

床面 RFID センサ「インテリマット」の開発

黒川 高弘

大阪大学 工学部 応用理工学科

高橋 甲介

大阪大学大学院 工学研究科 機械工学専攻

中西 英之

大阪大学大学院 工学研究科 知能・機能創成工学専攻

ネットワークを介したコミュニケーションを円滑に行うためにはアウェアネス支援が重要となる。そのための1つの手段として、本論文ではユーザの左右の足に取り付けられたICタグと床に敷かれたRFIDアンテナからなる状況把握システム、インテリマットを提案する。本システムの利点は、タグの検知が床上数cmの範囲のみで行われるのでユーザはタグとアンテナの間の遮蔽物を気にしなくてもユーザごとの左右の足の位置が検出され、現在の状況が推測されることである。また、実験として日常生活で想定される幾つかの状況下で位置検出を行い、本システムで日常生活の様子を把握することが可能であることを確かめた。

Development of the RFID-based Floor Sensor System "IntelliMat"

Takahiro Kurokawa

Division of Mechanical, Materials and Manufacturing Science, Osaka University

Kousuke Takahashi

Department of Mechanical Engineering, Osaka University

Hideyuki Nakanishi

Department of Adaptive Machine Systems, Osaka University

It is well known that "awareness" plays an important role in distributed collaboration environments. As an awareness support system we developed "IntelliMat" that is a combination of the RFID antennas embedded under the floor surface and the IC tags attached to the right and the left foot of users. The users of IntelliMat do not need to care about occlusion between their tags and the antennas, since the tags are always very close to the antennas. We conducted an experiment in which we reproduced daily human behaviors at an office environment and observed how IntelliMat could capture those behaviors.

1 はじめに

ネットワーク上でリアルタイムコミュニケーションが行われる際、コミュニケーションをとろうとする相手の現在状況を把握する必要がある。このため、ウェアラブル支援により相手の現在状況を知るシステムが求められる。

本論文では人物の現在状況を表す情報の 1 つである位置情報に着目し、RFID タグと RFID リーダを用いてこの情報を取得するシステム、インテリマット(以下、IntelliMat)を提案する。IntelliMat ではユーザは左右の足に RFID タグを添付し、床に埋め込まれた複数の RFID リーダのアンテナが各々の ID 検知範囲内のタグ ID を読み取ることでどこに誰のどちらの足が存在するのかを検出する。また、左右の足それぞれに ID が割り当てられるので単にどの地点に居るのかだけでなくユーザの体の向きも検知が可能となる。この方式ではユーザは RFID タグを足につけるだけでよく、タグは小型のパッシブタグ(電源を持たず、電磁誘導を用いて外部から電力を供給する)を用いるので、タグ装着時のユーザの負担を軽減する。装置全体についても、タグの位置情報の検出は床面とユーザの足首から下の範囲内で行われるので赤外線や超音波を用いた位置検出装置のように観測空間内の遮蔽物を考慮しなくてもよいということではなく、システムを利用する際の観測空間上の制約は少ない。

以下、第 2 章で既存の位置検出システムを挙げ、IntelliMat との比較を行う。第 3 章で IntelliMat の説明を行う。第 4 章では実際に IntelliMat を設置し、様々な場面での状況把握の実験を行う。第 5 章はまとめである。

2 既存の研究と本研究の比較

2.1 既存の位置検出システム

屋内での位置情報検出を行う既存のシステムを挙げると、床センサ[1]Active Badge[2] , The Active Bat Location System[3] , Cricket[4] , NaviGeta[5] 等がある。以下に各システムの紹介を行う。

2.1.1 床センサ

床センサは床に埋められたセンサを用いてセンサ上にかかった荷重を電気信号に変換するシステムである。大きく分けてロードセルを用いたものと感圧シートを用いたものの 2 つに分けられる。ロードセルは荷重をひずみゲージを用いて測定する。感圧シートは 2 枚の平面電極を薄い電導性ゴムやスペーサで絶縁したものである。荷重によりゴムが変形したり隙間が押しつぶされたりすることで抵抗値を変化させ、荷重の測定を行っている。

2.1.2 Active Badge

Active Badge は、ユーザに赤外線ビーコンを装着させ、発信された赤外線を部屋ごとに設置された受信機で読み取ることでユーザの位置検出を行うシステムである。ビーコンは $55 \times 55 \times 7$ [mm]でバッテリーの寿命は 1 年以上持続する。赤外線の送信は 15 秒毎に 0.1 秒間、ビーコン毎に固有の信号でなされる。この赤外線信号は壁等に反射するので指向性を持たない。それ故、位置の検出は部屋単位でのものになる。

2.1.3 The Active Bat Location System

The Active Bat Location System(以下、Active Bat) は、ユーザが持つ端末から送信された超音波を天井に配置した同期された複数の受信機で受け取り、その到達時間の違いから 3 次元計測により送信位置を特定するシステムである。送信はアンチコリジョンのために一度に 1 つの端末によって行われる。位置同定精度は数 cm である。受信機は部屋の天井に 1.2m 四方に 1 つの間隔で設置され、さらにこれらを集中管理するコントローラがある。ユーザが持つ端末は $75 \times 35 \times 15$ [mm]の大きさで 3.6V の電池を内蔵し無線通信機能と超音波発信器を有する。電池の寿命は 15 ヶ月程度である。

2.1.4 Cricket

Cricket は、天井に配置された超音波信号を送信する

ビーコンと、ユーザが所持する受信用のリスナからなるシステムである。超音波と同時に音波に比べて格段に速い伝播速度を持つ電波を送信し電波の到達時刻からの超音波の到達時間を計測することで送信機間の同期を実現している。Active Bat と違いユーザが受信機を携帯するので各ユーザの端末が独立に位置検出を行うことができ、検知範囲内の複数のユーザの位置を同時に検出可能である。ユーザの位置情報はユーザ自身にしか知らされないのでユーザのプライバシーが守られる。

2.1.5 NaviGeta

NaviGeta は、下駄の底に取り付けられた RFID リーダ(大きさ 40×53×23[mm])と、床に埋め込まれた ID タグからなるシステムである。ID タグはあらかじめ 1 つ 1 つの座標がわかっている、下駄の底のリーダで ID を読み取ることによってユーザの位置を検出する。観測区域内に必要なものは床に設置された ID タグのみなので設備の拡張が容易に行われるという利点がある。位置同定精度はタグを設置する密度に依存し、最高でリーダの検知範囲まで変更が可能である。

2.2 本システムと既存のシステムとの比較

IntelliMat と先に挙げた 5 つの既存のシステムとの比較を特にユーザへの負担と位置同定精度の 2 つの要素に着目して行った。

以下に既存の各システムと IntelliMat との比較を示す。

表 1 既存システムとの比較

項目	負担	検出精度
床センサ	無	低い
Active Badge	小	低い
Active Bat	大	高い
Cricket	大	高い
NaviGeta	小	可変
IntelliMat	小	可変

ユーザへの負担については床センサがユーザは何も

装着しなくていいのでこれらのシステムのなかでは最も優れているが、このシステムは個人の特定ができない。IntelliMat ではユーザは小型の ID タグを足に添付するだけでよいので、床センサを除く 5 種類のシステムのなかで最もユーザへの負担は小さい。

位置同定精度は Active Bat と Cricket が高い精度を持つが、超音波信号が遮られた場合やノイズが入った場合は誤差が大きくなる。IntelliMat は NaviGeta と同様に、床面に配置するセンサの密度を上げることで検出精度の向上が可能で、目的の位置同定精度に設定することが可能である。

これら 2 つの要素についての既存のシステムとの比較から IntelliMat は極力ユーザに負担をかけずに状況把握を行えるシステムであるといえる。

3 IntelliMat の構造

3.1 ID 取得部分の構成

ID の取得は ID の検知を行うアンテナとこのアンテナを最大 8 個まで接続できるリーダからなる部分が行う。リーダはアンテナが検知したタグ ID の受け取りと上位 PC への ID の送信を行う。今回はプロトタイプとして全厚みが 50mm、広さが 50cm 四方の OA フロアにアンテナを取り付けたものを作る。アンテナはフロアの表面マットから 20mm 下に 1 個取り付けられ、この OA フロア 1 枚の広さがアンテナ 1 個で受け持つ ID 検知範囲である。これは人の歩幅がおおよそ(身長-100)[cm]であるといわれていることからその範囲は 50cm 以上 1m 未満にあるものとして人の歩行を検出するのに必要な精度を確保するためである。図 1 にアンテナを取り付けた OA フロアの写真を示す。フロアの中で最も外側に配置されているものは取り付けられた可変抵抗で電流を調節しアンテナの ID 検知範囲を変更するためのループコイルである。

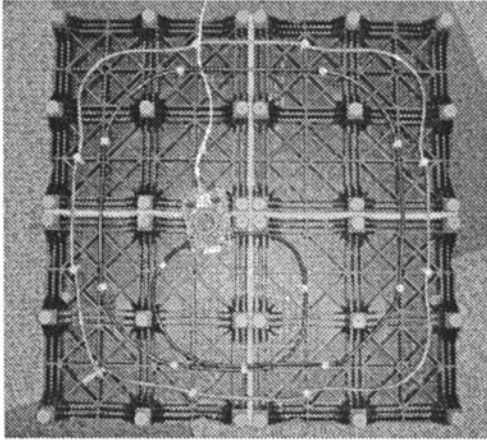


図1 アンテナを取り付けたOAフロアの写真

3.2 RFID タグの構造

今回使用する RFID タグはサイズが 85×54×1[mm] のカード型タグである。また RFID の周波数帯は HF(High Frequency)帯にあたる 13.56MHz のものを使用する。HF 帯は通信距離が 1m 以下と短く、指向性が低いため間に障害物が存在しても ID が読み取れることから位置検出に適した特性を有している。さらに生活ノイズや水に強いという利点もある。パッシブタグとしてはやや大型であるが通信距離が長く、今回使用するアンテナの ID 検知範囲に適している。

3.3 システム構成

3.3.1 データ通信の構成

検出した ID を出力するまでの全体の流れを以下の図 2 に示す。クライアントとして今回は PDA(HP iPAQ hx2400 シリーズ Pocket PC)を用いる。位置検出に必要な情報はサーバで一括管理される。これは効率の面でもセキュリティの面でも有効なためである。クライアントとリーダ間の通信はシリアル通信で行われるがサーバとクライアント間の通信は無線 LAN を用いる。これは ID 受信部分がホスト PC と物理的に接続されていると IntelliMat の設置が困難になるためである。図 2 において各クライアントは識別のため固有の名前を持ち、無線 LAN での接続がなされたときにサーバに名前を送る。1 つクライアントが受け持つアンテナ

は 8 個だがどのクライアントもアンテナ 1, アンテナ 2, …と区別しているので受け持つクライアントを識別することでサーバは接続されたすべてのアンテナを区別する。「受信内容」はアンテナ番号と ID からなるデータで、クライアントはリーダから得た「受信内容」をそのままサーバに送信する。サーバでは受け取ったデータを送信したクライアントの名前で区別して検出データを保存する。

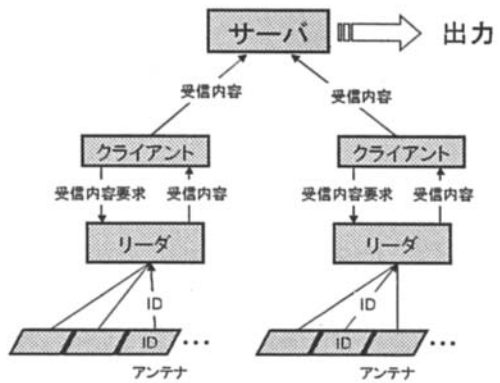


図2 データ通信の構成

3.3.2 サーバの構成

サーバにおいて受け取った ID から検知状況が出力されるまでの流れは図 3 に示す通りである。クライアントの接続ごとに ID を受け取るスレッドが生成される。観測区域内の検知状況は一定周期ごとに各クライアントから送られた「受信内容」を用いて出力される。

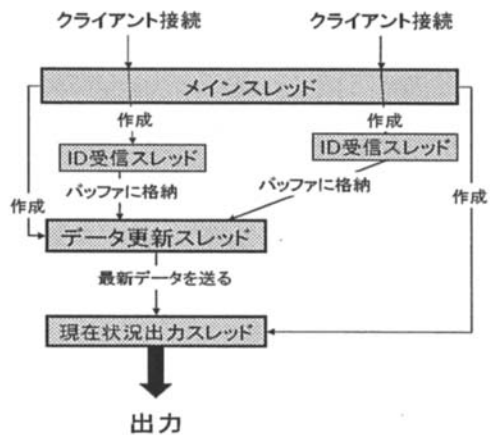


図3 サーバの構成

3.3.3 データの構造

観測区域内の状況出力に用いるデータの構造を図 4 に示す。データはクライアントを一要素とする配列で、クライアントは構造体の形で表される。この形式で観測区域内のアンテナ一つが現在、誰のどの足を検知しているかを保存する。これによりある地点についての情報を得たい場合、該当する座標値を持つアンテナだけを選択してそこで検知された ID を取得することにより特定地点での人物の位置検出が可能となる。検出 ID が誰のどちらの足のものはサーバ PC にあるデータベースから取得する。

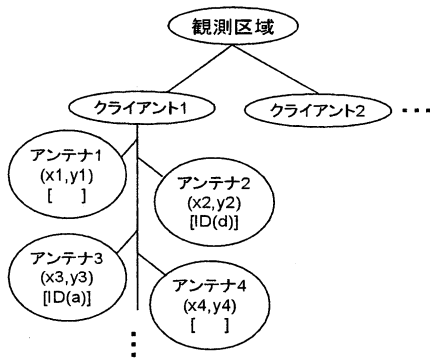


図 4 区域内データの構造

また先のデータ保存と同期して、別の形式で検知した ID 情報を保存しておく。このデータの管理方式を図 5 に示す。このように ID とクライアント、アンテナ番号を関連付けておくことにより登録された全ての足が現在どこにあるかを保存しておく。この形式でのデータの保存はある特定の人物の情報を得たい場合に有効である。

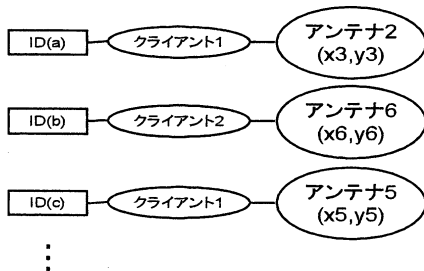


図 5 ユーザ ID データの管理方式

4 実験

4.1 実験装置

4.1.1 カード型タグをつけたスリッパ

カード型 RFID タグをスリッパに貼り付け、ユーザはスリッパを履いた状態で IntelliMat 上に立つ。スリッパは一對ごとにアルファベットを割り当てている。タグを貼り付けたスリッパの写真を図 6 に示す。



図 6 カード型タグをつけたスリッパ

4.1.2 IntelliMat

タグの読み取りには RFID リーダを 3 個、アンテナ 24 個を用いる。これらのアンテナを敷設した状態の写真を図 7 に示す。またこれ以降、床に敷き詰められたアンテナが埋め込まれた OA フロアの呼称としてシステム名同様、IntelliMat を用いる。また、管理や設置の際の利便性を考えて 8 個のアンテナのうち 1 つの OA フロアに RFID リーダ本体とクライアントを組みつけることにする。これ以降、これを親機、残りの 7 個のアンテナを子機と呼ぶ。親機の構造を示した写真を図 8 に示す。今回の実験では示した状況の短い周期で更新される画面の出力を撮影するため、素早くクライアント PDA を操作しなければならなかったため親機を裏返し、ID 検知にはは使用しない

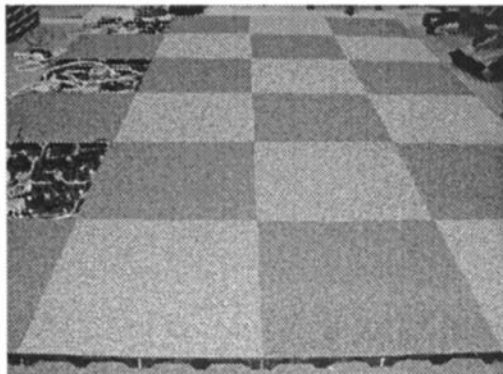


図 7 敷設した IntelliMat

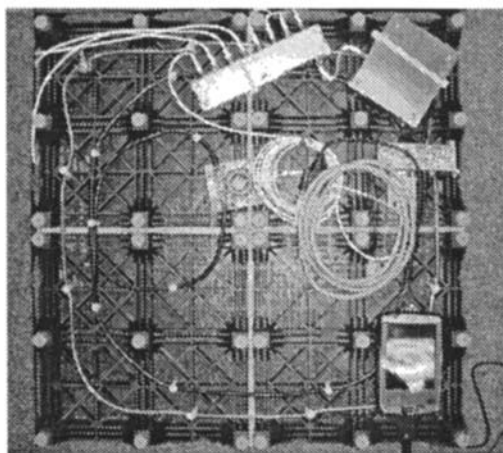


図 8 IntelliMat 親機の構造

取得した ID はサーバ PC の画面上に直接表示する。例として、図 9 のような位置にスリッパが置かれていた場合の表示を出すと図のようになる。



図 9 画面手前に置かれたスリッパ

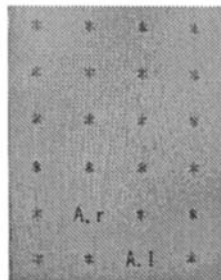


図 10 画面手前に置かれたスリッパの表示

4.2 様々な場面における状況把握

4.2.1 二人の人物が会話している場面

二人の人物が会話している場面を IntelliMat で観察する。IntelliMat 上で二人の人物が会話している写真を図 11 に示す。また、そのとき IntelliMat のサーバが出力した結果を図 12 に示す。図 12 から二人の人物がほぼ向かい合っているということが分かる。分かるのは向かい合っているということだけだが、二人の距離があまり離れていないことから何らかのコミュニケーションをとっているであろうことが推測可能である。



図 11 二人が会話している

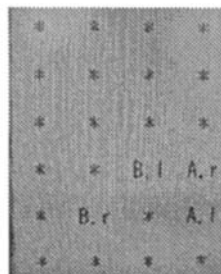


図 12 二人が会話している時のサーバ側の出力

4.2.2 複数の人物に隠れた人物の状況把握

写真上で複数の人物に隠れた人物が存在する場面で IntelliMat を用いた状況把握を行う。3 人が会話をしている、さらにもう一人その場に居るがカメラからは死角になっていて何をしているかわからないという状況の写真を図 13 に示す。またそのときの IntelliMat のサーバが出力した結果を図 14 に示す。図 14 から隠れている人物(C のスリッパを履いていることがわかる)は会話している三人(それぞれ A, B, D のスリッパを履いている人物)の方向とは別方向を向いているので会話には参加していないことが推測可能である。

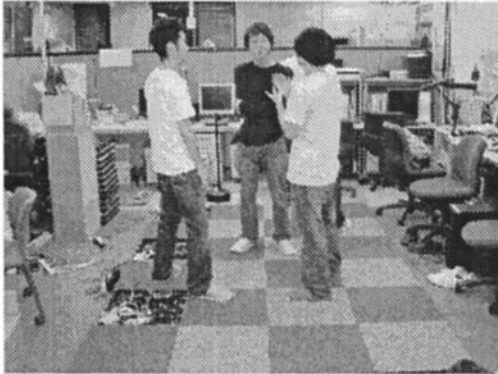


図 13 四人中三人しか見えない

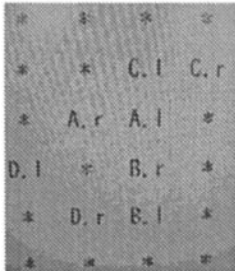


図 14 四人中三人しか見えない時のサーバ側の出力

4.2.3 人がイスに座っている場面

イスの中心にもタグを取り付ける。今回用いるイスはキャスター付きで腰掛け部が 360 度回転するので ID では向きは分からず、その位置のみが画面上では [] と表示される。図 15 に人物がイスに座っている写真を示す。また、そのときの IntelliMat のサーバ側の出

力を図 16 に示す。このとき出力からは、人物がイスに対し、かなり近い位置で背を向けているということが読み取れる。このことから人がイスに腰を下ろしていると決めることはできないが、イスが今回のようにキャスター付きなら図 16 の 3 つの表示が固まって動くなどした場合にはイスに座っていると分かるだろう。



図 15 人物がイスに座っている

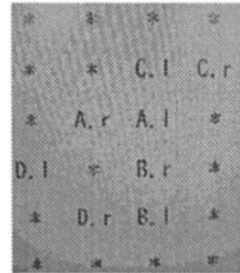


図 16 人物がイスに座っている時のサーバ側の出力

4.2.4 空いているイスが人で隠れている場面

先の場面で用いたタグを取り付けたイスを用いて、空いているイスが人物で隠れている場面を IntelliMat を用いて観察する。カメラの位置からは会話している人物のみが写っている状態の写真を図 17 に示す。このときに IntelliMat のサーバに出力された状況を図 18 に示す。図 18 から 3 人の奥にイスがあり、さらに表示されている 3 人の向きからイスには誰も座っていないことが読み取れる。

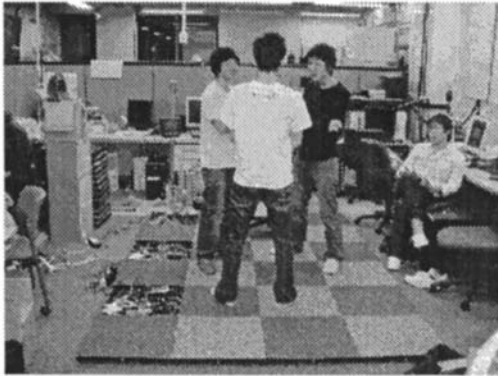


図 17 確認できるのは三人

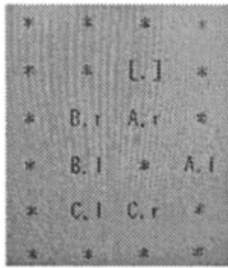


図 18 確認できるのは三人の時のサーバ側の出力

4.3 考察

いくつかの場面を想定した実験から、IntelliMat では確実な状況把握を行うことは難しいが、ユーザの足を個別に検出することでユーザの体が向いている方向がわかり、これから 4.2.4 のときのように極めて低い、もしくは有り得ない可能性を除くことで状況を推測し、大まかな状況把握を行うことは可能であることがわかった。また、今回と違い動的に観測を行った場合の状況把握も行うべきだろう。その際はアンテナの密度を上げ、検出頻度と検出精度を向上させればより詳細な位置関係が取得できるが、その場合、設置コストとのトレードオフを考慮する必要がある。

5 まとめ

本論文ではユーザへの負担が少ない位置検出システムとして IntelliMat を提案し、いくつかの実験から本システムによる状況把握は可能であることを確認した。

今後の課題として、たとえばウェブカメラなどで特定人物のみを映すアプリケーション等、検出した位置情報を他のアプリケーションでも使えるように改良していきたい

謝辞

インテリマット製作におけるヴイストーン株式会社の本土隆裕氏の御協力に感謝致します。

参考文献

- [1] T. Murakita, T. Ikeda, and H. Ishiguro, Human Tracking using Floor Sensors based on the Markov Chain Monte Carlo Method, Seventeenth International Conference on Pattern Recognition (ICPR), pp.917-920, Aug. 2004.
- [2] R. Want, A. Hopper, V. Falcao, and J. Gibbons. "The Active Badge Location System," in ACM Transactions on Information Systems, pp.91-102, 1992.
- [3] A. Hapter and A. Hopper, "A New Location Technique for the Active Office," IEEE Personal Communications, vol.4, no.5, pp.43-47, 1997.
- [4] N. B. Priyantha, A. Chakraborty, and H. Balakrishnan. "The Cricket Location-support System," Proc. 6th Annual ACM/IEEE Int. Conf. on Mobile Computing and Networking, Boston, Massachusetts, USA, pp.32-43, Aug. 2000.
- [5] 椎尾一郎. RFID を利用したユーザ位置検出システム. 情報処理学会研究報告, pp. 45-50, May. 2000. 00-HI-88.