

第XIII部

実空間ネットワーク環境

第13部 実空間ネットワーク環境

第1章 iCARs — 実空間ネットワーク環境

iCARs は我々が生活を営んでいる実空間 (Real Space) とコンピュータネットワーク上に存在するネットワーク空間 (Cyber Space) の連係を考える WG である。このような実空間ネットワークを構築することは、現在のインターネットが持つ問題点を明らかにするとともに将来的なネットワーク環境の構築への考察を与えると考えている。

特に現在ではインターネットには存在しないが、実空間での物体には必ず存在する位置情報にフォーカスをあて研究を行っている。

1.1 iCARs における実空間ネットワーク

iCARs (Internet Creates Augmented Real Space) は実空間に存在するあらゆるオブジェクトとネットワークを結びつけることを目的とした WG である。

インターネットは世界最大のコンピュータネットワークであり、その拡大は今だ続いている。しかしながら、現在のインターネットにおいては、ノードは TCP/IP と呼ばれる通信規約をサポートするコンピュータであり、その多くは PC やワークステーション、サーバと呼ばれるような汎用コンピュータである。

デバイスの高度化や家電の浸透などから、コンピュータやネットワークと家電製品を結びつけた情報家電という分野が盛んに取り上げられるようになってきている。情報家電では、従来はネットワーク接続が考慮されていなかった、一般の家電製品である、TV や冷蔵庫、電子レンジといったものまでネットワークの一部として取り込もうとしている。これらの相互接続により、メールやチャットなどといった、コミュニケーションのみならず、インターネットをもっと実生活に即したものにへと変化させることが可能である。

さらに、実空間にはネットワーク化が考慮されていない、あるいは困難なものも存在する。生物などのようにデバイスを埋め込むことが困難なものや、消耗品や日用品のようにコスト的に見合わないものなどである。これらをネットワーク的に存在させるためには、仮想的にネットワークに接続されたものとの通信を行うモデルを構築する必要がある。

これらのあらゆるものが実際に、あるいは仮想的に接続された環境を本 WG では、実空間ネットワークと呼んでいる。

1.2 iCARs の目標

iCARs ではあらゆる物体をインターネットに接続することを目標とし、実空間に存在する物体とネットワークとの協調によって得られる新しいネットワーク環境の構築を目標としている。

このような環境を構築する場合には、現在のインターネット技術では解決しえない多数の問題が出現すると想定される。これらの解決を行うことが本 WG における主たるテーマである。以下にそのテーマを列挙する。

- 位置情報の取り扱い
実空間に存在する物体(実空間オブジェクト)がネットワーク上に存在するサービスやオブジェクトと最も違う点は、実際に形状があり、どこかに存在するという点である。そのため、iCARs では実空間上での所在である、位置情報を実空間オブジェクトにおけるもっとも基本的な情報の一つであると考え、位置情報の表現を含めた取り扱いについて議論を行っている。
- ノードの仮想化と通信
実際にはネットワークに接続できないようなノードを仮想化し、ネットワーク上で存在させることは、iCARs におけるノードのモデルにおいてもっとも重要な意味を持つ。このような手法により、従来ではネットワーク化が想定されていなかった、生物、消耗品、日用品といったものもネットワーク上のオブジェクトとして扱い、情報を付加したり、検索、閲覧などを行うなど、ネットワーク化された利点を得ることができる。

● 名前付けと発見

多数の実空間、ネットワーク空間オブジェクトが存在する世界を想定した場合には、従来のネットワーク上での名前付けである DNS をベースとしたシステムではカバーできない範疇が存在する。日常生活での物体の指定方法としては、名前や特定の ID ではなく、 の上の上の いる xx といいた指定や、 の右にある xx といいた相対位置を元にした指定や、その赤い 、 xx さんの といった表現が広く行われる。このような狭い範囲でのみ通用するオブジェクトの指定方法はネットワーク上での唯一の名前を保証する仕組みとは違い、同じ名前であっても、コンテキストにより違うオブジェクトを指す場合がある。

このような問題を解決するために、名前付けに関しても新しい仕組みが必要であり、研究課題の一つとしてあげられる。

iCARs では実空間とネットワークの関係に関する以上のようなテーマを持っているが、初年度である 2001 年度には、主に位置を中心としたモデルに関する議論を行った。さらに、位置情報に特化したシステム開発を行い、WIDE 合宿において実験を行った。

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う。2.3 節では本報告書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 [88] 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 [142] や IP モビリティ [113] 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は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、ワイバやライトなどの装置の動作状況など多種に渡る。

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 [146] 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は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[70] や、Web を用いた InternetCAR on the globe[71] 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う。

センサにより取得する情報は、ヒトの位置情報の

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

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。位置情報取得の段階では、センサ系・測位系を軸にした整理を行う。また、位置情報利用の段階では、管理対象、検索に関する整理を行う。

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 全米船用電子機器協会) [6] 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・測位系を軸に整理したものを表 2.1 に示す。

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) [50] 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。

「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、本報告書では測位とみなす。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場合、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。本報告書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。

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

¹ ジェイフォン株式会社での展開する j-sky Station サービスの場合 [165]

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、ヒトなどのノードとして実装不可能なモノに対しても 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いずれかに分類できる。

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. モノの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、ほぼモノがホストとして扱え、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. モノの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。

本報告書では、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。

検索を行うためには、検索を行う範囲でモノの ID が一意である必要がある。また、逆引き検索を行うためには、検索を行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. モノの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る手法では、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

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

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、本報告書で選択/提案する手法である実空間ネットワークに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。本報告書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。本研究では、実空間ネットワークとして現実に存在する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 IPv6 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り手法では、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. モノの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 モノを感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、モノを感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はなく、モノを感知する機能を周辺に配置し、そのモノ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。現在指定される被検出のための物体や機能として、RF-tag やドアエントリー用の IC カード、IPv6 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、モノを感知す

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同値になる。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、位置情報のニーズを抽出する。その後で、実空間でのモノの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 は、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的なモノも存在するが、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 [82] 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を持つものに限られている。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の情報化、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[146] (3.3.1 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いう問題は、位置情報の管理をどこで行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[50] 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使用することは意味を失う可能性がある。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ため、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アクチュエータ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、メンバ管理を行う場合、ホスト毎やアカウント毎などの管理を行っている。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、名前空間などを定義し、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ようになる。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[57] や GPS と同様の測位出力 (NMEA 形式 [6]) の GLONASS[15] 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い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、アプリケーションに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もの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べき項目の中から、本報告書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えない。これは、容易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 iCARs モデル

iCARs では ネットワークに実際に接続されたものばかりではなく、仮想的に接続されたものを取り扱う。そのため、従来のネットワークにおける P2P やサーバクライアントといったモデルではデータの取得が難しい。そこで、実空間に存在するあらゆるものを仮想的にネットワークに接続するためには、なんらかの方法でネットワークに接続することができない仮想的に接続された物体との通信を行う必要がある。

本章では iCARs-WG において議論をすすめている、システムのモデルについて述べる。iCARs モデルでは、実空間ネットワークを取り扱うために、ネットワーク上に存在できるエンティティはもちろん、仮想的にしかネットワーク上に存在しない物体も包括的なシステムで取り扱うことを目標としている。

3.1 実空間オブジェクトとその仮想化

インターネットでは、ノードとノードが End-to-End の通信を行っている。実空間ネットワークでは、図 3.1 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

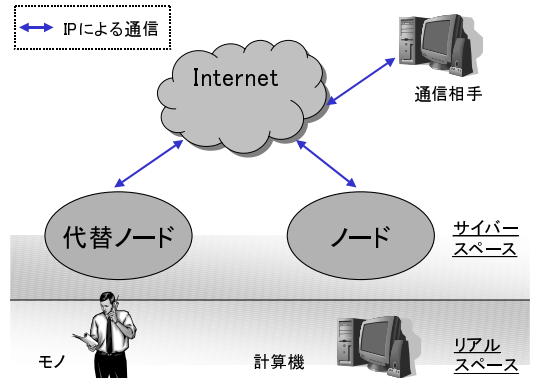


図 3.1. 計算能力のないモノ

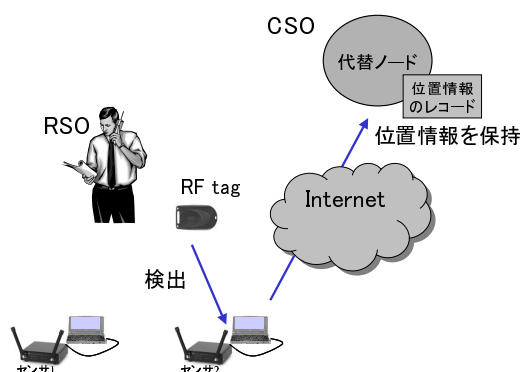


図 3.2. モノと代替ノードの対応

りに通信を行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。

iCARs アーキテクチャでは実空間とネットワーク空間を同時に扱うことが必要であり、これらをそれぞれ、Real Space、Cyber Space と呼ぶ。

Real Space 上に存在する物体を Real Space Object (RSO) と呼ぶ。これらは実際にあるいは仮想的にネットワークに接続された、実空間上に(世界に)存在する物体である。実空間上での存在である RSO に対してネットワークからアクセスするためには、なんらかのアクセス手法が必要となる。本モデルでは、実空間に存在する RSO にはそれぞれネットワーク上での代理的存在である Cyber Space Object (CSO) を定義することとした。CSO は RSO と 1 対 1 で対応するネットワーク上のオブジェクトであり、全ての通信は、CSO 間で行われる。図 3.2 のように、対応する CSO が対応するモノの位置をはじめとする情報を保持することになる。

CSO はネットワーク上で一意に識別できることが望まれるのみであり、従来の情報家電などのように、実空間に存在するオブジェクトと同一の場所に存在する必要がない。さらに、CSO はそれぞれが識別できれば、一つのコンピュータ上に複数の CSO が存在することも可能である。このような CSO の特徴から、CSO には IP アドレスのようなネットワーク上のアドレスではなく、専用の名前空間をもつユニークネスを保證できるような空間のアドレスを持つ必要がある。

さらに、CSO は RSO が存在しない場合にも存在することができる。これは仮想デバイスのようなものを想定した場合である。たとえば、ある部屋に存在する複数の温度センサを考えた場合、一つの温度センサそれぞれに対応する CSO が存在するのが原

則である。しかしながら、部屋というオブジェクトを想定した場合には、複数のセンサを統合的に取り扱う、メタセンサが存在し、それにより部屋全体の様子を取り込めるほうが効率的である。メタセンサに対応する CSO は、ネットワーク上には存在するが、実際には複数のセンサの集合であり、実空間では存在しない。

また、逆に RSO が持つ機能に着目した場合に、それぞれの機能単位での CSO を定義することが考えられる。このような場合には、それぞれの RSO を機能毎に分解したものを想定し、一つの RSO に対して CSO が複数存在することとなる。たとえばラジオセのようなものは、音を再生するアンプと出力先のスピーカ、FM や AM のチューナ、CD や MD のプレイヤーといった複数の機能に分割することができる。

それぞれの CSO は違う機能を持つこととなるが、RSO としては同一の物体を指し示していることとなり、CSO と RSO は 1 対 1 の対応でないことがわかる。

このように、CSO と RSO はそれぞれが多対多の結合を持つシステムであり、それらの中からどのようにして必要な CSO、RSO や機能を選択するかは大きな問題である。

3.2 名前付けとサービスの発見

CSO はネットワーク上において、実空間に存在する RSO の代理としての役割を担う。そのため、本モデルではネットワークを通じて CSO にアクセスすることは、RSO への通信とほぼ同義である。CSO は RSO の情報を仮想的に保持し、インタラクションを助け、通信を行う。RSO の情報は、内蔵、あるいは外部からのセンサ情報を元にとりこまれ、CSO へと送られる。また、CSO からのメッセージが RSO に伝えられ、実空間に対する働きかけを行う。

CSO が持つ ID は RSO との対応以外に、ネットワーク上の通信端点である IP アドレスあるいはそれに準じるものとの対応が必要となる。しかしながら、これらの CSO は前節で述べたように集中して管理されたり、複数の CSO を一つの計算機で扱ったり、CSO 自体が計算機間を移動したりということをも想定すると、IP アドレスそのものではなく、違うものを利用することが望ましい。

RSO を指定する場合には、本質的には CSO の

ID を指定することになるが、利用者それぞれがこの CSO の ID を知っているわけではない。そこで、なんらかの名前付けおよび、その呼出しシステムが必要となる。

CSO の ID は一意である必要があるが、名前においては、利用者の想定する範囲内において一意であり、特定可能であれば十分である。また、実空間オブジェクトの特徴として、その相対的な位置情報を元とした表現が行われることが想定されており、これらへの対応は課題となっている。

また、同様にオブジェクトが持つサービスの発見や、あるサービスを持つオブジェクトの発見機構は iCARs プロジェクトの中でも大きな部分を占めるといえるが、いまだ議論が続いており、今後の課題であると言える。

3.3 階層化された位置情報の取扱い

本章では iCARs における位置情報の取扱手法として、階層化された相対座標を用いる手法を提案する。

位置情報を階層的に取り扱うことの利点および欠点について議論し、さらに iCARs において求められている位置情報についての議論を行う。

3.3.1 既存の地理位置管理機構

GLI (Geographical Location Information) システムは、WIDE プロジェクトや慶應義塾大学 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ー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。

Ninja プロジェクト [42] では、SDS (Service Dis-

covery Service)[36] 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。

Ultrasonic Location System[145] は、AT&T Laboratories 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[69] は SRI 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リ化を行う。座標系として極座標を用いるが、高度の概念はない。

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。

3.3.2 階層化された位置情報の表現

センサ系の統一は、位置情報機構を構築する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。本報告書では、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

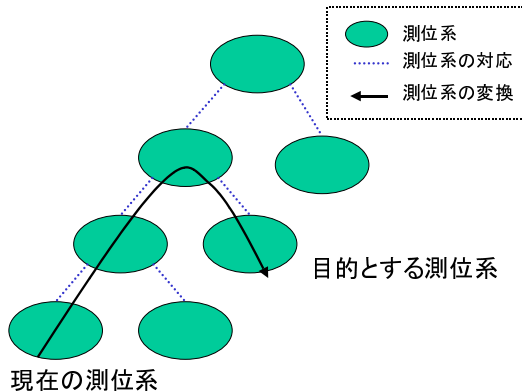


図 3.3. 階層型位置情報のイメージ

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、異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 3.3 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 3.4 に示す。

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

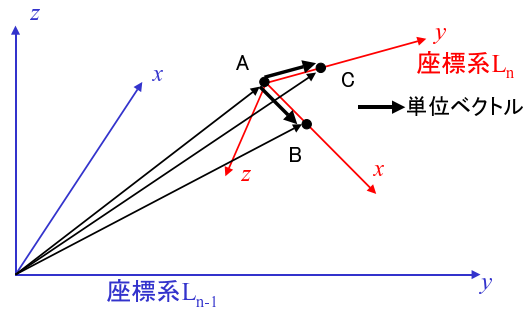


図 3.4. 測位系変換の例

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。よって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り、より汎用に利用できることとなる。

第 4 章 2001 年度 WIDE 合宿における実証実験

2002 年 3 月 4 日から 7 日にかけて、ネットワークを利用した WIDE 合宿参加者の追跡を可能とするシステムの実証実験を行った。

4.1 実証実験概要

本実験は、ネットワークを利用した WIDE 合宿参加者の追跡を可能とするシステムを用いて合宿中の利便性を向上させるとともに、実空間ネットワークに関する実験を行うことを目標とした。また、特定の参加者を追跡するのみならず、複数の参加者の関連や、位置情報からの参加者の検索などのインターフェースを用意することにより、柔軟な検索を可能としている。参加者の追跡手法としては、RFID を用いた部屋単位での人間の追跡と LIN6-MA (Mapping Agent) を利用したネットワークセグメント単位でのノート PC の位置追跡を行った。

本実験のシステムは対象である参加者や PC の位置を把握するためのセンサノード、ノート PC の移動を検知するサーバ、そしてこれらの位置情報を集積するバックエンドサーバの 3 つの部分から構成される。

構築したシステムを元に、人間や PC の位置情報をネットワーク上から閲覧、検索可能とする実証実験を行った。また、Web インタフェースを用いることにより、実験参加者がそれぞれ他の参加者の居場所を追跡したり、ある場所に存在する参加者の集合を検索することを可能とした。

4.2 実証実験システム概要

本実験のシステムは、以下の三つの機能で構築されている。

- ユーザ位置検出部
- LIN6ID による Note PC 検出部
- データベース部

ユーザ位置検出部は、実験参加者が身につけているタグからの情報を利用し、参加者の位置を検出する機能である。また、LIN6ID による Note PC 検出部はノート PC に割り振られている LIN6ID をもとに、そのノート PC が存在する場所を検出する機能である。データベース部はこれらの位置情報を集約し、管理する。また、データベース部は位置情報を利用したいユーザに対して Web インタフェースを通じて情報を提供する。

図 4.1 に WIDE 合宿で使用したシステムの全体構成図を示す。

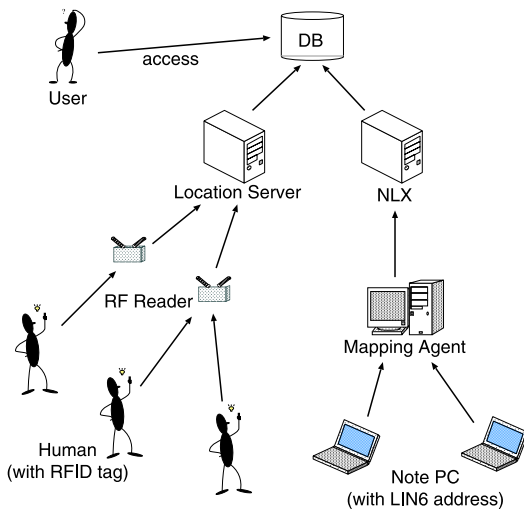


図 4.1. WIDE 合宿における iCARs システム構成

この図では参加者が持っているタグからの情報が RF リーダを通して Location Server に送られることを示している。また、ノート PC に割り振られている LIN6ID が Mapping Agent を通して NLX(Network Location eXchanger) に向かい、データベースに格納される様子を示している。同時に、このようにして蓄えられたデータベースに対して、web インタフェースを通じてユーザが情報を取得することを表している。

これらそれぞれの機能について、以下の節で詳細に述べる。

4.2.1 ユーザ位置検出部

本実験では参加者の位置情報を検出するためのシステムとして RF Code 社の spider タグを利用した。本実験では、このタグを名札とともに参加者全員に常時携帯してもらった。

この spider タグは電池を内蔵した無線タグであり、それぞれが固有の ID をもち、300 MHz 帯の電波として発信している。電波の発信間隔は約 3 秒であり、この電波を RF リーダが捉えることにより、参加者がその RF リーダの検出範囲内にいることを検知する。RF リーダの検出範囲は約 10m であり、ほぼ一つの部屋に相当する。

本実験では各部屋ごとに RF リーダを設置した。各 RF リーダは取得したタグ ID とリーダが置かれている部屋の名前を位置情報サーバ (Location Server) に送信する。

位置情報サーバは受け取ったデータを基にユーザの位置を特定し、データベースに登録する。



図 4.2. Spider タグ

RF リーダは RF リーダ自体とネットワークを利用するためのモバイルギアで構成される。RF リーダおよびモバイルギアは、電池駆動が可能であり、無線 LAN を使用することでわずかな時間であれば完全に Wire Free で移動することができる。

モバイルギアと RF リーダは RS-232C で接続されており、RF リーダが検出したタグ ID などをモバイルギアが持つネットワークを経由して、位置情報サーバに送信される。

また、モバイルギアは NetBSD/hpcmips で動作している。WindowsCE ではなく、NetBSD を使用することにより、信頼性が増している。

図 4.3 にその様子を示す。



図 4.3. RF リーダ

4.2.2 LIN6ID による Note PC 検出部

LIN6 では、各ホストに対して LIN6ID という一意の ID が割り振られる。ホストが prefix を割り当てられると、LIN6ID と prefix が合成され、IP アドレスが自動的に生成される。この IP アドレスを、Mapping Agent (MA) に登録することにより、ホストがどのネットワークに存在するかを通信相手に通知し、位置透過性を実現する。

本実験では参加者が複数の PC を持つ場合に対応するために、LIN6ID を各参加者ごとに 16 ずつ割り当てた。

参加者がノート PC を各部屋のネットワークにつなぐことにより、LIN6ID と prefix が自動的に合成され、IP アドレスが生成される。この IP アドレスと LIN6ID が MA に送られる。IP アドレスを受け取った MA は NLX (Network Location eXchanger) と呼ばれるデーモンに IP アドレスおよび LIN6ID を送信する。NLX は LIN6ID によって、そのノート PC の持ち主が、prefix によって、そのネットワークがわかる。本実験では、各部屋ごとに異なる prefix

を持つネットワークが構築されているため、これにより、論理的な位置情報を物理的な位置情報に変換し、ノート PC の位置を知ることが可能である。NLX はこのようにして取得したノート PC とその所有者情報、位置情報をデータベース部に通知する。

4.2.3 データベース部

位置情報サーバおよび NLX は取得したデータをデータベース部に送信する。

ユーザは Web インタフェースを通じてデータベース部にアクセスすることにより以下の機能を使用できる。

1. 位置情報の検索

ID を指定し、その ID を持つ利用者の位置を検索する。ID の指定方法としては、WIDE メンバーに一意に割り振られている WIDE 番号を用いるほか、利用者の名前やメールアドレスを元に検索することも可能である。

2. 位置からの情報検索

位置を指定することにより、その付近に存在している利用者のリストを提供する。これによりその付近ごとに存在している利用者を知ることができる。また、部屋の状況や参加者の集まり具合を遠隔からも知ることができる。

3. ノート PC の追跡

各参加者のノート PC に割り振られている LIN6ID を基にノート PC が置かれている場所を特定することが可能である。

4. 特定ノードの追跡

今回の実証実験では、合宿の運営委員にそれぞれ、役職に応じたタグを用意し、個人のタグだけではなく、追加として役職タグを携帯してもらった。そのため、合宿中になんらかの不備が生じた場合でも、委員に対して直接要請をすることが可能となる。

役職タグは各個人のタグとは別であるため、役職タグを手渡しすることにより、要請を受ける人を自由に変更することができる。

4.3 まとめと課題

本節では 2002 年度 3 月期 WIDE 合宿における iCARs システムの実証実験をまとめ、さらに抽出された問題点を述べる。これにより、今後の iCARs

の活動をより一層活発化させていくことができるだろう。

4.3.1 解析結果

今回の実証実験ではユーザに対してその時点での位置情報提供サービスを行うとともに、把握したユーザの位置をすべて記録した。これにより、合宿中の人の動きや、BoF への参加具合などを合宿終了後に解析することができる。

合宿終了後、実証実験の一環として記録の解析を行った。この際、プライバシーを十分に考慮し、個人を特定しその動きを追跡することはせず、全体的な数のみの解析を行った。

解析の結果、人の動きの大まかな流れがわかり、合宿全体における人々の活動具合を調べることができた。図 4.4 にその解析結果のグラフの一部を示す。

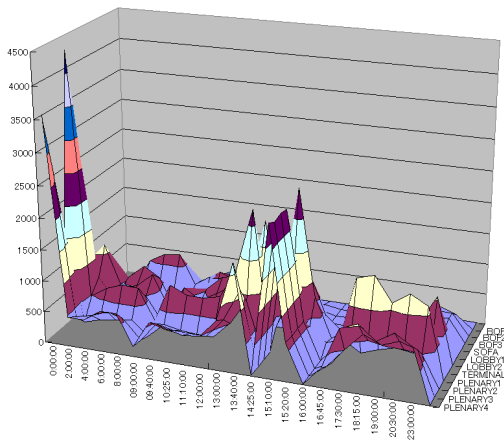


図 4.4. 解析結果 (部分)

4.3.2 まとめ

本実証実験では、実空間に存在するさまざまな情報をネットワークを利用して透過的に扱うことを目的として実験を行った。

実験項目として、実験参加者に無線タグを携帯してもらい、会場内部に受信機を設置することにより、他の参加者の位置情報を検出した。この位置情報をユーザそれぞれの属性として取り扱い、ネットワークを通じて閲覧、検索などの操作を行った。

また、LIN6 システムと組み合わせることにより、人の位置だけではなく、ネットワーク上に存在するホストの位置情報までも取得することが可能となった。

本実験により、ユーザの位置情報やある部屋といった単位で参加者の状況を把握することが可能となり、

合宿の運営の支援や参加者同士のコミュニケーションを支援することが出来た。

4.3.3 課題

今回の実証実験では、以下の問題点が抽出された。

- リーダの検出範囲

合宿で利用した部屋は壁が薄く、RF タグの電波が簡単に通り抜けてしまう。そのため、部屋をまたいだリーダが電波を受信してしまった。これにより、ある瞬間は部屋 A にいたのに次の瞬間には部屋 B にいる、ということが続出した。

- 検出に要する時間

タグの電波発信間隔は約 3 秒である。一方、RF リーダの検出範囲は約 10m であるため、利用者が早足で駆け抜けると、検出が不可能な場合が存在する。

このように、今回の実証実験では主に RF リーダの機能不足による課題が非常に顕著に現れた。今後は、利用者の過去の履歴を参照し、離れた場所で突然検知された場合はデータを無視することや、複数の RF リーダを組み合わせ、より正確に利用者の位置を把握することを目標とする。また、RF リーダ以外の位置情報取得システムの導入や併用利用なども検討する。

また、今回の実証実験では、利用者の位置情報を取得しても、その利用者と直接コミュニケーションをとることができない。今後、携帯電話に対する e-mail 送信など、利用者から情報を取得するだけでなく、利用者への情報の送信などをするシステムを構築し、直接的なコミュニケーションの支援システムを実現していく必要がある。