

ユビキタス環境に向けた実世界指向ネットワーク

川原 圭博

1 はじめに

ユビキタスコンピューティング環境においては、実世界に存在するハードウェア、仮想世界に存在するソフトウェアを含めた、あらゆるオブジェクトがネットワーク接続され、それらの有機的なつながりによって、利用者の好みや状況に応じたサービスの実現が可能となる [1]。実世界と仮想世界が融合した環境におけるサービスとしては、たとえばセンサネットワークから得られた物理的な状況に応じて適切な情報をユーザに提供するようなサービスなどがある (図 1)。このようなアプリケーションを実現するためには、現在のインターネットが提供する枠組みだけでは不十分であり、実世界からの情報をセンシングして仮想世界に取り込む機能やアクチュエータなどの実世界のオブジェクトを仮想世界から制御する機能が新たに必要となる。

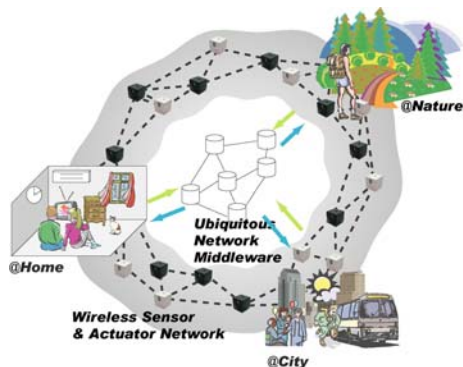


図 1: Harmonization of Virtual and Real World

本稿では、ユビキタスコンピューティングを実現するためのコア技術として、無線センサネットワーク技術および、センサ情報を利用してユーザのコンテキストを推定する技術に関して紹介する。

2 実世界、仮想世界のインタフェースとしてのセンサ技術

実世界と仮想世界の融合を図る上において、実空間の情報をいかにしてネットワークに取り込むかは極めて重要である。これに向けてはセンサネットワークが重要な役割を果たすと考えられる。これまで、国内外のセンサネットワークの研究は、軍事目的や自然科学分野をターゲットとし、ノードの電力消費や通信データ量を抑えるための手法などが研究されてきた。しかしながら、ユビキタスコンピューティング環境における民生利用という観点からセンサネットワークアーキテクチャを捉えている研究は数少ない。今後、センサネットワークを実世界で利用していく際には、センサノードをどのようなハードウェア機能で実現し、どのように実世界に浸透させるかといった点を含め、総合的な観点からのデザインが重要になる。

2.1 センサノード U³

我々は現在のところ、物理世界の情報を収集するためのデバイスとして小型センサノード U³ を開発している [2, 3]。

センサネットワークのテストベッド構築に関する既存研究としては、WINS, SCADDS, WEBS などのプロジェクトにおいて低コストで微小な開発用センサモジュールの実現を目指して行われてきた。現在では WEBS プロジェクト内の NEST で開発された MICA Mote がテストベッドとして主流になりつつある。その主な理由としては、MICA Mote が高機能でありながら市販部品を利用した低コストなデバイスで構成されており、さらに積極的に商用販売されていることによる。しかしながら、バッテリー機能、計算機能 (CPU)、無線通信機能などが 1-board で実装されており、アプリケーションに応じた機能

の拡張を行うことは難しい。

このような観点から我々は、多様なアプリケーション構築を支援し得る開発用モジュール U³ (U-cube) の設計と実装を行った。U³ は開発の汎用性や利便性に鑑み、既存の開発用モジュールである MICA Mote 等との互換性も意識して設計されている。U³ は 50mm × 50mm × 50mm の立方体内に電源ボード、CPU ボード、無線通信ボード、およびセンサボードの 4 枚の機能ボードを搭載しており、それぞれは 2.54mm ピッチという汎用性の高いバスコネクタで組み合わされている (図 2)。通信機能としてはノード間通信に 315MHz 帯 RF 無線モジュールを用いて最高 115.2kbps で通信が可能になっているほか、IrDA 1.0 により、センサノードと PC や PDA が直接通信できるようになっている。センサボードには多様なセンサ接続のための拡張バスが提供されており、アプリケーションに応じた機能の拡張が可能になっている。現在のところ U³ は MICA との無線レベルでの互換性は無いが、PC 等をゲートウェイとして、メッセージレベルで相互に通信することは可能である。また、無線通信モジュールには無線通信を制御するための専用 CPU として Microchip 社の PIC18F452(20MHz) を搭載している。無線通信における符号化処理や MAC プロトコルなどはこの CPU を用いてアプリケーションとは独立に実装することができる。

また、U³ のソフトウェアとしては実行環境と開発環境を提供している。それらは、アプリケーションの制御を行うアプリケーション用ソフトウェアと他ノードとの無線通信を行う無線通信ソフトウェア、およびプログラム開発を行うための開発用ソフトウェアから構成されている。アプリケーション用ソフトウェアではハードウェア制御のために抽象化された API を提供しており、無線通信ソフトウェアでは通信制御のために MAC 層と物理層を定義し、それぞれに対する API を提供している。また開発用ソフトウェアでは、外部のデバイス (PC 等) からのモジュールへの高速ロードやダイナミックロードなどをサポートしている。これらのソフトウェアによってアプリケーション開発に対する汎用性や利便性の向上を図っている。

ユビキタスコンピューティング環境に向けたセンサネットワークに関する研究開発はまだ歴史が浅いた

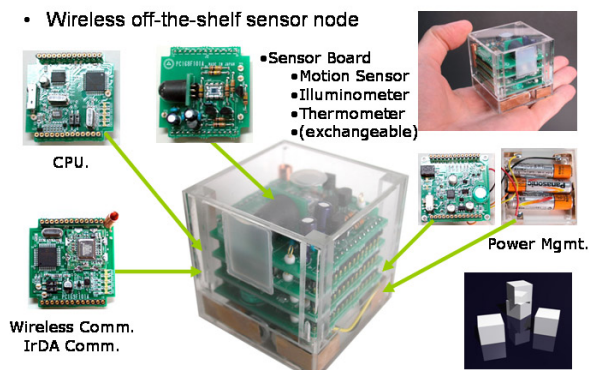


図 2: U³ Sensor Node

め決定的なアーキテクチャに欠けている。このため、U³ は、各コンポーネントの独立性を重視し、ハードウェア的にもソフトウェア的にも、アーキテクチャの再構成が柔軟に行えるようになっている。

3 センサデータからのユーザコンテキスト推定

アプリケーションから利用されるコンテキストには、エンティティ(たとえば人、場所、オブジェクト)の状況を特徴化するために利用しうるあらゆる情報が含まれ、典型的な例としては、人々やグループ、計算上あるいは物理的なオブジェクトの場所、アイデンティティ、状態などがあげられる。位置情報は、プリミティブでありながら非常に有用な手がかりとなるコンテキストでありコンテキストウェアアプリケーションに多用される。このため、GPS、超音波、RFID などを使って位置情報をアプリケーションの精度に応じて効果的に取得するための方法がこれまでも多数報告されている。

しかしながら、よりきめ細かきで有用なアプリケーションサービスを実現しようとする、より高度で多様なコンテキストが必要とされる。このため、物理世界に展開する多様なセンサから、人やオブジェクトのコンテキストの効果的な推定は、ユビキタスコンピューティングにおいて魅力的なアプリケーションを実現するための大きな課題のひとつになっている。

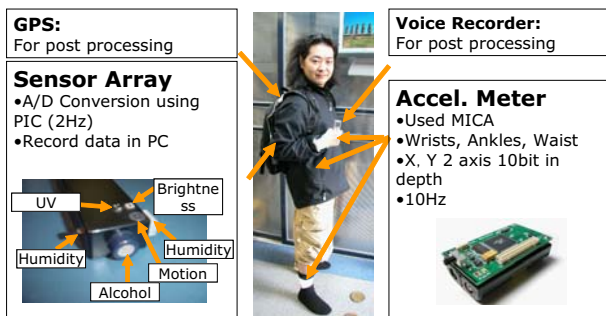


図 3: Sensor Array

3.1 ボトムアップ式のコンテキスト推定の検討

我々は、まず取り掛かりとして、日常生活において、ユーザにその状況に応じたコンテンツを配信するシナリオを考え、これに最適なセンサ情報からのコンテキスト推定に取り組んでいる。

アプリケーションのシナリオとしては「最寄のタクシーの位置を常に提供し続けているチャンネル」「任意の地域の天気予報を提供しているチャンネル」など、「時と場合に応じたコンテンツ」が数多く用意されているとする。そして、これらへの情報ポイントをユーザの携帯端末上に表示することを考える。それらの多数のアプリケーションのチャンネルの中から現在のユーザが欲するであろう情報を、センサや過去の行動履歴をトリガにして並び替えてやろうというものである。こうしたシナリオの場合、ユーザのコンテキストを推定するためのデバイスとしては、できるだけ小型・廉価であり、コンテキストの正確な推定よりも多様なコンテキスト抽出が可能であることが望ましい。そこで、我々は図3に示すようなセンサアレイを試作した。このセンサアレイは、温度、湿度、可視光、紫外線、モーション、アルコールセンサという廉価に入手可能なセンサから構成される。各センサからのデータはセンサアレイ内のPICマイコンでAD変換した後、RS-232CによりノートPCに送信・記録される。センサのサンプリングレートは2Hz（湿度のみ1Hz）である。またユーザの両手両足と腰の計5箇所に2軸の加速度センサを装着しユーザの体の動きを取得することとした。サンプリングレートは2軸とも10Hzである。加速度センサとして、無線センサノード(MICA)を用い、無線でデータを記録用PCに送信することでユーザの動きを拘束することを避けた。

センサアレイや加速度センサにより得られたデー

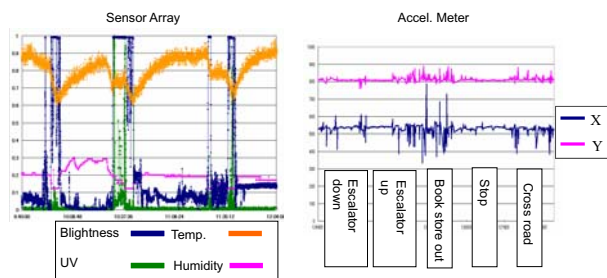


図 4: Sensor Data

タのうちどのセンサの値がユーザコンテキストの推定に有益であるか、簡単な実証実験を行った。具体的には、センサアレイと加速度センサを被験者に装着し、渋谷区の市街地を8時間歩き回るというフィールドワークをおこなった。各センサ及びGPSからのデータを背中に背負ったリュックサック内のノートPCに時刻と共に記録し、被験者はボイスレコーダを用いて逐一自分の行動を記録した。

図4にセンサアレイからのデータを可視化、紫外線、温度、湿度をグラフ化したものを示す。実際のユーザの行動とセンサのデータとを照らし合わせたところ、コンテキストの変化に対してセンサのデータも何らかの変化を起こすことが明らかになった。例えば冬の昼間に屋内から屋外に出た場合、可視光と紫外線の値は上昇し、温度と湿度は低下し加速度は変化する。また、四肢に取り付けた加速度センサはユーザの姿勢の変化、運動の変化に伴って大きく変化した。

これら実験結果から観測された定性的な結果として、(1) (明るさと温度など) 複数のセンサの値の組み合わせの変化を捉えることでユーザのおかれている環境の切り替わりを類推できる。(2) 手首、足首、腰に取り付けた加速度センサの情報から、ユーザの姿勢、運動の状態に関して類推できる。という二つのことが明らかになった。

3.2 再現性に関する検証

7月の東京において午前10時～午後5時の間にサンプリングした、可視光センサと紫外線センサの100個のデータに関し、70個をテストデータとしてその平均値を判別の閾値と定め、残りの30個のデータに関して正解率を求めた。

その結果、正解率は屋外96%、屋内100%の確率

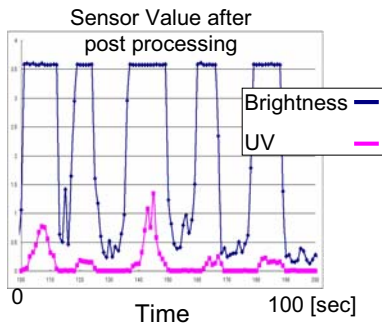


図 5: Ambient Sensor data after post processing

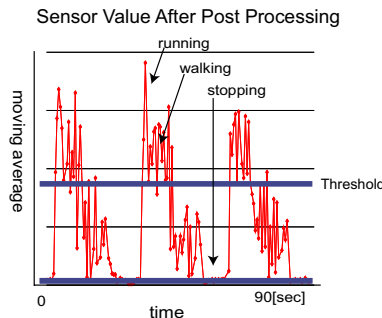


図 6: Acceleration Sensor data after post processing

で判別が可能であった。

同様に、足、腰の加速度データに関して解析を行った。こちらは、腰の傾きの変化をもとに座っている、立っているの状態判別を行った。また、両足加速度（鉛直成分 0.5 秒分）の振幅の移動平均を用い、走行、歩行、停止の状態の判別を行った。その結果、立っている・座っているという状態に関しては 100 % の確率で判別が可能であった。走行状態の判別は 90 %、歩行も 90 %、停止状態は 100 % の確率で判別が可能であった。

3.3 統計的推定手法の適用

コンテキストを推定するにあたり、物理的なセンサ情報のみでコンテキストが一意に決まるわけではない。たとえば、単純な温度の上昇や下降は、夏場と冬場ではそれぞれもつコンテキストの意味合いが違ってくる。そのほか、同時にセンサから得られるデータはセンサ自体の個体差による取得データのばらつきや、装着者、環境によるデータのばらつきが存在する。お年寄りの歩き方と若者の歩き方では得られる歩行の加速度のダイナミックレンジが異なることは想像に難くない。このようにセンサから得られたデータに対して適当なセマンティクスを与えて

やることや、個体差を吸収することはコンテキスト推定に必要不可欠となる。しかしながら、一つ一つのコンテキストに対して人が試行錯誤的にセマンティクスとの組み合わせを考えていくのは体系的なオーバーヘッドが大きい。今後は、アプリケーション側からのコンテキストに対する要求を明らかにし、ボトムアップ式に推定可能なコンテキストの内容とうまく整合をとることが重要となる。

そこで現在は、センサデータのもつ不確実性を吸収し、よりロバストな推定を可能とするべく、ベイズ統計の考え方を利用した統計的推定手法の適用を検討している。

4 おわりに

本稿では、ユビキタスコンピューティング環境を実現するための基礎技術として無線センサネットワークに関する技術と、センサデータを用いたユーザコンテキストの推定技術に関して紹介した。

現在は、センサノードのハードウェア開発と、センサデータからのコンテキスト推定エンジンの橋渡しを行うセンサミドルウェアの設計を検討している。このセンサミドルウェアは、さまざまなセンサから得られた実空間に関する生データやイベントをネットワーク内でアプリケーションにとって有用な形式で蓄積加工し流通させ、仮想的なコンテキストデータのレポジトリを構築する。このレポジトリにより、センサデータの再利用性が高まるほか、アプリケーションからはコンテキストデータへの透過的なアクセスが期待できる。

参考文献

- [1] Mark Weiser: "The computer for the 21st century," Scientific American, 265(3):94-04, 1991.
- [2] 永原, 鹿島, 猿渡, 川原, 南, 森川, 青山, 篠田: "ユビキタス環境に向けたセンサネットワークアプリケーション構築支援のための開発用モジュール U3 (U-cube) の設計と実装," 信学技報, IN2002-243, NS2002-270, March 2003.
- [3] Y. Kawahara, M. Minami, H. Morikawa, T. Aoyama: "Design and Implementation of a Sensor Network Node for Ubiquitous Computing Environment," In Proceedings of VTC2003-Fall, Orland, U.S.A., October 2003.