

コンピュータグラフィックスシステム LINKS-1 における画像生成の高速化手法†

出口 弘^{††} 西村 仁志^{††} 吉村 浩^{†††}
河田 亨^{††} 白川 功^{††} 大村 皓一^{††}

コンピュータグラフィックスで動画制作を行うには、画像生成速度の飛躍的向上と画像の生成・合成・編集が効率的に行えるトータルシステムが必要である。そこでわれわれは物体の三次元形状や材質感をリアルに表現できる陰影表示による動画制作システム LINKS-1 を開発した。そのサブシステムである高速画像生成システムは、マルチマイクロコンピュータによる分散型並列処理システムである。高品質な三次元画像を生成するためには、影・反射・透過・屈折の処理が必要不可欠であり、これらを一貫して処理できるアルゴリズムとしては視線探索法があり、並列処理に適しているのを生成アルゴリズムとした。視線探索法を実現するうえで問題となる交差判定の高速化のために、マルチコンピュータシステムによる並列処理・パイプライン処理のほか、物体データの階層化、各種コヒーレンスの応用、非屈折透過処理などを行った。本論文では、システムの概要と、これらの高速化手法とその評価を報告する。

1. ま え が き

1960年ごろ米国で芽生えたコンピュータグラフィックス(以下CG)は、ディスプレイ技術、図形入力技術、映像操作技術、そして、半導体技術に支えられたコンピュータ技術の目覚ましい発達によって、リアリティの高いカラー陰影画像の生成やSF的な動画の制作を可能にし、工業デザイン、各種シミュレーション、視聴覚教育、映像文化のための画期的ツールとなりつつある。

CGは、二次元線画、三次元線画、三次元陰影画像の生成へと発展し、最近ではより高いリアリティを達成するため、自由曲面形状、影、反射、透過、材質感の表現を扱うようになってきた。これに伴って1フレームの画像の生成に要する計算処理が肥大化し、これまで主として使われてきたミニコンピュータやスーパーミニコンピュータの処理能力では、高度化する生成画像への要求に対処できなくなってきた。とくに、CGによって動画制作を行うには、画像生成速度の飛躍的向上と画像の生成・合成・編集が効率的に行えるトータルシステムが必要である。

本論文では、このような要請に応えるために研究開

† High-speed Image Generation Schemes in Computer Graphics System LINKS-1 by HIROSHI DEGUCHI, HITOSHI NISHIMURA (Department of Electronic Engineering, Faculty of Engineering, Osaka University), HIROSHI YOSHIMURA (Far East Laboratories, Ltd.), TORU KAWATA, ISAO SHIRAKAWA and KOICHI OMURA (Department of Electronic Engineering, Faculty of Engineering, Osaka University).

†† 大阪大学工学部電子工学科
††† (株)東洋現像所

発を重ね、1982年10月に試作完成したCGシステムLINKS-1の高速画像生成システムにおける高速化の手法とその評価を報告する。

2. システム構成

2.1 LINKS-1の構成

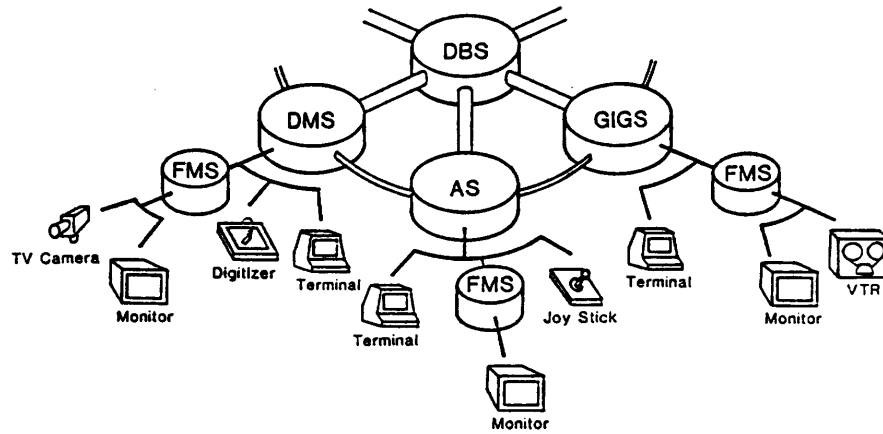
LINKS-1は、物体の三次元形状や材質感をリアルに表現できる陰影表示による動画制作システムである。その構成を図1に示す。本システムは、以下に述べる各作業を独立して行うワークステーションで構成されている²⁾。

データマニピュレーションシステム(以下DMS)⁴⁾では、ディジタイザによる三面図入力などにより、個々の物体の形状を局所座標系で定義し、色や屈折率などの光学的性質を属性として定義すること(物体定義と呼ぶ)、および、物体と各種光源、カメラ(視点とスクリーン)の世界座標系での位置及びその時間的変化を定義すること(シーン定義と呼ぶ)を行う。

アニメーションシステム(以下AS)³⁾では、高速なワイヤーフレーム表示を用いて、シーン定義における動きの確認をリアルタイムで行う。

データベースシステム(以下DBS)では、DMSおよびASで定義されたデータ(シーンデータと呼ぶ)を管理し、時系列データ(各フレームのデータ)を生成する。このDBSはBIOSプロセッサ¹⁾を用いて実現した。

画像生成システム(以下GIGS)^{3),5)}では、各フレームのデータに基づいた画像を逐次生成し収録する。



DBS : Data Base System
 DMS : Data Manipulation System
 AS : Animation System
 GIGS : Graphic Image Generation System
 FMS : Frame Memory System

図 1 LINKS-1 のシステム構成
 Fig. 1 System configuration of LINKS-1.

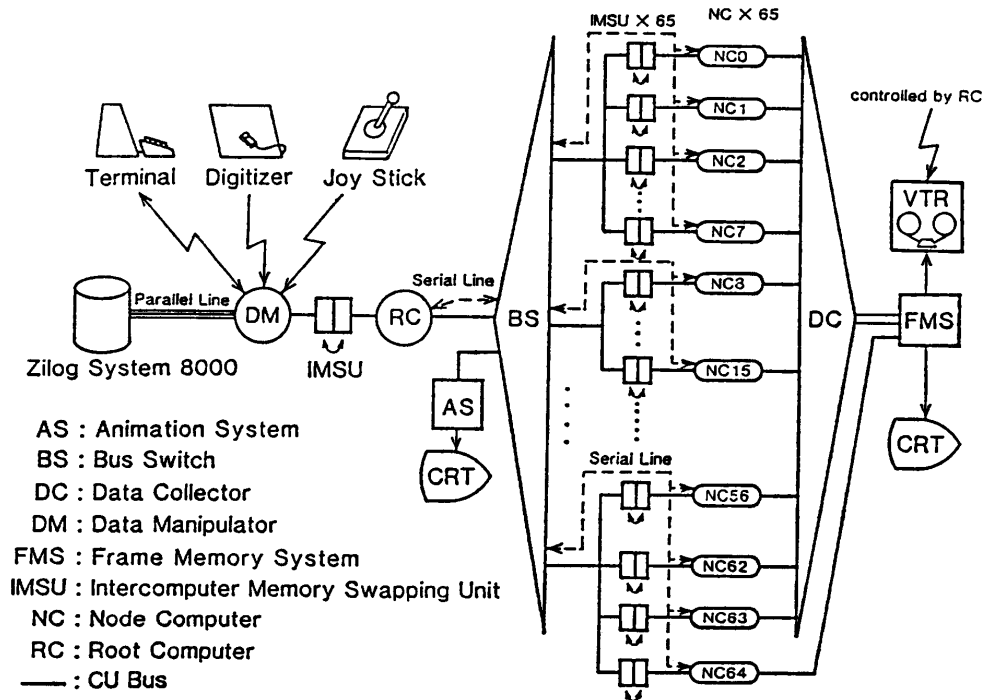
2.2 画像生成システムのアーキテクチャ

陰影画像生成における処理には次のような特徴がある。

(1) 基本的な処理は、与えられた視点・光源・物

体の位置関係から、各画素における輝度を計算することである。

(2) 各画素における計算は、どの物体の表面がその画素に見えるかを求める計算（可視面決定と呼ぶ）



AS : Animation System
 BS : Bus Switch
 DC : Data Collector
 DM : Data Manipulator
 FMS : Frame Memory System
 IMSU : Intercomputer Memory Swapping Unit
 NC : Node Computer
 RC : Root Computer
 — : CU Bus

図 2 画像生成システムのハードウェア構成
 Fig. 2 Hardware configuration of image generation system.

と、その物体表面の輝度を、面の向き(法線ベクトル)と光源、視点の位置関係および物体表面の光学的性質から求める計算(輝度計算と呼ぶ)とから成る。いずれも比較的簡単な計算(3次元の行列、ベクトルまたはスカラの演算)であり、画素間ではまったく独立に行うことができる。

(3) 画面を構成する画素数は通常数十万~数千万に及ぶため、1フレームの画像生成には膨大な演算が必要である。

以上のことから、画素ごとに独立に並列計算可能な画像生成手法を用いれば、究極的には各画素に対して、大容量のメモリをもつ高速のコンピュータを割り当てて計算させるマルチコンピュータシステムが将来性もありCGには適している⁶⁾。しかも、独立に並列計算するマルチコンピュータシステムは疎結合構成でよく、多数のコンピュータを結合したシステムとしては、確実に高性能を発揮し安定に動作することが期待できる。そこで、LINKS-1のGIGSは、近い将来本格的なCG専用コンピュータを開発するためのシミュ

レーションシステムとして、図2に示す疎結合構成のマルチマイクロコンピュータによる分散型並列処理システムを設計、製作した。

2.8 画像生成システムのハードウェア

GIGSの特長は以下のとおりである³⁾。

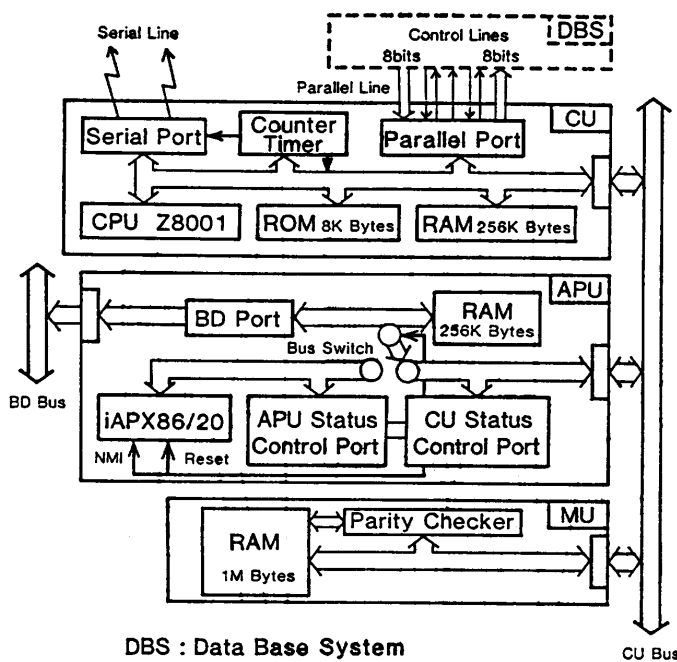
(1) 各コンピュータ(単位コンピュータ(以下UC))は図3に示すような同一ハードウェア構成をとっており、全体はデータ操作モジュール(以下DM)と、1台のルートコンピュータ(以下RC)と複数台(現在64台、254台まで増設可能)のノードコンピュータ(以下NC)から成る疎結合の星状接続構造であり、故障や将来の拡張、素子技術の進歩に即応できる。

(2) UCは制御ユニット(以下CU)のZ8001に加え、浮動小数点演算を高速に行う算術演算ユニット(以下APU)のiAPX86/20を備えたマルチMPU構成である。

(3) 各UC間の通信にはシリアル回線の他に、画像データのような大量データの高速度転送用に新たに開発したメモリ交換ユニット(以下IMSU)(図4)を用いている。IMSUは2組のメモリブロックをもち、それぞれ別々のUCの主記憶の一部となっておりこれを交換するもので、ブロードキャストなどの機能をもたせることにより、データ転送によるオーバーヘッドを最小限に抑えている。またこれにより、DM、RC、NCの間で待ち時間の少ないパイプライン処理が可能である。

(4) 各UCに大容量メモリ(1MBのメモリユニット(以下MU)数個)をもたせてNCが処理中にRCと通信する必要性を極力少なくすることにより、共有メモリ方式に見られるアクセス競合を避け、効率のよい並列処理を実現している。

(5) フレームメモリ(以下FM)は1024×512画素を単位にX、Y方向に拡張可能(現在、1024×1024)なフレームバッファメモリで、各画素ごとにRGB各色を256階調指定できる。各UCで計算された画素データはFIFO型データコレクタ(以下DC)で集められ、FMに書き込まれる。このため、UCにおけるデータ出力はアクセス競合なしに行える。



DBS : Data Base System

CU : Control Unit

APU : Arithmetic Processing Unit

MU : Memory Unit

BD : Block Data

図3 単位コンピュータのハードウェア構成

Fig. 3 Hardware configuration of unit computer.

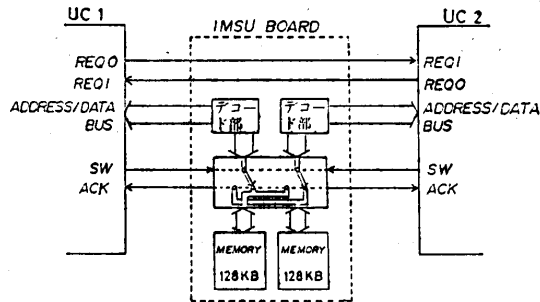


図 4 メモリ交換ユニットの構造

Fig. 4 Structure of intercomputer memory swapping unit.

3. 画像生成のためのモデル

初期の可視面決定（隠面消去）アルゴリズムとしては、不可視指数（quantitative invisibility）などを用いてインクリメンタルな処理をする方法、エリアサブディビジョナルゴリズム、多面体を対象としたスキャンラインアルゴリズム、デプスソートアルゴリズム、などが提唱され、その後、Zバッファアルゴリズム、自由曲面に対するスキャンラインアルゴリズムなどが考案された⁷⁾。

一方、輝度計算には陰影計算モデルが必要である。物体表面での光の反射は、散乱反射光（その物体の色となる）と鏡面反射光（光源などの入射光の色となる）に分けて考えられる。Phong の提唱したモデル⁸⁾では、光源光の散乱反射に Lambert の余弦法則が用いられ、他物体での反射光の散乱反射は周囲光として定数が加算された。光源光の鏡面反射は、正反射方向と光源方向のなす角の余弦の巾乗で近似し、物体表面の鏡面度、すなわち、反射光の広がり（ハイライトと呼ぶ）を巾指数の大小で表わした。しかしこのモデルでは、物体と光源間に存在する物体の影響を無視しているため影がなく、他物体からの反射光の鏡面反射を考えていないので物体の映り込み、いわゆる反射がない。さらに、透過光をまったく考えていないので透明な物体を表現できないなどの欠点がある。

影処理に関しては、光源と視点に対して2回可視面決定アルゴリズムを適用する方法や、影という物体を新たに作る方法などが考案され、透明物体の表現に必要な透過処理に関しては、奥から順に塗り重ねていく方法（非屈折）、視線探索法による屈折透過処理などが考案され、物体の映り込みに必要な反射処理に関しては、映り込む環境を物体にマッピングする方法が考案された⁷⁾。

これら影・反射・透過・屈折を一貫して処理できるアルゴリズムとしては、視線探索法^{9),10)}がある。この方法を用いれば、画素ごとにまったく独立に並列計算できるため、GIGS の画像生成手法としてはこのアルゴリズムを採用した。

3.1 陰影計算モデル

視線探索法とは、光源から視点に至る光路を逆向きに辿る方法である。各画素における輝度は、視点からその画素を通る半直線（視線と呼ぶ）方向から来る光の強度とし、視点に最も近い所で視線と交差する物体表面を求め（交差判定と呼ぶ）、その点における輝度を計算する（輝度計算と呼ぶ）。光が物体に当たると、散乱光、鏡面反射光、透過光（このとき屈折する）に分かれるので、物体表面の輝度もこれら3成分から成るとする。影処理は、物体表面を仮想的な視点とし、そこから視線を各光源へ向け交差判定を行い、その間に存在する物体の透過率を光強度に掛ける。また、反射・透過処理は、正反射・屈折方向（物体の屈折率によりスネルの法則で求める）にそれぞれ視線を向け、交差判定および強度計算を行い、その方向からの光強度を求める。

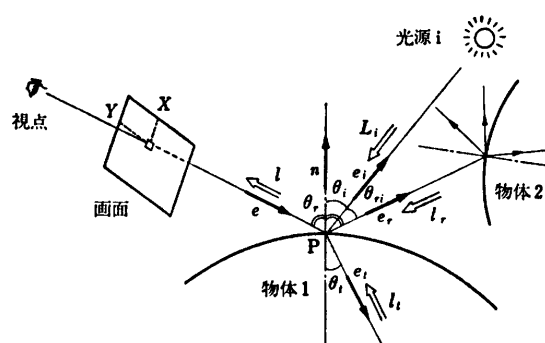
Whitted のアルゴリズム⁹⁾は、まず交差判定のフェーズで視線の2分木（視線が反射方向と透過方向に分かれる）を作ってしまう、輝度計算は次のフェーズで行われる。光源光の鏡面反射は Phong のモデルを用いず、物体表面の微小面における正反射方向に存在する光源の反射光の重ね合わせとした。すなわち、反射光に関しては光源と物体を同一視した。

本 GIGS の陰影計算モデルは図5のように決めた。

本モデルの特徴は、

- (1) 周囲光強度に対する各光源の輝度の寄与が考慮されている、
- (2) 散乱・透過光にその物体の色がかかる、
- (3) 反射係数・透過率が定数⁹⁾でなく入射光の関数（フレネルの法則を近似する）である、
- (4) 光源の鏡面反射によるハイライトの輝度算出には Phong のモデル⁸⁾を用いた、
- (5) 以上のように比較的簡単なモデルで物体の材質感を効果的に表現している、などである。

また、全体を大きく二つのフェーズに分けることはせず、各視線に対する交差判定と輝度計算を対にして、影・反射・透過（屈折）処理はこの手続きを再帰的に呼ぶことで効率よく行っている。



$$I = \sum_{i=1}^N [(dic + drc \cos \theta_i) F + \cos^2 \theta_{r_i} src(\theta_r)] L_i$$

$$+ src(\theta_r) I_r + trc(\theta_r) F I_i$$

dic: 物体の周囲光に対する散乱係数

drc: 物体の入射光に対する散乱係数

src(θ): 物体の入射光に対する反射係数(入射角の関数)

trc(θ): 物体の透過率(入射角の関数)

n: 物体の鏡面反射の鋭さを定める定数

I: 物体表面からの光強度*

I_r: 反射方向からの光強度*

I_t: 透過方向からの光強度*

L_i: 各光源からの光強度*

F: 物体の色(対角要素が色のRGB成分)

f: 3×3の単位行列

* 光強度はRGBの3成分のベクトル

図5 陰影計算モデル

Fig. 5 Shading function model.

また、表面の凹凸や印刷された模様などを表現するためには、いわゆるマッピングという手法を用いた。これは、あらかじめ法線ベクトルや属性(色など)の二次元配列を用意し、物体表面からの写像を定めることによって物体表面の属性を変化させるものである⁷⁾。

3.2 形状モデルと光源モデル

視線探索法における物体の形状を表現するモデルとしては、視線との交差判定と交点における法線ベクトルが簡単に得られるものであれば何でもよい。現在、三角板、楕円体、直方体、濃度球の4種類の形状モデルを用いている⁵⁾。

視線探索法では光源に対する制約も少なく、光線の色と方向ベクトルが得られればよい。現在、平行光線、点光源、スポットライトの3種類を用いている⁵⁾。

4. 高速画像生成のためのソフトウェア手法

分散型並列処理システムにおいて、視線探索法に基づく高速画像生成を実現する上での問題は、交差判定である。交差判定とは各視線と交差する物体のうち、最も視点に近いものを探すことであるから、一画面当りの判定回数は単純計算では(画素数)×(物体数)

となる。さらに、反射・透過処理は、交差判定の再帰的呼出しであるから、反射・透過の多重度に対してその判定回数は指数関数的に増大する。

これに対応するため、画素数に関しては、視線探索法が画素ごとにまったく独立に並列計算可能であることを利用して、画面を小画面(画素の集合)に分割して各NC(図2参照)に割り当て、NCにおいて並列処理する。この際、その分割方式が並列処理の効率を大きく左右する。また、物体数、反射・透過の際の再帰的処理に関して以下に述べるようなソフトウェア的手法も取り入れている。

4.1 物体データの階層化

三次元の物体は、それを構成する複数の形状要素から成り、一般にそれらの要素は階層的構造をなしている。シーン全体も一つの物体と考えることができ、最上層の要素がシーンそのものである。また、最下層の要素は基本形状、すなわち、個々の形状モデルである。一つのレベルの各要素(クラスタと呼ぶ)は、その属する親のクラスタに対し、アフィン変換によって空間的に関係づけられる。この変換系は最上位にシーンの世界座標系が存在し、階層構造を成す局所座標系群により構成される。

このように物体データを階層的に構成することは、物体の形状や動きを定義する場合に便利なので、DMSにおけるデータ作成に用いている。逆に画像生成時には、各局所座標系から世界座標系への変換を行わなければならない(4.3節参照)が、次のような利点もある。

4.2 外接直方体によるクリッピング

オブジェクトコヒーレンス(object coherence)、すなわち、個々の物体が局所的な空間を占め、その空間が重なり合うことが少ないことを利用する。各レベルのクラスタはそれぞれ局所的な空間を占めるので、その外接直方体(面が各座標平面に平行ですべての子供のクラスタおよび基本形状を囲む)(図6)を定める。

交差判定においては、各クラスタの外接直方体と視線が交差するときのみ、その下のレベルにあるクラスタ内の物体を探していく。これによって、視線から離れて存在する物体群を効果的に交差判定から除外できる。この手法は、影・反射・透過処理の高速化に有効である。

4.3 視点座標系への変換

本来の視点の位置は、反射・透過処理の際の仮想的な視点とは異なり、1フレームの画像生成の間は不変

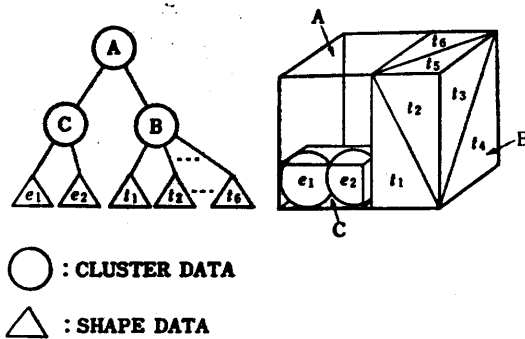


図 6 物体の階層的構造と外接直方体

Fig. 6 Hierarchical representation of an object and its bounding boxes.

なので、ここを原点とする視点座標系が有効である。そこですべての物体データを世界座標系に変換し、さらにこの視点座標系に変換する。世界座標系への変換の際に先に述べた各クラスターの外接直方体の計算も行う。これらすべては前処理として DM で行い、RC・NC では交差判定、輝度計算の処理を行う。このために DM と RC は IMSU を用いて結合しており（図 2 参照）、これによって効率よくパイプライン処理ができ、動画生成時のシステムスループットが向上する。

4.4 画面上でのクリッピング

視点から直接画面上に見える物体に関する交差判定には、エリアコヒーレンス (area coherence), すなわち、近隣の画素には物体の同じ表面が見えることを応用して、より効率的に行う。DM における前処理として先の視点座標系への変換の後に、外接直方体などを画面上に投影し個々の物体が画面上のどの部分に投影されるかを求め、投影された物体を囲む長方形領域（辺がスクリーン座標の各軸に平行）を各クラスターに対して与えることにより、任意の画素を通る視線と交差する物体の抽出に役立つ。

各 NC が担当するジョブの単位の小画面を走査線 1 本あるいはその一部というように、画面の X 方向に連続した領域とすると、その走査線上に投影される物体を初めに抽出することにより処理の高速化ができる。そこで各 NC では RC から担当領域を受け取ると、すべての物体のなかからその画面上の長方形領域が与えられた走査線と交わるものだけを抽出する。これを Y 方向のクリッピングと呼ぶ。

次に、抽出された物体のなかから、その画素を通る視線と交わる可能性のあるものを抽出する。すなわ

ち、その画素がおのおのの物体の長方形領域の内部にあるかどうかを、画面上での X 座標を比較することによって決定する。これを X 方向のクリッピングと呼ぶ。

Y 方向のクリッピングの結果得られた物体データ群を、画面上の X 座標によってソートしておくことにより、X 方向のクリッピング処理を効率よく行う。また、これらのクリッピング処理はスクリーンの画素座標の比較、すなわち、整数の比較演算のみで行うことができるのでかなり高速である。

4.5 非屈折透過処理

反射・透過処理は生成画像のリアルティの向上には必要不可欠ではあるが、多重の反射・透過のシミュレーションはある程度以上は行っても、再帰処理のネスティングが深くなり処理時間が非常に長くなる割に、実際の生成画像に与える効果は小さくなるばかりである。そこでこのネスティングの最大の深さを人為的に定めることにより、無駄な処理を省くようにしている。

しかし、透過物体の処理中に透過が打ち切られると、本来見えるはずの透過光が見えなくなったり、その部分で不自然に輝度がさがってしまう。これを解決するため、打ち切り後の透過処理においては、屈折を伴わない（非屈折透過処理と呼ぶ）。この処理は視線と交差する物体をすべて透過バッファに登録することによって比較的容易に実現できその効果も大きい。

4.6 動的負荷分散法

画像生成速度を高めるためには、各 NC の処理時間ができるだけ等しくなるように負荷を分散し、並列処理の効率を上げる必要がある。ところが、画面を等面積の小画面に分割して各 NC に分配しても、多くの場合、負荷の重い（多重の反射・透過処理を必要とする物体が見えている）画素が画面上に偏在しているため、処理時間のばらつきがかなり大きくなる。また、画面上の画素の負荷の分布状態を正確に予想することも困難なため¹¹⁾、次に示すような動的負荷分散法を用いている。

RC は画面を NC の台数に比べて十分に多くの小画面に分割し、各 NC にその小画面を 1 つずつ分配して生成処理を開始させる。与えられた小画面の処理を終了した NC は、次の処理領域を RC に要求（エリアリクエストと呼ぶ）する。これに対して RC はその NC に次の小画面を渡して処理を継続する。これを単純動的負荷分散法と呼ぶ。この場合、NC の

処理時間のばらつきは、一つの小画面の処理時間より小さくなるので、小画面を小さくすることによってこの効果を増せる。ところがそうすると、逆にエリアリクエストによる RC-NC 間の通信のオーバーヘッドの増加、Y方向のクリッピングの効果が低下するため、処理時間が長くなってしまふ。したがってそこにはトレードオフが存在する。

5. 各手法の有効性の評価

ここでは、前章までに述べた高速化の手法の効果を評価する。

5.1 システムの性能評価

本システムは1982年10月試作完成以来、大きな故障によるシステムダウンもなく、十数本の動画制作その他に寄与してきた。これまで並列処理システムの製作の上で実際上大きな問題であった高信頼性が達成されている。

図7は、図8の画像を生成するのに要する時間(DMにおける前処理の時間、約20secは含めていない)と並列処理するNCの台数の関係を測定したものである。この結果では、1台のときと64台のときの速度比は1:63.07であり、高い並列性が実現されている。これより、NCの台数を増やすことにより確実に処理速度が上がるのがわかり、将来VLSI技術の発達によって大規模に並列処理が行われるならば、きわめて高速な画像生成が可能になる見通しが得られ

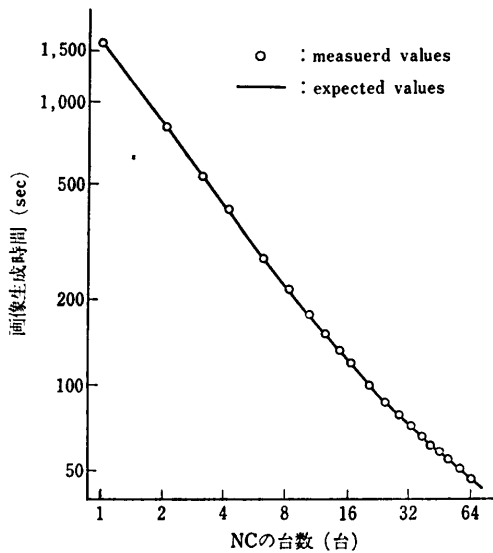


図7 並列処理の効率
Fig. 7 Efficiency of parallel processing.

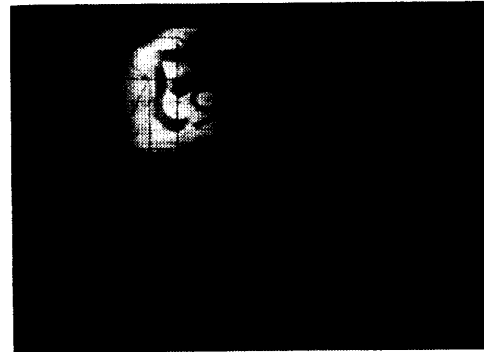


図8 画像生成例1
Fig. 8 An example of generated image (1).

た。

このように、システムの高信頼性と高性能が達成された。

5.2 演算ユニットの効果

表1は、浮動小数点演算(三次元のベクトルと行列演算)の速度をUC(Z8001)のみとAPU(iAPX 86/20)を用いて行った場合(データ転送によるオーバーヘッドを含む)を比較測定したものである。この結果では、単純な演算をAPUを用いて行うとデータ転送のオーバーヘッドにより、かえって速度が低下している。すなわち、APUを有効に使用するためには、多くの演算を必要とする計算をまとめて行わせなければならないことを示している。この結果に基づき、APUのソフトウェアモジュールを作成した。

5.3 クリッピングの効果

表2は、図9の画像を生成するのに要する時間と使用したクリッピング手法の効果を測定したものである(測定にはNCを16台使用し、動的負荷分散を用いた)。

この結果から、おのおのの手法によって確実に処理速度が数倍から数十倍に上がっており、全体では約100倍の効果があることを示している。とくに外接直方体によるクリッピングは効果が大きく、これだけで25倍の処理速度の向上を得ている。

表1 算術演算ユニットによる演算速度の改善
Table 1 Effectiveness of arithmetic processing unit.
(単位 msec)

CPU	演算			
	ベクトルとベクトルの和	ベクトルとベクトルの積	行列と行列の和	行列と行列の積
Z8001	0.43	0.79	1.4	8.4
iAPX 86/20	0.51	0.57	0.80	1.8

表 2 各クリッピングの効果
Table 2 Effectiveness of each clipping scheme.
(単位 sec)

クリッピング	type 1	type 2	type 3	type 4
X 方向	○	×	×	×
Y 方向	○	○	×	×
外接直方体	○	○	○	×
画面分割数				
2400	82	111	340	8499
480	86	200	340	8430



図 9 画像生成例 2
Fig. 9 An example of generated image (2).

表 3 非屈折透過処理の効果
Table 3 Effectiveness of refractionless transmission scheme.

透過処理	生成時間 (sec)
すべて非屈折	82
屈折あり	212

5.4 非屈折透過処理の効果

表 3 は、図 9 の画像生成の際に通常の屈折透過処理した場合とすべてを非屈折透過処理した場合の生成時間を測定したものである。屈折処理をすると非屈折の場合の 2.6 倍の時間を要しており、実際の画像制作において透過は必要だが屈折は特に必要としないことがしばしばあり、非屈折透過処理は実用上非常に有用な手法である。

5.5 負荷分散法の効果

図 10 は、図 8 の画像生成時間（分解能 512×480、影処理省略、NC 64 台）を単純動的負荷分散法を用いて、分割する小画面（等面積の長方形領域）の数との関係を測定したものである。NC 64 台で生成する場合、分割数が 64 (8×8) のときは実質的に動的負荷分散法を用いないときの処理時間と考えることができる。これと比較することにより、動的負荷分散法の効果によって確実に処理速度が向上していることがわか

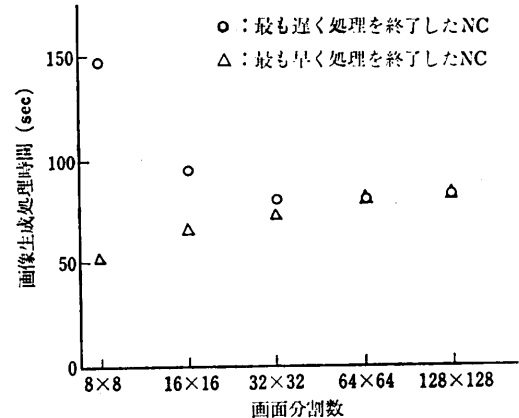


図 10 動的負荷分散法の効果
Fig. 10 Effectiveness of dynamic load distribution scheme.

る。そして、全画面を 1024 (32×32) に分割したときが最高（約 2 倍）になっている。すなわち、分割数が少ない場合は各 NC の処理時間のばらつきが大きく、逆に分割数が多すぎる場合は RC-NC 間の通信のオーバーヘッドが増大するため処理速度が遅くなることを示している。そこで実際には、小画面の面積を一定にせず、初めは比較的大きな面積の小画面を分配し、処理が進むにつれてより小さい小画面を分配する方法を採用している。これを動的減少負荷分散法と呼ぶ。

6. むすび

視線探索法はリアリティの高い画像を生成することができるが、各画素における処理が複雑で画素数も多いため、画像生成アルゴリズムとしては低速の部類に属する。しかし、本システムによって数々の手法を用い、実用的な速度で実現することができた。

さらに、対話的な処理、実時間の画像生成となると一層の処理速度の向上が必要となる。このために、現在進めている課題のおもなものは、(1) APU の効果的な使用法の検討に基づく専用演算ハードウェアの開発をはじめとする GIGS の VLSI 化、(2) さらに効果的な画像生成モデルの開発、などである。

謝辞 大阪大学 CG グループ諸氏の本システム完成に向けてのご尽力と、(株)フィルムリンクインターナショナルの山本又一郎氏のご支援、(株)東洋現像所、シャープ(株)、松下電器産業(株)、ならびに(株)トーヨーリンクスの関係各位のご助力に感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) 大野, 吉村, 西村, 西村, 河田, 大村: 汎用 BIOS マシン, 電気学会情報処理研究会資料 (1982. 4).
- 2) 西村, 出口, 大野, 河田, 白川, 大村, 尾崎: LINKS-1: コンピュータグラフィックスシステム, 情報処理学会マイクロコンピュータ研究会資料, 24-1 (1982. 11. 2).
- 3) 中山, 平井, 大野, 出口, 西村, 江木, 河田, 白川, 大村: 画像生成用マルチマイクロコンピュータシステム, 情報処理学会マイクロコンピュータ研究会資料, 24-2 (1982. 11. 2).
- 4) 河合, 吉村, 出口, 西村, 河田, 白川, 大村: 画像データ操作システム LINKS-DMS, 情報処理学会マイクロコンピュータ研究会資料, 24-4 (1982. 11. 2).
- 5) 吉村, 辰巳, 西村, 河田, 白川, 大村: LINKS-1 における画像生成手法, 情報処理学会マイクロコンピュータ研究会資料, 24-5 (1982. 11. 2).
- 6) Nishimura, H., Ohno, H., Kawata, T., Shirakawa, I. and Omura, K.: LINKS-1: A Parallel Pipelined Multimicrocomputer System for Image Creation, Proc. 10th Ann. Int. Symp. Comput. Archi., pp. 387-394 (1983).
- 7) Foley, J. D. and Van Dam, A.: *Fundamentals of Interactive Computer Graphics*, pp. 553-591, Addison-Wesley, Reading, Massachusetts (1982).
- 8) Bui-Tuong, Phong: Illumination for Computer Generated Pictures, *Comm. ACM*, Vol. 18, No. 6, pp. 311-317 (1975).
- 9) Whitted, T.: An Improved Illumination Model for Shaded Display, *Comm. ACM*, Vol. 23, No. 6, pp. 343-349 (1980).
- 10) 岡本: 3次元画像処理用マルチコンピュータシステムに関する研究, 大阪大学大学院工学研究科電子工学専攻特別研究報告 (1981. 3).
- 11) 西村, 吉村, 出口, 辰巳, 河合, 河田, 白川, 大村, 尾崎: マルチマイクロコンピュータシステムにおける画像生成のための画面分割方式, 信学技報, CAS 82-144 (1983. 2. 9).

(昭和 59 年 1 月 13 日受付)

(昭和 59 年 5 月 15 日採録)