2008－CVIM－161 (41)
2008／1／18

視覚特性を考慮した2次元形状の効率的な点群表現手法

石川 尋代　　斎藤 英雄

慶應義塾大学大学院 理工学研究科 〒223-8522 横浜市港北区日吉 3-14-1

E-mail: {hiroyo, saito}@ozawa.ics.keio.ac.jp

あらまし 空間中にプラズマ光を発生させ，光の点群を描くことができる 3 次元空中ディスプレイのための新しいデバイスが開発されている．本研究では，人間の視覚特性を考慮して点群を用いて効率よく 2 次元形状の輪郭を表現する手法を提案している．本手法では人間がその形状を理解しやすいように，曲線では曲率が高い部分は点の密度を高く設定して形状を表現している．また，多角形などの場合，形状を表現するために重要な情報となる角には必ず点を配置している．シミュレーション実験から，同じ点数を用いて等しい点間隔で形状を表現した場合より詳細に表現できるという結果が得られた．

Efficient Expression of 2D shapes using points in consideration of human visual characteristics

Hiroyo Ishikawa　　Hideo Saito

Graduate School of Science and Technology, Keio University

3-14-1 Hiyoshi Kohoku,Yokohama, 223-8522, Japan

E-mail: {hiroyo, saito}@ozawa.ics.keio.ac.jp

A new device has been developed for 3D special display. This device uses laser to make plasma light in the mid-air. In this paper, a method of expressing 2D shapes efficiently using light points in consideration of human visual characteristics is proposed. This method locates points on the vertices of corners. In the case of curves, the density of points is changed as curvature. As the result, we can see that these images are able to express shapes in more detail changing the density of points depending on curvature.

1. はじめに

レーザービームを用いて空間中の任意の位置にプラズマ光を発生させる新しいデバイスが開発されている[1][2]．このデバイスで発生させた光は点として観測される．このような光点を配置させてコンテンツを描くことで，これまでにない空間三次元ディスプレイを構築することができる．しかしながら，この光点は 1 点ずつ発生させるため，残像効果があっても一度に人間が知覚できる光点の数が限られている．デバイスの開発が進めばより多くの光点が描けるようになるが，効率よくリソースを利用することは必要不可欠である．そこで，表示されたオブジェクトを人間が観測したときの理解しやすさを保ちながら，少ない光点でオブジェクトを表現する手法が必要となる．

光点で表現した文字パタンを知覚に関して興味深い研究がある．渡邊ら[3]は眼球運動を利用して文字を知覚させている．また，小島，松田ら[4]は視覚的持続と視知覚の関係を扱っている．本研究にも関連しているが，これらの研究では光点を表示する位置はある程度限定されており，どのような位置に光点を配置して文字を表示するかについては検討されていな

い．したがって，使用するデバイスに有効な提示方法や表現手法を考える必要がある．そこで，本研究では，2 次元形状の輪郭を点列で効率よく表現する手法を提案する．

効率の良い表現のために，筆者らは，人間の点群知覚における視覚特性に着目した．人間の視覚特性に関しては古くからさまざまなことが知られている[5]．点群に関しては Gestalt 心理学における群化(Visual grouping)がある．形状の輪郭を光の点列で表示するときには，「近接によるまとまり」が関係する．本研究ではこれらを考慮して，直線や曲線，角を含む場合の点群表現における人間の知覚特性をもとに表現手法を検討する．

2. 2 次元図形の点群表現と視覚特性

2 次元図形の輪郭は図 1 に示されるように，直線や曲線，それらを接続する角頂点で表される．それらについて点群で表現した場合を考える．

1) 直線：図 2 の(a)に示すように点を等間隔で整列させたとき，これらの点群は格子として知覚される．縦方向の点間隔を(b)では(a)の 80%，(c)では(a)の 60%として表示すると，(b)では格子と知覚することが多いが，(c)では縦方向の点が群化し，縦の線が知覚できるようになる．人間はより近い点どうしを同じまとまりとみなして，線と知覚するようになる．このような現象から，点列で直線を表現するときはこの群化が適切に起こるように点間距離を設定する必要がある．

図 1　2 次元形状の構成要素

2) 曲線：例として円を考える．図 3 に示すように(a)の円と(b)の円を同じ点間隔で表現した場合，(a)は円として知覚できるが，(b)は円とは知覚しにくい．(b)の半径は(a)の半分である．次に，(c)の円は(b)と同じ半径であるが，点密度を高くして表現したとき，(c)は円として知覚できる．この例のように，曲率が高い場合には点密度を高くするように動的に変化させる必要がある．

3) 角頂点：角を含む図形の例として正方形を点列で表現すると，図 4 に示すように，同じ点密度で点を配置しても，角の頂点に点を配置した場合としない場合では受ける印象が異なってくる．(a)は正方形であるが，(b)は角が丸くなった四角と知覚してしまう．これより，図形の角は多角形を表現するのに重要な情報であるため，角に点を配置する必要がある．

点密度は点間距離を表すため 1)と 2)は密接

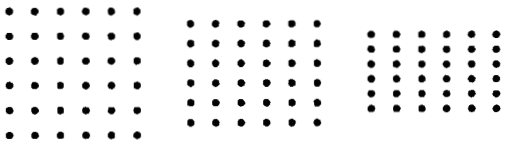


図 2　群化の例

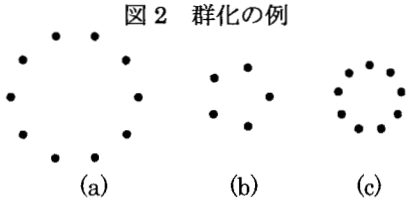


図 3　曲率による知覚の変化

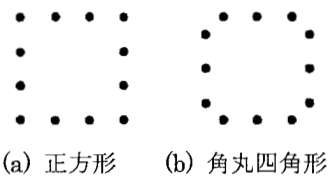


図 4　角頂点

に関係している．直線は曲率が 0 の曲線であるため，2)に 1)を含めることができる．したがって，本手法では以下の２点を考慮する．

・曲率によって密度を変化させて点を配置する．

・角頂点には必ず点を配置する．

これら２つを満たす２次元形状を表現する手法を提案する．

3. 提案手法

3.1. 曲線で構成された形状

形状の輪郭を $f(t)\ (0 \le t < 1)$，t における曲率を $C(t)$ とする．ただし，$C(0)$ を曲率の最大値とする．図 5 に楕円の例を示す．

曲率グラフ $C(t)$ と t 軸 $(0 \le t < 1)$ で囲まれる面積 S は式(1)で求められる．

$$S = \int_0^1 C(t)dt \qquad (1)$$

与えられた輪郭を N 点で表現するときには面積 S を N 等分する $t_i\ (i = 0, \cdots N-1)$ を求める．

$$\frac{S}{N} = \int_{t_i}^{t_{i+1}} C(t)dt, \qquad (2)$$
$$0 = t_0 < \cdots < t_i < t_{i+1} < \cdots < t_{N-1} < 1$$

式(2)で得られる各 t_i に対する図形上の $f(t_i)$ に点を配置する．結果として，曲率が高い部分では点密度が高く，曲率が低い部分では点密度が低くなるように $0 \le t < 1$ ま

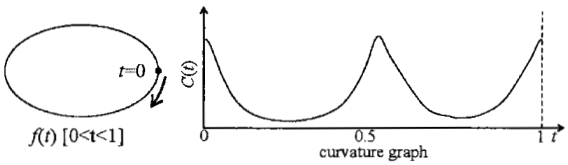


図 5 曲率グラフ(楕円)

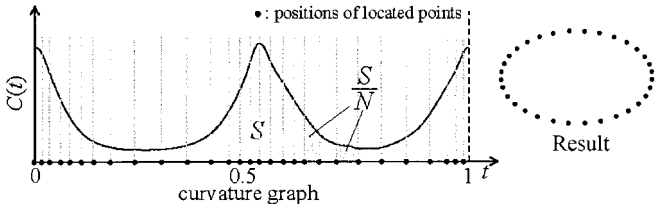


図 6　点位置の決定法

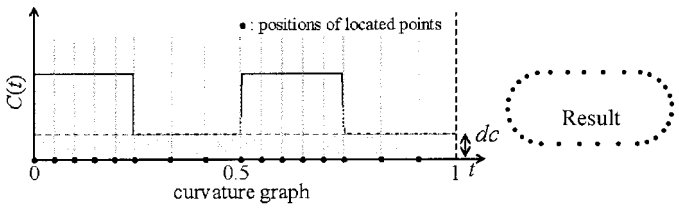


図 7 直線を含む図形の例

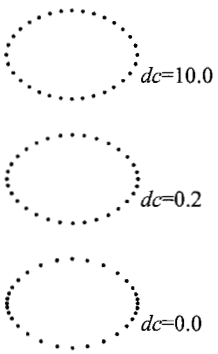


図 8 点密度の変化

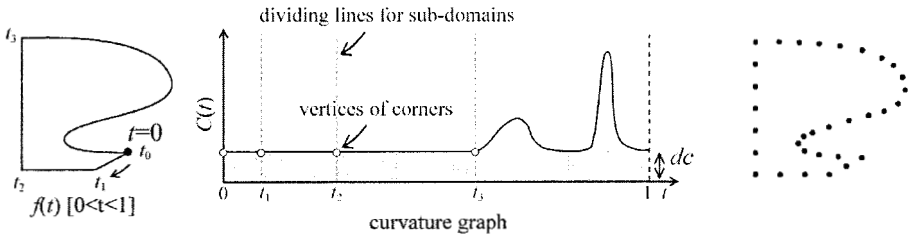


図 9 頂点を含む図形の例

での間を N 個の点で非線形に分割することができる．図 6 に楕円の例を示す．

3.2. 直線を含む形状

形状に直線が含まれるとき，直線部分の曲率は 0 になってしまうため，3.1 の手法では点が配置されない．それを回避するため，曲率に曲率の上乗せ値 dc を加えた $C'(t)$ を考える．曲率グラフ $C'(t)$ と t 軸 $(0 \le t < 1)$ で囲まれる面積は式(3)で求められる．この dc を加えることで，直線部分にも面積が発生し，点が均一に配置される．

$$S = \int_0^1 C'(t)dt, \qquad C'(t) = C(t) + dc \tag{3}$$

図 7 に直線部分を含むオーバルの例を示す．また，dc の値を変化させることで点群密度の変化をコントロールすることができる．すなわち，dc を大きくすると点群密度は一定になり，等間隔に点が配置される．逆に小さくすると曲率の高い部分の点密度が高くなる．図 8 に楕円において dc を変化させた場合の点群配置例を示す．

3.3. 角を含む場合

図形に m 個の角が含まれるとき，$f(t)$ 上での角の位置を t_j $(j = 0, \cdots m)$ とする．ただし，t_0=0，t_m=1 であり，t_0 と t_m は図形上では同じ位置を示す．形状全体を各 t_j でサブドメインに分割し，それぞれのサブドメインに対して 3.1，3.2 の手法を適用する．各サブドメインの点の数は式(4)で得られる面積 S_j に比例して式(5)で決定する．点の数は正数値なので四捨五入で発生する誤差は切り捨て値が多いサブドメインに加算する．角を含む形状の例を図 9 に示す．

$$S_j = \int_{t_j}^{t_{j+1}} C'(t)dt \tag{4}$$

$$N_j = \frac{S_j}{m} N \tag{5}$$

4. シミュレーション実験

4.1. 図形描画

本手法を用いて 2 次元図形表現のシミュレーション実験を行った．入力には各種ドローソフトや 3 次スプラインで描いた画像の輪郭線を等間隔にサンプリングしたデータを用いる．

実験の結果として得られた画像の例を図 10 に示す．各図形はすべて 32 個の点で表現している．dc は 0.00 から 0.50 までの間を 0.01 ずつ変化させて表現した形状の画像を作成し，17 インチディスプレイに 1 つずつ表示したときに最適だと判断した表示した．本手法で表現した形状の画像との比較のため，最も簡単な手法である等間隔に点を配置して形状を表現した画像を上段に表示する．表 1 にディスプレイに表示したときのディスプレイ上の形状の大きさと採用した dc の値を表-1 に示す．また，点の大きさは直径約 5mm である．

4.2. 考察

本手法で表現した図形と，等間隔に点を配置した図形を比較したとき，多くの図形において，前者の方がより細かな形状を表現できている．しかし，人間の知覚に影響する効果には対象とする形状によって差があると考えられる．効果があると考えられるのは，明朝体のカタカナのイのように全体像に対して細かな特徴が重要となる場合である．また，対象によっては視知

表 1　図形の大きさと *dc*

	高さ[mm]	幅[mm]	*dc*
1) あひる	165	200	0.04
2) 蝶	160	215	0.03
3)イ(明朝)	200	170	0.06

覚に個人差があると考えられる. その形状を図11に示す.

また，図形を点で表現した場合，点の大きさと図形の大きさの比率を変えずに拡大縮小した場合, 受ける印象が変わるため画像の表示サイズが変わった場合には再検討する必要がある. *dc* については多少の差はあるが，ほぼ同じくらいの値になった.

5. まとめ

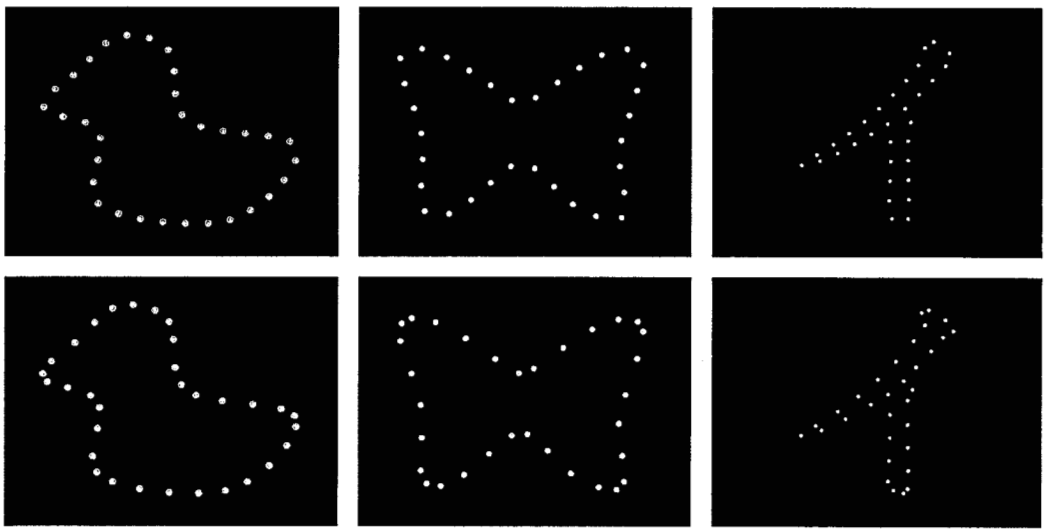
空間中にプラズマ光を発生させて点群を描く 3 次元空中ディスプレイに図形を表示するために，2 次元形状の輪郭を点群で効率よく表現する手法を提案した. 本手法では，輪郭の曲率を用いて光点を表示する位置を非線形で決定することができる. そして，角には必ず頂点を配置するため, 多角形などに重要な情報を表現することができる. また，点の数を決定すれば，ただ 1 つのパラメータ *dc* で制御ができるため, 等間隔に点を配置した場合と同等の結果を得ることもできため, 対象のオブジェクトによって *dc* を変化させて様々な表現が可能である.

本手法の検証のため，シミュレーション実験を行い，結果として，同じ点数を用いて等しい点間隔で表示した場合より詳細に形状を表現できるということが分かった. しかし，本手法の影響がない形状も確認された. また，個人差が発生する形状も確認された. これらに関しては厳密な視覚心理実験行い, その特徴などを分析する必要があるだろう.

本研究では 2 次元形状に特化しているが，3 次元オブジェクトをどのように記述するかが重要な課題となる. さらに描き順なども考慮する必要がある. また，シミュレーション実験の結果と実際の空間ディスプレイで表示した場合の違いなどを考慮して手法を改良していく必要があると考えられる.

謝辞

本研究の一部は科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業(CREST) 研究領域「自由空間に 3



(1) (2) (3)

図 10 シミュレーション実験結果(上:等間隔配置，下:本手法)

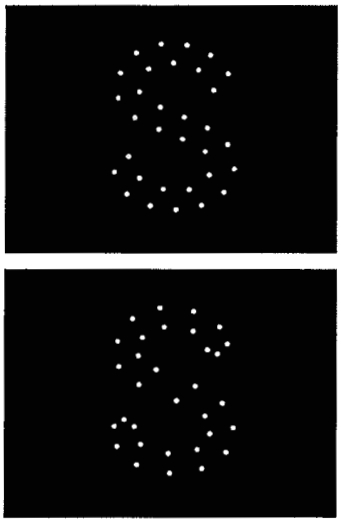


図 11 個人差があると考えられる図形

次元コンテンツを描き出す技術」により行われた.

本研究の一部はグローバルCOEプログラム「アクセス空間支援基盤技術の高度国際連携」により行われた.

参考文献

[1] http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2006/pr20060207/pr20060207.html

[2] H. Kimura, T. Uchiyama, H. Yoshikawa, "Emerging technologies: Laser produced 3D display in the air," ACM SIGGRAPH 2006 Emerging technologies SIGGRAPH '06, July 2006

[3] 渡邊, 前田, 舘, "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.

[4] 松田, "光点の継時的提示による文字パタンの同時的知覚 –視的持続実験と若干の関連問題-," 立命館文学, 519 号, pp. 1208-1193, Sep. 1990.

[5] カニッツア, "視覚の文法," サイエンス社, 1985.

[6] 平塚, 大西, 杉江, "群化を用いたグローバルな構造の抽出," 信学論(D-II), Vol. J76-D-II, No.1, pp. 74-82, Jan. 1993.

[7] G. Guy and G. Medioni, "Perceptual Grouping using Global Saliency enhancing operators, " Proc. of the 11th IAPR, The Hague, Holland, Vol I, pp. 99-104, 1992.