

# 街中での歩行者カメラによるオンライン位置推定のための検討

亀田 能成<sup>†</sup> 大田 友一<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> <sup>‡</sup> 筑波大学 大学院システム情報工学研究科 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

E-mail: <sup>†</sup> kameda@iit.tsukuba.ac.jp, <sup>‡</sup> ohta@iit.tsukuba.ac.jp

**あらまし** 本稿では、歩行者カメラ1台を用いて、現在の歩行位置をリアルタイムに推定する手法について述べる。また、同方法をシステムとして実装し、性能を検証した結果を報告する。実現したシステムでは、SIFT局所特徴量に基づく一般的画像認識方法を使用している。本手法は、同一経路上で事前に撮影した映像を手がかりに、歩行者の現在位置を画像検索によって推定する。歩行者ナビゲーションが要求される状況の中でも比較的困難な状況と考えられる、東京駅周辺の地下から地上に至る1kmほどの歩行経路で実証実験を行い、その有効性を確認した。

**キーワード** 1人称映像, SLAM, ウェアラブルカメラ, SIFT, KD ツリー

## An Implementation of Pedestrian Localization by First-Person View Camera In Urban Area

Yoshinari KAMEDA<sup>†</sup> Yuichi OHTA<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> <sup>‡</sup> University of Tsukuba, 1-1-1 Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573, Japan

E-mail: <sup>†</sup> kameda@iit.tsukuba.ac.jp, <sup>‡</sup> ohta@iit.tsukuba.ac.jp

**Abstract** We report a pedestrian localization method that exploits only a human-borne camera and runs on line. Pedestrian localization is an essential technology for pedestrian navigation. Unfortunately, commonly used GPS is unavailable or unreliable in underground shopping mall, indoor paths, and urban streets with tall buildings. The method introduced in this article adopts an conservative image retrieval approach. It estimates current position by one image of the first person vision camera, assuming that a video which is taken through walking at a same path is given to our system in advance. The method utilizes SIFT for image retrieval. We take up one of the typical and difficult paths for experiment and evaluation; a path that starts from underground level of Tokyo station area to the ground level where tall buildings cover the sky. The result shows the simple and conventional method can estimate the location to some extent yet there are some points to be improved.

**Keyword** First Person Vision, SLAM, Wearable camera, SIFT, KD tree

### 1. はじめに

精度のよい歩行者ナビゲーションは、視覚障害者にとって、介助者や介助犬なしで自由に外出したいという希望を叶えるために必要な技術である。このために、高精度の歩行者位置推定の実現が不可欠である。例えば、視覚障害者への聞き取り調査によれば、望ましいナビゲーション精度は店舗や銀行ATMコーナーに入るためのドア一枚分の位置まで正しく教示できることである。

実際に視覚障害者のためのGPSベースの歩行者ナビゲーション支援システムとしてすでに商用化されているもの[1]もあるが、位置推定そのものはGPSの測位情報を用いているだけであるため、都心部ではその精度に限界がある。

屋外での高精度な位置推定方法として、現在利用できる技術として衛星搬送波の位相差を利用したReal Time Kinematic GPS(RTK-GPS)がある。精度としては誤差数十

m以内の推定が可能であるが、原理的にマルチパスに弱く、近くに高層建築物があったり、天頂に向かって障害物が多い状況では位置推定不能となる。また、そもそも電波が入らない屋内や地下街などでは利用不能である。

こうした問題を解決するために、これまでも様々な歩行者位置推定方法が提案されてきた。例えば、無線LANのアクセスポイント情報を利用する方法は日本国内ではPlaceEngineという名前で商業化されている。GPS自体にも様々な改良が提案されており、中でもDifferential GPSの一種であるSatellite Based Augmentation System (SBAS)は人工衛星からの電波のみで精度向上が可能であり、日本国内ではMulti-Functional Satellite Augmentation System (MSAS)というサービスで現在すでに利用可能である。しかしながら、これらの位置推定方法でもその誤差は都心部では電波状況の悪さもあって数mから数十mにおよび、歩行者ナビゲーションを行えるだけの精度には至ってい

ない。

本稿では、歩行者カメラ1台から、現在の歩行位置をリアルタイムに推定する手法を実装し、その性能検証結果を報告する。ここで実現した手法は、SIFT 局所特徴量を利用した一般的画像認識方法の実現であり、アルゴリズム自体はすでによく知られている手法である。我々は類似状況に適用可能な手法[2]とその改良法[3]をすでに提案しているが、本稿ではそれらよりも単純化した手法を用いて、その能力の検証を行う。

なお、本研究は、画像・GPS等のセンサ統合による日常利用可能な屋内外視覚障害者歩行支援システムの開発の一部として取り組みがなされたため、システムの実装と実現にあたっては、一定の制約が課せられている。具体的内容については各項で述べる。

## 2. 関連研究

都市部のような擾乱の多い環境下での歩行者に対する測位システムとして、Kourogíらは歩行に伴う加速度変化や磁気変動から現在位置を慣性航法によって推定する手法を提案している[4]。本手法は短距離では性能を発揮するが、長時間単独運用するとドリフト誤差が蓄積する。その解消のために、他の大域的定位手段の併用が必須である。

歩行者視点カメラに近い設定状況としては、ITS研究分野における車両搭載カメラがある。この分野では路面状況の観察と慣性センサのみから走行距離を割り出す研究[5]があるが、これは外部の電波状況に影響は受けないものの、測位には不向きである。あらかじめ用意した道路平面のパターン情報と照合することで位置推定を行う研究も提案されている[6][7]が、歩道にはコントラストの高い十分な量のテクスチャが存在する保証がないこと、歩行者カメラでは車載カメラに比べて揺動が大きいことなどから、これらの手法を歩行者定位に適用することは難しいと考えられる。

カメラレジストレーションや画像認識を用いた測位システムとしては、過去に撮影された画像に撮影地点の情報を合わせて記録し、入力画像に対して一般画像認識を行う取り組みが提案されている[8][9]。また、ロボティクスの分野でもSLAMとして長く研究が進められており、最近では携帯電話程度の情報端末でも実現できる手法が提案されている[10]。

カメラレジストレーションを用いたSLAMでは一般に事前の観測データが広角であるほど測位がしやすくなる傾向があり、このことを利用した大規模な屋内環境での歩行者定位を可能にする技術すでに提案されている[11]。ただし、提案手法では事前に全方位カメラを使ってシーンの画像集合を獲得する必要がある。

通常のピンホール型カメラを前提とする、本研究と同様の取り組みとしては、[12]が挙げられる。[12]では車道上の経路に沿って事前に撮影した映像に対して現在位置を求めることに成功しているが、対応点が一定数以上得られることが前提となっている。後述するように、歩行者ナビゲーションの場合、歩行経路に自由度が高いため、事前撮影の映像に対して見つかる自然特徴の対応点数がエピソード拘束推定できるほど多くない状況が多いことから、このような手法を直接適用することは難しい。

なお、本提案システムでは、局所の特徴量としてSIFT[13]を利用する。進行方向前向きに歩行者カメラが搭載されている場合、カメラに写る平面の多くは奥行き方向に対して並行となるため、傾いた像となることが多い。これに配慮した特徴量としてアフィン不変なSIFT(ASIFT)[14]が提案されている。計算コストが大きくなる難点があるため、今後システム上で計算機資源に余裕が見られるようになった場合には、このような特徴量の導入も考えられるべきであろう。

## 3. 視覚障害者に対する歩行者ナビゲーション

詳細は[3]を参照されたいが、本研究では、歩行者カメラによるオンライン位置推定の用途は視覚障害者に対する歩行者ナビゲーションであるとする。

このことから、歩行者の経路自体は予めほぼ既知であるものと仮定できる。視覚障害者の外出の一形態として、目的地や歩行する範囲をある程度計画してから外出に臨むことがある。従って、カメラに依る位置推定にあたっては、全く未知の経路で位置推定を行うのではなく、ある程度歩行範囲や経路を予め絞り込んだ状態で行う。

## 4. 画像検索に基づく歩行者位置推定

歩行者位置推定は、まず事前に撮影した画像集合から現在観測されているシーンに最も近い画像を求める。画像の類似性は、SIFT キーのペアの数により判断する。もっともペア数が多い検索結果の参照画像候補について、そのペア数が十分に大きいとき、その検索結果を位置推定結果として採用する。

### 4.1. 歩行者カメラのセットアップ

カメラの取り付けに関しては、視覚障害者歩行支援システムの一部として歩行者カメラが取り付けられるということもあって、必ずしも画像処理に好適な位置を確保することができなかった。具体的には、歩行者カメラは胸部前面に配置し、光軸を歩行方向に合わせ、ほぼ水平になるようにカメラを配置した。歩行者カメラは被験者の胴体にしっかりと取り付けるわけにはいかないため、歩行の揺動に合わせてカメラの光軸がかなり揺れる。そのため、後述する画像照手法では、これらの揺れに対処できることが必須である。

撮像機構に関しては、歩行に基づく揺動の中で撮影を行うため、グローバルシャッターが正確な像を得るために必要である。シャッタースピードについても情景が明るい限り、高速にしたほうがぶれなく正確な像を得ることができる。解像度に関しては、予備実験を通して、シーン画像の解析にはそれほど解像度が不要であるとの結論が得られていたが、歩行者カメラを用いる他のモジュールとの兼ね合いもあり、高解像度カメラを用意することになった。これらのことから、水平 1024 画素、垂直 768 画素、最高で秒 30 枚撮影可能な USB カメラを選定した。

歩行に基づく揺動があることから、カメラの画角は広いほうが好ましい。ただし、歩行者カメラを用いる他のシステムとの関係上、今回の実験では水平画角  $61.6^\circ$ 、垂直画角  $48.3^\circ$  のレンズを最終的に選定した。

なお、屋内から屋外にまで撮影が渡るため、レンズ自体にオートアイリス機能があることが望まれたが、ハードウェア選定の制約から、本研究ではその採用は見送られた。このため、画像の光量制御はカメラ撮像機構のソフトウェア処理とシャッタースピードの変更でのみ行っている。

図 1 に歩行者視点カメラ装着の例を示す。図中の左側に見える立方体から円筒が歩行方向に突き出しているのがカメラであり、比較的低い位置であることがわかる。

## 4.2. 事前撮影画像

事前撮影画像は、外出計画に含まれる経路上で、その歩行方向を向いて撮影を行い、同時にその撮影地点と撮影方向を記録する。

1 枚 1 枚撮影時に静止して記録をつけてもよいが、何らかの形で撮影位置を比較的正確に自動推定できる場合は、移動しながらの撮影でもよい。

事前撮影に関しては、日照や天候等様々な要因が実際の歩行時までに変化するため、同一地点同一方向であっても異環境下で撮影した複数枚の画像を用意できることが望ましい。

## 4.3. 参照画像集合

事前撮影画像のうち、外出計画に含まれる経路上のものを参照画像、その集合体を参照画像集合と呼ぶ。

本研究では、歩行揺動に対処するため、画像特徴量には位置・回転・大きさに不変な SIFT 特徴量を採用する。このため、参照画像についてはすべて予め SIFT 特徴量を求めておく。SIFT 特徴量は、実際には 1 枚の画像につき数十～数百の SIFT キーとして得られる。なお、シーンベースの画像認識ではシーン中の非常に細かい部分の情報は利用しないので、SIFT 特徴量算出前に、各参照画像は横 320 画素縦 240 画素まで縮小するものとする。



図 1 : 歩行者カメラ装着の様子

## 4.4. 画像検索

歩行時には、歩行者カメラで撮影を随時行い、システム内の参照画像集合と照合する。入力画像を横 320 画素縦 240 画素に縮小した上で、SIFT 特徴量を求める。

入力画像から得られた各 SIFT キーについて、参照画像集合中の最尤 SIFT キーを求める。最も多くの最尤 SIFT キーを含む参照画像を参照画像候補と呼び、その最尤 SIFT キー数を **ペア数** と呼ぶ。

なお、SIFT のマッチングアルゴリズム[12]では、最尤 SIFT キーを選定する際に、最尤 SIFT キーへの距離と第二位キーとの距離の比を参照して、その比が一定以下であるときのみマッチングを成立させる。この比を本稿では **類似度係数** と呼ぶ。

ペア数が一定基準を超えた場合、参照画像候補は十分に入力画像に類似していると見なして、その画像候補に付与されていた撮影位置と撮影方向情報を出力する。

プログラムとしての実行時には、入力画像の各 SIFT キーについて最尤 SIFT キーを求める部分が最も計算コストが高い。SIFT キーは 128 次元数値ベクトルで表現されるため、本研究では多次元ベクトル検索の高速化手法の一つである K-D tree 探索を用い、この部分の計算時間を大幅に削減している。

## 5. 実験

本手法は東芝 dynabook SS RX2 (Core 2 Duo SU9400/1.4GHz/3MB) 上で実装された。

検証実験としては、東京駅八重洲地下中央口付近から地下街を 300m ほど歩き、そこで地上に出てほどなく高島屋に到達、そのあと東京駅八重洲北口近辺まで戻る地上経路約 600m の合計約 900m を外出計画における経路として設定した。経路図を図 2 に示す。上段赤色の矢印が地下経路に相当し、下段青色の矢印が地上経路に相当する。



同経路の参照画像集合については、天候や日照の多様性を確保するために、2010年2月20日に収集した238枚と2010年3月4日に収集した696枚の合計934枚を用いた。実験結果について、ここでは2010年3月20日の午後と夕方の2回の歩行時の入力画像に対する位置推定結果を示す。なお、参照画像収集時も入力画像収集時も同一経路を同一方向に歩いているが、歩行速度や歩道内での位置は特に指定しない状態で被験者は歩いたため、これらは均一ではないことに注意されたい。

図3、図4に画像照合結果の様子を示す。左が入力画像、右が検索された参照画像候補である。上下は同じ画像であるが、下段の図中の緑丸1つが画像中から得られたSIFTキー1つを示す。見てわかるように、SIFTキーは数十から数百程度検出される。入力画像中のSIFTキーと参照画像候補中のSIFTキーとが合致した場合、そのSIFTキーを赤線で結んでいる。

シーンベースの認識において、シーン中のどこを頼って認識するかはSIFTキー同士のマッチングに従って自動的に決定される。図3では路面の模様、図4では路上の店の看板に主に反応していることが分かる。

実際の歩行支援システム稼働時には、他のサブシステムとの負荷バランスの都合もあり、おおよそ8~10秒に一度、本手法を実行することになっているが、ここでは検証のため、3月20日の歩行時に経路上で得られた全ての画像に対する認識結果を表1, 2に示す。表1は当日**昼の歩行**、表2は当日**夕方の歩行**に対する実験結果である。表では、類似度係数の変更が認識率にどのような結果を及ぼすかを示している。類似度係数を1.0に近づけるほど、ペア数が増加していく。参照画像候補の検定を行うためのペア数閾値を2~7にした場合の、返答数と返答率も併せて示す。問い合わせに対して、表1では平均返答率16.8%、表2では35.9%である。これは、表2の夕方の状況のほうが、同日昼よりも、2月20日および3月4日の天候状況に近かったためと考えられる。



図2: 実証歩行経路

表1, 2の実験全てに渡って平均誤答率を0.1%以下にした場合の類似度係数と有効返答率平均値の関係を表3に示す。表から分かる通り、類似度係数を0.9にまで上げても誤差率0.1%以下の有効返答率を維持することができるので、類似度係数については0.9を採用する。このように、有効返答率を確保しても、図6に示すように、発見されるペア数はエピソード拘束を利用したカメラレジストレーションを行えるだけの十分な数にはなかなか至らない。類似度係数0.9の条件下で、ペア数の閾値に対する返答率平均値と誤答率平均値の変化を調べた結果が表4である。ペア数閾値を下げ過ぎると、誤答が増え始めるので、ここではペア数閾値を6とする。

こうして得られた類似度係数0.9、ペア数閾値6をシステムパラメータとして組み込むことで、入力画像から誤認識を避けつつ撮影位置と撮影方向の推定が可能になった。

本システムをある地上歩行(3月20日午後)時に採取した画像に適用した結果を図5に示す。横軸は画像番号である。撮影は歩行開始から約1秒間隔で2枚ずつ撮影していて、概ね9分程度の歩行に相当する。縦軸は参照画像番号を示している。参照画像集合は図1に示した経路全てを2周回って収集したもので、最初の0~237番が1週目(2月20日撮影)、238番から933番までが2週目(3月4日撮影)に相当する。2週の参照画像取得いずれも普通歩行で実験を行ったが、撮影間隔が2倍程度違うことに注意されたい。入力画像も普通歩行であるので、グラフはほぼ直線状になるのが理想である。ただし、経路には信号等があるため、実験時に信号待ちがあるとその部分のグラフは水平になる。また、歩行者カメラの前に別の歩行者等がいる間は、画像参照にあまり成功しないため、その部分是对応付けができないことになる。その一方で、誤推定があると、この直線状の配列から大きく外れたところに点が現れる。グラフからも、誤推定がほぼ存在しないことがわかる。



図3 画像照合の様子その1

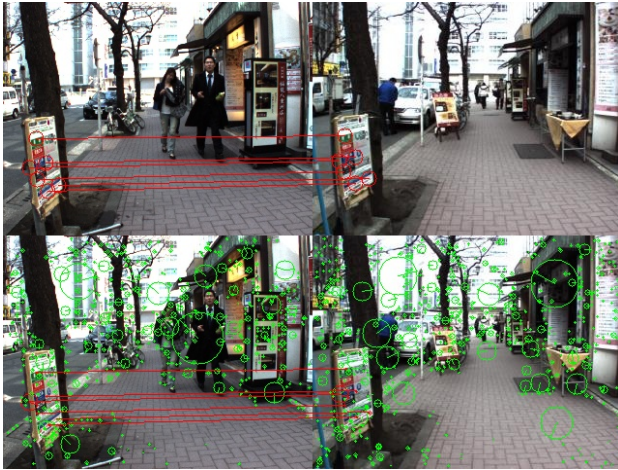


図4 画像照合の様子その2

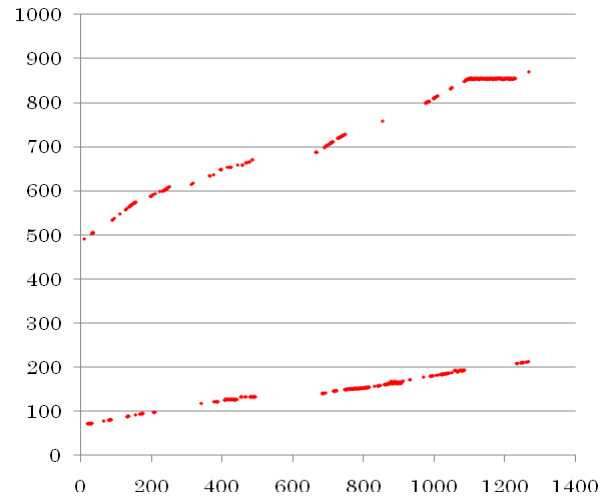


図5 3月20日夕方歩行に対する実験結果

表1 3月20日昼の歩行に対する結果

類似度係数	0.6	0.7	0.8	0.9
ペア数平均値	1.21	2.26	3.85	6.91
ペア数閾値	2	2	4	7
入力画像枚数	1252	1252	1252	1252
有効返答数	126	354	304	277
有効返答率	10.1%	28.3%	24.3%	22.1%
誤答数	1	1	1	0
誤答率	0.08%	0.08%	0.08%	0.00%

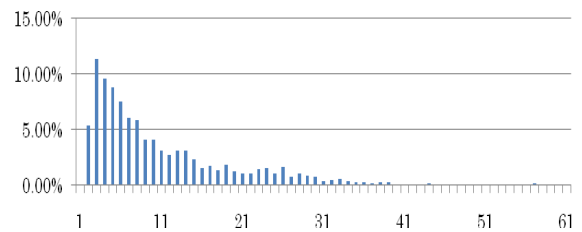


図6 3月20日夕方歩行に対するペア数の分布

表2 3月20日夕方の歩行に対する結果

類似度係数	0.6	0.7	0.8	0.9
ペア数平均値	2.79	4.64	7.12	11.01
ペア数閾値	2	4	5	6
入力画像枚数	1269	1269	1269	1269
有効返答数	481	448	575	729
有効返答率	37.9%	35.3%	45.3%	57.4%
誤答数	1	0	0	0
誤答率	0.08%	0.00%	0.00%	0.00%

表3 類似度係数に対する有効返答率(誤答率0.1%)

類似度係数	0.6	0.7	0.8	0.9
有効返答率平均値	24.1%	31.8%	34.9%	39.9%

表4 類似度係数0.9時の結果

ペア数 閾値	3/20 (昼)		3/20 (夕方)	
	返答 率平 均値	誤答 率平 均値	返答 率平 均値	誤答 率平 均値
5	35.7%	0.56%	64.9%	0.16%
6	26.3%	0.12%	57.4%	0.00%
7	22.1%	0.00%	51.4%	0.00%
8	18.7%	0.00%	45.5%	0.00%

表4から分かるように、返答率は状況にもよるが問い合わせに対して、1～4割程度であり、残りの9～6割においては、位置推定不能という解がシステムとしては返されることになる。誤認識率を許容すれば返答率を向上させることは可能であるが、ここでは誤答率を最小にするほうをパラメータ決定時には重視している。なお、ペア数閾値以下の場合でも再度入力画像を当該参照画像候補とのみ照合させることで位置推定結果を検証することも考えられるが、計算時間を最小化する要請もあり、本稿での提案手法では行っていない。

参考までに、現行の視覚障害者歩行支援システム全体の中では本プログラムは8～10秒に1回実行されることになっている。仮に10秒に1回だとすると、0.1%の誤答率は10,000秒間(2時間以上)に対して1回程度だけ誤答することに相当する。

なお、現行のノートパソコンレベルのハードウェアパフォーマンスで、歩行支援システムの一部として画像獲得から位置方向推定までを2秒以下で実行可能である。

## 6. 考察

本手法のようなシーンベースの画像認識は、撮影環境に大きく影響を受ける。以下、個別項目について考察をしていく。

## カメラの取り付け方向

本稿で設定した歩行経路は、地下街から階段、大通りから細い歩道まで多岐に渡る。

カメラの取り付け方向としては、進行方向前方の他に、進行方向に対して水平 90° 右ないし左方向、進行方向のまま仰角ないし俯角をつけることが検討された。

進行方向前方にカメラを向けた場合、概ね進行方向に沿って歩道が広がっていることになる。特に遠方の風景の見かけは距離に対して概ね反比例の大きさで見えることになり、現在利用している SIFT 特徴量は大きさ不変なので、参照画像候補は正しい撮影位置に対して多少前後する可能性がある。この推定精度を高めるためには、画像間に見えるシーンの大きさの違いを計測し補正することが考えられる。

一方、それ以外の方向にカメラを向けた場合、いずれも相対的に画像中における近傍物体の像が占める割合が増加することになる。例えば道端にある店へ入るドアの位置を確認しやすくなるなど、位置推定精度の向上に寄与する可能性があるが、実際に予備実験をしてみると、被撮影物体が近い場合には画像照合が困難になる傾向が顕著にみられた。これは、画像照合の元となる SIFT キーが、被撮影物体に対する撮影方向の変化が ±20° 程度を超えると、たとえ同じ物体を撮影していたとしても異なる SIFT キー表現になってしまうことが主たる原因と推察される。この点については ASIFT[13]により改善できる可能性がある。

## 画像照合

プログラム実行の分析から、参照画像集合の中で実際に SIFT キーとして有効なのは実験的には半分以下であろうとの予想が立てられているため、性能を低下させることなくメモリ使用量を削減できる可能性がある。

シーンベースの画像照合の性能向上のために、同一地点で撮影環境の異なる複数の画像をさらに用意することも今後の改良として考えられる。K-D tree 探索は参照画像枚数の増加に対して検索時間の増加率が小さくすむという利点があるため、上記のメモリ削減を行った上で、参照画像集合の枚数を増加させることを検討していく。

## 7. おわりに

本研究では、SIFT キーを用いた一般的な画像検索アルゴリズムを利用することで、ある歩行経路上の歩行者カメラの位置を求める方法を実装し、現実的な環境でその性能評価を行った。類似度係数やペア数の閾値を適切に定めることで、本稿で導入した単純な手法でも、低い誤答率で位置推定できることが示せた。

今後実用化を目指すためには、天候・日照・環境変動への対応が必須である。これについては継続的に実験を行って検証をしていきたい。また、参照画像集合が古く

なるほど経時変化が大きくなり、SIFT キーのペア数は低減する傾向が顕著になる。この問題への対応も今後必要であろう。

## 謝辞

本研究の一部は、厚生労働省の障害者保健福祉推進事業（障害者自立支援機器等研究開発プロジェクト）で採択された「画像・GPS 等のセンサ統合による日常利用可能な屋内外視覚障害者歩行支援システムの開発」（研究代表者：静岡県立大学 石川准）の成果である。本稿の実装および実験に協力頂いた株式会社ニューフォレスターの星野厚氏と堀川寛司氏にも謝意を表す。

## 文 献

- [1] “GPS ナビ,” 株式会社エクストラ, 2009.  
<http://www.extra.co.jp/gpsnavi.html>
- [2] 住谷司, 北原格, 亀田能成, 大田友一, “SIFT key 追跡に基づく撮影対象空間の重複度合定量化への試み,” 信学技報, vol.108, no.363, PRMU2008-161, pp.81-86, 2008.
- [3] 亀田能成, 大田友一, “歩行者視点カメラによる歩行者位置オンライン推定の取り組み,” 信学技報, vol. 110, no.27, PRMU2010-14, pp.67-72, 2010.
- [4] M. Kourogi and T. Kurata, “Personal Positioning based on Walking Locomotion Analysis with Self-Contained Sensors and a Wearable Camera,” Int. Symposium on Mixed and Augmented Reality, pp.103-112, 2003.
- [5] N. Nourani-Vatani, J. Roberts, and M. V. Srinivasan, “IMU Aided 3D Visual Odometry for Car-Like Vehicles,” Australasian Conference on Robotics and Automation, 2008.
- [6] O. Pink, F. Moosmann and A. Bachmann, “Visual Features for Vehicle Localization and EgoMotion Estimation,” Intelligent Vehicles Symposium, pp.254-260, 2009.
- [7] 野田雅文, 高橋友和, 出口大輔, 井手一郎, 村瀬洋, 小島祥子, 内藤貴志, “空撮画像と時系列車載カメラ画像の照合による自車位置推定,” 信学技報, vol.109, no.306, PRMU2009-118, pp.177-182, 2009.
- [8] J. Hays and A. A. Efros, “IM2GPS: Estimating Geographic Information from a Single Image,” pp.1-8, CVPR, 2008.
- [9] 小野善太郎, 堀田政二, 馮堯楷, 内田誠一, “局所特徴量を用いた事例参照に基づく位置同定,” 信学技報, vol.109, no.418, PRMU2009-212, pp.31-36, 2010.
- [10] C. Arth, D. Wagner, M. Klopschitz, A. Irschara, D. Schmalstieg, “Wide Area Localization on Mobile Phones,” In. Symposium on Mixed and Augmented Reality, pp.73-82, 2009.
- [11] 畑田晃希, 河治寿都, 山崎俊彦, 相澤清晴, “全方位カメラによる参照画像群を用いた屋内位置推定 - デジタルミュージアムでの鑑賞者の行動記録に向けて-,” 信学技報 vol.109, no.466, MVE2009-141, pp.57-62, 2010.
- [12] 久徳遙矢, 出口大輔, 高橋友和, 目加田慶人, 井手一郎, 村瀬洋, “過去の車載カメラ映像との道路面差分による不特定障害物の検出,” 信学技報, vol.109, no.470, PRMU2009-273, pp.235-240, 2010.
- [13] D. Lowe, “Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints,” International Journal of Computer Vision, vol.60, no.2, pp.91-110, 2004
- [14] J.M. Morel and G.Yu, “ASIFT: A New Framework for Fully Affine Invariant Image Comparison,” SIAM Journal on Imaging Sciences, vol.2, issue 2, pp438-469, 2009.