

# 超解像技術

山中 聡\*  
守谷正太郎\*

## Super Resolution Technology

Satoshi Yamanaka, Shotaro Moriya

### 要 旨

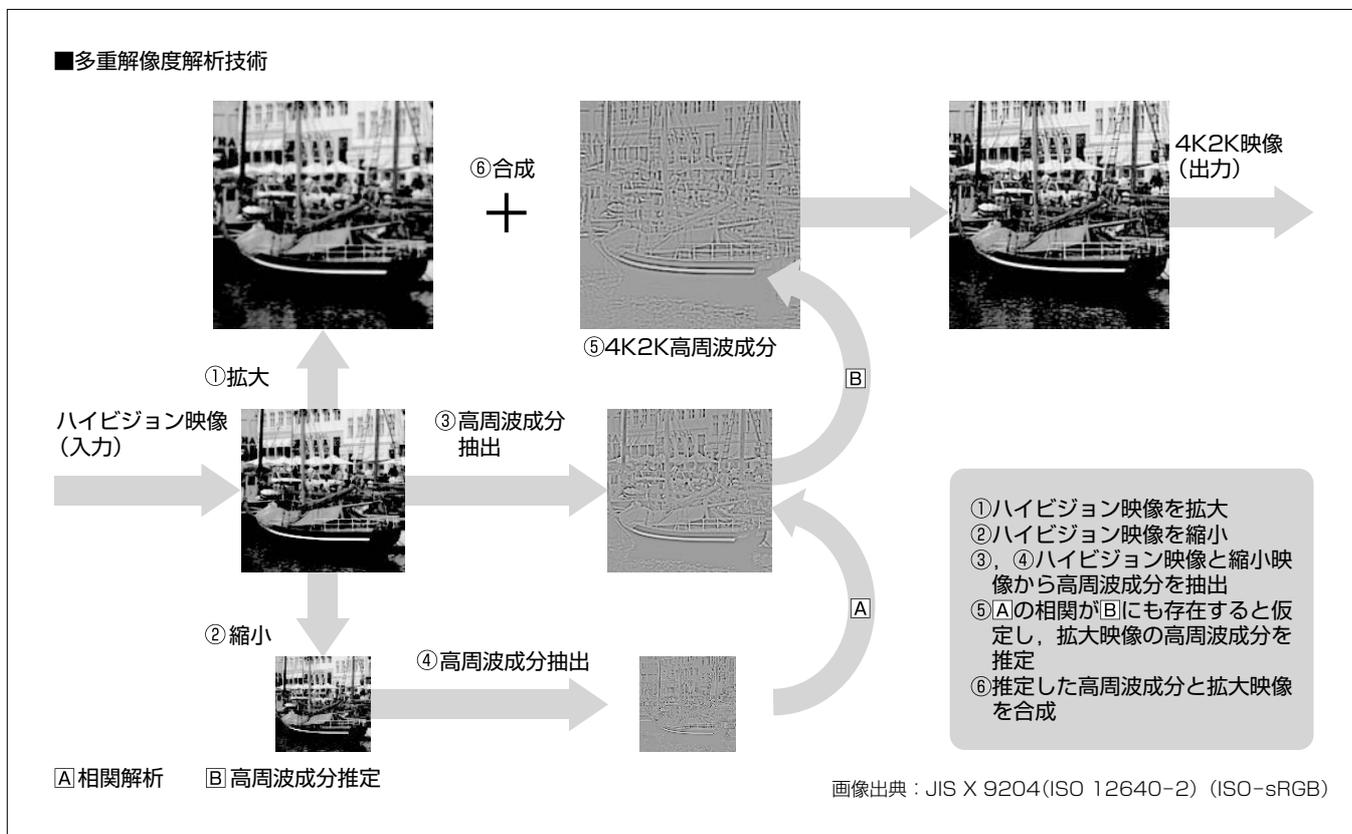
高画質化・大型化が進むテレビ市場で水平4000画素×垂直2000画素の解像度がある4K2Kのテレビが次世代テレビとして期待されている。4K2K画質の映像コンテンツがあればその解像感を実感することができるが、ハイビジョン放送やブルーレイなどのHDTV (High Definition Television) 画質の映像コンテンツを拡大して4K2Kのテレビに表示した場合その解像感を十分に生かすことはできない。

4K2Kの解像度を生かす方法として映像を拡大する際に画像処理によって高解像度成分を生成することが考えられる。例えば、複数枚の画像から1枚の高解像度画像を得る超解像<sup>(1)</sup>や、学習データを用いた超解像<sup>(2)</sup>を用いることで、HDTV画質の映像のナイキスト周波数を越えた成分を生成し解像度を増すことが可能である。しかしながらこれらの手法はいくつかの理由によって民生向け製品への搭載に

は不向きである。例えば、複数枚の画像から1枚の高解像度画像を得る手法は反復計算が必要となるため、映像をリアルタイムで表示するテレビなどには不向きである。また、学習データを用いた手法は膨大なデータベースが必要であるためLSI (Large Scale Integration) などの専用ハードウェアに搭載することが困難である。

一方、画像データを特定の周波数帯域を持つ複数の解像度に分割して表現する多重解像度解析を利用した手法は処理内容が単純でありハードウェア化が容易である。複数の解像度間に存在する相関を利用して、1つ上の解像度レベルの画像を推定する。

本稿では、その具体的な方法を説明し、画像シミュレーションによって確認した効果について述べる。



### 超解像技術のアルゴリズム

ハイビジョン映像を縦横約2倍に拡大して4K2K映像にする場合のアルゴリズムを示す。入力のハイビジョン映像から高周波成分と縮小画像、拡大画像を生成、縮小画像から抽出した高周波成分とハイビジョン映像の高周波成分の相関を利用して、4K2K映像の高周波成分を推定する。推定によって得られた高周波成分を拡大したハイビジョン映像に合成することによって高周波成分を含んだ4K2K映像を生成する。

1. ま え が き

現在、水平1920画素×垂直1080画素の解像度のフルHDのテレビが一般家庭にも広く普及している。高画質化・大型化が進むなか水平4000画素×垂直2000画素の解像度がある4K2Kのテレビが次世代テレビとして期待されている。4K2Kのテレビに現行のハイビジョン放送やブルーレイなどの映像コンテンツを表示する場合、映像を拡大する必要がある。民生向けのLSIやASIC(Application Specific Integrated Circuit)では通常、映像を拡大する際にBicubic法などの線形な画像拡大手法を用いる。しかし、線形な画像拡大手法では入力された映像のナイキスト周波数を超える領域の高周波成分を生成することができず、出力映像はぼやけた感じになる。

本稿では、多重解像度解析の1つであるラプラシアンピラミッドの相関を用いた画像拡大について述べる。2章でこの手法について具体的に説明し、3章で画像シミュレーションによる線形な画像拡大手法との比較結果について述べる。

2. ラプラシアンピラミッドを利用した超解像技術

2.1 多重解像度解析

多重解像度解析は、画像を特定の周波数帯域を持つ複数の解像度の画像に分割する手法である。原画像を高周波成分と低周波成分に分割し、その低周波成分を縮小した画像を原画像として更に高周波成分と低周波成分に分割する。これを繰り返していくことで複数の解像度の画像に分割することができる。多重解像度解析としてウェーブレット変換やラプラシアンピラミッドなどがある。ラプラシアンピラミッドによる多重解像度解析を図1に示す。

任意の画像 $G_0$ からLPF(Low Pass Filter)を用いて低周

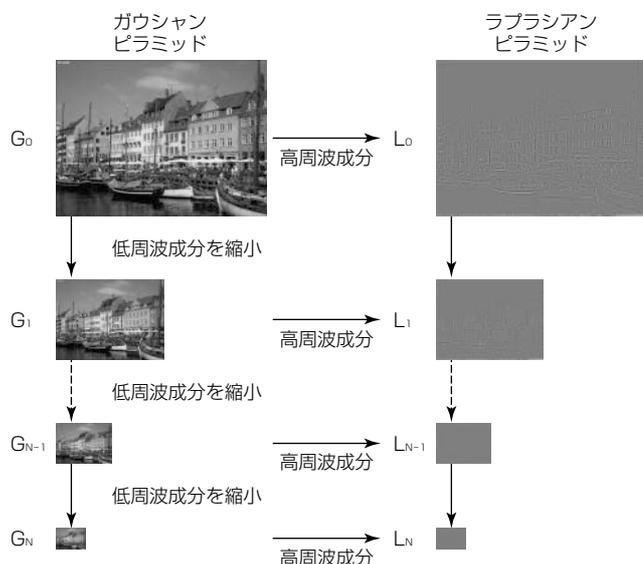


図1. 多重解像度解析

波成分を抽出し、抽出した低周波成分を縮小することで画像 $G_1$ を得る。画像 $G_0$ の高周波成分 $L_0$ は、画像 $G_0$ から低周波成分を引いて生成する。これをN回繰り返すことでガウシアンピラミッド $G_n$  ( $n=0, 1, 2, \dots, N$ )及びラプラシアンピラミッド $L_n$  ( $n=0, 1, 2, \dots, N$ )が得られる。また、画像 $G_N$ とラプラシアンピラミッド $L_n$  ( $n=0, 1, 2, \dots, N$ )があれば元の画像 $G_0$ を復元することができる。

2.2 ラプラシアンピラミッドの相関を利用した画像拡大手法

図1で示したガウシアンピラミッドとラプラシアンピラミッドの相関を利用して画像 $G_0$ の1つ上の解像度レベルに存在する高解像度画像 $G_{-1}$ を求める方法を図2に示す。

画像 $G_{-1}$ の低周波成分は画像 $G_0$ を線形な拡大手法を使って拡大したもの( $G'_0$ )と同じである。したがって、画像 $G_{-1}$ の高周波成分 $L_{-1}$ を何らかの方法で高周波成分 $L_0$ から推定し、画像 $G'_0$ と合成すれば画像 $G_0$ の1つ上の解像度レベルに存在する高解像度画像 $G_{-1}$ を求めることができる<sup>(3)</sup>。

2.3 高周波成分 $L_{-1}$ の推定

画像 $G_n$ にエッジがあった場合、高周波成分 $L_n$ の対応する位置に符号が変化する点、すなわち、高周波成分 $L_n$ が0レベルと交差する点(以下“ゼロクロス点”という。)が現れる。画像 $G_n$ の解像度レベルが変わってもエッジの位置は変わらないため、ラプラシアンピラミッド間には、複数の解像度レベルにわたってゼロクロス点と同じ位置に現れるという相関がある。また、解像度レベルが高くなるほど、ゼロクロス点近傍でのラプラシアン成分の変化が急峻(きゅうしゅん)になる。画像 $G_0$ が一次元ステップ信号であった場合を例にして、ガウシアンピラミッドとラプラシアンピラミッドを計算すると図3のようになる。ラプラシアンピラミッドでゼロクロス点と同じ位置に現れ、ゼロクロス点近傍でのラプラシアン成分の変化は、解像度レベルが上がるほど急峻になっていることが確認できる。

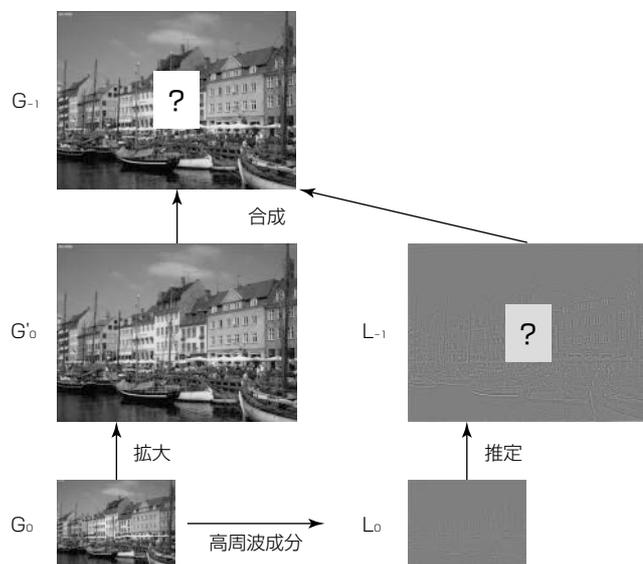


図2. ラプラシアンピラミッドの相関を利用した画像拡大

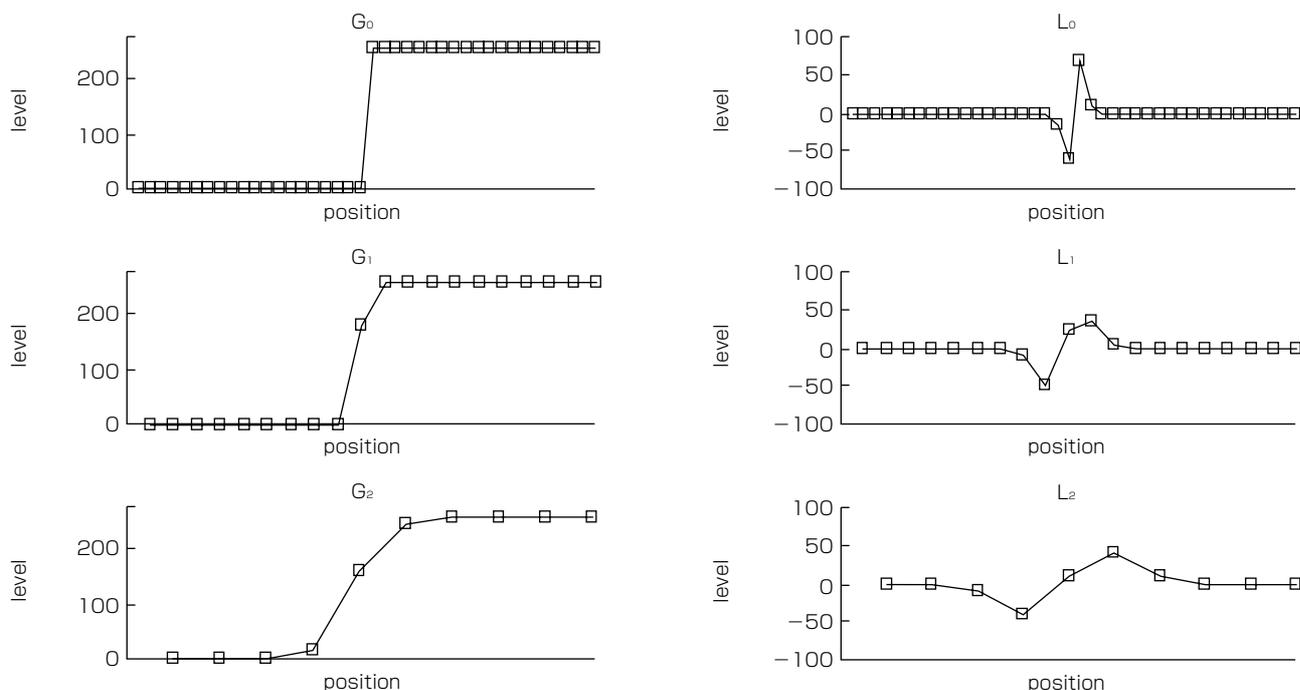


図3. 一次元ステップ信号に対するガウシャンピラミッドとラプラシアンピラミッド

この相関を用いて高周波成分を推定する手法が提案されている<sup>(3)(4)</sup>。本稿でもその一手法について述べる。一次元のステップ信号から抽出した高周波成分にこの手法を適用した例を図4に示す。

<step1>

原画 $G_0$ から高周波成分 $L_0$ を抽出する。

<step2>

高周波成分 $L_0$ を拡大し、拡大高周波成分 $L'_0$ を得る。

<step3>

拡大高周波成分 $L'_0$ のゼロクロス点前後の画素値に2倍のゲインを掛けて中間高周波成分 $L''_0$ を得る。

<step4>

中間高周波成分 $L''_0$ にHPF(High Pass Filter)を掛けて高周波成分 $L_{-1}$ を得る。

これらの処理によって $L_0$ と同じ位置にゼロクロス点を維持したままゼロクロス点近傍の変化を急峻にした高周波成分 $L_{-1}$ を得ることができる。

### 3. 画像シミュレーション

画像シミュレーションによって線形な画像拡大手法であるBicubic方式(以下“BC方式”という。)と本稿で説明した方式(以下“今回の方式”という。)の比較を行った。なお、画像シミュレーションには、SCID(the Standard Color Image Data, ISO 12640, JIS X9201-1995)<sup>(5)</sup>に収録されている画像N5(図5)を用いた。

#### 3.1 解像度チャートによる評価

画像N5の一部を用いた比較結果を図6に示す。左から入力画像、BC方式で2倍に拡大した画像、今回の方式で

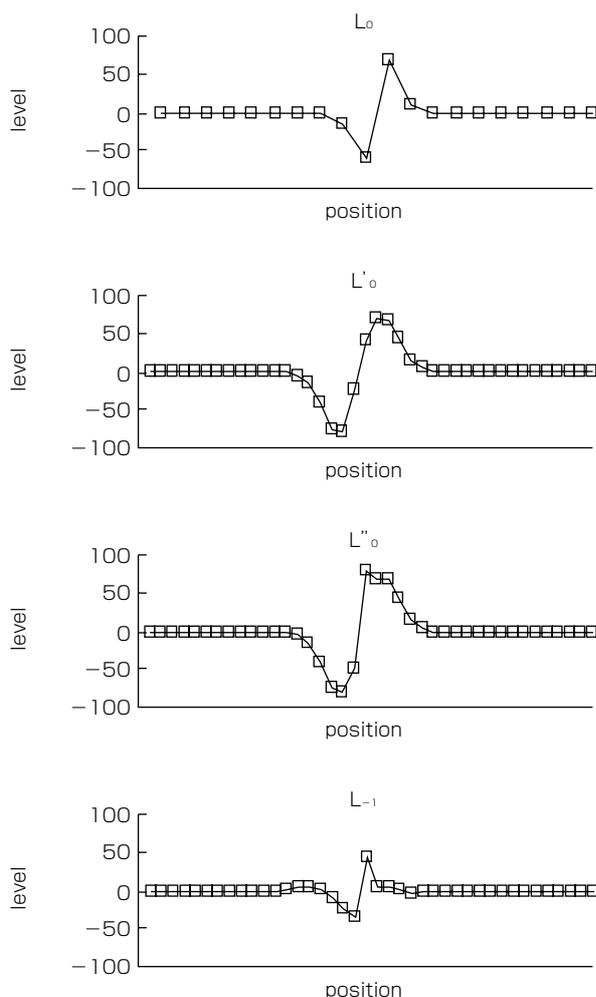


図4. 高周波成分の推定

2倍に拡大した画像である。BC方式より画像の解像感が上がっていることが確認できる。



図 5. 画像N5



図 6. シミュレーション結果

### 3.2 周波数スペクトルによる評価

画像N5のBC方式で拡大した画像の周波数スペクトル強度と今回の方式で拡大した画像の周波数スペクトル強度を図7及び図8に示す。横軸は画像の水平方向の周波数、縦軸は垂直方向の周波数である。周波数スペクトルが大きいほど明るく表示している。Fnは入力画像のナイキスト周波数である。

BC方式で拡大した画像の周波数スペクトル強度には入力画像のナイキスト周波数Fn以下の周波数成分しか含まれていない。一方、今回の方式で拡大した画像の周波数スペクトル強度には入力画像のナイキスト周波数Fn以上の高周波成分が含まれている。今回の方式の画像拡大によって高解像度画像G<sub>-1</sub>の高周波成分L<sub>-1</sub>に相当するものが生成されていることが確認できる。

### 4. む す び

多重解像度解析の1つであるラプラシアンピラミッドを利用して画像を拡大する手法について述べ、画像シミュレーションによってその効果について述べた。今回述べた方式は複雑な計算を用いておらずLSIなどの専用ハードウェアに搭載することが容易であると考えられる。今後、より多くの製品に適用されるよう検討していく。

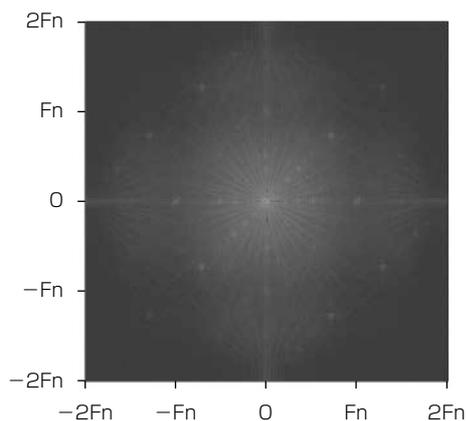


図 7. BC方式による拡大結果の周波数スペクトル強度

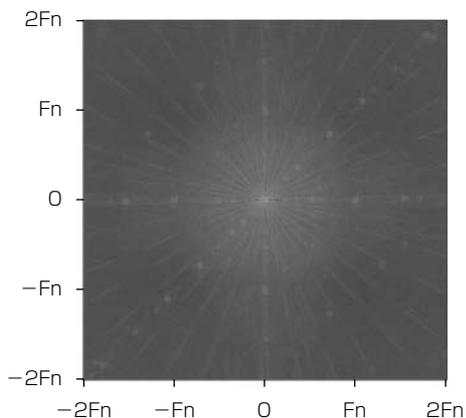


図 8. 今回の方式による拡大結果の周波数スペクトル強度

### 参 考 文 献

- (1) S. C. Park, et al. : Super-resolution image reconstruction, a technical overview, IEEE Signal Magazine, **20**, No.3, 21~36 (2003)
- (2) W. T. Freeman, et al. : Learning low-level vision, Int'l J. Computer Vision, **40**, No.1, 25~47 (2000)
- (3) H. Greenspan, et al. : Image enhancement by non-linear extrapolation in frequency space, Proc. SPIE, Image and Video II, **2182**, 2~13 (1994)
- (4) S. Moriya, et al. : Resolution Enhancement Based on Laplacian Pyramid, IEEE Trans. on CONSUMER ELECTRONICS, 1830~1836 (2010)
- (5) Graphic Technology-Press Digital Data Exchange-Standard Colour Image Data(SCID). Japanese Standards Association (1995)