三次元ポリゴンモデルに対する電子透かし埋め込み手法の評価

指導教官 市川 周一　　学籍番号 971707 痴山 紘史

1 はじめに

立体モデルは仮想現実やビデオゲーム等に広く用いられている．立体モデルの商業的価値が高まった現在，電子透かし技術によるモデルの知的所有権保護は重要なテーマである．

既存の手法 [1] では，幾何情報 (頂点座標値や体積比) を変更して透かしを埋め込んでいた．それに対し，赤羽 [2] は面の位相情報に透かしを埋め込む手法を考案した．赤羽は三角形分割された立体モデルだけを扱ったが，本研究では一般的なポリゴンモデルを扱う埋め込み手法を提案し，埋め込み情報量についても定量的に評価する．

2 透かし埋め込み手法

立体モデルのデータは幾何情報と位相情報からなっている．ポリゴンの位相記述には冗長性があるため，幾何情報を保持したまま，位相情報を利用して透かしデータを埋め込むことが可能である．

例えば三角形 ABC は，面の方向を保ったまま，(A, B, C), (B, C, A), (C, A, B) の 3 通りに表現できる．各頂点には頂点番号がついているため，番号最小の頂点の記述位置に着目すれば，位相情報を数に対応させることが可能である．一般に n 角形 1 つ分の位相情報で，$\lfloor \log_2 n \rfloor$ ビットの情報を表現できる．

赤羽 [2] は，辺を共有する 2 つの三角形の位相情報を組み合わせて透かし情報を表現した．この手法をポリゴン一般に拡張すると，m 角形と n 角形が隣り合っている場合に $\lfloor \log_2 mn \rfloor$ ビットを表現することが可能である．赤羽の研究 [2] では三角形分割したモデルを扱うため，埋め込み対象をどうやって選んでも，ペアに埋め込み可能な情報量は変らない (常に $m = n = 3$ である)．しかし本研究ではポリゴンの選択順序で，ポリゴンペアへの埋め込み情報量が変化する．

ポリゴンペアの選び方は以下の通りである．(1) まずファイル内で先頭に記述されたポリゴンを取り出し，(2) それに隣接するポリゴンのうち記述順序が最も早いものを取り出して，選んだポリゴン対に情報を埋め込む．埋め込みが終ったら，現在選択されているポリゴンに隣接するポリゴンのうち，記述順序が最も早い未使用のポリゴンを選択して，上記の作業を繰り返す．隣接するポリゴンが全て使用済であったら，未使用のポリゴンのうち最も記述順序の早いものを選択して作業を続行する．

ポリゴン対への情報の埋め込みは以下のようにする．(1) で選んだ m 角形と (2) で選んだ n 角形に透かし情報 d を埋め込む場合，m 角形には $\lfloor d/n \rfloor$, n 角形には $d \bmod n$ を埋め込む．

埋め込まれた透かし情報を取り出す時は，埋め込む時と同じ方法でポリゴンを選び出す．見つかったポリゴン M と N に埋め込まれている値をそれぞれ $f(M), f(N)$，それぞれの頂点数を m, n とすれば，埋め込まれたデータ d は，$d = n \cdot f(M) + f(N)$ で復元することができる．

3 評価方法

提案した透かし埋め込み手法を，埋め込み情報量と，埋め込み効率の 2 つの観点から評価する．

評価には WWW で入手可能な 5 つのポリゴンモデル (Briefcase[5], x_wing[4], panzer[3], satelite[3], purple-water[3] を用いた．このうち Briefcase, x_wing は三角形だけを含むが，panzer, satelite, purple-water は四角形を含むため赤羽の手法で扱うことはできない．そこでこれらを三角形分割したモデル (panzer-div, satellite-div, purple-water-div) も用意して，評価に用いた．以上のポリゴンモデルに対して，本研究の手法と赤羽の手法で電子透かしを埋め込んで評価を行う．

埋め込み可能な情報量はデータ (立体モデル) に依存して決まるが，埋め込むポリゴンの選択アルゴリズムにも依存する．本研究では，埋め込み可能情報量を上界値と比較して，提案したポリゴン選択手法の質を評価する．

埋め込み可能情報量は，各モデルデータに対する重みつきマッチング問題を解けば求まる．しかし大きなモデルでは膨大な計算を要するため，本研究では簡単な上界値を計算して評価基準とする．モデルの含む面 (多角形) 全体の集合を P，P の要素を p，多角形 p の頂点数を $n(p)$ で表した時，埋め込み可能情報量の上界 u は $u = \sum_{p \in P} \log_2 n(p)$ で表される．

同じ立体を表現する方法は一つではない．例えば 1 つの多角形を複数の三角形に分解すると，表現される立体は変らないが，面の数が増えてモデルのデータ量が増加し，埋め込み可能な情報量も増大する．赤羽の手法ではモデルを三角形分割してから透かしを埋め込むが，本手法では n 角形 $(n > 3)$ もそのまま扱う．そこで〝モデルのデータ量〟と〝埋め込み可能な情報量〟の比 (透かし情報密度) を評価して，赤羽の手法と本手法の優劣について検討する．

4 評価結果

図 1 は，本手法で各モデルに埋め込める情報量を示したものである．赤羽の研究 [2] ではデータ 8 ビット毎に 1 ビットのマーカを設けていたが，ここではマーカを含めた埋め込み情報量を示す．本手法と赤羽の手法では埋め込み対象の選び方が異るため，同じデータでも多少埋め込み情報量が異っている．しかしいずれも上界値に対して 80%以上の情報量を埋め込み可能である．

図 2 は，ファイルサイズ (bit) に対する透かし量 (bit) の比である．図 1 と図 2 からわかるように，立体モデルを三角形分割すると，透かし情報量も透かし情報密度も増大するが，今回扱ったデータでは差は 1.7%以下である．

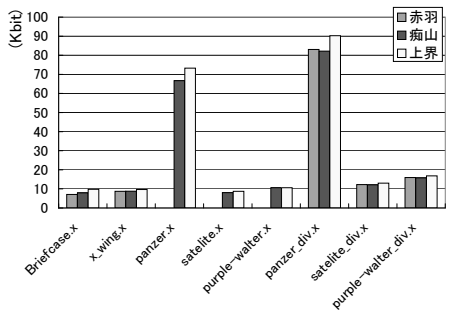

図 1: 各手法の透かし情報量と上界

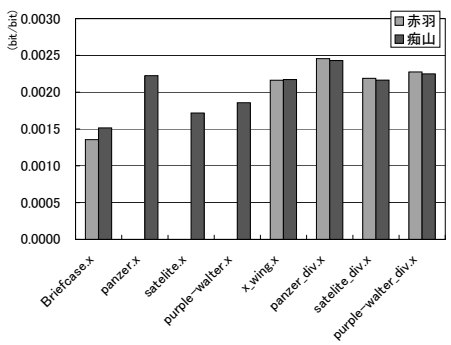

図 2: 透かし情報密度

5 おわりに

赤羽の手法と提案手法を比較した結果，透かし情報量，透かし密度ともに大きな差がないことがわかった．提案手法は赤羽の方法と同様に立体モデルの質を全く損なうこと無く透かしを埋め込むことが可能で，しかも一般的立体モデルに適用可能であるため赤羽の手法より適用範囲が広い．

ただし，現在の手法そのままではポリゴンの追加・削除などの接続関係の変更によって透かしが失われる．ポリゴン選択方法を変更するなどして，透かし情報の変更に対する耐性を持った手法を検討してゆく必要がある．

参考文献

[1] 大渕竜太郎, “インターネット流通を目指した圧縮と透かしの技術,” 情報処理, vol. 41, no. 10, pp. 1113–1118 (2000).

[2] 赤羽 和彦, “三次元形状の位相情報を用いた電子透かしに関する研究,” 豊橋技術科学大学知識情報工学課程修士論文, 1998.

[3] Web 3D CONSORTIUM, “Web 3D CONSORTIUM,” http://www.atnet.it/lista/vrml.htm.

[4] Lista Studio srl, “Convertitore VRML per Working Model 3D,” http://www.atnet.it/lista/vrml.htm.

[5] Geo-metrics Free 3D Models, http://www.geo-metricks.com/.