

## 無線アドホック通信を利用した センサネットワーク向け協調ストレージシステム

藤崎 友樹<sup>†</sup> 鈴木 和久<sup>†</sup> 横田 裕介<sup>††</sup> 大久保 英嗣<sup>††</sup>  
<sup>†</sup>立命館大学大学院理工学研究科 <sup>††</sup>立命館大学情報理工学部

近年、センサ技術の発展により無線によるセンサネットワークの構築が可能となった。センサネットワークを屋外環境でのセンシングに適用する場合、遠隔地からの操作を行うためのネットワークインフラが必要となるため、設置コストが大きく、ネットワークの構成が固定的であるため柔軟なセンシング環境の構成が困難であるといった問題がある。本論文では、無線通信機能を持つ小型のストレージデバイスを利用して、ストレージデバイスによるアドホックネットワークを構成し、インフラの存在しない環境で柔軟なシステム構成を実現する。ストレージデバイスが互いに協調動作することにより、センシングデータの検索、集約、複製といった問合せ処理を効率的に実行する。特に、位置透過かつ統一的な問合せ処理を可能とするため、アプリケーションに対するゲートウェイ機構をストレージデバイス上に実装する。これらにより、従来のセンサネットワークシステムと比較して、より柔軟で高度なシステムの構成を可能とする。

## A Cooperative Storage System with Wireless Ad-hoc Networking for Wireless Sensor Networks

YUKI FUJISAKI<sup>†</sup> KAZUHISA SUZUKI<sup>†</sup> YUSUKE YOKOTA<sup>††</sup> EIJI OKUBO<sup>††</sup>  
<sup>†</sup>Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University  
<sup>††</sup>College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

Recently, developing of sensor technology enables building wireless sensor networks. In the case of applying wireless sensor networks to build a remote observation system for outdoor environments, usually it requires prepared network infrastructures. Therefore, it is difficult to use in dynamic environment. The proposed method described in this paper, a small storage device that has functionality of the wireless communication constructs a mobile ad-hoc network to realize a flexible system configuration. Cooperative operations among the storage devices connected to the ad-hoc network allows efficient query processing such as retrieval, aggregation, and replication of sensing data. Especially, a gateway interface that enables applications to perform query processing with location transparency and in a uniform style is implemented on the storage devices. Thus, our approach enables more flexible and advanced configuration of sensor networks than the existing ones.

### 1 はじめに

近年、センサ技術の発展により、さまざまな環境にセンサを適用することが可能となった。計算能力、ストレージ、無線通信機能を持つ小型のデバイスをノードとしてセンサとともに観測対象地点に直接設置し、センシングデータの分散処理を行うことによって、従来と比較してより複雑なセンシングデータの処理が実現されつつある。

現在、環境観測を行うセンサアプリケーションは、複数の無線センサノードで構成されたセンサネットワークとセンシングデータの問合せ・管理を行うアプリケーションで構成されているものが主流である。センサネットワーク上に存在するノードは、それぞれ無線通信機能を持ち、マルチホップ通信によって長距離の通信を行う。このシステムを用いて屋外環境のセンシングを行うシステムを構築する

場合、マルチホップ通信にかかる消費電力からセンサネットワーク規模に制約があり、さらに、ネットワークインフラが存在しないため複数のセンサネットワークを用いた統一的な観測システムの構築が難しいといった問題があった。一方、近年のストレージの高密度化、小型計算機の高性能化にともない、大容量のストレージを持つ小型の計算機端末が普及してきている。この端末に無線通信機能を持たせ、自律的にアドホックなネットワークを構成することで、固定的なネットワークインフラの存在しない屋外環境においてもより柔軟に統一的な観測システムの構築が可能となる。

以上の背景から、現在、我々は移動体によるセンシングの基盤技術に関する研究を行っている [1]。本システムは、センサネットワークにおけるストレージに柔軟性を持たせ、センサネットワークの利用をより容易にすることにより、広範囲のセンシングや複数に分散した環境のセンシングといった、従来より高度な利用を可能とすることを目的とする。また、ストレージが相互にアドホック通信を行い、自律的にデータの共有や複製を行うことでスケーラブルかつ容易なデータ利用を実現し、それぞれがゲートウェイとして機能することでアプリケーションからの問合せに対する位置透過的性を実現する。

以下、本論文では、2章で要求とその解決に必要な機能について検討し、3章でシステム的设计について述べる。次に、4章で本システムの実装について述べたあと、5章で本システムを用いたアプリケーション例について述べ、6章で関連研究との比較について述べる。最後に、7章でまとめと今後の課題について述べる。

## 2 環境センシングにおける要求と必要な機能

### 2.1 環境観測システムの構成

環境調査を行うためのセンシングシステムは、広範囲にわたる屋外環境を長期的に観測する。個々のセンサが送信するセンシングデータはタイムスタンプと測定値のセットで構成され、個々のデータは高々 100 バイト程度と小さい。また、センシング周期は数時間に 1 回程度である。一方、期間は数週間から数ヶ月といった単位の長期にわたる。このような観測によって得られたデータを分析し、多角的に解析することで評価を行う。

現在、環境センシングを行うための一般的なセンサネットワークシステムは、電池で駆動する無線センサノードが構成するセンサネットワーク、センサネットワークから収集されたセンシングデータを受取る基地局、センサネットワークに対する要求発行と操作を行うためのアプリケーション、センシングによって得られたデータを格納するストレージから構成されている (図 1 参照)。このようなセンサネットワークを利用した環境観測システムを長期にわたって運用する場合、センサノードの省電力性が重要な検

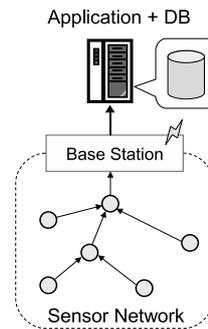


図 1 一般的な環境センシングシステムの構成

討課題となる。電力を消費する要因としては、通信によるものももっとも大きく、通信量はノードの増加にしたがって増大する。特に、基地局付近のノードにおける通信の中継負荷は大きく、最悪の場合、センサネットワーク上の他のノードに対する通信をすべて中継するため、センサネットワークに存在するノード数を  $n$  としたとき、その通信量は最大で  $n \cdot (n-1)$  倍となる。一旦これらのセンサノードが電力枯渇に陥ると、基地局とセンサネットワークの接続は失われ、センサネットワーク全体の情報収集機能が破綻する。センサネットワーク上での電力消費を削減する既存手法の代表的なものとして、ノードのクラスタリングとデータの集約を行う手法 [2] があり、これまでに我々も同様の研究を行ってきている [3]。しかし、マルチホップ通信を行う限り、基地局周辺に中継負荷が集中するという点で本質的な解決にはならない。

このため、図 2 に示すような、複数の観測エリアを持つ環境観測システムを構成することで、センサネットワークを複数の小さな範囲に分割する手法が用いられる。この場合、それぞれのセンサネットワークを小規模に抑えることで、電源問題の発生を抑えることができる反面、複数のセンサネットワークを一元管理する機構が必要となり、ネットワークインフラやシステムを構成するためのサーバ機器が必要となる。このため、ネットワーク環境の整っていない屋外環境への適用、センシング環境の構築、環境構築後の観測対象の追加や削除が難しいといった問題がある。

そこで本研究では、観測対象となる環境にネットワークインフラを必要とせず、容易な構成と柔軟な運用を可能にするシステムを提案する。本システムの特徴として、(1) ネットワークインフラの存在しない環境での複数センサネットワークの運用を実現する動的なネットワークの構成機能と (2) 複数のセンサネットワークを対象とした問合せを実現する統一的な問合せインタフェースがある。これらの機能を適用して実現する観測システムの構成を図 3 に示し、以降で説明する。

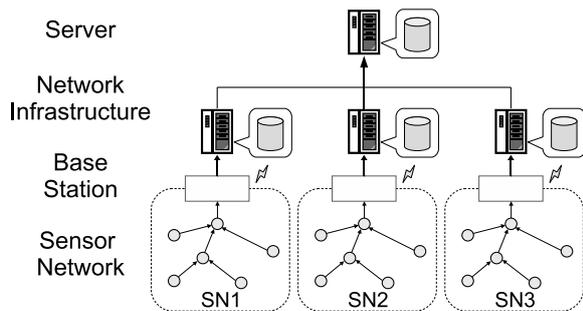


図2 複数に分割した環境を観測するシステムの例

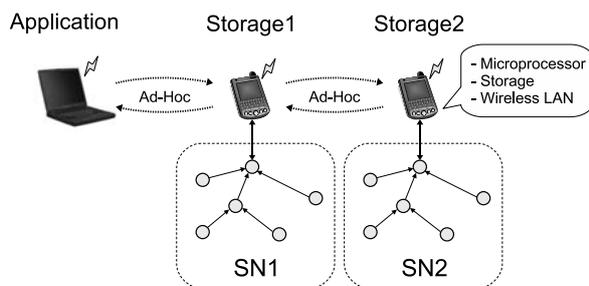


図3 アドホック通信を利用した観測システムの構成

## 2.2 動的なネットワーク構成

(1) に関して、整備されたネットワークインフラが存在しない環境において、柔軟なシステム構成を実現するため、無線通信を用いたアドホックなネットワークを構成する。このため、それぞれのセンサネットワークの基地局に、ストレージとして無線通信機能を持つ小型の計算機端末を適用する。この構成においては、それぞれのストレージが無線通信によって自律的にネットワークを構成し、外部からの問合せに応答する。中央に集中的な管理を行うサーバの設置を必要としないことで、幅広い環境への適用が期待できる。

また、動的なネットワーク構成を実現するため、それぞれのストレージのアドレスを自動的に解決し、ストレージ間のネットワークを特別な設定を必要とせず自律的に構成できることが望ましい。これらの機能に関しては、既存のネットワークプロトコルとフレームワークを用いることで、ネットワーク上で一意となるアドレスの自動構成と Peer-to-Peer (P2P) 技術によるネットワークの構成が実現可能であるため、本研究ではそれぞれの機構をシステムとして連携させることによって実現する。これに加え、観測対象環境に既設のネットワーク環境が存在する場合の組合せも考慮し、固定されたネットワークとの接続機構も必要となる。外部ネットワークとのルーティングを行うことで、ネットワークを超えた問合せの発行を実現する。

## 2.3 統一的な問い合わせ手法の提供

(2) に関して、アプリケーションがセンサネットワークやストレージに対する要求を発行する場合、複数の対象に対する問合せを容易かつ効率的に実行可能にするため、位置透過的かつ統一的なアクセス手法を提供するインタフェースがあることが望ましい。このため、問合せ内容から自動的に対象となるストレージを特定し、結果を返す機構が必要であると考えられる。

アプリケーションから位置透過的な問い合わせを実現するため、各ストレージには、アプリケーションに対するゲートウェイ機構が必要となる。アプリケーションはストレージ上のゲートウェイに対して要求を発行することで、ネットワーク全体を1つのセンサネットワークと見立てて要求の発行やデータの回収を容易に行うことが可能になる。これらの機構を実現するには、問合せを行うためのクエリ、手順を明確にする必要がある。

また、ゲートウェイは問合せを処理し、アプリケーションに代わってネットワーク上に存在する他のストレージに対して問合せを発行する。このため、ネットワーク上に存在する対象ストレージの発見、問合せの発行、結果を処理する機能が必要となる。これに伴い、ネットワークの状態、実行中の問合せ、ノードに関する情報といったメタな情報も管理する必要がある。

## 3 設計

次に、前章で述べた機能および要求を満たすシステムの設計について述べる。本システムを構成するストレージを P2P データポットと呼ぶ。

### 3.1 アドホックネットワーク

P2P データポットは、自律的に無線によるアドホックなネットワークを構成する。この機能を実現するため、無線 LAN アドホックモードによる無線通信機能、IPv6 におけるリンクローカルアドレスを利用したアドレスの自動構成 [4]、既存の P2P フレームワーク実装である JXTA [5] を用いた P2P ネットワークの構築を行う。さらに、固定的なネットワークが利用可能な環境との組合せも考慮する。これは、複数のネットワークインタフェースを利用し、JXTA における Rendezvous, Router サービスを利用することで実現する。

それぞれの P2P データポットがゲートウェイとなり、アプリケーションからの問合せを処理する。アプリケーションは、近隣の P2P データポットに対して要求を発行する。アプリケーションからの要求を受けた P2P データポットは、問合せの内容から対象となる P2P データポットを特定し、問合せを代行して発行する。その後、問合せ結果を集約し、アプリケーションに返す。

### 3.2 アプリケーションに対するインタフェース

次に、アプリケーションに対するインタフェースの設計

について述べる。実際にユーザが利用するインタフェースを想定し、必要となる機能を定義する。ユーザが P2P データポットの操作を行う上で必要となるインタフェースとして、次の 5 つの場面が考えられる。

**問合せの発行:** 問合せを記述し、発行を行う。問合せの内容の記述、結果の蓄積が必要か否かの選択、問合せの対象となるピアの選択が必要となる。

**既知の問合せの一覧:** ネットワーク上において既知の問合せの一覧を表示し、それぞれの問合せの停止の指示、不要となった問合せと結果の削除の指示を行う。既知の問合せ情報の取得、問合せの停止、削除を行う機能が必要となる。

**問合せによって得られた結果の参照:** 問合せ発行時に生成したクエリ ID から特定される問合せの結果を取得し、参照する。取得するデータを絞りこむため、期間の指定とソート順の指定を可能とする。問合せ結果を取得する機能が必要となる。

**ネットワーク上に存在するデータポットの一覧:** ネットワーク上に存在する P2P データポットの一覧を取得し、ストレージの残量や稼働時間といったシステム情報の取得を行う。既知のピアの一覧取得と特定のピア情報の取得を行う機能が必要となる。

**データポットの詳細情報の参照と設定:** ピア ID (データポット一覧で確認可能) から特定の P2P データポットのメタ情報の取得と設定、および、センサネットワーク上に存在するセンサノードの一覧の取得を行う。

### 3.3 問合せの種類

アプリケーションは、P2P データポットに対し要求を発行する。このとき、アプリケーションが発行する要求としては、次のものが考えられる。

- 数日から数ヶ月といった長期的なセンシング要求
- センシングによって得られた結果を回収するための要求
- 現在の状態を連続的に観測するためのセンシング要求
- 蓄積されたセンシング結果やネットワーク状態の監視を行うためのシステム全体に対する要求

本システムでは、これらの要求に対応する次の 4 種類のクエリを定義する。また、P2P データポット上で動作しているゲートウェイは、必要に応じて自身以外のデータポットと通信を行い協調動作を行う。

**長期クエリ:** 長期クエリは、環境情報を長期にわたって観測する場合など、結果をすぐに得られないクエリに使用する。センシングによって取得されたデータは、各データポットのストレージに逐次蓄積される。

**集計クエリ:** 集計クエリは、長期クエリによって蓄積されたデータを回収する場合に使用する。集計クエリは、各データポットのストレージに蓄積された結果に対して発行され、長期クエリの実行中であっても発行が可能である。

**直接クエリ:** 直接クエリは、クエリを発行した瞬間の状況を取得する場合や、ある瞬間以降の状況の変化を連続的に取得したい場合など、センサネットワークからリアルタイムに直接センシング値を取得したい場合に使用する。直接クエリによって取得された結果は、P2P データポットのストレージには蓄積されず、アプリケーションへ直接送信される。

**管理クエリ:** 管理クエリは、マイクロストレージネットワークおよびセンサネットワークの状態取得、実行中のクエリの一覧とクエリの停止、ストレージに蓄積された結果の一覧取得および結果の消去などの管理を行うためのクエリである。

### 3.4 メタ情報の管理

P2P データポットでは、アドホック通信によって確認したネットワーク上の他の P2P データポット、自身が管理しているセンサネットワーク上に存在するセンサノード、各データポット上で実行されているクエリおよび蓄積されたデータに関するメタデータが必要となる。これらのメタデータは、クエリ操作において必要なデータポットおよびセンサノードの特定、クエリの一貫性の確保、位置透過性の実現のために使用する。各データポットは以下の 3 種類のメタデータを管理する。

**データポットテーブル:** データポットテーブルは、各データポットにおいて自身および他のデータポットのメタ情報を保持する。データポットテーブルには、データポットのピア ID、位置情報、管理するセンサノードの数、最後に応答を受信した時間といった情報が格納される。これらの情報は、クエリ発行時に対象となるデータポットを特定するために使用される。自身以外のデータポットの情報は、クエリ発行時の P2P データポット探索時、およびピア情報のアドバタイズメントを受信した際に取得した情報をキャッシュとして保持する。

現時点では、データポット自身は位置測定を行っていない。このため、それぞれのデータポットの位置情報は管理クエリを用いてアプリケーションから設定する。

**センサノードテーブル:** センサノードテーブルは、それぞれの P2P データポットが管理するセンサネットワークに関する情報を保持する。センサノードテーブルには、ノード ID、ノードの位置情報、搭載している

センサの種類別、最後に応答を受信した時間の対応が格納される。これらの情報は、長期クエリや直接クエリを発行する際に、対象となるセンサをデータポットではなくセンサの位置情報を指定して特定する場合や、位置情報を基に集約を行う場合に使用する。

**クエリテーブル:** クエリテーブルは、それぞれの P2P データポット上でこれまでに発行および蓄積された長期クエリに関する情報を保持する。クエリテーブルには、クエリのユニーク ID、アプリケーションによって発行された長期クエリ、センサネットワークに対し発行されたクエリ、センサネットワークにおけるクエリ ID、クエリの現在の状態を示すフラグ、クエリを発行した時刻が格納される。これらの情報は、長期クエリが発行されるごとに追加され、それぞれのクエリの状態にしたがって更新される。集計クエリは、クエリテーブルから要求されたクエリを探索することにより結果テーブルを発見し、要求された問合せの実行を行う。不要となったクエリは、管理クエリによって結果テーブルとともに削除する。

## 4 実装

### 4.1 ハードウェア構成

P2P データポットは、小型端末上での運用を想定している。本研究では、ターゲット機器として SH4 を搭載した Linux Box (シリコンリナックス社製 CAT760 [6]) を用いたプロトタイプの実現を目標としているが、現時点では実装の効率化のため無線 LAN を搭載したデスクトップおよびノート型の PC を利用して実装を進めている。

### 4.2 ソフトウェア構成

P2P データポットのソフトウェアは、Linux 上で実装を行っている。また、実装を簡潔に行うため既存のソフトウェアを利用している。これらのソフトウェアの構成を図 4 に示す。現在の実装では、OS として Vine Linux 4.1 (kernel-2.6.16) を利用し、IPv6 を有効化している。ストレージに使用するデータベースとして PostgreSQL 8.1.5、センサネットワークとして TinyOS 1.1.15 および同梱の TinyDB [7]、TASK (Tiny Application Sensor Kit) [8] サーバを使用している。また、P2P ネットワークの構成には Java 版の JXTA 実装 (jxse-2.5) [9] を利用している。これらのソフトウェアを利用し、P2P データポットの機能を実装するのが P2P Data Pot Core である。

無線 LAN によるアドホックネットワークは、IPv6 のリンクローカルアドレスを用い、事前のアドレス設定を不要にしている。また、JXTA ネットワークにおいても IPv6 のリンクローカルマルチキャストアドレスを使用し、アドバタイズメントの伝播を行っている。

本システムにおける機能を実現するソフトウェア実装は、JXTA プラットフォーム上にサービスとして実装して

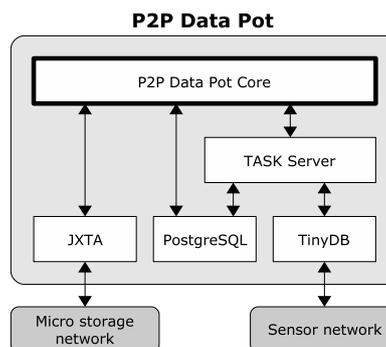


図 4 P2P データポットを構成するソフトウェア

いる。次に、それぞれのサービスについて述べる。

### 4.3 JXTA サービス

本実装においては、これまでに述べた機能を JXTA のピアグループ上で動作するサービスとして実装する。それぞれの機能を独立したサービスとして実装することで、機能間の関係が明確となり、実装の修正および拡張が容易となるといった利点がある。また、JXTA においては、プラットフォームとしてこのような実装を行うことが想定されており、それぞれの機能を明確に定義するためのモジュールクラス、仕様、実装のそれぞれのアドバタイズメントが定義されている。

本システムにおけるモジュールの構成を図 5 に示す。システムは、まず、起動時にネットワークインタフェースと JXTA ライブラリを初期化する。次に、P2P データポットのピアグループとして“P2PDataPot”ピアグループを作成し、作成したピアグループへ P2P データポットの機能を実現するためのサービス群を追加する。これらの処理が完了した後、JXTA コアサービスによるネットワークの維持が行われる。ネットワーク上でのアドバタイズメントの伝播やイベントの通知は、JXTA のコアサービスによって行うため、P2P データポットのそれぞれのサービスは、外部からの要求の処理や実行中の問合せの管理に専念することが可能となる。

### 4.4 実装するサービス

P2P データポットの機能を実現するためのサービスとして、次の 5 つのサービスを定義する。

**Presence:** 自分自身の存在をネットワーク上に公開する。また、他の P2P データポットの存在の確認と状態の管理を行う。

**QueryInfo:** 実行中および過去に実行された問合せ情報を管理し、ネットワーク上で共有する。

**SensorInfo:** センサネットワークに関する情報を管理し、必要であればネットワーク上で共有する。

**Requester:** 他の P2P データポットに対する問合せの発行

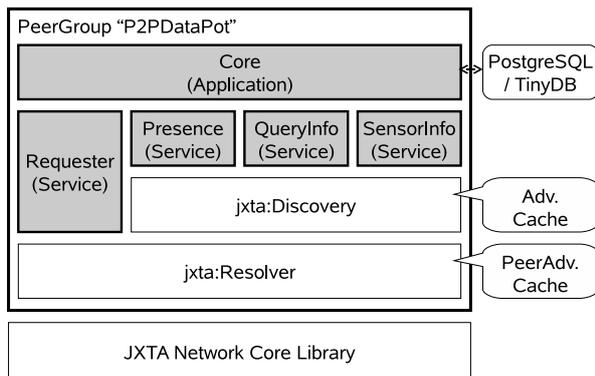


図5 JXTA プラットフォーム上の P2P データポットサービス群

と結果の送信を行う。

**Core:** 上記のサービスを利用し、アプリケーションに対するインタフェースおよびゲートウェイ機構の提供を行う。また、Requester から通知される外部からの要求に応じて PostgreSQL や TinyDB に問合せを発行し、実際の間合せの処理を行う。

以上で述べたうち、Presence, QueryInfo, SensorInfo サービスは、それぞれアドバタイズメントを JXTA の Discovery サービス (アドバタイズメントの探索機構) を用いて公開することによって、ネットワーク上で情報を共有する機能を提供する。これらのアドバタイズメントは、各 P2P データポット上に存在するローカルキャッシュに蓄積され、各種問合せの際に利用する。

Requester サービスは、JXTA の Resolver サービス (エンドポイント間のメッセージ通信を実現する機構) を利用し、特定の P2P データポットに対する問合せの発行と応答の処理を行う。Requester サービスは、前述の3種類のサービスと異なり、情報を共有するためのサービスではないため、アドバタイズメントを持たず Discovery サービスも利用しない。

Core サービスは、他のサービスのリスマインタフェースを実装することでイベントの取得を行い、アプリケーションからの要求を処理する。Requester サービスから受け取ったイベントや外部からの要求に応じて、PostgreSQL および TinyDB と接続し、実際の間合せの発行を行う。外部への JXTASocket, TCP/IP Socket, HTTP インタフェースの提供も行う。

#### 4.5 処理の流れ

アプリケーションからの問合せの流れを図6に示し、以下で説明する。(1)アプリケーションは、ユーザの指示にしたがい周辺に存在する P2P データポットをアドホックに発見する。次に、発見した P2P データポットに対し問

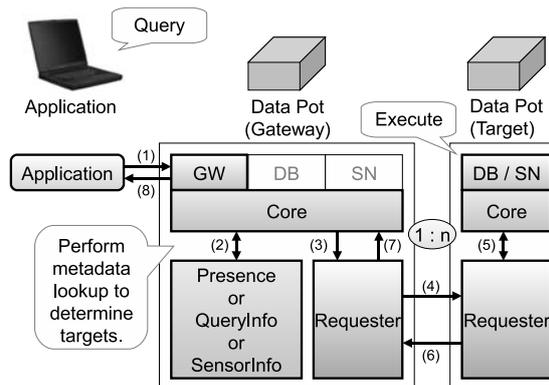


図6 システム全体の処理の流れ

合せ文を送信する。P2P データポットのゲートウェイ機構が、これを受信する。(2)アプリケーションからの要求を受信したゲートウェイは、要求に応じた問合せ対象の特定を行う。長期クエリと直接クエリにおいては、Presence サービスを利用した問合せ対象のデータポットの特定、および SensorInfo サービスを利用した問合せ対象のセンサの特定を行う。集計クエリにおいては、QueryInfo サービスを利用した過去の間合せのルックアップを行う。(3)問合せ対象の特定を完了すると、各 P2P データポットに対する問合せ文の再構成を行い、Requester サービスを用いて対象となるデータポットに発行する。(4)Requester サービスは、対象となる1つ以上のデータポットに対して問合せを発行する。(5)問合せを受けた P2P データポットは、問合せ内容に従いローカルのデータベースないしセンサネットワークに対する要求を発行する。(6)問合せの発行結果について長期クエリでは、発行が正常に完了したか否かのみを返す。集計クエリでは、得られた結果テーブルを返す。直接クエリでは、リアルタイムに得られる結果を逐次送信する。(7)長期クエリでは、すべての対象に対して問合せが正常に発行できたか否かを確認する。集計クエリの場合、複数のデータポットから得られた結果テーブルを1つのテーブルに結合する。(8)これまでの処理によって得られた結果を一括でアプリケーションに送信する。

#### 5 環境観測システムにおける適用例

本システムの適用例として、屋外における環境観測を目的としたセンシングシステム (以下、環境観測システム) について述べる。環境観測システムは、長期にわたって気温、湿度、振動といった環境状態の変化を観測し、その結果を解析し変化を多角的に調査することを目的としている。例えば、斜面災害の予防に関する調査を行う場合、斜面の土中における水分量の変化を長期的に記録・解析することで災害発生条件の予測を行う。

従来、環境観測システムにおいては、観測対象とする

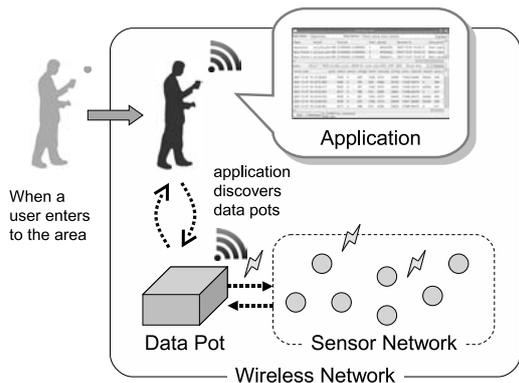


図7 小規模観測における P2P データポットの適用例

拠点にセンサを配置し、複数のセンサと専用のストレージを有線接続することで、センシングデータの収集を行っていた。屋外環境には、ネットワークインフラが整備されていないため、センシングによって得られた結果は、人間が定期的に巡回し手動回収を行っていた。

しかし、観測対象によっては、山の奥地のような人間が立ち入ることが困難な環境を観測するケースが存在する。このような場合、システムの設置はもとよりデータの回収が困難となり多大な費用が発生するため、観測を行うことが困難であった。また、機器が有線接続されていることから、落雷によって接続されているすべての機器が故障する危険性もあった。これらの背景から、設置や管理が容易で、遠隔地からの操作やデータの回収が可能なシステムが必要とされてきた。

次に、本研究の提案手法である P2P データポットを、環境観測システムに適用した場合について述べる。

### 5.1 移動体端末によるデータ収集とネットワーク管理

予備調査のような小規模な観測に利用する場合、図7のような構成とする。このとき、P2P データポットを適用したシステムは、設置や操作にあたり特殊な技術が必要としないため、観測対象となるエリアにセンサノードと P2P データポットを配置するのみで、センシングとデータ蓄積の準備が完了する。

P2P データポットは、無線 LAN を利用しているためネットワーク配線が不要であり、ネットワークアドレスも自動構成するため個別の設定は不要である。ユーザは、端末を持って観測対象エリアに接近するだけで、端末上のアプリケーションはアドホックに周辺の P2P データポットを発見し、それぞれに対する操作を可能にする。センシング要求や、結果の回収を行うだけでなく、現地において評価を行うための即時的な問合せも、その場で発行し結果を得ることが可能である。

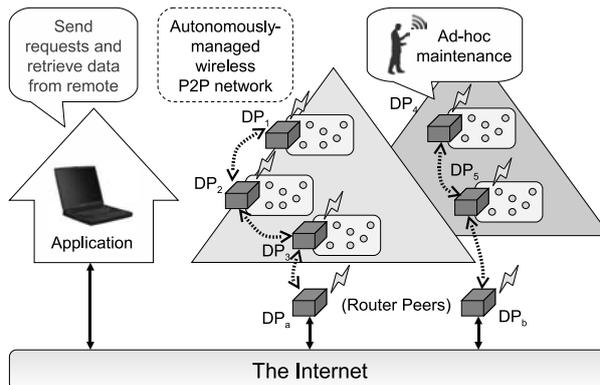


図8 複数拠点の長期観測における P2P データポットの適用例

### 5.2 複数拠点の長期観測と遠隔操作

複数拠点におよぶ大規模な観測を行う場合、観測拠点ごとに P2P データポットと無線センサノードを配置する(図8参照)。それぞれの拠点に設置した P2P データポットは、無線 LAN を利用して電波到達可能範囲内に存在する他の P2P データポットを発見し、P2P ネットワークを構成する。これにより、ネットワークインフラが存在しない環境でのエンドポイント間の通信を可能にする。後日、観測対象となる拠点が増減するような場合も、P2P データポットは自動的にネットワークの構成を行い、メタ情報の更新を行うことで対応することができる。

また、山の麓でインターネットが利用可能な場合、ゲートウェイとなる P2P データポットを設置することで、P2P ネットワーク上のメッセージのルーティング機構を利用し、インターネットを経由した遠隔操作を行うことが可能となる。ユーザは、インターネットを経由してそれぞれのゲートウェイを発見し、遠隔よりネットワークの操作とデータの回収を行うことができる。

問合せを行う場合も、ユーザは複数のセンサネットワークを意識せずとも、ゲートウェイが問合せの条件文から対象となるデータポットを自動的に選択し、データフローを適切に処理するため、全体を統一的に扱うことができる。

## 6 関連研究

複数のセンサネットワークを透過的に利用するという目的で類似した研究として GSN [10] がある。GSN は、様々なセンサーネットワークをインターネットで接続し、プラットフォーム間の違いを仮想化によって吸収することで統一的な利用を可能にするアーキテクチャを提案し、異種センサーの抽象化・仮想化の手法と性能評価を主に議論している。一方、本研究ではネットワーク資源に制約のある環境での統合システムの構築とアプリケーションからの問合せの処理手法について議論しており、センサネットワー

クの適用可能範囲の拡大により重点を置いている。

文献 [11] では、センサノードが広域に偏在する環境において、P2P 技術を適用し、任意のセンサノードの発見、アクセスを可能とする統合通信基盤を提案し、実装を行っている。このシステムにおいては、P2P Bridge と呼ばれるゲートウェイがセンサネットワークとインターネットの間に介在し、インターネット上に JXTA を用いた P2P ネットワークを構成することにより、広域に分散したセンサネットワーク間の通信を実現している。一方、本研究では、無線 LAN を用いたアドホックなネットワーク構成を行うことで、インターネットのみならず、ネットワークインフラの存在しない環境における環境センシング環境の構築を可能にしている。また、P2P データポット自身がストレージを持ち、それぞれがローカルのセンサネットワークからのセンシングデータを蓄積する。それぞれの P2P データポットがアプリケーションからの要求を処理するゲートウェイとして動作し、データフローを適切に管理することで、より柔軟かつ高度な環境モニタリングを可能にしている。

文献 [12] では、JXTA を用いたモバイルアドホックネットワーク (MANET) 上での分散資源の探索機構について議論している。MANET では、固定的なネットワークに比べネットワークの変化が激しく、動的なノードの参加や離脱を前提とした経路選択機構が重要となる。JXTA は、本来インターネットのアプリケーション向けの P2P プラットフォームであるため、アドホックネットワーク上での分散資源の扱いが十分ではない。ここでは、JXTA を用いた MANET 上での効率的なクラスタリングと探索機構を提供する MANET-RVP プロトコルを新たに実装し、フラッディングを行うメッセージの削減を実現している。P2P データポットにおいても、移動体を含めたセンシング環境の実現を検討しており、MANET-RVP を用いた効率化も含め、ネットワーク構成に変化をとまなう環境での動作についても検討を行う。

Harmonica [13] では、ストリームデータの処理と蓄積処理を連携するアーキテクチャを提案している。Harmonica は、要求記述言語 HamQL を独自に定義し、ストリームデータと蓄積データに対応した問合せの記述を可能にしつつ、同時に処理可能性の判定や並行する蓄積要求の最適化を行うことで、効率的な問合せ処理システムを構築している。現在の P2P データポットは、大容量のストリームデータの取扱いを考慮していないため、今後、扱うセンサの変化によって、同様の考察が必要になると予想される。同時に、問合せの最適化による効率化も検討が必要と考えられる。

## 7 おわりに

P2P データポットは、無線 LAN によるアドホック通信とアドレスの自動構成機構を持ち、環境センシングを行う

システムの構成を簡潔化する。また、自律的に P2P ネットワークを構成することにより、ネットワークインフラの存在しない環境においても広域にわたるセンサネットワークの構築を可能にする。さらに、アプリケーションからの問合せを処理するゲートウェイ機構によって、複数のセンサネットワークを対象とした位置透過かつ統一的な問合せ機構を提供する。センシングデータの可搬性の向上と回収コストの低減により、センサネットワークの適用範囲の拡大が期待される。

## 参考文献

- [1] 藤崎友樹, 鈴木和久, 横田裕介, 大久保英嗣: P2P データポット: センサネットワーク向け分散型マイクロストレージアーキテクチャ, 電子情報通信学会 第 18 回データネットワークショッ (DEWS2007) (2007).
- [2] Heinzelman, W., Chandrakasan, A. and Balakrishnan, H.: Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks, *Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, pp. 1–10 (2000).
- [3] 後藤隼夫, 鈴木和久, 横田裕介, 大久保英嗣: センサネットワークにおけるスケラビリティを考慮したクラスタ間マルチホップネットワークの構成, 情報処理学会第 69 回全国大会講演論文集, 第 3 分冊 6V-4 (2007).
- [4] Thomson, S., Narten, T. and Jinmei, T.: IPv6 Stateless Address Autoconfiguration, RFC 4862 (Draft Standard) (2007).
- [5] Gong, L.: JXTA: a network programming environment, *IEEE Internet Computing*, Vol. 5, No. 3, pp. 88–95 (2001).
- [6] Silicon Linux: CAT760, <http://www.si-linux.co.jp/product/cat760/>.
- [7] Madden, S. R., Franklin, M. J., Hellerstein, J. M. and Hong, W.: TinyDB: an acquisitional query processing system for sensor networks, *ACM Transaction on Database Systems*, Vol. 30, No. 1, pp. 122–173 (2005).
- [8] Buonadonna, P., Gay, D., Hellerstein, J., Hong, W. and Madden, S.: TASK: sensor network in a box, *In the proceedings of 2nd European Workshop on Sensor Networks*, pp. 133–144 (2005).
- [9] Sun Microsystems, Inc.: *JXTA Java™ Standard Edition v2.5: Programmers Guide* (2007).
- [10] Aberer, K., Hauswirth, M. and Salehi, A.: Infrastructure for data processing in large-scale interconnected sensor networks, *Mobile Data Management (MDM), Germany* (2007).
- [11] 磯村 学, Decker, C., Beigl, M., 堀内浩規: P2P を用いた広域分散センサノードのための統合通信基盤の提案, 情報処理学会第 68 回全国大会講演論文集 (2006).
- [12] Oliveira, R., Bernardo, L., Ruivo, N. and Pinto, P.: Searching for PI resources on MANETs using JXTA, *Telecommunications 2005: Advanced Industrial Conference on Telecommunications / Service Assurance with Partial and Intermittent Resources Conference / E-Learning on Telecommunications Workshop (AICT / SAPIR / ELETE 2005)*, pp. 371–376 (2005).
- [13] 山田真一, 渡辺陽介, 北川博之, 天笠俊之: データストリーム管理システム Harmonica の設計と実装, 情報処理学会論文誌: データベース, Vol. 48, No. SIG 14 (TOD 35) (2007).