



2010 年度 未踏 IT 人材発掘・育成事業 採択案件評価書

1. 担当 PM

藤井 彰人 PM
(グーグル株式会社 エンタープライズ プロダクト マーケティング マネージャー)

2. 採択者氏名

チーフクリエイター: 西村 邦裕(株式会社テンケー代表取締役社長)
コクリエイター: 坂田 理美(フリーランス)

3. 委託金支払額

2,592,000 円

4. テーマ名

マーカーレスで屋内外を問わず利用できるカメラ位置推定システム

5. 関連 Web サイト

<http://www.kuni24.net/mitoh/>
<http://www.xcoo.jp/>

6. テーマ概要

実世界の中でコンピュータや情報機器が人間の行動を支援するためには、コンピュータや情報機器が自分の位置を知る必要がある。この自分の位置を知ることは、位置推定技術(ポジショニング技術)と呼ばれる。位置推定技術としては、GPS に代表されるように数 m の誤差で数百 km 移動しても位置測定ができる技術から、マーカーを利用した画像処理により位置推定技術のように数 mm の誤差で、数十 cm 程度しか位置測定できない技術まで多々ある。しかし、屋内と屋外を行き来する範囲や、工場の建物内のサイズ程度の範囲である数十 cm から数十 m の測定距離をカバー

する、屋内外をシームレスに移動可能な位置測定技術は、測定環境側に過大な設備投資を行う方法をのぞくと有力な方法がなかった。屋内外での利用を考えると、数 cm 程度の精度は必要であり、無線 LAN などの他の方法では不十分であった。

本プロジェクトでは環境側へ赤外線センサー、RFID、マーカ―などを設置なしに位置測定ができることを条件として、画像処理技術を利用して、あらかじめ処理した対象空間において、1 枚の写真を入力した際に、3 次元の方向を含む位置情報を返す仕組みを開発した。具体的には現実空間から画像特徴量を抽出し、すべてデータベースに格納して、そのデータベースに問い合わせることで、画像を入力した際に 3 次元の位置を返すカメラ位置測定ができたとともに、並列化した処理システムを開発した。

7. 採択理由

画像からカメラ位置を特定するという技術は、既出ではあるが、インタビューにおいて本技術を利用した様々なサービスの可能性を確認できたため、採択した。クリエイターのこれまでの研究成果からも、実現可能性は高く、未踏期間中に本テクノロジーを用いたユニークなサービスの開発に期待した。

8. 開発目標

本プロジェクトでは、画像処理技術を用いて、室内外を問わずマーカ―を用いずに広範囲に対応したカメラ位置推定システムの開発を目的とした。具体的には入力情報として画像を入れ、出力情報として 3 次元の位置と姿勢を返すポジショニングシステムである。その前準備として、測定環境を複数枚で撮影し画像群として入力し、画像の特徴点、画像同士のマッチング、3 次元再構成をして、リファレンスデータベースとして保存し、位置測定のための基盤とさせる。

9. 進捗概要

本プロジェクトでは画像処理技術を利用して、マーカ―レスで、画像を入力情報とし、3 次元の位置・姿勢を出力情報とする位置推定システムの開発を行った。画像を撮影した位置、つまり、カメラ位置を推定するシステムである。

カメラ位置推定システムとしては、2 つの部分から構成される。一つ目はマーカ―レスで画像特徴点を用いて 3 次元情報に復元したジオメトリのデータベース(リファレンスデータベース)作成部分である。二つ目は、カメラ位置を知りたい画像を用意し、画像特徴点を作り、作成した特徴点データベースを検索し、パターンマッチングをすることで、3 次元でカメラの位置と姿勢を推定することを行う部分である。

アプローチのコンセプトとしては、丸覚えである。画像特徴点と3次元再構成したジオメトリ情報をリファレンスデータベースに現実世界の情報を覚えさせてしまい、次に問い合わせの来た画像の画像特徴点とマッチングを行うことでカメラ位置推定を効果的に行う、というものである。この画像特徴点を画像マーカ―や画像同士のマッチングなどにしか利用されていなかったところを、カメラ位置推定まで行おうという点において新規性がある。また、本アプローチを実現しようとする際には、マッチング等において組み合わせ爆発等の計算コストの問題が発生する。それに対応して並列化に対応した開発を行うことにも独自性がある。

システムの全体の概略を図 1 に示す。

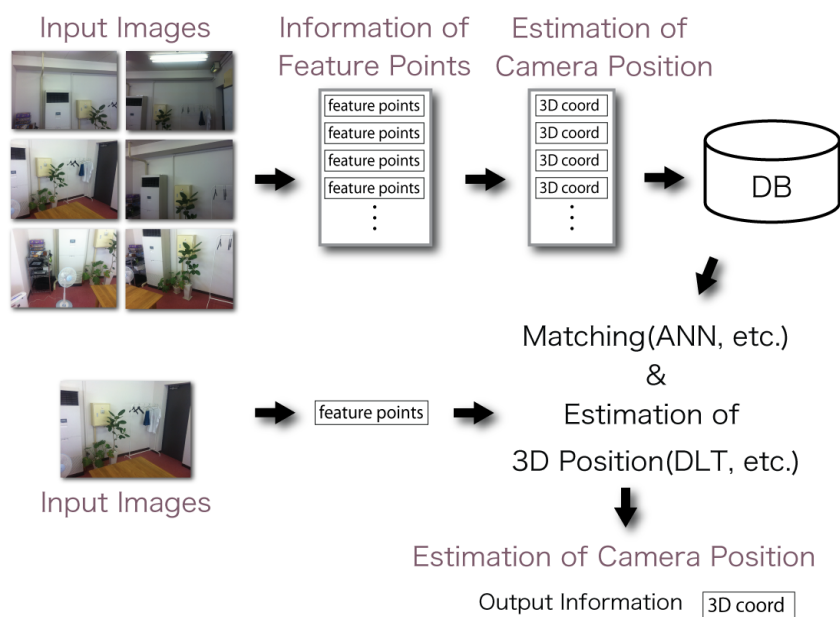


図 1. システム全体の概略図

アルゴリズムについて述べる。まず始めに入力画像それぞれに対して、特徴点を抽出する。特徴点の抽出は、精度の面を考え、SIFTを利用することとした。特徴点の抽出はパラメータに依存するが、数千個程度取得できる。

その次に、入力画像から任意の 2 枚の画像を選び、それぞれの画像の特徴点が同じ物理的場所をさしているかどうか、マッチングを行う。このマッチングの際には、数千個×数千個のマッチングを、画像数 n とした際、組み合わせ nC_2 回分、実行を行う。そのため、計算量は入力画像数 n のとき $O(n^2)$ となる。そのため、入力画像数が増えると組み合わせ爆発がおこるため、並列化は必須となる。

2 つの画像のマッチング後、エピポラ幾何学を用いて、画像を取得したカメラ間の関係を求めることができる。そのために、Homography 行列(H:平面射影変換行列)と基礎行列(F)を計算で求める。そこから画像間の回転 R(Rotation)、並進 t

(Translation)を行行列計算から求める。この結果、2つのカメラ間の相対的位置関係を定めることができる。

この計算のみでは2枚の画像のマッチングにおいて様々なノイズが入っている。これらを、計算した行列を用いてフィルタリング処理を行い、ノイズを減らすことを行う。処理としては、カメラの撮影位置がある一定の距離以上離れていることを仮定してフィルタリングを行うthreshold filter、エピポラ幾何学による3次元の奥行き関係を計算して正しい奥行き関係のマッチングのみを抽出するdepth filter、Homography 行列、基礎行列から計算される奥行き関係が合っているものを抽出するmatrix filterの3種類のフィルターをかけることを行う。

その次に、2枚の画像同士からマッチングした点同士を照らし合わせ、どのマッチングした点同士が同じ物理的場所を指しているか、さらにマッチングを行う。そうすることで、複数の画像に同じ物理的場所が映っている場合、それぞれの画像のどの点と同じ場所をさしているのか、ということが整理できる。本プロジェクトではこれをtrackと呼ぶ。複数の画像に同じ点が映っていることのつじつまを合わせて行くことによって、3次元的关系を計算することができる。

最後にこれらの計算した関係から3次元ジオメトリをおこし、3次元再構成を行う。2枚の写真からは、ステレオ(立体視)の要領で3次元再構成を行うことができる。数珠つなぎに3次元再構成した結果に、3次元再構成した結果を突き合わせ、相対座標系同士のため、スケールや回転、位置について、つじつまが合うように調整していくと、複数枚の3次元再構成が可能となって行く。本プロジェクトではこれをbundlerと呼んでいる。

この3次元再構成した結果に対して、入力画像から特徴点抽出した結果などを計算し、近似最近傍探索(Approximate Nearest Neighbor Searching)などを用いてマッチングし、DLT(Direct Linear Transformation)法などを用いて、カメラ位置を推定し、その結果を位置推定結果として返す。

システムに関しては、マルチプロセスのシステムを実装し、メッセージキュー(RabbitMQを用いて実装)を活用して、写真それぞれの特徴点の抽出部分、写真同士のマッチングからエピポラ幾何学によりカメラ位置関係の推定計算部分、フィルタリング部分などを分散化することを行った。また計算結果については、状態をリレーショナルデータベースのMySQLに、結果などのデータをKeyValueストア型のデータベースであるRiakに格納するようにしている。

また、システムの計算の進行状況や計算結果を確認するためにWebベースのデータマネジメントツールを制作した。これにより、計算の結果の確認、入力写真と特徴点抽出の結果、マッチングの結果、フィルタリングの効果、カメラ同士の計算結果などの把握を容易にする仕組みを構築した。

10. プロジェクト評価

本プロジェクトは、地理空間においてカメラ位置を、撮影方向を含め、数センチ単位で特定するための技術である。GPS などを実現する特定情報は、数十センチ単位で仰角をふくめた方向を特定することが難しい、マーカーを使用した位置の特定は、そもそもマーカーの配置を前提としており、特定用途向けと言わざるをえない。ここに一石を投じるベース技術となりうるのが本プロジェクトである。

ただ、PhotoSynth や、各種既出テクノロジーと比較し、そのユニークさと優位性を明確にするために、多くの人が容易に理解できるキラーアプリケーションを見つけ出すことをプロジェクトの採択時の条件とし、本プロジェクト内での検討を重ねたが、最終的にはシステムの構築とともにそれを具体化するには至らなかった。

プロジェクトの当初目標の達成度合いは、満点とは言えないものの、非常に Challengeable な課題に、正面から取り組んだ事については高く評価したい。西村氏は、会社を設立しすでに起業している。成果物を活用したさらなる発展を期待したい。

11. 今後の課題

本プロジェクトの結果の普及や実用化に向けて、下記の開発を必要としている。

- (1) 3次元ジオメトリ作成部分の高精度化
- (2) 位置推定部分に簡単に操作できるユーザインタフェースの制作
- (3) データベースのAPI化
- (4) 対象環境ごとのデータベースの構築の自動化
- (5) 他のセンサーとの併用

本プロジェクトの手法では3次元の位置と姿勢情報がとれるため、3次元の位置・姿勢情報に特化したアプリケーションをパッケージ化し、開発しつつサービスになる仕組みを考えて、まずは実用化させ、その後、ビジネスとして普及させて行く。

アプリケーションとしては、まずは産業用途、具体的には工場内などの点検作業の応用が考えられる。例えば、ヘルメットにライトを設置するかのようカメラを設置し、ある場所に来たら、チェック表とマニュアルが表示されるようにすることや、配管の工事履歴をその場で表示するようするというアプリケーションが挙げられる。