

2次元フーリエ変換の画像処理への応用

*Dr. キッチュ

0. はじめに

Windowsに代表される、GUI(Graphical User Interface)の爆発的な普及と共に、ハイカラー/フルカラー対応のマシンが一般的となってきた。ソフト面においても、PhotoShop(Adobe社)等のフォトタッチソフトも充実してきた。

画像ソースとしては、パーソナル環境では、自作の写真、もしくは、印刷物のグラフィックをスキャナーで取り込むものが主流と思われる。

しかしながら、グラフィックの映像をスキャナで取り込む場合、スキャナ解像度とカラー印刷の網点の間で、不快な「モアレ(模様荒れの略)」を発生させることがしばしばある。

そこで、取り込んだ画像データに、2次元フーリエ変換・画像処理を行う事で、これらモアレを除去する試みに成功したので報告する。

1. モアレ発生のしくみ

モアレは、スキャナーの線解像度と、印刷物の網点ピッチの間で起こる、デジタルサンプリングに固有の空間的エイリアシング現象である。

しかも、モアレは、網点との空間周波数の差により発生する現象なので、スキャナーの解像度を上げて、本質的に除去不可能である。

スキャナー解像度を $s[\text{dot/inch}]$ 、網点ピッチを $p[\text{dot/inch}]$ とした場合、モアレ空間周波数 $m[\text{dot/inch}]$ は、

$$m = (p \pm s) \cdot n [\text{dot/inch}], n = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

となる。特に、 s と p が近接している場合、モアレ周波数は低くなり、画像上に不愉快な色ズレの縞模様が発生する。これらの縞模様は、周波数が高い場合は、メディアン・フィルタ(近接点の色情報を元にした平均化によるノイズ除去フィルタ)を通せば減少出来る場合もあるが、低周波の場合は、原画像をそこなわずにこれらを抑圧することは困難である。

*超越科学研究所・ワークスキッチュ
マッドサイエンス学会正会員
Laboratory of Hyper-Science
Tokyo JAPAN

2. フーリエ変換と、2次元図形への応用

モアレ発生は、このように画像周波数空間の現象であるので、周波数処理の定石である、フーリエ変換を利用するのがスマートである。

フーリエ変換は、信号 S のエネルギーを、周波数ベクトル空間 F へ展開するための数学的手段であり、これを有限空間・デジタル化したものがDFT(discrete Fourier Transformation)と呼称されており、PCMやDSP処理に応用されている。

DFTにおけるフーリエ係数 $C(n/N)$ は、

$$C(n/N) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} s(k) \cdot \exp(-j2\pi n \cdot k \cdot f_0) \quad (2)$$

これによる元信号の表記は、

$$s(n) = \sum_{k=0}^{N-1} C(k/N) \cdot \exp(j2\pi n \cdot k \cdot f_0) \quad (3)$$

ただし、

$$f_0 = 1/N, f_0 \text{は基本周波数} \quad (4)$$

となる。

このDFTを二次元に拡張するには、空間周波数という概念を用いる。すなわち、距離 x を時刻 t に見立てて、フーリエ変換を適用するものである。これを、ラスタオペレーションとして、X軸、Y軸に平行にフーリエ変換することで、2次元フーリエ変換を定義できる。

3. モアレと2次元フーリエ変換の関係

1. で説明したように、モアレには固有の空間周波数があるので、モアレのある画像を2次元フーリエ変換すると、モアレのエネルギーを、空間周波数ベクトル空間内の1点(厳密には誤差のために拡散する)へ凝縮することができる。

従って、このモアレの部分のエネルギーを取り去り、逆フーリエ変換を施すことにより、モアレのない画像を再現できる。

画像処理フロー



スキャナと印刷網点による
モアレパターンの発生の様子

fig.1

原画像

DFT処理

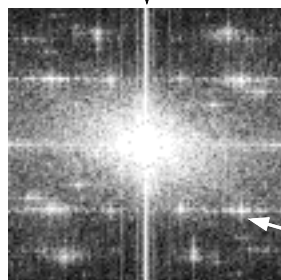


fig.2

原画像のDFT結果
(実数化 log圧縮)

モアレ信号成分が
星状に凝縮する

Hyper彩子による
星パターンの除去
(マニュアル処理)

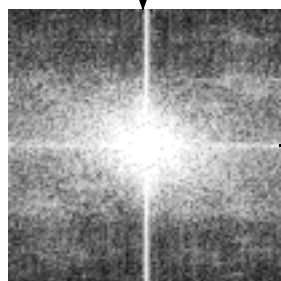
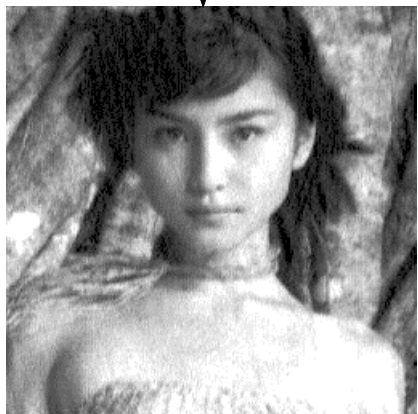


fig.3

fig.2からモアレ成分を除去

変更部分の
マスク処理
(置換演算)

逆DFT処理



ほとんどモアレが除去
されている、
処理後画像

fig.4

処理後画像

4. 具体的な実験と検証

2次元フーリエ変換を実行するプログラムとして、IMAGEOP.exe をBorland C++ 3.0上で開発した。このプログラムは、フルカラー画像ソフトである「Hyper彩子」のRGB形式のファイルを、フーリエ/逆フーリエ変換するものである。FFTアルゴリズムを使用している。

色空間表記は、RGB空間表記の他に、カラ-TVで馴染みのCY空間表記、色評価分析で一般的な、HSV空間表記に対応できる。これら色空間表記をオプションにより指示し、目的とする色空間成分(1成分ずつ)をフーリエ変換する。各色成分は、フーリエ演算結果(一般的に複素数)の.Xファイル(X:R,G,B or C,Y1,Y2 or HUE,SAT,VAL)と、これを実数化・logスケール圧縮した、RGBマスキングファイルを生成する。フルカラーの変換は、この手順を、各成分ごとに3回繰り返すことになる。EMSと数値演算コプロセッサは必須で、EMS=8メガで1024*512[dot]が処理できる。実行時間は、486DX/50MHzの環境で25分/color程度である。

fig.1に、実験に使用する原画像を示す。縦のストライプが、モアレで発生する縞模様である。これをフーリエ変換した後の.RGBマスキングファイルには、原画像のフーリエ変換後のイメージが現れる。(fig.2) 画像中心は、p=0[dot/inch]に相当する部分で、ここに画像データのほとんどの情報エネルギーが集中している。

モアレは、この中心に対して、点对称の位置に、星のような光虹を放って現れる。したがって、この部分をカットし(fig.3)、フーリエ変換データと掛け合わせ、逆フーリエ変換することで、1つの色成分についてのモアレが除去できる。この処理を3成分について実行し、各色成分を合成して、モアレのない画像を得る。(fig.4) マスクカット処理がマニュアルにも関わらず、かなりの効果を上げている事がわかる。

5. まとめ

2次元フーリエ変換を用いて、画像からのモアレ除去処理に適用し、良好な結果を得た。これで、アイドルの水着除去処理・あ、あいや、高度な画像処理への応用が期待できる。今後は、高速化/モアレ除去自動化などに対応していきたい。

参考文献

パソコンによる画像処理 NHK出版局
MS-DOSプログラマーズバイブル CQ出版社
デジタル信号処理入門