

対象認識に基づく着用者視点映像への3次元情報提示

大隈隆史 蔵田武志 坂上勝彦

電子技術総合研究所

〒305-8568 茨城県つくば市梅園 1-1-4

TEL 0298-61-5921

E-mail : {okuma, kurata, sakaue}@etl.go.jp

本研究では使用者の状況に応じた情報提示が可能な着用型情報機器の実現を目指し、着用者視点画像からユーザの観察対象を認識し、実環境に関連付けられた情報を提示するシステムを開発している。本稿では注釈情報として3次元仮想物体を提示する場合に必要な、視点映像シーン認識、視点3次元情報獲得、および視点映像への3次元仮想物体合成提示処理について論じ、現在開発中のシーン認識と視点位置推定に基づく3次元注釈情報提示を実現する試作システムについて述べる。また、色ヒストグラムマッチングを用いた簡易な画像マッチング手法として多重化ヒストグラムマッチングを提案する。本研究では簡易なシーン認識と既知の特徴点の探索に多重化ヒストグラムを用いる。また提案手法を実環境画像に対して適用し、実時間での動作を確認した。

複合現実感、ウェアラブルビジョンシステム、画像認識、実時間システム

3-D annotation to images captured from a wearer's camera
based on object recognition.

Takashi OKUMA, Takeshi KURATA and Katsuhiko SAKAUE

Electrotechnical Laboratory

1-1-4 Umezono, Tsukuba, Ibaraki 305-8568, JAPAN

TEL : +81-298-61-5921

E-mail : {okuma, kurata, sakaue}@etl.go.jp

In this paper, it is described a method for annotating the real scene image sequences with 3-D virtual objects based on scene recognition. In order to annotate the real scene with 3-D virtual objects, we have to know not only where a user is seeing from, but also what the user is seeing. Therefore, we are trying to combine simple image recognition method with a vision based video see-through mixed reality system. It is proposed the method for starting estimation of camera position and orientation using image recognition result. Our prototype system is a 3-D poster that is a real paper poster annotated with 3-D virtual objects using the proposed method. The system consists of a PC (SGI VWS540) that the algorithms are implemented on, an ultra small CCD camera and a ultra small display.

mixed reality, wearable vision system, image recognition, real-time system

1. まえがき

計算機の小型化に伴い、いつでもどこでも利用できる着用可能な計算機（ウェアラブルコンピュータ）の実現の可能性が高まり、注目を集めている[1]～[5]。ウェアラブルコンピュータの重要な機能のひとつとして着用者の能力拡張、補助機能が挙げられるが、このような機能は状況把握に基づく情報収集・提示といった機能を用いて実現される。著者らは使用者の状況に応じた情報提示が可能なウェアラブルコンピュータの実現を目指し、着用者視点映像からユーザの観察対象を認識し、実環境に関連付けられた情報を提示するシステムを開発している。特に本稿では、着用者視点映像の認識に基づいて3次元仮想物体による注釈情報（3次元注釈情報）を提示する機能の実現を目指す。

以下まず2節では、現在までに開発してきたウェアラブルビジョンシステムの概要を紹介し、ウェアラブルビジョンシステム上で3次元情報提示機能を実現する上で解決すべき技術課題を整理する。3節では、本論文で提案する着用者視点映像の認識に基づく視点位置推定手法のアルゴリズムについて述べる。4節では提案手法の動作を検証するために実装した試作システムを用いた動作実験とその結果について述べる。

2. ウェアラブルビジョンシステム

2.1. システムの概要

著者らは常時カメラを着用している状況特有の利点、問題点、ならびに応用について検討するために、実際に稼動するウェアラブルシステムを構築している[2]～[5]。本システムは着用者が身につけるウェアラブル機器と画像処理などを受け持つリモートPCクラスタ、およびそれらを繋ぐ無線LANからなる。図1に本システムのウェアラブル機器の一例を身につけた着用者の様子を示す。着用者が身につけるヘッドセットは超小型カラーCCD（東芝IK-SM43H、レンズ焦点距離4mm）、単眼超小型ディスプレイ（MicroOptical社C1 Clip-On Display）からなり、着用者の目や顔を隠さないスタイルになっている。また、このようなスタイルを取ることで、着用者の視線方向とカメラの視線方向をある程度一致さ



図1：ウェアラブル機器着用者の外観

せて着用者の視野方向を撮影した映像（着用者視点映像）を取得しながら、着用者の視野内に出力画像を提示することが可能になる。他にも現在、ヘッドセット側にカメラだけを装着し腕時計型表示装置で情報提示を行うタイプやめがね装着型の表示装置など、用途に合わせて使い分けるために様々なタイプの試作に取り組んでいる。

2.2. 3次元注釈提示機能

現在のウェアラブルビジョンシステムに3次元注釈情報提示機能を付加することで、注釈情報の提示機能[3][4]の表現力を向上させることができる。また、3次元形状情報入力機能[5]により取得された3次元形状データの自然な視点移動による観察などが可能になる。このように現実環境から取得された情報を用いて作成された仮想環境を提示する技術やその仮想環境をさらに現実環境と融合して提示する技術は複合現実感技術と呼ばれ[6][7]、現在注目を集めている。複合現実感技術は幾何的整合、時間的整合、光学的整合を実現するためのさまざまな要素技術により成り立っている。本稿では実環境に対する3次元注釈情報の提示に必要な幾何的整合に着目して議論を進める。

幾何的整合とは現実環境に設定される基準座標系と仮想環境の基準座標系を正確に一致させることである。これは現実環境に設定される基準座標系におけるユーザの視点の位置姿勢情報を実時間で獲得し、この視点情報に基づいて描画されたCG画像を現実環境に合成して提示することで実現される。このため、実環境の基準座標系におけるユーザの視点位

置姿勢情報の獲得は複合現実環境を実現するために必要不可欠な問題である。

現実環境の特定の3次元位置に対して注釈情報を付加する場合、まずユニークな基準座標系を設定し、この基準座標系における位置情報と注釈情報を関連付けておく。これによってユーザがこの位置を観察したときに基準座標系からのユーザの視点位置を推定し、幾何的整合を取って注釈情報を提示することができる。しかし、「位置」に対してではなく「物体」に対する3次元注釈情報提示を実現するためには注釈付けされる現実物体(注釈対象)の位置に基づいて基準座標系を設定する必要がある。すなわち、注釈対象の位置と姿勢をもとに基準座標系を設定し、この基準座標系に対するユーザの視点情報を求めることによってのみ注釈対象と3次元注釈情報の幾何的整合をとることができる。

幾何的整合を取る際に必要なユーザの視点情報を獲得する手法は、電磁気式、超音波式などの3次元位置センサを用いる手法[10]と、現実環境をカメラによって撮影した画像から視点情報を推定する手法[8][9][11][12]に大別できる。前者の手法は磁界や超音波の発生源と受信機で構成され、発生源に対する受信機の位置姿勢を取得するものであり、現実物体に対する3次元注釈情報の提示を実現するためには、視点位置だけでなく注釈付けされるすべての現実物体に対して受信機もしくは発生源そのものを設置する必要がある。そこで本稿では特に画像からの視点情報推定手法に着目し、着用者視点映像の認識に基づく3次元注釈情報の提示手法を検討する。

従来、人工的なマーカを環境に配置して既知の特徴点として利用したり、2次元バーコードなどを環境に配置して基準座標系として利用したりすることで視点情報の取得を簡略化していた[19][20]。しかしながら、マーカや2次元バーコードを利用する限り、測定可能範囲を拡大するためにはマーカの設置範囲を拡大しなければならないし、注釈対象すべてに2次元バーコードを設置しなくてはならない。これらを用いずに現実環境に存在する自然の特徴を利用することができるようになれば、測定可能範囲や注釈対象物体を自由に設

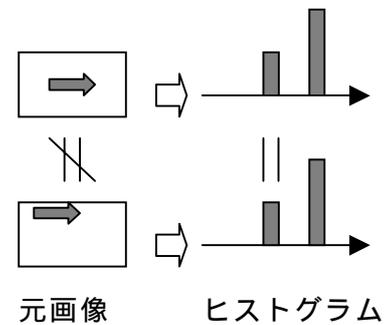


図2：位置がずれても一致する例

定できるようになる。以上のような機能拡張は「いつでも、どこでも」利用可能な情報提示を目指す上で必要不可欠な処理であると考えられる。しかし、画像を用いてシーンや特徴点を認識する処理はノイズや光源環境の変化などの影響を受けやすい。また、視点の移動にともなって、視点情報の推定に用いる特徴点が隠蔽されたり撮影範囲外へ出たりするため、カメラ位置姿勢の推定に必要な特徴点を安定して追跡するのは難しい。その結果、任意の範囲での実時間カメラ位置姿勢推定は一般に困難となる。

そこで本稿では1)注釈対象の画像認識処理、2)注釈対象に基準座標を設定するための自然特徴点探索処理、および3)ユーザの3次元視点位置姿勢推定処理について述べる。また、提案手法を用いて、実際に3次元注釈情報を提示する実験システムを試作したのでその実装について説明する。

次節以降では、まず提案手法において色情報を用いたマッチングとして多重化色ヒストグラムマッチングを定義する。次に、多重化色ヒストグラムマッチングを用いて実装した3次元注釈情報合成提示処理について詳細に説明する。

3. 多重化色ヒストグラムマッチング

マッチングに用いられる画像間の類似尺度には現在までにさまざまなものが提案されている。しかし、輝度値による類似尺度のみを用い、色の情報を利用しない手法も多い。本研究では色の情報も自然環境中で利用できる重要な特徴であると考え、色ヒストグラム[13][14]に着目した。色ヒストグラムインタセクションは、通常のテンプレートマッチングなどで利用する画素の位置関係を利用しないため、回転などに依存せず、比較的高速で安

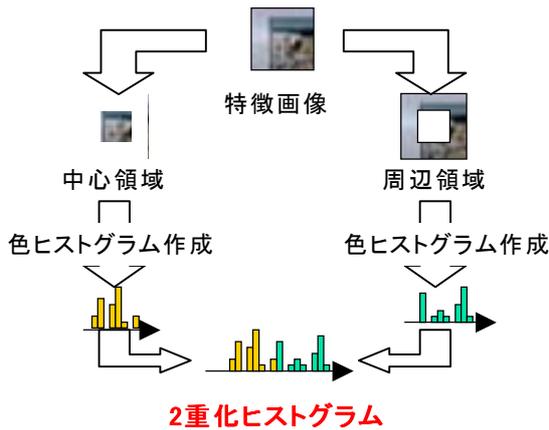


図3：中心・周辺領域2重化色ヒストグラム

定した類似尺度として利用可能である。しかしその反面，図2のように位置がずれていてもヒストグラム上は一致するためマッチング位置を正確に求められない場合がある。

そこで本研究ではマッチングを行う目的に応じてマッチングの対象となる画像領域を分割し，領域ごとのヒストグラムを作成して比較に用いる。本稿ではこの領域ごとに作成したヒストグラム群を多重化ヒストグラムと呼ぶ。以下多重化ヒストグラムの実現例についていくつか例をあげて説明する。

例1：中心・周辺領域2重化色ヒストグラム

この例では図3のように画像の領域を中心領域と周辺領域に分割し，各々の領域でヒストグラムを作成してマッチングに用いる[22]。このように構成することで中心部と周辺部という画素の大まかな位置関係を利用することができる。同時に，ある程度回転にも強いマッチング尺度となる。また，大まかではあるが画素の位置関係を利用することができることから図2のような場合にも通常のヒストグラムマッチングよりも高い精度でマッチングが可能となる。

例2：極座標変換画像に対する適用

例1で紹介した構成例では厳密に回転に依存しない特徴量であるとはいえない。そこで図4上のように，極座標変換した画像に対して半径方向に領域を分割して多重化ヒストグラムを作成すれば，回転に依存しない特徴量として利用できるようになる。また，図4下のように極座標変換画像の角度方向に対して等分割して作成した多重化ヒストグラムはヒ

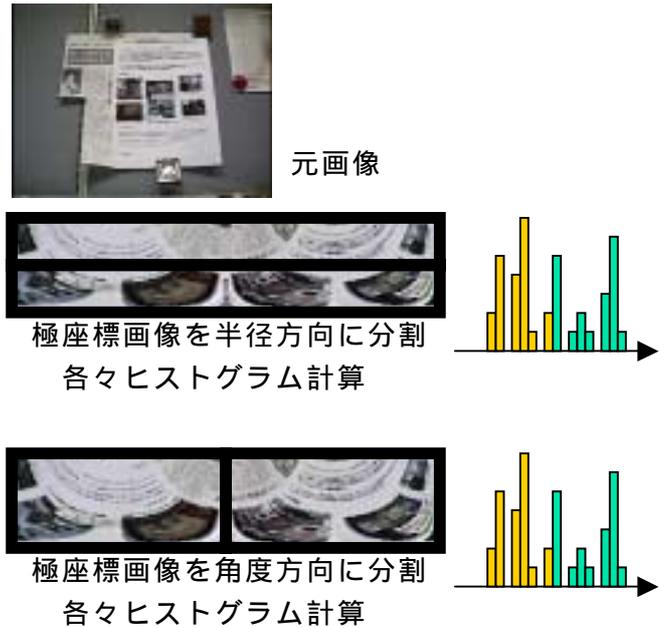


図4：極座標変換画像を用いた多重化ヒストグラム

ストグラムでありながら回転角に依存する特徴量として用いることができる。このため，回転角方向にシフトしながら多重化ヒストグラムのマッチングをすることで同じ領域を撮影した二つの画像の回転角を求めることができる。

以上のような多重化ヒストグラムは分割された領域数に比例してヒストグラムの比較コストが増加する。しかし，ヒストグラムの作成コストはほとんど変化しない。ヒストグラムを用いてマッチングを行うとき，一般にヒストグラム作成のコストのほうがヒストグラムの比較にかかるコストよりも大きい。このため，極端に大きな数を分割領域数として設定しない限り比較コストの増加は実用上大きな問題にはならない。

次節以降では定義した多重化ヒストグラムを用いて着用者視点画像を認識し，3次元注釈情報を提示するまでの処理手順について述べる。

4. 着用者視点映像認識に基づく3次元注釈情報提示手法

4.1. 処理の概要

着用者視点画像が入力されてから3次元注釈情報が提示されるまで，以下の処理を行う。

- (1) あらかじめ登録されている注釈対象物体画像を多重化色ヒストグラムマッチングで着用者視点映像から探索することで注

積対象物体を認識する処理。

- (2) 着用者視点画像中に注釈対象物体が存在すると認識した場合に、注釈対象と対で定義されている既知の登録特徴点を探索して画面座標値を求める処理。
- (3) 着用者視点画像の輝度勾配の変化に基づいて特徴点を追跡する処理。
- (4) 複数の PnP 問題処理手法を用いてカメラの位置姿勢候補を複数求め、適切な解を求める処理。
- (5) 推定したカメラの位置姿勢をもとに、追跡に失敗した特徴点の画面座標を推定する処理。
- (6) 推定したカメラの位置姿勢を元に 3 次元注釈情報をレンダリングし、着用者視点画像上に合成する処理。

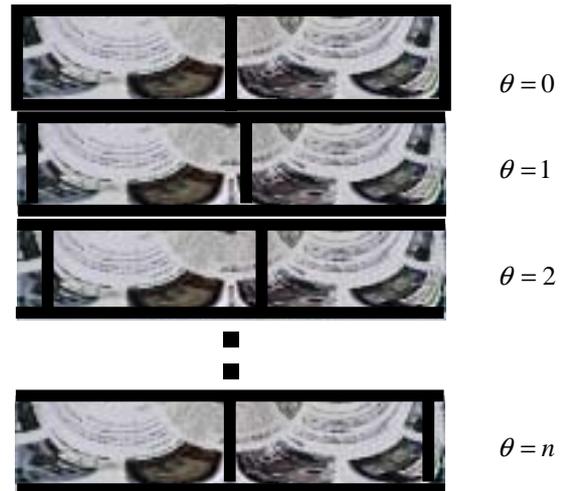
以降では、各処理の詳細を述べる。

4.2. シーン認識処理

実環境映像からあらかじめ登録された物体を認識する手法については、これまでも画像認識の分野でさまざまな手法が検討されている。本研究では簡易な画像認識手法として、3.1 節で定義した多重化色ヒストグラムを用いて着用者視点画像から注釈対象物体を探索する。まず注釈対象となる物体を撮影した画像を要素とするリスト（シーンリスト）を事前に設定し、比較に用いる多重化ヒストグラムなどもあらかじめ計算してあわせて登録しておく。着用者視点画像中に荒くグリッド点を設定し、図 4 上のように各点を中心とする極座標画像を半径方向に分割して多重化ヒストグラムを作成する。高い類似度を持つ注釈対象物体画像が見つかった場合にその領域を注釈対象物体領域として認識し、以降の処理の対象とする。

4.3. 登録特徴点の探索

カメラの位置姿勢を推定するために、入力画像から既知の特徴点を探索・追跡して画面上での 2 次元座標を求める必要がある。本手法では特徴点の情報を要素とするリスト（特徴点リスト）を事前に設定し、登録されている特徴点を既知の特徴点として着用者視点画像中から探索・追跡して画面座標を求める。特徴点リストには事前に計測した 3 次元座標情報と探索処理に用いられる画像特徴量が記



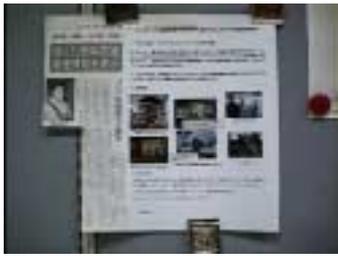
領域分割の基準位置を角度方向にずらしながらマッチングすることで相対角を計算

図 5：多重化ヒストグラムを用いた回転角の取得

録されている。前節の処理で注釈対象が視野内に入ったと認識されたとき、3次元座標が既知である登録特徴点を入力画像中から探索する。登録特徴点の探索にはテンプレートマッチングを用いるが、フレームレートでの処理を実現するために、極座標変換画像を用いた多重ヒストグラムマッチングによって探索範囲を削減する。その手順は次のようになる。

1. 図 4 下のようにして極座標変換画像を用い角度成分方向の多重化ヒストグラムを作成し、図 5 のように回転角方向にヒストグラム作成領域をずらしながらマッチングすることにより探索対象領域画像と注釈対象物体画像の回転角の差 $\Delta\theta$ を求める。
2. 探索対象領域を $\Delta\theta$ 回転した画像を作成し、特徴点の登録位置周辺を探索窓としてテンプレートマッチングで既知特徴点を探索。

ここで探索窓内に探索対象となる特徴点が見つからなかったと判定された場合（マッチングの結果、類似度の最大値が閾値以下の場合）には、現実物体に隠蔽された、もしくは撮像範囲内から外れたと判断する。見つからなかった特徴点の画面座標は、特徴点の 3 次元座標が既知であるので、以降で求めるカメラの位置姿勢情報を用いて推定できる。この情報は次フレーム以降の追跡に用いられる。



注釈対象画像



認識 & 合成結果



特徴点追跡による視点位置変更



一旦、視野外へ



再認識 & 合成

図 6 : 試作システムの動作例

4.4. 特徴点の追跡

一度発見された特徴点については、高速処理が可能な手法として、ピラミッド画像を用いた輝度勾配による特徴点の探索手法である Lucas-Kanade 法[21]をフレーム間に適用し、追跡する。

4.5. カメラの位置姿勢の計算

カメラの位置姿勢は注釈対象物体に設定されている基準座標系からカメラ座標系への変換行列(モデルビュー行列) M で表すことができる。すなわち、ある点の基準座標系での座標値を w , カメラ座標系での座標値を c と

するときに $c = Mw$ と変換する行列である。

本稿では前節で画面座標を獲得した特徴点の個数に応じて任意の 6 点、平面上の 4 点、任意の 3 点の画面座標値からカメラの位置姿勢を推定する手法[15][16][17]を用い、複数のモデルビュー行列の解候補を求める。次にすべての解候補を用いて追跡されている特徴点の 3 次元座標を画像上に投影する。得られる画面座標値と追跡されている特徴点の画面座標値の距離の和が最小となるモデルビュー行列解候補を選択して使用する。

4.6. 観測されない特徴点の位置の推定

前節までの処理により，モデルビュー行列が求まる．しかし，ノイズや光源環境の変化，オクルージョンなどさまざまな要因により，追跡に失敗する特徴点も存在する．このため，各フレームで抽出・追跡に失敗した特徴点についてもモデルビュー行列を用いてカメラ座標系への変換を行い，画面座標値を推定する．この座標値は画像枠外になることもあり得る．この処理により，実物体によって隠蔽された特徴点や，撮像範囲外に存在するため追跡できない特徴点の位置を推定しておき，再び見えるようになったときや，撮像範囲内に新しく入って来た場合に追跡を再開もしくは開始することができる．

5. 動作確認実験

前節で提案した実時間 3 次元注釈情報合成提示処理の動作を確認するために，ウェアラブルビジョンシステムのヘッドセットと動画の入出を持つ PC(SGI VWS540 PentiumIII Xeon 500MHz 4CPU)を用いて実装し，動作確認実験を行った．

提案手法を用いて 3 次元 CG を合成した画像提示の様子を図 6 に示す．この例ではウェアラブルビジョンシステムの 3 次元情報取得機能[5]により生成したコアラのぬいぐるみの CG モデルを，その研究紹介用ポスターに対する注釈情報として観察者に提示している．合成環境を提示する手法にはビデオシーンスルー方式による合成画像提示を採用した．試作システムの画像更新レートは，実行例に示す程度の仮想物体(約 4000 ポリゴン)を合成する場合で，背景の更新が 15 フレーム/秒，3 次元注釈情報の更新が約 10 フレーム/秒である．入力画像の解像度は 364×243 画素，多重化ヒストグラムのマッチング尺度にはヒストグラムインタセクションを用いた．ヒストグラムを求める際には RGB 画像を Bayer 閾値ディザリングアルゴリズム[23]を用いて各プレーン 4 段階に減色し 64 色のヒストグラムを作成した．シーンの回転角を求めるための極座標画像の角度分解能は 7 2 段階(1 段階あたり 5 度)とし，半径 81 画素分の領域を登録・探索の対象とした．このとき極座標画像の角度方向の分割数は 3 とした．また，

登録・追跡していた特徴点数は注釈対象画像あたり 6 点で，特徴点画像サイズは 15×15 画素，探索窓画像サイズは 45×45 画素であった．

6. 考察

本稿での提案手法は注釈対象物体画像と着用者視点画像のマッチング時に，平行移動と回転のみを考慮しているため，注釈対象画像の登録時と観察時のカメラの光軸方向が大きく異なると登録特徴点の探索に失敗し，正しく視点位置を推定できない．この問題に対してはひとつの注釈対象物体に対し複数の角度から撮影した画像を登録するなどの方法で対処する必要がある．

本試作システムでは現在，注釈対象画像中の特徴点の 3 次元座標を事前に手動で測定し，データとして入力する必要がある．この作業量は今後，3 次元情報取得機能[5]との連携により軽減されると考えられる．また，パノラマ画像に基づく情報提示手法から得られる大局的な位置情報[3][4]を用いることで，着用者視点画像と比較する登録シーン画像の候補を削減することが可能になる．

また，現在，画像のみから視点の位置姿勢を推定しているが，今後，ジャイロセンサや加速度センサ等，システムに組み込み可能なセンサと画像からの情報を併用することで更なる高速化，ロバスト化が期待される[18]．

1. むすび

本稿では，シーン認識と視点位置推定に基づく 3 次元注釈情報提示を実現する試作システムについて述べた．また，色ヒストグラムマッチングを用いた簡易な画像マッチング手法として多重化ヒストグラムマッチングを提案した．試作システムにおいては，注釈対象と着用者視点画像の多重化ヒストグラムマッチングによる簡易シーン認識と，多重化ヒストグラムマッチングによる画像回転角の推定を用いた既知の特徴点を探索が実装され，実環境画像に対する実時間動作を確認した．

参考文献

- [1] T. Starner, S. Mann, B. Rhodes, J. Levine, J. Healey, D. Kirsch, W. R. Picard, A. Pentland, "Augmented Reality Through Wearable Computing," Technical Report 397, MIT Media

- Lab. Perceptual Computing Section, 1997.
- [2] 蔵田, 興梶, 栗田, 村岡, 坂上, “気の効いたウェアラブルビジョンシステムの実現に向けて:顔検出・識別とハンドマウスの実装”, 信学技報 Vol.99, No.710, PRMU99-270, pp.65-72, 2000.
- [3] M. Kouroggi, T. Kurata, K. Sakaue, and Y. Muraoka,
“A Panorama-based Technique for Annotation Overlay and Its Real-time Implementation,” In Proc. ICME 2000, TA2-05, 2000.
- [4] K.Kouroggi, T.Kurata, K.Sakaue and Y. Muraoka,
“Improvement of Panorama-based Annotation Overlay Using Omnidirectional Vision and Inertial Sensors,” In Proc. ISWC2000, pp.183-184, 2000.
- [5] T. Kurata, J. Fujiki, M. Kouroggi, K. Sakaue, “A Fast and Robust Approach to Recovering Structure and Motion from Live Video Frames,” Proc. CVPR 2000, Vol.2, pp.528-535, 2000.
- [6] P. Milgram and F. Kishino, “A taxonomy of mixed reality visual display,” IEICE Trans. on Information and Systems, vol.E77-D, No.12, pp.1321-1329, 1994.
- [7] Y. Ohta and H. Tamura Eds. , Mixed Reality - Merging Real and Virtual Worlds, Ohmsha & Springer-Verlag, 1999.
- [8] T. Okuma, K. Kiyokawa, H. Takemura and N. Yokoya, “An augmented reality system using a real-time vision based registration,” Proc. ICPR 98, pp.1226-1229, 1998.
- [9] 大隈, 竹村, 横矢, “拡張現実感システムのための画像からの実時間カメラ位置姿勢推定”, 信学論 D-II, Vol.J82-DII, No.10, pp.1784-1792, 1999.
- [10] A. State, M. A. Livingston, W. F. Garrett, G. Hirot, M. C. Whitton, E. D. Pisano and H. Fuchs, “Technologies for augmented reality systems: Realizing ultrasound-guided needle biopsies,” Proc. SIGGRAPH 96, pp. 439-446, 1996.
- [11] U. Neumann and Y. Cho, “A self-tracking augmented reality system,” Proc. VRST 96, pp. 109-115, 1996.
- [12] K. N. Kutulakos and J. R. Vallino,
“Calibration-free augmented reality,” IEEE Trans. Visualization and Computer Graphics, Vol.4, No.1, pp.1-20, 1998.
- [13] M. J. Swain, and D. H. Ballard, “Color Indexing,” International Journal of Computer Vision, Vol.7, No.1, pp.11-32, 1991
- [14] 村瀬, and 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-“ 信学論 D-II Vol.J81-D-II No.9 pp.2035-2042, 1998.
- [15] 出口, “射影幾何学による PnP カメラ補正問題の統一的解法”, コンピュータビジョン'90 シンポジウム, pp.41-50, 1990.
- [16] 中沢, 中野, 小松, 斎藤, “画像中の特徴点に基づく実写画像とCG画像との動画像合成システム”, 映像情報メディア学会誌, Vol.51, No.7, pp.1086-1095, 1997.
- [17] R. M. Haralick, C.-N. Lee and K. Ottenberg,
“Analysis and solutions of the three point perspective pose estimation problem,” Proc. CVPR '91, pp.592-598, 1991.
- [18] 横小路, 菅原, 吉川, “画像と加速度計を用いたHMD上での映像の正確な重ね合わせ”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol4, No.4, pp.589-598, 1999.
- [19] 暦本, “2次元マトリックスコードを利用した拡張現実感の構成手法”, WISS'96.
- [20] H. Kato, M. Billinghurst, I. Poupyrev, K. Imamoto and K. Tachibana, “Virtual Object Manipulation on a Table-Top AR Environment,” Proc. ISAR2000, pp.111-119, 2000.
- [21] B.D.Lucas and Takeo Kanade, “An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision,” Proc. DARPA Image Understanding Workshop, pp. 121-130, 1981.
- [22] T.okuma, T.Kurata and K. Sakaue, “Real-Time Camera Parameter Estimation from Images for a Wearable Vision System,” Proc. MVA2000, pp.83-86, 2000.
- [23] B.E.Bayer, “An Optimum Method for Two-Level Rendition of Continuous-Tone Pictures, Proc. Of IEEE 1973 Int. Conf. On Communications, Vol.1, pp.26-11-26-15, 1973.