

## Extended Sensing Space の設計

池田 武史<sup>†</sup> 佐々木 健司<sup>†</sup> 牧村 和慶<sup>†</sup> 斉藤 裕樹<sup>§</sup> 戸辺 義人<sup>§</sup>

Smart Furniture を中心として局所的にスマート空間を作り出すマイクロホットスポットが提案されている。こうしたマイクロホットスポット周辺において、センシングカバー範囲をはずれるとスマート空間の機能を期待することができない。我々は、マイクロホットスポットの周辺にマルチホップ無線センサネットワークを構築することによりセンシングカバー範囲をスケールビリティを持たせて拡大する ESS (Extended Sensing Space) を提案する。ESS においては、無線センサネットワークノードで「センサネットワークノード化した」日常使用するモノの相互通信により、モノと Smart Furniture を連携させる。本稿では、ESS の基本設計について述べる。

### Design of Extended Sensing Space

Takeshi Ikeda<sup>†</sup> Kenji Sasaki<sup>†</sup> Kazunori Makimura<sup>†</sup>

Hiroki Saito<sup>§</sup> Yoshito Tobe<sup>§</sup>

Micro Hot Spot has been proposed as a scheme of constructing an area-limited smart space utilizing a smart furniture. Outside the range of sensing of the micro hot spot areas, functions of the smart space cannot be expected. We propose Extended Sensing Space (ESS) which can be scalably extended using multi-hop wireless sensor network nodes around the micro hot spot. In the ESS, the smart furniture can communicate with "sensor networked" things which are equipped with sensor-network nodes. In this paper, we describe the basic design of the ESS.

#### 1. はじめに

近年、無線通信技術及び半導体技術の発展に伴い、無線通信デバイスの小型軽量化、省電力化、高性能化が進んできている。特に小型化の発展は著しく、実世界から情報をセンシングし、収集するデバイスとして、センサ自体に無線通信機能を持たせることも可能となってきた。このようなセンサを通信ノードとして動作させ、相互にマルチホップ転送を行うセンサネットワークの研究開発が進んでいる。またそれらのノードを「モノ」に搭載し、ネットワークに組み込むことによって実環境を知的な空間として機能させるユビキタス環境の構築が進んでいる。

こうしたユビキタス環境を構築するものとして、慶応大学徳田研究室で開発された SF (Smart Furniture) がある[1]。第1世代の SF は、タッチパネルと埋め込み型の PC で構成されており、スピーカ、センサ等の多様な入出力機能を利用して様々なサービスを提供することのできる家具風の装置である。SF は、Furniture という名前を有するが、日常生活で使用される「モノ」がユビキタス環境を構築するための仕組みを提供する点に意義がある。SF を利用することで、SF 周辺にマイクロホットスポットを形成することができる。しかし、SF 単体での動作には限界があり、SF に搭載されたセンサだけでは、実世界の環境情報の取得、広範囲で高品質サービスの実現は困難である。例えば、室内に設置された SF を想定した場合、SF 周辺の情報しか取得できず、個々のモノと関連した動作や、室内全体でのサービスの提供、情報管理等、広範囲で高品質のサービスが求められる。

本稿では SF とセンサを用いたユビキタス環境下で、ユーザによる空間全体の把握と、サービスの範囲が限られている SF の機能を拡張する。センサで広範囲の環境情報や物理的なモノの動作を検知し、それらを SNN (センサネットワークノード) 間や SNN と SF 間でやりとりするこ

<sup>†</sup> 東京電機大学 工学部 情報通信工学科

<sup>‡</sup> 東京電機大学大学院 工学研究科 情報メディア学専攻

<sup>§</sup> 東京電機大学 工学部 情報メディア学科

<sup>†</sup> Department of Information and Communication Engineering, Tokyo Denki University

<sup>‡</sup> Information Systems and Multimedia Design, Tokyo Denki University

<sup>§</sup> Department of Information Systems and Multimedia Design, Tokyo Denki University

とで、高品質のサービスを提供する ESS を提案し、設計する。

本稿の構成は以下の通りである。第2章で、スマート空間において求められるサービスについて述べる。第3章では、本稿の目的を述べ、第4章では、ESS の設計概要と詳細内容について述べる。第5章では、Mica Mote と SF を用いた ESS の実装について述べる。第6章では ESS の今後の課題について述べる。第7章で、関連研究について触れ、最後に結論及び今後の課題を述べる。

## 2. センサネットワークとスマート空間

多様なセンサや計算機が、ユーザに様々なサービスを提供できる家庭内、オフィス、アミューズメントパーク等、プライベートや公共空間内でネットワークが埋め込まれたスマート空間を構築する研究が進んでいる[2][3]。その環境を実現するデバイスとして SF がある。SF は室内、公共空間等に設置され、様々な入出力装置を用い、ビデオ会議や遠隔地からの環境操作等、様々な用途での利用が考えられている。また、SF 間で、ユビキタス環境の拡大等も考えられる。しかし、SF のようなデバイス単体では、SF 間でのネットワークは拡大し、SF 周辺の知的空間は構築されるが、SF から離れた場所への適用は成されていない。我々の生活をサポートするスマート空間は、広く密に構築されなければならない。

また、実世界の環境には様々な「モノ」が存在する。我々の考えるスマート空間は、それら「モノ」に埋め込まれたセンサがネットワークを構築することにより作り出される。そのスマート空間では、「モノ」の動きを捉えてその動きに付随すると思われる近隣の「モノ」の動作を促すことにより、実世界での生活をサポートすることが可能となる。例えば、SNN を持った人が椅子に座ることによって椅子に埋め込まれたセンサがその動きを検知し、その動きに連動して机上の電気スタンドが点く等のサービスが考えられる。



図1 Smart Furniture

しかし、そのようなユビキタス環境下で、ひとつのセンシング情報を基にした動作では、必ずしも人の求めている結果を生み出さないモノの動作が頻繁に起こる。先ほどの例について考えると、人が移動する際に偶然椅子に触れた場合、机上のスタンドが点いてしまうかもしれない。モノの動作は、「モノ」と「モノ」、「モノ」と「人」といった、いくつかのインタラクションが起こった時に、求める動作をするべきである。本稿で想定するスマート空間は、広く密にユーザの求めるサービスを確実に得られるようなシステム環境を考える。

## 3. システム設計指針

ESS は SF とセンサを用いて、ユーザによる空間全体の把握と、サービスの範囲が限られている SF の機能を拡張する。センサで広範囲の環境情報や物理的なモノの動作を検知し、それらを SNN 間や SNN と SF 間でやりとりすることで、高品質のサービスを提供するシステムである。

### 3.1 RFID と SNN の比較

位置情報等を検出する技術としては RFID がある。ESS で使用するセンサネットワーク技術と比較した場合、RFID では ID 情報のみを収集するため、人の在室情報等の漠然とした情報しか得られない。それに対してセンサネットワークでは、ID 以外にも様々なセンサを使用して動作を細かく収集することができる。表 1 に RFID と SNN の機能を比較したものを示す。

表1 RFID とセンサネットワークの比較

	ID 取得	位置情報取得	物質量子取得	マルチホップ転送
RFID	可能	比較的容易	不可能	不可能
SNN	可能	比較的難	可能	可能

以上より、RFID 技術と比較した場合には、センサネットワーク技術はより明示的であると考えられるので、本システムではセンサネットワーク技術を用いる。

### 3.2 マルチホップ転送とシングルホップ転送について

SNN でセンシングした情報を SF に送るネットワークを設定するにあたり、複数ノードでマルチホップ転送させる

方法と、直接 SF まで送信するシングルホップ転送と 2 通りの方法が考えられる。シングルホップ転送では送信範囲が拡大するにつれて、送信に要する電力が距離に 2 乗して消費される。一方マルチホップ転送では各々のノードの送信範囲をある程度狭めることで省電力化でき、ネットワーク全体の寿命を延ばすことができる。また、省電力化により、SNN 自体の小型化も期待できる。

本システムでは、上記の考えに基づきマルチホップ転送方式でノード間の通信を行うこととする。

### 3.3 ESS の機能

ESS では、2 章で述べたスマート空間を実現するため、以下の 3 機能の実現を目標とする。また、ESS はイベントの発生を受けて SNN が動作するイベント駆動型のシステムである。

- SF のサービス範囲の拡大
- 公共空間内での「個人の空間」の提供
- 複数条件での限定動作による確実性の改善

#### 3.3.1 SF のサービス範囲の拡大

前節で述べたように SF は、周辺の知的空間の構築が可能であるが、その空間の範囲は限られたものとなっている。SNN を多数空間内に配置することで、個々のノードはマルチホップ通信を行い、センサネットワークが構築するスマート空間を広げる。すなわち、SF 単体のセンシングではカバーしきれなかったさらに広い空間をサポートする。これにより、SF 周辺のみだけでなく、家全体に拡張することも可能となる。

#### 3.3.2 公共空間内での「個人の空間」の提供

実生活環境においては、リビングルームや休憩室等、公共空間においては「モノ」は共有物となっている。自室に居る時は自由にモノの調整等を行うことができるが、こうした公共空間においては、自分好みの調節・設定等を行うことはあまりない。しかし、我々の想定するスマート空間においては一時的に自分専用の設定にする等といった、「個人空間」の提供を行う。

#### 3.3.3 複数条件での限定動作による確実性の改善

実際にスマート空間内でサービスを提供する場合、ひとつのセンシング情報のみで動作させると、必ずしもユーザの要求する動作を実行できるとは限らない。いくつかの条件下で、求められるサービスを選択し実現するこ

とが必要である。

## 4. ESS の設計

本章では、ESS のシステム設計について述べる。

### 4.1 システム構成

ESS は、実環境に即して配置されたセンサネットワーク全体を管理する SF と、個々の SNN を搭載した「モノ」と人より成り立ち、SNN のみのネットワークでは SF まで到達できない場合に、センシング機能のないデータ転送だけを行う転送ノード (Forwarding Node) を設置することとする。また ESS では、ユーザが近距離無線通信機能を有するデバイスを所持していることを想定している。図 3 は、ESS と SF との関係を示す。SF 自身がカバーするセンシング領域を SF-SS (SF Sensing Space) とする。この SF-SS に含まれない領域において、センシング領域を拡大するために SNN と転送ノードとでネットワークを構築する。

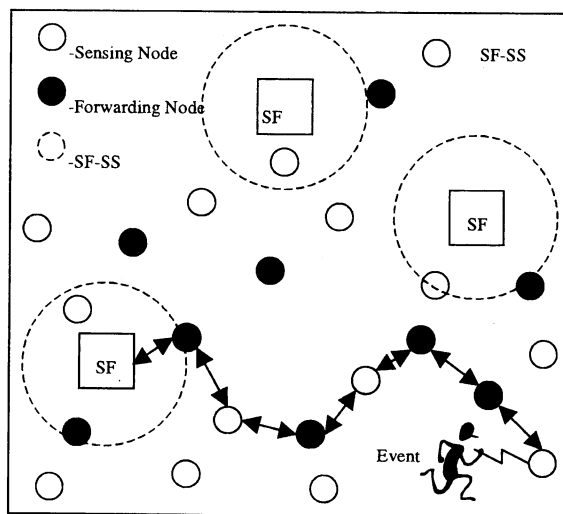


図 3 ノードの配置

### 4.2 システムの動作

ここでは ESS の基本的な動作について述べる。図 4 にシステムの動作を示した上で、各動作について説明する。

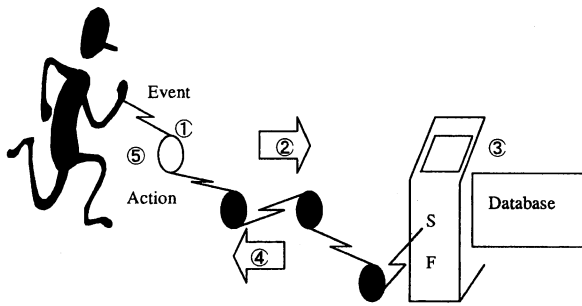


図 4 システム動作図

- ①SNN を持った人や「モノ」が、何らかの動作(イベント)を起こすことにより、近隣の SNN が反応する。
- ②ノード間でネットワークを組み、センシング情報を SF に送信する。
- ③受信したセンシング情報を基に、動作命令を決定する。
- ④SNN に動作命令を送信する。
- ⑤SNN は受信した命令を実行する。

以上のような手順で、ユーザの求める動作を自動的に行うことができる。また、上記動作②について以下にその詳細を述べる。

#### オンデマンド・データ送信

ここでは ESS システムの SNN と SF 間のルーティング方法について述べる。「モノ」に取り付けられた各ノードは、イベントが起こった時に周辺のノード状況を調べ、近隣に 2 つ以上のノードが確認できた時に SF にセンシング情報を送信する。ここでイベントとは、人やモノ等が何か動作を起こしたことにより、ノードのセンサが反応したことを示す。

#### 4.3 ソフトウェア設計

ここでは ESS のソフトウェア設計について述べる。図 5 に本システムのイベントの流れを示す。

図 5 において、SNN の Event Handler では、ノードの設置されたモノそれぞれに設定された閾値を越える変化をイベント発生とする。

SF では、Event Manager で受信したノードからのイベント情報が、予め設定された動作の条件に当てはまる時に、Action Manager で、そのイベントに対応する動作命令を出力する。

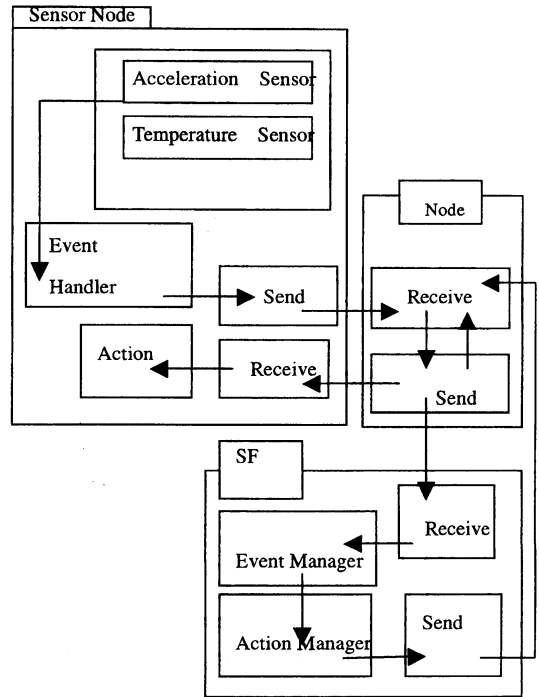


図 5 イベントの流れ

#### 4.3.1 データフォーマット

本システムで使用するノードには、「モノ」の状態を感知するセンシング機能とデータを送受信する機能が備えられている。各ノードは下表 2 に示す情報を、周辺のノードとネットワークを組むことによって、マルチホップ転送で SF に送信する。また、これらの情報はセンサを搭載しない固定ノードも持っている。

表 2 データフォーマット

Source ID	Attribute Number	Event Information
-----------	------------------	-------------------

##### Source ID

ノード固有のアドレス情報であることを示す。

##### Attribute Number

椅子や机など、自ノードの属性情報である。

##### Event Information

イベントハンドラで抽出したセンシング情報である。

#### 4.3.2 SF

ESS システムにおける SF の役割は、ノードより受け取った情報を基にしてシステム全体を管理することである。そのため SF には空間内の全ノードの情報(場所、状態)を持つ。

## 5. 予備実験

前章で設計した ESS のシステムは MICA2MOTE[4]、加速度センサ、SF を使用して実装する。

本システムを実装するために、どのような状況でどのような動作を実行するかという実測データが必要となってくる。そこで、予備実験として椅子に設置した加速度センサを用いて「座る」動作の抽出を行った。

具体的には、5 秒おきに「座る」、「立ち上がる」動作を 1 分間繰り返すこととし、測定方法としては加速度センサを装着した MICA2MOTE をデスクチェアの背もたれ最上部に、椅子の上下運動に対して水平にデータを取れるように設置し、椅子に取り付けた MOTE から送信した加速度データを、PC と接続したもう一台の MOTE のオシロスコープ機能を用いて PC に表示し測定した。また、このときの測定間隔は 0.5 秒毎に 1 回である。

測定データについては十進表示で表し、静止時の値を閾値としてオフセットを除去し、時間による加速度変化をグラフ化し図 6 に示す。

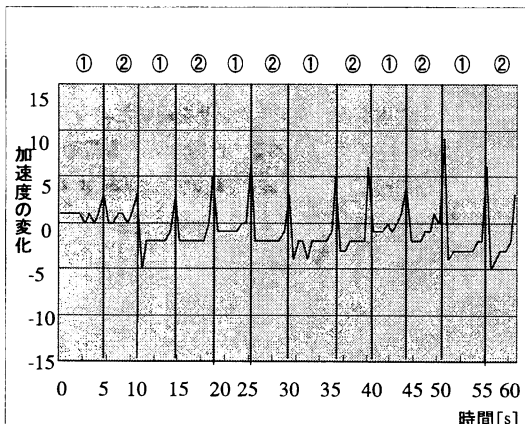


図 6 「座る」動作の加速度変化

測定されたデータより、10 進値で 5 以上の変化があったときには「座っている」と類推できる。しかし、今回の予備実験のデータのみでは、確実に座っているのかどうか判別するまでには至らなかった。確実に動作を認識するためには、イベントを確実に取得できるフィルタを設計し、複数の条件を加味しなければならないと考えられる。

## 6. 課題

本章では、ESS のこれからの課題点について触れ、そ

れを踏まえた今後の指針を述べる。

### (1) ノードの移動性

本システムでは、モノに取り付けた SNN 間でマルチホップ転送ネットワークを構築し、SF への経路を確立するために固定ノードを用いた。しかし、実世界環境では、センサを取り付けたモノが移動することも十分考えられる。その場合、モノの移動先で周辺にノードが無ければ、SF へセンシングデータを送信することができず、サービスを受けることができない。この問題を回避するためには、予め空間設計の段階で、例えば時計等、空間内に存在するモノに SNN を搭載し、SNN の位置に関係なく経路が確立できるようレイアウトする方法が考えられる。

### (2) ノードの消費電力

本システムでは、イベントが発生したときに SNN が SF へデータを送信するが、イベントの発生率の高い場所では他の場所に比べてノードの電力消費が激しくなることが予想される。そのため SF は各ノードの電力を把握しておく必要がある。

## 7. 関連研究

ユビキタスコンピューティング環境を実現するための様々な研究がなされている。

人の動作に順応して環境を形成する研究として EasyLiving[5]がある。これは、部屋に入るだけで明かりがつくといった例に示されるコンピュータが積極的に人の行動を支援することを目的とする。部屋に設置されたカメラから取得した映像を画像解析により、人の位置や状況を推定し、その状況における環境を作り上げるというものである。その精度は数 cm である。しかし、個々の人が誰であるかという認識はできない。ESS では個別空間が設定でき、動作の認識はカメラではなくモノに直接連動するセンサを用いることとする。

また、知的空間の形成に関する研究として SF 間の柔軟なサービスローミングを実現するミドルウェアの構築 [6]がある。これは、即興的に作り出される知的空間 MSH(Micoro Smart Hot-spot)を複数つなげ、それぞれの MSH に埋め込まれたセンサやデバイス、それぞれに動くアプリケーションが相互に強調して動作する MSHNet を提案している。MSH は SF だけで実現しており、それを複数設置することで MSHNet を形成し、広範囲の知的空間を実現している。ESS では、SNN を多数空

間内に配置し、個々のノードはマルチホップ通信を行うので、それにより、SF 単体のセンシングではできない、さらに広範囲な空間を形成することができる。

センシングを行う SNN として Smart-Its[7]がある。これは、日用品に装着したり、埋め込んだりして使用する小型センサデバイスである。加速度、温度、照度、磁気、圧力等の様々なセンサが用意されており、例えば、こうしたセンサで机にどれだけのモノが乗っているのかやその重さはどれくらいなのかを感知することができる。今回、Mote を用いて、ESS の実装を行ったが、Smart-Its のようなデバイスを使用することでも、ESS のシステムは有効である。

## 8. むすび

本稿では、SF の形成するスマート空間(マイクロホットスポット)をそのセンシング範囲外でも利用できるような SNN 間のマルチホップ転送を用いて拡大する室内ユビキタスコンピューティング環境構築システムとして ESS を提案し、その設計について述べた。ESS はイベント駆動型のシステムであり、空間内で発生した複数のイベントを SF が条件として捉えることにより、動作の確実性を増す特徴を有する。今後は本システムを実装し、個室内等の比較的小規模なネットワークを構築してシステムの評価を行う予定である。

## 謝辞

本研究開始に際し、SF を提供していただき、議論に参加いただいた慶應義塾大学徳田研究室の皆さまと、東京電機大学の上原雄一氏に感謝いたします。

## 参考文献

- [1] Ito, M., Iwaya, A., Saito, M., Nakanishi, K., Matsumiya, K., Nakazawa, J., Nishio, N., Takashio, K., and Tokuda, H.: Smart Furniture: Improvising Ubiquitous Hot-spot Environment IEEE 3rd International Workshop on Smart Appliances and Wearable Computing, pp248-253, (May 2003).
- [2] Okoshi, T., wakayama, S., Sugita, Y., Aoki, S., Iwamoto, T., Nakazawa, J., Furusaka, D., Iwai, M., and Kusumoto, A.: Smart Space A Laboratory Project: Toward the Next Generation Computing Environment, IEEE International Workshop on Networked Appliances(IWNA), (February 2001).
- [3] Morikawa, H., Minami, M., and Aoyama, T. STONE: Context-aware Network Service Architecture, : IEICE Technical Report IN2001-12, (May 2001).
- [4] Hill, J., and Culler, D.: S wireless embedded optimization, UC Berkeley Technical Report, (2002).
- [5] Brumit, B., Meyers, B., Krumm, J., Kern, A, and Shafer, S: Easyliving: Technologies for intelligent environments, International Workshop on Cooperative Buildings, (1999).
- [6] Koizumi, K., Yonezawa, T., Moriwake, S., Nagata, T., Tokuda, H.: GANARI: The Challenge to Create a Micro Smart Hot-spot, IEEE IWSAWC, (March 2004).
- [7] Beigl, M., and Gellersen, H.: Smart-Its: An Embedded Platform for Smart Objects, Smart Objects Conference(sOc), (May 2003).
- [8] 林智天, 川原圭博, 田村大, 南正輝, 森川博之, 青山友紀: マルチセンサを用いたユーザコンテキストの推定に関する一検討, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-15-3, (September 2003).