

スマートフォンを用いた失敗の少ない高解像度パノラマ画像の撮影・共有システム

東剛秀^{†1} 小田謙太郎^{†2} 下園幸一^{†2} 山之上卓^{†2}

スマートフォンのセンサ情報を用い合成の失敗を少なくし、外部サーバ処理による高解像度画像処理を行い、写真共有機能を有する実用的な高解像度パノラマ画像撮影共有システムを提案する。

An Integrated System with a Smartphone for Robust High-Resolution Panoramic Image Stitching and Social Network Sharing of the Image

TAKAHIDE HIGASHI^{†1} KENTARO ODA^{†2}
KOICHI SHIMOZONO^{†2} TAKASHI YAMANOUÉ^{†2}

This paper discusses a practical system with a smartphone. The system takes advantages of built-in sensors of a smartphone for robust stitching, achieves high-resolution image processing using high-performance external servers, and provides social network sharing function of the image.

1. 序論

1.1 背景

近年、ブロードバンドインターネットの普及により、ほとんどの家庭で、ストレス無く大容量のデータを送受信できるようになった。また、カメラ付き携帯電話の普及や、個人ホームページやブログや SNS 等の普及により、デジタル写真を利用する機会が増加している。

一方、全方位パノラマ画像というものを目にする機会が増加した[1]。これはある地点から 360 度分の写真を撮影し、切れ目なく繋ぎあわせた画像で、通常の写真と比べて広い範囲を写真に収めることができる為、臨場感があると考えられる。全方位パノラマ画像は Google や Microsoft が Web 上で提供している Google Street View や Streetside 等の路上景観サービスで利用されており、ユーザは実際にその場で風景を見ているかのように画像を表示できる。

しかし、ストリートビューサービス上で提供されていない画像の提供が不可能である点や、撮影時に偶然遭遇した遮蔽物によって風景が隠されてしまっている場合の再撮影に時間が掛かる点が問題として挙げられる。さらに、一般ユーザがストリートビューサービス上に全方位パノラマ画像を投稿しようとした場合、

- 高価な全方位パノラマ画像撮影専用の機材を用いての撮影
- 撮影した複数の通常の写真から全方位パノラマ画像を合成

- スマートフォン上で動作する全方位パノラマ画像作成アプリケーションによる撮影

のいずれかを行わなければならないが、1 つめの手法では専用のカメラ自体が非常に高額[2]であるため、一般ユーザが所持するのは難しい。また、2 つめの手法ではパノラマ画像作成アプリケーションを使用する。パノラマ画像作成アプリケーションは、写真から特徴点と呼ばれる箇所を探査し、特徴点が重なる場所を合成する[3] (図 1)。しかし、空や壁が写った写真からは正しい結果が得られないことがある為、合成に失敗する可能性がある。さらに、3 つめの手法ではスマートフォンのみを用いて撮影を行うため、完成した全方位パノラマ画像の解像度が低く、実用的でない。

そこで今回は、誰でも手軽に全方位パノラマ画像を作成・共有できるようにすべく、システムを考案、試作した。

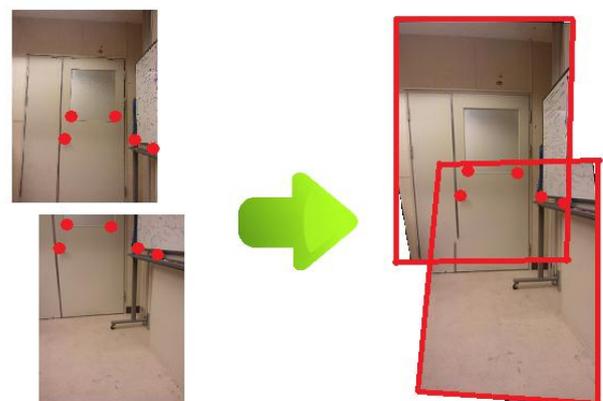


図 1 特徴点から写真を合成 (左: 合成前, 右: 合成後)

^{†1} 鹿児島大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University

^{†2} 鹿児島大学学術情報基盤センター
Computing and Communications Center, Kagoshima University

1.2 研究目的

本研究では、特殊な機材を用いずに一般的な機材のみを用いて、高画質な全方位パノラマ画像を作成・共有できるようにすること、及び特徴点の検出が不可能な写真を正確に合成可能にすることを目的とし、システムの考案、試作を行った。

2. 提案システムの概要

2.1 開発方針

今回考案したシステムの概要は、以下のようになる。

- ユーザが任意の場所で全方位分の画像を撮影し、撮影時の情報と共にネットワークサーバにアップロードする。
- ネットワークサーバは受け取った情報を保存し、画像を画像処理サーバにアップロードする。
- 画像処理サーバは、受信した画像を基に全方位パノラマ画像を作成する。
- 完成した全方位パノラマ画像をネットワークサーバに送信する。

全方位パノラマ画像の撮影機器としてスマートフォンを用いる。スマートフォンを採用した理由として、

- 一般ユーザでも入手が容易である
 - 携帯性に優れている
 - 高画質なカメラ機能が搭載されている
 - 加速度センサや地磁気センサ等の各種センサが搭載されている
 - インターネット通信機能が搭載されている
- という点が挙げられる。

スマートフォンに搭載されている加速度センサと地磁気センサを利用することで、カメラの向いている方角、仰俯角を正確に記録しながら撮影をすることができる。これにより、全方位パノラマ画像を作成するのに必要な画像を全て撮影できているかどうかを判断することができる。さらに、加速度センサを利用することで、手振れが抑えられている瞬間に撮影をすることが可能になる。

ネットワークサーバを用いる理由として、

- インターネット上での応用が容易になる
 - 画像処理サーバへの負担を軽減することができる
- という点が挙げられる。

画像処理サーバを用いる理由として、

- 高解像度の全方位パノラマ画像を作成可能となる
 - スマートフォン単体の場合と比べ高速で画像の合成が可能となる
 - スマートフォンの電力消費を抑えられる
- という点が挙げられる。

2.2 既存の関連技術

現在、Android 用のアプリケーションストアである Android Market 上には、既に Robot View[4]という全方位パ

ノラマ画像作成用アプリケーションが存在する。

Robot View (バージョン 0.1.8) で撮影した全方位パノラマ画像を図 2 に示す。



図 2 Robot View による全方位パノラマ画像作成例

図 2 において(a)の部分には「Android プログラミング入門」という参考書が写っているが、解像度が低く、文字が判別しにくい。さらに、(b)の部分は 1 台のディスプレイが 2 台に分かれて合成されてしまっている。また、この画像の合成には 3 分 50 秒必要であった。このように、画像の解像度や合成品質が悪く、処理速度も遅くなってしまっている。なお、本論文での合成品質とは、合成によって得られた画像が実際の見た目と比べて異なっているかどうかを表す。

また現在、パノラマ画像を共有するサービスとして、既に Panoramio, Photosynth, Dermandar 等、様々なサービスが存在しているが、これらは PC から投稿することを前提に作られているものや、閲覧に専用のビューアが必要なものが多く、スマートフォンからの投稿や閲覧が難しい。また、Android 用、もしくは iPhone 用のアプリケーションを提供しているサービスも存在するが、これらも画像の解像度や合成品質が悪く、処理速度の遅いものが多い。

著者らは、全ての処理をスマートフォンのみで行っているために合成品質が悪く、処理速度が遅くなってしまっているのではないかと考え、改善策を考案した。

2.3 提案手法

写真の撮影をスマートフォンで行い、写真の合成を画像処理サーバで行うことで処理速度を改善できるのではないかと考えた。

また、特徴点を抽出できない空や、同一の特徴点が大量に検出されてしまう壁等を撮影した場合でも、撮影された時点でのセンサ情報を基に、正しく写真を合成することが可能になるのではないかと考えた。

さらに、撮影時の情報や合成した全方位パノラマ画像をネットワークサーバに保存することで、容易に全方位パノラマ画像を共有できるのではないかと考えた。

今回考案したシステムの概要図を図 3 に示す。



図 3 提案システムの概要図

3. システムの実装

本システムは、ユーザがセンサを搭載したスマートフォンを用いて、屋内外等の様々な場所で撮影することを想定している。

全方位パノラマ撮影に必要な知識の無いユーザでも撮影ができるようにするため、ユーザはスマートフォン上で動作している本アプリケーションの指示に従い全方位パノラマ画像の作成に必要な写真を撮影する。この時に撮影した瞬間の加速度センサ情報と地磁気センサ情報をファイルに記録する。撮影した写真と加速度センサ情報と地磁気センサ情報はインターネットを介してネットワークサーバに転送する。

ネットワークサーバでは撮影時の日時や位置情報等を保存し、画像を画像処理サーバへと転送する。

画像処理サーバではパノラマ画像作成アプリケーション[5]を用いてスマートフォンから送られてきた写真とセンサ情報を基に全方位パノラマ画像を作成する。作成した画像はインターネットを介してネットワークサーバに転送する。

本システムを実現するために、スマートフォンのアプリケーションではスマートフォンの以下のハードウェアと機能を組み合わせて試作した。詳しくは 3.1 節で述べる。

- カメラ機能
- 加速度センサ
- 地磁気センサ
- GPS 機能
- オーバーレイ機能
- 通信機能

3.1 スマートフォン

今回は代表的なスマートフォンの 1 つである Android 端末上で動作するアプリケーションを開発した。

3.1.1 オーバーレイ機能

Android では、カメラのプレビュー画面の上に、画像や文字等を重ねて表示することができる。この機能をオーバ

レイ機能という。今回開発したアプリケーションでは、ユーザに撮影状況を分かりやすく伝えるために、カメラのプレビュー画面に 3 つのオーバーレイを重ねて表示している。オーバーレイに撮影状況をリアルタイムに表示することが可能であるため、ユーザはカメラで撮影を行いながら撮影状況を把握することができる。

オーバーレイは役割毎に以下のように分かれている。

- 全方位を表す長方形を表示するもの
- 撮影した写真を、上記の長方形に対応する位置に縮小して表示するもの
- スマートフォンが向いている方向や手ブレ等の情報を表示するもの

以上のオーバーレイを実際のスマートフォンでは図 4 のように表示している。



図 4 実際の撮影画面：オーバーレイの説明

3.1.2 アップロード機能

撮影が終了すると、撮影時のセンサ情報を基にファイルを作成する。このファイルには、後の 3.3.1 節で述べる仮想特徴点を記入している。このファイル、及び撮影した写真はネットワークサーバを介して画像処理サーバにアップロードされる。

3.1.3 センサによる撮影補助機能

今回試作したシステムでは、ユーザができるだけ負担を感じることなく全方位パノラマ画像を撮影できることを目標としている。

そこで、今回開発したアプリケーションでは、地磁気センサと加速度センサを用いて、撮影時にユーザを補助する機能を実装した。具体的には、撮影した地点から地磁気センサに一定の変化量があった場合にシャッターを切るようにしている。これにより、ユーザが Android 端末を持って

その場でゆっくり回転するだけで、自動的にシャッターが切られる。また、撮影時の手ぶれ検出機能として、加速度が一定以上であった場合、手ぶれをしている状態だと判断してシャッターを切らないようにしている。

3.2 ネットワークサーバ

Android 端末から送信された写真や位置情報、センサ情報等をデータベースに登録し、写真や撮影時のセンサ情報を画像処理サーバへ転送する。

また、画像処理サーバから結果を受け取り、センサ情報等と同じようにデータベースに登録する。

さらに、ユーザが自由に閲覧・編集できるように、Web ページを作成する。Web ページには、

- 過去に投稿された画像の全てを Google Maps, 及び Google Street View 上に表示する Index ページ
- 選択した画像を閲覧するための Show ページ
- 投稿した画像の位置情報や撮影日時を編集するための Edit ページ

の3つが存在する。

3.2.1 Index ページ

投稿された画像が Google Maps, 及び Google Street View 上に表示される (図 5)。

ユーザはこのページから閲覧・編集したい画像を選択する。選択をすると画像、閲覧ページ、編集ページ、削除ボタンがインフォウインドウに表示され、ユーザはここから操作を実行する。

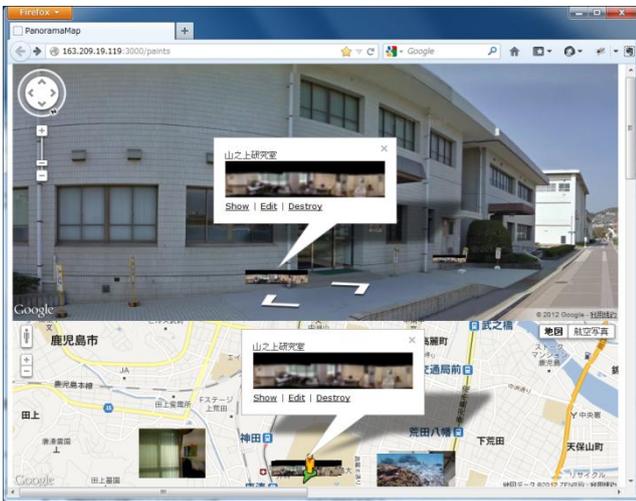


図 5 実際の Index ページ

3.2.2 Show ページ

投稿された画像が表示される (図 6)。

画像をマウスのドラッグやスマートフォンのフリック操作で移動できる他、パノラマ画像を左右の切れ目なく表示する機能や、拡大縮小をするためのスライドバーが実装されており、ユーザは自分の見たいように操作することができる。

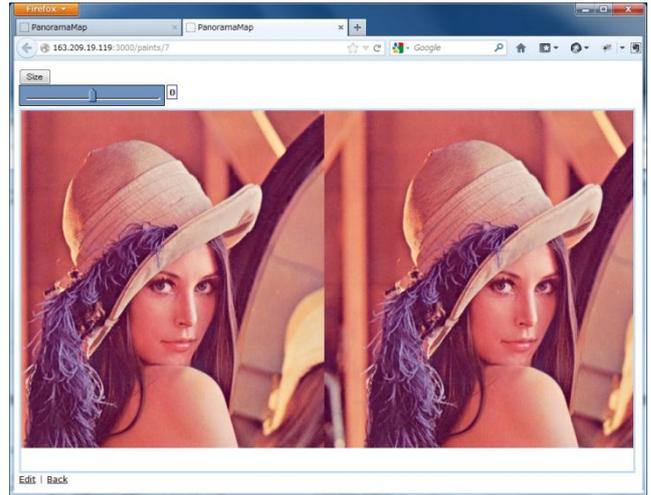


図 6 実際の Show ページ

3.2.3 Edit ページ

投稿された画像のタイトルや位置情報等、基本的な情報を更新することができる (図 7)。

また、位置情報の更新を簡単にするために、Google Maps を用いている。ユーザは緯度経度の正確な値を調べることなく、Google Maps の該当地点をクリックすることで緯度経度が自動的にフォームに入力される。

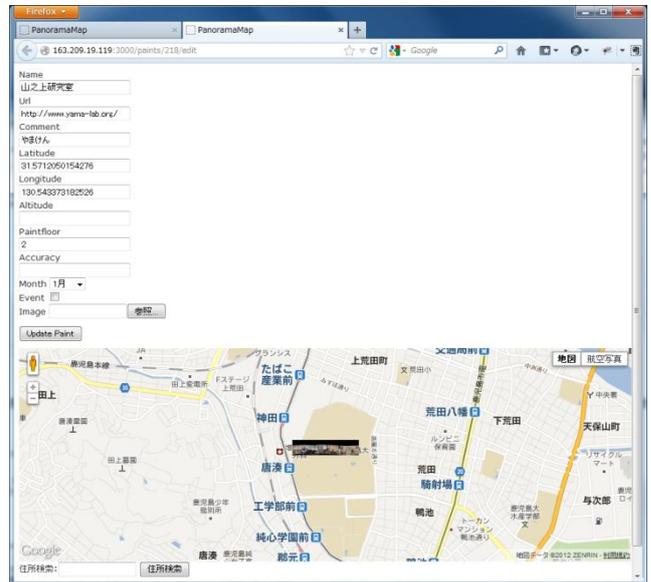


図 7 実際の Edit ページ

3.3 画像処理サーバ

ネットワークサーバから受信したファイルをパノラマ画像作成アプリケーションに入力し、全方位パノラマ画像を作成する。今回採用したパノラマ画像作成アプリケーションでは、合成の際に Auto Stitch を用いている。

しかし、一般に SIFT[6]等のコーナーの特徴点を画像の合成に用いる方法では、空からは特徴点自体が抽出できず、

また、壁からは壁一面の同一の特徴点しか抽出できず、正しい結果が得られない。

3.3.1 仮想特徴点

そこで、この問題を解決する為に、撮影時に方位、仰俯角を記録しておき、全方位パノラマ画像作成時に特徴点が発見できなかった場合は撮影時の方位や仰俯角を基に、対応していると思われる位置に自動的に特徴点を付加するようにした。

今回は、以下の2点を撮影する際の条件とした。

- 撮影を開始した地点から端末が移動しない
- ワールド座標系の Y 軸とローカル座標系の X 軸が直交している (図 8)

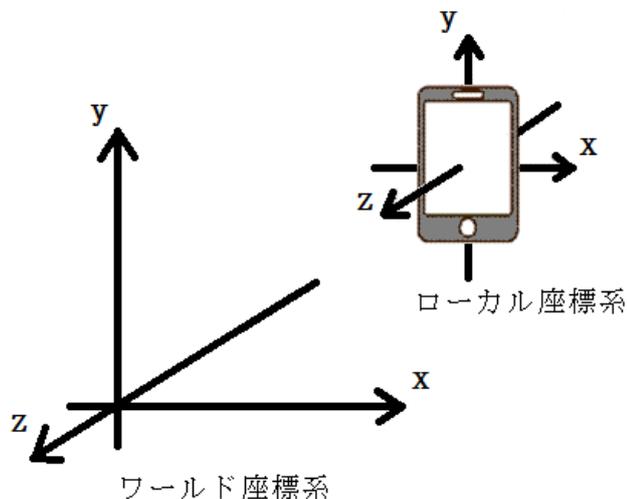


図 8 ワールド座標系とローカル座標系

合成したい写真を2枚撮影した場合、撮影した2枚の画像の中央に特徴点を付加する (図 9)。次に、スマートフォンのセンサから、1枚目の写真を撮影してから2枚目の写真を撮影するまでに、スマートフォンが何度回転したのかを求める。回転した分だけ写真にはズレがあるため、2枚目の特徴点をずらし、特徴点として記録する。

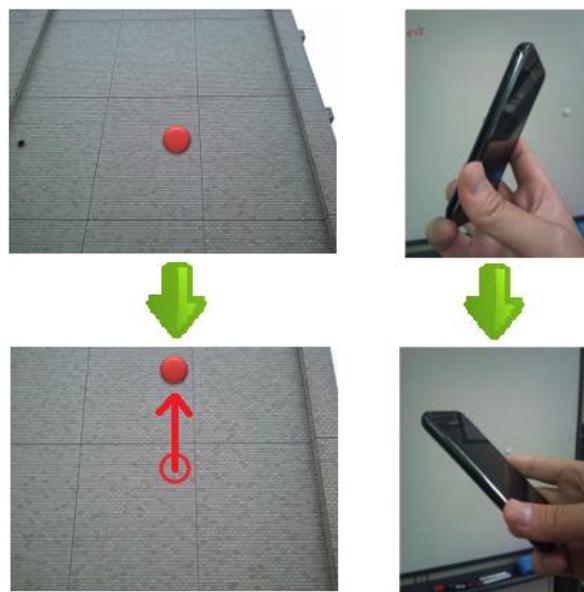


図 9 仮想特徴点の求め方

実際にこの手法で合成した写真を図 10 に示す。仮想特徴点を配置する前の状態では合成が不可能であったが、配置後は合成が可能となった。

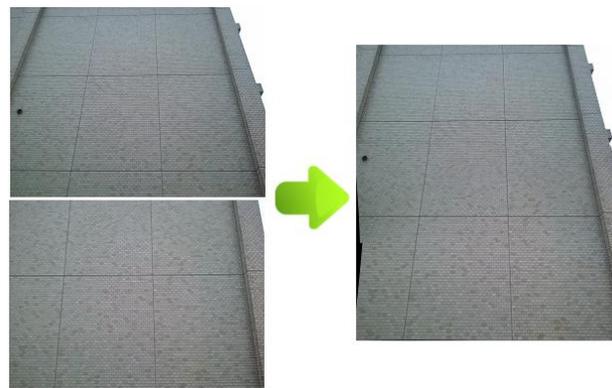


図 10 仮想特徴点を用いた合成結果

また、全く同じ写真を用いて、仮想特徴点を用いない合成と、仮想特徴点を用いた合成を行った。その結果を比較したものを表 1 に示す。

表 1 仮想特徴点の有無による合成成功率の比較

	試行回数	合成成功回数	合成失敗回数
仮想特徴点なし	20 回	1 回	19 回
仮想特徴点あり	20 回	19 回	1 回

仮想特徴点を用いたことで、合成成功率が大きく向上した。

4. 結果

今回試作したシステムを以下の表 2 に示す機器に実装し、評価を行った。

表 2 使用機器

	OS	CPU	メモリ
スマートフォン	Android 2.2	S5PC110	512MB
ネットワークサーバ	Ubuntu 11.10	Core i7-2600	1GB
画像処理サーバ	Windows 7 Professional 64bit	Core i7-2600	16GB

また、作成された全方位パノラマ画像を図 11 に示す。図 11 は図 2 と同じ向きで、同じ枚数の画像を、今回試作したシステムで撮影し、合成を行ったものである。図 11 は次頁の付録に大きい画像を用意している。



図 11 試作したシステムで作成した全方位パノラマ画像

図 12 は解像度を比較するために図 2 の(a)の部分拡大したものであり、図 13 は図 11 の上で図 12 と同じ部分を拡大した図である。

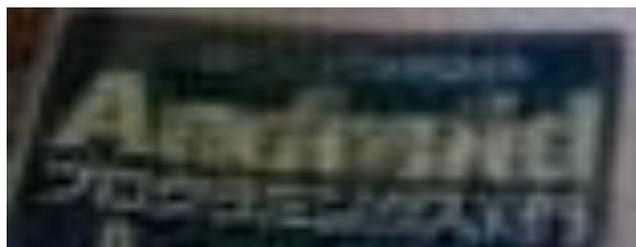


図 12 Robot View で撮影した画像の解像度比較画像



図 13 試作システムで作成した画像の解像度比較画像

図 14 は合成品質を比較するために図 2 の(b)の部分拡大したものであり、図 15 は図 11 の上で図 14 と同じ部分を拡大した図である。



図 14 Robot View で撮影した画像の合成品質比較画像



図 15 試作システムで作成した画像の合成品質比較画像

画像サイズ、処理時間、撮影時間、画像容量を比較した表を表 3 に示す。試作したシステムの処理時間は、スマートフォンからネットワークサーバへのファイル転送時間、ネットワークサーバから画像処理サーバへのファイル転送時間、画像処理サーバからネットワークサーバへのファイル転送時間、パノラマ画像合成時間を合わせたものである。

表 3 既存アプリケーションと試作したシステムの比較

	サイズ (px)	1px 当たりの総処理時間 (μs)	撮影時間 (s)	処理時間 (s)	画像容量 (MB)
Robot View	3000 × 1500	51.1	47	183	0.235
試作システム (Wi-Fi)	19552 × 3633	3.2	82	145	43.771
試作システム (3G)	19552 × 3633	5.63	82	318	43.771

試作システム(※)	3000 × 1500	3.2	82	14.4	43.771
-----------	-------------	-----	----	------	--------

※実験を行っていないが、Robot View と同じ解像度の全方位パノラマ画像を作成した場合の処理時間を、1 ピクセル当たりの総処理時間から求めたもの。

表 3 から、試作システムは Robot と比較して、解像度は約 16 倍、1 ピクセル当たりの処理速度は約 16 倍という結果が得られた。

5. 関連研究

全方位の画像を取得する手法として、HyperOmni Vision[7]という、双曲面ミラーを用いた手法も存在している。

Microsoft が提供している Photosynth[8]は、インターネット上で公開されている複数の写真を立体的に配置し、三次元空間を再現する Web サービスと、パノラマ画像を撮影する iPhone アプリケーションがある。iPhone アプリケーションの Photosynth は、画像処理サーバを用いずに、端末で全ての処理を行っているため、撮影から合成結果の確認までが非常にスムーズに行えるものの、解像度や合成品質が悪いという問題がある。この問題点は他のアプリケーションである Robot View や 360 Panorama[9]でも同様である。

これに対して本システムでは、画像処理サーバを用いることで、高品質・高画質な全方位パノラマ画像を撮影することが可能であり、撮影した画像は解像度が高いため、観光地や施設の紹介等、プロモーションにもそのまま用いることが可能である。

また、各アプリケーションの詳細を比較した表を表 4 に示す。

表 4 関連研究の詳細比較

	解像度	合成品質	センサ使用	サーバ処理	端末の消費電力	特殊機材
Photosynth	△	△	○	×	×	不要
Robot View	△	×	○	×	×	不要
360 Panorama	△	△	○	×	×	不要
一眼レフカメラパノラマ撮影	○	○	○	×	—	必要
試作システム	○	○	○	○	○	不要

6. まとめ

今回、写真撮影の専門知識を持たない一般ユーザでも容易に全方位パノラマ画像を作成・共有できるシステムを実現するために、システムの考案、Android 端末上で動作するアプリケーションの開発、ネットワークサーバ上で動作するプログラムの作成、画像処理サーバ上で動作するプログラムの作成（既存の技術を用いるため、一部に市販のアプリケーションを使用）、仮想的に特徴点を求める技術の実装等を行った。

また、スマートフォンに搭載されている方向センサを用い、仮想的に特徴点を求め、合成の際に利用することで、画像から特徴点を抽出することが不可能な画像の合成が可能になった。

画像処理サーバを用いたことで、従来のものと比べ、解像度は約 16 倍、1 ピクセル当たりの処理速度は約 16 倍という結果が得られた。

さらに、ネットワークサーバを用いたことで、全方位パノラマ画像共有サービスの実現や、SNS 等への全方位パノラマ画像投稿等、高解像度の全方位パノラマ画像をインターネットで容易に利用することも可能になった。

今後は、さらなる撮影時間や処理時間の短縮、仕様の違う端末への完全対応等を行う予定である。

参考文献

- 1) 中村心哉, 林友彦, 桑島茂純: 広がる全方位パノラマ画像応用, O plus E, Vol.30, No.12, pp.1324-1330 (2008).
- 2) Immersive Media: Immersive Media,
- 3) <http://www.immersivemedia.com/products/capture.shtml>
- 4) Matthew, B. and David, G.L.: Automatic Panoramic Image Stitching Using Invariant Features, International Journal of Computer Vision, Vol.74, No.1, pp.59-73 (2007).
- 5) the Vegan Robot: Android Phone Panorama Stitcher,
- 6) <http://theveganrobot.com/>
- 7) New House Internet Services B.V.: photo stitching software 360 degree panorama image software,
- 8) <http://www.ptgui.com/>
- 9) David, L.: Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints, International Journal of Computer Vision, Vol.60, No.2, pp.91-110 (2004).
- 10) 山澤一誠, 八木康史, 谷内田正彦: 移動ロボットのナビゲーションのための全方位視覚センサ HyperOmni Vision の提案, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J79-D-2, No.5, pp.698-707 (1996).
- 11) Noah, S., Steven M., Seitz and Richard S.: Photo Tourism: Exploring photo collections in 3D, ACM Transactions on Graphics, Vol.25, No.3, pp.137-154 (2006).
- 12) Occipital: Occipital,
- 13) <http://occipital.com/>

付録

