

早稲田大学大学院 基幹理工学研究科

博士論文概要

論文題目

超高精細映像の映像方式変換と
その応用に関する研究

Video Conversion Methods and
Their Application for Ultra High-definition
Television

申請者

松尾	康孝
Yasutaka	MATSUO

情報理工学専攻 画像情報研究

2013年12月

近年、高精細映像として、映画では 4K の水平解像度を持つデジタルシネマが開発された。またテレビジョンでは 8K の水平解像度を持つスーパーハイビジョンが開発されている。水平解像度 8K、フレームレート 120P、階調 12bit のスーパーハイビジョンでデジタルシネマ映像等を放送するには、映像方式変換を高画質に行う必要がある。映像方式変換は、古くから NTSC、PAL、SECAM 方式などの各国間で異なる映像方式を変換する目的で研究開発されてきた。例えば PAL 方式の映像を NTSC 方式に変換するには、走査線数やフレームレート変換が必要である。他にも映画をテレビジョンで放送するために、フレームレート変換法として 2-3 プルダウン方式などが開発された。また近年では、ハイビジョンテレビでの DVD 映像の視聴、4K テレビでのハイビジョン放送の視聴のために、「超解像技術」が盛んに研究開発されている。映像方式変換では、古くは空間、時間方向の線形フィルタ処理が用いられてきた。しかし単純な線形フィルタ処理では、画像のぼやけ等の劣化は避けられない。このため近年では、時間方向処理としてフレーム間の動き情報を用いた動き補償フレーム内挿技術等が開発された。また空間方向処理として、エッジ領域に最適な高周波補償を行う超解像技術、フレーム間の位置合わせを行い、解像度を高める超解像技術等が開発されている。

さてスーパーハイビジョン映像の特徴として、高解像度、高フレームレート、高ビット深度という点があげられる。さらに高精細映像は、同一フレーム内に多くのオブジェクトが含まれる等の映像特徴を持つ。そしてデジタル映像では、単板撮像素子にカラーフィルタを用いた Bayer 型画素構造が用いられる場合があるなど、画素構造も変化している。これより高精細映像の映像方式変換では、上記を考慮した変換方法の検討が有効である。そこで本論文では、第 2、3 章で線形フィルタ処理では画質劣化の大きい時間、空間解像度方向の映像方式変換を提案する。そして第 4、5 章では、映像方式変換の応用として、空間解像度、階調方向の映像方式変換を用いた高圧縮映像符号化方法を提案する。

第 2 章では、時間方向の映像方式変換方法を提案する。第 2.1 節では、時間方向の映像方式変換の全体概要を説明する。そして第 2.2 節では、時間軸双方向の動き補正内挿法を提案する。ここでデジタルシネマやスーパーハイビジョンなどの高精細映像は数十画素／フレームから百画素／フレームを超える大きなフレーム間動き量を持ち、動き量が大きい画像ほど動きぼやけによる空間高周波帯域成分のパワー低下が大きいことから、高精細映像ではフレーム間動き量や動きぼやけ量が大きくフレーム間相関が低いため、動き補償フレーム内挿が難しい。また高精細映像の動きベクトル検出を行う際は、大きなブロックサイズと動き探索範囲を用いるのが有効である。これよりフレームレート変換では、動き補償内挿技術を用いて、フレーム間動き量と動きぼやけ量が大きい高精細映像の動き検出を高精度かつ高確度に行うために、双方向動き検出とその動き検出確度を高め

た方法を提案する。さらに Bayer 型画素構造を持つ画像における動き検出精度と確度を高める方法を提案する。この Bayer 型画素構造の緑色信号は、赤や青色信号よりも高い水平、垂直方向の標本化周波数を持つ。そこで動き量が極小の場合は、緑色信号で得た動きベクトルを赤、青色信号に適用する事を特徴とする方法を提案する。さらに各色間の動きベクトルを用いて動き検出確度を判定し、その確度を高めることを特徴とする方法を提案する。

第3章では、空間方向の映像方式変換方法を提案する。第3.1節では画像の持つ周波数スペクトルは低周波から高周波にわたって滑らかに変化することに着目して、原画像の Wavelet 分解をデシメーション無しで行い、その空間高周波成分を空間高周波帯域、原画像を空間低周波帯域にセットして Wavelet 再構成することで空間超解像画像を得る方法を提案する。この方法では、原画像を Wavelet 分解した高周波帯域に、波形整形のための bilateral フィルタを畳み込み、その分散値を変化させるパラメータ最適化を行う。このパラメータ最適化では、超解像と縮小処理が理想的に行えるならば原画像と超解像画像を水平、垂直、斜め方向に1画素ずつ位相をずらして縮小した4枚の縮小画像の差分はゼロになることを用いて、原画像を基準に最適な Wavelet フィルタパラメータを選択する。第3.2節では、高精細画像が持つ同一フレーム内での自己相似性の高さに着目して、原画像の n 階 Wavelet 分解を行い、n 階空間低周波帯域をブロック領域分割して原画像とのブロックマッチングにより動きベクトルを検出し、そのブロック領域の n 階空間高周波帯域の成分を原画像の標本化周波数を超える空間高周波帯域の当該空間位置に割り付けていき、最後に割り付けた空間高周波帯域成分を空間高周波帯域、原画像を空間低周波帯域にセットして Wavelet 再構成することで空間超解像画像を得る方法を提案する。このパラメータ最適化でも第3.1節と同様の方法で、割り付けた空間高周波帯域に波形整形のための bilateral フィルタを畳み込んで、その分散値を変化させるパラメータ最適化を行う。

第4章では、映像方式変換の応用として、空間方向の映像方式変換を用いた映像符号化方法を提案する。全体の処理としては、まず従来符号化の前段で空間解像度縮小を行い、符号化効率の向上を図る。そして従来復号の後段で空間超解像復元を行う。さらに符号化側で局部復号した画像を復号側と同様にローカルに空間超解像復元して、原画像を基準に空間超解像復元フィルタを最適化して、これをサイド情報として復号側へ伝送する事を特徴とする。これにより、復号側の空間超解像復元を高精度かつ高安定に行う事ができる。空間解像度縮小では、原画像を Wavelet 分解して、その空間低周波帯域成分を整数化する事で空間解像度縮小画像を得る。ここで Wavelet フィルタは可変とする。また空間超解像復元では、復号された空間解像度縮小画像を第3.1節の方法で空間超解像復元する。ここで Wavelet フィルタと波形整形のための bilateral フィルタの分散値は可変とす

る。そしてこのパラメータ最適化では、原画像と空間超解像復元画像の差分合計が最小となる空間解像度縮小の Wavelet フィルタと、空間超解像復元の Wavelet フィルタおよび bilateral フィルタ分散値を選択する。そして選択された Wavelet フィルタを用いて原画像を空間解像度縮小した画像を符号化して復号側へ伝送するとともに、空間超解像復元の Wavelet フィルタおよび bilateral フィルタをサイド情報として復号側へ伝送する。

第5章では、映像方式変換の応用として、階調方向の映像方式変換を用いた映像符号化方法を提案する。全体の処理としては、まず従来符号化の前段で階調削減を行い、符号化効率の向上を図る。そして従来復号の後段で階調復元を行う。さらに符号化側で局部復号した画像を復号側と同様にローカルに階調復元して、原画像を基準に階調復元フィルタを最適化して、これをサイド情報として復号側へ伝送する事を特徴とする。これにより、復号側の階調復元を高精度かつ高安定に行う事ができる。階調削減では、符号化効率向上と疑似輪郭抑制のため、雑音除去してグラデーション領域を保存する Lloyd-Max 量子化を行う。Lloyd-Max 量子化では、原画像の雑音除去画像とグラデーション領域画像を初期トレーニングセットとして用いる。雑音除去画像生成では、CMOS 撮像素子など固体半導体素子を持つカメラで撮影されたスーパーハイビジョンやデジタルシネマ映像はほぼ白色雑音を持つため、映像信号を空間方向に Wavelet 分解した空間高周波帯域の孤立点成分はほぼ白色雑音成分であることから雑音レベルを解析して、この雑音レベルを用いて原画像の Wavelet shrinkage 雑音除去を行う。ここで Wavelet フィルタは可変とする。グラデーション領域検出では、映像信号を空間方向に Wavelet 分解した空間低周波帯域をグラデーション領域画像として得る。階調復元では bilateral フィルタを用いて、周辺画素値と滑らかに繋がるような階調補間を行う。ここで bilateral フィルタの分散値は可変とする。そして Wavelet フィルタと bilateral フィルタの分散値を第4章の方法と同じようにパラメータ最適化を行い、選択された Wavelet フィルタを用いて原画像を階調削減した画像を符号化して復号側へ伝送するとともに、階調復元の Wavelet フィルタおよび bilateral フィルタをサイド情報として復号側へ伝送する。

以上で述べたように、本研究では将来のスーパーハイビジョン放送でデジタルシネマ等の高精細映像を放送するために、はじめに時間、空間方向の映像方式変換方法を提案した。これらの提案方法を用いることで、将来のスーパーハイビジョン放送でデジタルシネマ等のコンテンツを楽しむことができるばかりではなく、異なる高精細映像フォーマットで撮影した映像コンテンツの相互利用が可能となる。さらに空間、階調方向の映像方式変換を用いた高圧縮映像符号化を行う事で、非常に情報量の多いスーパーハイビジョン映像を、家庭や携帯端末に放送や通信インフラを用いて多チャンネル伝送するサービスの実現が期待できる。

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

氏名 松尾 康孝 印

(2013年11月 現在)

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
○論文	松尾康孝 , 矢野澄男, “4000本級超高精細映像を用いた24フレーム/秒の高精細映像へのフレームレート変換方の検討”, <i>電子情報通信学会論文誌 D</i> , vol. J91-D, no. 2, 2008, pp. 471-483 (フルペーパー)
○論文	Y. Matsuo and S. Yano, “Conversion from Ultrahigh-definition Video with Bayer-sampling to Digital Cinema by Using Time-expanded Bi-directional Motion Estimation”, <i>IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology</i> , vol. 20, no. 1, 2010, pp. 65-75 (フルペーパー)
○論文	松尾康孝 , 高田涼生, 岩崎真也, 甲藤二郎, “デジタルシネマ画像が持つ雑音成分を考慮したウェーブレット多重解像度解析成分のレジストレーションによる画像超解像”, <i>映像情報メディア学会誌</i> , vol. 68, no. 2, pp. J92-J98, Feb. 2014 (フルペーパー)
論文	M. Sugawara, K. Masaoka, M. Emoto, Y. Matsuo and Y. Nojiri, “Research on Human Factors in Ultra-high-definition Television to Determine its Specifications”, <i>SMPTE Motion Imaging Journal</i> , vol. 117, no. 3, 2008, pp. 23-29 (フルペーパー)
論文	松尾康孝 , 三須俊枝, 境田慎一, 鹿喰善明, “超高精細映像の高精度レジストレーション手法の一検討”, <i>電子情報通信学会誌 D</i> , vol. J93-D, no. 9, 2010, pp. 1675-1678 (レター)
論文	竹内健, 山村勇太, 松尾康孝 , 甲藤二郎, “グラデーション補間を用いたビット深度スケラブル動画像符号化方式の検討”, <i>電子情報通信学会誌 D</i> , vol. J95-D, no. 9, 2012, pp. 1669-1671 (レター)
論文	岩崎真也, 山村勇太, 松尾康孝 , 甲藤二郎, “奥行き情報を用いたオクルージョン検出による符号化画質改善の一検討”, <i>電子情報通信学会誌 D</i> , vol. J96-D, no. 9, 2013, pp. 1975-1977 (レター)
○国際会議	Y. Matsuo , Y. Nishida, S. Gohshi and S. Sakaida, “Reducing noise in high-resolution video sequences by using Wavelet Shrinkage in the Temporal-spatial Domain”, <i>Picture Coding Symposium (Chicago, U.S.A.)</i> , 2009, pp. 1-4 (採択率 < 50%)
○国際会議	Y. Matsuo , T. Misu, S. Sakaida and Y. Shishikui, “Video Coding with Wavelet Image Size Reduction and Wavelet Super Resolution Reconstruction”, <i>IEEE International Conference on Image Processing (Brussels, Belgium)</i> , MP.PG.6, 2011, pp. 1181-1184 (採択率 40.8%)
○国際会議	松尾康孝 , 岩崎真也, 山村勇太, 甲藤二郎, “ウェーブレット多重解像度成分のレジストレーションによるデジタルシネマから超高精細映像への空間超解像法の検討”, <i>第11回情報科学技術フォーラム (FIT2012) (Tokyo, Japan)</i> (査読付論文, 国際会議扱) (FIT論文賞受賞), no. 3, RI-001, 2012, pp. 1-6 (採択率 8.3% (1/12件))
○国際会議	Y. Matsuo , S. Iwasaki, Y. Yamamura and J. Katto, “Wavelet Domain Image Super-resolution from Digital Cinema to Ultrahigh Definition Television by Dividing Noise Component”, <i>Proceedings of IEEE VCIP (San Diego, U.S.A.)</i> , H05, no. 40, 2012 (採択率 49.8%)
○国際会議	Y. Matsuo , S. Iwasaki, Y. Yamamura and J. Katto, “Image Super-resolution using Registration of Wavelet Multi-scale Components considering Digital Cinema Noise”, <i>Proceedings of IEEE ICCE (Las Vegas, U.S.A.)</i> , pp. 163-164, 2013, pp. 163-164 (採択率 50.6%)
○国際会議	Y. Matsuo , T. Misu, S. Iwamura and S. Sakaida, “Ultra High-definition Video Coding using Bit-depth Reduction with Noise Reduction and Pseudo Contour Prevention”, <i>Proceedings of IEEE VCIP (Kuching, Malaysia)</i> , FP, no. 489, 2013 (採択率 < 50%)

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
○国際 会議	<u>Y. Matsuo</u> , R. Takada, S. Iwasaki and J. Katto, “Image Super-resolution Using Registration of Wavelet Multi-scale Components with Affine Transformation”, <i>Proceedings of IEEE ISM (Anaheim, U. S. A.)</i> , IVQ, 2013 (採択率 24.2% (31/128 件))
国際 会議	T. Misu, <u>Y. Matsuo</u> , S. Sakaida, Y. Shishiku and E. Nakasu, “Novel Video Coding Paradigm with Reduction/Restoration Processes”, <i>Picture Coding Symposium (Nagoya, Japan)</i> , S2-2, 2010, pp.466-469
国際 会議	T. Misu, <u>Y. Matsuo</u> , S. Sakaida and Y. Shishikui, “Novel Framework for Single/Multi-Frame Super-Resolution using Sequential Monte Carlo Method”, <i>ACM Multimedia (Firenze, Italy)</i> , 2010, pp.771-774
国際 会議	M. Takeuchi, <u>Y. Matsuo</u> , Y. Yamamura and J. Katto, “A Bit-depth Scalable Video Coding Approach Considering Spatial Gradation Restoration”, <i>Proceedings of IEEE ICASSP (Kyoto, Japan)</i> , IVMS-P10.8, 2012, pp.1373-1376
国際 会議	T. Misu, <u>Y. Matsuo</u> , S. Sakaida and Y. Shishikui, “Motion-adaptive Sub-Nyquist Sampling Technique for Multi-Frame Super-Resolution”, <i>Proceedings of IEEE PCS (Krakow, Poland)</i> , P3b-1, 2012, pp.321-324
国際 会議	T. Misu, <u>Y. Matsuo</u> , S. Iwamura and S. Sakaida, “Reconstructive Video Coding System - Broadcasting UHDTV to homes with the aid of Super-resolution Technique”, <i>Proceedings of IEEE GCCE (Chiba, Japan)</i> , 2012, pp.558-560
国際 会議	Y. Yamamura, S. Iwasaki, <u>Y. Matsuo</u> and J. Katto, “Quality Assessment of Compressed Video Sequences having Blocking Artifacts”, <i>Proceedings of IEEE ICCE (Las Vegas, U. S. A.)</i> , 2013, pp.496-497
国際 会議	T. Misu, <u>Y. Matsuo</u> , S. Iwamura and S. Sakaida, “Real-time Implementation of UHDTV Video Coding System with Super-resolution Technique”, <i>Proceedings of IEEE PCS (San Jose, U. S. A.)</i> , 2013
国際 会議	S. Iwasaki, R. Takada, <u>Y. Matsuo</u> and J. Katto, “Improvement of 2-D Picture Quality for H.265/HEVC by Occluded Region Detection Using 3-D Depth Map”, <i>Proceedings of IEEE ICCE (Las Vegas, U. S. A.)</i> , 2014
講演	<u>松尾康孝</u> , 岩崎真也, 山村勇太, 甲藤二郎, “デジタルシネマ画像が持つ雑音を考慮したウェーブレット多重解像度解析成分のレジストレーションによる画像超解像法の検討”, <i>映像情報メディア学会技術報告</i> , vol.37, no.10, CE2013-8, MMS2013-8, 2013, pp.11-14
講演	<u>松尾康孝</u> , 三須俊枝, 岩村俊輔, 境田慎一, “空間階調削減と復元を用いた超解像復元型符号化の検討”, <i>画像符号化シンポジウム (PCSJ)</i> , P-2-03, 2013 (PCSJ ベストポスター賞受賞)
講演	<u>松尾康孝</u> , 三須俊枝, 岩村俊輔, 境田慎一, “パラメータ最適化を伴う階調削減と階調復元を用いた超高精細映像符号化の検討”, <i>画像符号化シンポジウム (PCSJ)</i> , P-1-01, 2012
講演	<u>松尾康孝</u> , 三須俊枝, 境田慎一, 鹿喰善明, “超高精細映像の高精度レジストレーション手法の一検討”, <i>映像メディア処理シンポジウム (IMPS)</i> , I-5-22, 2009
講演	岩崎真也, 高田涼生, <u>松尾康孝</u> , 甲藤二郎, “奥行き情報を用いた H.265/HEVC の 2 次元符号化画質改善の検討”, <i>画像符号化シンポジウム (PCSJ)</i> , P-1-01, 2013
講演	岩村俊輔, <u>松尾康孝</u> , 三須俊枝, 境田慎一, “色・時間相関を考慮したフレーム時間分割による映像符号化の検討”, <i>画像符号化シンポジウム (PCSJ)</i> , P-4-04, 2012
講演	岩崎真也, 山村勇太, <u>松尾康孝</u> , 甲藤二郎, “奥行き情報を用いたオクルージョン検出による符号化画質改善の一検討”, <i>画像符号化シンポジウム (PCSJ)</i> , P-4-11, 2012

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
講演	三須俊枝, 松尾康孝 , 岩村俊輔, 境田慎一, “複数枚超解像による画像復元型符号化方式のための折り返し歪付加 一周波数応答および遮断周波数の設計”, <i>電子情報通信学会技術報告 IE 画像工学</i> , vol.112, no.20, IE2012-6, 2012, pp.29-34
講演	山村勇太, 竹内健, 松尾康孝 , 甲藤二郎, “ケプストラム解析を用いたブロック歪みを有する画像の画質評価手法”, <i>画像符号化シンポジウム (PCSJ)</i> , P-2-06, 2011
講演	松尾康孝 , 三須俊枝, 岩村俊輔, 境田慎一, “雑音除去およびグラデーション保存を考慮した階調削減と階調復元を用いた超高精細映像符号化の検討”, <i>映像情報メディア学会年次大会講演予稿集</i> , 3-1, 2012
講演	松尾康孝 , 山村勇太, 竹内健, 甲藤二郎, “パラメータ最適化によるデジタルシネマから超高精細映像への超解像法の検討”, <i>電子情報通信学会年次大会</i> , D-11-19, 2012, pp.19
講演	松尾康孝 , 山村勇太, 竹内健, 甲藤二郎, “デジタルシネマから超高精細映像への画像超解像法の一検討”, <i>映像情報メディア学会冬期大会</i> , 1-4, 2011
講演	松尾康孝 , 三須俊枝, 境田慎一, 鹿喰善明, “ウェーブレット超解像に基づく超高精細映像符号化の検討”, <i>映像情報メディア学会年次大会</i> , 14-10, 2010 (鈴木記念奨励賞受賞)
講演	松尾康孝 , 西田幸博, 合志清一, “時空間 Wavelet Shrinkage による高精細動画の雑音除去法の検討”, <i>情報科学技術フォーラム</i> , no.3, I-089, 2008, pp.389-390 (FIT ヤングリサーチャー賞受賞)
講演	松尾康孝 , 江本正喜, 菅原正幸, “広視野映像システムに必要なフレーム周波数の検討 一横方向動体視力の視角依存性一”, <i>情報科学技術フォーラム</i> , no.3, J-015, 2007, pp.419-420
講演	松尾康孝 , 三谷公二, 矢野澄男, “デジタルシネマからスーパーハイビジョンへの空間解像度変換”, <i>電子情報通信学会総合大会</i> , D-11-52, 2007, pp.52 (電子情報通信学会学術奨励賞受賞)
講演	松尾康孝 , 矢野澄男, “BAYER 型画素構造のスーパーハイビジョンからデジタルシネマへの方式変換”, <i>電子情報通信学会総合大会</i> , D-11-59, 2006, pp.59
講演	松尾康孝 , 矢野澄男, “双方向動きベクトル検出を用いた 60/24 フレーム数変換”, <i>映像情報メディア学会冬期大会</i> , 10-4, 2005
寄稿	泉本貴広, 東島健太郎, サイモンクリッピングデル, 村山研一, 袴田佳孝, 松尾康孝 , 関口俊一, “CES2013, ICCE2013 レポート”, <i>映像情報メディア学会誌</i> , vol.67, no.5, 2013, pp.387-391
寄稿	Y. Matsuo , “2011 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP2011)”, <i>電子情報通信学会誌</i> , vol.95, no.2, 2012, pp.184
規格化	Y. Shishikui, Y. Matsuo , A. Ichigaya, K. Iguchi and S. Sakaida, “Characteristics of Super Hi-Vision test sequences”, <i>JCT-VC of ITU-T SG16 WP3 and ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 3rd meeting (Guangzhou, China)</i> , JCTVC-C032/m18053, 2010、
規格化	S. Sakaida, Y. Shishikui, A. Ichigaya, Y. Matsuo , K. Iguchi and T. Toyoda, “7680 × 4320 format test sequences for JCT-VC”, <i>JCT-VC of ITU-T SG16 WP3 and ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 1st meeting (Dresden, Germany)</i> , JCTVC-A023, 2010
規格化	S. Sakaida, A. Ichigaya, Y. Matsuo , T. Toyoda, K. Iguchi and Y. Shishikui, “7680 × 4320 format test sequences for HVC”, <i>ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 (MPEG) 91st meeting (Kyoto, Japan)</i> , MPEG2010/M17173, 2010
	上記の他、講演 8 件、寄稿 1 件、特許出願 55 件（筆頭発明者分）