

レーザープラズマ方式自由空間ディスプレイによる 顔表示のための点群生成法

青木 悟史[†] ノジク ヴァンソン[†] 石川 尋代[†] 斎藤 英雄[†]

[†] 慶應義塾大学理工学部情報工学科

レーザー光で焦点近傍の空気をプラズマ化し発光させることにより、従来の立体映像研究では困難とされていた、空気以外に何も存在しない空間にドットアレイからなる3次元映像を実像として描画することを可能にした「レーザープラズマ方式自由空間ディスプレイ」という新たなデバイスが開発されている。本稿では、一度に表現出来る点の数が限られているというディスプレイのもつ制約下においても認識可能な点群の生成及び選択法を提案する。本手法では、特徴点が多く表れやすい顔画像を対象とし、入力画像に前処理を施し背景差分画像と距離画像を得る。そしてエッジ検出による輪郭線情報を元に人間の目・鼻・口といった個性が強く表れるように、エッジの勾配、顔重心からのガウス分布等を考慮し重み付けをする。また近傍に点が密集しないようにし、少ない情報量でも点が広範囲に及ぶようにする。最後に選択した点群と距離データを合わせることで3次元点群の生成を行う。

Point Cloud Generation for Displaying Face Using Free Space Display by Laser Plasma

Satoshi Aoki[†], Vincent Nozick[†], Hiroyo Ishikawa[†], Hideo Saito[†]

[†] Department of Information and Computer Science, Keio University

Recent research on laser plasma has made possible to draw light dots on the air. This new technology, called "Free Space Display by Laser Plasma", enables to draw 3 dimensional monochrome images on the air using plasma dots. This paper presents a method to generate a point cloud from an image and its corresponding depth map. Our method especially focuses on human faces rendering. Due to the laser device limitation on the number of points to be drawn, these points should be chosen carefully, such they can reliably depict the human face. During a pre-processing stage on the input videos, a depth-map of the face is computed on every frame using a stereo method. We also perform a background subtraction on the input images associated to the depth-maps. Then, our method selects significant points to visually represent the face using a weighted method applied on points candidate provided by an edge detection pass. Then the selected points are combined with the depth map to generate 3D points that can be send to the laser display.

1 はじめに

現在、3次元的に立体視できる映像技術の開発が望まれ、盛んに進められている。しかしながら、人間が3次元物体を認識するためには、両眼視差、両眼のふくそう角、焦点調節、単眼の運動視差といった生理的要因を満たす必要があり、これまでのディスプレイではこれらの要因全てを満たすのは難しかった。

従来行われてきた3次元ディスプレイの研究は、大きく分けて以下の3つに分類することが出来る。

- 視差障壁型
- 光線再生型
- 体積型

視差障壁型は、人間の両眼視差を利用して擬似的に3次元表示を行うもの [1] で、テレビやパソコンなどの比較的身近なディスプレイにも応用されている [2] が、視野制限が狭いなどの問題点がある。光線再生型は、ホログラフィック・ディスプレイ [3] や、インテ

グラルフォトグラフ方式のディスプレイ [4, 5] で、光線の波面を再生することにより、観察者に視差画像を提示する。体積型は、回転などの物理的メカニズムを利用したもので、ミラーなどに映像を映すことにより 360° 全方位から見る事が可能なディスプレイ [6] も存在している。しかしながら、回転媒体が必要なことからサイズが限定されるといった欠点がある。

それらに対し、レーザー光を空間中の 1 点に強く集光させ焦点近傍の空気を発光させる技術を用いて直接 3 次元空間に描画することが出来る「レーザープラズマ方式自由空間ディスプレイ」 [7] が提案されている。レーザー光の焦点位置を 3 次元空間中で自由に制御することで空中に実像としてのドットアレイからなる 3 次元映像の表示を可能にしたものである。

しかしながら、レーザープラズマ方式自由空間ディスプレイには

- 一度に表現できる点の数が限られている
- 描画したいオブジェクトは一筆書きで表されなければならない

といった制約が存在する。そこで本論文では、レーザープラズマ方式点群ディスプレイに表現出来る点の数が限られているということ considering した上で、限定された条件下においても認識可能な点群の生成及び選択を行う [8]。

2 手法の概要

ここでは、本研究の手法の概要を説明する。本手法では、あらかじめ複数のカメラによって撮影された映像から得られた距離画像と描画したい対象を取り出した背景差分画像とを入力とする。

背景差分画像にエッジ検出を施し、エッジベースの 2 次元情報から限られた点数で表現した際に重要と考えられる領域の表示優先度を決め、点群の選択を行う。今回は特徴点の表れやすい顔画像を対象としているので、人間の目・鼻・口といった個性が表れやすい部分や輪郭線などの情報が強く表れるように重み付けをする。そして距離画像から得られた距離情報を加えることで 3 次元点群を生成する。

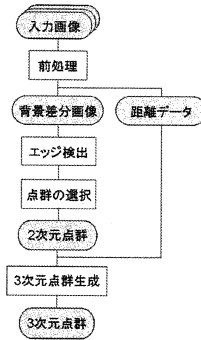


図 1: 手法の流れ

2.1 点群の選択

ディスプレイの制限により限られた点数で表現しなければならないことから、表示したいオブジェクトをエッジ検出した結果多数の点を得られた場合、全ての点を表示することは不可能である。そこで、点の分布を以下の要素を考慮して重み付けを行い、選択する。

- 人間の顔の輪郭線情報は重要であるのでエッジベースから選択
- 点数が限られているので、 $N \times N$ 近傍に点が出現しないようにする
- 目、眉、口といった部分は横方向の成分が強いので、勾配が小さい点に重み付けを行う
- 人間の個性が現れる目、鼻、口は顔の中心に集まっているので、顔中心からガウス分布で重み付けを行う

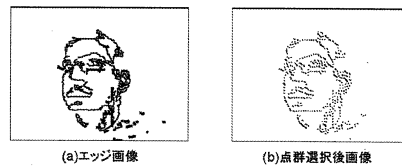


図 2: 点群の選択

2.2 勾配

写真や画像から人間の顔を区別するのは可能であるが、エッジ抽出を行った後さらに限られた点群で表示された時は、その特徴が強く残っていなければ認識は難しいと考えられる。

人間の目、眉、口といった部分は、エッジ画像から分かるように、ほぼ正面を向いている限り角度の浅い横線で表され、横方向の成分が強い、よって Canny のエッジ検出の際に、ガウシアン関数でノイズ低減を行った後、ソーベルフィルタを適用することで、 x 方向微分値、 y 方向微分値がそれぞれわかるので、これにより勾配を求める。これより傾きを求め、その値が小さい点から順に重み付けをすることにより、目や眉、口、顎のラインといった横方向成分が強い部分の表示優先度を上げる。

以下、図 3(a) に全点を表示したエッジ画像、(b) に勾配の小さい 1000 点を選択した画像を示す。画像を見て分かるように、勾配の小さい点を選択した画像は口、顎のラインといった横成分が多く現れているのがわかるが、ソートした順に選択しただけなので全体的に点が広がっている。

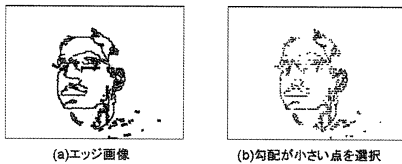


図 3: エッジ画像と勾配の小さい点を選択した画像

2.3 ガウス分布

エッジ強度が強い点や勾配が小さい点を選択出来たとしても、完全に目や鼻、口といった部分を表示できるわけではない。ここでは、顔の特徴部分である目や鼻、口の表示優先度をさらに顕著に高まるようにする。エッジ画像の重心を原点 $(0, 0)$ としたガウシアンフィルタによる重み付けを行う。

以下、図 4(a) に全点を表示したエッジ画像、(b) にガウス分布のみを考慮して 1000 点表示した場合の画像を示す。画像を見て分かるように、ガウス分布を考

慮した場合は鼻の辺りが顔中心となって円形に顔が切り出されているのがわかる。

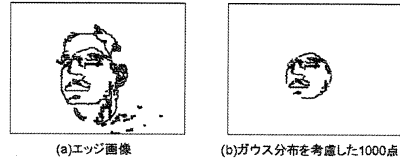


図 4: エッジ画像とガウス分布を考慮した点群画像

2.4 $N \times N$ 近傍

今回のように顔画像を使用すると、顔が画像中に占める割合と画像の大きさに依存するので、現在のレーザーディスプレイでは秒間 1000 ドットが表示できるが、少ない点で表せた方が良い。そのため、エッジ強度が強い点、勾配の小さい点、ガウス分布による重み付けなどの数値的な選択だけではなく、オブジェクト全体の形状と特徴がわかるように選択を行う必要がある。表示できる点の数が少ないほど、点群が一部に密集した時に何を表しているのかわかりづらくなるので、ある注目画素が選択された場合にその周囲の $N \times N$ 近傍にある点の表示優先度を下げて、点群が密集しないようにして広範囲に点が及ぶようにする。

これは、画像をラスタスキャンして最初に発見したエッジ点から順にチェックし、次に選択された点の周囲 $N \times N$ 近傍に点が存在すれば重み付けを下げる、そうでなければ優先度はそのままにし、また次の点を探すという作業を行う。

以下、図 5(a) にエッジ画像、(b) に 3×3 近傍における 200 点選択画像、(c) に 5×5 近傍における 200 点選択画像を示す。近傍の範囲を広く取ったほうが、少ない点群でも多くの情報を伝えることが出来ている。

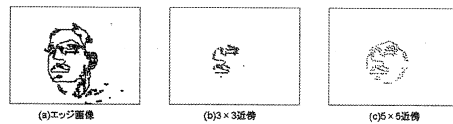


図 5: エッジ画像と異なる近傍での 200 点選択画像

2.5 点群の生成

点群の選択は2次元画像情報を元に行い、入力画像から得られた距離情報と合わせて3次元点群の生成を行う。距離画像の生成には VincentNozick 氏の PLANE-SWEEP [9] という手法を用いている。また、今回は顔画像のみを対象としているが、様々なオブジェクトや同時に複数表示したい場合や、リアルタイムで行いたい場合などにも対応出来る様に、描画には GLSL を用いている。

以下、図 6(a) に全点を表示した 2 次元エッジ画像、(b) に (a) に距離情報を加え斜めから見た場合の 3 次元点群画像を示す。3 次元点群画像には若干ノイズが見られるが、これは距離画像の精度による影響である

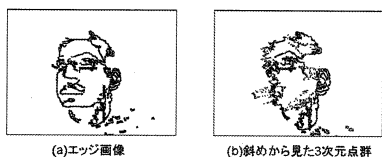


図 6: 2 次元エッジ画像と 3 次元点群画像

3 実験と検討

本研究では、点数が 1000 点、500 点、200 点と制限された場合について実験を行い、それぞれにおいて、勾配が小さい点を順に選択した場合、ガウス分布による重み付けをした場合、エッジ強度が強い点を順に選択した場合、本手法を用いて近傍の値を変えた場合の結果について比較・検討した。

PLANE-SWEEP 法 [9] によって予め得られた、256 階調のグレースケールで表された距離画像と背景差分画像とを入力とする。なお、出力画像は 3 次元点群画像にしているため距離画像によるノイズを若干含んでいる。

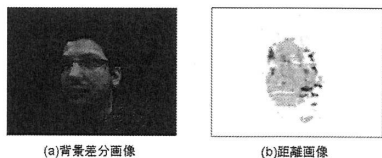


図 7: 入力画像

3.1 1000 点で表示した場合

1000 点で表示した場合の画像をそれぞれ以下に示す。なお比較のために図 8(a) のみ全てのエッジ点を表示した画像を示す。

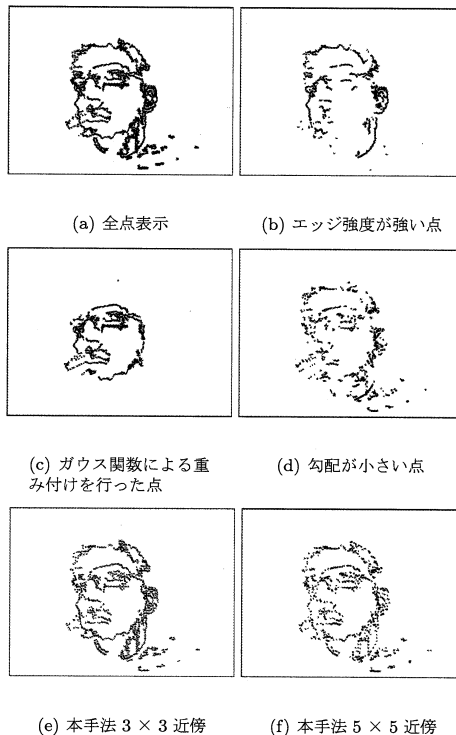


図 8: 1000 点で表示した場合の結果画像

まず、図 8(b) のエッジ強度が強い点を選択した場合は顔の輪郭線部分が強く表れている。そして図 8(c) のガウス分布を考慮した点は鼻部分を中心として円形に切り出されている。これらを組み合わせると図 8(a) の全ての点を表示した画像に近くなると考えられる。これより、輪郭部分を表現したいならエッジ強度、目や鼻、口といった顔の中心部分を表現したいならガウス分布を利用して重み付けをすれば良いことが分かる。次に図 8(d) 勾配の小さい点を選択した点群では、眉など横方向成分が強い部分が残っているもののノイズが大きく表れてしまっている。

そして本手法が図 8(e), (f) である。点が近傍に存在しないように表示優先度の下げ幅を大きくとっているので (e) は均等に点が並んでいる様に見える、(f) の方がまばらではあるが、次点で表示優先度の高い勾配の小さい点の影響が出ており、(d) で表示されている点群と近い位置の点の横方向成分が繋がっているのが見られる。

3.2 500 点で表示した場合

500 点で表示した場合の画像をそれぞれ以下に示す。なお比較のために図 9(a) のみ全てのエッジ点を表示した画像を示す。

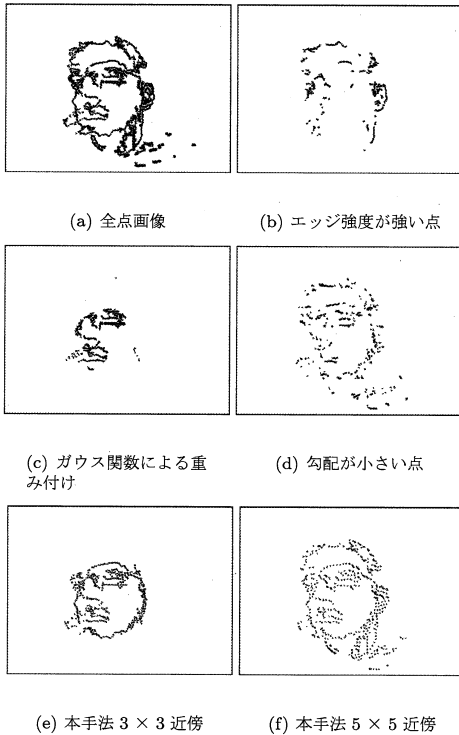


図 9: 500 点で表示した場合の結果画像

1000 点の半分になっただけで、既に図 9(b) のエッジ強度が強い点を選択した場合は眉や耳、額のラインの一部を表すだけとなってしまった。図 9(c) のガウス分布を考慮した点は点数が減った分領域が狭くなり、そ

して図 8(d) 勾配の小さい点を選択した点群では、広範囲にわたって横方向成分が強い点を表してはいるが、おぼろげに顔全体の形を把握できる程度にとどまってしまっている。

しかしながら、本手法を用いた図 9(e), (f) を見ると、(e) は近傍の範囲が狭い分ガウス分布の影響が強く出ており、顔の中心部分から顎のラインまでは (a) の全点表示画像に近い表現が出来ていると言える。(f) は近傍を広くとった分点の間隔は広がっているが、顔全体の輪郭、頭、首と広範囲にわたって点群表示が行えているので、人間の顔の全体的な形状を少ない点群で表せている。

3.3 200 点で表示した場合

200 点で表示した場合の画像をそれぞれ以下に示す。なお比較のために図 10(a) のみ全てのエッジ点を表示した画像を示す。

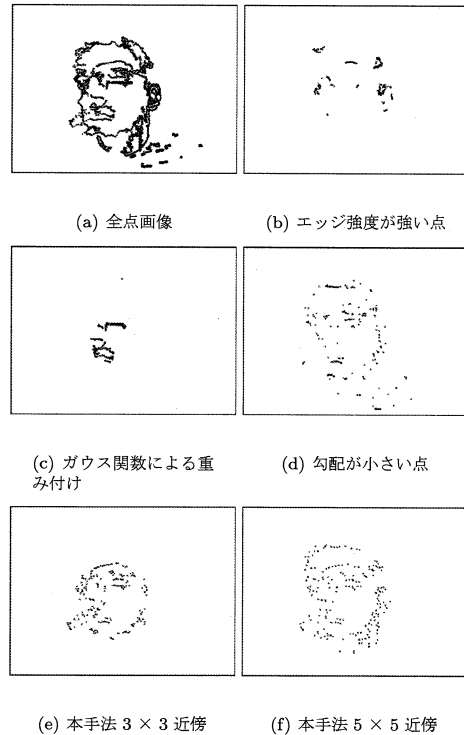


図 10: 200 点で表示した場合の結果画像

500点ではかろうじて顔部分が認識可能であった図10(b)エッジ強度が強い点, (c) ガウス分布を考慮した点, (d) 勾配が小さい点らも, 200点とさらに限定されると, もはやもとの映像を知らない限り画像から顔と判断するのは困難な結果となった.

本手法を用いた図10(e), (f)も, 他の結果と比べれば幾分か顔の輪郭線や目, 鼻, 口といった特徴部分が表れてはいるものの, 表示できる点が少ないために点間隔が大きくなりすぎてしまい, 本来は同じラインのエッジ上に存在しているはずの点同士が, 何処でつながっているのかが分かりづらくなってしまった. 点の数が少ない場合は(f)の様に近傍を広げて密度の薄い点で曖昧な情報を表すよりも, (e)の様に領域を逆に狭くすることで一つ一つの特徴を表現した方が良いと考えられる.

4 結論

本論文では, レーザープラズマ方式自由空間ディスプレイにおいて表現出来る点の数が限られているという事を考慮した上で, 限定された条件下においても認識可能な点群の生成及び選択する手法を提案した. 本手法では顔画像を対象とし, エッジベースの情報を元に処理を組み合わせて重み付けをすることで点群の選択をすることが出来た. また, 点数制限を変えて行った実験から, 点数がある程度確保できる時には, 近傍の領域を広くとることで人間の顔の全体的な形状を表現でき, 逆に点数が少なく表示したいオブジェクトの占める面積が広い場合には, 近傍の領域を狭くした方が一つ一つの特徴を表現できるという結果が得られた.

今後は, より認識しやすい選択法を考えると共に, 顔以外の様々な対象にも適用できるように改良したい. また, レーザー装置の首振りなどのハードウェア的な制約も考えての点群選択を行う必要がある. が重要である.

謝辞

本研究は, JST CREST (デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術領域) の補助を受けた.

参考文献

- [1] Tom Peterka, Robert L. Kooima, Javier. Girado, Jinghua Ge, Daniel J. Sandin1, Andrew Johnson, Jason Leigh, Jurgen Schulze Thomas A. DeFanti: "Dy-nallax: Solid State Dynamic Parallax Barrier Autostereoscopic VR Display" Virtual Reality Conference, 2007. VR '07. IEEE 10-14 March 2007 pp.155-162.
- [2] Philip Benzie, John Watson, Phil Surman, Ismo Rakkolainen, Klaus Hopf, Hakan Urey, Ventseslav Sainov, Christoph von Kopylow: A Survey of 3DTV Displays: "Techniques and Technologies" Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on vol.17, Issue 11, Nov. 2007, pp.1647-1658.
- [3] Rakkolainen, Ismo: "How Feasible Are Star Wars Mid-air Displays" Information Visualization, 2007. IV '07. 11th International Conference 4-6 July 2007 pp.935-942.
- [4] Jung-Young Son, Javidi Bahram, Kae-Dal kwack: "Methods for Displaying Three-Dimensional Images" Proceedings of the IEEE vol.94, Issue 3, March 2006 pp.502-523.
- [5] Lyndon Hill, Adrian Jacobs: "3-D Liquid Crystal Displays and Their Applications" Proceedings of the IEEE vol.94, Issue 3, March 2006 pp.575-590.
- [6] Voicu Popescu, Paul Rosen, and Daniel G. Aliaga: "Three-Dimensional Display Rendering Acceleration Using Occlusion Camera Reference Images" Journal of Display Technology, vol.2, Issue 3, pp.274-283.
- [7] Hideo Saito, Hideki Kimura, Satoru Shimada, Takeshi Naemura, Jun Kayahara, Songkran Jarusirisawad, Vincent Nozick, Hiroyo Ishikawa, Toshiyuki Murakami, Jun Aoki, Akira Asano, Tatsumi Kimura, Masayuki Kakehata, Fumio Sasaki, Hidehiko Yashiro, Masahiko Mori, Kenji Torizuka, Kouta Ino: "Laser-plasma scanning 3D display for putting digital contents in free space" Electronic Imaging 2008, 6803-07, Jan. 2008.
- [8] 渡邊, 前田, 館: "サッケードを利用した新しい情報提示手法の提案," 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol.6, No. 2, pp.79-87, 2001.
- [9] Vincent Nozick, Sylvain Michelin and Didier Arques: "Real-time Plane-sweep with local strategy" in the Journal of WSCG, The 14-th International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision, , Plzen, Czech Republic, January 30 - February 3, 2006, Vol.14, No.1-3, pp. 121-128.