

コンピュータ工学特別研究報告書

題目

4枚の360°画像のつなぎ合わせによる
立体360°画像の生成に関する研究

学生証番号 344757

氏名 高木 亮佑

提出日 平成29年1月31日

指導教員 蚊野 浩

京都産業大学
コンピュータ工学部

要約

360° 画像は、カメラを囲む全周を一枚の画像に撮影可能な 360° カメラで撮影した画像である。本研究では、RICOH の THERA S という 360° カメラを用いる。これで撮影した 4 枚の画像から立体視できる立体 360° 画像を生成した。

立体視は、左目・右目で水平方向に視差がある画像を、それぞれに提示することで実現できる。立体 360° 画像は、左目用と右目用の 2 枚の 360° 画像からなる。本研究では、それを 4 枚の 360° 画像から実現した。

プログラムにより 4 枚の画像を切り出して、つなぎ合わせることで最終的に両眼視に必要な画像を生成する。つなぎ合わせ位置は、部分画像ごとに縦方向にずれている。そのため、マウスとカーソルキーの操作によって座標の組み合わせを指定した。それを元に画像を幾何学変換させる。これにより違和感のない立体 360° 画像を生成した。

目次

1 章 序論	．．． 1
2 章 従来技術	．．． 2
2.1 360° 画像の生成	．．． 2
2.2 両眼立体 360° 画像生成の従来手法	．．． 5
3 章 両眼立体 360° 画像を生成するための提案手法	．．． 8
3.1 提案手法の概要	．．． 8
3.2 つなぎ目の位置合わせ手法	．．． 12
3.3 幾何学的な変形と合成の手法	．．． 13
4 章 提案手法の検証	．．． 15
4.1 開発したプログラムの説明	．．． 15
4.2 生成画像の例	．．． 16
4.3 考察	．．． 18
5 章 結論	．．． 19
参考文献	．．． 20
謝辞	．．． 20

1 章 序論

映画産業をはじめ工業分野や医療分野などで、両眼立体視に基づく立体画像技術が利用されている。映画産業では、専用の眼鏡を掛けることで、立体感のある映画を鑑賞できる。これは、左目画像と右目画像を高速に切り替えながらスクリーンに表示し、専用眼鏡の動作を制御することで、左目には左目画像だけが、右目には右目画像だけが見えるようにしたものである。

このような立体画像技術は、VR(Virtual Reality, 仮想現実感)の要素技術の一つである。VR が提示するものは現物や実物ではないが、人間の五感（主には視覚）を刺激することにより、仮想的に同じような環境を作り出すことができる。

工業分野における VR の利用例として、建築物の室内や外観を立体的に見えるようにすることや、窓から見える風景を事前に立体撮影し、モデルルーム内で確認するものがある。加えて、専用のメガネを装着することでモデルルームにいるかのような VR を体感できる。

また、注目されている技術として、YouTube の 360° VR がある。これは、360° 全周囲を一枚に収めた画像を、動画として共有するサービスである。実写の場合、360° カメラとよぶ特殊なカメラ（RICOH の THETA, Samsung の SamsungGear360 など）を用いて撮影する。これは、一度のシャッターで風景の一部分を撮影するのではなく、周囲を取り囲む全ての景色を一瞬にして撮影できるカメラである。

本研究では、360° 画像を発展させた立体 360° 画像を生成することに取り組む。一枚の 360° 画像で、周囲を見回す VR 画像を提示することはできる。しかし、これでは両眼立体視ができない。両眼立体視が可能なカメラはステレオカメラである。ステレオカメラは、同じ風景に対して、左目・右目に対応した 2 枚の画像を撮影できるカメラである。原理的には、ステレオカメラを 360° 回転させながら撮影した画像から両眼立体視できる 360° 画像を生成することが可能であるが、その手順は複雑である。

本研究では、RICOH の THETA を用いて 4 枚の 360° 画像を撮影する。そして 4 枚の 360° 画像から、両眼立体視するための立体 360° 画像を生成する。そして、Oculus Rift を使って、その立体 360° 画像を確認・検証する。

2 章 この研究を理解するために必要な事項を詳細に説明する

2.1 360° 画像の生成

360° 画像は、カメラの全周囲 360° を一枚の画像に収めたものである。通常のカメラの視野（画角）は狭いので、このカメラで 360° 画像を撮影することは難しい。カメラを回転ステージの上に据付け、回転させながら複数方向の写真を撮影し、それらを合成するのが一つの方法である。別の方法として、複数台のカメラを円形あるいは球面上に並べ、複数方向の写真を撮影して合成するものもある。図 1 のドーム状のものは、Google ストリートビューで利用された 360° カメラの一例である。



図 1 Google ストリートビューで利用された 360° カメラの一例

厳密に言うと、普通のカメラの視線方向を平面的に回転させながら撮影した画像から 360° 画像を生成する方法は、天頂の視野が欠ける。これを補うには、視線方向を球面上で移動させる必要がある。全周囲方向の視野欠損がない 360° 画像を全天球画像とよぶこともある。しかし、この論文ではそのような区別をせず、全て、360° 画像とよぶことにする。

360° 画像は、カメラを中心として、そこから見える全視野方向を収めた画像である。360° 画像の閲覧方法として、図 2 に示すように、視線方向を指示し、その方向の部分画像を表示することが一般的である。ユーザが指示する視線方向に応じて表示画像を変えると、ユーザにある程度の臨場感を与えることができる。



図 2 360° 画像の閲覧方法

ストリートビューなどで 360° 画像の有効性が明らかになり、360° 画像を容易に撮影できる専用カメラが開発された。そのようなカメラを 360° カメラとよぶ。一例を図 3 に示す。



図 3 360° カメラ

(<http://jp.wsj.com/articles/SB11031890582215644392604582089342263784270>)

RICOH の THETA(図 3 左下)は、代表的な 360° カメラである。これは、一度のシャッターで周囲を取り囲む全ての風景を撮影することができる。図 4 に示すように、スティック状本体の表裏に一对の魚眼レンズを取り付けている。一度に 2 枚の魚眼画像(各 180°)を撮影し、本体内で繋げることで一枚の 360° 画像として保存する。360° 画像を専用アプリで閲覧する場合、視線方向に応じて表示位置を変更することで、その空間を擬似的に体感できる。

標準レンズは画角が約 40~60° なのに対し、魚眼レンズは約 180° と広い画角で写真撮影ができるため、広い空間を撮影することに適している。その名の通り、魚の眼のように視野が広い画像が撮影できることを指す。これを利用することで一度に撮影できる範囲が広がる。撮影した 2 枚の魚眼画像に基本的な画像処理(主に 2 枚の明るさ・色味などの補正)を行い、その後につなぎ目の画像処理を行う。これは、パターンマッチング処理により、一画素ごとエリア順で 2 枚の写真間のズレを計算して繋ぎ位置を検出する。それを元に 2 枚の魚眼画像を、つなぎ目に違和感がないよう繋げている。このようにして 360° 画像を生成する。



図 4 RICOH THETA S の外観

2.2 立体 360° 画像生成の従来手法

THETA のような 360° カメラで撮影した画像に奥行きの情報はない。したがって、図 1 のように切り出した視線方法の部分画像を HMD（ヘッドマウントディスプレイ）を使って、右目・左目に表示しても立体感を感じない。

両眼立体視を行うには、左目画像・右目画像の 2 枚の画像を撮影し、それを左目・右目に提示する必要がある。この 2 枚の画像をステレオ画像とよぶ。ステレオ画像を撮影するためのカメラをステレオカメラ（図 5 左）とよぶ。図 5 の 2 台のカメラの間隔を人間の両眼の間隔に設定する。そして、2 台のカメラの画角が人間の視野角と等しければ、そのように撮影した 2 枚の画像を HMD のような 3D 表示装置で観察すると、正しい両眼立体視が可能になる。

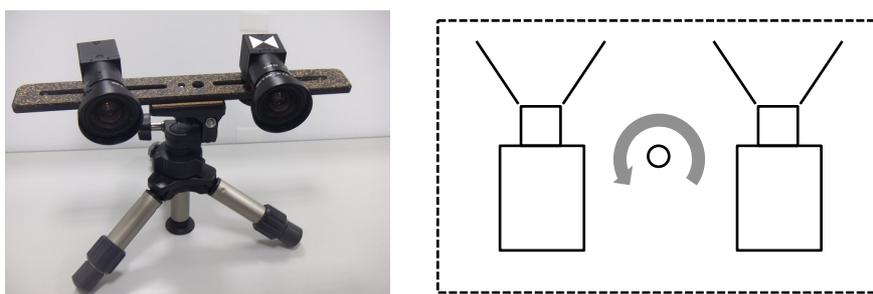


図 5 ステレオカメラの例とそれを回転させながら撮影する様子

立体 360° 画像は、図 5 の装置を回転ステージに据付け、回転させながら連続撮影した多くの画像から生成することができる。これを説明するために、図 5 右の、ステレオカメラの模式図における左側のカメラに注目する。回転ステージを回転させたとき、左側カメラの動きは図 6 のようになる。このように動くカメラで連続撮影した画像集合は、

隣り合う画像間で重なりを持ちつつ、全周 360° をカバーしたものになる。従って、これらの画像集合を継ぎ目なくつなぎ合わせることで 360° 画像生成することができる。これを左目用 360° 画像とする。同様に右目用 360° 画像を生成することもでき、これらを立体 360° 画像として表示する。文献[1]の方法は、概ね、このような方法である。

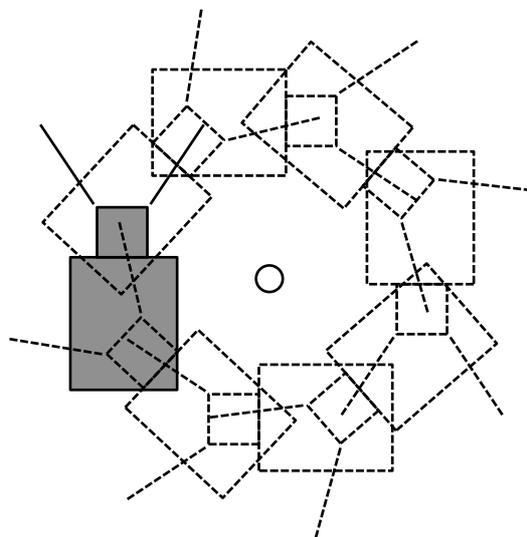


図 6 ステレオカメラを回転させた時の、左側カメラの動き

ステレオカメラを回転させながら撮影する方法は、立体 360° の静止画を撮影することは可能であるが、動画を撮影することはできない。一方、立体 360° 動画を生成することが可能なシステムが開発されている。図 2 にそのようなシステムの一例を示す。図 7 は 16 台の広視野カメラを円形配置したシステムである。図 7 のシステムで立体 360° 画像を生成する方法も、図 6 を用いて説明した方法と、原理的には同じである。



図 7 Odyssey (GoPro 社)

3章 この研究の理論・やりかた・考え方について詳細に説明する

3.1 提案手法の概要

RICHO THETA を使うことで簡単に 360° 画像を撮影できる．これによって，実写画像ベースの VR 体験が容易になった．本研究では，THETA を使った実写ベース VR 体験を立体視に進化させることを提案する．

まず直感的に，THETA でステレオカメラを作れば，それで撮影した 2 枚の 360° 画像が，立体 360° 画像になるように思われる．しかし，これは正しくない．図 8 は 2 台の THETA とそれで撮影した 360° 画像を模式的に示したものである．説明のための 360° 画像を図のように 4 箇所の部分領域に分け，それぞれに L-A, R-A のように名前をつけた．L-A 画像を左目に，R-A 画像を右目に提示すると，正しく両眼立体視ができる．L-B 画像を左目に，R-B 画像を右目に提示すると，正しく立体視ができない．なぜなら L-B 画像と R-B 画像には水平方向の視差が存在しないからである．L-C 画像を左目に，R-C 画像を右目に提示しても，正しく立体視ができない．この場合は，視差が逆方向に発生しているからである．L-C 画像・R-C 画像を提示する目を入れ替えれば立体視できる．L-D 画像・R-D 画像の組み合わせも立体視ができない．

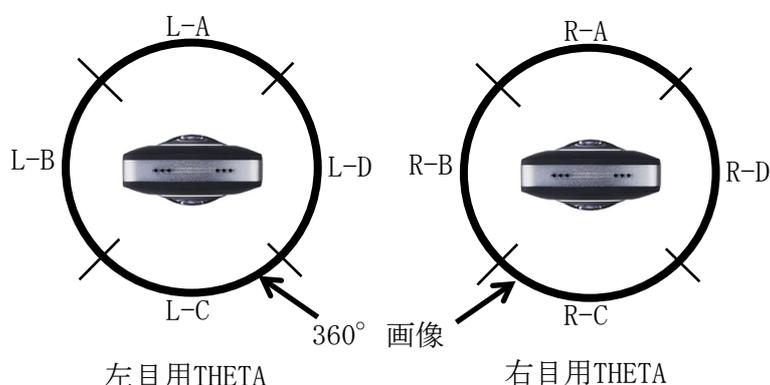


図 8 THETA を用いたステレオカメラ

2.2 節で述べた方法を採用すると，図 6 の THETA によるステレオカメラを 360° 回転させる，あるいは，多数の THETA を円形状に配置することが考えられる．しかし，これらは従来技術の踏襲であるし，前者の方法は動画を撮影できない．後者の方法は装置が大規模になる．本研究では，立体 360° 動画を撮影することが可能で，コンパクトな装置を提案する．

図 9 を用いて，提案手法の概略を説明する．提案手法では，4 台の THETA を円周上に 90° の間隔で配置する．4 台の THETA で撮影した 360° 画像のそれぞれを 4 分割する．4 分割は，(a) のように，隣接するカメラの投影中心を結んだ面と 360° 画像の画像面

が交差する位置で行う。4分割した部分画像に、L1~L4, R1~R4の名前を与える。そして、これらを(b)のようにつなぎ合わせる。

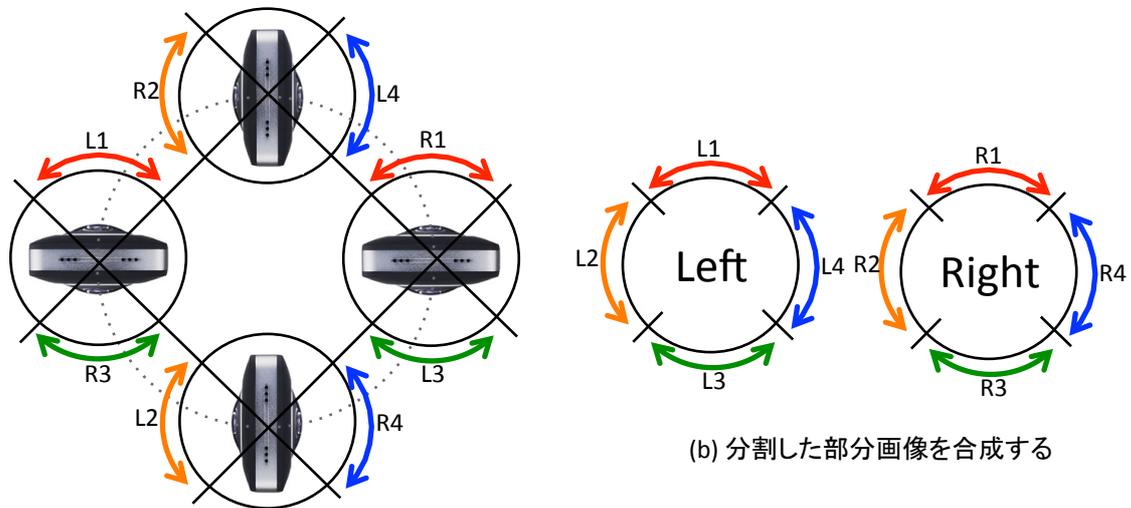


図9 提案手法の概要を説明する図

次に、この2枚の画像を立体360°画像として提示することを考える。L1を左目に、R1を右目の提示した場合、正しく両眼立体視が可能である。なぜなら(a)で確認できるように、L1・R1は正しいステレオ画像対であるから。同様にL2・R2, L3・R3, L4・R4の組み合わせも、正しく両眼立体視が可能である。ここまでの提案手法の前半であるが、これだけの処理で、概ね立体360°画像が生成できていることがわかる。

図10に4箇所撮影した4枚の360°画像の例を示す。これらは、THETAを回転ステージに乗せ、図9(a)のように、90°ごとに撮影した。これらはお互いに90°に応じた画素数だけ水平方向にずれているが、360°画像としてはほとんど同じ内容である。ただし、単純な回転移動ではなく位置の移動を伴うため、若干の視差がある。



図 10 図 9 の 4 箇所から撮影した 4 枚の 360° 画像の例

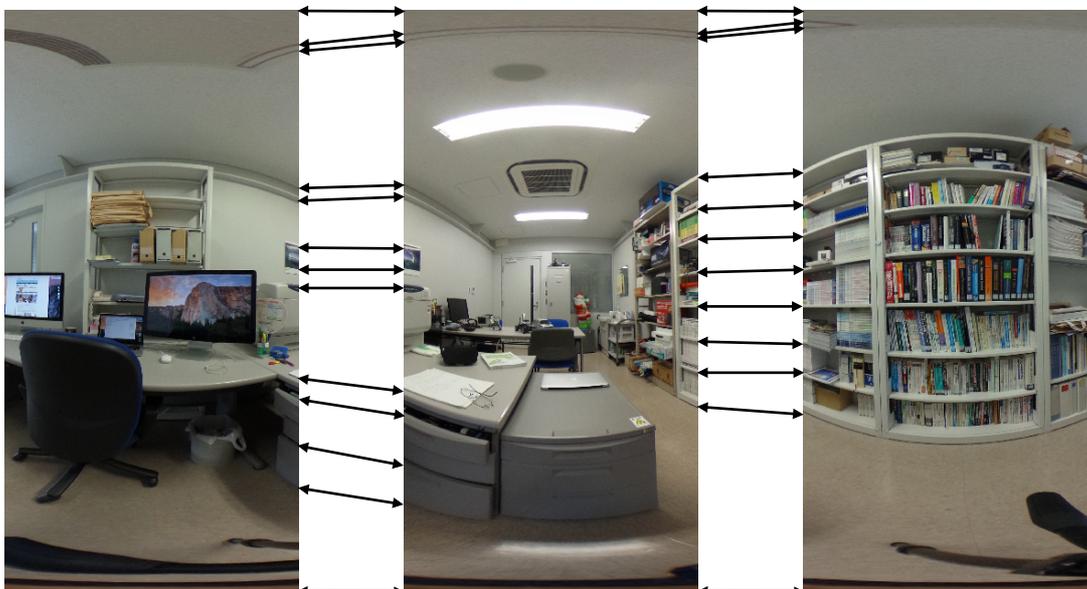
これらの画像から、図 10 で説明した方法で生成した画像の一つを図 11 に示す。図 11 の画像は、概ね正しい 360° 画像になっているが、画像のつなぎ目が少し不自然である。よく観察すると、部分画像をつなぎ合わせた位置では、上下方向にずれが生じている。ただし、水平方向のずれはない。これは、360° 画像を 4 分割するとき、隣接するカメラの投影中心を結んだ面で分割したことが理由である。



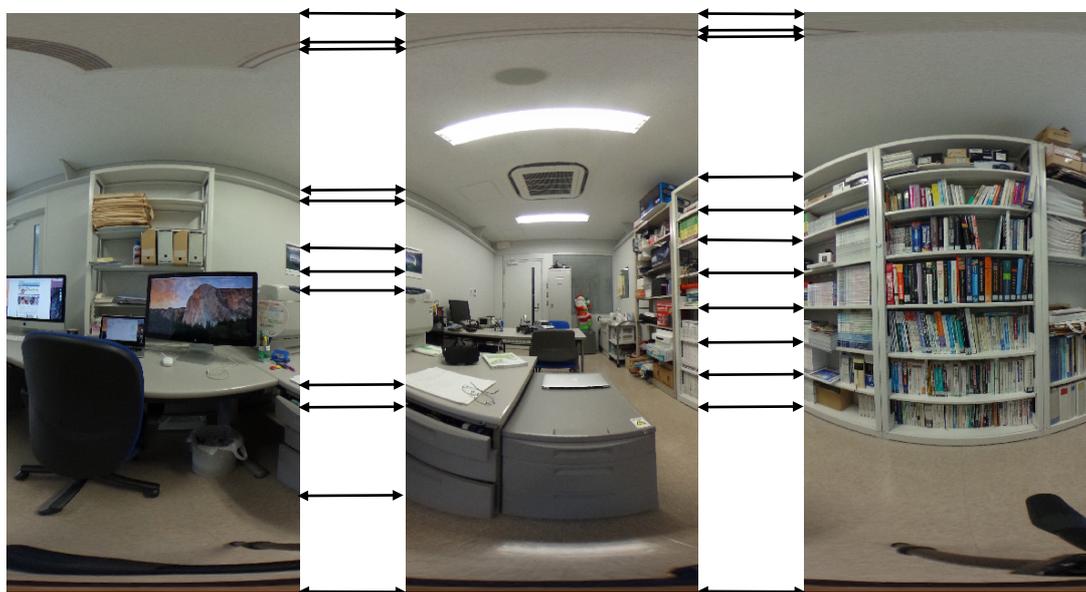
図 11 図 10 で説明した方法で生成した画像の一方

従って、ここまで説明した方法だけでは望ましい立体 360° 画像を生成することができない。部分画像のつなぎ目が連続するように補正する必要がある。その補正処理の概要を、図 12 を使って説明する。補正処理の第一段階では、隣接する部分画像でのずれ

を対応させる。第二段階では、そのずれが解消するように幾何学的な変換を加える。このような補正処理を加えた部分画像をつなぎ合わせることで、不自然なずれが解消される。



(a) 隣接する部分画像は境界で上下にずれるため、ずれの位置を対応させる。

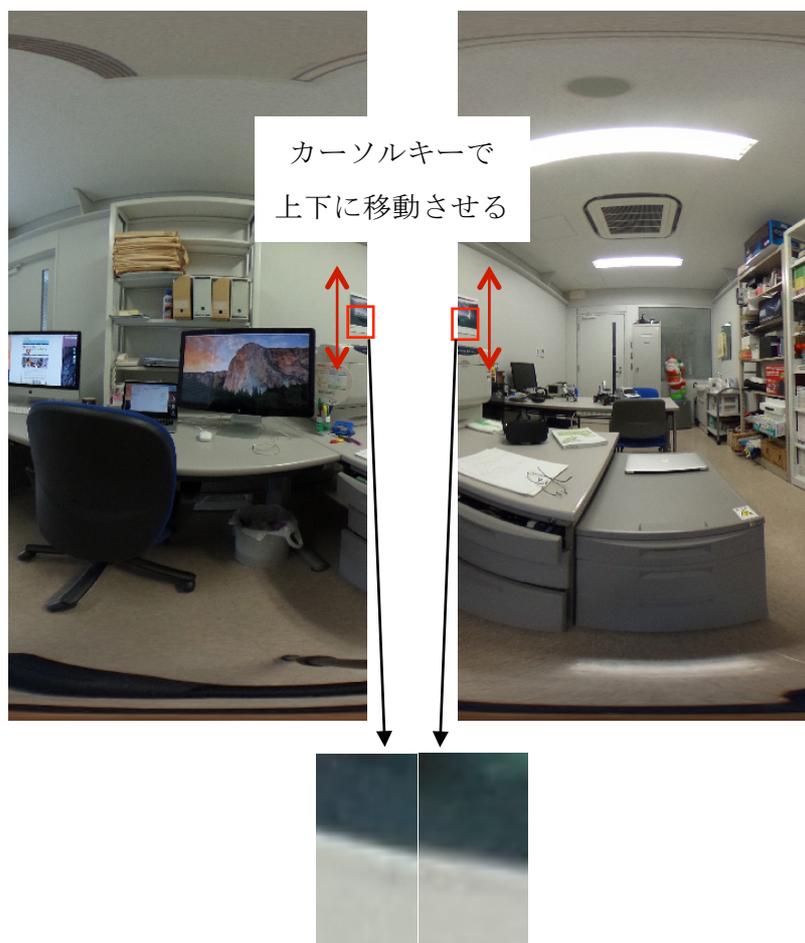


(b) ずれが解消するように幾何学変換を施し、合成する。

図 12 部分画像のずれを補正する処理

3.2 つなぎ目の対応位置を指定する方法

隣接する部分画像の間では、対応する位置は上下にだけずれる。本研究では、対応する位置を手作業で入力することとし、それを簡単かつ高精度に行うことができるプログラムを開発した。



対応させた領域を拡大し、
並置することで視認を容易にする。

図 13 隣接する部分画像の間で対応する位置を指定する方法

まず接続する2画像を、図13のように、ディスプレイに表示する。対応箇所をマウスで大まかに指示するために、2箇所をクリックする。すると、クリックした位置から水平に移動した端部の部分拡大画像が、並置して表示される。また、元の全体画像では該当箇所を四角形でマークする。並置した部分拡大画像を見ると、クリックした位置の上下関係をはっきりと認識することができる。

この部分拡大画像でキーボードのカーソルキーを用いて、細かなズレを修正する。表示画像は元画像を拡大して表示しているため、細かく表示画像を更新できるようにしたい。そこで、指定箇所を一画素単位で動かすことができるようにした。これにより、カーソルキーによる細かな座標変更に対して、表示部分が適宜、自動的に更新される仕様になっている。ユーザが座標の移動について、大部分をマウスのクリックで指定し、細かな部分の修正はカーソルキーで行える。つまり、ユーザが視認しやすくしている。

ズレの修正量が決まると、「Enter キー」で決定する。ここまでの対応点指定までの一連の動作を、他のつなぎ目で繰り返し行うことで、変更する座標を複数指定する。最後に、指定した座標をテキストデータとして保存する。これを元に、次節で説明する幾何学的変換を行い、つなぎ目が滑らかになるよう修正を行う。

3.3 幾何学的な変形の方法

この章では、幾何学的な変形と合成の手法について、説明する。幾何学変換の一般的な方法として、図 14 のように変換後の画像の座標 (x, y) に対応する元画像の座標 (x', y') は、 $G(x, y) = I(x', y')$ と表せる。

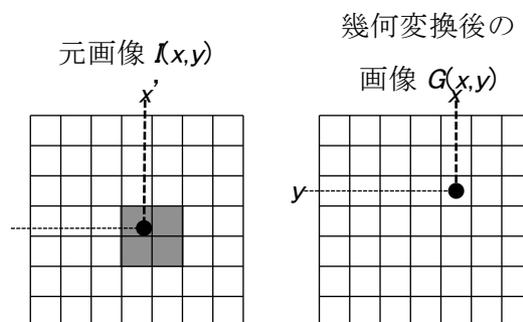


図 14 幾何学変換の一般的な方法

ここで問題なのが、 (x, y) を画素位置に対応した整数座標とすると、変換後の座標 (x', y') は、一般に実数座標になることである。座標のみを変換して移動するだけならこれで問題ないのだが、本研究では画像処理を行う幾何学変換なので、無視して行うと変換座標の周囲が不自然になる。従って $I(x', y')$ の値は (x', y') 近傍の整数座標をもつ画素値から補間する必要がある。

そのため、近傍の 4 画素からバイリニア補間する方法で行った。バイリニア補間とは、別名で線形補間法や双直線補間法と呼ばれる。これは、補間対象となるピクセルを近接 4 つのピクセル値を参照することで割り出す方法である。つまり、近接の 4 つのピクセル

ル値を用いて，重み付け平均を行うことで，ピクセルを補間する．

4章 この研究で行った実験の結果と考察について記述する

4.1 開発したプログラムの説明

本研究では，入力した4枚の360°画像を，2章で述べた方法で立体360°画像の元になる画像に変換し，そしてつなぎ目部分の修正を行う．修正したい部分をマウスで選択し，細かな部分をキーボードの↑↓で決定する．決定した座標データをテキストデータとして保存する．その座標を基にして画像の変換処理を行う．そして，左右2枚の両眼立体視用の360°画像を生成する．

開発したプログラムの操作画面を図15に示す．操作は3段階に分かれている．それぞれ，1.画像ファイルの入力，2.対応点の入力と画像の修正，3.最終の画像生成，となっている．1.の画像の入力を行わなければ，2や3は実行できない．これによりユーザ操作を限定している．入力ミスしたとしても再入力でき，その時点でプログラムが終了してしまわない．

対応点の入力から幾何学的変換まで行った最終画像が望ましい状態でなければ，再度対応点の入力を行うことができる．

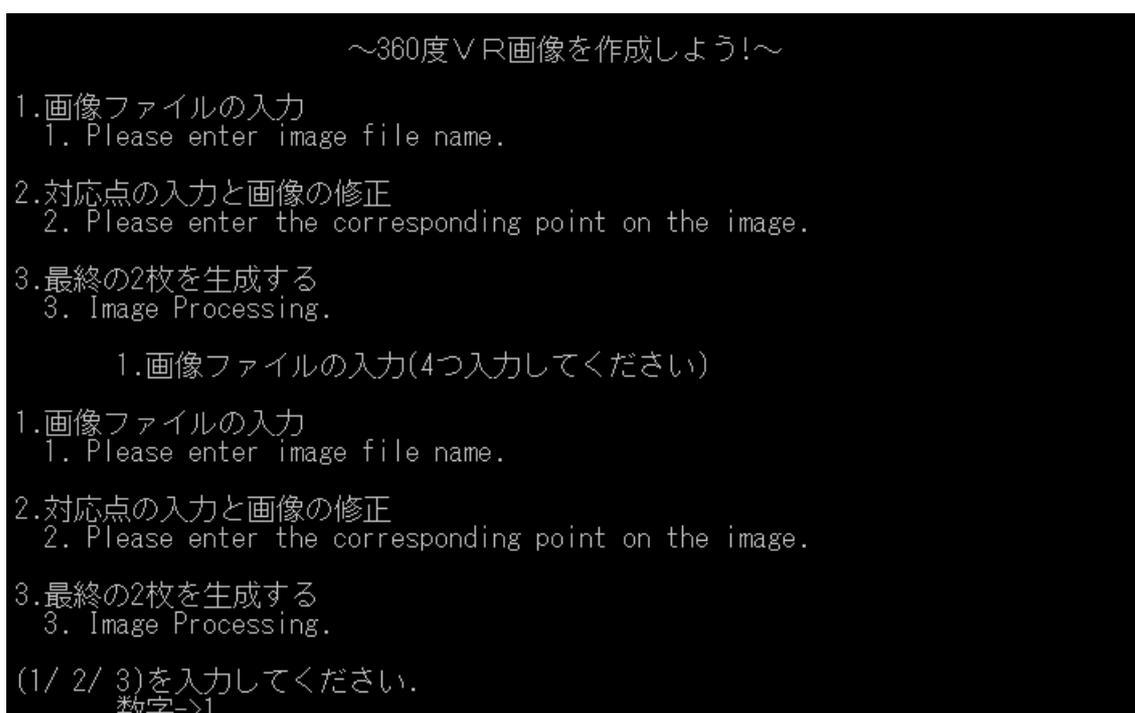


図15 開発したプログラムの操作画面

4.2 生成画像の例

図 16 に、幾何学的変換を行う前の画像を示す。つなぎ目にずれが生じている。図 17(a), (b) が修正後の最終画像である。



図 16 図 9 で説明した方法で生成した画像の一方

このようにつなぎ目が滑らかになっていることが確認できる。修正前の図 16 では中心部分は初めから大きな誤差がない。しかし、画像の上部や下部にいくにつれて大きな縦方向のずれが生じていた。

同じ距離から広い画角まで撮影可能にしているため、通常のカメラで撮影した場合とは異なってしまふ。本研究では、それをプログラム上で変更部分を修正することで画像だけでなく、360° 動画にも対応できるように実装した。これを図 17 に示す。縦方向のずれがほとんど修正されている。



(a) 左目用 360° 画像



(b) 右目用 360° 画像

図 17 つなぎ目を修正した立体 360° 画像

4.3 考察

プログラムによってつなぎ目の修正は実装できた。だが、問題点として2つがあると考えている。

一つは横方向のずれである。原因は撮影時の角度の設定は手動なため、細かな画像上の切り出し部分に誤差ができたことである。これを修正できればより違和感の少ないものになる。現時点でも、撮影時に注意深く角度をできる限り正確に設定して、撮影すればこれは本研究のプログラムでも問題ない。

また、撮影時の問題点として、三脚の写り込みがある。撮影時に三脚でなく一脚を用いればいいのだが、撮影する際に手間になってしまう。加えて今後の実用性を考えると、プログラム上で修正できるようにできるとより良いと感じている。

さらに、背景のような明るさの違いも修正できるといいと感じた。つなぎ目を見ると、壁の明るさが違うことで違和感を感じる部分が多かったためである。撮影している部分の方向が画像ごとにやや異なるので、その差異が出ている。これもプログラムで修正できれば画像の入力から修正、立体視画像生成までを行える本格的なプログラムだと概ね言えると思っている。

5章 結論

4枚を左右の視差分だけずれた状態で撮影し、プログラム上で修正するだけで、立体視を実現できることは非常に今後も注目される技術のひとつだと実感がある。プログラムで理論から実装することで、現実のような3次元の立体視が可能になることに驚いた。

さらに、Googleのストリートビューでは、iPhoneなどスマートフォンから一般の人が細かな全天球画像についての仕様などを知らなくても簡単に綺麗な形で、立体的に撮影したようなストリートビューを作成できる。これには今後の研究次第で、現行のスマートフォンにも適応されるような技術だと確信した。

参考文献

- [1] Shmuel Peleg, et al. , “Omnistere; Panoramic Stereo Imaging,” IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 23, No. 3, pp.279-290, March 2001.

謝辞

本論文を作成にあたり,丁寧な御指導を賜りました蚊野浩教授に感謝いたします.