

H-19 X線透視像の実時間自動階調処理アルゴリズムの開発

The Development of an Algorithm for Real-time Automatic Tone Adjustment of X-Ray Fluoroscopic Images

菅野 修二十 池田 重之十 坂本 理絵子† 石黒 隆*
 Shuji Sugeno Shigeyuki Ikeda Rieko Sakamoto Takashi Ishiguro

1. まえがき

従来、X線透視撮影システムではデジタル画像処理により、関心領域において精細で診断し易い画像を得ていた。しかし、X線透視においては固定階調処理のために、平均的な表示階調を用いるために、必ずしも関心領域が最も見やすくなる訳ではなかった。また、撮影角度や被写体厚等によって、ユーザが手動で表示階調を調整しなければならないことがあった。そこで、リアルタイムの動画像に対する自動階調処理アルゴリズムを開発した。

透視の実時間自動階調処理として、多数の画像に対する適正な階調変換特性を求め、それらに基づいて画像特徴量の組と階調変換特性の関係を事前に決定し、その関係を用いて入力画像の特徴量の組に応じた最適な階調変換特性を選択し、階調処理を行う方式を検討してきた⁽¹⁾。

この方式では、自動階調処理の階調変換特性を、代表画像に対応した階調変換特性を用いて線形補間により決定していた。このような階調変換特性の線形補間の方式では、適正な階調変換特性が設定されない場合があり、更なる改良が必要であった。

そこで、本研究では、固定階調処理での階調変換特性には対数曲線が使用されていることに着目する。そして、固定階調方式で、ガイドワイヤーやカテーテルが見え難い領域での適正な表示階調を求めるために、自動階調処理の階調変換特性に、2つの対数曲線からなる区分的な階調変換関数を用いるとともに、画像の最小値と最大値の荷重和と、区分的な階調変換関数のパラメータとの相関関係を利用する。そして、本自動階調処理を胸部透視像の静止画像や、動画像へ適用し、固定階調処理画像と自動階調処理画像の画像の比較評価を行う。

2. 実時間自動階調処理アルゴリズム

本実時間自動階調処理アルゴリズムは、多数の画像に対する適正な階調変換特性を求め、それらに基づいて画像特徴量の組と階調変換特性の関係を事前に決定し、その関係を用いて入力画像の特徴量の組に応じた最適な階調変換特性を選択し階調処理を行う。

図1に実時間自動階調処理の概要を示す。前回のフレームの入力画像(1024×1024画素, 12 bit)を画素間引きにより512×512画素に縮退した後、メッシュ状に分割し、各小領域(クラスタ, 8×8画素)の平均画素値を求めた。そして、特徴抽出領域(凡そ視野全体)内のクラスタの平均画素値の最小値minと最大値maxを求めた。そして、最

小値がフレーム間で、ある閾値 Th_{min} 以上変化した場合のみ最小値の保存値を更新した。同様に、最大値がフレーム間で、ある閾値 Th_{max} 以上変化した場合のみ最大値の保存値を更新した。次に、これらの最小値や最大値の保存値に対して、各々のダイナミックレンジを8 bitに正規化し、それらの値の組を入力ベクトル V とした。次に、事前に特徴空間(横軸: 正規化最小値, 縦軸: 正規化最大値)上に凡そ一様に分布しているすべてのプロトタイプ P_i (100点)と入力ベクトル V との距離の比較を行い(マンハッタン距離)、距離が最小となるプロトタイプの属する階調変換特性の番号 C^* を出力した。そして、今回のフレームの入力画像に対して、階調変換特性 C^* を用いて階調処理を行った。

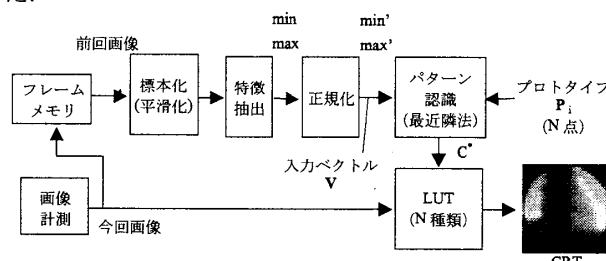


図1 実時間自動階調処理の概要

3. 自動階調処理パラメータの設計法

図2に本自動階調処理パラメータの設計法を示す。Cアームの角度を変化させた画像やテーブルを操作した画像を含むような代表画像を30枚計測した(9° I.I., SID 約100 cm, 管電圧60 kV, 管電流1.0-2.3 mA, 連続X線, 30 fps, 1024×1024画素)。また、各代表画像に対して適正な階調変換特性を設定した。そして、2章で述べたようにして、各代表画像から最小値minと最大値maxを求めた。

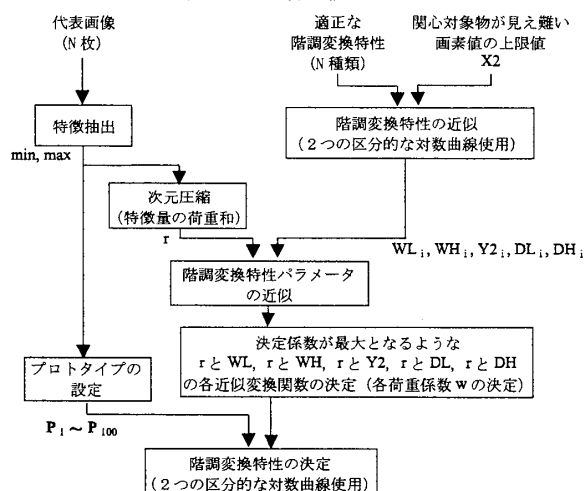


図2 自動階調処理パラメータの設計法

十 (株) 日立メディコ技術研究所
 † (株) 日立メディコ医療機器事業本部
 * (株) 日立メディコ XR システム本部

次に、各代表画像に対応する階調変換特性から、立ち上がり点 (X1, Y1), 入力値が大きい領域の飽和点, あるいは変曲点のような特徴点 (X3, Y3) を求めた。また、固定階調方式で特に改良を要する画素値の上限値 X2 = 200 を画像によらず定め、画素値 X2 に対する適正な表示階調値 Y2 を求めた。

次に、各々の階調変換特性を区間[X1, X2] と [X2+1, X3] に対する2つの対数曲線により近似した(式(1)-(8))。ここで、対数曲線のカーブの膨らみを表すパラメータ DL, DH を定義し、最小2乗法により DL, DH を求めた。次に、得られた DL, DH を用いて、対数曲線の出力値が 0 になる時の入力値 (WL) と、出力値が 4095 になる時の入力値 (WH) を求めた。このようにして、代表画像に対応する階調変換特性を WL, WH, Y2, DL, DH の5つのパラメータで表現した。

$$Y = a_L \log_{10}(x + b_L) + c_L \quad x : [X1, X2] \quad (1)$$

$$a_L = \frac{Y2 - Y1}{\log_{10} DL} \quad (2)$$

$$b_L = \frac{X2 - X1 \cdot DL}{DL - 1} \quad (3)$$

$$c_L = Y1 - a_L \log_{10}(X1 + b_L) \quad (4)$$

$$Y = a_H \log_{10}(x + b_H) + c_H \quad x : [X2+1, X3] \quad (5)$$

$$a_H = \frac{Y3 - Y2}{\log_{10} DH} \quad (6)$$

$$b_H = \frac{X3 - X2 \cdot DH}{DH - 1} \quad (7)$$

$$c_H = Y2 - a_H \log_{10}(X2 + b_H) \quad (8)$$

次に、画像特徴量である最小値 min と最大値 max から、荷重係数 w を用いて、新しい特徴量 r を定義し (w = 0~1), パラメータ WL, WH, Y2, DL, DH のそれぞれについて、WL は r の一次関数、それ以外は r のべき乗関数で近似し、代表画像に対応する階調変換特性の各パラメータの分布と近似関数との相関の強さを表す決定係数⁽²⁾ R² が最大となるように最適荷重係数 w* を求め、式(10)-(14)の結果を得た。

$$r = w \cdot \max + (1 - w) \cdot \min \quad (9)$$

$$WL = 0.004803 r - 9.914 \quad (w^* = 1.000, R^2 = 0.13) \quad (10)$$

$$WH = 101.7 r^{0.6018} \quad (w^* = 0.089, R^2 = 0.53) \quad (11)$$

$$Y2 = 4710 r^{-0.2899} \quad (w^* = 0.002, R^2 = 0.81) \quad (12)$$

$$DL = 244.2 r^{-0.9873} \quad (w^* = 0.036, R^2 = 0.70) \quad (13)$$

$$DH = 0.001623 r^{1.120} \quad (w^* = 1.000, R^2 = 0.50) \quad (14)$$

ここで、WL の決定係数は 0.13 と低いため、代表画像に対応する階調変換特性の WL 値の平均値で代表することとした。

$$WL = -1 \quad (15)$$

また、各プロトタイプ P₁ に対応するパラメータ WL, WH, Y2, DL, DH を式(11)-(15)を用いて決定し (WL は固定値), そして (WL, 0) と (X2, Y2) の2点を通過し、カーブの膨らみが DL である対数曲線と、(X2, Y2) と (WH, 4095) の2点を通過し、カーブの膨らみが DH である対数曲線を求め、入力値が WL 以下の場合には 0 を表示階調値

とし、入力値が WH 以上の場合には表示階調値を 4095 とする階調変換特性を設定した。

4. 実時間自動階調処理の性能評価

胸部ファントームをテーブルの上に乗せ、X線管とX線検出器を支持するCアームの角度を16種類変化させ、透視像を記録した。そして、これらの画像に対して、自社のアプリケーションリストにより、従来使用されている固定階調処理画像と、本手法の自動階調処理画像の比較評価を行った(表1)。表1で、丸印は自動階調処理画像の方がカテーテルの描出能が良いものであり、三角印は固定階調処理画像の方がカテーテルの描出能が良いものである。その結果、本手法により16例中13例でカテーテルの描出能が改善した。16例中3例については、よく用いられる撮影角度であり、もともと良好に観察出来ていた為、殆ど改善効果は見られなかったものと考えられる。

表1 胸部ファントームの透視像の比較評価結果

No.	Cアーム角度	画像比較結果
1	RAO30°, CRA30°	△
2	CRA30°	○
3	LAO30°, CRA30°	○
4	LAO60°, CRA30°	○
5	RAO35°	○
6	RAO30°	△
7	PA	△
8	LAO30°	○
9	LAO45°	○
10	LAO60°	○
11	LAO90°	○
12	CAU15°	○
13	CAU30°	○
14	LAO30°, CAU30°	○
15	LAO45°, CAU30°	○
16	LAO60°, CAU30°	○

また、テーブルを前後左右に手動操作した胸部ファントーム (PA) の透視像 (500 フレーム, 30 fps) を計測し、これらの動画像に対して、固定階調処理と自動階調処理を適用し、PC上のモニタを用いて動画の比較評価を行った。その結果、1画像毎に最適な階調変換特性を選択する本自動階調処理により、縦隔が視野の周辺に移動した場合に肺野の明るさが適正であり、また縦隔と重複したカテーテルのコントラストが固定階調処理画像より高いという評価結果を得た。

5. むすび

本論文では、固定階調処理で関心対象物であるカテーテルやガイドワイヤーの見え難い領域の画素値の範囲に着目し、ガイドワイヤーやカテーテルの描出能の向上を目指して、新しい透視実時間自動階調処理アルゴリズムを提案した。本手法により、II-CCD系の胸部の透視像のカテーテルの描出能が改善されることが確認できた。今後、本手法のハードウェアによる実現、臨床画像への適用を行う。

文 献

- (1) 菅野修二, 鈴木克己, 池田重之, 坂本理絵子, 石黒隆: "X線画像の実時間自動階調変換処理アルゴリズムの開発", 日本放射線技術学会雑誌, 57, 9, p. 1050 (2001).
- (2) 長谷川勝也: "Excel 統計解析フォーム集", 共立出版, p.126 (1998).