

## 移動センサノードに対応した センサノード管理システムの拡張

○大村 廉      河野 通宗      安西 祐一郎

慶應義塾大学 計算機科学専攻

〒 223-8522 横浜市港北区日吉 3-14-1

E-mail: {ren,kohno,anzai}@ayu.ics.keio.ac.jp

**概要** 人間の生活支援のため、動的な環境情報をセンサネットワークを利用し計算機内に取り込むことを考える。センサネットワークの利用をより柔軟なものとするため、当研究室では「センサノードマネージャ」を開発した。しかしセンサノードマネージャでは、無線と有線のセンサネットワーク媒体を同時に使用することができず、また、センサノードマネージャ管理領域間を移動するセンサノードに対しての考慮はなされていなかった。そこで本研究では、センサノードマネージャに対して (1) 複数のセンサネットワーク媒体を同時に扱えるようにする、(2) 管理領域間を移動するセンサノードをアプリケーションが継続して利用可能とする、ための拡張を行なう。

**キーワード** センサネットワーク 生活支援 移動体通信

## Sensor Node Management System Extention for Mobile Sensor Node

Ren Ohmura    Michimune Kohno    Yuichiro Anzai

Department of Computer Science, Keio University

3-14-1 Hiyoshi, Kouhoku-ku, Yokohama, Kanagawa 223-8522 Japan

**Abstract** In order to support human life, we think it is important to get information about dynamic environment into computer. We developed 'Sensor Node Manager' which makes using of sensor network more flexible. But, this cannot support wired and wireless network media concurrently and migration of sensor nodes among the areas where Sensor Node Managers manage.

This paper provide method of extention of Sensor Node Manager: (1) multiple sensor network support concurrently. (2) to take applications possibility to get information of sensor node which migrate from a area to another.

**Keywords** Sensor Network    Life-support    Mobile Communication

## 1. はじめに

計算機に実世界の動的な環境情報を取り込み、その情報を加工してユーザに提供したり、またその情報をもとにしてアクチュエータの制御などを行うことにより、より快適で安全な生活環境の構築が可能になると考える。

実世界の動的な環境情報を計算機内に取り込むための手法として、センサに計算資源と通信能力を付加した「センサノード」により構築されるネットワーク—センサネットワーク—を用いることが考えられる。しかしこのようなシステムはプラントやビル管理といった用途に利用され、特定用途向きの閉じたシステムであることが多かった。

そこで当研究室では、同一のセンサネットワークを計算機ネットワークを介した複数の計算機及び複数のアプリケーションから利用することを可能とするため、センサノードマネージャを開発した。この他センサノードマネージャでは、センサノードの Plug&Play に対応し、また IPS[4] によるセンサノードの動的な位置情報取得が可能である [5]。

しかし、いずれもセンサノードマネージャが管理するセンサネットワーク内(以後、エリアと呼ぶ)に閉じたものであり、エリアが分散して存在するような環境については考慮されていなかった。

このような状況を想定し、本研究ではセンサネットワークをより柔軟な人間の行動支援の基盤とするため、センサノードがエリア間を移動することを考慮した上でセンサノードマネージャに対し次の2点の拡張を行う。

- センサネットワーク媒体を同時に複数種類使用可能にする
- エリア間を移動するセンサノードをアプリケーションが継続して利用可能とする

## 2. センサノードマネージャ

センサノードマネージャのシステム構成図を図1に示す。センサノードマネージャでは Lon-Works<sup>1</sup>をセンサネットワーク媒体として使用

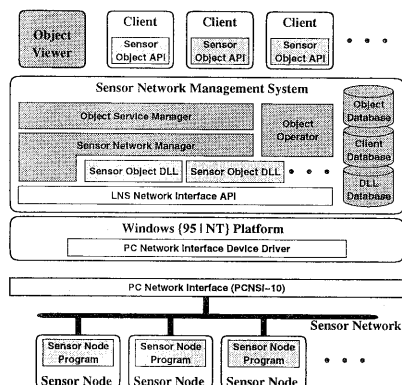


図1: センサノードマネージャのシステム構成

している。センサノードマネージャの特徴を以下に述べる。

### 2.1. センサノードの Plug&Play

センサネットワークの構成を動的に変更することが出来るようセンサノードマネージャではセンサノードの Plug&Play をサポートしている。

センサノードマネージャでは様々な種類のセンサノード(温度センサノード、圧力センサノード等)を扱うため、センサノードに固有の処理を DLL(Dynamic Link Library) の形で提供し、これら DLL はシステム稼働中においても自由に追加・削除可能となっている。

### 2.2. 統一されたインタフェース

クライアント(センサネットワークの情報を使用するアプリケーション)は TCP/IP を用いてセンサノードマネージャとの接続を行う。

クライアントはセンサノードに一意に割り当てられた **Object ID** を用いて目的のセンサノードを指定し、RPC(Remote Procedure Call) の形で各センサノードに対応した DLL の関数群を呼び出すことができる。DLL の関数インタフェースはあらかじめ規定されており、クライアントは様々な種類のセンサノードを統一された方法でアクセスすることが可能となっている。

<sup>1</sup>ANSI-135 Building Automation Standard(1997).

### 2.3. IPS への対応

従来センサ情報の利用においてセンサの位置はあらかじめ建物等の施設に埋め込まれ固定されたものが多かった。しかし、日常生活においては机や椅子等、ものの移動が頻繁に生じる。これらの物体にもセンサノードを取り付け、よりセンサネットワークをより生活環境に密着させまた適応性の高いものとするために、我々は目的とするセンサノードの動的な位置情報をクライアントに提供する IPS (Indoor Positioning System) を開発した [4]。IPS は超音波を用い三角測量の手法でノードの位置を特定する、非常に小型 (約 5cm×6cm) のデバイスである。

センサノードマネージャには IPS を用い、センサノードの動的な位置情報をクライアントに提供するための機能が実装されている。

## 3. センサノードマネージャの問題点

### 3.1. 単一媒体のみのサポート

移動体との通信にはネットワーク媒体に無線を用いることが有効である。センサノードマネージャがサポートする LonWorks 規格では無線通信媒体も存在するものの、そのバンド幅や法的規制からその使用用途は非常に限定される。センサネットワーク媒体として近年急速に改良が勧められている無線 LAN を用いる事が出来れば移動センサノードとしてビデオカメラやロボット等に使用用途を拡大できる。

しかしながら、あらかじめ位置の固定されたセンサノードとの通信には通信の信頼性やバンド幅の面から有線媒体を使用することが望ましい。

有線、無線同時にサポートする事によってセンサネットワーク構築の自由度が大きく上昇すると考えるが、現行のセンサノードマネージャでは複数種類のセンサネットワーク媒体を同時に扱うことはできない。

### 3.2. ノードのエリア間移動の非考慮

センサネットワークが広範囲にわたって使用されるようになった時、計算機の負荷や配線量増加等の点から、センサネットワークが 1

つの部屋などの単位毎にセンサノードマネージャと共に設置されることが考えられる (エリア)。しかし、アプリケーションによっては複数のエリアを大域的に使用し、またセンサノードがエリア間を移動することが考えられるが、現在のセンサノードマネージャでは、このような状況を考慮していない。

## 4. 目的

本研究では、センサノードマネージャの上記 2 つの問題点に対し以下の拡張を行う。

- 複数種類のセンサネットワーク媒体の同時サポート
- エリア間を移動するセンサノードのサポート

## 5. 設計及び実装

### 5.1. 複数媒体への対応

センサノードマネージャが複数種類のセンサネットワーク媒体 (LonWorks, 無線 LAN 等) を同時に扱うことができるようにするため、以下のことを行う。

1. Sensor Network Manager コンポーネント (図 1 参照) の多重化
2. センサノードに対応したソフトウェアオブジェクトの多重化
3. センサネットワークアクセスの為の API の隠蔽

#### 5.1.1. オブジェクト指向設計の適用

1、2についてはオブジェクト指向設計を適用し、Sensor Network Manager コンポーネントの外部とのインタフェース仕様を整理してその抽象クラスを設けた。

Sensor Network Manager コンポーネントはセンサノードの Plug&Play の処理や取り外しの検出などを行なうセンサネットワークの種類に大きく依存したコードを含む。また、ソフトウェアセンサオブジェクトはセンサノードのノード識別子等を保持し、センサノード管理のためのデータベースのエンティティとなる。

それぞれ抽象クラスを継承し、各センサネットワークに依存したクラスを作成し、センサネットワークへの依存部分は全てこの中に定義するようにする。センサノードマネージャ内では純仮想クラスの型を用いてアクセスすることでそれぞれ実体の異なるインスタンスの集合を一元的に同一のインターフェースで取り扱うことができる。

### 5.1.2. APIの隠蔽

センサネットワークアクセスのために提供されるAPI(非コネクション型のプロトコル等)によっては、複数のクライアントが同時に同じセンサノードを使用することに対応するため、センサノードマネージャ内でディスパッチ/ワーカモデルによるメッセージハンドリングを行わなければならない。このため **API Wrapper** と呼ばれるセンサネットワークハンドリングの為にオブジェクトを作成し、実際にセンサノードとのメッセージ交換を行う場合には全て **API Wrapper** を介して行うようにする。ディスパッチ/ワーカモデルが適用される場合、その同期処理にはセマフォ、及びミューテックスを用いた。

また、各コンポーネントで実現される機能についても見直しを行い、センサネットワークの種類に依存するものは **Sensor Network Manager** コンポーネント内に全て含ませた。その結果、目的のセンサネットワークに対応する **Sensor Network Manager** コンポーネントをシステムに追加するのみで新たなセンサネットワークに対応することを可能とした。

### 5.2. ノードの移動への対応

クライアントが注目するセンサノードがエリアを跨って移動した場合、クライアントはそのセンサノードの

- 移動先エリアのセンサノードマネージャ (IP アドレス)
- 移動先エリアのセンサノードマネージャで割り当てられた **Object ID**

を知ることができれば、クライアントはノードが移動した先のセンサノードマネージャに

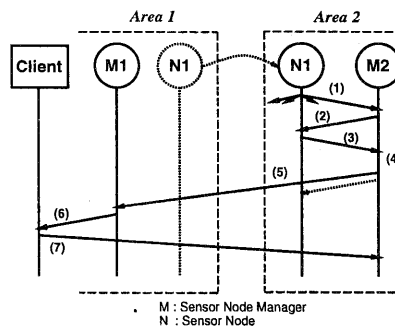


図 2: パケットの流れ

接続を行ない、継続してそのノードを利用することが可能となる。

センサデバイスから得られる情報はそのセンサデバイスが存在する空間的位置に大きく依存する。アプリケーションによっては、注目するエリアから出て行ったセンサノードの情報は必要とされない場合も多い。多くの制御パケットを用い計算機ネットワーク上で移動端末の位置透過性を提供する研究が存在するが [1][3]、本研究ではセンサノードを対象とするため位置透過性の提供は考えず、なるべくシンプルな構造として計算機ネットワークの負荷を上げないよう設計した。

そこで本研究では上記した2点の情報をクライアントへ通知するのみとした。

#### 5.2.1. 移動の通知

センサノードはその時点で接続されているセンサノードマネージャのIPアドレスと、割り当てられている **ObjectID** を記憶しておくようにした。

また、センサノードマネージャは、一定周期で送信する **Beacon Packet** に対して返されるセンサノードからの **Node Alive Packet** の有無によりセンサノードがデタッチされたことを検出する。センサノード側でも一定時間以上 **Beacon Packet** の受信が無い場合、自身がセンサノードマネージャからデタッチされたことを検出するようにした。

センサノードがエリアを跨って移動した際には、次のような処理を行なうことによりクライアントへ上記2点を通知する(図2参照)。

- (1)(2) センサノードはブロードキャストを用いて接続可能なセンサノードマネージャを探し、これを受けたセンサノードマネージャは接続可能であることをセンサノードに告げる。
- (3) センサノードは接続可能なセンサノードマネージャに対し移動前に接続されていたセンサノードマネージャの IP アドレス、及び Object ID を含んだ、**Request Connection Packet** を送信する。
- (4)(5) Request Connection Packet を受信したセンサノードマネージャは、Object ID の割り当て等クライアントがそのセンサノードを使用するために必要な準備をおこなったのち、Request Connection Packet の内容を元に移動元センサノードマネージャに対して接続を行い、自身の IP アドレスとそのノードに割り当てた Object ID、移動元でセンサノードに割り当てられていた Object ID を通知する (**Migration Information Packet**)。
- (6) 移動元センサノードマネージャは、Migration Information Packet の内容を解析し、Object ID で示されるセンサノードを利用しているクライアントに対して移動先エリアのセンサノードマネージャの IP 及び新たに割り当てられた Object ID を通知する。
- (7) クライアントは移動元センサノードマネージャより通知された IP や Object ID 等を元に移動先センサノードマネージャに接続し、移動したセンサノードを継続して利用可能となる。

### 5.2.2. Migration Manager

センサノードの移動を管理するため、新しくセンサノードマネージャ内のコンポーネントとして **Migration Manager** を設けた。Migration Manager では、以下のことを行う。

- センサノードマネージャ間でのセンサノードの移動情報の交換
- センサノードのデタッチ及び移動先情報のクライアントへの通知

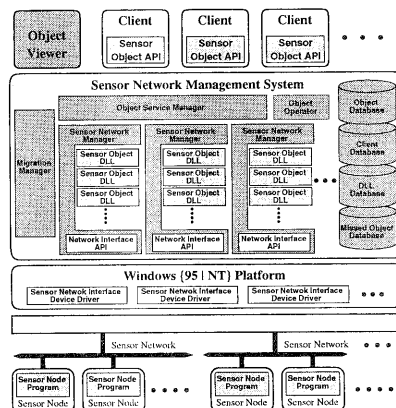


図 3: 拡張後のシステム構成

- デタッチされたセンサノードのデータベースの管理

デタッチされたセンサノードのデータベースは以下の点に留意し設けた。

1. 移動したセンサノードを使用していたクライアントの保存
  2. センサノードが取り外されたことの検出
  3. 移動したセンサノードに割り当てられた Object ID の保存
3. については移動したセンサノードに割り当てられていた Object ID が、その移動を通知される前に新しいセンサノードに割り当てられてしまった場合、移動を通知すべきクライアントの特定が出来なくなってしまうからである。

図 3 に拡張後のシステム構成図を示す。

## 6. 評価

### 6.1. 実装環境

センサノードマネージャは Visual C++5.0 を用いて実装を行ない、Windows NT4.0 上 (Pentium Pro 200MHz) で動作させた。クライアントとなるプログラムは FreeBS-D2.2.8 (Pentium II 266MHz) 上で動作させ、10Mbps EtherNet によりセンサノードマネージャに接続した。

センサノードには LonWorks の温度セン

表 1: センサ情報取得に要する時間 1

	平均値 (ms)	分散	標準偏差
Lon ノード	50.085	2.032	1.425
移動ノード	4.062	0.002	0.046

表 2: センサ情報取得に要する時間 2

平均値 (ms)	分散	標準偏差
0.657	0.000	0.028

サノード (TMPN3150 10MHz) を 78KbpsTPC(OS は Lon Works firmware) で接続したものと、移動センサノードとして当研究室で開発されたロボット用 OS である  $\mu$ -PULSER[2](MC68030 25MHz) に実装したタスクを 10Mbps EtherNet で接続したものをを用いた。

### 6.2. センサ情報の取得時間

クライアントがセンサノードマネージャに対してデータの取得を要求してから、実際にセンサデータを受信するまでの時間 (100 回試行) を表 1 に示す。尚、ノード上で常にセンサデバイスから得られる情報を処理し、データはノード内のメモリに蓄えており、この値にはセンサデバイス自身の情報取得に要する時間は含まれていない。

日常生活の支援を目的とした場合、人の行動やものの移動は短くとも秒のオーダーであり、表 1 に示される時間で十分であると言える。

また、表 1 に見られる平均値の差からネットワークバンド幅がそのパフォーマンスに大きく影響していると考えられる。センサノードマネージャ自身の性能評価のためセンサノードへのパケットを送信しない場合の評価結果 (1000 回試行) を表 2 に示す。

### 6.3. 移動を通知するまでの時間

クライアントがセンサノードのデータタッチを認識してから移動先センサノードマネージャ上で再び利用可能になるまでの時間は、ネットワークの時間不定性やノードの移動速度に依存する事等から測定する事ができない。そこで、参考値として、センサノードが Search Server

表 3: ノードがマネージャとの接続確立に要する時間

平均値 (ms)	分散	標準偏差
11.980	0.658	0.811

Packet 送信から Connection Complete Packet 受信までを 20 回測定した結果を表 3 に示す。

## 7. まとめ

センサノードマネージャに対し、センサネットワーク間を移動するセンサノードへの対応の為の拡張を行った。評価の結果、人間の日常生活支援としては十分な性能を維持し、上記の拡張を行なうことができた。また、この拡張により、センサノードマネージャをよりセンサネットワークの利用及び敷設に対して柔軟なシステムソフトウェアとすることができたと考える。

## 参考文献

- [1] C. E. Perkins. Mobile IP. *IEEE Communications Magazine*, May 1997.
- [2] 菅原, 飯田, 秋庭, 紺田, 矢向, 安西. パーソナルロボットのための敏感で柔軟な OS  $\mu$ -PULSER の設計と実装. 日本ソフトウェア学会第 9 回大会論文集, pp. 253-256, 1992.
- [3] F. Teraoka, K. Uehara, H. Sunahara, and J. Murai. "VIP: A Protocol Providing Host Mobility". *Communications of ACM*, 37(8), August 1994.
- [4] 松永, 河野, 安西. "超音波による室内オブジェクトの 3 次元位置検出システムの設計と実装". 第 15 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 第 1 巻, pp. 183-184, 1997.
- [5] 河野, 太田, 白石, 安西. 解放分散環境のためのセンサノード管理システム. 情報処理学会論文誌, 40(3), March 1999.