

データモデルの構造分析に基づく形状モデル用電子透かしアルゴリズムの分類

6G-5

北村 伊久裕, 金井 理, 岸浪 建史

北海道大学大学院工学研究科

1. はじめに

近年, 2 次元ベクトル型データや 3 次元形状モデルデータの著作権保護の必要が高まっており, 著作権を保護する手法として電子透かし手法が数多く提案され始めている^{[1][2][3]}. しかし, これらの手法は体系的な分類がされておらず, 種々の手法におけるデータとアルゴリズムの共通利用性や併用可能性が明らかでない. そこで本研究ではまず, 既提案の電子透かし手法をアルゴリズムの機能モデルと埋め込み対象となるコンテンツのデータモデルという 2 つの観点から分類し, その原理の分析を行うことで, 手法間の共通利用性や併用可能性を明らかにする, これにより, コンテンツとアルゴリズムの様々な組み合わせが可能な汎用的な形状モデル用電子透かしサーバーの構築を目的とする. 本報では, 電子透かしアルゴリズムの機能とコンテンツのデータモデルとの対応関係の分析結果を報告する.

2. 電子透かし手法の機能モデルとその要件

2.1. 電子透かし手法の機能モデル

本研究では, 形状モデル用電子透かし手法の機能モデルは図 1 のような集合と関数群によって表現する. これを用いて, ある電子透かし手法 M 及びそのアルゴリズム A は, $M = \langle C, A, g^a, g^b \rangle, A = \langle \tilde{C}, F, W, g^c, g^d, g^e, g^f, g^g \rangle$ のように表すことができる. ここで, C は全コンテンツ集合, \tilde{C} は C 内で透かし埋め込みに寄与しているコンテンツ集合, F は透かし埋め込みにより直接変更される特徴量集合, W は透かしデータ (ビット列等) である. これらの集合は全て全順序集合とする. 添え字 r が付く集合はオリジナル, w は透かし埋め込み後の集合を意味する. また, g^a は全コンテンツから実際に透かしを埋め込むコンテンツを取り出す関数, g^b は透かしを埋め込む特徴量を求める関数, g^c は透

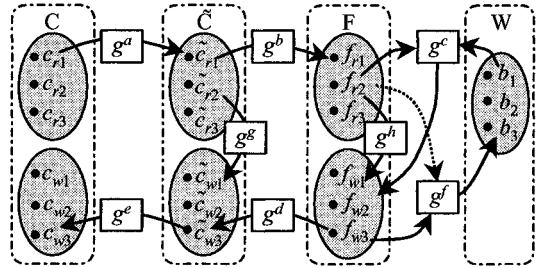


図 1: 電子透かし手法の機能モデル

かしデータに従って特徴量を変更する関数, g^d は変更した特徴量が求められるようコンテンツを変更する関数, g^e は透かしが埋め込まれたコンテンツを全コンテンツ中に戻す関数, g^f は透かし埋め込み前後の特徴量から透かしデータを抽出する関数, g^g は \tilde{C}_r と \tilde{C}_w の間の要素を対応付ける関数, g^h は F_r と F_w の間の要素を対応付ける関数である.

2.2. 電子透かし手法への要件

上記の機能モデルを用いて, 電子透かし手法の持つべき性質は, 以下のようにまとめることができる.

①透かし埋め込み・抽出が行える必要条件

手法 M において埋め込み・抽出が行える必要条件は $\forall i, j, k, g^c(f_{ri}, w_j) = f_{wk} \Rightarrow (g^d(f_{ri}, f_{wk}) = w_j) \vee (g^e(f_{wk}) = w_j)$ となるような g^c が構成でき, さらに $g^e = (g^c)^{-1}, g^d = (g^b)^{-1}$ となることである. また, 抽出時にオリジナルが必要な場合にはさらに $(g^g(\tilde{c}_{ri}) = \tilde{c}_{wk}) \vee (g^h(f_{ri}) = f_{wk})$ を満たすような g^g または g^h も構成できるという条件が加わる.

また, 透かしアルゴリズムの汎用性を判断する条件として, 以下の 2 つの性質も記述できる.

②アルゴリズムの共通利用性

共通利用性とは, ある一つの電子透かしアルゴリズム A が異なるコンテンツ集合 C_1, C_2 に対し, 機能的に共通利用可能である性質のことである. その必要条件は $C_1 \neq C_2 \Rightarrow (g^a_1: C_{r1} \rightarrow \tilde{C}_r) \wedge (g^a_2: C_{r2} \rightarrow \tilde{C}_r)$, もしくは $(g^b_1 \circ g^a_1: C_{r1} \rightarrow F_r) \wedge (g^b_2 \circ g^a_2: C_{r2} \rightarrow F_r)$ を満たすよ

A Classification of Digital Watermarking Methods for Geometric Model based on the Structural Analysis of Data Model, Ikuhiro KITAMURA, Satoshi KANA I and Takeshi KISHINAMI, Hokkaido Univ., Kita13, Nishi8, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido, 060-8628, Japan

表1：各手法の機能モデルに基づく分析結果

	C	g^a の定義域	\tilde{C}	g^b の定義域	F	g^d	g^h
手法A	$C_{(2DVM)}$	PG, P, ϕ_{GP}	ポリゴンと頂点の対応関係 $\langle \phi_{GP} \rangle$	ϕ_{GP}	ポリゴンと頂点の対応関係 ϕ_{GP}	文献からは不明	
手法B	$C_{(2DVM)}$	PG, P, ϕ_{GP}, x, y	2D 頂点座標集合 $\langle P, x, y \rangle$	x, y	x, y	文献からは不明	
手法C	$C_{(3DPM)}$	F, P, ϕ_{FP}, x, y, z	3D 頂点座標集合 $\langle P, x, y, z \rangle$	x, y, z	4 面体の体積比	トポロジー	
手法D	$C_{(3DDM)}$	P, x, y	2D 頂点座標集合 $\langle P, x, y \rangle$	x, y	フーリエ係数の大きさ	最小頂点距離	

うな g^a_1 と g^a_2 の対, さらに g^b_1, g^b_2 の対が構成可能であることである。

③アルゴリズムの併用可能性

併用可能性とは異なる原理の電子透かしアルゴリズム A_1, A_2 があるコンテンツ C に対して機能的に併用可能である性質のことである。その必要条件是 $g^a_1 \in M_1, g^a_2 \in M_2, g^a_1: C_r \rightarrow \tilde{C}_{r1}, g^a_2: C_r \rightarrow \tilde{C}_{r2} \Rightarrow \tilde{C}_{r1} \cap \tilde{C}_{r2} = \emptyset$ であることである。

②③の条件の成立の有無を判断するには、コンテンツ \tilde{C} の要素の全順序関係が、コンテンツ C の要素からどのように導出されているかを議論しなければならない。これについて次節で述べる。

3. 形状モデル用電子透かし手法におけるコンテンツのデータモデルとその分析

2D ベクトル型地図データ, 3D メッシュモデルデータ, 3D Digital Elevation Model (DEM) データへの電子透かし手法^{[1][2][3]}に関し, 手法の機能モデル及びコンテンツのデータモデルの分析を行った。

3.1. コンテンツのデータモデル

● 2D ベクトル型地図データ^[1]

$$C_{(2DVM)} = \langle PG, PL, SB, P, \phi_{GP}, \phi_{LP}, \phi_{SP}, x, y \rangle$$

ポリゴン $PG = \{pg_1, pg_2, \dots, pg_{NPG}\}, NPG$: ポリゴン数

ポリライン $PL = \{pl_1, pl_2, \dots, pl_{NPL}\}, NPL$: ポリライン数

シンボル $S = \{s_1, s_2, \dots, s_{NS}\}, NS$: シンボル数

頂点 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_{NP}\}, NP$: 頂点数

$$\phi_{GP}: PG \rightarrow 2^P, \phi_{LP}: PL \rightarrow 2^P, \phi_{SP}: S \rightarrow P, x, y: P \rightarrow \mathbf{R}$$

● 3D メッシュモデルデータ^[2]

$$C_{(3DPM)} = \langle F, L, P, \phi_{FP}, \phi_{LP}, x, y, z \rangle$$

面 $F = \{fg_1, fg_2, \dots, fg_{NFG}\}, NFG$: ポリゴン数

線 $L = \{pl_1, pl_2, \dots, pl_{NPL}\}, NPL$: ポリライン数

頂点 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_{NP}\}, NP$: 頂点数

$$\phi_{FP}: F \rightarrow 2^P, \phi_{LP}: L \rightarrow 2^P, x, y, z: P \rightarrow \mathbf{R}$$

● 3D DEM データ^[3]

$$C_{(3DDM)} = \langle P, x, y, z \rangle$$

頂点 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_{NP}\}, NP$: 頂点数, $x, y, z: P \rightarrow \mathbf{R}$

ここで, これらの集合は全て全順序集合とし, これ

らの順序はファイル中における記述順序等であらかじめ規定されているものとする。

3.2. 各手法の機能モデル

各手法の機能モデルを比較するために, 下記の手法 A-D までを分析した。

手法 A^[1]: ポリゴンを構成する頂点の順序を循環的に変更して透かしを埋め込む手法

手法 B^[1]: ポリゴンの頂点を順序付けた後, 頂点座標を動かして透かしを埋め込む手法

手法 C^[2]: メッシュを構成する頂点を用いて 4 面体を作り, 埋め込み前後の 4 面体の体積比を透かしの値に応じて変更する手法

手法 D^[3]: 順序付けた頂点の x, y 座標値のみを離散フーリエ変換し, フーリエ係数に透かしを埋め込む手法

これらの手法を機能モデルに基づき分析した結果を表 1 に示す。この結果より, 手法 B と手法 D は \tilde{C} が等しいため, 手法 B と手法 D のアルゴリズムは共通利用可能であることが判る。また, 手法 A と手法 B はお互いの \tilde{C} の構成要素に共通部分を持たないため, g^a または g^b が構成可能であるという条件が加われば併用可能である。

6. おわりに

本報では電子透かし手法の機能モデルを提案し, そのモデルに基づきいくつかの既存の電子透かし手法の分類と原理の分析を行った。その結果, アルゴリズムの共通利用性と併用可能性の条件を明らかにすることができた。今後の課題として 3D 及び 2D の形状モデルの汎用的なデータモデルの提案や様々なコンテンツと透かしアルゴリズムの組み合わせが可能な汎用的な形状モデル用電子透かしサーバーの構築が挙げられる。

参考文献

- [1] 豊田 他: ベクトル型地図情報の電子透かしに関する研究, *Proc. IPSJ (CD-ROM)*, 1R-07, (2001).
- [2] Ohbuchi, R. 他: Watermarking three-dimensional polygonal models, *Proc. ACM Multimedia '97*, ACM Press, New York, pp.261-272 (1997).
- [3] 北村 他: 離散フーリエ変換に基づくベクトル型データへの電子透かし手法, *Proc. IPSJ (CD-ROM)*, 1R-01, (2001).