

# 撮影画像の明るさ最適化技術 ContrastMagic™

ContrastMagic™ Technology to Optimize Image Brightness and Contrast

大脇 一泰

下山 賢一

森本 正巳

■ OHWAKI Kazuyasu

■ SHIMOYAMA Kenichi

■ MORIMOTO Masami

近年、ビデオカメラやデジタルカメラが急速に普及し、様々なシーンが撮影されるようになった。しかし、目ではきれいに見えていても、カメラではきれいに撮影できない場面は多く、どんなシーンを撮影しても見やすくきれいな画質にしたいという要求が高まっている。

そこで東芝は、視覚特性を考慮したRetinexモデルと、画像の領域ごとに適したマッピングカーブを作成する手法を用いて、撮影画像の明るさやコントラストを見やすく自動で変換する画像処理技術 ContrastMagic™を開発した。この技術は、カメラなどの撮影機器のほか、テレビなどの表示機器にも適用可能である。

The use of digital video and still cameras has become widespread in a variety of conditions. However, it is not easy for the average user to obtain attractive images under poor lighting conditions, such as dark or backlit scenes, even when the scene appears attractive to the naked eye. Demand is therefore increasing for the ability to realize high-quality images under any conditions.

Toshiba has developed a technology called ContrastMagic™ that is applicable to both imaging and display systems. ContrastMagic™ optimizes the brightness and contrast of images using a retinex model on the basis of visual features and local adaptive tone mapping.

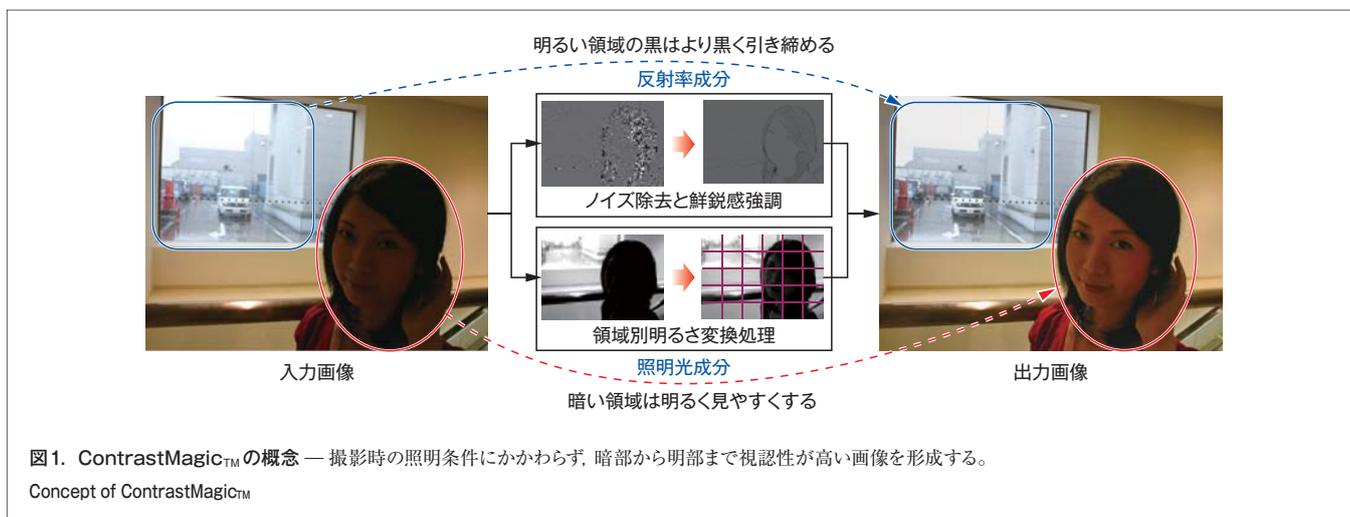
## 1 まえがき

ビデオカメラやデジタルカメラの小型化と携帯電話への搭載によって、いつでも、どこでも、誰でも気軽に撮影ができるようになった。また、車載カメラや防犯カメラなど、安全やセキュリティ分野でカメラが使用されることも多くなった。しかし、目ではきれいに見えていても、カメラではきれいに撮影できないシーンが多く存在する。

自然界は、 $10^{10}:1$ という広大なダイナミックレンジ<sup>(注1)</sup>を持っていると言われている。それに対して、カメラなどの撮影機器

のダイナミックレンジは性能の良いものでも $10^6:1$ 程度であり、更に、撮影された画像を表示するテレビなどの表示機器のダイナミックレンジは、性能の良いものでも $10^3:1$ 程度である。そのため、暗い屋内と強い太陽光が降り注ぐ明るい屋外が同時に含まれるような、ダイナミックレンジの広いシーンを撮影した場合、撮影画像は、明部や暗部に階調つぶれが生じたり、局所的にコントラストが低下して表示される。

そこで東芝は、限られたダイナミックレンジの中で、撮影時の照明条件にかかわらず、暗部から明部まで視認性が高く、鮮鋭感とノイズ抑制効果に優れた画像に自動で変換する画像



(注1) 識別可能な信号の最大値と最小値の比率。

処理技術 ContrastMagic™を開発した(図1)。ここでは、その概要について述べる。

## 2 従来技術

### 2.1 画面一括のトーンマッピング

明るい屋外と暗い室内をいっしょに撮影した場合、図1の入力画像のように、屋内にある顔が暗く撮影される。このような視認性の悪い画像の明るさやコントラストを補正する技術として、“ガンマ変換”や“ヒストグラム平坦化”といったトーンマッピング手法が知られている。

しかし、1画面に一つのマッピングカーブ(階調の変換テーブル)を用いたガンマ変換やヒストグラム平坦化を用いて顔を明るく変換すると、図2に示すように屋外も明るくなり、屋外のコントラストが低下してしまう。また、暗部のノイズが伸張されたり、コントラストが強くなりすぎて滑らかな階調変化が失われるなどの画質劣化も発生する。そこで、明暗及び色彩の視覚をモデル化したRetinex<sup>(1)</sup>に注目した。



### 2.2 Retinexモデル

Retinexは、E. H. Landによって提案された視覚モデルで、カメラなどでは画素ごとの物理的な光量によって輝度の値が決定されるのに対し、人間の視覚系は、照明光などを除去して、注目画素と周辺領域との相対化された輝度比を知覚するというモデルである。

Retinexによると、画素位置  $(x, y)$  の入力画素値  $I(x, y)$  は、次式のように、照明光成分  $L(x, y)$  と反射率成分  $R(x, y)$  の積によってモデル化できる。

$$I(x, y) = L(x, y) \cdot R(x, y) \quad (1)$$

照明光成分は、被写体に照射された照明光の成分であり、Retinexに従うと視覚への影響は小さい。反射率成分は、照明に依存しない被写体の画像成分である。

そこで、被写体固有の反射率成分を保持しておけば、照明

光成分が変わっても、照明光に応じた適切な被写体の見え(コントラスト)を得ることができる。

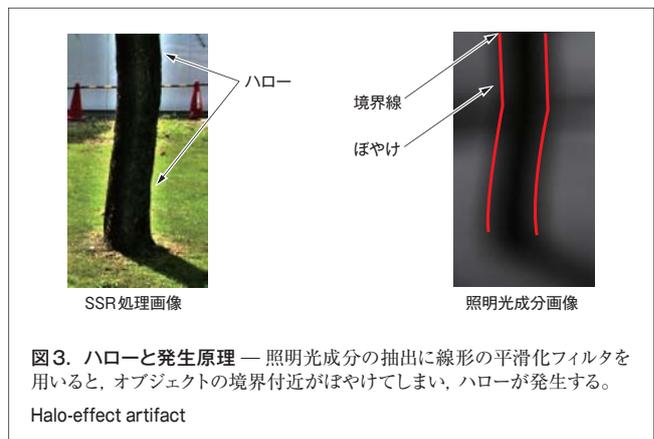
このRetinexを応用したモデルの中で代表的なものは、SSR(Single Scale Retinex)と呼ばれるモデル<sup>(2)</sup>である。SSRでは、注目する画素とその周辺の画素に対してガウシアンフィルタ<sup>(注2)</sup>  $F(x, y)$  で平滑化することにより照明光を推定し、次式で表されるように、注目画素の入力画素値と推定された照明光成分の比から反射率成分を求める。

$$R(x, y) = \log \frac{I(x, y)}{L(x, y)} \\ = \log \frac{I(x, y)}{F(x, y) * I(x, y)} \quad (2)$$

\*: コンボリューション積分

SSRを用いて変換画像を作成した場合、オブジェクトの境界付近に白い影(ハロー)が発生することが知られている。極端なハローの例を図3に示す。ハローの発生は、照明光成分と反射率成分の分離に線形の平滑化フィルタを用いることで、オブジェクトの境界がぼやけてしまうことが原因である。

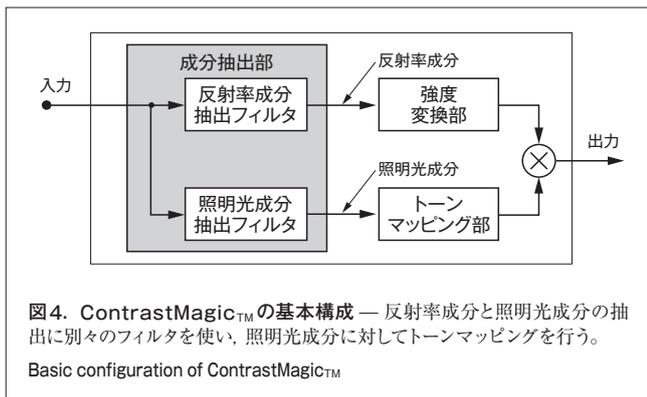
ハローを発生させないためには、オブジェクトの境界部を考慮するエッジ保存型の平滑化フィルタを使用すればよいことが知られている。しかし、分離フィルタにエッジ保存型のフィルタを適用した場合、本来反射率成分として抽出されるはずのエッジの一部が照明光成分として抽出されるため、反射率成分が得られず、明るさに応じたコントラストを得ることができない。



## 3 ContrastMagic™の構成とアルゴリズム

ContrastMagic™は、Retinexモデルで、照明光成分と反射率成分の抽出に別々のフィルタを用いる構成とし、照明光成分に対して領域別に適したマッピングカーブを作成する手法を適用することにより、領域ごとに優れた明るさを提供すると

(注2) 注目画素に近い画素に大きな重みをつけた平滑化フィルタ。



もに、ハローの発生とコントラストの低下、ノイズの伸張を抑制する。

ContrastMagic™は、図4に示すように、成分抽出部と、反射率成分の強度変換部、照明光成分のトーンマッピング部で構成されている。

### 3.1 成分抽出部

SSRでは、入力画像から照明光成分に相当するガウシアンフィルタを除算して反射率成分を抽出する。すなわち、一つのフィルタを用いて成分を分離する。一方、ContrastMagic™では、照明光成分と反射率成分をそれぞれ別々のフィルタを用いて抽出する。このようにして抽出した照明光成分と反射率成分の積は、入力画素値とは一致しない。しかし、この構成により、入力画像よりも好ましい画像が作成できる。例えば、あらかじめノイズの発生する帯域がわかっている場合、照明光成分及び反射率成分のどちらの成分にもノイズが抽出されないフィルタを設計することにより、入力画像からノイズの低減された画像を作成することができる。

照明光成分抽出フィルタには、ハローの発生を防ぐため、エッジ保存型の平滑化フィルタを適用する。2.2節で述べた従来手法では、エッジ保存型の平滑化フィルタを適用すると、反射率成分の一部が照明光成分として抽出され、見た目のコントラストが低下していた。一方、ContrastMagic™では、独立して反射率成分の抽出を行うため、すべての反射率成分を抽出ことができ、ハローの発生とコントラストの低下を抑制できる。

反射率成分抽出フィルタには、反射率成分を抽出し、かつノイズの抽出を抑制できる、新たに開発したフィルタを適用する。照明光成分は平滑化された信号であるため、画像に含まれるノイズは反射率成分に抽出されやすい。そのため、反射率成分抽出フィルタでノイズを除去することで、ノイズの低減された画像が出力できる。

エッジ保存型の照明光成分抽出フィルタを用いて反射率成分を抽出する従来手法と、反射率成分抽出用フィルタを用いて抽出する開発手法それぞれの反射率成分の抽出結果を図5に示す。従来手法では、反射率成分の一部（エッジなど）が



抽出されず、ノイズが抽出されている。一方、開発手法では、反射率成分が抽出され、ノイズの抽出は抑制されている。

### 3.2 強度変換部

強度変換部は、必要に応じて抽出された反射率成分の強度を変換する。

反射率成分の振幅を大きくすると、見た目のコントラストや画像の鮮鋭感を一様に向上させることができる。また、反射率成分のノイズが除去されていると、ノイズは伸張されない。

### 3.3 トーンマッピング部

トーンマッピング部では、照明光成分を領域分割し、領域ごとに適したマッピングカーブを作成してトーンマッピングを行う。

**3.3.1 マッピングカーブ作成処理** 出力画像の特徴は、マッピングカーブの形状によって決まる。入力値  $z$  に対するマッピングカーブの出力値  $f(z)$  は、階調とびなどの画質劣化にロバストで視認性の高い画像を作成するため、次式のように、ベース成分  $f_B(z)$  とディテール成分  $f_D(z)$  を合成して作成する。

$$f(z) = a * f_D(z) + (1 - a) * f_B(z) \quad (3)$$

ここで  $a$  は、ディテール成分とベース成分の混合比を表す  $[0, 1]$  のパラメータで、画像の特徴に応じて自動的に導出する。

ベース成分は、画像全体の変換方針を決定しロバスト性を確保するための成分で、例えば、暗部を明るく、明部を暗く変換するマッピングカーブを設定する。

ディテール成分は、暗部から明部までより広いレンジの階調を使用したコントラストの高い照明光成分を生成するための成分で、領域ごとの累積ヒストグラムの形状をマッピングカーブに設定する（ヒストグラム平坦化）。このようにして作成されたマッピングカーブを用いてトーンマッピングを行うと、コントラストの高い画像が作成できる。一方で、コントラストが高くなりすぎて滑らかな階調が失われ、不自然な画像になる場合も多い。そのため、滑らかな階調が失われない範囲でディテール成分を多く混合できるように  $a$  を導出し、ロバストかつ

コントラストの高い照明光成分を作成する。

**3.3.2 境界抑制処理** 領域ごとに異なるマッピングカーブを用いたトーンマッピングを行うと、領域の境界部分に不連続面が発生する。そこでContrastMagic™では、以下のような境界抑制処理を行う。

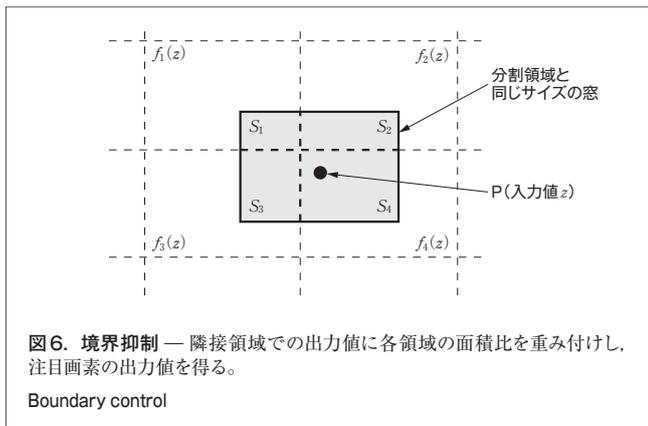
処理対象画素P(x, y)の入力値zを変換する場合、図6に示すように、Pを中心として、分割領域と同じサイズの窓を画像に当てはめる。この窓が含む四つの領域での出力値 $f_1(z) \sim f_4(z)$ から、窓に含まれる各領域の面積の比 $a_1 \sim a_4$ を重みとして、次式に示すように畳み込みを行い、P(x, y)の出力値 $f(z)$ を得る。

$$f(z) = a_1 * f_1(z) + a_2 * f_2(z) + a_3 * f_3(z) + a_4 * f_4(z) \quad (4)$$

$$a_i = \frac{S_i}{S_1 + S_2 + S_3 + S_4}, \quad i = 1 \sim 4$$

この処理では、P(x, y)の位置によって領域ごとの重みが少しずつ変化し、それに伴って伸張値も少しずつ変化するため境界の不連続面が抑制される。

この境界抑制処理により、領域ごとに大きく異なったマッピングカーブを作成することができ、コントラストの高い画像が作成できるようになった。



## 4 あとがき

今回、悪い照明環境の下で撮影された画像でも、見やすい画像に自動で変換する画像処理技術 ContrastMagic™を開発した。ContrastMagic™は、Retinex モデルで、画像の照明光成分と反射率成分を別々のフィルタを用いて抽出し、領域ごとにロバスタなマッピングカーブを作成してトーンマッピングを行う。これにより、撮影時の照明条件にかかわらず、暗部から明部まで視認性が高く、鮮鋭感とノイズ抑制効果に優れた画像を形成することができるようになった。

この技術の簡易版は、当社製の携帯電話にブライト変換として搭載されている(図7)。



ほかにも、例えばデジタルカメラやホームビデオでの撮影時の露光補正や撮影済み画像の階調補正、あるいは液晶テレビやノートPC(パソコン)でのバックライト輝度を下げた低消費電力表示モード時の視認性改善など、撮影側でも表示側でもその活用が期待される。

## 文献

- Land, E. H.; McCann, J. J. Lightness and Retinex Theory. J. of the Optical Society of America. 61, 1, 1971, p.1 - 11.
- Jobson, D. J., et al. Properties and Performance of a Center/Surround Retinex. IEEE Trans. On Image Processing. 6, 3, 1997, p.451 - 462.



大脇 一泰 OHWAKI Kazuyasu

研究開発センター マルチメディアラボラトリー。  
映像の高画質化の研究・開発に従事。電子情報通信学会、  
映像情報メディア学会会員。  
Multimedia Lab.



下山 賢一 SHIMOYAMA Kenichi

研究開発センター マルチメディアラボラトリー。  
映像の高画質化の研究・開発に従事。  
Multimedia Lab.



森本 正巳 MORIMOTO Masami

モバイルコミュニケーション社 モバイルコア技術部 第一担当  
主務。高画質化技術の開発に従事。  
Core Technology Center