

歩行者向け位置案内装置における 屋内外データベース作成ソフトウェアの開発

鷹見 亮[†] 牧野 秀夫[‡] 前田 義信^{‡‡}

[†]新潟大学大学院自然科学研究科 〒950-2181 新潟県新潟市五十嵐 2-8050

^{‡‡}新潟大学工学部 〒950-2181 新潟県新潟市五十嵐 2-8050

E-mail: [†]takami@gis.ie.niigata-u.ac.jp, [‡]makino@ie.niigata-u.ac.jp,

^{‡‡}maeda@bc.niigata-u.ac.jp

あらまし 近年、歩行者向け位置案内装置の改良が進んでいる。すなわち、従来の GPS による屋外案内に加え可視光通信や RFID 技術を用いた屋内での位置案内が可能となってきた。そこで著者らは、位置案内に不可欠な案内データの簡便な入力方法の確立を目的に、屋外においては GIS データ、屋内においては CAD データをそれぞれ基盤データとして利用した屋内外データベース作成ソフトウェアの開発を進めている。しかし、CAD データについてはその書式の違いからデータベース作成が困難であり、特にその精度は作成するユーザの能力に依存する。そこで今回、CAD データに対し画像処理を用いた屋内データベース作成方式を提案し、複数 CAD データでの動作実験により精度向上を確認した。

キーワード 位置案内、可視光通信、RFID (Radio Frequency Identification)、GPS (Global Positioning System)、GIS (Geographic Information System)、CAD (Computer Aided Design)

Development of an Indoor-outdoor Information Input Program as a Pedestrian Location Guidance System

Ryo TAKAMI[†] Hideo MAKINO[‡] and Yoshinobu MAEDA^{‡‡}

[†]Graduate School of Science and Technology, Niigata University 2-8050 Ikarashi, Niigata, 950-2181 Japan

^{‡‡} Faculty of Engineering, Niigata University 2-8050 Ikarashi, Niigata, 950-2181 Japan

E-mail: [†]takami@gis.ie.niigata-u.ac.jp, [‡]makino@ie.niigata-u.ac.jp, ^{‡‡}maeda@bc.niigata-u.ac.jp

Abstract A pedestrian location guidance system will make it possible to guide a person using GPS position information, using visible light communication or RFID. To prepare guidance data for the system, we have developed an indoor-outdoor information input program. The program uses GIS data as the outdoor layer and CAD (Computer Aided Design) data as the indoor layer to delimit the data area. However, there are many kinds of CAD data formats; so we handled them as bitmaps, and used image processing to improve the accuracy of the indoor information database. Experimentally, we confirmed an improvement of the accuracy of the indoor information database.

Keyword location guidance, visible light communication, RFID (Radio Frequency Identification), GPS (Global Positioning System), GIS(Geographic Information System), CAD(Computer Aided Design)

1. はじめに

現在、走行中の自動車の現在位置・進行方向などの情報を GPS (Global Positioning System) ・地磁気計・走行距離計などを利用して測定し、画面表示により運転者に知らせるカーナビゲーションシステムが広く用いられている。さらに歩行者向けには GPS や RFID (Radio Frequency Identification System) を利用した現在位置案内あるいは経路案内システムが考案、開発されている [1,2,3,4].

また、GPS 電波の届かない屋内に対して位置情報(緯度・経度)や案内情報を取得するために、建物内に取り付けられている一般照明器具を用いた情報提供方式も提案されている [5].

ここで、著者らは GPS と一般照明器具ならびに地理情報システム GIS (Geographical Information System) を組み合わせた音声位置案内装置の開発を進め、屋外用および屋内用の動作結果を報告してきた [6,7,8]. 図 1 に屋内・屋外用位置案内装置の構成を示す。

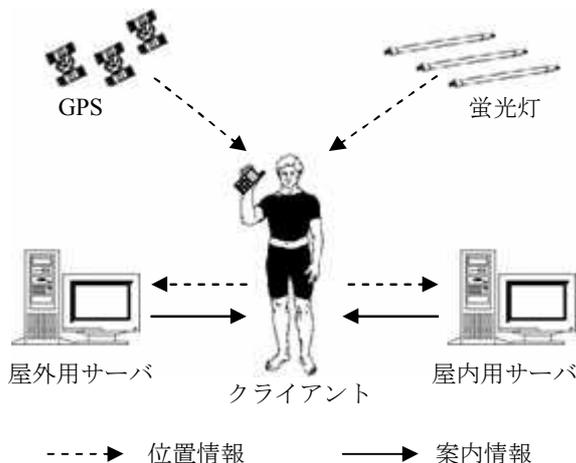
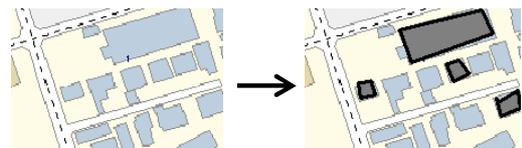


図1 屋内外位置案内装置

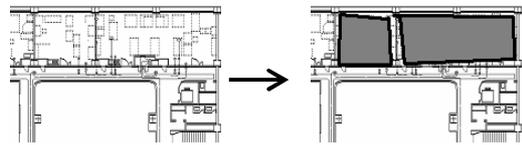
まず屋外においては、利用者（クライアント）はノート PC や GPS 携帯電話を利用して GPS から現在の位置情報（緯度・経度）を取得し、屋外用案内情報サーバに案内情報を問い合わせる。一方、屋内においてはノート PC とフォトセンサを利用し、蛍光灯から位置情報を取得し、屋内案内情報サーバに情報を問い合わせる。各サーバは、クライアントからの位置情報を基に、それぞれ案内情報データベースを用いて情報を検索し、クライアントに送信する。

ここで、各サーバで利用される案内情報のデータベースは、従来屋外用と屋内用（以下、屋内外）がそれぞれ別々に開発されてきた。まず、屋外案内情報データベース作成ソフトウェアでは、GIS データを基盤データとし、その上に多角形領域を作成する。次にそれを1つの案内情報領域とし、対応する案内情報を入力するというものであった[7]。これに対し、屋内案内情報データベース作成ソフトウェアは蛍光灯から送信される固有の位置情報に対応した案内情報をあらかじめ入力する形式である[8]。しかし、こうした場合、屋内外の案内情報作成法がそれぞれ異なり煩雑となると同時に実際の入力の際には個々のソフトウェアを起動しなくてはならない。そこで著者らは、屋内外の案内情報作成ソフトウェアの統合を目指し、汎用にとどの場所に対しても案内情報を入力することの出来るソフトウェアを開発することとした。すなわち、本ソフトウェアで作成される屋内外の案内情報を共通型案内情報と定義し、単一のソフトウェアで共通型案内情報データベースを作成する[9]。ここで、共通型案内情報の作成においては、屋内・屋外間をシームレスに移行し、それぞれの案内情報の作成を容易にする。また、多角形領域を1つの案内情報領域とし、これにより屋内外での案内情報作成法を統一し、共通型案内情報データベースの形式を統一する。この様子を図2に示す。

図2(a)において、屋外案内情報作成時に建物配置の把握に使用する GIS 基盤データは、住宅地図データなど多方面から入手可能である。一方、図2(b)に示す屋内においては、部屋配置把握用のデータは一般には提供されていない。そこで、建物建設時に作成される建



(a) 屋外 (GIS データを基盤データとする)



(b) 屋内 (CAD データを基盤データとする)

図2 共通型案内情報の作成

築用 CAD データを屋内用基盤データとして使用する。

次に、屋外および屋内の案内情報データ作成方法について説明する。まず屋外に対する案内情報作成では、情報領域を個々に手作業で作成する必要はなく、GIS データ中の建物領域を自動抽出することにより、それらを新たな情報領域として使用することが可能である。ここで使用する GIS 基盤データは、近年の GPS の精度向上や自治体による積極的な国土調査等により精度が向上しているため、結果として屋外用案内情報データベースの精度向上へと繋がっている[10,11,12]。さらに現在、屋内外共に、より高精度な位置情報の取得を目的とした研究が多方面でなされている[10,11,13,14]。これらの研究により、クライアントは屋外において、より高精度な案内情報の取得が可能となってきた。

次に、屋内に対する案内情報作成について述べる。まず、利用対象の CAD データには種々のフォーマットが存在する。また、部屋の壁や電気配線のような線分をデータとして保持するため、GIS データの建物領域に相当する「領域」としてのデータが少ない。そのため、情報領域作成が手作業となりデータベース精度が作成するユーザに依存する。また、屋内位置案内では、部屋の番号や名前が重要な案内情報となる。

以上、屋内外のデータ作成方法を検討した結果、今回は、屋内における代表的な情報領域の一つである部屋領域（以下、部屋情報領域）作成の精度向上を目的とすることとした。具体的には、画像処理による部屋情報領域補正方式を提案し、その結果を報告する。

2. 方法

CAD データには現時点で統一的なフォーマットが制定されていないため、今回はその画像データを使用し以下の手順により部屋領域を抽出する。

- ① CAD データの 2 値画像から距離変換 (Distance Transform) 画像を生成する[15,16]
- ② 従来方式で作成した部屋情報領域の各線分をテンプレートとし、①の距離変換画像上で、テンプレートマッチングを行う[17]
- ③ 各線分におけるテンプレートマッチングの結果から、新たな部屋情報領域を生成する

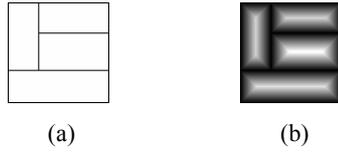


図3 距離変換画像の例

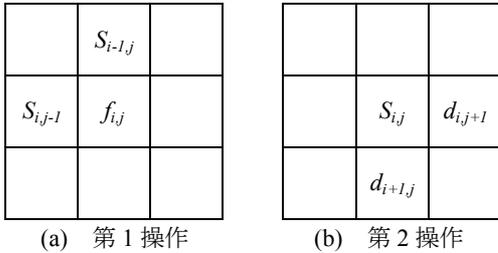


図4 距離変換画像の生成

2.1. 距離変換画像

2値のCADデータ画像(図3(a))に対して距離変換を行い、距離変換画像(DT画像)(図3(b))を得る。ここで、距離変換画像における各ピクセル値は、そこから最も近い0画素(黒い画素)までのユークリッド距離を表す。つまり図3(b)において画像の輝度が低いほど0画素に近く、逆に輝度が高くなるにつれて0画素から遠ざかる。

次に、距離変換画像の生成方法について述べる。まず第1操作として、2値画像上の $f_{i,j}$ を着目点とする近傍を図4(a)のようにとり、上から下へのラスタ走査を行いながら、 S_{ij} を求める(式(1))。ここに、 g_{ij} は式(2)から得る値とする。

$$S_{ij} = \min \{g_{i,j}, (S_{i-1,j})+1, (S_{i,j-1})+1\} \quad (1)$$

$$g_{i,j} = \begin{cases} M & (f_{i,j}=1のとき) \\ 0 & (f_{i,j}=0のとき) \end{cases} \quad (2)$$

(Mは十分に大きな値)

次に第2操作では、 S_{ij} を着目点とする近傍を図4(b)のように設定し、下から上への逆ラスタ走査を行いながら、 d_{ij} を求める(式(3))。この方法により、4近傍での1画素 $f_{i,j}$ から最も近い0画素までのユークリッド距離値が d_{ij} として与えられる。

$$d_{i,j} = \min \{S_{i,j}, (d_{i+1,j})+1, (d_{i,j+1})+1\} \quad (3)$$

2.2. テンプレートマッチング

テンプレートマッチングによる部屋情報領域補正を図3(a)のCADデータ画像に適用する。ここで、従来方式で作成した部屋情報領域であるテンプレートデータの例を図5に示す。今回、このテンプレート元データ(図5(a))から各線分を抜き出し、それらをテンプレ

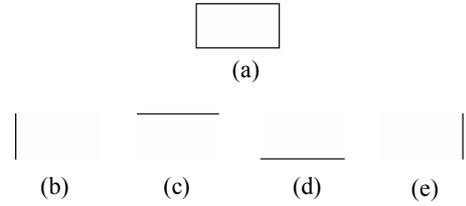


図5 情報領域テンプレート

ート(図5(b)(c)(d)(e))とする。このテンプレートは各線分を表す各点 e の位置座標の集合として定義される。

テンプレート T を距離変換画像上で走査し、各位置における対応する本来の線分との平均距離 $D_T(X)$ を計算する(式(4))。次にこの値を、本来の線分とテンプレート T との適合度を表す指標として利用する。

$$D_T(X) = \frac{1}{|T|} \sum_{e \in T} d_T(X, e) \quad (4)$$

ここで $|T|$ は T の要素数である。 $d_T(X, e)$ は位置 X に配置されたテンプレート T 内の要素 e の下にある距離変換画像の画素値であり、 e から最も近くにある0画素までのユークリッド距離を示す。従って、 $D_T(x)$ は、テンプレートの各要素位置における最も近いエッジまでの距離の平均値となる。テンプレートと0画素点が完全に一致した場合に最小値0となる。 $D_T(X)$ が小さいほど、画像中のその位置とテンプレートの適合度が高いことを意味する。

2.3. 走査範囲と傾き範囲

まず従来方式での問題点について述べる。ここで、作成した部屋情報領域からテンプレートを生成し、CADデータから得た距離変換画像上全体を走査する一般的なテンプレートマッチングを行うと、誤った領域補正を行う可能性が非常に高い。例えば、図3(a)をCADデータ、図5(a)を従来方式で作成した部屋情報領域とする。その部屋情報領域の線分の一つである図5(c)をテンプレートとし、図3(a)の距離変換画像である図3(b)上全体を走査し、テンプレートマッチングを行う。図6にその結果を示す。ここでは、適合度の最も高い部分の一例を楕円で囲んでいるが、約60%以上の部分で誤って適合する結果となった。

この場合の誤抽出の原因は、CADデータ上からテンプレートマッチングを用いて部屋領域の検出を行う際に、各部屋の壁を表す線分を検出する点である。すなわち、CADデータは壁や電気配線など単純な線分の集合から構成されるため(図7)、単純な線分テンプレートで走査した場合には、あらゆる場所で適合度が高くなる。そこで、テンプレートマッチングの走査範囲を限定する。従来方式で作成した部屋情報領域の各線分から、ある特定の範囲内で走査を実施し、テンプレートの元位置から最も近く最も適合度が高い位置を補正後の新たな線分とする。この走査範囲は実験により導出する。

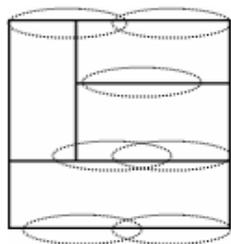


図6 距離画像全体の走査結果

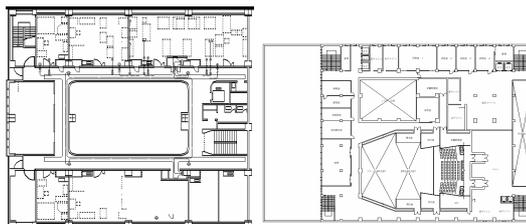


図9 サンプルCADデータ例

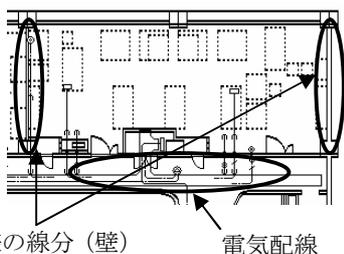


図7 CADデータ例

従来方式で作成した部屋情報領域

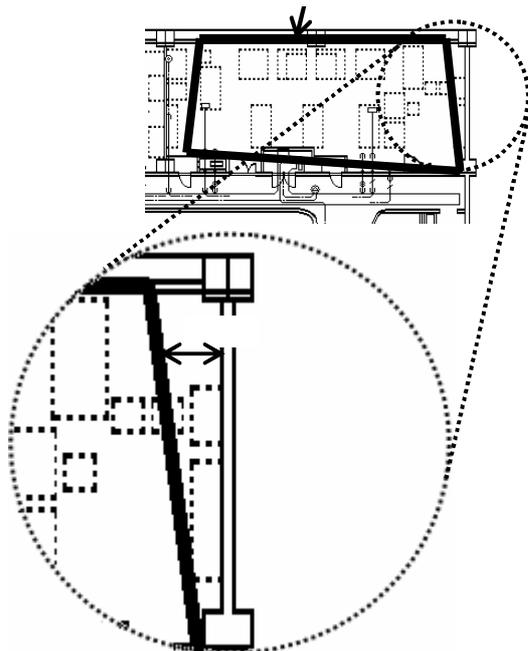


図8 従来方式での領域作成結果

さらに、従来方式により作成した部屋情報領域から得たテンプレート（線分）が、それに対応したCADデータ上の検出すべき線分と平行であるとは限らない。図8に従来方式での領域作成結果を示す。テンプレートTの傾きの影響により対応する本来の線分との間に誤差が生じている。そこで走査時にテンプレートに傾きを加えることにより、さらに適合度の高い位置を検

出する。この加える傾きの範囲も、テンプレートの走査範囲同様、実験により導出する。

2.3.1. 走査範囲と傾きの導出実験

2.3.1.1. 方法

まず被験者は、従来方式を用いて部屋情報領域の作成を行う。作成した部屋情報領域の各頂点と、実際の部屋領域との各頂点の座標誤差（以下、頂点誤差）を求め、その最大値を走査範囲とする。同様に作成した部屋情報領域の各線分と、それに対応する実際の部屋領域の各線分との傾き誤差（以下、傾き誤差）の最大値を傾き範囲とする。

今回、被験者は5名とする。使用するサンプルCADデータは、新潟大学情報理工棟8階を含め、WEB上で入手した公共施設のCADデータ計10個とする（図9）。また、それぞれのCADデータに対して作成する部屋情報領域10個を事前に指定する。つまり、今回作成される部屋情報領域は500個となる。さらに、作成する際のCADデータの表示率は100%とする。

本実験には、PC（Windows®XP Professional, Pentium4 3.40GHz, 2GB）を使用する。

2.3.1.2. 結果

2.3.1.2.1. 走査範囲

図10に、被験者が従来方式で作成した部屋情報領域の頂点誤差を示す。また、ここでのデータ数は2500[個]である。

この図から頂点誤差がx軸方向に±15[pixel]、同様にy軸方向に±15[pixel]以内であることが確認できる。そこで、従来方式で作成した部屋情報領域の各線分をテンプレートとしたテンプレートマッチングの走査範囲を、テンプレートの元位置からx軸y軸方向共に±15[pixel]とする。

2.3.1.2.2. 傾き範囲

図11は、被験者が従来方式で作成した部屋情報領域の傾き誤差を示す。また、ここでのデータ数は2500[個]である。

この図から、傾き誤差が±20[°]以内であることが確認できる。そこで、従来方式で作成した部屋情報領域の各線分であるテンプレートに対して、テンプレートマッチングによる走査の際に加える傾き範囲を±20[°]とする。

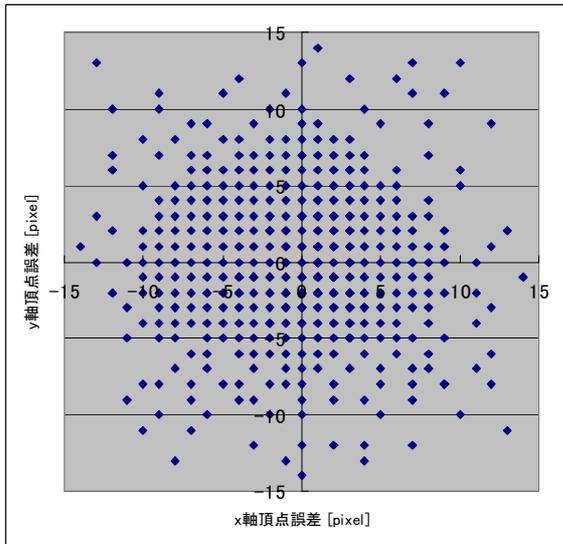


図 10 従来方式による頂点誤差

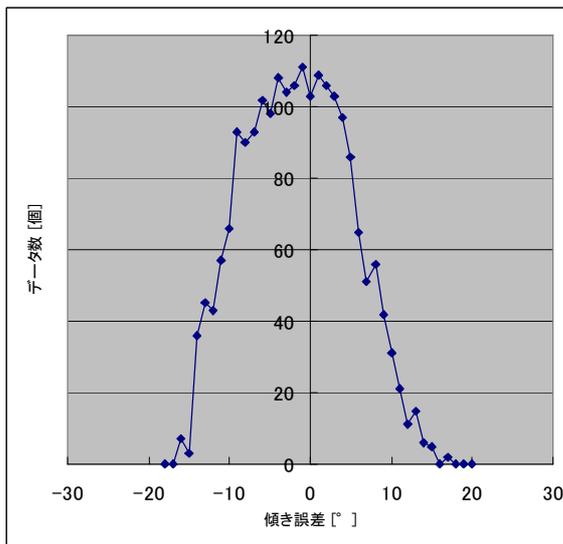


図 11 従来方式による傾き誤差

3. 領域補正実験

3.1. 方法

2.3.1 章で得た走査範囲 ($\pm 15[\text{pixel}]$) と傾き範囲 ($\pm 20[^\circ]$) を用いて、被験者の作成した部屋情報領域に対して本補正方式を適用し、精度の比較・検証を行う。

今回は、従来方式で作成した部屋情報領域と、それに本補正方式を適用した部屋情報領域について、それぞれ実際の部屋領域との重複度を調べ精度を比較する。

ここで、部屋情報領域 I と実際の部屋領域 R との重複度を $C_R(I)$ とする (式(5), 図 12). $|R|$ は実際の部屋領域 R の要素数, $|I|$ は部屋情報領域 I の要素数である. $|R_E|$ は実際の部屋領域のうち、部屋情報領域と重複しない要素数, $|I_E|$ は部屋情報領域のうち、実際の部屋領

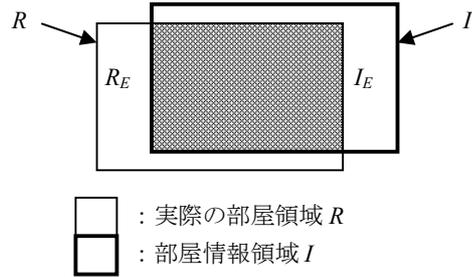


図 12 部屋情報領域 I と実際の部屋領域 R

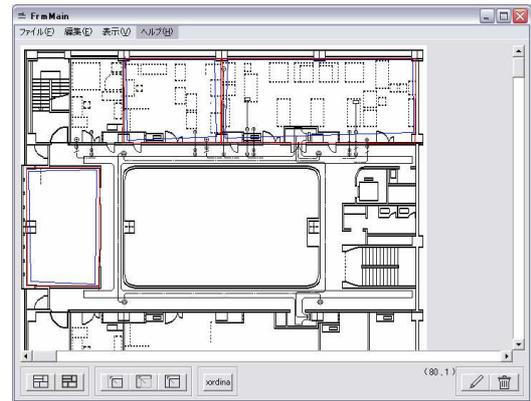


図 13 補正プログラム実行結果

域と重複しない要素数である。部屋情報領域と実際の部屋領域が完全に重複した場合に $C_R(I)$ は最大値 1 となる。 $C_R(I)$ が 1 に近いほど重複度が高いことを意味する。

$$C_R(I) = \frac{(|R| + |I|) - (|R_E| + |I_E|)}{|R| + |I|} \quad (5)$$

3.2. 結果

今回作成した部屋情報領域の領域補正プログラム実行画面を図 13 に示す。また、図 14 に補正結果の例を示す。図 14(a) がサンプル CAD データの一部の部屋を示したものである。その部屋に対し、従来方式で作成した部屋情報領域を図 14(b), その部屋情報領域に対して本補正方式を適用した部屋情報領域を図 14(c) に示す。これら図から、部屋情報領域が本補正方式によって、実際の部屋領域に近づくことを確認した。

本補正方式を適用した部屋情報領域の頂点誤差を図 15 に示し、傾き誤差を図 16 に示す。また、ここでのデータ数はそれぞれ 2500[個] である。図 10 および図 15 の結果より、部屋情報領域の頂点誤差が x 軸 y 軸方向共に、補正前の $\pm 15[\text{pixel}]$ から補正後の $\pm 5[\text{pixel}]$ に改善されたことを確認した。同様に図 11 および図 16 の結果より、傾き誤差の範囲が、補正前の $\pm 20[^\circ]$ から $\pm 4[^\circ]$ に縮小したことを確認した。

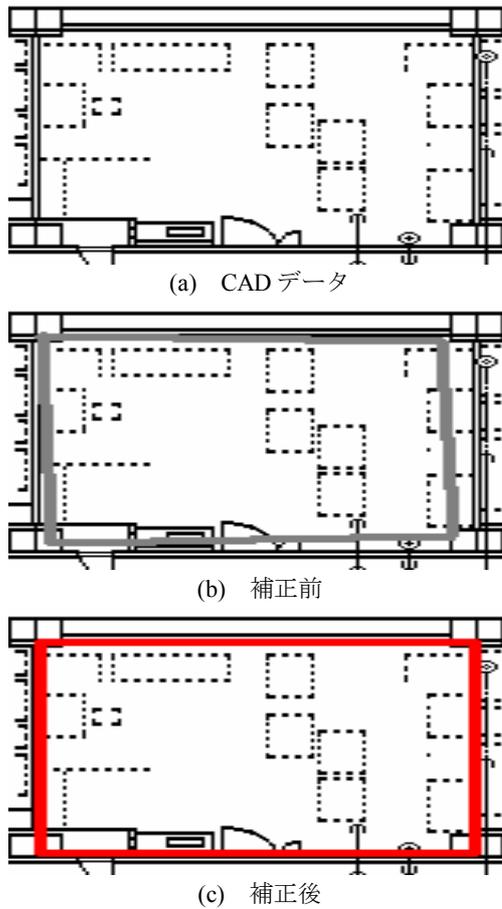


図 14 補正結果例

表 1 補正結果

	頂点誤差 [pixel]	傾き誤差 [°]	平均重複度
従来方式 (補正前)	±15	±20	0.785
本方式 (補正後)	±4	±4	0.930

次に、部屋領域の重複度結果を比較する。従来方式で作成した部屋情報領域 500[個]とそれらに本補正方式を適用した結果を、それぞれ実際の部屋領域と比較する。図 17 に重複度計算結果を示す。従来方式では重複度が平均 0.785 であり、本補正方式では平均 0.930 となった。

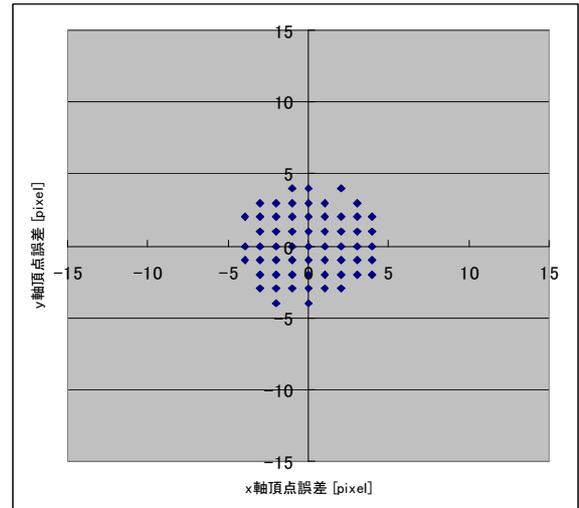


図 15 補正適用後の頂点誤差

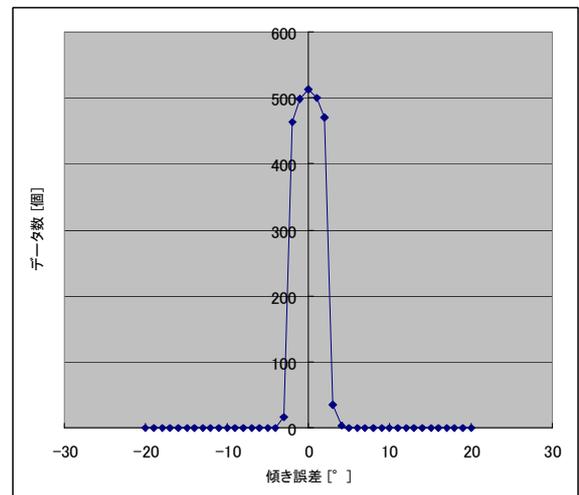
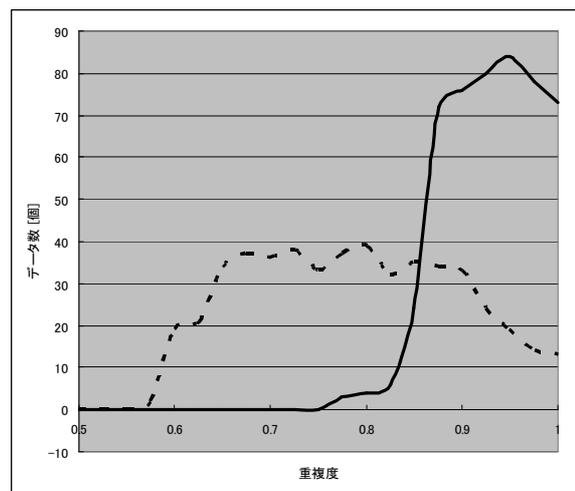


図 16 補正適用後の傾き誤差



--- : 従来方式 — : 補正適用後

図 17 重複度の変化

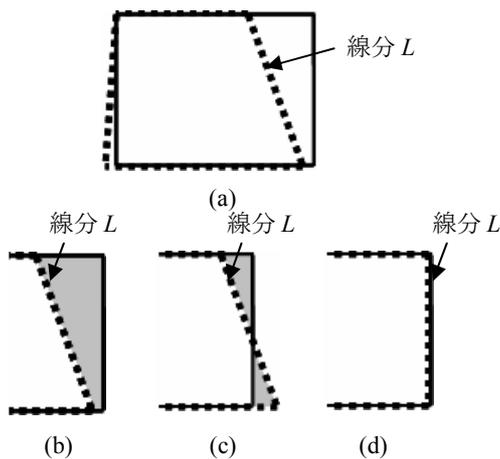


図 18 テンプレート傾き補正結果

図 18 に、テンプレートに傾きを加えた補正結果を示す。ここでは、従来方式で作成した部屋情報領域の線分 L を用いる。一般的なテンプレートマッチングでは、図 18(c) のように線分 L がマッチングする。この際、頂点誤差は改善されているが、傾き誤差は補正されない。ところが、この線分 L に傾きを加えることによって図 18(d) のようになり、傾き誤差が補正され、さらに頂点誤差も改善されることを確認した。また、図 18 において灰色で示される誤差要素領域についても、頂点誤差補正と傾き誤差補正を併用することによって減少可能であることを確認した。

次に、頂点誤差および傾き誤差の発生例を図 19 に示す。図 19 において、線分①は従来方式で作成した部屋情報領域の線分テンプレートを示し、線分②はそれに対応した実際の部屋領域線分を示す。また、線分②の線分幅は線分①に対して十分に太い。図 19(b) に、本補正方式を適用した結果を示す。この場合、テンプレート線分①の $D_T(x)$ は 0 であるが、傾き誤差を含む。図 19(c) に、テンプレートにさらに傾きを加え傾き誤差 0° の状態で適合した理想の結果を示すが、 $D_T(x)$ は前述と同様に 0 である。本補正方式では、テンプレートの適合度が最も高く、テンプレートにより近い傾きと位置を補正後の部屋情報領域の線分とした。そのため、結果は図 19(b) となり、テンプレート線分と CAD データ線分との線分幅差が誤差原因となることを確認した。

最後に、頂点誤差の発生例を図 20 に示す。図 20 では、線分①が従来方式で作成した部屋情報領域のある線分テンプレートを示し、線分②と③は CAD データ上の線分を示す。線分②は線分①に対応した実際の部屋領域の線分であるが、テンプレート線分①に比べて短い。そして線分③は、線分②に対して限りなく近く、長い。この場合、本補正方式を適用すると図 20(b) のような結果となった。図 20(c) に理想的な結果を示す。本補正方式では今回、 $\pm 20^\circ$ の範囲内でテンプレートに傾きを加え、テンプレートの元位置から x 軸 y 軸方向共に $\pm 15[\text{pixel}]$ の範囲内で、 $D_T(x)$ が 0 に最も近くな

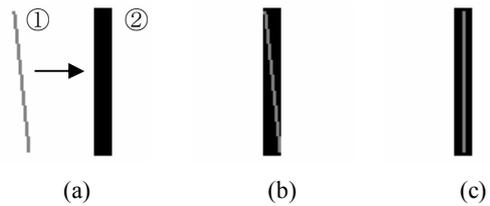


図 19 線分幅による誤差

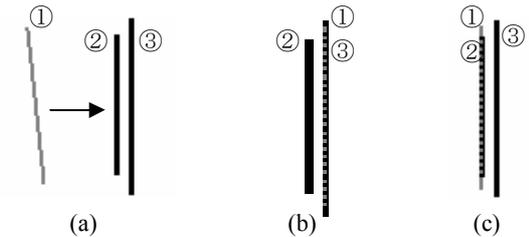


図 20 線分長による頂点誤差

る場所を補正後の部屋情報領域の線分とした。 $D_T(x)$ は、テンプレートの各要素位置における最も近いエッジまでの距離を平均した値となるため、テンプレート線分①との高い適合度を得るのは線分②ではなく線分③であることが図 20 から確認できる。つまり、テンプレート線分と、それに対応する CAD データ線分との線分長差が誤差原因となることを確認した。

4. 考察

従来方式での部屋情報領域に比べ、本補正方式を適用した部屋情報領域は、実際の部屋領域に対して頂点誤差が $\pm 15[\text{pixel}]$ から $\pm 4[\text{pixel}]$ となった。使用したサンプル CAD データ上で $1[\text{pixel}]$ は実際の約 $0.3[\text{m}]$ に相当する。すなわち、従来方式の最大誤差 $4.5[\text{m}]$ が、本補正方式の適用により最大 $1.2[\text{m}]$ の誤差に縮小された。また、従来方式に対し本補正方式の適用後は部屋情報領域と実際の部屋領域との重複度が平均 0.785 から平均 0.930 へ上昇した。以上の結果から、本補正方式の有効性が確認され、部屋情報領域から構成される屋内案内情報データベースおよび実際の位置案内システムの精度が向上したと考えられる。

次に、補正後の誤差について、その原因はテンプレート線分と CAD データ線分のそれぞれの線分幅差および線分長差であることを確認した。まず、線分幅差により生じる傾き誤差および頂点誤差は、CAD データ上の線分を事前にテンプレートの線分と同一幅に設定することにより、減少すると考えられる。次に線分長差により生じる頂点誤差であるが、テンプレート全体に対する $D_T(x)$ よりも、テンプレート線分内の一部の範囲で $D_T(x)$ を調べることにより、解決できるのではないかと考えられる。

5. まとめ

屋内における部屋情報領域作成の精度向上を目的に、CAD データに対する画像処理を用いた部屋情報領域補正方式を提案し、その動作を確認した。

本補正方式では、まず従来方式で作成した部屋情報領域の各線分をテンプレートとし距離変換した CAD データ上を走査した。次に実験データから従来方式での頂点誤差を求めることにより走査範囲を限定し、さらに、傾き誤差を求めることによって、テンプレートに傾きを加えた上で走査する方式を使用した。

サンプル CAD データを用いた実験により、部屋情報領域と実際の部屋領域との頂点誤差と傾き誤差および重複度を調べた。その結果、従来の作成方式に対し、さらに本補正方式を併用することにより頂点誤差と傾き誤差の減少及び、重複度の上昇を確認した。

今後、より多くの CAD データを収集・検証することにより補正方式の精度を向上させる予定である。また、テンプレート生成の自動化についても検討する。

本研究の一部は、平成 18 年度総務省戦略的情報通信研究開発推進制度の研究助成を受けた。また、GIS ソフトに関しては ESRI ジャパン「大学向け GIS 利用支援プログラム」の援助によるものである。

文 献

- [1] 柏崎隆, “GPS を用いたカーナビゲーションシステム,” 電子情報通信学会誌, Vol.79, No.4, pp.404-408, Apr.1996.
- [2] 茂呂麻衣子, 田中健一郎, 歌川由香, 重野寛, 松下温, “携帯電話向け歩行者ナビゲーションシステムとそのデータ定義,” 情報処理学会研究会報告, 01-MBL-18, pp.61-67, Sept,2001.
- [3] 諏訪敬祐, 多賀登喜雄, 古野辰男, 渋谷昭範, 北尾光司郎, “歩行者ナビゲーションのためのパーソナル位置情報システムの提案,” 1998 年電子情報通信学会ソサエティ大会, SAD-6-8, pp.125-126, Sept,1998.
- [4] 椎尾一郎 他, “RFID を利用したユーザ位置検出システム,” 情報処理学会 HI 研究報告, Vol.2000, No.39, pp.56-50, May,2000.
- [5] 松坂典広 他, “照明機器を用いた視覚障害者用屋内位置案内システム～受光特性の改善方法について～,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.104, No.500, MBE2004-71, pp.17-20, Dec.2004.
- [6] 牧野秀夫 他, “視覚障害者のための電話交信型 GPS 位置案内装置,” 電子情報通信学会技術研究報告, HCS97-9, pp.15-19, 1997.
- [7] 吉田充紀 他, “屋内位置案内情報管理システムの基本構成,” 第 13 回電気学会東京支部新潟支所研究発表会予稿集, p.47, Nov.2003.
- [8] 丸山敦史 他, “視覚障害者のための音声位置案内装置～Web を利用した音声情報作成システムの検討～,” 感覚代行シンポジウム発表論文集, pp.149-156, Jun.2001.
- [9] 鷹見亮, 牧野秀夫, 前田義信, “音声位置案内装置における屋内屋外統合型情報作成ソフトウェアの開発,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.105, No.304, MBE2005-63, pp.31-34, Sept.2005.
- [10] 坂井文泰, “GPS における選択利用性 (SA) の解除,” 日本航海学会誌, No.145, pp.42-48, Sept.2000.
- [11] 新井直樹, 星野尾一明, 安田明生, “航法ユーザ向け GPS 衛星精密軌道情報 (予測暦) の作成と評価,” 電子情報通信学会論文誌 (B), Vol.J84-B, No.12, pp.2132-2139, Dec.2001.
- [12] 柳川重信, 北川育夫, 松村一保, “豊中市の FKP 測量の取り組みー空間基盤データを安く、精度よくー,” 測量, Vol.55, No.10, pp.8-10, Oct.2005.
- [13] 平澤一樹, 南正樹, 横山成昭, 水町守志, 森川博之, 青山友紀, “精度に基づく位置基準選択アルゴリズムを用いた自律分散型屋内測位システム,” 電子情報通信学会総合大会, B-15-33, pp.826, Mar.2004.
- [14] 小林卓, 蔵幸子, 牧野秀夫, 前田義信, “蛍光灯を用いた可視光通信における情報検出の基礎研究,” 第 15 回電気学会東京支部新潟支所研究発表会 予稿集, p.127, Nov.2005.
- [15] D. Huttenlocher, G. Klanderman, and W. J. Rucklidge, “Comparing images using the Hausdorff distance,” IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., vol.15, no.9, pp.850-863, 1993.
- [16] 加藤敏洋, 平田富夫, 齊藤豊文, 吉瀬謙二, “ユークリッド距離変換アルゴリズムの効率化,” 電子情報通信学会論文誌 (D-II), vol.J78-D-II, no.12, pp.1750-1757, Dec.1995.
- [17] D. M. Gavrilu, “Pedestrian detection from a moving vehicle,” Proc. European Conference on Computer Vision, pp.37-49, Dublin, Ireland, 2000.