

論文

3Dモデルにおける電子透かし方法の開発

大平 倫宏*¹⁾ 大原 衛*²⁾ 山口 隆志*¹⁾

A Study of Digital Watermarking for 3D models

Norihiro Ohira*¹⁾, Mamoru Ohara*²⁾, Takashi Yamaguchi*¹⁾

A numerically stable digital watermarking for 3D model authentication is reported here. In 3D watermarking for preventing forgery, some watermarking methods that slightly perturb the positions of a subset of vertices are proposed. However, these schemes have some numerical and security problems. For example, one using floating-point arithmetic was pointed out to be unable to authenticate some cases correctly for numerical reasons. The other that uses integer arithmetic can be easily altered and the amount of embedded watermark data is small. We focused our attention on developing a new watermark method for resolving such problems. In the developed method, we could embed sufficiently more watermarking data than previous methods which is also numerically stable and secure against falsification.

キーワード: 3Dモデル, 電子透かし, 改ざん防止

Keywords: 3D model, digital watermarking, protecting falsification

1. まえがき

現在, 様々な場面で電子データの受け渡しが盛んに行われている。その中でも, 認証機関等が電子データを発行・配布するケースにおいては, 配布した電子データが利用者によって改ざんされる問題があり得る。このような問題を解決するために, 従来から, 電子データに対する電子透かしの挿入・抽出技術が研究されてきたが, 未だ本格的には普及していない。特に, 3次元ポリゴンデータに対する電子透かしについては, 安全性の面などから実質的に使用可能な方法が存在していないのが現状である。このような現状を踏まえ, 3Dポリゴンデータに対して改ざんを防止する安全な電子透かし方法を開発したので報告する。

2. 開発方法

2.1 背景 ここで扱う3次元ポリゴンデータとは, 図1に示すように, 3角形を基本のポリゴンとして表された3次元のモデルデータとする。基本的には, ポリゴンデータは多角形によって構成されており, また, 多角形は3角形の集合で表すことが可能であるため, 3角形のみによって構成されたデータを対象とすることで十分である。また, 通常ポリゴンデータには, 色や多角形の方向ベクトル等の情報が付随している場合も存在するが, 今回はそのようなデータが存在しない場合でも可能な方法を対象としている。3次元ポリゴンデータに対する改ざん防止用の電子透かし

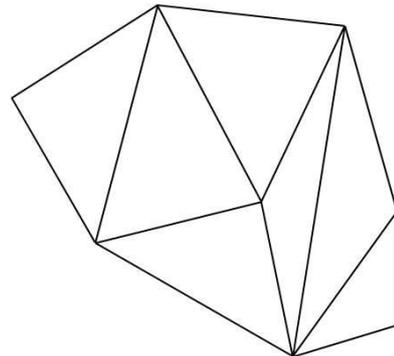


図1. 3角形により構成される3次元モデルデータの模式図

として, いくつかの報告がなされている。Boon-Lock Yeo と Minerva M. Yeung は, 3角形の頂点データに, その隣接頂点の情報から得られる値を利用して情報を埋め込むという基本的な方法を提唱した⁽¹⁾。しかし, この方法はアルゴリズムの収束性等の問題を抱えており, 使用不可能な場合が多いとされている。Chang-Min Cho と Din-Chang Tseng は, Boon-Lock Yeo と Minerva M. Yeung の方法の欠点を踏まえ, アルゴリズムの収束性などを考慮した方法を提示した⁽²⁾が, 浮動小数点数を用いた計算であるため, 演算誤差の影響から認証不可能な場合が存在するという問題点が指摘されている。Wei-Bo らは, 整数演算を用いることで認証可能性については問題を解決した⁽³⁾が, 逆に, 電子透かしとしての安全性を損ない埋め込めるデータ量が少ない方法となっており, 検知されることなく改ざん可能な部分が存在するという問題が新たに生じた。これらを考慮して, 本研究では, 従来の方法の問題点を解消し, 安全かつ埋め込み可能

*1) 情報技術グループ

*2) 経営企画室

な情報量の多い方法を開発した。

2.2 開発方法 今回構築した埋め込みアルゴリズムの手順は、以下ようになる。ここでは、3Dデータの3角形を構成する頂点の座標を(x, y, z)としている。情報の埋め込み箇所は、各座標データを浮動小数点数として、その仮数部の下位ビットを入れ替える形で埋め込んでいる。このため、実際の埋め込み・抽出に必要とされる演算は全て整数演算となるため、浮動小数点数の演算に付随する演算誤差を回避することが可能となった。

(1) 電子透かし埋め込み方法 以下の手順で電子透かしの埋め込みを行う。図2はフローチャートの形式でまとめたものである。

(E1)3Dデータの各頂点データに対して、その隣接頂点全てを対応づけたデータ構造を作成する。

(E2)それぞれの頂点を以下の4つの頂点に分類する。

挿入頂点：調節頂点と一対一に対応する透かしを挿入する頂点。

調節頂点：挿入頂点と一対一に対応し、隣接頂点との関係から定まる重心の変化を防ぐ頂点。

孤立頂点：隣接頂点が全て調節頂点となる頂点。透かしを挿入する。

それ以外の頂点：上記3つ以外の頂点。

分類手順は、

- (i)全ての頂点を調節頂点の候補とする。
- (ii)頂点を特定の順番で順に全て調べていき、その頂点の隣接頂点が全て調節頂点である場合は孤立頂点とする。そうではない場合は、隣接頂点の中に孤立点候補が存在する時に、その中から調節頂点を1つ決めて、挿入頂点とする。その他の隣接頂点を調節頂点候補から外す。

とする。図3は図1に対して、この操作を行った場合の例であり、頂点の周辺にある数字は頂点の番号を、●は挿入頂点を、■は調節頂点を表しており、対応する挿入、調節頂点を矢印で結んである。

(E3)各頂点の種類に応じて、それを識別できるように、頂点のx座標に情報を埋め込む。

(E4)各挿入頂点に対して、隣接頂点との関係から定まる重心を求め、y座標に、重心と透かし情報の排他的論理和を埋め込む。z座標には、重心と隣接頂点の座標から定まるハッシュ値との排他的論理和を埋め込む。

(E5)各孤立頂点に対して、(E4)と同様に、y,z座標に情報を埋め込む。

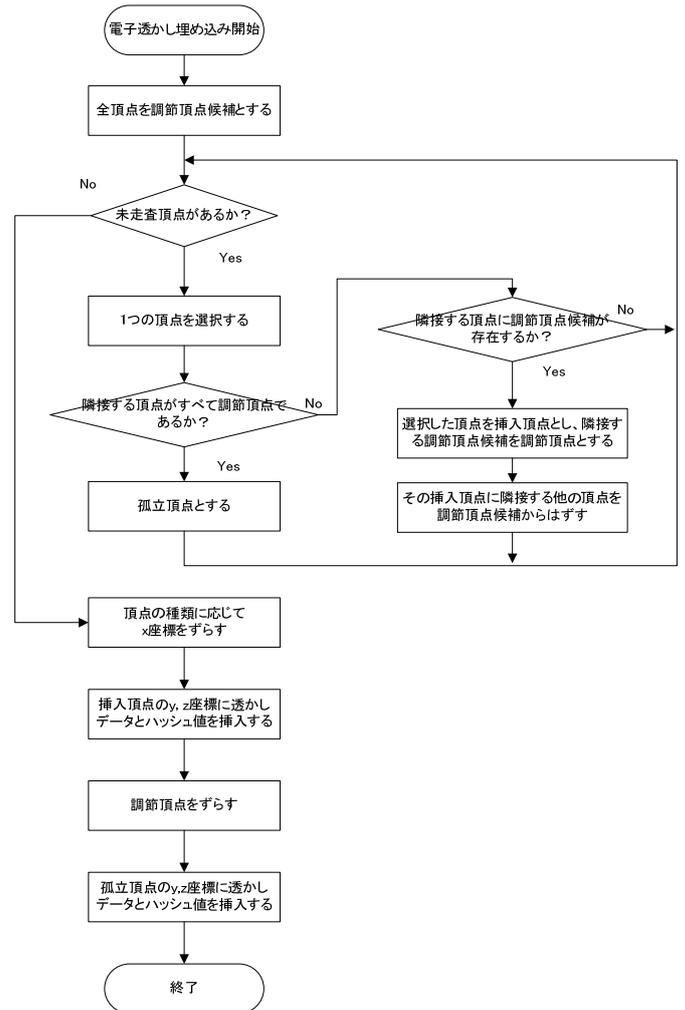


図2. 電子透かし埋め込みフローチャート

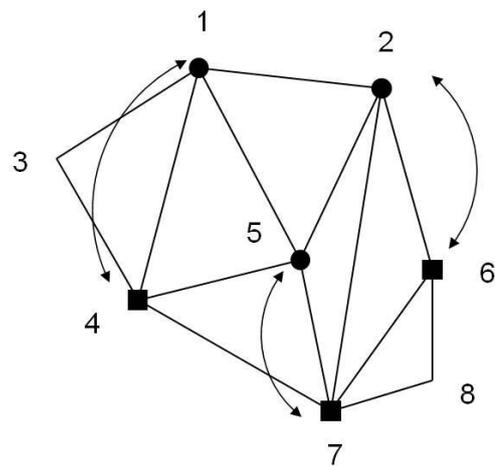


図3. 図1のデータに対して、挿入頂点(●)と調節頂点(■)を決定した例

(2) 電子透かし抽出方法 同様に以下の手順で電子透かしの抽出を行う。図4はフローチャートの形式でまとめたものである。

(A1)3D データの各頂点に対して，x 座標からその種類を求める。

(A2)各挿入頂点の重心を求めて，y 座標との排他的論理和を計算することで，透かし情報を取り出す。z 座標についても，同様にハッシュ値を取り出す。

(A3)各孤立頂点に対して，(A2)と同様に，透かし情報とハッシュ値を取り出す。

(A4)透かしデータの認証を行う。取り出した透かし情報をハッシュ関数にかけて得たハッシュ値と，取り出したハッシュ値を比較して，値が等しければ透かし情報が正しいとする。値が等しくなければ，改ざんがあったとする。

この方法では，x 座標への頂点の識別情報の埋め込み方法やハッシュ関数が秘密鍵として働くこととなる。また，認証の際に，透かし挿入前のデータが必要となることは無い。また，x, y, z 座標の役割をそれぞれ固定した方法を記述したが，その構成方法を見ても分かるように，例えば，x 座標と y 座標の役割を途中で交換したとしても，全体の方法としては支障がない。さらに，(E2)で頂点を分類した際に存在する「それ以外の頂点」に関しても，孤立頂点と同様にデータを埋め込む頂点とすることが可能である。

3. 評価

実際に図5のSTL形式の3Dモデルデータに，本研究の方法で頂点座標を表す浮動小数点数の仮数部の下位5bitに透かし情報を埋め込んだデータが図6である。注意として，ここでは，2つの図の色が違うが，本来STLデータには色の情報がないため，分かりやすさのために濃淡の変換を行っている。さらに，変化点を分かりやすくするために，2つを重ね合わせた図を図7に示す。透かし処理により元のデータより飛び出た部分が，斑点となってデータ上に現れているが，モデルの形状にはほぼ変化はないと見て取ることが出来る。埋め込み箇所を下位5bitではなく，さらに大きなビット数を選択することも可能であるが，その分モデルデータのゆがみは大きくなる。また，埋め込みビット数を減少させた場合には，モデルのゆがみ自体は小さくなる。

表1は従来の方法と今回開発した方法を比較した表である。ここで，透かし挿入頂点数は，全ての頂点の中で透かしを挿入可能な頂点の数を表しており，透かしとして埋め込めるデータ容量に比例している。従来法⁽²⁾では浮動小数点演算を用いるため，誤差のため認証不可能となるケースがあり，従来法⁽³⁾では埋め込み部分以外の改ざんを行っても検知することが出来ないなどの問題点がある。しかし，今回開発した方法では，そのような問題はなく安全な方法となっている。また，埋め込めるデータ容量について，従来法では，経験的に表のようなデータ容量となることが知られ

ている⁽²⁾⁽³⁾。提案法は，その構成方法より，従来法⁽²⁾と同様のデータ容量となり，従来法に比べて劣っていない。

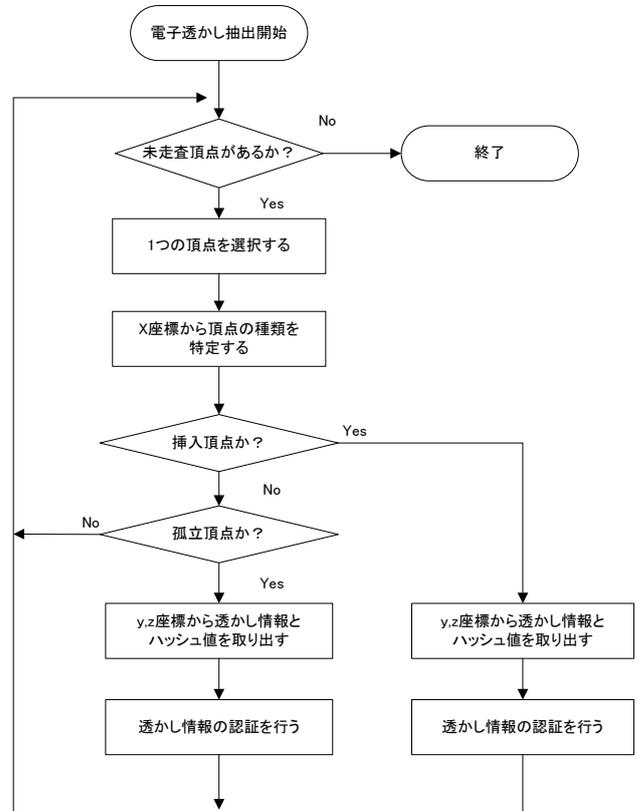


図4. 電子透かし抽出フローチャート

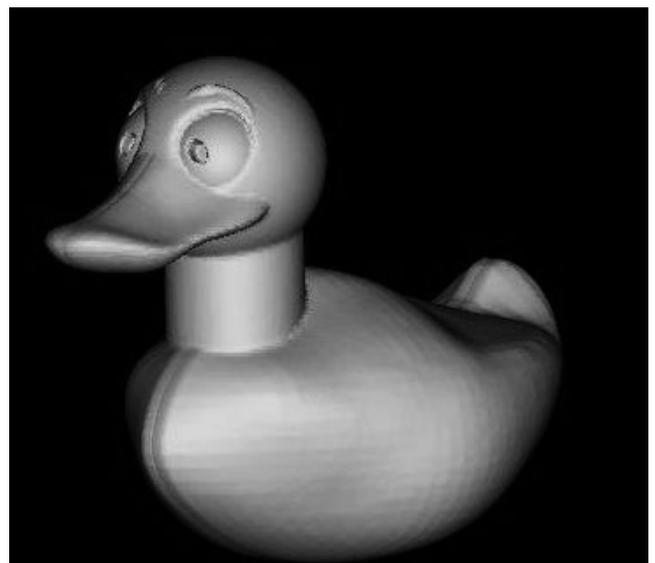


図5. 電子透かし挿入対象3次元モデル

表 1. 従来法との比較

評価項目	既存法 ⁽²⁾	既存法 ⁽³⁾	提案法
透かし挿入頂点数	総頂点の約 38-45%	総頂点の約 20-30%	総頂点の約 38-45%
演算誤差の影響	ある	ない	ない
透かしによる 3D モデルの変化	埋め込む透かしの情報量による	情報量・安全性とのトレードオフ	埋め込む透かし情報量による
安全性	認証不可能な場合が存在する	埋め込み部分以外の改ざんが可能	安全

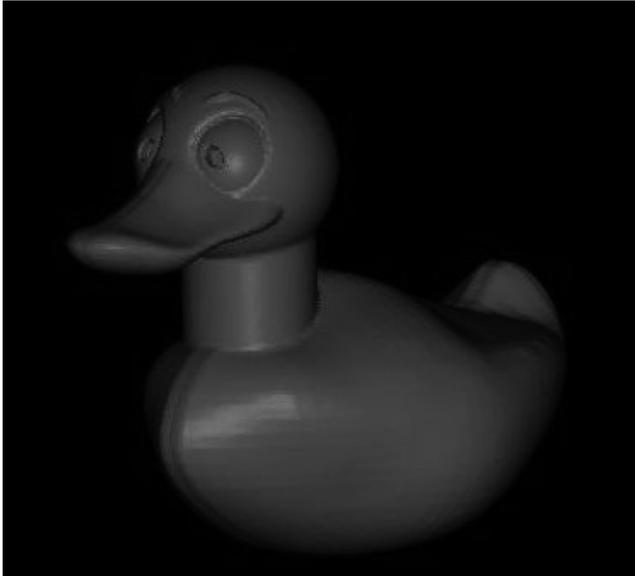


図 6. 電子透かし挿入後の 3 次元モデル

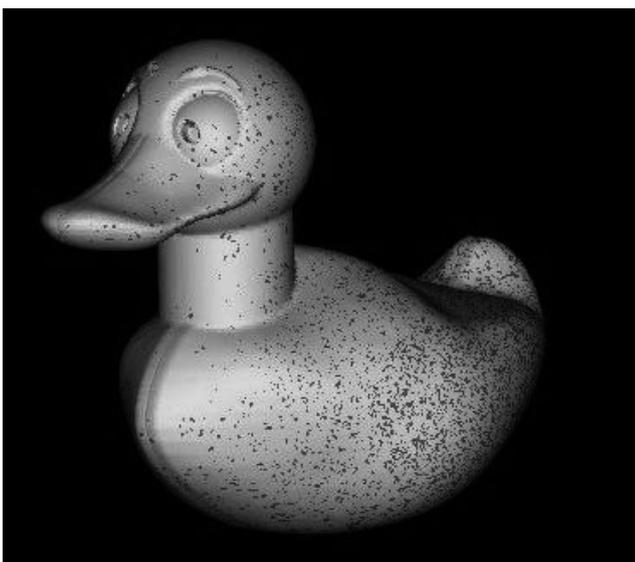


図 7. 図 4 と図 5 を重ね合わせたモデル

4. まとめと今後の課題

既存の方法の問題点を解消した、3D モデルデータに対する新たな電子透かし方法の開発を行った。整数演算を用いて、演算誤差の影響の無い方法を構築することに成功し、従来の方法に比べて劣ることのない情報量を透かし情報として埋め込むことが確認できた。ここで開発した電子透かし方法は、特許出願（出願番号 2011-026993「情報処理装置、コンピュータプログラム、および情報処理方法」）を行った。

今後、3D モデルデータの移動、回転、縮小等のアフィン変換に対して、有効かつ演算誤差の影響のない方法を開発することが望まれる。

（平成 23 年 5 月 19 日受付，平成 23 年 8 月 2 日再受付）

文 献

- (1) Boon-Lock Yeo and Minerva M. Yeung, "Watermarking 3D objects for verification," IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 19, No. 1, pp36-45, 1999.
- (2) Chang-Min Cho and Din-Chang Tseng, "A public fragile watermarking scheme for 3D model authentication," Computer-Aided Design, Vol. 38, No. 11, pp. 1154-1165, 2006.
- (3) Wei-Bo Wang, Guo-Qin Zheng, Jun-Hai Yong and He-Jin Gu, "Anumerically stable fragile watermarking scheme for authenticating 3D models," Computer-Aided Design, Vol. 40, No. 5, pp. 634-645, 2008.