ボリュームレンダリング専用並列計算機 ReVolver/C40の試作

中山明則, 對馬雄次, 荻野友隆, 金喜都, 森眞一郎, 中島浩, 富田眞治

京都大学工学部

1　はじめに

３次元のボリューム空間を直接２次元ピクセルに射影するボリュームレンダリングは、様々な科学技術分野における計測やシミュレーションの結果を理解するために有効な手段である。しかし、計算量が非常に多いため画像生成に長い時間を要する。

そこで我々は、(1) 半透明ボリュームの取り扱い、(2) 遠近法を用いた描画、が可能な高速ボリュームレンダリング専用並列計算機 ReVolver/C40 を試作している。本稿では ReVolver/C40 のプロトタイプの構成について述べる。

2　ReVolver/C40 の構成

ボリュームレンダリングの処理は (1) 視線ベクトルの生成、(2) ピクセル値の計算、(3) シェーディング、の３つの独立した処理に分割することができる。ReVolver/C40 ではこれらをパイプライン処理し高速化を図る。

ReVolver/C40 の全体構成と処理の流れを図 1に示す。

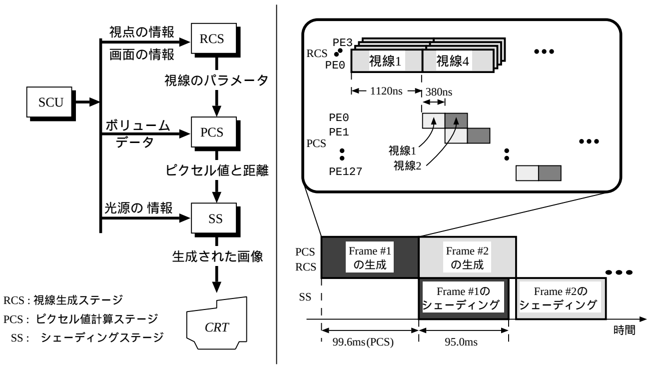

図 1: ReVolver/C40 の全体構成と処理の流れ

以下に、ReVolver/C40 の構成要素について述べる。

System Control Unit(SCU) · · · ホストマシンとのインタフェースであり、ReVolver/C40 全体を制御する。ホストマシンから制御コマンドやボリュームデータなどの様々なデータを受けとり、各ステージにデータを渡す。

視線生成ステージ (RCS) · · · SCU から受けとった視点とスクリーンの位置情報から、視線ベクトルを生成しピクセル値計算ステージに渡す。

ピクセル値計算ステージ (PCS) · · · ボリュームデータを保持しており、視線生成ステージから受けとった視線ベクトルから、視線と交差するボクセルを読みだし、ピクセル値を計算する。また、次のシェーディングステージの処理に必要な depth も求める。計算したピクセル値と depth をシェーディングステージに渡す。

ボリュームデータのメモリ構造を図 2に示す。ボクセルのサンプリングは、視線ベクトルの成分の絶対値が最大の座標軸 (主軸) で等間隔に行う。これにより任意方向の視線上のボクセルの並列読みだしが実現できる。

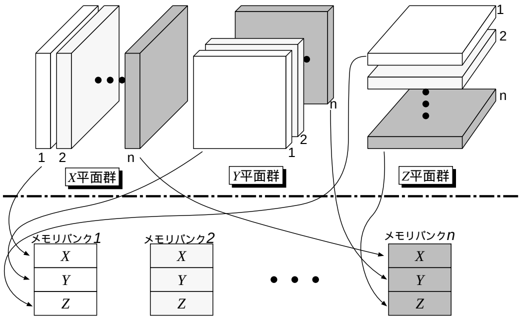

図 2: ボリュームデータの分割とメモリ構造

また、１ PE が１メモリバンクのデータ処理を担当し、これらのもとでピクセル値計算をパイプライン化している。

シェーディングステージ (SS) · · · SCU から受けとった光源の位置と色の情報をもとに、PCS で作った２次元画像に depth gradient shading を施す。

3　プロトタイプの構成と性能

3.1　プロトタイプの構成

現在試作中のプロトタイプには、主な構成部品として DSP(TI 社、TMS320C40,50MHz) を用いる。TMS320C40 は、32bit 幅で転送速度が 100MByte/sec の Local Bus、Global Bus を持ち、8bit 幅で転送速度が 20MByte/sec の Com Port を６つ持つ。以下では、プロトタイプの各ステージの構成を示す。

視線生成ステージ (RCS) · · · 全 PE が Global Memory を共有し、並列処理を行う構成 (図 3参照) である。Global Memory は、SCU から送られる視点とスクリーンのデータを保持する。また PE は、DSP と生成した視線データを保持する Buffer(SRAM) で構成される。

ピクセル値計算ステージ (PCS) · · · PE を一次元的に接続し、パイプライン処理を行う構成 (図 4参照) である。PE は DSP、Address Generator(AG)、Volume Memory(4MB DRAM)、DSP 間の通信のための Buffer(SRAM) で構成される。Address Generator は、

An Implementation of a Parallel Computer for Volume Rendering, ReVolver/C40
Akinori Nakayama, Yuji Tsushima, Tomotaka Ogino,
Kito Kim, Shin-ichiro Mori, Hiroshi Nakashima, Shinji Tomita
Faculty of Engineering, Kyoto University

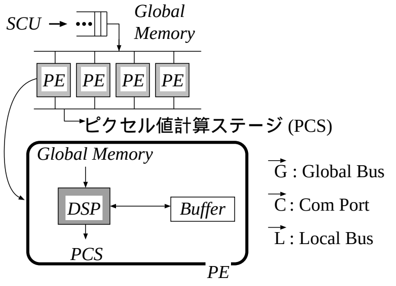

図 3: 視線生成ステージ (RCS) の構成

サンプルするボクセルのアドレス計算を行い、DSP はピクセル値の計算と交差判定だけを行う。

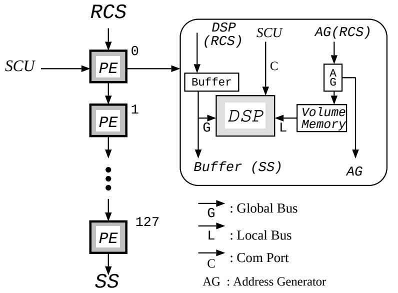

図 4: ピクセル値計算ステージ (PCS) の構成

シェーディングステージ (SS) $\cdots$ 図 5のように、ピクセル値計算ステージから送られるピクセル値を適切な PE に分配するための Pixel Tranceiver(PT)、メッシュ状に接続された PE、CRT へ出力する CRT Controler で構成され、PE は画面分割で並列処理を行う。

Pixel Tranceiver は、処理中に DSP 間で通信が起こらないように、ピクセル値計算ステージから送られてきたピクセル値を必要とする DSP 全てに送る。

PE は DSP、Pixel Tranceiver からピクセル値を受信するための Receive Buffer(SRAM)、CRT へ出力するための Output Buffer(VRAM) で構成される。Receive Buffer(RB)、Output Buffer(OB) は、それぞれダブルバッファ構成である。

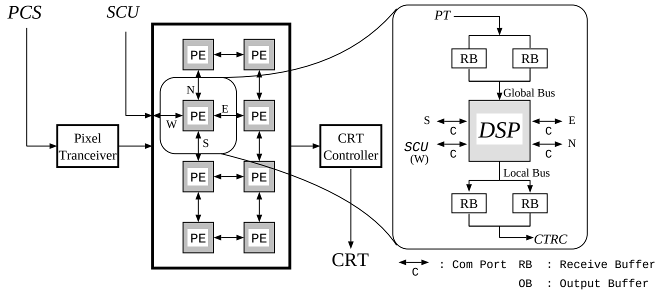

図 5: シェーディングステージ (SS) の構成

3.2 プロトタイプの性能

表 1に各ステージで用いる DSP 数を示す。

ReVolver/C40 ではボリューム空間として 512^3ボクセル、ピクセル平面として 512^2、1ボクセルのデータとして 1Byte を想定している。プロトタイプでは、128^3ボクセルを最高速度で描画するモードと、描画速度を 1/4 として 512^3ボクセルのボリュームレンダリングを行うモードの 2 つを持つ。

表 1: ReVolver/C40 の規模

	最終構成	プロトタイプ
視線生成ステージ	4	4
ピクセル値計算ステージ	512	128
シェーディングステージ	8	8

128^3ボクセルのボリュームレンダリング時の描画速度を、DSP のアセンブリ・コードの命令数から求めた結果、マクロパイプラインピッチは図 1に示すように PCS の処理速度で決まり、約 100ms/frame で画像が生成できることがわかった。

ボリュームレンダリングの条件を、(1) 平行投影、(2) 不透明ボリューム、とすると約 68ms/frame の見積もりになる。これを既存のボリュームレンダリング専用並列計算機の CUBE[3] の性能と比較する (表 2) と、視線方向が任意の場合に ReVolver/C40 が優れており、視線方向が座標軸に平行の場合でもほぼ同等の性能となっている。

表 2: 性能の比較

	CUBE	ReVolver/C40	プロトタイプ
ボクセル数	512^3	512^3	$128^3(512^3)$
座標軸方向	62	68	68(272)
任意方向	573	68	68(272)
遠近法・半透明	—	100	100(400)

描画速度の単位は、ms である。

4 まとめ

本稿では、ボリュームレンダリング専用並列計算機 ReVolver/C40 のプロトタイプの構成および性能について述べた。今後、プロトタイプを実装し実機によってその性能評価を行う予定である。

謝辞

本研究の一部は文部省科学研究費 (一般研究 (A) 課題番号 06402057 「3 次元メモリによる実時間可視化機構を内蔵した柔構造スーパコンピュータの構成方式」) による。

参考文献

[1] 對馬 他 :ボリュームレンダリング専用並列計算機の ReVolver/C40 のアーキテクチャ, 情報処理学会計算機アーキテクチャ研究会, 1994

[2] TMS320C4x User's Guide, Texas Instruments

[3] A. Kaufman and R. Bakalash: Memory and Processing Architecture for 3D Based Imagery, IEEE Computer Graphics & Applications, 8, 6, pp. 10-23, Nov. 1988.