

スペクトル分解領域での周期的埋め込み法を用いた3次元モデル用電子透かし方式に関する一検討
 A Note on Watermarking Scheme for 3-D Models Using Periodic Embedment Method in Spectral Decomposition Domain

井上 清太[†]
 Seita INOUE

小田 弘[†]
 Hiromu KODA

1. はじめに

今日、インターネットの急速な普及拡大につれて、マルチメディアの需要が増大している。それに伴い生じる不正コピー問題の解決策として電子透かしがある [1]。また、近年の3-DCGの普及により3-DCGにも知的所有権を見出す必要性が生じてきた。

そこで、本研究では現在発表されている3-DCG用電子透かし方式の中で頑強性が高いとされている大淵らの方式 [2][3] (以降、大淵方式と呼ぶ) の性能向上を目的とする。大淵方式は分割されたモデルの領域 (以降、モデル領域と呼ぶ) ごとに行う処理とモデル領域全体を用いた処理に分かれる。本稿では前者に対し周期的埋め込み法を提案し、性能評価のために計算機シミュレーションを行った。

2. 共通する透かし情報の埋め込みと検出手順

本方式では、特に3次元形状モデルを頂点の接続関係から定義されるラプラシアン行列によってスペクトル分解し、得られる係数 (以降、スペクトル係数と呼ぶ) を透かし情報の埋め込み対象とした大淵方式に着目する [2][3]。本研究で扱う電子透かし方式での透かし情報の埋め込みと検出手順を図1に示す。

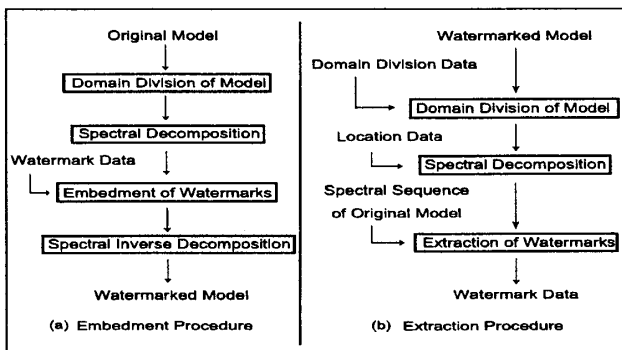


図1: 透かし情報の埋め込みと検出手順

3. 提案方式 (周期的埋め込み法)

メッシュスムージングなどの攻撃に対する従来方式の耐性向上を目的として、「周期的埋め込み法」を提案する。提案方式の透かしの埋め込み手順を以下に示す。

◇埋め込みアルゴリズム

<S1> 次式のように透かし情報 d の j 番目のビット $d_j \in \{0, 1\}$ を拡散率 c で複数回生成し、変調信号 g を得る。

$$g_{j+m \cdot k} = d_j \quad (0 \leq k \leq c-1) \quad (1)$$

但し、 m は透かし情報のビット長である。

<S2> $\{0, 1\}$ の値をとる g_i を、 $\{-1, 1\}$ の値をとる $g'_i (= 2g_i - 1)$ に変換する。

<S3> スペクトル分解で得られたスペクトル係数 $r_i = (r_{x,i}, r_{y,i}, r_{z,i}) (0 \leq i \leq n-1)$ を次式のように変化させて、透かし入りのスペクトル係数 $r'_i = (r'_{x,i}, r'_{y,i}, r'_{z,i}) (0 \leq i \leq N-1)$ を生成する。この処理をスペクトルの x, y, z 成分毎に行う。

$$r'_i = r_i + \alpha \cdot g'_i \cdot p_i \quad (2)$$

ここで、 p_i は擬似乱数系列 ($p_i \in \{-1, 1\}$) である。また、 α は変調振幅 ($\alpha = \phi \cdot \beta (\geq 0)$) である。ただし ϕ は、モデルを囲う最小の直方体である axis-aligned Bounding Box (以降、BBox と呼ぶ) の辺の最大長であり、 $\beta (\geq 0)$ は振幅率である

●変調信号生成の具体例

提案方式の変調信号生成の例を、従来方式と共に図2に示す。図2では変調信号生成の際に透かし情報からの変換方法が両方式で大きく異なる。

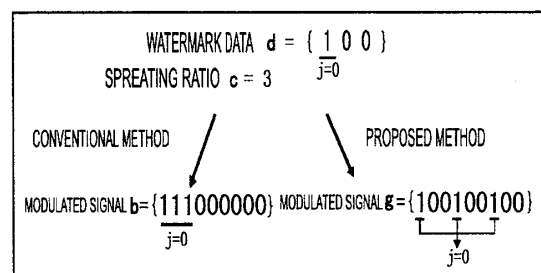


図2: 透かし情報から変調信号生成の例

次に提案方式の透かしの検出手順を以下に示す。

◇検出アルゴリズム

<S1> 攻撃などを受けた透かし入りモデルのスペクトル係数 $\hat{r}_i = (\hat{r}_{x,i}, \hat{r}_{y,i}, \hat{r}_{z,i}) (0 \leq i \leq N-1)$ をスペクトル分解により求める。

<S2> 次式のようにして \hat{r}_i と r_i の差分値を元の擬似乱数系列 p_i と積和演算し、透かし情報を検出するための要素 q_j を得る。

$$q_j = \frac{1}{3} \sum_{l \in \{x,y,z\}} \sum_{k=0}^{c-1} (\hat{r}_{l,j+m \cdot k} - r_{l,j+m \cdot k}) \cdot p_{j+m \cdot k} \quad (3)$$

<S3> 最後に、 $d''_j = 1 (q_j > 0), 0$ (その他) の判定条件で、透かし情報 $d'' = \{d''_j\}$ を検出する。これは、 $\hat{r}_i = r'_i (0 \leq i \leq N-1)$ のときには $q_j = c \cdot \alpha \cdot d'_j \in \{-ac, ac\}$ (α と c は共に正数) となるためである。

[†]電気通信大学大学院 電気通信学研究科 情報通信工学専攻

4. 計算機シミュレーション

4.1 シミュレーション条件

- テストモデル: “bunny” (頂点数 1494, 面数 2915).
- 領域分割: 領域数 4, 各領域の頂点数 256.
- 埋め込み帯域: 透かし情報を埋め込む帯域はスペクトル係数の要素番号 i より低域 L ($0 \leq i \leq 127$), 中域 M ($64 \leq i \leq 191$), 高域 H ($128 \leq i \leq 255$) とする.
- 振幅率: $\beta = 0.1\% \sim 1.0\%$, 拡散率: $c = 18$.
- 透かし情報の容量: $m = 7[\text{bit}]$.
- 位置合わせ: 純粋な攻撃耐性を調べるため省略.
- 攻撃の種類: (1) ランダムノイズ重畳 (BBox の辺の最大長 ϕ に対する割合 $\gamma (= 0.1 \sim 2.0\%)$ により, $\phi \cdot \gamma$ を最大振幅としたランダムノイズを頂点値に付加). (2) メッシュスムージング ($t = 1 \sim 10$ 回).
- 方式の種類: 従来方式 (大淵方式 [2][3]), 提案方式 (3. で示した周期的埋め込み法に基づく方式).

4.2 結果と考察

まず, テストモデルと透かし入りモデルの例, 攻撃後のモデルの例を図3から図6に示す. 図4では透かしの埋め込みの影響はほとんど見られない. 一方, 図5ではモデルが凹凸に劣化しており, 図6ではモデルが平坦になっていることがわかる.

次に, “bunny” の頭の領域における従来方式と提案方式のランダムノイズ重畳とメッシュスムージングの攻撃に対する耐性を図7と図8に示す. ここでグラフの横軸は攻撃の強さを示しており, 縦軸は検出が成功した透かし情報の最低振幅率 β であり, この値が小さいほど透かしの埋め込み強度を抑えることができる.

図7ではランダムノイズの弱い部分では耐性の差がほとんど見られないが, ランダムノイズが強くなるに伴い, 提案方式の方が若干良い結果となっていることがわかる. また, 図8ではメッシュスムージングの攻撃に対する耐性は向上していることがわかる. ランダムノイズ重畳の攻撃では, ランダムノイズのスペクトル係数が不特定の帯域に集中することがあり, ノイズが強くなると不特定の帯域からの透かし情報の検出が困難となるため, 透かし情報を周期的に埋め込む提案方式の方が攻撃の耐性が向上したと考えられる. また, メッシュスムージングの攻撃では, 高域がカットされることから, ランダムノイズ重畳の攻撃の時と同様の理由で攻撃に対する耐性が向上したと考えられる.

5. まとめ

大淵方式の性能向上を目的として, 周期的埋め込み法に基づく方式を提案した. そして, 提案方式ではメッシュスムージングおよびランダムノイズ重畳の攻撃に対する耐性を向上することができた. 今後の課題としては, その他の攻撃耐性の調査, 攻撃耐性の向上に伴う方式の改善, 原モデル非参照方式の検討などが挙げられる.

謝辞

本研究に対して在学時に討論して頂いた川崎雄二氏 (現在, 日本電気(株)) に感謝致します.

参考文献

- [1] 小松, 田中: 電子透かし技術, 東京電機大学出版局 (2004).
- [2] 大淵, 高橋, 宮澤, 向山: “スペクトル分解を用いた3次元メッシュへの電子透かしの埋め込み”, 情報処理学会論文誌, Vol.42, No.5, pp.1103-1114(2001-05).

- [3] 向山, 宮澤, 高橋, 大淵: “スペクトル変換領域で埋め込む3次元メッシュの電子透かし”, Visual Computing グラフィクスとCAD 合同シンポジウム 2001 予稿集, pp.97-102(2001-06).
- [4] Y.Kawasaki, H.Koda and S.Sakata: “A scheme of correlation-based watermarking for three-dimensional computer graphics via topological data”, Proc. of ISITA2006 in Korea, pp.41-46(Oct. 2006).
- [5] 井上: “3次元CGにおける相関型電子透かし方式に関する研究-3次元ポリゴンメッシュでの方式-”, 平成18年度電気通信大学情報通信工学科卒業論文 (2007-01).
- [6] 川崎: “メッシュのスペクトル分解を用いた3-DCG用電子透かし方式の性能向上に関する研究”, 平成19年度電気通信大学大学院情報通信工学専攻修士論文 (2008-01).

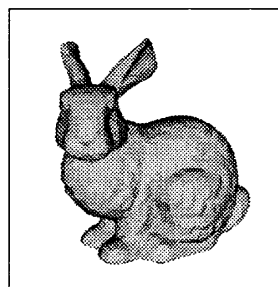


図3: テストモデル

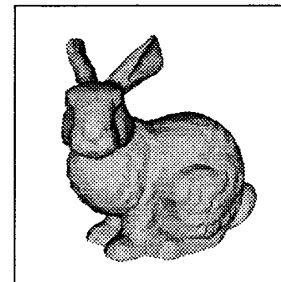


図4: 透かし入りモデル (振幅率 0.1%)

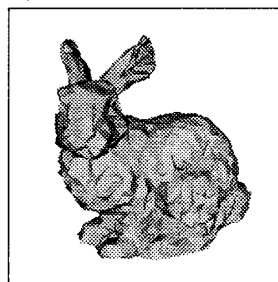


図5: 攻撃後のモデル (ランダムノイズ重畳 (1%))

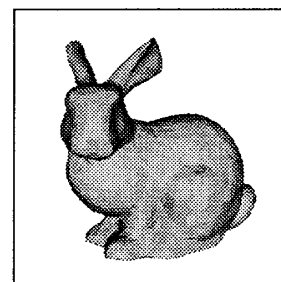


図6: 攻撃後のモデル (スムージング 2回)

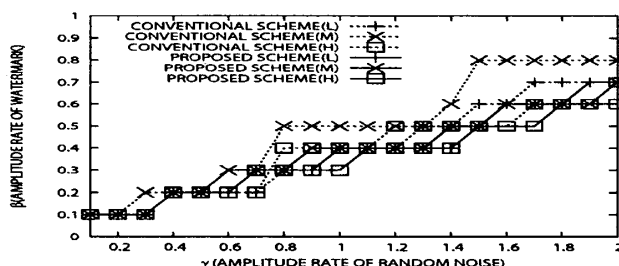


図7: 従来方式と提案方式の比較 (ランダムノイズ重畳)

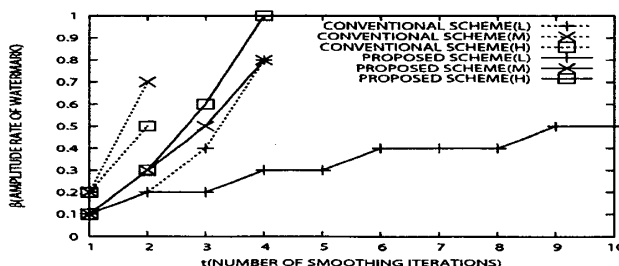


図8: 従来方式と提案方式の比較 (メッシュスムージング)