

Motion JPEG2000 映像配信のためのマルチ解像度変換法

田邊 集[†] 石川孝明^{††} 渡辺 裕^{††} 富永英義^{††}

[†] 早稲田大学 大学院 理工学研究科

〒 1169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1

^{††} 早稲田大学 大学院 国際情報通信研究科

〒 169-0051 東京都新宿区西早稲田 1-3-10

E-mail: †shu@tom.comm.waseda.ac.jp

あらまし デジタルシネマや HDTV などの超高解像度映像に対する符号化方式として Motion JPEG2000 への期待が高まっている。Motion JPEG2000 で用いられている DWT (Discrete Wavelet Transform) では、低域成分のみを用いてデコードすることで空間スケーラビリティを容易に実現できる。しかし、実際に用いられている DWT フィルタは、現在解像度変換に用いられているデシメーションフィルタと比べると性能が悪い。また $1/2^n$ のサイズのみの実現可能なので任意サイズに対応した解像度変換が実現できないという問題点がある。また、基礎実験から、DWT フィルタとデシメーションフィルタを組み合わせると画質が保たれる場合があるという結果が得られた。これを元に、本研究ではデコーダの内部で縮小率によって解像度変換手法を選択するマルチ解像度変換手法を提案する。

キーワード Motion JPEG2000, wavelet 変換, 解像度変換, デシメーション, ダウンコンバート, ローパスフィルタ

A multi re-sampling method for video distribution by Motion JPEG2000

Shu TANABE[†], Takaaki ISHIKAWA^{††}, Hiroshi WATANABE^{††}, and Hideyoshi TOMINAGA^{††}

[†] Graduate School of Electronics, Information and Communication Engineering Studies, Waseda University

Okubo 3-4-1, Shinjuku-ku, Tokyo, 169-8555 Japan

^{††} Graduate School of Global Information and Telecommunication Studies, Waseda University

Nishiwaseda 1-3-10, Shinjuku-ku, Tokyo, 169-0051 Japan

E-mail: †shu@tom.comm.waseda.ac.jp

Abstract Motion JPEG2000 is regarded as a promising coding technique for an ultra high-quality image like Digital Cinema and HDTV. By decoding low frequency components, DWT (Discrete Wavelet Transform) used in Motion JPEG2000 enables to realize spatial scalability easily. However, the performance of the wavelet filter used in Motion JPEG2000 is worse than those of decimation filters used in image re-sampling and resizing. What is worse, the wavelet filter can only resize images to $1/2^n$. In some cases, we can get good quality image by combining DWT and decimation filters. In accord with this result, we propose a multi re-sampling method, in which decoder select a suitable resampling method according to the re-sampling ratio.

Key words Motion JPEG2000, wavelet transform, image re-sampling, decimation, down convert, LPF(low pass filter)

1. はじめに

Digital Cinema や HDTV など、いわゆる超高精細映像の符号化方式として Motion JPEG2000 が期待されている。Motion JPEG2000 は次世代の動画圧縮規格として、JPEG2000 と同様、国際標準化組織 ISO/IEC JTC1/SC29/WG1 で規格化作業が進められてきた [1] [2] [3]。

本研究では、JPEG2000 空間スケーラビリティ機能に注目した。Digital Cinema などの高解像度の映像を符号化した場合、配信時にユーザの環境に合わせた解像度にダウンサンプリングする必要がある [4]。Motion JPEG2000 ではデータ構造が階層構造をとっており、サブバンドごとの低域成分をデコードすることで、低解像度の画像を得ることが出来る。

しかし、この機能だけで低解像度出力が十分であるとは言いきれない。現在の主要メディアの解像度を表 1 に示した。これを見ると、アスペクト比も解像度比もメディアによって異なることがわかる。映像配信時の解像度変換はこれに合わせて行う必要がある。JPEG2000 のデコーダから得られる低域成分は、サブバンド分割の性質上、元画像の画像サイズの $1/2^n$ のサイズしか実現できないという問題点がある。

表 2 は JPEG2000 の空間スケーラビリティ機能によって得られた画像の PSNR を測定した結果である。(実験画像、比較対照画像の作成法は付録参照) Motion JPEG2000 で用いられる wavelet フィルタはダウンサンプリングを目的としたフィルタではないため、得られる画像の画質は最良とはいえない。特に、ロスレスに用いられるフィルタを解像度スケーラビリティに用いると、性能が悪いという特徴もある。

以上より、Motion JPEG2000 が持つ空間スケーラビリティ機能だけでは不十分であることは明らかである。

また、我々の基礎実験により、DWT フィルタと既存の縮小フィルタとを組み合わせると、画質が保たれるという結果を得た [10]。本研究ではこの結果を元に、縮小率に合わせて縮小処理を選択する解像度変換法の提案と実験による評価を行った。

2. 従来の縮小処理と JPEG2000

従来の画像の解像度変換は一般的に次の手順で行われる。

- (1) プレフィルタ
- (2) 座標変換
- (3) 補間処理

座標変換は、縮小後の画素が、縮小前のどの位置

表 1 resolution of multimedia

image	resolution	aspect ratio
cinema film(35mm)	1828x1332	1.37
	3656x2664	1.37
PC	1600x1200	4:3
	⋮	5:4
video(SD)	720x486	4:3,16:9
video(HD)	1920x1080	16:9
	1280x720	16:9
SIF	352x240	22:15
CIF	352x288	11:9
QCIF	176x144	11:9

に対応するか求めることである。求められた対応位置の画素値を求めるのが補間処理である。補間処理には、nearest neighbor 法、bi-linear 法、cubic convolution 法 [5] [6] などが用いられる。ただし、画像サイズを小さくすると、縮小後のサンプリング周波数では表現できない高周波成分が折り返しノイズとして現れる。そこでプレフィルタにローパスフィルタを用いて高周波成分をカットし、折り返しノイズを抑えた縮小を可能にしている。

2.1 デシメーションフィルタ

解像度変換の中で最も重要な部分がプレフィルタ、つまりローパスフィルタの性能である。ローパスフィルタは解像感を高めようとタップ数を増やせばリングングノイズが発生し、リングングノイズを減らそうとタップ数を減らせばエイリアスノイズが発生する。また、エイリアスノイズを減らそうと縮小サイズよりも小さいカットオフ周波数を指定すれば解像感が失われる。このようなトレードオフの関係が存在するので、縮小処理に合わせたフィルタの設計が必要となる。そこで、縮小率に応じてフィルタのタップ数を変化させ、最適なローパスフィルタの効果をもたせながら縮小処理を行うように考え出されたのがデシメーションフィルタである。

デシメーションフィルタの例としては、次のようなものがある [7] [8]。

- 平均画素法
- Gaussian フィルタ
- Lanczos2,3 フィルタ

平均画素法は元画像をいったん拡大し、画素の平均から縮小画像の画素値を求める手法である。Gaussian フィルタは画像解析などによく使用されるガウシアン関数 (1) を用いたフィルタである。Lanczos2,3 フィルタ (処理内容については付録参照) は理想ローパスフィルタにそれぞれの窓関数をかけた手法である (2)(3)。

$$Gaussian(x) = 2^{-4x^2} \quad (1)$$

$$Lanczos2(x) = \begin{cases} \frac{\sin(\pi x)}{\pi x} \frac{\sin(\frac{\pi x}{2})}{\frac{\pi x}{2}} & |x| < 2 \\ 0 & |x| \geq 2 \end{cases} \quad (2)$$

$$Lanczos3(x) = \begin{cases} \frac{\sin(\pi x)}{\pi x} \frac{\sin(\frac{\pi x}{3})}{\frac{\pi x}{3}} & |x| < 3 \\ 0 & |x| \geq 3 \end{cases} \quad (3)$$

表 2 image resampling in MJ2

image size	lossy	lossless
1920x1080(org)	60.91	no noise
960x540	27.67	25.55
480x270	32.74	29.51
240x135	38.01	34.35

PSNR[dB]

表 3 The coefficient of LPF in DWT

I	Integer	Daubechies
0	6/8	0.6029490182363579
±1	2/8	0.2668641184428723
±2	-1/8	-0.07822326652898785
±3		-0.01686411844287495
±4		0.02674875741080946

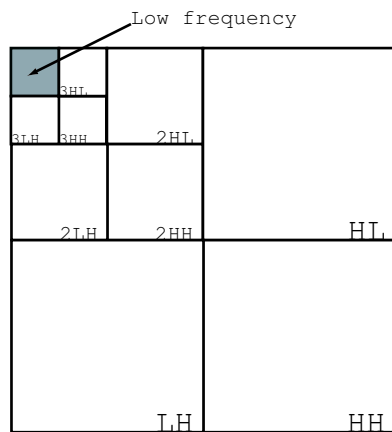


図1 division to sub-band

表4 DCI's request to coding algorithm

要求条件	JPEG2000	MPEG-2
・国際的な標準規格である	○	○
・ライセンス料が適正な価格である	△	△
・visually lossless である	○	×
・ランダムアクセスが可能	○	×
・階層符号化	○	△
・一定の画質の維持	○	○
・複数の圧縮技術を組み合わせていない	○	○

2.2 Motion JPEG2000 における解像度変換

それに対して、Motion JPEG2000 における空間スケーラビリティの機能を示す。

Motion JPEG2000 における wavelet 変換は離散 wavelet 変換 (DWT: Discrete Wavelet Transform) で実現されている。これは分離型フィルタの考え方にに基づき、1次元の2分割フィルタバンクを、低域成分に繰り返し用いて2次元DWTを実現する。このことをJPEG2000ではオクターブ分割と呼ぶ。2分割フィルタバンクはローパスフィルタ、ハイパスフィルタ、ダウンサンブラから成る。

図1に示すように、Motion JPEG2000の空間スケーラビリティ機能はサブバンド分割によって得られた低域成分のみを用いてデコードを行い、縮小サイズでの再生を可能にする。よって、Motion JPEG2000による空間スケーラビリティの性能はこの2分割フィルタバンクに用いられているローパスフィルタの性能に因るといえることができる。Motion JPEG2000中のDWTは可逆変換が可能な整数DWTと不可逆であるが性能の高い実数DWTの2種類があり、それぞれのローパスフィルタの係数は異なる(整数フィルタ5tap, 実数フィルタ9tap)。表3にフィルタの係数を示す。

2.3 実システムでの解像度変換 (Digital Cinema)

2003年11月に、DCI (Digital Cinema Initiatives) より、Digital Cinemaの要求仕様案 DCI Technical Specifications Version 3.0の内容が策定された[11]。Digital Cinemaの圧縮技術に対する要求条件を表4に示す。これを見る限り、Motion JPEG2000は要求仕様を満たしていると思われる。同時に、Digital Cinemaの符号化方式として最も適していると言える。

また、DCIはDigital Cinemaの映像フォーマットの画素数に関して2つの階層(4096x2160, 2kx1k(細かい数字は未決定))から成る2重構造の映像フォー

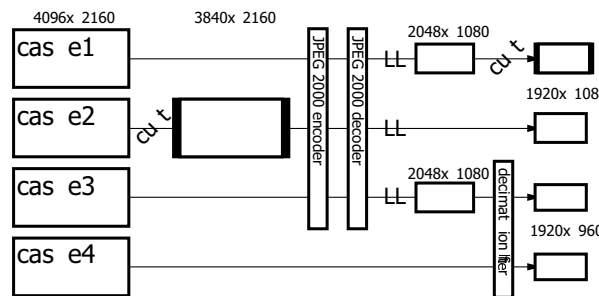


図2 method for conversion from Digital Cinema to HDTV

表5 PSNR by either cases

	case1	case2	case3	case4
integer Daubechies	37.700	37.699	36.889	37.261 (from 4096x2160)
	38.058	38.057	37.212	-
				PSNR[dB]

マットを定義した。

しかし、このフォーマットは表1に示したような既存のメディアフォーマットへの変換については考慮していないと思われる。

例えば、HDTVでの表示を考える。4096x2160の映像をMotion JPEG2000で符号化し、デコーダの空間スケーラビリティ機能で2048x1080の映像を得たとする。この得られたフォーマットはライン数がHDTVとそろおうが、1ラインあたりの画素がオーバーしてしまう。ユーザ側では、横の画素をトリミングすることで画質を保つか、さらに縮小処理を施して、全体をレターボックス^(注1)表示するのか、選択を迫られることになる。

そこで、図2に示すような4つの場合に関して、画質劣化の程度を測定した。テストシーケンスとして、フィルムスキャナにより高解像度で取り込んだ映像を用いた。

実験方法としては、Digital Cinemaのフォーマット(Motion JPEG2000で符号化されていると仮定する)から、HDTVへの解像度変換手法として、
 case1 低域成分出力に対し、両サイドトリミング
 case2 両サイドトリミングした映像を低域成分出力
 case3 低域成分出力に対し、デシメーションフィルタ
 case4 デシメーションフィルタのみ

の場合のそれぞれのPSNR値を表5に示す。これを見ると、case1, case2では画質を重視し、両サイドの情報を切り捨てることになる。case3, case4では画像情報を重視し、画質を落とすもすべての情報を表示することになる。

case1での画質がもっとも優れていたわけだが、切り捨てた情報の中に、字幕や映画上重要な人物やものが写っている可能性もある。

やはりユーザ側で表示方法を選択するスクイーズ方式^(注2)などの検討が必要である。

3. 最適解像度変換への提案

基礎実験より、ウェーブレットフィルタとデシメー

(注1): 上下に黒い帯を入れることによって、ノトリミングで映像を収録、再生すること。ただし、黒い帯の分、垂直解像度(天地方向の解像度)が落ちてしまうという欠点がある

(注2): 横長の映像を縦長に圧縮して4:3の比率としておき、表示の際に横に伸ばしてオリジナルサイズを実現する方式。ユーザ側でレターボックス、トリミングを選択することができる

ションフィルタを組み合わせることで、画質の劣化が抑えられる場合もあることがわかった [10] .

Motion JPEG 2000 では、デフォルトで 5 回の DWT を行う . よって、デフォルト設定で符号化されていれば、5 種類の低域成分が得られることになる .

そこで、基礎実験の結果を踏まえ、縮小率にあわせてどの低域成分を用いるか選択する手法を提案する . 想定システムを図 3 に示す . デコーダで得ることのできる数種類の低域成分の中から最も効率のよいものを判断要素によって選択し、デシメーションフィルタに渡す .

なお、以下の実験ではデシメーションフィルタの代表として Lanczos3 フィルタを用いて実験を行った .

3.1 effective tap length

ここでは、選択判断要素のひとつとして、“effective tap length” を用いる . DWT での低域成分は、ローパスフィルタを多段にかけることによって得られる . また、ここで用いるデシメーションフィルタである Lanczos3 フィルタは、縮小率によってタップ数が変動する . これらのフィルタを組み合わせる場合、最終的に縮小後の 1 つの画素を構成するのに用いた画素数のことを “effective tap length” と定義する . ただし、係数に関しては考慮していない .

まず、Motion JPEG 2000 中で、DWT によって得られる低域成分に関して、“effective tap length” は以下の式によって得られる .

$$A_k = 3A_{k-1} - 2 \quad A_1 = t \quad (4)$$

$$\therefore A_n = 3^{n-1}(t-1) + 1 \quad (5)$$

t : タップ長, n : 繰り返し回数

また、Lanczos3 フィルタは以下の式によってタップ数が決まる .

$$D(r) = \text{Int}\left\{\frac{1}{r} * 3\right\} * 2 + 1 \quad (6)$$

r : 縮小率

よって、最終的な縮小率が r 、Lanczos3 フィルタがある低域成分に対して用いた場合 (低域成分は t タップのローパスフィルタを n 回多段にかけたものとする ($n \leq 5$)), “effective tap length” は (7) によって与えられる .

$$T(r,n,t) = \begin{cases} \text{Int}\left\{\frac{1}{r} * 3\right\} * 2 + 1 & (n=0) \\ \text{Int}\left\{\frac{1}{r * 2^n} * 3\right\} * 2 + 3^{n-1}(t-1) + 1 & (n \geq 1) \end{cases} \quad (7)$$

表 6, 7 に “effective tap length” の例を示す . これは 1920x1080 の HDTV の映像から SDTV, CIF, QCIF への解像度変換を行った場合の “effective tap length” である .

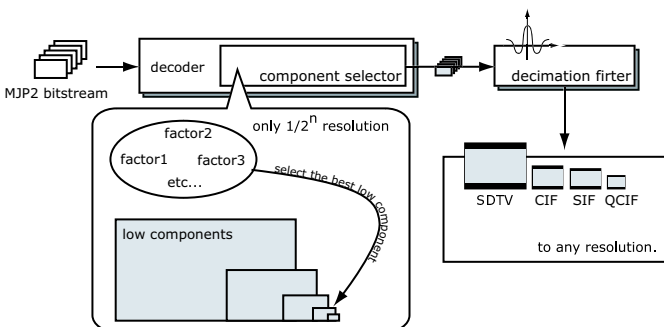


図 3 resampling process

表 6 effective tap length (Integer)

low component	to SD	to CIF	to QCIF	to 88x60
directly Lanczos3	17	31	61	121
use LL1(960x540)	13	19	35	65
use LL2(480x270)	-	19	27	43
use LL3(240x135)	-	-	43	51
use LL4(120x67)	-	-	-	115
use LL5(60x34)	-	-	-	-

表 7 effective tap length (Daubechies)

low component	to SD	to CIF	to QCIF	to 88x60
directly Lanczos3	17	31	61	121
use LL1(960x540)	17	23	39	69
use LL2(480x270)	-	31	39	55
use LL3(240x135)	-	-	79	87
use LL4(120x67)	-	-	-	223
use LL5(60x34)	-	-	-	-

3.2 システム周波数応答

また、もうひとつの判断材料として、システム周波数応答の評価を用いた . これは、フィルタの性能比較で用いられる周波数応答を、システム全体として一つの応答値とし、積分を用いて定量的に評価したものである [9] . 以下に手順を示す .

まず、フィルタの係数から各フィルタの周波数応答値を求める . 縮小率が r の時の Lanczos3 フィルタの周波数応答 $L3(z,r)$ は式 (8) で求められる .

$$L3(z) = \sum_{k=-\frac{D(r)-1}{2}}^{\frac{D(r)-1}{2}} z^{-k} \cdot \frac{\text{Lanczos3}(kr)}{\sum_{n=-\frac{D(r)-1}{2}}^{\frac{D(r)-1}{2}} \text{Lanczos3}(nr)} \quad (8)$$

ウェーブレットフィルタの周波数応答値を $W_{i(z)}$, $W_{d(z)}$

とすると、ウェーブレットフィルタを n 回かけた後に Lanczos3 フィルタで縮小を行った場合の周波数応答 $S(z,r)$ は式 (9) で表すことができる .

$$S(z) = (W_{(z)} \cdot W_{(z^2)} \cdots W_{(z^{2^n})}) \cdot L3(z^{2^n}, r \cdot 2^n) \quad (9)$$

(9) から利得が得られる . 例として図 4 に HDTV (1920x1080) から CIF (352x288) へ縮小を行う場合の、各縮小処理の周波数応答の利得曲線を示す . また、利得の定量的評価方法を図 5 に示す . まず、縮小率 r から、“本来カットオフ周波数となるべき周波数 $\pi r/2$ ” を求める . 次に、周波数応答利得のグラフから、定積分を用いて減衰量を求める . この減衰量を、“本来カットオフ周波数となるべき周波数 $\pi r/2$ ” を境に、低周波成分は負の値、高周波成分は正の値として評価値を算出した . これは、理想的なローパスフィルタの場合、カットオフ周波数を境にすべての信号が減衰することから、低域成分の減衰に関しては、理想的な状態に反していると言う意味で負の値とした .

また、係数が有限個のフィルタにおいては、高周波領域の周波数応答について、リップルと呼ばれる振動が起きる . このため積分値の信頼度が下がってしまう . そこで、今回は積分範囲を “本来カットオフ周波数となるべき周波数” の 2 倍、 πr までとした .

以上の手順で求めたシステム周波数応答の評価値を表 8, 9 に示す .

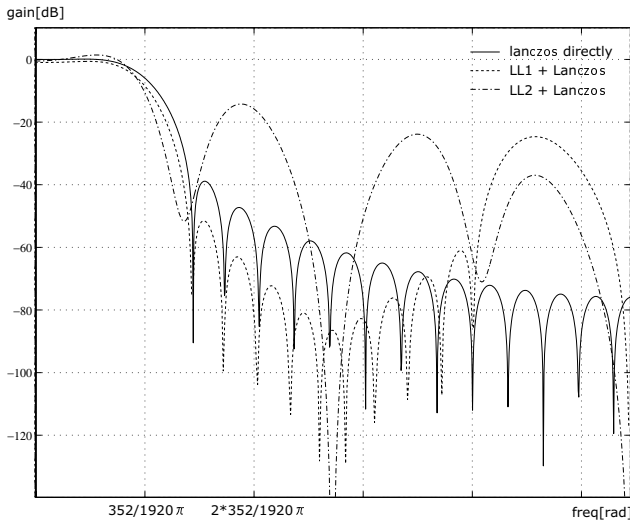


図 4 gain of frequency reaction

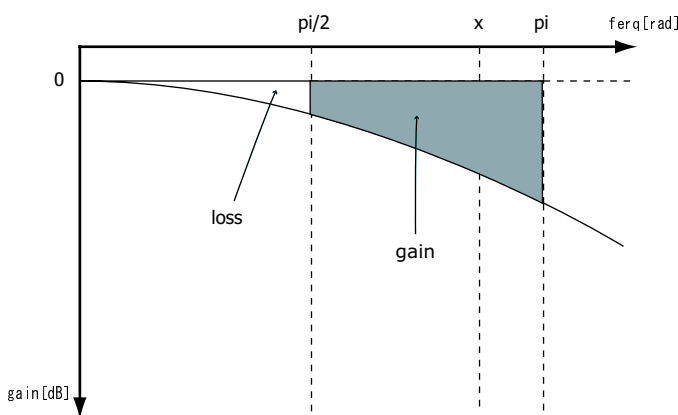


図 5 The evaluation of frequency reaction

表 8 Frequency reaction of system(Integer)

low component	to SD	to CIF	to QCIF	to 88x60
directly Lanczos3	40.81	19.80	9.74	4.76
use LL1(960x540)	13.45	19.62	9.67	4.74
use LL2(480x270)	-	7.08	9.61	4.70
use LL3(240x135)	-	-	8.39	4.62
use LL4(120x67)	-	-	-	3.72
use LL5(60x34)	-	-	-	-

表 9 Frequency reaction of system(Daubechies)

low component	to SD	to CIF	to QCIF	to 88x60
directly Lanczos3	46.46	19.95	9.81	4.77
use LL1(960x540)	16.32	20.17	9.82	4.77
use LL2(480x270)	-	8.87	10.03	4.80
use LL3(240x135)	-	-	14.33	4.98
use LL4(120x67)	-	-	-	6.51
use LL5(60x34)	-	-	-	-

4. 考 察

それぞれの方法で解像度変換を行い、理想解像度変換を行った画像との PSNR を表 10, 11 に示す。

表 6, 7 と表 10, 11 を比べると、タップ数の多さと PSNR の高さが対応している。また、表 8, 9 と比べてみても、対応していることがわかる。また、システム周波数応答では、同じ縮小率でも手法による評価値の差が大きく、判断基準にしやすいといえる。

しかし、誤って選択される箇所も存在する。今回の実験では選択成功率は 81% であった。比較的良好な値ではあるが、選択精度の向上には判断材料を増やす必要があると思われる。

表 10 PSNR(Integer)

low component	to SD	to CIF	to QCIF	to 88x60
directly Lanczos3	31.66	35.92	40.56	45.71
use LL1(960x540)	29.88	35.50	40.42	45.47
use LL2(480x270)	-	33.47	40.03	45.55
use LL3(240x135)	-	-	38.19	45.36
use LL4(120x67)	-	-	-	45.61
use LL5(60x34)	-	-	-	-

PSNR[dB]

表 11 PSNR(Daubechies)

low component	to SD	to CIF	to QCIF	to 88x60
directly Lanczos3	31.67	35.92	40.51	45.45
use LL1(960x540)	31.17	36.00	40.58	45.51
use LL2(480x270)	-	35.53	40.70	45.81
use LL3(240x135)	-	-	40.44	46.25
use LL4(120x67)	-	-	-	46.58
use LL5(60x34)	-	-	-	-

PSNR[dB]

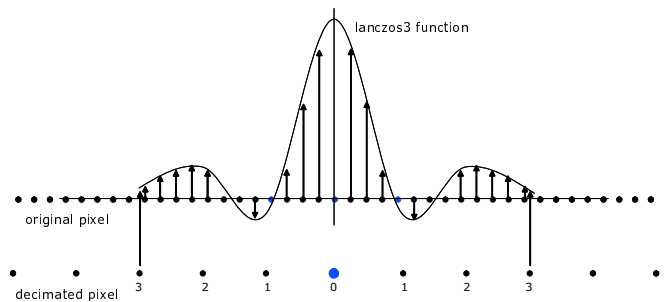


図 6 lanczos3 filter

今回はフィルタ特性のみを評価したため、テスト画像の特長によって選択が異なる可能性もある。

5. ま と め

本研究では、Motion JPEG2000 で符号化された高解像度画像を、既存メディアに配信する際の解像度変換法について問題を提起した。将来、Motion JPEG2000 が高解像度画像の符号化方式に採用された場合を想定し、既存のメディアフォーマットへの最適な解像度変換法の提案を行うことを目的とした。今回は“effective tap length”と“システム周波数応答”により、解像度変換手法の選択を行うことを提案し、評価実験を行った。

今後の検討課題を以下に示す。

- より高解像度(4kx2k)での実験、また SC29WG01 で規定された Digital Cinema test sequence を用いた実験
- 判断要素の追加、検討
- 動画としての画質評価(低域成分画像中での flicker artifact の様子など)
- 量子化の影響の評価(係数量子化, EBCOT 量子化の画質への影響)

付録 1 デシメーションフィルタ処理

ここでは、実験で用いたデシメーションフィルタである Lanczos3 フィルタを用いた縮小処理について示す。Lanczos3 関数については式(3)に示したとおりである。縮小処理の手順は以下に示す。概念図を図 6 に示す。

1. ある縮小画素の値を求める場合(図 3 では真ん中の大きく表示した画素)、連続した左右(上下)3 画素に注目する。

- その3画素は、元画像では何画素に対応するかを求める（図3では25画素）これが Lanczos3 フィルタでのタップ数となる（式(6)）
- 求められたタップ数の幅に Lanczos3 関数を当てはめ、重みを決定する。
- 係数を正規化し、画素を出力する。

付録2 ゾーンプレート

今回主に実験画像に用いた、ゾーンプレートについて示す。今回用いたのは、図7に示すような同心円サーキュラゾーンプレートの画像である。サーキュラゾーンプレートの算出式を(10)に、各変数の値を表12に示す。

ゾーンプレートにおいては同心円の中心が低周波、中心から離れるにつれて高周波成分となっている。これは周波数成分の分布が視覚的にもわかりやすく、低域から高域までの周波数成分の影響を調べるためには効率がよい。実験での画像サイズはHDTVの1920x1080のものを用いた。

$$N(x, y) = A \sin\left(\frac{\pi}{2} + \left(\frac{(x-a)^2}{\alpha} + \frac{(y-b)^2}{\beta}\right) + \theta\right) + B \quad (10)$$

表12 valuation of function

変数	意味
(x, y)	画像上の位置
(a, b)	同心円の中心座標
(α, β)	最高解像度までの同心円の半径
A	正弦波の振幅
B	正弦波を重畳するグレーレベル
θ	同心円中心の正弦波の位相

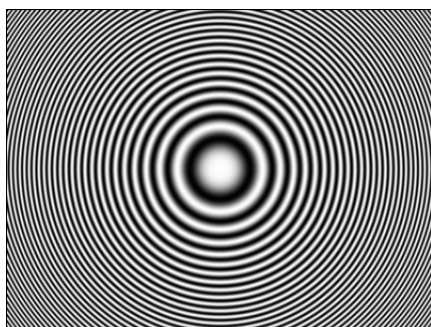


図7 circular zone plate

付録3 理想解像度変換

ここでは、理想解像度変換の手順を示す。比較対象画像の作成法を図8に示す。まず、画像に対し2次元離散フーリエ変換(DFT)により周波数成分に変換する。その周波数成分に帯域制限を行う。縮小率 r とすると、理論上周波数 $\pi r/2$ 以上の周波数成分は、縮小画像中で表現が不可能になる。そこで、 $\pi r/2$ 以上の周波数成分を切り捨てることで、理想的なローパスフィルタを実現する。これをダウンサンプリングすることで理想的な縮小処理を実現した。ダウンサンプリングの手法には平均画素法を用いた。

図8に示した処理の中では、DFT処理に膨大な処

理時間がかかる。本研究の提案システムにおける縮小処理には、この処理を用いるのは効率が悪い。しかし、理想的なローパスフィルタ処理を用いているため、画質の面では理想的であると言える。

縮小画像の画質を評価する際、PSNRを用いるとすると、比較対照の画像と画像サイズが同じである必要がある。よって、縮小前の原画像をPSNRの比較対照画像として用いることはできない。このため、この処理によって得られる縮小画像を原画像とし、PSNR比較対象として用いた。

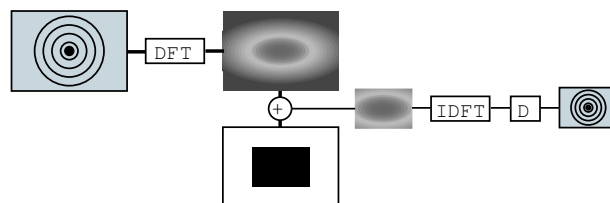


図8 ideal image resampling

謝辞

この研究は、TAO 委託研究課題 “通信ネットワーク利用放送技術の研究開発” のサポートによる。

文献

- [1] ISO/IEC FCD 15444-1, “JPEG 2000 Part I Final Committee Draft Version 1.0,” ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG1, N1646R, Mar. 2000.
- [2] Takahiro Fukuhara, David Singer, “Motion JPEG 2000 Final Committee Draft 1.0,” ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG1, N2117, Mar. 2001.
- [3] Majid Rabbani, Rajan Joshi, “An overview of the JPEG 2000 still image compression standard,” Signal Processing: image Communication 17, 2002, pp 3-48.
- [4] M. Nakajima et al “Digital Cinema,” The journal of the institute of image information and television engineers Vol.55, No.7, pp940-970
- [5] Mikio TAKAGI, Akihisa SHIMODA, “handbook for image analysis,” Tokyo Univ. Publishing, 1991.
- [6] Philippe Thevenaz et al, “Image Interpolation and Resampling,” Handbook of Medical Imaging, Processing and Analysis, I.N. Bankman, Ed., Academic Press, San Diego CA, USA, pp. 393-420, 2000.
- [7] Ken Turkowski, “Filters for Common Resampling Tasks,” Graphics Gems I, Academic Press, 1990, pp. 147-165.
- [8] Stephen R. Marschner and Richard J. Lobb, “An Evaluation of Reconstruction Filters for Volume Rendering,” Program of Computer Graphics...Proceedings of Visualization '94, 1994
- [9] Tao Wang and Benjamin W. Wah, “PERFORMANCE MEASURES AND LAGRANGE MULTIPLIER METHODS TO TWO-BAND PR LP FILTER BANK DESIGN,” Proc. IEEE Int'l Conf. on Accoustics, Speech and Signal Processing, vol. III, May 1998, pp. 1461-1464.
- [10] 田邊集, 渡辺裕, 富永英義 “Motion JPEG2000における最適解像度変換法の検討”, 情報処理学会オーディオビジュアル複合情報処理研究会, Mar. 2003.
- [11] “HDTVでは満足できない2010年, 超高精細が家庭へ,” 日経エレクトロニクス 2003.11.24, 2003