

博士論文審査報告書

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

2014年2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。

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。また、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している。また第 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している。

第 1 章では、本論文の背景と目的を述べている。

第 2 章では、時間方向の映像方式変換方法を提案している。第 2.1 節では、時間方向の映像方式変換の概要を説明している。第 2.2 節では、時間軸双方向の動き補正内挿法を提案している。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く、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。そこで本節では、動き補償内挿技術を用いて、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している。また、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も提案している。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している。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も提案している。

第3章では、空間方向の映像方式変換方法を提案している。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注目して、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している。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っている。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している。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、原画像は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している。この方式でも第3.1節と同様に、空間高周波帯域に波形整形のための bilateral フィルタを畳み込み、分散値を変化させるパラメータ最適化を行っている。

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している。全体の処理として、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り、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する際に、原画像を基準に復元フィルタを最適化し、これをサイド情報として復号側へ伝送する事を特徴としている。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、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ている。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している。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であり、原画像と空間超解像復元画像の差分合計が最小となるような Wavelet フィルタと bilateral フィルタの分散値を選択している。そして選択された Wavelet フィルタを用いて原画像を縮小し、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している。

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している。全体の処理として、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り、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、これをサイド情報として復号側へ伝送する。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高精細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から雑音レベルを解析し、この雑音レベルを用いて原画像の **Wavelet shrinkage** 雑音除去を行う。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。そして **Wavelet** フィルタと **bilateral** フィルタの分散値を最適化し、選択された **Wavelet** フィルタを用いて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、選択された **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6章では、本論文の総括と今後の課題についてまとめている。

以上を要するに、本論文では、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の時間、空間方向の映像方式変換方法、および、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方法を提案した。これらの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。また、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。これらは将来のスーパーハイビジョン放送の発展に寄与するところが大きい。よって、本論文は、博士（工学）早稲田大学の学位論文として価値あるものと認める。

2014年2月

審査員

主査	早稲田大学教授	博士（工学）（東京大学）	甲藤 二郎
	早稲田大学教授	Ph.D（New York Univ.）	石川 博
	早稲田大学教授	工学博士（北海道大学）	渡辺 裕