

# 実空間との連携を指向した ユビキタスネットワークの研究

南 正輝\*, 森川 博之\*\*, 青山 友紀\*

\*情報理工学系研究科電子情報学専攻

\*\*新領域創成科学研究科基盤情報学専攻

## 概要.

本研究ではこれまでのインターネットが目標としてきた、「インターネット仮想空間上のサービスへの透過的アクセス」に加え、我々が生活している実空間とネットワーク技術の融合を目指すものである。具体的にはセンサネットワーク技術を中心とし、実空間の情報を取り扱うためのハードウェア/ソフトウェアプラットフォームの研究開発を行う。本報告ではそのようなプラットフォームの実現に向けたアーキテクチャの提示と初期的なアプローチについて述べる。

## 1. はじめに

10の38乗という天文学的な数のアドレスを提供し得る IPv6 の標準化活動が進み、数百 G~T[bps]級のデータ伝送を実現する超高速のバックボーンネットワークや数十~百 Mbps クラスのデータ伝送を実現する無線ネットワークが現実のものとなりつつある今日、アドレス数や帯域の観点から見たネットワークの研究開発はほぼ成熟期に入りつつあるといえる。このような純粋なデータ伝送を目的としたネットワーク技術の急速な進展に対し、それらが提供する広大なアドレス空間やネットワークの広帯域性を十二分に活用した革新的なアプリケーションは未だ姿を見せておらず、依然、大多数のユーザは旧来のアプリケーションである電子メールと Web ブラウジングのみを利用するにとどまっている。安価で常時接続可能なブロードバンドサービスが急速に進みつつある今日を鑑みると、今後、情報通信ネットワークの価値はアドレス数や帯域よりもむしろ、ネットワーク上で提供されるアプリケーションサービスの質によって決まっていくであろうことは容易に予想される。しかしながら、そのような将来のネットワーク像に対して明確なアプリケーションを示すことができない現状は、ネッ

トワークの発展、延いては情報通信産業の今後の発展にとって極めて由々しき事態であると考えられる。このような状況を打破するためには、IPv6 と広帯域有線/無線ネットワークの上で革新的なアプリケーションの創出を促すための環境作り、すなわち、プラットフォーム技術の研究開発が急務である。そして、そのような技術開発課題の克服こそが、ユビキタスネットワーク社会が目指す世界を実現するための大きなブレークスルーとなると考えられる。

ユビキタスネットワーク社会を実現させるに際しては、大きく分けて「遍在」「連携」「融合」の3つの課題を克服する必要があると考えられる。これまでのところ、あらゆるモノをネットワーク接続するための各種遍在化技術、Web サービスに代表されるような連携技術はすでに多くの研究開発が進行中であり、また実用化されつつある部分も多い。

しかしながら、「遍在」と「連携」の実現のみでは、これまでのアプリケーションと決定的に差別化され、社会に大きなインパクトを与えられるようなアプリケーションを真に創出することは難しい。たとえば、「遍在」と「連携」によってさまざまなマルチメディアコンテンツを時間や場所にとらわれずに自在に閲覧できるようになったとしても、それは現在の Web サービスやストリーミングサービスの発展形にしか過ぎない。

そのようなアプリケーションを脱し、より魅力的なアプリケーションを創造するためには、コンピュータネットワークにより創られる仮想世界と、我々が生活している実世界との密な「融合」が必要となる。現在、携帯電話に組み込まれた GPS などを使い、位置に応じた情報配信や、ネットワークから制御できるエアコンなど、実世界と仮想世界と融合を感じさせる極めて初歩的なアプリケーションは存在するが、多種多様なコンテンツを使って緻密で質の高いサービスを提供

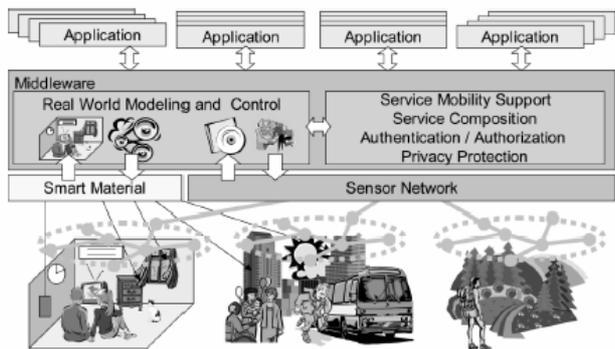


図 1: 実空間指向ネットワークアーキテクチャ

するアプリケーションの登場には至っていない。本研究では、その最も大きな原因は、実世界を仮想世界に、また仮想世界を実空間に反映させるための実用的な枠組みの欠如にあると考えている。実空間と仮想空間が密に融合すればするほど、今までの仮想世界を対象とした枠組みでは考えられなかったようなサービスを提供できる可能性が広がるため、実空間と仮想空間をより緊密に融合させるための技術開発は急務である。

このような観点から、本研究では、センサネットワークなどから得られる実空間の情報を利用して様々なサービスを提供できるような実空間と仮想空間とを密に融合させるプラットフォーム技術の開発を行うことを目的とする。

## 2. 実空間指向ユビキタスネットワークアーキテクチャ

図1に本研究で研究開発を行う実空間指向ユビキタスネットワークプラットフォームのアーキテクチャを示す。本アーキテクチャは、センサネットワークによる実生活空間情報の取得を核となる技術と位置づけ、莫大な物理環境に関する情報をネットワークミドルウェアにより集積、モデル化し、この情報をアプリケーションに対して提供することで、新たな付加価値を持つネットワークサービスの実現を可能にするものである。これに向けては、WWWや電子メールベースの既存のサービスのようには、ソフトウェアを主体としたアプローチだけではなく、実空間上のモノであるハードウェアについても十分に検討する必要がある。以下では、本アーキテクチャを実現するための具体的な課題について述べる。

### 2.1 デバイス関連技術

ユビキタス社会を実現するための第一歩は、ソ

フトウェアオブジェクトと、ハードウェアオブジェクトをネットワーク上に遍在させることである。これには現在、世の中に登場しつつある情報家電などのデバイスの普及のほか以下のような技術開発が必要となる。

**センサネットワーク**：センサネットワークは、実世界の情報を取得するための神経系として極めて重要な役割を果たす。国内外のセンサネットワーク関連研究では、環境モニタリングなどをクライアントアプリとして位置づけ、データなどの特性をうまく見出し、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、レイヤ縦断的に研究開発されてきた。これからはユビキタス環境実現のためのインフラとしてセンサネットワークを捉えなおし現実的な観点からの展開を視野に入れた研究開発が必要になる。

**スマートマテリアル**：ユビキタス社会の実現に際しては、我々が普段生活している生活空間や街自体をインテリジェント化する必要がある。インテリジェントな生活空間を容易に構築するための材料としてスマートマテリアルの開発が必要になる。具体的には、コンピュータチップとネットワークインタフェースが組み込まれた壁材や内装品、建材などを試作し、それらを用いてスマートスペースをできる限り簡単に構築できるようなハードウェア/ソフトウェアアーキテクチャが必要になると考えられる。

**実世界指向インタフェース**：情報機器が遍在化が進むほど、ユーザが使用したい機器を選択するために複雑な操作が必要になったり、単純化のために与えられるユーザインタフェースが機器を制御するのに適さなかったり、同時に複数のユーザが機器を使用できなかったりという問題が発生する。これを解消するための情報端末の開発が必要となる。

### 2.2 ソフトウェア技術

実空間指向ユビキタスネットワークアーキテクチャの実現に際しては、実空間情報を如何にしてコンピュータネットワークで取り扱うかが、一つの重要な鍵となる。以下ではそのようなソフトウェアを開発する必要がある。

**リアルワールドモデルの構築とその管理**：実空間に接続されたセンサノードやアクチュエータの

情報や状態を処理し、アプリケーションに対して実空間と仮想空間の有機的なつながりを実現するためのモデルが必要になる。これには以下の二つのミドルウェアを統合する形で実現することが考えられる。

**実世界から仮想空間に向けたミドルウェア：**センサネットワークはセンサ情報を取り出すことはできても、それを有用な形でネットワーク上に保持しておくことは難しい。このため、実空間情報を利用したさまざまなアプリケーションをサポートするためには、アプリケーションとセンサネットワークの間に実世界の情報をモデリングし、保持するための中間層が必要となる。

**仮想空間から実世界を管理するミドルウェア：**実世界空間中に遍在化されたアクチュエータやロボットはネットワークに接続されることによって仮想空間からのコントロールが可能になる。

**プライバシー/セキュリティ保護機構：**ユビキタス環境では、ある意味において、実世界空間における状態やユーザの好みなどといった個人情報と引き換えに、サービスを提供することになる。センサの中には性質的にユーザが情報をサンプリングされるのを拒否しきれないものも存在する。このため、ユーザのプライバシーを保護するためにはシステム内での情報をユーザがコントロールできる仕組みが必須となる。また実世界のアクチュエータの不正操作は場合によっては生命の危機をももたらすためセキュリティをしっかりと保護する機構が必要になる。

### 3. 今年度の主たる成果

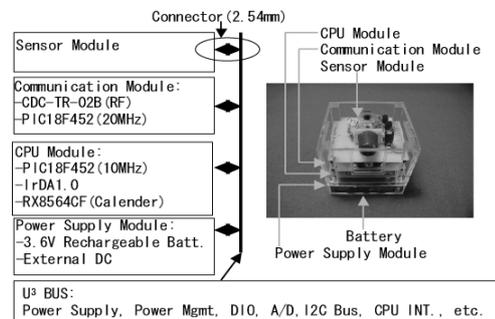
実空間指向ユビキタスネットワークアーキテクチャの実現に向けて、本年度は初歩的な研究開発をいくつか行った。以下では本年度の成果のうち代表的なものを簡潔にまとめる。

#### (1) センサネットワーク開発環境

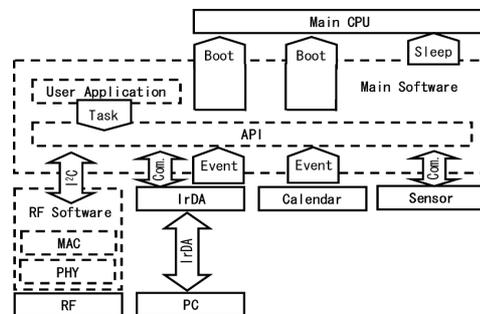
多種多様なコンテキストを収集し、それを使って緻密で質の高いサービスを実現するためには、実空間情報の仮想空間への取り込みを可能にしなければならない。このことを実現するセンサネットワークは、実空間情報を取得するための神経系として極めて重要な技術の一つとなる。センサネットワークを実用に耐えうるようにデザインするためには、汎用的なテストベッドの上で様々

な実装実験を行い、その要求要件を明らかにしていく必要がある。これに向けて本研究ではセンサネットワーク開発環境のハードウェアおよびソフトウェアを開発の汎用性に鑑みて設計した。

開発環境の構成を図2に示す。本開発環境は電源モジュール、無線通信モジュール、CPUモジュール、およびセンサモジュールの4枚のモジュールをバスコネクタで組み合わせて構成される。バスには電源制御、パラレル入出力、A/D変換入力、I2Cインタフェース等の信号が割り当てられており、モジュール間の通信は主にI2Cで行う。それぞれのモジュールはコネクタで分離可能になっており、必要に応じて機能を交換できるようになっている。無線通信モジュールは最大115.2kbpsで通信可能な微弱無線チップを搭載している。また、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に実装される。CPUモジュールには無線通信機能ボードに搭載されているものと同じのCPUと日付や時刻を取得するためのリアルタイムカレンダーとIrDA1.0の赤外線インタフェースが搭載されている。センサモジュールは



(a) ハードウェア構成



(b) ソフトウェア構成

図2: センサネットワーク開発環境

さまざまな実空間情報を取り込むためのセンサを実装するボードであり、現在のところ温度センサ、照度センサ、モーションセンサを試験的に搭載している。

本開発環境のソフトウェア構成を図 2 に示す。ソフトウェアは他のセンサノードとの通信を行う無線通信ソフトウェアとアプリケーションタスクの処理などを行うメインソフトウェア、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る。このうち、メインソフトウェアと無線通信ソフトウェアは CPU モジュールと無線通信モジュールにそれぞれ実装され、I2C を用いて相互に通信しながら動作する。メインソフトウェアは各種センサなどのハードウェアとのインタフェースやアプリケーションタスクの処理、無線通信ソフトウェアとの通信、IrDA による外部のデバイス (PC 等) との通信などを行う。メインソフトウェアは基本的には CPU をスリープ状態にして低消費電力モードでイベント待ち状態で待機する。CPU はカレンダーや無線通信ソフトウェアからのパケット到着通知、IrDA からのパケット到着通知などのイベントによってスリープ状態から処理状態へ遷移し、それぞれのイベントに応じた処理を行う。また、メインソフトウェアでは多様なアプリケーションの開発

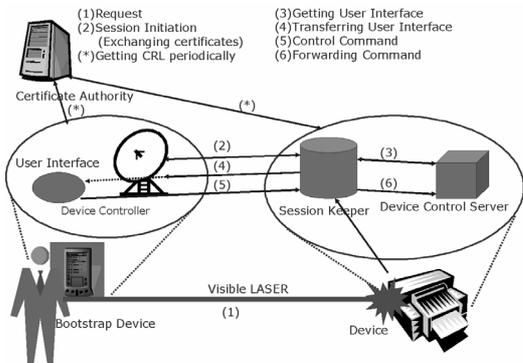
を容易にするために抽象化された API (たとえば他のノードへパケットを転送する関数など) が提供されている。

## (2) サービスブートストラップデバイス

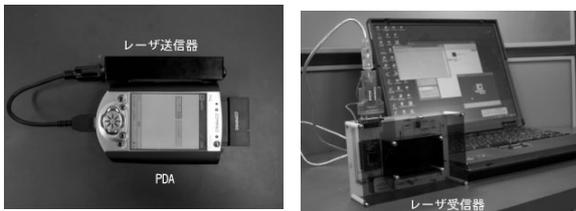
ユビキタスコンピューティング環境においては様々なネットワーク接続された機器が存在し、ユーザがそれらを使用することで様々なサービスを楽しむことが期待される。しかし従来の技術では、ユーザが使用したい機器を直感的に選択することが困難であること、与えられるユーザインタフェースが機器を制御するのに適さない可能性があること、同時に複数のユーザが機器を使用できないこと、といった問題があった。そこで本稿では以上の問題点を解決するサービスブートストラップ用デバイスを開発した。

図 3 に本デバイスの構成と実装状況を示す。ユーザが直観的に現実世界から機器を指定するために、本デバイスでは使用したい機器にレーザを当てることで機器を選択し、機器はユーザの端末へ自身を操作するためのユーザインタフェースを転送する。これによってユーザは機器を現実の世界から容易に指定し、それぞれの機器に最適なユーザインタフェースを使用することができる。また、本デバイスではレーザ光にユーザの情報をのせ、各機器がユーザ認証を行うことで、機器の利用権限のない悪意を持ったユーザによる機器の操作を防止したり、個々のユーザに適したユーザインタフェースを生成したりすることができるように設計されている。

現在の実装はプロトタイプ実装であるため、PDA と市販のレーザポインタを用いているが、小型半導体レーザを携帯電話のアンテナの先などに内蔵させることで、携帯電話があれば、すべてのデバイスを直感的かつセキュアに利用できるようになると考えている。



(a) 構成



(a) プロトタイプ実装

## 4. まとめ

本報告ではユビキタス社会の実現に向けて、特に物理空間を強く意識した実空間指向ユビキタスネットワークアーキテクチャの研究開発について述べた。また、本年度行った各種ハードウェア/ソフトウェアの初期的な研究開発成果について述べた。今後はアーキテクチャの具体化を進め、特に実世界と仮想世界を取り扱うミドルウェアを中心に設計を進めていく予定である。

図 3: サービスブートストラップデバイス