

RFIDタグを用いた位置センシング手法の検討

実環境重畳型ユビキタス情報提示システムに関する研究

山田 俊郎 棚橋 英樹

Study on a position measurement method using RFID tags

Ubiquitous display which superimposes on the real world

Toshio YAMADA Hideki TANAHASHI

あらまし インターネットに代表されるように、大量の情報がコンピュータネットワークを通してもたらされる昨今、利用者が必要とする情報を必要な時、必要な場所で提供するユビキタスコンピューティングに関心が集まっている。これを実現するには、「時」と「場所」を特定する必要があり、「時」を特定することは容易である反面、「場所」を特定することは難しく、簡易な位置計測技術の開発が望まれている。本報告では、無線式の電子タグ(RFID)を用いて、屋内環境における場所を特定する手法を提案する。タグの密度によって2種類の方法を検討し、低密度の手法においてはロボットの制御に用いた利用例を示し、高密度の手法においては位置座標取得の精度について報告する。

キーワード ユビキタス、位置情報、オーギュメントッド・リアリティ(AR)、RFID

1. 緒言

インターネットに代表されるように、大量の情報がコンピュータネットワークを通してもたらされる昨今、利用者が必要とする情報を必要な時、必要な場所で提供するユビキタスコンピューティングに関心が集まっている。ユビキタスを直訳すると、「偏在する」という言葉に訳され、情報の分野では、いつでもどこでも情報化の恩恵にあずかることのできる環境のことを意味している。しかしながら、コンピュータに蓄積された多くの情報の中から利用者の必要な情報を選択することには課題が多く、Webの検索でなかなか思い通りの情報が得られないことは多くの人々が経験している。特にコンピュータの利用環境を限定しないユビキタス環境は、デスクトップコンピュータのような操作を前提としておらず、利用者にキーボード操作などの負担をかけずに自動的に情報の検索と取得が行える手法の開発が望まれている。

本研究では利用者の位置を情報検索のキーとして、利用者の位置に応じた情報を実環境中に表示する手法の開発を行っている。技術的には、位置情報を自動的に取得する技術と、小型プロジェクタによる情報表示技術の2つの点について開発を行っている。図1はこの技術による将来的なイメージを示したものであり、火災現場において避難経路や消火に必要な情報が実際の環境に重ね合わせて表示されるものである。

本年度は、位置情報の取得技術に焦点を絞って、屋内

環境において無線電子タグ(RFID)を用い、2次元位置情報を自動的に取得する方法を提案する。適用する環境の広さに応じて、タグの密度を変えた2通りの手法を提案し、低密度広範囲のものをロボットの移動制御に応用した例を示すとともに、高密度配置における位置精度について検証を行った。

2. 実環境中の位置情報の取得

2.1 位置情報取得手法の現況

現在、位置を取得する手法はいくつか提案されており、屋外においてはGPSが一般的な手法になっている。GPSは地球上のどこでも使用ができ、最高で数10cmの計測精度があるため、屋外の多くの利用シーンでは十分な機能であると言える。しかし、GPSの電波は建物内には届き

実環境重畳型ユビキタス情報提示システム
火災時における利用イメージ



図1 ユビキタス情報提示の利用イメージ

にくく、電波条件の悪化は計測精度の低下につながる。

屋内環境における位置センシングには、超音波式やレーザー光線をスキャンする方式、無線LANの電波強度を用いる方式、カメラで撮影した画像から画像処理によって位置を求める方式などがある。超音波式のもの計測精度が数cm、レーザー式では数mmであるが、どちらも環境側に大掛かりな設備の設置が必要である。無線LANを用いるものは比較的簡易なシステムではあるが、環境による電波強度の変動が大きく、計測精度はアクセスポイントを置く間隔程度である。カメラを用いる方法は、近年のカメラの低価格化から安価にシステムが構成できるものの、撮影条件によって精度の変動が大きく、カメラから見て対象が陰になると測定が不可能である。

このように既存の手法には問題点が多く、簡易な装置で10cm程度の位置精度をもった手法の開発が求められている。そこで、我々はRFIDタグをマーカーとして床に敷き、位置情報を取得する手法を検討した。

2.2 アクティブRFIDタグを用いた位置センシング

RFIDタグを床面に多数配置して位置を取得する試みは廣瀬ら^[1]によって行われており、1.5m間隔でタグが配置された空間で実験が行われている。ここでは、バッテリーを内蔵したアクティブ型のRFIDタグ(図2-a)が用いられており、タグのID情報を乗せた300MHz帯の電波が一定の時間間隔でタグから発信される。この電波強度を計測することでタグ間隔の半分の精度(0.75m)の位置計測を実現している。しかし、アクティブ型のタグを床面に設置するには、バッテリーを含む電子回路を保護するパッケージが必要であり、図2-aの例ではパッケージの直径が約15cmで、約5cmの深さに埋設する工事を行っている。また、バッテリー駆動であるため一定期間後にはバッテリーの交換が必要であり、この寿命は電波発信間隔に依存し、計測の追従性を上げる(間隔を短くする)とバッテリーの寿命が短くなる。

2.3 パッシブRFIDタグを用いた位置センシング

パッシブ型RFIDタグはバッテリーを持たないタグで、ICチップとアンテナのみで構成される非常に小型・薄型のタグである(図2-b)。タグを駆動する電力はリーダ側から電磁誘導やマイクロ波で供給され、一般に13.56MHzと2.45GHz帯の周波数が使われる。13.56MHzタイプのシステムは電磁誘導で電力の供給と通信を行い通信距離は数

十cmである。一方、2.45GHz帯のシステムではマイクロ波で電力の供給と通信を行い通信距離は1~2mである。しかし、この数字はリーダのアンテナ正面の理想的な位置にタグが存在する場合の値であり、実際にはリーダのアンテナとタグの向きや電波の反射など環境からの影響によって、実用距離はこの半分以下程度である。

今回、パッシブ型のタグを床に複数貼り付け、その上をリーダが通過することで位置を検出する手法を開発した。使用したタグの周波数は、通信距離が長いこととタグが小さいこと、および後述する電波の偏波方向が利用できることなどから、2.45GHz帯を採用した。理想的には、測定対象とする空間の床面に密にタグを敷き詰めることで任意の位置をセンシングすることが可能であると考えられるが、貼り付け作業や位置とIDの対応付けに膨大な作業量が必要となり現実的ではない、そこでタグの貼り方によって、2種類の手法を検討した。すなわち、広範囲の位置センシングを目的として、離散的なタグの貼り付けで位置センシングを行う手法と、センシング精度の検証のために、限られた範囲に高密度でタグを貼り付けた場合の位置センシングについて、その有効性を検証した。

3. 広範囲離散的タグ配置による位置センシング

3.1 広範囲の位置センシング

数十mにわたる広範囲で位置計測が必要な場合、全面に渡ってタグを高密度に貼り付けることは現実には不可能であるため、密度を落としてタグ貼り付けることが考えられる。しかし、タグ間の間隔を広げるほどリーダの読み取り範囲を外れる可能性が高く、ほとんど読み取れなくなる恐れがある。また、アンテナ-タグ間の距離が短い場合でもアンテナの指向性によってアンテナ正面から外れるほど読み取りが困難になる。そのため、位置情報を必要とする場所に集中的にタグを配置してその場所では必ずタグ情報が取得できるようにし、それ以外の場所の位置情報は別のセンサで補間する手法を開発した。

3.2 ロボット制御への適用

この手法を移動型ロボットの制御に応用し、図3に示す約50m×12mの空間を自律的に移動し、場所に応じた案内メッセージを話す機能を実現した。ロボットの詳細は



(a) アクティブ型 床面に埋設加工したもの
(b) パッシブ型(2.45GHz) 床貼用にパッケージしたもの

図2 RFIDタグ

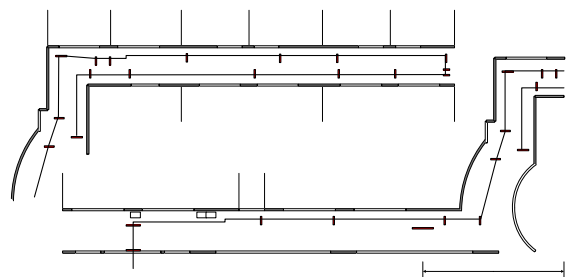


図3 ロボットの巡回経路とタグの配置

本報告書の「案内ロボットの開発」を参照されたい。

ロボットは決められた経路を巡回して、決められた場所で音声によって情報を呈示する。巡回路上の位置を決定するためにRFIDタグを5m程度の間隔で設置し、タグ間は車輪のエンコーダで位置を算出した。ロボットの底面には平面アンテナが下向きに取り付けられており、床面に貼り付けられたタグの情報を読み込む。床面とタグの間の距離は5cm程度であるため読み取りには問題のない距離ではあるが、アンテナの指向性により、アンテナの幅(約20cm)を外れると読み取りが不可能になる。そのため、タグは1箇所につき20cm間隔で巡回路を横切るように3~5枚設置した。

タグから得られる情報は16桁の数値であり、このタグIDを元にロボットの行動を制御する。同一箇所に貼られる複数枚のタグから得られるタグIDは、ロボット内のタグテーブルによって同一のグループIDに変換される。このグループIDは行動テーブルでロボットの行動命令列に変換され、ロボットを制御する(図4)。そのため、経路上のある場所の複数枚のタグのうちのどれを検出しても同じ行動が取ることができる。

厳密には、今回の制御方法ではロボットの位置座標を取得してはいない。しかし、タグによって行動の基準となる位置が同定されることで、経路上を外れることなく自律移動を行い、指定された場所で音声による情報呈示を行うことが可能となった。

4. 高密度タグ配置による位置センシング

4.1 電波方式の検討

通常、2.45GHz帯のパッシブ型RFIDタグのリーダには薄型のパッチアンテナが用いられ、円偏波方式の電波で電力供給を行っている。この偏波方式ではアンテナとリーダの向きに自由度を持たせることができ、向きが限定されていないタグから情報を読み取るには好都合である。しかし、理想的なアンテナ配置にある直線偏波の場合と比較すると、同一距離における電波強度は原理的に1/2になるため、通信距離は短くなる。図5はアンテナの違いによってタグリーダから放射される電波強度を測定した結果である。リーダに付属のパッチアンテナ(円偏波)と、2.45GHz帯を使用する無線LAN用の5素子八木アンテナ(直線偏波)の2種類を用い、電波強度はRFパワーメータ(HP 473B, 8482A)に1/2波長のダイポールアンテナを接続して、それぞれのアンテナの先端面からの距離による受信電力の変化を測定した。タグリーダは電波を断続的に



図4 RFIDによるロボットの制御

に出力するため、平均電力が測定されている。

測定の結果からも、直線偏波の方が受信側に多くの電力を供給できることがわかる。また、別の予備実験では、パッチアンテナの場合に安定して読み取れるタグの距離は約50cm、八木アンテナの場合で100cmであったため、この測定方法における-5dbmのあたりが安定してタグが反応する限界であると考えられる。ユビキタス環境のための人間の位置センシングでは、少なくとも腰の位置程度の高さ以上にアンテナを設置することが求められるため、通信距離の長い直線偏波の5素子八木アンテナを採用することとした。なお、アンテナの変更によって、電波を使用するリーダの総務省技術基準適合証明が無効になるので、実験はすべてシールドルーム内で行った。

4.2 床面設置タグの検討

直線偏波はその特性から送信側アンテナと受信側アンテナが平行な場合に最も感度が良く、角度が増すごとに減少し、直交すると0になる。つまり、同じ距離にあってもアンテナとタグの向きによっては読み取りができない現象が発生する。そのため、床面に設置するタグは図6-aのように4枚のタグを45度回転させたタググループを1組として床面に設置することとした。このようにすることで、リーダとタグのアンテナがなす角は22.5度以内となり、リーダのアンテナの向きに関わらずタググループのIDが取得可能である。

また、タググループを用いることで、位置のみでなく向きも得ることができる。すなわち、タググループ内のどの向きのタグが反応しているかを知ることで、向きを取得することができる。向きが取得できることを確認するため、このタググループを回転台に乗せ、方向によって取得できるタグが異なることを確認した。電波が金属製の回転台の影響を受けないように、木製のスタンドで

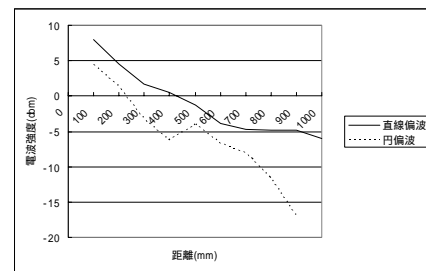
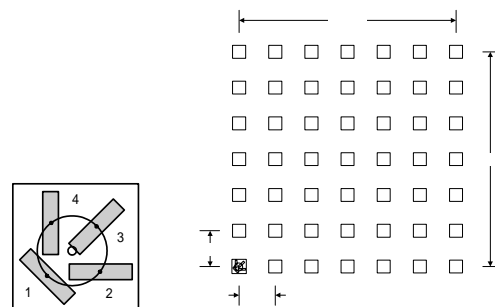


図5 直線偏波と円偏波の電波強度



(a) タググループ (b) タググループの配置
図6 タググループと実験フィールド

回転台の上面から20cmの間隔をあげ、その上に回転中心とタググループ中心が同じになるようにタググループを配置する。さらに、回転中心と電波の射出軸が同じでタグ面から70cm離れた上方に先端が位置するようにアンテナを設置した。この距離はタグを床面に配置し、アンテナを人の腰に設置する場合を想定している。

タグリーダはタグの反応回数をカウントしているため、PCから1秒おきにタグ情報を取得することで各タグの1秒間の反応回数を知ることができる。回転台を秒速2度の速さで回転させながら、反応したタグのIDと反応回数を測定した。この結果を図7に示す。タグの個体差によって反応の回数は異なるものの、タグごとにsin関数のような山形の軌跡を描いており、回転に応じてアンテナと平行な方向のタグが反応していることが確認できた。

4.3 位置精度の検証

前節のタググループを図4-bのように250mmおきに縦横7枚ずつ配置して、1.5m×1.5mの範囲で位置取得の検証を行った。シールドルームの床面直下は導体であるため、導体表面で位相が180度ずれた電波が反射され、床面の直近では電波強度が弱くなっている。シールドルームの床から距離をとるため、床面に厚さ12mmのベニヤ板と厚さ1.5mmのビニールシートを敷き、その上にタググループを置くこととした。電波強度の測定の結果、シールドルームの床面に直接タグを置く場合に比べて電波強度が約8dbm高くできることが確認された。

実験環境の様子を図8に示す。リーダのアンテナは木製の移動台に下向きに取り付けられており、タグ面から70cmの高さにアンテナの先端が位置するよう調整した。各タグが存在する座標はタグが属するタググループの

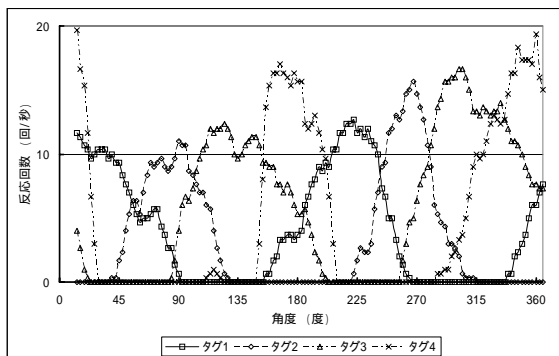


図7 タググループの回転に応じたタグの反応回数



図8 実験環境

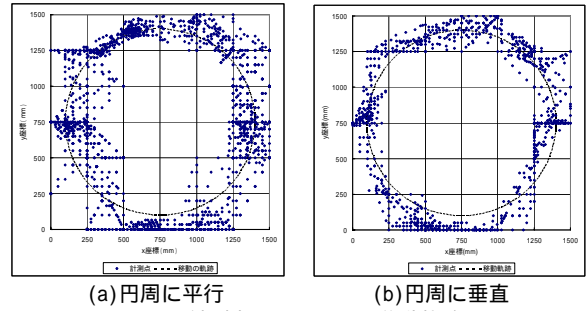


図9 計測点とアンテナの移動軌跡

中心点とみなし、タグIDとタググループのIDおよびタググループの位置は事前にPC内の変換テーブルに登録してある。また、タグの向きについても4段階の法線ベクトルで記述し、変換テーブルに登録してある。計測される測位点は、そのときに反応しているタグが属するすべてのタググループの座標から計算される重心位置とした。すべてのタグが同じ特性を持つのであれば、単位時間内に反応した回数によってタグまでの遠近および向きを推定することもできるが、今回の実験では前節の結果のようにタグの個体差が大きく、必ずしも反応回数がタグまでの距離を反映しないため、反応の有無のみを基準に測位を行った。また、向きについては、反応したタグの法線ベクトルの合成ベクトルの向きを計測方位としている。

この実験フィールド上で、(750mm,750mm)を中心に、半径650mmの円周に沿ってアンテナを移動させたときに測位された点の軌跡を図9に示す。図9-aはアンテナの偏波方向が円周方向に平行な場合の結果であり、図9-bは偏波方向が円周方向に垂直な場合の結果である。どちらも5回分の測定点で平均化処理を行っている。結果を見るとおおむね円周に沿った形で測位されており、図9-bの場合でアンテナが移動した円の半径に対する測位点の平均誤差は75mm程度であった。中にはタググループ1つ分(250mm)以上ずれている場合もあるが、そのような点は例外的で、多くは円周に近い点が計測されていたことがわかる。

5. 結言

本報告では、実環境重畳型ユビキタス情報提示システムを実現する上の要素技術である、パッシブ型RFIDを用いた位置センシング手法を開発し、ロボット制御への応用を示した。また、計測精度の評価では、提案手法はタグの個体差に左右される部分はあるものの、実験では平均誤差が75mmであり、簡易なシステム構成であるにもかかわらず、評価できる位置計測結果となった。

文 献

- [1] 小林, 雨宮, 檜山, 山下, 廣瀬, "RFIDタグを用いた位置情報取得システムの精度向上に関する研究", 日本バーチャルリアリティ学会ウェアラブル/アウトドアVR研究委員会第3回研究会, pp. 1-2, 2003.