

論文の内容の要旨

論文題目 プログラム可能なグラフィックスプロセッサを用いた
高速画像処理環境の研究

氏名 杉田 馨

次世代の映像メディアアプリケーションを構築するためには、カメラをはじめとする映像取得デバイスや、映像を提示するディスプレイデバイスの普及も重要であるが、それらの間に存在するバックエンドシステムにおいても高度な処理が必要となる。たとえば、映像メディアをキーとするユーザインターフェイスや、インタラクティブアプリケーションの構築のためには、入力された映像情報からイベントを抽出するといった処理や、画像の合成などの高度な処理を実時間で実行する必要がある。

従来、このような特殊なアプリケーション分野に対しては、DSPやFPGAからなる画像処理に特化したハードウェアが開発され、利用されてきているが、これらのハードウェアは特定の用途を対象としたものであり、コストの高さが普及の障害となっている。現在は、一般的なパーソナルコンピュータに搭載されているCPUにも画像処理をはじめとするメディア情報処理を行うためのDSP回路が搭載され、さらにはプロセッサの処理速度の向上もあいまって一般家庭に普及しているパーソナルコンピュータでも高度な処理を行うことが可能となりつつある。

パーソナルコンピュータの性能の発展において、近年特に注目されるのが、コンピュータグラフィックスの画像を生成するためのサブシステムである「グラフィックスハードウェア」の進展である。グラフィックスハードウェアには、グラフィックスプロセッサというコンピュータグラフィックスの画像生成に特化したプロセッサが搭載されているが、これらのプロセッサの集積化は「半導体の集積度は18ヶ月ごとに2倍になる」というムーアの法則を上回る勢いで進んでいる。また、グラフィックスハードウェア自体の小型化も進み、現在はパーソナルコンピュータの拡張カードとして安価に購入することが可能となっている。

グラフィックスハードウェアの最も基本的な処理は、コンピュータグラフィックスにより描画されるシーンを構成しているポリゴンなどの多角形を高速に表示する、すなわち、画像を格納しているフレームメモリ上のポリゴンの領域を高速に塗りつぶすという処理である。近年では、一般的に用いられている計算モデルに従った頂点座標の演算や照明計算に特化された固定的なレンダリングパイプライン（画像の演算回路）だけではなく、アプリケーションが自由に処理内容を変更できる「プログラマブルシェーダ」と呼ばれるパイプラインを備えたグラフィックスハードウェアも登場している。プログラマブルシェーダ

は、アプリケーションが自由に処理内容を変更できるだけでなく、高度なモデルに基づく演算を実現するために浮動小数点精度の演算にも対応している。

グラフィックスハードウェアのこれらの進展により、よりリアリティの高い演算モデルを利用したコンピュータグラフィックスの画像を高速に描画することが可能となった。また、グラフィックスハードウェアが本来持つ、多くのデータに対し同様の処理を高速に行うことができるという特性を利用し、数値計算などへの応用を試みる研究も行われ始めている。

しかし、従来の研究では、本来汎用プロセッサとして用いられている CPU に対するグラフィックスハードウェアの性能の優位性が十分に検証されているとはいえない。また、グラフィックスハードウェアの演算の自由度が高くなったため、確かに任意の演算を実行することが可能となった。しかし、グラフィックスハードウェアは、本来コンピュータグラフィックスの画像を高速に生成する目的で開発されたものであるため、画像処理の演算に固有の演算機能を具備している。これらの機能を有効活用することで、より高速な画像処理の実行が可能であると考えられる。

そこで、本論文では、グラフィックスハードウェアの実行性能の評価と画像処理への応用を行うことを主眼に、以下の内容について述べる。

- ・グラフィックスハードウェアを画像処理へ応用する手法

グラフィックスハードウェアのさまざまな応用の中で、特に本論文の主題である画像処理への応用について、概要と具体的な実行方法について説明する。まず、グラフィックスライブラリ **Microsoft DirectX 9** を利用して、グラフィックスハードウェア上に画像処理アルゴリズムを実装する方法について述べる。次いで、アルゴリズムへ工夫を加えるとともに、グラフィックスハードウェアに固有の機能を利用することで、効率的に画像処理を実行する手法について、具体例を挙げて説明する。

- ・基本的な画像処理タスクについての、グラフィックスハードウェアと CPU の実行性能の測定と比較

画像処理の基本である 2 次元画像のフィルタリング処理について、グラフィックスハードウェア **ATI 社 RADEON 9700 Pro** と **Intel 社 Pentium 4 3.06GHz CPU** それぞれの上で同等の処理を行うプログラムを実行し、実行性能の測定を行った。測定の結果、線形フィルタに関しては、グラフィックスハードウェアが CPU に対しおよそ 3 から 6 倍高速であることが示された。しかし、最大値・最小値フィルタなどの非線形フィルタに関しては、グラフィックスハードウェアは CPU よりも約 40% 所要時間が長くなるということが明らかになった。また、CPU にはないグラフィックスハードウェア固有の機能である、テクスチ

ャサンプラの双線形補間機能や、ラスライザの線形補間機能を用いることで所要時間を大幅に削減できることが明らかになった。

- ・グラフィックスハードウェアを用いた実時間ステレオマッチングシステムの設計と実装

グラフィックスハードウェア ATI 社 RADEON 9700 Pro 上に実装した線形フィルタ機能と、深度バッファを用いた最適化問題の解法を組み合わせ、ブロックマッチングによる全画素ステレオマッチングシステムの実装を行い、Intel 社 Pentium 4 3.06GHz CPU 上の実装との実行性能の比較を行った。この結果グラフィックスハードウェア上の実装が CPU 実装に比べておよそ 2 倍高速であることが明らかになった。あわせて、IEEE1394 カメラを 2 台用いた実時間実写画像に対するステレオマッチングシステムの実装と実行性能の測定も行った。

- ・グラフィックスハードウェアを用いた合焦判定による Light Field からの全焦点画像合成システムの設計と実装

Light Field Rendering と呼ばれるレンダリング手法において全焦点画像を生成するアルゴリズムを、グラフィックスハードウェア上に実装した。この実装の要点は、従来のグラフィックスハードウェアでは実現が難しく、演算に CPU を用いていた処理を、完全にグラフィックスハードウェア上に実装することで、パーソナルコンピュータ内のデータ転送による処理遅延を削減したことである。実験では、グラフィックスハードウェア ATI 社 RADEON 9800 Pro 上の実装と、Intel 社 Pentium4 3.06GHz CPU を併用した実装という 2 種類のシナリオに対して、処理の各段階における所要時間を測定した。この結果グラフィックスハードウェアのみを用いた実装が CPU を併用した実装に比べて全体で約 7.7 倍高速であることが明らかになった。特に、データ転送による処理遅延の削減と、グラフィックスハードウェア上での演算の高速性が、処理速度の向上に大きく貢献した。

- ・グラフィックスハードウェアを用いた画像処理プラットフォームの提案と実装

グラフィックスハードウェアに搭載されているプログラマブルシェーダや、グラフィックスライブラリが提供するアプリケーションプログラミングインターフェイスは、元来コンピュータグラフィックスの画像を生成するために設計されたものであり、本研究で述べる画像処理用途のために設計されたものではない。そのため、グラフィックスハードウェアの応用においては、目的となる画像処理アルゴリズムを、グラフィックスライブラリを用いたプログラムに書き換えるという作業が必要となり、開発者に負担を強いることになる。そこで、グラフィックスライブラリを意識することなく用いることが出来る画像処理

プログラム記述言語を定義し、画像処理プログラムからグラフィックスライブラリを用いたプログラムに変換を行うプリプロセッサを中心とした画像処理プラットフォームを提案する。また、画像処理プラットフォームにおけるプリプロセッサについて初期的な実装内容とプリプロセッサの動作結果について述べる。

論文の最後では、研究成果のまとめを行うとともに、本論文で述べた各画像処理システムの課題と、画像処理プラットフォームの課題、さらに次世代グラフィックスハードウェアの予想をもとにした展望について述べる。