

## 非線形写像に基づく 3 次元モデルのためのステガノグラフィ

笠原 翔<sup>†</sup> 高橋 成雄<sup>‡</sup>東京大学新領域創成科学研究科<sup>†‡</sup>

## 1. はじめに

近年, 3 次元モデルに秘密裏に情報を埋め込む, ステガノグラフィ手法の研究が盛んに行われている. ステガノグラフィでは, 埋め込む情報量を重視した埋め込み手法が提案されてきた. しかし, 従来の手法では 3 次元モデルを表現する直行座標系を介して頂点移動により情報を埋め込むため, 形状とは無関係な歪みが生じる問題があった. そこで本発表では, 3 次元モデルを適切な 3 次元座標表現に変換することで, 情報埋め込みに伴う視覚的歪みを軽減するステガノグラフィ手法を提案する. 本手法では, 座標表現への変換に非線形写像を用いる. 概要としては, 3 次元モデルの形状に沿って各頂点間の測地距離を計算し, その距離の分散の主軸を求めることで非線形写像を実現する. これにより, 埋め込みに伴う頂点移動を 3 次元モデルの法線方向ではなく接平面方向にある程度限定することで, 結果として形状に生じる視覚的な歪みの軽減を図る. 本論文では, 提案手法の詳細を説明していく.

## 2. 関連研究

Wang ら[1]は, 三角形メッシュの頂点に対して底辺に対し平行移動, 垂直方向に拡張, 回転を行うことで, 2 進値(0 or 1)情報を 1 頂点に対し 3 ビットの埋め込みを行った. これに加え, Cheng ら[2]は頂点座標値情報, 面情報, の表示順を変更すること, また面情報の接続順を変更することにより, 1 頂点あたり 9 ビットの埋め込みを可能にした. また, Chao ら[3]は 3 次元モデルに主成分分析をかけることにより頂点移動の基準となる座標軸を決定する. 次に, 得られた各軸を等間隔に分割し, その領域内で各頂点において埋め込みたい 2 進値に応じて, 各頂点を得られた座標軸方向に関して移動していく. この操作を一層(single-layered)埋め込みとよび, 繰り返していくことで多層(multi-layered)埋め込みを実現し, 多量の情報埋め込みを可能とした.

## 3. アルゴリズム

提案手法では, まず 3 次元モデルの各頂点間の測地間距離を算出する. 次に, これらを要素とする正方距離行列を用いた多次元尺度構成法により, 3 次元モデルの非線形写像を行う. この写像後のモデルに対して埋め込みを行った後, 逆写像を行い元のモデル形状に変換を行う.

## 3.1 測地間距離の算出

測地間距離とは各頂点の近傍グラフ上での最短経路を表す. 測地間距離は, 3 次元モデルの接続情報である面情報を用い, 三角形メッシュで各頂点間をつなぐことで近傍グラフを作成し, 各頂点間の最短経路を求める事により得られる. この結果, 頂点数  $n$ , 頂点  $v_i, v_j$  の測地間距離  $d_{ij}$  を用いて以下の式(1)に示される  $n$  行  $n$  列の正方距離行列  $D$  を得る.

$$D = \{d_{ij}\} \quad (1)$$

## 3.2 非線形写像

ここで, 正方距離行列  $D$  の各要素を 2 乗した行列  $T$  と以下の式で表現される中心化行列  $G_n$ ,

$$G_n = I_n - \frac{1}{n} I_n I_n' \quad (2)$$

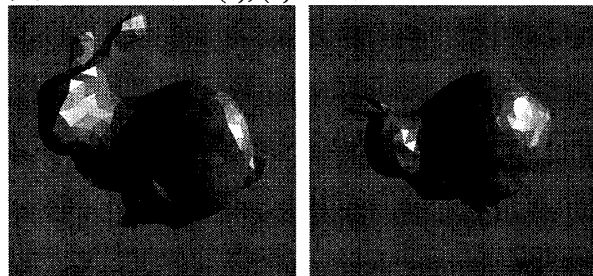
を用いて, すべての頂点の重心を原点とする以下の内積行列  $B$  を得る. ここで,  $I$  は  $n$  行  $n$  列の単位行列とする.

$$B = -\frac{1}{2} G_n T G_n' \quad (3)$$

得られた行列  $B$  の固有値  $\lambda$ , 固有ベクトル  $Q$  を用いると写像後の頂点座標  $v'_{ij}$  は,

$$v'_{ij} = \sqrt{\lambda_j} Q_{ij} \quad (4)$$

で表される. 元の 3 次元モデルと, 写像後の 3 次元モデルを図 1(a), (b)に示す.



(a)元モデル (b)非線形写像モデル  
図 1: Bunny(頂点数 641)の非線形写像結果

「3D Steganography Based on Nonlinear Transformation」

<sup>†</sup>Sho Kasahara <sup>‡</sup>Shigeo Takahashi,

<sup>†‡</sup>Graduate School Frontier Sciences, The University of Tokyo

### 3.3 情報埋め込み

非線形写像後の座標値を用いて各軸に対して、頂点移動をすることで情報埋め込みを行っていく。まず、x 軸に対して最小値  $V_{\min}$  と最大値  $V_{\max}$  を結ぶ線分を考える。線分  $V_{\min}V_{\max}$  を間隔  $I$  で均等に領域分割し、奇数番目、偶数番目の領域にそれぞれ 0, 1 を割り当てる。さらに分割された領域を図 2 のように変化領域、不変化領域に再分割する。

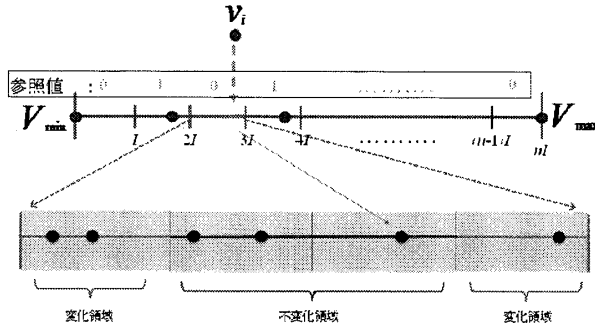


図 2: 情報埋め込みのための領域細分化

各領域の参照値と埋め込む 2 進値に応じて式 (5), (6) のように頂点移動を行う。

$$d'_i = \begin{cases} d_i + (I/4 - r_i/2), & \text{if } \text{embed data} = q_i, \\ d_i - \text{sgn}(I/2 - r_i)\delta, & \text{if } \text{embed data} \neq q_i, \end{cases} \quad (5)$$

$$\text{sgn} = \begin{cases} -1, & \text{if } x \leq 0, \\ 1, & \text{if } x > 0, \end{cases} \quad (6)$$

$$\delta = \min(r_i, I - r_i)/2.$$

ここで、 $d_i$  は  $V_{\min}$  からの距離、 $d'_i$  は移動後の頂点の位置、 $r_i$  は領域内での端からの距離、 $q_i$  は各領域の参照値(0 or 1)を表す。y 軸、z 軸にも同様の操作を行っていく。

### 3.4 逆写像

非線形写像した 3 次元モデルを重心座標を用いて逆写像を行う。まず、非線形写像後の各三角形メッシュが作る面に対して、情報埋め込み後の頂点を投影した点を図 3 のように重心座標  $(\alpha, \beta, \gamma)$  により表す。これにより、投影した点 P は、

$$P = \alpha A + \beta B + \gamma C \quad (7)$$

で表される。ここで、A, B, C は三角形メッシュの頂点を表す。

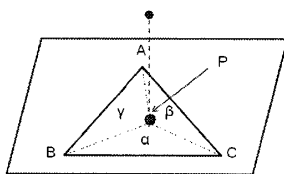


図 3: 三角形メッシュにおける重心座標

### 3.5 情報抽出

情報抽出は以下の式(8), (9)により行う。

$$\text{extract data} = \begin{cases} q_i \% 2, & \text{if } d_i \in \text{unchange region}, \\ 1 - q_i \% 2, & \text{if } d_i \in \text{change region}, \end{cases} \quad (8)$$

$$r_i = \min(r_i, I - r_i). \quad (9)$$

## 4. 結果

Bunny(頂点数 641)に提案手法を適用した結果を以下の図 4 に示す。

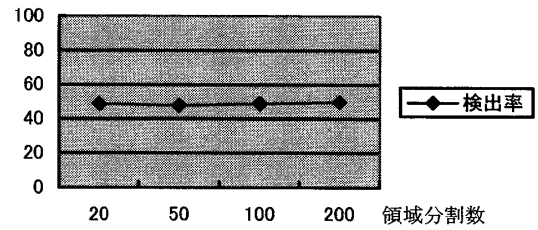


図 4: 分割数に対する検出率

この図より、埋め込み情報の抽出がうまくなされていないという結果となった。これは、現状の非線形写像が 3 次元モデルの厚みをつぶす写像となるため逆写像後の頂点移動が適切でないためと考えられる。今後、非線形写像の構築手法の改良と共に、図 2 に示す頂点への情報埋め込みの領域分割数の制御も検討していく予定である。

## 5. まとめと今後の予定

3 次元モデルを対象とし、非線形写像を用いて情報埋め込みにもなう頂点移動の方向を限定することで、形状に生じる視覚的歪みを考慮したステガノグラフィ手法を提案した。今後は、逆写像に重心座標の代わりに各頂点の測地距離を保つ別の手法を模索していく。

### 参考文献

- [1] M. W. Chao, C. W. Yu, and T. Y. Lee, "A High Capacity 3D Steganography Algorithm," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol.15, No.2, pp.274-284, MARCH/APRIL 2009
- [2] C.-M.Wang, Y.-M.Cheng, "An Efficient Information Hiding Algorithm for Polygon Models," *Proc. Eurographics '05*, vol. 24, no. 3, pp. 591-600, 2005.
- [3] Y.-M.Cheng, C.-M.Wang, "A High-Capacity Steganographic Approach for 3D Polygonal Meshes," *The Visual Computer*, vol. 22, no. 9, pp. 845-855, 2006.