

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 7 日現在

機関番号：16301
研究種目：若手研究（B）
研究期間：2011～2012
課題番号：23760339
研究課題名（和文） 変換画像のビットプレーン特性に基づく映像符号化・復号化の研究開発
研究課題名（英文） A research on embedded image codecs via bitplane operations
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

研究成果の概要（和文）：ビットプレーン特性に基づいた画像符号化および電子透かしを研究開発した。主として、2つの手法(1)クワッドツリー分割に基づく画像符号化アルゴリズムと(2)三次元メッシュを対象としたスペクトル拡散型電子透かしを提案した。さらに、(2)に関連した手法として(3)直交周期複素数系列セットの生成法を提案した。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 image coding and digital watermarking via bitplane operations. Main contributions of this work are three-fold: 1) a quadtree-based algorithm for image coding, 2) a watermarking technique for three dimensional meshes, and 3) a generation method of orthogonal periodic complex sequence sets. I presented the aforementioned approaches and demonstrated their validity.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	1,900,000	570,000	2,470,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学

キーワード：ウェーブレット，ビットプレーン，画像処理，画像符号化，電子透かし

## 1. 研究開始当初の背景

ビットプレーンは、2進数表記された数値データにおける特定ビット位置の二次元ビット系列である。このビットプレーンの代表例が画像情報であり、1画素当り8ビットで量子化された画素値範囲0～255の一般的な画像は8枚のビットプレーンから構成される。特に、電子透かし・ステガノグラフィーといった情報ハイディング分野や画像圧縮・伝送といった符号化分野において、画像のビットプレーン構成が活用されている。

これまで、ビットプレーンという観点から画像情報の性質および画像処理技術の性能を解明する論文が発表されている。しかし、ビットプレーン特性自身の解明を通して画

像処理技術の高度化を実現する研究は僅かである。その結果として、現行システムに置き換わる次世代システムの開発が十分でなかった。その一例として、符号化規格JPEGと比べ、ビットプレーン符号化に基づいた符号化規格JPEG2000が普及していない現状が挙げられる。以上から、ビットプレーン構成に着目した画像処理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、画像伝送における基盤技術である符号化の圧縮性能向上・実現コスト削減、および、画像向け電子透かし技術の画質劣化低減・頑健性向上を図ることによって、

画像処理技術の高画質化や高機能化を実現することである。より具体的な目的は、画像情報に周波数領域への変換を施すことにより得られる変換画像のビットプレーン特性を解明することを通して(1)優れた圧縮性能を有する符号化手法、ならびに、(2)優れた画質を保持する画像処理手法を開発することである。

優れた画質・演算実現性を併せ持つ映像処理技術の研究開発することによって、フルハイビジョンを超える超高精細映像から厳しい要求条件のモバイルアプリケーションまでの幅広い用途に活用できる要素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

画像情報をビットプレーンごとに符号化する方式はビットプレーン符号化と呼ばれる。JPEG2000にもウェーブレット変換とビットプレーン符号化とを組み合わせた変換符号化が採用され、中心的な映像符号化方式として位置づけられている。

本研究では、画像情報のビットプレーンごとの統計的性質に焦点を当て、このビットプレーン特性に基づいた画像処理技術を開発する。以下において、個別に研究方法の詳細を記述する。

#### (1) 画像符号化アルゴリズム

変換画像符号化は、画像に対してウェーブレット変換や離散コサイン変換(DCT)等の周波数変換を施した後、得られた変換画像に量子化・エントロピー符号化を施すことにより画像圧縮を実現する方式である。この符号化方式において、対象画像を周波数変換した後の符号化処理が圧縮性能・計算量を左右する。

本研究では、ウェーブレット変換画像をビットプレーンに分割し、符号化処理を行うビットプレーン符号化方式の高効率化を目標として、セット分割予測を組み入れた画像符号化アルゴリズムを開発する。具体的には、子サブバンド領域の複数ビットで構成されるセットに対して、親サブバンドのセット分割を適用することにより有意な情報ビット“1”を探索する回数を低減する。

#### (2) 三次元メッシュ電子透かし

電子透かしは著作権保護などを目的として、マルチメディアコンテンツに透かし情報と呼ばれる著作権情報を挿入・抽出する技術である。この電子透かしはコンテンツプロテクト技術の主流として、音楽・静止画像・動画像等のデジタル情報を想定した手法が開発されている。

本研究では、三次元メッシュを対象情報とした電子透かしの性能向上を目標として、ウ

ェーブレット領域での透かし挿入法・検出法を開発する。具体的には、透かし情報としてスペクトル拡散処理によってエネルギー分散された拡散符号を採用することにより、画質劣化を低減する。

#### (3) 直交周期複素数系列セット生成法

直交系列およびその集合である直交系列セットはスペクトル拡散通信や電子透かし等の拡散符号として用いられている。そして、これまでに直交周期複素数系列セットの生成法を提案してきたが、数値計算による実証しか示せていなかった。本研究では、交周期複素数系列セットの生成に必要な条件式の理論的な証明を導出する。具体的には、整数論を活用することにより厳密な証明を試みる。

### 4. 研究成果

ビットプレーンを考慮した画像処理技術の研究開発を通して得た成果を個別に記述する。

#### (1) 画像符号化アルゴリズム

標準テスト画像にウェーブレット変換を施し、得られた変換画像のビットプレーン特性を分析した。その解析により、ウェーブレット領域における親サブバンドと子サブバンドとのビットプレーン間相関を発見した。そのビットプレーン間相関に基づく符号化アルゴリズムとしてセット分割予測を組み入れた逐次型符号化手法を開発した。

図1は、ビットプレーンごとに実行されるセット分割予測の一例を示す。有意な情報ビットの探索回数が符号化ビット数に相当し、セット分割予測を導入することにより探索

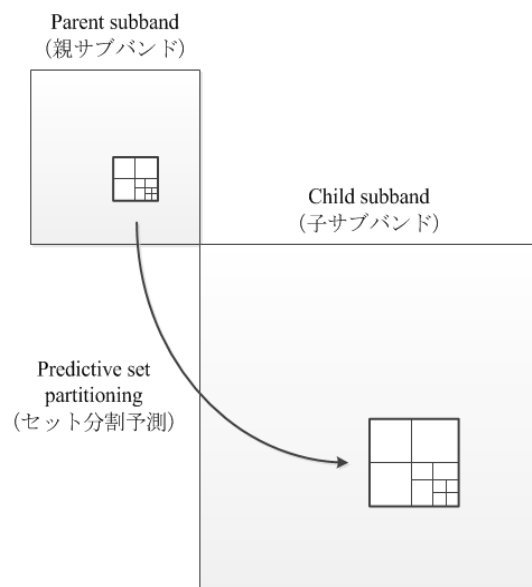


図1 セット分割予測の例

回数が減少するので、符号化性能の改善が期待できる。

表 1 再構成画像の画質結果 PSNR[dB]

Lena	圧縮割合 Bit Rate [bpp]				
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
提案法	34.0	37.5	39.5	41.2	42.4
EZW-IP	34.0	37.5	39.5	41.1	42.4
SPIHT	33.5	37.3	39.5	41.2	42.4

表 2 再構成画像の画質結果 PSNR[dB]

Goldhill	圧縮割合 Bit Rate [bpp]				
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
提案法	29.5	31.8	33.4	34.8	36.0
EZW-IP	29.4	31.8	33.4	34.8	36.0
SPIHT	29.2	31.7	33.4	34.9	36.0

表 3 再構成画像の画質結果 PSNR[dB]

Barbara	圧縮割合 Bit Rate [bpp]				
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
提案法	27.2	30.6	33.1	35.3	37.1
EZW-IP	27.2	30.6	33.1	35.3	37.0
SPIHT	26.4	30.1	32.7	35.0	36.9

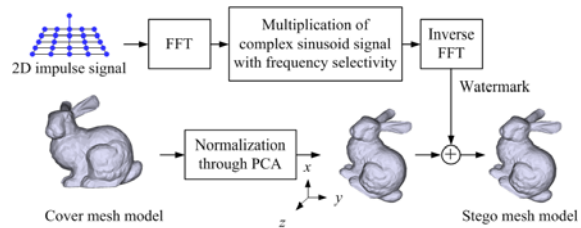
表 1~3 は、標準テスト画像の Lena・Goldhill・Barbara を提案する符号化アルゴリズムにより圧縮した画質結果を示す。なお、従来法との比較のために符号化アルゴリズム EZW-IP および SPIHT の画質結果も示す。提案法は EZW-IP および SPIHT と同等以上の PSNR 値を得ており、画像符号化における提案したセット分割予測の有効性が明らかとなった。

(2) 三次元メッシュ電子透かし

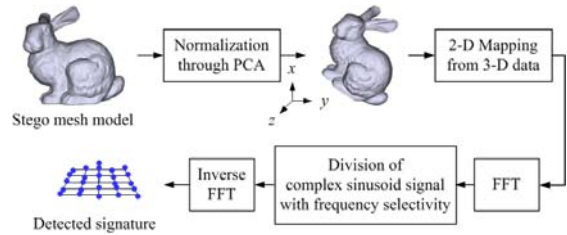
逆ウェーブレット変換を用いたウェーブレット領域の代わりに、逆高速フーリエ変換 (Inverse FFT) を用いた周波数領域において周波数選択性を実現する方法を開発した。

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。フーリエ領域において埋め込み周波数領域を指定することにより埋め込み情報量の増加または頑健性の強化が期待できる。

表 4 は、2つの提案法 Case1 および Case2 の分割サイズと埋め込み情報量を示す。なお、比較のために逆ウェーブレット変換を用いた従来法の値も示す。さらに、表 5 は加法性白色ガウス雑音の標準偏差  $\sigma$  を変化させたときに三次元モデル Stanford Bunny に埋め込んだ電子透かしの検出率を示す。表 4 および表 5 から、提案法 (Case1) は従来法よりも埋め込み情報量を増加させると、透かし検出性能が若干低下することがわかる。また、提案法 (Case2) は従来法と埋め込み情報量を同じにすると、透かし検出性能が改善することがわかる。したがって、埋め込み情報量または透



(a) 電子透かし挿入法



(b) 電子透かし抽出法

図 2 三次元メッシュ電子透かし

表 4 各手法のサイズと情報量

	分割サイズ		埋め込み情報量 [bit]
	縦	横	
提案法			
Case1	32	32	24
Case2	16	16	20
従来法	32	32	20

表 5 各手法の透かし検出割合[%]

標準偏差 $\sigma$ ( $\times 10^{-3}$ )	0	0.5	1.0	2.0
提案法				
Case1	100	91	79	64
Case2	100	99	93	86
従来法	100	96	88	76

かし検出性能の点において、提案した周波数選択性処理の有効性が明らかとなった。

(3) 直交周期複素数系列セット生成法

証明すべき関係式を3つの場合に分け、それぞれの場合において関係式が成り立つことを証明した。具体的には、偶数周期に対するチャープ系列の離散フーリエ変換に成り立つ関係式を整数論により厳密に証明した。この証明により、任意の周期において直交周期複素数系列セットが生成できることを理論的に明らかとなった。

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 2 件)

(1) Toshiyuki Uto, Yuka Takemura, Hidekazu Kamitani, and Kenji Ohue, A correlation-based watermarking technique of 3-D meshes via cyclic signal processing, IEICE Trans. on Information and Systems, 査読有, Vol. E95-D, No. 5, 2012, pp. 1272-1279.

(2) 大上健二, 宇戸寿幸, 零相互相関範囲を有する直交周期複素数系列セットの生成に用いた大上・宇戸の予想の証明, 電子情報通信学会論文誌 A, 査読有, Vol. J95-A, No. 2, 2012, pp. 230-232.

[学会発表] (計 9 件)

(1) Taichi Nonoshita, Toshiyuki Uto, Katsuhiro Ichiwara, and Kenji Ohue, A 3-D mesh watermarking with uncomplicated frequency selectivity, In Proc. of the 6th International Conference on Signal Processing and Communication Systems, 2012 年 12 月 14 日, Australia.

(2) 埜下太一, 宇戸寿幸, 大上健二, スミア変換を用いた 3 次元モデルへの電子透かし法, 平成 24 年度電気関係学会四国支部連合大会, 2012 年 9 月 29 日, 四国電力.

(3) 高木祥吾, 宇戸寿幸, 大上健二, 差分平均検出を用いた画像電子透かし法, 平成 24 年度電気関係学会四国支部連合大会, 2012 年 9 月 29 日, 四国電力.

(4) 一色良太, 宇戸寿幸, 大上健二, ラティス構造を用いたデュアルツリー複素ウェーブレット変換, 平成 24 年度電気関係学会四国支部連合大会, 2012 年 9 月 29 日, 四国電力.

(5) 桑野秀寿, 宇戸寿幸, 大上健二, 前処理・後処理フィルタバンクの設計, 平成 24 年度電気関係学会四国支部連合大会, 2012 年 9 月 29 日, 四国電力.

(6) 今村栄俊, 宇戸寿幸, 大上健二, 分割予測を用いたクワッドツリー分割に基づく画像符号化, 電子情報通信学会情報理論研究会, 2012 年 3 月 1 日, 慶應義塾大学.

(7) 埜下太一, 宇戸寿幸, 大上健二, ウェーブレット変換を用いた複素スミア音声電子透かし法, 平成 23 年度電気関係学会四国支部連合大会, 2011 年 9 月 23 日, 阿南工業高等専門学校.

(8) 一色良太, 宇戸寿幸, 大上健二, 線形位相 FIR フィルタを用いたデュアルツリー複素ウェーブレット変換, 平成 23 年度電気関係学会四国支部連合大会, 2011 年 9 月 23 日, 阿南工業高等専門学校.

(9) 桑野秀寿, 宇戸寿幸, 大上健二, 不等長非線形位相フィルタバンクの設計, 平成 23 年度電気関係学会四国支部連合大会, 2011 年 9 月 23 日, 阿南工業高等専門学校.

[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