

1. 画像の拡大法

一般的な画像の拡大法は原画素と原画素との間に推定した画素を与える補間法が良く用いられる。画像における画素と画素のサンプリング間隔は表示の画素密度が一定であることを前提にすれば変化しない。よって、より多くの画素を与えることで画像を拡大したのと同じ効果を与えることが可能となる。補間法として一般的な方法は最近隣補間法、線形補間法及び三次畳込補間法である^{3,31)}。これらの方法は出力画像の座標上に格子を設定し、その格子に対応する画素に原画像（入力画像）を対応させることで補間処理を行う。ここで図1に出力画素と周辺領域との関係を図示する。

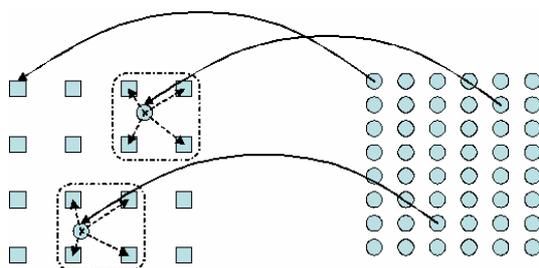


図1

図1では出力にする対応した原画素がある場合その原画素を出力画素とするが、原画素と出力画素との関係は必ずしも整数とは限らず、対応する原画素が無い場合には周辺領域の内挿によって求めることになる。

1.1 最近隣補間

最近隣補間法は推定する画素 $y(u,v)$ にもっとも近い画素の信号をそのまま与える方法であり、以下の式で求められる。

$$y(u, v) = x(u + 0.5, v + 0.5) \quad (1)$$

最近隣補間法は原画像のデータをそのまま保存するという利点があるが、最大1/2画素の位置誤差が生じる。

1.2 線形補間

線形補間は信号と信号の間を直線で結んで直線上の信号を推定し出力データとして与える方法である。二次元である画像の場合には出力画素の周辺の4点の原画素を用い、以下の式によって出力画素を求める。

$$\begin{aligned} y(u, v) = & ((i + 1) - u)((j + 1) - v) \cdot x(i, j) + ((i + 1) - u)(v - j) \cdot x(i, j + 1) \\ & + (u - i)((j + 1) - v) \cdot x(i + 1, j) + (u - i)(v - j) \cdot x(i + 1, j + 1) \end{aligned} \quad (2)$$

この方法は2の倍数以外の拡大率の場合、原画素が出力画素に保存されないという問題があるも

の、4点の平均を求めていることから平滑化の効果もあり、アルゴリズムも簡単なことから比較利用される処理である。

1.3 3次畳込補間

線形補間では画素間を直線で結び、出力画素を推定するため画像全体がぼけやすい。そこで、推定する画素の周囲何点かの画像データを3次畳込関数を用いて求める方法が3次畳込補間法である。3次畳込関数は図2のような関数であり、この関数を用いることで式3のように出力画素を求めることができる。この関数は sinc 関数を簡略したものであり、式4のように定義される。

$$y(i, j) = [f(1+q), f(q), f(1-q), f(2-q)] \begin{bmatrix} x(i-1, j-1) & x(i, j-1) & x(i+1, j+1) & x(i+2, j+1) \\ x(i-1, j) & x(i, j) & x(i+1, j) & x(i+2, j) \\ x(i-1, j+1) & x(i, j+1) & x(i+1, j+1) & x(i+2, j+1) \\ x(i-1, j+2) & x(i, j+2) & x(i+1, j+2) & x(i+2, j+2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f(1+p) \\ f(p) \\ f(1-p) \\ f(2-p) \end{bmatrix}$$

$$p = (u - int(u))$$

$$q = (v - int(v))$$
(3)

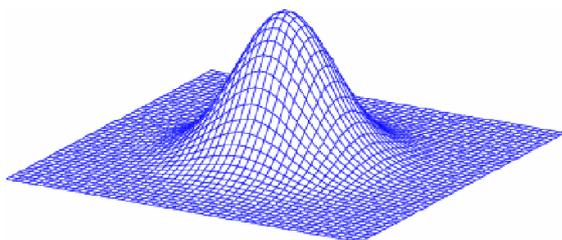


図2

$$f(t) = \frac{\sin \pi t}{\pi t}$$
(4)

3次畳込補間は線形補間と同じく2の倍数以外の拡大率の場合、原画素が保存されない。しかし、sinc 関数によってエッジ部などでは鮮鋭化の効果が期待できる。

図3は原画像と最近隣補間、線形補間、3次畳込補間を用いた4倍の拡大画像である。最近隣補間は隣の画素をそのまま持ってくるため、視覚的に良好であるとは言いがたい。それに対して3次畳込補間は線形補間に比べエッジが保存されていることがわかる。しかしながら3次畳込補間はそのアルゴリズムが線形補間に比べ複雑なため、処理時間が必要となる。Pentium-II 366MHz の CPU を用いた場合、最近隣補間法の処理時間を1とすると、線形補間は約3倍、3次畳込補間は約60倍になる。

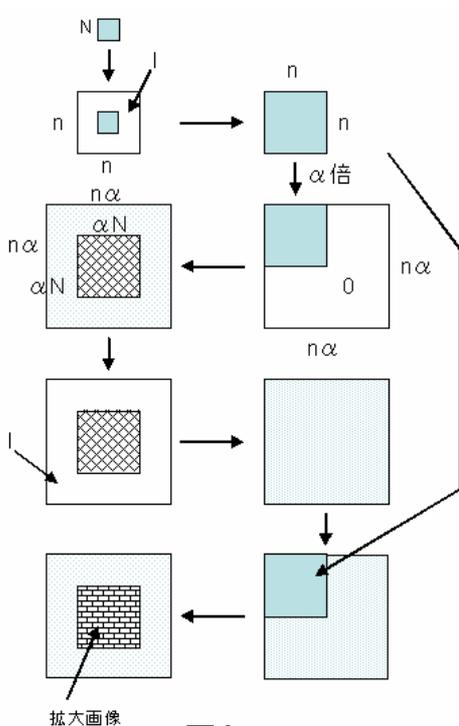


図3

1.4 周波数領域変換による高周波数成分の復元

線形補間や3次畳込補間は基本的にサンプリング時に失われた高周波数成分を復元することは不可能である。自然画像は基本的に無限に近い高い周波数成分をもっていると考えられており、この高周波数成分を復元するには補間法とは異なる方法を用いることが必要である。基本的な考え方として原画像を周波数領域に変換、さらに各周波数毎の階層に分け、階層ごとの周波数の成分の相関を利用して高周波数成分の推定を行う方法である。このとき周波数変換および各階層にわけける方法として、DCTを用いた反復法がある⁴¹⁾。

DCTを用いる方法は図3に示すような手順となる。ここでは $N \times N$ の画像を α 倍した拡大画像を得るものとする。この方法は空間領域から周波数領域へDCTを使って変換し、 α 倍したのち周波数領域から空間領域へ逆DCTを使って変換することを繰り返すことで、高周波数成分を復元しようというものである。具体的には $N \times N$ の画像に $n \times n$ の大きさで画素値が1の画像を付ける。この画像をDCTを使い周波数領域に変換する。周波数領域に変換された画像を α 倍する



ることで拡大率に応じた高周波数帯域まで拡張し、高周波数成分を0とし、逆DCTを行い空間領域に変換する。変換された画像の中心部から N 倍の部分が拡大された画像となる。しかしここで拡大された画像の高周波数成分はもともと0であるため、 N の領域外の画素値を1として再度同じ手順を繰り返す。しかし、周波数領域に変換後、高周波数成分はすでに復元されていると考えられるため、低周波数領域に既知情報である $n \times n$ の周波数変換された画像に置き換え、逆DCTを行う。空間領域に変換された画像のうち、中心

図3

部から $N \times N$ が高周波数成分が復元された拡大画像となる。この方法は高周波数成分を復元するため、画質的には良好であるものの、そのアルゴリズムは複雑なため、多くの処理時間が必要となる。

この方法は高周波数成分を復元するため、画質的には良好であるものの、そのアルゴリズムは複雑なため、多くの処理時間が必要となる。また、高周波数成分の復元はすべての画素に対して演算が施されるため 拡大画像にリングングやギブス現象などのアーティファクトの影響がでる。

1.5 ファジー推論を用いた補間法

アーティファクトの影響が無い拡大法は線形補間に代表される補間法であるが、文献 42,43 では補間法を拡張し、高周波数成分を出力画素の周辺の原画素よりファジー推論を用いて推定することで、アーティファクトの影響がなく、高周波数成分の推定をなし得ている方法がある。この方法は補間すべき位置の前後 2 つの原信号を用い 補間すべき位置の前後の信号パターンを判定し、その結果から適切な補間信号を与えるという方法である。

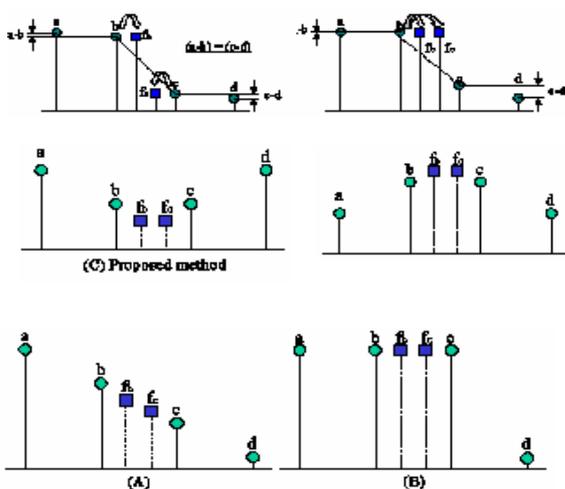


図4は推定するパターンの例である。画像信号はエッジ、山型/谷型のピーク、およびエッジやピークを持たない信号に分類され、エッジやピークだと判断される場合にはそれに合った信号を補間値として与えるものである。そして、この分類は補間すべき位置の前後の2つの信号の差分値によって与えられる。しかしながら、2つの信号の差分によって分類可能とはいふものの、クリスプ的に判断したのでは適切な補間値を与えることは難しい。

文献 42,43 の方法は2つの差分信号をファジー推論によって関連付け、曖昧な情報から原信号の状況によって適切な処理を行うデータ依存型処理となっている。具体的には式5のファジールールを与える。

$$\begin{aligned}
 & \text{if } (a - b) \text{ is } A_p \text{ and } (c - d) \text{ is } B_q \\
 & \text{then } f \text{ is } w_r \\
 & (p = 1, \dots, P, q = 1, \dots, Q, r = 1, \dots, P \cdot Q) \quad (5)
 \end{aligned}$$

表1 ファジールールテーブル

$a - b$		$c - d$			
		<i>Small</i>		<i>Large</i>	
		$+$ (<i>PS</i>)	$-$ (<i>NS</i>)	$+$ (<i>PL</i>)	$-$ (<i>NL</i>)
<i>Small</i>	$+$ (<i>PS</i>)	$\frac{b+c}{2}$	$\frac{b+c}{2} - \lambda$	b	
	$-$ (<i>NS</i>)	$\frac{b+c}{2} + \lambda$	$\frac{b+c}{2}$		
<i>Large</i>	$+$ (<i>PL</i>)	c		$\frac{b+c}{2}$	$\frac{b+c}{2} - \lambda$
	$-$ (<i>NL</i>)			$\frac{b+c}{2} + \lambda$	$\frac{b+c}{2}$

ここで, A_p は (a-b) のファジー集合を, B_p は (c-d) のファジー集合である. 局所情報 a-b 及び c-d の大きさと符号を考慮すると4つのファジー集合が設定でき, その信号パターンの分類は表1のようになる. 最終的に補間値 f は非ファジー化手続き^{42,44)}によって以下のように算出される.

$$f = \frac{\sum_{r=1}^{p \cdot q} \mu_r \cdot w_r}{\sum_{r=1}^{p \cdot q} \mu_r} \quad (6)$$

$$\mu_r = \min\{\mu_{A_p}(a-b), \mu_{B_p}(c-d)\} \quad (7)$$

ここで, μ_{A_p} および μ_{B_p} はそれぞれのファジー集合のメンバーシップ関数である. 図5にメンバーシップ関数の例を示す.

図6は3次畳込補間と Fuzzy 推論による4.5倍の拡大の結果である. 図6(a)では3次畳込関数の影響によりギブス現象が観測されるが, Fuzzy 推論による方法ではその影響がないことがわかる. この特徴を明確化するために髪と背景部の水平方向の断面図の一部を図7に示す. 図7から提案法が3次畳込補間法に比べエッジ信号を保存し, かつ, アーティファクトの影響がないことがわかる.

なお, 信号処理による画像の拡大処理は現実的には5倍から6倍程度までが視覚的に良好と見なされる拡大率であろう. それ以上の拡大率は高周波数成分の推定も困難となるため, 理論的には可能であるものの, 視覚的に無理がある画像となるものと考えられる.

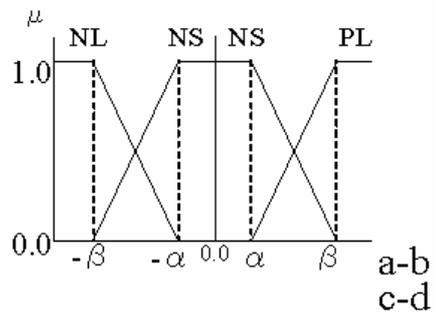
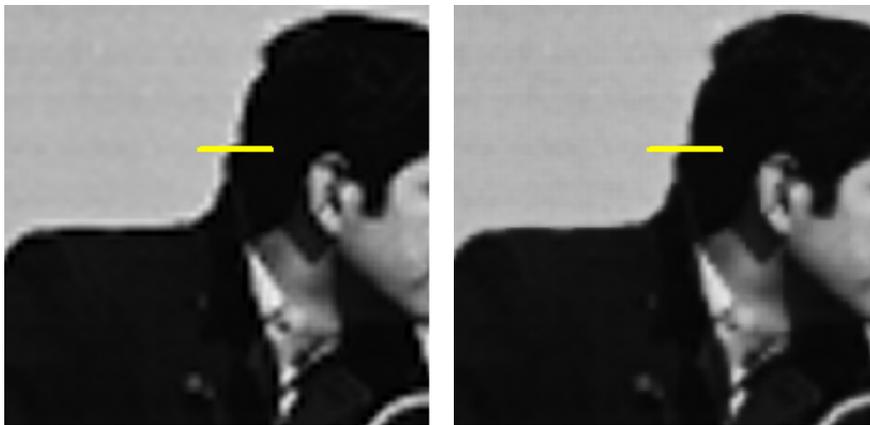


図5



(a) 三次畳込補間

(b) Fuzzy 推論による補間

図6

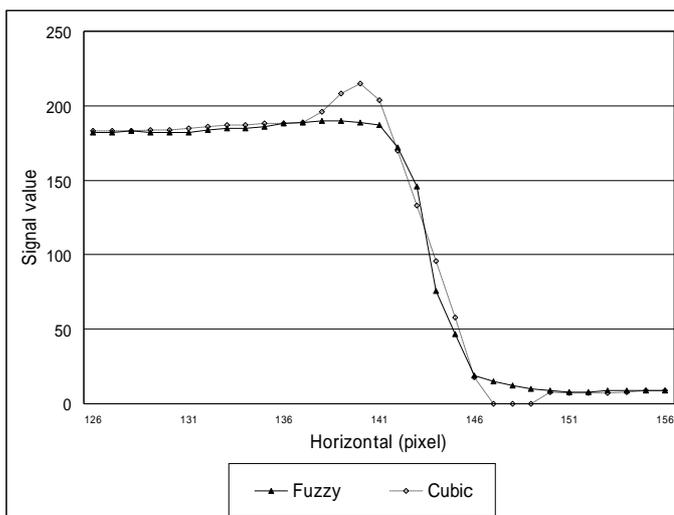


図7 各補間法のエッジ部の断面図