

形状モデルに対する汎用電子透かし手法の研究 —データモデルの構造分析に基づく既存電子透かしアルゴリズムの分類—

北海道大学大学院工学研究科 ○北村 伊久裕 金井 理 岸浪 建史

要旨

既存の2次元ベクトル型地図データや3次元形状モデルデータへの電子透かし手法は体系的な分類がされておらず、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。本研究では、既提案の電子透かし手法をデータモデルの構造分析に基づき分類し、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し、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。

1. はじめに

近年、2次元ベクトル型地図データや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、ある電子透かし手法 M 及びそのアルゴリズム A は、 $M = \langle C, A, g^a, g^e \rangle, A = \langle \tilde{C}, F, W, g^b, g^c, g^d, g^f, g^g, g^h \rangle$ 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 が付く集合は透かし埋め込み後を意味する。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 は透かしデータに従って特徴量を変更する関数、 g^d は変更

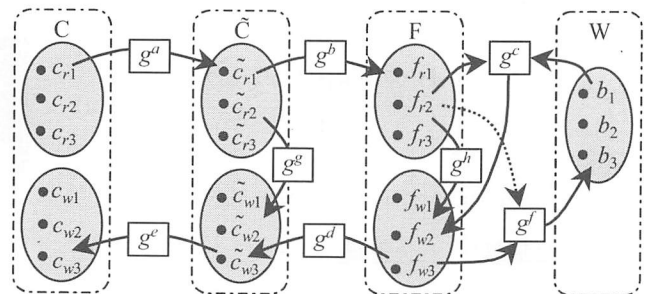


図1：電子透かし手法の機能モデル

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是、 $\forall i, j, k, g^c(f_{ri}, w_j) = f_{wk} \Rightarrow (g^f(f_{ri}, f_{wk}) = w_j) \vee (g^d(f_{wk}) = w_j)$ となるような g^f が構成でき、さらに $g^e = (g^a)^{-1}, g^d = (g^b)^{-1}$ 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。その必要条件是 $C_1 \neq C_2 \Rightarrow (g^a_1: C_1 \rightarrow \tilde{C}_r) \wedge (g^a_2: C_2 \rightarrow \tilde{C}_r)$ 、もしくは $(g^b_1 \circ g^a_1: C_1 \rightarrow F_r) \wedge (g^b_2 \circ g^a_2: C_2 \rightarrow F_r)$ を満たすような g^a_1 と g^a_2 の対、さらに

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^g	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	$C_{(3DDEM)}$	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	

g^a, g^b 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_i に対して機能的に併用可能である性質のことである。その必要条件は $g^a_1 \in M_1, g^a_2 \in M_2, g^a_1: C_i \rightarrow \tilde{C}_1, g^a_2: C_i \rightarrow \tilde{C}_2 \Rightarrow \tilde{C}_1 \cap \tilde{C}_2 = \emptyset$ 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

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

● 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 $F = \{fg_1, fg_2, \dots, fg_{NFG}\}, NFG$:メッシュ数

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

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

● 3DDEMデータ^[3]

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

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

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^g または g^h 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).