

定点カメラ映像を用いた歩行者のための屋外型複合現実感システム

武政 泰輔[†] 亀田 能成[†] 大田 友一[†]

[†]筑波大学 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

E-mail: † {takemasa, kameda, ohta}@image.esys.tsukuba.ac.jp

あらまし ハンディ型 PDA を用いた屋外歩行者に対する複合現実感技術による視覚支援法を提案する. 本研究の特徴は, 屋外に多数設置した定点カメラの映像を活用し, 死角部分の状況を歩行者の視点から確認できることである. また, 定点カメラの映像を, ランドマークのテンプレート更新にも利用することで, 天候の変化に影響されやすい屋外におけるランドマーク検出を安定化させ, ロバストな PDA 位置姿勢推定法を実現する. 実際に定点カメラの映像を無線 LAN で獲得し, 生成したランドマークのテンプレートを用いて追跡及び PDA の位置姿勢を推定する実験を行い, 提案手法の有効性を確認した.

キーワード 屋外型複合現実感, PDA, 定点カメラ, ランドマーク検出, 姿勢推定

Outdoor Mixed Reality by Surveillance Cameras

Taisuke TAKEMASA[†] Yoshinari KAMEDA[†] and Yuichi OHTA[†]

[†] University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573, Japan

E-mail: † {takemasa, kameda, ohta}@image.esys.tsukuba.ac.jp

Abstract This paper describes a mixed reality system to support pedestrians. The main aim of this system is to eliminate blind spots by presenting users view images overlapped with 3D models. The textures of these 3D models are updated in real time using videos captured from many outdoor surveillance cameras. These videos are used also to renew templates of landmarks to ensure accurate landmark detection and to achieve a robust estimation of the pose and the position of the PDA. In this paper, we implement a system that delivers landmark images captured by outdoor surveillance camera through wireless LAN and creates the latest landmark templates. Furthermore, we conduct experiments to estimate PDA's pose and position by using these templates, and show the availability of our method.

Keyword Outdoor MR, PDA, Outdoor Surveillance Camera, Landmark Detection, Pose Estimation

1. はじめに

複合現実感 (Mixed Reality:MR) 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を融合した感覚を提示する技術の総称である. 近年, この複合現実感を屋内環境中で実現することで, 歩行者ナビゲーションや観光案内といった様々な応用が期待されている^{[1][2]}.

複合現実感では, HMD (Head Mounted Display) の装着を前提とすることが多い. しかし, 屋外歩行者を対象とする場合には, 視野が制限される問題や HMD 装着の物理的・心理的負担から HMD を用いない提示方式が有効であると考えられる.

そこで我々は, 一般に広く受け入れられているハンディ型 PDA (以下, PDA) のディスプレイ中で複合現実感を実現し, 屋外歩行者が手軽に利用できるような視覚情報提示システムの構築に取り組んでいる.

本稿で我々が提案する屋外型複合現実型情報提示システムの大きな特徴は, 屋外に多数設置した定点カ

メラ (一例として, 監視用に設置された Web カメラ) の映像を援用し, 建物の陰などによって歩行者の視点からは直接見ることのできない現実世界の状況を, 歩行者の視点からリアルタイムに確認できることである. このシステムを利用すれば, 例えば図 1 に示すように歩行者の死角部分から接近してくる自動車などの存在を事前に察知し, 交通事故に繋がる危険性を回避できるといった支援効果が期待できる.

複合現実感の実現には, 仮想物体を現実空間内の所定の位置へ正確に重畳しなければならないため, 現実空間を撮影しているカメラの位置姿勢をリアルタイムで計測することが必要となる. しかし, 屋外環境において, 歩行者の行動範囲をカバーするべく磁気センサや赤外線センサといった位置姿勢センサを多数設置することは困難である. また, 環境内に特殊な色や形状をした多数のランドマークを人工的に配置することも, 一般の環境では問題が多い.

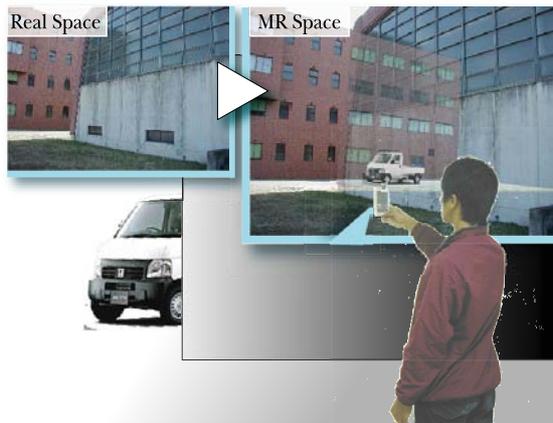


図 1 屋外型複合現実感提示の例

本研究では、現実世界を撮影するカメラを固定した PDA について、以下の 3 つを組み合わせることで正確な位置姿勢計測が可能であることを示す。

- 1) 屋外で利用可能な GPS と地磁気センサによる PDA の位置姿勢の初期化
- 2) 慣性ジャイロセンサによる PDA の姿勢変化の追従
- 3) 画像を用いたランドマーク検出によるセンサの計測誤差の補正

また、上の 3) において、歩行者に視覚情報を提供している定点カメラの映像を、ランドマークのテンプレート更新にも利用し、天候の変化に影響されやすい屋外におけるランドマーク検出を安定化させ、ロバストな PDA の位置姿勢獲得を実現する手法を提案する。

以降、2 章では構築したシステムの全体像と、定点カメラ映像を用いた情報提示について述べる。3 章ではランドマークのテンプレート更新に定点カメラ映像を援用する PDA の位置姿勢推定法について述べ、4 章ではその位置姿勢推定法を用いた実験について、5 章では本稿のまとめと今後の課題について述べる。

2. 複合現実感技術を用いた視覚情報提示

2.1. システムの構成

複合現実感技術を用いて、屋外歩行者に視覚情報提示を行うシステムの構成を図 2 に示す。本システムは、次の 3 つから成り立っている。

- PDA (情報提示)
- 定点カメラ (ランドマークテクスチャの獲得)
- サーバ (データの管理・配信)

歩行者が携帯する PDA のディスプレイ裏面には、現実世界の映像を取り込むカメラ (以下、PDA カメラ) が固定して取り付けられている。この PDA カメラの

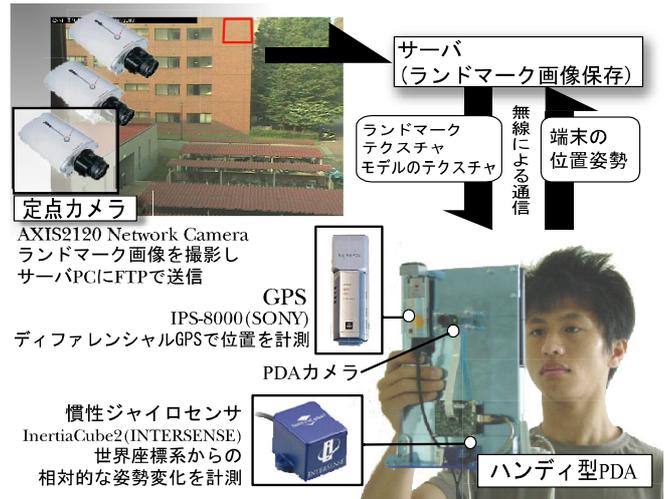


図 2 システムの構成

映像中に、歩行者の視界中で直接目視することができない建物の CG モデルを重畳し、PDA ディスプレイ上で情報の提示を行う。

また、PDA には GPS と慣性ジャイロセンサが取り付けられており、PDA の位置姿勢をリアルタイムで計測している。

屋外の環境中には定点カメラを設置している。この定点カメラの映像は、サーバへリアルタイムに送信されている。

サーバでは、環境中に用意したランドマークの情報、歩行者への視覚情報提示に用いる CG モデル、定点カメラから送られてくる映像、を管理している。PDA から要求があった場合に、これらのデータを無線 LAN で送信する。

2.2. 歩行者への視覚情報提示

本システムでの複合現実感技術を用いた視覚情報提示を図 3 に示す。図 3 左上の CG モデルは、本システムにおける歩行者の屋外行動範囲を、あらかじめ測量器の実測値や建物の設計図に基づいて構築したものである。

PDA の理想的な位置姿勢を獲得した場合、この CG モデルを PDA に送信し、現実世界の映像中に重畳して提示する。

CG モデルのテクスチャは、事前に他のカメラで撮影したものをデフォルトとして使用している。歩行者へ提示する際、図 3 右上に示す定点カメラ映像中から、最新のテクスチャを獲得し、リアルタイムに更新することによって、死角部分の現在の状況を歩行者の視点から確認することが可能である。

現段階では、歩行者の視界を遮る建物のすぐ裏側の状況が透けて見えるような感覚を与えるために、CG モデルを半透明にして提示している。将来的には、表

示する CG モデルの奥行きを、歩行者が任意に切り替えることができ、遠くの状況でも透けて見えるような提示^[1]を実装していく。また、屋内設置の定点カメラとも組み合わせ、建物の中の様子が透けて見える提示方法も合わせて検討していく予定である。

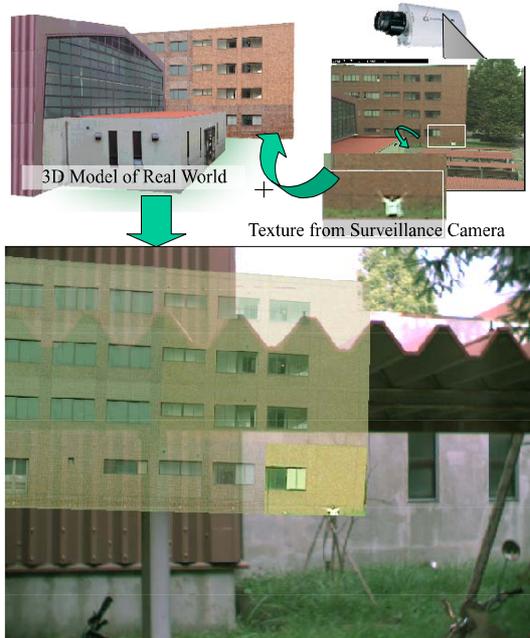


図3 定点カメラの映像を利用した視覚情報提示

3. ランドマーク観測による位置姿勢推定

PDA の位置姿勢は、2 章で述べた CG モデルに対して定義した世界座標系からの相対変化で表す。1 節では、この PDA の位置姿勢計測について 3 つの手順を示した。

1) PDA の位置姿勢の初期化

PDA に取り付けられた GPS および地磁気センサで、システム利用開始時に位置姿勢の初期化を行う。

この GPS と地磁気センサは、地球上に固定された座標系¹からの相対変化を計測している。この地球上に固定された座標系と世界座標系との関係を予め求めておくことで、歩行者が毎回現在の位置姿勢を入力し初期化するという作業は不要となる。

2) PDA の姿勢変化の追従

PDA の姿勢変化は慣性ジャイロセンサにより補正する。このセンサは、高い更新レートで計測を行うため、単体で PDA の初期化状態からの姿勢変化を追従することが可能である。

1)と 2)だけの場合、GPS 衛星電波の受信状況や電磁

¹ GPS は緯度・経度・高さ、地磁気センサは北を x 軸、東を y 軸、重力方向を z 軸とする座標系

波の影響により、位置姿勢計測に誤差が生じる場合がある。

そこで、3)の画像によるランドマーク検出によって GPS・地磁気・慣性ジャイロセンサから獲得したハンディ PDA の位置姿勢を補正する処理を組み合わせる。その手順を、下の(1)~(7)に示す。

- (1) 歩行者がランドマークの候補である「建物の角」を、PDA カメラ画像の中心付近に捉える
- (2) 【PDA】 GPS・慣性ジャイロセンサの計測値に基づいた現在の位置姿勢をサーバに送信
- (3) 【サーバ】 補正処理に用いるランドマークを選択、テクスチャを更新
- (4) 【サーバ】 無線 LAN でランドマークの情報を PDA に送信
- (5) 【PDA】 ランドマークのテンプレートを生成
- (6) 【PDA】 PDA カメラ画像中からテンプレートマッチングでランドマークを検出
- (7) 【PDA】 ICP アルゴリズムによる位置姿勢補正以下、(3)(5)(6)(7)について詳述する。

(3)ランドマークの選択とテクスチャ更新

松崎らは、定点カメラの映像を利用してランドマークのテンプレートを作成し、天候や日照の変化に左右されないランドマーク検出手法を提案している^[4]。

本研究では、このランドマーク検出に、ランドマーク観測専用の定点カメラを配置するのではなく、歩行者に視覚情報を提供する定点カメラの映像を利用する。そのため、ランドマークテクスチャの歪みが問題となる。それを解決するため、以下のような処理を行う。

まずあらかじめランドマークテクスチャを、四角形平面のテクスチャとして、

- 世界座標系における 4 端点の 3 次元位置
- テクスチャの更新に利用する定点カメラ画像
- 定点カメラ画像上の 4 端点の 2 次元位置

の 3 つを、サーバに登録しておく。ランドマークテクスチャは、対応付けられた定点カメラの観測映像に基づいて時々刻々更新される。

(5)ランドマーク検出に用いるテンプレート生成

ランドマーク検出を行うため、ランドマークテクスチャを、GPS と慣性ジャイロセンサの計測値から毎フレーム獲得した位置姿勢に合わせた、PDA カメラ上での見え方に投影変換する。この投影変換したランドマークテクスチャをテンプレートと呼ぶ。

投影変換は、定点カメラの画像とモバイル視点カメラ画像間の 2 次元射影変換で行う。

(6)テンプレートマッチングによる検出

生成したテンプレートをを用い、二段階のテンプレートマッチングによって、PDA カメラ画像中からランド

マークを高速に検出する。

- a) 画素値残差を尺度とするテンプレートマッチングで、ある一定範囲を探索する。画素値残差が最小である点をおおよそのランドマークの位置として検出
- b) a) での検出位置の近傍を、相互相関係数を尺度とするテンプレートマッチングで探索する。相互相関係数が最大である点を正しいランドマーク位置として検出



図 4：検出におけるランドマークの差別化

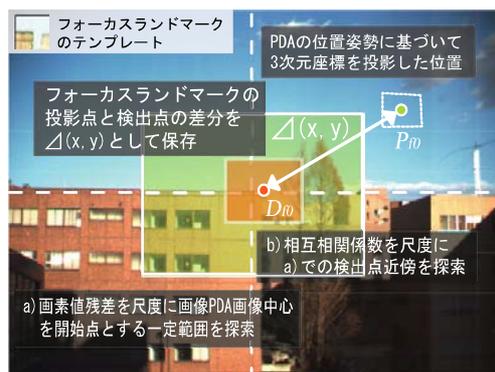


図 5：フォーカスランドマークの検出

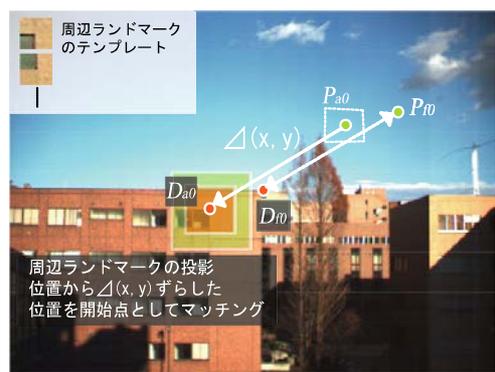


図 6：周辺ランドマークの検出

検出に用いるランドマークは、建物の角といった屋外歩行者の視野で比較的安定に検出しやすいランドマークを「フォーカスランドマーク」、フォーカスランドマーク周辺に存在するランドマークを「周辺ランドマーク」とし差別化する（図 4）。

マッチングの順番は、最初にフォーカスランドマ

ークの探索し、その検出結果を基に周辺ランドマークの探索を行う。

フォーカスランドマークの検出

フォーカスランドマークの探索領域中心 S_{f0} は PDA カメラ画像の中心とする。a) b) 二段階のマッチングを行い検出した位置を D_{f0} とする。また、PDA の位置姿勢を使ってフォーカスランドマークの 3 次元位置を投影した位置を P_{f0} とし、 D_{f0} との距離 $\Delta(x,y)$ を保存しておく（図 5）。

周辺ランドマークの検出

周辺ランドマークの探索領域中心 S_{a0} は、周辺ランドマークの 3 次元位置投影点 P_{a0} にフォーカスランドマークの $\Delta(x,y)$ を足した位置とする。フォーカスランドマークと同じく二段階のテンプレートマッチングによって画像中での正しい位置を求める（図 6）。

(7)ICP アルゴリズムによる位置姿勢補正

PDA カメラ画像中で、フォーカスランドマーク 1 点と周辺ランドマーク 2 点以上検出した場合に、ICP (Iterative Closest Point) アルゴリズム^{[5][6]}によって現在の位置姿勢の補正を行う。ここで ICP アルゴリズムに対する詳説は省略するが、本システムでは(6)で述べたフォーカスランドマーク及び周辺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值を求める。求めた補正值から剛体変換行列 M_{c2c} 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 M_{w2c} 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。

$$\begin{bmatrix} C'_x \\ C'_y \\ C'_z \end{bmatrix} = M_{c2c} \cdot M_{w2c} \begin{bmatrix} W_x \\ W_y \\ W_z \end{bmatrix}$$

4. フォーカスランドマークの検出実験

GPS と地磁気センサの計測値から求めた PDA の位置姿勢には、GPS 衛星電波の受信状況や電磁波の影響で位置に約 10[m]前後、姿勢 Yaw 角方向に $\pm 2, 3$ [度] 誤差が含まれるのが普通である。このように位置姿勢の誤差が大きい場合、ランドマークの 3 次元座標を投影して生成されるテンプレートと、PDA カメラ画像中での実際の見え方が大きく異なり、マッチングに悪影響を及ぼす可能性がある。

そのため、位置姿勢の計測誤差がテンプレートマッチングにどの程度の影響を与えるか検証するための実験を行った。以下、その検証結果と考察について述べる。

本実験では、補正処理で最初に行うフォーカスラン

ドマークを用いた検出処理の効果を確認した。カメラキャリブレーションで求めた位置姿勢に手動で誤差を加えてゆき、順次マッチングの結果を確認した。

図7は、実験の場として用いた筑波大学の構内における、PDAを所持したユーザと定点カメラの配置である。図7に示す四角の枠で示すランドマークをフォーカスランドマークとした。定点カメラは、このフォーカスランドマークを正面から捉えているものを使用する。

実験は、時間による日照変化の影響を確認するために、午前9時と午後3時の2回について行った。

ユーザは3次元位置が既知である固定点（図7中のA点とB点）上に立ち、PDAカメラ画像の中心付近にフォーカスランドマークが写るようPDAを保持する。正しい位置姿勢に手動で加える誤差は、PDAカメラ画像中にフォーカスランドマークの3次元位置が投影される範囲内とした。この位置姿勢を使って生成したテンプレートと、マッチングを行った結果を図8に示す。マッチング結果の薄く四角で囲んだ枠は、位置姿勢に基づいてランドマークを投影した位置、もう一つの濃い色の枠はテンプレートマッチングで検出した位置である。なお、テンプレートマッチングは、処理の高速化のためテンプレートの重心位置を中心とする30x30[pixel]の大きさで行っている。

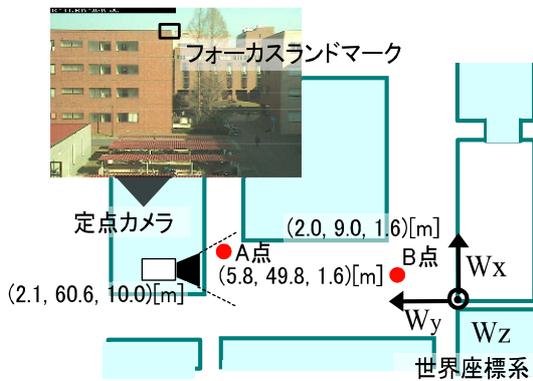


図7：実験環境

実験の結果、フォーカスランドマークの重心位置を、最大5.7[pixel]以内のずれで検出することができた。その間の日照変化に対しても、定点カメラの映像を用いて最新の状態に更新することによって、複雑な光学的補正を必要とせず、ロバストにランドマークを検出することが確認できた。

今回、検証に用いたフォーカスランドマークは1箇所であり、今後、他のフォーカスランドマークについても検証していく必要がある。また、位置姿勢にどの程度の誤差が含まれる状態まで正確に検出可能であるかを調べ、センサの計測誤差の範囲と比較し、許

容範囲であるかどうかを確認する予定である。

5. まとめと今後の課題

本研究では、屋外におけるPDAの位置姿勢獲得のために、GPS・地磁気センサ・慣性ジャイロセンサを組み合わせて求めた位置姿勢を、ランドマーク観測により補正する枠組みを採用し、定点カメラの映像をランドマークのテンプレート更新に利用することで、天候の変化に影響されやすい屋外におけるランドマーク検出を安定化させる手法を提案した。

ランドマーク検出において、定点カメラで撮影されているランドマークをテクスチャとして用いたテンプレートを作成することによって、以下の2点の効果を実験により確認した。

- テンプレートに対して、日照や天候の変化を考慮した複雑な光学的補正を加えなくても、ロバストな検出が可能である。
 - 位置姿勢の計測値に含まれる誤差によって、生成したランドマークのテンプレートとPDAカメラ画像中でのランドマークの見え方に違いがある場合でも、ほぼ正確な位置を検出できる。
- 今後の課題として、以下が挙げられる。
- PDAの位置姿勢に応じたフォーカスランドマークの選択とテクスチャ更新に利用する定点カメラの選択法
 - 慣性ジャイロセンサと周辺ランドマーク検出の融合による位置姿勢の更新との境界線検出アルゴリズム
 - 歩行者への視覚情報提示システムとしての評価実験

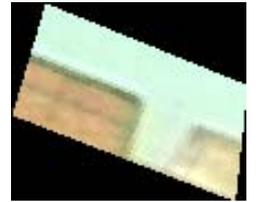
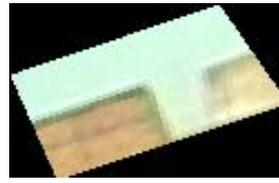
文 献

- [1] 天目陵平, 神原誠之, 横谷直和, “赤外線ビーコンと歩数計測を用いたウェアラブル型注釈提示システム,” 信学技報, IE2002-54, 2002.
- [2] 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.
- [3] Mark A. Livinston, J. Edward Swan II, Joseph L. Gabbard, Tobias H. Hoellerer, “Resolving Multiple Occluded Layers in Augmented Reality,” Proc. ISMAR2003, pp.56-65, Octo.2003.
- [4] 松崎誠, 大田友一, “定点観測カメラを援用した屋外における複合現実感のためのランドマーク検出,” 信学総大, No.D-12-83, 2001.
- [5] P. J. Besl and N. D. McKay, A Method for Registration of 3-D Shapes: “A Method for Registration of 3-D Shapes, IEEE Trans. On PAMI, vol.14, No.2, pp.239-256, 1992.
- [6] 内山晋二, 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.I.107-I.112, 2002.

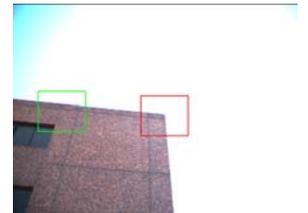
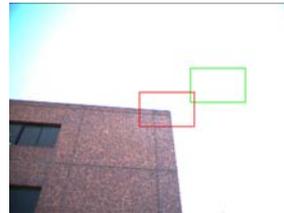
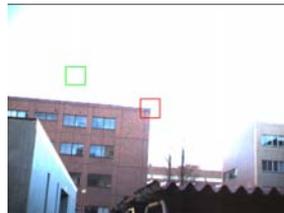
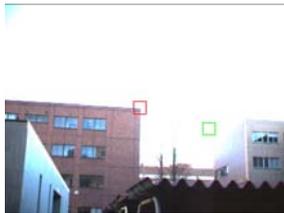
定点カメラ映像からの
ランドマークテクスチャ



生成した
ランドマーク
テンプレート



テンプレート
マッチング結果



①

②

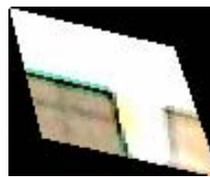
③

④

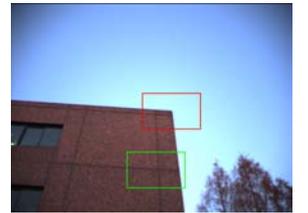
定点カメラ映像からの
ランドマークテクスチャ



生成した
ランドマーク
テンプレート



テンプレート
マッチング結果



⑤

⑥

⑦

⑧

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
場所と時間	A 点午前	A 点午前	B 点午前	B 点午前	A 点午後	A 点午後	B 点午後	B 点午後
誤差 x,y,z[m]	x:-10.0,y:-10.0	x:10.0,y:10.0	-	-	-	-	x:-6.0,y:-3.0	z:-4.0
誤差 Yaw 角[度]	-	-	-21.0	+21.0	-9.0	+9.0	-	-
重心の正解位置	(307,241)	(322,240)	(358,246)	(339,354)	(342,224)	(325,225)	(318,252)	(365,247)
重心の検出位置	(307,239)	(323,239)	(356,243)	(341,355)	(342,222)	(325,222)	(317,250)	(365,248)

図 8 : 定点カメラ映像から生成したテンプレートとマッチング結果