信学会 MVE研究会 (2006/11/30)

社団法人　電子情報通信学会
THE INSTITUTE OF ELECTRONICS,
INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERS

信学技報
TECHNICAL REPORT OF IEICE.

屋外における複合現実型情報提示の広域化

—特性の異なるカメラ群の利用—

山本　治由† 　津田　崇博† 　塚田　正人†† 　北原　格††† 　亀田　能成†††
大田　友一†††

† ††† 筑波大学大学院 システム情報工学研究科
†† 日本電気株式会社
E-mail: †{haruyosh,tsuda}@image.esys.tsukuba.ac.jp, ††m-tsukada@cj.jp.nec.com,
†††{kitahara,kameda,ohta}@iit.tsukuba.ac.jp

あらまし　本論文では，複数台設置された定点カメラの利用による，屋外で広範囲に行動する歩行者を対象にした，複合現実感技術による視覚支援システムについて述べる．屋外でユーザが持ち歩きやすい PDA のようなカメラ付き小型端末を利用し，複数のセンサの観測結果を統合することで，カメラの位置姿勢を高精度に獲得する．視覚支援のために用いるカメラは，種類の違いにより色合いが異なる問題があるが，カメラ間の色補正を行うことで，一貫性を確保する．また，多数の画像の利用では，処理の負荷と転送量が問題になるが，サーバ PC の利用により，処理負荷の分散，転送量の削減を実現した．

キーワード　複合現実感，RTK-GPS，慣性センサ，ICP，色補正

Expansion Area of Outdoor Mixed Reality

—Utilization of Surveillance Cameras of Different Properties—

Haruyoshi YAMAMOTO†, Takahiro TSUDA†, Masato TSUKADA††, Itaru KITAHARA†††,
Yoshinari KAMEDA†††, and Yuichi OHTA†††

† †††Department of Intelligent Interaction Technologies, University of Tsukuba.
†† NEC Corporation.
E-mail: †{haruyosh,tsuda}@image.esys.tsukuba.ac.jp, ††m-tsukada@cj.jp.nec.com,
†††{kitahara,kameda,ohta}@iit.tsukuba.ac.jp

Abstract　In this paper, we developed an outdoor mixed-reality system which provides visual information for pedestrians. This system utilize many surveillance cameras to enlarge available area. In this system, users use a highly-mobile device like PDA that a camera is attached to. Several kinds of sensors are integrated to estimate the position and the orientation of the mobile camera. Color consistency of the surveillance cameras are managed by our proposed method to utilize their camera images in our system. The amount of video data transmission of the multiple surveillance cameras is controled so as to maintain the speed of video update on the display of the mobile device.

Key words　mixed reality, RTK-GPS, inertia sensor, ICP, color calibration

1. はじめに

複合現実感（Mixed Reality）とは，我々の存在する現実世界とコンピュータで生成した仮想世界の感覚情報を融合・提示する技術である．近年，複合現実感を利用することで，利用者に周囲の状況の直観的な理解を促す視覚支援に関する研究が活発に行われており，歩行者ナビゲーションや観光案内といった用途への応用が期待されている．このような視覚支援システムを実現する手法として，HMD(Head Mounted Display) を利用する方式がある [1] [2] [3]．HMD で利用者へ提示される視覚情

報を操作することで，画像や CG を重畳した仮想空間を作り出すことができる．しかし，装着者の視界が狭くなってしまう問題や，頭部への負担という問題がある．それに対し，複合現実感を実現する手段として，PDA のような端末を利用するアプローチ [4] [5] [6] が考えられている．この場合，複合現実感は視野中の小さな領域において実現されるため，利用者の視覚を狭めることはない．また，手軽に持ち運び・利用が可能であるため，利用者への負担も少なく，屋外での利用が容易である．そこで本研究では，携帯しやすい小型端末上で，屋外の利用者に新しい視覚支援を実現する枠組を提供する．視覚支援のために，屋外環境のあちこちに設置された定点カメラの映像を採用する．

本研究で構築する複合現実感システムは，屋外で利用することを考慮して，背面にカメラを取り付けた小型の端末を採用し，また，ユーザの周囲に設置された複数の定点カメラを利用する．端末には位置姿勢を獲得するための RTK-GPS と慣性センサも取り付けられており，これらを利用することで， そのディスプレイ上に情報提示を行う．これらの機器による定位ではノイズによって誤差が生じるため，同時に建物の特徴点を利用した位置姿勢補正を行う．具体的なアプリケーションとして，図 1 に示すように，建物を透視する形態で隠された物体の情報を提示する．

このような屋外型の複合現実型情報提示システムを実現するには，様々な問題を解決していく必要がある．本稿では，2 章でまず概要について述べる．その後，解決すべき問題のうち，利用者の端末の位置姿勢推定法，視覚情報提示法，データ量制御，及び特性の異なるカメラ群における色の一貫性の保持について解決法を示す．最後に実験結果を示し，結論を述べる．

図 1　複合現実感を用いた情報提示

2.　屋外における複合現実型情報提示

屋外での複合現実型情報提示を実現する場合，以下の項目について検討する必要がある．

- **現実世界と仮想世界のずれ**

利用者の現実世界の動きに対して，仮想世界を位置・時間のずれなく追従させる必要がある．ずれが存在すると，利用時の違和感や，情報認知の遅れにつながる．

- **装置による視界・行動の制限**

装置による利用者の行動の制限や，提示情報による利用者の視界の妨げがないようにする必要がある．視界を妨げると，現実世界での危険回避が難しくなってしまう．また，利用者が広範囲の屋外を移動できるようにするべきである．

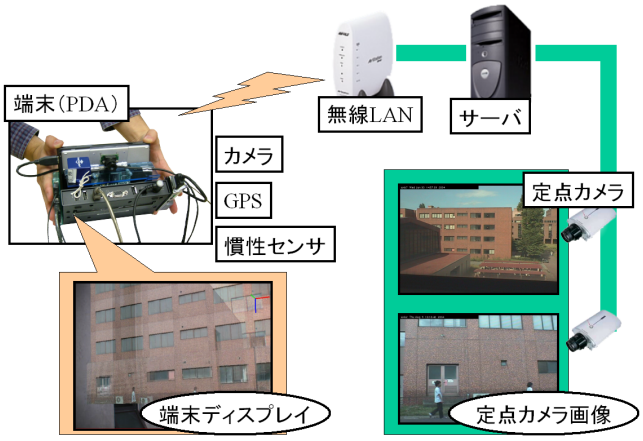

図 2　システム概要

- **複数の特性の異なるカメラの利用**

広範囲で視覚支援を実現するためには，多数の定点カメラを利用して現実世界の視覚情報を獲得する必要がある．特に，複数のカメラを同じように扱うためには，得られる画像の色合いの差異を小さくする必要がある．

本研究では PDA のような小型の端末を利用する．これにより，利用時や携帯時の負担を小さくする．端末利用時においても，画面から目を離すことで，すばやく現実世界の状況を確認できるため，危険を回避しやすいと考えられる．また本研究では，利用者に提示する視覚情報の例として，不可視領域を透視表示した画像を端末のディスプレイ上に提示するアプリケーションを実装する．この提示手法では，端末を向けた方向に対する情報のみを提示するため，現実世界と仮想世界の対応がわかりやすい．

我々が試作したシステムを，図 2 に示す．ユーザが利用する端末には以下の機器を取り付ける．

RTK-GPS：端末の位置を測量

慣性センサ：端末の向いている方向を計測

カメラ：端末が向いている方向の画像を取得

また，屋外環境中には定点カメラを設置し，利用者への視覚支援に役立てる．その中に特性の異なるカメラが存在しても，定点カメラと端末の間にサーバ PC を介することで，システム上は統一して扱えるようにする．例えば，色合いの差異についてカメラ間の色補正を行なう．サーバ PC は他にも，画像処理結果の端末へ送信や，送信画像の圧縮を行なう．

3.　広範囲における利用者の位置・姿勢情報の獲得

屋外のシステムでは，利用者が広範囲を移動することを考慮する必要がある．本研究では，広範囲を移動可能で精度の高い，RTK-GPS を利用する．GPS による単独測位では，得られる測位の結果が 10m 以上ずれることもあり，測位結果をそのまま端末位置として利用することは難しい．これに対し RTK-GPS では，位置が既知である基準局の受信機 (基準局受信機) から，利用者の受信機 (移動局受信機) へ補正データを伝送し，高精度の測位を行う [11]．誤差は数 cm であるため，情報提示にそ

のまま利用可能である．本研究で利用する RTK-GPS アンテナと，補正データ送信用アンテナを建物の屋上に取り付けた様子を図 3 に示す．周囲に遮蔽物が少ないため，広範囲での補正データ受信が可能であると考えられる．移動局用アンテナを取り付けた端末と，その利用の様子は図 4 のようになっている．移動局は，基準局の無線による補正データが届く数 Km の範囲で RTK-GPS を利用することができる．補正データを取得できない場合は，GPS 衛星のみによる測位となる．

図 3　GPS アンテナ (左) と補正データ送信用無線機 (右)

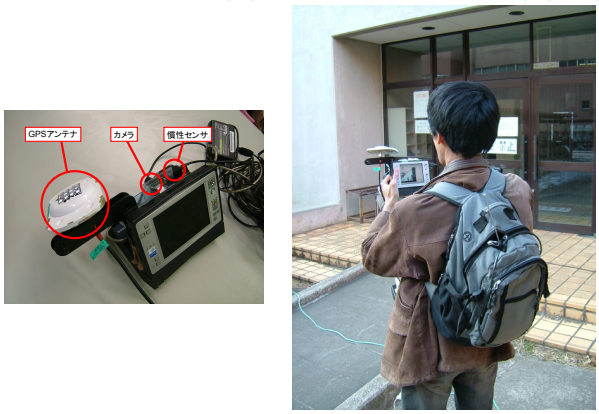

図 4　端末と試作システムの様子

端末の姿勢は，慣性センサを利用して求める．我々の使用する慣性センサには地磁気方位センサも内蔵されているため，観測値は，重力方向を z 軸，東方向を y 軸，北方向を x 軸とする，ロール ϕ，ピッチ θ，ヨー ψ という形式で得られる．これらから変換行列を算出し，端末の姿勢を得る．

しかし，慣性センサで計測された姿勢は，建物や近くの電子デバイスから来るノイズ等の影響で誤差を含むことが多い．そこで，端末カメラで撮影された画像を利用して補正を行う．屋外での利用を考慮すると，マーカ等の設置は困難であるため，建物の形状・模様に特徴のある領域（建物の角や窓枠など）をランドマークとし，マーカの代わりとする．また，日照による模様の変化に柔軟に対応するために，屋外に設置された定点カメラ画像上で，ランドマークを複数個所設定する [4]．

端末では，機器から得られる位置姿勢を利用して，端末カメラで撮影されている可能性が高いランドマークを選出し，それらの検出を試みる．端末カメラ画像上で，ランドマークを 3 点以上検出した場合に，ICP（Iterative Closest Point）アルゴリズム [8] [10] によって現在の位置姿勢の補正を行う．本システムでは，ランドマークの投影位置と検出位置の距離を評価値とし，繰り返し演算によってこの評価値を最小化する位置姿勢の各パラメータ補正値を求める．求めた補正値から回転と並進からなる変換行列を求め，世界座標系から現在の位置姿勢への変換を表す行列に乗算することで，CG モデル重畳時の描画の位置ずれを補正する．

4.　視覚支援情報提示

本研究では情報提示として，図 1 に示したような，不可視領域の透視提示を実現する．この手法では，端末上のディスプレイを通して，視界を遮る建物を透視し，その向こう側を見ることができる．武政らは，透視提示において，あらかじめ作成しておいた周囲の建物の 3D モデルデータの壁面に定点カメラの画像を貼り付けたものを，半透明にして端末カメラ画像上に重畳することで，死角領域の情報をリアルタイムで確認することを可能にした [4]．しかし，壁面への提示では，周囲に適当な建物がなければならない．また，定点カメラの向きが貼り付ける壁面に対して正対していない場合や，動物体が壁面から離れた場所を移動する場合，提示情報の表示位置がずれてしまう．そこで本研究では，定点カメラで撮影した画像から車両や人物などの動領域を切り出して板状に提示するビルボード提示を行う [7]．これにより， 定点カメラが撮影している範囲ならば，ユーザ周囲のどの不可視領域に動物体があろうと，その状況をリアルタイムで確認することができる．

周囲の建物を CG で重畳するために，端末にはあらかじめ作成しておいた建物の 3D モデルデータをもたせる．そして，前述の RTK-GPS と慣性センサによる位置姿勢をもとに，端末カメラ画像上に重畳する．ビルボード提示に利用する動領域は，背景差分によって抽出し，矩形を切り出す．その矩形を，地面に対して垂直に立てた板として表示し，利用者への情報提示とする．定点カメラの撮影方向と利用者端末の方向が大きく異なる場合，動領域を切り出してそのままビルボードを作成すると，提示情報が，利用者の視点とは異なった見え方になってしまう．そのためビルボード提示においては，板を利用者視線に対して垂直に立てるのではなく，定点カメラ方向に少し傾けて提示する．これにより，違和感を軽減させることができると考えられる．

5.　転送データ量の制御

多数の定点カメラを同時に利用する場合は，画像データの転送に時間がかかる点を考える必要がある．また，画像処理をするには高い処理能力が必要となる．一方で，本研究で利用する端末はその携帯性から，サーバ PC と端末は無線 LAN によるデータ転送を行っているため，データ転送速度は高くなく，処理能力も十分ではない．そこで画像処理をサーバ PC で行うと共に，転送する画像データを削減することで上記問題の解決をする．

サーバ PC で定点カメラ画像中の動領域検出を行い，画像とともに，動領域を囲む矩形領域を端末へ送信する．また，転送データ量を削減する手法として，転送する画像サイズの変更を行う．画像サイズの縮小は，端末カメラと透視提示される被写体の位置に応じて行う．その様子を図 5 に示す．定点カメラとサーバ PC 間は有線ネットワーク，サーバ PC と端末は無線で通信を行っている．無線による画像データ転送がボトルネック

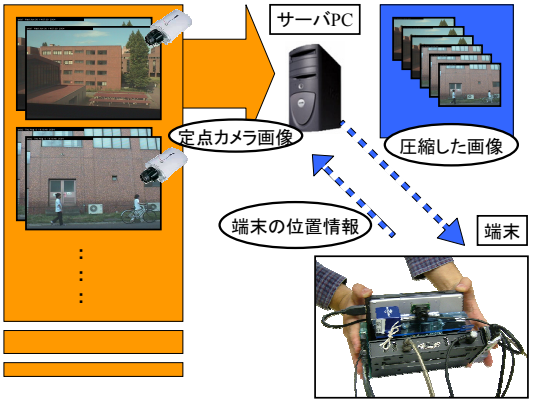

図 5　転送データ量削減の概要図

となりうるが，サーバ PC で画像サイズを適切に縮小することで，このボトルネックを回避する．

端末で提示する画像情報のサイズが，サーバ PC から送られる定点カメラの画像サイズよりも小さい場合は，サイズ縮小による影響が小さいと考えられる．

6.　カメラ間の色補正

本システムは，利用者の周囲の状況を取得するために多数の定点カメラを利用している．しかし，各カメラの画像は，そのカメラの特性等によって色合いが異なるため，一律に画像処理を行うと意図した結果が得られないことがある．姿勢補正時のランドマーク検出では，異なるカメラで撮影された画像からテンプレートを生成してマッチングするため，特に影響を受けやすい．これを解決するために，カメラ間の色補正を行う [9]．

補正処理の手法を図 6 に示す．補正には，分光放射輝度計 (Minolta 製 CS-1000) と，カラーチャートを利用する．分光放射輝度から理想三刺激値を求め，カメラ画像から実測三刺激値を求める．そしてこれらの差が最小になるような変換行列を求める．

この補正では，カメラの出力が入力に対して線形に変化することを想定している．実際には，カメラはホワイトバランスやガンマ処理によって出力する画像を調整している．そこで，輝度に対するカメラの出力を調べ，それらが線形に対応するように補正した上で，色補正する．

屋外の画像に対して色補正を行なったカラーチャートの結果を図 7 に示す．また，実際の屋外の画像に対して色補正を行なった結果は図 8 のようになっている．

7.　実　　験

実験環境は図 9 のようになっている．実験では，定点カメラ (AXIS 2120)5 台を利用している．定点カメラは図 10 のように設置している．

7.1　動領域の切り出し

本システムで透視提示を行なう際，死角領域の動物体の提示にはビルボード提示を用いる．

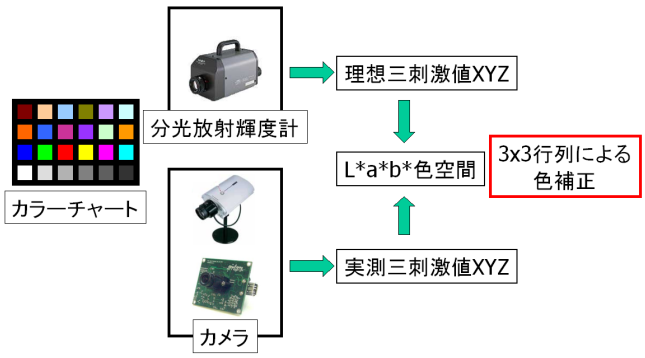

図 6　色補正手法

図 7　太陽光下のカラーチャート (a) 定点カメラの補正前，(b) 補正後，(c) 理想値

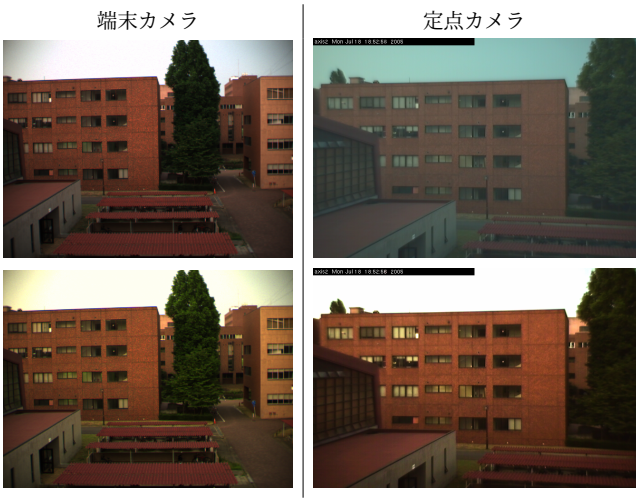

図 8　屋外を撮影した映像 (上：補正前，下：補正後)

ビルボード提示に用いる動領域を切り出すために，動領域の検出を行った．背景差分処理し，動領域を色分け表示したものを図 11 に示す．人やスクーターなどの動領域と同時に，木の領域が誤って検出されている．今回のような誤検出に対しては，定点カメラ画像内の地面領域をあらかじめ設定しておき，地面領域に接していない動領域を提示しないなどの対策が考えられる．

7.2　転送データ量の制御

転送データ削減により，カメラ画像の更新頻度がどのように変化したのかを調べた．複数の定点カメラから同時に画像を取得し，端末カメラへ転送を行った．本システムでは，定点カメラが端末の位置から遠くなるにしたがって，サーバ PC と端末間で転送する画像サイズが動的に縮小される．実際には各カメラごとに転送されるサイズが異なるが，ここではサイズ変更による影響を調べるために，転送する画像サイズを一律に半分にした時の更新頻度を計測した．それらの結果を表 1 に示す．表より，定点カメラからサーバ PC へ，カメラ台数を増加させ

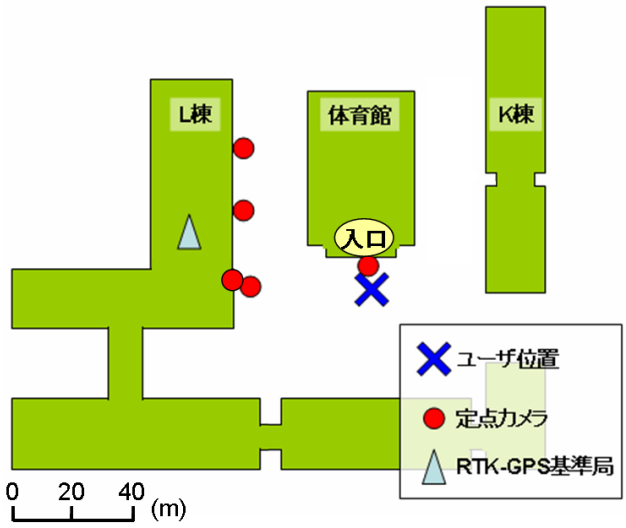

図 9　実 験 環 境

図 10　定点カメラと得られる画像

図 11　定点カメラ画像と背景差分処理結果

ても，13〜14FPS で 画像の取得ができていることがわかる．サーバ PC から端末への頻度は，カメラ 1 台分の時に 8.5FPS となっており，台数が増えるに従って更新頻度が下がっていく．画像サイズを半分にした場合においては，カメラ 3 台までは頻度の差が少なく，その後は台数が増えるにつれ頻度は低下するが，画像サイズの縮小により，その影響は抑えられている．

表 1　同時利用する定点カメラ台数と画像の取得頻度 (FPS)

	1 台	2 台	3 台	4 台	5 台
定点カメラからサーバ PC	14.4	14.9	14.4	13.5	13.4
サーバ PC から端末	8.5	4.4	2.9	2.6	2.0
サーバ PC から端末 (画像サイズ 1/2)	14.2	13.1	12.1	8.2	6.8

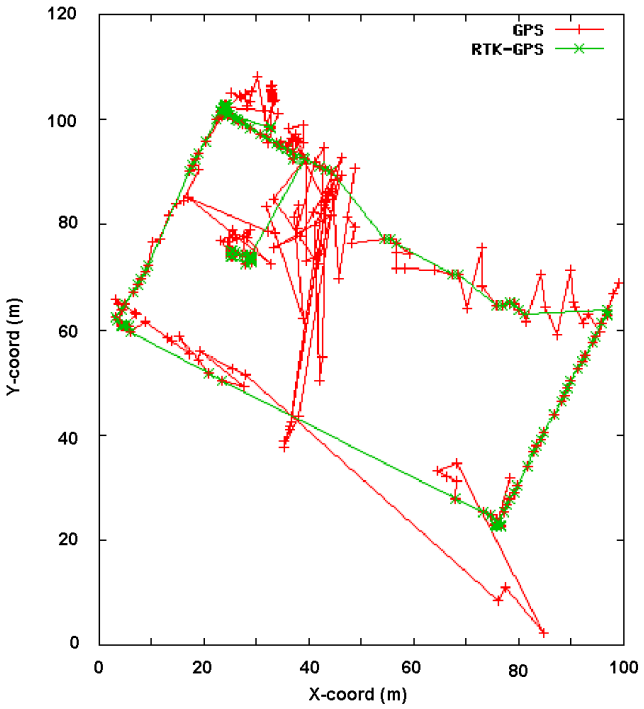

図 12　実験環境における RTK-GPS の測位結果 (平面直角座標系)

7.3　広範囲の移動

実験環境を歩いた際，RTK-GPS により得られた座標値は図 12 のようになった．これは，体育館 (図 9) を一周した後，入り口に向かうまでをプロットしたものである．秒速約 2m で体育館の周囲を矩形で囲むような軌跡を歩いた時の測位結果を一秒毎に記録し，平面直角座標系で示している．

図には GPS 衛星による測位結果と，RTK-GPS による補正データが得られた場合の結果をそれぞれ時系列に結んでいる．補正データが連続的にとれている場所では，ほぼ一直線上に座標が並んでいることがわかる．しかし，補正データを取得できた場合の座標においても，体育館と L 棟の間 (図の上の長辺) では，補正データが取得できているにもかかわらず，位置がずれている．この場所は，周囲を建物の壁で囲まれていることから，電波が壁に反射し，精度が悪くなっていると考えられる．このように，補正データを受信できていても，利用者と建物の位置関係によっては精度が得られないことがある．これに対しては，建物の壁面に近づきすぎないことや，他のセンサとの利用により，利用者位置を補正する必要がある．

本システムを用いて，ビルボード提示を行った結果を図 13 に示す．図 14 はその時の定点カメラ画像内の動領域である．ビルボード提示では，動領域は全て接地しているものとして提示を行っている．

利用者からは不可視になっている領域の情報を，建物のモデ

図 13　情報提示の様子

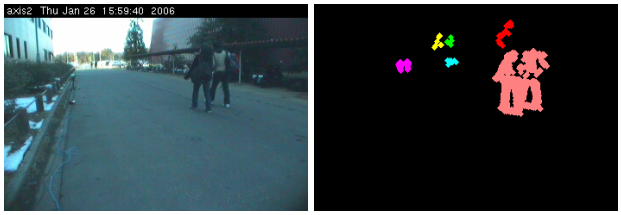

図 14　定点カメラ画像と背景差分処理結果

ルデータと定点カメラ画像により提示できていることがわかる．

8. おわりに

本研究では，複数の定点カメラを利用することによって，屋外で広範囲に利用できる複合現実型視覚情報提示システムについて述べた．

ユーザ端末として PDA のようなカメラ付きの小型端末を利用することにより，手軽に持ち運び・利用が可能であり，広範囲の屋外での利用が容易にできるシステムとなっている．また，現実世界と仮想世界の位置を合わせるために，種々の観測結果を併用することで，精度の高い位置姿勢の測定を可能にした．多数の定点カメラ映像の利用による処理負荷やデータ転送量の増大の問題に対し，サーバ PC を利用することで，負荷分散，転送データ量の制御を行なった．また，カメラ間の色合いの差異を補正することで，複数のカメラの画像を一律に扱えるようにした．

今後の課題として，より多数のカメラを設置した場合の対応や，利用者の移動しながらの利用，また，RTK-GPS の補正データが得られない場面での利用者位置獲得方法などが挙げられる．

文　献

[1] 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提示システム．画像電子学会誌，Vol.32, No.6, pp.832-840, Nov.2003.

[2] M.Kourogi, T.Kurata. A method of personal positioning based on sensor data fusion of wearable camera and self-contained sensors. IEEE Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (MFI2003), pp.287-292, 2003.

[3] J.R.tenmoku, M.kanbara, N.Yokoya. A Wearable Augmented Reality System Using Positioning Infrastructures and a Pedometer. Proceedings of IEEE International Symposium on Wearable Computers, pp.110-117 2003.

[4] Y.Kameda, T.Takemasa, Y.Ohta. Outdoor See-Through Vision Utilizing Surveillance Cameras. IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality(ISMAR2004), 2004.

[5] Wouter Pasman, Charles Woodward. Implementation of an Augmented Reality System on a PDA. IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality(ISMAR2003), pp. 276-277, 2003.

[6] Georg Klein, Tom Drummond. Sensor Fusion and Occlusion Refinement for Tablet-based AR. IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality(ISMAR2004), pp. 38-47, 2004.

[7] Takayoshi Koyama, Itaru Kitahara, Yuichi Ohta. Live Mixed-Reality 3D Video in Soccer Stadium. IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality(ISMAR2003), pp. 178-187, 2003.

[8] P.J.Besl, N.D.McKay. A Method for Registration of 3-D Shapes. IEEE Trans. On PAMI, vol.14, No.2, pp.239/256, 1992.

[9] 山本治由，塚田正人，北原格，亀田能成，大田友一．屋外型複合現実感システムにおけるカメラ間の色補正．電子情報通信学会 技術研究報告 MVE, Vol.105, No.256, ISSN 0913-5685, MVE2005-35, pp.49-54, 2005.

[10] 内山普二，山本裕之，田村秀行．複合現実感のためのハイブリッド位置合わせ手法 — 6 自由度センサと ICP アルゴリズムの併用—．Proc. MIRU2002,pp.107/112,2002.

[11] RTK-GPS を利用する公共測量作業マニュアル．国土交通省国土地理院, 2000.