ノート

X 線写真の MTF による画像処理

東京都衛生局医務部医療対策課

細 渕 安 弘

(論文受理 1984 年 6 月 29 日)

(最終論文受理 1985 年 3 月 15 日)

(Code No. 313)

Key words: Roentgenogram, MTF (Modulation transfer function), Digital image processings

DIGITAL IMAGE PROCESSING FOR MODIFYING MTF OF RADIOGRAPH

YASUHIRO HOSOBUCHI

Medical Management Section, Medical Affairs Division, Bureau of Public Health, Tokyo Metropolitan

(Article received; Jun., 29, 1984)

Summary

As a result of digital image processing, radiographic images are processed. Four different processed radiographs are produced, which have respectively flat responses up to spatial frequencies 2, 4, 8 and 16 lines/mm.

The first two images have good image quality, and the last two are rather noisy because of high frequency enhancement, but facts concerning high frequency enhancement are still not clear, detail are still clear. Digital processing of the MTF of a radiograph is very useful.

1. 緒 言

最近, X 線写真像をデジタル化処理し, 診断情報を抽出する努力が試みられている。いうまでもなく, X 線写真像の画質を左右する因子としては鮮鋭度, コントラスト, 粒状性といわれている。粒状性についてはノイズ低減, 鮮鋭度についてはエッジ強調, MTF 補正など画像処理が行われている。そのうち, MTF については高周波領域を延長するとか, 撮影系の補正, ボケ補正などアナログ的, デジタル的に試みられている。これらの画質は撮影系, 現像処理系, 観察系と複雑に関係している¹⁾。そこで, 全 X 線写真作成システムについて総合的に画質について論ずることのできる MTF の立場で X 線写真を考

察することは極めて有意義であると考えられる。

これまで MTF 全体についてあまり考えられていない X 線撮影システムの MTF をデジタル処理により種々に変更することにより, いかなる X 線写真をうることができるか, そして, その画質を検討することは有意義と思われる。

これまで MTF の高周波側への延長による画像の画質向上, MTF の一部を強調することによる画質向上などの処理が行われている。ここでは画像判定に影響をうける領域の周波数の MTF の影響について解析を試みたので, その結果について報告する。

2. 原 理

X線写真のMTFによる画像処理 (細測)

MTF による画像処理²⁾

被写体の強度スペクトル $S \text{ in}(x)$, 撮影システムのポイントスプレッド関数を $b(x')$ とすると, 得られる画像の強度スペクトル $S(x')$ は

$$S(x') = S \text{ in}(x) \otimes b(x') \quad \cdots \cdots (1)$$

となる. 空間周波数領域になおすと, (1)式は次式で表わされる.

$$S(f) = S \text{ in}(f) \cdot B(f) \quad \cdots \cdots (2)$$

ここで, $S(f)$ は処理されていない画像スペクトルで, フーリエ変換で表わされ, $S \text{ in}(f)$ は同様に被写体のスペクトル, $B(f)$ は撮影システムの MTF である. ここで画像の補正処理のための処理関数 $P(f)$ を用いて, 目的とする理想的システムの MTF $B'(f)$ をもつ画像に変換したとすると, 処理された画像 $S \text{ proc}(f)$ は次で表わされる.

$$S \text{ proc}(f) = S(f) \cdot P(f) \quad \cdots \cdots (3)$$

(3)式に(2)式を代入すると

$$= S \text{ in}(f) \cdot B(f) \cdot P(f) \quad \cdots \cdots (4)$$

さらに変換すると

$$= S \text{ in}(f) \cdot B'(f) \quad \cdots \cdots (5)$$

したがって, 処理関数は

$$P(f) = B'(f) / B(f) \quad \cdots \cdots (6)$$

で与えられる.

(6)式を用いることにより理想的とするシステムによる画像がえられる. なお, コンピュータによる計算は空間領域で行われる.

したがって,

$$S \text{ proc}(x) = S(x) \times P(x)$$

$$= S \text{ in}(x) \times b'(x)$$

$$= S \text{ in}(x) \times b(x) \times P(x)$$

空間領域では $P(f)$ を逆フーリエ変換することにより, 処理関数は

$$P(x) = \iint P(f) \exp[j2\pi fx] df df$$

となる.

したがって, あたえられた X 線写真を処理関数で処理すると得られた画像は理想的とする MTF で撮影された画像となる.

3. 実験方法

一般に, X 線撮影系の MTF は指数関数的に減少するもので, 現在それをさらに高周波まで延伸することにより画像向上を行っている. しかし, 一般写真カメラの撮影システムの MTF は低周波でほぼその応答が一定で, 高周波になるにしたがって余弦的または直接的に低下す

る. このような系の MTF を仮定し, X 線画像にあてはめたとき, その画像は良いものであると想像される. したがって, 写真カメラの撮影システムは 16 lines/mm 程度まで MTF 値が 1 のフラットな値を示すといわれている. そこで, それぞれ 2, 4, 8, 16 lines/mm まで MTF 値が 1 の X 線画像を作成した. そして, どのような像を描くかをしらべた.

Fig. 1 は X 線写真撮影系全体を含むデジタル化システムの MTF と 4 種の理想的とする MTF である. オリジナル (原画像) は正常人の胸部間接 X 線写真である. 一般に間接 X 線写真の MTF は Fig. 1 のように指数関数的に減少するといわれている. ここでは MTF を測定できなかったもので, 通常もちいられていると思われる MTF を使用した. 破線部分はその MTF を延伸したもので, 現在, 研究が行われている. Fig. 1 の MTF2 とは理想とする MTF 値 1 が 0 から 2 lines/mm までで, 以下 16 lines/mm まで MTF 値が 0 に直線的に低下したものとした. 以下同様に, MTF4, MTF8, MTF16 は各々 4, 8, 16 lines/mm まで 1 で, それ以上, それぞれ 16 lines/mm まで 0 に低下したものとした. Fig. 1 から理想的システムの MTF と撮影のシステムの MTF とをとり処理関数を求めた. Fig. 2 に示す. 図からわかるように, 放物線を描き, 理想的とする MTF 値が高周波側へ伸びるほど, 大きな数値となり, かつピークが高周波側へうつり, 非対称となる. Fig. 2 に示す空間周波数特性を

Fig. 1 MTF of an indirect photographed radiometric image and 4 modified MTFs.

Fig. 2 Spatial frequency filters of 2, 4, 8 and 16 lines/mm.

Fig. 4 Photoreader (right) and photoprinter (left).

逆フーリエ変換を行い、空間関数に変換すると同時にコンピュータ計算のため、それぞれ MTF2, 4, 8, 16 の 9×9 マトリックスを求めた。それが、Fig. 3 である。

原画像をフォトリーダ（阿部設計製）にかけ、10 dot/mm でスキャンさせ、AD 変換（8 ビット、256 レベル）後、MT に記憶させる。これを Fig. 3 でえた処理関数とコンボリューション積分を実施し、画像処理を行った。このデータをフォトプリンタ（阿部設計製）Fig. 4 で再びフィルム上に記録した。

4. 結果と考察

Fig. 5 (a) は未処理画像（原画像）で、写真 (b), (c), (d), (e) はそれぞれ MTF2, 4, 8, 16 lines/mm で処理した画像である。この処理画像を原画像と比較しな

MTF 2

0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	3	0	0	0	0
0	0	0	-13	-31	-13	0	0	0
0	0	3	-31	283	-31	3	0	0
0	0	0	-13	-31	-13	0	0	0
0	0	0	0	3	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0

MTF 4

0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	-1	2	-1	0	0	0
0	0	-1	-18	-39	-18	-1	0	0
0	0	2	-39	329	-39	2	0	0
0	0	-1	-18	-39	-18	-1	0	0
0	0	0	-1	2	-1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0

MTF 8

0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	-1	-1	0	-1	-1	0	0
0	-1	0	3	11	3	0	-1	0
0	-1	3	-27	-80	-27	3	-1	0
0	0	11	-80	466	-80	11	0	0
0	-1	3	-27	-80	-27	3	-1	0
0	-1	0	3	11	3	0	-1	0
0	0	-1	-1	0	-1	-1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0

MTF 16

-3	0	2	-4	2	-4	2	0	-3
0	0	1	0	6	0	1	0	0
2	-1	-5	-4	17	-4	-5	1	2
-4	0	-4	-26	-337	-26	-4	0	-4
2	6	17	-337	1535	-337	17	6	2
-4	0	-4	-26	-337	-26	-4	0	-4
2	1	-5	-4	17	-4	-5	1	2
0	0	1	0	6	0	1	0	0
-3	0	2	-4	2	-4	2	0	-3

Fig. 3 Processing function: 9×9 matrix (Point spread function of MTF 2)

から検討した。(b) (c) は (a) と比較すると画像のディテールが改善されている。MTF4 lines/mm の (c) では、僅かであるが、ノイズが強調されている。(d) (e) ではノイズが多く、画像の改善が打ち消されている。そのために、最適の画像は (a) の 2 lines/mm 付近である

Fig. 2 Spatial frequency filters of 2, 4, 8 and 16 lines/mm.

Fig. 4 Photoreader (right) and photoprinter (left).

逆フーリエ変換を行い、空間関数に変換すると同時にコンピュータ計算のため、それぞれ MTF2, 4, 8, 16 の 9×9 マトリックスを求めた。それが、Fig. 3 である。

原画像をフォトリーダ（阿部設計製）にかけ、10 dot/mm でスキャンさせ、AD 変換（8 ビット、256 レベル）後、MT に記憶させる。これを Fig. 3 でえた処理関数とコンボリューション積分を実施し、画像処理を行った。このデータをフォトプリンタ（阿部設計製）Fig. 4 で再びフィルム上に記録した。

4. 結果と考察

Fig. 5 (a) は未処理画像（原画像）で、写真 (b), (c), (d), (e) はそれぞれ MTF2, 4, 8, 16 lines/mm で処理した画像である。この処理画像を原画像と比較しな

MTF 2

0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	3	0	0	0	0
0	0	0	-13	-31	-13	0	0	0
0	0	3	-31	283	-31	3	0	0
0	0	0	-13	-31	-13	0	0	0
0	0	0	0	3	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0

MTF 4

0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	-1	2	-1	0	0	0
0	0	-1	-18	-39	-18	-1	0	0
0	0	2	-39	329	-39	2	0	0
0	0	-1	-18	-39	-18	-1	0	0
0	0	0	-1	2	-1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0

MTF 8

0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	-1	-1	0	-1	-1	0	0
0	-1	0	3	11	3	0	-1	0
0	-1	3	-27	-80	-27	3	-1	0
0	0	11	-80	466	-80	11	0	0
0	-1	3	-27	-80	-27	3	-1	0
0	-1	0	3	11	3	0	-1	0
0	0	-1	-1	0	-1	-1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0

MTF 16

-3	0	2	-4	2	-4	2	0	-3
0	0	1	0	6	0	1	0	0
2	1	-5	-4	17	-4	-5	1	2
-4	0	-4	-26	-337	-26	-4	0	-4
2	6	17	-337	1535	-337	17	6	2
-4	0	-4	-26	-337	-26	-4	0	-4
2	1	-5	-4	17	-4	-5	1	2
0	0	1	0	6	0	1	0	0
-3	0	2	-4	2	-4	2	0	-3

Fig. 3 Processing function: 9×9 matrix (Point spread function of MTF 2)

から検討した。(b) (c) は (a) と比較すると画像のディテールが改善されている。MTF4 lines/mm の (c) では、僅かであるが、ノイズが強調されている。(d) (e) ではノイズが多く、画像の改善が打ち消されている。そのために、最適の画像は (a) の 2 lines/mm 付近である

Fig. 5 (e) MTF16

と考える。松本等³⁾によって行われた周波数処理写真では0.13 lines/mm, 0.25 lines/mmでMTFを強調した写真は原画像より、個人差があるが、よい評価を受けたと述べている。また、画質評価の良さと病変検出能は同一傾向を示さないとも述べている。本研究においても画質の改善が認められた。そして、画像は何を検知するかによってその処理を変えなければならないと思われる。このことは、高野⁴⁾も空間周波数強調処理をすると、明らかにノイズがふえるが、パターンは認知し易くなると言っている。

5. 結 論

1. 低周波領域において一定値のレスポンスをもつような画像処理を行った。原画像と周波数処理写真と比較検討の結果、原画像よりも画質がよくなることが知られた。

2. MTFが2 lines/mm付近まで一定値をもった画像がノイズ少なく、画像のディテールが良く表現されており、最適と考えられた。しかし、低周波数領域について一定値をもった画像は高周波においてノイズが強調された。

本研究にあたり機器使用への御便宜および御指導を賜りました千葉大学工学部天然色工学研究施設教授 江森康文博士に深く感謝の意を表します。

なお、本稿の要旨は第40回日本放射線技術学会総会において発表した。

文 献

- 1) 高野正雄：X線写真の画質。日放技学誌。31(6), 355~362, (1975)。
- 2) 安田嘉純, 江森康文, 飯坂譲二：航空機用MSS画像のMTFによる画像修復, 東京サイエンティフィックセンタレポート。IBM。(1977)。
- 3) 松本 徹, 松本満臣, 飯沼武他：胸部間接写真における画質改良処理の有効度評価。画像診断。4, (1) 75~88 (1984)。
- 4) 高野正雄：放射線医療画像の解析に関する問題点とその展望。日放技学誌。40, (2), 272~277, (1984)。