高並列計算機AP1000+上での並列ラジオシティ法

上嶋 明　　山崎 勝弘　　渡部 透　　得丸 英勝
立命館大学理工学部

1　はじめに

光の相互反射を扱えるラジオシティ法では，非常にリアルな画像を生成できるが，フォームファクタ計算が全計算の 99%以上を占める．そこで，フォームファクタ計算に用いる半球のメッシュを分割し，並列化を行うことにより高速化を図る．データの分散方法では，座標データを含むポリゴンデータのコピーを全セルに持たせ，パッチデータとエレメントデータを各プロセッサにインターリーブ方式に分散させることで，通信を最小限にするとともに，ローカルメモリを有効に利用できるようにする．本稿では，分散メモリ型並列計算機 AP1000+（セル 64 台）上でラジオシティ法を並列化する方法と，その効果について述べる．

2　ラジオシティ法

2.1　計算手順

物体の表面を構成するポリゴンを，計算単位であるパッチに分割する．各パッチの光の入射と放射を計算し，全パッチのラジオシティ（光の放射エネルギー）を求める．そして，そのラジオシティを基にレンダリングを行い表示する [1]．

2.2　フォームファクタ

フォームファクタは，あるパッチから放射された光のエネルギーがエレメントへと到達する割合で，本研究では，半球法 [2] を用いて計算を行う．入射側の計算は，パッチをさらに細かいエレメントに分割して行う．

図 1 に示すように，パッチ i を中心にした半球を考え，この表面をメッシュ状に分割する．そして，パッチ i から全メッシュへのファームファクタΔFを計算し，ルックアップテーブルに入れておく．パッチからエレメントへのフォームファクタの計算の際は，すべてのエレメントを半球表面に投影し，各メッシュについて距離が最短のものを残す．ルックアップテーブルを用いて，エレメント jが投影されたメッシュのΔFの和を計算すると，F_{ij} が得られる．

本研究では，エレメントの描画は，ポリゴンを投影して隠面消去を行った後，各メッシュがポリゴン内の，どのエレメントに対応するかを決定する方法を用いる [1]．これは，ポリゴンを均一に分割してエレメントとしているため，ポリゴン内の一点の座標がわかれば，その点を含むエレメントを決定できるからである．

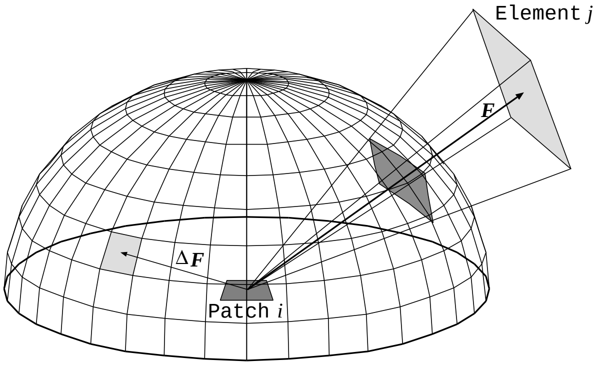

図 1　半球法

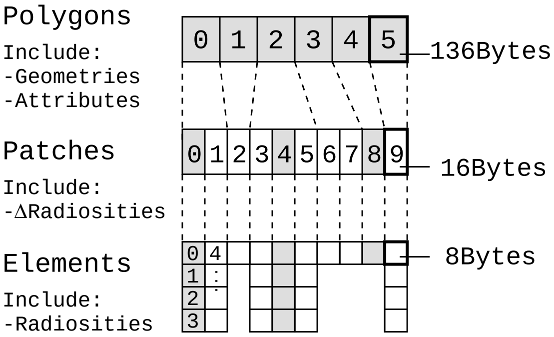

図 2　データの配置

3　ラジオシティ法の並列化

3.1　データ配置

ポリゴンデータのコピーを全セルに持たせ，パッチデータを各セルにインターリーブ方式に分散させている．エレメントデータは，それを含むパッチに従う．例えば，セル 4 台で並列処理する場合，あるセルは図 2 の網掛部分のデータを保持する．全セルが半球への描画に必要なポリゴンデータを保持するため，座標などのデータをセル間で転送する必要はない．また，描画の際に不必要なパッチデータとエレメントデータを各セルに分散させることで，メモリの節約を行う．

3.2　半球法の並列化

半球表面のメッシュを，2 次元のインターリーブ方式で各セルに静的に処理を割り当てる．具体的には，セルが $(xid, yid) = (0, 0)$ から $(3, 3)$ までの 16 台の場

Parallel Radiosity Algorithm on the AP1000+
Akira Uejima, Katsuhiro Yamazaki, Tohru Watanabe, and Hidekatsu Tokumaru
Faculty of Science and Engineering, Ritsumeikan University

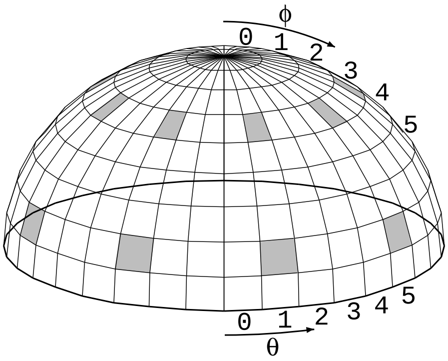

図 3　セルへの半球の割当て

図 4　シーン 1
(677 ポリゴン, 1051 パッチ, 2738 エレメント)

合，半球上の座標 $(\phi, \theta) = (p, t)$ のメッシュは，セル $(t \bmod 4, p \bmod 4)$ に割り当てられる．例えば，セル $(3, 1)$ は図 3 の網掛部分の描画を担当する．半球へのポリゴンの描画の際には，全セルが担当する部分の描画を並列に行い，部分フォームファクタを計算する．その後，部分フォームファクタを 1 ヶ所に回収して合計を計算すれば完全なフォームファクタが得られ，それを全セルにブロードキャストする．メモリ量の点からは，半球に必要な分を各セルに分散させることができ，セル 16 台の場合，1 台の場合の 1/16 で良い．

なお，本研究では，漸進法での放射パッチを決定する処理において，各セルが自分の保持するパッチの中で最大のラジオシティを持つパッチを検索後，通信を行い，全体で最大のものを決定する．また，エレメントへのラジオシティの放射の処理では，各セルが並列に放射パッチからエレメントへの放射を行う．

4　実験と考察

1 台のセルを用いた逐次処理の場合と，2，4，8，16，32，64 台のセルを用いた並列処理の場合，それぞれの処理時間を測定する．処理時間とは，ファイルからのシーンデータの読み込みが終了した時点から，ラジオシティの計算を行い，計算結果を回収し終わるまでの時間とし，レンダリングの処理は含んでいない．処理する内容は，シーン 1(677 ポリゴン, 1051 パッチ, 2738 エレメント) とシーン 2 (同 140, 450, 1883) の二つとする．シーン 1 のレンダリング結果を図 4 に示す．

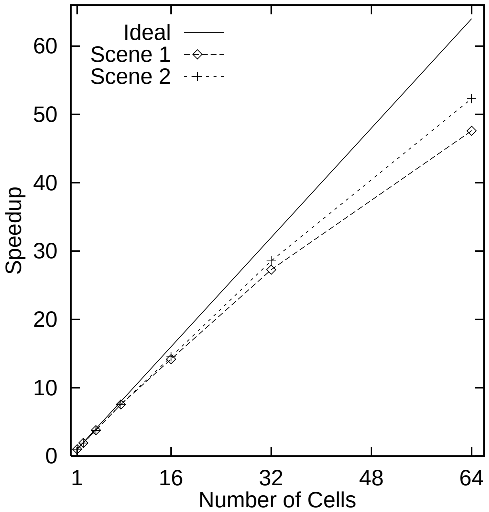

図 5　セル 1 台に対する速度向上

図 5 に示すように，両方のシーンとも，セル台数につれてほぼリニアに速度が向上し，セル 64 台の場合，1 台に対して約 48 倍~52 倍になっている．シーン 1 とシーン 2 を比べると，シーン 1 の方がわずかながら速度向上が低くなっている．シーン 1 の方がポリゴン数が多い分，計算量が多いが，フォームファクタの並列計算の際に，エレメント数に比例した通信量が必要であるため，通信オーバーヘッドも大きい．シーン 1 の速度向上の方が低いのは，ポリゴン数の増加に伴う計算量の増加よりも通信オーバーヘッドの増加の方がより大きいためであると考えられる．なお，セル 64 台での処理時間は，それぞれ 43.2 秒と 28.3 秒であった．

5　おわりに

半球のメッシュをインターリーブ方式で各セルに割り当て，フォームファクタ計算の並列化を行った．その結果，セル 64 台の場合，1 台に対して約 48 倍~52 倍の速度が得られた．今後の課題として，より複雑なシーンの処理があげられる．

参考文献

[1] 上嶋 明, 他: “マルチトランスピュータシステム上でのラジオシティ法の並列化”, 情報処理学会論文誌, Vol. 37, No. 7(1996).

[2] Spencer S.N.: “The Hemisphere Radiosity Method: A Tale of Two Algorithms”, Eurographics Workshop on Photosimulation, Realism and Physics in Computer Graphics, pp. 127–135(1990).