

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

隅田 知代[†] 増永 良文[‡]

あらまし 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構築する。このシステムは 3 次元地図, GPS, 姿勢センサを用いて実現するので, GPS および姿勢センサの誤差が名称表示の信頼性にどのような影響を与えるのか, あらかじめ解析しておく必要がある。本稿では, 誤差の要因, およびセンサシステム技術の現状と展望について述べた後, 建物名重畳システムでユーザが実際に見ている建物と, システムが GPS, 姿勢センサの測定値から計算により導き出した建物が一致する確率を得るモデルをたて, シミュレーションを行っている。これにより建物とユーザの位置・視線方向の関係, 建物の幅, GPS・姿勢センサの精度によって, どの程度確からしい情報 (= 建物名) を掲示できるか明らかにすることができた。

キーワード ウェアラブルコンピュータ, 拡張現実感, 3次元地図, GPS, 姿勢センサ, 誤差解析

Handling of Sensor Errors in a Building Name Superimposing System with Augmented Reality

Tomoyo SUMIDA[†] and Yoshifumi MASUNAGA[‡]

Abstract We are constructing a building name superimposing augmented reality system used in an urban area. Since the system uses a Global Positioning System and a motion sensor as well as a 3-dimensional city map, it is necessary to analyze in advance how the GPS and the motion sensor error affect reliability of displaying a building name label. This paper first describes error factors and the present and the future of sensor system technology. Then, a model of calculating the probability of how accurate the building at which a user is looking is corresponding to one derived from the measured values of sensors. Simulation reveals how accurate the building name can be superimposed corresponding to building and user position, etc.

Keyword Wearable computer, Augmented reality, 3-D map, GPS, Motion sensor, Error analysis

1. はじめに

知らない場所で地図と現実の建物の対応付けを行うことは難しい。有川ら[2]は, 位置は固定されているが回転とズームができるカメラで市街地を撮影し, そのライブ映像中の建物に名称を重畳表示するシステムを構築した。現実環境に仮想物体や付加情報を重畳表示する技術は拡張現実感というが, この拡張現実感をウェアラブルコンピュータ上で実現すると, 街中を自由に歩き回るユーザに対しても, 地図との対応付けに煩わせることなく建物の情報(名称)を提供することができる。このシステムを建物名重畳システムと呼ぶ。

建物名重畳システムでは, ユーザが見ている建物を地図から自動的に抽出する。これはつまりユーザの位置と視線方向を正確に計測する必要があるということになる。これまでに提案された屋外を自由に歩き回る拡張現実アプリケーションの研究の多くは, 位置の計測には GPS を, 姿勢の計測にはジャイロセンサ等の小型の姿勢センサを用いている[6],[8]。しかし, GPS や姿勢センサを利用する場合, その精度が問題になる。測定値を基にユーザのしている建物を抽出すると, 測定値には誤差が含まれているので, ユーザが実際に見ている建物とは違う建物を抽出してしまうことが予想される。

[†]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 tomoyo@db.is.ocha.ac.jp
Graduate Division of Mathematics and Computer Science (Master's Program), Ochanomizu University

[‡]お茶の水女子大学 理学部情報科学科 masunaga@is.ocha.ac.jp
Department of Information Science, Faculty of Science, Ochanomizu University

本論文では建物名重畳システムにおいてGPS、姿勢センサの精度を考慮し、抽出された建物が実際に見ている建物と一致する確率をモデルをたてて分析する。第2章では、建物名重畳システムの概要について述べる。第3章ではセンサの誤差要因、現状と展望を説明する。第4章で2次元で抽出された建物の確からしさを決定するモデルをたて、第5章においてシミュレーションを行う。

2. 建物名重畳システムの概要

図1は建物名重畳システム概念図である。ユーザの位置と視線方向をGPS、姿勢センサ(3.2節で定義)を使って計測する。姿勢センサで計測する向きはディスプレイの中心が向いている方向であり、これをユーザの向きと呼ぶ。またユーザ位置から、ユーザの向きに伸ばした直線を視線ということにする。

取得した位置、姿勢データを基にして3次元地図から、ユーザが見ている建物の抽出を行う[1]。地図データから抽出された建物の名称を得て、表示する名称ラベルを作成する。そして名称ラベルをシースルーディスプレイに表示することで、建物にその名称を重畳する。

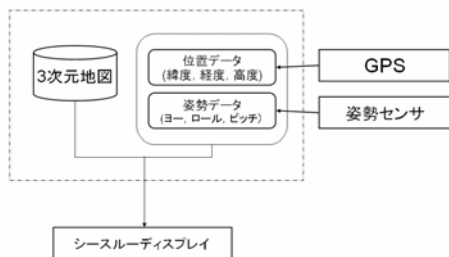


図1: システムの構成概念図

見ている建物の抽出プロセスをもう少し詳しく述べておく。3次元地図からの抽出プロセスは2段階で、最初に3次元地図を2次元に射影したものから、平面上で視線と交差するオブジェクトを全て選択する。この段階で抽出された建物オブジェクトを候補オブジェクトと呼ぶ。次に高さ情報を使って候補オブジェクトの中から、ユーザとの間に遮る物がなく真に見えている建物オブジェクトを選び出す。

2.1.3 次元地図の利用価値

3次元地図とは建物や高速高架、鉄道敷面の形状を含む地図である。建物の抽出に3次元地図を利用することで次のような利点がある。

ユーザから見て、ある建物の後方に別の建物があったとき、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判別できない。しかし、3次元

地図の高さ情報を使えば、その判断できるようになる。

3. センサの誤差要因と現状

本章ではGPS、姿勢センサの誤差要因や現状と展望について解説する。

3.1. GPS(Global Positioning System)

GPSは衛星からの電波を受信し、搬送波に乗っているコードや位相を用いて、受信機の位置を計測するシステムである。計測方式には大きく次の3つがある。

- 受信機単独でコードを使い、衛星からの距離(擬似距離)を求めて位置を計算する単独測位方式
- 衛星からの電波の他に、位置の正確にわかっている基準局から補正値を受信し、それを利用して擬似距離の補正を行うことで数メートル精度の測位を行うDGPS(Differential GPS)方式
- 搬送波位相を用いることでミリメートル単位の測量も可能な干渉測位(相対測位)方式

測位誤差要因とその大きさの見積りを表1に示す[5]。SPS(Standard Positioning Service)が民間利用可能なコードであり、PPS(Precise Positioning Service)は米軍関係者のみに使用可能である。SPSには意図的に精度劣化信号がSA(Selective Availability)のせられていたので、単独測位ではその影響が支配的であった。しかしSAは2000年5月に解除されており、現在その影響はない。

表1: 測位誤差要因とその大きさの見積り[5]

誤差源	測位誤差の1σ(m)			
	SPS	SPS with SA	DGPS	PPS
軌道情報	2.1	2.1	0	2.1
衛星時計	2.1	20.0	0.04m/s	2.1
電離層伝搬誤差	4.0	4.0	2ppm × 局間距離	1.2
対流圏伝搬誤差	0.7	0.7		0.7
マルチパス	1.4	1.4	1.4	1.4
受信機ノイズ	0.5	0.5	0.7	0.5
利用者等価測位誤差(UERE)	5.3m	20.6m	1.5~2m	3.6m
HDOP(標準値)	2.0	2.0	2.0	2.0
水平方向測位誤差(2drms)	21.2m	82.4m	6~8m	14.4m

DOP(Dilution of Precision)は衛星の配置と精度の劣化の関係を表す単位なしの数値で誤差の目安となる。値が小さいほど高精度の測位が可能な衛星配置であることを表す¹。

¹ HDOPは水平の測定に関するDOP。PDOPは水平と高度の測定に関するDOP。

水平方向測位誤差は単独測位(SPS)で 21.2m , DGPS では 6~8mである .市販の GPS 受信機は ,これらの誤差を最小に抑えるように設計されており ,トリンプル社の AgGPS124/132 受信機で DGPS の精度は ,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]” とされている .

- 使用される衛星数 : > 5
- PDOP : < 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
- トリンプル 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

高層ビルの林立する市街地における GPS 測位を考えたとき ,ビルからの反射によるマルチパスの影響の増加や ,建物に遮られることで必要な数の GPS 衛星を補足できないのではないかと懸念がある .衛星補足数に関して 3次元建物データを使用して

東京都千代田区の路面で補足できる衛星数をシミュレーションした結果がある (図 2) [4] . GPS のみで測位を行うと , 2次元単独測位に必要な 3機の衛星が確保できる面積率は 59% , 4機で 33% , 5機ではわずか 7%となっている . 十分な衛星が確保できるならば , 1メートル以下の高精度測位も可能であるが , 現状では市街地において , GPS のみで高精度測位を行うことは難しいことがわかる .

しかし位置情報システムへの期待は高く [7] , 様々なシステム , サービスが企画されている .

測位精度を改善するために利用できるシステムの 1つとしては , 2011年のサービス開始を目標に準備されている準天頂衛星がある . 準天頂衛星が稼動すると日本の主要地域では常に 70度以上の高仰角の衛星が存在することになる . 高仰角にあるので高層ビルの間からでも観測が可能である . GPS と準天頂衛星を測位に使うことで千代田区における衛星補足率は 3機で 82%に , 4機で 67% , 5機で 46%に上昇すると見込まれている (図 2より) .

その他には欧州連合 (EU)で GPS のような (ただし完全な民生システムである) 衛星測位システムであ

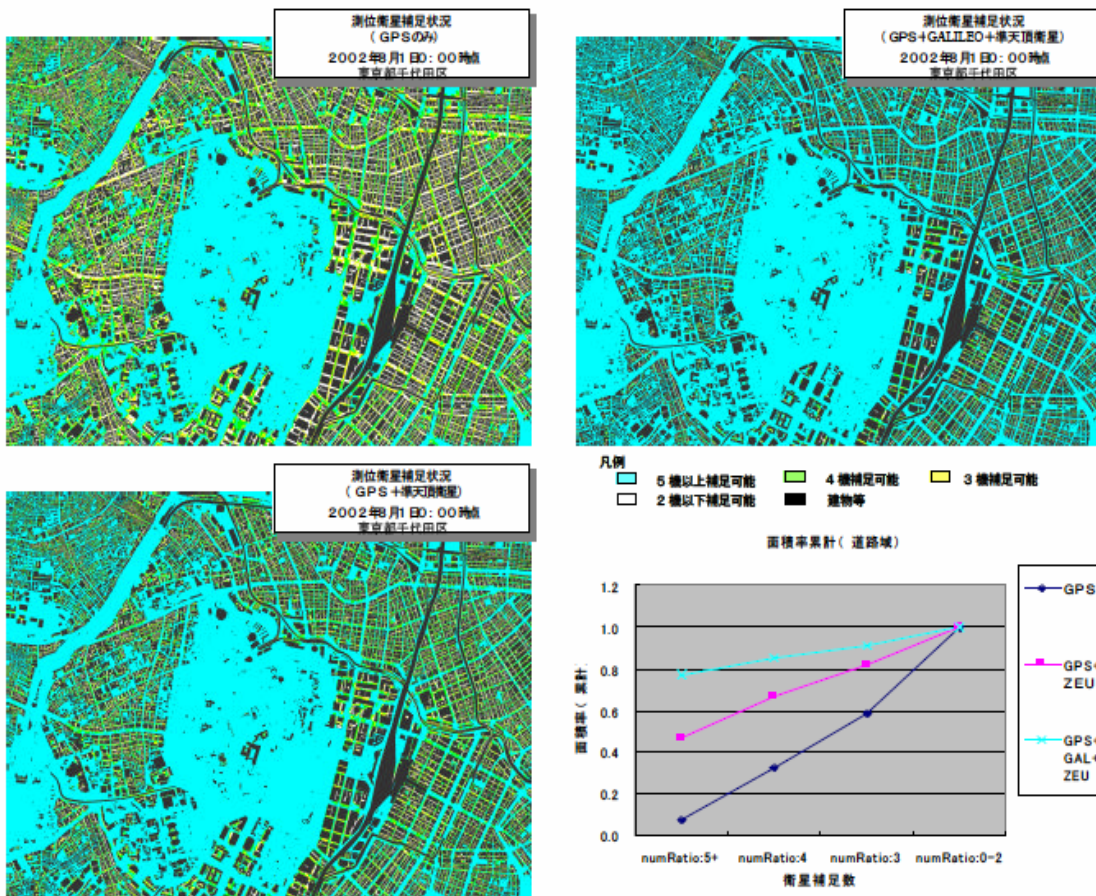


図 2:2002 年 8 月 1 日時点での測位可能地域シミュレーション [4]

るガリレオ計画も進んでいる。また GPS の補完という点では衛星数が減少しており単独での測位が難しくなっているロシアの GLONASS (GLobal NAVigation Satellite System)の利用も注目されている。このような位置情報システムの基盤が整備されていけば、市街地でも高精度な位置情報が得られるようになる[3]。

3.2. 姿勢センサ

姿勢センサはジャイロセンサや地磁気センサ、これらのセンサを複数組合せたセンサなどで、ヨー角(方位角)、ピッチ角(仰角)、ロール角(左右に傾けたときの動作角)の姿勢角を出力する装置とする。各センサには、ドリフト(何もしない状態でゆらぎがおきる現象)や外乱磁気の影響、積分誤差、蓄積誤差などがあるが、センサの組合せによる相互補正や演算で補正する工夫がなされている。小型になるほど性能は劣る傾向にある。

方式や計測可能な項目(加速度、角速度、位置)は様々であるが、一例としてヨー・ロール・ピッチの傾きが測定できるジャイロセンサ InertiaCube3(旭エレクトロニクス株式会社)では RMS 精度がヨー角で 1 度、ロール/ピッチ角で 0.25 度であり重量が約 17 g である。

4. 建物名重畳システムでの誤差

1.2 で紹介した建物名重畳システムの構想では GPS、姿勢センサで計測したデータに依存して、ユーザが見ている建物の決定を行う。しかし、これらのセンサで計測した位置データ、姿勢データには誤差が含まれるので、正しい建物の抽出ができることもあるが、実際に見ている建物とは異なる建物を抽出してしまうことも予測される。

本章では 2 次元で抽出された建物が、ユーザが実際に見ている建物と一致する確率を得るためのモデルをたてる。

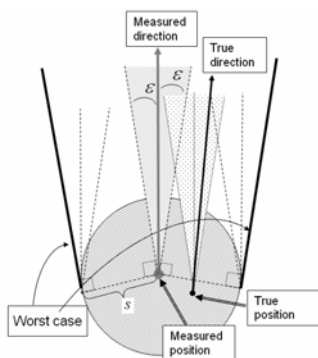


図3: 測定値と真の値

4.1. 誤差範囲と真の値

誤差とは真の値と測定値との差である。誤差は正規分布していると仮定して、センサの測定誤差が 3 シグマで E とすると、ほとんど全ての場合(99.73%)に真の値から E の範囲内に計測された値が収まっている。この E をセンサの最大誤差と呼ぶことにする。

立場を変えれば、真の値は測定値から E の範囲内に存在するということができる。以降、この測定値の周りに真の値が存在するという考え方で進める。

GPS の水平方向の最大誤差を s メートルとすると、真の位置は図 3 の円領域 $\{\vec{p} \mid |\vec{p} - \overline{measuredPos}| \leq s\}$ に含まれる。

姿勢センサでは、最大誤差が水平方向に ラジアンとすると、真の視線方向は図 3 の斜線領域 $\{\overline{measuredDir} \cdot R(\theta) \mid -\varepsilon \leq \theta \leq \varepsilon\}$ に含まれる。ここで $R(\)$ は回転行列である。

GPS、姿勢センサ両方の真の値の存在範囲を考慮すると、真の視線が、測定された結果から求めた視線と最もずれてしまう最悪のケースは図 3 に示したように、真の方向が $\overline{trueDir} = \overline{measuredDir} \cdot R(\pm\varepsilon)$ で、

真の位置が $\overline{trueDir}$ に平行な直線と GPS の最大誤差円の接点であるときである。

真の位置が $\overline{trueDir}$ に平行な直線と GPS の最大誤差円の接点であるときである。

4.2. 抽出された建物の確からしさ

センサのデータから、ユーザが見ている建物が A であると判定された時、それはどれくらい信用できる結果であるかを図 4 のモデルを用いて考察する。

計測された位置に原点を、視線方向に X 軸正の方向をとる。視線の先には建物 A があり、A の両端の点を L,R とする。建物は直線に沿って並んでいると仮定し、その直線は原点から X 軸との交点までの距離が d、直線の垂線と X 軸のなす角を θ とする。

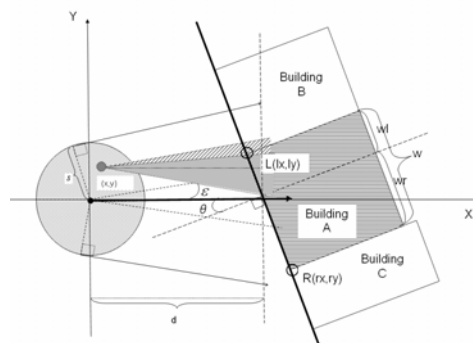


図4: 確からしさの決定モデル

誤差範囲内で真の値の存在確率は一樣であるとす

ると、真のユーザ位置が (x, y) にあったとき、ユーザが実際に見ている建物と一致する確率は（最大誤差範囲内で延長線が同じ建物と交わる角度範囲） / （姿勢センサの最大誤差 $(\epsilon) \times 2$ ）で表せる。

図5に姿勢センサの誤差範囲 2ϵ と (x, y) と建物の両端L,Rを結んだ直線との関係、及び抽出され建物と一致する確率を示した。各直線がX軸となす角を β 、 α としている。case1は誤差範囲が完全に含まれる場合（ $\beta - \epsilon \leq \alpha \leq \beta + \epsilon$ ）である。case2,3には誤差範囲とL,Rの上下関係が逆になるものもあるが省略した。ここで、 $f(x, y)$ は (x, y) の関数であるので、一致する確率は $f(x, y)$ と書ける。

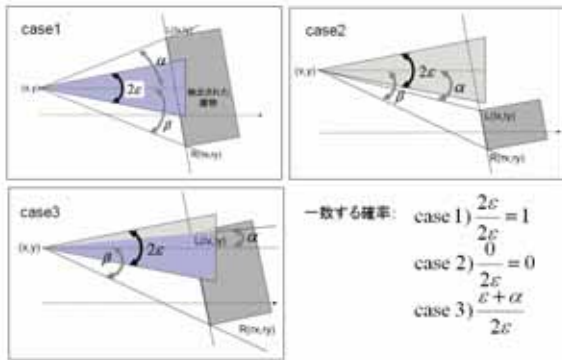


図5: 最大誤差範囲と建物が一致する確率

位置 (x, y) はGPSの誤差範囲内を動くので結局、抽出された建物が、実際に見ている建物と一致する確率（一致率）は

$$\frac{\iint_D f(x, y) dx dy}{\iint_D dx dy} \quad D: x^2 + y^2 \leq s$$

となる。

4.3. シミュレーション

4.2.で求めた確率の式を用いて様々な状況で確率の変化を計算した。その結果が図6である。東京都千代田区銀座の道路幅は、ビルの間で8m程度、大通りや交差点の対角距離では40~50mであるので $d = 10, 40$ とし、また建物の幅は4m程度から100mを超えるものまであるので、幅の狭い建物として $w = 4$ を、ある程度幅のある建物を代表して $w = 20$ としている。

図6の(i)は10m先の建物を正面から見ながら($d = 10, \theta = 0$)、4m幅($w = 4$)の建物の前を移動した($w_r = 0 \sim 4$)ときの一一致率の変化である。建物の中心付近にいくと4mの幅の狭い建物でも高い信頼性のある名称が得られる。しかし図6の(iv)のようにGPSの誤差が5mになると、建物の真中に立ってい

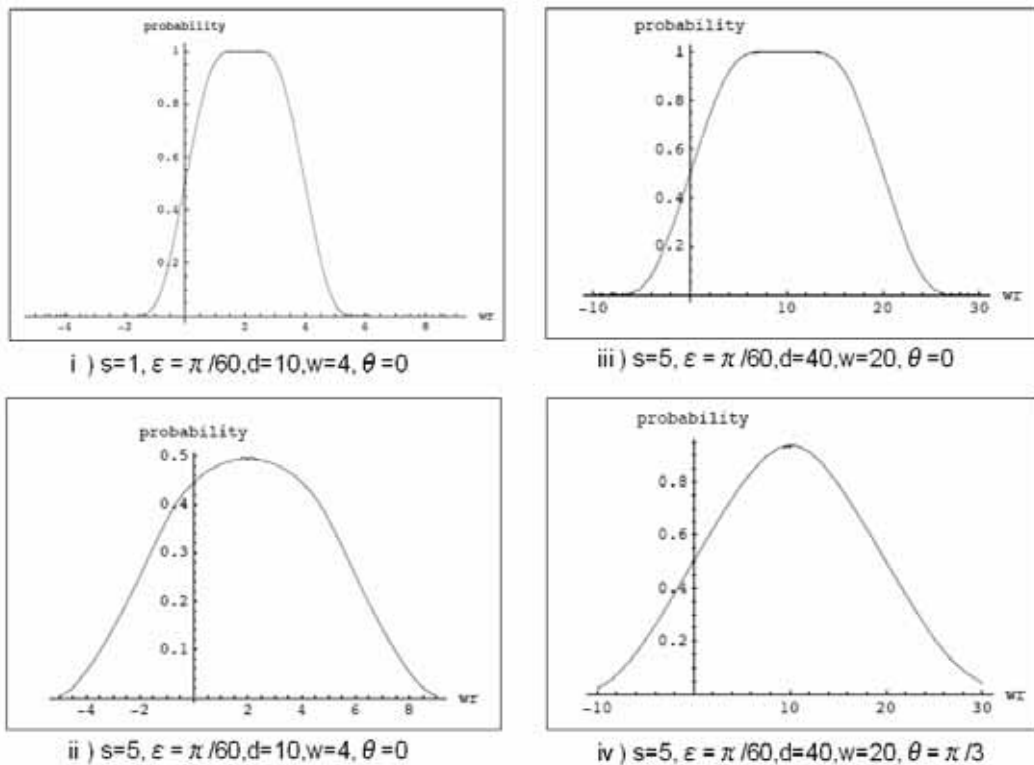


図6: 建物の前を移動したときの一一致率の変化

ても一致率は0.5にしかない。図6の()は建物幅を20m, 距離を40mとした場合である。建物幅が20mもあると, GPSの誤差が5mのままでも一致率1となる位置がある。以上3つのケースでは, 建物の正面から見ていた($\theta = 0$)。図6の()は $\theta = \pi/3$ として斜めから見たケースである。()と比べると, やはり正面から見ていたほうが一致率は良いことが確認できる。これは建物の幅が狭くなったのと同様の影響といえる。

建物幅と距離を定めて, 真中からみているとするとき, GPS・姿勢センサの精度によって, 一致率がどのように変化するかを調べたのが図7である。距離 $d=30$, 建物幅 $w=10$ mとした。

グラフから, GPSの誤差 s が建物幅の半分(5m)以上になると急激に一致率は悪くなることが確認できる。また $s=0$ 付近では姿勢センサの誤差 θ は0.15を過ぎたあたりから急激に悪くなっているが, これは真の方向と θ ずれた方向を見ていると30m先では, $30 \cdot \tan(0.15) \approx 5$ m ずれた場所をみていることになり, やはり建物の半分の長さになったときであることがわかる。

θ を一定として s の変化による影響をみると, s が大きくなるにつれて一致率は下がっている。しかし s を一定にして θ の変化による影響を見ると, θ が大きくなるにつれて一様に減少しているわけではなく, むしろ増加している。これはある点 (x, y) から計測された方向に $\pm \theta$ の範囲では建物と交差せず一致する確率が0になる場合でも, より広い $\pm \theta'$ ($\theta < \theta'$) の範囲になると, その建物と交差して一致する確率が0より大きくなる可能性があるからである。

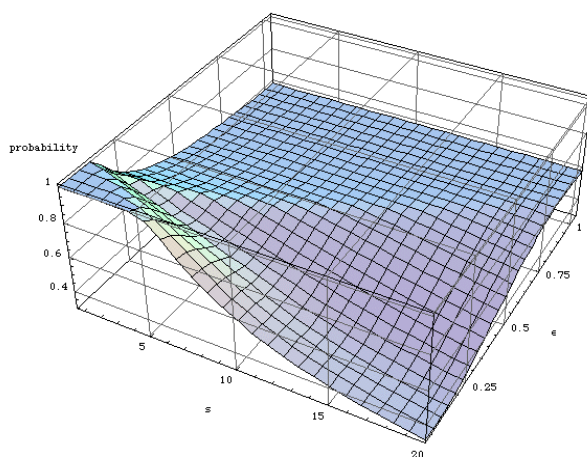


図7:GPS・姿勢センサの精度を変化させたときの一致率

次にセンサの誤差を定めたとき, 一致率1となる

w と d の関係を $\theta = 0$ とした場合で考える。

$0 \leq f(x, y) \leq 1$ なので, 次式が成り立つ。

$$\frac{\iint_D f(x, y) dx dy}{\iint_D dx dy} = 1 \Leftrightarrow f(x, y) = 1 \quad (\forall (x, y) \in D, D \neq (0,0))$$

$f(x, y) = 1$ となる条件は, 視線方向が4.1.で示した最悪の

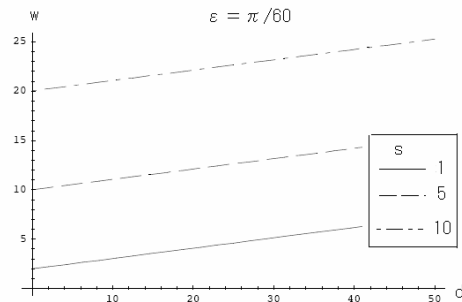


図8:距離と建物幅の関係

場合でも視線の先に同じ建物があることなので (d メートル先での計測値から求めた視線と最もずれた視線が指している位置の差) \leq (建物幅の半分)となればよい。

$$\text{すなわち } d \cdot \tan(\theta) + s \cdot \sec(\theta) \leq \frac{w}{2} .$$

$\theta = \pi/60$ で $s = 1, 5, 10$ の場合に, 左辺 = 右辺となる d と w の条件を示したのが図8である。それぞれの場合に直線よりも上の領域では一致率1になることがある。

5. まとめと今後の課題

本論文では, 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た。3次元地図, GPS, 姿勢センサを用いて, これを実現するために, GPS, 姿勢センサの誤差要因, および現状と展望について述べた。建物名重畳システムでユーザが実際に見ている建物と, システムがGPS, 姿勢センサの測定値から導き出した建物が一致する確率を得るモデルをたて, シミュレーションを行った。これにより建物とユーザの位置・視線方向の関係, 建物の幅, GPS・姿勢センサの精度によって, どの程度確からしい情報を提示できるか示すことができた。

今後の課題は, 本論文ではセンサ誤差は正規分布していると仮定し, 3σ値を最大誤差としたが, 姿勢センサは長時間使用すると蓄積誤差の影響が大きくなり, 単純に最大誤差をとることができないので, その扱いが挙げられる。

文 献

- [1] 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 (W2GIS) , pp.333-343 , November 2004.
- [2] M . Arikawa , M . Murao , K . Okamura : " Augmented/restricted reality hypermedia, systems based on spatial databases , " Advances in Databases and Multimedia for the New Century - A Swiss/Japanese Perspective , Advanced Database Research and Development Series - Vol. 10 , pp . 79-86 , Kyoto , Japan , Nov . 1999 .
- [3] 神谷泉 , 小白井亮一 : " 高精度測位技術の現状とその利用分野に関する調査 , " 国土地理院時報 , No . 103 , pp . 73-86 , Feb . 2004 .
- [4] 総合科学技術会議 : 総合科学技術会議が実施する国家的に重要な研究開発の評価「準天頂衛星システム」について , 大規模新規プロジェクトの評価説明資料 2 - 3 , 評価専門調査会 , 2002 .
- [5] 安田明生 : " GPS の現状と展望 , " 電子情報通信学会誌 , vol . 82 , no . 12 , pp . 1207-1215 , Dec . 1999 .
- [6] 佐藤 清秀 , 穴吹 まほろ , 山本 裕之 , 田村 秀行 : " 屋外装着型複合現実感のためのハイブリッド位置合わせ手法 , " 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 , vol . 7 , no . 2 , pp . 129-137 , June . 2002 .
- [7] wisdom, ユビキタス最前線 , ユビキタスビジネストレンド , 第 7 回 , 拡大する位置情報の活用 , <http://www.blwisdom.com/btrend/07/3.html>
- [8] 小田島太郎 , 神原誠之 , 横矢直和 : " 拡張現実感技術を用いた屋外型ウェアラブル注釈揭示システム , " 画像電子学会誌 , Vo.32 , No.6 , pp.832-840 , Nov.2003.