

シームレスな館内ナビゲーションと AR 展示を実現する ユーザ測位システム

大隈 隆史[†] 牧田 孝嗣[†] 石川 智也[†] 興梠 正克[†]

Thomas VINCENT[‡] Laurence NIGAY[‡] 蔵田 武志[†]

[†] 産業技術総合研究所サービス工学研究センター 〒305-8568 茨城県つくば市梅園 1-1-1 中央第二

[‡] Universite Joseph Fourier 38041 Grenoble cedex 9, France

E-mail: [†] {takashi-okuma, k.makita, tomoya-ishikawa, m.kourogi, t.kurata}@aist.go.jp,

[‡] {thomas.vincent, laurence.nigay}@imag.fr

あらまし 本稿では比較的広域な屋内環境においてユーザの状況に応じて AR コンテンツを提示するシステムについて述べるとともに、ユーザの状況として主に用いられる、実環境におけるユーザおよび携帯端末の位置と姿勢の推定手法について述べる。開発しているシステムでは、想定する環境におけるナビゲーションに適する相対測位を実現する歩行者デッドレコニングと、表現力の高い AR コンテンツ提示の実現に必要な画像に基づく位置姿勢推定手法を連携して屋内測位を実現している。二つの測位手法は相補的な関係にあり、連携させることでビジョンベーストラッキングの結果を用いての歩行者デッドレコニングの絶対位置・方位補正と、歩行者デッドレコニングによる現在位置・方位の絞り込みによりデータベースとのマッチングに必要な画像処理コストの低減が可能となる。

キーワード 歩行者デッドレコニング, ビジョンベーストラッキング, AR 展示, 館内ナビゲーション

Ego-motion tracking system for seamless combination of indoor navigation and augmented reality exhibits

Takashi OKUMA[†] Kouji MAKITA[†] Tomoya ISHIKAWA[†] Masakatsu KOUROGI[†]

Thomas VINCENT[‡] Laurence NIGAY[‡] Takeshi KURATA[†]

[†] Center for Service Research, AIST Tsukuba Central 2, 1-1-1 Umezono, Tsukuba, Ibaraki, 305-8568 Japan

[‡] Universite Joseph Fourier 38041 Grenoble cedex 9, France

E-mail: [†] {takashi-okuma, k.makita, tomoya-ishikawa, m.kourogi, t.kurata}@aist.go.jp,

[‡] {thomas.vincent, laurence.nigay}@imag.fr

Abstract This paper describes a system that shows AR content for supporting user's activities in indoor environment. We aimed to design contextual sensitive user interface for AR applications using AR widgets that help us develop user interfaces of AR systems. One of the most important information used for understanding user's context is user's position and orientation in the environment. Our system combines ego-motion tracking method based on Pedestrian Dead Reckoning (PDR) and Vision-based tracking method. These two methods are complementary each other. PDR can reduce the cost for matching with image data bases in the vision-based tracking. Once we can get the position information from vision-based tracking, we can correct the accumulative error of the PDR method.

Keyword pedestrian dead reckoning, vision-based tracking, augmented reality exhibits, indoor navigation

1. はじめに

拡張現実(AR)の概念を用いたサービスは商用化が進んでおり、急速に普及しているスマートフォンやiPadに代表されるタブレット型携帯端末上でのアプリケーションプログラムとしても提供され始め、日常でも身近なものになりつつある。特にマーケティングの

観点から、日常におけるユーザの状況に応じたサービスの提供の可能性に注目が集まっている[1]。

本稿では、ユーザの状況に応じて活動を支援する対話的な AR インタフェースを実現するためのシステムと、そのシステムの基盤となる屋内測位の技術について述べる。一般に測位技術と表現する場合には位置を

計測する技術を指すが、本稿においては位置に加えて AR インタフェースの実現のために必要な姿勢に関する情報も併せて取得する技術を測位技術と表記する。屋内測位技術は実環境中に仮想物体を配置する AR の実現に必要不可欠であるだけでなく、ユーザの活動状況の文脈を知る手掛かりとしても重要である。

現在開発中のシステムでは興味の対象となる実物体が比較的広範囲に分散して配置される屋内環境を想定している。その範囲内を移動するユーザの支援を対象とする AR インタフェースの応用範囲はショッピングモールをはじめ、美術館、博物館といった消費者向けのものからオフィスビルや工場における業務支援向けのものまで幅広く、その重要性は高い。その一方で実環境に対する絶対位置を取得するうえで有効な GPS システムを、屋内においては十分に活用できないため、安定して十分な精度を得る屋内測位は屋外における測位と比較して難しい問題となる。

2. 状況に応じたユーザ支援

著者らはこれまでに、科学技術館を対象として、コース推薦とナビゲーション、イベント案内、実展示をより楽しむためのヒントや他の来館者とのコミュニケーション等の機能をユーザの状況に応じて提供することで館内での体験価値向上を支援する携帯端末型 AR システムの開発に取り組んだ[2]。このシステムではユーザの状況を判断する基準として、測位結果として得られる現在位置、時刻、コンテンツの表示履歴などを用いた。携帯端末に提示されるコンテンツは地図コンテンツとナビゲーション時の経路情報および各種の展示に関連するテキスト情報とこれを読み上げる音声情報、2次元の写真およびアニメーションにより提示された。現在開発しているシステムにおいては、より高い表現力を携帯端末上で実現するため、Joseph Fourier 大において開発している AR widget を用いたインタフェース設計を行っている。開発中のシステムを用いて ISMAR2011 においてデモンストレーション展示を行った様子と画面写真をそれぞれ図 1 から図 3 に示す。AR widget は AR 環境中に配置される仮想物体として 3 次元表示も可能なグラフィカルユーザインタフェースの部品群を提供する。デモシステムでは地図を提示する地図モード、実環境と付加情報を合わせてコンピュータグラフィックスとして提示する AV モード、実環境映像中にコンピュータグラフィックスによる映像情報を重畳する AR モードを切り替えて用いた。地図モードや AV モードで表示される環境の 3 次元形状モデルの作成には著者らのグループが開発したモデリングソフトウェア[3]が用いられた。

しかし、館内のナビゲーションに加えて、対象物の



図 1. デモ展示の様子(端末画面内は AR モード)

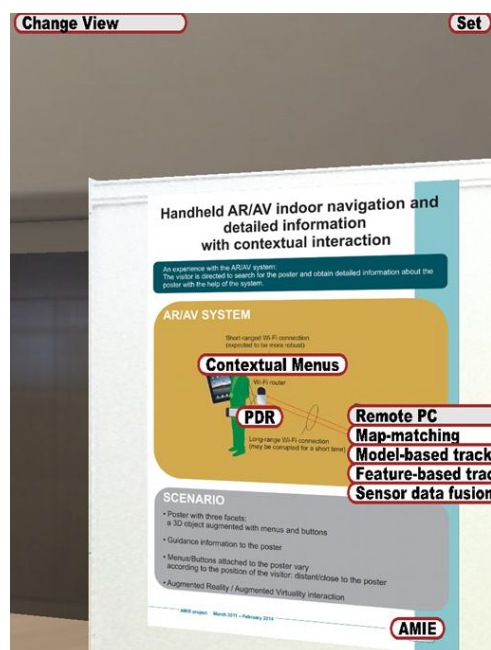


図 2. 携帯端末表示画面例(AV モード)

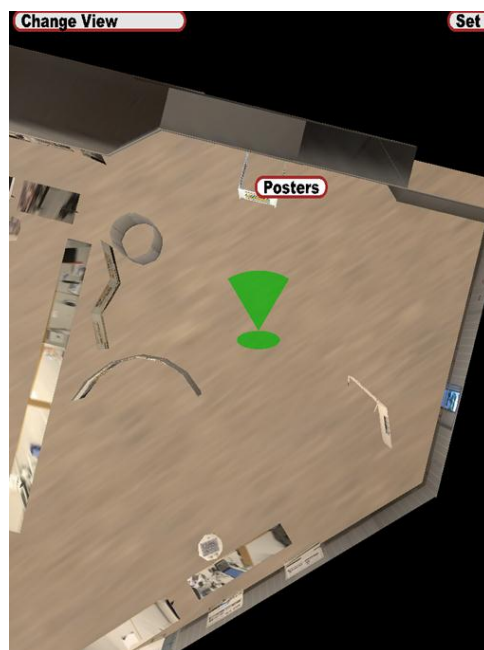


図 3. 携帯端末表示画面例(地図モード)

一部に着目してその詳細な情報をより高い表現力で提示するためには、これまでに用いてきたユーザに関する情報に加えて、実環境における情報提示用の携帯端末の位置と姿勢を正確に取得して、ユーザの状況を判定する必要がある。

3. 屋内測位技術

文献[2]に示す従来のシステムでは歩行者デッドレコニング(PDR)と呼ばれる技術を屋内測位の基盤技術として採用していた。PDRはユーザの歩行時に生じるデバイスの加速度と角速度を計測することで、歩行動作の検出、移動方向の変化の計測および移動量の推定を行い、これを累積することでユーザの相対的な移動軌跡を得る技術である[4]。PDRで得られる相対移動情報に加え、地図情報、地磁気センサデータ、気圧センサデータ、環境側に設置されたRFID信号の受信強度とRFID設置位置情報を総合的に統合することで、屋内測位を実現した[5]。このシステムは館内全域という比較的広範囲において興味の対象となる実物体周辺で適切な情報を提示するという目的において十分な精度を得ることができる。

しかし前述したように、より高い表現力での情報提示を実現するためには携帯端末の実環境における位置と姿勢を取得する必要があるため、画像処理技術を用いたカメラ位置姿勢の推定手法に着目した。現在普及している携帯情報端末にはカメラが搭載されていることが多いため、画像処理技術に基づく位置姿勢の推定手法を屋内測位の基盤技術として採用することは、特に対象物の一部に着目しているような状況において、現在のところ現実的な選択肢の一つとなる。

PDRと画像処理による測位手法はそれぞれ相補的な特徴を持つことが知られている[6]。画像処理に基づく手法では、実環境における位置姿勢に関連付けられた情報を事前に準備し、入力画像をこの情報と照合することにより現在位置と姿勢を推定するため、館内全域を画像処理に基づく手法のみで測位するには照合の対象となる実環境情報の管理と検索にかかる計算コストが高くなる。そこで、比較的長い距離の移動を伴う状況においてはPDRに基づく手法で測位することにより、安定した測位結果を得ることが出来ると同時に画像処理に基づく手法の照合対象を絞り込むことが出来るため処理コストの削減につながる。また、画像処理に基づく手法により詳細な測位結果を得ることが出来た場合には、PDRに基づく手法の累積誤差を補正するための情報としてこれを利用することができる。

4. システム構成

システムを構成する各要素の関係を示す概念図を

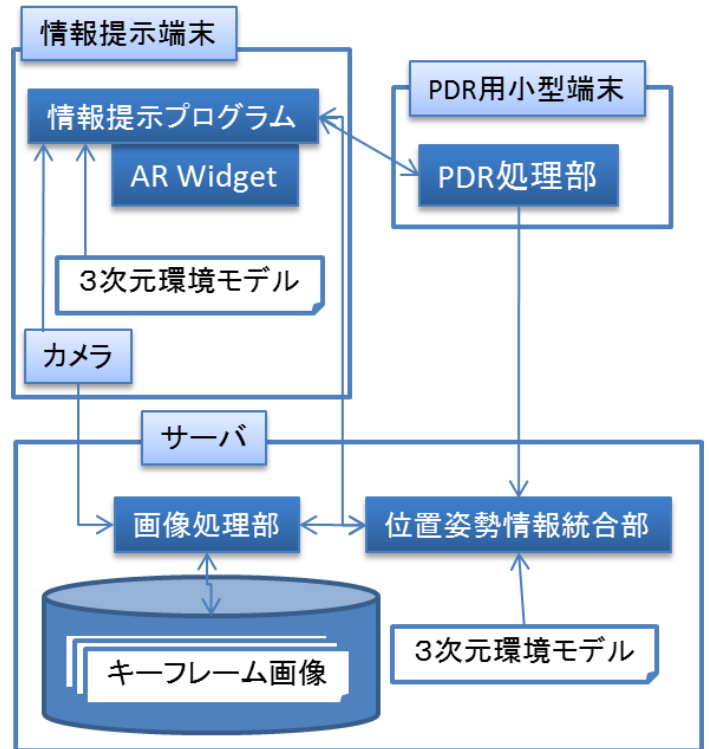


図 4. システム構成概念図

図4に示す。システム全体はサーバ・クライアント方式で実現されている。

ユーザからの入力とユーザへの情報提示部を担当する情報提示プログラムはAR widgetを用いて実装されている。このプログラムでは位置姿勢情報統合部から端末の位置姿勢情報を受け取り、提示情報に反映する。広い屋内環境を移動する場合にはサーバとの通信が無線ネットワークの障害などで一時的に途切れることが想定されるが、この間はPDR処理部から直接情報を得ることで画面の更新を維持することができる。ISMAR2011におけるデモンストレーションではiPad上に情報提示プログラムが実装された。

PDR処理部では小型端末内の加速度センサ、ジャイロセンサ、地磁気センサからの情報を用いてPDR処理を行い、位置姿勢情報統合部および情報提示プログラムに相対運動の情報を提供する。デモシステムにおいてはiPhone上に実装され、ユーザが装着することとした。また、モバイルルータを別に携帯することで広域を移動する場合にも情報提示端末とPDR用小型端末間の通信を安定させている。

位置姿勢情報の統合部ではPDR処理部からの相対移動情報と3次元環境モデルを用いたマップマッチングにより絶対位置を推定するとともに、画像処理部が高い確信度で端末の位置姿勢を出力した場合に絶対値方位の補正を行う。マップマッチングに用いられる環境地図は情報提示プログラムで用いられる3次元環境モデルから作成される。

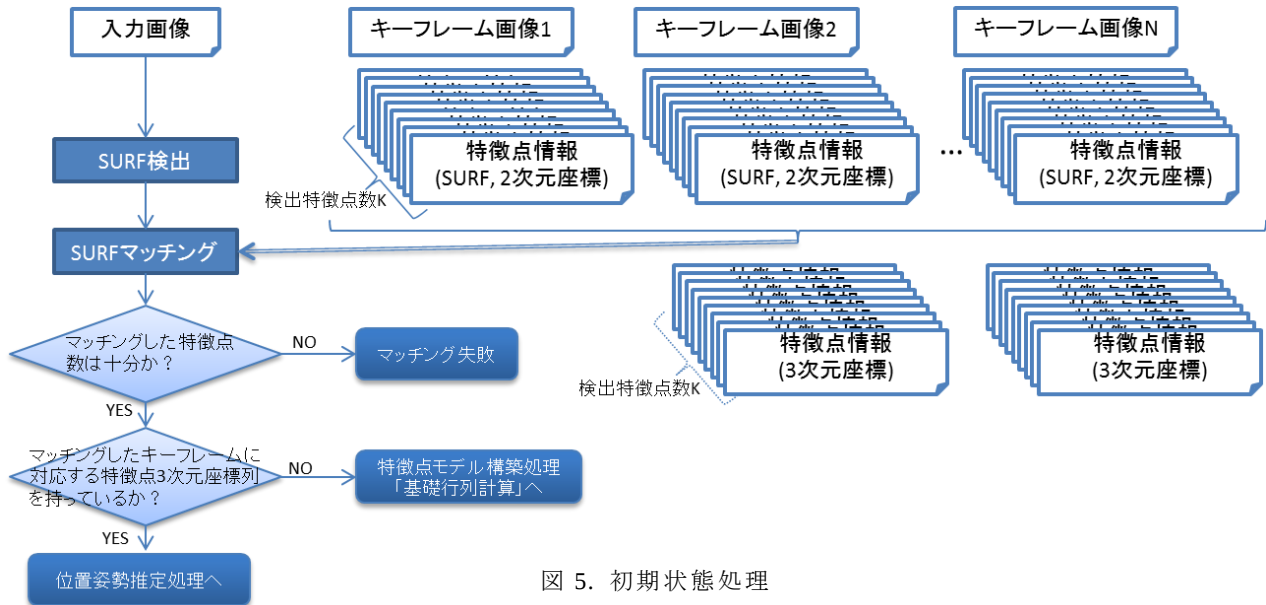


図 5. 初期状態処理

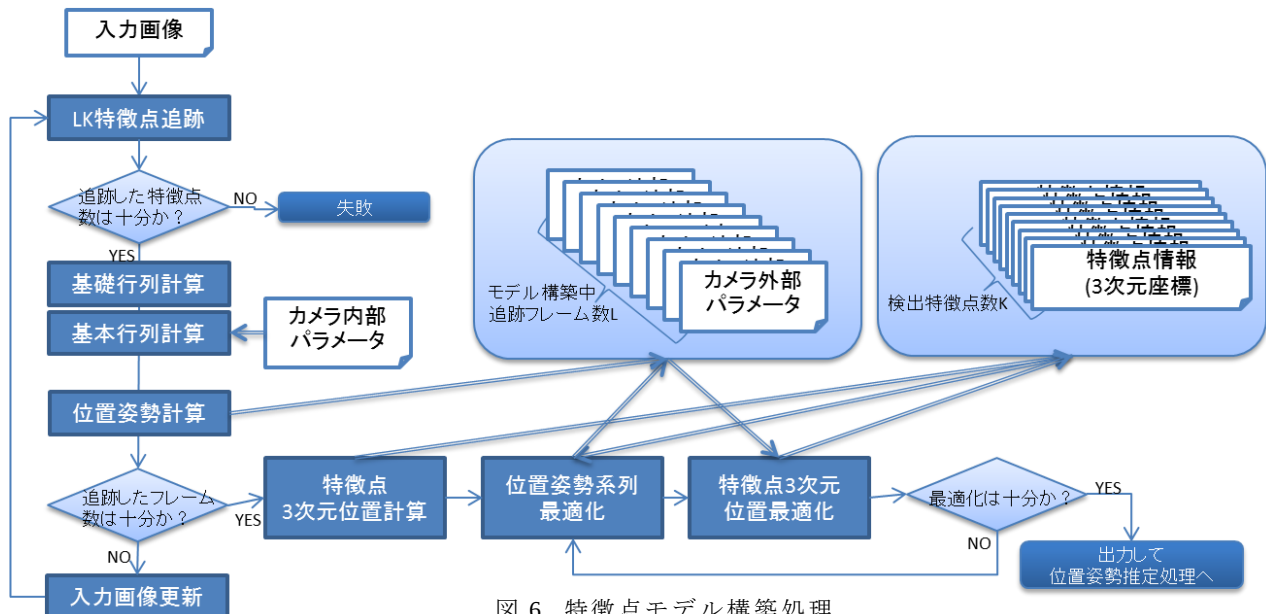


図 6. 特徴点モデル構築処理

画像処理部においては携帯情報端末からカメラの映像を受信し、撮影時の位置姿勢が既知であるキーフレーム画像との照合処理、画像特徴点の対応付け処理、および受信画像上の対応特徴点位置を用いての撮影位置姿勢の推定処理を実施する。画像処理部の詳細については次節で述べる。照合処理に用いられるキーフレームは3次元環境形状モデル作成に用いるモデリングソフトウェアの機能を用いて環境内における撮影位置と姿勢を事前に求めてSQLデータベースに記録している。

5. 画像処理部

この節では現在システム上で実現されている画像処理に基づく携帯情報端末の位置姿勢推定手法について述べる。

初期状態においては、各キーフレームについてSURF[7]による特徴点検出結果をSQLデータベース上に保持している。図5に初期状態における処理手順の流れを示す。まず、入力画像に対してSURFを検出し、各キーフレームのSURFを順に検索してマッチングする。この時の検索順は、位置姿勢情報統合処理部から得られるPDR出力結果と、キーフレームに対応付けられている絶対座標系における撮影時の位置姿勢を比較して決定する。SURFによるキーフレームとのマッチングが成功した場合、このキーフレームに関連付けられた特徴点の3次元座標を検索する。以前に、後述する特徴点モデルの構築処理や位置姿勢推定処理を実施したことがあってデータベース上に3次元座標を持っている場合には、位置姿勢推定処理へ移行する。プロ

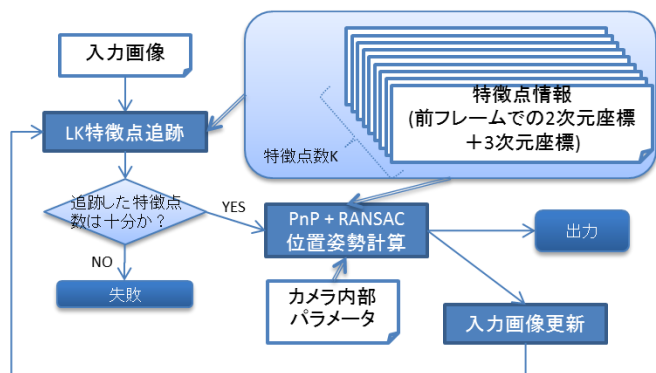


図 7. 位置姿勢推定処理

グラム起動直後など、3次元座標を持っていない場合には特徴点モデルの構築処理へ移行する。すべてのキーフレームとのマッチングに失敗した場合には初期状態のまま入力画像を更新してこの処理を繰り返す。

特徴点モデルの構築処理は、キーフレーム中に検出された2次元特徴点に対応する3次元座標を求めるものであるが、構築中に更新された入力画像の推定撮影位置姿勢を可能な限り推定して出力する。これは、状況に応じて位置姿勢情報統合部がPDR処理部に補正情報を送ることを目的としている。特徴点モデルの構築処理の流れを図6に示す。まず、KLT特徴点マッチング法[8]を用いてキーフレーム上の特徴点に対する入力画像上の対応特徴点の2次元座標を求める。十分な対応付けが行われた場合、この対応を用いて基礎行列を計算する。対応付けられた特徴点数が不十分であった場合には初期状態処理に移行する。基礎行列は使用しているカメラの内部パラメータを用いて基本行列に変換される。ここで計算される基本行列を用いて、キーフレーム撮影位置姿勢に対する相対的な平行移動と回転の外部パラメータを計算し、キーフレームの撮影位置姿勢と合成処理を行うことで入力画像の撮影位置姿勢を求める[9]。この処理により得られる端末の位置姿勢情報は位置姿勢情報統合部に出力されるとともに、メモリ上に蓄積される。次に、上記の処理を繰り返すことで得られる各時刻における外部カメラパラメータと2次元座標の組を用いて、モーションステレオをすべての特徴点に適用することで3次元座標を推定する。さらに、対応付けられた2次元座標と3次元座標の組の集合を用いて、RANSAC法[10]により各時刻における外部パラメータの集合を更新する。3次元座標の集合と外部パラメータの集合を交互に複数回更新することで最適化したのちに、特徴点の3次元座標の集合を特徴点モデルとしてSQLデータベースに記録し、位置姿勢推定処理に移行する。

位置姿勢推定処理においてはKLT特徴点マッチング法による特徴点追跡結果と特徴点モデルを用いて、入力画像の撮影位置姿勢を推定する(図7参照)。追跡

に失敗した場合には初期状態に戻る。

以上に述べた処理により、環境の特徴点モデルを構築しながら環境中での情報提示端末の位置と姿勢を出力する。現在は前述のように、実環境で撮影したキーフレーム画像を3次元環境モデル上で位置合わせして配置する機能を用いて、キーフレームの位置姿勢情報を事前に登録して参照している。このため、特徴点の3次元位置情報は3次元環境モデルから生成して自動で初期の特徴点モデルを作成することも可能である。また、画像処理部が構築したモデルを手作業で作成したモデルと比較することで、モデルを更新する際の手助けとなる可能性がある。既に環境の3次元モデルはナビゲーション用の画面での活用、マップマッチングによる活用およびキーフレームの位置姿勢推定に用いられているが、今後は画像処理内のアルゴリズムでも積極的に活用できると考えており、現在検討を進めている[11]。

6. まとめと今後の課題

本稿では、ユーザの状況に応じてARコンテンツを提示することで屋内環境におけるユーザの活動を支援するための基盤システムについて、画像処理部の実装を中心に現状の構成について述べた。情報提示端末の位置姿勢はAR表示において必要不可欠な情報であり、かつ、ユーザの状況を推定して提示内容をシームレスに切り替えるための重要な手掛かりとなる。今後、情報携帯端末の位置姿勢情報を積極的に活用したインタフェース設計を進めることが課題として挙げられる。また、構築したシステムを用いてISMAR2011のデモンストラクションセッションでの展示において動作の検証を行ったが、今後は連携による計算量削減効果などについて検証していく必要がある。さらに、画像処理部の精度を評価するために、現在TrakMarkプロジェクト[12]によって提供されているベンチマークデータを用いての評価を進めている。さらに、前述したように3次元モデルを画像処理部においてより活用するとともに、モデリングへのフィードバック等についても検討を進める予定である。

7. 謝辞

本研究は、JST 戦略的国際科学技術協力推進事業(研究交流型)「日本 - フランス (ANR) 研究交流」として実施されました。

文 献

- [1] ITMedia: “「AR アプリ」最新記事一覧”, http://www.itmedia.co.jp/keywords/ar_appli.html.
- [2] Takashi Okuma, Masakatsu Kurogi, Nobuchika Sakata, Takeshi Kurata: “A Pilot User Study on 3-D

Museum Guide with Route Recommendation Using a Sustainable Positioning System,” Proc. Intl. Conf. on Control, Automation and Systems 2007 (ICCAS 2007), pp.749-753, Seoul, KOREA, Oct. 2007.

- [3] Tomoya Ishikawa, Takashi Okuma, Takeshi Kurata: “Interactive Indoor 3D Modeling from a Single Photo with CV Support,” Proc. The 3rd Intl. Workshop on Ubiquitous Virtual Reality (IWUVR2009), no.10, Adelaide, AUSTRALIA, Jan. 2009.
- [4] Masakatsu Kourogi, Nobuchika Sakata, Takashi Okuma, and Takeshi Kurata: “Indoor / Outdoor Pedestrian Navigation with an Embedded GPS / RFID / Self-contained Sensor System,” Proc. 16th Intl. Conf. on Artificial Reality and Telexistence (ICAT 2006), pp.1310-1321, Hangzhou, CHINA, Nov. 2006.
- [5] Tomoya Ishikawa, Masakatsu Kourogi, Takashi Okuma, Takeshi Kurata: “Economic and Synergistic Pedestrian Localization System in Indoor Environments,” Proc. Intl. Conf. on Soft Computing and Pattern Recognition (SoCPaR2009), pp.522-527, Malacca, MALAYSIA, Dec. 2009.
- [6] Masakatsu Kourogi and Takeshi Kurata: “A Wearable Augmented Reality System with Personal Positioning based on Walking Locomotion Analysis,” Proc. The Second Intl. Symp. on Mixed and Augmented Reality (ISMAR03), pp.260-261, Tokyo, JAPAN, Oct. 2003.
- [7] Herbert Bay, Tinne Tuytelaars and Luc Van Gool, “SURF: Speeded Up Robust Features,” Proc. 9th European Conf. on Computer Vision (ECCV2006), May 2006.
- [8] Carlo Tomasi and Takeo Kanade: “Detection and Tracking of Point Features,” Carnegie Mellon University Technical Report CMU-CS-91-132, April 1991.
- [9] Wikipedia: “Essential Matrix,”
http://en.wikipedia.org/wiki/Essential_matrix
- [10] Martin A. Fischler and Robert C. Bolles: “Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography”. Comm. of the ACM 24 (6), pp.381–395, June 1981.
- [11] 西田 純, 石川 智也, 牧田 孝嗣, 興梠 正克, 山下 淳, 葛岡 英明, 蔵田 武志: “仮想化現実環境モデルに基づく携帯カメラの位置方位推定に向けて,” 信学技報 MVE2011, pp.73-78, 2011.
- [12] “TRAKMARK –benchmark test schemes for AR/MR geometric registration and tracking methods,”
<http://www.trakmark.net>