

PC 向け三次元グラフィクス用幾何変換 プロセッサ : Pinolite

Geometry Processor for PC 3D Graphics : Pinolite

あらまし

PC用三次元グラフィクスに活用するための幾何変換プロセッサを紹介する。三次元グラフィクス処理は、物体の形状を加工したり位置を移動させたりする幾何変換処理(ジオメトリ)と、表示領域に投影し着色するための描画処理(レンダリング)から成る。Pinoliteは、その幾何変換処理部分を高速化するための専用プロセッサであり、100 MHz動作時に、最先端のアーケードゲーム機に匹敵する500 kポリゴン/秒(三角形テラポリゴン)および750 kポリゴン/秒(三角形フラットポリゴン)の処理能力を提供する。PCIコントローラ、SDRAMコントローラ、DSPコアおよびI/Oプロセッサといった各種機能マクロを集約統合し、PC環境への適用に最適化されたシステムLSIとして製品化した。3D WinBench 98によるベンチマークテストの結果、Intel Pentium MMX (200 MHz)と比較して、項目により80%以上の性能向上が認められた。本稿では、本プロセッサに適用したアーキテクチャと、幾何変換処理高速化のために適用した命令セット、およびPC用に最適化するためのバスインタフェースの工夫について紹介する。

Abstract

This paper introduced a geometry processor for PC 3D Graphics. 3D graphics operation consists of two parts; Geometry and Rendering. The Geometry part executes pipelined instructions that transform, modify, and move the positions and shapes of 3D objects. The rendering part colors 2D projections of these 3D objects.

Pinolite is an optimized processor for performing the geometry operation. It can process up to 500 k gouraud polygons/s and 750 k flat polygons/s at 100 MHz operation, which equals the peak performance of the top-line arcade game machines. In certain parts of the 3D WinBench 98 test, Pinolite demonstrated a more than 80% performance advantage over the Intel Pentium MMX (200 MHz).

This article describes the architecture of Pinolite, the instruction set used for high-speed geometry operations, and specific bus interface implementations for the PC platform.



阿波賀 信人 (あわが まこと)

1981年立命館大学理工学部電気工学科卒。同年富士通入社。以来PCハードウェアの設計、マイコンマーケティングを経て、1994年からグラフィクス関連製品の開発に従事。第一システムLSI事業部第一設計部



中原 誠 (なかはら まこと)

1989年千葉工業大学電子工学科卒。同年富士通入社。以来プロセッサの開発に従事。第一システムLSI事業部第一設計部

ま え が き

1992年にアーケードゲームの世界にVirtua Racing^(注1), Virtua Fighter^(注1)といった三次元グラフィクスを活用したゲームタイトルが登場したことで、それまで科学技術やCAD専用に活用されていた三次元グラフィクス技術がにわかに身近なものになった。その後SEGA SATURN^(注1), SONY Play Station^(注2)等の家庭用ゲーム機が製品化され、このような三次元系ゲームタイトルが続々とコンシューマ向けにも登場し始めたことにより、この技術は更に身近になり、市場の裾野は急速に拡大しつつある。このような三次元グラフィクス機能を活用したコンシューマ向けアプリケーションの普及に伴い、パーソナルコンピュータ(PC)の世界でも同様のトレンドが顕在化し、三次元グラフィクス機能は徐々に必須アイテム化しつつある。これまで三次元グラフィクスといえば、高性能グラフィクス・ワークステーションを使った、非常に限られたユーザ層を対象とした技術とされてきたが、プラットフォームの多様化・低価格化に伴い、ゲームや映像製作の分野へ応用市場が急激に拡大しつつある。その背景には、グラフィックコントローラ・デバイスのドラスティックな性能向上と激しい市場競争があり、このような市場状況を一層加速する結果となっている。

三次元グラフィクス処理は、オブジェクトの形状を加工・変化させるための幾何変換処理(ジオメトリ)と、当該物体を表示領域に投影し、着色するための描画処理(レンダリング)の二つから構成され、この順序で処理が行われる。Virtua Fighterのような格闘ゲームを例にとれば、ファイタの体の動きを計算し、腕や足の位置を変化させる処理がジオメトリで、ファイタの体に色を塗り、ボディースーツの模様を貼り付ける処理がレンダリングである。通常PC用グラフィックコントローラは、ジオメトリをホストCPUで処理するという前提のもとに、レンダリング部分だけを高速化・高性能化する傾向にある。そのため、ジオメトリに多大なCPUパワーをかけることになり、結果的にこれがシステム全体のボトルネックとなり、実効性能の向上を妨げるケースが見受けられる。現在最も普及しているIntel Pentium MMX^(注3) (200 MHz) CPUを搭載したPCの場合、最新ゲームタイトルの多くは、50%以上のCPUパワーをこのジオメトリのために消費している。しかし、これらのPCのジオメトリピーク性能

は、200~300 kポリゴン/秒と、最先端のアーケードゲーム機の性能(500~750 kポリゴン/秒)とは、依然大きな開きがあり、表現される画像品質もかなり異なる。これは、汎用CPUに搭載されているFPUが必ずしも三次元グラフィクスに使用されるような大量のデータフロー処理に最適化されていないため、実働上のオーバーヘッドが大きいこと、CPUの全パワーをジオメトリのみに消費することができないこと等の理由による。

以上の問題を考慮し、CPUからジオメトリの負荷を取り去り、システム全体でバランスのとれた実行環境を構築し、業務用ゲーム機に匹敵する実効性能を実現するために、浮動小数点DSPコアを基本にした、専用ジオメトリプロセッサPinolite^(注4)を開発した。

製 品 概 要

Pinoliteは、IEEE754規格に準拠する浮動小数点DSP (FP-DSP)を核とし、単精度浮動小数点形式データの乗算および加減算を同時並列に実行することができる。そのチップ写真、諸元およびブロック構成を図-1、図-2に示す。FP-DSPのほかに、二つの独立したPCIインタフェース、それらを接続するためのPCI-PCI bridge、およびSDRAM/

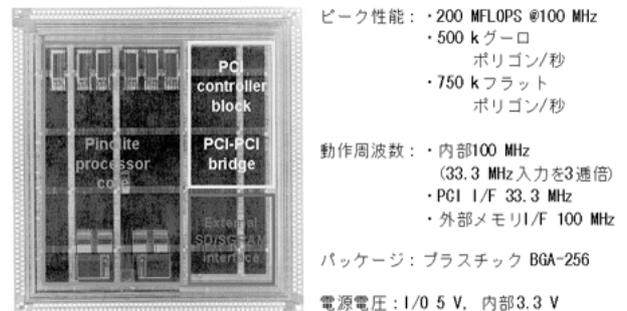


図-1 チップ写真および諸元
Fig.1-Chip and its specification.

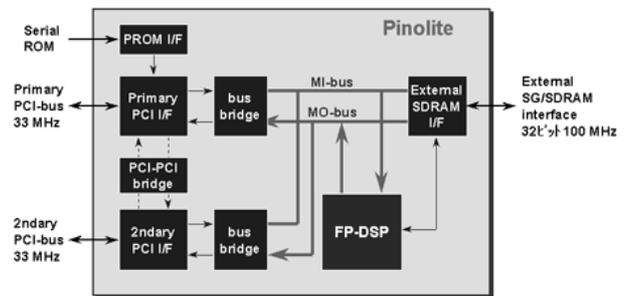


図-2 ブロック構成図
Fig.2-Block diagram.

(注1) Virtua Racing, Virtua Fighter, SATURNは、セガエンタープライゼズ社の商標。

(注2) Play Station は、SONY Consumer Entertainment社の登録商標。

(注3) Intel, Pentium, Pentium MMXは、Intel Corporationの登録商標。

(注4) Pinoliteは富士通の商標。

SGRAMインタフェースを搭載している。二つのPCIインタフェースを搭載したのは、一方をホストCPUからのデータ受信に使用する間に、もう一方でグラフィックコントローラ(レンダリングエンジン)への幾何変換完了データを送出するためである。この構成をとることにより、ホスト側PCI-busのトラフィックを低減させ、レンダリングエンジンとの連携動作を効率良く行うことができる。

FP-DSP部の内部構成を図-3に示す。FP-DSPには、プロセッサコアと同時並列に動くI/Oプロセッサを搭載した。ホスト側PCIインタフェースから入力されるソースデータと変換係数等のパラメータは、ダブルバンク構成の入力バッファRAM、パラメータRAMにそれぞれI/Oプロセッサが自動転送する。この転送が行われている背後で、FP-DSPは演算命令のオペランドでもう片方の入力バッファ、パラメータバッファをインデックス参照し、幾何変換プログラムを遂行する。I/Oプロセッサが外部インタフェースとの間のデータ転送を制御することにより、FP-DSPは幾何変換のプログラム処理に集中することができ、データ転送のボトルネックによる性能低下を回避している。

Pinoliteでは、6~8段構成のパイプラインアーキテクチャを採用した。この構成を図-4に示す。浮動小数点演算器(FP-MUL, FP-ALU)は2段構成で、マトリクス演算専用命令(fmaccmまたはmaccm)を実行する場合は、直列接続の4段積和パイプラインを構成する。Pinoliteでは2オペランド形式の16ビット固定長命令フォーマットを採用し、コードサイズの圧縮を図っているが、この形式では積和演算のオペランド指定領域が不足するため、乗算結果を累積するための専用アキュムレータレジスタ(RACCX, RACCY, RACCZ)が出力レジスタとして暗黙指定され、ニーモニック中のサフィクス値に従ってこのうちの 하나가選択される。

一般的に三次元グラフィクスの幾何変換処理には、座標変換と輝度計算の二つの処理がある。とくに座標変換

は、図-5に示すようなマトリクス演算を、オブジェクトを構成するすべての頂点に対して連続的に実行するため、積和演算の高速性が実効性能を左右する。Pinoliteでは、前述したニーモニック中のサフィクスで変換マトリクス中の行列位置を指定し、1サイクルのスルーレートでマトリクス演算専用命令を連続実行するので、1頂点の座標変換を12サイクルで完了する。

性能評価

Pinoliteの実効性能を評価するため“3D WinBench 98^(注5)”



図-4 Pinoliteパイプライン構成
Fig.4-Pipeline of Pinolite.

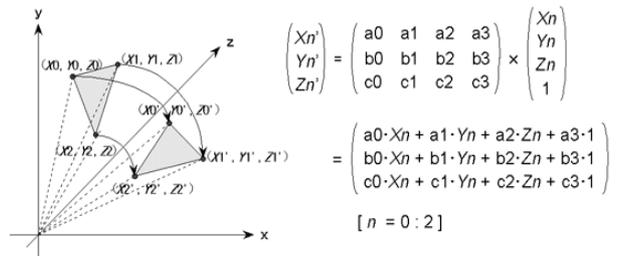


図-5 座標変換処理
Fig.5-Coordinates transform processing.

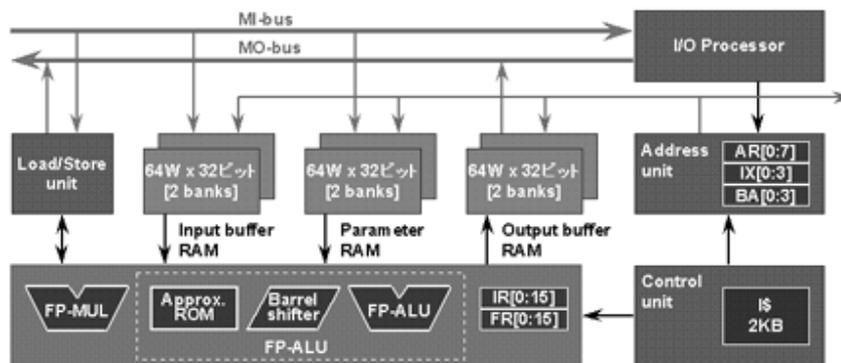


図-3 FD-DSP部内部構成
Fig.3-Internal structure of FP-DSP.

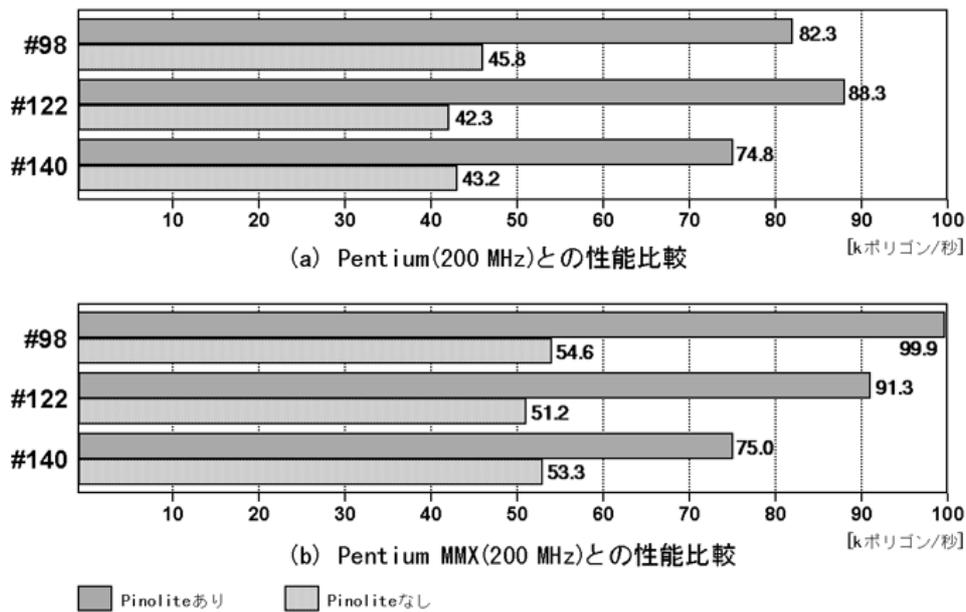


図-6 3D WinBench 98による性能評価結果
Fig.6-Results of performance evaluation using 3D WinBench 98.

を行った。これはZiff-Davis社が提供する、PC向け三次元グラフィクスの実効性能を測定するための標準ベンチマークテストである。全部で約150項目の試験プログラムが含まれているが、その多くはレンダリングの性能評価を行うものであるため、ここではジオメトリの専用チップ化による効能を検証するように測定項目(#98, #122, #140)を限定した。レンダリングにはS3 Corporation社のViRGE GX2^(注6)を使用し、Pinoliteはジオメトリ処理の最終段に相当するセットアップ演算を実行する。この結果を図-6に示す。

この結果、Pinoliteを搭載しないPentium MMX (200 MHz) 単独の処理と比較して33～83%の性能向上を、同じくPentium (200 MHz)と比較して61～109%の性能向上を確認した。現在の構成では、ホスト側ドライバの制約により、Pinoliteの実行するジオメトリ処理は、レンダリング用のセットアップ計算に限定されているため、ベンチマーク結果に示される絶対性能は、ピーク性能の1/5程度となっている。今後、座標変換、輝度計算といったジオメトリ処理の中核部分をPinoliteが処理できるようにドライバの構成が変われば、この絶対性能値は更に高まると思われる。

む す び

ゲームを始めとするコンシューマ向け三次元グラフィクスアプリケーションを、PC上で高速化するための専用ジオメトリプロセッサについて紹介した。

現在のPC環境では、レンダリングの高速化にはグラフィックチップベンダ各社が^{しのぎ}鏝を削っているものの、ジオメトリはCPUにすべて依存しているため、業務用ゲーム機のようなバランスのとれた性能向上を実現することが非常に困難な状況にあることも示した。

Pinoliteのような専用ジオメトリプロセッサを活用することで、CPUの負荷を分散させ、処理を並列化し、システム全体の実効性能を、最大2倍近く向上させることができる。

CPUの性能はコンスタントに向上するが、アプリケーションプログラムの要求性能は際限なくエスカレートする傾向にあるため、キャッチアップすることは非常に難しい。そのため、Pinoliteのような専用ジオメトリプロセッサの必要性は、グラフィックコントローラの性能が向上するにつれて、さらに高まってくると考えられる。今後は、各内蔵機能の更なる高速化・機能最適化を踏まえ、より高性能・低価格な後継製品へ展開していくとともに、ドライバ・ファームウェアまで含めた実働環境を充実させていきたい。

参考文献

- (1) M. Awaga et al. : 3D Graphics Processor Chip Set. *IEEE MICRO*, 15, 6, pp.37-45 (Dec. 1995).
- (2) Donald Hearn and M. Pauline Baker : *COMPUTER GRAPHICS. SECOND EDITION*, Prentice Hall, Inc., 1994.
- (3) J. Neider et al. : *Open GL Programming Guide*. Addison-Wesley, 1993.

(注5) 3D WinBench 98は、Ziff-Davi, Inc.社の商標。

(注6) ViRGEは、S3 Corporationの商標。