

GKS-3Dのビューイングパイプライン
縮退による高速化

3Q-8

伊藤 宏一, 水町 肇, 稲垣 充廣
(NTT 電気通信研究所)

1. はじめに

2次元の図形処理標準仕様としてGKSが既に規定され、3次元の図形処理に関しては、現在GKS-3Dの標準化が進められている。

GKS-3Dは、2次元のGKSに対して単にZ座標が加えられただけではなく、透視変換や視点方向の指定を行うため、座標変換やクリッピング処理を多段に規定したビューイングパイプラインを採用している。

この様な座標変換やクリッピング処理は、システムの応答性能に関するボトルネックとなっている。また、座標変換を繰り返すことによる誤差を防ぐため、座標値を表現するビット数の拡張が必要となることから、変換処理速度への影響は大きい。

本稿では、この問題を解決することを目的に、GKS-3Dのビューイングパイプラインを例とした座標変換やクリッピング処理の統合によるビューイングパイプラインの縮退法を明らかにする。

2. GKS-3Dのビューイングパイプライン

GKS-3Dのビューイングパイプラインは、次の5つの座標系を持ち、各座標系間および座標系内の座標変換および座標変換に付随するクリッピングから成っている。(図1-(a))

- (1)世界座標(World coordinate)
- (2)正規化装置座標
(Normalized Device Coordinate)
- (3)視点座標(View Reference Coordinate)
- (4)正規化投影座標
(Normalized Projection Coordinate)
- (5)装置座標(Device Coordinate)

ここで、2次元のGKSに対し、(3)(4)の座標系が3次元として新たに規定され、これに伴い次の2つの座標変換と投影変換に付随した投影クリッピングがビューイングパイプラインに追加されている。

- (1)ビューイング変換(viewing transformation)
視点および視線の方向を定める、正規化装置座標から視点座標への座標変換である。
- (2)投影変換(projection transformation)
遠近感のある表示を行うための透視投影などを行う、視点座標から正規化投影座標への座標変換である。

3. 縮退方法

ビューイングパイプラインにおいて、縮退の対象となるのは、連続する座標変換とクリッピングである。以下、座標変換とクリッピングの縮退方法と、縮退を行うために必要となるクリッピングと座標変換の順序の入替方法およびその条件を示す。

3.1 座標変換の縮退

一般に3次元の座標変換は、 4×4 マトリクスMで表され、点 $P = (x, y, z)$ から点 $P' = (X, Y, Z)$ への座標変換 $P' = f(M, P)$ は次式で示される。

$$\begin{matrix} X = X^* / H \\ Y = Y^* / H \\ Z = Z^* / H \end{matrix} \quad \text{ここで、} \quad \begin{pmatrix} X^* \\ Y^* \\ Z^* \\ H \end{pmatrix} = M * \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$$

従って、連続する2つの座標変換を、

$$P' = f(M_1, P) \quad P'' = f(M_2, P')$$

とすると、縮退した座標変換、

$$P'' = f(M, P)$$

は、 $M = M_2 * M_1$ により無条件に求められる。

3.2 クリッピングの縮退

3次元のクリッピングは、そのクリッピング対象を表すクリッピングボリュームで表される。一般に点 P_1, P_2, \dots, P_n をクリッピングボリュームを表すのに必要な座標点とし、このクリッピングを、

$$C = (P_1, P_2, \dots, P_n)$$

と表すこととする。

このとき、連続する2つのクリッピングを、

$$C' = (P'_1, P'_2, \dots, P'_n)$$

$$C'' = (P''_1, P''_2, \dots, P''_n)$$

とすると、縮退したクリッピングCは、

$$C = C' \text{ and } C''$$

となり、各クリッピングボリュームの共通ボリュームとして表される。

(条件)

一般にCは、任意の形状のボリュームとなるが、任意の形状ボリュームによるクリッピング処理は、返って処理を複雑にするため、ここでは各辺が座標軸に平行な直方体をクリッピングボリュームとするクリッピングにのみ縮退の適用を可能とする。

3.3 クリッピングと座標変換の入替

ビューイングパイプライン上で、クリッピング、

$$C = (P_1, P_2, \dots, P_n)$$

と座標変換、

$$P' = f(M, P)$$

が、連続するとき、クリッピングを次式により変換することにより、クリッピングと座標変換の入替が可能である。

$$C' = f(M, C)$$

ここで、

$$C' = (P'_1, P'_2, \dots, P'_n)$$

とすると、各座標値に対して、

$$P'_i = f(M, P_i) \quad : i=1 \sim n$$

Reductive Method of the GKS-3D viewing pipeline

Kouichi ITOU, Hajime MIZUMACHI, Michihiro INAGAKI

NTT Electrical Communications Laboratories

が成り立つ。

〔条件〕

クリッピングと座標変換の入替が可能な条件は、

$$C = f^{-1}(M, C')$$

となる逆座標変換が存在することである。

4. ビューイングパイプラインの縮退

ここでは、GKS-3Dのビューイングパイプラインの縮退を、2つのステップに分けて示す。

4.1 ステップ①

ステップ①は、前章で示した縮退方法を、次の3つの手順で適用することによりビューイングパイプラインの縮退を行う。(図1-(b))

〔手順①〕クリッピングと座標変換の入替

透視変換 $P' = f(M_p, P)$ は、GKS-3Dの規定から、逆変換 $P = f^{-1}(M_p, P')$ が存在する。従って、透視クリッピング C_p を、 $C'_p = f(M_p, C_p)$ に変換し、透視クリッピングと透視変換の順序の入替を行う。

〔手順②〕座標変換の縮退

ビューイング変換 $P' = f(M_v, P)$ および透視変換 $P'' = f(M_p, P')$ は、 $M_{pv} = M_p * M_v$ となるビュー変換 $P'' = f(M_{pv}, P)$ に無条件に縮退できる。

〔手順③〕クリッピングの縮退

GKS-3Dの規定から、透視変換のビューポートボリュームとワークステーション変換のウィンドウボリュームは、各辺が正規化投影座標の座標軸に平行な立方体であり、各々の立方体の対角頂点により、透視クリッピング C'_p とワークステーションクリッピング C_w は、各々次のように表される。

$$C'_p = (P'_{pmin}, P'_{pmax})$$

$$C_w = (P_{wmin}, P_{wmax})$$

従って、クリッピング C'_p と C_w は、次式で求められるクリッピング C に縮退できる。

$$C = (\text{MAX}(P'_{pmin}, P_{wmin}), \text{MIN}(P'_{pmax}, P_{wmax}))$$

4.2 ステップ②

3次元特有な処理である陰線/陰面消去 (HL/HS) は、3次元図形を2次元化する1つの手段である。ステップ②では、このことに着目し、3次元ディスプレイ装置がハードウェア機能として持つHL/HSを利用したビューイングパイプラインの縮退を次の3つの手順で行う。(図1-(c))

〔手順①〕ワークステーション変換の補正

ディスプレイ装置の画面(装置座標)は、2次元平面であるため、ワークステーション変換によりZ座標は無視される。従って、ワークステーション変換を表すマトリクス M_w は、

$$M_w = \begin{pmatrix} \langle \text{scale X} \rangle & 0.0 & 0.0 & \langle \text{shift X} \rangle \\ 0.0 & \langle \text{scale Y} \rangle & 0.0 & \langle \text{shift Y} \rangle \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{pmatrix}$$

と表される。しかし、 M_w は、逆変換 $P = f^{-1}(M_w, P')$ を持たないため、これ以上の縮退はできない。そこでマトリクス M_w を、次のように M'_w 補正する。

$$M'_w = \begin{pmatrix} \langle \text{scale X} \rangle & 0.0 & 0.0 & \langle \text{shift X} \rangle \\ 0.0 & \langle \text{scale Y} \rangle & 0.0 & \langle \text{shift Y} \rangle \\ 0.0 & 0.0 & \Omega & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{pmatrix}$$

ここで、 $\Omega > 0.0$ とする。

〔手順②〕クリッピングと座標変換の入替

手順①により、補正されたワークステーション変換 $P' = f(M'_w, P)$ の逆変換が存在するため、ステップ①(手順③)のクリッピング C を $C' = f(M'_w, C)$ に変換し順序を入替る。

〔手順③〕座標変換の縮退

ステップ①のビュー変換 $P' = f(M_{pv}, P)$ と補正されたワークステーション変換 $P'' = f(M'_w, P')$ は、 $M_{wpv} = M'_w * M_{pv}$ となる座標変換 $P'' = f(M_{wpv}, P)$ に縮退できる。

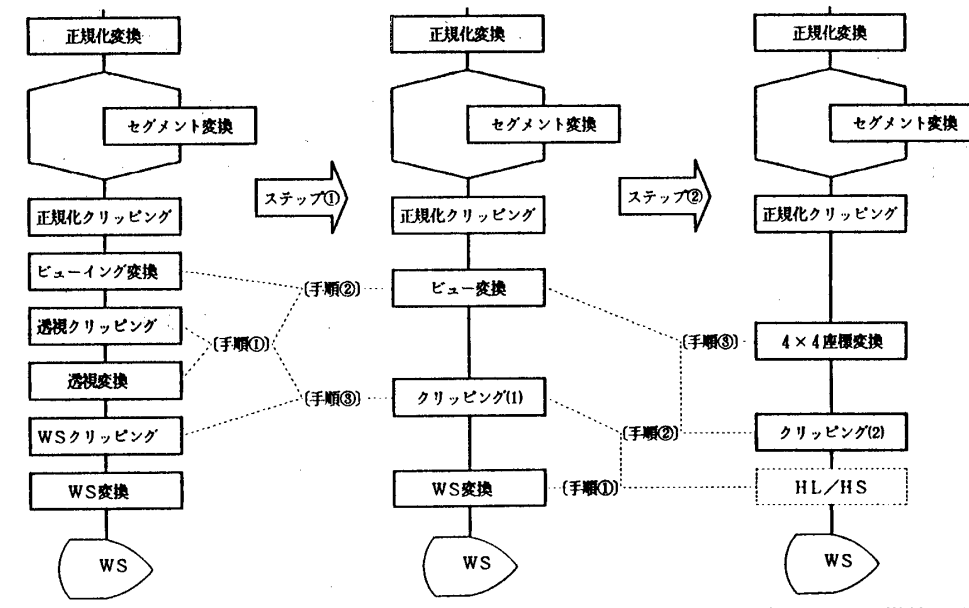
この時点では、ワークステーション変換を補正したため、図形は3次元座標値を持つが、HL/HS処理で2次元化され画面に表示される。特に、Zバッファ方式によるHL/HSの場合は、Z階層に対応した Ω 値を設定することでZバッファを有効に利用できる。

4. おわりに

以上示したGKS-3Dのビューイングパイプライン縮退により、座標変換回数が5回から3回に、またクリッピング回数が3回から2回に縮退できる。

現在、著者らは、この縮退に基づいて、2次元ディスプレイを用いたGKS-3Dのインプリメントを行なっている。

今後は、定性的な評価から定量的な評価および3次元ディスプレイの適用性などの検討を行う。



(a)GKS-3Dのビューイングパイプライン (b)ステップ①によるビューイングパイプライン (c)3次元ディスプレイ装置を用いたビューイングパイプライン
図1. ビューイングパイプラインの縮退