Image Contrast Improvement Based on Differential Gray-levels Histogram

Fumihiko Saitoh Member (Gifu University)

Keywords: image contrast improvement, gray-scaled image, differential gray-level, Look-Up-Table

This paper proposes a method for improving contrast of a gray-scaled image based on local differential gray-levels. Most conventional methods for contrast improvement convert gray-levels according to a distribution of gray-levels measured in an objective image. On the other hand, the proposed method uses differential gray-levels as a spatial feature for converting gray-levels.

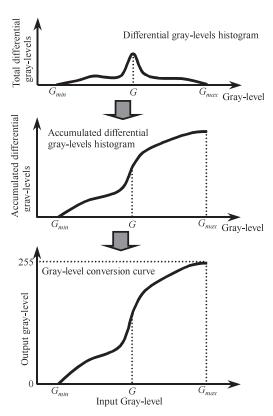


Fig. 1. Generation of gray-level conversion curve from differential gray-levels histogram.

The proposed method generates a gray-levels conversion curve between an input image and an output image from a differential gray-levels histogram as shown in Fig.1. The horizontal axis of the differential gray-levels histogram is gray-levels and the vertical axis is total differential gray-level of each gray-level. Here, the differential gray-level means a linear differential value in a local image area. An accumulated gray-levels histogram is also generated by accumulating values in the differential gray-levels histogram sequentially as shown in Fig.1. Next, a gray-levels conversion curve is generated by normalizing the range of the vertical axis of the accumulated gray-levels histogram in order to maximum the dynamic range of gray-levels. The gray-levels near G that has a large frequency in the differential gray-levels histogram are extended widely between input image and output

image because the gradient in the accumulated differential gray-levels histogram becomes steep near the gray-level G. Namely, the difference of gray-levels is expanded especially at edge parts in an input image.

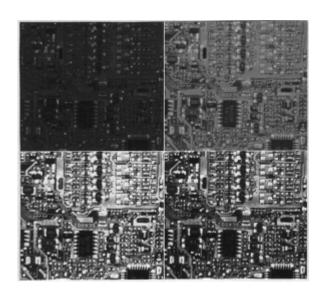


Fig. 2. Contrast improved images (upper-left: linear gray-level conversion, upper-right: histogram normalization, lower-left: histogram equalization, lower-right: proposed method).

Fig.2 shows an example of contrast improved image. The left-upper is a result by the linear gray-level conversion, the right-upper is a result by the histogram normalization, the left-lower is a result by the histogram equalization and the right-lower is a result by the proposed method. The proposed method generated the natural images with enhanced contrast.

Table 1 shows DV(Detail Variance) and BV(Background Variance) of the generated images by the conventional methods and the proposed method. The resultant images by the proposed method are assumed to have good and natural contrast because the proposed method (DG: Differential Gray-level) recorded higher DV and lower BV in comparison with the conventional methods.

Table 1. DV and BV of resultant images.

Image	DV/ BV	Original image	LGC	HN	HE	DG
	DV	160.4	225.8	251.8	239.9	390.8
(a)connector	BV	11.9	17.4	32.9	40.3	28.7
4.	DV	444.3	439.5	495.0	428.5	551.6
(b)motor	BV	13.9	13.9	16.7	26.7	19.6
() a	DV	106.7	322.5	385.2	656.1	689.7
(c)floppy	BV	3.5	41.2	40.6	69.7	34.6
7.0.1.21.1	DV	277.1	423.7	435.0	360.2	586.4
(d)children	BV	21.2	24.3	24.8	34.5	20.7
() "	DV	237.5	732.0	720.8	1137.1	1369.6
(e)pattern	BV	44.5	47.3	47.1	47.2	40.0
(A -ii+	DV	197.7	325.6	296.3	1425.2	1205.8
(f)circuit	BV	23.0	38.3	49.0	41.7	35.6

濃度勾配ヒストグラムによる画像のコントラスト改善

正員 斉藤 文彦*

Image Contrast Improvement Based on Differential Gray-levels Histogram Fumihiko Saitoh*, Member

When a captured image does not have good contrast, a method for improving its contrast that converts gray-levels based on the distribution of gray-levels included in the image is generally applied. A resultant image with good contrast does not always generated because the conventional method does not use a spatial feature included in an input image. This paper proposes a method for contrast improvement that can enhance differential gray-levels in an image in order to generate a resultant image with clearness and good contrast. The proposed method determines a gray-level of each pixel according to a Look-up-table generated from a histogram to represent a distribution of differential gray-levels. The experimental results show that the resultant images with natural and clear contrast were generated by the proposed method.

キーワード:画像コントラスト改善,濃淡画像,濃度微分,LUT

Keywords: image contrast improvement, gray-scaled image, differential gray-level, Look-Up-Table

1. はじめに

カメラによって画像を撮影する際,コントラストの良好な画像を取得することが重要な要件となる。しかし,外光や照明環境,撮影に用いる光学系や機材等の影響によって,必ずしも良好なコントラストが得られるとは限らない。このような場合,一般的にソフトウェアによるコントラスト改善が行われる(1)~(6)。コントラスト改善処理では,画像全体では充分なダイナミックレンジを広げることが重要である。しかし,画像全体では充分なダイナミックレンジが確保されているにもかかわらず,暗部や明部を示す濃度階調に多くの画素が集中しているような場合は,コントラスト改善が効果的に働かないことがある。また,対象となる画像に応じて,自動的に処理が行われ,良好な結果画像が得られることが望ましい。すなわち,利用者が外部からパラメータを与えることなく,視覚的にコントラスト感の高い画像を簡便に生成できる手法が求められる。

本論文では、画像の局所的な濃度勾配に着目したコントラスト改善手法を提案する。従来の多くのコントラスト改善手法では、画像に含まれる濃度の分布情報を基に濃度変換を行うのに対して、提案手法では、濃度勾配という空間的特徴を利用して濃度変換を行う。画像の濃度ダイナミックレンジを広げるとともに、特に画像内に存在する対象物のエッジ部分を強調することによって、視覚的にコントラ

スト感の高い結果画像を得ることができる。また,外部からのパラメータを不要とした自動的なコントラスト改善を可能とする。

2. 画像のコントラスト改善

画像のコントラスト改善手法としては,図1 に示すように,入力画像に含まれる濃度範囲を表示可能な最大濃度範囲に線形に拡張する濃度線形変換法(1)-(6)が一般的である。この手法の利点は,視覚的に自然な出力画像が自動的にかつ高速に得られることである。しかし,入力画像が広い濃度範囲を持つにもかかわらず,暗部や明部を示す濃度に集中的に多くの画素が分布している場合,コントラスト改善の効果がほとんど期待できない。

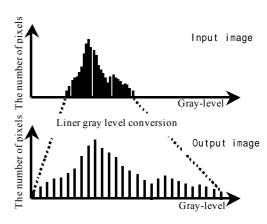


図 1 濃度線形変換法

Fig. 1. Linear gray level conversion.

岐阜大学工学部 〒501-1167 岐阜市柳戸 1-1 Faculty of Engineering, Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu-city 501-1167

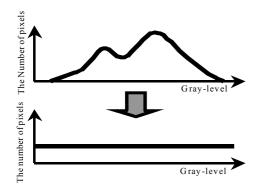


図2 ヒストグラム均等化法

Fig. 2. Histogram equalization.

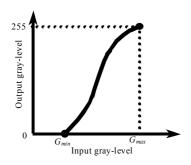


図3 LUT による濃度変換

Fig. 3. Gray-level conversion using LUT.

これに対して、ヒストグラム均等化法^{(3)~(6)}は、図 2 に示すように、濃度分布ヒストグラムが均一化されるように各画素の濃度値を変換する手法であり、濃度分布のエントロピーを最大化できるため、顕著なコントラスト強調効果が得られる場合が多い。しかし、入力画像によっては、強調度合が大きすぎて不自然な出力画像となったり、濃度の均一性が高い領域ではノイズが目立つ場合がある。

また,濃度の分布状態が正規分布に近くなるように各画素の濃度値を変換する手法(*)もあり,比較的自然な出力画像が得られるが,濃度線形変換法と同様に,画像によっては効果的なコントラスト改善が行われない。

代表的な以上の従来手法は、いずれも外部からパラメータを与える必要がなく、入力画像を与えるだけで自動的に結果画像が得られるという利点がある。一方、入力画像に含まれる特定の濃度範囲を伸張する代表的な方法として、ガンマ変換⁽⁸⁾がある。また、図3に示すような入力画像と出力画像間の濃度の変換関数(LUT: Look-Up-Table)を設定し、この関数曲線に従って、出力画像の各画素の濃度値を得る方法⁽⁸⁾がある。これらの手法は、入力画像に応じてガンマ係数や濃度変換曲線が設定できるため、効果的なコントラスト改善が期待できるが、人間の視覚による確認作業と良好な結果を得るための試行錯誤が必要となる。

以上に述べた従来手法では,入力画像に含まれる濃度の 分布状態に基づいて各画素の濃度値を変換している。濃度 分布は,画像のコントラストに関係する重要な情報である

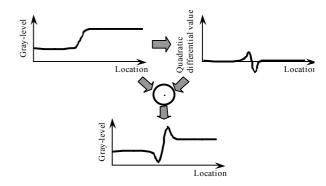


図4 画像の鮮鋭化

Fig. 4. Unsharp masking of image.

が,画像の空間的な特徴は含まれていない。コントラスト 改善では,画像の濃度ダイナミックレンジを広げるととも に,背景領域に対して画像内に含まれる対象物が明瞭であ ることが求められる。一方、コントラスト改善処理とは異 なるが、アンシャープマスキングによって画像に含まれる エッジを強調する鮮鋭化処理がある(9)。図4に示すように, 入力画像の濃度に関する 2 次微分値を入力画像の濃度値か ら減じる。この処理によって,入力画像内で濃度が局所的 に変化する部分における濃度変化分が増大されるため,視 覚的に鮮明な結果画像が得られる。このように, コントラ スト感は, 濃度分布だけでなく, 対象物の輪郭部分の鮮明 さによる影響も大きく受けると考えられる。但し,上記の 鮮鋭化処理では,入力画像内の各画素の濃度値に関する大 小関係は保持されない。すなわち,図4に示したエッジの 両端付近では、画素間で濃度値の大小関係が反転する場合 が起こりえる。これに対して,図3に示した濃度変換関数 によるコントラスト改善手法では,変換関数は単調増加で あるため、入力画像内の各画素の濃度値に関する大小関係 が保持されるという利点がある。

以上に述べたように,コントラスト改善処理において, 濃度のダイナミックレンジを広げるだけでなく,画像の空間的特徴であるエッジを鮮明化することができれば,視覚的により良好な結果画像が得られる可能性がある。提案手法では,濃度勾配分布ヒストグラムに基づいて,入力画像の各画素間の濃度差を拡大することを戦略とするコントラスト改善を図る。

濃度勾配ヒストグラムによるコントラスト 改善

3・1 濃度勾配とコントラスト 図 5(a)は ,背景に対して対象物が存在している場合の対象物上を通る水平線上の濃度を表している。対象物領域と背景領域との濃度差が大きいほど , 対象物は視覚的に識別しやすくなると考えられる。この時 , 対象物領域と背景領域との濃度差が大きいほど , 両者の境界を意味するエッジにおける濃度勾配も大きな値となる。また , 対象物と背景との濃度差は同一であっても ,境界における濃度勾配が急峻な場合 (図 5(a))と緩

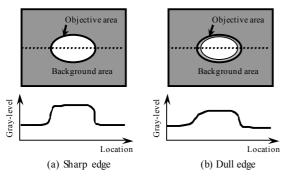


図5 濃度勾配とコントラスト

Fig. 5. Differential gray-levels and image contrast.

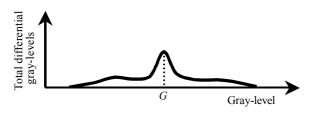


図6 濃度勾配ヒストグラム

Fig. 6. Edge strength histogram.

やかな場合(図5(b))を比較すると,前者の方が輪郭線が明瞭であり,視覚的にコントラストが高く感じる(10)~(12)。このように,濃度勾配情報は,濃度のダイナミックレンジとともに,視覚的なコントラスト感に大きな影響を与えると考えられる(13)。すなわち,画像に含まれる濃度勾配に着目し,エッジを境界とする両面の濃度差を広げることができれば,結果的に濃度勾配は大きくなり,効果的なコントラスト改善が期待できる。

3・2 濃度勾配ヒストグラム 入力画像の濃度分布に基づく従来のコントラスト改善手法では,横軸が濃度値,縦軸が画素数を表す濃度分布ヒストグラムを利用する(1)-(7)。これに対して,提案手法では,図 6 に示すように,横軸が濃度値,縦軸が総合濃度勾配値を表す濃度勾配ヒストグラムから,入力画像と出力画像間の濃度変換関数を生成する。ここで,濃度勾配値とは,近傍画素領域内における濃度の1次微分値とする。縦軸の総合濃度勾配値とは,その濃度値を持つ画素における濃度勾配値を累積した値である。濃淡画像の 2 値化を目的とした微分ヒストグラム法(14)では,このようなヒストグラムにおける最大値に対応する濃度をしきい値とするが,ここでは濃度勾配ヒストグラムをコントラスト改善に利用する。

図 6 に示すように,濃度勾配ヒストグラムに高頻度な部分が存在する場合,この部分に対応する濃度値 G は,対象物のエッジ上に位置する画素の濃度値である可能性が高い。従って,濃度値 G 付近の濃度範囲を優先的に拡張すれば,エッジによって分割されている 2 面間の濃度差が大きくなり,画像のコントラストは向上すると考えられる。以下に,具体的な濃度変換方法について説明する。図 7 に示すように,濃度勾配ヒストグラムを濃度値の小さい方から

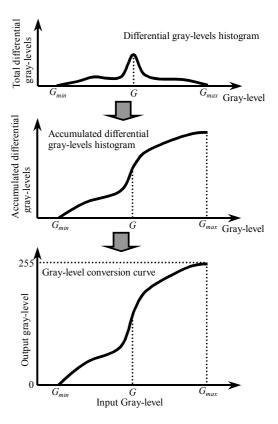
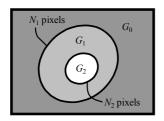


図7 濃度勾配ヒストグラムから濃度変換曲線の生成

Fig. 7. Generation of gray-level conversion curve from differential gray-levels histogram.

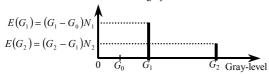
順に累積した累積濃度勾配ヒストグラムを生成する。次に,この累積濃度勾配ヒストグラムの縦軸の最大値を出力画像における最大濃度値となるように線形に正規化を行い,この曲線を入出力画像間の濃度変換関数とする。濃度勾配ヒストグラムにおいて,高頻度な濃度G付近では,累積濃度勾配ヒストグラムの勾配が大きくなるので,入出力画像間で濃度が大きく伸張されることになる。つまり,エッジ部分の濃度差が伸張された出力画像が生成される。

簡略化した例として,図 8(a)に示すように,濃度が G_0 の背景に濃度が G_1 の対象物領域があり,更にその中に濃度が G_2 の対象物領域が存在しているとする。背景と濃度 G_1 領域 との間のエッジを構成する画素数を N_1 ,濃度 G_1 領域と濃度 G_2 領域との間のエッジを構成する画素数を G_2 領域と濃度 G_2 領域との間のエッジを構成する画素数を G_2 会は、このような入力画像について濃度勾配ヒストグラムを生成すると図 G_2 をは、ここでは、濃度勾配は簡略化のため,濃度差 G_1 のおよび G_2 のようになる。ここで,入出力画像間の濃度 変換関数は図 G_2 0 のようになる。ここで,入出力画像が取りえる濃度範囲を G_2 0 から G_2 1 とし,例えば, G_2 1 の場合を考える。濃度 G_1 領域と背景との濃度差が G_2 1 の場合を考える。濃度 G_1 領域と背景との濃度差が G_2 1 の場合を考える。ここの入力画像は,既に濃度ダイナミックレンジが G_2 2 G_2 255

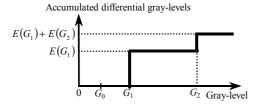


(a) Objective gray-scaled image

Total differential gray-levels



(b) Differential gray-levels histogram



(c) Accumulated differential gray-levels histogram

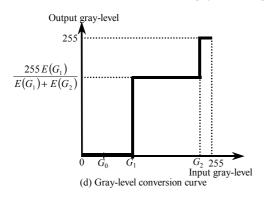


図8 濃淡画像から濃度変換曲線の生成

Fig. 8. Generation of gray-level conversion curve from gray-scaled image.

と最大であるので,従来の濃度線形変換法では,出力画像は入力画像と同一であり,コントラストは改善されない。上述の提案手法では,背景と濃度 G_2 領域の濃度は各々0 と 255 と変化しない。しかし,図 8(b)に示した濃度勾配ヒストグラムの濃度 G_1 における総合濃度勾配値 $E(G_1)$ と濃度 G_2 における総合濃度勾配値 $E(G_2)$ は,各々,

$$E(G_1) = (G_1 - G_0)N_1 = (10 - 0) \times 100 = 1000 \dots (1)$$

$$E(G_2) = (G_2 - G_1)N_2 = (255 - 10) \times 10 = 2450$$
(2)

となり,濃度 G_1 領域の濃度は,図 8(d)に示した濃度変換関数から,

$$O(G_1) = \frac{255E(G_1)}{E(G_1) + E(G_2)} = 74$$
(3)

に変換される。背景と濃度 G_1 領域間の濃度差は , 10 から 74 と大幅に増加し ,濃度 G_1 領域のコントラストは向上する

ことになる。

3・3 濃度変換処理 以上に述べた提案手法において,入力画像の濃度から出力画像の濃度に変換する具体的な方法について述べる。一般の濃度分布ヒストグラムの場合は,ある濃度値 G における頻度値,すなわち,濃度値 G を持つ画素数 N(G)は,次式によって得られる。

$$N(G) = \sum_{x} \sum_{y} F_{G}(g(x, y))$$
....(4)

$$F_G(g(x,y)) = \begin{cases} 1 & (if \ g(x,y) = G) \\ 0 & (otherwise) \end{cases}$$

ここで,g(x,y)は画素(x,y)における濃度値である。同様に,濃度勾配ヒストグラムの場合は,ある濃度値 G における頻度値,すなわち総合濃度勾配値 E(G)は,次式によって得られる。

$$E(G) = \sum_{x} \sum_{y} F_{E}(e(x, y))$$
(5)

$$F_{E}(e(x,y)) = \begin{cases} e(x,y) & (if \ g(x,y) = G) \\ 0 & (otherwise) \end{cases}$$

但し,e(x,y)は画素(x,y)における濃度勾配値である。ここでは,e(x,y)は 3×3 近傍画素間の 1 次微分フィルタとして知られる Prewitt オペレータ⁽¹⁵⁾によって求める。すなわち,

$$e(x, y) = \sqrt{\delta_x(x, y)^2 + \delta_y(x, y)^2}$$
(6)

 $\delta_x=g(x+1,y-1)+g(x+1,y)+g(x+1,y+1)-g(x-1,y-1)-g(x-1,y)-g(x-1,y+1)$ $\delta_y=g(x-1,y+1)+g(x,y+1)+g(x+1,y+1)-g(x-1,y-1)-g(x,y-1)-g(x,y-1)-g(x+1,y-1)$ とする。次に,累積濃度勾配ヒストグラムについては,濃度値 G における頻度値,すなわち累積濃度勾配値 A(G)は,次式によって得られる。

$$A(G) = \sum_{n=0}^{G} E(n) \cdots (7)$$

ここで,入力画像内に含まれる最小濃度を G_{min} ,最大濃度を G_{max} とする。また,出力画像の濃度範囲を 0 から 255 とする。入力画像のある濃度値 G が出力画像の濃度値 O(G)に変換されるとすると,上式において, $A(G_{min})$ が 0 に, $A(G_{max})$ が 255 に線形変換される正規化が行われることから,O(G) は次式によって求められる。

$$O(G) = 255 \frac{A(G) - A(G_{\min})}{A(G_{\max}) - A(G_{\min})}$$
(8)

3. 実験と結果

4・1 実験条件 提案手法によって、図 9 に示した 6 種類の濃淡画像について,コントラスト改善を行った。画像サイズは 256×240 画素,最大濃度階調は 256 レベルである。表 1 は,各画像に含まれる最小濃度 G_{min} と最大濃度 G_{max} の値を示す。 (b)motor では, G_{min} =0, G_{max} =255 であるため,入力画像の濃度ダイナミックレンジは既に最大となっている。一方,(c)floppy では, G_{min} =0, G_{max} =47 と濃度ダイナミックレンジが狭く,コントラストも不良となっている。



図 9 実験画像

Fig. 9. Experimental images.

表1 実験画像の濃度値

Table 1. Gray-levels of experimental images.

Image	G_{min}	G_{max}	G_{max} - G_{min}
(a)connector	0	143	143
(b)motor	0	255	255
(c)floppy	0	47	47
(d)children	0	171	171
(e)pattern	36	162	126
(f)circuit	21	181	160

4・2 コントラスト改善結果 図10は,コントラスト改善を行った結果画像を示す。提案手法との比較のため,2章で述べた代表的なコントラスト改善手法による結果も提示している。各々の画像について,左上が濃度線形変換法,右上が濃度分布ヒストグラムの正規分布化法,左下がヒストグラム均等化法,右下が提案手法による結果である。

まず、(a)connectorでは、濃度線形変換法は、改善の効果が少なく、視覚的にコントラスト感に乏しい印象を受ける。ヒストグラム正規分布化法は、比較的良好かつ自然なコントラスト改善結果が得られている。ヒストグラム均等化法は、コントラスト感が高く、コネクタ内部のワイヤが最も明瞭に確認できるが、過強調気味で、特に明部に飽和傾向が見られる。提案手法は、ヒストグラム正規分布化法と似た結果であり、ワイヤ部分のコントラストはヒストグラム均等化法と比べて劣るが、コネクタ上部の凹み部分のコントラストは、最も明瞭である。(b)motorでは、濃度線形変換

法は効果が見られないが,ヒストグラム正規分布化法は, モーター表面のコントラストは良好である。ヒストグラム 均等化法は画像全体に白飛びが発生しており、明らかに過 強調気味である。提案手法は、ヒストグラム正規分布化法 と比較して、モーター表面の文字や電線、および背景部分 がより明瞭であり、白飛びの発生も少ない。(c)floppyでは、 文字部分のコントラスト感はヒストグラム正規分布化法が 良好である。ヒストグラム均等化法も文字部分は明瞭であ るが,背景部分に白飛びが発生している。提案手法は,文 字部分のコントラストは若干劣るが,プラスチック表面の 微妙なテクスチャは明瞭である。但し、ヒストグラム正規 分布化法と比べて,やや過強調気味ともいえる。(d)children では,やはり濃度線形変換法は効果が少なく,ヒストグラ ム均等化法は明部が過強調気味である。ヒストグラム正規 分布化法と提案手法はほぼ同様な傾向といえるが, 衣服の 模様などは提案手法の方がコントラストが高い。(e)pattern では,濃度線形変換法とヒストグラム正規分布化法がほぼ 同様な結果となっている。ヒストグラム均等化法は,より コントラスト感が高いが,提案手法は更に輪郭部分が明瞭 で良好なコントラストが得られている。(f)circuit では,他の 画像と同様,濃度線形変換法は効果が薄く,ヒストグラム 均等化法はコントラスト感は高いが, はんだ部分などの明 部に白飛びが発生しており、不自然さが残る。ヒストグラ ム正規分布化法は配線パタンが不明瞭である。提案手法は、 ヒストグラム均等化法と同様な傾向であるが,過強調の度 合は抑制されており,視覚的にも自然な印象を受ける。

従来手法との比較 以上に示した実験結果か ら,各々の手法の全般的な傾向について考察する。濃度線 形変換法は,過強調が少なく,自然な印象を受けるが,入 力画像のダイナミックレンジが広い場合は, ほとんど効果 が期待できない。ヒストグラム正規分布化法は,自然さと コントラスト感のバランスに優れるが,細かな画像パタン やテクスチャ部分が不鮮明になる場合が見られる。ヒスト グラム均等化法は,視覚的なコントラスト感は高いが,白 飛びが発生しやすいなどの不自然さや過強調気味の印象を 受け,また,画像によっては,特に均一な濃度領域におい てノイズが目立つ。一方,提案手法は,濃度線形変換法と 比較すると、コントラストの改善効果は顕著であり、ヒス トグラム正規分布化法とヒストグラム均等化法の中間的な 結果が得られている。すなわち、ヒストグラム正規分布化 法と比較すると細部のパタンやテクスチャの表現に優れる 一方で,ヒストグラム均等化法ほど強調度合は大きくない。 細部の画像パタンが鮮明でコントラスト感に優れるととも に,明部の白飛びがヒストグラム均等化法に比べて抑制さ れており、自然な印象の結果画像が得られているといえる。

提案手法は、濃度勾配の分布に基づいて濃度変換を行うため、(b)motorのように、照明光によるハイライトや逆光などの影響から、ダイナミックレンジが充分広いにもかかわらず、暗部の階調表現が不十分な画像に特に有効性が高いと考えられる。また、エッジ成分を多く含む(e)pattern や

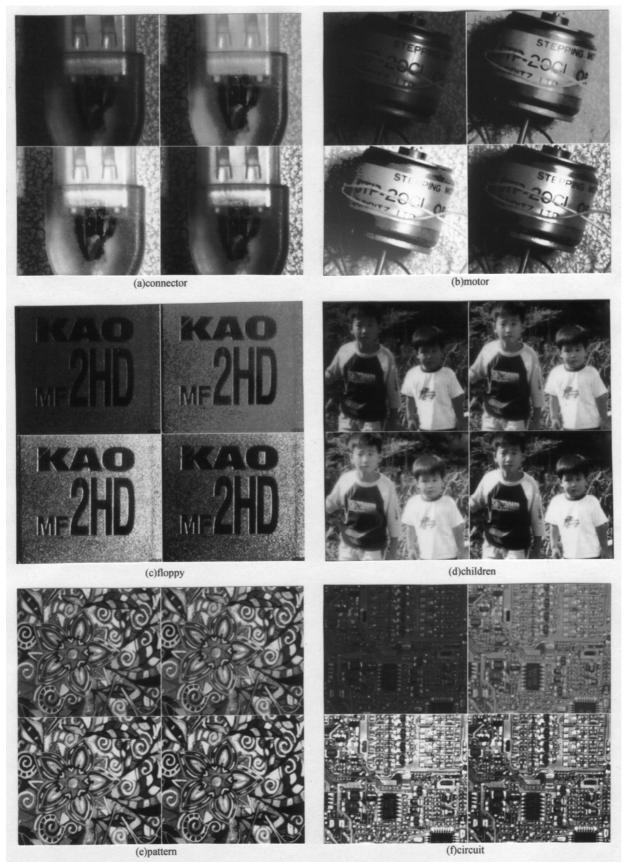


図 10 コントラスト改善結果(左上:濃度線形変換,右上:ヒストグラム正規分布化, 左下:ヒストグラム均等化,右下:提案手法)

Fig. 10. Contrast improved images (upper-left: linear gray-level conversion, upper-right: histogram normalization, lower-left: histogram equalization, lower-right: proposed method).

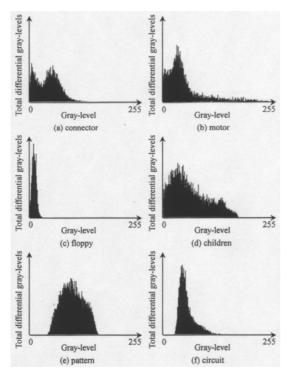


図 11 濃度勾配ヒストグラム

Fig. 11. Histograms to represent total differential gray-levels.

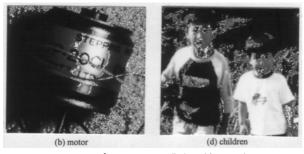


図 12 ピーク周辺の濃度を持つ画素

Fig. 12. Pixels which have gray-levels around peaks.

(f)circuit のような画像にも適しているといえる。一方, (c)floppy のように,ほぼ均一な濃度面を多く含む画像では,この濃度面のテクスチャを明瞭にする効果が働くため,やや過強調気味となる場合がある。

濃度線形変換法とヒストグラム均等化法は,コントラスト強調のための最も一般的な手法として広く知られており,使用頻度も高い手法である。提案手法は,これらの従来手法と比較して,常に視覚的に優れた結果が得られるわけでない。しかしながら,コントラスト改善の効果,汎用性,および手法の単純さに関して,従来手法と並んで,提案手法を試みる価値は充分にあると考えられる。濃度線形変換法やヒストグラム均等化法では,画像を複数領域に分割したり(16),画像の局所領域内の濃度情報を用いる改良手法(17)などが提案されている。提案手法についても,同様な処理を施すことによって,より有効性を高められる可能性

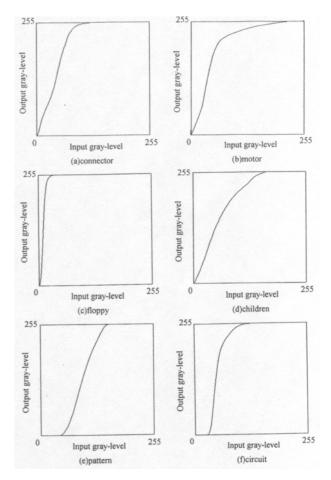


図 13 生成された濃度変換曲線

Fig. 13. Generated gray-level conversion curves.

があるが,今後の検討課題である。

濃度勾配ヒストグラムと濃度変換曲線 は、各々の画像について得られた濃度勾配ヒストグラムを 示す。いずれの画像についても、ヒストグラムにはピーク となる峰部分が見られた。最大ピークを示した濃度は、 (a)connector が 4, (b)motor が 32, (c)floppy が 6, (d)children が 32, (e)pattern が 92, (f)circuit が 43 であった。 3・3 で 述べたように,濃度変換曲線は,濃度勾配ヒストグラムか ら生成されるため,これらのヒストグラムのピーク部分に 当たる濃度付近において,優先的に濃度の伸張が行われる ことになる。参考として,図 12 は,(b)motor と(d)children について ,濃度勾配ヒストグラムのピーク濃度 ±1 範囲内の 濃度を持つ画素を白画素として提示している。(b)motor で は、モーター表面のハイライト部の境界やコードの輪郭、 背景パタンのエッジなどがピーク付近の濃度に該当してい ることがわかる。また,(d)childrenでは,人物の目,鼻,口 や、背景の植物の葉のエッジ部分などが特に強調された部 分であることがわかる。

図 13 は,各々の画像について得られた入出力変換曲線を示す。横軸が入力画像の濃度,縦軸が出力画像の濃度を表す。例えば,(b)motorでは,低濃度付近が極めて伸張されており,逆に高濃度部分は緩やかな勾配となっている。一方,

表 2 結果画像の DV と BV

Table 2. DV and BV of resultant images.

Image	DV/ BV	Original image	LGC	HN	HE	DG
(a)connector	DV	160.4	225.8	251.8	239.9	390.8
	BV	11.9	17.4	32.9	40.3	28.7
(b)motor	DV	444.3	439.5	495.0	428.5	551.6
	BV	13.9	13.9	16.7	26.7	19.6
(c)floppy	DV	106.7	322.5	385.2	656.1	689.7
	BV	3.5	41.2	40.6	69.7	34.6
(d)children	DV	277.1	423.7	435.0	360.2	586.4
	BV	21.2	24.3	24.8	34.5	20.7
(e)pattern	DV	237.5	732.0	720.8	1137.1	1369.6
	BV	44.5	47.3	47.1	47.2	40.0
(f)circuit	DV	197.7	325.6	296.3	1425.2	1205.8
	BV	23.0	38.3	49.0	41.7	35.6

(e)pattern では、中間濃度領域が伸張される傾向があるが、比較的直線に近い形状の変換曲線が得られている。しかし、濃度線形変換法のように完全な直線ではなく、各々の画像について異なる特性を持つ変換曲線が生成されている。

4・5 $DV \c BV$ による評価 画像のコントラスト感を定量化することは困難であるが,DV ($Detail\ Variance$) とBV ($Background\ Variance$) によって,画像の視覚的な鮮明さを評価する方法が提案されている $^{(18)(19)}$ 。 $DV \c BV$ は,次のようにして求められる。まず,各画素について,近傍領域内の濃度分散を求め,閾値以上の場合はその画素を前景に,閾値未満の場合は背景にクラス分けする。そして,前景に属する全画素に関する濃度分散の平均値を DV とする。同様に,背景に属する全画素に関する濃度分散の平均値を BV とする。DV は局所的に濃度変化が大きな領域内の濃度分散を表す。これらの値の性格から,入力画像と比較して,DV が増加し,BV が変化しない場合に,明暗の変化が鮮明な結果画像が得られていると考えることができる $^{(18)(19)}$ 。

表 2 は,各画像について,入力画像,および,従来手法 と提案手法による結果画像の DV と BV を計測した結果を示 す。近傍領域は5×5画素,閾値は100とした。提案手法(DG: Differential Gray-level)では,いずれの画像についても,従来 手法と比較して DV が大きく, また, BV も比較的低い値に 抑えられており、良好なコントラスト改善が行われている ことが示唆される。これに対して,濃度線形変換法(LGC: Linear Gray-level Conversion)は,全般的に BV は入力画像と 近い値であるが , DV は増加しない傾向があり , これが視覚 的にコントラスト感が乏しい理由と考えられる。ヒストグ ラム均等化法(HE: Histogram Equalization)は, DV は大きい が,BVも入力画像と比較して大幅に増加する傾向があり, これが過強調の要因であると考えられる。ヒストグラム正 規分布化法(HN: Histogram Normalization)は ,濃度線形変換法 とヒストグラム均等化法の中間的な結果を示したが,DVは 提案手法よりも低く, BV は提案手法よりも高い傾向にあっ た。以上に述べた傾向は, 閾値を変化させても同様であっ た. $DV \ge BV$ の評価結果だけから画像のコントラストを定 量化することは困難であるが,これらの値は,視覚的なコ ントラスト感と相関が高いことが報告されており⁽²⁰⁾,提案

表3 結果画像の SF 値

Table 3. SF values of resultant images.

Image	Original image	LGC	HN	HE	DG
(a)connector	10.2	18.0	25.8	38.4	31.7
(b)motor	10.3	10.3	19.6	34.3	36.4
(c)floppy	10.3	57.2	83.6	146.2	139.8
(d)children	14.8	22.0	27.6	31.7	29.3
(e)pattern	26.0	26.6	54.7	69.6	71.5
(f)circuit	20.8	33.2	62.0	145.7	133.3

手法によって,良好なコントラスト改善が行われていることが示唆される。

4・6 デルタヒストグラムによる評価 次に,結果画像の鮮明度について,前節で述べた DV と BV とは別の定量的評価を試みた。ここでは,自然画の鮮明度を表す尺度である MTF (Modulation Transfer Function) $^{(21)(22)}$ による評価結果と高い相関があると報告されているデルタヒストグラムによる計測方法を用いた $^{(23)}$ 。デルタヒストグラムは,全画素について,周辺画素との平均濃度差をヒストグラム化したものである。すなわち,濃度値 g(x,y)を持つある画素(x,y)について,8 近傍画素間との絶対濃度差の平均値 H(x,y)を次式によって求める。

$$H(x,y) = \frac{1}{8} \sum_{j=-1}^{1} \sum_{i=-1}^{1} |g(x,y) - g(x+j,y+i)| \cdots (9)$$

全画素について,横軸に H(x,y),縦軸に画素数を示す累積ヒストグラムを作成し,デルタヒストグラム D_o とする。一方,ガウシアンフィルタを施した平均化画像について,同様にデルタヒストグラム D_b を得て,デルタヒストグラム D_o と D_b との差 $SF(Sharpness\ Factor)$ を次式によって求める。

$$SF = \frac{1}{N_P} \sum_{n=0}^{255} |D_O(n) - D_b(n)| \cdots (10)$$

ここで, N_P は全画素数である。画像の鮮明度が高い場合は, ガウシアンフィルタによるぼけ具合が大きくなるため,デルタヒストグラムの変化が著しくなり,SF 値は大きくなる。 一方,画像の鮮明度が低い場合は,平均化処理による変化 が顕著ではないため,SF 値は小さくなる。

表3は,入力画像および各手法による結果画像について, SF 値を計測した結果を示す。提案手法(DG)は,濃度線形変 換法(LGC)とヒストグラム正規分布化法(HN)と比較して,高 いSF 値が得られた。また,提案手法とヒストグラム均等化 法によるSF 値はほぼ同程度であり,提案手法は,ヒストグ ラム均等化法と同程度の鮮明さが得られているといえる。

4・7 微分フィルタについて 以上に述べた実験では、提案手法における微分フィルタとして、Prewitt オペレータを用いた。ここでは、画像処理で用いられる代表的な1次微分フィルタの種類が結果画像に与える影響を評価した。図14は、参考として、(d)children について、Prewitt、Roberts、Sobel、Robinsonの各オペレータを用いた場合に生成された濃度変換曲線を示す。フィルタの種類を変化させても、濃度変換曲線の形状は安定していることがわかる。表4は、各々のフィルタによる結果画像のDVとBV、およびSF値を示す。いずれの値もフィルタの種類の影響をほと

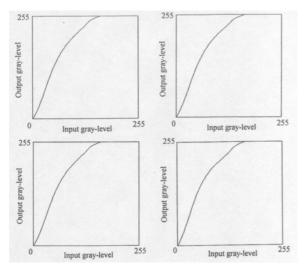


図 14 微分オペレータと濃度変換曲線の関係(左上: Prewitt,右上: Roberts,左下: Sobel,右下: Robinson). Fig. 14. Relation between gradient operators and gray-level conversion curves (upper-left: Prewitt, upper-right: Roberts, lower-left: Sobel, lower-right: Robinson).

表 4 微分オペレータと DV, BV, SF 値の関係
Table 4. Relation between gradient operators and DV, BV
and SF values

Image	Gradient operator	DV	BV	SF
(d)children	Prewitt	586.4	20.7	29.3
	Roberts	585.8	21.1	29.2
	Sobel	587.5	20.9	29.1
	Robinson	583.3	21.2	29.6

んど受けていない。他の画像についても同様な結果であった。以上の結果から,フィルタの種類は結果画像にほとんど影響を与えないことがわかった。

4. まとめ

濃度勾配ヒストグラムに基づく画像の空間的特徴を利用したコントラスト改善手法を提案した。各画素における濃度勾配の累積値から,局所的な濃度差を増大させる濃度変換曲線を生成する。従来手法と比較して,視覚的なコントラスト感が良好でかつ過強調が抑制された結果画像が得られた。また,コントラストと鮮明さについて定量的な評価を試みた結果,従来手法と同等以上の結果が得られた。コントラスト改善処理を行う際,外部パラメータが不要な点も提案手法の利点である。濃度線形変換法,ヒストグラム均等化法などの代表的手法と並んで,提案手法は,コントラスト改善を行う場合の有力な候補になると考えられる。今後は,カラー画像への適用を検討する予定である。

(平成17年3月24日受付,平成17年10月3日再受付)

文 献

- (2) R.Hummel: "Image Enhancement by Histogram Transformation", CGIP, Vol.6, pp.184-195 (1977)
- (3) E.L.Hall, R.P.Kruger, S.J.Dwyer, R.W.McLaren, and G.S.Lodwck: "A Survey of Preprocessing and Feature Extraction Techniques for Radiographic Images", IEEE Trans. on computer, Vol.C-20, pp.1032-1044 (1971)
- (4) 松山隆司: 画像解析の手法(1)前処理,画像処理ハンドブック(尾上守夫(編)),第11章,昭晃堂(1987)
- (5) 輿水大和: 濃淡画像と画質改善・画質強調, コンピュータビジョン (谷内田正彦(編)),第3章, 丸善(1990)
- (6) E.L.Hall: "Digital Image Processing and Pattern Recognition", Academic Press (1979)
- (7) 高木幹雄・下田陽久(監修):"新編画像解析ハンドブック",第4章, 東京大学出版社(2004)
- (8) 河田 聡・南 茂夫:科学計測のための画像データ処理,第5章,CQ出版社 (1994)
- (9) 田村秀行(編): コンピュータ画像処理,第4章,オーム社 (2002)
- (10) 樋渡涓二:感覚と工学, 第6章, 共立出版 (1976)
- (11) 本庄 知:画質評価,画像電子ハンドブック,第 11 章,コロナ社 (1993)
- (12) D.Marr and E.Hildreth: "Theory of Edge Detection", Procs. of the Royal Society of London, B207, pp.187-217 (1980)
- (13) F.Saitoh: "An Analysis of Spatial Features for Image Contrast Enhancement", *Trans. of IEEJ*, Vol.120-C, No.10, pp.1372-1379 (2000-10) (in Japanese)
 - 斉藤文彦:「コントラスト強調のための空間的特徴に関する考察」, 電学論 C, **120**, 10, pp.1372-1379 (2000-10)
- (14) 高木幹雄・下田陽久(監):画像解析ハンドブック,機能編第2章, 東京大学出版会.pp.502-504 (1991)
- (15) D.H.Ballard and C.M.Brown: "Computer Vision", Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs (1982)
- (16) N.Kobayashi, H.Saito, and M.Nakajima: "Fast Adaptive Contrast Enhancement Method for the Display of Gray-Tone Images", *Trans. of IEICE*, Vol.J80-D- , No.3, pp.502-509 (1994-3) (in Japanese) 小林直樹・斎藤英雄・中島真人:「自然画像表示のための高速な局所的コントラスト強調」,信学論(D-),J77-D- , 3, pp.502-509 (1994-3)
- (17) F.Saitoh: "Local Contrast Enhancement by Optimizing Image Separation Using Genetic Algorithm", Trans. of IEEJ, Vol.121-C, No.10, pp.1508-1515 (2001-10)
- (18) A.Vanzo, G.Ramponi, and G.L.Sicuranza: "An Image Enhancement Technique Using Polynomial Filters", Proc. of First IEEE Intern. Conf. in Image Processing, ICIP-94, pp.13-16 (1994)
- (19) G.Ramponi: "A Simple Cubic Operator for Sharpening an Image", Proc. of 1995 IEEE Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing, pp.963-966 (1995)
- (20) K.Sugahara, H.Yamamoto, and R.Konishi: "Adaptive Image Enhancement Algorithm Based on the Fuzzy Set Operations", *Trans. of IEICE*, Vol.J80-D- , No.7, pp.1786-1792 (1997-7) (in Japanese) 菅原一孔・山本久範・小西亮介:「ファジー理論に基づく適応的な画像強調手法」,信学論(D-), **J80-D-** , 7, pp.1786-1792 (1995-7)
- (21) J.C.Dainty and R.Shaw: "Image Science", Academic Press (1974)
- (22) J.S.Arney, C.D.Arney, M.Katsube, and P.G.Engeldrum: "An MTF Analysis of Papers", Journal of Imaging Sci. Technol., Vol.40, No.61, pp.19-25 (1996)
- (23) Y.Miyake, Y.Satoh, H.Yaguchi, and T.Igarashi: "An Evaluation of Image Quality for Color Images with Different Spatial Frequency Characteristics", Journal of Photogr. Sci., Vol.38, pp.118-122 (1990)

斉藤文彦



(正員) 1981年慶大・工・数理卒。日本 IBM (株)等を経て,現在,岐阜大学工学部応用情報学科教授。視覚情報処理,医用画像処理,マシンビジョンの研究に従事。博士(情報科学,工学)。電子情報通信学会,画像電子学会,日本視覚学会,精密工学会等会員。

⁽¹⁾ A.Rosenfeld and A.C.Kak: "Digital Picture Processing", Academic Press (1976)