

【製品紹介】



製品紹介

●製品紹介●

PlayStation2のコンセプトと概要

株式会社ソニー・コンピュータエンタテインメント開発研究本部

岡本伸一

1 はじめに

本稿では弊社（株式会社ソニー・コンピュータエンタテインメント、以下SCE）が開発・商品化したPlayStation2（以下PS2）のコンセプトとそのアーキテクチャの概要を紹介する。

なお、本稿で言うところの「ハード機器」・「コンテンツ」・「フォーマット」は、特に指定の無い場合は「エンタテインメント用途向け」のものである。

2 コンセプト

PS2は単なるビデオゲーム機ではなく、より幅広いエンタテインメントを提供するプラットフォームとして企画された。SCEではこのコンセプトを「コンピュータエンタテインメントシステム」と呼んでいる。

2.1 コンピュータエンタテインメントシステム

(1) フォーマット

エンタテインメント分野においては、コンテンツ（ソフトとも呼ばれている）が、ハード機器とは分離された形で

供給されるスタイルが一般化している。テレビ受像機とテレビ放送、プレーヤとCDなどがその例である。

このような供給形態を実現するためには、ハードとコンテンツ、それぞれの開発者が従うべき物理・電気・プログラミングなど様々な技術分野をカバーする規格、つまりフォーマットが定義される必要がある。

(2) フォーマット間の競争

フォーマット間の競争は、利用者を奪い合うという「量的なもの」であるため、分かりやすく、かつ、厳しいものとなる。人間ひとりの持つ時間は限られていることもあり、3年前には"war of eyeball"と言う言葉が、パソコンと他フォーマットによる利用者の時間の奪い合いを指して使われたことがある。

(3) マルチフォーマット対応ハード機器

ハード機器は歴史的に、特定のフォーマットに特化する、もしくは、ラジカセやビデオデッキのように補完関係にある2つのフォーマットに対応していることが多かった。このため、ハード機器はフォーマットと同一視され、フォーマット間の厳しい競争に巻き込まれることが常であった。

しかし、デジタル化が進んだ最近では、無関係な複数のフォーマットを同時にサポートする機器が見られるようになってきている。例えば、多くのDVDビデオプレーヤでは音楽CDも再生できる。ハード機器も内容的にはコンピュータであるので、実はこのようなマルチフォーマット対応は（価格への影響を無視すれば）さほど難しいことではない。

(4) フォーマット間競争からの離脱

もしも、競争が比較的小さく、かつ、利用者の時間の大部分を占有する、複数のフォーマットの組み合わせ、つまり「最強のフォーマット集合」、を見付けることが可能であり、その集合中の全フォーマットに対応したハード機

器を開発することができたとすると、それはフォーマット間の競争から独立した最強のハード機器となる。

これがコンピュータエンタテインメントシステムの発想の元となった思考実験である。

2.2 グラフィックス表現性能の追及

もちろん、マルチフォーマット対応の価格への影響を十分に小さく押さえられなければ、上の思考実験はまさに実験で終わってしまう。しかし、我々は価格を押し上げる別の要因をかかえていた。それがグラフィックス表現性能の指数関数的な向上であった。

(1) グラフィックス重視

ビデオゲーム機の開発の歴史においては、グラフィックス表現性能競争が続いてきた。人類が備えている感覚中、最大の情報量を処理する視覚にアピールするグラフィックス表現を追及することが、魅力あるコンテンツ実現につながるからである。

「最強コンテンツ集合」にビデオゲームは不可欠であり、また、そのものがフォーマットであるため、グラフィックス表現性能向上は、PS2に不可欠の要素であった。

(2) 指数関数的性能向上が目標

分析過程の紹介は割愛するが、PlayStationの画像品質に関する我々の分析では、10倍から100倍のレンダリング性能を持つグラフィックスシステムであればそのシステムとPlayStationの画像の差を認識できる。PS2はPlayStationと比較されることが避けられない商品となるため、この比率が性能向上の最低目標となった。

また、別途行ったインタビューにおいて、ゲームソフト開発者は、理想のゲーム機として「PlayStationの20000倍近いグラフィックス表現能力」を要求した。

ソフト開発者もまた重要なユーザーであるため、この要望に何とか応えなくてはならなかった。さすがに20000倍の性能向上は技術的に目処が立たないレベルであったが、この値は開発チームの「心の目標」となった。

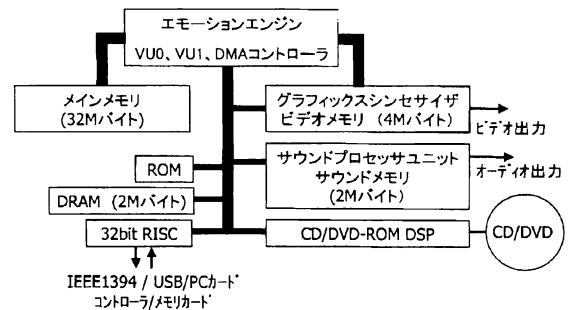
3 アーキテクチャ

PS2アーキテクチャは「非対称マルチプロセッシングシステム」である。プログラム開発の難度と引き換えに、原理的な最高性能を重視した設計となっている。

128ビットRISCプロセッサがいわゆるメインCPUとしてシミュレーションや汎用オペレーティングシステムなどの汎用プログラムの稼働を担当し、さらに複数のプログラ

マブルもしくはノンプログラマブルなプロセッサが自由度と並列処理による高速処理を両立させる。

プロセッサ間の結合は、それぞれに割り当てられるであろう役割の分析を元に、レジスタやメモリの共有、バス接続、FIFOレジスタによるパイプライン的連結などを組み合わせて実現されている。



4 グラフィックス

グラフィックス表現の基本単位はポリゴンである。書き順を制御する「Zソート」と、ピクセル毎に画面垂直方向座標値を記録する「Zバッファ」、の2つの手法のどちらかもしくは両方により物体の重なりを表現する。

4.1 グラフィックスシンセサイザ (GS)

グラフィックス表現機構の最下流は、レンダリングを担当しポリゴン描画命令を受け取り実行するGSである。光源などの広域的処理は行えないが、テクスチャ付きポリゴン（三角形および四角形のみ）もしくはその組み合わせを効率良くレンダリングする。プログラマブルではない。

レンダリング結果はGSチップ中に「ロジック・メモリ混載」技術を用いて内蔵されたビデオメモリに格納される。レンダリング回路とビデオメモリを同一チップ上に実装することのメリットはバンド幅の確保である。レンダリング回路とビデオメモリの間の配線は、基板上で実現することが難しい（不可能ではないが高価であるという意味でだが）2560ビットに達しており、毎秒48Gバイトのデータ転送を実現している。

このバンド幅を生かすため、GS中のレンダリング回路は高度に並列化・パイプライン化されている。最高毎秒7000万個のテクスチャ無しポリゴン、もしくはその半分のテクスチャ付きポリゴンをレンダリングできる（数値はポリゴンの形状やピクセル数に依存する）。

ビデオメモリへはGSのみがアクセスできる。メインメモリとの間でテクスチャなどのデータを双方向転送できる。

4.2 ベクタユニット (VU)

GSのレンダリング性能に匹敵するジオメトリ演算性能を実現するため、独立したメモリ空間を備えた専用プロセッサモジュールを用意した。これがVUである。VUはエモーションエンジン (EE) 中に2個 (VU0とVU1) 実装されている。

標準的ジオメトリ演算の構成要素である4次元ベクトル演算に特化しており、32ビット浮動小数点数4個を同時格納する128ビットレジスタ群と、VLIWスタイル命令セットを備えている。

プログラムとデータのためのメモリ空間は独立しており、それぞれのメモリデバイスはEEに内蔵されている。メインメモリからこれらのメモリ群へは、DMA (Direct Memory Access) コントローラによるデータ転送を用意した。このコントローラは、データやプログラムだけでなく演算を開始させる命令パケットも転送可能で、さらにVUが演算中の場合は後続の転送を遅らせる機能を持つ。VU自体にはオペレーティングシステムは用意されていないが、このDMAコントローラがシングルスレッドカーネルとしてプログラム実行を管理する。

(1) VU1

VU1の想定された用途は、高度なグラフィックス記述をポリゴンへ変換することである。VU1はGSとFIFO接続されている。

ポリゴンは局所的情報のみから構成される。効率的なレンダリングに向いているが、グラフィックス表現手法との相性は必ずしもよくない。光源効果やレイトレーシングなどは広域情報を必要とするからである。

また、システムが扱うべきポリゴン数はレンダリング性能向上に比例して増加する。最低10から100倍の表現性の向上を目指す中で、この傾向をメインCPU上の汎用プログラムにまで波及させる訳には行かない。

この2点からVU1の想定用途が決定された。

(2) VU0

VU0の想定用途は、汎用のベクトル演算器と、VU1のフロントエンドである。いずれもVU1へ引き渡すデータ、もしくはそのようなデータのさらに上流に位置づけられるデータを処理・生成することにより、システム全体としてのジオメトリ演算性能を拡張する。このためVU0は、128ビットRISCプロセッサのコプロセッサとしても動作し、かつ、VU1とレジスタ・メモリ共有により接続されている。

RISCプロセッサのプログラマブルなベクトル演算コプロセッサ。同じDMAコントローラによるプログラム実行管理を受けるフロントエンド。場合によってはこれらの役割を同時に果たすことができる。

5 開発環境

PS2のソフトウェア開発環境の中心として、PS2にハードウェア的拡張を加えた「ツールハード」と呼ぶハードウェアを用意した。これをいわゆるハードウェアエミュレータとしてPCやWSと組み合わせてクロス開発環境を構成する。

5.1 ツールハード

ツールハードは128Mバイトのメインメモリとシステム監視と通信を担当する通信プロセッサを搭載したPS2である。PS2上のプログラムからアクセス可能なハードディスクも内蔵する。これらの拡張はPS2ソフトウェア開発の効率向上を目的としている。

通信プロセッサは、Linuxをローカルハードディスクに搭載しイーサネットインタフェースなどを備えたインテルアーキテクチャCPUである。

ツールハードとホストとなるPCやWSは、電氣的にはイーサネット (100BaseT)、プロトコル的にはTCPソケット上に構築した独自の制御プロトコルで接続する。このプロトコルは、レジスタのリード・ライトやステップ動作などのデバッグを構成する操作をカバーする。

5.2 プログラミング環境

128ビットRISCプロセッサは拡張されたMIPS IV命令セットに基づいて設計されている。GNUベースのCおよびC++コンパイラとgdbデバッグを用意した。VU向けにはアセンブラだけを、また、入出力制御を主に担当する32ビットRISCプロセッサにはGNUベースのCコンパイラを用意した。

2つのRISCプロセッサには、独自のマルチスレッドカーネルが動作する。また、各ハードウェアを制御する低レベルライブラリ、および、PlayStationライブラリとの互換ライブラリ (主にデータ変換で対応) を用意した。

5.3 サードパーティ制度とサンプル提供

PS2アーキテクチャは自由度と性能を兼ね備えているが、ソフトウェア生産性については、大容量メモリと汎用オペレーティングシステムを搭載したシステムには到底匹敵しない。開発専用のツールハードでは、メモリ容量など

のハードウェア的要因を補っている。しかし、カーネルやライブラリは開発・ランタイム共通のため、生産性向上への貢献は原理的に小さい。

汎用OSとは異なった視点からこのソフトウェア的生产性要因を補う試み2点が導入されている。

(1) ツール・ミドルウェアライセンス

開発環境（ソフトウェアのみ）やランタイムライブラリのサードパーティからの提供を可能とするのがツール・ミドルウェアライセンスである。すでに内外約50社が契約締結済みである。統合プログラミング環境、グラフィックスエンジン、音声認識モジュール、通信ライブラリなどの技術が供給される。

(2) サンプル提供

仕様書などのドキュメントを補充する教育的素材として、サンプル集を準備している。特定分野のエキスパートへ依頼して、アルゴリズム定義やデータ形式からソースコードとその実行結果を体系的に網羅したものを目指している。

6 おわりに：ネットワーク対応

最近のネットワークの発達・普及を見ると、ネットワークによるコミュニケーションへの対応抜きでは「最強フォーマット集合」は成立しないと考えざるをえない。PS2アーキテクチャもオペレーティングシステムや周辺機器を拡張することでバンド幅の広いネットワークに対応して行く計画である。これについては機会を改めて紹介することとする。