

マトリックス RFID リーダと 姿勢検知パッシブタグ連動型 VR システム

飯塚 直亮^{†1} 柴原 直也^{†1} 樋渡 和憲^{†1}
野口 正寿^{†2} 佐伯 典貢^{†2} 岩井 将行^{†1}

概要: 近年, RFID などの無線通信による情報読み取り技術が発展していく中で電子マネーや社員証などの非接触型のデバイスが多く増えている. こうした技術で, リアルタイムでの情報読み取りが可能になっている. またその情報を仮想空間に送ることによって実空間と仮想空間の連携が容易に行えると考える. 既存の実空間と仮想空間での連携を行うサービスとして多くのものは画像認識を用いて対象物の認識を行っている. 画像認識を用いると機材が大きくなり搬入が困難になる場合がある. また, 対象物が傷付くと上手く認識の動作が働かない可能性がある. そこで本研究では, 格子状にアンテナを配置したマトリックス RFID リーダと姿勢検出のできる RF 帯センサ付き無電池タグを開発してタグの姿勢情報を元に実空間と仮想空間の連携システムを提案する.

Matrix RFID Reader and Attitude Detectable Passive-Tags Linked VR System

NAOAKI IIZUKA^{†1} NAOAYA SHIBAHARA^{†1} KAZUNORI HIWATASHI^{†1}
NORITSUGU SAEKI^{†2} MASATOSHI NOGUCHI^{†2} MASAYUKI IWAI^{†1}

Abstract: In recent years, non-contact devices, such as electronic money and an employee ID card is increasing number in the information reading technique according to wireless communication by evolving RFID technologies. Among these technologies, which enables the information read in real time. Also considered to be performed easily to cooperate in the real space and virtual space by sending the information to the virtual space. Many things as services that existing in the real space that is currently the cooperation in the virtual space is performed recognition of the object by using image recognition. When using image recognition, equipment become large. Therefore carrying will be difficult. In addition, there is a possibility that the operation of the recognition does not work properly when the recognition object damaged. In this study, we have developed a non-battery-tagged RF band sensor capable of lattice-like matrix RFID reader and the attitude detection was placed antenna, we propose a cooperation system of the real space and virtual space and orientation information of the tag to the original.

1. はじめに

1.1 本研究の背景

近年, RFID などの無線通信による情報読み取り技術が発展していくことで電子マネーや社員証などの非接触型のデバイスが多く増えている. その中で, リアルタイムでの情報読み取りで実空間の状態をより仮想空間に送ることができるようになりつつあると考える.

RFID 技術で実空間内にある物体等の認識はパッシブタグを用いる手法[1]とアクティブタグを用いる手法[2]がある. 前者後者共に, 物体の位置に関する情報を認識できるがタグ自身の状態を認識できるわけではない. また, 後者の場合はアクティブタグを利用しているので自身に電池を内蔵しているためサイズが大きくなり, また電池の交換などの手間がかかるものであった. さらにタグ 1 つに対してのコストが上昇する.

また RFID 無線通信以外で実空間と仮想空間の連携を行

っているサービスの例として, 株式会社 SEGA が画像認識を用いて連携を行っているものがある[3].

画像認識で連携を行う場合, ゲームを行うための筐体が大きくなってしまったり認識する対象物が傷付くと正常に読み取りが行えないなど問題が生じる.

そこで我々は, RFID 技術を用いた物体の位置情報と共に姿勢情報を認識できる技術を開発した.

1.2 本研究の新規性

本研究では, センサを内蔵した無電池式 RFID (以下, パッシブセンサタグ) を開発した. 仮想空間と連携するために電子コンパス等のセンサを内蔵させ姿勢情報を取得可能にした. また, パッシブセンサタグの位置情報の取得と給電を行うためのアンテナをマトリックス (格子) 状に配置した特殊アンテナの開発を行った.

実空間のタグ姿勢をパッシブセンサタグで取得し, Unity[4]で開発したアプリケーションへ情報を送ることに

^{†1} 東京電機大学
Tokyo Denki University.

^{†2} タカヤ 株式会社
TAKAYA Inc.

よって仮想空間に別オブジェクトとして表示をして連携を行う。また、実用的なデモアプリケーションを作成して実用性を示す。

2. 姿勢の定義

本研究でのパッシブセンサタグの姿勢の定義を以下に示す。姿勢情報とは、「デジタルコンパスセンサによる方位、ジャイロセンサによる回転角度から求められる向きの情報」と「加速度センサによる反転及び傾きから求められる表裏情報」のことを指すものとする。また、パッシブセンサタグの初期姿勢の登録は方位の補正值で行う。

例. E007A20000009DA,-2406,22

左から、パッシブセンサタグの UID・x 軸の方位角の補正值・y 軸の方位角の補正值となっている。方位角の z 軸の補正值を定めない理由として、表裏の判定は加速度で行っているためである。

3. ハードウェア構成

実空間の情報を送る上での RFID リーダとセンサ付き RFID タグについての説明を以下で示す。

3.1 マトリックス RFID リーダ

本研究ではセンサ付き無電池タグの情報を読み取るための特殊な RFID リーダ（以下、リーダ）を用いる。

リーダの図面を図 1 に、実物を図 2、図 3 に示す。

図面では縦と横のアンテナ本数は任意の数であることを示している。本研究のリーダは 4×4 で作成した。

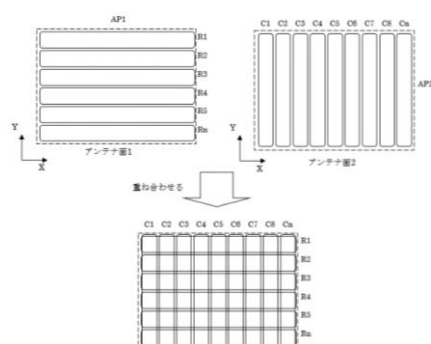


図 1 マトリックス RFID リーダの図面

Figure1 Drawings of matrix RFID reader.



図 2 マトリックス RFID リーダの実物

Figure2 Real matrix RFID reader.

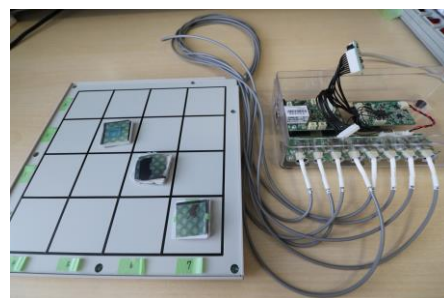


図 3 マトリックス RFID リーダの実物

Figure3 Real matrix RFID reader.

リーダは、アンテナの交差部での認識でマス目上の位置を持っている。パッシブセンサタグをリーダ上に置くことによってそのタグの姿勢や格子状での位置の情報を取得できるものとなっている。リーダ上に複数のパッシブセンサタグが置かれても、それぞれの姿勢と位置情報が取得できるため最大で 16 個まで同時に読み取ることが可能である。

3.2 センサ内蔵無電池 RF タグ

実空間の情報を持つオブジェクトとして本研究では、姿勢情報を取得できるパッシブセンサタグを用いる。

パッシブセンサタグを図 4 に示す。

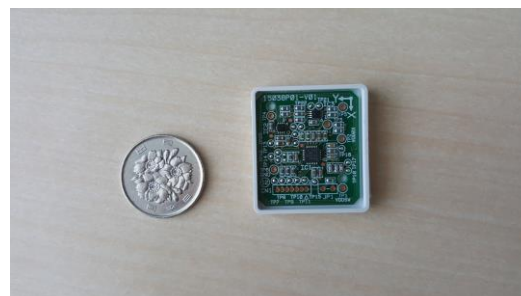


図 4 パッシブセンサタグの実物

Figure4 Actual passive sensor tag.

パッシブセンサタグには姿勢情報の取得に必要な、デジタルコンパスセンサ・ジャイロセンサ・加速度センサの 3 つが内蔵されている。

またパッシブタグなので、タグ自身は電力の供給源を持っておらずリーダに置くことによってリーダから電力の供給が行われてセンサの起動を行う。パッシブセンサタグ自身に電力供給源を持たせないことにより、軽量化と簡素化が可能になる。

4. フィジカル VR 連携システムの構成

前項で述べたハードウェアを用いた VR 連携システムに

ついでの説明を以下で示す。

4.1 VR 連携システムの構成

本研究のシステムは、タグ情報読み取りアプリケーションとタグ情報表示アプリケーションの2つのアプリケーションによって構成されている。2つのアプリケーションの連携については、UDP 通信を用いてパッシブセンサタグの位置情報と姿勢情報を受け渡すことに行われている。

アプリケーションを切り分けた理由として、UDP 通信を用いることによってマルチキャストで同じタグ情報読み取りアプリケーションから複数のタグ情報表示アプリケーションに対して情報の受け渡しが可能になるため将来的に多人数での連携が行えるからである。

4.2 タグ情報読み取りモジュール

このアプリケーションではリーダに対して、設置されているパッシブセンサタグの情報を読み取る命令を送るものである。Visual Studio で C#を用いてアプリケーションの開発を行った。

定期的にリーダに対して自身の現在状況を認識させ、パッシブセンサタグが置かれていた場合パッシブセンサタグ自身の情報をさらに取得させるといったフローになっている。前項で述べた姿勢の読み取りを行う。それに加えて、パッシブセンサタグがリーダ上での 4×4 のマス内でどこに属しているかの情報がリーダを使うことによってわかる。それぞれの情報を、方位角と回転角からパッシブセンサタグの向いている向き、加速度から表裏、マス目から自身の位置を json 形式で UDP 送信し続けるアプリケーションになっている。読み取れるデータを図 5 に示す。

```

【変数定義】
double comp_x; //X軸コンパス生データ
double comp_y; //Y軸コンパス生データ
double mag_z; //Z軸加速度 生データ(符号付き16bit)

double xref; //X軸コンパス補正値(上限と下限の中間値)
double yref; //Y軸コンパス補正値(上限と下限の中間値)

double rot_x; //X軸コンパス計算値(comp.x - xref)
double rot_y; //Y軸コンパス計算値(comp.y - yref)
double compass; //方位計算値(北=0° /右回りでプラス角度)

double angle_z; //Z軸傾き角度計算値
short zangle = 182; //Z軸加速度センサの変換係数 182/1度
//1
//±2gを符号付き16bitで表す⇒静止時のgは±1g 1g=+90度、-1g=-90度
//⇒±16383/180度=182/1度

```

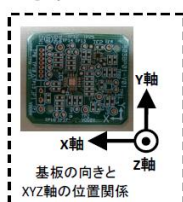


図 5 パッシブセンサタグから取れるデータ一覧

Figure5 Data list that can be taken from the passive sensor tag.

タグ姿勢情報に基づく VR 表示変更アプリケーション
このアプリケーションでは、タグ情報読み取りアプリケーションが UDP で送っているリーダの現在状況を受信して仮想空間に対してフィードバックを行うものである。

Unity を用いて開発を行った。

アプリケーション起動時の状態を図 6 に示す。

また、タグが置かれた状態を図 7 に示す

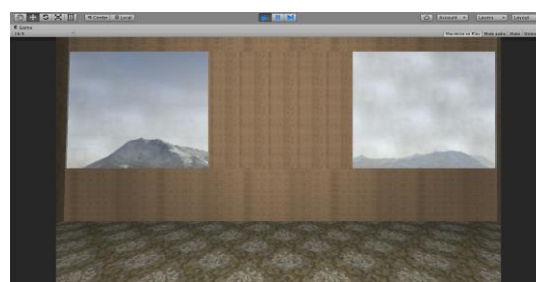


図 6 アプリケーション起動時の画面

Figure6 Screen of the application startup.

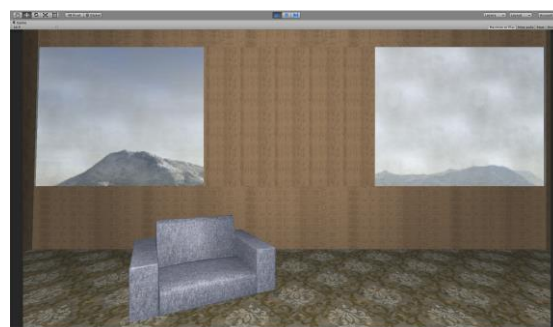


図 7 タグが置かれた時の画面

Figure7 Screen when the tag is placed.

本研究では、リーダの盤面を部屋の床にパッシブセンサタグを家具と例えて仮想の部屋をリーダ上から仮想の部屋のレイアウトを操作するというデモアプリケーションを作成した。

実空間の情報を元に仮想の部屋のレイアウトを操作するというアプリケーションは、株式会社ネクストが行っている GRID VRICK[4]がある。GRID VRICK では LEGO(R) ブロックを家具に見立ててブロックを配置することによって仮想の部屋のレイアウトを操作するというものである。カメラを用いてブロックの色と向きを取得して、対応した家具の表示を行っている。LEGO(R)を用いて表現しているため向きの自由度が低いものである。しかし、このアプリケーションの場合はパッシブセンサタグの向きを元に家具の向きを指定しているため向きの自由度が高いものになっている。パッシブセンサタグの情報の取り扱い、表 1 に示す。

表 1 パッシブセンサタグ情報と家具情報の関係

Table1 Relationship of passive sensor tag information and furniture information.

UDP で送られる情報	家具での情報
マス目上の位置	部屋の中での位置
向き	家具の向き
表裏	家具の色
UID	家具の種類

仮想の部屋に配置可能な家具を図 8 示す。

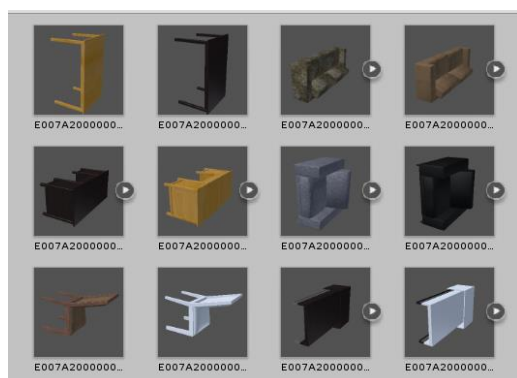


図 8 配置可能な家具のモデル

Figure8 Model that can be placed furniture.

また、家具のモデルデータは Unity の AssetStore からダウンロードしたものを使用した。

UID によって表示している 3D モデルを変更しているので、3D モデルであればどんなものでも問題ないので家具以外にも人間のモデル等を表示させることは可能である。

4.3 VR 連携システム

4.3 内で述べた通り、本研究では Unity 内の仮想の部屋と実空間のリーダ上の状況を連携させている。タグ情報読み取りアプリケーションが UDP でタグの情報をタグ情報表示アプリケーションに送ることによって実空間の VR 連携システムが成り立つ。実空間のリーダを仮想空間の部屋の床に、パッシブセンサタグを家具にそれぞれ連携させている。

実空間と Unity の仮想空間の状況を図 9～11 に示す。図中右側が実空間、左側が Unity の仮想空間である。

TODO:画像の差し替え

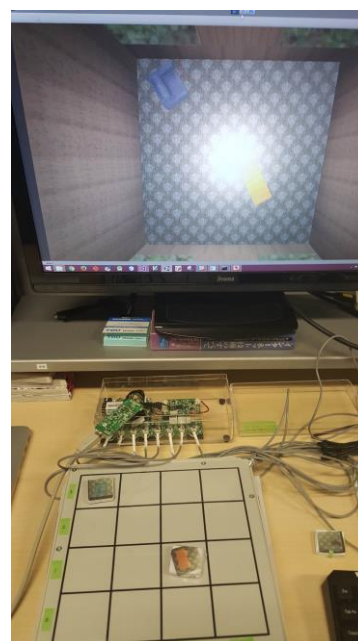


図 9 タグを置いた時の状態の連携

Figure9 Coordination state when placing the tags.

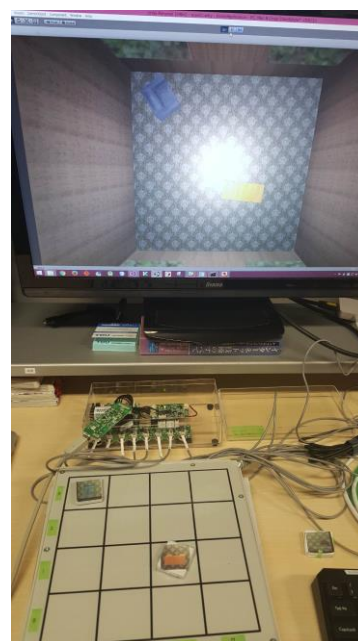


図 10 図 9 の状態からタグを回転させた状態

Figure10 While rotating the tag from the state shown in FIG. 9.

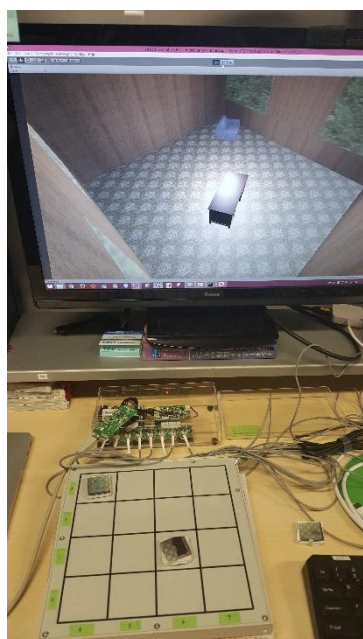


図 11 別視点から見た状態

Figure11 When viewed from a different perspective.

課題点として実空間と仮想空間の情報送信から状態の同期をするタイムラグについては、置かれているパッシブセンサタグの数が増えると比例してタイムラグが増える傾向にある。リーダーにパッシブタグを置いた時の同期までに要する時間に関するグラフを図 12 に示す。原因として、パッシブセンサタグ自身への電力供給をリーダーから行ってパッシブセンサタグ内のセンサを起動するのに約 0.5 秒要し、それに加えてセンサの情報を取得する過程でセンサ自身が情報を取得するのに約 0.2 秒要する。そのため、リーダーがパッシブタグの情報を取得するのに多くの時間を要するためである。また、パッシブセンサタグの情報読み取りは同時に複数個行えず必ず 1 つずつになってしまうのも原因の 1 つである。

またリーダーの仕様上、格子状に設置されているアンテナ 1 つずつパッシブセンサタグの情報読み取りを行うため単一の読み取りに関しては高速であるが全アンテナの読み取りが終わる状態になるためには最短で「パッシブセンサタグが置かれていない時の読み取り時間（約 0.3 秒）×8（アンテナの本数）」となる。

アンテナ状にタグがある場合読み取り時間が、タグ 1 つにつき約 1.3 秒かかるので置かれている個数が多いほど比例して同期するまでの遅延時間が生じる。

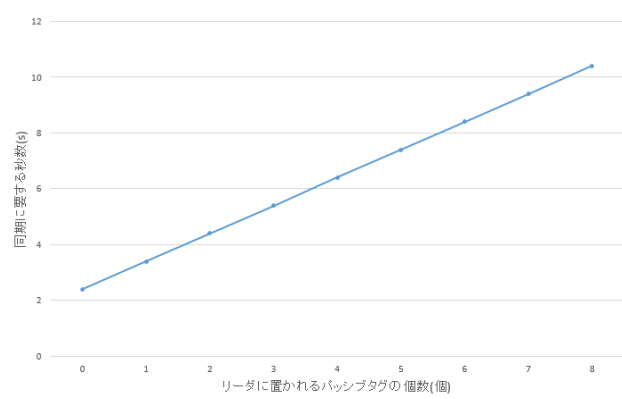


図 12 パッシブタグの個数に対しての同期遅延時間

Figure12 The synchronization delay time with respect to the number of passive tag.

仮想空間での視点はユーザが操作可能になっている。切り替えられるユーザの視点は中央からの視点・部屋の 4 隅・天井からの見下ろしとなっている。中央からの視点時のみ周辺の見渡しが可能である。

5. 展示会での評価

本研究で作った VR 連携システムは、2015 年 9 月 16 日～9 月 18 日に行われた自動認識総合展で展示を行った。展示会では、他の出展企業や展示会に来られたユーザから様々なフィードバックを受けた。

5.1 ユーザの意見

一番多く受けた意見として、パッシブセンサタグを置いた時の仮想空間でのフィードバックの遅延についてだった。展示会に出展した時の UDP 送信のフローは、「リーダー上に置いてある全てのパッシブセンサタグのセンサ情報を読み取ってから情報送信を行う。」というものであった。

このフローだとパッシブセンサタグの数が増えると、全パッシブセンサタグの情報を取得し終えるまでの時間がタイムラグになってしまうため即座に反映されないことに違和感があるというものであった。

その他に受けた意見として、部屋の間取りを再現しているにもかかわらず視点の自由度が少ないというものであった。GRID VRICK は、ヘッドマウントディスプレイを用いて仮想空間で作られた部屋を歩き回れるのに対してこのアプリケーションは中央からの視点以外では固定での視点になってしまっているため視点の自由度が低いものである。

5.2 アプリケーションへのフィードバック

意見を受けた中で、仮想空間でのタイムラグについて即座に修正するべきと考え UDP の送信フローを新しく考え直した。新しいフローでは、「タグ情報を読み取った時点で

情報送信を行う」というものである。このフローの場合、パッシブセンサタグの個数が増えたとしてもそれぞれの仮想空間のタグ情報の反映は比較的高速になる。しかし、パッシブセンサタグが置かれている状態から置かれていない状態になった時の反映させる全体の同期部分が遅くなってしまう問題が起こった。この問題に関しては、ハードウェアの仕様も兼ねて今後解決していく課題である。

6. おわりに

今後の展望を以下に示す。

- － タイムラグがあり実空間の状況を即座に仮想空間に表現できていないので UDP の送信方法等多方面からの解決案の提示。
- － 現在のタグ情報表示アプリケーションが PC でのアプリケーションになっているが Android などの端末で表示を可能し、Gear VR[5]のようなヘッドマウンドディスプレイでの表示。
- － 仮想の空間を部屋以外に見立てて、実用的なゲーム（将棋やオセロなど）の作成。
- － 複数タグ表示アプリケーションでタグ情報読み取りアプリケーションの UDP のソケット受け取りを行い複数端末での連携。

我々は、本研究においてセンサを内蔵した無電池式 RFID を開発し、仮想空間と連携するために電子コンパス等のセンサを内蔵させ姿勢情報を取得可能にした。また、パッシブセンサタグの位置情報の取得と給電を行うためのアンテナをマトリックス（格子）状に配置した特殊アンテナの開発を行った。

リアルタイムでの実空間の情報をパッシブセンサタグで取得し、Unity で開発したアプリケーションへ情報を送り仮想空間でフィードバックを行い仮想空間と実空間の連携を可能にした。

また、自動認識展においてアプリケーションを作成しフィードバックを得ることに成功し、実用性を示した。

また、特許の出願を行った。（識別番号 100109221 特願 2015-207088）

謝辞 本研究に対し様々な発想と提案を頂いた TAKAYA 株式会社様に感謝いたします。また、本論の研究を手伝って頂いた東京電機大学未来科学部情報メディア学科実空間コンピューティング研究室の皆様に感謝いたします。

参考文献

- 1) 中村英生, 桑原義彦, 石田和生, 甲斐正義:パッシブ RFID タグの位置推定,電子情報通信学会技術研究報告.A・P, アンテナ・伝播 109(218), pp.85-90 (2009)

- 2) 長坂康史, 金子尚人:アクティブ RFID 技術を用いた移動体位置推定アルゴリズムに関する研究, 広島工業大学紀要研究編,第 43 巻 pp.299-304 (2009) .

- 3) 画像認識技術をつかったアーケードゲーム
http://cedec.cesa.or.jp/2009/ssn_archive/pdf/sep2nd/SP19sega.pdf

- 4) Unity3d
http://unity3d.com/jp/5?gclid=CjwKEAajwh8exBRDyyqqH9pvf1ncSJAu4OE3oz98pSgL7hui3v-qTHyLpercRbL012NIYhTWK4pQphoCI0Tw_wcB

- 5) GRID VRICK（グリッドブリック）－株式会社ネクスト エンジニア Blog
<http://nextdeveloper.hatenablog.com/entry/2014/11/05/195845>

- 6) Gear VR Innovator Edition for S6 | ウェアラブル | Galaxy
<http://www.samsung.com/jp/product/SM-R321/#gallery>