

## シームレス位置測位システム

森 信一郎<sup>†</sup> 野口祐一郎<sup>†</sup> 高木 悟<sup>‡</sup> 上村 城慈<sup>‡</sup> 藤野 信次<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 株式会社富士通研究所

<sup>‡</sup> 富士通関西中部ネットテック株式会社

携帯電話を始めとするモバイル環境では位置測位の為の様々なデバイスが実装されつつある。しかし、それらデバイスは基本的に単独使用が前提であり、相互連携が不十分であった。また、複数の測位デバイスとアプリケーションとの依存関係についても考慮がされていなかった。本研究では、これら課題に対し、単独測位デバイス、ネットワーク測位デバイスを抽象化し、場所に合わせてだけでなく、アプリケーションの要求に応じて測位デバイスを切り替える方式を提案する。また、上記を実現する上で、測位システム間の座標を含む依存関係の取り扱いについても提案する。

### A seamless positioning system

Shinichiro MORI<sup>†</sup>, Yuichiro NOGUCHI<sup>†</sup>, Satoru TAKAGI<sup>‡</sup>, Jouji UEMURA<sup>‡</sup>, Nobutsugu FUJINO<sup>†</sup>  
i Fujitsu Laboratories Ltd.  
ii Fujitsu Kansai Chubu Net-tech Ltd.

Positioning services have become popular in recent days. Many researches offer various positioning devices, such as GPS, RF-ID and mobile phones. However, these devices are intended for used independently. Moreover, these systems have not considered the coordination between positioning devices and applications. We propose the continuous devices switching platform based on abstractions of positioning devices and the application requirements. When an application requires its position and resolution to this platform, the application can retrieve the desired position suitable for the application use. We also propose a coordinate relationship between various positioning devices. Finally we developed and evaluated Ubiquitous Space and Information Services (USIS) on this platform.

## 1 緒言

今般、携帯電話に実装されるデバイスはGPSに加え、無線LAN、RFID、超音波、UWBなど屋内でも標定可能な技術が盛んに研究されている。無線LANでは、TDOA(Time Difference Of Arrival)と呼ばれる電波の到達時間差を利用した三辺測量により、誤差数メートルの精度での位置検出を実現する。またRFIDでは、タグを読み取るリーダーの位置をもとに部屋や机単位で利用者を検出するシステムが実用化されている。一方、利用者が常時持ち歩く携帯電話には、GPSをはじめ無線LAN、RFIDなどの位置検出手段が装備されつつある。屋外・屋内を問わず、いつでも人の位置を検出する環境が整ってきた。また、これらは環境に応じて使い分けの事ができ、さらに測位精度と適用環境から次の様に分類する事ができる。

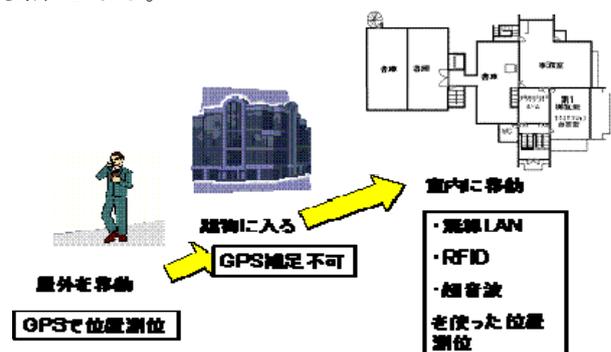
- ① 狭域測位：狭いエリアで適用される測位技術。  
代表例としてRFIDや超音波測位技術があげられ

る。精度は数cmから数十cm。

- ② 中域測位：狭域測位より大きな範囲をカバーできる測位技術。代表例として無線LAN測位技術があげられる。精度は数m。

- ③ 広域測位：屋外をカバーできる広範囲な測位技術。代表例としてGPS、OTDOAなどがあげられる。精度は十数mから数百m。

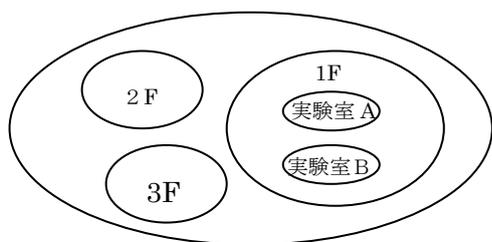
位置情報を扱うにあたっては、上記3種の状態遷移を次図の様にシームレスに扱える事が重要な要素となる。



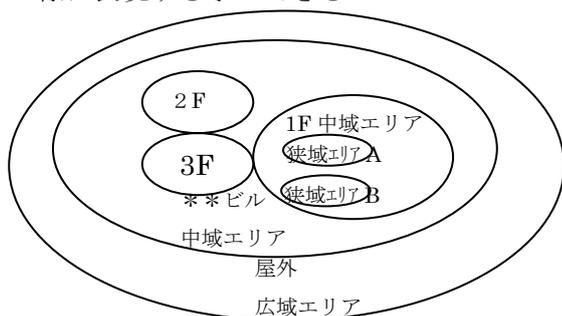
一方、位置情報を利用するサービスも合わせて考える必要がある。基本、位置情報に依存する事なくサービスが提供できる事が望ましいが、測位システムにより、精度、応答時間、測位の持続性など違うため、サービスが特定の位置情報仕様に依存している事が多い。本研究では、場所によって測位システムが選択されるだけではなく、サービスによっても測位システムが変更する必要があるという点について評価システムを構築して確認し、サービスが定義する論理空間と測位システムがサポートする物理空間の関係を整理する事でそれぞれの相互利用の利便性について述べる。

## 2 位置情報サービス

前回、筆者は位置情報サービスとして「空間情報サービス」[1]を提案した。これは、実際にサービスや情報を提供する場所に“バルーン”と呼ばれる様々な大きさを持った仮想空間を設定し、バルーンを接触する、バルーンを掴む、バルーンを移動させるといった人間の直感的な動作でサービスを起動したり結合したりするサービスである。このバルーンは実空間上にツリー構造を構築する事ができる。つまり、バルーンは自分以外のバルーンを包含する機能を有している。この自分以外のバルーンを包含するバルーンの事を特にディレクトリバルーンと呼んでいる。これにより、サービス間の依存関係を表現している。



この考え方は前項で定義した測位環境分類とこれから論じるシームレス測位技術の測位デバイスの考え方と非常によく似ている。つまり、上記測位環境はこのディレクトリバルーンの考え方で次の様に表現する事ができる



この様に場所を抽象化して表現する事で、それぞれエリアの定義と相互の関係を示す事ができる。この考え方はシームレス測位座標系変換を考える上で必要な考え方である。つまり、自分の所属する座標系がどこの座標系に依存しているかを知る事により、それぞれの相対座標系の相互関係が明白になる。この様に、サービスを定義する論理的座標系と測位デバイスによって定義される物理的座標系（例えば電波の届く範囲など）は基本的に抽象化された場所として共通定義する事でお互いのリンクを容易にし利便性向上を期待できる。しかし、サービスは論理的な座標系を定義できるのに対し、測位デバイスによって定義させる座標系は物理的に（例えば電波の届く範囲など）によって定義されるため、必ずしも共通定義できるとは限らない。

## 3 関連研究

### 3.1 Pseudoliteシステム[2]

GPSを使った測位方法による屋内での使用は衛星電波強度が小さくなるため測位をする事が困難である。その為、このシステムでは屋内に擬似衛星を設置し、屋外測位から屋内測位をシームレスに実現している。しかし、擬似衛星番号の取得や装置の構造が複雑である事など課題が残っている。また、屋内での利用の場合はマルチパスが発生し精度劣化が発生する。

### 3.2 屋内シームレス位置情報システム（日立）[3]

エリア毎に測位方式の優先度を選択設定が可能な測位システムである。複数の測位デバイスを使って同じ座標系に収容する事が可能である。

### 3.3 位置表現を考慮したシームレスな位置情報取得のためのプラットフォームの提案と実装[4]

ネットワーク側に複数の測位システムを収容しモバイル端末の測位情報から測位位置座標を変換し端末に通知している。座標変換の際、位置参照系と呼ばれる位置表現構造を用いて行っている。これは、本論文で説明する位置の抽象化と同様なものであり、位置情報を扱う上で非常に重要な考え方である。

### 3.4 携帯基地局を使った測位システム

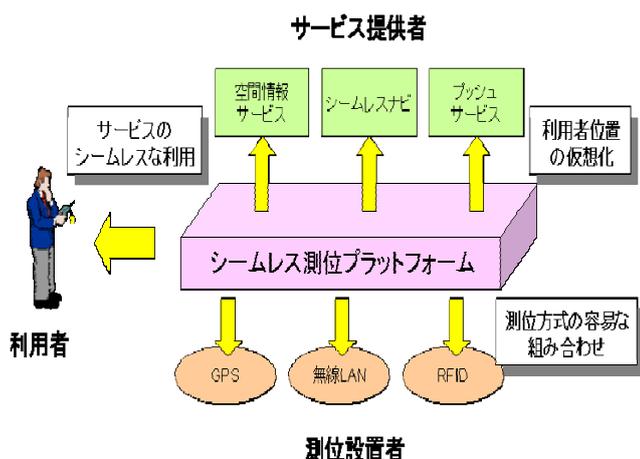
WCDMAの基地局を使った測位技術である。近年の携帯端末にはGPS機能が装備されており、GPS衛星の補足ができない時に基地局からの電波伝播

時間を測定し自己位置を計算する。しかし、携帯端末の基地局は一般的にそれほど高い位置に設置されているわけではない。その為、被測定端末に届くまでの電波伝搬に多くのマルチパスが発生し測位精度の劣化が発生する。

## 4 シームレス測位技術

### 4.1 概要

以上の背景から筆者は利用者の位置を統一的に扱える仕組みを検討し、複数の測位系を統合するシームレス測位プラットフォームの検討を進めている。



シームレス測位は位置測位系の違いを吸収し、アプリケーションに対し仮想化した利用者位置を提供する。従ってサービス提供者は多種多様な測位方式の違いを意識することなく、利用者位置を使った容易なサービス記述を可能とする。

またサービス利用者には、位置測位系を使用するための煩雑な端末操作を不要とする。これにより、利用者の移動によって使用する測位系が切り替わっても、位置情報サービスのシームレスな利用が期待できる。

一方、位置測位装置の設置者には、精度、標定範囲、設置コストなどの特性を考慮した複数測位技術の容易な組み合わせを可能とする。

例えば、ある施設内の利用者位置を検出する場合を考える。無線LANの精度は低い、標定範囲が広い、少ない測位機材で施設内をカバーできる。一方、RFIDは、標定範囲が狭いため多くの測位機材の設置が必要だが、高い精度での測位が可能である。よって無線LAN、RFIDをそれぞれ単独で使用するよりも、施設全体は標定範囲の広い無線LANで面的にカバーし、利用者の動線のポイントではRFIDにより高精度に位置検出する

ことで、設置コストやサービスの質向上が期待できる。

### 4.2 課題

前述のシームレス測位プラットフォームを実現する上で、我々が着目した課題について述べる。

まず位置情報サービスのシームレスな利用のためには、利用者がその場所に移動すると測位系を直ちに使えるようにする仕組みが必要である。施設や部屋などに設置された測位系を使う度に、煩雑な設定が必要では利便性を著しく低下させる。特に利用者が初めてその場所を訪れた場合、そもそものような測位系が設置されているかわからず、使用方法も不案内のため、設定の自動化が求められる。

またアプリケーションに対し、利用者位置を仮想化する仕組みも課題である。その際、同一エリアに複数の測位系が存在する場合は問題である。すなわち精度、応答速度などのアプリケーション要求に対し、相応しい測位系を選び出す仕組みが求められる。さらに位置情報の表現形式となる座標系は、緯度経度(WGS84)、ユークリッド座標、論理座標(例えば部屋番号)、基準点の違う座標系など様々である。つまりアプリケーションの要求する座標系と測位系が異なる場合、適切に変換する仕組みが求められる。従い、端末が使用するアプリケーションによって測位システムが違う、アプリケーション毎に違う測位システムをネットワーク側で管理する事は困難、という観点から測位システムの選択はモバイル端末側に組み込まれる方が利便性が向上する。

### 4.3 アーキテクチャ

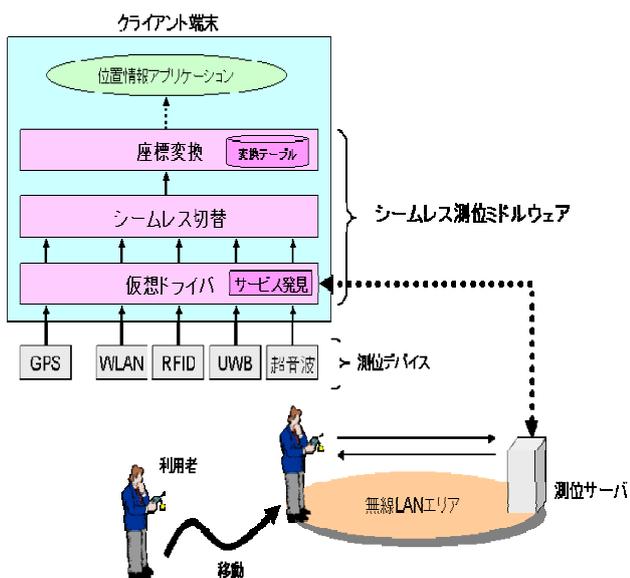
我々は、前述の課題に対し、その場所で利用可能な測位系を発見しながら、アプリケーションの要求に応じて最適な位置情報を提供するシームレス測位ミドルウェアを提案している。本ミドルは仮想ドライバ層、シームレス切替層、座標変換層から構成する。

仮想ドライバ層は、測位方式毎に異なる位置取得手順を統一的に扱えるようにしたドライバである。例えば、端末位置を管理する測位サーバへの問合せが必要な超音波と、端末のみの単独測位が可能なGPSでは、位置取得手順が大きく異なるが、この違いを吸収する。また仮想ドライバのサービス発見機能は、その場所の測位サーバを自動的に検出し、利用のための設定を自動化する。利

ユーザーにとって初めての場所でも測位デバイスプロファイルがありさえすれば直ちに位置測位可能となる。

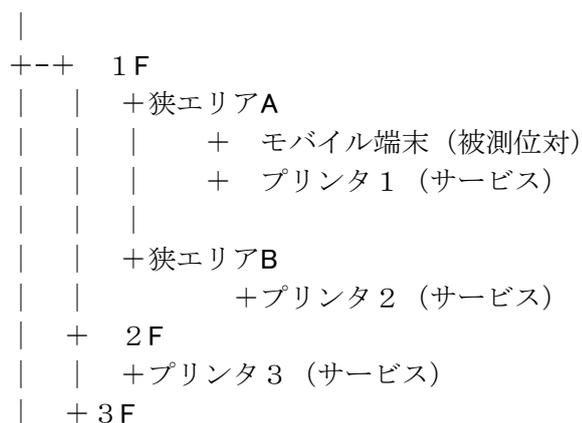
シームレス切替層は、複数の測位情報の中からアプリケーションの要求性能に合致するものを選択する機能である。要求性能としては、位置の精度や測位速度などである。

座標変換層は選別された測位情報をアプリケーションの要求する座標系へ変換する。これらにより、サービス記述者は、多種多様な測位系を意識することなく、容易なアプリケーション開発が可能となる。



例えばエリアが次の様に抽象化定義されている場所を考え、モバイル端末が狭エリア A にいるとする。

\*\*ビル



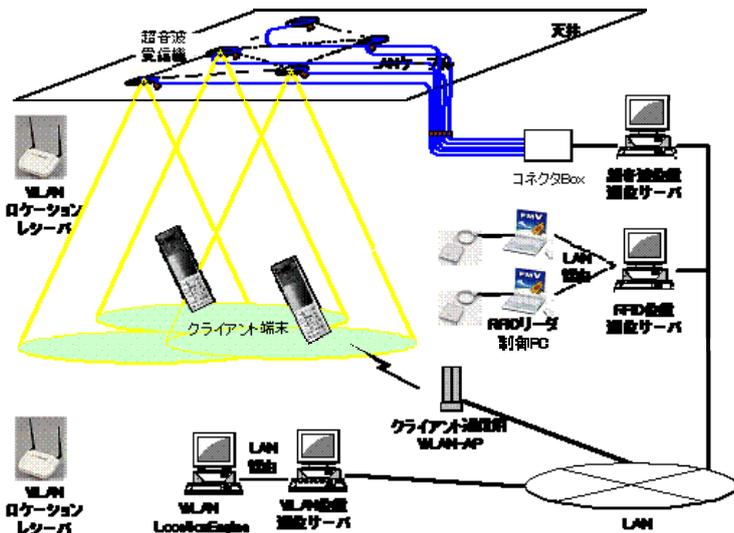
ここでは、狭エリアA、狭エリアB、1F、2F、3

F、XXビルの6種類の座標系が存在している。また、狭エリアAの座標系は1F座標系に依存し、1F座標系は\*\*ビル座標系に依存している。モバイル端末は狭エリアAで測位した際、自己が狭エリアAにいる事を認識しかつ、狭エリアA座標系で自己の位置を測定する事ができる。また狭エリアAのサービスを検索するとプリンタ1を発見し自己とプリンタAとの相対位置を把握する事ができる。しかし、狭エリアAから狭エリアBのサービスであるプリンタ2を発見したり、自己とプリンタ2との相対位置を把握する事は困難である。そこで、自己の座標系を狭エリアAから1F座標系に移すと自分の依存する狭エリアAならびに狭エリアBを発見し、狭エリアBのプリンタ2サービスを発見する事ができる。座標変換層は上記の様な座標系依存テーブルをネットワークから入手しており、測位システムから通知されるエリア名から自分の所属する座標系と依存関係を知る。そしてアプリケーションの要求に応じて各座標系に変換を行う。ここでは、サービスを管理するアプリケーションレイヤーの座標系と測位デバイスの座標系(例えば狭エリアA)が同じ範囲のエリア管理として論じているが、先に述べた様にこれは必ずしも一致させる必要はない。測位システムがサポートする範囲と論理的に展開されるサービスは独立することも可能だからである。しかし測位系のスペック(測位精度、応答速度など)を考えるとサービスは測位システムのスペックに依存している事が多いので、エリア管理が一致している方が双方において管理が容易となる。

## 5 評価システム

### 5.1 評価システム概要

本アーキテクチャの有用性を検証するため試作したプロトタイプについて述べる。なお今回は、仮想デバイス層およびシームレス切替層を試作し評価を行った。プロトタイプの構成を下図に示す。位置測位系としては無線LAN、超音波、RFID、GPSを適用した。

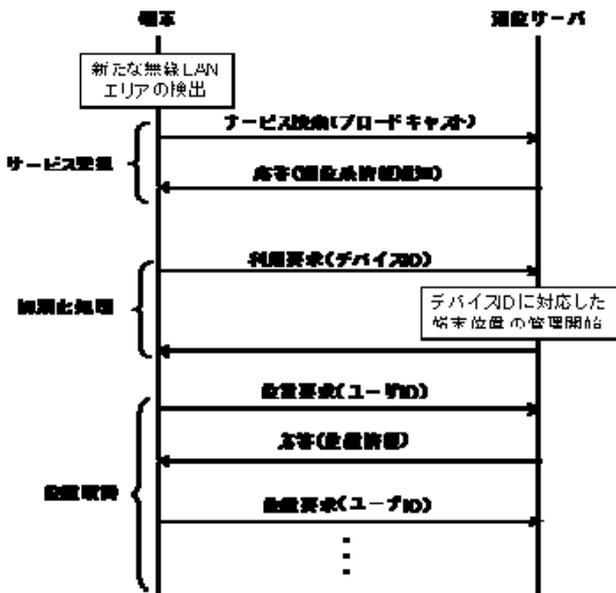


クライアント端末は無線 LAN (IEEE802.11b) を内蔵する IP 携帯電話を使用した。本端末は RFID タグを内蔵し、また CF のインターフェイスにより、CF カード型の超音波発信機や GPS レシーバを装着する。このため本端末では、無線 LAN、RFID、超音波、GPS など複数の位置測位機能を同時に検出できる。

本システムでは、測位系の設置単位を無線 LAN のエリアとした。今回使用した IP 携帯電話に限らず、多くの携帯端末に無線 LAN が採用されており、屋内における測位サーバとの通信は無線 LAN が前提となるため、妥当な単位である。

### 5.2 端末/測位サーバインターフェース

端末と測位サーバ間のインターフェースに関し、その場所に利用者が移動してから測位開始までのシーケンスについて述べる。



端末は、SSID などの無線 LAN エリアを識別する手段により、新たに無線 LAN を検出すると、ブ

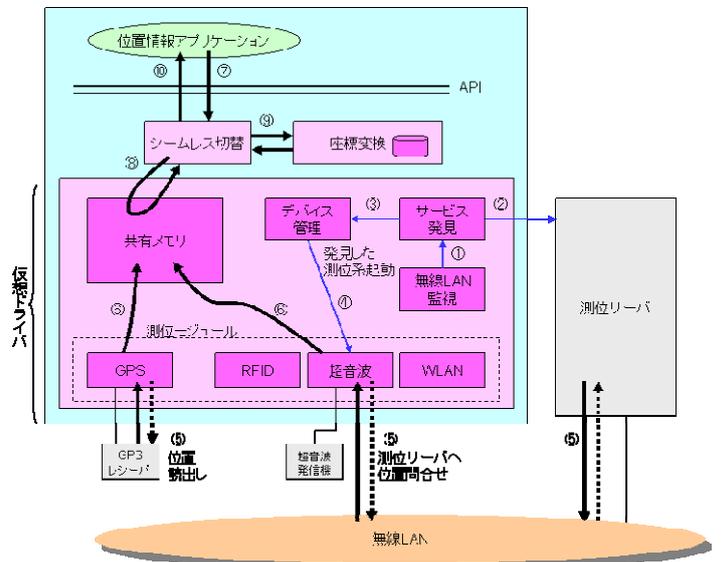
ロードキャストパケットで、その場所にある測位サーバを検索する。各測位サーバは、その応答で、測位系の識別情報、測位方式、測位スペック(精度、応答速度など)を測位系情報として端末へ通知する。

次に端末は測位方式に応じたデバイス ID を測位サーバへ通知する。ここでデバイス ID は、測位サーバがデバイスを識別するための ID であり、例えば RFID のタグ ID、超音波の発信機 ID、無線 LAN の MAC アドレスなどである。以上の初期化処理後、デバイス ID により端末は測位サーバへ自己の位置取得を要求する。

なお今回の試作では省略したが、測位系の使用を正当な利用者だけに限定する場合は、上述の初期化処理時に適切な認証処理を行えばよい。

### 5.3 シームレス測位ミドル

シームレス測位ミドルウェアの実装の詳細について、仮想ドライバを中心に述べる。



①～④ 端末は無線 LAN のアクセスポイントを新たに検出すると、サービス発見機能により、測位サーバを検索し、発見した測位系に対応の測位モジュールを起動

⑤～⑥ 起動された測位モジュールは、測位デバイスや測位サーバとの間で初期化処理後、位置を定期的を取得し共有メモリへ登録

⑦～⑩ アプリケーションがミドルウェアへ位置情報を要求すると、シームレス切替は共有メモリを参照し、要求性能に合致する測位系の位置情報を通知する。このときアプリケーションの要求する座標系と測位系を比較し、必要であれば座標変換処理を行う。

#### 5.4 仮想ドライバ

仮想ドライバは、測位系に依らず、利用者の位置を統一的に扱えるようにしたドライバである。ここでは仮想ドライバにて統一化した位置情報のデータ構造について述べる。

以下の `position_response_t` が実際のデータ構造である。各測位モジュールは取得した位置を、このデータ構造に従って共有メモリへ登録し、シームレス切替・座標変換の上位機能は、これを参照して処理を行う。なお本実装では、ミドルウェアがアプリケーションへ通知する位置情報も同一のデータ構造とした。

```
typedef struct{
    Cstring AreaName; /*エリア名称*/
    kindof_engine kindof_engine ;
        /* デバイス情報 */
    kindof_spec_t kindof_spec;
        /* 測位スペック */
    kindof_data_type_t
        kindof_data_type ;
    /* データ形式 (測位時座標系) */
    position_t base_position;
        /* 基準位置 */
    position_t position; /* 測位結果 */
} position_response_t ;
```

```
typedef enum{
    KIND_NONE=0 , /* 無し */
    KIND_STANDALONE_GPS=1, /* 単体 GPS */
    KIND_WLAN=2, /* 無線 LAN */
    KIND_SUPER_SONIC=3, /* 超音波 */
    KIND_RFID=4, /* RFID */
    KIND_LAST
} kindof_engine_t ; /* 測位デバイス
                    種別 */
```

```
typedef struct{
    int resolution ; /* 精度 */
    int response_speed ; /* 応答速度 */
} kindof_spec_t ; /* 測位スペック */
```

```
typedef enum{
    TYPE_NONE= 0, /* 無し */
    TYPE_XYZ_POSITION= 1, /* EUCLID */
    TYPE_WGS_POSITION= 2, /* WGS */
    TYPE_ZONE_ID= 3, /* ZONE */
    TYPE__LAST
} kindof_data_type_t ; /* データ形式種別 */
```

```
typedef struct{ /* 位置情報 */
    Cstring position_xyz;
    Cstring position_wgs;
    Cstring position_zone;
} position_t;
```

(注)

```
position_xyz, position_wgs,
        position_zone のイメージ
position_xyz:
        X=XXXXX. XX, Y=YYYYY. YY, Z=ZZZ. Z
position_wgs:
        Lat=XXX. XXXXXXXX,
        Lon=XXX. XXXXXXXX,
        Alt=XXX. X
position_zone: Zone=XXXXXXXXXXXX
```

また、**AreaName**はその測位システムで測位する場所を抽象化した表現である。**Zone**は位置を抽象化名称で表したものである。例えばプリンタの位置を例にとると、通常のxyz座標ではなく、「主管研究員専用プリンタ」といった表現を使用できる。

#### 5.5 シームレス切り替え

シームレス切替は、共有メモリからアプリケーションの要求と測位情報データの相関をとり、最も相関値の高い測位情報を特定してアプリケーションへ渡す。

なお利用者が、2つの測位系の境界付近を移動する場合には、頻りに測位系が切り替わるチャタリングが発生し、アプリケーションには、2つの測位系での位置が交互に通知され、不都合である。そこで実装にあたっては、チャタリング防止のためのガードタイムを設け、一定時間は同一の測位系で通知することにした。

## 6 評価

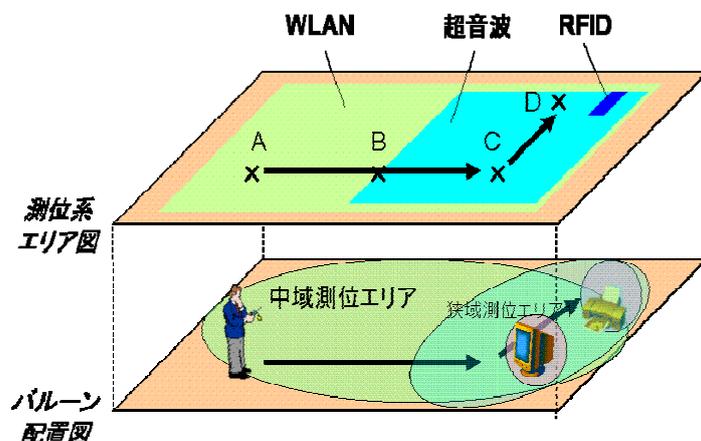
試作したシームレス測位システムが、アプリケーションサービスの要求に合わせて最適な測位システムを選択するかを評価する為、空間情報サービス[1]プラットフォームを使用して検証を行った。

空間情報サービス[1]では、触れる、離す、掴む、移動するなどの利用者の身体的動作に応じて、バルーンに関連付けられたサービスが実行される。今回の評価では、中域測位エリアに無線 LAN 測位システムを使い、狭域測位エリアに超音波 3D 測位システムと RFID 測位システムを使用した。評価端末は中域測位エリア外から進入する。中域測位エリアに進入した評価端末は中域測位デバイスである無線 LAN 測位システムを検出しプロフィールに従ってデバイスドライバを実装し自己位置を取得する。今回は無線 LAN エリアで同時に超音波測位システムと RFID 測位システムを端末側がプロフィールに従って実装する様にした。しかし、物理的に超音波測位システムも RFID 測位システムも使用できる状態でないので、シームレス切替層では無線 LAN 測位のみ稼動としてアプリケーション側に通知している。空間情報サービスアプリケーションは評価端末が中域エリア内でサービスを探索すると狭域エリアを発見する。評価端末は中域測位エリアを横切って狭域測位エリアに侵入する。

今回は中域測位エリアと狭域測位エリアに対し、シームレス測位の有する機能・性能を評価した。中域測位エリア内サービスについては、利用者の歩行に対し、大まかな位置が測位できれば良いので、精度 5.0m 以内、応答速度 3.0 秒以下とした。狭域エリア内サービス（空間情報サービス[1]）については、機器間でのドラッグ&ドロップなどジェスチャによる利用者指示を高精度・高速に検出する必要があるため、精度 0.5m 以内、応答速度 0.5 秒以下とした。

次図に評価の際のバルーンの配置図と測位系のエリア図を示す。なお A~D は評価者の動線のポイントを表す。評価者は中域測位エリアを横断しながら移動し (A~B)、狭域エリアに侵入 (B~C)、ディスプレイに表示されたコンテンツをドラッグ&ドロップによりプリンタへ印刷する (空間情報サービス機能) ここでドラッグされる情報はディスプレイサービスコンテンツでこれは超音波測位システムでカバーされている狭域エリアに設定さ

れている。ドロップされる場所はプリンタサービスでこれも同様に狭域エリアに設定される。狭域エリアには別に RFID 測位システムも設置されており、同じ座標系で超音波測位と RFID 測位が共存している。(C~D)。



また下表はシームレス測位のプロトタイプで使用した測位系の諸元である。

デバイス名	精度	応答速度	形式	
			形式	形式
GPS	10.0m	10.0sec	WGS84	(Lat, Lon, Alt)
超音波	0.3m	0.1sec	Euclid	(x, y, z)
無線 LAN	3.0m	1.0sec	Euclid	(x, y, z)
RFID	0.05m	0.1sec	Euclid Zone	(x, y, z) Zone-ID

上表の設定から、進入時中域測位エリアに対しては、A : WLAN、B : 超音波、C : RFID の測位系が端末に自動的に実装された。しかし、利用できる測位システムが A だけのため、狭域エリアまでの測位は A を使って移動した。狭域エリアに侵入した時点で B の実装デバイスが動作を開始し、この時点で位置情報の品質が空間情報サービス[1]を使うための仕様を満足したため機器バルーンの発見が可能となり、空間情報サービス[1]のコンテンツドラッグが実行できた。その後、被测位端末はプリンタに移動しプリンタにドロップすると表示されていたコンテンツが印刷されるのを確認した。また、プリンタ上で超音波を遮ってプリンタ近傍に設置している RFID リーダに被测位端末の ID を読み込ませても同様にコンテンツが印刷されるのを確認した。

狭域エリアから中域エリアに戻る際、論理的に

構築している狭域エリアと、物理的に測位が可能な超音波測位システムの範囲及び、無線 LAN の測位精度の関係から超音波測位ができているにもかかわらず狭域エリア外という測位結果と、無線 LAN の精度悪化により、狭域測位エリア外であるのに内と判断された事から端末の State が混乱する場合があった。これは、論理エリア外での物理レイヤの測位における、先述したチャタリング防止用ガードタイムに対し、座標変換層での適切な座標の変換が行なわれなかった事に起因する。

また、評価者からは、測位系切替時に位置情報がずれることに対する違和感（B における切り替え）や、RFID の場合、リーダの場所をあらかじめ確認する必要があることへのわかりにくさを指摘するコメントもあったが、最適な測位系へ自動的に切り替えることによる、サービスの質向上や簡便さを評価する声が多かった。

## 7 今後の展開

今回は空間情報サービス[1]、時空間限定型オブジェクトシステム「SpaceTag」[5]の様なサービスを展開するにおいて、そのサービスを支える根幹技術である複数の測位システム統合を試作し検証した。これにより、サービスに合わせた位置測位システムのシームレスな切り替えが可能となった。あわせて、物理測位エリアと論理エリア及び座標系をツリー構造にする事によって、それぞれのエリアとの依存関係について検討を行なった。今後はこれら依存関係をテーブル化したプラットフォームの検討を進めたいと考えている。

また、複数のエリアがお互いに重複した場合についても検討する必要がある。例えば、エリア A、エリア B がエリア C を重複する場合、エリア C に存在するサービスをエリア A、エリア B の双方から利用する方法の検討である。これらの開発によって、使用者が位置に依存したサービスを自然に扱える環境を目指す。

## 参考文献

- [1] 森信一郎, 畠添菜美, 塩内正利, 原政博, 藤野信次, “実空間定義型ユビキタスインフォメーションサービス(空間情報サービス)”, 情報処理学会研究報告, モバイルコンピューティングとワイヤレス通信研究会, 2005-MBL-35, pp.201-206, 2005
- [2] Ford T., J. Neumann, N. Tos, W. Petersen, C. Anderson, P. Fenton, T.

Holden & D. Barltrop, “HAPPI – a High Accuracy Pseudolite/GPS Positioning Integration,” 9th Int. Tech. Meeting of the Satellite Division of the U.S. Inst. of Navigation, pp.1719-1728, 1996

[3] 木下他, “屋内外シームレス位置情報システム”, <http://www.hitachi.co.jp/New/cnews/month/2005/03/0330a.html>, 2005

[4] 斎藤 充治, 戸邊 論, 植原 啓介, 砂原 秀樹, “位置表現を考慮したシームレスな位置情報取得のためのプラットフォームの提案と実装”, 第46回プログラミングシンポジウム報告集, pp.95-106, 2005

[5] 森下健, 中尾恵, 垂水浩幸, 上林弥彦, “時空間限定オブジェクトシステム

SpaceTag: プロトタイプシステムの設計と実装”, 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.10, pp.2689-2697, 2000

[6] 野原学, 児玉泰輝, 鈴木康悟, 塩田岳彦, “W-CDMA 技術の開発”, 技術情報誌 (Pioneer R&D), pp.16-26, Vol. 11, No.2, 2001