

拡張現実感技術を用いた 屋外型ウェアラブル注釈提示システム

奈良先端科学技術大学院大学
奈良先端科学技術大学院大学
奈良先端科学技術大学院大学

小田島 太郎
神原 誠之
横矢 直和

〈 あらまし 〉 近年、ウェアラブルコンピュータ上で拡張現実感 (Augmented Reality:AR) を実現する研究が行われている。これにより、従来では困難であった屋外における拡張現実感が実現でき、観光名所などで建物への注釈情報を付加するといった観光ガイドとしての応用などが可能になる。一般に拡張現実感を実現するためには、現実環境と仮想環境との位置合わせが重要な課題となり、そのためにはユーザの位置と姿勢を計測する必要がある。本論文では、位置の計測にハンドヘルド式 GPS を、姿勢の計測に光ファイバジャイロを用いた屋外で利用可能なウェアラブル型注釈提示システムを提案する。提案システムでは、注釈提示に加えて静止時には姿勢センサの誤差を画像処理により補正し、高い位置合わせ精度の要求される仮想物体の重畳表示を実現する。また、実際にプロトタイプシステムを構築し、その有用性を示す。

キーワード: ウェアラブルコンピュータ, 拡張現実感, ハンドヘルド GPS, 姿勢センサ

〈 Summary 〉 Augmented reality is a technology which enhances a real environment with virtual objects such as annotations and computer graphics objects. Using a wearable computer, outdoor augmented reality can be realized. Therefore, in sight spots, the system can be used as a sightseeing guidance system that superimposes annotations on a real object such as a building. This paper proposes an outdoor wearable augmented reality system using a hand-held GPS. The proposed system measures user's position and orientation using the hand-held GPS and a fiber optic gyro, respectively, in order to align real and virtual coordinate systems. Our system overlays only annotation information to the buildings when a user is moving, while the system corrects the error of the inertial sensor by using an image-based technique and overlays the CG objects that requires the high accuracy of registration when a user is resting. The system has been successfully experimented in outdoor environments.

Key words: wearable computer, augmented reality, hand-held GPS, inertial sensor

1. はじめに

駅前や観光名所などにおいて、建物や行先の情報は一般に案内板やパンフレットなどによって提供される。しかし、これらを用いて目的地までたどり着くためには実際の場所と地図上の場所との対応付けが必要となるが、この対応付けの作業は建物の数が増えたり地図が複雑になると困難になる。そこで、現実環境に仮想物体を重畳合成する技術である拡張現実感 (Augmented Reality:AR) [1, 2, 3] を利用すれば、建物への注釈などを重畳表示することで直感的な情報提示が可能となると考えられる [4, 5, 7, 8]。また、ユーザが身につけて使用することのできるウェアラブルコンピュータ上で AR を実現すれば、ユーザは任意の場所において情報を得ることができる。

一般に AR を実現するためには現実環境と仮想物体との位置合わせが重要な課題となるため、ユーザの現在位置及び視線方向 (姿勢) を計測する必要がある [9, 10]。従来、ウェアラブルコンピュータを装着したユーザの位置・姿勢を計測する手法として画像を用いた手法 [6] がある。しかし、この手法はあらかじめ位置・姿勢を特定するための画像データベースを保持する必要があるこ

とや、現実環境の照明条件の変化に弱いといった特徴があるため、屋外において利用することは困難である。屋外において位置を測定するためには汎地球測位システム (Global Positioning System:GPS) を、姿勢を測定するためにはジャイロセンサ等を使用することが一般的である。従来研究では、高精度に現在位置を計測するために、ディファレンシャル GPS やリアルタイムキネマティック GPS が用いられてきた [11, 13]。しかし、これらは精度良く計測が行える反面、現状では機器構成が複雑になるため、大きさ・重量の点においてウェアラブルコンピュータ上で実現する AR システムには不向きであると考えられる。

そこで本論文では、ユーザの位置計測に小型で携帯が容易なハンドヘルド式の GPS を用い、屋外において建物への注釈付けを行うウェアラブル型拡張現実感システムを提案する。しかし、本研究で利用したハンドヘルド式 GPS は、ディファレンシャル GPS などに比べ機器構成が小型・簡略化される半面、計測精度が悪くなる。そこで本研究では、その精度を考慮し、ユーザの移動時と静止時 (立ち止まっている時) を検出し、静止時には姿勢センサの誤差を画像処理により補正し、高精度な位置合



図 1: ウェアラブル型拡張現実感システムの構成と外観

Fig. 1 Hardware configuration of the proposed system.

わせが要求される仮想物体の重畳表示を実現する。

2. 屋外型ウェアラブル注釈情報提示システム

本章では、屋外において現実環境へ仮想物体を重畳表示するビデオスルー式のウェアラブル型 AR システムの詳細について述べる。以下、2.1節で機器構成および処理の流れを、2.2節で GPS による位置情報取得・静止判定の精度検証および姿勢センサによる姿勢情報の取得法について記述する。また、2.3節で静止時における姿勢センサの誤差補正手法を、2.4節で仮想物体と実物体との隠蔽問題の解決法について詳述する。

2.1 システム構成と処理手順

屋外において現実環境へ仮想物体を重畳表示するウェアラブル型 AR システムの機器構成を図 1 に示す。GPS および姿勢センサからユーザの位置・姿勢情報をそれぞれ取得し、これらの情報から提示すべき注釈情報および仮想物体の表示位置を決定する。その後、頭部に装着したカメラより得られた現実環境の映像に注釈情報および仮想物体を重畳合成し、小型表示デバイスを介してユーザに合成画像を提示する。

以下に、それぞれの機器について詳述する。

カメラ Point Grey Research 社製 Dragonfly

転送レート：30[Hz]

解像度：640 × 480[pixels]

画角：60°

ユーザの視点付近に設置し、ユーザのしている現実環境の画像を取得する。電源は 12[V] のバッテリーパックから供給される。

GPS GARMIN 社製 eTrex

転送レート：1[Hz]

ヘルメットに装着し、ユーザの現在位置を計測する。

電源は 1.5[V] の乾電池から供給される。

姿勢センサ TOKIMEC 社製 TISS-5-40

計測方式：光ファイバージャイロ

転送レート：250[Hz]

姿勢角精度：±0.5[°]

最大角速度：458[°/s]

方位角ドリフト：±3.0[°/h]

重量：550[g]

ヘルメットに装着し、ユーザの姿勢を計測する。

電源はカメラと同じバッテリーパックから供給される。

計算機 DELL 社製 ノート PC Inspiron 8100

CPU 周波数：1.2[GHz]

搭載メモリ：512[MB]

重量：3.6[kg]

カメラ・GPS・姿勢センサの各センサからそれぞれ情報を取得し、内部に保持した注釈情報を現実環境の画像に重ね合わせ、注釈つき画像を生成する。電源は、内蔵バッテリーから供給される。

表示デバイス MicroOptical 社製 Clip-On Display

視野：約 10[°]

(ただし、映し出される映像の視野はカメラと一致)

解像度：640 × 480[pixels]

ヘルメットに装着し、注釈つき画像をユーザの左目に提示する。

ユーザはこのデバイスを介して注釈つき画像を見ることができる。電源は 7.2[V] のバッテリーパックから供給される。

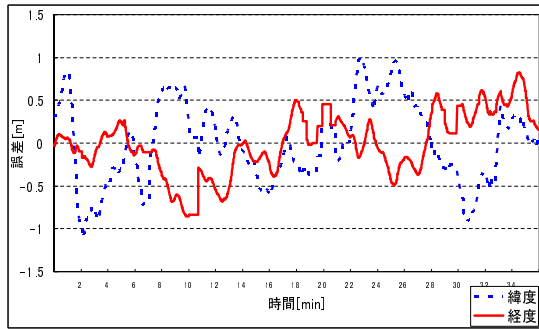


図 2: GPS 誤差の推移
Fig. 2 Error of GPS data.

なお、本システムの総重量は約 7[kg] であり、稼働時間は約 2 時間半である。以下に注釈合成画像の生成手順の概要を述べる。

1. カメラによりユーザの視点から見た現実環境の画像を取得する。
2. GPS および姿勢センサにより、ユーザの現在位置・姿勢を計測する。GPS から得られる計測結果よりユーザの静止判定を行ない、ユーザが静止していると判定された際には、画像処理により姿勢センサの誤差補正を行う。
3. ステップ 2 で計測した情報と計算機内に保持した注釈情報を用いて、注釈を表示する場所を決定する。
4. ステップ 3 において決定した現実環境の場所へ注釈を重畳表示する。ユーザが静止している際には、高い位置合わせ精度が必要な仮想物体の重畳表示も行う。

2.2 位置・姿勢情報の取得

本節では、GPS が固定された状態において得られる位置情報の精度検証、および静止判定の検証実験および姿勢センサからの姿勢情報の取得手法について述べる。

2.2.1 GPS の静止時における位置情報の取得

まず、GPS の計測誤差を調べるために、実際に GARMIN 社製のハンドヘルド式 GPS である eTrex を用い、緯度及び経度が既知の場所で GPS 衛星を 7 ~ 9 個捕捉している状態で 40 分程度現在位置を計測した。図 2 は、計測値と正確な値との誤差をメートル単位に換算した際の誤差の推移をグラフにしたものである。図より、GPS が固定されている状態であれば、緯度・経度いずれにおいても誤差は高々 1m 程度であることが確認できる。

表 1: GPS による静止判定の正答率

Table 1 Rate of correct answers of stillness judging.

閾値 [km/h]	正答数	誤答数	合計	正答率 [%]
0.01	835	768	1603	52.09
0.05	1528	75	1603	95.32
0.1	1537	62	1603	95.88
0.2	1551	52	1603	96.76
0.3	1549	54	1603	96.63
0.4	1528	75	1603	95.32
0.5	1308	295	1603	81.60
0.6	1164	439	1603	72.61

2.2.2 GPS による静止判定

次に、eTrex による静止判定の検証について述べる。eTrex は、ユーザの現在位置の他に移動速度も計測することが可能であるため、移動速度が閾値以下ならばユーザは静止していると判定する。実際に、人間の歩く速度とされる約 4[km/h] の速度で移動し、静止判定の閾値を変化させた際の正答率を表 1 に示す。最も正答率の高い閾値 0.2[km/h] における誤答数 52 の中で、静止・移動直後の 2 ~ 3 秒のタイムラグによるものが 51、移動中に誤って静止判定を出したものが 1 であった。この結果より、2 ~ 3 秒のタイムラグを許容すれば、閾値を 0.2[km/h] 前後に設定することで GPS による静止判定は十分利用可能である。

2.2.3 姿勢センサによる姿勢情報の取得

提案システムでは、ユーザの姿勢情報を光ファイバジャイロセンサにより取得している。本研究では、ビデオスルー方式で仮想物体を合成しているため、姿勢情報とカメラから得られる現実環境の画像との同期ずれが生じる。本システムの場合、姿勢情報が変化するとき、先に仮想物体が動き、後で現実環境の画像が動くといった同期ずれの問題が生じる。この位置ずれを軽減するために、キューを用いて遅延時間分の姿勢情報を一時的に蓄積することにより同期ずれの問題を解決する。その際のキューのサイズは次の手順で決定する。

1. 姿勢センサを静止させる
2. 姿勢センサを動かし、姿勢情報をキューに入れる
3. カメラ画像が、フレーム間差分により動き始めたとき判定されるまでキューに姿勢情報を入れる
4. カメラ画像が動き始めたとき判定されたらキューへの挿入を中断する

このときのキューのサイズにより同期ずれのフレーム数を求める。

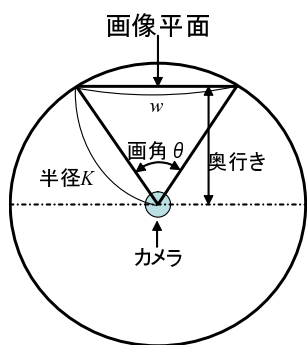


図 3: 現実環境と画像平面との関係 (上から見た図)
Fig. 3 Relationship between a real scene and an image plane.

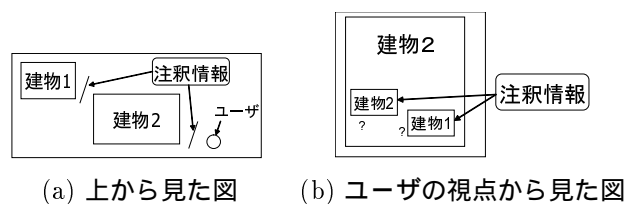


図 4: オクルージョン問題
Fig. 4 Occlusion problem.

以下に、各処理の詳しい手順を示す。

2.3 画像処理による姿勢センサの誤差補正

2.2.3 節で述べた、キャプチャ画像と姿勢センサの同期処理は、フレーム単位の処理のため、最大の同期ずれが 1 フレーム分 (描画更新レートが 30 フレーム/每秒の場合 33 ミリ秒) となる。この時、立て札などの現実にあたかも存在するように見せる必要のある仮想物体を合成した場合、頭部の動きによる同期ずれが位置合わせの誤差となり違和感が生じる。佐藤らは、姿勢センサの誤差を画像処理により補正する手法を提案した [12]。しかし、これは長時間連続で姿勢センサを使用することにより生じるドリフト誤差を数秒おきに補正するためのものである。本節では、立て札のような高精度な位置合わせが必要な仮想物体の合成を行う、ユーザが静止している (立ち止まっている) と判定された場合のみに、画像処理を用いて実時間で同期ずれによる誤差を補正する手法を提案する。

2.3.1 処理の流れ

まず、ユーザが静止しているという仮定から、現実環境はカメラを中心とする球の表面に投影されているとみなすことができる。すなわち、カメラ位置を原点とした球面上の点の 3 次元座標を (X, Y, Z) 、球の半径を K とすると

$$X^2 + Y^2 + Z^2 = K^2 \quad (1)$$

の関係がある。以下では簡単のため、 $K = 1$ とする。次に、以下の手順に沿って姿勢情報である回転行列を求める。また、本手法では高速化のため、各フレーム間に対し 3 点のみ対応点を検出した。

1. 2 つのフレーム間で、対応する 3 点を求める
2. 得られた 6 点の球面に投影された点の座標を求める
3. 6 点の対応点の球面上の座標より、行列演算を用いて回転行列を求める

2.3.2 対応点の検出

まず、参照画像の特徴点を、Moravec のインタレスト・オペレータ [14] を用いて検出する。検出された特徴点の連続するフレーム間において対応する点を求める際、従来では単純なフレーム間のパターンマッチングや、ヒストグラムを利用した高速なアクティブ探索法 [15] などが用いられてきた。本手法では、高速化のため姿勢センサを用いて大まかな対応点の移動予測を行い、その周囲のヒストグラムを用いて検索することにより対応点を決定する。また、点の照合にパターンマッチングではなくヒストグラムを用いることにより、カメラがロール角方向に回転した場合にも対応することができる。

2.3.3 球面上の座標の推定

次に、画像平面上の点に対応する球面の座標を求める手法を示す。画像上の座標と球面投影時の座標との関係を求めるために、画像平面の奥行きが何画素に相当するのかを求める必要がある。これは、図 3 が示す通り画面の横幅を w [pixel]、カメラの画角を θ として $\frac{w}{2 \tan \frac{\theta}{2}}$ [pixel] と表すことができる。

これより、画像上の点 (x, y) に対応する 3 次元座標は、 $(x, y, \frac{w}{2 \tan \frac{\theta}{2}})$ を式 (1) を満たすように正規化した値、すなわち

$$\left(\lambda x, \lambda y, \frac{\lambda w}{2 \tan \frac{\theta}{2}} \right),$$

$$\text{ただし, } \lambda = \frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2 + \frac{w^2}{4 \tan^2 \frac{\theta}{2}}}}$$

となる。

2.3.4 回転行列の推定

一般に、3 次元空間中の回転変換では、3 点の対応が求まれば変換行列 (回転行列) を求めることができる。具体的には、3 次元空間中の点 P_1, P_2, P_3 とその対応

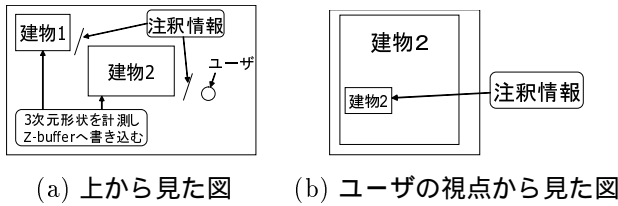


図 5: Z-buffer 法によるオクルージョン問題の解決

Fig. 5 Resolving occlusions by Z-buffer.



図 8: 位置ずれ補正に使用したマーカ

Fig. 8 A marker used in the experiment.



(a) 距離:約 20[m] (b) 距離:約 120[m]

図 6: ワイヤフレームによる重畳表示実験

Fig. 6 Wire frame overlay images



(a) 距離:約 25[m] (b) 距離:約 80[m]

図 7: 本学情報科学研究科正面玄関への注釈表示

Fig. 7 Annotation overlay to a building.

点 P'_1, P'_2, P'_3 は, 3×3 の回転行列 R を用いて

$$\begin{pmatrix} P'_1 & P'_2 & P'_3 \end{pmatrix} = R \cdot \begin{pmatrix} P_1 & P_2 & P_3 \end{pmatrix}$$

と表すことができる. これにより, 回転行列 R は,

$$R = \begin{pmatrix} P'_1 & P'_2 & P'_3 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} P_1 & P_2 & P_3 \end{pmatrix}^{-1}$$

となる. 姿勢センサから得られた値をこの R で置き換えることにより, 急激に姿勢が変化した場合に生じる姿勢センサの誤差を補正する.

2.4 仮想物体と実物体の隠蔽問題の解決

拡張現実感における重要な課題の 1 つに, 仮想物体と実物体との奥行き前後関係を正しく表現する問題がある. 特に本稿で述べる注釈提示システムでは, このオクルージョン問題を解決しなければ, 図 4 のように手前の建物に対する注釈と奥の建物に対する注釈が共に手前の建物

の前へ表示されてしまい, ユーザが混乱する可能性がある. この問題を解決するために, Z-buffer 法および 3 次元地図を使用する. 図 5 のように, 建物などの現実物体の形状をあらかじめ測定しておき, 仮想物体を描画する前に現実物体までの距離をデプスバッファへ書き込む. これにより, 現実物体により隠蔽されている仮想物体は描画されないため現実物体による仮想物体の隠蔽が可能となる.

3. 実験

3.1 検証実験

3.1.1 ユーザの移動時における仮想物体の表示実験

提案システムにおいてユーザの移動時にセンサの誤差が AR 技術に及ぼす影響を視覚的に示すため, 提案システムを用いて GPS から得られた位置情報および姿勢センサから得られた姿勢情報をもとに現実環境の建物に対し, ワイヤフレームを重ね合わせる実験を行った. なお, 本実験においては姿勢は固定し位置のみが影響する条件下で実験を行った. 図 6 は, 本学の敷地内において, 2 つの建物に対してワイヤフレームを重畳表示したものである. 建物までの距離は, (a) は約 20m, (b) は約 120m である. 結果より, (a) の場合で画像上での誤差は数十画素, (b) の場合は建物とワイヤフレームはほぼ一致しているということが確認できる.

次に, 実際に建物へ注釈を重畳表示させる実験を行った. 図 7 は, 本学情報科学研究科の正面玄関の \times 印に対して矢印付きの注釈情報を重畳表示した画像である. \times 印までの距離は, (a) は約 25m, (b) は約 80m である. 対象までの距離が短い (a) では \times 印と矢印に数十画素の誤差が見られるが, (b) では誤差は数画素であり, \times 印と矢印はほぼ一致している.

これらの実験から, GPS 衛星が 7 ~ 9 個捕捉できており, また注釈付けの対象物体までの距離が約 25m 以上あれば, ほぼ正確に位置合わせが行われており, 屋外

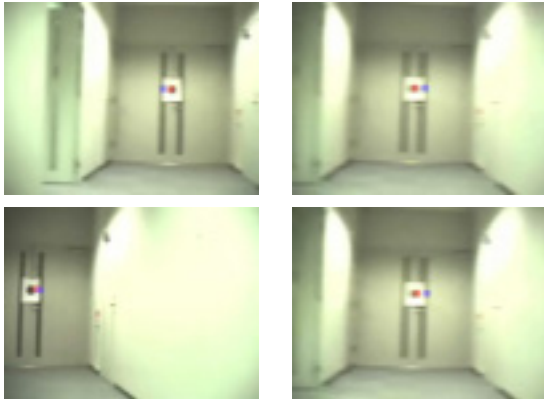


図 9: 仮想物体の表示位置補正の実験結果

Fig. 9 Effect of adjusting measured user's orientation .

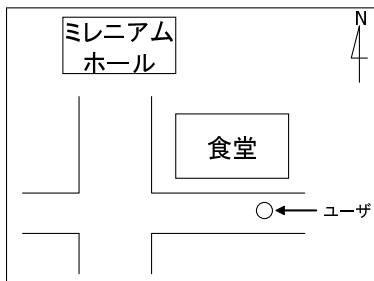


図 10: ユーザ位置と 2 つの建物の位置関係

Fig. 10 Relationship between a user and two buildings.

における注釈提示システムへの利用は可能であると考えられる。

3.1.2 CG 表示の位置ずれ補正の検証

2.3節で述べた姿勢センサの誤差の補正手法の有効性を検証する実験を行った。まず、図 8 に示すような約 7m 離れた位置にあるマーカに対して、正方形の点を重畳表示した。その後、姿勢のみを変化させた際の点とマーカのずれを調べた。実験結果を図 9 に示す。青色の点が位置ずれ補正を行わずにジャイロの姿勢情報のみで点を重畳表示したものであり、赤色の点が提案手法を用いて位置ずれの補正を行ったものである。

これらの結果より、提案手法による仮想物体の表示位置のずれが軽減されていることが確認できる。なお、画像の平均更新レートは誤差補正を行わない時は 30 フレーム毎秒、誤差補正を行った時は 27 フレーム毎秒であった。提案手法では、姿勢が急激に変化するほど Moravec のインタレスト・オペレータの適用回数が多くなるために更新レートが遅くなるが、通常の使用においては問題ないと考えられる。



図 11: オクルージョン問題を考慮しない場合の合成画像

Fig. 11 Annotation overlay image with occlusion conflict.



(a) ミレニアムホールが遮蔽されている場合 (b) 一部見えている場合



(c) ミレニアムホールが見えている場合

図 12: オクルージョン問題の解決した合成画像

Fig. 12 Annotation overlay images with correct occlusion.

3.1.3 仮想物体と実物体の隠蔽問題の検証

2.4節で述べたオクルージョン問題の解決法に対し、実際の注釈情報を用いることで本手法の妥当性を検証する実験を行った。実験の際、ユーザと建物の位置関係は図 10 のようになっており、ユーザからはミレニアムホールは完全に遮蔽されている。図 11 は、本学の建物である食堂およびミレニアムホールに対し、オクルージョン問題を考慮せずに注釈情報を重畳表示したものであり、食堂により隠蔽されているミレニアムホールに対する注釈が表示されていることがわかる。

次に、2.4節のオクルージョン問題の解決法を用いて図 11 の位置から徐々にミレニアムホールが見える位置に移動した様子を図 12 に示す。この結果より、ミレニアムホールが見える位置に移動するにしたがって、それに対する注釈情報が徐々に表示されているということがわか

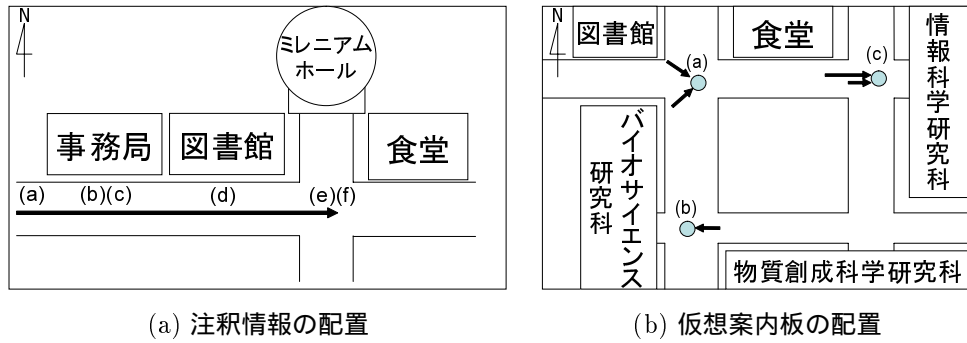


図 13: 建物の配置

Fig. 13 Relationship among buildings.



図 14: 屋外実験における注釈提示画像の例

Fig. 14 Annotation overlay images in an outdoor experiment.

る．この実験結果より，本手法によりオクルージョン問題が解決されていることが確認できる．

3.2 屋外実験

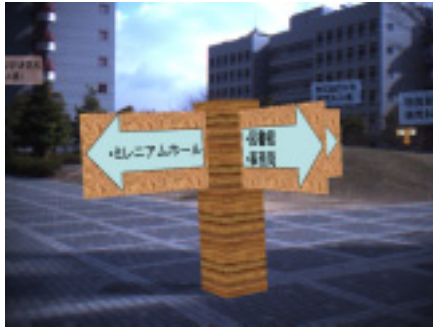
最後に，提案システムを用いて実際に本学の屋外において建物に対する注釈表示および，静止時における仮想物体表示の実験を行った．図 13(a) は注釈情報の表示される建物の配置を示しており，(b) の丸印は静止時に表示される仮想案内板の位置を示している．図 13(a) の矢印に沿って事務局の前からミレニアムホールの前まで移動した際のユーザ提示画像を図 14 に示す．同図 (a), (b) より，ユーザが移動するにつれ，注釈情報が正しい位置に移動していることがわかる．また，(b), (c) および (e), (f) より，ユーザの姿勢が変化するようにして注釈情報も適切な場所へ移動していることがわかる．さらに (d),

(e) よりミレニアムホールに対するオクルージョン問題が解決されていることがわかる．

次に，仮想案内板の表示実験の結果を図 15 に示す．案内板は，図 13(b) における 3 箇所の丸印に配置した．地点 (a) においては異なる 2 方向から同一の案内板を観察し，地点 (b) においては同一地点から時間を 5 分おいて観察した．また，地点 (c) においては同一の方向から距離を変えて観察した．GPS 衛星の捕捉数は，地点 (a) においては 5 個，地点 (b), (c) においては 3 ~ 4 個であった．これらの結果から，案内板の表示位置は観察地点や時刻が変化しても，正しい位置に合成されていることが確認できる．

4. まとめ

本論文では，携帯が容易なハンドヘルド式の GPS を用いた屋外で利用可能なウェアラブル型注釈提示システム



(a) 食堂・図書館前 (観察方向が変化した場合)



(b) バイオサイエンス研究科前 (観察時刻が変化した場合)



(c) 情報科学研究科前 (観察位置が変化した場合)

図 15: 静止時における仮想案内板の合成提示

Fig. 15 Results of overlaying CG objects.

を提案した。実験により、ハンドヘルド式の GPS を使用しても、GPS 衛星が 7 ~ 9 個捕捉できていれば建物への注釈表示という目的には利用可能であることを確認した。また、ユーザの静止時における画像処理による姿勢センサの誤差補正および Z-buffer 法と 3 次元地図を用いたオクルージョン問題の解決を試み、いずれも本研究の目的に対し有効であることを確認した。実際にウェアラブル型注釈提示システムのプロトタイプを構築し、その有用性を確認した。今後の課題として、ユビキタスネットワークの存在を前提に、無線 LAN などを利用した注釈情報の実時間での自動取得が挙げられる。

謝辞

本研究の一部は、科学技術振興機構 (JST) の戦略的創造研究推進事業 (CREST) 「高度メディア社会の生活情報技術」プログラムの支援によるものである。

参考文献

- [1] H. Tamura, H. Yamamoto, and A. Katayama: "Role of Vision and Graphics in Building a Mixed Reality Space," Proc. Int. Workshop on Pattern Recognition and Image Understanding for Visual Information Media, pp. 1 - 8, 2002.
- [2] 大島 登志一, 佐藤 清秀, 山本 裕之, 田村 秀行: "協調型複合現実感システムの実現-MR エアホッケー-", 日本バーチャルリアリティ学会第 2 回大会論文集, pp. 165-168, 1997.

- [3] 藤井 博文, 神原 誠之, 岩佐 英彦, 竹村 治雄, 横矢 直和: “ジャイロセンサを用いたビジョンベースド AR のためのマーカ追跡手法”, 信学技報, MVE99-59, 1999.
- [4] S. Feiner, B. MacIntyre, T. Höllerer, and A. Webster: “A Touring Machine: Prototyping 3D Mobile Augmented Reality Systems for Exploring the Urban Environment,” Proc. of ISWC, pp. 74-81, October 1997.
- [5] 小田島 太郎, 神原 誠之, 横矢 直和: “拡張現実感を用いた屋外型ウェアラブル注釈情報提示システム”, 信学技報, PRMU2002-181, 2003.
- [6] 興梠 正克, 蔵田 武志, 坂上 勝彦: “ウェアラブルシステムのためのビューベースな位置方位取得手法”, 信学技報 PRMU2001-226, 2002.
- [7] 穴吹 まほろ, 佐藤 清秀, 山本 裕之, 田村 秀行: “屋外装着型複合現実感システムの開発と応用”, 日本バーチャルリアリティ学会第 6 回大会論文集, pp.277-280, 2001.
- [8] 原 健太朗, 穴吹 まほろ, 佐藤 清秀, 山本 裕之, 田村 秀行: “屋外装着型複合現実感システムの検討と試作”, 日本バーチャルリアリティ学会第 5 回大会論文集, pp. 407-410, 2000.
- [9] R. Azuma: “A Survey of Augmented Reality,” Presence, Vol. 6, No. 4, pp. 355-385, 1997.
- [10] 天目 隆平, 神原 誠之, 横矢 直和: “拡張現実感技術を用いたウェアラブル型注釈提示システム”, 信学総大, No. A-16-46, 2002.
- [11] T. Höllerer, S. Feiner, and J. Pavlik: “Embedding Multimedia Presentations in the Real World,” Proc. of ISWC, pp. 79-86, 1999.
- [12] 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, 2002.
- [13] 土屋 淳, 辻 宏道: “GPS 測定の基礎”, 日本測量協会, 1995.
- [14] H. P. Moravec: “Visual Mapping by a Robot Rover,” Proc. 6th IJCAI, pp. 598-600, 1979.
- [15] 村瀬 洋, V. V. Vinod: “局所色情報を用いた高速物体探索-アクティブ探索法-”, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J81-D-II, No.9, pp. 2035-2042, 1998.