原 著

エッジ法によるpresampled MTFの
簡便な解析方法の提案と検証東出 了・市川勝弘¹⁾・國友博史・澤田道人²⁾

名古屋市立大学病院中央放射線部

1)金沢大学大学院医学系研究科保健学専攻

2)安城更生病院放射線技術科

論文受付
2007年9月19日論文受理
2008年1月30日

Code No. 522

緒 言

Computed radiography (CR) やflat panel detector (FPD) などデジタル一般撮影装置におけるpresampled modulation transfer function (presampled MTF) の測定法として、近年、金属プレートを用いた方法(エッジ法)が注目されている。従来から多く用いられているスリット法は0.01mm程度の幅に垂直に入射するX線だけを通過させるため、スリットおよびX線管球を正確に配置する必要がある、アライメント制御と維持のための補助具を必要とするなど画像取得に工夫が必要となる。その点においてエッジ法はX線の斜入射による影響について考慮する必要はあるものの、画像の取

得は容易である。

International Electrotechnical Commission (IEC)¹⁾によって採用されたエッジ法は、エッジを約1.5~3.0°傾けて撮影し、エッジを横切る方向の複数ラインのプロファイルを作成することによりサンプリング間隔の細かい合成プロファイルを得る。これに対して必要に応じて線形化を行い、微分することでline spread function (LSF) を計算して、フーリエ解析によりMTFの算出を行う。Buhrら²⁾は、傾けたエッジの角度によって合成に使うライン数を決定している。そして、合成の際に解析が容易に行えるように、合成後の各点の配置を理論的な配置とは異なる均等な間隔で調整して合成プロ

Proposal and Verification of Presampled MTF Measurement by the Simple Analysis Method Using the Edge Method

Ryo Higashide, Katsuhiko Ichikawa,¹⁾ Hiroshi Kunitomo, and Michito Sawada²⁾

Central Department of Radiology, Nagoya City University Hospital

1)Division of Health Sciences, Graduate School of Medical Science, Kanazawa University

2)Department of Radiological Technology, Anjo Kosei Hospital

Received Sept. 19, 2007; Revision accepted Jan. 30, 2008; Code No. 522

Summary

The edge method adopted by the International Electrotechnical Commission (IEC) for presampled modulation transfer function (presampled MTF) measurement has the advantage that the complexity and limitations of image acquisition are less than those of the slit method. On the other hand, it has the disadvantage that the maintenance of accuracy is difficult because of the noise amplification caused by the differentiation. In order to reduce this disadvantage, we proposed an effective method in which many edge profiles are synthesized and then the synthesized edge profiles are bound into regular interval bins. Furthermore, the influences of some factors in edge profile analysis on measurement accuracy were examined. The appropriate width of one bin was 10-20% of the sampling interval. Measurement error of the inclination angle of the edge should be made up to 0.05°. The range of the angle was allowed to be from 1 to 5 degrees. If these conditions were fulfilled, accurate measurement up to the Nyquist frequency (f_n) was possible. Using an actual computed radiography (CR) system, the presampled MTF was obtained by the slit method and our edge method. The two results showed good agreement.

Key words: modulation transfer function (MTF), digital imaging system, presampled MTF, edge別刷資料請求先: 〒467-8602 名古屋市瑞穂区瑞穂町字川澄1番地
名古屋市立大学病院 中央放射線部 東出 了 宛

ファイルを得る方法について報告している．この方法では理論的配置と調整後の配置の差が大きいほどMTFの結果における誤差が大きくなる．さらに，解析過程の微分操作によってノイズが増幅されるために安定したMTFの測定を行うことが難しいという問題点もある．また，Sameiら³⁾はノイズの軽減を目的にedge spread function (ESF)の平滑化や曲線近似を行っており，スリットとエッジで実測したMTFの比較では，エッジ法においてノイズを軽減させるための平滑化の影響でナイキスト周波数以下のMTF値が低下している．これらの報告から，エッジ法における誤差要因が多いことは明らかであり，これを軽減し，より正確にMTFを求めるための解析方法が必要である．われわれの提案する手法は，傾斜したエッジ像から広範囲のデータ点を合成してプロファイルを得て，これらを後述する一定間隔のbinを用いて平均化することで，等間隔となる合成のESFを取得する方法である．

本論文では，提案する手法についてコンピュータシミュレーションによる精度の確認およびさまざまな因子のpresampled MTF測定値への影響について述べる．また，CR装置を用いた実測によるスリット法との比較についても述べる．

1. 方法

1-1 提案手法におけるpresampled MTFの解析方法

われわれの提案するエッジ法によるpresampled MTFの解析方法は，Buhrらやその他の報告^{2, 4~6)}の方法と同様に約2°傾けたエッジ像を利用する．これによりエッジ像から合成プロファイルを作成することができるが，われわれの手法では，この際に，Buhrらのように合成のためのライン数を傾斜角度から決定せず，角度に応じて広い範囲の二次元的データを一次元上に投影して合成プロファイルを得る．Fig. 1は5×5マトリクスのエッジデータでの本手法におけるプロファイルの合成方法を示したものである．図のように，合成後の位置はA行の1, 2, 3, 4, 5それぞれのデータ間隔は検出器のサンプリングピッチPであり，1列のA, B, C, D, Eそれぞれの合成後のデータ間隔はエッジの傾斜角度： θ に依存して $P \times \tan \theta$ となる．しかし，各列のデータを重ねるように合成すると合成後のデータの間隔が不均等となり，このままでは，フーリエ変換することは困難である．そこで，不均等な間隔のデータをFig. 2(a)のように一定の幅を持つbinを設定して，それぞれのbin内に収まるデータ点を平均化することで，Fig. 2(b)のような均等間隔のデータに変換する手法を取った．このbinによる平均化処理には，間隔を均等にするだけでなく，平滑化の効果もあり，後の微分処理によるノイズ強調を抑制する．得られた合成プロ

Fig. 1 Schema of edge profile synthesis in the proposed method (example of 5×5 matrix).

ファイルは必要に応じてデジタル特性曲線⁷⁾を用いて線形化を行い，合成のESFとする．そして，ESFを微分することでLSFを得て，truncation error⁸⁾を防ぐためにLSFに外挿処理^{9, 10)}を行い，フーリエ変換¹¹⁾によりpresampled MTFを算出する．このとき，binによる平滑化と隣接差分の影響を考慮してsinc関数による補正¹²⁾を行う．この際に用いる補正係数は次式で表される．

$$\frac{1}{\text{sinc}(\pi \cdot f / (2 \cdot f_c))} = \frac{\pi \cdot f / (2 \cdot f_c)}{\sin(\pi \cdot f / (2 \cdot f_c))}$$

f ：空間周波数[cycles/mm]

f_c ：合成後の均等間隔となったプロファイルのナイキスト周波数[cycles/mm]

Fig. 3に本手法の解析手順を示す．

1-2 コンピュータシミュレーションによる本手法の精度の検討

1-2-1 基本的な精度の検討

シミュレーションによりガウス関数による既知のMTF(真値)を持つエッジ像のデータを作成して，測定値と真値の比較を行い，本手法が妥当な結果を導き出すことができるかを検証した．シミュレーションにて作成するエッジ像は，元の画像データとして0.001mmの非常に細かい間隔の画像データより作成して，正確なシミュレーションとなるようにした．解析に用いるシミュレーションによるエッジ画像のサンプリングピッチは0.1mmとした．エッジの傾斜角度は過去の報告から妥当と思われる2°とし，binの幅は，その影響

Fig. 2 Outline of the method with which the synthesized profile with irregular interval was converted into a profile data with regular interval using the regular interval bins.

が少ないと考えられる0.01mmを用いた。

1-2-2 各因子の測定値への影響の検討

本手法を用いた場合の影響因子として、エッジの傾斜角度、binの幅、エッジ角度の計測誤差、およびノイズが考えられる。これらの影響を検討するためにシミュレーションによるエッジ像を用いて、各因子を変化させてpresampled MTFを算出し真値と比較した。なお、以下のa), c), d)に用いるbinの幅は0.01mmとして、合成プロファイルを作成するために用いる範囲は180×180ピクセルとした。

a) エッジの傾斜角度の影響

1〜5°内の角度において0.2°間隔で変化させてナイキスト周波数(f_n)とその半分の周波数($f_n/2$)での真値との誤差率の変動を求めた。

b) binの幅による影響

解析手順として180×180ピクセルのデータ点に対して $\tan\theta$ を使って合成を行い、不均等間隔の合成プロファイルをbinによって均等な間隔に変換する。この際に用いるbinの幅を0.01, 0.02および0.03mmと変化させ、エッジの傾斜角度が1〜5°内の角度において0.2°間隔で変化させて周波数 f_n と $f_n/2$ での真値との誤差率の変動を求めた。

c) エッジの角度の計測誤差による影響

傾斜角度が1, 2, 3, 4, 5°のエッジ画像に対してこの真の角度から $\pm 0.01^\circ$ 間隔で合成に用いる角度を変化させて周波数 f_n と $f_n/2$ での真値との誤差率の変動を求めた。

d) ノイズによる影響

実際にMTF測定を行う画像はノイズを含むため、傾斜角度が2°のエッジ画像に正規分布ノイズを付加し

Fig. 3 Procedure of analysis of presampled MTF measurement by the proposed method.

て、その画像から本手法およびBuhrらの方法にてpresampled MTFを算出し、両者の結果を真値と比較した。

1-3 CR装置を用いた実測によるスリット法との比較

前項で検討した結果をもとに、CR装置を用いてpresampled MTFの実測を行った。CR装置はコニカミノルタ社製Regius model 170を用い、サンプリングピッチが0.175mmのモードの画像を採用した。エッジはIECの規格に準拠した厚さ1mmタンゲステン製のもので、スリットはスリット幅が0.01mmで厚さ30mmのタンゲステン製のものを使用した。エッジは約2°傾けて撮影して、撮影管電圧は60kVを使用し、スリットはスリット部のデジタル値と、エッジは高露光部のデジタル値がそれぞれ最大値の80%程度になるよう

Fig. 4 Presampled MTF calculated from a simulated edge image using the proposed method. A normal vertical linear scale (a) and logarithmic vertical scale (b) are presented.

a | b

にmAs値を調節した。得られた画像のローデータをコンピュータに転送し、視覚的に不均一が認められない領域からエッジが中心となる180×180ピクセルのデータを抽出し合成プロファイルを得た。binの幅はCRのサンプリングピッチが0.175mmであるために、その10～20%の幅となる0.03mmとしてデータ間隔の均等化を行い、あらかじめタイムスケール法にて得られた特性曲線を用いて線形化を行い、合成ESFを算出した。そして、これを微分してLSFを得た後、LSFに対し指数関数近似による外挿を行い、このフーリエ変換により得た結果に対して、binの幅と隣接差分の影響に対するsinc関数による補正を行いpresampled MTFを算出した。スリット法¹³⁾は、エッジとほぼ同じ角度に傾斜させ、管電圧を同じにして撮影し、Fujitaらの方法⁴⁾に準じて解析した。

2. 結果

2-1 シミュレーション

2-1-1 基本的な精度の検討

シミュレーションにて作成したサンプリングピッチ0.1mmで2°傾けたエッジ像から本手法にて算出したMTFをFig. 4に示す。Fig. 4(a)では解析結果と真値は一致しているようにみえるが、縦軸を対数表示にしたFig. 4(b)では6.5cycles/mmあたりから真値との誤差を生じているのが確認できた。真値との誤差が0.001以内となるのは、6.25cycles/mmまでとなった。これにより、本手法がナイキスト周波数5.0cycles/mmまでは十分に正確なMTFが求められ、それ以上の周波数ではわずかながら誤差を生じることが示された。

Fig. 5 Relation between the inclination angle of the edge and the error rate of calculated MTF. The changes at $fn/2$ and fn are presented.

2-1-2 各因子のMTF測定値への影響

a) エッジの傾斜角度の影響

Fig. 5は、エッジの傾斜角度の変化によるナイキスト周波数 fn とその半分の周波数 $fn/2$ における誤差率の変動を示したものである。傾斜角度1～5°内において周波数 $fn/2$ では誤差率は-0.1～0%の範囲となり、角度が大きくなるに従ってMTF値はわずかに減少した。また、周波数 fn では誤差率は-0.4～1.4%の範囲となり、傾斜角度4.4°を除いた場合では誤差率は-0.4～0.3%の

Fig. 6 Relations between angle of edge and error rate of calculated MTF obtained with bin widths of 0.01, 0.02, and 0.03 mm. The changes at (a) $fn/2$ and (b) fn are presented.

a | b

Fig. 7 Relations between edge angle error and deviation from true MTF value with different edge angle. The changes at (a) $fn/2$ and (b) fn are presented.

a | b

範囲となった。

b) binの幅による影響

Fig. 6は、エッジの傾斜角度を1～5°の範囲で変化させて、各binの幅に対する解析結果と真値の誤差率の変動を示したものである。fnとfn/2の双方において、binの幅が0.01mmと0.02mmの場合に誤差率は小さく、かつ安定した結果を示した。0.03mmの場合には傾斜角度によって誤差率が大きく変化して不安定な結果となった。

c) エッジの角度の計測誤差による影響

Fig. 7は、真の角度と合成に用いる角度の誤差に対するMTF値の誤差の変化を示したものである。fnおよびfn/2ともに、真値との角度の誤差が大きくなるほどMTF値は低下していき、エッジの傾斜角度が大きいほど角度誤差がMTFへ及ぼす影響が大きくなった。誤差の影響はエッジの傾斜角度により異なったが、 $\pm 0.05^\circ$ 以下の角度誤差であれば周波数fn/2でMTF値の誤差は $-0.0025 \sim 0$ 程度となり、周波数fnでは $-0.0025 \sim 0.003$ 程度となった。また、 $\pm 0.10^\circ$ 以下の角度誤差の

場合は周波数 $fn/2$ でMTF値の誤差は $-0.007 \sim 0$ 程度となり周波数 fn では $-0.007 \sim 0.003$ 程度となった。

d) ノイズによる影響

ノイズ付加によるMTFの算出過程で得られるLSFをFig. 8に示して、MTFの変化をFig. 9に示した。Buhrらの方法ではノイズを抑えるために30のESFを平均したが、LSFの形状はFig. 8のように大きく振動して外挿を行うポイントを見つけることが困難であった。このため、Buhrらの方法では外挿なしでのMTFのみ算出した。一方、本手法では 0.01mm のbinの幅によって平滑化するため、LSFはFig. 8のようにノイズ抑制がされており、外挿を行うに値する曲線となった。Fig. 9(a)はLSFの外挿なしでの本手法とBuhrらの方法の比較である。両者は真値を中心に振動するような結果を示した。Fig. 9(b)は本手法におけるLSFの外挿のありとなしの場合の比較である。外挿によって、真値とほぼ一致した結果となった。

2-2 CR装置の実測による本手法とスリット法の比較

Fig. 10は、CR装置の実測における本手法とスリット法の比較である。両者の解析結果は、ほぼ一致したものととなった。

3. 考 察

エッジ法によるMTF測定はスリット法と比べて画像取得が容易であるが、ESFの微分操作によるノイズの増幅が正確な解析を難しくする。このため、BuhrらやSameiらは、ノイズの軽減を目的にESFの平滑化や曲線近似を行っているが、有効な対策にまで至っていない。

Fig. 8 Composition LSFs calculated from the simulated edge image that added the noise by Buhr's method and the proposed method .

い。これに対して、比較的広い範囲のデータを利用し多数のエッジプロファイルを合成する本手法は、ノイズの影響を軽減するために有効な手法であることが確認できた。

また、シミュレーションによる各因子の影響の検討では、傾斜角度が 5° という比較的大きな角度でも真値との誤差率はナイキスト周波数で $-0.4 \sim 1.4\%$ 以内で 4.4° を除いた場合では $-0.4 \sim 0.3\%$ 以内となり、予想に反して少ないものであった。ここで傾斜角度が 4.4° にて誤差率が大きくなるのは、 $1/\tan 4.4^\circ$ が12.996とほぼ

Fig. 9 Presampled MTFs calculated from the simulated edge image that added the noise with normal distribution and true MTF. (a) shows results by Buhr's method and the proposed method without extrapolation. (b) shows results by the proposed method with and without extrapolation.

a | b

Fig. 10 Presampled MTFs of a CR system measured by the proposed method and the slit method.

整数となっていることが原因と考えられる。傾斜角度を θ として $1/\tan\theta$ が整数もしくはほぼ整数となる角度においては、合成したプロファイルのデータ点は(ピクセルサイズ) $\times \tan\theta$ の整数倍の位置に集まる。この場合、データ点が偏った配置になるためにプロファイルデータとbinとの位置関係によってbin処理後のプロファイルは変化しやすく、MTFの値に影響を及ぼすことになる。実際にbinの幅を $9 \cdot 10 \cdot 11 \mu\text{m}$ として傾斜角度が 4.4° における真値との誤差および誤差率を算出すると、 $\text{fn}/2$ となる 2.5 cycles/mm において真値は 0.609185 で誤差は $0.000064 \cdot -0.000167 \cdot -0.000459$ 、誤差率は $0.010437\% \cdot -0.027401\% \cdot -0.075317\%$ となり、 fn となる 5.0 cycles/mm において真値は 0.133443 で誤差は $-0.000457 \cdot 0.001803 \cdot -0.000702$ 、誤差率は $-0.342233\% \cdot 1.350852\% \cdot -0.526132\%$ となる。binの幅を $9 \cdot 11 \mu\text{m}$ として、プロファイルデータとbinとの位置関係がわずかながら異なることで真値との誤差および誤差率は小さくなった。このようにbinの幅を変更することで誤差の少ない解析は行えるものの、本手法において $1/\tan\theta$ が整数もしくはほぼ整数となる傾斜角度はできる限り避けた方がよいといえる。次にbinの幅設定は、サンプリングピッチの10~20%程度の幅とすることで安定した結果を示すことが確認された。さらにbinを用いることは、平滑化が非常に効果的であり、精度の確保に対して有効であった。角度の計測誤差は、 $\pm 0.05^\circ$ 以内の誤差であればナイキスト周波数でMTF値は $-0.0025 \sim 0.003$ 程度の誤差となる。しかし、実際に画像からエッジの傾斜角度を計測する際には、傾斜を計測するための位置が1ピクセル違っただけで、これよりも大きな誤差を生じる。例えば、エッジ長を約30mm、画

像のサンプリングピッチを 0.1 mm としたとき、角度の計測位置を1ピクセル分誤ると、角度誤差は約 0.17° となり、 $\pm 0.05^\circ$ 以下という基準を逸脱する。Fig.11はエッジ画像からプロファイルの合成を行いbinによる処理をする前のプロファイルを各計測誤差について表示したものである。真の傾斜角度が 2° の画像に対して角度の誤差を $-0.03 \sim +0.02^\circ$ の範囲において図のような合成プロファイルの変化となった。入力傾斜角度が真の傾斜角度に近いほど、合成プロファイルは振動のない1本の曲線ようになる。よって、このようなプロファイルの視覚的な確認処理を加えることで、角度の誤差は $\pm 0.02^\circ$ 以内に抑えることができ、計測誤差の検討より得られた結果からわずかな誤差に抑えることが可能である。

ノイズを付加した場合、本手法がBuhrらの方法よりもノイズの影響を受けにくく、外挿に値するLSFの取得も可能であった。外挿によってtruncation errorを防ぎ、ノイズの影響を軽減できた。また、合成プロファイルの生成過程は、一次元プロファイルへの投影処理とbinによる処理だけであることから、本手法が簡便である点でも優れていた。Cunninghamら¹⁴⁾は、エッジ法が低周波数領域の精度に優れ、スリット法が高周波数領域の精度に優れていると報告したが、本手法がノイズの抑制効果により適切な外挿処理が可能であることから、高周波における振動が抑えられて精度の向上につながった。これによりエッジ法の欠点のある程度改善し得る本手法の提案の意義は大きい。CR装置の実測によってエッジを使った本手法とスリット法を比較した結果において、測定されたpresampled MTFの結果が広い周波数範囲でほぼ一致したことは、シミュレーションによる解析結果を裏付けるものである。

Fig. 11 Composite edge profiles for different edge angle errors.

4. 結 語

本手法によるエッジ像からのpresampled MTF測定法は、解析過程における微分操作によるノイズ増幅の影響を減少させることができ、さらに平滑化されたプロファイルにより外挿を可能とした。よって、従来に提案された手法に比べて、精度が向上した。本手法は複数のESFを平均するなどの複雑な処理を必要とせず、解析手順は非常に簡便であり、ナイキスト周波数までに制限されず正確なpresampled MTFの算出が可能な方法である。本手法によってエッジ法の持つ画像

取得の簡便性がさらに強調されることから、detective quantum efficiency (DQE)の測定など装置の性能測定やquality control (QC)に本法が貢献すると考える。

謝 辞

本手法の構築において多大な助言をいただきました日本放射線技術学会中部部会画像研究会諸氏ならびに日本放射線技術学会画像分科会委員の皆様にご礼申し上げます。また、ご協力いただきました当院中央放射線部諸氏に感謝致します。

参考文献

- 1) IEC 62220-1. Medical electrical equipment-Characteristics of digital X-ray imaging devices Part 1: Determination of the detective quantum efficiency, ed. 1.0, 2003.
- 2) Buhr E, Günther-Kohfahl S, Neitzel U. Accuracy of a simple method for deriving the presampled modulation transfer function of a digital radiographic system from an edge image. *Med Phys* 2003; 30(9): 2323-2331.
- 3) Samei E, Ranger NT, Dobbins JT 3rd, et al. Intercomparison of methods for image quality characterization. I. Modulation transfer function. *Med Phys* 2006; 33(5): 1454-1465.
- 4) Fujita H, Doi K, Giger ML. Investigation of basic imaging properties in digital radiography. 6. MTFs of II-TV digital imaging systems. *Med Phys* 1985; 12(6): 713-720.
- 5) Giger ML, Doi K. Investigation of basic imaging properties in digital radiography. I. Modulation transfer function. *Med Phys* 1984; 11(3): 287-295.
- 6) 望月安雄, 阿部慎司, 山口弘次郎. 矩形波チャートを用いたコントラスト法でのプリサンプリングMTFの簡易測定. *日放技学誌* 2005; 61(9): 1355-1357.
- 7) 小寺吉衛 編著. 放射線受光系の特性曲線. 医療科学社, 東京, 1994: 23-83.
- 8) 内田 勝, 金森仁志, 稲津 博 著, 日本放射線技術学会編. 診療放射線技術学大系—専門技術学系4: 放射線画像情報工学 I. 通商産業研究社, 東京, 1980: 181-187.
- 9) 桂川茂彦. 4. 画像の評価. *医用画像情報学*. 南山堂, 東京, 2002: 66-91.
- 10) 畑川政勝, 青木雄二, 朝原正喜, 他. 増感紙—フィルム系のMTF測定におけるスリット法と矩形波チャート法の比較. *日放技学誌* 1996; 52(5): 701-708.
- 11) 小川智哉 監修, 渋谷道雄, 渡邊八一 著. Excelで学ぶフーリエ変換. オーム社, 東京, 2003: 71-120.
- 12) Cunningham IA, Fenster A. A method for modulation transfer function determination from edge profiles with correction for finite-element differentiation. *Med Phys* 1987; 14(4): 533-537.
- 13) 岡部哲夫 編. 医用放射線科学講座14 医用画像工学. 医歯薬出版, 東京, 1997: 1-81.
- 14) Cunningham IA, Reid BK. Signal and noise in modulation transfer function determinations using the slit, wire, and edge techniques. *Med Phys* 1992; 19(4): 1037-1044.

図表の説明

- Fig. 1 提案する方法におけるエッジプロファイル合成の概要(5×5マトリクスの例)
- Fig. 2 不規則な間隔の配置である合成プロファイルをbinによって規則的な間隔の配置に変更する概要
- Fig. 3 提案する方法によるpresampled MTF測定の解析手順
- Fig. 4 提案する方法によってシミュレートされたエッジ像から計算されたpresampled MTF. 縦軸のpresampled MTF値を真数表示(a)および対数表示(b)
- Fig. 5 エッジの傾斜角度—算出されたMTFの誤差率の関係. $fn/2$ および fn における変動を示す.
- Fig. 6 エッジの傾斜角度—binの幅を0.01, 0.02および0.03mmとして得られたMTFの誤差率の関係
(a) $fn/2$ における変動を示す.
(b) fn における変動を示す.
- Fig. 7 エッジの角度誤差—角度誤差の影響を受けたMTF値と真のMTF値との誤差の関係
(a) $fn/2$ における変動を示す.
(b) fn における変動を示す.
- Fig. 8 シミュレーションによってノイズを付加したエッジ像からBuhrによる方法および提案する方法によって計算された合成LSF
- Fig. 9 シミュレーションによってノイズを付加したエッジ像から求めたpresampled MTFと真値
(a)Buhrによる方法(外挿なし)と提案する方法(外挿なし)を示す.
(b)提案する方法(外挿あり, 外挿なし)を示す.
- Fig. 10 提案する方法とスリット法によって測定されたCRシステムのpresampled MTF
- Fig. 11 エッジの角度誤差による合成エッジプロファイル