

ユビキタス環境のための非接触 IC カードを使用した 位置検出方式

渡 辺 伸 吾[†] 西 山 智[†] 服 部 元^{††}
小 野 智 弘^{††} 越 塚 登[†] 坂 村 健[†]

身の回りのあらゆるものにコンピュータが組み込まれるユビキタス環境では、コンピュータが現実世界のあらゆる情報を取得、識別し現実世界との連係動作を行なう必要性が高まってくる。このようなユビキタス環境で注目されているサービスとして位置情報を活用したコンテキスト依存のサービスがある。位置に依存したサービスを提供するためには、コンピュータが自分の位置を知るだけでなく、環境に存在する物体の位置も知る事が必要になる。本稿では、屋内での利用を前提とし、頻繁に移動しない物を対象とした位置情報の取得方式を提案する。提案手法では、パッシブ方式と比較して精度の良い位置情報が得られるアクティブ方式をもとにして、従来方式で対象物に直接取り付けられていたセンサ部の代わりに非接触 IC カードを貼付した位置情報の取得を行なう。また、提案手法を実装し、実装したシステムを使用して対象物の位置測定に用いる場所の違いによる、測定誤差について測定と評価を行なった。

Location Detection Method for Ubiquitous Environment using Contactless IC Cards

SHINGO WATANABE[†], SATOSHI NISHIYAMA[†],
GEN HATTORI^{††}, CHIHIRO ONO^{††}, NOBORU KOSHIZUKA[†]
and KEN SAKAMURA[†]

In the ubiquitous environment, small computers are incorporated into many objects invisibly and provide context-aware services to the users by obtaining various information in the real world and cooperating with other computers. One of the key information in the real world is the locations of the existing objects. Therefore many researches are concentrated on how to obtain location information accurately, cheaply or quickly. In this paper, we propose a location detection method which uses contactless IC cards and a high accuracy location detection system. Instead of attaching the expensive location sensors to every objects in the environment, we attach a contactless IC card which contains the unique ID of the object to each object. Users can obtain the location, direction and size of the object by reading the contactless IC card by the terminal which has the IC card reader and the sensor of the location detection system and by measuring the location using the terminal. We also show the advantage of the method by evaluating the measurement results using the experimental system implemented based on this method.

1. はじめに

身の回りのあらゆるものにコンピュータが組み込まれるユビキタス環境では、コンピュータ同士の通信のみならずコンピュータが現実世界のあらゆる情報を取得、識別し現実世界と連携した動作が行なえることが重要になってくる。その一つとして、位置情報を活用したコンテキスト依存のサービスを提供することが考えられる。位置に依存したサービスを提供するために

は、コンピュータが自分の位置を知るだけでなく、環境に存在する物体の位置も得る事が必要になってくる。しかし、実際には位置を知るためにすべての物に位置情報が取得可能なセンサを取りつけることは難しい。そこで本稿では多数のセンサを必要としない非接触 IC カードを利用した位置情報の取得方式を提案する。

2. 従来方式

ここでは、物体の空間位置、向きをその物体の位置情報と呼ぶ。コンピュータで物の位置情報及びその大きさを取得するひとつの方法として、これらの情報取得のためのセンサ部を対象物に取りつける方法(アク

[†] YRP ユビキタス・ネットワークング研究所
YRP Ubiquitous Networking Laboratory

^{††} KDDI 研究所
KDDI R&D Laboratories, Inc.

ティブ方式) と、対象物には手を加えずに画像認識や物体の温度識別を利用した方法 (パッシブ方式) の大きく二種類が存在する。アクティブ方式で用いられる手法としては、超音波の到達時間を利用したアクティブパット¹⁾ や電波の伝搬時間を利用した GPS などが存在する。

しかし、従来方式には次のような問題点がある。

- センサのコスト
一般的にアクティブ方式に用いられるセンサ自体の単価が高い。また、物体の向きを取得する際に、センサ単体で向きの情報を取得できない場合には測定対象物に複数のセンサを取りつける必要があり、コスト上昇につながる。
- センサへの電力供給
アクティブ方式ではセンサの駆動に電源を必要とし、電池駆動の場合には電池寿命が存在する。外部から供給する場合には配線が必要となる。
- センサの取り付け
センサの貼付位置が測定点となるため、測定した情報から対象物の位置情報を得るためには、あらかじめ対象物に取りつけたセンサの位置を正確に計測しておく必要がある。また、対象物の大きさも測定する場合には、センサを対象物の隅へ取りつける必要があり、物理的な制約が大きい。
- 精度
画像認識などによるパッシブ方式では、対象物にセンサを取りつけずに位置情報取得を行なう。例えば、画像認識の場合では複数のカメラを用い、いくつかの角度から得られる画像をもとに物体の識別を行なうが、対象物の回りに他の物が存在する場合や、得られる画像の角度によっては正確な識別が難しく精度が期待できない。このように、一般にパッシブ方式では間接的に位置情報や大きさを取得することになるため、直接的にこれらの情報が取得できるアクティブ方式よりは精度が劣る。

3. 提案方式

3.1 提案方式の概要

本稿ではアクティブ方式をもとにして、センサを取りつける代わりに非接触 IC カードを利用した位置検出方式を提案する。提案方式は屋内での利用を想定し、あまり動かない物を対象として、位置情報や大きさの取得対象となる全ての対象物 (オブジェクト) に非接触 IC カードを貼付ける。このカードには固有の ID 情報が記録されており、小型端末から読み出しオブジェクトの識別を行なう。また、この端末には位置センサを取りつけており、この端末を用いて位置測定を行な

い、オブジェクトの位置、向き、大きさを取得する方式である。

提案方式を用いることで、端末のみに位置センサを搭載すればよく、位置情報や大きさの取得を安価に行なうことが可能になる。また、パッシブ方式と比較して精度の良い位置検出を行なうことが可能となる。非接触 IC カードは通信時にカードリーダーから供給される電力により動作するので、電力供給の問題も解決される。さらに非接触 IC カードの貼付位置が測定点ではないため、カードの貼付はオブジェクトの任意の位置に行なえ柔軟性が高い。

3.2 システム構成

本稿で提案する位置検出方式を利用した位置管理システムの構成を図 1 に示す。本システムは、次の四つの要素から構成される。

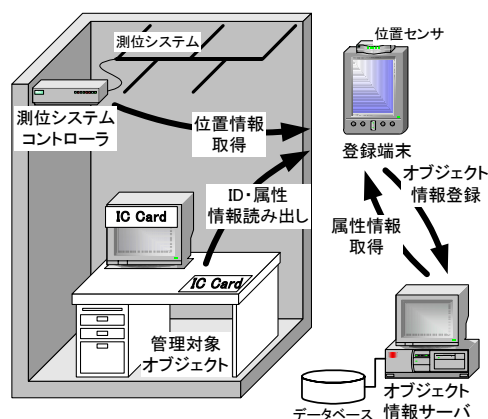


図 1 システム構成

- 非接触 IC カード: 固有の ID 番号を持ち、非接触でカード内のデータを読み書きが可能な IC カードである。このカードをオブジェクトに貼付け、ID 番号を利用しオブジェクトの識別を行なう。これに加え、必要に応じてカード内に存在するメモリを利用し、オブジェクトの属性情報 (大きさや色や素材など) をあらかじめ格納しておくこともできる。一般的な非接触 IC カードは数キロバイト程度のメモリ (EEPROM) を持っており、このような属性情報の格納には十分な容量がある。
- 測位システム: 測位システムは、三次元空間の位置を測定し取得するための装置である。屋内での利用を想定した場合、超音波の伝搬時間を利用し位置を割り出すシステムなどを利用する。本稿で利用した測位システムは、図 1 のように位置を測定するための位置センサ部とコントローラから構成され、センサ部は登録端末に取りつける。

- 登録端末: オブジェクト情報 (オブジェクトの位置情報および属性情報) を取得し、その情報をサーバへ登録するための端末である。この端末は非接触 IC カードのリーダライタを持ち、オブジェクトに貼付された非接触 IC カードから、内部に保持されている情報 (固有 ID、属性情報) を読み出すことが可能である。また前述の通り位置取得のためのセンサを取り付けてあり、本端末の位置情報が取得可能になっている。また、通信用のインタフェースを備え、得られた情報をサーバへ送る事ができる。
- オブジェクト情報サーバ: オブジェクト情報サーバは、端末から送られるオブジェクト情報をデータベースを用いて保管・管理する。オブジェクトの属性情報に加えて、三次元の空間位置情報も扱う必要があるため、位置情報の管理には空間検索が可能なデータベースを使用する。登録端末およびアプリケーションはこのサーバにアクセスしオブジェクト情報を取得する。

3.3 基本動作

位置情報および大きさの取得、登録は次の手順で行なう。

- (1) ユーザは測定対象となるオブジェクトに貼付した非接触 IC カードへ端末を近づける。この時、端末はカードリーダライタを通して非接触 IC カードとの通信を行い、オブジェクトの ID と、(カード内に記録されていれば) 属性情報を読み出す。
- (2) 次に端末に取りつけられた位置センサを利用し、測位システムから位置情報 (三次元の空間位置・向き情報)、大きさの取得を行なう。オブジェクトの位置情報の計測は、オブジェクトのあらかじめ決められた点の空間位置を測定することで行なう。これらの情報の取得方式は三通りあり、具体的な情報の取得方式については、次節で述べる。
- (3) 端末を使用して得られた位置情報や属性情報などの全てのオブジェクト情報をオブジェクト情報サーバへ送る。
- (4) オブジェクト情報サーバは、端末から送られてきたオブジェクト情報をデータベースへ登録する。

3.4 位置情報・大きさ取得方式

測位システムを用い、一点あるいは複数点の位置を測定することでオブジェクトの位置と向きに関する情報およびオブジェクトの大きさを取得する方法としては、次の三方式がある。

3.4.1 オブジェクトの大きさが既知の場合

オブジェクトの大きさの情報が、非接触 IC カード、あるいはオブジェクト情報サーバから取得可能な場合、端末はオブジェクトの位置と向きの情報を取得する。これらの情報の取得のために、端末に備え付けた位置センサを利用して同一直線上に存在しないオブジェクト上の三点の位置を決められた順序に従って測定する。これらの三点は、オブジェクト内のある一点 (基準点) からのオフセットが既知 (あるいは取得可能) であれば良く、必ずしもオブジェクトの隅である必要はない。例えば図 2 のテレビの場合では点 1 から点 3 の三点の空間位置を順に測定する。

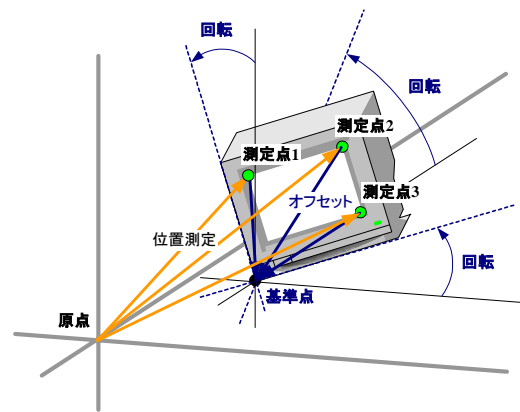


図 2 大きさが既知の場合における位置と向きの取得

次に測定した空間上の三点の位置とオブジェクト内でのこれら三点の位置関係から計算によりオブジェクトの向き (回転行列) を求め、測定点の位置からオブジェクト基準点までのオフセットを補正し基準点の座標を得る。

このようにして位置を表わす基準点の座標、向きを表わす回転行列が得られることで、空間上のオブジェクトの位置情報は一意に定まる。

3.4.2 大きさが既知かつ向き情報が取得可能な場合

前項のようにオブジェクトの大きさが既知であり、さらに向きの情報も取得可能な位置センサを利用できる場合には、一点のみの測位だけでオブジェクトの位置と向きに関する情報が取得が可能となる。この方法では、オブジェクトの基準点からのオフセットが既知である一点を測定し、その際に位置センサを取りつけた端末をあらかじめ決めた向きで測定を行なうことで実現が可能となる。例えば図 3 のテレビの場合では、端末をテレビの上方へ向けた状態で画面右上の測定点を測定する。

測定により得られた端末の向きからオブジェクトの向きを計算し、基準点から測定点までのオフセットを

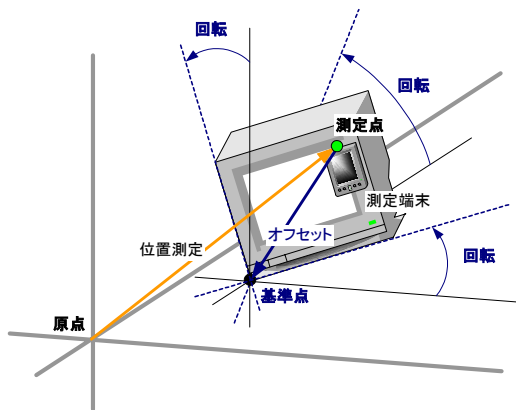


図 3 位置センサが向き情報も取得可能な場合の位置情報取得

補正し、基準点座標と回転行列を得る。

3.4.3 大きさが未知の場合

オブジェクトの大きさが未知の場合、前述の位置と向きに加え、大きさの情報も取得する。これらの情報を取得するためには、一般的にはオブジェクトにおける複数の箇所を測位する必要があり、これらの位置はオブジェクトの隅あるいは縁となる。したがって、この場合にはあらかじめオブジェクトにおける測定点の位置(オフセット)を測定しておく必要はない。

例えば、図 4 の直方体に近似できるテレビの場合には、同一平面上にないオブジェクトの隅四点(測定点 1 から 4)の位置を順に測定する。この四点の空間位置から、幅、高さ、奥行きを得ると同時に、オブジェクトの向きと位置を取得する事ができる。

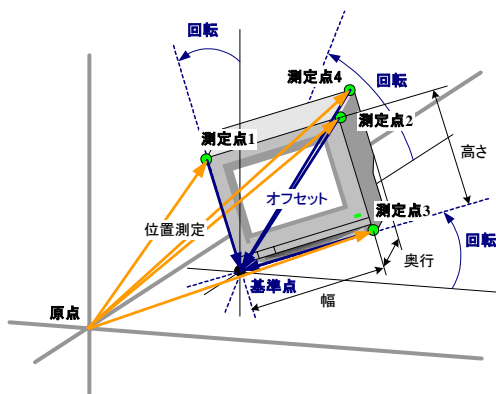


図 4 大きさが未知: 直方体に近似可能な物体の大きさ・位置情報取得

また、図 5 のように円柱に近似できるテーブルの場合には、天板の縁の三点と床面の一点を測定する。この場合、天板の中心を測定する方法も考えられるが、この方法ではあらかじめ中心を測定し印をつけておく等の方法を取らない限りは誤差が大きくなるため、好

ましくない。

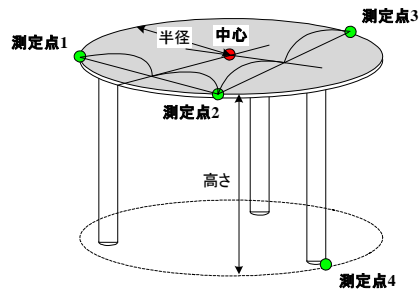


図 5 大きさが未知: 円柱に近似可能な物体の大きさ・位置情報取得

そこで、測定点 1 から 3 を用いて天板の中心座標と半径を計算により導き、天板を構成する平面から測定点 4 までの距離を求めテーブルの高さを得る。他の手法と同様に、同時に基準点の座標とオブジェクトの向きも計算により得る。

このようにして、複数点の空間位置を測定することで、オブジェクトの位置、向きに加え、幅、高さ、奥行きなどの大きさに関する情報を得ることが可能となる。

以上をまとめると、三手法において位置、向き、大きさの各項目が必要とする測定は表 1 のようになる。

条件	位置	向き	大きさ	測定点
大きさ既知	要	要	不要	三点測定
大きさ既知・向きセンサ	要	要	不要	特定の向きで一点測定
大きさ未知	要	要	要	複数点(直方体は四点)測定

表 1 測定が必要/不要な項目

3.5 実装

本稿で提案した位置検出方式を含む、図 6 の構成の位置管理システムを実装した。

オブジェクト情報サーバとして Linux サーバを用い、データベースには PostgreSQL を利用した。ここで、位置情報の管理には空間検索を利用できるデータベースを、残りの情報にはリレーショナルデータベースを使用した。非接触 IC カードは、ISO-14443 による微弱誘導電流によって無電源動作が可能な物を使用している。測位システムには INTERSENSE 社の IS-900 を使用し、測定エリアの天井に超音波の受信部を設置した。この測位システムの精度に関する仕様は表 2 の通りである。そして、ネットワークを介し位置情報を取得するために、Linux 上に位置情報取得サーバを実装した。このサーバには測位システムのコントローラが接続され、ネットワークを介して位置情報を端末に提供している。登録端末には μ T-Engine/M32104 を使用し、位置情報取得サーバとは TCP/IP を、オ

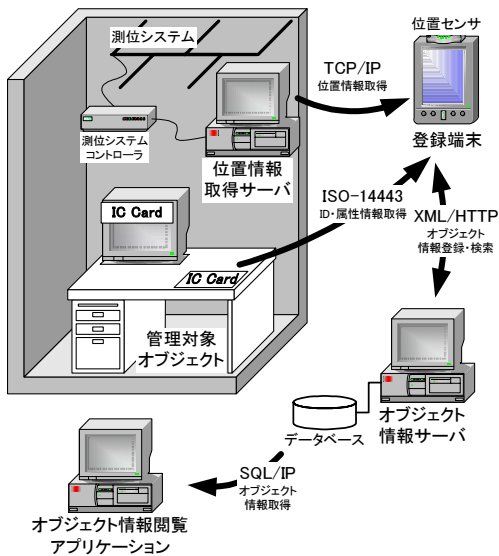


図 6 実装システム構成

プロジェクト情報サーバとは XML 形式による情報の符号化と HTTP による通信を使用している。

分解能 位置 角度 (ピッチ/ロール/ヨー)	1.5mm (実効値) 0.05°
安定度 位置 角度 (ピッチ/ロール, ヨー)	4mm (実効値) 0.2°, 0.4°

表 2 IS-900 仕様

また、上記に加えてオブジェクト情報サーバのデータベースに登録されている情報を閲覧するためのアプリケーションも実装した。このアプリケーションは、オブジェクト情報サーバのデータベースへ問い合わせを行ない、登録されているオブジェクトを OpenGL を使用し 3D 表示を行なうもので、図 7 が実行中の画面である。

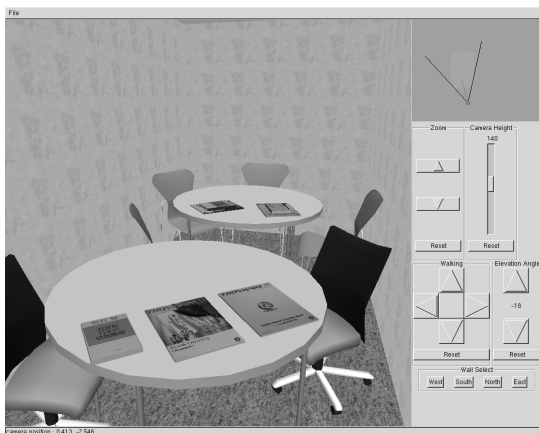


図 7 登録済オブジェクトの 3D 表示例

4. 評価

実装したシステムの評価を行なった。提案手法ではオブジェクトの位置測定に一つ以上の点の位置測定を行なう。測定する点は、大きさを測定する場合を除き、比較的自由に選ぶことができる。もし、測定した空間位置に誤差が大きいと、オブジェクトが空中に浮いたり、テーブルにめり込むなどの状況が生じることになってしまう。そこで、位置測定の誤差が少なく抑えることが可能な測定点を選択するために、条件の異なる点の位置検出における誤差を測定した。

4.1 評価条件

測定した点は、図 8 のイスにおける条件の異なる三点 (点 A から C) である。各点において 20 回の試行を実施した。また、比較のために位置センサを静止させた状態 (点 D) で同回数の位置を測定した。

各点の条件は下記の通りである。

- A 周囲に障害となる物がなく天井への見通しの良い場所。イスの背もたれの端。
- B 天井への見通しは良いが対象物と接していない空中。イスを直方体に近似し、イスに向かって手前右上の直方体の隅。
- C 対象物の側面にあり比較的天井への見通しが悪い場所。イスの脚の床面に接している地点。
- D 位置センサを動かさない状態での測位システムの誤差を確認するための比較点である。

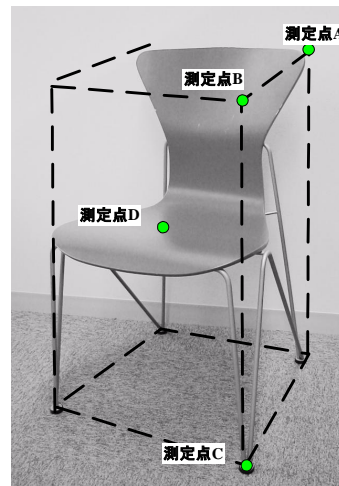


図 8 測定対象点

4.2 結果と考察

前項に示した条件で、各点での三次元位置を測定した。測定により得られた点の重心からの距離の最大、平均、分散の値は表 3 になった。

点 D の測定結果から、測位システム設置後の静止

	最大距離 (cm)	平均距離 (cm)	距離の分散
点 A	1.69	1.00	0.13
点 B	5.04	2.51	1.23
点 C	3.87	2.18	0.44
点 D	1.25	0.49	0.09

表 3 重心からの距離の最大、平均、分散値

状態では、このセンサが 1cm 程度の測定精度を持つことが確認された。また、各測定を比較すると、測定誤差は点 A、点 C、点 B の順に大きくなった。

条件の良い測定点 A では、オブジェクトに接して測定を行なうことが出来るため、静止状態の点 D と比較しても、測定におけるばらつきも少なく、1cm 前後から大きくても 2cm 未満の誤差にとどまっている。オブジェクトの位置測定に使用しても、十分な精度を得られると思われる。

同様にオブジェクトに接して測定を行なえる測定点 C では、センサ部を対象物に密着する事が出来るのだが、測定対象物自体が超音波による測定の障害物となり若干精度が落ちている。誤差としては、およそ 2cm 程度の値に落ち着いている。

一方、オブジェクトと接することのない測定点 B では、目測により対象物が外接する直方体の形状を推測し、空中に存在する直方体の隅を測定している。このため、測定した値も大きくばらつき、安定した値を得ることが出来ず、最大で 5cm 程度のばらつきを生じている。この値はイスの大きさから考えると十分に大きいものであり、点 B は対象物の位置や大きさの測定には適さない事がわかった。

これらの結果より、測定点を適切に選ぶことで、1 から 2cm 程度の誤差で位置を測定できる事がわかった。位置情報を利用するアプリケーションにも依存するが、あまり大きくないオブジェクト（一辺が 10cm 程度）にも適用が可能と考えられる。

また、本方式では大きさの情報を非接触 IC カード、あるいはオブジェクト情報サーバから取得した。この大きさは事前に測定した値を IC カードあるいはサーバに登録しておくか、測位システムを利用して測定をする必要があり手間を必要とする。また、実際には対象となるオブジェクトの形状も直方体や円柱などの簡単なものだけではなく、それらの組合わせや複雑な形をしており、これらの情報を一つずつ入力することは多くの手間を要する。

しかし、本稿で前提とする屋内に存在する物の多くは、既製品であることが多い。そこで、オート ID センタ²⁾ やユビキタス ID センタ³⁾ のように身の回りの物にあらかじめ ID 情報が付与されるようになれば、ID 番号から大きさや形状などの製品の情報を知ることが可能であり、この問題は解消される。

5. ま と め

本稿では、位置情報を取得する対象となる物へ位置センサを取りつけることなく位置・向き情報を取得することが可能にし、物の位置を容易にコンピュータへ入力することを可能とする方式を提案した。位置センサの代わりに安価で薄い非接触 IC カードを貼付することで、従来方式に比べてコストを抑え、電力供給の問題も解決した。また、非接触 IC カードの貼付位置が測定点ではないために、取り付け場所の制約は低く抑えることが可能になった。さらに、提案手法ではアクティブ方式の位置検出をもとにしているため、パッシブ方式よりも精度の良い位置検出が可能である。そして、提案手法を実装し、オブジェクトの位置測定に用いる場所の違いによる測定誤差について測定・評価を行なった。結果として、位置測定に影響を与えない点を利用することで、1 から 2cm 程度の誤差で位置情報を取得でき、比較的小さい物（一辺が 10cm 程度）にも適用が可能であることがわかった。

本方式では単一の測位システムのみを使用しており、あまり動かないものを対象としている。しかし、実際には多くの物が移動可能であることから、移動する物の管理についても検討を加える必要がある。また、位置取得方式のみを利用するのではなく、複数の異なる方式を併用した位置取得、位置管理についても検討し、適応範囲を広げることも今後の課題である。

本研究は通信・放送機構からの委託研究「ユビキタスコンピューティング環境を実現する基盤ネットワークプロトコルの研究開発」に基づき行われたものである。

参 考 文 献

- 1) A. Ward, et al., "A New Location Technique for the Active Office," IEEE Personal Communications, Vol. 4, No. 5, pp. 42-47, October 1997
- 2) S. Sarma, et al., "The Networked Physical World - Proposals for Engineering the Next Generation of Computing, Commerce & Automatic-Identification," White Paper MIT-AUTOID-WH-001, MIT Auto-ID Center, October 2000. <http://www.autoidcenter.org>.
- 3) ユビキタス ID センタウェブサイト, <http://www.uidcenter.org>.