IC タグを用いた屋内ナビゲーションの実環境への適用

Applying Indoor Navigation with IC tags to Real Environment.

○正 吉留 忠史 (神奈川工大) 正 浅川 貴史 (神奈川工大)
正 河原崎徳之 (神奈川工大) 正 西原 主計 (神奈川工大)

Tadashi YOSHIDOME, Kanagawa Institute of Technology (KAIT)
yosidome@rm.kanagawa-it.ac.jp
Takashi ASAKAWA, KAIT
Noriyuki KAWARAZAKI, KAIT
Kazue NISHIHARA, KAIT

We think the indoor navigation system to be necessary in common places, a department store, a supermarket and so on in the future. We showed the way to measure the position and the direction with arrayed IC tags and two antennas without other sensors. This paper describes applying an indoor navigation system by the technique to a real environment. IC tags, which store x-coordinate, y-coordinate and area number, are regularly laid between a floor made of reinforced concrete and tile carpets. The IC tags are read by a reader system with two antennas. The navigation algorithm utilizes the Dijkstra method that is a shortest path program. By the system, we succeeded in indoor navigation with the speed at about 7km/h.

Key Words: Indoor Navigation, IC tag, ITS, Universal Design

1. はじめに

屋内ナビゲーションはこれからの空間知能化や屋内 ITS として、研究が進んでいくものと考えられる。公共施設（病院、駅など）や陳列物が頻繁に入れ替わるデパートやスーパー、初めて訪れる場所など、あらゆる場面で必要性を感じる。屋内ナビゲーションにアクティブタグ[1]、無線 LAN[2]、Bluetooth[3]、赤外線[4]を利用する研究がなされているが、いずれも位置を検出する手法であり、進行方向は地磁気やジャイロなどを用いて検出する方法が多く採用されている。しかし、環境に大きく左右されることと誤差の蓄積が問題になっている。これを解決する手法として、文献[5][6]では IC タグのみで位置と方向を取得する研究を行っている。

本研究では、その IC タグのみを用いた屋内ナビゲーションシステムをショッピングカートに搭載し、実環境に適用した結果を報告する。

2. タグの設置

2.1 IC タグ

IC タグにオムロン社製 V730S-D13P01 を使用した。これは大きさ 46mm × 75mm のアルミインレットタイプで ISO15693 に準拠したタグである。搭載チップは I-CODE SLI であり、112Byte のユーザ領域をもつ。

Fig.1 IC tag (I-CODE SLI)

2.2 設置環境

設置環境は鉄筋コンクリート製の床に 500mm × 500mm のタイルカーペットが敷き詰められており、床とカーペットの間に IC タグを設置する。文献[6]にあるように、前述装置と環境において、IC タグは 100mm 間隔で敷き詰め、アンテナを床面より 50mm 離れたとき、必ず 1 つのタグを読み込むことができる。

Fig.2 IC tags are laid under tile carpets.

図 3 が実験環境の見取り図である。中の黄色の部分が廊下であり、ここに IC タグを敷き詰めた。図中 A が座標原点であり、左方向に x 軸、上方向に y 軸を取った。IC タグには正の整数値を (0, 0) を基点とし、1 番ずつずらして書き込む。また、IC タグを領域で区切り、それをエリア番号として書き込んでいる。図中の廊下部分の 1~13 がそれである。エリア番号はドアの前や曲がり角に付けられている。表 1 は書き込み内容の例で 8 文字のアスキー文字 (8Byte) を書き込んでいる。

Table 1 Stored data in an IC tag

	X座標	Y座標	エリア番号
IC タグ 1	000	000	07
IC タグ 2	001	000	07
IC タグ 3	001	001	07

Fig.3. Experimental Environment and Area Numbers.

2.3 耐圧実験

ICタグのICチップに直接圧力をかけたときと、カーペット下に敷設したときで、どれくらいの圧力を受けたとき破損するかを調べた。表 2 が実験結果である。瞬間的に加圧した場合と 20 秒間加圧した場合とでは大きな差は見られなかった。カーペットを敷いた場合は張力計の測定範囲外(50kgf)まで達した。それ以上の計測を行ってもよいが、ある程度の人やものがICチップ上を通過しても破損することがないことが期待できる。

Table 2 Pressure Experiment for an IC Chip

	直接	カーペット
瞬間	1.56MPa	> 2.34MPa
20秒間	1.46MPa	> 2.34MPa

3. ナビゲーションシステム

3.1 ICタグリーダ

ICタグリーダモジュールはウェルキャット社製のTE-301を使用し、アンテナは大きさ 150mm×150mm のものを使用した。環境にもよるが大体 100mm の通信距離をもつ。図 4 のように 2 つのアンテナを 220mm 離れた IC タグリーダ装置[6]を作製し、それをアンテナが床面から 50mm の高さになるよう図 5 のようにショッピングカートの下に取り付けた。

Fig.4 IC Tag Reader

Fig.5 A Shopping Cart with IC Tag Reader

3.2 経路探索手法

経路探索手法には一般的なダイクストラ法を用いた。これは複数の頂点と隣り合った頂点にコストを設け、出発点を 1 つに固定し、そこから他の頂点への最短経路を求めるアルゴリズムである。本研究ではエリアが頂点に対応する。各エリア間のコストは所要時間や距離の他に坂、段差、道幅、障害物、人通りなどで変化するが、今回は平坦なフロアであることと、ある地点に向かうために 2 ルート以上存在しないため、すべて 1 とした。

3.3 カート位置

2 つのアンテナ間の中心をカートの位置として定める。各アンテナの中心は読み込んだタグに書き込まれた XY 座標の平均を出すことで求めることができる。

3.4 進行方向

進行方向は次のエリアに向かう方向と現在カートが向いている方向によって変わる。進行方向の計算は次のようにして行う。

①進行方向修正番号として X 軸の正方向を 0, Y 軸の正方向を 1, X 軸の負方向を 2, Y 軸の負方向を 3 と定める(図 3 の左下)。

Table 3 Direction Relation List of 13 Areas.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	-	2	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
2	0	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	0	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	0	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	0	-	2	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	0	-	2	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-
8	3	-	-	-	-	-	-	-	1	-	0	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	3	-	1	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	0	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	0
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-

②あるエリアに対して、隣り合うエリアの方向を先の 0~3 の

方向で配列化しておく．表 3 は 13 エリアの方向関係を配列化したものである．例えばエリア 1(縦列)からエリア 2(横列)に行くには 2 の方向，つまり X 軸の負方向に進めばよいことを示している．

③カートの向いている方向ベクトル(X, Y)を計算する．右アンテナの中心を(Rx, Ry)とし，左アンテナの中心を(Lx, Ly)としたとき，方向ベクトルは次のようになる．

$$(X, Y) = (Rx-Lx, Ly-Ry) \quad (1)$$

④修正番号に従い方向ベクトルを修正する．これは目標の進行方向に座標変換したことに相当する．

- 0 のとき $(X', Y') = (X, Y)$
- 1 のとき $(X', Y') = (Y, -X)$
- 2 のとき $(X', Y') = (-X, -Y)$
- 3 のとき $(X', Y') = (-Y, X)$

⑤修正した方向ベクトル(X', Y')から X 軸とのなす角度を算出する．

⑥算出した角度が表 4 の範囲内にあれば，第 2 列の進行方向を利用者に伝える．

Table 4 Traveling Direction

範 囲	進行方向
-45° ～45°	前
45° ～135°	左
-135° ～-45°	右
-135° 以下または 135° 以上	後

4. 適用結果

複数のタグを読み込み，それらの座標を平均することでアンテナ中心を求めることは前述したが，複数のタグを読み込むためには衝突回避アルゴリズム（アンチコリジョン）を必要とする．これは次の手順を踏む．

- ① 衝突回避アルゴリズムにより複数のタグを認識し，反応のあるタグから固有 ID (UID) を取得する
- ② UID を取得したタグに対し，休止命令を出す
- ③ UID を指定し，復帰させながら，ユーザ領域データを読み出す

実験結果は約 1km/h 以上の速度でのナビゲーションは難しく，約 0.8km/h の速度でカートを移動すれば，エラーも起こるがナビゲーションを完遂することができた．このアルゴリズムは最低 3 回の通信を行う必要があり，その時間は約 280ms である．この通信時間の間にカートが動けば，タグがアンテナの通信範囲内から外れてしまう．UID が取得できなかったり，取得した UID のタグが通信範囲になかった場合，リーダーからはエラーが返ってくる．

しかし，速度的には実用とはいえない．そこで，1 つのタグだけを読み込むモードに切り換えた．これは逆に複数のタグを認識した場合，エラーが起こる．これは，タグをかなり密集して配置しているが，実際は 1 つしか読み込まないことが多いことが分かったためである．リーダーとの通信は

- ① UID を指定せず，反応のあった 1 つのタグのユーザ領域データを読み出す

の 1 回だけで済み，通信時間は約 71ms である．

複数のタグを見つけエラーが起こることを前提としてこのモードで実験してみた結果，約 7km/h (≒2m/s) の速度でナビゲーションを行うことができた．これは小走り程度であり，屋内であればまず問題ないと考える．また，当然の結果とも言えるが，速い速度で移動したときは目標地点に到達して 1m ～2m の行き過ぎを確認した．

表 5 はナビゲーションが成功したときの読み取りモードと移動速度，タグの読み込み回数に対するエラー率を示したものである．いずれも 5 回試行を行った平均値である．単数読み込みにすることでエラー率はかなり減り，約 300ms 以内で 1 回のループが回るので位置・方向の指示時間が大変早い．

Table 5 Error rate

モード	移動速度	エラー率
単数	4.5km/h	2.39%
単数	7.2km/h	3.06%
複数	0.8km/h	94.0%

実験の中で，移動中に誤った方向を指し示すことがあった．これは左右のアンテナで同時に通信を行っているのではなく，左→右の順番で通信しているため，その時間差が影響しているものと考えられる．すぐに次の通信データにより補正されるが，利用者からみれば急に矢印が動くので気になるであろう．このような利用者側から見たインタフェースの考慮も今後必要となるであろう．

5. おわりに

屋内ナビゲーション方法の 1 つとして，IC タグのみを用いた位置・方向計測手法を実環境に適用した実験を行い，経路案内内できることを示した．人の歩く速度でナビゲーションできたことを示せたことは大きい．

今後はインタフェースの考慮，地図情報の更新・転送，IC タグの敷設工事の簡略化など実用を見据えた研究を充実させたい．

文 献

- [1] 雨宮 智浩, 廣瀬 通孝ほか, “ユビキタス・バリアフリー実験空間における盲聾者ナビゲーションの研究”, 日本バーチャルリアリティ学会第 7 回大会論文集, pp. 523-526, VRSJ 7th Annual Conf., 東京, 2002.9.
- [2] “誤差 1～3 メートルの高精度な位置検知を実現する無線 LAN 位置検知システム「日立 AirLocationTM」を提供開始”, 日立製作所ニュースリリース, 2003.11
- [3] “電話を用いた 3 次元ナビゲーションシステムを世界ではじめて開発”, KDDI ニュースリリース, 2004.10
- [4] “赤外線を用いた高精度な屋内位置管理システム「Smart Locator(R)」の発売”, NEC プレスリリース, 2006.3
- [5] 吉留忠史, 浅川貴史, 河原崎徳之, 西原主計, “IC タグを用いた位置・方向計測の屋内ナビゲーションへの応用”, Robomec2006, 2P2-A22, 2006
- [6] 吉留忠史, 浅川貴史, 河原崎徳之, 西原主計, “IC タグによる位置・方向計測のための考察”, SI2006, 2H4-5, 2006