

AMCoR

Asahikawa Medical College Repository <http://amcor.asahikawa-med.ac.jp/>

旭川放射線技師会会誌 (1987) 9巻:25～27.

エッジ法によるM.T.F.測定

佐藤順一、窪田誠

エッジ法による M.T.F. 測定

旭川医大附属病院 放射線部 佐藤 順一
窪田 誠

〔はじめに〕

放射線系に於ける M.T.F. 測定には主に 3 つの方法が用いられる。即ちチャート法、スリット法、エッジ法である。各々に一長一短があるが得られるデータの安定性、信頼性が最も高くかつ測定の自動化に適するスリット法による測定法が将来の主流になるであろうと思われる。

しかしながら、現状において測定に利用出来る高精度のスリットの手は極めて困難であり他の評価方法に頼らざるを得ない。そこで、方法が簡便で測定の自動化にも適し、理論的には δ 関数を入力した場合における線像強度分布を求めることが可能なエッジ法による M.T.F. 測定について検討したので報告する。

〔理論〕

1. エッジ法について

簡単のため 1 次元で考える。ある有限幅を持つ細いスリットを入力として用いた場合のレスポンス関数 $R(\omega)$ は、スリットによる線像強度分布 (line spread function, 以下 LSF) を用いて

$$R(\omega) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} L(x) \exp(-i2\pi\omega x) dx}{\int_{-\infty}^{\infty} L(x) dx} \dots\dots\dots ①$$

となる。ここで ω は空間周波数、 $L(x)$ は LSF である。

次にエッジについて考える。エッジとは単位ステップ関数のことであり、 x が 0 又は正のとき 1 で、その他は 0 として定義される。

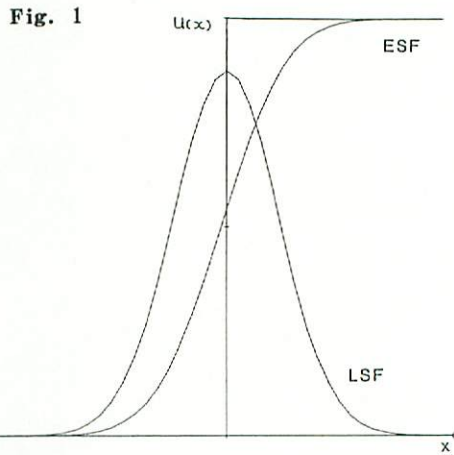
$$U(x) = \begin{cases} 1 & (x \geq 0) \\ 0 & (x < 0) \end{cases} \dots\dots\dots ②$$

ここで高さを 1 と仮定した。放射線系では 1 が被写体の無い部分、0 が放射線不透過部分である。この単位ステップ関数のボケ像 (Edge spread function, 以下 ESF) を $E(x)$ とすると、

$$E(x) = \int_{-\infty}^{\infty} L(x) dt \dots\dots\dots ③$$

という関係が成り立つ。即ち ESF の微分が LSF である。(Fig. 1)

$$L(x) = \frac{d}{dx} E(x) \dots\dots\dots ④$$



The relation between L.S.F. and E.S.F.

以上より、ESF を求め微分することにより LSF が得られ、これをフーリエ変換することにより MTF 等のレスポンス関数が求められる。これがエッジ法であるが、その精度は系の雑音の影響を受け易い ESF の裾と肩の部分の測定及び微分の精度に依存する。特に振動誤差が発生し易いことが知られている。そこで ESF の裾及び肩部分を適当な関数にあてはめることにより測定値の精度を上げ、かつフーリエ変換時に積分区間を設定して計算することにより微分操作を省略し、誤差の低減を図った。

2. 計算式

今、MTF について考えるので絶対値のみに着目すると、MTF は次式で表わされる。

$$MTF(\omega) = \frac{\left| \int_{-\infty}^{\infty} L(x) \exp(ikx) dx \right|}{\left| \int_{-\infty}^{\infty} L(x) dx \right|} \dots\dots\dots ⑤$$

ここで $k = 2\pi w$, w は空間周波数、 $L(x)$ は L S F である。

L S F は裾の広がった鐘状の関数であり、 $\pm\infty$ において0に無限に近づくものである。実際問題 $L(x)$ は中心からある程度離れた点において0と仮定することが出来る。そこで限られた $\pm a$ という有限の範囲を考えると、 a の値を十分に大きくすることにより $\pm\infty$ の区間で定義された M T F は次式の様に書き表しても差し支えないと思われる。

$$MTF(\omega) = \frac{\left| \int_{-a}^a L(x) \exp(ikx) dx \right|}{\left| \int_{-a}^a L(x) dx \right|} \dots\dots\dots ⑥$$

④式より

$$MTF = \frac{\left| \int_{-a}^a \frac{dE(x)}{dx} \cdot \exp(ikx) dx \right|}{\left| \int_{-a}^a \frac{dE(x)}{dx} dx \right|} \dots\dots\dots ⑦$$

と表される。

分母については直接積分が可能であり、次式となる。

$$\left| \int_{-a}^a \frac{dE(x)}{dx} dx \right| = \left| E(a) - E(-a) \right| \dots\dots\dots ⑧$$

分子については、部分積分により

$$\begin{aligned} & \left| \int_{-a}^a \frac{dE(x)}{dx} \exp(ikx) dx \right| \\ &= \left| \left[E(x) \exp(ikx) \right]_{-a}^a \right. \\ & \quad \left. - ik \int_{-a}^a E(x) \exp(ikx) dx \right| \\ &= \left| E(a) \exp(ika) - E(-a) \exp(-ika) \right. \\ & \quad \left. - ik \int_{-a}^a E(x) \exp(ikx) dx \right| \dots\dots\dots ⑨ \end{aligned}$$

となる。

以上から、オイラーの定理より三角関数の表現を用

いて M T F は次のように微分表現なしに書き表される。

$$\begin{aligned} MTF(\omega) = & \left| \cos ka + A \int_{-a}^a E(x) \sin kx dx \right. \\ & \left. + i \left[B \sin ka - A \int_{-a}^a E(x) \cos kx dx \right] \right| \end{aligned}$$

ただし

$$A = \frac{k}{E(a) - E(-a)}$$

$$B = \frac{E(a) + E(-a)}{E(a) - E(-a)} \dots\dots\dots ⑩$$

である。

〔実験方法及び結果〕

増感紙—フィルム系の M T F を測定した。使用計算装置は当院治療部門の N E C 9801、DIGITIZER :

HIPAD、エッジとして化成オプトンクス type 3 矩形波チャート、濃度計はサクラマイクロデンシメータ PDM 5、試料系としてフジ Hi-Screen 及びフジ R X フィルムを用いた。測定手順は以下の如くである。

1) エッジとして矩形波チャート (pb 厚 0.2 mm) の一番低周波部分のエッジを用い、増感紙—フィルム系に密着させ中心 X 線を断端に垂直に入射し高濃度側拡散濃度が 2.0 程度となるように撮影した。

2) 現像処理後のフィルムを、マイクロデンシメータにより走査しエッジ像濃度分布を求めた。走査スリットの開口は $10 \times 800 \mu\text{m}$ 、スキャンスピード $1 \mu\text{m}/\text{sec}$. であった。

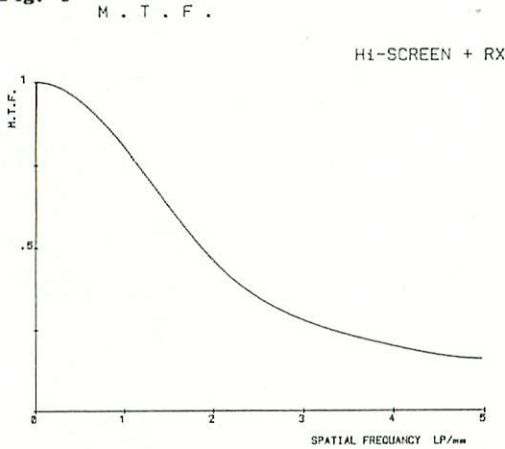
3) エッジ像分布を DIGITIZER により読みとり計算装置に入力し、あらかじめ測定しておいた試料系の特性曲線より有効露光変換し、E S F を決定した。この入力時のサンプリング間隔は $1 \mu\text{m}$ であった。またデータ入力時に単純移動平均法による平滑化 (Savitzky 法) を行った。

4) 得られた E S F の高強度側一定値の $\frac{1}{2}$ の強度を示す点の X 座標を定義域の位置座標 0 の点と定め、裾及び肩部分を最小二乗法を用いて 3 次多項式で近似した。

5) 積分区間土 a ($a = 10\mu\text{m}$ であった。)を含め、⑩式によりMTFを計算した。なお、積分に於ては台形公式を適用した。

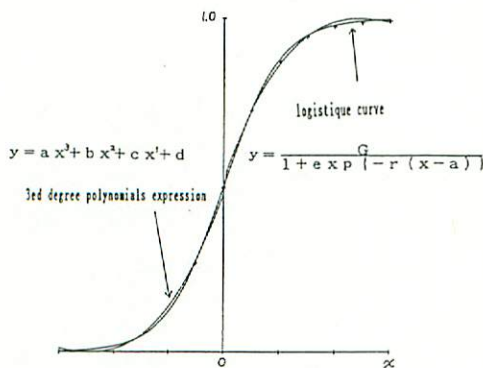
6) 得られた系のMTFをFig. 2に示す。

Fig. 2



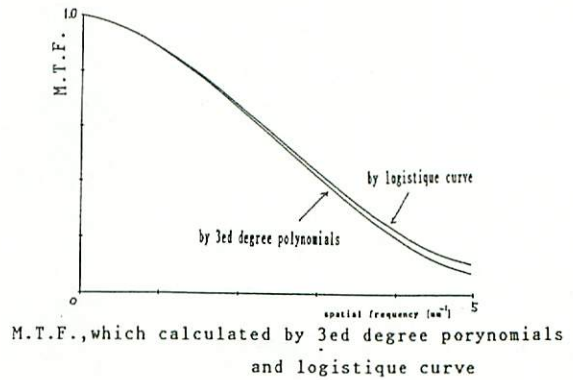
得られたMTFは振動誤差がほとんど見られず、また複数回の測定で再現性はほぼ満足出来るものであった。しかし区分的にESFを3次式で近似したため、真のMTFとは若干の相異が出る事が予想される。現時点ではスリット法との比較が不可能なため、ESFがlogistique 曲線であると仮定し、3次式で近似した場合と比較してみた (Fig. 3、4)。若干の違いが認められ、多項式は線形であり計算が容易であるが他の適合関数を用いた最良の近似関数形の設定が望まれる。

Fig. 3



The comparison of approximate methods.

Fig. 4



【結論】

- 1) 以上の方法により、エッジ法測定における系の雑音による精度の低下を少なくする事ができた。
- 2) エッジ法は測定操作が簡便であり、今後ハードやソフトの改良により測定の自動化が期待される。
- 3) エッジ法は他の方法と比較して test object の位置合わせ不良による誤差及び object 自身による不鋭が少ない利点があり、スリット法との比較及び測定精度向上の検討が望まれる。

【引用文献、参考文献】

- ① 内田 勝他、放射線画像情報工学(I)、(II)、診療放射線技術学大系4、通商産業家研究社(1980)
- ② 北海道放射線技術学会北海道部会画像委員会、北海道放射線技術雑誌(1985)
- ③ N. J. Schneindsr, Med. Phys. 5, (1), P.P. 31~37 (1978)
- ④ 中野 努、第42回放技学会総会予稿集124, (1986)
- ⑤ 野口正良、 γ 線スペクトロメトリー、日刊工業新聞社、(1975)
- ⑥ 斉藤 他、第41回放技学会総会予稿集184, (1985)