネットワーク、ゲートウェイ、およびテストベッドサーバから構成される。図 1 に、テストベッドの概観図を示す。以下、それぞれについて述べる。

2.1.1 センサネットワーク

先に述べたとおり、X-Sensor では複数のセンサネットワークを統合利用する。各センサネットワークは、基地局となるノードを介してゲートウェイと接続している。現時点では、センサノードとして、クロスボー社 [4] 製の MICAz Mote [7] のみ設置可能である。また、各ノードには、クロスボー社製の任意のセンサボードを搭載できるが、現時点では、光、温度、湿度、圧力、および二軸加速度を測定可能なセンサボードを全ノードに搭載している。

2.1.2 ゲートウェイ

各ゲートウェイは、基地局ノードを介して接続しているセンサネットワークを管理し、ノードから取得したデータを蓄積する。蓄積したデータは PostgreSQL [5] データベースに保存され、自身やテストベッドサーバから参照可能となっている。

2.1.3 テストベッドサーバ

テストベッドサーバは、全ゲートウェイの情報を管理する。また、Web ベースのインタフェースをユーザに提供し、センサネットワークの制御やデータの取得を容易にしている。図 2 に、テストベッド

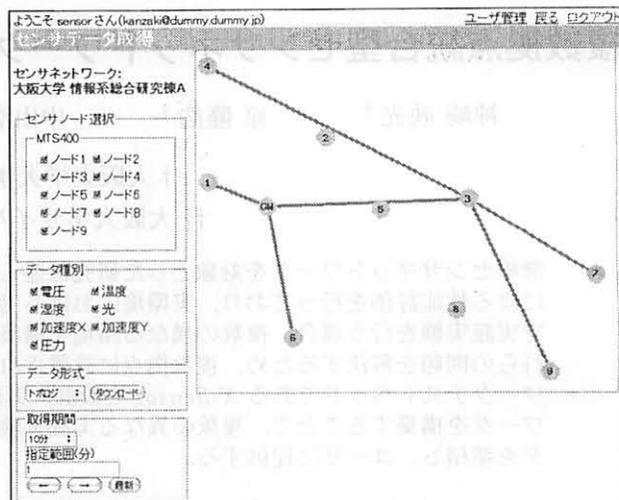


図 2: Web インタフェースの表示画面

サーバが提供する Web インタフェースの表示画面の一例を示す。Web インタフェースの詳細な動作については、次節で述べる。

2.2 テストベッド提供機能

X-Sensor は、(a) センサネットワーク検索、(b) センサデータアーカイブ、および (c) 実証実験環境の 3 つの機能を提供している。これらの機能は、すべてテストベッドサーバ上の Web インタフェースを介して利用可能となっている。以下では、それぞれの機能について詳説する。

2.2.1 センサネットワーク検索

ユーザがデータ取得や実証実験に適したセンサネットワークを検索するために利用する。図 3 に、検索画面の一例を示す。現時点では、以下の項目を用いた検索が可能である。

拠点名：センサネットワークおよびゲートウェイを設置している拠点の名称。各拠点の管理者が指定する。

キーワード：センサネットワークの特徴を表すキーワード。各拠点の管理者が任意数登録する。

センサボード：センサネットワーク内のノードに搭載されているセンサボード。

データ公開状態：ゲートウェイにおいて蓄積しているデータをユーザに公開しているかどうかの状態。各拠点の管理者が指定する。

スケジュール：他のユーザが実証実験を行ってい

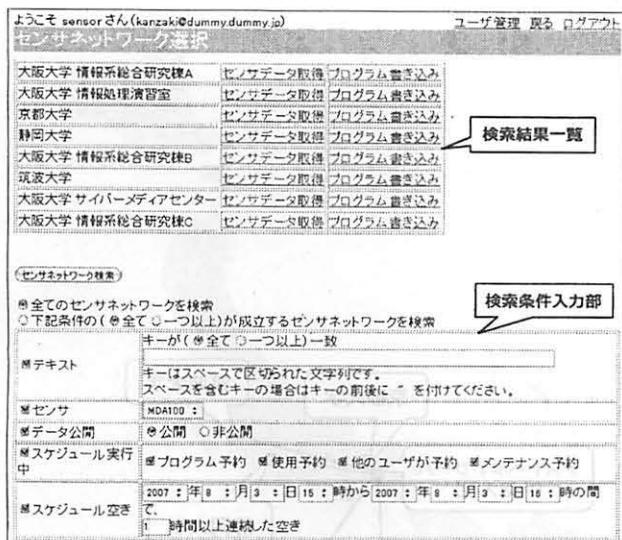


図 3: センサネットワーク検索画面

るかどうかや、拠点管理者によるメンテナンスが行われているかの状態。

空き時間 : 実証実験を行うための空き時間。

2.2.2 センサデータアーカイブ

ユーザがゲートウェイにおいて蓄積されたデータを取得する場合、まず上述した検索機能を用いてセンサネットワークを検索する。その後、テストベッドサーバに対して、対象とするセンサネットワークのデータを返信するよう依頼する。このとき、ユーザは、以下の項目を指定することで、取得するデータを選択できる。

ノード ID : センサネットワーク内の各ノードの識別子。

データ種別 : センサボードによって取得したデータの種別。

データ形式 : 返送データの形式。現時点では、生データに加え、グラフ形式、HTML 表形式、CSV 形式による取得が可能である。

取得期間 : データを取得する期間。

図 4 に、センサデータ取得画面の一例を示す。

データ取得依頼を受けたテストベッドサーバは、対象とするゲートウェイのデータベースにアクセスし、対応するデータを取得する。さらにテストベッドサーバは、取得したデータをユーザの指定した

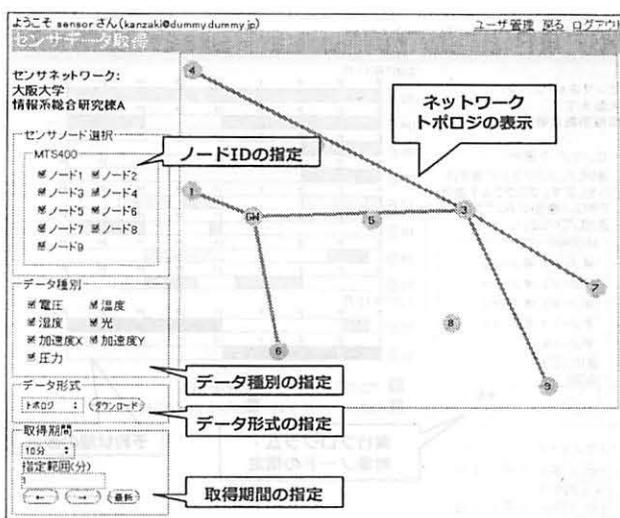


図 4: センサデータ取得画面

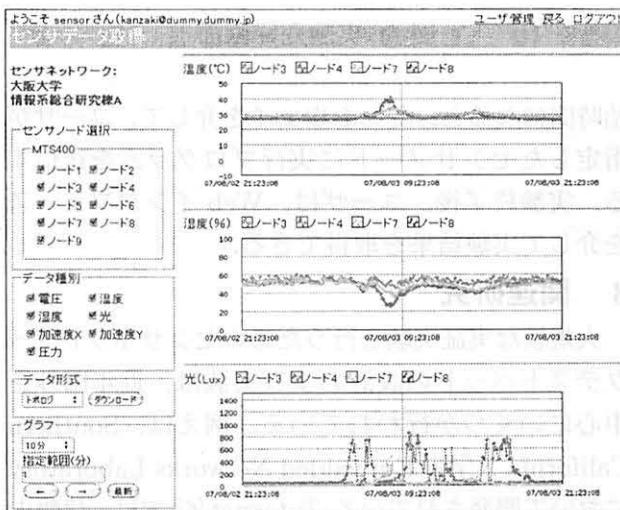


図 5: グラフ形式のデータ出力

データ形式に変換し、ユーザに返信する。図 5 に、グラフ形式の返送データの一例を示す。

2.2.3 実証実験環境

ユーザがセンサネットワーク上で実証実験を行う場合、まず上述した検索機能を用いて、実験に必要な期間に利用可能なセンサネットワークを検索する。該当するセンサネットワークが存在する場合、ユーザは実験を行う期間および実行プログラムをテストベッドサーバにアップロードし、自身の実験を登録する。このときユーザは、実行プログラムを書き込むノードを指定できる。これにより、ノードごとに異なる動作を規定した実験が可能となる。図 6 に、実験登録画面の一例を示す。

テストベッドサーバは、ユーザが指定した実験開

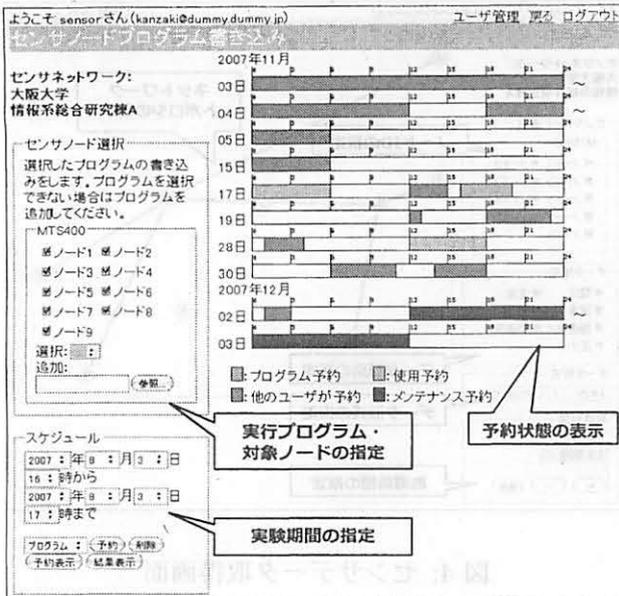


図 6: 実験登録画面

始時間になると、ゲートウェイを介して、ユーザが指定したセンサノードに実行プログラムを送信する。実験終了後、ユーザは、Web インタフェースを介して実験結果を取得できる。

3 関連研究

大規模な実証実験を行うためのセンサネットワークテストベッドの設計および実装は、近年国外を中心にいくつか行われている。例えば、Southern California 大学の Embedded Networks Laboratory において開発されている *TutorNet* [6] では、建物内に 104 個のセンサノードからなるセンサネットワークを構築している。また、Harvard 大学において開発されている *MoteLab* [3] も同様に、建物内に実験用のセンサネットワークを構築しており、現時点で 184 個のセンサノードを設置している。さらに、Harvard 大学と BBN テクノロジーが共同で開発している *CitySense* [1] は、都市内に散布されたセンサノードによってセンサネットワークを構築している。さらに大規模なセンサネットワークを構築しているものとしては、Ohio State 大学において開発されている *Kansei* [2] があり、現時点で 210 個のセンサノードからなるセンサネットワークを構築している。

これらのテストベッドは、全てプログラムの書込みが可能なセンサノードを利用しており、遠隔地からの実証実験を可能としている点で、本研究で設計した X-Sensor と類似している。しかし、これらの

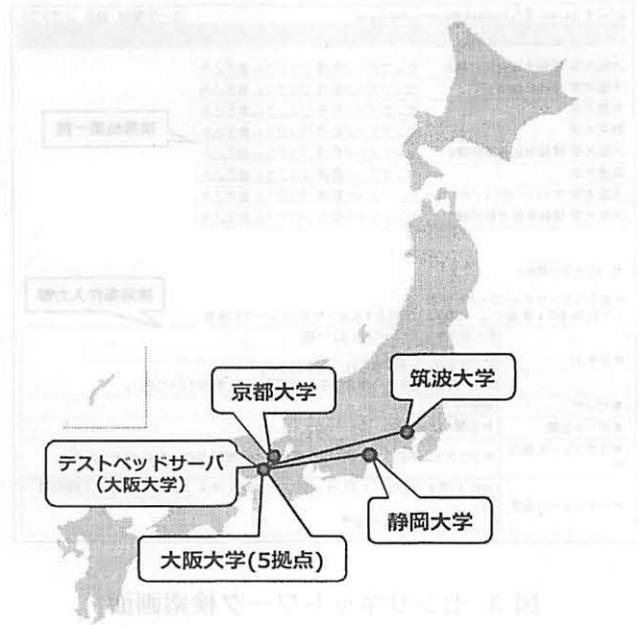


図 7: 拠点設置状況 (2007 年 8 月現在)

テストベッドは、単一のセンサネットワークを独立して構築、管理している。そのため、ユーザが複数の異なる環境において実証実験を行うためには、各テストベッドの利用方法（自身の登録、プログラムのアップロード、データ取得など）を個別に習得する必要がある。一方、X-Sensor では、ユーザは、テストベッドサーバ上の Web インタフェースを介して複数のセンサネットワークにアクセスでき、複数の異なる環境における実証実験を容易に行える。

さらに、X-Sensor では、ユーザによる実証実験が行われていないセンサネットワークで取得したデータは、全てゲートウェイに蓄積される。そのため、テストベッド全体で蓄積されるデータ量が膨大なものになる。このような膨大な実データは、データ解析を中心としたさまざまな分野における研究にとって非常に有用なものであると考えられる。

4 まとめ

本稿では、複数拠点に配置されたセンサネットワークを統合利用できるセンサネットワークテストベッドとして設計、実装した X-Sensor について述べた。X-Sensor は、現時点で 10 個のセンサノードを設置した拠点を 8ヶ所配置している (図 7)。また、2007 年中に新たに 100 個のセンサノードを追加し、拠点内に設置する予定である。

2 章で述べたとおり、現時点では MICAz Mote のみがセンサノードとして設置可能となっている。今

後は、対応するセンサノードを拡張し、多様なセンサネットワークでの実証実験を可能とする予定である。また、現時点では、実証実験のスケジューリングや、取得データの形式変換など、ほぼ全ての処理をテストベッドサーバ上で行っている。そのため、これらの処理を各ゲートウェイが行うことで、テストベッドサーバにおける負荷の集中を抑制する方法について検討する予定である。

謝辞

本研究は、文部科学省科学研究費補助金特定領域研究(18049073)の研究助成によるものである。ここに記して謝意を表す。また、日頃よりご指導頂いている、大阪大学大学院情報科学研究科 西尾章治郎教授に感謝の意を表す。さらに、テストベッド X-Sensor の開発および運用に関して、常日頃よりご議論頂いている、筑波大学大学院システム情報工学研究科 北川博之教授、天笠俊之講師、川島英之講師、大阪大学大学院情報科学研究科 東野輝夫教授、山口弘純准教授、梅津高朗助教、竹本芳昭技術職員、大阪大学サイバーメディアセンター 寺西裕一講師、野崎一徳教務職員、静岡大学情報学部情報科学科 渡辺尚教授、京都大学学術情報センター 義久智樹助教に謝意を表す。

参考文献

- [1] CitySense, <http://citysense.net/>.
- [2] Kansei Sensor Testbed, <http://ceti.cse.ohio-state.edu/kansei/>.
- [3] MoteLab - Harvard Network Sensor Testbed, <http://motelab.eecs.harvard.edu/>.
- [4] Official Page of Crossbow Japan, <http://www.xbow.jp/index.html>.
- [5] PostgreSQL: The world's most advanced open source database, <http://www.postgresql.org/>.
- [6] TutorNet: A Tiered Sensor Network Testbed, <http://enl.usc.edu/projects/tutornet/>.
- [7] Zigbee 版 無線センサネットワーク MOTE MI-CAz, <http://www.xbow.jp/zigbee-smartdust.html>.