

パソコン用3次元グラフィックスボードの開発

若山順彦 杉村敏夫 前信 潔 堀内香寿 西澤貞次
松下電器産業株式会社

野村 浩
エムエフ情報システム株式会社

パーソナルコンピュータに内蔵できる3次元グラフィックスボード μ CUBEを開発した。 μ CUBEは3次元グラフィックス処理部と、2次元グラフィックス処理部の2つの部分から構成される。3次元グラフィックス処理部は、幾何学変換処理用に32ビットプロセッサトランスペュータ(T800)と、隠れ面除去とグーローシェーディング用に専用プロセッサHSSP(MN8502)を使用している。2次元グラフィックス処理部は、2次元描画専用プロセッサEDPU(MN8510)を使用している。

3次元グラフィックスにおいては、このボード用に開発したグラフィックスライブラリを用いたテストプログラムで、約1000ポリゴンで構成される物体の3次元表示を毎秒約4コマの速度で生成できた。

Development of Three-Dimensional Graphics Add-in Boards for a Personal Computer

Yorihiko Wakayama Toshio Sugimura Kiyoshi Maenobu Kazu Horiuchi Teiji Nishizawa
Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.

Hiroshi Nomura
MF Information System Co., Ltd.

We have developed three-dimensional graphics add-in boards, named μ CUBE, which can be installed in a personal computer. μ CUBE consists of a three-dimensional graphics processing part and a two-dimensional graphics processing part. The three-dimensional graphics processing part uses two processors, one is a 32bit MPU(Transputer: T800) with FPU for geometry calculation and the other is a special purpose processor HSSP(MN8502), which we have developed before, for hidden-surface removal and Gouraud shading. The two-dimensional graphics processing part uses a special purpose processor EDPU(MN8510), for drawing line, circle, BitBLT etc.

μ CUBE can generate three-dimensional graphics scene containing 1,000 polygons at a speed of four frames per second.

1 はじめに

近年、3次元グラフィックス機能は、マンマシンインタフェースの観点から注目されている。しかしながら、こうした機能は現在のところ高価なスーパーコンピュータや専用ワークステーションでしか実現できず、一部の人しか使用できていないのが現状である。しかし、マンマシンインタフェースはパーソナルな利用環境でこそ重要な意味を持つ。われわれはパーソナルな環境での3次元グラフィックスの実現を目指して、現在までに3次元グラフィックスの処理の、隠れ面除去とシェーディングを行なう専用プロセッサ(HSSP)の開発を行なってきており¹⁾、またそれを用いたプロトタイプシステム(CUBE)の開発を行なった²⁾。そして今回HSSPを用いたパナコムMシリーズ用3次元グラフィックスボード(μ CUBE)を開発した。本稿ではその機能と構成を紹介し、性能評価を行なったので結果を示す。

2 設計方針

μ CUBEの設計方針は、

- (1) 小型化
- (2) 3次元グラフィックスの高速化
- (3) 2次元グラフィックスの高速化
- (4) ソフト開発の容易化
- (5) 種々の映像出力のサポート
- (6) 本体のビデオ信号との切り替え

である。それぞれの項目について述べていく。

(1) 小型化。

大型の別筐体ではなくパソコン内に収めることで、より手軽に利用できるようにする。

このためには、ハードウェアの小型化が必須である。

(2) 3次元グラフィックスの高速化。

インタラクティブな3次元グラフィックスを提供するためには、3次元画像の実時間生成が必要である。

3次元グラフィックスに必要な数値演算と表示処理の双方をバランス良く高速化する必要がある。

(3) 2次元グラフィックスの高速化。

3次元グラフィックスのみでなく、ウィンドウ処理や直線描画などの2次元描画も高速化する。

(4) ソフト開発の容易化

優れたアプリケーションを開発するためには、より容易なアプリケーションの開発環境が必須である。

このためには、高度な機能を持ったグラフィックスライブラリの提供が必要となってくる。

(5) 種々の映像出力のサポート

パナコムシリーズのM500、M700用のCRTならびにNTSCコンポジット信号の出力をサポートする。

(6) 本体のビデオ信号との切り替え。

1つのCRTに μ CUBEとパナコム本体のビデオ信号を表示できるようにする。

3 実現方法

以上の方針を実現するためにとった種々の方法について、その項目毎に述べていく。

1) 2次元処理部と3次元処理部との分離

前章の(2)および(3)の実現のために、2次元処理部と3次元処理部の分離を行なった。2次元グラフィックス処理には、ウィンドウ処理や直線描画などのための画像メモリのアドレス発生といった処理が必要である。これに対して3次元グラフィックス処理は、幾何学変換処理や照度計算などの数値演算処理、隠れ面除去やシェーディング処理などが必要である。このような性質の異なる処理を同一の構成で行なうと遅くなってしまふ。

そのために、各々の処理を分離して専用ハードウェアで処理することによって高速化を行なった。

2) 3次元処理部の細分化

前章の(2)の実現のため3次元処理部の細分化を行なった。3次元処理部では、1つのシーンを描くのに大量の演算が必要となる。また、3次元処理部は、

- ・座標計算を中心とする幾何学的処理
- ・隠れてみえない部分を除去する隠れ面除去とシェーディング処理

の大きく2つの部分に分けることができる。前者は大量の浮動小数点演算がほとんどの処理を占め、後者は比較演算や補間などのための固定小数点演算や画像メモリアクセスがほとんどの処理を占め

る。

このことから、3次元処理部を2つのサブブロックに分割し、負荷の分散と、処理の専用化を図ることによって高速に処理を行なうこととした。

3) 2ポートDRAMの採用

前章の(2)の実現のために前述の3次元処理部のサブブロック間に2ポートDRAMを採用した。このことにより、2つのサブブロック間でのグラフィックスデータの受け渡しがスムーズに行なえ、2つのサブブロックの並列動作が可能となる。

4) 2次元ビットマップ・グラフィックスプロセッサEDPUの採用

前章の(3)と(5)を実現するため、主に次の2点からEDPU (MN8510)を採用した。すなわち、CRTの解像度に依存せず最高の2次元グラフィックス性能を実現するために、CRT制御用クロックと2次元グラフィックス処理用のクロックが分離されている点、そして直線・円等の2次元図形を高速に描画できる点である。

5) 3次元画像メモリにフィールドメモリを採用

前章の(5)の実現のために、画像メモリの書き込みと読みだしを非同期かつ同時に行なえる画像メモリである、フィールドメモリを採用した。これは、解像度によって画像メモリの読みだしタイミングが変わることによる、書き込みタイミングへの制約をなくすためである。

6) グラフィックスライブラリの提供

前章の(4)の実現のためにC言語の μ CUBE用グラフィックスライブラリを作成した。これにより、C言語上で μ CUBE用のアプリケーションを作成できる。

4 システムの構成

μ CUBEシステムの構成を図1に示す。各々の処理部分について説明する。

1) 幾何学的処理部

インモス社のT800と2ポートDRAMとDRAMから構成される。T800はパナコム拡張バスを通じてデータを受け取り、格納する。また、

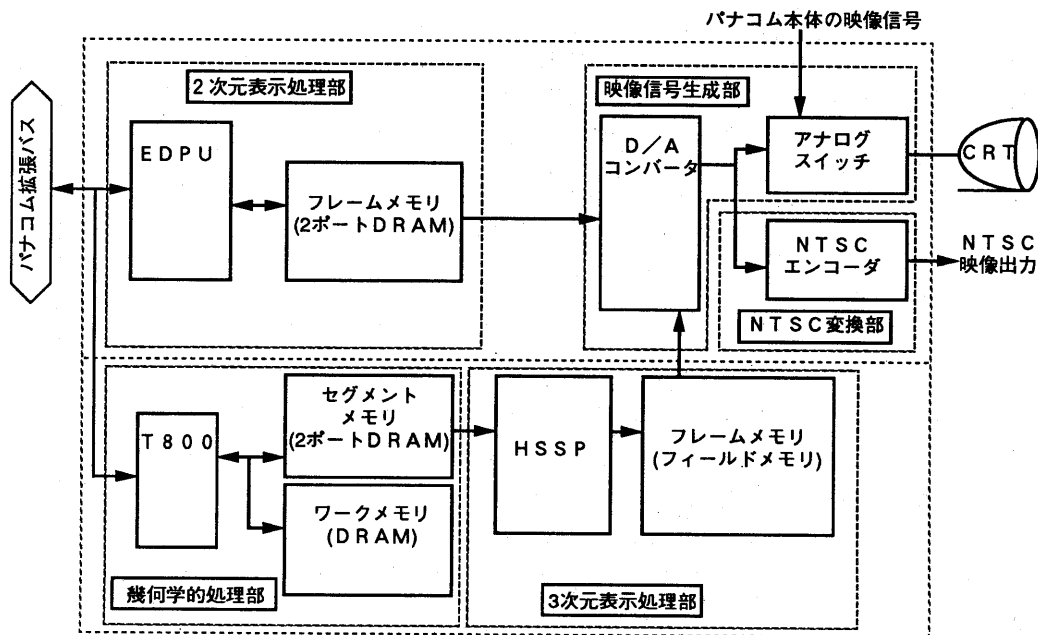


図1 システムの構成

浮動小数点演算器を内蔵しており、座標変換やクリッピング等の幾何学変換処理、並びにセグメント変換（後述）を高速に実行する。2ポートDRAMはT800によって変換されたHSSPへの入力データ（セグメント）を蓄えるメモリであり、RAMポート側がT800に、SAMポート側がHSSPにつながっている。DRAMはパナコムから送られてきた3次元データを格納する。

2) 3次元表示処理部

HSSPとフィールドメモリで構成される。HSSPはスキャンライン単位でZバッファ法による隠れ面除去とグローシェーディング（又はコンスタントシェーディング）処理の2つの処理を

同時に、かつスキャンライン上の画素について並列に行なう。フィールドメモリはHSSPで生成された3次元画像を格納する画像メモリである。

画像メモリは中解像度モードではダブルバッファ方式とすることができ、スムーズな動画表示が可能である。

3) 2次元表示処理部

EDPUと2ポートDRAMによって構成される。EDPUはパナコムからのコマンドを受け取ることによって、2次元図形の描画や文字転送などの処理を行なう。2ポートDRAMはEDPUによって処理された2次元画像を格納するフレームメモリである。

表1 諸元

形態		パナコム拡張カード（2枚）	
プロセッサ		トランスピュータ T800	
		HSSP MN8502	
		EDPU MN8510	
RAM		2MB（T800ワークメモリ）	
3次元	VRAM	512×400×8（シングルバッファ、ダブルバッファ） 1024×750×8（シングルバッファ）	
	画面サイズ	512×400画素（シングルバッファ、ダブルバッファ） 1024×750画素（シングルバッファ）	
	表示色数	カラー1670万色中同時256色 単色 256階調	
	表示速度	5000ポリゴン/秒	
	表示多角形数	1画面最大10000ポリゴン	
2次元	VRAM	1024×512×4 2048×1024×4	
	画面サイズ	640×400画素 1120×750画素	
	表示色数	カラー1670万色中同時15色	
	表示速度	BitBLT 20Mbit/s 直線描画 2.5Mpixels/s	
画像出力		パナコムM500用相当のアナログRGBモニター（中解像度） パナコムM700用相当のアナログRGBモニター（高解像度） NTSC規格コンポジット信号	
その他		トランスピュータボードとの接続がリンクコネクタを通して可能	

4) 映像信号生成部

D/Aコンバータとアナログスイッチで構成される。D/Aコンバータは2次元画像の16色中の指定された1色をキーとして、256色の3次元画像で置き換えて合成し、CRTに表示出力する。パナコム本体の映像信号とD/Aコンバータの出力信号とをアナログスイッチで切り替えることにより、これらを1台のCRTに表示できる。

5) NTSC変換部

NTSCエンコーダによって、アナログRGB信号をNTSC規格の信号に変換する。

μ CUBEの諸元を表1に示す。

5 μ CUBEでの処理

μ CUBEで用いるデータ構造と処理の流れについて述べる。

5.1 データ構造

μ CUBEで用いるデータは、次のようなものである。

- ・形状データ
- ・光源データ
- ・視点データ

形状データは、 μ CUBEでの処理の基本単位である三角形のデータである。データ形式は、ポディー座標系における三角形の各頂点座標と、その三角形の表面の反射率である。

それらの形状データは、階層的なデータ構造にすることができ、回転や移動・属性の変更などの形状データの扱いを容易にしている。

光源データは、光源の色、明るさ、ワールド座標系での光源の位置等のデータである。

視点データは、視点の位置、見る方向、アップベクトル等のデータである。

5.2 処理の流れ

図2に μ CUBEでの3次元グラフィックスの処理の流れを示す。

1) データベース管理

階層的な構造を採っている形状データの管理を行なう。

ファイルとのやり取りなどが必要なため、パナコム本体のCPUで行なう。

2) モデリング変換

形状データが階層的なデータ構造を持っているので、上位層でのモデリング変換の処理は下位層に反映される。そのため、この処理はデータベース操作を伴うので、パナコム本体のCPUで処理する。

処理されたデータは、パナコム拡張バスを通じて μ CUBEに転送され、ワークメモリに格納される。

3) 照度計算

照度モデルは、ランバートのモデルである。光源は、点光源と平行光源をサポートしている。コンスタントシェーディングの場合はポリゴンの照度を、グーローシェーディングの場合はポリゴンの頂点の照度を計算する。

この処理は浮動小数点演算が主なので、 μ CUBE上のT800で実行する。

4) 視野・透視変換

視野変換と透視変換を行なう。中心投影、平行投影をサポートする。

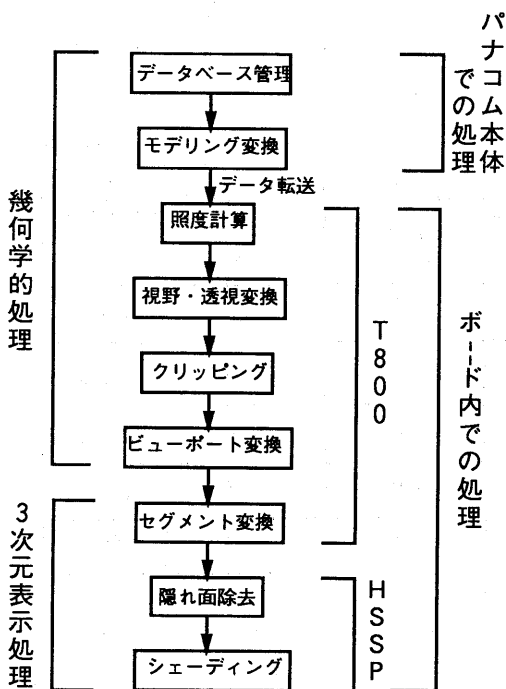


図2 3次元グラフィックスの処理の流れ

この処理も浮動小数点演算が主なので、 μ CUBE上のT800で実行する。視点データのみを変更する場合は、パナコムからの形状データ転送を行わないようにし、全体の処理を高速に実行する。

5) クリッピング

視野立方体でのクリッピングを行なう。

これまでの処理は、ポリゴン単位で行なうが、これ以降は処理の単位がスキャンライン単位に変わる。

6) セグメント変換

形状データをHSSPの入力データであるセグメントデータに変換する。

この処理は、形状データをあらかじめ頂点データから、辺の傾きのデータ（エッジリスト）に変換しておき、いわゆるエッジテーブルアルゴリズム⁹⁾で、あるスキャンライン上に存在するすべての形状のセグメントデータ（ポリゴンとスキャンライン平面の交線の線分データ）を計算した後に、そのセグメントデータをHSSPに入力する。

7) 隠れ面除去とシェーディング処理

スキャンラインZバッファ法による隠れ面除去と、グーローシェーディングを行なう。

これらの処理は、HSSPを用い1つのスキャンライン上の256画素を一度に並列処理することができる。

例えば、水平解像度512画素の画面なら2回の処理で1スキャンラインの画素を生成することができる。

このように、3次元グラフィックスの処理を処理の分散と、専用のハードウェアを用いることによって高速化した。

6 性能評価

実際のデモの1シーンをを用い処理速度の測定をした。結果を表2と図3に示す。性能測定1はパナコムからデータ転送してかつ表示したものである。性能測定2はボードの単体の性能を調べるもので、（データ転送時間を除く）内部処理の時間を測定したものである。

測定条件（共通）

ホストパソコン：パナコムCV-M800
CPU：80386（20MHz）
FPU：80387（20MHz）

μ CUBE内プロセッサ：

T800（25MHz）
HSSP（10MHz）

表2 性能測定結果1

測定データのポリゴン数	頂点数	転送データ量 (バイト)	シェーディングモード	データ転送時間 (msec)	ポリゴンの法線ベクトル計算 (msec)	頂点の法線ベクトル計算 (msec)	1画面処理時間 (msec)
36	108	1780	コンスタント	28.9	1.9	0.0	94.4
			グーロー	28.4	1.8	20.2	212.5
142	426	6938	コンスタント	110.8	7.0	0.1	226.4
			グーロー	110.5	7.0	203.8	445.3
36	54	1180	コンスタント	18.6	1.8	0.0	86.8
			グーロー	17.5	1.8	4.0	97.6

EDPU (20MHz)

解像度: 512x400 (中解像度)

シェーディングモード:

グーローシェーディング
コンスタントシェーディング

測定項目:

性能測定 1

・データ転送時間

図2のデータベース管理とモデリング変換の処理時間と処理データをμCUBEへ転送する時間

・データ量

・法線ベクトル計算時間

図2の照度計算の一部

・全処理時間

1シーンの処理時間

性能測定 2

・幾何学的処理時間

図2の視野・透視変換、クリッピングとビューポート変換の処理時間

・表示処理時間

図2のセグメント変換、隠れ面除去とシェーディングの処理時間

測定データ:

性能測定 1

1. パナコムのディスプレイ (ポリゴン数36)

2. パナコムのディスプレイと本体 (ポリゴン数142)

3. 立方体3つ (ポリゴン数36)

性能測定 2

デモで用いた形状データ

(ポリゴン数1, 36, 106,

142, 273, 434, 980)

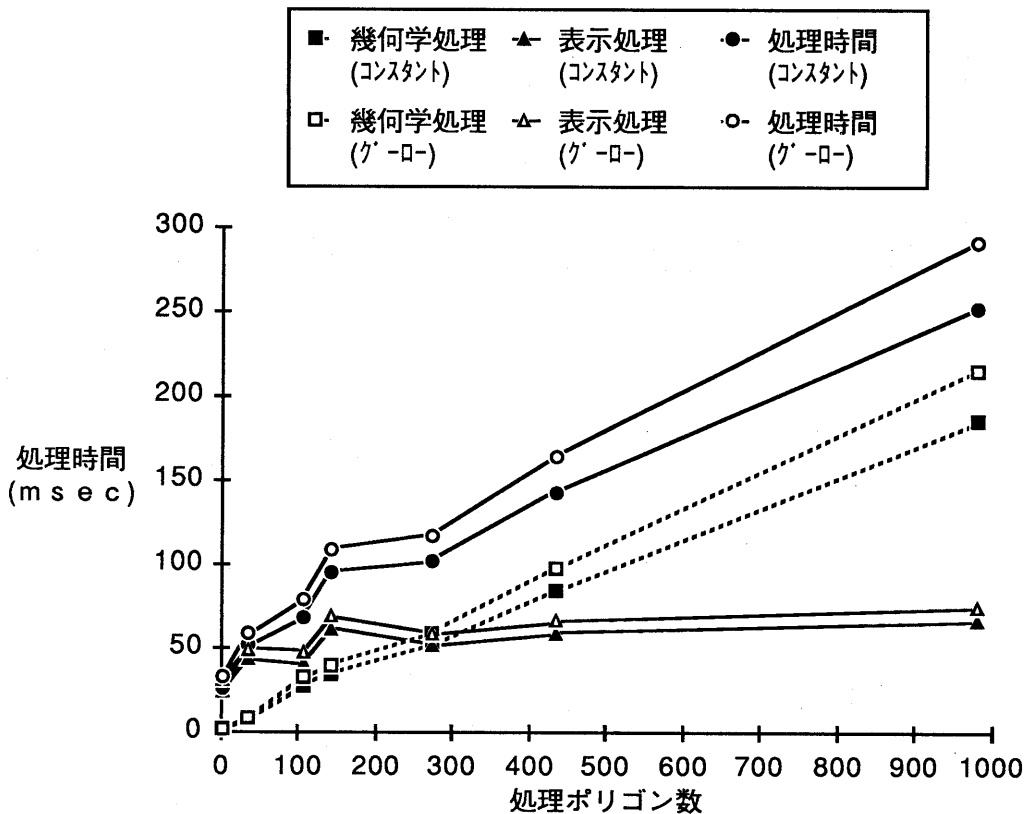


図3 性能測定結果2のグラフ

測定プログラムは、 μ CUBE用に作成したライブラリでプログラムされている。

処理時間の測定は、T800用のソフトに測定用のタイマーソフトルーチンを付け加えたもので行なった。

性能測定1の結果からは、全処理時間に占めるデータ転送時間の割合が大きいことが分かる。これは、パナコムと μ CUBE間がCPUのI/Oのポートでつながっているため、I/O転送のサイクルに時間がかかるからだと考えられる。

性能測定2の結果からは、幾何学的処理時間はポリゴンの数に比例しているが、表示処理時間は比例していないことがわかる。これは次の2つの点からだと考えられる。一つは、隠れ面除去をスキャンラインZバッファ法を用いて行なっているため、表示処理時間がポリゴンの数に比例せず、処理するセグメント数に比例するという。そしてもう一つは、測定に用いたポリゴンの多い形状データでは、1つのポリゴン当たりの平均セグメント数が小さくなっているためだと考えられる。

この結果から処理能力は、

$$980 \div 0.2515 = 3897$$

となり、4Kポリゴン/秒程度である。

7 まとめ

パソコン用3次元グラフィックスボードの開発について述べた。

実測性能で約4Kポリゴン/秒の高速処理を達成することができた。

また、グラフィックスライブラリとして、3次元用30関数、2次元用41関数のものを作成した。

これからは、フルカラー化やT800を複数個使った、並列処理化について検討を行なっていきたい。

[謝辞]

松下電器産業(株)コンピュータ(事)の関係者各位の仕様設計の際の種々のアドバイス、パナコムに問する技術情報の提供に対して感謝いたします。

参考文献

- 1) T.Nishizawa, et al.:"A hidden surface processor for

3-dimensional graphics," Digest of Tech. Papers, IEEE Isscc, pp166-167, 351(Feb. 1988)

- 2) 前信 他:"3次元グラフィックス動画システムCUBE," 情報処理学会グラフィックスとCAD研究会, 43-5, (Feb. 1990)
- 3) 神山 他:"ビットマップグラフィックスプロセッサEDPUの開発," 電子情報通信学会集積回路研究会 ICD89-190, (Mar. 1990)
- 4) Gouraud, H., "Continuous Shading of Curved Surfaces," IEEE Transactions on Computers; pp.623-628, C-20(6), (June. 1971)
- 5) Foley and van Dam, "Fundamentals of Interactive Computer Graphics," Addison-Wesley Publishing Company; (Mar. 1983)