

【パートII：情報分野研究者のためのオンリーワン共有イノベーションプラットフォーム】

6.

**X-Sensor：大規模実証実験を可能とする
センサネットワークテストベッド**原 隆浩^{*1}神崎 映光^{*1}中山浩太郎^{*1}義久 智樹^{*1}寺西 裕一^{*1}若宮 直紀^{*1}下條 真司^{*2*1}

*1 大阪大学

*2 情報通信研究機構

センサネットワークテストベッド：X-Sensor

センサデバイスを搭載した小型の無線通信端末（センサノード）によって構築するセンサネットワークは、環境センシングや建物内のセキュリティシステム、物体追跡など、数多くのアプリケーションへの応用が期待され、すでに実運用も開始されている。しかし、センサネットワークの普及は我々の生活をより快適にする反面、数多くのセンサネットワークから膨大なデータが生成されるため、センサ情報による「情報爆発」への対応が重要な課題となっている。このような大量のセンサ情報を効率的に収集・管理するために、データ管理技術やネットワークプロトコルを始めとして、センサネットワークを対象とした研究が国内外を問わず活発に行われている。

センサネットワークは、計算能力や電力供給等の資源が限られたセンサノードを用い、低電力の無線通信によりネットワークを構築することが一般的である。そのため、電波の伝播や電力消費などのモデル化が非常に困難であり、研究者が提案した手法の動作確認や性能評価には、実ノードを利用した実験が必要となる。しかし、特に国内において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とどまっておき、実環境上での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できる大規模な環境の構築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。

そこで筆者らは、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-Sensor¹⁾ の構築を進めている。以下に、X-Sensor の特徴を示す。

● **大規模数テストベッド環境を提供**

100 以上の実ノードを配置した大規模なテストベッド環境をユーザに提供する。これにより、提案手法の実

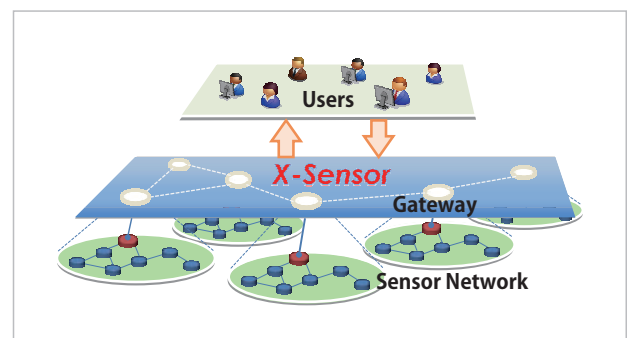


図-1 X-Sensor 概観

証実験を大規模な実環境上で行えるようになる。

● **複数拠点の統合利用が可能**

センサネットワーク拠点を複数配置し、それらを統合利用できる環境を提供する。これにより、単一のネットワークだけでなく、異なる拠点に構築されたさまざまな環境での実験が可能となる。

● **大規模な実データアーカイブを提供**

各拠点で収集された実データを蓄積し、ユーザに提供する。これにより、センサデータ解析等の分野における手法の性能を、膨大な実データを用いて評価できる。

図-1 に、X-Sensor の概観を示す。X-Sensor は、複数のセンサネットワーク拠点から構成される。各拠点は、センサノードによって構築されるセンサネットワークと、センサネットワークを制御・管理するゲートウェイからなる。ゲートウェイは、基地局となるシンクノードを介してセンサネットワークと接続している。ユーザが実証実験を行う際は、対象拠点のゲートウェイが、実験用のプログラムをセンサノードに書き込み、その結果を蓄積・返送する。一方、実験期間以外は、センサノードが取得したデータを蓄積し、ユーザに提供する。

なお、現状では X-Sensor の利用および拠点参加は、すべて要求ベースであり、プロジェクト内で議論して認

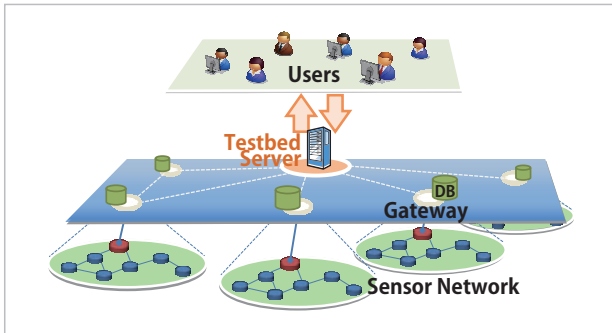


図-2 X-Sensor 1.0

拠点名	ノード数
大阪大学 サイバーメディアセンター	11
大阪大学 情報系総合研究棟 2 階	108
大阪大学 情報系総合研究棟 5 階	11
大阪大学 情報系総合研究棟 6 階	11
大阪大学 情報処理演習室	11
京都大学	11
静岡大学	11
筑波大学	11

表-1 拠点設置状況 (2008 年 4 月現在)

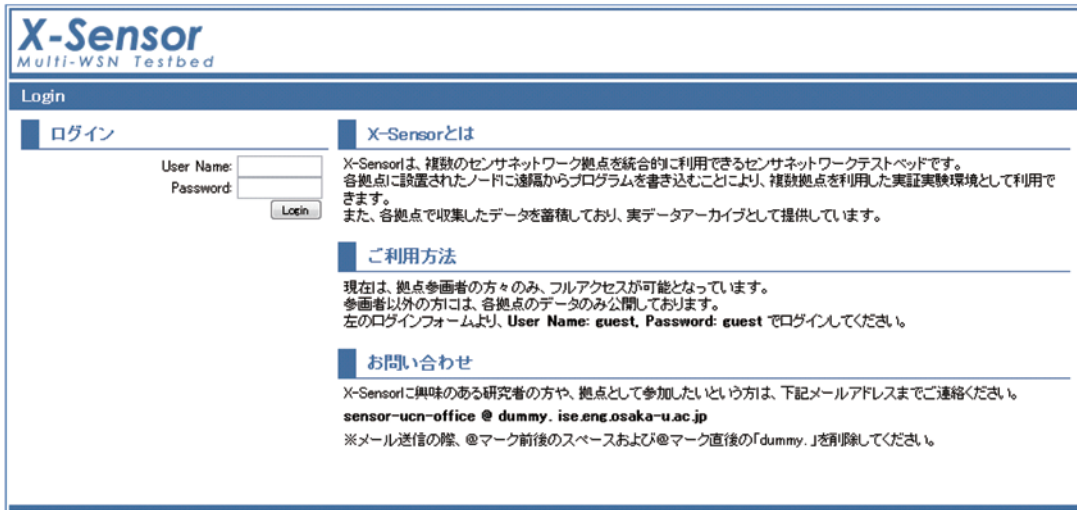


図-3 Web インタフェース表示画面

可するか否かを決定している。利用もしくは拠点参加を希望する読者は、筆頭著者の原まで連絡いただきたい。

X-Sensor 1.0 の構築

ここでは、現行版である X-Sensor 1.0 について述べる。X-Sensor 1.0 は、図-2 に示す通り、テストベッドサーバがすべてのゲートウェイを集中管理する形で構成されている。また、センサネットワーク拠点は表-1 に示す 8 カ所存在し、すべて Web サイト (<http://www.x-sensor.org/>) 上において利用可能である。以下、それぞれの構成要素について詳述する。

●センサネットワーク

現時点では、センサノードとして、クロスボー社製の MICAz Mote のみ設置可能である。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。また、拠点ごとに 1 つのシンクノードが存在し、基地局インタフェース基板を介してゲートウェイと接続している。

●ゲートウェイ

ノードが取得したデータや実証実験の結果を、シンクノードを介して収集し、自身のデータベースに保存する。

保存されたデータは、自身やテストベッドサーバから参照できる。

●テストベッドサーバ

全ゲートウェイの情報を管理する一方で、ユーザには Web ベースのインタフェースを提供し、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-3 に、Web インタフェースの表示画面の一例を示す。

●テストベッド提供機能

X-Sensor 1.0 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、各機能について詳説する。

< (a) 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-4 に、検索画面の一例を示す。現時点では、拠点名やノードに搭載されているセンサデバイス、予約空き時間などを用いた検索が可能である。

< (b) センサデータアーカイブ >

ユーザが Web インタフェース上でセンサネットワー

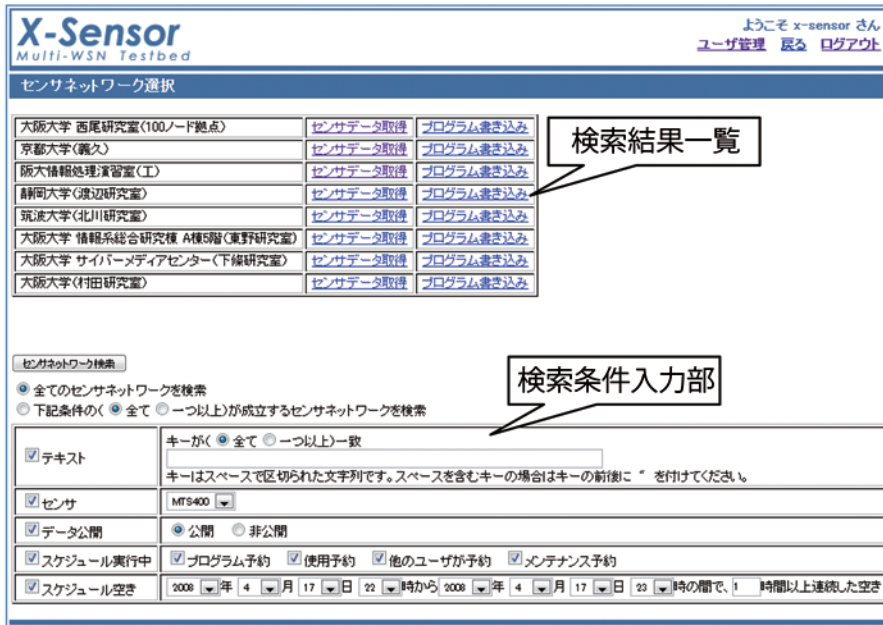


図-4 センサネットワーク検索画面

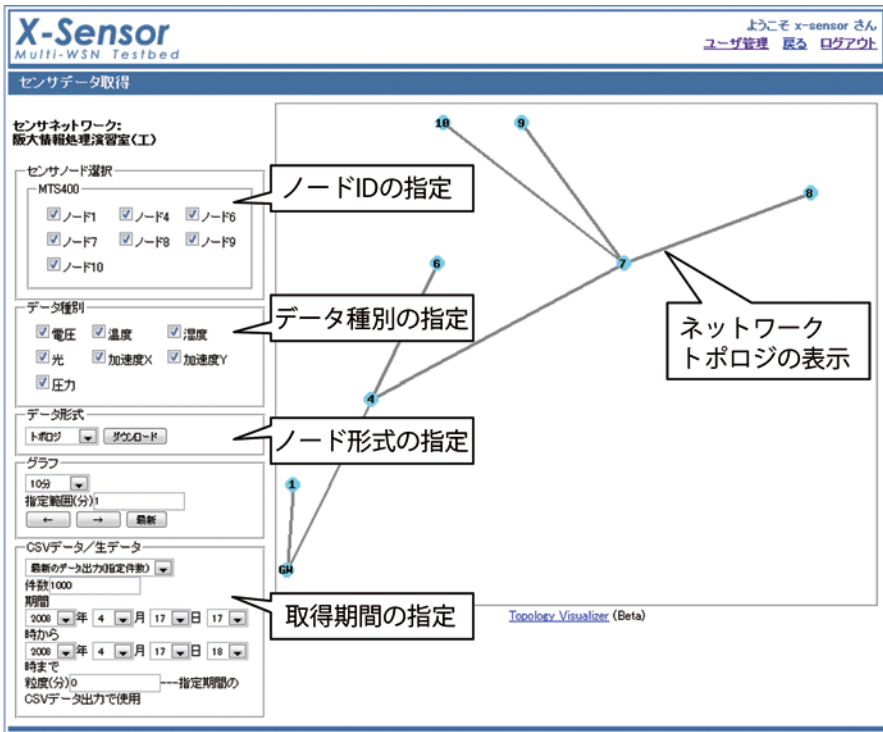


図-5 センサデータ取得画面

ク拠点にアクセスすると、**図-5**に示すデータ取得画面が表示される。この画面では、対象としているセンサネットワークのトポロジが確認できる。ここで、ネットワークトポロジの表示は、各ノードの実際の位置を表示する実トポロジと、各ノードからのシンクノードまでの通信経路を論理的に表示する論理トポロジから選択できる。**図-6**に、それぞれの表示形式で出力されたネットワークトポロジの一例を示す。また、画面左部のメニューから、対象拠点において蓄積されたデータを取得できる。このとき、ユーザは、取得するデータの種別や期間、データ形式などを選択できる。

データ取得要求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データ形式に変換し、ユーザに返信する。**図-7**に、グラフ形式の返送データの一例を示す。

< (c) 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

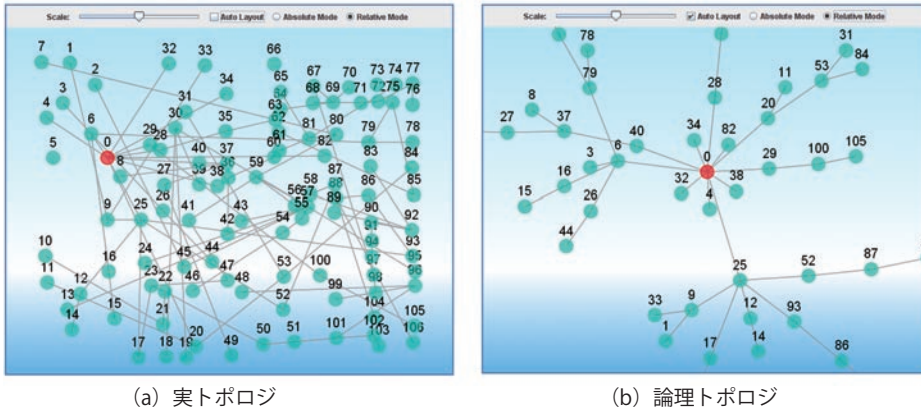


図-6 ネットワークトポロジの表示

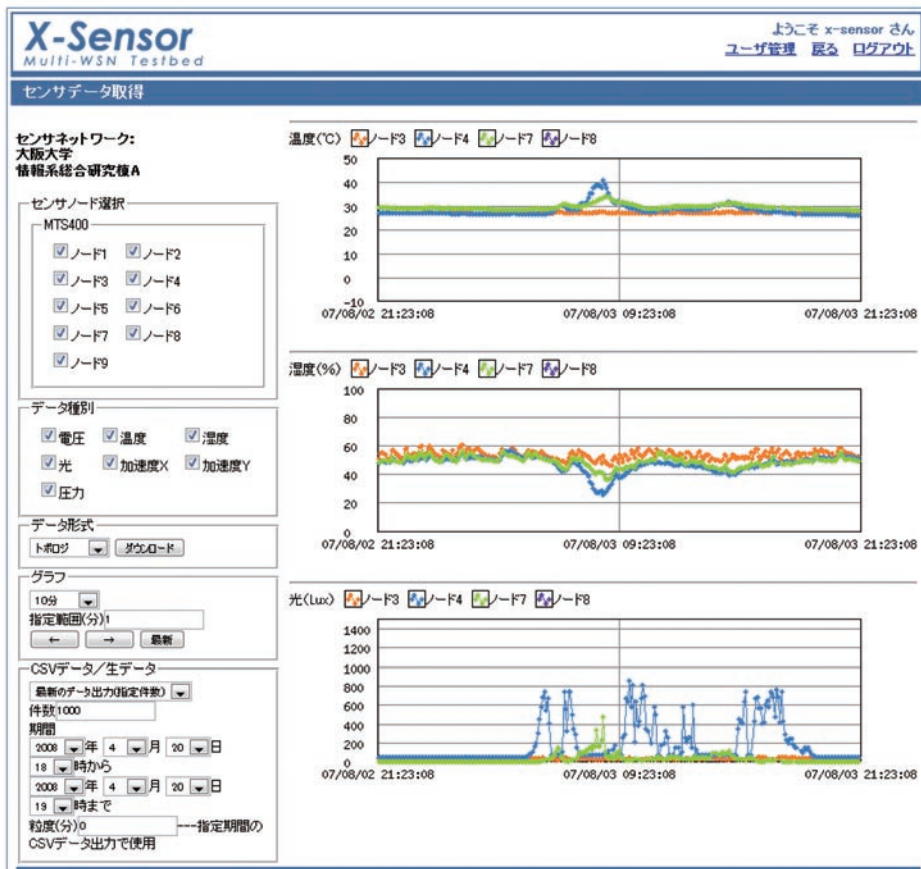


図-7 グラフ表示

ずは、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-8に、実験予約画面の一例を示す。

テストベッドサーバは、ユーザが指定した実験開始時刻になると、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。

● 100 ノード拠点の構築と準備実験

X-Sensor 1.0 で提供する大規模テストベッド拠点として、大阪大学情報系総合研究棟 2 階に 108 ノードを設置した。また、設置したノードを用いて、データ収集

および実験プログラムの書込みが正常に行えることを確認した。設置の様子および動作確認において取得した情報を、図-9 および図-10 に示す。

今後の展開

ここでは、現行版である X-Sensor 1.0 の技術的な課題について述べた後、現在新たに設計を進めている改良版である X-Sensor 2.0 について述べる。

● X-Sensor 1.0 の技術的課題

X-Sensor 1.0 では、テストベッドサーバがすべてのゲートウェイを集中管理しており、センサネットワーク

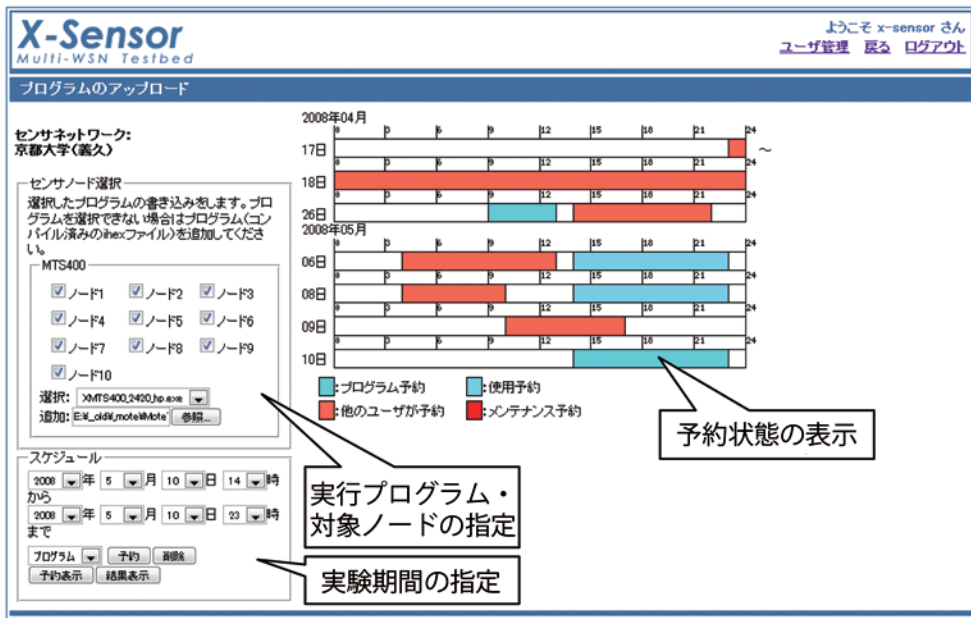


図-8 実験予約画面



図-9 100 ノード設置の様子

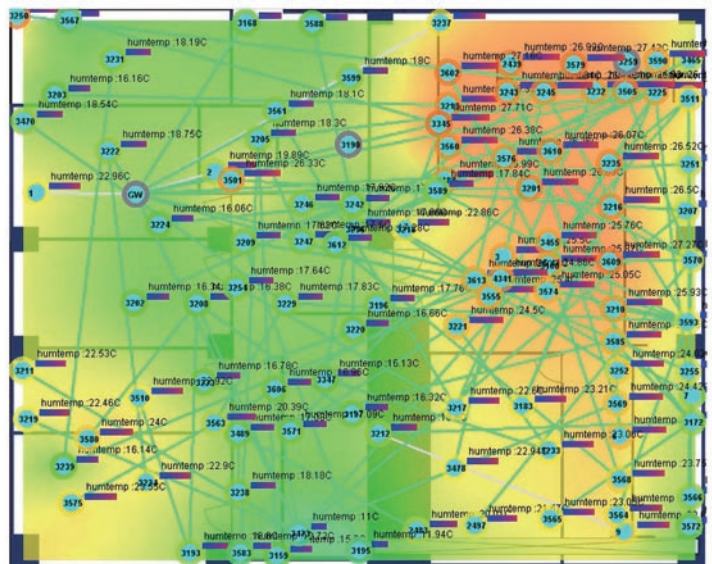


図-10 100 ノード拠点の取得情報 (温度)

の検索や、実証実験のスケジューリング、取得データの形式変換など、ほぼすべての処理を行っている。今後、センサネットワーク拠点数やユーザ数が拡大することを考慮すると、スケーラビリティの高いシステムアーキテクチャに変更することが望ましい。たとえば、現在 11 ノードが稼働している拠点において全ノードが 5 分間隔でデータを取得した場合、ゲートウェイに蓄積されるデータ量は、制御情報を除いても 1 週間で 2MB 程度となる。そのため、稼働期間が長期化した場合や、拠点数やユーザ数が増加した場合に、単一のサーバによる集中管理では、データ転送量および処理負荷の観点から、サーバがボトルネックになる可能性が高い。

また、現状では、各拠点に設置可能なセンサノードは

MICAZ MOTE のみであり、他のセンサノードには対応していない。さらに、シンクノードを介してゲートウェイに蓄積された情報は参照可能であるが、実証実験の途中経過など、ゲートウェイが取得できない情報をユーザに提供する機能は有していない。

● X-Sensor 2.0 の構想

上記の問題を解決するため、我々は、改良版である X-Sensor 2.0 の設計を進めている。以下に、X-Sensor 2.0 の設計方針を示す。

● ネットワークの P2P 化

図-11 に示すように、P2P エージェントプラットフォームである PIAX (P2P Interactive Agent

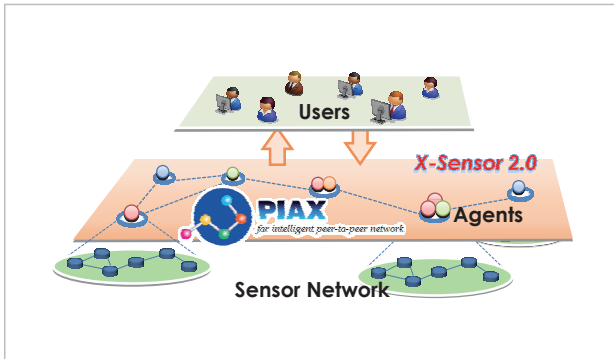


図-11 PIAXによるネットワークのP2P化

eXtensions)²⁾を用い、複数拠点の統合利用環境を提供することで、スケーラビリティの向上を目指す。PIAXは、分散データに付与された地理的な位置座標に基づく探索をスケーラブルに実行できる。また、分散データに対する処理をエージェント機能として柔軟に記述可能である。よって本テストベッドのように分散拠点に存在するセンサデータの探索や統合利用を行うシステムの構築に適している。現時点でこれらの機能を有し、運用実績があるプラットフォームはPIAX以外に見当たらない。

● 多種センサノードへの対応

MICAz MOTE以外のセンサノードにも対応し、さまざまなノードが混在する環境をユーザに提供する。

● 複数拠点の透過的利用

PIAXで提供されているエージェントを用いたタスク管理機構により、複数拠点の透過的な利用が可能となる。これにより、対応するセンサノードが増加し、異なるセンサノードが設置された拠点が混在する環境においても、それらを透過的に利用したデータ検索や実証実験が容易になる。

● センサネットワーク拠点の高機能化

シンクノード以外にも、Snifferなどの収集用ノードをゲートウェイと直接接続し、実験中の通信状況など、実証実験に有用な情報を蓄積・提供する。また、データ取得時に発生した事象など、センサネットワークで取得できない情報も収集し、メタデータとしてユーザに提供する。

● 実験用ライブラリの提供

各種実験で広く利用されているネットワークプロトコルや、実験のデバッグに有用な情報収集機構など、各種の機能をライブラリ化して提供する。これにより、実証実験に要する作業の削減が期待できる。

まとめ

上述のように、X-Sensor 1.0は複数のMICAz MOTEセンサネットワークを統合する集中管理型のテストベッドであり、現状では、それほど大量とされない観測データの提供と、実測実験環境を提供できる。今後は、本格運用に向けての改良と、X-Sensor 2.0の構築を進める予定である。

なお、本テストベッドの構築は、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。また、本テストベッドの開発および運用に関してご議論いただいている、拠点参画者の皆様に謝意を表す。

参考文献

1) 神崎映光, 原 隆浩, 若宮直紀, 下條真司: 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, 情報処理学会マルチメディア通信と分散ワークショップ論文集, Vol.2007, No.9, pp.117-121 (2007).

2) PIAX ー トップページ, <http://www.piax.org/>

(平成20年7月9日受付)

原 隆浩 (正会員) : hara@ist.osaka-u.ac.jp

2000年大阪大学博士(工学)。2004年より大阪大学大学院情報科学研究科准教授。モバイルコンピューティング、分散データベースに関する研究に従事。

神崎 映光 (正会員) : kanzaki@ist.osaka-u.ac.jp

2004年大阪大学大学院情報科学研究科博士前期課程修了。2006年より同大助教。博士(情報科学)。無線ネットワーク、分散処理に関する研究に従事。

中山 浩太郎 (正会員) : nakayama@cks.u-tokyo.ac.jp

2007年大阪大学博士(情報科学)。2008年より東京大学知の構造化センター特任助教。人工知能とWWWからの知識獲得に関する研究に従事。

義久 智樹 (正会員) : yoshihisa@ist.osaka-u.ac.jp

2005年大阪大学博士(情報科学)。2008年より大阪大学講師。センサネットワーク、ビデオオンデマンド、放送型データベースに関する研究に従事。

寺西 裕一 (正会員) : teranisi@ist.osaka-u.ac.jp

1995年大阪大学大学院情報科学研究科博士前期課程修了。2007年より同大情報科学研究科准教授。博士(工学)。ユビキタス応用研究に従事。

若宮 直紀 (正会員) : wakamiya@ist.osaka-u.ac.jp

1996年大阪大学博士(工学)。2002年より大阪大学大学院情報科学研究科准教授。自己組織型ネットワーク制御に関する研究に従事。

下條 真司 (正会員) : sshinji@nict.go.jp

1986年大阪大学博士(工学)。2008年より情報通信研究機構上席研究員。インターネット応用に関する実践的研究に従事。