

実空間定義型ユビキタスシステム：空間情報サービス (USIS)

森 信一郎 畠添 菜美 塩内 正利 原 政博 藤野 信次
株式会社富士通研究所

空間情報サービス (USIS : Ubiquitous Space and Information Services) 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。また、いろいろな場所に点在するバルーンは、位置情報を持ったファイルシステムとして構成/管理され、その場所の特徴を生かした、いままでにないビジネスやコミュニケーションを創造することができる。本論文では、実現形態の一つとして室内超音波システムを提案し、実施、評価を述べる。

Ubiquitous Space and Information Services(USIS)

Great potentiality to the world of links to the real 3D space

Shinichiro MORI, Nami HATAZOE, Masatoshi SHIOUCHI, Masahiro HARA, Nobutsugu FUJINO
Fujitsu Laboratories Ltd.

Ubiquitous Space and Information Services (USIS) would change the way to access to information by the use of the Balloon. Balloon is a virtual space posted in real 3D space where a variety of services and information is provided. Namely, Balloon is nothing but the gateway to the services and information. One example is that, by the intuitive manipulation of the Balloon with our hands, including touching, grasping, dragging, we can experience the easy/handy operation of any office/household appliances. On the other hand, all the Balloons scattered around are managed by a hierarchical directory structure like a computer file system but has position information of each Balloon, which we call Spatial File System (SFS). We can take advantage of its ability to have regional features to develop a new potentiality of business and communications.

1 はじめに

携帯電話をはじめとする、携帯情報端末の普及によって位置情報を使ったサービスが活性化している。総務省は、「2007年4月以降、携帯電話事業者が新規に提供する第3世代携帯電話端末については、原則としてGPS測位方式による位置情報通知機能に対応する」としている事もあり、今後もこの方面のサービス拡大が期待されている。

しかしながら、サービスの普及度は低い。その原因が著者等は空間という特異な性質をうまく利用できていない事にあると推定している。本報告はこの空間を単なる位置という表現ではなく、その位置を占めるあたかも有形化された情報として扱うという違った新しい側面から捉えると言った新しい位置情報利用の考え方を提案している。本提案は理論分析

のみでは効果が明確化できないと考えられるので、現実のシステムでの試作により実装評価を試みた。

2 空間を媒体とする情報整理

2.1 被整理情報と整理方法

新しい側面とは、情報を空間という媒体を使って整理する事である。例えば、空間に情報を配置しその情報を移動したり、グルーピングしたりする事である。それは、物理空間(ユークリッド空間)上に箱を用意し、その箱に情報を収納し整理したり、その箱をもっと大きな箱に収納する事とよく似ている。その箱を仮想の論理空間に定義し、座標を物理空間にリンクさせる事により、仮想空間に定義された箱は物理空間に写像となって現れるはずである。空間は少なくとも以下の3つの要素から構成される。

- ・位置情報

- ・ 占める大きさ
- ・ 存在する時間

この要素の一つである「占める大きさ」は、それを感じる事はできても、見たり、触れたりすることはできない。従い、人は空間が論理的なものなのか、物理的なものなのかを区別する事ができない。これが今回提唱する新しい位置情報利用の考えの根本である。

2.2 実空間で行う動的な情報整理

これまで情報はコンピュータというサイバーな空間で扱われてきた。つまり無形なものとして目で見ることができても触る事のできないものであった。パソコンのユーザインターフェースが高度化し、画面上では仮想的に情報を掴むといった概念も用いられるようになった。この無形な情報を仮想的に定義した箱に収納し写像として物理空間に有形化情報として定義する。著者等はこの様な無形情報をバーチャル的に有形情報に見立てて物理空間に定義するサービスシステムを「空間情報サービス」と呼びこの物理空間に定義された仮想情報を「バルーン（見えない風船というイメージをしている）」と呼んでいる。

3 関連研究

これら情報の有形化に関して関連した研究として香川大学の垂水が提案しているSpaceTagがある。[8][9][10][11]

3.1 時空間限定型オブジェクトシステム：SpaceTag

SpaceTagには次の属性がある。

- ・ 有効空間・時間 {中心座標 {緯度, 経度, 高度} と有効半径, 時間帯}

これは先ほど述べた3つの要素と同じものである。この要素は情報の有形化という概念に必要な考え方である。特に現実空間の空間領域が与えられる事は重要である。

4 空間情報サービス

前項のSpaceTagの実証実験では携帯電話でその情報を検索したり、ある特定のエリアにタグを貼るかのように情報を設定する実験が行われている。本論文で言う空間情報サービスでは空間に等価的にタグを設定するところは同じであるが、さらに、その物理空間に定義された有形化情報を人の動きで捕まえたり、移動させたり、また、情報を3次元的にツリー構造に構成する等の操作的概念を加える。それによって情報/サービスの関連付けの整

理が高度化される事を意図している。この概念に基づいた空間情報サービスについて説明する。

4.1 空間情報サービス「バルーン」の定義

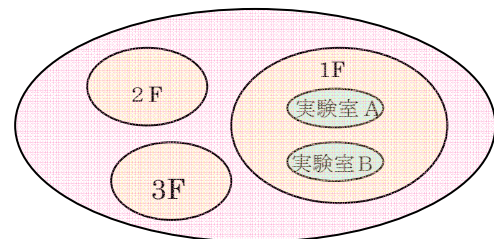
前項にて説明したSpaceTagと同様、定義されるバルーンは下記特徴を有している。

- ・バルーンは物理空間にリンクした仮想空間にて定義される。
- ・バルーンは物理空間を占有する領域が与えられている。

この2つの特徴からバルーンはあたかも物理空間上に存在する有形な情報として扱う事ができる。端末を通して見たり、掴んだり、移動したりする事も可能である。

4.2 空間情報サービスの機能

空間情報サービスは情報を空間という媒体を使って整理するという発想から検討が進められてきた。その為、現在多くのコンピュータで使われているファイルシステムに似た整理方法が使われている。例えばツリー構造を持ったディレクトリ構造を物理空間にマッピングしている。これは、実験室Aというバルーンと実験室Bというバルーンが一階というバルーンに從属し、2階というバルーンと3階というバルーンが1階というバルーンに並列に位置し、そしてそれらが建物Aというバルーンに從属するといった整理方法がとられている。この様に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。



この考え方により、複数の座標系（WGS84の様な絶対座標系からローカルな座標系まで）を処理する事が必要なシステムにおいては座標軸毎にバルーンを設定する事ができたり、また、ひとつのディレクトリをサービスの最小単位と考え、駅ディレクトリや学校ディレクトリなど地域にあわせた「ディレクトリバルーン」を設定する事も可能である。サービスは地域に合わせてユニークに存在するので、

その地域に入るといった情報とその地域にいるという情報、及びその地域から出るという情報を扱う事により、地域毎のサービスを容易に扱う事が可能となりさまざまな地域とサービスを一元的に表現する事ができるようになる。この概念は、従来のファイルシステムの延長上にある様にすべきと著者は考えている。従って、このシステムでは空間上のバルーンをコピーしたり、リンクしたり、検索したり等、現在使われているファイルシステムのコマンド系をそのまま適用している。つまり、ネットワークで使われているファイル整理方法をそのまま物理空間でも利用できるように検討を進めている。これにより、情報のフィルタリングもその場に応じたサービスの発見も容易に実現可能と考えている。

5 実装システム

これまで述べてきたように、仮想空間に定義する情報を物理空間に遷移させると人はそれが現実に存在するのか、論理的に存在するのか判断する事は困難になる。この様に物理空間上に占有範囲を持つ論理的な情報を論理的に有形化されたバルーンとよんでいるが、実際どの様に使うことができるのか、情報を有形化して捉えることができるのかを検証する必要がある。そこで、実際に室内の実空間にリンクした論理空間上の情報を携帯端末を使って検索し、移動したり、他の情報と結合したりを人のアクションに合わせて動作する実装システムを試作した。

5.1 実装概要

空間情報サービスとは、情報を物理的時空間を含む多次元空間にシンボリックにリンクし、それをサービスとして提供しようとするものである。物理空間（ユークリッド空間）を利用する空間情報サービスには高精度な3次元測位が必要不可欠となるため、今回超音波を用いた三次元測位システムを実験的に構築し、評価を行った。この3次元測位システムと、空間を管理する空間情報データベースを結合し、有形化されたバルーンを操作できる様にした。

5.2 超音波測位システム

構築した超音波システムは概ね以下の通りである。実験室天井の複数箇所に超音波受信モジュールを設置する。実験用に開発したユビキタス IP 携帯端末に超音波発信モジュールを装着し超音波をでバースト送信する。受信

モジュールで受信した超音波を測定し測位モジュールに転送する。そこで伝播時間から伝播距離を演算する。測距演算結果をシリアル経由で測位サーバに転送し、そこで送信機の測位演算を行う。測位演算結果を LAN 経由で空間情報サーバに転送し、そこで評価を行う。なお、受信モジュールを3個しか利用できない場合は超音波の送信タイミングを受信側に通知する必要があるため、そのための赤外線を受信側と同時期に用いた。赤外線センサは超音波の干渉や誤作動を防止する補助手段としても用いることができる。また超音波センサおよび赤外線センサは指向性が強いので、複数のセンサを搭載することで対処した。3次元空間の測位演算は、球を表す2次の非線型方程式を摂動法により線形近似し、繰り返し演算により解く方法を用いた。実験システム

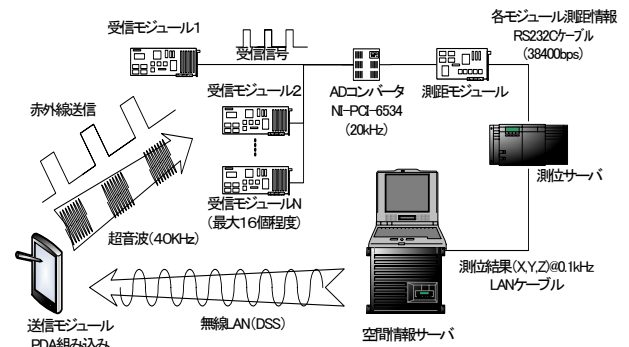


図1. 実験システム概要

の機能ブロック概要を図1に示す。

3次元の測位システムとしてはGPSが挙げられる。しかし、周知の様に屋内で使用する事は困難である。そこで屋内でGPS衛星を模擬した衛星模擬モジュールを室内に配置し、屋内でGPSシステムを構築する方法[3]が提案されている。しかし、屋内での電磁波利用は嫌われることが多いので、GPS信号を音波に変えて構築する方法[4]が研究されている。すなわち、音波をGPS信号のように擬似乱数コードによる直接スペクトラム拡散(DSS)を行うというものである。ただしDSSを伴うとシステムが複雑になるため、より簡単な方法として測距モジュールを時分割で駆動させるスキヤニング法[5]や、相互相関の低いパルスを用いる方法[6]などが研究されているが、これらは送信モジュール数が増えると効率が悪くなる。以上の様に前者のコンフィギュレーションは比較的システム構成が複雑となる。今回の目的は3次元測位の実験検証であるため、ユーザ数を限定

する必要があるという制約はあるが、システム構成が簡単な後者のコンフィギュレーションを採った。音波による測位は、比較的簡単な回路構成で送受信できるためホワイトボードの読み取り装置 [1] でも実用化あるいは研究開発されているが、室内空間の 3次元空間を測位する場合を考えると、到達距離、指向性、マルチパスの影響などを少なくするよう工夫する必要がある。

受信モジュールは 2～3 m 程度の間隔で天井に設置した。これにより 14m 四方の部屋の空間で 3次元測位が可能となるようにした。

6 実装評価

6.1 バルーン認識精度

天井に設置した受信モジュール（モジュール ID1～3）を 3 個用い送信モジュールを静設置した場合の測距及び測位結果を示す。表 1 は各モジュールまでの測距精度、表 2 は測距結果から演算した測位精度、図 1 は測距精度の経時変化、図 2 は測位精度を 3次元表示にしたものであり、図 3 は測位精度の経時変化である。

モジュール ID	1	2	3
標準偏差 3σ	9.57mm	1.89mm	10.81mm

表 1

測位方向	X 軸 (水平)	Y 軸 (水平)	Z 軸 (垂直)
標準偏差 3σ	17.4mm	11.8mm	57.9mm

表 2

測距モジュールの分解能（サンプリング時間）は $10\mu s$ なので、理論測距分解能は、3mm 程度となるが、表 1 および図 1 を見るとモジュール 2 のみが理論値に近く、それ以外は 3 倍程度の精度となっていることが分かる。今回のシステムは超音波の包絡線を捉えているため、環境ノイズが精度に影響を及ぼしたと考えられる。しかし、表 2 および図 2、図 3 を見ると、この程度の測距精度でも測位精度は水平方向を見ると $\pm 20\text{mm}$ 程度には収まっている。なお鉛直方向の精度が水平方向に比べて悪いのは、受信モジュールをすべて天井に設置したためである。以上より、今回の実験システムにおいては、バルーンの認識精度は 50mm 程度であるといえる。

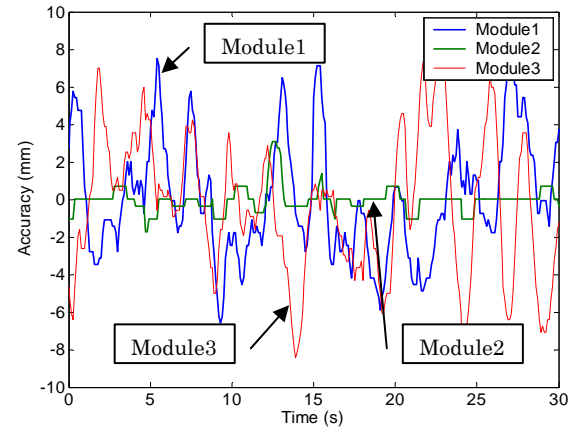


図 1. 各モジュールの測距精度の経時変化

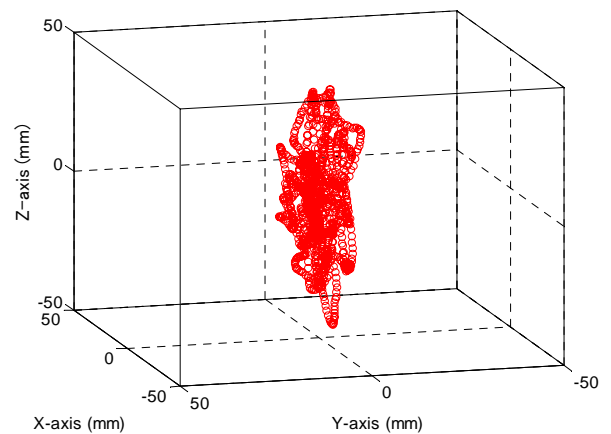


図 2. 測位精度

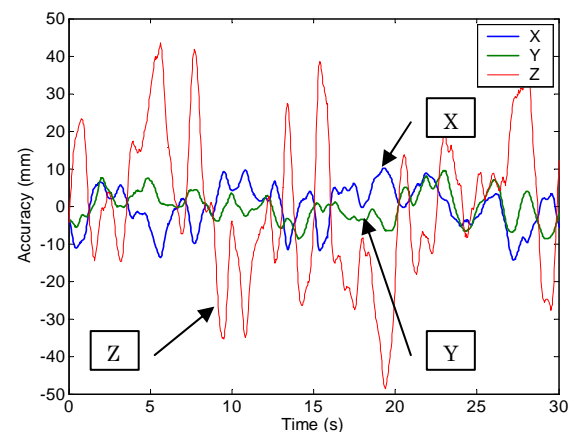


図 3. 測位精度経時変化

6.2 使用端末

今回は、携帯端末に超音波発信機を装着した試作端末を使用した。概観図を図 4 に示す。この端末は OS として Windows CE を搭載し、汎用 CF インターフェースを装備している。（CF スロットに超音波発信カードを搭載している）

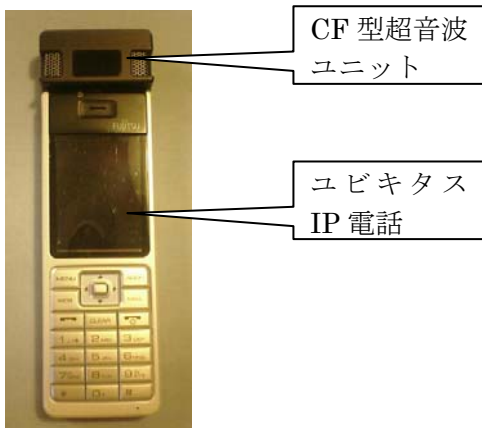


図4 超音波発信機付ユビキタスIP携帯端末
この端末に空間情報クライアントを実装し空間情報サーバと無線LANを使って連携する。機能としては、

- ・ バルーンを検出
- ・ バルーンを掴む
- ・ バルーンを移動する
- ・ バルーンをつくる
- ・ バルーン的位置を確認する 等が実現されている。上記端末は空間情報サーバからのバルーン情報を保持し、常に自己位置とバルーン位置の相対距離を測定している。これにより上記5つのコマンドを処理している。

6.3 空間情報サーバ

空間情報サーバは空間を定義する位置情報、空間占有情報、情報リンク情報などが前述したツリー構造上に整理されている。前項で述べた携帯端末があるディレクトリバルーンに侵入すると、端末からそのディレクトリ配下にあるバルーン情報を空間情報サーバに要求する。空間情報サーバは指定されたディレクトリの1階層分のバルーン情報を提供する。端末はこれを受けてその階層のバルーンを検索する。バルーンに接触すると端末はそのバルーン配下のバルーン情報をサーバに要求する。これを繰り返すことによって、特定地域情報のサービスが順次検索されていく。下記にバルーンフォーマット例を示す。(印刷サービスを提供するバルーンの一例である)

```
<guide>
  <point>
    <name>      Printer      </name>
    <category>  Baloon      </category>
    <area>      Labo.FJLab.Kawasaki.
                  kanagawa.jp  </area>
  </point>
  <latitude>   </latitude>
```

```
<longitude>   </longitude>
  <altitude>
</altitude>
  <sub-position>
    <x> 1000 </x>
    <y> 2000 </y>
    <z> 100 </z>
  </sub-position>
</position>
</point>
<info>
  <baloon-figure> ball
</baloon-figure>
  <baloon-radius> 100
</baloon-radius>
  <baloon-attribute> 3
</baloon-attribute>
  <url> URL:XXXXXX.YY.ZZ/NNNNN/. </url>
</info>
</guide>
```

この例では、位置は絶対位置ではなく、このサービスを包括するディレクトリバルーンからの相対位置で示されている。ユーザはこれら情報をその場所にいる端末から登録する事もできるし、マニュアルでサーバに登録する事もできる。

6.4 空間情報のマッピング

上記、3次元測位システムと空間情報サーバを使い、下記のようなバルーン有形成を表現するシステムを構成した。具体的には、バルーンを以下のパターンで配置し、ユーザがどのようにバルーンを認識するか調査した。壁にプレスされたレコードジャケットの前にバルーンを配置し、前項にて紹介した携帯端末を使ってバルーンをまるで3次元マウスのドラッグ&ドロップの様にバルーンを掴み、出力デバイスに移動させる事によってサービスが起動するようにした。出力デバイスAの場合は音のみが出力され、出力デバイスBの場合は各バルーンに合わせて音声と映像が表示される。デバイスCに移動させた場合はレコードジャケットが印刷される。バルーンA~Cは壁にプレスされたレコードジャケットに関連して配置された。バルーンDは物理的に何も関連されない状態で配置された。

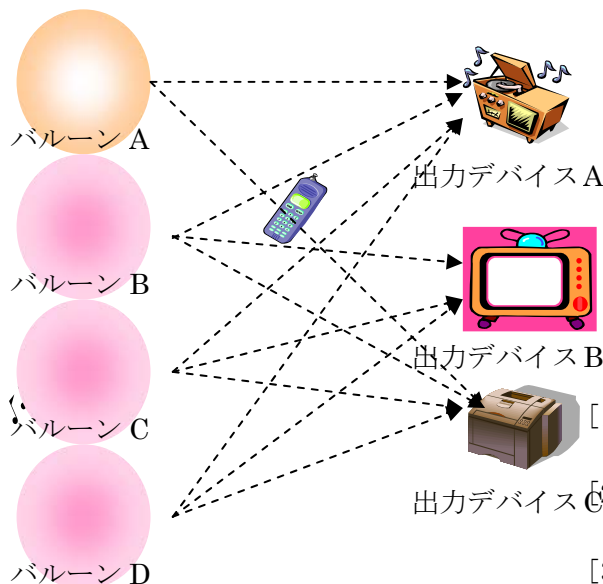


図5に携帯端末のディスプレイ表示を示す。小さな丸い部分と大きな丸い部分がバルーンをあらわしている。



図5 実験端末表示部

7 まとめ

のべ数十人に対し、上記サービスを実際に使ってもらった。結果、バルーンAからバルーンCについては3次元マウスの様に感じたというコメントが多数を占めた。同時にユーザに対しディスプレイにバルーンの状態を表示し、ユーザがそのバルーンを掴むとユーザに合わせて移動するバルーンを見せたところ、論理空間に有形化された情報を現実空間から捕捉する概念をバルーンのメタファとして容易に理解できるとの意見が多数を占めた。しかし、バルーンDにおいては、メタファとしてのバルーン認識は非常に困難であり、同じ人においてもバルーン補足再現率は非常に低い事もわかった。つまり、手がかりとなる物理的なものが無い場合、空間を認知する事は非常に困難である事がわかった。

今回の実験によって、論理空間に有形化されたバルーンのメタファは使い方によって確立可能という事がわかった。一方、実空間の認

知されている物に関連されない状態で設定されるバルーンに関しては、有形化として捉えにくい事もわかった。 今後は、これらバルーンをいかにうまく利用するかを検討が必要である。また、一元化できない位置情報をツリー構造で整理する方法や測位デバイスに依存せず、シームレスに測位する技術の検討も必要であると考えている。

参考文献

- [1].コクヨ・ミミオ ホームページ <http://www.kokuyomimio.com/>
- [2]. 日本航海学会 GPS 研究会著：GPS シンポジウム 2001, 194, 正陽文庫, 2001
- [3]. C. Kee, H. Jun, D. Yun, B. Kim, Y. Kim, B. W. Parkinson, T. Lenganstein, S. Pullen, and J. Lee, "Development of Indoor Navigation System Using Asynchronous Pseudolites," Proceedings of ION-GPS 2000, USA, 2000
- [4]. 山根章生・伊予田健敏・Y. Choi・久保田譲・渡辺一弘：擬似乱数M系列によるスペクトル拡散音波の距離計測への応用, 計測自動制御学会論文誌, Vol. 39, No. 10, pp. 879-886, 2003
- [5]. J. Borenstein and Y. Koren, "Noise Rejection for Ultrasonic Sensors in Mobile Robot Applications," Proc. of the 1992 IEEE Int. Conf. On Advanced Robotics (ICAR), 2001
- [6]. 丹沢・清弘・森：屋外移動ロボットのための雑音に強い超音波センサ, 日本ロボット学会誌, 37-1, pp. 21-29, 2001
- [7]. James Bao-Yen Tsui, "Fundamentals of Global Positioning System Receivers," Wiley-Interscience, New York, 2000
- [8]. 垂水浩幸、森下健、中尾恵、上林弥彦：時空間限定型オブジェクトシステム：SpaceTag、インタラクティブシステムとソフトウェア VI、近代科学社、pp. 1-10 (1998年12月)
- [9]. 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)
- [10]. 岡田昌也、吉村哲彦、垂水浩幸、守屋和幸、酒井徹朗：DigitalEE:分散仮想空間による協調型環境教育支援システム, 電子情報通信学会論文誌 D-I, Vol. J84-D-I, No. 6, pp. 936 - 946, 2001.
- [11]. 佐々木一郎、合田耕治、谷英和、香川考司、垂水浩幸：SpaceTag システムの評価実験、情報処理学会第 47 回グループウェアとネットワークサービス研究会、GN-47-5 (2003)