

画像拡大手法に関する考察

Consideration on Image Enlargement Methods

川崎高志

Takashi KAWASAKI

Abstract: Image Enlargement/Shrinking, sometimes described as resampling, is very useful tool when you apply an image source to multiple usages. In this report, I explain 3 different resampling methods, Nearest Neighbor, Bi-linear, and Bi-cubic and point out the uniqueness, merit, demerit of each method.

1 はじめに

現在、紙媒体の書物と、ホームページなどで同じ内容のドキュメントを同一素材で作成しようとする場合、その手間は非常に大きなものになる。解像度の問題や、ホームページと書物のレイアウトの違いなどが問題になるためである。このような場合、レイアウト、サイズなどを変更した場合にでも、同じ画像を使い回せると非常に便利である。本発表では、そういった場合に便利である拡大・縮小といったリサンプリングについて、既知の3つのリサンプリング手法に焦点を当てながら説明し、最後に考察を行う。

2 リサンプリング手法

拡大 (Enlargement), 縮小 (Shrinking) は、その両者をまとめて、通常、リサンプリング (Resampling) と呼ばれる。本発表では、これ以降、これらをリサンプリング手法と記述する。一般に、画像のリサンプリングは、画像の輝度を $f(x, y)$ と表記できるような関数として記述し、数学的に補間することによって行う。例えば、Fig. 1 をある直線上に切り取り、その縁を見ると、Fig. 2 のような輝度変化のグラフを得た。この輝度変化は、既にある特定の周波数でサンプリングされているが、このサンプリング周波数を f とすると、2倍に拡大する処理は、 $2f$ で再サンプリングすることであり、また、縮小するということは、 $f/2$ に再サンプリングすることである。このことから、拡大をアップサンプリング (Up-sampling), 縮小をダウンサンプリング (Down-sampling) と表現することもある。また、通常、コンピュータで扱う座標系は離散系であるので、適用するアルゴリズムも離散系用である必要がある。今後、画像を示す式を表すのに、 $f(n, m)$ の様な表記を用いる。この式中の n, m は整数 (場合によっては、負数も含む) である。

2.1 サンプリング定理

サンプリング定理とは、「サンプリング周波数はサンプリング対象が含む最大の周波数の2倍の周波数以上でな

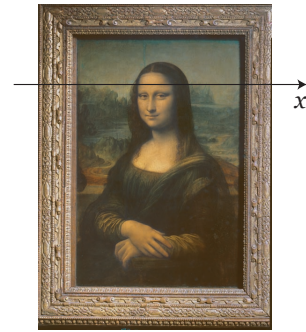


Fig. 1 画像のある直線上を切り出す

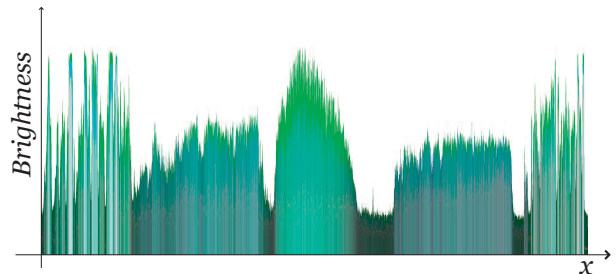


Fig. 2 画像から切り出した輝度変化

ければならない」という定理である。例えば、Fig. 3 は、周期 $T = 4(f = 1/4)$ である波 A, 周期 $T = 1(f = 1/1)$ である波 B に対して、サンプリング周期 $f = 1/2(T = 2)$ ある波について、サンプル点を取った場合、サンプリングした波の周波数が A, B のどちらであったか、判断が付かないという、エイリアシング (Aliasing) という現象を示している。この場合、サンプリング前に、サンプリング周波数以上の周波数を持つ波 B を排除していれば (ローパスフィルタ [low-pass-filter] 処理という)、A であることは容易に予想がつく。同様に画像の縮小 (ダウンサンプリング) においても、同様の現象が生じる。画像におけるエイリアシング現象は、通常、ジャギー、あるいは、特異な点として認識されることが多い。256x256[ピクセ

ル]で作成した「邊」Fig. 4を1/16に縮小した結果が、Fig. 5である。この画像は、左から、ニアレストネイバー法、バイリニア法、バイキュービック法(それぞれ後述)というリサンプリング手法を用いている。この中で、ニアレストネイバー法は、上記のサンプリング定理を無視するため、最終的に目障りなジャギーを出現させることになっている。それ以外の手法は、Fig. 6を見ると一見、何を表しているのかわからなくなるが、正しいスケールで見た場合には、それなりに見えることがわかる。

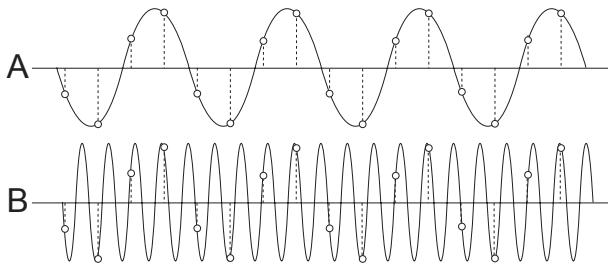


Fig. 3 サンプリング定理に基づくエイリアシング現象



Fig. 4 「邊」元画像 (256x256)



Fig. 5 「邊」における縮小処理 (1)

2.2 一般的なりサンプリング手法

現在、一般に広く利用されているリサンプリング手法としては、ニアレストネイバー法 (Nearest Neighbor Method), バイリニア法 (Bi-linear Method), バイキュービック法 (Bi-cubic Method) などがあり (Table 1), Adobe Systems 社¹のPhotoshopなどで利用できる。

2.3 ニアレストネイバー法

ニアレストネイバー法は、輝度を求めるべき点の最近傍 (Nearest Neighbor) の輝度値がそのまま輝度値になるという単純なアルゴリズムである。入力画像 $f(i, j)$ を

¹<http://www.adobe.co.jp> / <http://www.adobe.com>

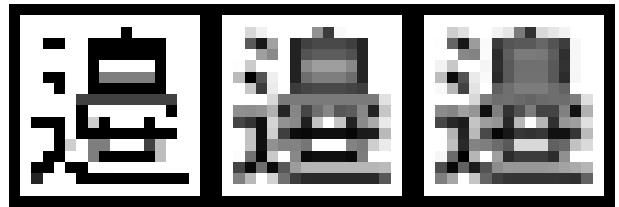


Fig. 6 「邊」における縮小処理 (2)

Table 1 リサンプリング手法とその性質

リサンプリング手法	品質	速度
ニアレストネイバー	低	高速
バイリニア	中	中速
バイキュービック	高	低速

A倍するにあたって、

$$f'(m, n) = f(\lfloor m/A + 1/2 \rfloor, \lfloor n/A + 1/2 \rfloor) \quad (1)$$

という式を利用する。ここで、 $\lfloor m/A + 1/2 \rfloor$ は、簡単に言い表すと、 m/A を四捨五入することを示す。

この手法は、その処理が非常にコンピュータ向きであり、高速に処理できるため、とりあえず、どのようなリサンプリングでも良いという場合に使われる。しかし、前述したとおり、縮小においては、エイリアシングが頻繁に発生し、画質は非常に悪い。しかし、出力される画像は比較的コントラストが高く、入力画像の種類によっては、非常に素直に拡大できることもある。

2.4 バイリニア法

バイリニア法は、1次補間の一種であり、入力画像 $f(i, j)$ を A倍するにあたって、 $(n/A, n/A)$ の4近傍を利用する。

$$\delta x = m/A - \lfloor m/A \rfloor \quad (0 \leq \delta x < 1) \quad (2)$$

$$\delta y = n/A - \lfloor n/A \rfloor \quad (0 \leq \delta y < 1) \quad (3)$$

$$f_{00} = f(\lfloor m/A \rfloor, \lfloor n/A \rfloor) \quad (4)$$

$$f_{10} = f(\lfloor m/A + 1 \rfloor, \lfloor n/A \rfloor) \quad (5)$$

$$f_{01} = f(\lfloor m/A \rfloor, \lfloor n/A + 1 \rfloor) \quad (6)$$

$$f_{11} = f(\lfloor m/A + 1 \rfloor, \lfloor n/A + 1 \rfloor) \quad (7)$$

と定義すると、

$$f'(m, n) = \left\{ \begin{pmatrix} f_{00} & f_{10} \\ f_{01} & f_{11} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 - \delta x \\ \delta x \end{pmatrix} \right\}^T \begin{pmatrix} 1 - \delta y \\ \delta y \end{pmatrix} \quad (8)$$

で表現される手法である。この手法は、ニアレストネイバー法のようにエイリアシングが発生することはないが、一方で、輝度変化が直線的になりすぎ、画像がぼやけてしまうという欠点がある。

2.5 バイキュービック法

バイキュービック法は、3次補間的一种であり、入力画像 $f(i, j)$ を A 倍するにあたって、 $(m/A, n/A)$ の16近傍を利用する。この様子を Fig. 7 を示す。P は色を求める点である。Fig. 7 中、 $(0,0)$ で示される点は、第一次近傍と呼ばれ、 $(-1,-1)$ で示される点を第二次近傍と呼ぶ。このそれぞれの近傍について、X 方向、Y 方向それぞれに独立に、距離 d_x, d_y に対して、重み W_x, W_y を求め、最終的にその点に対する重み、 $W = W_x W_y$ を得る。

$$W = \begin{cases} (d-1)(d^2-d-1) & \text{第一次近傍} \\ -(d-1)(d-2)^2 & \text{第二次近傍} \end{cases} \quad (9)$$

例として、 $(-1,-1)$ の点 (第二次近傍) に対して、 W_x, W_y, W を求めてみると、

$$W_x = \delta x(\delta x - 1)^2 \quad (10)$$

$$W_y = \delta y(\delta y - 1)^2 \quad (11)$$

$$W = \delta x(\delta x - 1)^2 \delta y(\delta y - 1)^2 \quad (12)$$

このとき、 $W(j, i)$ を (j, i) の重み、 $f(j, i)$ を (j, i) の輝度とすれば、P の輝度 $f'(P)$ は、

$$f'(P) = \sum_{i=-1}^2 \sum_{j=-1}^2 W(j, i) f(j, i) \quad (13)$$

となる。バイキュービック法の特徴として、バイリニア法のようにエイリアシングが発生しないこと、そして、バイリニア法ほど画像がぼやけないことがあげられる。しかし、計算量が多く、処理速度が遅い、画像に若干の揺らぎが生じるなどの欠点も見受けられる。一般的には最も結果の良いリサンプリング手法の一つとされている。

Fig. 8 には、ニアレストネイバー法、バイリニア法、バイキュービック法のそれぞれを簡単な矩形波に対して適用した場合の結果を模式的に記述している。Fig. 9 は、簡単な白黒のストライプ模様を各手法で拡大したものである。

3 まとめ

今回、3つのリサンプリング手法について考察を行った。これらの3つのサンプリング手法にはそれぞれ、利点、欠点があるが、お互いに補完しあうような関係にある。画像のリサンプリング、特にアップサンプリングに関しては、無い情報を人工的に作成することになるため、必然的に無理が発生することは仕方がない。拡大手法の検討に当たっては、目的とする画質と時間とのトレードオフや、あるいは、画像の種類(地図、絵画、イラスト)などを十分に考慮する必要がある。

4 参考文献

『PostScript(R) リファレンスマニュアル第3版』
Adobe Systems 著/桑沢 清志 訳/2001年7月/アスキー

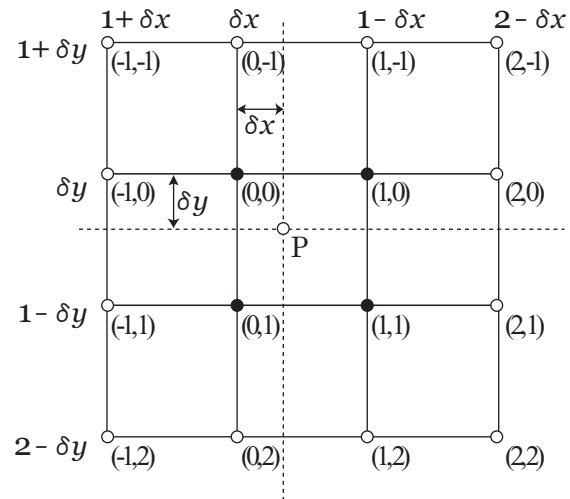


Fig. 7 バイキュービック補間の模式図

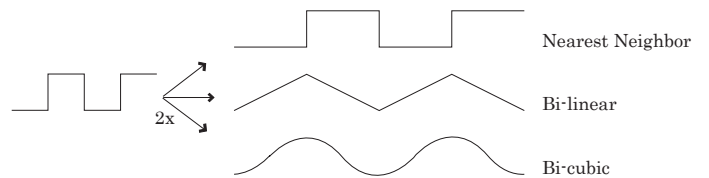


Fig. 8 拡大(補間)の模式図(上からニアレストネイバー、バイリニア、バイキュービック)

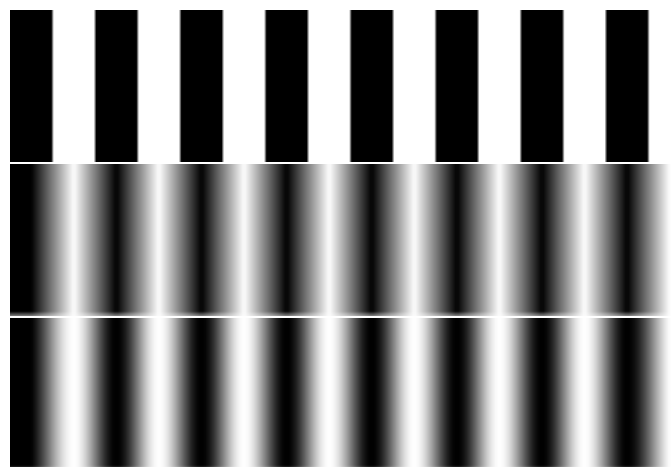


Fig. 9 拡大(補間)の模式図(上からニアレストネイバー、バイリニア、バイキュービック)