

照明条件の異なる画像を用いたイルミネーションモーフィング手法

別宮 喬 真鍋 知久 金田 和文

あらまし 本稿では、光源位置の異なる 2 つの入力画像からそれらの光源間の中間位置に光源を設置したときの画像を生成するイルミネーションモーフィング手法を提案する。従来の画像モーフィングは、入力された 2 つの画像間で形状を滑らかに変化させる技術である。これに対して、本稿で提案する手法は、形状の変化ではなく光源移動時の輝度値の変化に注目し、光源位置の異なる 2 つの画像からそれぞれに等輝度線を求め、その等輝度線をワーピングすることにより、任意の光源位置における輝度分布を算出し画像を生成する。本手法により、光源が徐々に移動するアニメーションなどの映像が生成可能となり、光源の移動による輝度変化を表示する画像処理アプリケーションや、映画やゲームなどのエンターテインメントの分野において有用である。

Illumination morphing method by using images that are under different illumination condition

Takashi BETSUMIYA Tomohisa MANABE Kazufumi KANEDA

Abstract In this paper, we propose illumination morphing method for generating an image under any light source positions between two light positions from two images under different light sources. Image morphing is technique that changes in shape between two input images. We focus attention on not changing in shape but changing radiance. We first make isophotes for each input image. We then execute warping for the isophotes between two light source positions and acquire isophotes in intermediate position. Finally we generate images by calculating radiance values from the isophotes. By this method, we can make attractive images, e.g., an animation image where a light source moves little by little in the scene. The method is very useful as an image processing application e.g., displaying radiance change by moving light source, or in the field of entertainment, e.g., movie or TV game.

1. はじめに

本稿では、光源位置の異なる 2 つの入力画像からそれらの光源間の中間位置に光源を設置したときの画像を生成するイルミネーションモーフィング手法を提案する。従来の画像モーフィングは、入力された 2 つの画像間で形状を滑らかに変化させる技術である。これに対して、本稿で提案する手法は、形状の変化ではなく輝度値の変化に注目し、光源位置の異なる 2 つの入力画像からそれらの中間位置に光源を設置したときの画像を生成するイルミネーションモーフィング手法を提案する。

イメージベースで照明条件を変更する手法として、入力画像に写っている周囲の環境を光源と考えて、物体のシェーディングを行う Image-Based Lighting

(IBL)[1]がある。IBL では、入力画像から環境マップを取得し、その環境マップを光源として考える。環境中にある物体は環境マップを用いてシェーディングされるため、あたかもその物体が入力画像で撮影された環境中にあるような画像を生成することができる。そのため、現実世界に近い非常にリアルな画像を生成することができる。しかし、IBL では周囲の環境の変化に伴う照明効果の変化を考慮することができるが、光源を移動させることはできない。IBL と同様の手法で、照明条件の異なる複数の顔画像を入力して、任意の照明条件下、任意の視点位置における顔画像を得る手法 [2]が開発された。この手法では、light stage を用いて密にサンプルされた様々な光源方向における画像を取得し、それらをもとに画像の各ピクセルに対して光源

方向に関する反射関数を取得する。この反射関数を用いて、任意の光源方向における各ピクセルの輝度値を算出し画像を生成する。また、得られたデータから肌の反射フィールドを作成することで、鏡面反射などの視点位置に依存する反射特性を考慮することができるため、任意の視点位置からの画像も生成可能である。この手法では、照明条件の変更のみでなく、視点位置の変更も行うことができるので、非常にリアルで、且つ、視点がダイナミックに移動するような映像を生成することができる。

一方、モデルベースで照明条件を変更する手法として、3次元物体上の照度分布を入力とし、任意の照明条件を考慮した室内画像を高速に生成する手法に関する研究も行われてきた。その一手法として、光源の配光特性を基底関数により表現し、高速に室内画像を生成する手法[3]が開発された。この手法により、光源の色や配光特性、灯軸方向などを変更した場合の画像を高速に生成することが可能となった。また、光源の移動を考慮した室内画像を高速に生成する手法[4]が開発された。この手法では、3次元物体面上において、光源位置の異なる2つの照度分布に対する等照度線を、2つの光源位置間でワーピングすることにより、2つの光源位置間での照度分布を算出する。これらのモデルベースの手法は、建築分野における照明設計のシミュレーションや内装工事における照明効果のプレビューとして有用である。

本稿では、文献[4]の3次元モデルに対する等照度線のワーピングを用いた光源移動後の画像生成手法(以下、3次元モデルに対する等照度線ワーピング手法)の考え方をを用いて光源位置の異なる2つの入力画像から光源を移動したときの画像を生成する手法を提案する。すなわち、光源位置の異なる2つの入力画像を輝度分布と考え、それぞれの画像に対し、同じ輝度値を持つ点列により構成される等輝度線を求め、その等輝度線をワーピングすることにより、任意の光源位置における画像を生成する。等輝度線のワーピングを用いることで輝度分布のスムーズな移動が可能となり光源の移動が表現可能となる。提案手法では、光源位置の異なる2つの画像を入力するだけで、光源が徐々に移動す

るアニメーションなどの映像を手軽に生成することが可能となり、光源の移動に伴う輝度値の変化を表示する画像処理アプリケーションや、映画やゲームなどのエンターテインメントの分野において有用である。

2. 入力画像に対するイルミネーションモーフィング手法

3次元モデルに対する等照度線ワーピング手法[4]は、3次元物体面上において光源位置の異なる2つの照度分布に対して等照度線を配置し、2つの光源位置間で同じ照度値をもつものを対応付ける。そして、対応付けられた等照度線をワーピングすることにより、2つの光源間で光源を移動したときの照度分布を算出する手法である。本稿では、この考え方をもとに、光源位置の異なる2つの画像を輝度分布として入力し、これらの画像間で輝度値が変化した画像を生成することにより、光源の移動を表現する手法を提案する。提案手法の概略手順を以下に示す。また、提案手法の流れを図1に示す。

- Step1 光源位置の異なる2つの入力画像を領域分割する(図1(c), (d))。
- Step2 それぞれの領域に対して等輝度線を配置する(図1(e), (f))。
- Step3 等輝度線を対応付ける。
- Step4 等輝度線をワーピングする(図1(g))。
- Step5 光源を移動したときの等輝度線を用いて輝度分布を算出する。

Step1において、画像を複数の領域に分割する。ここで、領域に分割するのは、輝度が不連続となる部分は、等輝度線のトポロジーが複雑になることが予想され、その後の処理に悪影響を与えると予想される。よって、輝度が連続に変化する部分を領域として定義し、領域単位で等輝度線を取り扱うようにする。次に、Step2において、マーチングキューブ法[5]のアルゴリズムを二次元問題に適用することにより等輝度線を配置する。そして、Step3においてそれぞれの光源位置における入力画像間で同じ輝度値をもつ等輝度線を対応付ける。さらに、Step4において、対応付けられた

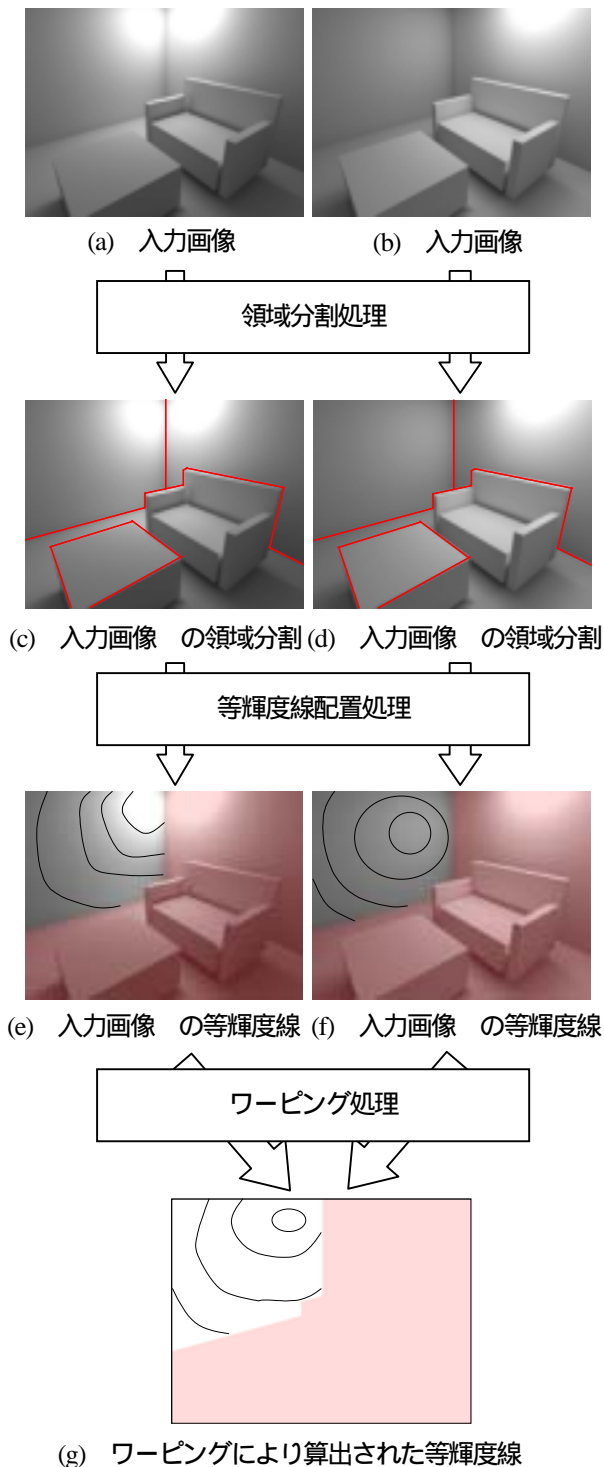


図1 提案手法の概略処理手順

等輝度線をワーピングすることにより、光源位置の異なる画像間で、光源を移動させたときの等輝度線を算出する。最後にStep5において、ワーピングされた等輝度線から輝度分布を算出し、画像を生成する。

2.1節で、Step2の等輝度線配置処理について説明する。

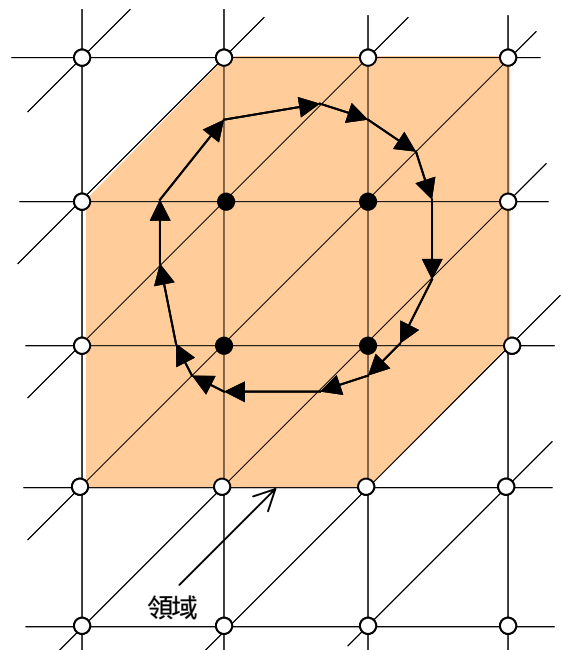


図2 等照度線

2.1. 等輝度線配置処理

Step1において分割された領域に対し、図2に示すように、画素中心を結んだ三角形パッチを作成する。ここで、三角形パッチの頂点に格納されている輝度値を用いてマーチングキューブ法[5]を適用することにより、三角形パッチを通る等輝度線の線分を決定する。三角形パッチの边上のどの点を通するかはパッチ頂点の輝度値を用いた線形補間により決定する。決定された点どうしを結ぶことにより、三角形パッチ内部の等輝度線を作成する。

作成された等輝度線の線分を隣接するパッチ頂間でトレースすることにより、閉じた等輝度線が作成される。以上の処理により、領域内部の等輝度線を配置することができる。

等照度線の配置は、Step3にける2つの画像間で等輝度線を対応付ける際に、大きく影響する。対応付けられる等輝度線の本数が多いほど、ワーピング時に等輝度線の滑らかな移動が可能となり、得られる輝度分布の変化が滑らかになるため、光源の自然な移動を表現できる。さらに、人間の目が敏感に感知する輝度値の高い等輝度線を欠落させず、且つ、等輝度線を領域に均等に分布させることで、Step5において等輝度線から良好な輝度分布が得られる。滑らかな光源の移動

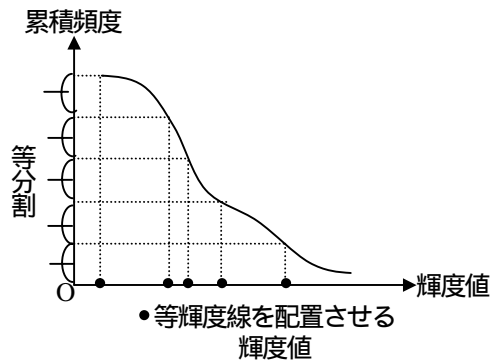


図3 輝度値の累積頻度分布

と、良好な輝度分布を得るためには、Step2における等輝度線の配置が大きく影響する。故に、どのような輝度値をとる等輝度線を配置するかが重要な点となる。以下に、等輝度線を配置する際の輝度値を適切に決定し、最適な等輝度線の配置を得る方法について述べる。

3. 等輝度線の最適な配置方法

イルミネーションモーフィング手法における等輝度線の「最適な配置」は、以下の3点を満足するような配置である。

- Point 1** 2つの画像間で対応付けられる等輝度線の本数ができるだけ多い。
- Point 2** 領域全体に均等に等輝度線が配置されている。
- Point 3** 重要度の高い、人間が敏感に感知する輝度値の高い等輝度線が配置されている。

ここで、等輝度線を配置させる際の輝度値のサンプル数は一定であるとし、サンプル数を増加させることにより、上述の3点を満足するのではなく、限られたサンプル数の中で上述の3点を満足するように等輝度線を配置する輝度値を決定する。

Point 1、Point 2 を実現するために、累積頻度分布を用いた等輝度線の輝度値決定法を、Point 3 を実現するために、輝度値の頻度に対する重み付け手法を用いる。

3.1. 累積頻度分布を用いた等輝度線の輝度値決定法

上述の Point 1、Point 2 を実現するために、累積頻度

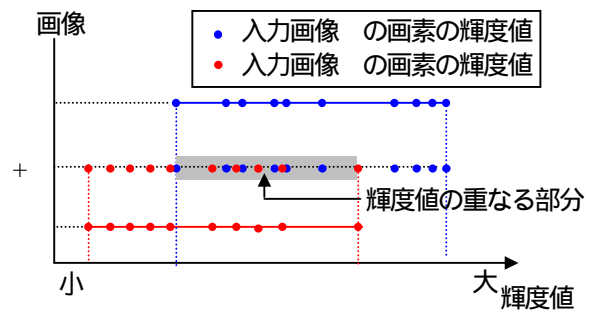


図4 各画像における画素の輝度値の分布

分布を用いて配置する等輝度線の輝度値を決定する。以下で、累積頻度分布の作成と、累積頻度から配置する等輝度線の輝度値を決定する処理手順を示す。

- Step 1** 配置を行う領域内にある画素の輝度値を2つの画像でまとめてヒストグラムを作成する。
- Step 2** ヒストグラムの輝度値の高い頻度から輝度値の低い頻度へと順次その頻度を累積することにより、累積頻度分布を作成する(図3参照)。
- Step 3** 得られた累積頻度分布の累積頻度を等間隔に分割し、その累積頻度に対応する輝度値を等輝度線の輝度値とする。

この手法では、等間隔にサンプリングされた画素から累積頻度分布を作成しているため、画素の輝度値の分布を考慮することができる。したがって、面全体にわたって等輝度線を配置することができる(Point 2 を満たす)。さらに、2つの画像の領域内にある画素の輝度値を合わせて1つの累積頻度分布を作成することにより、2つの画像間で輝度値の重なる部分に等輝度線を多く配置することができる(Point 1 を満たす)。すなわち、図4において画像 と画像 の輝度値の重なる部分では、画像 の画素の輝度値(図中青点)と、画像 の画素の輝度値(図中赤点)の両者の頻度が累積頻度分布を作成する際に加え合わされるため、重なり部分の累積頻度曲線の傾きが大きくなる。これにより、輝度値の重なる部分での輝度値のサンプル幅が小さくなり、対応付けられる等輝度線をより多く配置することができる。

3.2. 輝度値の頻度に対する重み付け手法

インポートンスサンプリング(Point3)の観点から、画像中で重要度が高い部分、すなわち、輝度値の低い部分より高い部分に等輝度線を多く配置する手法を提案する。

前節の Step 1 において、ヒストグラムを作成した後、その頻度に重み付けを行う。すなわち、最低輝度値の頻度には重み $w=1$ 、最高輝度値の頻度には重み $w=W$ となるように線形に変化する重みを頻度分布に掛け合わせる。この処理により、輝度値の高い部分の累積頻度曲線の傾きが大きくなり、輝度値の高い等輝度線がより多く配置される。

4. 適用結果

提案手法の適用結果を示す。光源位置の異なる2つの入力画像(画像、画像)を図5に示す。この2つの入力画像に2節の Step2 において示した領域分割処理を施した画像を図6に示す。光源の移動に伴う等輝度線の変化を見るために、画像中右奥の面上での領域での等輝度線を示す。画像中の赤色で表示した以外の部分が適用された領域である。ただし、今回の領域分割処理は手入力で行っている。

図7に画像、に対して等輝度線を配置した画像を示す。画像を時間 $t=0.0$ 、画像を時間 $t=1.0$ における画像とし、 $t=0.25$ 、 $t=0.5$ 、 $t=0.75$ における等輝度線をワーピングにより算出し、図8に示す。以下で、適用結果に対する考察について述べる。

4.1. 考察

図7、図8より、 $t=0.0$ から $t=1.0$ にかけて、等輝度線がスムーズに移動していることがわかる。この等輝度線から輝度分布を算出すれば、輝度分布が滑らかに変化し、光源が移動する現象を表現することができる。

しかし、領域境界付近を通る等輝度線には、他の等輝度線と交差しているものや、形状が不自然になっているものがある。このような等輝度線からは不自然な輝度分布が算出されてしまう。この原因として考えられるのが等輝度線を配置する際の境界問題である。現

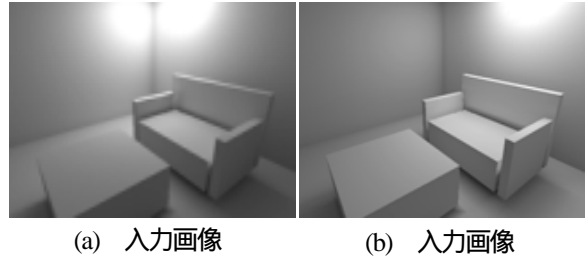


図5 入力画像

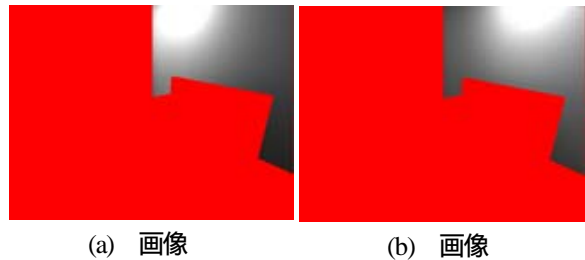


図6 領域分割画像

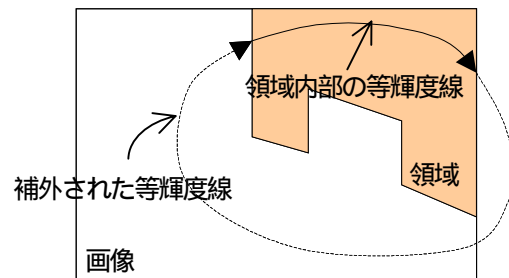
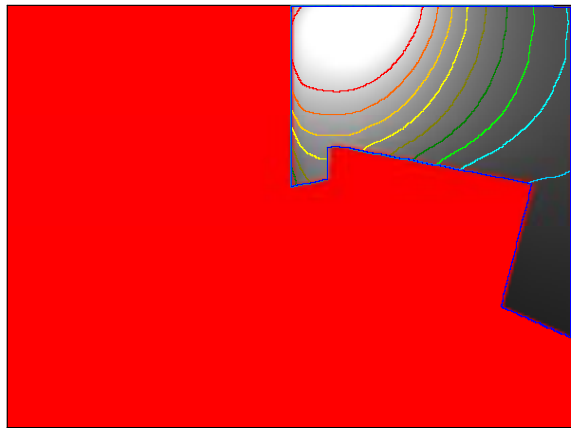


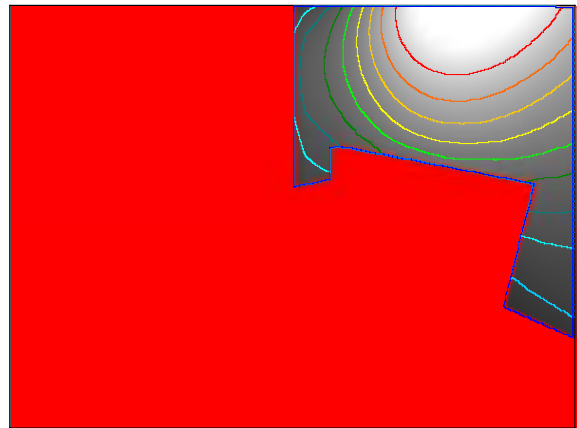
図9 等輝度線の補外

在、2節で述べた処理の Step2 において等輝度線を配置する際、等輝度線が領域境界と交差する場合には、境界に沿った形状で配置している。領域境界の形状に影響を受けた等輝度線の形状は、ワーピングにより算出される等輝度線の形状にも影響を与える。結果、不自然な形状の等輝度線を生成してしまい、場合によっては、等輝度線どうしの交差が発生してしまう。

この問題を解決するために、図9に示すように、領域境界に交差する等輝度線を、領域外に補外することにより、領域外の等輝度線の形状を推定する。問う輝度線を補外することにより、対応付けられる等輝度線が自然な形状となり、ワーピング後の等輝度線も自然な形状になると考えられる。現在、補外処理の詳細について検討中であり、領域の形状を考慮した補外処理を行う予定である。

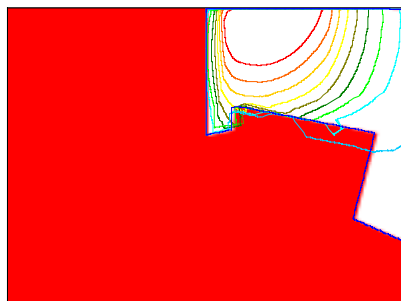


(a) 入力画像 ($t=0.0$)

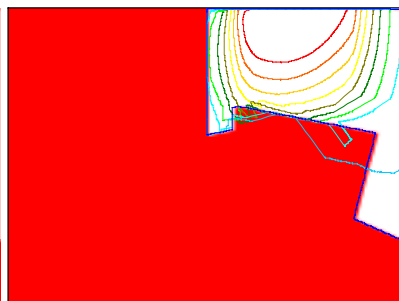


(b) 入力画像 ($t=1.0$)

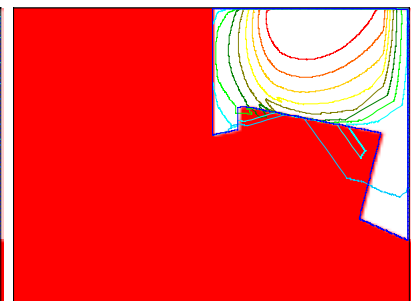
図7 等輝度線配置画像



(a) $t=0.25$



(b) $t=0.5$



(c) $t=0.75$

図8 ワーピングにより算出された等輝度線

5. おわりに

本稿では、光源位置の異なる2つの入力画像からそれらの光源間の中間位置に光源を設置したときの画像を生成するイルミネーションモーフィング手法を提案した。実際の画像において等輝度線を配置し、ワーピングにより等輝度線が滑らかに移動することを確認した。今後の課題は、等輝度線の補外処理の実装と、等輝度線からの輝度分布の算出を行い、輝度分布の滑らかな変化により光源の移動が表現されていることの確認などがあげられる。

文 献

- [1] P. Debevec, "Image-Based Lighting," IEEE Graphics and Applications, vol. 22, No. 3, pp. 26-34, May/June. 2002.
- [2] P. Debevec, et al., "Acquiring the Reflectance Field of a Human Face," SIGGRAPH 2000 Conference Proceedings, pp. 145-156, October. 2000.
- [3] Y. Dobashi, et al., "A Quick Rendering Method Using Basis Functions for Interactive Lighting Design," Computer

Graphics Forum, vol. 14, No. 3, pp. C229-C240, September. 1995.

- [4] 真鍋他, "等照度線の変形による相互反射環境下における光源移動時の照度補間法," 画像電子学会, vol. 31, No. 4, pp. 487-495, July. 2002.

- [5] W. E. Lorensen, et al., "Marching Cubes: A High Resolution 3D Surface Construction Algorithm," Computer Graphics, vol. 21, No. 4, pp. 163-169, July. 1987.

著者所属 (広島大学 大学院工学研究科 情報工学専攻・Department of Information Engineering, Graduate School of Engineering, Hiroshima University)