3 次元地図を用いた市街地における建物名重畳表示システムのプロトタイピング

隅田　知代†　　増永　良文‡

†お茶の水女子大学大学院人間文化研究科博士前期課程数理･情報科学専攻
‡お茶の水女子大学理学部情報科学科

〒112-8610 東京都文京区大塚 2-1-1
E-mail: †tomoyo@db.is.ocha.ac.jp, ‡masunaga@is.ocha.ac.jp

あらまし　我々は，特別に整備された環境をもつ地域だけでなく，一般的な市街地において，建物に名称を重畳表示する拡張現実感システムを提案してきた．そのシステムは，ユーザの位置と向きを GPS とモーションセンサで計測し，そのデータと 3 次元地図からユーザが見ている建物を抽出することで実現する．しかし，ユーザの位置や向きのデータには誤差が含まれるので，正確な表示ができないことがある．そこで，我々はまずは簡単な確率モデルを用いて，センサの誤差が抽出された建物名の信頼性に与える影響を解析し，正確な重畳表示ができる状況，できない状況を明らかにしてきた．本稿では，このシミュレーション結果をもとにして行った，建物名重畳システムの実装と，名称の表示に成功した実験例について報告する．更に，センサ精度以外の要因で重畳表示に失敗する状況を探る．

キーワード　3 次元地図，拡張現実感，ウェアラブルコンピュータ，GPS

Prototyping a Building Name Superimposing System for Urban Area Use using a 3-Dimensional City Map

Tomoyo SUMIDA† and Yoshifumi MASUNAGA‡

†Graduate Division of Mathematics and Computer Science (Master's Program), Ochanomizu University
‡Department of Information Science, Ochanomizu University

2-1-1 Otuka, Bunkyo-ku, Tokyo, 112-8610 Japan
E-mail: †tomoyo@db.is.ocha.ac.jp, ‡masunaga@is.ocha.ac.jp

Abstract　We have proposed a building name superimposing augmented reality system used in urban areas as well as in well equipped environments. The system can be realized by extracting the buildings which the user is looking at using 3-dimensional city map as well as the user's position and orientation data measured by a GPS and a motion sensor. However, the errors in user's position and the orientation data may cause incorrect display of the building name. So we have analyzed in advance how such errors affect the reliability of displaying a building name by establishing a probabilistic model, and revealed circumstances where the system can work correctly. In this paper, we report its implementation and show an experiment result which was successfully done. In addition, we explore the other factors of failure to superimpose the building name.

Keyword　3-D map，Augmented Reality，Wearable computer，GPS

1. はじめに

なじみの薄い場所を訪れたときにはしばしば，周辺の建物や道路の情報を得ることが難しい状況に出会う．例えば，ある建物の名前を知りたいと思っても，建物の正面までまわらなければ名称の表示が見えなかったり，その地域の案内板や地図がなかったりするような場面である．また地図情報を持っているときでも，地図上における現在地や，方角がわからないために，現実の建物や道路との対応付けに煩わされることになる．時には地図を読み違い，間違った道を歩いていってしまうこともある．このような時に，自分が現在どこにいるか，あの建物は何であるかといった疑問に答える歩行者ナビゲーションシステム（Pedestrian Navigation System：PNS）は便利である．

実用化されているシステムには，携帯電話や PDA 上に地図や目的地までのルートを表示するシステムがある[1]が，一方でより直感的な情報提供を行うために現実世界に仮想オブジェクト，この場合建物名や通りの名前といったユーザが通るべきルートや場所に関する情報，を重ね合わせて表示する拡張現実感(Augmented Reality：AR)と呼ばれる手法を用いた研究も行われている[2].

建物にその名称の重畳表示を行う屋外 AR システムで，先駆的なものに Feiner らの Touring Machine がある[3]. これは GPS でユーザ位置を測定し，磁気探知機と傾斜計を含むセンサでユーザの見ている方向を特定して，大学構内の案内をシースルーディスプレイ(see-through Head Mounted Display)に表示するシステムであった．その後も多くの屋外 AR システムの研究例が示されてきたが[4]，大部分は学内や史跡といった限定された地域を対象にしており，限られた数のデータを，実在するオブジェクトに厳密に重ね合わせて表示する方法や，掲示内容自体の作り込みに主眼が置かれていた[5][6]. 市街地で利用できるように拡張性を考えたシステムとしては，Reitmayr と Schmalstieg による研究[2]を挙げられる．このシステムは地図，GPS，慣性センサを用いてシステムを構成しているが，誤差の影響を分析していない.

我々は，一般的な市街地において，建物に名称を重畳表示する拡張現実感システムを提案してきた.

市街地のような広範囲で利用できるシステムを実現するためには，①表示するデータの収集が簡単である，②事前に現実環境中にユーザの位置や表示データを特定するための機器を配置しておく必要が無い，といった条件がある．そこで提案手法では，ユーザの位置と向きの計測に GPS・モーションセンサを利用し，これらのデータと 3 次元地図からユーザが見ている建物を抽出するという方法をとった．しかし，センサを利用した場合には，ユーザの位置や向きのデータには誤差が含まれるので，正確な表示ができないことがあるという問題がある．そこで，我々はまずは簡単なモデルを用いて，センサの誤差が抽出された建物名の信頼性に与える影響を解析し，正確な重畳表示ができる状況，できない状況を明らかにしてきた[7].

本稿では，シミュレーション結果をもとにして行った，建物名重畳システムの実装と，名称の表示に成功した実験例について報告する．更に，センサ精度以外の要因で重畳表示に失敗する状況を探る.

2. 建物名重畳システムの構成

2.1. 建物名重畳システムの概要

建物名重畳システムは，東京都中央区銀座のような市街地を歩き回っているユーザに，見ている建物の名称を，実際の建物に重ね合わせて表示するシステムである． 本研究において，見ている建物とは，ユーザが身に付けているシースルーディスプレイの中心線越しにある建物とする.

図 1が建物名重畳システムの構成である．ユーザは GPS，モーションセンサ，ウェアラブルコンピュータを身に付けて歩き回っている．このとき，ウェアラブルコンピュータには，システムを利用する地域を含むエリアの 2 次元，3 次元地図データを保持しているものとする．システムは，GPS・モーションセンサから得られたユーザの位置・姿勢データをもとに，3.2節で説明するアルゴリズムで，ユーザが見ている建物の抽出を行う．GPS，モーションセンサ，地図を使うことによって，特定の史跡のように限られた場所だけでなく，一般的な市街地―銀座でも大阪でも構わない―に容易に適応可能なシステムとなっている.

以下，本章では建物名重畳システムを構成するハードウェア諸元および地図データについて詳細を述べる.

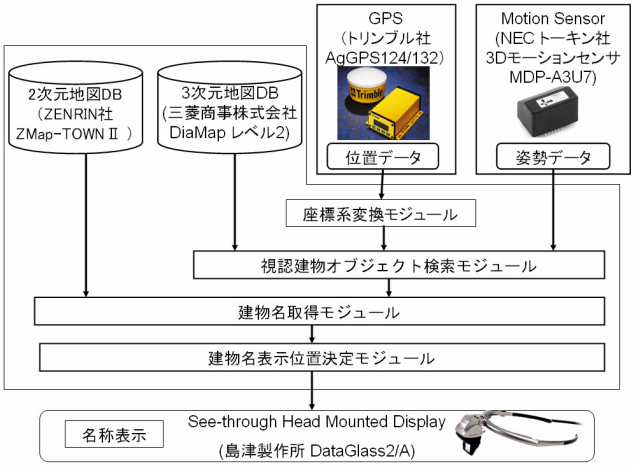


図 1. 3 次元地図を用いた建物名重畳システムの構成

2.2. ハードウェア諸元

2.2.1. GPS(Global Positioning System)

GPS とは衛星を使った地球規模の測位システムである．本研究では，DGPS(Differential GPS)測位が可能な AgGPS 124/132 受信機(トリンブル社)を使用している．DGPS 方式とは，測位衛星からのデータの他に，地上の基準局から発信されるデータを用いて，測位データを補正し高精度測位を行う方式である．なお，補正データが受信できなかったときは，補正を行わない通常の GPS 測位で位置を求める.

AgGPS124/132 受信機は 1 秒ごとにデータを出力する．データ精度は，DGPS 測位をしたとき，以下の条件を前提として"1 メートル RMS+10ppm×〔基準局と移

動受信機間の距離〕"である．

・使用される衛星数＞５　・PDOP[1]＜４
・信号対雑音比＞６　・衛星仰角マスク＞7.5
・低マルチパス環境
・ Trimble 400RSi またはこれに相当する機器から RTCM 対応補正が放送されていること

この前提条件が達成可能であるか，また精度が十分であるかといったことは4章，5章で検討する．

2.2.2. モーションセンサ

モーションセンサでユーザが見ている方向，これを視線方向と呼ぶ，を取得する．視線方向は，ユーザの視点からディスプレイの中心に向けて伸ばした直線の方向である．

モーションセンサには，NEC トーキン社製の 3D モーションセンサ MDP-A3U7 を使用する．このセンサは物体の回転速度を測るセラミック･ジャイロと,重力を検出することで傾きを測定する加速度センサと，東西南北の絶対方向を示すことができる地磁気センサを組み合わせることで 3D モーションを正確にとらえられるようにしたセンサである．

このセンサからはヨー角 α（初期方向からの角度），ピッチ角 β(見上げたときの角度)，ロール角 γ(首を傾けたときの角度)，α_n(北からの角度)，及びその他加速度，速度といったデータが得られる．本研究では北からの角度と，ピッチ角を利用する．ロール角は，首をひねりながら建物を眺めることはあまりないと思われるので，今回は使用していない．ロール角を計算に含めることで，名称を表示するディスプレイ座標の決定がより厳密にできるようになる．

センサの精度は，軸ごとに検出分解能が 1 度，最大誤差が±15 度である．また，データ更新速度は 125Hz であるが，GPS のデータが 1 秒ごとでしか取得できないので，それに合わせて，モーションセンサのデータも 1 秒ごとに取得する．

2.2.3. シースルー HMD(see-through head mounted display)

DataGlass2/A(島津製作所)を使う．このディスプレイは SVGA(800×600 ドット)モードのとき,ユーザの 60cm 前方に約 13 インチ(約 18cm×26cm)の SVGA フルカラーの画面を表示する．つまり，ユーザ視線に対して，水平角で約±12 度，垂直角約±10 度の領域がディスプレイ越しにみえることになる．しかし，名称付加の対象はディスプレイの中心線越しにみえる建物に限定する．3 章で説明する名称表示アルゴリズムは，ディスプレイの中心越しにみえる建物に対してだけでなく，ディスプレイ越しにある全ての建物に対して名称表示を行うように拡張可能であるが，計算時間の関係で全体への名称表示は難しい．計算時間については5.1節でふれる．

2.2.4. ウェアラブルコンピュータ

ウェアラブルコンピュータの代わりに，富士通製ノートパソコン（FMV-BIBLO LOOX T70MN）を使用する．これは Pentium M 1.20GHz，メインメモリ 1GB の Windows XP Professional であり，10.6 型ワイドサイズで約 1.2kg の軽量パソコンである．

2.3. 地図データ

2.3.1. 3 次元地図

ユーザの視線の先にある建物の抽出に，2 次元地図ではなく高さを含めた建物の形状データを持つ 3 次元地図を使う．その理由は，ある建物の後ろに別の建物がある場合に，2 次元地図だけでは後ろの建物が見えているのかいないのか分からないが，3 次元地図の高さ情報を使えばこのような問題に的確に対処できるからである．

3 次元地図データには，DiaMap レベル 2（三菱商事株式会社）を用いた．DiaMapは 3 大都市圏全域（東京・大阪･名古屋)をカバーしているデジタル地図である．2 次元や 3 次元のベクトルデータを格納するファイル形式の事実上の業界標準であるDXFファイル形式で提供される．データ量は本研究で使用している東京都中央区銀座を含む一帯，約 1.2km×1.0ｋｍの領域で，およそ 7 MBである．含まれるデータは建物の形状情報のみで，高速高架，駅等の構造物は含まない．１つの建物は，屋根面と側面をそれぞれ３Ｄポリライン，３Ｄポリゴンメッシュで近似したときの頂点座標群で表されている．

3 次元地図の解析には CAD ソフトである Autodesk Map 3D 2005(Autodesk 社)の API を用いている．地図データを Autodesk Map 3D の図面ファイルに変換し(この図面形式にすることでデータ量が 1.5M程度になっている)，さらに元々日本測地系平面直角座標系で表されていたものを，Autodesk Map の座標定義機能を用いて日本測地系緯度経度座標へ変換してから利用している．

2.3.2. 2 次元地図

３次元地図 DiaMap レベル 2 には建物の住所や名称といった属性情報がない．そこで，建物の名称を取得するために 2 次元地図である ZMap-TOWNⅡ(ZENRIN 社)を使う．

ZMap-TOWNⅡは個別の建物情報まで収めた詳細な住宅地図データである．建物の住所･名称と一軒一軒の居住者名･事業所名称などの個別情報を収録している．

[1] DOP(Dilution of Precision)は衛星の配置と精度の劣化関係を表す単位なしの数値．PDOPは水平と高度の測定に関係するDOP.

ZMap-TOWNⅡの操作はZMap-CORE Standard SDKで行っている．

3. 建物名重畳表示法の詳細

本章では，ユーザの見ている建物を自動抽出し，名称を表示するまでのアルゴリズムを，処理の流れに沿って，図 1に示した建物名重畳システムのモジュールごとに説明する．

3.1. 座標系変換モジュール

異なる座標系で表されている位置データを利用するために，座標系変換を行う．

具体的には，GPSのデータは世界測地系座標で表されており，地図データは日本則地系で表されているので，これを国土地理院の座標系変換ソフトウェアTKY2JGD[8]を用いて，日本測地系に変換している．

3.2. 視認建物オブジェクト抽出モジュール

ユーザの視線の先に見えている建物オブジェクトを３次元地図から抽出する本システムの核となる部分である．抽出アルゴリズムの基本的な考え方は，佐藤らのアルゴリズムを参照している[9].

図 2は建物オブジェクト抽出の概念図である．建物は中に浮いているわけではないので，まず，3 次元地図を真上から 2 次元上に射影した 2 次元地図から，視線と交差する建物オブジェクトを選択する．このとき視線の長さ（図 2中の L）は，建物が密集している地域では小さく，野原などの見晴らしのいい場所では大きくとる必要がある．本研究では暫定的に L=80mとして実験を行っている．次に，候補建物オブジェクトの中からさらに 3 次元高さ情報を用いて，間にさえぎる建物が無く，視認建物オブジェクトを計算する．

２次元での抽出，高さデータを使った抽出について，アルゴリズムと実装法を順に説明する．

（1）平面上での候補オブジェクトの抽出

３次元地図を Autodesk Map 3D を用いて平面上に射影した地図を用意しておいた．

視線と交差する建物オブジェクトの抽出には Autodesk Map 3D 2005 の API に含まれる SelectByPolygonメソッドを利用した．このメソッドは平面上でポリゴン領域を指定し，その領域と交差（もしくは内包）するオブジェクトを選びだすことができるメソッドである．図 2の例では領域としてユーザの位置(T)から視線方向へ長さL(80m)の線分TT_cを指定し，交差する建物オブジェクト群(Building A,B,C)を選びだした．

（2）高さ情報を用いた建物の抽出

（1）で選び出された建物オブジェクトの中から高さ情報を用いて，ユーザとの間にさえぎる建物が無く見えている建物を抽出する．準備として，線分TT_cを通りXY平面に垂直な面と，(1) で選び出された建物オブジェクトの屋根面との交点(I_0～I_5)の座標を，指定したオブジェクト同士の交点座標を計算するintersectWithメソッドを用いて求めた．

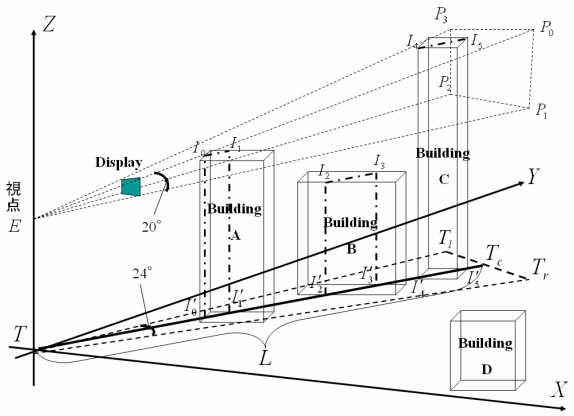


図 2．視認建物オブジェクト抽出

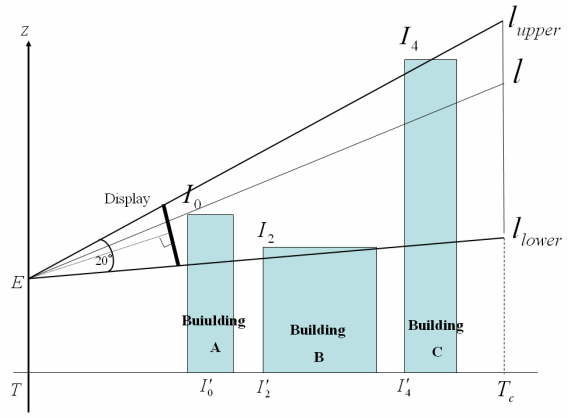


図 3．高さ情報を用いた建物オブジェクトの抽出

オブジェクトごとにZ座標が同じ交点(例えば点I_0とI_1)があれば，以降ユーザから近い位置にある点(I_0)のみを考え，これらを候補点と呼ぶ．図 3は図 2の直線TT_cに沿った断面図である．視点EのZ座標はユーザの目までの高さである．ユーザから線分TT_c上での距離（＝平面距離と呼ぶ）で近い順（点I_0，I_2，I_4の順）に候補点が見えるかどうかを判定し，その候補点を含む建物が見えるかどうか決定する．

まず，一番近い建物(Building A)が見えるか判定する．視点とディスプレイの上辺を結んだ半直線（l_{upper}）が，最初の候補点（I_0）よりユーザに近い点で地面と交差している場合，ユーザは地面を見ていることになる．よってここで判定を終了する．一方，地面との交点より平面距離で遠くに候補点があるときは，ディスプレイの下辺と視点を結ぶ直線（l_{lower}）と比較し，上にあればその点を含む建物は見えており，そうでなければみえないと判断する．見える場合には，さらに候補点

が，l_{upper}より上か否かを計算する．上にあれば，その点を含む建物がディスプレイ一杯に見えていることになるので，判定を終了する．

判定が終了しなかった場合は，次の候補点（I_2）を考える．視点と前の候補点を結ぶ直線（l）より，上にあればその点を含む建物は見え，そうでなければ見えない．これを候補点がなくなるか，候補点がl_{upper}を超えるまで繰り返す．

3.3. 建物名取得モジュール

視認建物オブジェクト抽出モジュールで選び出された建物の名称を，2 次元地図から取得する．

2 次元地図と 3 次元地図の間には，共通の建物 ID のようなものはないので，緯度経度の情報を用いて 3 次元地図中の抽出された建物に対応する 2 次元地図中の形状を求める．すなわち，3 次元地図から，視認建物オブジェクト内部の 1 点の座標を求め，次にこの座標を含む建物形状を 2 次元地図から選び出す．

3.4. 名称表示位置決定モジュール

名称が建物に重なって表示されるように，名称を表示するディスプレイ座標を決定するモジュールである．しかし，現在，この表示位置決定モジュール部分はまだ実装されておらず，ただディスプレイ中央に表示しているだけである．実装は今後の課題とする．

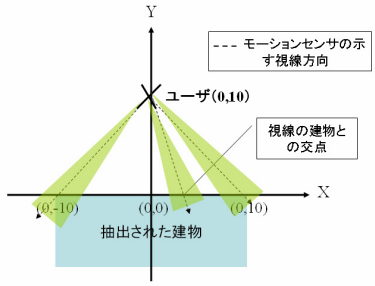
このモジュールは，画面一杯に 1 つの建物が見えているときは，ディスプレイの中心に表示するだけで重畳できるので，特に価値が無い．しかし，建物オブジェクトが複数抽出された場合には，後ろにある別の建物の名称が，前の建物に重ねて表示されてしまわないように名称の表示位置を決める役割を持つ．このとき，名称の表示位置だけでなく，表示する名称のサイズや，縦書き，横書きに変更するといった工夫も考えられる．

4. センサ誤差の影響

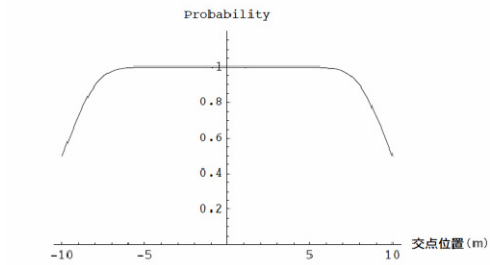
提案手法では，GPS・モーションセンサの誤差が誤抽出及び誤表示を招くと予想された．そこで,実装を行う前に，抽出した建物と実際にユーザの視線の先にある建物が一致する確率を，簡単なモデルを用いて計算し，誤差の影響を検証してきた[7]．本章では，誤差は正規分布すると仮定し，建物幅 20m，モーションセンサの誤差分布の標準偏差を 5 度として行ったシミュレーションの結果を示す．

図 4は GPS には誤差がないものとして，モーションセンサの誤差の影響を見た．抽出された建物の真中から 10m離れた位置にユーザが立っており，建物の端から端まで眺めている状況を想定している（図 4(a)）．

図 4(b)がシミュレーション結果である．建物の中心付近を，モーションセンサが指している場合には，1 に近い確率で正しい抽出ができる．



(a)状況設定イメージ



(b)シミュレーション結果

図 4．モーションセンサの誤差による一致確率の変化

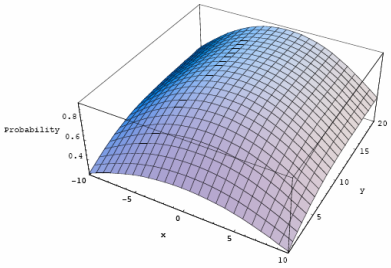
図 5は，視線方向は建物に垂直であるとして，GPS の誤差も含めて計算した結果である．つまり，GPS が(x，y)を指している時の一致確率を示している． 図 5(a)は GPS 標準偏差を 5mとしたときの結果である．こちらの結果も,建物の真ん前にいる場合が最も良い．しかし，真ん前(x=0)から少しずれると，すぐに確率は低下し始め GPS の誤差の影響は大きいことがわかる．

ところで，建物に近づくにつれて，一致確率が低くなっているが，これは，建物内部にいるときは，その建物を”見る”ことはできないはずなので，抽出された建物を見ている確率は 0 であるとしているためである．GPS の誤差を考えると，標準偏差を 5mとしているので，GPS が建物から 10m以内の場所を示しているときに,真のユーザ位置が建物内部(Y<0)である可能性がでてくる（正規分布を仮定しているので，10m以上離れていると建物内部になる確率はほとんど無い）．これにより，建物に近づくほど一致確率が下がるという結果になる．これはユーザが建物の中にはおらず，必ず道路上にいるといった情報を加えることで位置の推定に制限を加えれば改善されると期待する．

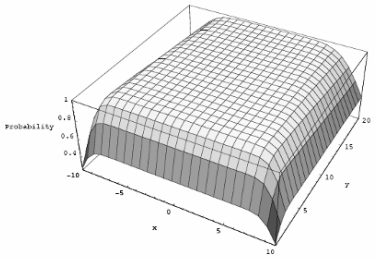
同じ設定で GPS 誤差の標準偏差のみ 1mにした場合が図 5(b)である．5m のときと比べて，一致確率が上がっている．

まとめると，重畳表示に最も有利な状況は，幅の広い建物に対して真ん前に立ち，真正面を向いたときである．また，幅 20mの建物に対して重畳を行うには

GPS 誤差の標準偏差が 1 mならば，利用できそうであ



(a)シミュレーション結果 GPS 誤差の標準偏差 5m



(b)シミュレーション結果 GPS 誤差の標準偏差 1m

図 5. GPS・モーションセンサの誤差による一致確率の変化
モーションセンサが建物に垂直な向きを指している場合

る．使用する GPS は2.2.1項で紹介したように，“ある条件の下で”ではあるが“1m RMS”の精度があるので，重畳表示は可能であると思われる．

5. 建物名重畳実験

重畳表示実験の結果，及び，実験中に得られた GPS の捕捉衛星数に関する知見を示す．

5.1. 銀座中央通りでの重畳実験

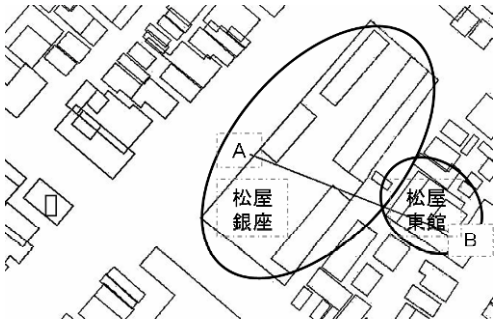
東京都中央区銀座の中央通りにある松屋銀座への重畳表示実験を行った．松屋銀座は，建物幅が約 110 mの中央通り沿いにある建物の中でも特別に巨大な建物である．前章の誤差影響シミュレーションの結果によると，これほどの大きさの建物の真ん中付近をみていたならば，正しい名称の抽出が可能であろう．

実際に松屋銀座前の路上に立ち，ほとんど移動せずに松屋を眺めたところ，名称の重畳表示に成功した．

結果を図 6に示す．図 6の(a)はシステムの表示画面であり，(b)は 3 次元地図からの建物抽出イメージである．実際にはシースルーディスプレイに画面が表示されており，名称越しに松屋の建物が見えている．図 6 (b)で点Ａは GPS の示したユーザ位置であり，モーションセンサが示した方向が点 B の方向である．視線(線分 AB)上には松屋銀座と松屋東館があり，この内，視認建物オブジェクトとしては松屋銀座のみが抽出された．

ここで，図 1の座標変換モジュールから建物名取得モジュールまでの計算に要した時間について，述べて

(a) 建物名重畳システムの表示画面



(b) ３次元地図からの抽出イメージ

図 6. 松屋銀座への重畳実験結果

おく．ユーザの位置及び向きのデータは 1 秒ごとに取得されるので，遅くとも 1 秒以内の計算が要求される．視線上には 2，3 個の建物があるが，他の建物に遮られずに見えている建物は 1 個であったとき（図 6 (b)のような状況），ユーザが見ている建物の名称を得るのまでにかかった時間は，約 270 ミリ秒であった．この時間は抽出に要する時間は視線の長さや，建物の密集具合で変化する．

5.2. 捕捉衛星数

GPS は衛星が 3 個以上捕捉できていないと測位が行えないが，銀座のようなビル街では建物に遮られて空が狭くなり，十分な数の確保が難しいのではないかという懸念があった．これに関して，約 1 時間の実験中で得た知見を述べておく．

図 7～図 9は実験中に取得した GPS データから作成したグラフである．重畳実験等の活動をしながら取得したデータであり，厳密にデータを取得した状況を説明できるものではないので参考データとしてみていただきたい．測位は，銀座中央通りの建物に近い歩道上で始め，途中で道路の真中に移動した．

図 7に GPS 測位状態を示す．横軸が測位開始からの経過時間で，縦軸は 0 のとき測位無効，1 のときは GPS 単独測位，2 のときは DGPS 測位を行っていることを示す．グラフの前半 1700 秒付近までは，断続的に測位無効となっている部分があるが，以降は連続して 2 を示しており，DGPS 測位が行えていることがわかる．

後半部分では，GPS アンテナを一定の場所に固定したことで安定したものと思われる．

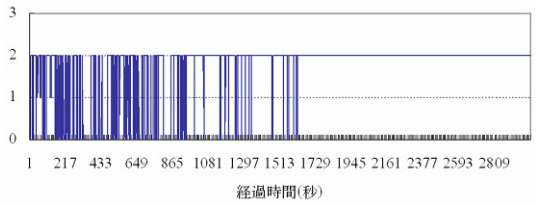


図 7．GPS 測位状態の変化
0＝測位無効，1＝単独測位中，2＝DGPS 測位中

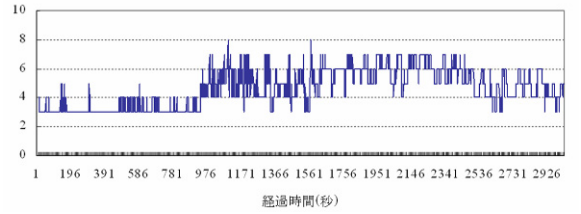


図 8．GPS 衛星の使用数

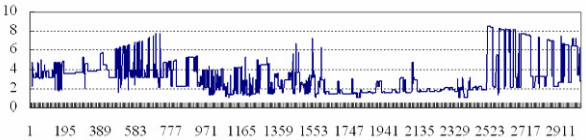


図 9．DOP 値

図 8には測位に使用した衛星の数の変化を示し，図 9は DOP 値の変化を示した．図 7に示した測位状態が 0 のときは，使用衛星数，DOP を含む測位状態以外のデータは更新されないことに注意する必要がある．図 8で衛星数が細かく変化している原因のひとつには，GPS アンテナの位置を足元から身長より少し高い程度の高さまで上げたり下げたりして，捕捉衛星数の変化を調べていたことが影響している．GPS アンテナを身長より少し高くあげると，捕捉衛星数が多くなり，低いところでは少なくなるという変化が顕著にみられた．図 9の DOP 値とは衛星の配置と測位精度の劣化関係を表す単位なしの数値である．測位に利用している衛星の配置が散らばっていれば，測位精度は良くなり，DOP 値は小さくなる．

全体として，銀座中央通りでは静止状態での測位は好条件で可能であるが，移動中には断続的に測位不能となる場合があると考えられる．

6. システムの問題点と対処法の検討

6.1. エラー要因の考察

表示されている名称と実際の建物が一致しており，かつ名称が建物に重なってみえる“正しい表示”に松屋銀座では成功した．しかし，ユーザの立ち位置や見ている向き，建物の大きさ等が変わった場合にも成功するとは限らない．有用なシステムとするためには，様々な場面で正しい名称表示を行える必要がある．

建物名重畳システムでのエラーがユーザに検出されるのは 2 つの状況が考えられる．1 つ目は間違った建物を抽出し，それにより間違った名称が得られた場合．2 つ目は，表示位置の問題であり，名称は正しいが，その建物に重なって見えなかった場合である．

エラーが起こる要因は，次の項目が考えられる．

(1) センサシステムの誤差
(2) モデルと実際の違い
(3) 地図データの不正確さ
(4) データ取得から表示までの経過時間

それぞれについて説明していく．

(1) センサシステムの誤差

4節でシミュレーションを行った GPS とモーションセンサの誤差によるエラーである．GPS の測位ができなかった場合も考える必要がある．

(2)モデルと実際の違い

個々の機器内部での違いと，機器の配置の違いがある．前者の例は，HMD は 60cm 先に約 13 インチのディスプレイを表示するとされているが，実際には 60cm ぴったりではなく，ディスプレイサイズも正確ではないこと．後者の例は，ユーザの視点の位置を測りたいが，GPS 受信機を目元に配置しているわけではないことがある．このような，計算に使用しているモデルと実際の違いがエラーをうむ．

(3) 地図データの不正確さ

地図データが現実を正確に反映していないことによるエラーである．

3 次元地図は正確に実世界を写したものではない．例えば現在使用している 3 次元地図の建物形状には，屋根の形は含まれていない．また建物以外の構造物（線路等）も含まれていない．より詳細なデータを含む地図を用いることで，建物の抽出や，建物が建造物の陰になっていないかといった判別が正確に行えるようになる．しかし，それに伴い計算時間は増大する．

また，3 次元地図と名称を取得する 2 次元地図が全く別の地図なので，それぞれのモデル化の違いによるエラーもあると考えられる．

他には，新しいビルが建ったり，古いビルがなくなったりするような，地図データが採取された時点での現実環境と，システム使用時の環境が変化している場合もある．

(4) データ取得から表示までの経過時間

データ取得から表示までの時間で，ユーザが動くことによっておきるエラーである．

現システムでは，データ取得間隔が 1 秒である．つまり 1 秒の間，同じデータが表示され続ける．時速 4 ｋｍの速さでユーザが歩いているユーザが 10ｍ先を

見ているとすると，１秒の間にユーザの位置は約１ｍ変わり，データ取得時に見ていた点はディスプレイ上では約 6ｃｍずれている．道に沿ってまっすぐに進んでいる場合，１ｍ程度の移動があっても同じ建物をみており，表示している名称が全く違うという事態にはならないかもしれないが，向きに関しては道の左を向いているのと右を向いているのでは全く違う建物になってしまうので，もう少し深刻である．

6.2. 表示エラー要因に対する対処法の一提案

一般的に AR を実現するためには現実環境と仮想物体の位置合せが重要な課題となる[10]．しかし，松屋銀座への重畳に成功したように，我々のシステムにおいて現実環境と仮想物体の位置あわせはそれほど深刻な問題ではない．また建物の抽出を行うための視線の測定も，厳密な値でなければならないというわけでもない．なぜなら，建物の名称は建物の幅一杯に表示しなければならないというものではなく，現実の建物に重なっていればユーザは十分に認識することができる．名称の抽出も視線が少しずれていたところで結局同じ建物を指していれば問題ない．

誤差をひとつひとつ減らしていけば，正確な表示ができるようになっていく.センサ誤差を減らすために，例えば，GPS が建物内の位置を示している場合には，マップマッチングを適用し推定位置を道路上に修正したり，画像認識による補正を行ったりすることが考えられる．しかし，一般に正確さと計算時間の間にはトレードオフの関係があることを覚えておかなければいけない．

我々の目標とするシステムは，市街地のような広範囲で，容易に利用可能な AR システムである．そのためセンサ精度の改善法の中でも，参照画像等の事前準備が必要な方法は推奨されない．むしろ，間違った表示をしないようにするという方針を採るほうが良いかもしれない．例えば，建物の端の方を見ていて抽出された建物の信頼性が落ちてきたような場合には，名称を表示せず，代わりに，ユーザに対して「もうすこし左をみろ」といった誘導をかけることが考えられる．今後，このような対処法を検討していきたい．

7. まとめと今後の課題

3 次元地図を用いた市街地における利用を想定した建物名重畳システムの実装し，簡単な実験を行い，松屋銀座への重畳表示に成功した．今回は道路幅，建物幅ともに銀座の中でも広く，有利な状況での実験であったが，さらに他の建物や場所で実験を行い，本手法の有効性の分析・検証を重ねたい．その際，シミュレーションによるセンサ誤差の影響の分析と実際の比較も続ける．

またエラー要因の分析も行った．今後 GPS のデータが取れなかった場合や，正確な建物の抽出が難しくなる建物の端の方を見ている場合に，間違った表示をしないようにする方法を考案していく．

さらに，3 次元地図を 2 次元に射影した地図から視認オブジェクトの候補を選択する際，検索する視線の長さを固定しているが，その長さの決定法も今後の課題である．これに関連して，遠くに見える建物への名称の表示方法も考えたい．

謝　辞

3 次元地図 DiaMap は三菱商事株式会社のご好意による．ここに謝意を表する．また建物名重畳システムのプロトタイプは，国土地理院長の承認を得て，同院の技術資料 H・1-No.2「測地成果 2000 のための座標変換ソフトウェア TKY2JGD」を利用し作成したものである．（承認番号　国地企調第 302 号）

文　献

[1] NAVITIME: http://www.navitime.co.jp/ja/index.html

[2] G. Reitmayr and D. Schmalstieg, “Collaborative Augmented Reality for Outdoor Navigation and Information Browsing,” Proc.Symposium Location Based Services and TeleCartography 2004, Vienna, Austria, January 2004.

[3] S. Feiner, B. MacIntyre, T. Höller, and A. Wbster, “A Touring Machine: Prototyping 3D mobile Augmented Reality Systems for Exploring the Urban Environment,” Proc. ISWC ’97 (Int. Symp. on Wearable Computing), pp.74-81, Cambridge, MA, USA, October 1997.

[4] R. Azuma, et. al. “Recent Advances in Augmented Reality”, IEEE Computer Graphics and Applications, Vol.21, No.6, pp.34-47, Nov/Dec 2001.

[5] 天目隆平，神原誠之，横矢直和,“拡張現実感を用いたウェアラブル観光案内システム「平城宮跡ナビ」,” 電子情報通信学会　技術研究報告，PRMU2003-186，January 2004.

[6] Ke Xu, et. al. “Visual registration for unprepared augmented reality environments,” Personal and Ubiquitous Computing archive, Vol.7 ,Issue 5, pp.287-298, October 2003.

[7] 隅田知代，増永良文,“拡張現実感を用いた建物名重畳システムにおけるセンサ誤差の扱い,” 情報処理学会研究報告, Vol.2005, No.68, 2005-DBS-137, pp.705-711, July 2005.

[8] 国土地理院：座標変換ソフトウェア TKY2JGD http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/program.html

[9] Yukiko Sato, Yoshifumi Masunaga, “A Novel Indexing Method for Digital Video Contents using a 3-Dimensional City Map,” Proceedings of the 4th International Workshop on Web and Wireless Geographical Information Systems, pp.333-343, November 2004.

[10] R. Azuma, “A Survey of Augmented Reality,” Presence: Teleoperators and Virtual Environments, vol. 6, No. 4, pp.355-385, August 1997.