

3Dカメラ画像処理開発

Image Processing for 3D Cameras

浅野基広*

Motohiro ASANO

要旨

近年、3D対応テレビなどの表示機器や映画などの3Dコンテンツの普及に伴い、デジタルカメラや携帯電話のカメラにおいても、3D対応した製品が発売されてきている。

しかしながら、これらの製品は人の眼と同じように左右に2つの同一仕様のカメラで撮影した画像から3D画像を作成する方式のため、カメラ部のサイズや配置などにデザイン上の制約が大きい。

我々は、デザイン上の自由度を拡大するため、2つのカメラのうち片方に低画素カメラを用いることでサイズを小型化した。更に被写体までの距離を算出してその距離に見えるように3D画像を再作成する方式で、カメラを上下方向にも置けるなど配置上の制約を解消する画像処理技術の開発を行った。

この技術は、カメラ部の小型化や薄型化の要求が強いスマートフォンに、最適なものと考えている。

なお、発売されている3D対応デジタルカメラや携帯電話のカメラは、長く見ていると気分が悪くなるなど安全面に関する課題も抱えており、本稿ではこの課題を解決する画像処理技術についても紹介する。

Abstract

Along with the spread of 3D contents such as 3D movies and of display devices such as 3D TVs, recent years have seen the market appearance of 3D digital cameras and smartphones with 3D cameras.

However, the 3D images from these cameras have been obtained from two camera units having identical specifications positioned left and right of each other like human eyes. Therefore, these products place great restrictions on designing the size and the arrangement of the camera units. To eliminate these design restrictions, we reduced the size of the camera module by replacing one of two high-resolution camera units with a low-resolution unit. Further, we developed an image processing technology which eliminates such arrangement restrictions as precluding camera units from being arranged above and below each other. Our processing technology allows calculation of the distance to objects and creation of a 3D image that has stereoscopic effect equivalent to the calculated distance. This technology is especially suitable for smartphones, which demand smaller and thinner camera modules.

A further problem with current 3D digital cameras and smartphones is that when some people view these 3D images for a long time, they become nauseous.

As seen above, 3D image processing has many technical issues, and we developed various technologies to deal with them. For example, though the distance to a wall having a uniform color cannot be calculated correctly, the incorrectly measured distance can be corrected using more reliable distance of the neighborhood region with a similar color in the image. As a result, the technology we developed creates 3D images that provide a stereoscopic effect without a sense of incongruity.

In this paper, image processing technologies to resolve the above problems are described in detail.

執筆者



浅野基広

* コニカミノルタテクノロジーセンター(株)
要素技術開発センター オプティカルイメージング開発室

1 はじめに

現在発売されている3D対応カメラや携帯電話のカメラは、左右に2つの同一仕様の高画素カメラで撮影した画像から3D画像を作成する方式のため、カメラ部のサイズが大きく、必ず水平に配置しなければならないなど制約が生じる。そのため、特にスマートフォンでは、ユーザーがレンズを触ってしまうところにカメラが配置されていることも多く、デザイン上の制約は大きな課題である。

なおカメラ配置の制約は、3D画像では人の眼と同じ並びのFig. 1のような左右にずれのある画像が必要となるためであり、Fig. 2のように上下にずれが現れる向きで撮影しようとしても、3Dに見えないことになる。Fig. 1, 2とも、2画像間のずれを色の違いとして表現している。



Fig. 1 Disparities between the left (blue) image and the right (red) image. A 3D image is visible.



Fig. 2 Disparities between the top (red) image and the bottom (blue) image. No 3D image is visible.

第2の課題として、3D画像を長く見ていると、眼が疲れて頭が痛くなったり、気分が悪くなったりする安全面に関する課題がある。これはFig. 3のように、ディスプレイ面上に左右視点それぞれの画像が表示されているにも関わらず、それよりも手前に物体があるように見え、どちらにも視点を合わせようとするためである。この図の通り、物体がより手前に飛び出して表示されるほど、ディスプレイ面上での左右画像間のずれ量は大きくなり、ユーザーへの眼の負担は増える。このずれ量を視差と呼び、このように右画像が左にずれた視差を負視差と呼ぶ。また、逆にFig. 4のようにディスプレイ面より奥にある物体は右画像が右にずれ、これを正視差と呼ぶ。

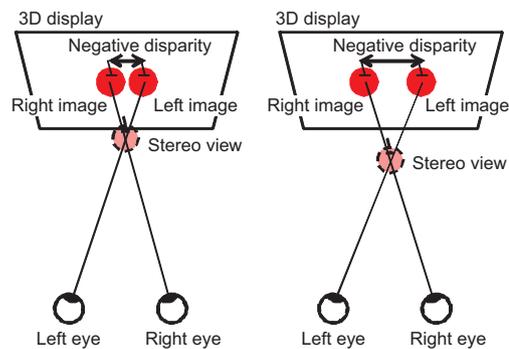


Fig. 3 Negative disparities.

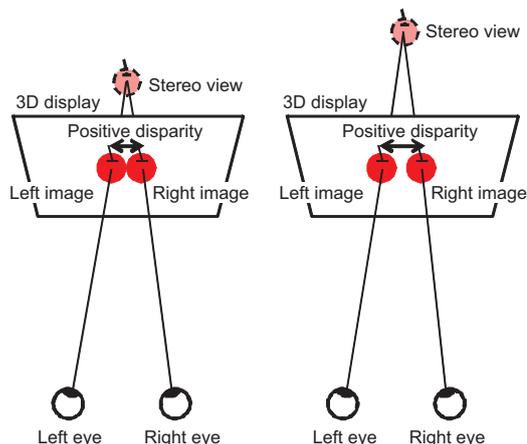


Fig. 4 Positive disparities.

例えば外食した際に料理を至近距離から撮影するような一般的なシーンでは負視差が大きくなりすぎ、ユーザーは3D撮影後に見ようとした際、眼への負担を大きく感じる。

最初のデザイン上の課題については、片方に低画素カメラを用いることで小型化できる。更に画像処理で被写体までの距離を算出してその距離に見えるように3D画像を再作成するため必ずしも左右に配置する必要がなく、デザイン上の自由度を拡大することができる。

第2の安全面の課題については、被写体の持つ正視差や負視差を算出し、大きくなり過ぎないように調整することで、解決可能である。

本稿では、これら2点の課題を解決する画像処理技術について紹介する。

2 開発すべき技術

前述した2点の課題解決には、被写体までの距離や被写体の持つ視差を算出する必要があり、その原理をまず簡単に説明する。

2.1 距離及び視差算出

まず、画像処理での被写体までの距離の算出原理をFig. 5を用いて説明する。被写体までの距離 D は、視差を Z 、焦点距離を f 、カメラ間の距離（以下、基線長）を B とすると、三角測量の原理から式(1)の通り算出でき

る。すなわち、左右画像のずれ量である視差が得られれば被写体までの距離は算出でき、視差と被写体までの距離とは、相互に容易に変換できることがわかる。

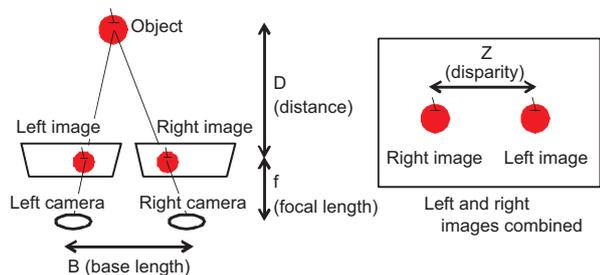


Fig. 5 Principle of stereo vision.

$$D = B \times f / Z \quad (1)$$

なおカメラを必ずしも水平に配置しなくても良いように、Fig. 1, 2 のどちらの向きで撮影された場合でも、そのずれのある方向のずれ量を視差として、距離の算出を行う。

次に視差の算出方法を、Fig. 6 を用いて説明する。例えば、Fig. 6 左図の赤枠部の視差を算出する場合には、右図から最も似た対応位置を探索し、白枠部を検出する。この場合Fig. 7 のように、赤白2枠間のずれ量が視差となる。この処理をFig. 6 左図の赤枠部だけでなく左図全体に行うことで、Fig. 8 のような視差画像を得ることができる。Fig. 8 では、白いほど被写体までの距離が近いことを表しており、以降この一連の処理を対応点探索と呼ぶ。



Fig. 6 How to calculate the disparity (distance) of each pixel.



Fig. 7 Disparities between standard and reference images. Distance to the object is calculated from disparities.



Fig. 8 Disparity (distance) map.

2.2 技術の構成

1章で述べた最初のデザイン上の課題は、2.1章の原理で被写体までの距離を算出してその距離に見えるように3D画像を再作成することで解決でき、第2の安全面の課題は、算出した視差を大きくなり過ぎないように調整することで解決できる。従ってこの2つの課題は、以下(1)から(3)の3ステップで対応できることになる。

- (1) 正しい視差（距離）を得る
- (2) 見やすい視差に調整する
- (3) 視差から3D画像を作成する

画像処理フローはFig. 9の(b)部のようになり、この処理は視差を扱うため、以降視差調整技術と呼ぶ。

なお、2つのカメラ画像間で解像度、色合い、歪みなどが異なっていると、対応点探索で正しく対応位置を探索できず正しい視差を得ることができない。そこで、処理前段のFig. 9の(a)部で低画素のカメラ画像を高画素なカメラ画像相当になるように補正しており、この技術を以降非対称カメラ補正技術と呼ぶ。本稿では、課題の大きかった視差調整技術について、紹介する。

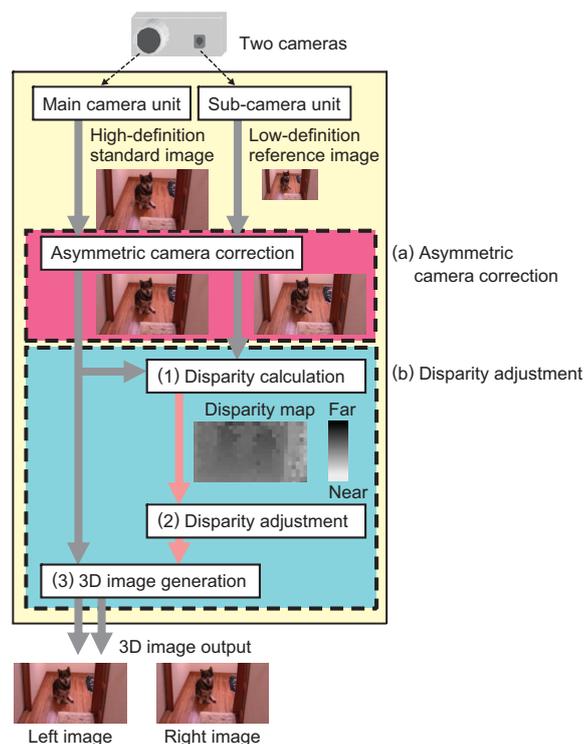


Fig. 9 Image processing flow chart.

2.3 技術課題

次に、視差調整技術の3ステップ個々の技術課題を述べる。

- (1) 正しい視差（距離）を得る

まず正しい視差とは、被写体までの実距離から式(1)で算出される視差を正しいと呼ぶものとする。

我々はできるだけ正しい視差を得るため、一般的な対応点探索手法であるSAD (sum of absolute difference)

等と比較し、精度の良いPOC (phase only correlation) を用いている。POCは、画像をフーリエ変換することで濃度に相当する振幅成分と形状に相当する位相成分とに分離し、位相成分のみで相関を取り、その相関の高い対応位置を検出することで、濃度の変化などにロバストに対応点探索を行う手法である²⁾。

しかし、どのように優れた対応点探索手法を用いても、Fig. 10 左図の壁の一部 (赤枠部) は、右図の赤楯門部のように似た対応位置が多数存在するため、この壁の赤枠部の視差は間違えて算出されやすい。またFig. 10 左図の緑枠部のように、左右どちらかの画像からしか見えない隠れ領域 (以下、オクルージョン領域) では、似た対応位置が存在しないため、必ず視差を間違えてしまう。しかし、画像の一部で間違えた視差が得られたとしても、その視差を適切に修正し、画質上問題のない3D画像を作成する必要がある。



Fig. 10 Left and right images. Distance is calculated incorrectly in green and red rectangle regions.

(2) 見やすい視差に調整する

3D画像を長く見ていて、目が疲れて頭が痛くなったり、気分が悪くなったりしやすいのは、Fig. 11のように1枚の画像内に、手前に飛び出した被写体と奥に見える被写体とを持つケースである。1章でも述べたように、ディスプレイ面上に左右それぞれの画像が表示されているにも関わらず、それよりも手前や奥に物体があるように見えるため、ディスプレイ面と手前や奥の物体の全てに視点を合わせる必要があるためである。このような画像の持つ視差を、見やすく調整する必要がある。

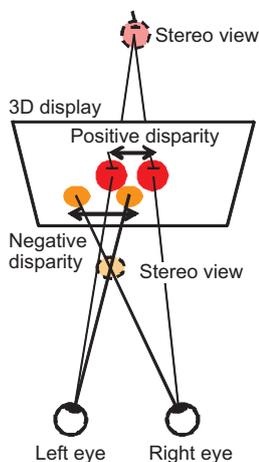


Fig. 11 Positive and negative disparities. Adjusting disparities is required to eliminate the problem of viewer nausea.

(3) 視差から3D画像を作成する

(2)で調整した視差を基に、左画像を用いて新たな右画像を作成しようとする時、Fig. 12の黒領域は左画像には存在しないため、上手く右画像が作成できない。この黒領域は、(1)と同じオクルージョン領域である。

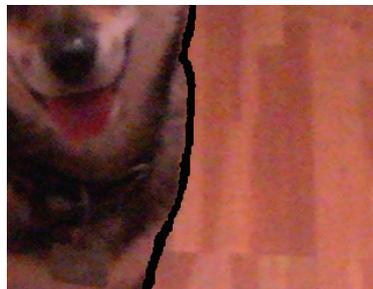


Fig. 12 Occluded area. When creating a 3D image based on adjusted disparities (Fig. 11), the right image cannot be well formed, as no black region (Fig. 12) exists in the left image.

3 開発した技術

3.1 正しい視差 (距離) を得る

2. 3章(1)で述べた視差を間違える対応位置が多数存在するケースでは、相関の高い対応位置候補が多く見つかる。逆に、対応位置が存在しないケースでは、相関の高い対応位置候補が見つからない。このことを利用すると、視差の確からしさが算出可能である。Fig. 13に、視差の確からしさを算出し、2種類の閾値で3通り ((a)正しい、(b)不明、(c)間違い) に分類した結果を示す。



Fig. 13 Reliability of disparity map. Incorrectly measured distance can be corrected using more reliable distance of the neighborhood region with a similar color in the image.

Fig. 13の赤枠部のように壁では多くの領域で視差算出を間違えるものの、緑枠部のように汚れなどで対応位置を見つけることができる領域では、正しい視差が得られる。

画像内のすぐ近傍にあり、似た色を持つ領域であれば、比較的視差の値が近いと推定できるため、間違いと推定された赤枠部の視差を、正しいと推定された緑枠部の視差で置き換えることで、より正しい視差に補正できる。

3.2 見やすい視差に調整する

2.3章(2)で述べた視聴時の安全面に課題のあるFig. 11の画像は、大きな正視差・負視差を持つ。視差を横軸にとり負視差を負の値とすると、Fig. 14の上線として図示できる。この図のように正視差と負視差の差（以下、視差レンジ）が大きくなるほどユーザーへの眼の負担は増えるため、視差レンジが閾値より大きい場合には閾値以下になるように、Fig. 14の通り視差レンジの圧縮処理を行う。

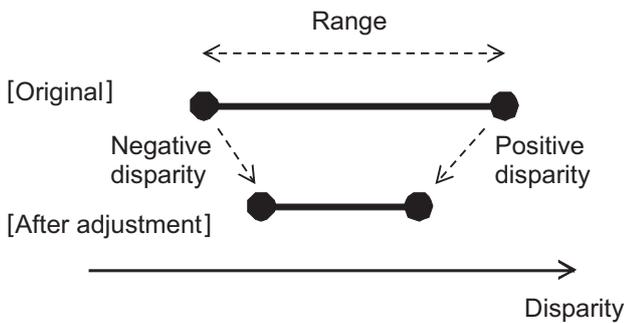


Fig. 14 Disparity adjustment. To solve the problem of viewer nausea with 3D images, a reduction in the range of disparity is necessary.

3.3 視差から3D画像を作成する

2.3章(3)で述べたFig. 12の課題に対応するには、大別して2種類のアプローチが考えられる。1つ目は、オクルージョン領域である隠れて見えない領域を、周辺の画像領域から推定する手法であり、もう1つはオクルージョン領域を画像全体に少しずつばらまくことで、実質的に隠れて見えない領域の推定を不要とする手法である。

1つ目の手法では、シーンによってはうまく推定できない可能性があることや、動画で時間的に連続する形で推定することが難しいことなどから、ここでは2つ目の手法を採用している。

オクルージョン領域を画像全体にばらまくために、視差にスムージングを行ってから右画像を作成すると、Fig. 15のようにオクルージョン領域は画像全体に小さな領域として存在するようになる。この小さな領域を例えば右隣の画素の色で補うことで、オクルージョンの課題に対応できる。

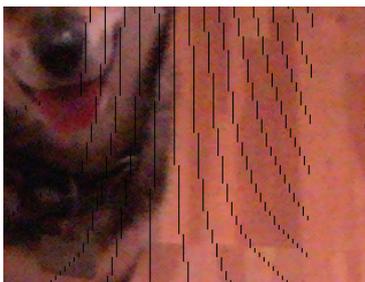


Fig. 15 Small occluded areas after symmetric smoothing. Because the large occluded areas in Fig. 12 are now scattered over the entire image, no information region is substantially eliminated.

しかしながら、視差にスムージングをかけて右画像を生成すると、Fig. 16の青点線部のように歪みが発生し、直線が曲がってしまう画像となる。



Fig. 16 Distortion of vertical line caused by smoothing (blue dotted area). New means were figured to reduce the distortion.

この歪みの原因は、縦方向の視差の変化が大きすぎるためであり、スムージングをもっと強くかけ、視差の変化を小さくすると改善できる。ただし、スムージングを強くかけすぎると、視差の変化が小さくなり立体感の物足りない3D画像に見える。そこで、以下の2点の工夫をしている。

1点目の工夫として、左画像から右画像のみを作成する代わりに、視差を1/4与えた新たな左画像と、視差を3/4与えた新たな右画像を3D画像として作成する。すなわち、縦線部の歪む要因を片方の画像だけではなく左右両方の画像に与えることで、歪みを目立たなくしている。

なお視差を左右不均等に与えているのは、実験的に、片方に少し歪みがあったとしても、片方の画像にさえ歪みがなければ、3D画像としてはあまり歪みがないように見えることが分かったためである。錯覚などと同様に、人が過去の経験などから脳内で補正しているからではないかと考えられる。

2点目の工夫として、Fig. 17のように横方向に比べ縦方向に強いスムージングをかけることで、縦方向の視差の変化のみ小さくし、縦線の歪みを生じにくくしている。横方向には視差量の変化が残るため、ユーザーは立体感を感じることができる。

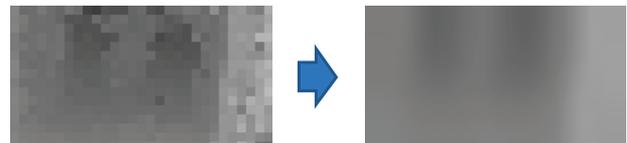


Fig. 17 Effect of asymmetric smoothing. Strong vertical smoothing compared with horizontal smoothing reduces vertical distortion. Compatibility of the stereoscopic effect and the distortion-free vertical line.

これらの工夫により、Fig. 18のように縦線部に歪みがなく、立体感を得るのに十分な視差を持つ3D画像を作成することが可能となった。

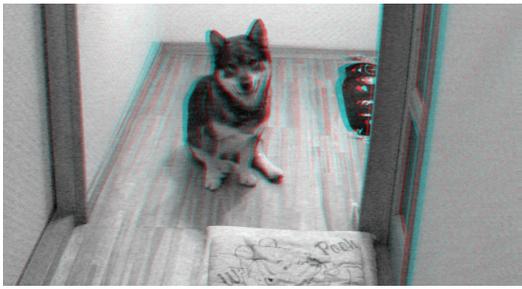


Fig. 18 3D image created: the left (blue) image and right (red) image. The image has no distortion in the vertical direction and has sufficient stereoscopic effect.

4 性能

実際に3D対応カメラや携帯電話のカメラで撮影された画像では撮影シーンなどに依存し、様々な視差を持つ。

ここでは、以下の2つの切り口で性能評価を行った結果を示す。

4.1 カメラの基線長と被写体の近接度合い

2つのカメラ画像から算出する視差は、式(1)よりカメラ間の距離（基線長）に比例するため、Fig. 19で基線長を横軸に取り、どこまで近くの被写体に対し問題なく視差調整できるか評価を行った。評価は、立体感や縦線部の歪みなどの画質上の観点で問題ないかどうかを、2段階で判定した。なお、歪み度合いは結果がばらつかないように、ランク見本を作成し評価している。

評価画像としては、大きな視差が適切に調整されているか、小さな視差がきちんと再現されているかを確認するため、その2種類のシーンを撮影し、評価している。

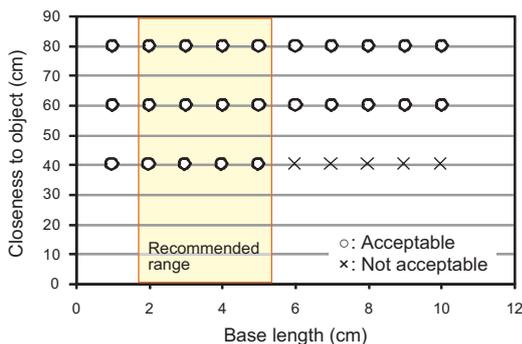


Fig. 19 Relation between baseline length and closeness to the object.

この結果から、3Dカメラの構成として基線長を2cmから5cm程度に設定しておけば、少なくとも40cm程度まで被写体に近寄っても、問題ないことが確認できた。

4.2 シーン依存性

視差調整は、壁や空のような視差を間違えやすい領域が画像のどこにあるか、撮影時及び3D画像作成時のオ

クルージョン領域がどこに現れるかが異なることから、シーンによって上手く調整できないことがある。

そのため、静止画及び動画について100種類以上の撮影したシーンに視差調整を行い、4.1章と同様の観点で評価を行った。

評価の結果、全画像に対して誤った立体感を感じるような問題のないことを確認した。なお、視差にスムージングをかける本手法の適応限界として、Fig. 20の画像では、中央の木の枝のところあまり立体的には見えず、少し物足りなく感じられた。これは中央に大きく奥行き部があり、細い木の枝の小さな飛び出し部があるため、面積の大小関係からスムージングにより奥行き側に丸められてしまうためである。



Fig. 20 An example of an unsuitable subject for 3D imaging.

5 まとめ

今回開発した視差調整技術に、2.2章で述べた非対称カメラ補正技術を組み合わせることで、カメラ部のサイズや配置などデザイン上の制約を解消し、3D視聴時の安全面に配慮した3Dカメラを提供できる技術を構築できた。

なお、人は1章で述べたように眼と同じ左右にずれた画像により立体感を感じるため、逆に本来ずれのない上下方向のずれ（以下、縦視差）があると不快に感じ、通常の3Dカメラでは問題となる。今回のように1枚の画像から3D画像を作成する方式では、この縦視差が原理上ないというメリットもある。

また、視差調整技術については、画像のシーンによっては部分的に立体感が感じられず物足りなく感じるケースがあるものの、誤った立体感と思えるような画像はなく、製品化可能なレベルに完成できたと考えている。

本稿では記載していないが、高画素なカメラと低画素なカメラをそれぞれ左右画像として用いる別手法の開発も行っており、よりリアルな立体感ある3D画像を作成できる。この手法を併用することで、本稿記載の手法の弱点を補った3Dカメラを提供することも可能である。

●参考文献

- 1) 河合隆史／盛川浩志／太田啓路／阿部信明，3D立体映像表現の基礎
- 2) K. Takita, et al., "High-accuracy subpixel image registration based on phase-only correlation," IEICE Trans. Fundamentals, vol. E86-A, no. 8, pp. 1925–1934, Aug. 2003.