

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 17 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420375

研究課題名(和文) 通信理論・信号処理論の融合に基づく三次元メッシュ電子透かし技術の研究開発

研究課題名(英文) A research on 3D mesh watermarking techniques via communication theory and signal processing theory

研究代表者

宇戸 寿幸 (UTO, TOSHIYUKI)

愛媛大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：90380261

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：通信理論における拡散処理および信号処理論におけるフィルタリングに基づく電子透かしを研究開発した。主として、2つの手法(1)複素変換に基づく手法と(2)高域通過フィルタに基づく手法を提案した。さらに、これらの研究を通じて得た知見から着想して(3)周波数選択性変換に基づく手法を提案した。これら3つの手法の有効性を計算機シミュレーションにより明らかにした。

研究成果の概要(英文)：This study focuses on digital watermarking via spread codes in communication theory and filters in signal processing theory. Main contributions of this work are three-fold: 1) a watermarking scheme based on combined complex transforms, 2) an image watermarking technique via highpass filtering, and 3) a robust watermarking scheme based on frequency selective watermark. I presented the aforementioned approaches and demonstrated their validity.

研究分野：工学

キーワード：電子透かし 三次元メッシュ スペクトル拡散 フィルタリング 複素変換

### 1. 研究開始当初の背景

三次元メッシュモデルは頂点や辺、面の集合により定義される三次元形状情報であり、コンピュータグラフィックス分野においてはポリゴンメッシュとも呼ばれる。この三次元メッシュモデルは映画や3Dプリンタ等の形状情報として活用されており、情報普及に伴って著作権保護の必要性が増している。一方、三次元メッシュモデルは音楽や画像といった他のメディア情報と比べて制作コストが高いため、三次元メッシュモデルは保護する価値の高い情報である。

これまで、音声や静止画像、動画像を保護対象としたセキュリティ技術に関する論文が発表されている。しかし、三次元メッシュモデルを対象情報として数学的理論に基づき分析している研究は僅かである。その結果として、三次元メッシュモデルを対象とした保護手法の性能が十分に評価されず、性能要因も解明されないまま残されている。そのため、数理的な観点からのメッシュ処理技術の研究開発が求められていた。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、情報通信および信号処理における数学的理論を礎として三次元メッシュモデルを対象とした著作権保護技術の電子透かしを解析することによって、理論的に確立された電子透かし技術を開発することである。より具体的な目的は、三次元メッシュモデル情報を保護するために(1)スペクトル拡散により知覚され難く頑健な透かし情報の生成法、ならびに、(2)時間周波数解析により埋め込み可能な情報量を増大した透かし埋め込み法を開発することである。

優れた埋め込み能力・検出能力を併せ持つポリゴンモデル用途の電子透かし技術を開発することによって、まだ技術が確立されていない三次元モデルの保護技術を確立する役割を担うことが、本研究の大きな目的である。

### 3. 研究の方法

三次元メッシュモデルは、頂点位置に関する座標情報および平面を形成する頂点集合に関する接続情報により構成される。この座標情報は $x, y, z$ 軸に関する座標値という3つの実数の組 $(x, y, z)$ から成り、電子透かしではその座標情報 $(x, y, z)$ を操作することによって著作権情報を透かし情報として埋め込む。

本研究では、通信・ネットワーク工学分野において基礎となる通信理論と信号処理理論を巧く融合することを通して理論的に確立された電子透かし技術を開発する。以下において、個別に研究方法の詳細を記述する。

#### (1) 複素変換に基づく手法

入出力が複素数である複素変換は、入出力が実数である実変換を包含するシステムである。そのため、複素変換を電子透かし技術に応用することにより、電子透かしの埋め込

み性能や検出性能を向上できる可能性がある。

本研究では、透かし情報を生成するシステムとして複素スミア変換、変換画像を生成するシステムとして複素ウェーブレット変換をそれぞれ組み込んだ電子透かし手法を開発する。そして、複素変換に基づく電子透かし法の画質およびロバスト性を評価する。

#### (2) 高域通過フィルタに基づく手法

一般的に映像情報のエネルギーは低周波数帯域に集中している、という特徴が知られている。そのため、透かし情報を低周波数帯域ではなく高周波数帯域に埋め込むことにより、電子透かしの検出性能を向上できる可能性がある。

本研究では、電子透かしの検出処理に高域通過フィルタを組み込んだ電子透かし手法を開発する。さらに、その検出処理を考慮した埋め込み処理も開発する。そして、高域通過フィルタに基づく電子透かし法のロバスト性を評価する。

#### (3) 周波数選択性変換に基づく手法

スペクトル拡散符号の一種であるスミア系列は全域通過特性を有するスミア変換により生成される。前述の通り、映像情報には周波数領域において顕著な偏りがある。そのため、全ての周波数帯域ではなく、特定の周波数帯域に透かし情報を埋め込むことにより、電子透かしの埋め込み性能や検出性能を向上できる可能性がある。

本研究では、透かし情報を生成するスミア変換に通過域または阻止域を指定する機能を付加した周波数選択性スミア変換を導出する。さらに、この周波数選択性変換を組み込んだ電子透かし手法を開発する。そして、周波数選択性変換に基づく電子透かし法のロバスト性および情報量を評価する。

### 4. 研究成果

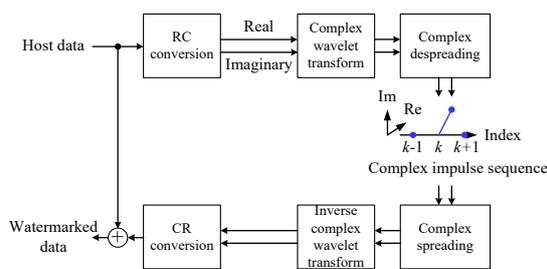
通信理論と信号処理理論の融合による電子透かし技術の研究開発を通して得た成果を個別に記述する。

#### (1) 複素変換に基づく手法

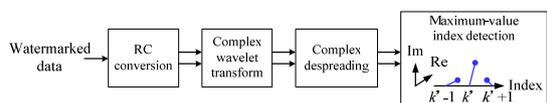
複素スミア変換により生成した多相直交周期系列を透かし情報として採用し、この複素系列を複素ウェーブレット変換により生成した変換画像に埋め込む電子透かし手法を開発した。

図1は、提案する電子透かしの挿入処理および抽出処理を示す。図1(a)において、実数から複素数への置換(RC conversion)の後、複素ウェーブレット変換(Complex wavelet transform)および複素逆拡散(Complex despreading)という二つの複素処理を組み合わせている点の特徴である。

表1は、透かし情報52[bit]をPSNR値43[dB]にて埋め込んだ画像に攻撃(JPEGによる圧縮・解凍)を施した後、提案する検出手法により透かし情報が検出できた割合を示す。な



(a) 電子透かし挿入法



(b) 電子透かし抽出法

図1 複素変換に基づく手法

表1 各手法の透かし検出割合[%]

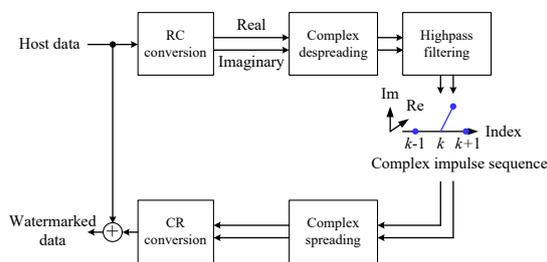
	JPEG quality			
	65	70	75	80
提案法	13.76	41.34	87.66	100
従来法1	7.01	30.05	56.99	100
従来法2	9.52	35.02	77.57	100

お, 従来法1は実数系列, 従来法2は実数のウェーブレット変換をそれぞれ用いた手法である. 提案法の結果は従来法1, 従来法2よりも高い検出割合であるため, 系列および変換を複素化することにより透かし情報の検出性能が向上することを明らかとした.

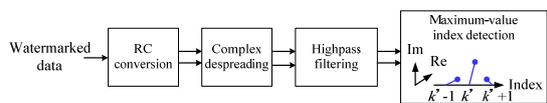
(2) 高域通過フィルタに基づく手法

電子透かしの検出処理に高域通過フィルタを採用し, この高域通過フィルタを踏まえて最適な透かし情報を生成する電子透かし手法を開発した.

図2は, 提案する電子透かしの挿入処理および抽出処理を示す. 図2(a)および図2(b)における高域通過フィルタ(Highpass filtering)を電子透かし技術に組み入れている点の特徴である.



(a) 電子透かし挿入法



(b) 電子透かし抽出法

図2 高域通過フィルタに基づく手法

表2 各手法の透かし検出割合[%]

	JPEG quality			
	65	70	75	80
提案法	70.54	90.95	98.29	99.70
従来法1	15.46	20.98	44.32	56.99
従来法2	6.32	12.34	22.57	39.14

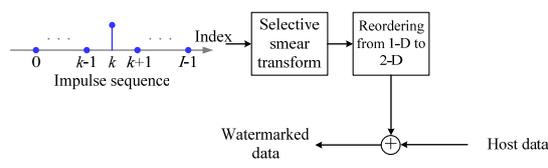
表2は, 透かし情報60[bit]をPSNR値43[dB]にて埋め込んだ画像に攻撃(JPEGによる圧縮・解凍)を施した後, 提案する検出手法により透かし情報が検出できた割合を示す. なお, 従来法は高域通過フィルタを用いず, 従来法1は実数系列, 従来法2はPN系列をそれぞれ用いた手法である. 提案法の結果は高域通過フィルタを用いない従来法1, 従来法2よりも高い検出割合であるため, 高域通過フィルタを埋め込み処理および検出処理に活用することにより透かし情報の検出性能が向上することを明らかとした.

(3) 周波数選択性変換に基づく手法

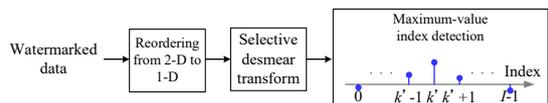
特定周波数のみを通過させる周波数選択性スミア変換を提案し, この周波数選択性スミア変換により生成した系列を保護対象データに埋め込む電子透かし手法を開発した.

図3は, 提案する電子透かしの挿入処理および抽出処理を示す. 図3(a)に周波数選択性スミア変換(Selective smear transform), そして図3(b)に周波数選択性デスミア変換(Selective desmear transform)を電子透かし技術に組み入れている点の特徴である.

表3は, 透かし情報224[bit]をPSNR値38[dB]にて埋め込んだ画像に攻撃(JPEGによる圧縮・解凍)を施した後, 提案する検出手法により透かし情報が検出できた割合を示す. なお, 従来法1は実数系列とウェーブレット変換, 従来法2はスミア系列とウェーブレット変換をそれぞれ用いた手法である. 提



(a) 電子透かし挿入法



(b) 電子透かし抽出法

図3 周波数選択性変換に基づく手法

表3 各手法の透かし検出割合[%]

	JPEG quality			
	65	70	75	80
提案法	96.45	99.38	99.98	100
従来法1	0	0	8.23	87.46
従来法2	0	0	2.39	81.50

案法の結果は従来法 1, 従来法 2 よりも高い検出割合であるため, 系列とウェーブレット変換の組み合わせを周波数選択性スミア変換のみで代用することにより透かし情報の検出性能が向上することを明らかとした. さらに, ウェーブレット変換を用いず周波数選択性変換を用いることにより, 透かし情報の情報量が増大することを明らかとした.

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① Takeshi Okino, Toshiyuki Uto, A blind watermarking scheme based on combined complex transforms, Journal of Signal Processing, 査読有, Vol. 19, No. 4, 2015, pp. 163-166.

[学会発表] (計 9 件)

- ① Rei Tanaka, Tomoki Tada, Toshiyuki Uto, Kenji Ohue, A multiplicative watermarking technique with an orthogonal sequence, In Proc. of the 2016 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, 2016 年 3 月 8 日, Hawaii (USA) .
- ② Rei Tanaka, Taichi Nonoshita, Toshiyuki Uto, Kenji Ohue, An image watermarking scheme based on frequency selective watermark, In Proc. of the 2016 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, 2016 年 3 月 8 日, Hawaii (USA) .
- ③ 沖野壮, 宇戸寿幸, DT-CWT を用いた画像電子透かし法, 平成 27 年度電気関係学会四国支部連合大会, 2015 年 9 月 26 日, 高知工科大学 (高知県香美市) .
- ④ Takeshi Okino, Shogo Takagi, Toshiyuki Uto, Kenji Ohue, A correlation-based image watermarking Technique via highpass filtering, In Proc. of the 2015 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, 2015 年 3 月 2 日, Kuala Lumpur (Malaysia) .
- ⑤ Takeshi Okino, Toshiyuki Uto, Kenji Ohue, A blind watermarking scheme based on combined complex transforms, In Proc. of the 2015 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, 2015 年 3 月 2 日, Kuala Lumpur (Malaysia) .
- ⑥ 北濱拓哉, 宇戸寿幸, 領域分割を用いた 3 次元モデル電子透かし法, 平成 26 年度電気関係学会四国支部連合大会, 2014 年 9 月 13 日, 徳島大学 (徳島県徳島市) .
- ⑦ Takuya Kitahama, Toshiyuki Uto, Kenji Ohue, A 3-D mesh watermarking algorithm via complex smear transform, In Proc. of the 2014

RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, 2014 年 3 月 3 日, Hawaii (USA) .

⑧ Yu Kagii, Shogo Takagi, Toshiyuki Uto, Kenji Ohue, A blind image watermarking based on an orthogonal polyphase sequence, In Proc. of the 2014 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, 2014 年 3 月 3 日, Hawaii (USA) .

- ⑨ 北濱拓哉, 宇戸寿幸, 複素スミア変換を用いた 3 次元モデル電子透かし法, 平成 25 年度電気関係学会四国支部連合大会, 2013 年 9 月 21 日, 徳島大学 (徳島県徳島市) .

[その他]

<http://aiweb.cs.ehime-u.ac.jp/~uto/>

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

宇戸 寿幸 (UTO TOSHIYUKI)  
愛媛大学・大学院理工学研究科・准教授  
研究者番号 : 90380261

##### (2) 研究分担者

なし

##### (3) 連携研究者

なし