

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 4月18日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22500083

研究課題名（和文） オールパスフィルタを用いた動画像ウェーブレット符号化

研究課題名（英文） Wavelet Video Coding Using Allpass Filters

研究代表者

張 熙 (ZHANG XI)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授

研究者番号：40251706

研究成果の概要（和文）：画像圧縮は、高度情報化社会にとって不可欠な基幹技術の一つである。本研究では、3次元ウェーブレット動画像符号化において、オールパスフィルタを用いたウェーブレット変換を空間変換として用い、さらに時間変換としてリフティング構成に動き補償技術を取り入れた符号化方式を提案した。オールパスフィルタを用いたウェーブレット変換が直交性と対称性を同時に満たすため、動画像圧縮性能が改善できることを実験より明らかにした。

研究成果の概要（英文）：Image and video compression is one of very important fundamental techniques for advanced information society. In this study, we have proposed a new scheme of 3D wavelet video coding, where the allpass-based wavelets are used as spatial transform, and the lifting scheme combined with motion compensation as temporal transform. We have shown from the experimental results that the allpass-based orthogonal symmetric wavelets can outperform the conventional wavelets.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：マルチメディア・動画像圧縮

## 1. 研究開始当初の背景

現代の高度情報化社会にとって、音声や画像といったマルチメディアの蓄積や伝送技術は、必須の技術となっている。デジタル技術の高度化に伴い、音声や画像等の高精細化より、その情報量は、爆発的に増加していく。特に、デジタル画像は、他のメディアに比較して、情報量がきわめて膨大である。そのため、デジタル画像を伝送・蓄積する際、何らかの方法で圧縮し、情報量を削減す

る必要がある。従って、画像符号化技術は、高度情報化社会にとって不可欠な基幹技術の一つであり、その技術開発は、益々重要となっていく。

デジタル画像には、静止画像と動画像がある。静止画像圧縮に関しては、ウェーブレット変換を用いた符号化技術が静止画像圧縮の国際規格 JPEG 2000 に採用され、従来の国際規格 JPEG より優れた圧縮性能が得られた。一方、動画像の情報量は、静止画像

に比べ、莫大である。動画像圧縮に関しては、国際規格 MPEG があるが、JPEG と同様に離散コサイン変換 (DCT) が使われ、また、時間相関を低減させるため、動き補償技術を用いて、情報量を削減している。近年、JPEG 2000 の成功を受け、動画像圧縮にウェーブレット変換を適用して圧縮性能を向上させる研究が多く見られるようになった。その中で、空間と時間変換の両方において、ウェーブレット変換を用いる符号化方式は 3D ウェーブレット符号化と呼ばれる。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、3D ウェーブレット符号化方式に、オールパスフィルタを用いた直交対称ウェーブレット変換を適用し、シフト変動によるエイリアシング成分の影響を抑制して、動画像圧縮性能を改善することである。

従来の動画像ウェーブレット符号化技術では、最も単純な方法は、空間変換において、DCT の代わりに、ウェーブレット変換を使用してブロック歪を改善するものである。さらに、時間変換においても、ウェーブレット変換を用いて、時間方向の相関を低減させることで、情報量の削減が図られる。よって、3D ウェーブレット符号化方式は、時空間の相関を同時に利用することにより、動画像の圧縮性能が改善できる。しかし、従来の研究では、ほとんどの場合、FIR ウェーブレットフィルタが使用されている。本研究では、当研究室で開発したオールパスフィルタを用いた IIR ウェーブレットフィルタを動画像圧縮に適用し、更なる圧縮性能の向上を目指す。

オールパスフィルタを用いた IIR ウェーブレットフィルタは、従来の FIR ウェーブレットフィルタが実現できなかった直交性と対称性を同時に実現することができる。そのため、IIR ウェーブレットフィルタを静止画像圧縮に適用すると、JPEG 2000 を上回る画像ロシー・ロスロス圧縮性能が達成できた。

## 3. 研究の方法

図 1 に 3D ウェーブレット符号化方式の枠組みを示す。3D ウェーブレット符号化では、動画像の空間・時間方向にウェーブレット変換を適用し、得られたウェーブレット係数に対し、量子化とエントロピー符号化を行うことで、ビットストリームを得る。3D ウェーブレット動画像符号化は、空間・時間変換の順序により、 $t+2D$  と  $2D+t$  の 2 種類がある。 $t+2D$

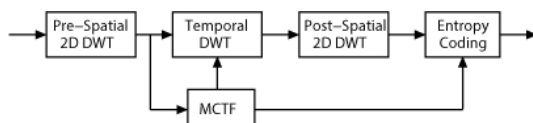


図 1 3D ウェーブレット符号化方式

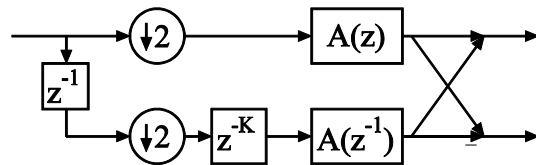


図 2 オールパスフィルタを用いた IIR ウェーブレットフィルタ

は、先に動き補償を含んだ時間変換を行い、次に空間変換を行う。動き補償が最大解像度空間上で行われるため、符号化効率には優れているが、動きベクトルがスケラブルではない。一方、 $2D+t$  は、先に空間変換を行い、次に空間サブバンド上で動き補償等の時間変換を行う。そのため、シフト変動によるエイリアシング成分の影響で、動き予測と補償が複雑になり、符号化効率が低下する。また、空間変換には、D-9/7 ウェーブレットフィルタ、時間変換には、動き補償を含む D-5/3 ウェーブレットフィルタが一般に利用されている。

本研究では、空間変換に、当研究室で開発したオールパスフィルタを用いたウェーブレット変換を使用する。このウェーブレット変換の低域と高域通過フィルタは、図 2 に示され、直交性と対称性を同時に満たしている。図 2 では、 $A(z)$  はオールパスフィルタである。オールパスフィルタは全周波数帯にわたり、その振幅が一定であり、位相のみが変化する IIR フィルタである。本研究では、振幅特性の平坦度を変化させて設計したフィルタを用いる。2次のオールパスフィルタを用いて設計した低域と高域通過フィルタの振幅特性を図 3 に示す。図 3 より、設計したウェーブレットフィルタは、従来の D-9/7 フィルタと比較して、より良い振幅特性を得られることが分かる。また、阻止域の帯域幅を変化させることで、最大平坦フィルタと比較して、振幅特性が急峻となり、エイリアシング成分が小さく、同時に、阻止域における誤差が大きくなることが分かる。

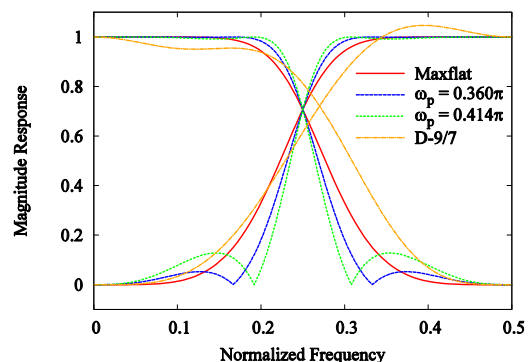


図 3 ウェーブレットフィルタの振幅特性

本研究では、空間変換に直交対称ウェーブレットフィルタを使用することで、符号化においてより効率的な空間相関の利用を行う。また、直交対称ウェーブレット変換はD-9/7フィルタよりもエイリアシング成分が小さいので、低解像度復号時に動き補償で生じる誤差を抑えることができる。この復号誤差は、t+2Dでは最大解像度で動き推定を行うため、動きベクトルがスケーラブルではないことに起因する。一般的に、t+2Dの低解像度再生では、動きベクトルをスケーリングする手法が用いられる。しかし、サンプリングレート変換のための間引き処理により、ウェーブレット変換は、シフト不変性が欠如する。そのため、スケーリングした動きベクトルは、空間サブバンドでは必ずしも一致せず、復号誤差が増加することで画質が低下する。また、スケーリングを用いる際、高精度の内挿フィルタも必要となる。これらの問題を解決するために、動きベクトルをスケーリングせずに、動画を低解像度で再生する手法を提案する。本手法では、低解像度画像（空間サブバンド）を最大解像度まで逆変換してから動き補償を行い、再度所望の解像度まで空間ウェーブレット分解することで、低解像度の再生動画を再生する。動きベクトルに合わせて空間サブバンドを再構成するため、シフト不変性の欠如による動きベクトルと空間サブバンドとの“ずれ”の影響を抑えることができる。

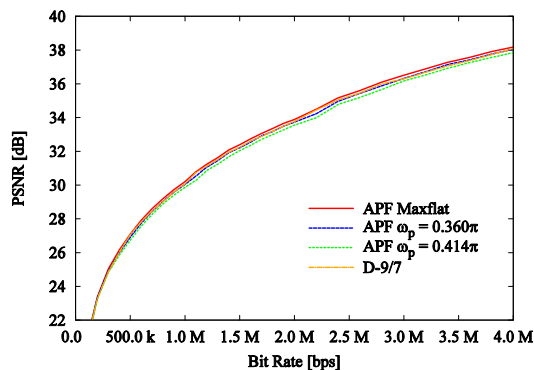


図4 最大解像度での圧縮性能比較(Bus)

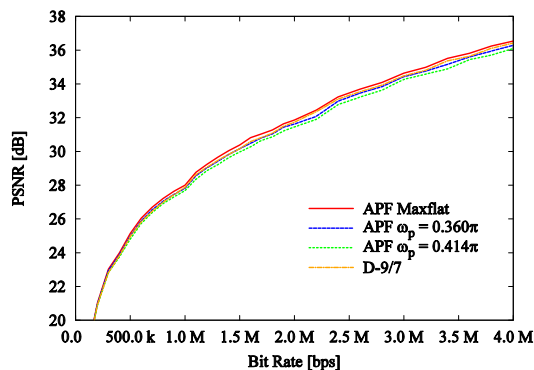


図5 最大解像度での圧縮性能比較(Mobile)

#### 4. 研究成果

動画コーデックであるMC-EZBCにオールパスフィルタを用いた直交対称ウェーブレット変換を実装し、テスト動画 Mobile や Bus (CIF, 30fps) 等を用いて動画圧縮性能を調査した。本実験では、空間分解レベルを5、時間分解レベルを4とし、動き補償の精度を1/4画素とした。

図4と図5にそれぞれ最大解像度での圧縮性能の実験結果を示す。最大解像度では、最大平坦フィルタが最も良く、D-9/7などの他のフィルタは、ほぼ同等の実験結果を得られた。また、図6～図9にそれぞれ低解像度での圧縮性能の実験結果を示す。図6と図7から、低解像度での動き補償より、最大解像度まで逆変換してから動き補償を行ったほうが良い性能を得られることが分かる。また、図8と図9より、エイリアシング成分が小さいフィルタの方がより良い性能を得られることが分かる。

これらの実験結果より、最大解像度と低解像度ともに、オールパスフィルタを直交対称ウェーブレット変換は、従来のD-9/7フィルタよりもエイリアシングを低減でき、圧縮性能が向上できることが分かる。特に、低解像度画像において、画質向上に非常に効果的であることを示している。

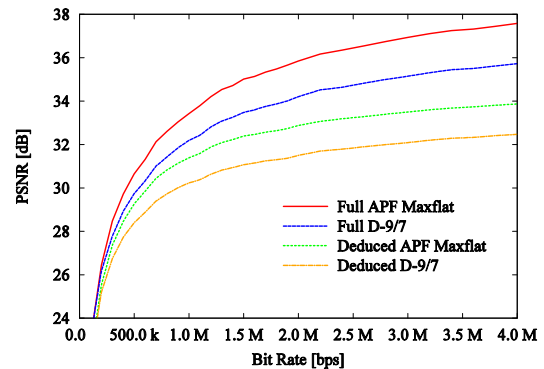


図6 低解像度での圧縮性能比較(Bus)

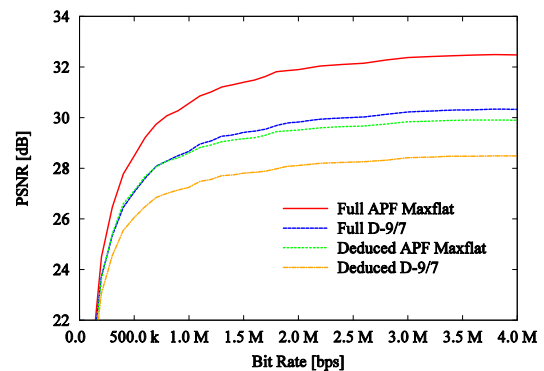


図7 低解像度での圧縮性能比較(Mobile)

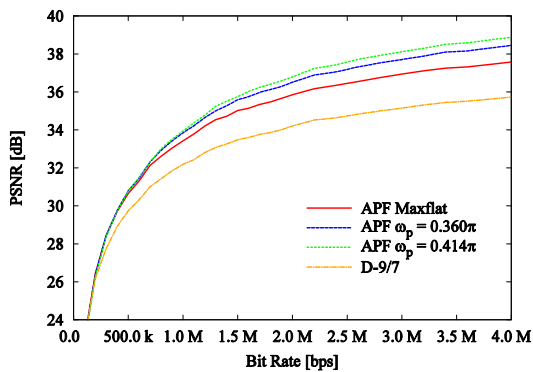


図 8 低解像度での圧縮性能比較 (Bus)

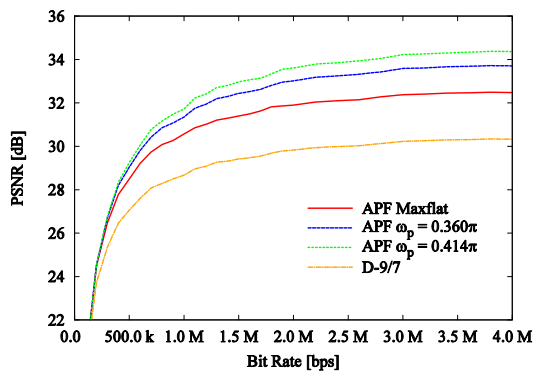


図 9 低解像度での圧縮性能比較 (Mobile)

## 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 D. W. Wang、X. Zhang、IIR-based DTCWTs with Improved Analyticity and Frequency Selectivity、IEEE Trans. Signal Processing、査読有、Vol. 60、No. 11、2012、5764–5774.  
DOI: 10. 1109/TSP. 2012. 2212893
- ② X. Zhang、A New Phase-Factor Design Method for Hilbert-Pairs of Orthonormal Wavelets、IEEE Signal Processing Letters、査読有、Vol. 18、No. 9、2011、529–532.  
DOI: 10. 1109/LSP. 2011. 2162235

[学会発表] (計 20 件)

- ① 鈴木拓也、張熙、エイリアシング低減による 3D ウェーブレット動画像符号化の低解像度再生時の画質改善、第 14 回 DSPS 教育会議、2012 年 9 月 7 日、東京。
- ② X. Zhang、H. Morihara、Design of Q-Shift Filters With Flat Group Delay、ISCAS 2012、2012 年 5 月 23 日、Seoul、Korea。

- ③ D. W. Wang、X. Zhang、Performance Investigation on DTCWT Based on the Common Factor Technique、ICASSP 2012、2012 年 3 月 27 日、京都。
- ④ 小山田寛史、張熙、3 次元ウェーブレットを用いた動画像のスケラブル符号化、電子情報通信学会画像工学研究会、IE2011-94、2011 年 12 月 16 日、名古屋。
- ⑤ X. Zhang、Design of Q-Shift Filters With Improved Vanishing Moments For DTCWT、ICIP 2011、2011 年 9 月 14 日、Brussels、Belgium。
- ⑥ X. Zhang、Design of Hilbert Transform Pairs of Orthonormal Wavelet Bases with Improved Analyticity、ICASSP 2011、2011 年 5 月 27 日、Prague、Czech Republic。
- ⑦ X. Zhang、A. Tanaka、Flicker Reduction for Motion JPEG2000 Using Wavelet Thresholding、ICIP 2010、2010 年 9 月 28 日、Hong Kong。

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 画像処理プログラム及び画像処理装置

発明者: 張 熙

権利者: 電気通信大学

種類: 特許

番号: 特願 2011-263271

出願年月日: 2011 年 12 月 1 日

国内外の別: 国内

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

張 熙 (ZHANG XI)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授

研究者番号: 40251706