

# RFID を利用したユーザ位置検出システム

椎尾一郎

玉川大学工学部電子工学科

<http://siio.ele.eng.tamagawa.ac.jp/projects/>

本研究では、拡張現実システムや実世界指向インタフェースで用いるための、安価で測定範囲を容易に拡張できる位置検出手法として、RFIDタグを利用した方式を提案する。床などにRFIDタグを複数貼付して、ウェアラブルな機器や、人が携帯・操作する装置にRFIDリーダを取り付ける。あらかじめ床に貼りつけたタグを読みとることで、ユーザの位置を検出する。本論文では、人の履き物にリーダを取り付けたシステム、ユーザが操作するカートにリーダを取り付けたシステムを試作して、性能評価を行った。その結果、コストと精度のトレードオフがあるものの、様々な応用が可能な実用的な方式であることを示すことができた。

## User Position Detection using RFID Tags

Itiro Siio

Faculty of Engineering, Tamagawa University, [siio@acm.org](mailto:siio@acm.org)

This paper describes a new position detection method of a user, which can be applied to augmented reality systems and to real-world oriented interfaces. The proposed method uses inexpensive RFID tags which are pasted on the floor to indicate position. One of these tags is detected by a RFID reader which is equipped on foot-ware, wearable devices, and carts accompanied by users. We have implemented prototypes and evaluated the usability. Although there is a trade-off between the number of tags and accuracy, the proposed method can be applied to various applications.

### 1. はじめに

拡張現実 (Augmented Reality, AR) システムや一部の実世界指向インタフェースでは、ユーザの実世界での位置を検出することで、場所や物に依存したデジタル情報の提示や、場所や物を利用したコンピュータ操作を実現している。この結果、人とコンピュータとのインタラクションの場が、コンピュータの中から実世界に広がる。多くの実験システムでは、高精度であるものの、高価で有効範囲の狭い位置検出システムが用いられている[1]。実用的なシステムを構築するためには、安価で、測定可能範囲をスケラブルに拡張できる位置検出システムが必要で

ある。

本論文では、ARシステムや実世界指向インタフェースで用いるための、安価で測定範囲を容易に拡張できる位置検出システムとして、RFID (Radio Frequency Identification) タグを用いた方式を提案する。この方式では、床などの環境側にRFIDタグを複数貼付して、ウェアラブル機器や携帯機器、人が操作するカートなどにRFIDリーダを取り付ける。あらかじめ位置が判明しているタグを読みとることで、ユーザの位置を検出する。本論文では、人の履き物にリーダを取り付けたシステム、ユーザが操作するカートにリーダを取り付けたシステムを試作し

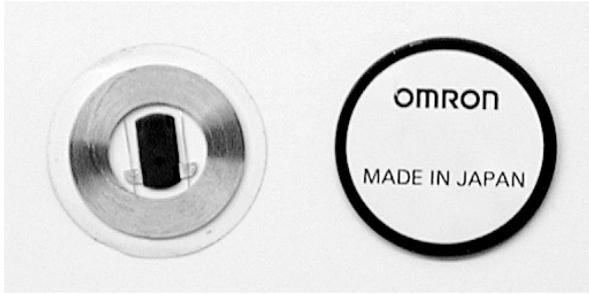


図1. 本研究で使用したRFID タグ(右)とその内部(左)。直径23mm, 厚さ1.2mmの円盤型。

て、性能評価を行う。

## 2. RFID システム

RFID システムは、ID タグ(RFID タグ)の持つ情報を、タグリーダー/ライター(RFID リーダ)からの電磁誘導により非接触で読み書きするシステムであり、バーコードなどと同様に、物流、製造、販売、人員管理の場面で利用されている[2,3]。RFID タグの多くは、RFID リーダから電磁誘導により供給される電力により無電源(電池を搭載しない)で動作する。

本研究では、図1に示す円盤形の無電源RFID タグ(OMRON V700-D13P21, 直径23 mm, 厚さ1.2 mm)と、RFID リーダ(OMRON V700-HMD11)を使用した。RFID リーダが小型で(40 x 53 x 23 mm)ウェアラブルデバイスや携帯デバイスに組み込みやすいことから採用した。

このシステムは125kHzの電磁波を使用して、1個のタグに最大112 Byteの情報を読み書きすることができる。この組み合わせで通信可能な

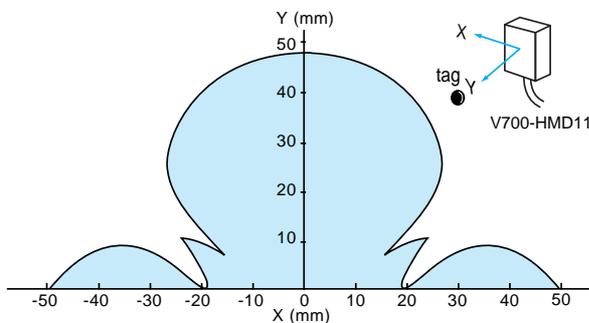


図2. 使用したRFID タグとリーダーの読み取り可能範囲。この範囲内にタグが114ms以上留まっていれば8バイトのデータの読み出しが可能。

タグとリーダーの位置を見ると(図2 [4])、RFID リーダの前面の、直径と高さがほぼ40 mmの円柱の範囲で通信可能であることがわかる。通信に必要な時間は、電力供給に66ms、データ読み出しに8 Byteあたり48msであるので、この範囲にRFID タグが114 ms以上留まっていれば、8 Byteの情報を読み出せる。

## 3. ID カーペット

人の位置を検出できる床面を作る目的で、一辺が30 cmの正方形タイル状のカーペット(協和トレフィット30、厚さ7 mm)の裏面に、一枚あたり4個のRFID タグを取りつけた(図3) IDカーペットを試作した。タグにはそれぞれ個別のIDを書き込んでおき、RFID リーダで読み取れば、タイルカーペット上のリーダーの位置を15 cmの解像度で求めることが出来る。このタイルカーペットを25枚作成して、1.5 x 1.5 mの床に敷設した。

RFID タグは、正方形格子状ではなく、図3のように交互にずらして取りつけた。全体としては図4のような、最密充填に近い二等辺三角形型に配置される。この配置により、円形の検出範囲を持つRFID タグ同士の干渉を低減する効果が期待される。一方、廊下での歩行のように、人が建造物の特定方向に直進する場面がある。正方形格子状のRFID タグ配置では、人が格子の

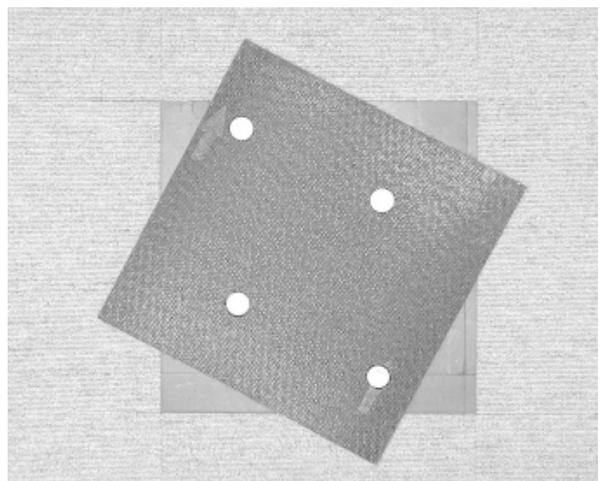


図3. RFID を裏に取りつけた ID カーペット。1枚のタイルカーペットに4個のRFID タグを取りつけた。

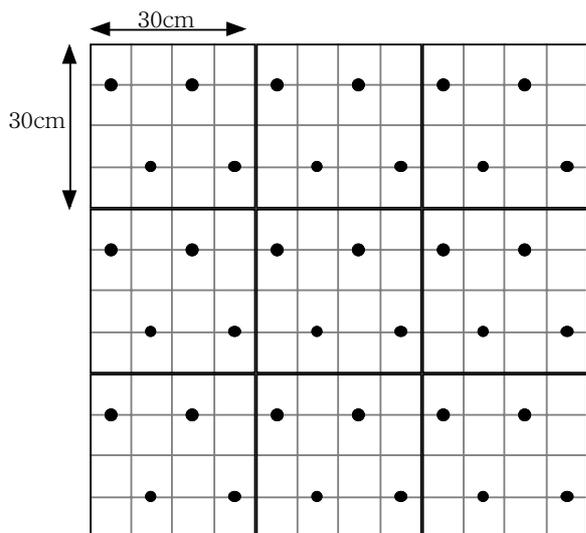


図4. カーペットに取りつけたRFIDタグ(黒丸)の配置。RFIDタグの干渉を減らす効果と、廊下など人が直進する場所での検出率を向上させる効果をねらって、RFIDタグを交互に配置した。

間を直進することでタグが検出されない可能性もある。RFIDタグを交互にずらすことで、廊下などの歩行においてタグの検出率向上も期待できる。

コストとのトレードオフがあるものの、カーペットに取り付けるRFIDタグの密度を上げれば、位置検出の解像度を向上させることができる。図2に示したRFID検出範囲の特性から、RFIDタグを40mm程度の間隔まで近づけることができるので、位置検出解像度は4cmまで向上させることが可能である。

本研究で使用したRFIDタグの価格は、1個あたり約500円である。今回試作したタイルカーペットを例えば100平米の部屋に敷設することを考えると約220万円のコストがかかる。一方、最近では、13.56MHzや2.45GHzなどの高周波帯のRFIDタグも使われるようになってきている。これらはPET樹脂のフィルムに印刷したアンテナで稼働するので、125MHz帯のRFIDタグの1/10程度の価格にできる。近い将来、RFIDタグの価格は1個10円程度になるとの予測もある[3]。その場合、タイルカーペットにRFIDタグを数枚取りつけたとしても、タイルカーペット価格(300円程度/1枚)と比べてコスト増は問題にならない程度になり、「位置を知ることができる・情報

を読み書きできる建材」として普及する可能性もある。

本方式を、従来のARシステムなどで利用される磁気や超音波を使用する位置検出システムに比べると、解像度が低いものの、検知可能面積あたりのコストは非常に安価である。また検知領域を拡張する場合にも、RFIDタグの敷設枚数を増やすことで対応できるので、面積に比例する程度のコスト増で拡張可能である。

#### 4. NaviGeta

前節のIDカーペット上でのユーザの位置を検出するウェアラブルなデバイスとして、図5に示すRFIDリーダ組み込み履き物、NaviGetaを試作した。RFIDリーダのアンテナ面が床面から1mm程度の高さになるよう、下駄の歯の間に取り付けられたRFIDリーダにより、床のRFIDタグを読み取る。

図2に示したRFID検出範囲の特性から、RFIDタグ一つにつき、半径20mmの範囲、約13平方cmの領域をカバーできることがわかる。900平方cmのタイルカーペット一枚あたり4個のタグを取りつけたので、試作したIDカーペット上を歩行すると、5.6%の確率でRFIDの読みとり範囲に足を降ろすことになる。しかし実際には、RFIDタグ検出可能距離以下の高さに、読みとり必要時間以上停留すれば、RFIDタグを読みとることがで

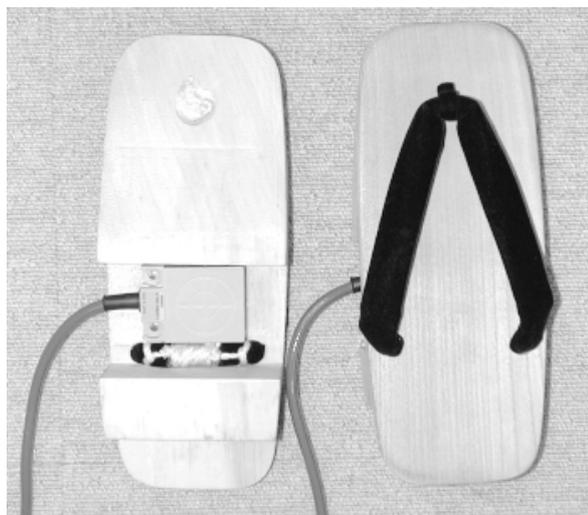


図5. RFIDリーダを取りつけた履き物。床のRFIDタグを読み取ることでユーザの位置を検出する。

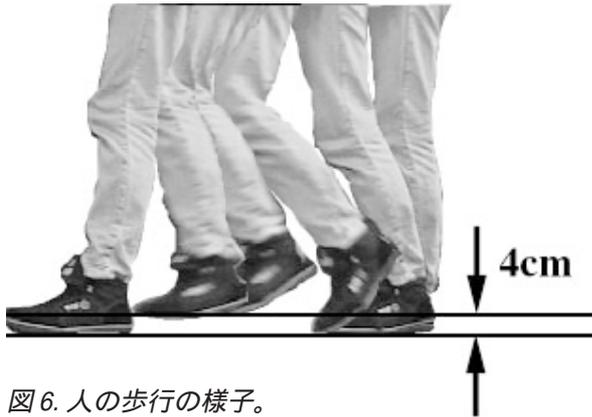


図6. 人の歩行の様子。

きるので、一步あたりの検出確率はさらに高くなると期待できる。図6は6名の20歳代男性が自然に歩行した様子を観察した結果の一部である。この結果、移動の約50%以上にわたって、靴裏と床の高さがRFIDタグの読みとり範囲に収まると見られる。

そこで、実際にNaviGetaを装着した10名の被験者にIDカーペットの上を歩行してもらい、RFIDタグの読みとり回数を測定した(図7)。被験者には、室内での机、椅子、本棚を巡る歩行をイメージして、カーペットの上を自由に歩行するよう要請した。この要請により、どの被験者も図6に示す通常の活発な歩行に比べて、より摺り足に近い歩行を行ったことが観測された。

100歩の歩行のうちRFIDタグを読みとることができた回数(hit回数)と、RFIDタグの読みと



図7. IDカーペットの上でNaviGetaを履いて歩行する様子。

表1. 100歩あたりのRFIDタグ検出回数(hit)と読みとりエラー回数(error)。

被験者	hit	error
40歳代男性	34	9
20歳代男性	37	18
20歳代男性	29	2
20歳代男性	39	6
20歳代男性	56	8
20歳代男性	42	6
20歳代男性	54	21
20歳代女性	32	1
20歳代女性	37	3
20歳代女性	41	7

りエラーが発生した回数(error回数)を、表1に示す。読みとりエラーの現象は、RFIDタグを発見することはできたが、読みとり距離内での十分な停滞時間が得られなかったことを示す。読みとり時間がさらに高速なRFIDタグを使用できれば、error回数をhit回数に取り込むことが可能であろう。この結果から、歩数の1/3以上の頻度でRFIDを読みとれる様子がわかる。ユーザが2-3歩歩けば、位置を特定することが可能である。

コスト増が容認できれば、前節で述べたようにRFIDタグの密度を上げて、位置測定解像度を上げることで、hit回数も増加する。一方、RFIDリーダの検知範囲を広げることによって、位置精度は低下するが、hit回数を増加させることができる。たとえば、履き物の靴底の周辺に受信アンテナを巡らすことで、検知範囲を広げることができる。

## 5. Virtual Glassboat

床に設置したRFIDタグの密度が低い場合、相対的な移動量検出メカニズムによりタグ間の位置を補間することも可能である。ここでは、筆者らが試作したVirtual Glassboatと呼ばれるカート[5]を、IDカーペットと組み合わせる応用について述べる。

Virtual Glassboat(図8)は、地面や床の下の情報を見るための簡易型ARシステムである。カートの上に、コンピュータディスプレイを上



図8. Virtual Glassboat. カートに搭載されたコンピュータ画面が、移動方向と逆にスクロールする。

向きに設置・搭載している。車輪の回転から装置全体の移動量と回転を測定でき、移動・回転方向と逆の方向にディスプレイの内容をスクロール表示する。ユーザがカートを押しながらディスプレイをのぞき込むと、その場所の配管、配線、床下構造などの地下の様子を覗き見るかのような拡張現実感を得ることができる。海洋公園などにある、船底がガラス張りになった遊覧船 (glass-bottom boat) にちなんで名付けた。

試作機で使用したカート (C&C KUWANO、メッシュラブ、荷台面 555 x 393 mm) には、車輪が4個あり、うち前輪の2個が方向可変、後輪の2個は方向固定である。車輪は硬質ゴム製で、直径75 mm、幅19 mm、後輪の間隔は265 mmである。固定後輪の回転を測定することで、カートの位置と方向の変動を知ることができる。そこで図9に示すように、後輪2個の側面に32本の縞模様のパターンを貼りつけ、反射型フォトインタラプタ (SHARP, GP2S22) で読みとる。市販のマウス (サンワサプライ MA-401PS) のコントローラ部を利用して、フォトインタラプタの信号を搭載ノートPC (Panasonic, CF-27, OSはLinux) のマウスポートに入力した。これにより車輪の回転数と回転方向を測定できる。床に敷設したRFIDタグを読み込むために、カートの先頭に NaviGeta で使用した物と同型のRFIDリーダを取り付けてある。RFIDタグを検出すると、カートの絶対位置と方向情報を校正する。



図9 カートの底面。後輪 (左) の回転を測定する。また先頭部分 (右) にはRFIDリーダが取り付けられ、床の上のRFIDタグを読みとる。

搭載PC上で稼働する情報閲覧プログラムは、フォトインタラプタとRFIDリーダからの情報からカートの回転・移動を計算して、表示を回転・スクロールする。現在の試作プログラムは、PostScriptファイルの線・円弧データから、配管の様子を表現した3D画像を表示する機能がある (図8)。

車輪の回転から検出できるカート移動量の精度を計測したところ、同じ場所で1回転させた場合、360度に対して3%以内の誤差であった。また、直線移動させた場合、図10に示すように3%以内の誤差であった。回転と直線移動を組み合わせると長距離使用した場合は、車輪のスリップなどにより誤差の蓄積が予想される。

Virtual Glassboatは、床や地面に敷設した1-2個の基準点RFIDタグの周囲の様子を閲覧する目的で開発された。これをIDカーペット上で使用すれば、広い空間を対象に位置精度を保ったまま場所依存情報の提示が可能になる。上記の

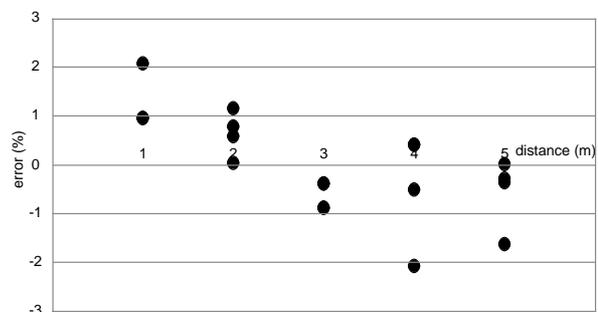


図10 カート移動量検出の精度。全測定値の平均からの誤差 (%) を示す。

誤差測定結果から、IDカーペット上で使用する場合は、1-2m程度の頻度でRFIDタグが見つかり校正できる程度のタグ密度で実用的な位置検出が可能だと考えられる。

## 6. 関連研究

実世界にバーコードなどによるタグを貼り付けてARシステムや実世界指向インタフェースを実現した研究は多い。たとえば、NaviCam [6]ではバーコードを、筆者らによるFieldMouse [7]ではバーコードなどのタグとマウスなどの相対移動検出メカニズムを組み合わせ、実世界の位置を検出している。いずれも基準となる少数のタグを使用しているが、本方式では環境を覆い尽くすタグによる位置検出システムについて論じた。なお、相対移動検出メカニズムを持つVirtual GlassboatはFieldMouseの一種である。

本論文の方式とは逆に、環境側に多数のRFIDリーダを配置する方式もある。たとえばホワイトボードに貼り付けたRFIDタグ内蔵のマグネットを検出して工程管理などに利用する製品[8]や、ゲームボード上のRFIDタグ内蔵の駒の位置を検出してインタラクティブなゲームを通してグループ学習を支援するシステム[9]がある。この構成では、移動側が安価で無電源であるので、多数の駒などを使用する用途に適している。一方本方式は、位置検出可能な空間を容易に広げることができる特徴があり、移動側にウェアラブルコンピュータなどの装置類があり、リーダを移動側に組み込むことが容易である用途に適している。

## 7. まとめと予定

本論文では、ARシステムや実世界指向インタフェースで用いるための、安価で測定範囲を容易に拡張できる位置検出システムとして、RFIDタグを環境に貼り付ける方式を提案し、試作と評価を行った。その結果、コストと精度のトレードオフがあるものの、様々な応用が可能な実用的な方式であることを示すことができた。IDカーペットとNaviGetaの組み合わせは、屋内

でのARシステムや、オフィスなどでの人の位置に基づいた実世界指向インタフェースへの応用できる。手始めに、筆者らが開発しているARシステム[10]のユーザ位置検出装置として使用する予定である。また、Virtual Glassboatとの組み合わせは、たとえば博物館などで床上に配置した展示物情報の提示に応用できる。今後は実際のシステムに組み込んでの評価を行ってきたい。

## 謝辞

本研究の一部は、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)「新規産業創造型提案公募事業」の支援を受けた。NaviGetaは、ソニーコンピュータサイエンス研究所の暦本純一氏が提案した架空の下駄型ナビゲーションシステムの名称であったものから、使用許諾いただいたものである。

## 参考文献

1. Ronald T. Azuma. A survey of augmented reality. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 6(4):355-385, August 1997. <http://www.cs.unc.edu/azuma/ARpresence.pdf>.
2. 椎尾一郎, 早坂達, "モノに情報を貼りつける - RFIDタグとその応用 - ", 情報処理 Vol.40, No.8, pp.846-850, ISSN 0447-8053, (社)情報処理学会, 1999.8.15
3. エーアイエムジャパン, "これでわかったデータキャリア", オーム社, 1998
4. <http://www.omron.co.jp/ib-info/>
5. 椎尾一郎, 米山誠, "Virtual Glassboat:カートによる簡易型拡張現実システム", インタラクシオン'2000 論文集, 情報処理学会シンポジウムシリーズVol. 2000, No. 4, pp. 163-164, 2000.2.29-3.1
6. Jun Rekimoto and Katashi Nagao. The world through computer. In Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'95), pages 29-36. ACM Press, November 1995.
7. Itiro Sio, Toshiyuki Masui, Kentaro Fukuchi "Real-world Interaction using the FieldMouse" CHI Letters, Vol.1, Issue 1 (Proceedings of the UIST'99), pp.113-119, ACM Press, 1999.11.7-10
8. <http://www.uchida.co.jp/data2/tsushin/nl/nl-j/j020.html>
9. 楠房子, 杉本雅則, 橋爪宏達, "相互作用の促進を目指したグループ学習支援システム", インタラクシオン'2000論文集, 情報処理学会シンポジウムシリーズ Vol. 2000, No. 4, pp.165-166, 2000.2.29-3.1
10. 山本吉伸, 椎尾一郎, "空気ペン 空間への描画による情報共有 - ", 第59回情報処理学会全国大会講演論文集(4), pp.39-40, 1999.9.29