

# 柔軟なユビキタスサービス提供のための センサ情報処理方式

センサネットワークを用いてユビキタスサービスを実現するユビキタスゲートウェイ技術の研究内容を解説し、将来の移動端末利用イメージについて述べる。なお、本研究は東京大学大学院 青山・森川研究室（情報理工学系研究科 青山 友紀教授，新領域創成科学研究科 森川 博之助教授）との共同研究により実施した。

おぐま ひさし    ながた ともひろ    やまざき けんいち  
小熊 寿    永田 智大    山崎 憲一

## 1. まえがき

将来、多くのセンサとコンピュータが遍在する「ユビキタスコンピューティング環境」が普及し、ユーザやその周辺のさまざまな状況（例えばユーザから見たモノの名前、所有者、位置などの周辺状況）に応じた「ユビキタスサービス」の提供が期待されている。ユビキタスサービスの場合としては、ユーザがモノを落としたことを検知して通知するサービス、玄関でユーザの持っているモノから外出目的を知り交通案内を提供するサービスなど、多様な形態が考えられる。ユーザやその周辺の状況を一般に「コンテキスト」と呼び、これを扱う技術をコンテキストウェアネス技術と呼ぶ。コンテキストウェアネス技術は、ユビキタスサービスを実現するための最も重要な技術であり、主に次の3つの技術からなる。ユーザおよびその周辺の状態に関する情報（以下、実世界情報）をセンサなどを利用して取得する技術、その情報からユーザの置かれた状況（例えば「今から3分後のバスに乗ると最短の乗り換え待ち時間で目的地へ到着できる」という状況）を理解する技術、その状況に適したサービスを選択し、アクチュエータ<sup>\*1</sup>を通してユーザに働きかける技術である。

一方、センサを接続するセンサネットワークやアクチュエータを接続するアクチュエータネットワークは、それぞ

れユーザと共に移動するものや移動の先々の環境（家やビル）に埋め込まれたものなどがあり、その結果異種ネットワークが混在すると想定される。このような状況下でコンテキストウェアネス技術を実現するにあたり、後述するように、常にユーザと共に移動する移動端末が重要となる。

このようなユビキタスコンピューティング環境実現へ向けた第一歩として、本稿では、センサネットワーク、アクチュエータネットワークおよび将来の移動端末の一形態であるユビキタスゲートウェイ（UGW：Ubiquitous GateWay）から構成されるシステムを提案し、それぞれの要素技術および連携方法について述べる。実際のサービスを提供するには、本稿で述べる技術に加えて、ミドルウェア<sup>\*2</sup>などのシステム化技術が必要となる。これについては、「移動端末とセンサネットワーク連携サービスの実現に向けた研究開発」を参照されたい。

## 2. ユビキタスサービス提供のための 要求条件と課題

センサは、将来さまざまなモノに貼付可能なほどにまで超小型になると想定されている。膨大な数のセンサの測定結果を単純に収集するとデータ量が膨大になり、この通信のために多量の電力を消費することとなる。これを解決するため、センサネットワークの中で情報を取捨選択・統合しながら収集することが求められる。しかし、どのような情報をどのように処理すれば最小限の電力で十分な情報が収集可能かについての研究は、まだ十分に進んでいない。

次に、収集された実環境情報から状況を理解する必要がある。実環境情報とは、例えば電圧などのアナログ値あるいは数字の羅列であるID情報などである。これらの情報から「サイフを持っている」などの抽象的な状況表現へ変換処理することが、ここでの「理解」である。このための知

\*1 アクチュエータ：センサが外界の光や音などを感知して信号に変換する装置であるのに対して、アクチュエータは内部の信号に応じて光や音を発生させたり、モータなどの物理運動を発生させ外界に働きかける装置全般を指す。

\*2 ミドルウェア：OSと実際のアプリケーションの間に位置し、さまざまなアプリケーションに対して共通の機能を提供するソフトウェアのことで、アプリケーション開発の効率化が可能となる。

的処理はそれ自身が困難な課題であり、さらに十分な処理能力の提供方法、通信不能時の自立性の確保などの課題もある。

最後に、そのときの状況に応じたサービスを提供する必要がある。サービスがその状況に適したものであるかの判断や、ユーザ周囲のアクチュエータ状態に合わせた提供方法の選択が課題である。

### 3. UGWを中心としたユビキタスサービス提供アーキテクチャ

前述の技術課題を解決し要求条件を達成するには、センサネットワーク、アクチュエータネットワークそれぞれの研究が重要であるが、限られた能力のノードだけでは限界があり、外部の支援が必要である。さらに両者を連携させる機能も必要であり、これを行うデバイスをUGWと呼ぶ。UGWを中心とした提案システム概要を図1に示し、以下にその概要を述べる。

#### 3.1 似たモノ発見センサネットワーク

センサネットワークの課題を解決するための第一歩として、著者らは、モノに貼付された加速度センサの出力パターンが類似しているものを発見するための「似たモノ発見センサネットワーク」とそのアルゴリズムを提案した[1]。これにより、例えば複数のモノが同じ人に携行されていることや、複数のモノが同じ引き出しに入っていることなど、モノに関する実世界情報を取得できる。

従来の方法では、すべての加速度データを1カ所に集めて比較することでこれを実現していたが、通信量が増加するという欠点がある。そこで著者らは、前述の問題を解決するためにクラスタという概念を導入し、次のようなクラスタ生成アルゴリズムを提案する。

##### ①クラスタヘッド (CH: Cluster Head) の決定

ある物理現象が起きたことを起点として、各センサノードは待ち状態に入る。待ち時間は、

各センサノードの持つバッテリー残量に逆比例するように決められる。最初に待ち時間を終了したノードが代表者 (CH) となる。

##### ②クラスタ所属の決定

CHは、発生した物理現象のセンサ信号パターンを全センサノードに同報送信する。各ノードは送信されてきたデータと自分の測定した信号パターンとを比較し、類似していればその旨をCHに伝える。

この方式の特徴は、①によってバッテリー残量の大きいノードが自動的に選ばれるため、平均的にバッテリーが消費されることと、②で各ノードはCHからのデータ受信と類似性の判定結果 (YES/NO という1bit) の送信しか行わないため、全ノードの測定結果を送受信するよりも通信量が減少することである。

前述のアルゴリズムにより、CHは自分に類似のセンサノード群を知ることができる。そのようなノード群はクラスタと呼ばれる。CHは、クラスタを構成するノード一覧を実世界情報としてUGWに送信する。

#### 3.2 UGW

UGW[2]は、センサネットワークやアクチュエータネットワークと通信するためのインターフェースを持ち、バッテリーと情報処理能力を備えたデバイスである。UGWの機能構成を図2に示し、以下に特徴的な機能について述べる。

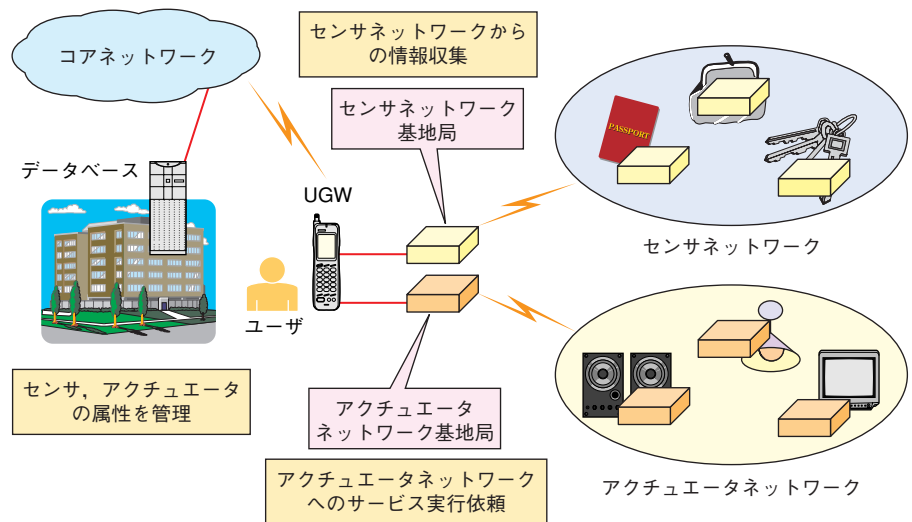


図1 システム概要

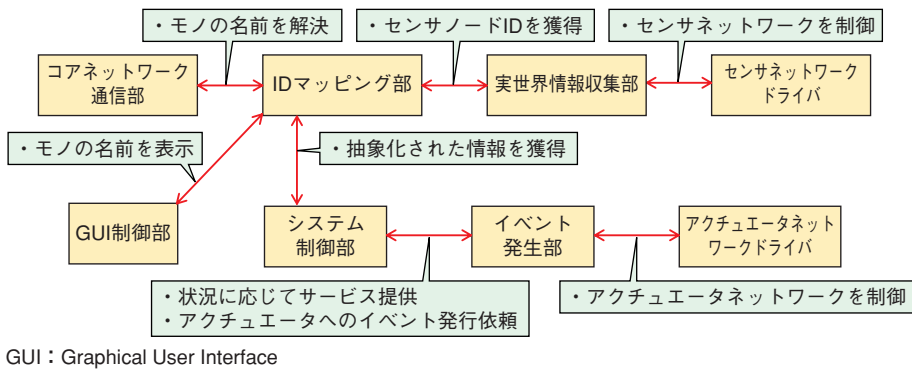


図2 UGWの機能構成

実世界情報収集部は、センサネットワークから送信される実世界情報の収集およびセンサ能力の限界などに起因する誤情報の修正やセンサネットワークとの通信切断時の対処などを行う。本システムにおける誤情報の対処法としては、クラスタ情報の時間連続性を考慮して、1回だけの変化をセンサネットワークの誤情報であるとして無視するなどのフィルタリングを行う。通信切断対策としては、Keep Aliveメッセージを送信することで通信可能性を定期的に確認し、通信不能状態が長時間継続した場合は、UGWとモノが大きく離れたと判断し、イベント発生部へ通知する。

IDマッピング部は、クラスタのメンバー一覧として得られるIDと添付しているモノとの対応表である。コアネットワーク内のデータベースには、IDに対応するモノの名前、写真などが存在し、UGWは必要に応じてこのデータベースにアクセスする。また、アクセスしたデータはUGW内に保持され、データベースとの不要な通信を削減している。

イベント発生部では、その状況に応じたサービスを決定し、アクチュエータネットワークに対して対応するイベントを発生する。UGWはIDマッピング部により抽象化された情報を組み合わせることにより、状況を理解する。理解した状況とイベントの対応付けはサービスアプリケーションに依存するが、本システムでは、モノの組合せの変化をイベントととらえている。ただし、モノの組合せを個別にユーザに指定させることはサービスの利便性を損なうこととなるため、似たモノ発見ネットワークの機能を利用し、後述するように半自動的に対応付けする仕組みが備えられている。

### 3.3 アクチュエータネットワーク

アクチュエータネットワークにはANTH (ANtennary

THings)<sup>\*3</sup>[3]を用いる。ANTHの各ノードが管理するアクチュエータを起動することをアクションと呼ぶ。ANTHにおいては、実世界で発生したイベントをアクションに対応付けることにより、「これが起きたらあれを実行する」という最も基本的なレベルのユビキタスサービスを実現する。多くの研究では、この対応付けを自動化したりユーザが記述したりするが、ANTHでは、ユーザが対応

付けのための専用デバイスを持って「これ」や「あれ」に対応する機器を動作で指定する。このように人間の実世界での動作によって対応付けることを実世界プログラミングと呼ぶ。

### 3.4 システム全体の動作の概要

落とし物検知サービスを例にして動作を簡単に説明する。

#### (1) 初期化

サービス開始前に次の2つを指示する必要がある。1つは、イベント発生の判断に使用するための監視対象物の指示である。これは、UGWと対象物を同時に振り、同じ振動を与えることで行う。UGWは自分と同様の加速度パターンを持つモノを発見し、これをイベント発生部に登録する。もう1つは、落とし物というイベントが発生したときに何をすべきかの指示である。これには実世界プログラミングを用いる。ANTHモジュールを内蔵したパイプレータなどにUGWを近づけることで、ANTH内にイベントとアクチュエータの結び付きが登録される。

#### (2) 歩行中

登録されたモノを持ち歩くことで振動が発生すると、これを検知してクラスタ生成アルゴリズムが実行される。その結果、クラスタ情報がUGWに収集される。イベント発生部は、登録されたモノすべてがクラスタに含まれていることを確認する。

#### (3) 落とし物

あるモノを落とすと、クラスタからそのモノに対応するセンサのID番号が脱落する。これにより、イベント発生部がイベントをANTHへと送る。ANTHはイベントをアクチュエータ(パイプレータ)へと対応付け、ユーザの持つパイプレータが振動し、落とし物を知らせる。

\*3 ANTH: 東京大学大学院 青山・森川研究室により開発された実世界プログラミングフレームワーク。ANTHにおいてデバイスのすべての機能は、状態を検知するイベントと外部に発するアクションに抽象化される。利用者はイベントとアクションを対応付けることによりサービスを記述できる。

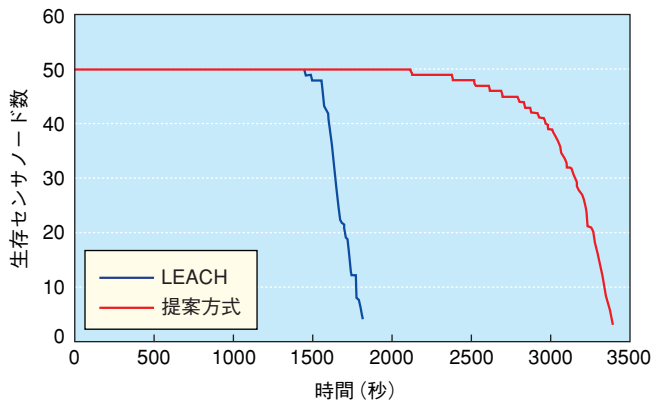


図3 方式ごとの生存センサノード数の変化

## 4. 評価

センサネットワークプロトコルの評価として、似たモノ発見センサネットワークと代表的なセンサネットワーク研究の1つであるLEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)<sup>\*4</sup> [4]とをシミュレーションによって比較した。一定間隔でクラスタを構成するセンサネットワークにおいて生存しているノード数の時間的な変化を図3に示す。提案方式では、すべてのセンサノードが平均的にバッテリーを消費し、かつクラスタ生成までの総通信量が少ない。センサノードそれぞれの利用可能時間が延びた結果、LEACHに対してシステム動作時間が約2倍となることが分かる。

## 5. 将来の移動端末利用イメージ

将来の移動端末であるUGWは以下のような機能を持つと考えられる。

- ・モノと一緒に振り、同じ振動を与えたり近づけたりすることで物理的なモノを指し示す実世界プログラミングデバイス。
- ・センサネットワークからの情報を受け取り、誤情報を破棄するなどセンサネットワークだけでは困難な処理の支援。
- ・ネットワーク内の情報（今回のシステムではIDとモノの属性のデータベース）を用いたユーザやその周辺の状況理解。
- ・状況に合わせて行うべきことを判定し、サービスを提供するためにアクションを指示。

## 6. あとがき

本稿では、センサネットワーク、アクチュエータネット

ワークおよびUGWから構成されるシステムを提案し、それぞれの要素技術および連携方法について述べた。

本提案の実現可能性は現在検証中であるが、センサネットワーク部については、従来方式の2倍の効率を持つことを確認した。

本研究では、モノに貼付されたセンサに着目したが、今後は、例えば建物に埋め込まれたセンサやアクチュエータ、あるいは屋外でのセンサなどへ対象を拡大し、より幅広いユビキタスサービスが提供可能なシステムについて研究を進めていきたい。

## 文 献

- [1] 永田 智大, 小熊 寿, 山崎 憲一: “似たモノ同士をグループ化するためのセンサー用分散ミドルウェア,” 情報処理学会論文誌コンピューティングシステム, Vol. 47, No. SIG12 (ACS15), pp.387-398, 2006.
- [2] 小熊 寿, 永田 智大, 山崎 憲一, 猿渡 俊介, 鈴木 誠, 森川 博之, 青山 友紀: “ユビキタスゲートウェイによるセンサノード管理方法,” 情報処理学会第68回全国大会, 3F-5, 2006.
- [3] S. Saruwatari, T. Kashima, M. Minami, H. Morikawa and T. Aoyama: “PAVENET: A Hardware and Software Framework for Wireless Sensor Networks,” Transaction of the Society of Instrument and Control Engineers, Vol. E-S-1, No. 1, pp. 74-84, 2005.
- [4] W. Heinzelman, A. Chandrakasan and H. Balakrishnan: “Energy-efficient communication protocol for wireless sensor networks,” Hawaii International Conference System Sciences, 2000.

\*4 LEACH: マルチホップ通信を用いたセンサネットワークのための階層型ルーティングアルゴリズム。ノードの負荷を分散するために、センサ情報を集約するクラスタヘッドを動的に決定するという特徴を持つ。