修士論文　　2001年度 (平成13年度)

仮想センサによる測位装置の汎用化に関する研究

慶應義塾大学 大学院 政策・メディア研究科

氏名：川喜田 佑介

修士論文要旨 2001 年度 (平成 13 年度)

仮想センサによる測位装置の汎用化に関する研究

インターネットにおけるアプリケーションの多くは、WWW の URL や電子メールアドレスなどのように、サイバースペース上における「位置」情報を利用している。これらのアプリケーションは、ユーザやサーバがどこに存在しようと利用できるという利点がある。反対に、モノの実空間上の位置をサービスに利用するサービスやアプリケーションはあまり存在しない。

本研究では、計算能力のないモノをネットワークへ参加させるための実空間ネットワーク・アーキテクチャを提案する。実空間ネットワークアーキテクチャは、ヒトやコーヒーカップなどの、通信・測位の機能を備えないモノをネットワークへ参加させ、モノの実空間での位置を元にしたサービスを提供させる枠組である。ネットワークへの参加とは、これらのモノとインターネットの基本的な通信モデルである End-to-Endo の通信を行なうことを意味する。

関連研究を検討することにより、既存の技術で実空間ネットワークが実現できるかを議論した。その結果、既存のサービス発見機構や、センサネットワーク機構では、モノ代替機能や環境側測位機能を提供する点で不十分であることが明らかになった。

実空間ネットワークの実現のため、複数の異なる測位系・センサ系を汎用的に扱うことのできるセンサ・モデルを提案する。このモデルでは、複数の実デバイスを組み合わせた Pseudo Sensor を用いる。複数の測位デバイスを汎用化することによって、様々な場所で測位デバイスを使い分けることができる。Pseudo Sensor は、複数のセンサを一つのセンサに統合し、それ自体がセンサとしてのインタフェースを提供する。

Pseudo Sensor を用いることにより、実空間ネットワークを実現できたか評価した。具体的には、Pseudo Sensor により、モノ代替機能や環境側測位機能を実現できたかを定性的に評価した。また、想定されるサンプルアプリケーションを提示することにより、各種インターフェースと動作の有効性を検証できた。以上により、本論文で提案した Pseudo Sensor を用いることにより、実空間ネットワークを構築できることを示した。

キーワード
1. 実空間、2. センサ、3. 測位、4. ネットワーク、5. Agent

慶応義塾大学 大学院 政策・メディア研究科

川喜田 佑介

Abstract of Master's Thesis (Academic Year 2001)

Aggregating Generic Positioning System as a Pseudo Sensor

Applications on the Internet such as WWW and e-mail use information located in Cyberspace. These applications have the advantage of being accessible no matter where the user or server may be. Conversely, not many services are provided based on the location of a user or device.

In this research, we propose a real-space networking architecture that allows real-space objects with no computing capabilities to participate in the network. Real-space networking architecture allows users and objects such as coffee cups that have no transmission or positioning methods to participate in the network, where participation is achieved by a basic end to end communication model. Applications use the physical location information when providing services.

Proceding works are examined and whether real-space networking is implementable using existing technologies is discussed. Results showed existing service location mechanisms and sensor networks prove inadequate in providing transmission or environment measurement methods on behalf of the user.

In our research, a sensor model which handles different positioning instruments and sensors in a generalized method is adopted for real-space networking. This model uses Pseudo Sensors, which are composed of several devices. Pseudo sensors themselves provide an interface as a sensor. Individual positioning devices are generalized to enables them to be used in various locations, accordingly.

Pseudo Sensors were used to evaluate the real-space networking architecture. Realization fo transmission and environment measurement methods were evaluated qualitatively. Moreover, validity of interfaces and their behavior is verified by a sample application. We conclude by stating the effectiveness of Pseudo Sensors in creating a real-space networking.

Keywords :
1. Real Space、 2. Sensor、 3. Positioning、 4. Netowork、 5. Agent

Keio University Graduate School of Media and Governance

Yuusuke KAWAKITA

目 次

第 1 章　序論 **1**
1.1　背景と目的 1
1.2　位置情報に注目したアプローチ 2
1.3　本論文の構成 4

第 2 章　実空間ネットワーク **6**
2.1　実空間ネットワークの想定するアプリケーション 6
2.1.1　インターネット自動車 6
2.1.2　位置によるヒト支援アプリケーション 7
2.2　位置情報に関する議論 7
2.3　実空間ネットワークの定義と必要性 11
2.4　実空間ネットワークの課題 13
2.4.1　モノを探知する環境側の機能 13
2.4.2　モノ代替ノード機能 13
2.5　ニーズの抽出と検討課題 14

第 3 章　関連研究 **19**
3.1　既存技術に関する検討 19
3.1.1　地理位置管理機構 19
3.1.2　サービス発見機構 20
3.2　関連研究のまとめ 22

第 4 章　アーキテクチャの設計 **23**
4.1　代替ノード 24
4.2　Cyber Space Object 26
4.3　センサ系 ID から代替ノード ID への変換機構 27
4.4　階層型位置情報 29

第 5 章　Pseudo Sensor **32**
5.1 Physical Sensor の定義 32
5.2 Pseudo Sensor モデル 33
5.2.1 実空間ネットワーク上での Pseudo Sensor の構成 . 34
5.2.2 Pseudo Sensor の動作手順 35
5.2.3 Pseudo Sensor のメソッド 36

第 6 章　評価 **38**
6.1 センサ系・測位系の汎用化について 38
6.2 環境側測位機能、代替ノード機能の評価 39

第 7 章　結論 **41**
7.1 まとめ 41
7.2 今後の課題 42
7.2.1 代替ノード ID データベースサーバの規模性の実現 . 42
7.2.2 階層型位置情報の実現 42
7.2.3 実装 43
7.2.4 セキュリティ 44

図 目 次

4.1 計算能力のないモノ 23
4.2 モノと代替ノードの対応 24
4.3 代替ノードの識別子 25
4.4 CSO の定義イメージ 26
4.5 Cyber Space Object 27
4.6 センサ系 ID から代替ノード ID への変換 28
4.7 階層型位置情報のイメージ 30
4.8 測位系変換の例 31

5.1 Pseudo Sensor のモデル 34
5.2 Pseudo Sensor の動作手順 35
5.3 get メソッドの使用例 37

7.1 センサ系毎のデータベース 43

表 目 次

2.1 センサ系の相違による測位系の相違 8

5.1 さまざまなセンサ装置の例 32

6.1 センサ系・測位系の汎用化について 39

第1章　序論

1.1　背景と目的

現在までに、インターネット技術の研究開発により、多くの計算機がネットワークに接続された。また、情報家電や自動車などの計算機以外の機器類がネットワークに接続される状況も実現されつつある。しかし、現在のところすべてのモノがネットワーク上で扱えるわけではない。

本論文では、この現在ネットワークに接続されていないモノについての情報化・ネットワーク化を実現させることを目的とする。具体的には、現在ネットワーク上で直接扱えないヒトをネットワークに参加させることを目指す。携帯電話やカーナビゲーションシステムなど、位置情報を利用するアプリケーションも普及し始めているが、現在のところ限られたモノの位置を情報化しているに過ぎないモノの情報化、ネットワーク化することにより、モノの位置によるサービスを提供することが可能となる。ある場所にいるヒトがその場所に応じたサービスを受けられる例として、会議の参加者のメーリングリストを自動的に作成するアプリケーションが想定できる。また、モノの場所を管理するサービスの例として、アセットマネージメントをするアプリケーションが想定できる。

モノの情報化・ネットワーク化の方向性として以下の2つが考えられる。

- マイクロノードとして、モノに計算・通信機能を与える
- モノ自体には何もせず、環境側を情報化する

モノをマイクロノード化する手法は、従来から多くの関連研究が存在した。しかし、モノをマイクロノード化するためには電源や大きさなどの多くの制限が存在している。本研究では、後者、つまり、モノ自体には計算・通信機能を与えず、環境としてモノを扱う機能を提供する研究手法をとる。

1.2　位置情報に注目したアプローチ

本論文では、ネットワーク上で計算・通信機能を有しないモノを扱うということについて、測位という機能に注目する。測位する機能のないモノの位置情報に注目し、モノの位置を測る機能を環境側に提供させることを目指す。

インターネットにおけるアプリケーションの多くは、WEB や電子メールのように、サーバの物理的位置に関わらないサービスが提供されている。反対に、ノードの位置情報を、利用する機構があまり存在していない。これは、ノードの位置を利用するサービスが提供しにくいと言える。

カーナビゲーションシステムを始め、位置情報は多くの機構で利用されている。しかし、測位を行なった計算機内での利用が大半でありネットワークを介する位置情報の利用は少ない。これは、測位に使用される系が測位デバイスに依存しているためで、ネットワーク上で位置情報を扱うアプリケーションは以下の問題点を解決する必要がある。

1) 座標系の問題
   測位した情報は、ある座標系での値として表記される。これは、測位デバイス毎に測位系が存在することを意味する。測位デバイスによっては、互換性のない座標系を用いることもあり、座標系を変換する必要がある。

現在この問題は、さまざまな座標系を WGS-84[1] などの座標系に変換することが行なわれている。しかし、アプリケーションによって利用しやすい座標系は異なり、単一の座標系での表現は万能であるとは言えない。

現在のインターネットでは、IP アドレスを持つ計算機がノードとして表現される。通信インタフェースを持たないものはネットワークに参加できず、人や計算機以外のモノはノードとして扱うことができない。

2) 測位・通信機能を持たないモノの扱い
   測位・測位機能を持たないモノをネットワーク・ノードとして扱うには、モノを取り巻く環境で測位・通信する機能を、ネットワーク上の機構で提供する必要がある。

次世代インターネットプロトコル (IPv6)[2] の登場によって、従来、計算機に対して不足していた IP アドレスが潤沢に利用できるようになった。計算機だけに利用されていたインターネットを、末端ノードとして計算機以外で利用することが模索されている。計算機以外のモノをネットワークで扱うアプリケーションの多くは以下の問題点を解決する必要がある。

3) アドレッシング・経路制御の問題
モノをノードとして扱う際にユニークなIPアドレスを割り当てることは、規模性の点で不可能である。アドレスの数は潤沢に存在するが、一意にアドレスを割り振るのはコストが大きく、現在のところ難しい。また、割り当てたとしてもそのアドレスをネットワーク的に到達可能にすることは経路数の莫大な増加をもたらし、これも規模性の点で不可能である。

これらの問題に対して、本研究ではモノの測位に焦点をあて、それぞれの解決を行なった。上記の現存する測位デバイスの特性とインターネットのアーキテクチャを踏まえ、モノの位置を管理する仮想デバイスであるPseudo Sensorとそれを用いる実空間ネットワークを想定した。実空間ネットワークは、3つの問題点に関して以下の解決方法を用いた。

1) 実空間ネットワークでは、Pseudo Sensorを用いて複数の座標系を扱った。

2) 直接通信できないモノの位置を、周囲のセンサーによって検出した。

3) モノに対するネットワーク上の代理的な役割を果たすAgentを実装した。また、AgentへのIP的な到達性を確保するためLocation Independent Networking for IPv6(LIN6)[3]を用いた。

Physical SensorであるRadio Frequency Identification(RF-ID、周波数共振現象によるタグの存在確認技術)等でモノの位置を検出し、Pseudo Sensorでその結果を汎用化する。モノに対応するAgent内で位置情報を管理する。また、サンプルアプリケーションはAgentの情報を利用している。

実空間ネットワークでは、位置情報に注目して、現実空間に存在するモノをネットワーク上で扱う。具体的には、以下の3つ点を実現する。

1) 複数のセンサ系の汎用性を実現
RF-IDや超音波測位センサなのどの測位装置は、測位できる空間が部屋など限られる。これは、たとえ連続する空間であってもセンサとして別の系であれば、測位結果になんの関係もないと言うことを意味する。実空間ネットワークでは、複数のセンサ系を集成する機構を提供する。

2) 複数の測位系の汎用性を実現
ヒトのように移動するモノを想定すると、さまざまな種類の測位センサを使用することが考えられる。現在でも、モノの場所によって、RF-ID や超音波測位センサ、GPS、後述する LIN6 マッピングセンサなどを使い分けることはできる。しかし、これらの測位結果の形式はそれぞれのセンサ毎に異なる。測位結果を利用するアプリケーションの視点から見ると、使用されている測位センサの種類毎に測位系が異なるのは扱いにくい。そこで、実空間ネットワークでは、複数の測位系を集成する機構を提供する。

本論文では、測位系の汎用化、センサ系の汎用化を実現するために、Pseudo Sensor モデルを提案する (5.2.1 項で後述する)。Pseudo Sensor モデルは、さまざま種類のセンサを複数扱い、測位結果について集成による汎用化をおこなう。

特に、測位系の汎用化については座標系の変換などが必要なる。測位系の汎用化は、本論文で提案する階層型位置情報で実現される。階層型位置情報については 4.4 項で後述する。

3) 環境側測位を実現
超音波測位センサや RF-ID による測位は、測位されるモノに測位や通信などの機能を持たせず、環境側のみによって測位が行なわれる。反対に、GPS などの測位装置は、測位されるモノの側で測位結果を得ることができる。アプリケーションでモノの位置情報を利用する際、後者の場合では、そのモノが測位結果を保持し管理しても良いが、前者の場合にそれは不可能である。測位が前者のようにモノの周辺の環境側で行なわれると、そのモノの位置情報を管理する主体がモノ以外に必要となる。実空間ネットワークでは、環境側での測位・管理する機構を提供する。

本論文では、環境側測位を実現するために実空間ネットワークアーキテクチャを提案する (4 章で後述する)。実空間ネットワークアーキテクチャでは代替ノードを用いて、自分ら測位・通信できないモノの位置情報を管理している。

1.3 本論文の構成

本論文では、2 章において実空間ネットワークの想定するアプリケーションについて述べ、本論文で注目する位置情報についての議論をする。

3 章において、関連研究の問題点を分析し、実空間ネットワークのとる解決方法を述べる。4 章において、実空間ネットワークの設計について述べる。5 章において、実空間ネットワークを実現するために、本研究で提案する Pseudo Sensor モデルについて述べる。6 章で、Pseudo Sensor を用いて実空間ネットワークを実現できたか、定性的評価を行なう。また、関連研究との比較も行なう。7 章では、まとめと今後の課題について述べる。

第2章　実空間ネットワーク

本章では、実空間のネットワークについての議論を行なう。2.1 節では、実空間ネットワークの想定するアプリケーションについて挙げ、実空間ネットワークで扱う範囲について述べる。2.2 節では、位置情報の取得と利用に関する整理を行なう。特にセンサ系の違いによる測位系についての整理を行なう。2.3 節では、本論文で扱う実空間ネットワークについて定義する。2.4 節では、実空間ネットワークの課題とする機能を示す。2.5 節では、実空間ネットワークのニーズについて抽出し、整理する。

2.1　実空間ネットワークの想定するアプリケーション

実空間ネットワークを想定するにあたり、本節では実空間ネットワークで想定するアプリケーションを 2 つ挙げる。この 2 つのアプリケーションを取り上げた理由は、位置情報を利用するアプリケーションの中で、その位置情報を測位対象者以外がネットワークを介して利用しているからである。

2.1.1　インターネット自動車

インターネット自動車システム [4] は、インターネット接続された自動車上の各種センサをプローブし、その情報をインターネット上で利用する機構である。自動車はネットワークのホストとして表現され、車載機に各種センサを接続している。通信インタフェース切替え機構 [6] や IP モビリティ [7] を備え、移動透過性と発呼可能性を実現しており、各種アプリケーションは自動車と直接通信することにより、センサの情報を取得できる。

インターネット自動車システムでは、自動車上のセンサ情報を有効利

用するための枠組みも提供している。自動車上のセンサ情報を一次処理することにより、正規化された一般的な情報として表現できる。例えば、自動車の車速を検出することにより、渋滞を検出するアプリケーションの実現を可能にしている。取得する情報は速度や位置、ワイパやライトなどの装置の動作状況など多種に渡り、限定されない。

インターネット自動車では、地理位置情報システムを備えている。これは、Geographical Location Information(GLI) システム [5] と呼ばれる。GLI システムの目的は、実空間とネットワーク上の仮想空間を結びつけることであり、GLI システムの利用により、特定のインターネット自動車がどこにいるかを検索したり、ある領域にいるインターネット自動車がどのインターネット自動車かを検索することが可能になる。

また、インターネット自動車では、車外から自動車のセンサ情報を取得し、地図とともに表示するIcarViewer[13]や、WEBを用いたInternetCAR on the globe[14]などのアプリケーションが運用されている。

2.1.2 位置によるヒト支援アプリケーション

位置によるヒト支援アプリケーションは、ヒトが存在する物理的な位置を元にサービスを提供するアプリケーションである。ヒトは、ノートPCなどの計算機を携帯せず、ヒトの周辺に配置された各種センサによってヒトの位置の検出を行なう。

センサにより取得する情報は、ヒトの位置情報のみであり、誰がいつどの範囲に存在するかを取得する。具体的には、会議などが行なわれる建物内の部屋や廊下などにセンサを設置することにより、誰がどの会議に出席しているか、現在どこにいるかなどの情報を元にしたサービスを提供する。

2.2 位置情報に関する議論

本節では、位置情報の取得と利用を中心に検討すべき点を整理する。位置情報の取得の段階では、センサ系・測位系を軸にした整理を行なう。また、位置情報の利用の段階では、管理対象、検索に関する整理を行なう。

利用するセンサ系によって測位結果は様々な形式をとる。GPS受信機は、緯度経度高度などの情報を含むNMEA-0183形式 (NMEA: National Marine Electronics Association 全米舶用電子機器協会)[9] で測位結果を

出力する。超音波測位センサは、ローカルな測位系内での位置を出力する。携帯電話[1] は、基地局の ID と基地局との相対的な位置関係を利用している。RF-ID や IC カードを使った測位は、存在確認やヒトの通過のみを検出している。測位センサの出力する情報をセンサ系・測位系を軸に整理するを表 2.1 に列挙する。

表 2.1: センサ系の相違による測位系の相違

センサ系	測位系
GPS	NMEA
超音波測位センサ	ローカルな測位系
RF-ID(ゾーン)	存在確認のみ
RF-ID(ゲート)	入退出確認のみ
IC カード	入室・退室
PHS	存在確認のみ
携帯電話	ローカルな測位系

これらの測位系を整理すると、次の 3 つのいずれかであると言える。

1. 測位系として、極座標系を用いるもの
2. 測位系として、直交座標系を用いるもの
3. ある空間範囲への入退出情報を用いるもの

「1. 測位系として、極座標系を用いるもの」については、ほぼ GPS 受信機などの衛星測位機構を用いた測位とみなして良いが、緯度経度高度を算出するにあたって利用される地球楕円体の相違によって様々な測位系が存在する。代表的なものに、GPS で用いられる WGS-84(WGS-84 楕円体) や宇宙測量で用いられる ITRF94(GRS-80 楕円体) などがある。この種の測位系は、原点の位置、楕円体と極軸方向、高度方向の単位ベクトルを設定することにより一意な測位系として規定できる。

「2. 測位系として、直交座標系を用いるもの」については、ほぼローカルな座標系であり、ある原点からの相対的な測位である。この種の測位系は、原点の位置、座標軸方向、各単位ベクトルを設定することにより規定できる。

[1] ジェイフォン株式会社の展開する j-sky Station サービスの場合 [8]

「3. ある空間範囲への入退出情報を用いるもの」については、ある原点から規定される範囲への進入と退出の出力に過ぎない。これは、厳密な意味での測位ではないかも知れないが、精度を必要としないアプリケーションにとっては有効な情報となり得るので、本論文では測位とみなす。この種の測位系は、原点の位置、直交座標系や極座標系による範囲を指定することにより規定できる。しかし、精度を必要としないなら、原点位置を規定するだけでも良い。

まとめると、測位系の種類は複数あり、それぞれの測位系は原点や楕円体などの各種パラメータを定めない限り座標系の素性を規定できない。

現在の位置情報サービスは、アプリケーションを構築する段階で前提とする座標系を規定してしまっている。本論文で注目する位置情報の汎用性を実現するためには、アプリケーションによって利用しやすい測位系を使用することが好ましい。よって、複数の測位系を汎用的に扱う必要がある。後述する 3 章では、既存技術によって複数の測位系を用いることが可能か検討する。

次に、位置情報サービスの管理対象と検索に関する検討を行なう。アプリケーションの位置情報の利用には、対象となるモノの位置の検索や、ある範囲にいるモノ検索など、何らかの検索手段が必要になる。検索手段を提供するためには位置情報管理機構のどこかで位置情報を管理する必要がある。

また、位置情報管理は、管理されるモノと位置情報を対応付けることであり、モノに対する何らかの ID が必要になる。どこで位置情報を管理しているかによって、ID をどういうレベルで一意に規定できるかを決定する。一元的に位置情報を管理する機構をシステム内に構築する手法では、そのシステム内で一意な ID を規定すれば良い。モノをノードとしてみなす手法やそれに類似する手法では、インターネット内で一意な ID を規定する必要がある。

インターネット自動車を始め、既存の機構では、位置情報を利用するアプリケーションのために何らかの位置情報管理機構を提供していることが多い。これらは、複数のモノの位置を一元的に管理する専用の機構を提供していると言える。

インターネット自動車では、一元的な管理を行なう機構を利用しなくても、ホストである車載機に直接問い合わせをすることにより、対象とする自動車の位置情報を利用できる。位置情報を取得するセンサに限定

されないが、マイクロノード[2] の手法をとるセンサノードもこの種の管理方法であると言える。

インターネットの基本的な通信モデルである End-to-End の通信を行なうことを考慮すると、対象とするモノがホストとして抽象化され、モノで位置情報を保持するモデルも考えられるが、このモデルで構築された位置情報サービスはあまり存在しない。これは、モノをインターネットのノードとして実装するのが現在困難であるに過ぎない。

現在は該当する機構が存在しないが、モノの代わりにノードの機能を代替して果たす役割を定義することにより、ヒトなどのノードして実装不可能なモノに対して End-to-End の通信が実現可能である。

これらを整理すると、位置情報の管理は次のどちらかに分類できる。

1. 一元的に位置情報を管理する機構が存在するもの

2. 位置情報の管理の対象となるモノが位置情報を保持するもの

3. モノ代わりに位置情報を管理する機構が存在するもの

「1. 一元的に位置情報を管理する機構が存在するもの」については、

複数のモノの位置情報を一元的に管理するので、後述する検索について考慮すると、測位系を単一にしておく必要があり、前提としてモノのセンサ系を統一しておく必要がある。また、モノの ID はその機構内で一意である必要がある。

「2. 位置情報の管理の対象となるモノが位置情報を保持するもの」については、ほぼモノがホストして扱え、その内部に位置情報を保持しているとみなして良い。この場合、位置情報を保持するホストを特定する段階で、前提とする測位系は決定している。位置情報の測位系はモノ毎に異なる可能性があるが、これは、後述する検索を複雑化する。モノの ID は、インターネット内で一意である必要がある。

「3. モノ代わりに位置情報を管理する機構が存在するもの」については、「2. 位置情報の管理の対象となるモノが位置情報を保持するもの」とほぼ同様の特徴を備える。その相違は、モノに計算能力などを実装せず、モノを代理する仮想的なノードをネットワーク上に実装してある点のみである。

[2] http://www.i-node.co.jp/product/index.html 2002/1/1

本論文では、位置情報の検索に関しては、検索の機能を正引きと逆引きに分類する。正引きはモノから位置情報を検索し、逆引きは位置情報からモノを検索する機能である。

検索を行なうためには、検索を行なう範囲でモノの ID が一意である必要がある。また、逆引き検索を行なうためには、検索を行なう範囲の位置情報が単一の測位系である必要がある。

「1. 一元的に位置情報を管理する機構が存在するもの」では、一元的に位置情報を管理する機構内に、あるアプリケーションが想定するすべてのモノに関する位置情報が保持されている。これは、この機構内で正引きと逆引きの検索が可能であることを示している。

「2. 位置情報の管理の対象となるモノが位置情報を保持するもの」と「3. モノ代わりに位置情報を管理する機構が存在するもの」では、センサ系がモノ毎に異なる可能性がある。これは、逆引き検索を行なう際には、外部に測位系の変換機構を必要としていることを示している。

正引き検索に関しても、アプリケーションがモノのセンサ系を想定していない場合、利用可能な測位系に変換する必要がある。これは、モノに対するセンサ系を規定できないためである。

現在の位置情報サービスの主流である一元的に位置情報を管理する機構では、アプリケーションを構築する段階で、モノのセンサ系を規定してしまっている。位置情報の管理の対象となるモノが位置情報を保持する手法や、モノの代わりに位置情報を管理する機構が存在す手法では、モノのセンサ系を統一する必要がない代わりに、測位系の変換機構を必要とする。

2.3 実空間ネットワークの定義と必要性

2.2 節の位置情報に関する議論の中で、位置情報の管理手法には様々なものが存在していることを述べ、それぞれについて分析した。本節では、本論文で選択／提案する手法である実空間ネットワークついての定義と必要性について述べる。

インターネットは、End-to-End の通信に基づいた単純なモデルを用いて通信を行なっている。ネットワーク上のノードは、計算能力とネットワーク的接続性をもつことが前提とされている。ネットワークインタフェースの識別子である IP アドレスは、ノードを識別するだけでなく経路を表現するためにも用いられる。このような現行のインターネットは、計算機以外のモノ、例えばコーヒーカップやヒトなどの実空間のモノが、

ネットワークに参加するようには想定されていない。

実空間のモノをネットワーク上で扱うには、実空間のモノを定義し、どのように扱うかを定義する必要がある。本論文では、実空間ネットワークのモノとその扱い方を以下のように定義する。

モノの定義
実空間に存在する実存物であり、それが存在する場所をもとにしたサービスを提供することを想定したもの。

扱いの定義
モノを感知し、位置を特定することによってサービスを提供する。

以上の定義にしたがって、モノの位置を特定することで、新たなサービスの提供を可能にする。1 章でも述べたが、本論文では、実空間ネットワークのモノに計算機能やネットワーク装置を付加することなく、環境側での感知を行なう手法を実現する。これは、それらの機能をモノに直接与える手法には、以下の問題点や制限が存在すると認められるためである。また、実空間ネットワークではモノの位置は変化するものとしている。

1. 物理的な制約
   近年の技術開発によって部分的に解決されつつあるが、モノに対してプロセッサやネットワーク装置や電源を作り込むことが困難である。

2. 識別子と経路制御の問題
   仮に、上記の物理的な制約が解決されたとしても、モノに対して一意の経路制御可能な識別子を割り当てるのは規模性の点で困難である。一意の識別子を割り当てるために、例えばモノの製造段階での IP アドレスの割当てを行なうことで識別子の割り当ては可能であるが、この場合は経路制御可能な識別子ではない。MobileIP や LIN6[3] など、経路制御を可能にするための IP Mobility 技術も存在する。しかし、これらを運用した場合も、無数に存在するモノが移動した際の経路の更新が頻繁に発生することは避けられない。

以上の問題点や制約から実空間ネットーワークの開発が必要であると認められる。実空間ネットワークのとる手法では、上記の物理的な制約の代わりに モノを感知する環境側の機能(2.4.1 項で後述) を必要とする。識別子と経路制御の問題を解決するために、モノ代替ノード機能(2.4.2 項で後述) を必要とする。

まとめると、2.2 節で分類した手法では、位置情報の管理の手法として「3. モノ代わりに位置情報を管理する機構が存在するもの」を選択することになる。

2.4 実空間ネットワークの課題

本節では、実空間ネットワークを実現するために解決するべき課題についてまとめる。物理的な制約、識別子と経路制御の問題を解決するために、次の 2 つ機能の実現を実空間ネットワークの課題として挙げる。

2.4.1 モノを探知する環境側の機能

物理的な制約を解決するために必要な機能として、モノを探知する環境側の機能を挙げる。この機能は、モノにセンサを実装するのでなく、モノを関知する機能を周辺に配置し、そのものの位置を検出する機能である。モノに計算能力を実装しない代わりに、RF-ID のタグなど、被検出のための物体や機能をモノに添付する。

被検出のための物体や機能として複数を想定し、様々なセンサ系を利用する。現在措定される被検出のための物体や機能として、RF-tag やドアエントリ用の IC カード、LIN6 アドレスなどがある。

特にヒトなどの移動するモノについては、複数の被検出のための物体や機能を持ち歩き、様々なセンサ系を利用することを想定しており、モノを関知する環境側の機能は多種多様に同時に運用されることを想定する必要がある。

2.4.2 モノ代替ノード機能

識別子と経路制御の問題を解決する機能として、モノ代替ノード機能を挙げる。モノ代替ノードは、モノを計算機として実装するのではなく、モノの代わりに位置情報の保持、通信などを行なう機能である。インターネット上の通信相手からは、モノがノードとして実装されており、モノと通信しているのと等価になるようにする。モノの ID は、ネットワーク上で一意に識別でき、モノ代替ノードに対する到達性を実現する必要がある。

2.5　ニーズの抽出と検討課題

まず、位置情報のニーズの抽出する。その後で、実空間でのモノ扱いについて位置情報も含め広く検討し、位置情報に注目する理由を述べる。

位置情報のニーズを検討するにあたって、どういう位置情報が求められているか、誰が位置情報利用するのか、測位される対象は何が求められているのかを述べる。

1. どういう位置情報か
   位置情報と一口に言っても、緯度経度高度のような数値化しやすい情報から、情報や住所というような数値化しにくい情報まで様々な情報がある。いくつか例を挙げると、カーナビゲーションシステムでは、緯度経度高度の情報を用いて、自動車の航法に利用している。また、インクリメント・ピー株式会社の運営する Mapfan[15] のように、住所を用いて、地図に変換している。このように、様々な位置情報の形態が存在し、それぞれがサービスに適する形式で利用されている。

2. 誰が位置情報を利用するのか
   現在のところ、位置情報の利用は測位対象者であることが多い。インターネット自動車のような例外モノ存在するが、カーナビゲーションシステムでは、測位結果は車載機内に限定される。j-sky station でも、位置情報の利用は測位対象の携帯電話に限定されている。しかし、測位対象者以外が位置情報を利用するニーズも存在する。KDDI 株式会社の展開する GPS ケータイ [16] では、測位対象者以外の位置情報利用サービスが存在する。

3. 測位される対象は誰なのか
   現在のところ、測位される対象は、計算機や携帯電話、自動車などの何らかの計算能力に限られている。測量などの分野では、計算能力を備えない測位対象が存在する。しかし、計算能力のないモノを情報化、ネットワーク化はあまり検討されていない。

まとめると、現在の位置情報の利用は、一応ニーズにしたがって行なわれてはいるが、簡単に利用できる測位方法、位置情報、対象に限られている。これ以降、実空間でのモノの扱いについて、位置情報に注目する必要があるか、広く検討する。

2.1.1 項、2.1.2 項で述べたアプリケーションでは、実空間上に存在する自動車やヒトの状態を内外のセンサで検出し、アプリケーションで利用するという共通点がある。しかし、その手法には様々な検討するべき点がある。検討すべき点を以下のように示す。

1. モノと位置の変換
   モノの位置情報を管理する際に検討するべき点は、モノの ID の割り振り方と ID に対して位置をどのように管理するかという点である。

   モノがホストとして扱われるインターネット自動車の場合、IP アドレスをデータベースのキーとして扱う GLI[5](3.1.1 で後述) を用いている。この場合、モノの ID から位置情報への変換は一元的に管理され、実現可能である。位置からモノを検索する仕組みをその管理機構内部で実現できる。

   モノをホストとして扱わない位置によるヒト支援アプリケーションの場合、何らかの ID をモノに対して割り振る必要がある。

   モノの ID をどの程度一意に規定する必要があるかと言う問題は、位置情報の管理をどこで行なうかという設計に影響される。

2. センサ情報の正規化
   狭義のセンサを指す場合、センサの情報は正規化されていない。複数のセンサの情報を集成して始めて意味のある物理量を出力する場合もあり得る。アプリケーションがセンサ情報を利用する段階では、正規化されていないまでも利用可能な形式に変換されている必要がある。

   インターネット自動車では、センサ情報はホスト内で一次処理される。例えば、車速というセンサ情報は、車速パルスから速度へと正規化される。しかし、正規化すればアプリケーションで利用できるとは言えない。位置によるヒト支援アプリケーションでは、ヒトの位置情報を WGS-84[1] などの形式に正規化してしまうとアプリケーションによっては利用しにくい場面も想定される。仮に、このアプリケーションを航空機内などの移動する空間で運用すると、緯度経度高度へ正規化された位置情報では扱いにくい。

   位置によるヒト支援アプリケーションでは、ヒトの周辺に配置されるセンサを利用するため、様々な種類のセンサが想定される。例えば、ある部屋では、RF-ID を用いた位置の検出が行なわれ、別の部

屋では超音波測位センサが位置の検出に使われるなど、複数のセンサ系を使い分ける可能性がある。また、温度センサが部屋の温度を検出するとともに、不特定なヒトの存在確認をするセンサとして動作する可能性もある。これらの場合、アプリケーションで利用される段階までにセンサ情報の正規化が必要で、どの段階で情報の正規化を行なうかを検討する必要がある。

3. タイムスタンプ
   センサの状態は刻一刻と変化する。これは、センサ情報のレコードにはタイムスタンプが必要であることを示している。複数のセンサの状態を参照する場合、ある時刻のセンサ A のレコードとある時刻のセンサ B のレコードを、そのセンサ情報の取得された時刻を無視して行なうのは意味のない可能性がある。

   インターネット自動車で用いる位置情報管理システムである GLI では、ホストの最新の位置のみをレコードとして保持する。複数の自動車の位置を参照するアプリケーションは、最新のレコードを参照することによってそのレコード間の時刻に多少の違いがあっても可用性が見出せる。これは、位置によるヒト支援アプリケーションでも同様に言えることである。

4. アクチュエータ
   モノに対しての操作や出力がある場合も想定できる。アクチュエータは、センサと情報の入出力の方向が逆である装置であるとみなすことができ、センサを扱う機構に類似していると言える。

   インターネット自動車では、自動車をホストとして抽象化しているので、センサなどの情報を取得する装置以外に、各種のディスプレイ装置や LED、スピーカなど、情報の出力をするアクチュエータ装置とみなせるものが存在する。

   位置によるヒト支援アプリケーションでは、ヒトの周辺に存在するアクチュエータをセンサと同様に扱うことが難しい。アクチュエータを利用する場合、ヒトとその場所に存在する利用可能なを関連付ける必要がある。

5. メンバ管理

   実空間のモノを管理するアプリケーションでは、メンバ管理を行なうことによってアプリケーションに有効な情報を提供できる。例え

ば、会議室や道路上などの区切られた空間内に存在する自動車やヒトに対するコミュニケーションを提供したり、ある速度以下の自動車など、特定の状態にあるモノに対するコミュニケーションを開始できる。

グループコミュニケーション・ソフトウェアなどで、メンバ管理を行なう場合、ホスト毎やアカウント毎などの管理を行なっている。モノの実空間での位置や状態をメンバ管理に利用する際には、名前空間などの定義し、変換する手段を提供することによってその位置や状態によるメンバ管理を可能にする。

位置情報に限って言えば、数値化された空間の情報に対して、何らかの指定方法を定義すること、その空間とモノやヒトを対応付けることなどが必要になる。例えば、ある会議室にいるヒトに対するコミュニケーションをする場合、その場所に存在するヒトを管理してその情報をアプリケーションに提供する。

6. 測位系

測位センサの場合、測位結果を正規化するだけでは不十分であることはすでに述べた。様々な測位センサが混在する場合、測位系が複数存在することになる。

インターネット自動車は、利用するセンサ系を GPS[17] や GPS と同様の測位出力 (NMEA 形式 [9]) の GLONASS[18] などに限定している。単独の測位系を前提にしており、アプリケーションがその測位系のみを使用すると言うのも一つの解決方法である。

位置によるヒト支援アプリケーションでは、ヒトの周辺に存在するセンサを利用するために、複数のセンサ系が混在することは十分に考えられる。また、ヒトの活動範囲を考慮すると、RF-ID などのヒトにとって携帯しやすいセンサを利用したい。これらのセンサでは、提供できる測位系がローカルなものになる。

また、アプリケーションよって単一の測位系として良く利用される WGS-84 などの測位系で測位結果を出力しないセンサを利用したいこともある。ローカルな測位系でのパラメータを比較することによりサービスを提供する場合、例えば、ある会議室にいるヒトを特定してサービスを開始する場合には、測位系の表現がローカルなモノであることが好ましい。

以上のように、センサから提供する測位系を複数もち、アプリケーションで利用する測位系も複数持つことがあり、測位系の変換を考慮する必要がある。

以上の様々な検討するべき項目の中から、本研究では、位置情報の取得と利用に注目する。その理由を述べる。

1. 位置情報のニーズ
   近年の携帯電話の普及、携帯型計算機の小型計量化など、様々な場面でネットワークを利用する場面が増加してきている。また、GPS受信機が組み込まれた携帯電話による位置情報サービスも提供され始めているなど位置情報サービスのニーズは存在する。

2. インターネット上の位置情報サービスの不足
   携帯電話やカーナビゲーション・システムと違い、インターネット上の位置情報サービスは十分であるとはいない。これは、用意に利用できる測位装置が今まで存在しなかったので、実装が困難であったためであるとも言える。

3. 位置情報の汎用性
   モノやヒトの位置情報は様々なアプリケーションに利用できる情報である。インターネットの通信は、相手を指定してコミュニケーションを開始するのが通常であるが、位置情報をきっかけとするサービスを想定できる。

このように位置情報サービスのニーズは存在するが、すべてのヒトやモノが位置情報サービスを受けられる環境にあると言えない。位置情報サービス関連技術は、ニーズは存在するが研究開発すべき領域であると認められる。

第3章　関連研究

本章では、関連研究について述べ、それらで実空間ネットワークを実現することが可能かを議論する。3.1 では、既存技術に関する検討を行なう。3.2 では、既存の機構で実空間ネットワークを構築する際の問題点についてまとめる。

3.1　既存技術に関する検討

3.1.1 では、既存の地理位置管理機構について述べる。3.1.2 では、既存のサービス発見機構について述べる。

3.1.1　地理位置管理機構

GLI(Geographical Location Information) システムは、WIDE プロジェクト [22] や慶應義塾大学 SFC 研究所インターネット自動車コンソーシアムなどを中心に行われている地理位置情報管理機構である。これは、移動体であるホストの位置を登録し検索したり、ある範囲にあるホストを検索する機能を有する。GLI システムでは、位置情報を階層的に管理することにより規模性を確保する機能 やプライバシ管理機構 などが提供されている。

GLI システムの特徴として、IP アドレスを識別子として用い、緯度経度高度の極座標位置を登録する事が挙げられる。IP アドレスを識別子としているので登録できるオブジェクトは通信機器を備え、IP 的な到達性があるものに限られる。座標系として極座標を用いているので、GPS を用いた測位を行うことを前提としている。GPS を用いる測位は室内や地下、ビル影では困難であるので、インターネット自動車プロジェクトでは主な登録対象が自動車としている。

Ultrasonic Location System[19] は、AT&T Laboratories[23] によって行われていた Active Badge の測位部分を拡張した機構である。この機構で

はユーザの位置を感知し、最寄りのディスプレイを利用できるなどサービスの自動切換え機能を実現している。GLI や SDS とは違い、独立した測位系の中でのみ利用が可能である。

.geo[21] は SRI[24] の提案する TLD/サーバアーキテクチャである。インターネット上の地理情報の登録/検索基盤であり、オブジェクトの地理的位置を表現できる。DNS による階層化とカテゴライズを行う。座標系として極座標を用いるが、高度の概念はない。

Ninja プロジェクト [25] では、SDS(Service Discovery Service)[20] というサービス発見機構を提供している。サービス提供者は、利用可能なサービスの複雑な記述を広告するために SDS を利用し、ユーザはこれらのサービスがどこにあるかという検索をするために SDS を用いる。サービスの記述と要求には、コスト、パフォーマンス、場所、デバイスやサービス特有の機能といった要素を符合化するために XML(eXtensible Markup Language) を利用する。SDS は、利用可能性、耐故障性、広範囲に分布するサービスの規模性などを提供している。通信は、必要な場合には暗号化され、認証される。更に、SDS はアクセス・コントロール・リストとサービスの情報へのアクセスを制御できる。

上記のいずれの位置情報管理機構も、単一の測位系を用い、位置情報の利用も測位対象者に限られることが多い。既存の位置情報管理機構では、環境側測位機能 を実現するのは困難である。

3.1.2 サービス発見機構

モノがどこにあるかという情報を元にしたサービスという視点で言えば、従来より様々なサービス発見機構が研究されてきた。しかし、実空間ネットワーク機構ではモノ位置を扱うが、サービス発見機構ではサービス提供者の位置を扱うと言う細かい目的の相違がある。本節では、サービス発見機構により、実空間ネットワークが実現可能であるかを議論する。

Jini[26] はデバイス同士を動的に、しかも容易に接続することを目的としたテクノロジーである。Jini を利用することにより、デバイスをネットワークに接続するだけでそのデバイスが提供するサービスをその他のデバイスが容易に利用することが可能となる。

デバイスがネットワークに接続された時、そのデバイスは Lookup サーバに対して提供しているサービスを登録する。そのサービスを利用する場合、ユーザまたはプログラムが Lookup サーバを利用して、そのサービスを見つける。サービス発見後は、デバイス同士が直接通信し合う。

このように、Jini はデバイスやデバイスが提供するサービスを動的に接続するための機構を提供するものであり、デバイスには通信能力が要求される。従って、通信能力がないモノを扱うことはできない。

SLP(Service Location Protocol)[27] は、Jini と同様にネットワークサービスの発見と選択を容易に行うための枠組みである。このプロトコルを利用することにより、ユーザに対して、ネットワークホストがサポートしているサービス名を知る必要がなくなる。従って、サービスの動的提供が可能となる。

しかし、SLP はサービスを機能を提供するプロセスまたはシステムと定義している。よって、機能を提供せず、ただそこにあるだけのモノは扱うことができない。

また、SLP はその対象を企業ネットワークなどのローカルエリアに限っている。サービスエージェント (以下 SA) は、属しているすべてのディレクトリエージェントに登録しなければならない。そのため、規模性を持つサービスを SLP を用いて提供することは難しい。

また、SLP には、広範囲対応版である WASRV(Wide Area Service Location) が存在する。WASRV は広範囲サポートを目指しているが、階層構造の欠如により規模性に疑問が残る。SLP や WASRV の名前空間は、Service URL として表現されている。

上記のいずれのサービス発見機構も、モノ代替ノード機能を実現することはできない。サービス発見機構で、実空間ネットワークの実現が困難である理由を以下に挙げる。

- サービス発見機構が対象としているサービスの提供者が、代替ノードを想定できない。これは、実空間ネットワークでのモノを扱うという定義にそぐわない。

- 代替ノードを実現する部分をサービス発見機構に追加したとしても、サービスの記述への到達可能性が保証できない。サービス発見機構の中には、広範囲サポートをしているモノが存在するが、検索を隣接する機構に転送して実現するなど規模性の点で疑問が残る。

- サービス発見機構は、サービスの位置情報とサービス内容を表現することを主眼としている。

3.2　関連研究のまとめ

本章では、実空間ネットワークの課題として挙げた、モノを感知する環境側の機能とモノ代替ノード機能を関連研究の技術で実現可能であるかを検討した、その結果、既存技術を用いて実空間ネットワークを実空間ネットワークを実現するのは困難であり、新たな機構を構築する必要があることがわかった。

第4章　アーキテクチャの設計

本章では、実空間ネットワークのアーキテクチャについて示す。4.1 節では、代替ノードについて提案する。4.2 節では、実空間ネットワークの基本となるオブジェクトについて述べる。4.3 節では、センサ系 ID を代替ノード ID への変換機構について述べる。4.4 節では、階層型位置情報について述べる。

インターネットでは、ノードとノードが End-to-End の通信を行なっている。実空間ネットワークでは、図 4.1 のように、計算能力のないモノを計算機と同様に、ノードとして扱う。モノをネットワークに参加させることにより、モノとノード、モノとモノの通信を通常の IP を用いるコミュニケーションとして成立させることを目指す。この際に、モノの代わりに通信を行なう機構が必要になり、これを代替ノード機能として提案する。

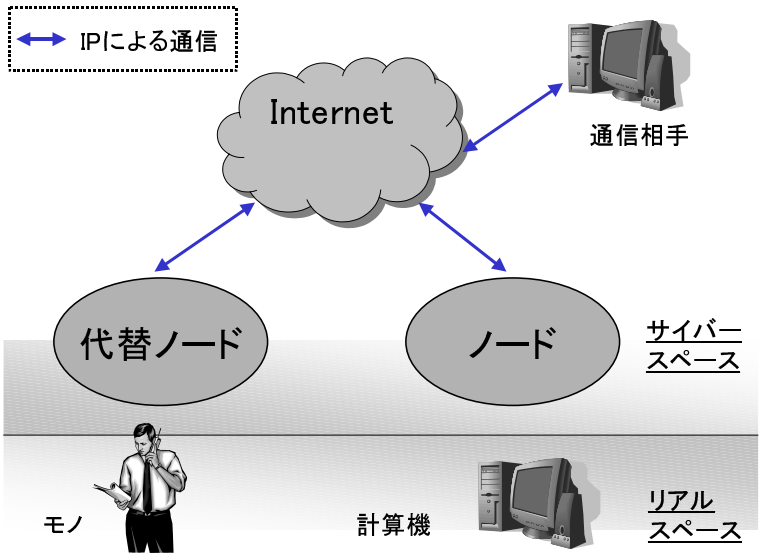

図 4.1: 計算能力のないモノ

4.1　代替ノード

実空間ネットワークで扱うモノを Real Space Object(RSO) として定義する。RSO には、必ず対応する代替ノードを用意する。代替ノードやセンサは後述する Cyber Space Object(CSO) として定義される。図 4.2 のように、対応する代替ノードが対応するモノの位置を保持することになる。

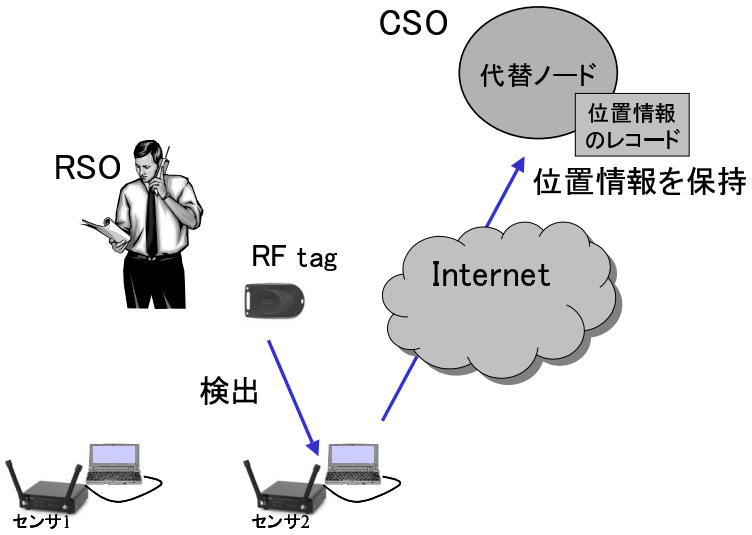

図 4.2: モノと代替ノードの対応

代替ノード機能の ID は、ネットワーク上で一意に識別でき、モノ代替ノードに対する到達性を実現する必要があることは 2.4.2 項で述べた。実空間ネットワークアーキテクチャでは、代替ノードの ID として LIN6[3] アドレスを割り当てる。代替ノードの通信相手から見ると、図 4.3 のように、モノが LIN6 アドレスがついたノードのとして扱える。

ネットワーク上で一意に識別でき、ネットワーク的な到達性があれば、代替ノードの ID は LIN6 アドレスに限定されないので、将来的に変更がある可能性もある。

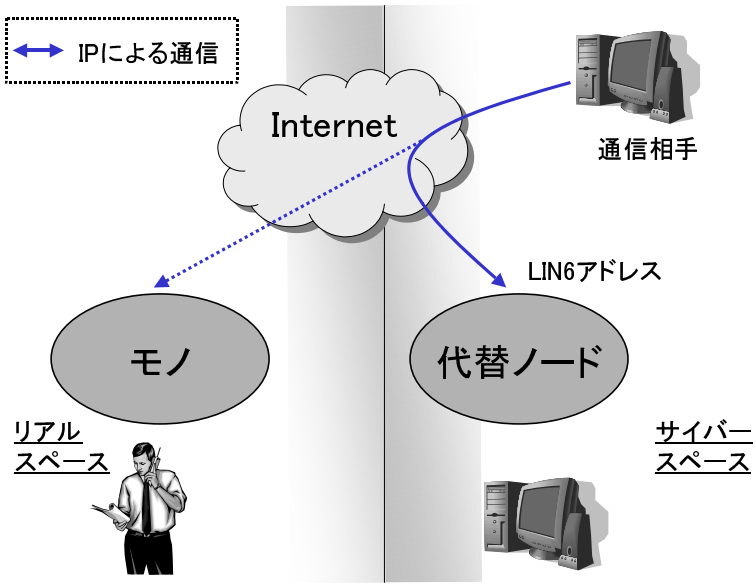

図 4.3: 代替ノードの識別子

4.2 Cyber Space Object

実空間ネットワーク上で扱うオブジェクトをCyber Space Object(CSO)として定義する。CSOは、位置情報を表すプリミティブなクラスである。位置情報以外に対応するRSOのID、位置情報の取得されたタイムスタンプを保持する。本論文では、それぞれ便宜的にLocatin、ID、TimeStampと呼ぶ。Javaによる、CSOの定義イメージを図4.4に示す。

```
public class CSO {
  String Location = ""; String ID = ""; Date TimeStamp;

  void initLcoation(){
    Location = "";
  }
  String getLocation(){
    return Location;
  }
  void setLocation(String newLocation){
    Location = newLocation;
  }
  void trapLocation(String newLocation){
    ...
    public void actionPerformed (RSNEvent e) {
        return Location;
    }
  }
  ...
  void setID(String newID){
    ID = newID;
  }
  ...
  void initTimeStamp(){
    TimeStamp = new Date();
  }
} （註 : 宣言や定義の省略をしている）
```

図 4.4: CSOの定義イメージ

図4.5のように、Physical SensorやPseudo Sensor、代理ノードはCSO

を拡張して利用される。Pseudo Sensor では、集成の対象となる Physical Sensor や別の Physical Sensor のインスタンスを持つことになる。Physical Sensor では、RSO に対応した CSO をインスタンスとして持つ。図中の RFcoded、Aread については 5.2.1 章で後述する。

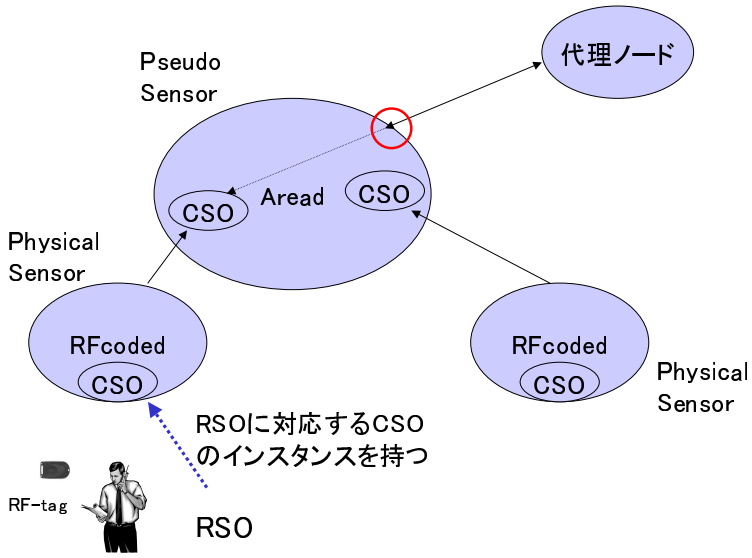

図 4.5: Cyber Space Object

CSO には、init、set、get、trap の 4 つのメソッドを定義する。それぞれが、Location、ID、TimeStamp に対する操作を示し、init メソッドは値の初期化、set メソッドは値の設定、get メソッドは値の取得、trap メソッドは値のトラップを行なう。(図 4.4 を参照)

4.3 センサ系 ID から代替ノード ID への変換機構

センサ系の ID を代替ノードの ID へ変換する機構を提案する。変換は、図 4.6 のように行なわれる。

このデータベースはセンサ系毎に必要であり、ある程度の規模性を実現できる。

RF-tag などの被検出のための物体や機能にグローバルユニークな ID をあり当てるのはコストが大きい。

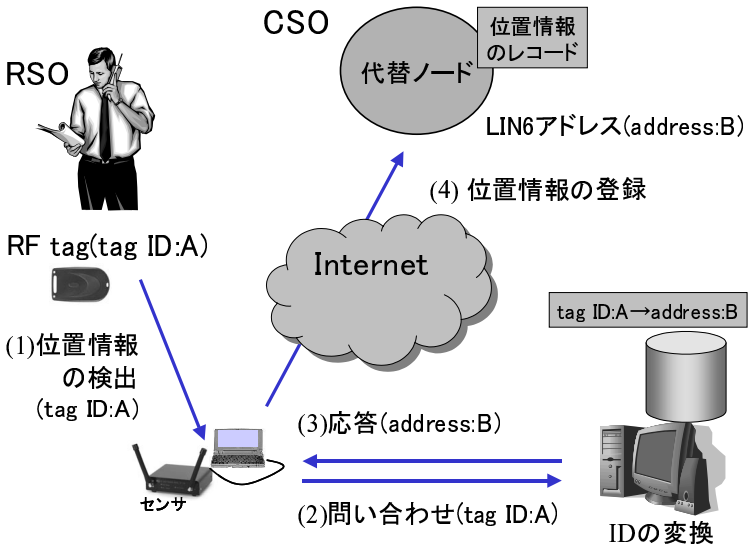

図 4.6: センサ系 ID から代替ノード ID への変換

4.4　階層型位置情報

2.2 節では、モノ毎のセンサ系が想定できない場合、測位系の変換機構が必要であることを論じた。センサ系の統一は、位置情報機構の構築の際の前提事項として規定することも可能である。しかし、すべてのモノのセンサ系を規定することは、実空間ネットワークに対する制限としては大きい。そこで、本論文では、測位系の変換機構を階層型位置情報として提案する。

本論文で扱う測位系は以下の通りであり、どちらの座標系を用いるかを指す場合にこれらを座標系の種類と呼ぶ。ある空間範囲への入退出情報を用いるものは、厳密な意味での座標系ではないが、直交座標系に含めることにする。

1. 極座標系
   測位系として、極座標系を用いるもの

2. 直交座標系
   測位系として、直交座標系を用いるもの、ある空間範囲への入退出情報を用いるもの

測位系の変換は 2 つに分類することができる。一つは同じ種類の座標系同士の変換であり、もう一つは、ことなる種類の座標系の変換である。実際に変換する際のアルゴリズムは異なるが、階層型位置情報では区別せずに扱うことにする。

階層型位置情報は、ある測位系での位置情報を別の測位系の位置情報に変換する。図 4.7 のように、階層型位置情報で扱う測位系は、必ず別の測位系との対応をあらかじめ規定されている。測位系の変換は目的とする測位系を指定することにより行なわれる。隣接する測位系間での変換を繰り返すことにより、現在の測位系での位置情報を目的とする測位系での位置情報に変換する。

隣接する測位系同士は、位置情報を変換できるように、その関係性を互いに対応付けられている。ある測位系に別の測位系を対応付ける際に必要となる情報は、測位系の種類によって異なる。

ある直交座標測位系を別の測位系で対応付ける際に必要になるのは、直交座標系の原点座標、軸の方向、各単位ベクトルである。原点座標、軸の方向、各単位ベクトルは別の測位系での位置情報で表すことができ、この別の測位系は直交座標系でも極座標系でも良い。ある直交座標測位系を別の直交座標測位系で対応付ける例を図 4.8 に示す。

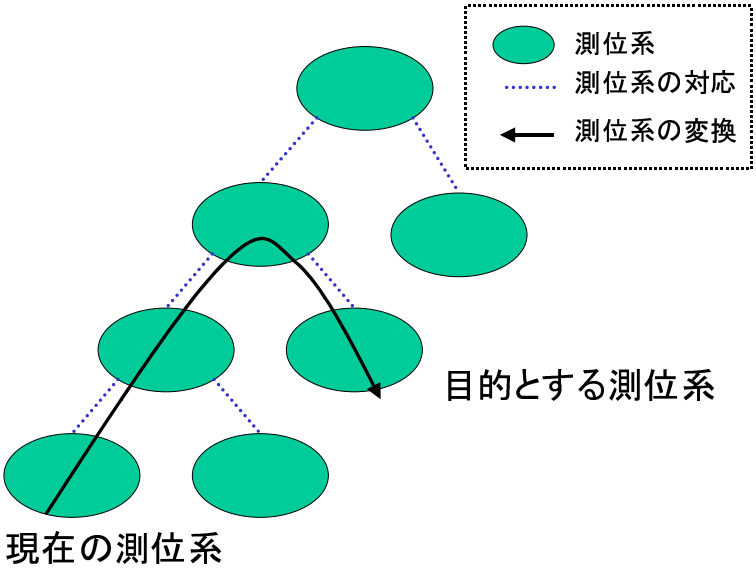

図 4.7: 階層型位置情報のイメージ

逆にある極座標測位系を別の測位系で対応付ける際に必要になるのは、極座標系の原点座標、軸の方向、高さ方向の単位ベクトルである。しかし、高さとして高度やジオイド高を用いる場合、楕円体の規定が必要になる。直交座標測位系への変換と同様に、原点座標、軸の方向、高さ方向の単位ベクトル、楕円体は別の座標系での位置情報であり、別の測位系の種類は問わない。

以上のように、階層型位置情報を利用することにより、複数で異種の測位系の位置情報を相互に変換して利用できると言える。

まとめると、2.2 節で分類した手法では、測位系としてどれかを選択するのではなく、すべてを扱えることになる。階層型位置情報によって、モノ毎のセンサ系を統一する必要がなくなる。

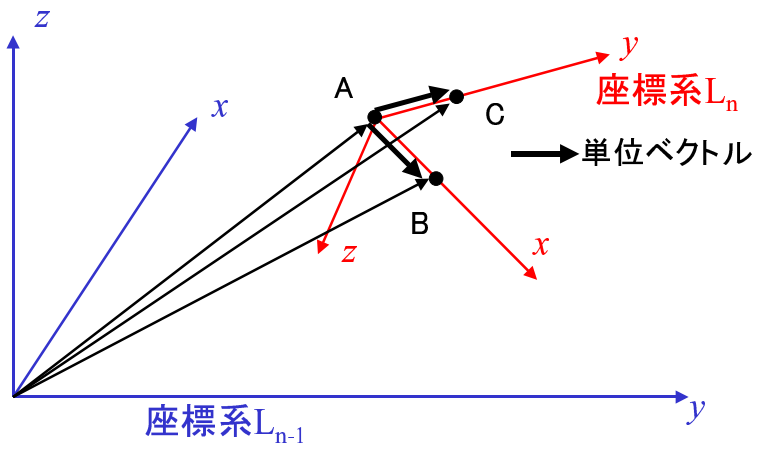

図 4.8: 測位系変換の例

第5章　Pseudo Sensor

本章では、実空間ネットワークを実現するために必要なPseudo Sensorについて述べる。5.1節では、実空間ネットワークに必要なセンサ機能を確認するとともに、本論文でのセンサの定義について述べる。5.2節では、実空間ネットワークに必要なセンサ機能であるPseudo Sensorのモデルについて述べる。

5.1　Physical Sensorの定義

本論文で提案するPseudo Sensorについて述べるにあたり、本節では、現行のセンサ装置をPhysical Sensorとして定義する。

センサと呼ばれる装置は、温度、湿度、照度、圧力、位置などを測定する(センサの例を表5.1に示す)。一般に、センサ装置は、さまざまな環境を測定する装置であると言える。

表 5.1: さまざまなセンサ装置の例

センサ装置名	測定する物理量	出力の形式
温度センサ	温度	度
GPS	空間的な位置	NMEA
超音波測位センサ	空間的な位置	相対位置
RF-ID	tagの有無	2値

しかし、環境を測定する装置は機能としては曖昧である。例えば、温度センサは、センサ周辺の温度による抵抗値の変化を元に、電圧の増減に変換して温度を計測している。センサ装置の機能する場合、電圧の変化を出力する装置なのか、温度の情報を文字列として出力する装置なのか判別できない。狭義のセンサ装置として、電圧の変化を提供するもの

をセンサとする場合もある。また、値として提供される場合も正規化の有無などがあり得る。

センサ装置の定義は、出力する情報の形態によって、下記の 3 種類に分類できる。

1. 目的とする情報に変換可能な情報を出力する装置
2. 目的とする情報を出力する装置
3. 目的とする情報を正規化して出力する装置

本論文において、センサ装置を環境の物理量を計測する装置と定義する。後述する Pseudo Sensor と区別するために、それを Physical Sensor と呼ぶ。上記の 2. にあるように、Physical Sensor の出力する情報は正規化されない。

表 5.1 の出力の形式を見ると、同じ測位のための Physical Sensor である GPS と超音波測位センサでは、その出力の形式が異なる。実際にセンサからの情報を利用する際に情報の正規化が必要になることもある。

5.2 節でも後述するが、情報の正規化は Pseudo Sensor の機能とする。これは、Pseudo Sensor の機能として、正規化と同時に複数の Physical Sensor の集成を実現するためである。

5.2 Pseudo Sensor モデル

実空間ネットワークを実現するためには、2.4.1 項で示したモノを感知する環境側の機能により、様々な場所に設置されたセンサ装置を用いる必要がある。本論文では、センサ装置を汎用的に扱う仕組みである Pseudo Sensor を提案する。Pseudo Sensor では情報の集成を行ない、様々な場所に分布するセンサ装置を汎用的に扱えることを目的とする。また、Physical Sensor では、情報の正規化は行なわれない。複数のセンサ装置を集成するために、Physical Sensor ではなく、Pseudo Sensor の枠組の中で情報の正規化を行なう。

図 5.1 に Pseudo Sensor のモデルを示す。Pseudo Sensor モデルでは、センサ装置は Physical Sensor と Psedu Sensor からなる。Pseudo Sensor は複数の Physical Sensor の情報を集成する。集成される Physical Sensor は複数の種類を許す。出力される情報の形式も正規化される必要がなく、Pseudo Sensor で個別に Physical Sensor の正規化を行なう。また、Pseudo Sensor の情報を Pseudo Sensor が集成することもあり得る。

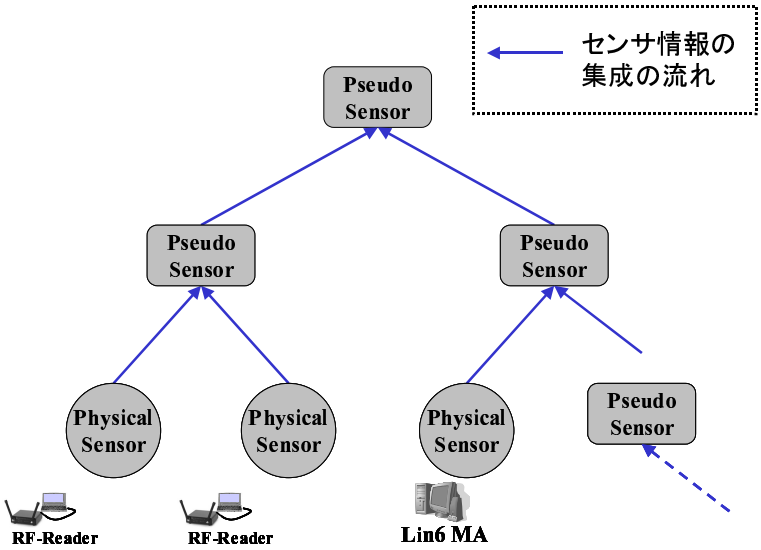

図 5.1: Pseudo Sensor のモデル

5.2.1 実空間ネットワーク上での Pseudo Sensor の構成

実空間ネットワーク上での Pseudo Sensor の構築に関して例を挙げて説明する。構成例を図 5.2 に示す。この例では、ヒトが空間内を移動し、その位置情報を代理ノード内に保持する機構を構築している。

Pycical Sensor として RF-Reader と GPS 受信機を利用しており、屋内では、RF-Reader を利用し、屋外では GPS 受信機を利用するような状況を想定している。

Pycical Sensor である RFcoded は、あるヒトの RF tag が範囲内に進入した際、退出する際にそのイベントを検出する。複数の RFCoded を統括する Aread はセンサ情報を集成する Pseudo Sensor として動作する。ここで位置情報の正規化などが行なわれる。また、もう一つの Aread は、GPS の位置情報が利用可能な際に動作する RF-Code センサ系について管理する代理ノード ID データベースでは、RF tag の ID と代理ノードの ID である LIN6 アドレスの組合せを保存している。代理ノードである Agentd は、Pseudo Sensor の位置情報を利用している。

この例では存在しないが、RF-ID と GPS の二つのセンサ系を集成する Pseudo Sensor が存在しても良いし、測位系の変換を行なう Pseudo Sensor が存在しても良い。

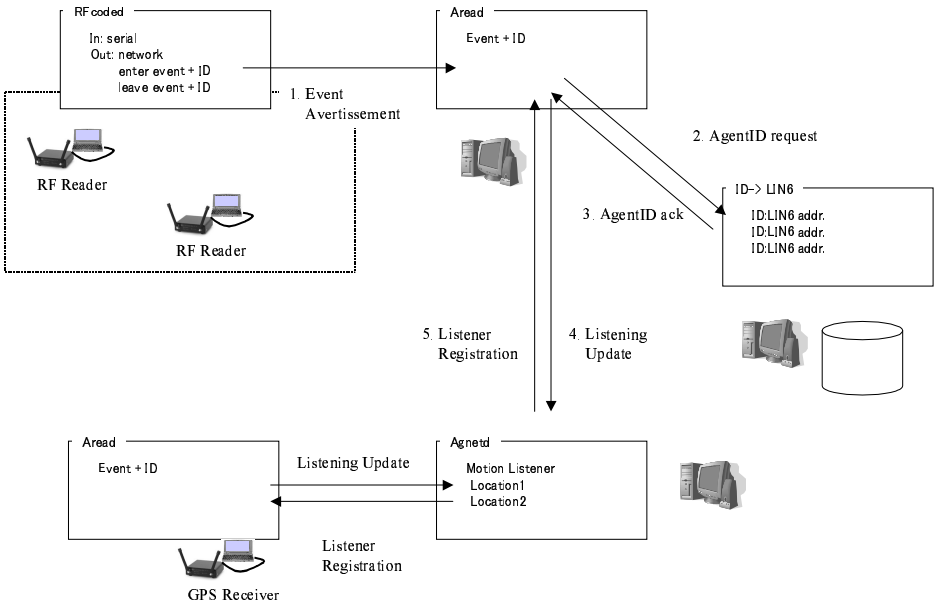

図 5.2: Pseudo Sensor の動作手順

5.2.2 Pseudo Sensor の動作手順

実空間ネットワーク上での Pseudo Sensor の動作手順を以下に示す。動作手順も同様に図 5.2 に示した。

1. Evnet Advertisement
   いくつかの Physical Sensor を統括する Pseudo Sensor(この例の場合 RFcoded、RF-Reader を管理するデモーン) から、Aread(組織内での一元的な管理を行なうデーモン) へイベントを通知する。

   イベントの内容は Enter と Leave があり、Sensor 体系 ID とともに通知される。

2. AgentID request
   Sensor 体系 ID を元に、Agent の ID(運用上は LIN6 アドレス) を得るため、AgentID Request を AgentID-DBS へ送る。

3. AgentID reply
   Sensor 体系 ID に対応する Agent の ID が、AgentID-DB 内に存在すれば、AgentID を送り返す。

   AgentID は、ネットワーク的な到達性を持つアドレスであれば LIN6 に限らない。

4. Listening Update
   Agent へ対し Listening Update を送信することで、Agent に AreaD を Listen させる。

5. Listener Registration
   Agent は、対応するオブジェクトのイベントが起こり得るであろう AreaD に対し、Listener を設定する。

5.2.3 Pseudo Sensor のメソッド

本節では、代理ノードが Pseudo Sensor を利用する際のインターフェースについて示す。Pseudo Sensor は、4.2 項で示した CSO の拡張である。Pseudo Sensor のインタフェースは CSO のインタフェースに準じ、情報を得たい時に最新の情報を得る方法と情報が更新された際に情報を得る方式を利用できる。これは、基本メソッドの get と trap を使い分けることにより実現される。

図 5.2 に示した RF-ID のセンサ系を管理する Aread を利用する際は trap を用い、GPS のセンサ系を管理する Aread を利用する際は get を利用するなど、使いわけが可能である。

RF-ID のセンサ系を管理する Aread によって送られる Listener Update には重要な役割が存在する。環境側測位機能による Pseudo Sensor を trap メソッドまたは get メソッドを発行する際に、どの Pseudo Sensor に対して行なって良いかと言う判断できない。これは、RF-ID のセンサ系が世界中に存在する際に、どの Pseudo Sensor を監視しておけば良いのかを判断することができないためである。

この例では、Listener Update を代理ノードへ送信することにより、代理ノードがどの Pseudo Sensor に対してリスナを加えておく必要があるかを認知することが可能になっている。

代理ノードは、対応する RSO に関する位置情報が取得できる Pseudo Sensor を認知した後は、そのセンサ系に応じて get または trap メソッドを実行することで、位置情報を得ることができる。

```
public class testSensor {
    public static void main( String[] args ) {
        RSNLocation myLoc;
        ...

        fooCSO.getLocation(myLoc,
                           XYZCoordinateSystem(x, y, z,
                                               xAxis,
                                               yAxis,
                                               zAis),
                           xUnit, yUnit, zUnit);

        System.out.println("Your position is" +
                            myLoc.toString());
    }
}
```
(註 : 宣言や RMI の処理を省略している)

図 5.3: get メソッドの使用例

第6章　評価

本章では、Pseudo Sensorを用いて実空間ネットワークを実現できたか評価する。実空間ネットワークを実現するためには、センサ系の汎用化と測位系の汎用化が必要な場合があることは、3で述べた。それぞれの定性的な評価を行なうとともに、アプリケーションの構築例に挙げ、実空間ネットワークが動作することを示す。

本論文の評価として、6.1節では、センサ系の汎用化が実現できたか、測位系の汎用化が実現できたか評価する。6.2節では、Pseudo Sensorで環境側測位機能、代替ノード機能は実現したを実現できたか評価する。

本機構で、Pseudo Sensroを用いて実現を目指したセンサ系・測位系の汎用化の定性的な評価の比較対象として、インターネット自動車、.geo、ActiveBAT、Ninja Project、Jini、SLPを挙げる。環境側測位機能、代替ノード機能はPseudo Sensorのみの機能なので、これらとの比較は行なわない。

6.1　センサ系・測位系の汎用化について

センサ系の汎用化について、定性的な評価を行なうために、比較対象と複数のセンサ系を扱えるか、センサ情報の集成を行なえるかを評価した。その両方の条件を満たし始めて、センサ系の汎用化は実現されたと言え、複数のセンサ系を扱えない機構は、当然センサ情報の集成を行なえない。

測位系の汎用化ついて、定性的な評価を行なうために、比較対象と複数の測位系を扱えるか、測位系の変換を行なえるかを評価した。センサ系の評価と同様に、両方を満たして始めて、測位系の汎用化は実現されたと言え、複数の測位系を扱えない機構は、当然測位系の変換を行なえない。

上記の定性的な評価について、表 6.1 にまとめる。項目 0 に、比較対象の機構を記した。項目 1 に、複数のセンサ系を扱うことができるかを複センサ系として記した。項目 2 に、センサ情報の集成を行なえるかをセンサ集成として記した。項目 3 に、複数の測位系を扱えるかを複測位系として記した。項目 4 に、測位絵系の変換を行なえるかを測位系変換として記した。また、それぞれの比較対象の機構の項目には、実現されているものを○、実現されていないものを×とした他、部分的に実現されているか、今後実現可能なものを△とした。そもそも対象とする機構で、想定されない場合、-とした。比較対象のインターネット自動車のは ICAR と省略して記した。

表 6.1: センサ系・測位系の汎用化について

比較対象	複センサ系	センサ集成	複測位系	測位系変換
ICAR	○	△	×	×
.geo	×	×	×	×
ActiveBAT	×	×	×	×
Ninja Project	-	-	×	×
Jini	-	-	×	×
SLP	-	-	-	-
本機構	○	△	○	△

本機構についてまとめると、Pseudo Sensor では、センサ系の汎用化を目指し、センサ系の集成を行なう枠組として Pseudo Sensor を利用できる。よって図 6.1 では、複数のセンサ系を扱う、複数の測位系を扱うを○とした。実際の集成は、集成を行なう Pseudo Sensor の実装を行なう必要がある。測位系の汎用化は、階層的位置情報を実現することが不可欠である。よって、今回実装を行なっていないセンサ情報の集成と測位系の変換については△とした。今後実装を行なうことによって、これらは実現される。

6.2 環境側測位機能、代替ノード機能の評価

Pseudo Sensor で、環境側測位機能、代替ノード機能は実現したかを評価する。代替ノード機能は直接Pseudo Sensor の機能ではないが、Pseudo

Sensor のインターフェースを用いて実現されている。

環境側測位機能は、代替ノード機能は 5.2.1 項、5.2.2 項で示した通り実現された。ただし、この機能の利用は Physical Sensor と集成を行なう Pseudo Sensor(Aread)、Pseudo Sensor のインタフェースを利用する AgentD の実装を待たなければならない。

第7章　結論

本章では、本論文の結論として、まとめと今後の課題について述べる。まず、7.1節では本論文をまとめ、7.2節では今後の課題について挙げる。今後の課題では代替ノードIDデータベースサーバの規模性の実現、階層型位置情報の実現、実装とセキュリティの課題について述べる。

7.1　まとめ

本論文では、実空間ネットワークのアーキテクチャとそれを実現するために不可欠なPseudo Sensorを提案した。

実空間のモノを情報化／ネットワーク化する際の検討課題を挙げ、その中からニーズや新規性などの観点から、位置情報について注目した。位置情報の視点からモノを情報化／ネットワーク化する手段として、実空間ネットワークを提案し定義した。

実空間ネットワークを、実現するのに既存技術を利用できるか検討した。その結果、代替ノード機能や環境側測位機能などを実現する必要があることを示した。

代替ノード機能や環境側測位機能を実現するために、センサ装置を集成し、センサ情報の変換を行なう枠組として、Pseudo Sensorモデルを提案した。Pseudo Sensorの機能や動作について解説した。また、実際の実空間ネットワークアプリケーションを構築する例を挙げ、Pseudo Sensorの配置や動作について説明した。

実空間ネットワークを実現するために必要な機能として、階層型位置情報や代替ノードIDデータベースなどを挙げこれらの役割について説明した。

評価として、Pseudo Sensorを用いることにより、実空間ネットワークを実現することができるかを評価した。具体的には、センサ系の汎用化、測位系の汎用化について定性的な評価をした。また、代替ノード機能や環境側測位機能を実現できたか述べた。実際のアプリケーションを

運用する際の構築方法について述べ、実空間ネットワークをどの程度実現できたか述べた。

7.2 今後の課題

今後の課題としては、以下の 4 つを挙げられる。

- 代替ノード ID データベースサーバの規模性の実現
- 階層型位置情報の実現
- 実装
- セキュリティ

本節では、それぞれについて整理し、今後の研究の方向性について述べる。

7.2.1 代替ノード ID データベースサーバの規模性の実現

本論文で提案したセンサ系の ID と代替ノードの ID のデータベースを持つサーバは、RSO の ID をセンサ系内で一意に管理する必要があるため、図 7.1 のようにセンサ系毎にデータベースサーバを設置することになる。

現在のところ、センサ系毎に代替ノード ID データベースサーバを独立させるいるが、規模性について配慮されていない。代替ノード ID データベースサーバの分散配置は、DNS[10] のような分散運用ができない。これは、DNS における Fully Qualified Domain Names(FQDN) のドット表記のような明確な名前空間の区切りが存在しないか、存在してもセンサ系に依存するためである。また、センサ系によっては ID の名前空間がグローバルに一意でないこともある。センサ系毎にどのように規模性を実現するかを検討する必要があり、今後の課題としする。

7.2.2 階層型位置情報の実現

本論文で提案した階層型の位置情報は、測位系の汎用化の可能性を指摘した。利用のイメージは図 5.3 でも示したが、測位系の指定方法や測位系内の位置情報パラメータの記述方法について設計する必要がある。

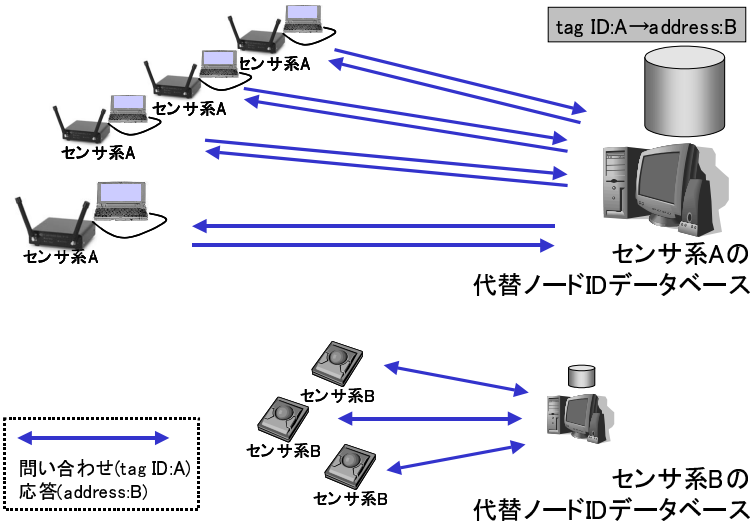

図 7.1: センサ系毎のデータベース

また、階層型位置情報には、測位系の変換機構の構築が不可欠であり、これも今後の課題としたい。測位系の変換機構については様々な既存研究があるのでそれらを参考にする。関連技術として、GeoTransform[11]，地図投影-作業マニュアル [12] を挙げておく。

7.2.3 実装

6.1 節でも述べた通り、Pseudo Sensor は、センサ系の汎用化の枠組を提供した。汎用化機構の実装は、集成の対象となるセンサ系、集成後の情報の形式毎に行なう必要があり、今後の課題とする。

本論文では、代替ノードの位置情報の検索機構を提供しなかった。実空間ネットワークのアプリケーションを構築する際には、何らかの検索手段が必要になることもあり、検討する必要がある。ただし、代替ノードに位置情報を保持する実空間ネットワークは、インターネット自動車のようなモノをノードとして実装する機構で使われる検索機構に非常に類似するので、それを踏まえて検討したい。

本論文では、代替ノードのインタフェースについて規定しなかった。これは、実空間ネットワークで想定されるアプリケーションの洗い出しが十分になされていないためであり、今後の課題としたい。

7.2.4　セキュリティ

本論文では、セキュリティに関する議論を行なわなかった。各Pseudo Sensorは本来、認証されるべきであり、認証を行なわない位置情報に対して不正に参照されたり、Pseudo Sensorの成り済ましが行なわれたりする可能性がある。また、各代替ノードの位置情報の正当性の保証も重要な課題である。これを行なわないと、本来いない場所にいることができるなど、位置情報を偽ることができる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、御指導をいただきました、慶應義塾大学環境情報学部教授の徳田英幸博士と村井純博士に感謝いたします。また、絶えず御助言と御指導をいただきました、同助教授の中村修博士、楠本博之博士、同講師南政樹氏に深い感謝の意を表します。

平素より御指導を賜わりました慶應義塾大学 政策・メディア研究科 特別研究専任講師 植原啓介氏、慶應義塾大学 SFC 研究所 訪問研究員 渡辺恭人氏、慶應義塾大学政策・メディア研究科後期博士課程 湧川隆次氏に深く感謝致します。

また、修士論文の執筆に当たってさまざまな協力をしていただいた、政策・メディア研究科の菅沢延彦氏、若山史郎氏、海崎良氏、石井かおり氏、環境情報学部／総合政策学部の久松慎一氏、岡田耕司氏、成瀬大亮氏、松谷宏紀氏、金子紘子氏、原崇氏、村井研究会 InternetCAR 研究グループの皆様、慶應義塾大学看護医療学部 専任講師、宮川祥子氏、慶應義塾大学 理工学研究科 教授の寺岡文男博士、後期博士課程 國司光宣氏、奈良先端科学技術大学院大学 情報科学センター 教授の砂原秀樹博士、同付属図書館 研究開発室 助手羽田久一博士、同情報科学研究科 後期博士課程 和泉順子氏、株式会社東芝 研究開発センターの土井裕介氏、株式会社ソニーコンピュータサイエンス研究所の竹内奏吾氏、河野通宗博士、株式会社創夢 松山直道氏、WIDE プロジェクト ICARS 分科会の皆様、DX アンテナ株式会社 GPS 事業部の皆様、株式会社日立製作所の皆様に感謝致します。

杉浦一徳氏、重近範之氏をはじめとする慶應義塾大学政策メディア研究科後期博士課程の方々、並びに同大学環境情報学部の徳田・村井・楠本・中村・南研究室の諸氏には、本研究を進めていく上で様々な議論をして頂き、また耐えざる励ましとご援助を頂きました。ここに、深い感謝の念を表します。

以上を持って謝辞といたします。

関連図書

[1] "WGS 84 - World Geodetic System 1984," European Organization for the Safety of Air Navigation (EUROCONTROL), http://www.wgs84.com/, (2002/1/1)

[2] S. Deering ,R. Hinden ,RFC 2460 ,December 1998

[3] "LIN6: A New Approach to Mobility Support in IPv6", International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communication, 2000

[4] K.Uehara, Y.Watanabe, H.Sunahara, O.Nakamura, J.Murai, ‘‘InternetCAR -Internet Connected Automobiles-’’, Proc. of INET’98, Jul 1998

[5] Yasuhito Watanabe, Fumio Teraoka and Jun Murai, "The Design and Implementation of the Geographical Location Information System, " In Proceedings of INET’96. Internet Society, June 1996.

[6] Ryuji Wakikawa, "The Design and Implementation of Mobile IPv6 with multiple network interface support", master thesis of Keio University, 2000

[7] C.Perkins, "IP Mobility Support", IETF RFC2002, October, 1996

[8] 位置情報を利用したモバイルコンピューティング，情報処理学会学会誌，vol.42，No.4，2001

[9] "NMEA 0183 Interface Standard Ver.2.30", National Marine Electronics Association, ‘1998

[10] P. Mockapetris,"DOMAIN NAMES - CONCEPTS AND FACILITIES",IETF RFC1034, November 1987

[11] 種々の地図座標系の相互変換をするJavaパッケージ GeoTransform, http://www.ai.sri.com/geotransform/ (2002/1/1)

[12] Snyder, J. P. (1987). "地図投影 - 作業マニュアル". U.S. Geological Survey Professional Paper 1395. U.S. Government Printing Office, Washington, DC.

[13] car-viewer 車の位置を表示するビューア, http://www.sfc.wide.ad.jp/InternetCAR/softwares/index.html(2002/1/1)

[14] InternetCAR on the globe インターネット自動車の走行履歴をWebで参照, http://www.sfc.wide.ad.jp/~punpun/i-car/I-car_on_the_globe.html(2002/1/1)

[15] 生活地図サイト MapFan Web, インクリメント・ピー株式会社, http://www.mapfan.com/(2002/1/1)

[16] GPSケータイ, KDDI株式会社, http://www.au.kddi.com/ezweb/eznavi/index_h.html (2002/1/1)

[17] Hoffmann-Wellenhof B, Lichtenegger H, and Collins J, "GPS Theory and Practice 2nd Ed, Springer-Verlag, New York," 1993

[18] V. A. Bartenev, M. N. Krasilshikov, V. V. Malyshev, "GLONASS: CURRENT STATUS, UPGRADES AND PROSPECTIVE ," 14th International Symposium on Space Flight Dynamics ISSFD XIV, Feb 1999

[19] Andy Ward, Alan Jones, Andy Hopper. A New Location Technique for the Active Office. IEEE Personal Communications, Vol. 4, No. 5, October 1997, pp. 42-47.

[20] An Architecture for a Secure Service Discovery Service, by Steven E. Czerwinski, Ben Y. Zhao, Todd D. Hodes, Anthony D. Joseph, and Randy H. Katz. Fifth Annual International Conference on Mobile Computing and Networks (MobiCom '99), Seattle, WA, August 1999, pp. 24-35.

[21] SRI International, ".geo Top Level Domain Name Proposal", http://www.dotgeo.org/proposal/html/contents.html (2001/10/1)

[22] WIDE Project, http://www.wide.ad.jp/ (2002/1/1)

[23] AT&T Laboratories, http://www.uk.research.att.com/bat (2002/1/1)

[24] SRI International, http://www.sri.com/ (2002/1/1)

[25] The Ninja Project, UC Berkeley Computer Science Division, http://ninja.cs.berkeley.edu/ (2002/1/1)

[26] Jini Network Technology, http://www.sun.com/jini (2002/1/1)

[27] E. Guttman, C. Perkins, J. Veizades, M. Day, "Service Location Protocol, Version 2, " IETF RFC2608, June 1999