

テクスチャ合成を用いたステレオグラム生成

五位洵竜也[†] 渡部秀文^{††} 斎藤隆文^{†††}

人間は奥行きを認識する際、両眼視差を利用する。この両眼視差を用いて、立体的に認識することのできる画像(ステレオグラム)を作成することができる。ステレオグラムには、「立体を認識させるために両眼視差を考慮し、同じ画像パターンを水平方向に繰り返し並べる」という制約条件があるが、この条件によってステレオグラムは二次元画像として不自然に生成される。既存手法では、この問題をあらかじめ制約条件に適したパターンを生成することで解決している。しかしパターンの生成には、ステレオグラムに関する知識が必要となり、また多くの時間を要する。そこで本研究では、テクスチャ合成を用いることで、誰もが簡単に作成可能な、違和感のないステレオグラムの生成手法を提案する。

Stereogram generation with texture synthesis

TATSUYA GOIBUCHI[†], HIDEFUMI WATANABE^{††}
and TAKAFUMI SAITO^{†††}

To perceive depth information, human brain uses binocular parallax. By using this principle, we can construct a stereogram, i.e. a single image which can be recognized as stereoscopic structures. There is a condition to produce stereograms: line up the same pattern in a horizontal direction based on binocular parallax to recognize three dimension. On the other hand, when a stereogram meets this condition, it often becomes unnatural as two-dimensional images. A conventional method solves this problem by generating the acceptable pattern in advance, however this method require specialized knowledge of stereograms, and take a fair amount of time to generate images. This report presents a new method to generate stereograms by using texture synthesis. As a result, it is possible to produce natural two-dimensional images easily.

1. はじめに

人間は、両眼視差、輻輳などの情報を脳が分析することで奥行きを認識している。これら脳で分析する情報のうち、両眼視差を利用することで、立体的に認識することのできる画像(ステレオグラム)を作成することができる。ここで、ステレオグラムには、単一画像からなるものや、2枚の画像からなるもの、特殊な眼鏡を利用したアナグリフなどが存在する。本研究では、1枚の画像から裸眼で立体を認識可能な、単一画像からなるステレオグラムを扱う。

単一画像からなるステレオグラムを生成するためには、「立体を認識させるために両眼視差を考慮し、同じ画像パターンを水平方向に繰り返し並べる」という制約条件を考慮する必要がある[1][2][3]。この制約条件により、ステレオグラムは、繰り返されるパターン(図 1(a))間の繋ぎ目が際立ち、図 1(b)のように、二次元画像として不自然なものとなる。

このような問題が存在することから、既存手法では、繰り返されるパターンとして、並べて配置した際に境界が目立たない図 2(a)のようなものを使用する。これにより、パターン間の繋ぎ目の目立たないステレオグラム(図 2(b))を生成することができる。しかしこの手法では、あらかじめ図 2(a)のような最適なパターンを作成する必要がある。最適なパターンを作成するためには、作成者にステレオグラムに関するある程度の知識が必要となり、またその作成には多くの時間を要する。これにより、一般的な利用者は、あらかじめ用意されたパターンのみでステレオグラムを生成する必要があり、適用できるパターンが限られてしまうという問題が存在する。また、ステレオグラムに関する知識がある熟練者であっても、最適なパターンの作成に多くの時間を要することから、容易にステレオグラムの生成を行うことができないという問題が存在する。

本研究では、様々なテクスチャの適用可能なステレオグラムの生成手法を提案する。既存手法の問題点を解決するためにテクスチャ合成を用いる。その結果、テクスチャから最適なパターンを半自動的に生成することができ、誰もが簡単にステレオグラムを作成することが可能となる。また、既存手法の目的となっている、パターン間境界の滑らかな、違和感のないステレオグラムの生成手法を提案する。

[†] 東京農工大学 工学部情報工学科
Department of Computer and Information Sciences, Tokyo University of Agriculture and Technology.

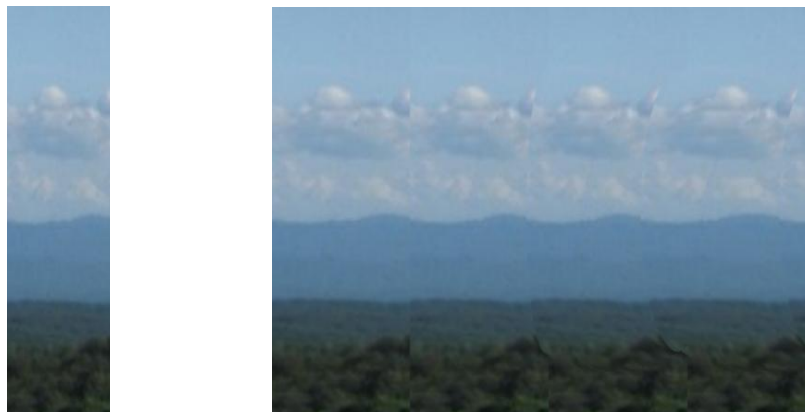
^{††} 東京農工大学 工学部・工学部
Faculty / Graduate School of Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology.

^{†††} 東京農工大学大学院 生物システム応用科学府
Graduate School of Bio-Applications and Systems Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology.



(a) 繰り返しパターン
(a) Repeated Pattern.
(b) ステレオグラム
(b) Stereogram.

図1 繋ぎ目の目立つステレオグラム
Figure 1 A Well-Circumscribed Stereogram.



(a) 繰り返しパターン
(a) Repeated Pattern.
(b) ステレオグラム
(b) Stereogram.

図2 従来手法によるステレオグラム
Figure 2 A Stereogram Generated with the Conventional Method.

2. 提案手法

本研究では繰り返しパターンの生成処理と、繰り返しパターンの適用されない部分(以下、穴)を埋める処理の二つの処理に対して、テクスチャ合成を用いる。これにより、任意のテクスチャから境界が滑らかで、二次元画像としても違和感のないステレオグラムの生成手法を提案する。

2.2, 2.3, 2.4 節では、既に実装済みの繰り返しパターン生成、ステレオグラム化、穴埋め処理について説明する。2.5 節では、実装予定の提案手法である、境界部分の平滑化について説明する。

2.1 テクスチャ合成について

入力テクスチャ(図 3(a))から、任意サイズの画像(図 3(b))を生成する処理をテクスチャ合成という。テクスチャ合成によって生成される画像は、入力テクスチャの単純な繰り返しではなく、入力テクスチャから最適な部分を抽出して生成されるため、違和感のないものとなる。ここでテクスチャ合成には、大きく分けて二つの手法が存在する。

一つはブロック単位の処理で、入力テクスチャをいくつかのブロックに分割し、それらのブロックを繋ぎ合わせることで任意サイズの画像を生成する。この処理には、Efros らのイメージ・キルティング[4]などが存在する。

Efros らのイメージ・キルティングは、入力テクスチャから画像の一部(ブロック)を取得し、それを縫い合わせるように結合することで任意サイズの画像を生成する。まず、テクスチャ合成の処理単位として、入力テクスチャを任意サイズのブロックに分割する。次に、類似ブロックの探索と配置を行う。ブロック分割を行ったテクスチャから適切なブロックを探索、配置していくことで、合成するブロックを決定する。最後に、ブロック間境界の決定を行う。この処理は、隣接するブロックを重ねた領域の類似度に応じて繋ぎ合わせることで、繋ぎ目の目立ちにくい境界を設定する。この処理を繰り返し行うことで、任意サイズの画像を生成する。この手法は、ブロック同士をつなぎ合わせることから、少なからず繋ぎ目が目立つという欠点があるが、処理速度が速いという長所がある。

もう一つは画素単位の処理で、入力テクスチャから最適な画素を一画素ずつ抽出し、配置することによって任意サイズの画像を生成する。この処理には Efros らの非媒標本化によるテクスチャ合成手法[5]などが存在する。

Efros らの非媒標本化によるテクスチャ合成手法は、生成画像の左上から順に一画素ずつ画素を配置していくことで入力テクスチャから任意サイズの画像を生成する。まず、最初の左上の画素については、入力テクスチャからランダムで一画素抽出する。以降の画素については、周辺の画素から、その部分適した画素を入力テクスチャから

探索して配置する。この処理を繰り返し行うことで、任意サイズの画像を生成する。この手法は処理時間が長いものの、繋ぎ目がなく、前述したイメージ・キルティングと比較して、違和感のない画像を生成できるという長所がある。図 4(b)の生成画像はこれらの手法によって生成したものである。

本研究では、境界が滑らかで、二次元画像としても違和感のないステレオグラムの生成を目的としていることから、画素単位の処理である Efros らの非媒介標本化によるテクスチャ合成手法[5]を用いる。

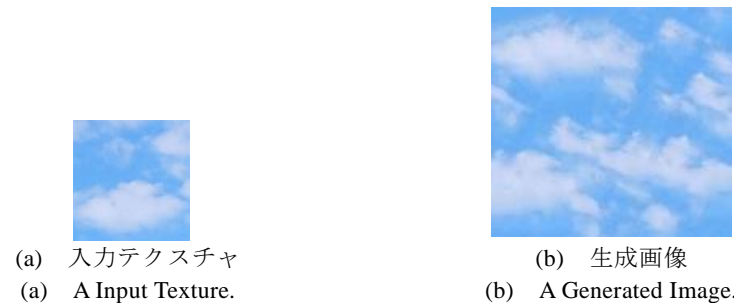


図 3 テクスチャ合成
Figure 3 Texture Synthesis.

2.2 繰り返しパターン生成

ステレオグラム生成において、画像の元となる繰り返しパターンの生成を行う。この処理は、Efros らの非媒介標本化によるテクスチャ合成手法[5]を用いて実現した。生成される繰り返しパターンは、並列に配置するため、パターン間の境界が滑らかになるようにする必要がある。そのため、右端が左端に繋がるように、入力テクスチャ(図 4(a))から適切な画素を選択することで生成される。その結果、図 4(b)のような繰り返しパターンを生成した。ここで、図 4(b)は生成した繰り返しパターンの隣に、同様の繰り返しパターンを並列して配置している。この図から、生成された繰り返しパターンが、右端が左端に繋がるように生成されていることがわかる。この繰り返しパターンを用いてステレオグラムを生成した場合、境界の目立ちにくい結果を得ることができると考えられる。

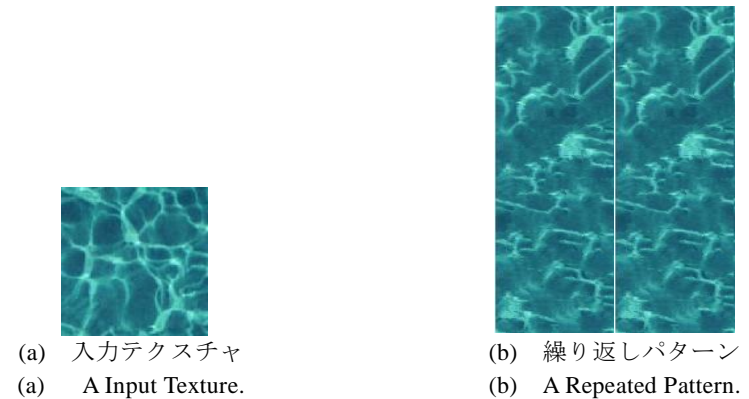


図 4 繰り返しパターン生成
Figure 4 A Repeated Pattern Generation.

2.3 ステレオグラム化

単一画像からなるステレオグラムは、画素値により奥行き情報を表した距離画像(図 5)から奥行き情報を抽出し、同じ位置に視線が伸びるスクリーン上の画素を同じにすることで立体を認識させる。ここで、距離画像は輝度値が高いほど手前を表し、輝度値が低いほど奥を表している。この処理を図 7(a)のように、スクリーン上の全ての画素において繰り返し行うことで、ステレオグラム化を行う。またこの処理を、前節で生成した繰り返しパターンを適用して行うことで、ステレオグラムを生成する。

しかし生成したステレオグラムは、図 6 のように、繰り返しパターンを使用しない部分である穴が存在する。図 6 の黒で塗られた部分が穴を表している。

ここで、ステレオグラム化の繰り返しパターンの適用方法は大きく分けて二つある。一つは前述したように、左端に繰り返しパターンを適用する方法である(図 7(a))。この手法では、ステレオグラムの中心から右側にかけて穴が多く存在し、中心から右側にかけて繰り返しパターンが崩れやすくなっている。

もう一つは、右端に繰り返しパターンを適用する方法である(図 7(b))。この手法では、同様にステレオグラムの中心から左側にかけて穴が多く存在し、中心から左側にかけて繰り返しパターンが崩れやすくなっている。

本研究では、繰り返しパターンを図 7(c)のようにステレオグラムの中心に配置することで、この二つの手法を組み合わせて利用する。これにより穴がステレオグラムの両端に寄り、中心では、繰り返しパターンが崩れることなく保たれる。しかし、距離画像は中心に物体を表現することが多いことから、繰り返しパターンの生成が困難になる。

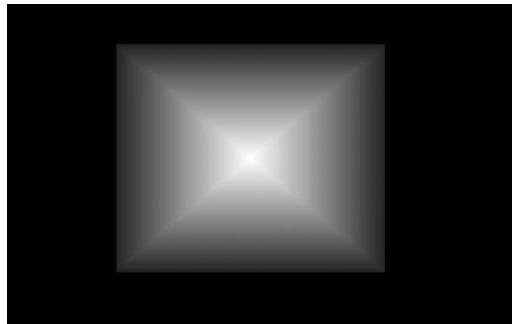


図5 距離画像
 Figure 5 Depth Image.

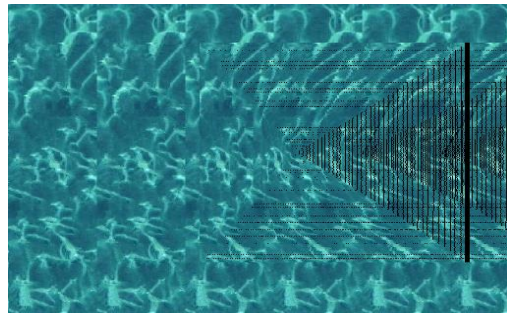
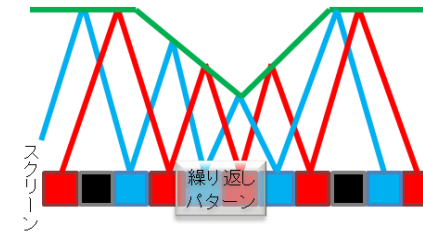


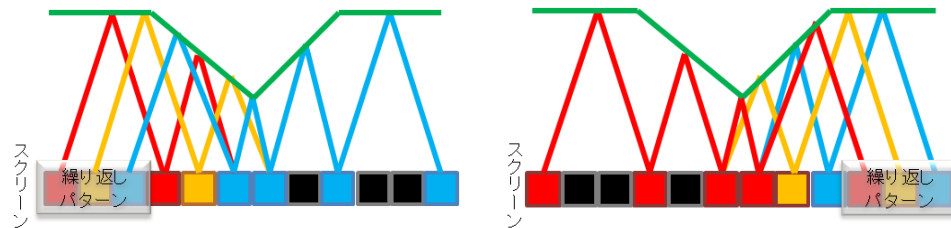
図6 ステレオグラム(穴あき)
 Figure 6 Stereogram with Hole.



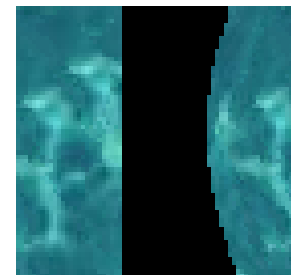
(c) 中央配置
 (c) Set Center.
 図7 繰り返しパターンの配置
 Figure 7 Set a Repeated Pattern.

2.4 穴埋め処理

ステレオグラム化によって生じた穴を埋める処理として、入力テクスチャから適切な画素を抽出し、図 8(a)の穴埋めを行う。この処理は Efron らの非媒介標本化によるテクスチャ合成手法[5]を応用して実現したもので、穴の周辺の画素を抽出し、その周辺の画素と類似度の高いものを入力テクスチャから探索し、それを一画素ごとに穴部分へ配置することで行われる。その結果、穴部分は図 8(b)のように違和感ない画素で埋められている。また、穴埋めを行った画素は新たな繰り返しパターンとなるため、この部分についても図7のようなステレオグラム化を行う。



(a) 左端配置
 (a) Set Left.
 (b) 右端配置
 (b) Set Right.



(a) 穴埋め前
 (a) Unprocessed



(b) 穴埋め後
 (b) Processed

図8 穴埋め処理
 Figure 8 Fill a Blank Space.

2.5 境界部分の平滑化

生成した繰り返しパターンを並べて配置したとき、境界は完全には一致せず、多少の繋ぎ目が見えてしまう。このことから、境界部分となる生成した繰り返しパターンの端部分に平滑化を適用することで、繰り返しパターン間の境界部分を滑らかにする。これにより、繰り返しパターンを二つ繋げた場合、図 9(b)のように境界が滑らかになる。このパターンを元にステレオグラム化を行った場合、より境界の目立ちにくい結果が得られることが考えられる。

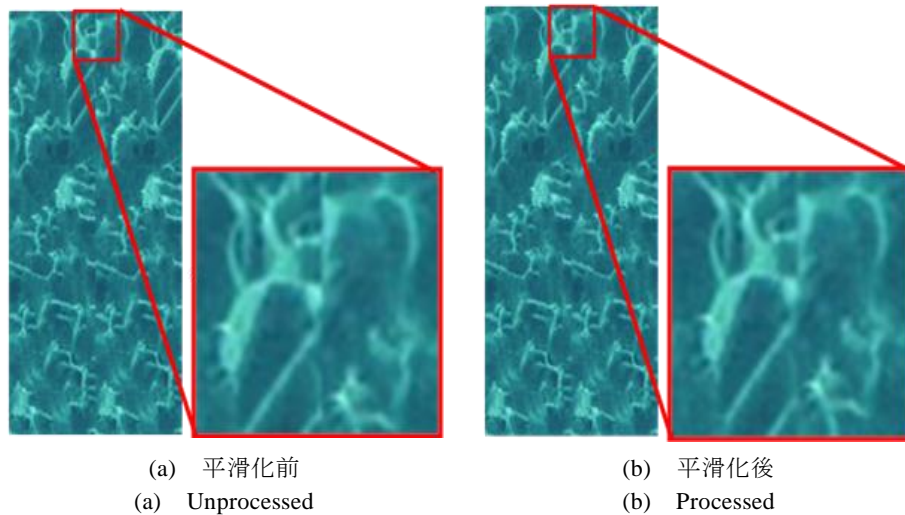


図 9 繰り返しパターンの境界部分の平滑化
Figure 9 repetitive pattern with Smoothing of boundary part.

3. 結果

本研究では、テクスチャ合成を用いることで、距離画像(図 5)と入力テクスチャ(図 4(a))から、単一画像によるステレオグラム(図 10)を生成する手法を提案した。これにより、多くのテクスチャが適用可能で、境界が滑らかな違和感のないステレオグラムを生成した。

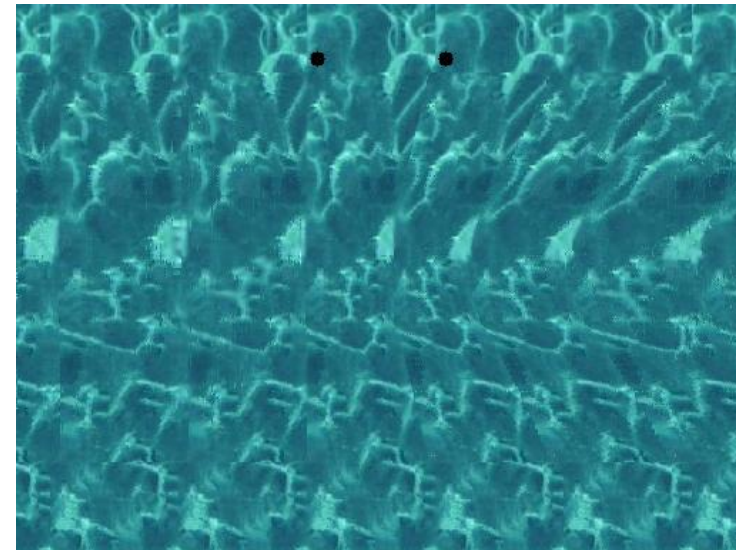


図 10 提案手法によるステレオグラム
Figure 10 Stereogram with Our Method.

4. おわりに

本研究では、テクスチャ合成を用いたステレオグラムの生成手法を提案した。しかし入力テクスチャや距離画像によって、繰り返しパターン間の境界などが目立ってしまうという問題点がある。そのため今後の課題として、境界がより目立ちにくい繰り返しパターンの生成や、ステレオグラム生成アルゴリズムの改良が挙げられる。また、距離画像、入力テクスチャに対するパターン間の境界の滑らかさ、立体の認識しやすさの定量的評価を行う必要がある。

参考文献

- 1) 杉原厚吉(1995) 『情報数学講座(全 15 巻) 第 13 巻 グラフィックスの数理』
共立出版株式会社 206pp.
- 2) 「そらはうたたね」 <http://sorauta.buufsiz.jp/index.html> (2010/10/12 アクセス)
- 3) 「KONDO's Stereogram Workshop」 <http://www.kondo3d.com/stereo/jp/> (2010/10/12 アクセス)
- 4) Alexei A. Efros, William T. Freeman. "Image Quilting for Texture Synthesis and Transfer."
In Proceedings of ACM SIGGRAPH 2001, pp. 341-346, August 2001.
- 5) A. A. Efros and T. K. Leung. "Texture synthesis by non-parametric sampling." In International
Conference on Computer Vision, pages 1033-1038, Corfu, Greece, September 1999.

付録

ステレオグラム生成結果

