2 眼式立体画像のためのステレオクリッピング

正会員 安居院 猛[†], 長尾 智晴[†]
山崎 龍次[†], 正会員 中嶋 正之[†]

Stereo Clipping for Binocular Stereo Images

Takeshi Agui[†], Tomoharu Nagao[†], Ryuji Yamazaki[†]
and Masayuki Nakajima[†]

Abstract : It is very difficult to get the stereoscopic effect at both sides of a screen from a pair of stereo images in a small field of view. This is because at these sides, a part of an object seen by the right eye cannot be seen by the left one, and vice versa. We propose a method, called stereo clipping, for confining the displayed object within the view range of both eyes. Stereo clipping is achieved using a Cohen-Sutherland, Sutherland-Hodgman, or other algorithm. Visual tests verify that stereo clipping has a visual effect.

1. ま え が き

近年、博覧会等における立体映画、フライトシミュレータ、各種のプレゼンテーション、立体テレビの開発など、2眼式立体映像が社会のさまざまな分野で利用され始めている¹⁾。この傾向は、計算機の処理能力の向上、偏光ガラスや液晶式電子シャッターなどのデバイスの低価格化に伴い、ますます加速されると考えられる。2眼式立体映像をCRTディスプレイなどの限られた画面に表示する際、表示される立体が画面より大きい場合は、画面の左右両端部において、右目だけ、あるいは左目だけにしか見えない部分が生じる。このような部分では、左右の像の対応がとれないため、立体感が損なわれる。実写による立体映像では、この現象を回避できないが、コンピュータグラフィックスによる立体映像を表示する際には、左右両目によって完全に見える部分だけを表示することによって回避でき

る。本論文では、この処理をステレオクリッピングと呼ぶことにする。ステレオクリッピングは2眼式立体映像の表示に必要な不可欠な技術であるが、現在までにその実現方法および効果に関する報告はない。そこで本論文では、ステレオクリッピングを既存のクリッピングアルゴリズムの拡張によって実現するアルゴリズムについて述べる。次に、単純なステレオクリッピングでは隠れている部分を消去する隠面消去が正しく行われないことを示し、適切な隠面消去を行う手法について述べる。さらに、ステレオクリッピングを行った画像に対する視覚心理学的な実験について述べ、ステレオクリッピングの有効性を示す。

2. ステレオクリッピングの実現方法

ステレオクリッピングを実現する方法はいくつか存在するが、本論文では、最も典型的かつ基礎的な次の3つの手法について述べる。

キーワード：立体画像、クリッピング、コンピュータグラフィックス

1988年12月9日、情報処理学会グラフィックスとCAD研究会36-1に発表

1990年8月16日受付、1990年9月18日再受付

[†] 東京工業大学 工学部 像情報工学研究施設(〒227 横浜市緑区長津田町4259, TEL 054-922-1111)

[†] Imaging Science and Engineering Laboratory, Tokyo Institute of Technology (4259, Nagatsuda, Midori-ku, Yokohama 227, Japan)

右目 E_R

左目 E_L

F_R, F_L, B_R, B_L : xz 平面に垂直なクリッピング平面

(a) 平面図

T_p, B_t : 平面に垂直なクリッピング平面

(b) 側面図

図 1 クリッピングボリュームとクリッピング平面
Clipping volume and clipping planes.

- (i) Cohen-Sutherland アルゴリズムの応用
- (ii) Sutherland-Hodgman アルゴリズム
- (iii) z バッファアルゴリズムの応用

2.1 クリッピングボリューム

ステレオクリッピングでは、クリッピングボリュームとして、右目視界と左目視界の共通部分である両目視界を用いる。クリッピングボリュームを図 1 に示す。ただし図 1 では、3 次元空間内に xyz 右手系を考え、右目と左目の座標を、それぞれ $E_L(-d, 0, 0)$, $E_R(d, 0, 0)$ としている。また、物体が z 軸の正方向にあり、物体を投撮する面が $z=S$ であり、 x 方向には $-x_k$ から x_k まで、 y 方向には $-y_k$ から y_k までを表示領域としている。クリッピングボリュームを定義するクリッピング平面は、図 1 に示すように、 xy 平面に垂直な F_R, F_L, B_R, B_L の 4 枚の平面に、 yz 平面に垂直な T_p, B_t の 2 枚を加えた計 6 枚の平面である。

2.2 Cohen-Sutherland アルゴリズムの応用

ステレオクリッピングの実現方法として、はじめに代表的なラインクリッピングの手法である Cohen-Sutherland アルゴリズムの応用について述べる。Cohen-Sutherland アルゴリズムは、平面または空間を複数の部分に分割して数ビットのコードを割り当

ただし、*は y の値によって値が変わることを示す

(a) 平面図

ただし、*は x の値によって値が変わることを示す

(b) 側面図

図 2 ステレオクリッピングのための端点コード
Codes of terminal points for stereo clipping.

て、クリッピングの対象である線分の端点が属している部分のコードを用いるアルゴリズムである。

Chen-Sutherland アルゴリズムは、当初 2 次元平面上のクリップアルゴリズムとして提案され、3 次元への拡張は、従来、直方体またはビュー切頭体のクリッピングボリュームに対してだけ考えられていた。しかし、次の条件によって 6 ビットの端点コードを生成することによって、ステレオクリッピングへの適用が可能になる。

- 第 1 ビット：端点が F_R の外側にある
- 第 2 ビット：端点が F_L の外側にある
- 第 3 ビット：端点が B_R の外側にある
- 第 4 ビット：端点が B_L の外側にある
- 第 5 ビット：端点が T_p の外側にある
- 第 6 ビット：端点が B_t の外側にある

このようにして生成された端点コードは、図 2 のようになる。クリッピング平面と直線との交点を求め、従来の Cohen-Sutherland アルゴリズムと同様の処理を行うことによって、直線に対するステレオクリッピングを実現することができる。

2.3 Sutherland-Hodgman アルゴリズムの適用

典型的な多角形クリッピングアルゴリズムとして、Sutherland-Hodgman アルゴリズム⁴⁾が提案されている。このアルゴリズムは、図 3 に示すように、元の多角形を 1 つのウィンドウエッジでクリップし、これによって得られた中間多角形を各ウィンドウエッジで順

次クリッピングしていくというものである。このアルゴリズムは、任意の凸多角形のクリッピングボリュームあるいは任意の凸多面体クリッピングボリュームに対して有効なので、ステレオクリッピングにそのまま適用することができる。

2.4 zバッファアルゴリズムの応用

次に代表的な隠面消去手法として広く用いられているzバッファアルゴリズムのステレオクリッピングへの応用について述べる。

右目に着目して両目視界をとらえると、 F_L, B_R, T_P 、および B_L は実際に画面の端になる。すなわち、スクリーン座標系 (x_s, y_s, z_s) に変換した、これらのクリッピング平面の方程式はそれぞれ、 $x_s = -x_k, x_s = x_k, y_s = y_k, y_s = -y_k$ となる。したがって、これらの面に対しては、スクリーン座標系でクリッピングを行った方が容易であると考えられる。一方、残った F_R および B_L をスクリーン座標系に変換すると次式のようになる。

F_R の方程式：

$$\begin{aligned} z_s &= \{-x_s + (x_k + 2d)\} / (2d \cdot S) \\ &= F(x_s) \end{aligned} \quad (1)$$

B_L の方程式：

$$\begin{aligned} z_s &= \{-x_s + (2d - x_k)\} / (2d \cdot S) \\ &= B(x_s) \end{aligned} \quad (2)$$

したがって、ある x_s に対して、 z_s が可視である条件は、次式が成り立つことである。

$$B(x_s) \leq z_s \leq F(x_s) \quad (3)$$

そこで、隠面消去にzバッファアルゴリズムを用いる場合には、各画素毎に z_s の値をzバッファと比較する際、同時に $G(x_s), F(x_s)$ との比較も行うことによって、結果としてステレオクリッピングを実現することができる。具体的には、 $B(x_s)$ との比較は、zバ

ッファを $B(x_s)$ の値で初期化するだけでよい。 $F(x_s)$ との比較には、 $F(x_s)$ の値を持った1次元配列を用意し、描画しようとする点 $P_s(x_s, y_s, z_s)$ の z_s の値を $F(x_s)$ と比較する。そして、 P_s の z_s の値が、zバッファよりも大きく、 $F(x_s)$ の値よりも小さい場合だけzバッファの値を更新し、その点の描画を行うようにすることによって、 F_R および B_L に対するクリッピングが行われたことになる。

左目用の画像については、これと左右対称に処理すればよいので省略する。

3. 適切な隠面消去手法

3.1 隠面消去における異常の発生理由

先に2章で述べた手法によってステレオクリッピングを行った場合、物体の前部を削除してしまうために、図4に示すように、本来見えないはずの部分が見えるようになってしまい、逆に違和感が生じることがある。

ここでは、前述のSutherland-Hodgman アルゴリズムによる手法と、zバッファアルゴリズムの応用による手法に対して、隠面消去が適正に行われるようにする方法について述べる。

図4 不適正な隠面消去
Inadequate removing of hidden surfaces.

図3 Sutherland-Hodgman クリッピングアルゴリズム
Sutherland-Hodgman clipping algorithm.

図5 内部ポリゴンと外部ポリゴン
Inner and outer polygons.

3.2 Sutherland-Hodgman アルゴリズムの応用

右目の場合の手順を次に示す。

- (1) クリッピング平面 F_R を除いたすべてのクリッピング平面で、描画しようとするポリゴンクリッピングする。
- (2) クリッピングされたポリゴンをクリッピング平面 F_R によって、図 5 に示すようにクリッピングポリゴンの内側の内部ポリゴンと、外の外部ポリゴンとに分割する。
- (3) 内部ポリゴンは別に求めた色で描画し、外部ポリゴンはストックする。
- (4) すべてのポリゴンの処理が終わった後、ストックされた外部ポリゴンを背景色で描画する。

これらの処理によって、ステレオクリッピングを行った画像の隠面消去を適正化することができる。左目に対しては、これと対称のことを行えばよい。

3.3 z バッファの応用による手法

z バッファアルゴリズムの応用による手法に関しては、2.4 節で述べた、点の表示に関する処理を次のように変更すればよい。まず、 z バッファの更新だけを

先に行う。すなわち、表示しようとする点の z_s の値を z バッファの値と比較し、 z バッファよりも手前ならば x バッファの値を更新し、そうでなければ何もしせずに次の点に移る。次に、表示しようとする点の z_s の値を $F(x_s)$ の値と比較し、 $F(x_s)$ よりも手前ならば背景色でその点を表示し、そうでなければ本来の表示すべき色で表示する。このようにして、適正な隠面消去を行うことができる。

4. ステレオクリッピングの処理例

4.1 作成した画像例

ステレオクリッピングを行っていない画像の例を図 6 に、単純にステレオクリッピングを行った画像の例を図 7 に、適正な隠面消去を行った画像の例を図 8 に示す。この結果から、図 6 ではっきりとわからなかった手前の壁の向きが、図 7 でかなり正確にわかることがわかる。また、図 7 で見えていた手前の壁の内側が、図 8 ではきれいに消去されていることがわかる。

4.2 処理速度の比較

5 種類の方法によって図 6 ～ 図 8 の画像の作成に要

図 6 ステレオクリッピング用いないで作成した画像の例
Generated images not using stereo clipping.

図 7 ステレオクリッピングを用いて作成した画像の例
Generated images using stereo clipping.

(a) 左画像

(b) 右画像

図 8 ステレオクリッピングを用いて適正な隠面消去を行って作成した画像の例
Generated images using stereo clipping with adequate removing of hidden surfaces.

表 1 画像作成に要する処理時間
Processing time required for generation of images.

CS法: Cohen-Sutherland アルゴリズム, SH法: Sutherland-Hodgman アルゴリズム

方 法	①	②	③	④	⑤
ステレオクリッピング	行わない	行う	行う	行う	行う
適正な隠面消去	—	行わない	行わない	行う	行う
使用したアルゴリズム	C S 法	S H 法	Z バッファ	S H 法	Z バッファ
要した処理時間(秒)	166	165	184	171	186

した処理時間の比較を表 1 に示す。使用した計算機は VAX11/750 である。ただ表 1 の処理時間は描画全体の処理時間である。また方法 ①, ③, ⑤ のスクリーン座標系でのクリッピングには、従来の Cohen-Sutherland アルゴリズムを用いた。表 1 から、ステレオクリッピングを行わない従来の方法 ① に比べ、ステレオクリッピングを行う ② から ⑤ の方法は、②を除いて若干処理速度が低下することがわかる。しかしながら、ラインクリッピング、多角形クリッピングいずれの場合も、処理速度の低下は大きくなく、実用上は問題がないといえる。

5. 視覚的效果に対する評価

5.1 動画像に対する評価実験

2 眼式の立体動画像において物体が画面の外へ動いていくときに生じる違和感が、ステレオクリッピングを行うことによって低減されるかどうかを調べるために次の実験を行った。ワイヤフレームで描かれたキューブの 2 眼式立体アニメーションに対して、ステレオクリッピングを行ったものと行っていないものを用意した。これをアナグリフ方式を用いて被験者に見せ、
“どちらの方がより自然な感じがするか”と尋ねた。ここでアナグリフ方式とは、赤と青など、補色関係にあ

表 2 動画像に対する評価実験の結果
Results of estimation of moving pictures.

より自然に見えるかと答えた人数	
クリッピングあり	クリッピングなし
11	9

る 2 色のメガネを使って立体視を行う方式である。結果を表 2 に示す。この結果から、物体が画面の外に動いていく場合の違和感の低減に対しては、ステレオクリッピングは効果がないといえる。

5.2 静止画像に対する評価実験

ステレオクリッピングが 2 眼式立体画像の立体感の向上に効果があったかどうかを調べるために次の実験を行った。図 9, 図 10 に示す A, B 2 種類の画像に対して、ステレオクリッピングを行ったものと行っていないものを用意し、動画像の場合と同様にアナグリフ方式を用いて被験者に見せ、
“どちらの方がより立体的に見えるか”と尋ねた。この結果を表 3 に示す。表 3 から、静止画像については動画像とは違い、ステレオクリッピングを行うことによって、2 眼式立体画像の立体感が向上したことが確認できる。

そこでさらに、5.1 節で用いたワイヤフレームの動

(a) ステレオクリッピングを行った左右画像

(b) ステレオクリッピングを行っていない左右画像
図 9 評価実験に用いた 2 眼式立体画像 A
Binocular stereo images A used for estimation.

(a) ステレオクリッピングを行った左右画像

(b) ステレオクリッピングを行っていない左右画像
図 10 評価実験に用いた 2 眼式立体画像 B
Binocular stereo images B used for estimation.

表 3 静止画像に対する評価実験の結果
Results of estimation for still pictures.

	より立体的に見えると答えた人数	
	クリッピングあり	クリッピングなし
画像A	18	2
画像B	17	3

表 4 動画画像中の 1 フレームを用いた静止画像に対する評価実験の結果
Results of estimation for a still picture in moving pictures.

より立体的に見えると答えた人数	
クリッピングあり	クリッピングなし
14	6

左右画像ペア 1

左右画像ペア 2

(a) ステレオクリッピングを行った画像

左右画像ペア 1

左右画像ペア 2

(b) ステレオクリッピングを行っていない画像

図 11 形状把握の実験に用いたテスト
パターンの例

Examples of test patterns used for
shape perception.

画像中の 1 枚を取り出して、静止画像に対する評価実験を行った。この結果を表 4 に示す。表 4 から、ステレオクリッピングは、同じ画像を用いても、動画画像の場合よりも静止画像の場合に効果的であることがわかる。動画画像の場合は立体形状を正確に把握する時間的余裕がないため、ステレオクリッピングが行われていなくてもさほど差が感じられないものと考えられる。

5.3 立体形状把握の正確さに関する実験

ステレオクリッピングを行った場合には、画面の両端でも左右の対応点が比較的容易に見つけられるため、立体形状の把握が行い易くなると考えられる。このことについて調べるために次の実験を行った。

図11に一例を示すような9種類の静止パターンに対して、ステレオクリッピングを行ったものを行っていないものを用意する。これらのパターンは、すべてパターンの右端は視点からの距離が同一であり、パターンの左端、すなわち、画面よりわずかに外にある部分では視点からの距離が異なっている。これらのパターンをランダムに並べ変えてから、アナグリフ方式を用いて被験者に見せ、左右画像ペア1の図形の左端と、左右画像ペア2の図形の左端のどちらが手前に出ているように見えるか、9種類のパターンそれぞれに対して答えさせた。この実験を10人に対して行い、正しく答えた回数、誤って答えた回数、およびわからないと答えた回数の合計を表5に示す。表5から、ステレオクリッピングを行うことによって、画面の端における立体形状の把握が正確になっていることがわかる。

6. む す び

本論文では、2眼式立体画像を限られた大きさの画面に表示する際、画面の左右両端部で立体感が損なわれる現象を避けるためのステレオクリッピングについて述べた。ステレオクリッピングのいくつかの実現方

表5 形状把握実験の結果
Results of tests for shape perception.

	正答	誤答	わからない
クリッピングあり	71	3	16
クリッピングなし	37	15	38

法を示した後、適正な隠面消去を行う方法について述べた。また、4.2節で行った処理速度の比較の結果から、処理時間を大幅に増加させることなくステレオクリッピングが実現可能であることがわかった。さらに、ステレオクリッピングの効果を調べるための視覚心理学的な実験とその結果について述べた。その結果、静止画像に対しては、ステレオクリッピングによって立体形状の把握が正確になる、言い替えれば、立体感を増すことができることがわかった。今後は、本論文で得た知見をふまえ、より効果的な2眼方式映像の作成技術に関して検討する予定である。

【参 考 文 献】

- 1) 安居院, 中嶋: “ステレオグラフィックス & ホログラフィ”, 産業報知センタ, pp. 192-194 (1985)
- 2) W. M. Newman, R. F. Sproull: “Principles of Interactive Computer Graphics 2nd ed.”, McGraw-Hill (1979)
- 3) D. F. Rogers: “Procedural Elements for Computer Graphics”, McGraw-Hill (1985)
- 4) I. E. Sutherland, and G. W. Hodgman: “Re-entrant Polygon Clipping”, Comm. ACM, Vol. 17, pp. 32-42 (1974)

あぐい たけし
安居院 猛 昭和39年、東京工業大学大学院博士課程修了。同年、同大学に勤務。現在、同大学像情報工学研究施設教授。制御理論、パターン認識、コンピュータアニメーションなどの研究に従事。工学博士。正会員。

ながお ともはる
長尾 智晴 昭和61年、東京工業大学大学院博士課程中退。同年、同大学に勤務。現在、同大学像情報工学研究施設助手。画像のパターン認識。画像処理などの研究に従事。工学博士。

やまざき りゅうじ
山崎 龍次 平成2年、東京工業大学大学院修士課程修了。同年、松下通信工業(株)に入社。在学中に、ステレオ画像の認識、ニューラルネットワークに関する研究に従事。

なかじま まさゆき
中嶋 正之 昭和50年、東京工業大学大学院博士課程修了。同年、同大学に勤務。現在、同大学像情報工学研究施設助教授。コンピュータグラフィックス、画像処理の研究に従事。工学博士。正会員。

重視領域の指定によりデザイナーの好みを反映し得る限定色表示手法

龔 怡虹, 鳥海有紀, 坂内正夫, 大沢 裕

8色または16色程度を同時表示可能な、簡易型のルックアップテーブル形式のディスプレイを対象とした限定色カラー画像の作成法について述べる。本方式の特徴は、画像上で多くの色を割当てたり、色の割当てを少なくする部分を会話的に指定し、作成者の好みに合致した画像を作成可能な点にある。処理は次の3つのステップで行われる。まず、①システムは標準的な限定色画像を自動的に生成し、それを提示する。②作成者は好みに合わせ、画像上で割当ててる色の数を制御する部分を矩形領域で指定し、併せてその部分の重視の程度と色割当てのタイプを指定する。③システムは指示に合わせて、指定部分に多くの色を割当てたり、少ない色を割当ててるなどの制御を行う。この②、③のステップを繰り返して好みに近い画像を得ようとするものである。これを実現するため、色空間中で同一色を割当ててる範囲の大きさ(D)をパラメータとし、多くの色を割当ててる部分には小さなD値、少ない色を割当ててる部分には大きなD値を設定するという手法を提案している。

テレビジョン学会誌 Vol. 45, No. 1, pp. 86~93(1991)

2眼式立体画像のためのステレオクリッピング

安居院猛, 長尾智晴, 山崎龍次, 中嶋正之

計算機で作成した2眼式立体画像を限られた大きさの画面に表示する場合、右目からは画面内に見えても左目からは画面の外に出てしまっていて見えない、あるいはその逆の現象が生じ、画面の左右両端部で立体感が損なわれることがある。そこで、左右どちらの目からも画面内に見える領域に3次元クリッピングを行う必要がある。この3次元クリッピングをステレオクリッピングと呼ぶことにする。本論文では、ステレオクリッピングを行う手法として、Cohen-Sutherlandアルゴリズムによる手法、Sutherland-Hodgmanアルゴリズムによる手法およびZバッファアルゴリズムによる手法について述べる。また、ステレオクリッピングによって適切な隠面消去を行う方法、ステレオクリッピングを行った画像に対する視覚心理学的な実験について述べ、ステレオクリッピングの有効性を示す。

テレビジョン学会誌 Vol. 45, No. 1, pp. 94~100(1991)