

効率のよいストリップを 実現する方法

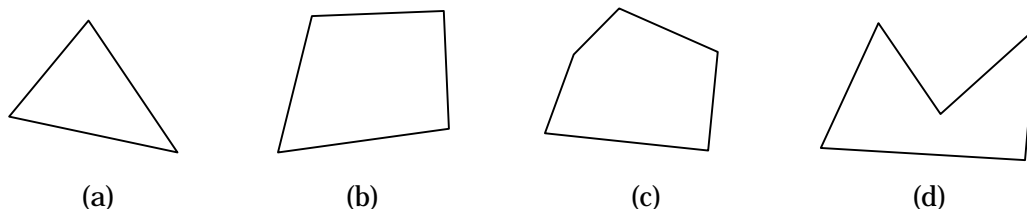
- 注意：
- 本ドキュメントは作成途中です。
 - 現在のストリップ仕様およびフォーマットは暫定的なものです。

目次

1. ストリップとは？	3
2. ストリップ頂点のつなぎ方.....	4
3. マテリアルとテクスチャ	5
4. ストリップの表現方法の比較	5
5. インデックス タイトル要確認 	6
5.1 インデックスタイプ構造	6
5.2 頂点直接表現構造	7
6. ストリップによるデータ削減率	8

1. ストリップとは？

ストリップとは連続ポリゴンを意味します。従来ポリゴンとは3点以上の点で構成される面を意味します。



(d)の凹多角形ポリゴンはハードウェアの都合上使いません。

図1 ポリゴンの例

ストリップは隣接する複数のポリゴンをつなぎあわせ 1 つのデータとして扱う(三角形ポリゴンでこれをする場合トライアングルストリップと呼ぶ)ことでデータ/計算量の削減をし性能向上を実現します。また描画ハードウェアへのデータ転送量削減によるバス転送ネックの改善によりハードウェアのピーク性能を高める効果があります(ただしこれはハードウェアがストリップデータを処理する機能があることが前提です、今回のハードウェアはトライアングルストリップをサポートしています)。

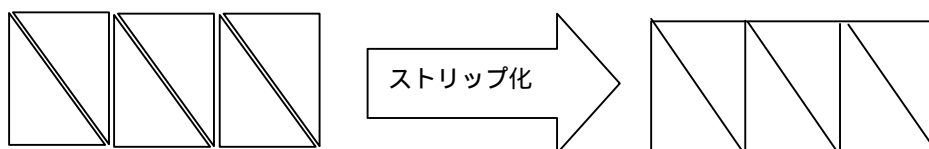


図2 トライアングルストリップの例

次になぜ独立三角形ポリゴンよりもデータ量が減るかを説明します。

四角形ポリゴンは2つの三角形ポリゴンからなると考えられます。また2つの三角形ポリゴンをつなげたストリップと考えることができます。三角形ポリゴン1つを表現するのに必要な頂点数は3つですので2つの三角形ポリゴンには6頂点が必要になります。一方四角形ポリゴンは4頂点で済みますので同じ四角形を表現するのに2頂点少なくすむことがわかります。

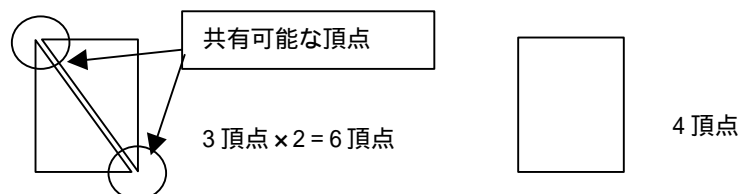


図3 四角形表現の頂点数の比較

これは2つの三角形ポリゴンの接続面にある2つの頂点が共有可能なために起きる現象です。ゲームで利用するポリゴンモデルも三角形ポリゴンを三次元的に敷き詰めてモデルを構成しており多くの共有可能な頂点を含みます。これを共有化しデータの表現効率を高めようというのがストリップです。ストリップ化によるデータ量の削減量は次のようになります。

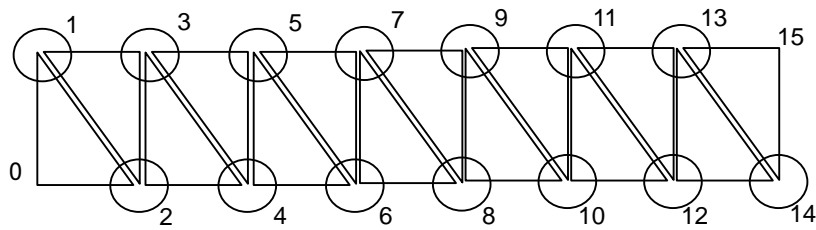


図4 ストリップの共有頂点

頂点番号 0、15 以外は共有可能であることがわかります。また頂点番号 2～13 までは隣接する 3 つの三角形ポリゴンで共有されていることがわかります。つまりストリップでは最初と最後の頂点以外は 1 頂点の色計算結果を 2～3 回使いまわせることがわかります。その結果として計算量が減らせます。また 2 つ目の三角形以降は前の三角形の後の 2 つの頂点にもう 1 つ頂点を指定するだけで表現できることがわかります。N 個の三角形ポリゴンをつないだストリップに必要な頂点数は次の式で表現されます。

$$\text{ストリップ頂点数} = 3(\text{最初の三角形頂点数}) + (N-1)$$

図 4 の例では 14 個の三角形ポリゴンをつないでますので

$$3 + (14 - 1) = 16(0 \text{ から } 15 \text{ 頂点まで } 16 \text{ 個})$$

となります。ここでわかることは

最初の三角形以外はストリップでは三角形当たり 1 頂点で表現できている点です。つまりストリップが十分長ければほぼ三角形ポリゴン当たりのデータ量は 1 頂点と考えることができます。モデルを構成するすべての三角形ポリゴンが 1 列につながり十分長ければ独立三角形ポリゴン 3 頂点に対しほぼ 1 頂点になりますのでデータ量の削減率は $1/3(33.333\ldots\%)$ になります。これがトライアングルストリップのデータ量削減の理論限界値になります。

2. ストリップ頂点のつなぎ方

ポリゴンを表現する方法はポリゴンを構成する頂点を列記する方法で表現されます。表現の方法は右回り、左回りの 2 つが考えられます。

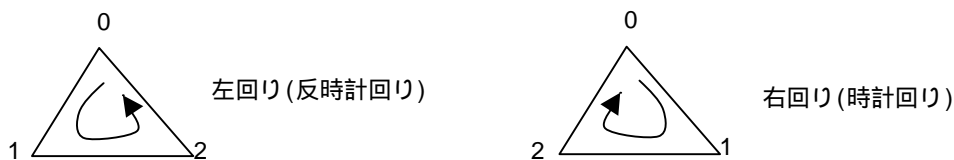


図5 ポリゴンの頂点による表現

左回り、右回りは文化であり約束事として決めればどちらでも問題ありません。ここでは通常の独立ポリゴンは左回りに表現されるものとしします。またこの回転の方向は三次元空間にポリゴンを配置した場合にこれの表面がどちらかを定めるために重要な役割を果たしています。つまりポリゴンの頂点をたどり左回りする面を表としそうでない側を裏としています。通常ポリゴンを裏から見ても見えません。視点から見てポリゴンが裏を向いている判定がされた場合カリング(描画リストからの削除)の対象となります。

ストリップでは 1 つ前のポリゴンの頂点を 2 つ使う必要から左回り、右回りが交互に発生します。ストリップでは交互に左回り、右回り側を表とみなして処理することになります。

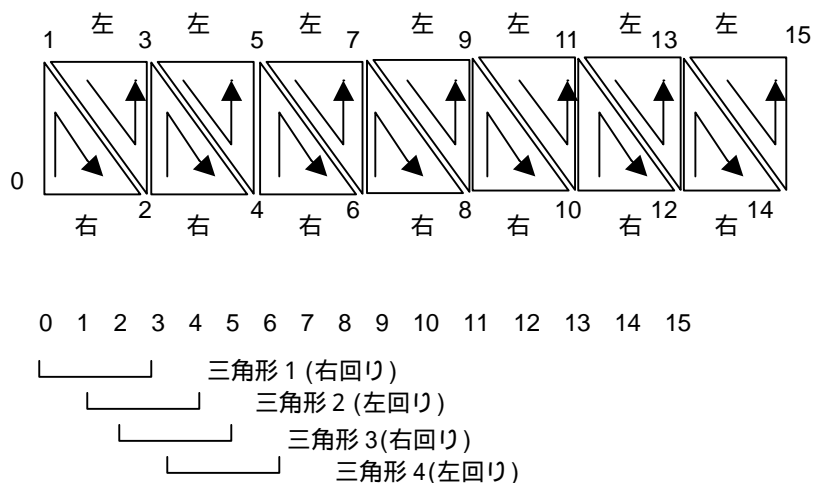


図 6 ストリップ頂点の右回り、左回り

Ninja ではストリップを少しでも長くするために開始ポリゴンの回り方向を左回り、右回り両方になっています。右回りの場合はストリップの長さを与えるパラメータの最上部にフラグを立てて表現しています。

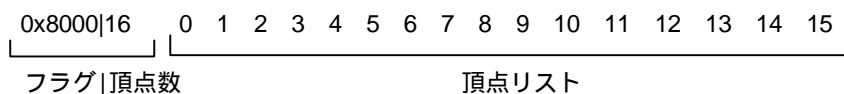


図 7 Ninja のストリップ構造の例

3. マテリアルとテクスチャ

図 4 での説明の通り、ストリップの頂点は隣接する三角形列により 3 回使われます。そのためには三角形で使われる頂点のすべての情報が同一である必要があります。頂点はグローバル計算で使われる法線、マテリアル、テクスチャ、UV 値の情報をもちますが隣接する三角形でこれらの情報が一致している共有可能頂点を含む三角形どおしのみストリップデータとして連結できます。

4. ストリップの表現方法の比較

ストリップリスト(ポリゴンリストも同様)には次の 2 つの形式が考えられます。

- 頂点リストの対するインデックスタイプ
- 頂点の直接表現構造

5. インデックス タイトル要確認

5.1 インデックスタイプ構造

インデックスタイプは頂点リストとそのエントリ番号から構成されるストリップリストからなります。

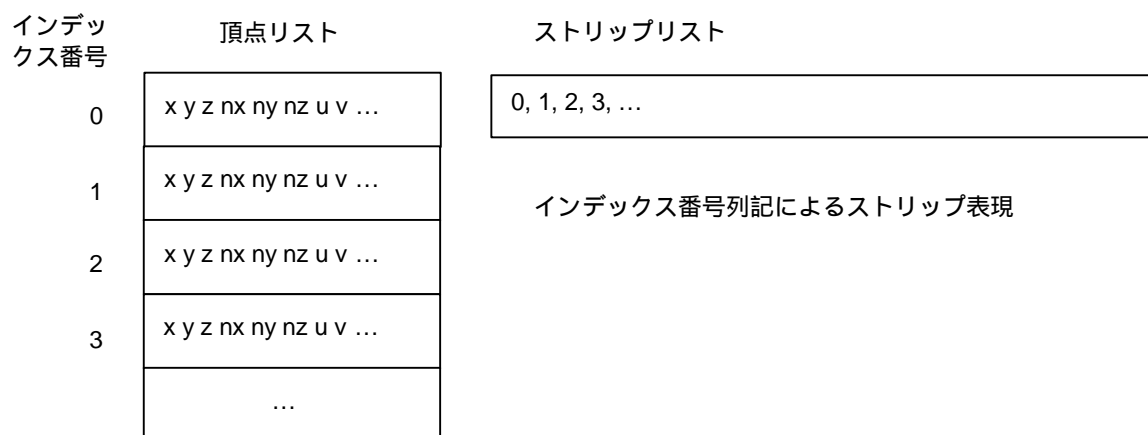


図8 インデックス形式ストリップ

メリット

- モデルに使われている頂点は重複なくリスト化されているので一度計算した結果をインデックスで引くことで重複計算なくストリップが表現できる。
- 複数使われるデータはインデックスで表現されるため頂点を直接指定する場合よりもデータ量を押さえることができます。

デメリット

- インデックスと頂点リストが別アドレスとなるので CPU キャッシュエラーを発生しやすい (ただしキャッシュエラーを極力押さえるように作ればこの問題は解決できます)。

Ninja ではインデックス形式のストリップを採用しています。

5.2 頂点直接表現構造

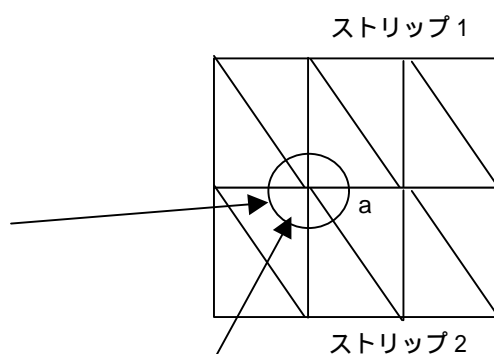
直接頂点データを列記してストリップリストを構成します。

ストリップ1リスト

x y z nx ny nz u v...
x y z nx ny nz u v...
x y z nx ny nz u v...
x y z nx ny nz u v...
...

ストリップ2リスト

x y z nx ny nz u v...
x y z nx ny nz u v...
x y z nx ny nz u v...
x y z nx ny nz u v...
...



共有可能頂点 a はストリップ 1、2 で使われています。頂点直接表現構造ではストリップリストのそれぞれに頂点情報を直接書き込むので頂点情報データ量は 2 倍(頂点 a に関して)のサイズになります。

図9 頂点直接表現ストリップ

直接頂点データを列記してストリップリストを構成します。頂点は複数のストリップに使われる場合それぞれのリストに利用回数だけ繰り返し登録されます。これはインデックスで同じ頂点を指定する場合よりもデータ量が大きくなります。1つの頂点の利用頻度は独立ポリゴンの場合 1～10 回程度(平均 4 回(推定))、ストリップで良くつながったデータモデルで 1～3 回程度(平均 2～2.5 回(推定))は使われると考えられますのでインデックスタイプのストリップの場合よりも(単純に直接表現にすると)データ量は大きくなります。このデータ量の大きさをカバーするためには頂点、法線データの表現ビット数を減らすなどの方法である程度データ量の増加を抑えるアプローチが必要となります。またインデックスの場合と異なり頂点は使われる度に再度 3D 計算をしなければなりません。4 回使われる頂点はインデックスタイプの場合に比べ 4 倍の計算が発生します。

メリット

- データアドレスが連続するのでキャッシュエラーを回避できる。
- 計算した後の頂点リストを格納するバッファがいらない。
- 処理単位がポリゴン単位にできるので小さなプログラムを高速に実行できる。

デメリット

- データ量が大きくなる(単純に考えれば数倍)。ただしストリップ性能の向上、精度を下げる手法等によりある程度抑えられます。
- 頂点アニメーションが表現しづらい。
- 同じ頂点に対して 3D 計算を利用回数分だけする必要がある。

6. ストリップによるデータ削減率

実際ストリップ化によりどれくらいデータ量削減が期待できるかまとめます。それに対する注意点として以下の項目があります。

- ストリップ(ここではトライアングルストリップを意味する)は本来共有可能な頂点から構成される独立三角形ポリゴン群