



3DのZ値処理を少メモリ容量で高速に実行するアーキテクチャ

-- 家電市場向けIPコアとしてライセンス

Joseph C. Del Rio

ここでは、メモリ効率の高い3D レンダリング・アーキテクチャを紹介する。隠面処理で用いるZ値の処理をハードウェア化し、ポリゴン単位ではなく、シーン(フレーム)単位に順次走査しながら描画する。Zバッファが不要になる。さらに、テクスチャ・メモリへのアクセス数が減少する。このアーキテクチャは、一つのシーンのなかに多数のポリゴンが重なり合っているような応用で、効果が高いという。たとえば、爆発シーンをともなうアクション・ゲームの画面などである。筆者らは、このアーキテクチャをIPコアとしてライセンス供給している。セットトップ・ボックスをはじめとする家電市場の応用をねらっている。(編集部)

ここでは、筆者ら(Stellar Semiconductor社)が開発したゲート効率の高いユニークな3D レンダリング・アーキテクチャについて解説する。このアーキテクチャを筆者らは「PixelSquirt」と呼んでいる。

PixelSquirtは、ポリゴン単位ではなくシーン単位にレンダリング処理を行うアルゴリズムを実装したアーキテクチャで、テクスチャ・マッピングを効率的に実行できる。このアーキテクチャを利用すると、従来方式の3D レンダリング処理と比べて、必要なメモリ・バンド幅を半分、メモリ容量を2/3に低減できる。また、従来方式の3D レンダリング処理で現れがちなアーチファクト(不要なノイズ)も取り除くことができる。

さらに、ここではSOC(system on a chip)に搭載するIPコアとしての要求を満足するために、筆者らがどのように3D レンダリング・コアを設計し、インプリメントしたかについても紹介する。

すべての画素に対してZ値(画面に対して垂直方向の距離)の書き込みと比較を行う必要がある。つまり、画面上に表示されるすべての画素に対して、Z値を保持しなければならない。

一般には、フレーム・バッファと同じディメンション(X, Y方向の解像度)をもつZバッファを備えている。したがって、図1に示すように、画面の解像度が大きくなるにつれて、Zバッファが必要とするメモリ容量も増大する。

Zバッファのメモリ容量

$$= Xres \times Yres \times$$

$$(RGB \text{ depth} \times 2 + Z \text{ depth})$$

Xres : X方向の解像度

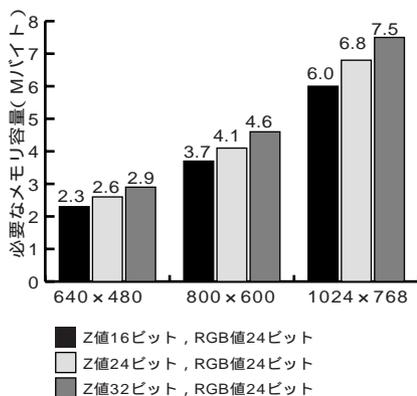
Yres : Y方向の解像度

RGB depth : RGB値の深さ(フレーム・バッファはフロントとバックの2面を使用)

Z depth : Z値(Zバッファ)の深さ

Z値がローカル・メモリを圧迫

Z値の深さに制限があると、グラフィックス・エンジンはアンダ・フローや飽和の影響を受けることがある。少し前まで、パソコン向けのほとんどの3Dグラフィックス・エンジンは、16ビットの深さのZバッファをサポートしていた。最近になって、24ビットをサポートする製品が出荷され、こうした問題は軽減されてきている。しかし今度は、Z値を記憶するために、これまで以上に多くのローカル・メモリを割かなければならなくなった。結果として、フレーム・バッファの



【図1】従来型の3Dグラフィックス手法で必要となるメモリ容量

各解像度において、RGB値とZ値を記憶するために必要なメモリ容量を示した。ここで、RGB値は24ビットである。

1. 従来型3Dレンダリング手法の問題点

従来型の3Dグラフィックス処理のアーキテクチャでは、メモリ容量とメモリ・バンド幅が制約となって、処理性能が制限されたり、グラフィックスの品質が損なわれることが多い。以下では、メモリ容量とメモリ・バンド幅の問題について説明する。

全画素のZ値を保持

従来型の3Dグラフィックス手法では、

〔表1〕

Zバッファが不要になると高い解像度をサポートできる

Zバッファが不要になると、従来より多くのテクスチャ・メモリを使える。つまり、より高い解像度をサポートできるようになる。表のなかの印は、フレーム・バッファ・サイズの要求はあるが、既存の3Dグラフィックス・チップではサポートされていないビデオ・モードである。

メモリ容量 ^注		2Mバイト		4Mバイト		6Mバイト	
解像度	Z値の深さ	既存チップによるサポート	必要なテクスチャ・メモリ	既存チップによるサポート	テクスチャ・メモリの容量	既存チップによるサポート	テクスチャ・メモリの容量
640 × 480	16ビット/画素		848Kバイト		2,896Kバイト		6,992Kバイト
	24ビット/画素		248Kバイト		2,296Kバイト		6,392Kバイト
	32ビット/画素				1,696Kバイト		5,792Kバイト
800 × 600	16ビット/画素		173Kバイト		2,221Kバイト		6,317Kバイト
	24ビット/画素				1,284Kバイト		5,380Kバイト
	32ビット/画素				346Kバイト		4,442Kバイト
1024 × 768	16ビット/画素				1,024Kバイト		5,120Kバイト
	24ビット/画素						3,584Kバイト
	32ビット/画素						2,048Kバイト
1280 × 1024	16ビット/画素						3,072Kバイト
	24ビット/画素						512Kバイト
	32ビット/画素						

注：フレーム・バッファ(シングル・バッファ、ダブル・バッファ)、Zバッファ、テクスチャ・メモリを含んだメモリ容量。既存のグラフィックス・チップがサポートしているモード
既存のグラフィックス・チップがサポートしていないモード

なかのテクスチャ用のメモリ領域や、そのほかの重要なオフスクリーン(非表示)のメモリ領域が少なくなっている。

ここで表1を参照していただきたい。Z値を書き込む必要がなくなれば、同じサイズのフレーム・バッファを使って、より高い解像度をサポートできるのである。

ポリゴン単位に、逐一値を修正

図2は、従来型の3Dレンダリング・アルゴリズムを表している。従来型のレンダリング・アーキテクチャでは、フレーム・バッファに対する値の「読み出し・修正・書き込み」を繰り返し行っている。

シーンのなかのポリゴンは、ランダムな順序で到着する。レンダリングを行う際に、逐一Z値の比較を行い、その後、更新された各画素のRGB値(および Z値)とZ値を、必要に応じて書き込む。ポリゴンに関連付けされたテクスチャが存在する場合には、さらにこのデータも読み込み、各画素の値を変更しなければならない。

むだなメモリ・アクセスがある

さらに、「深さの複雑度(depth complexity)」の上昇が、(Z値の処理に)必要なバンド幅を増大させている。ここで深さの複雑度とは、画面上で重なり合っているポリゴンの数の平均値、と定義する。たとえば、「深さの複雑度が3」と言った場合、平均して三つのポリゴンが、画面上で重なり合っている状態を意味する。

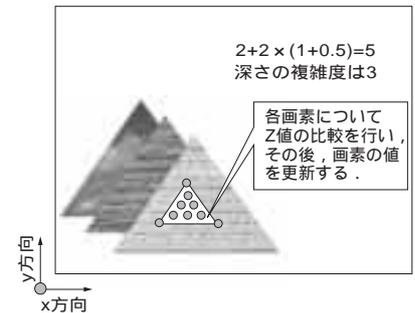
従来型の3Dグラフィックス手法を用いた場合、一番最初に到着したポリゴンに対して、つねにZ値の読み込みと、フレーム・バッファへのRGB値の書き込みが必要になる。また、その後続くポリゴンに対して、新たなZ値の読み込みと、50%の確率で起こる新たなRGB値とZ値の書き込みが必要になる。深さの複雑度が3の場合、メモリ・アクセスの回数は、 $2 + 2 \times (1 + 0.5) = 5$ accesses となる。

そして、各ポリゴンに含まれる画素に対して、陰に隠れる画素であろうと、表に出る画素であろうと、一律にテクスチャ・マッピングのメモリ・アクセスが行われる。陰に隠れる画素の処理は、明らかにメモリ・バンド幅のむだづかいである。

ピーク時の負荷への配慮が必要

前述の確率的な分析には、非常に危険な仮定が含まれていることに注意していただきたい。

先に計算で求めたメモリ・アクセスの回数は、あくまでも平均値である。深さの複雑度が3であっても、ゲームのなかのいくつかのフレームで、6回のメモリ・アクセスが発生することは十分に起こりうる。グラフィックス・エンジンがピーク時の負荷に対応できるように設計されていないと、フレーム・レートが低下し、ときおり画面が止まってしまうこともあるだろう。極端な場合、どうなるのかに



〔図2〕 従来の3Dレンダリング手法

従来型のグラフィックス・アルゴリズムでは、レンダリングのときに、各画素ごとにZ値の読み取り、Z値の比較、RGB値の更新を行う。深さの複雑度(重なり合うポリゴンの数)が3の場合、1画素を描画するために、平均5回のメモリ・アクセス動作が発生する。

については、後述する。

アクセス回数はフィルタに依存

図3は、各フィルタ・アルゴリズムが必要とするメモリ・アクセスの回数を示す。

テクスチャ・マッピングのために、メモリ・バンド幅を広げる必要があることは、広く認識されている。

参照する必要があるテクセル(テクスチャの画素)データの量は、グラフィックス・エンジンがサポートしているマッピング関数の質に依存する。簡単なバイリニア補間(bi-linear interpolation)では、4点だけ参照すればよい。トリリニア補間(tri-linear interpolation)では8点を参照する必要がある。

従来の3Dグラフィックス手法では、Z