

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 6月14日現在

機関番号：54501  
 研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2012～2013  
 課題番号：23700093  
 研究課題名（和文）普及型携帯端末のセンサ・カメラで実現可能な高精度屋内測位・姿勢推定システムの開発  
 研究課題名（英文）Development of an Indoor Positioning and Posture Inferring System Realized by Prevalent Smartphones' Cameras and Sensors.  
 研究代表者  
 新井イスマイル（ISMAIL ARAI）  
 明石工業高等専門学校・電気情報工学科・助教  
 研究者番号：60512572

研究成果の概要（和文）：AR(Augmented Reality)と呼ばれる、現実世界の映像にその場の説明情報を付加するサービスを実現するには、ユーザが何処にいてどの方向を向いているかを正確に推定するといった測位・姿勢推定技術が不可欠となる。本研究ではスマートフォンのカメラ映像およびセンサ情報を活用して、大阪梅田周辺地下街で実験した結果、屋内測位誤差の最大値は約4m、平均値と中央値は約1mとなった。姿勢推定についてはあらかじめ撮影した背景パノラマ写真の範囲内に概ね収まる結果を得た。

研究成果の概要（英文）：To realize AR (Augmented Reality) services those provide real world information on a live view, accurate indoor positioning technology and accurate posture inferring technology are required. As a result of the experiment at Osaka-Umeda underground city, we achieved at most 4m-distance error of indoor positioning (average and median are approximately 1m) and no error to choose the stored picture of current position for the posture inferring.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：情報学

科研費の分科・細目：計算機システム・ネットワーク

キーワード：ユビキタスコンピューティング、計算機システム、情報システム、スマートセンサ情報システム

## 1. 研究開始当初の背景

ARナビは検索エンジンやWeb 2.0に続く革新的な情報共有基盤として期待されている。実世界上の物に携帯端末のカメラを向け画面を覗き込むと、実映像上に説明情報が重畳表示される。生活する街に刻まれた情報を見て街の理解を深めたり、異なる言語圏で母国語によるナビゲーションを享受できたりすれば、ユーザに広く受け入れられる持続性の高いサービスになる。

しかし、普及型携帯端末による現状のARナビは実映像上の正確な位置に実世界コンテンツが表示できない。この表示位置誤差は

現状の携帯端末が内蔵するセンサ性能の限界に起因する。多くのARナビはGPS(Wi-Fiや3G基地局観測情報による手法もあるが低精度)を用いて測位し、地磁気センサと加速度センサを用いて姿勢推定している。屋外の地表ではある程度の測位・姿勢推定できるが、屋内ではGPSが利用できず、また建物の金属等の影響で特に地磁気センサの精度が悪くなる。人は生活時間のほとんどを屋内で過ごしており、ナビゲーションを必要とする場合もショッピングモールや地下街、駅構内にいることが多いと考えられる。したがって、高精度な屋内測位・姿勢推定手法の確立が望

まれる。とはいえ、現状の携帯端末にはこの要求を満たすものがない。

## 2. 研究の目的

スマートフォン等の普及型携帯端末に搭載されるカメラやセンサ（Wi-Fi、地磁気、加速度）を活用し、AR(Augmented Reality)によるナビゲーションアプリケーション（以下、AR ナビ）のための高精度な屋内測位・姿勢推定を実現することを本研究の目的とする。

現状のARナビは、センサの単独出力値が屋内で低精度なため実映像上のコンテンツ表示位置が大幅にずれる問題がある。我々はこれに対し、全天球パノラマ写真上の正確な位置にコンテンツを重畳表示するシステムを開発している。本提案によってその場のパノラマ写真（=ユーザ位置）と写真内座標（=姿勢）が特定できれば高精度なARナビが実現可能となる。

## 3. 研究の方法

**エラー! 参照元が見つかりません。**に従って、平成 23 年度はセンサフュージョン、テンプレートマッチングによる屋内測位・姿勢推定システムを並行開発した。平成 24 年度に両システムを統合して屋内測位・姿勢推定サーバを完成させ、クライアントは Android 端末で実装した。大阪・梅田周辺地下街の実験フィールドを平成 22 年度以前から得ていたが、店舗の入れ替え等があり一部の背景写真が陳腐化したため、平成 24 年度に変更箇所を再撮影した。以上の開発・撮影後に大阪・梅田周辺地下街にて実地検証を行った。図 1 中の①～⑨について、以降(1)～(9)で述べる。

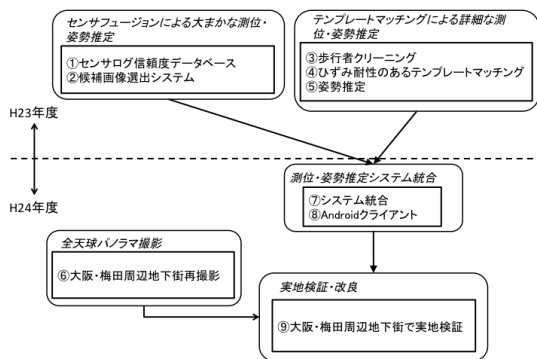


図 1 研究の流れ

### (1) センサログ・信頼度データベース

パノラマ写真撮影時に記録したセンサ値は、候補写真のメタデータとして利用される。センサ値が正確であれば生データを用いればよいが、背景でも述べた通り屋内環境では構造物の影響によりセンサ値の信頼性が異なる。センサ毎に信頼性を調査し場所に依存して精度が変化する場合、その場所におけ

るセンサ値の誤差範囲をパノラマ写真のメタデータとして保存する。地磁気センサの信頼性が低いことが既に分かっているため、主に地磁気センサの信頼度データベースを構築する。

### (2) 候補画像選出システム

撮影時の Wi-Fi 基地局観測履歴をパノラマ写真のメタデータとして記録しておき、クライアントが観測した Wi-Fi 基地局のメタデータを持つパノラマ写真を候補画像として選出する。シンプルな演算のため検索処理負荷が低い事が期待できる。

### (3) 歩行者クリーニング

クライアントが地下街で撮影する映像のほとんどに歩行者が映り込む。歩行者の画像特徴量はノイズとなり、混雑地域では背景の画像特徴量が全く得られない。したがってパノラマ写真の撮影手法と同様に動画を撮影し動物体除去・合成した写真をクエリとする。

### (4) ひずみ耐性のあるテンプレートマッチング

現在主流の SIFT(Scale Invariant Feature Transform)や SURF(Speeded Up Robust Features)等による画像特徴量は色合いの違い・拡大・回転には耐性があるが、ひずみには一般的に耐性がない。パノラマ写真は 6 つのカメラ画像を球面展開用に合成しているが、これを垂直角度が大きくなるにつれひずみが強くなるため、テンプレートマッチングに適した候補画像の合成手法を検討する。大阪・梅田周辺地下街は 5m 間隔でパノラマ写真を合成したため、的確にテンプレートマッチングできれば 5m の屋内測位精度を達成できる。

### (5) 姿勢推定

クライアントによるクエリ画像がテンプレートマッチングによって最高スコアとなった候補画像中の該当座標を求める。

### (6) 大阪・梅田周辺地下街再撮影

既に保有している背景写真のうち、店舗変更等が生じた箇所について再撮影を行い、最新の背景写真をもって実地検証の準備をする。従来の撮影手法は混雑状況に応じて撮影者が判断した 30 秒～120 秒間の固定時間で停留撮影を行ったが、最適な停留時間が判断できる撮影システムに改良する。

### (7) システム統合

(1)～(5)の成果物を統合し、屋内測位・姿勢推定サーバを完成させる。

### (8) Android クライアント

屋内測位・姿勢推定システムと協調動作可能なクライアント機能を実装する。ナビゲーションアプリケーションについても地下街に適したインタフェースを提案し有効性を検証する。

#### (9) 大阪・梅田周辺地下街で実地検証

上記の準備ができ次第、実地検証を行う。

### 4. 研究成果

概要でも述べた通り、本研究ではスマートフォンのカメラ映像およびセンサ情報を利用して、大阪・梅田周辺地下街で実地検証した結果、屋内測位の最大誤差が約 4m、姿勢推定についてはあらかじめ撮影した背景パノラマ写真の範囲内に概ね収まる結果を得たことが主な成果である。以下、研究方法に照らし合わせて、各項目での結果を報告する。

#### (1) センサログ・信頼度データベース

平成 22 年 3, 5, 6 月に撮影済みのパノラマ背景写真撮影時のセンサログを分析し、それぞれの信頼性を評価した。

無線 LAN 測位に役立つ無線 LAN 基地局観測情報については、撮影地点 1,079 か所のうち、無線 LAN 基地局が 1 つ以上観測できた箇所は 468 と半分に満たない状況だった。無線 LAN 測位では同時に観測できる数が測位精度に貢献する。3 つ以上が同時に聞こえるのが望ましいが、そのような箇所は 286 に留まった。無線 LAN 単独では測位が不可能な場合が多いことが分かった。なお、(9)の実証実験時には(6)の再撮影時のログを用いるが、この時の無線 LAN 基地局観測数はさらに増加しており、概ねほとんどの撮影箇所無線 LAN 基地局が観測されたため、画像テンプレートマッチング対象の絞り込みに用いることができています。

方位推定に役立つ加速度・地磁気センサについても分析した。加速度は垂直方向の角度を推定するために活用される。精度は最大誤差が $\pm 10^\circ$ に収まる結果を得たため、そのまま AR に活用しても問題がないことが分かった。地磁気センサについては、概ね $\pm 40^\circ$ の誤差範囲となり AR にそのまま活用するには不十分である。画像テンプレートマッチングの検索対象を狭める程度の役には立つことが分かった。

以上の平成 22 年 3, 5, 6 月撮影時のセンサログ分析の詳細については文献[雑誌論文](1)でまとめている。

#### (2) 候補画像選出システム

本研究では無線 LAN 測位によっておおまかな位置を推定し、その範囲に該当する背景写真に対してテンプレートマッチングを行い、撮影箇所周辺までに推定位置を絞り込む。

当初、電波が届かないエリアが多かったり、逆に電波到達範囲が広い基地局がいた時に候補画像が多くなったりする問題を想定していたが、(6)の撮影時に商業エリアの多くは無線 LAN 基地局が数台観測される環境になりつつも、無線 LAN 測位結果は数十 m の誤差を持つといった本研究にとって理想的な想定環境となったため、単純に撮影時に観測された無線 LAN 基地局のメタデータを持つ写真を候補画像として選出すれば良い状態でこのパートの開発は終了した。

#### (3) 歩行者クリーニング

研究開始当初は携帯端末でその場で撮影した映像から人物を除去して、背景写真とのテンプレートマッチングをする手順を想定していたが、手持ち固定による動画撮影の手ぶれが完全に補正できないため、背景写真撮影時のような停留撮影は数秒でも困難であることが分かった。そこで、図 2 のように、人が写っていないがその場の特徴が捉えられる店舗の看板等を示す部分のみをクエリ画像として利用することにした。



図 2 クエリ画像領域

#### (4) ひずみ耐性のあるテンプレートマッチング

当初予定していた全天球合成画像の任意の点をひずみなく展開した上でテンプレートマッチングを行う手法よりも、ひずみのない背景写真を 1 つの全天球合成画像から複数切り出して、画像特徴量データベースをあらかじめ用意しておく方が、マッチングアルゴリズムが簡易で高速だったため、複数画像を切り出すことにした。垂直角度は(3)での決定に基づいて人の映り込まない領域を収められる  $70^\circ$  に設定して、水平角度については画角を  $10^\circ$  ずつ変更して 36 枚の背景写真を切り出し、画像特徴量をデータベースに収めた。

#### (5) 姿勢推定

(4)での議論を踏まえて、ひずみ対処が不要となったため、ひずみ以外のエラー要素である色合いの違い、拡大、回転、並進に耐性のある SIFT(Scale Invariant Feature Transform)を画像特徴量マッチングに用いることにした。単にクエリ画像から背景画像に対して単方向の画像特徴量マッチングを

するだけでは正確な特徴点の対応付けを行えないため、双方向の特徴量マッチングを行い、K近傍探索した。さらにエビポーラ拘束を利用したフィルタリングを行った。上記手法を(9)の実地検証時に適用した結果を図3に示す。



図3 画像特徴量マッチング結果の例

この対応点の位置関係から背景写真撮影時の位置とどれだけ異なる角度から対象物を見ているかを逆算し、姿勢推定を行った。

#### (6) 大阪・梅田周辺地下街再撮影

平成24年9月に大阪・梅田周辺地下街の約3kmを再撮影した。以前の平成22年撮影時は撮影時には人物を除去できなかったため、人物除去に十分と思われる時間を撮影者で判断し30~120秒間の停留撮影を行っていたが、再撮影時にはリアルタイムに人物除去する機能を追加して、人物除去が完了した時点で停留撮影が終了できるようになった。ほとんどの撮影地点において30秒程度の停留で十分なことが明らかになった。

#### (7) システム統合

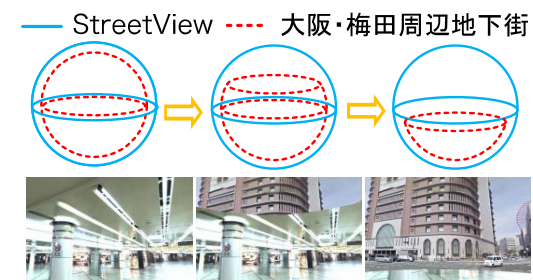
(1)~(5)のシステムを統合して、サーバ上で動作するプログラムを開発した。クライアントからセンサデータが随時送信され、写真は測位時に一枚送られる構成にした。受け取ったデータを元に測位・姿勢推定結果を端末に返す。

#### (8) Androidクライアント

(7)で述べた通り、クライアント端末はセンサデータと写真をサーバに送ると、測位・姿勢推定結果が得られる。本研究ではARシステムの実装までは到達しなかったため、得られた測位・姿勢推定精度ではユーザにどのような経験が与えられるかまでは検証できない結果となった。

地下街を撮影している間に、地上階との繋がりをユーザに認識させることが重要なことに気がついたため、地下の背景写真を閲覧中に地上の背景写真を徐々に表示して上下

関係を把握するインタフェース、ワームホールビューを開発した。開発したインタフェースのスクリーンショットを図4に示す。地上の画像にはGoogleマップのストリートビュー



ーを用いている。左は地下街のみの映像、右に行く程地上の画像が見えてくる様子が分かる。

図4 ワームホールビュー

このインタフェースの詳細については文献[雑誌論文](2)でまとめている。

#### (9) 大阪・梅田周辺地下街で実地検証

ある店舗周辺で複数箇所に正解位置をマーキングし、その場で測位・姿勢推定した結果について評価した。測位・姿勢推定間隔は図5の通り1mにして、計12カ所で測位・姿勢推定した。

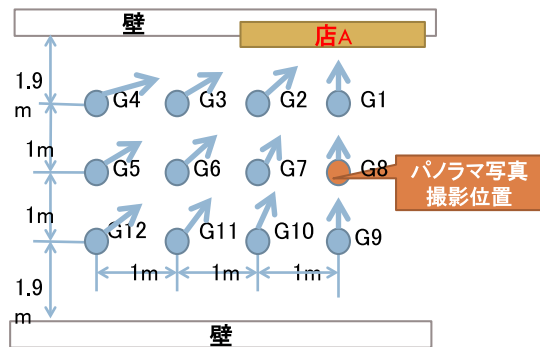


図5 測位・姿勢推定環境

測位結果の誤差分布を図6に示す。誤差の平均値は0.78m、中央値は0.57m、最大は3.79m、最小は0.57mとなった。

方位推定誤差は厳密に測定が困難なまま研究期間が終了してしましたが、クエリ画像が含まれる背景画像が適切に選択されており、概ね撮影範囲内に方位推定結果が得られていた。今後は厳密な方位推定誤差を測定した。

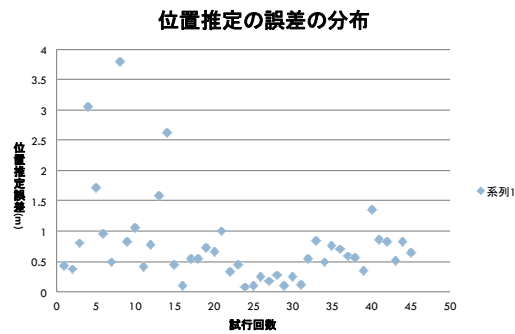


図6 測位結果

また、平成 24 年度中に大阪・梅田周辺地下街広域の実験はできなかった。混雑地域で広域に正解位置をマーキングするための現場調整が困難だったためである。今後、数ヶ月かけて広域の実験を進めて、結果を論文誌にまとめて報告したい。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- (1) 安部陽平、新井イスマイル、西尾信彦、地上と地下街を含むパノラマビューでの階層関係把握手法の評価、情報処理学会論文誌、査読有、Vol. 53、No. 4、2012、pp. 1349-1359
- (2) 新井イスマイル、堀磨伊也、河合紀彦、安部陽平、市川昌宏、里中裕輔、新田竜規、新田知之、藤井陽光、向井政貴、堀見宗一郎、牧田孝嗣、神原誠之、西尾信彦、横矢直和、Gooraffiti Umechika: 人が消える地下街パノラマビューア、情報処理学会論文誌、査読有、Vol. 53、No. 5、2012、pp. 1546-1557

[学会発表] (計 1 件)

- ① 新田智之、宮崎和哉、吉見駿、田端亮介、新井イスマイル、安積卓也、西尾信彦、視認性確認対話ベースの地下街ナビゲーションシステム、インタラクション 2013、2013 年 3 月 1 日、日本科学未来館

[その他]

ホームページ等

<http://www.umechikanavi.jp/>

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

新井イスマイル (ARAI ISMAIL)

明石工業高等専門学校・電気情報工学科・助教