

# CG 画像向けの True Color から Deep Color への Inverse Tone Mapping の開発

難波宗介<sup>†</sup> 成見哲<sup>†</sup>

<sup>†</sup>電気通信大学大学院 情報理工学研究所

## 1 はじめに

近年、フルHDや4Kのような高解像度のディスプレイが一般に普及している。一方、Deep Color への対応も進んできている。一般的なディスプレイではRGB各8bitの色深度のTrue Colorにしか対応していないが、Deep ColorではRGB各10bit, 12bit, 16bit等の色深度に対応することでTrue Colorよりも繊細な色が表現可能である。類似規格であるHDRでは、True Colorで表現できる最大の明るさよりも更に明るい色を表現することができる。

Tone Mappingとは、高ダイナミックレンジの色を低ダイナミックレンジの色に変換する操作であり、その逆操作はInverse Tone Mappingと呼ばれる。現在までに記録されてきた動画はほとんどがTrue Colorであり、Deep Color対応のディスプレイで表示してもDeep Colorの繊細な色は表現できない。

本研究ではCG画像向けの、Deep Colorの繊細な色を再現できるようなTrue ColorからDeep ColorへのInverse Tone Mappingの手法を提案する。

## 2 既存研究と研究方針

Francesco Banterleらによる研究[1]では、全体の輝度平均値を利用したTone Mapping[2]のInverse Tone Mappingを行った後に、光源の位置を推定し、光源からの距離によって画素値を補正した。この研究はTrue Color画像からHDR画像を得るためのものであり、True ColorからDeep Colorへの変換には向かない。

竹内健らによる研究[3]では、True Color画像からDeep Color画像のヒストグラムを推定し、ヒストグラムを利用して画素値を補正することでTrue ColorからDeep Colorへの変換を行った。この研究の手法では補正前後で評価値が下がってしまうという結果になった。

本研究では、True ColorからDeep Colorへ単純に変換した後に、周辺画素の明るさに応じて補正処理を行う。

## 3 提案手法

補正処理前のTrue Color画像は色深度各10bitのDeep Color画像の下位2bitを丸め込んだものとする。このとき、各画素で2, 1, 0, -1のいずれかの誤差が生じる。エッジ部(周辺画素との輝度差が大きい部分)

ではこの誤差が気にならないが、グラデーション部(周辺画素との輝度差が小さい部分)では輝度差で縞模様が見えてしまう。このようなステップ状の部分はかつてグラデーション部だったと仮定して補正を行う。このような補正の例として、以下の式で表される拡散方程式を利用する方法がある。

$$\begin{aligned} (\text{補正值}) &= -\frac{\delta u}{\delta t} \cdot s, \\ \frac{\delta u}{\delta t} &= \nabla \cdot (D \nabla u) \end{aligned}$$

ここで $u$ はピクセルの輝度、 $t$ は時間、 $s$ はパラメータ、 $D$ は空間的な特性や構造によって変化する値・関数であり、この $D$ の設計によって様々な補正処理が実現できる。 $D$ を定数にすると「ぼかし処理」と同等となり、グラデーションは復元できるがエッジもぼけてしまう。そこで、エッジを保存しながらグラデーションを滑らかにできるような非線形の関数を利用する必要がある。その代表であるPMD[4]では $\frac{\delta u}{\delta t}$ は以下の形になる。

$$\begin{aligned} \frac{\delta u}{\delta t} &= \exp\left(-\frac{\|G\|^2}{k^2}\right) \cdot L, \\ G &= \frac{\delta u}{\delta x} + \frac{\delta u}{\delta y}, \\ L &= \frac{\delta^2 u}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 u}{\delta y^2} \end{aligned}$$

ここで $k$ はパラメータである。PMDは $\frac{\delta u}{\delta t}$ が極値を取らないために補正值のコントロールが難しい。そこで、本研究では以下の式で補正值を求める。

$$\begin{aligned} (\text{補正值}) &= -\exp\left(-\frac{(\|G\| - G_0)^2}{k_g^2}\right) \\ &\quad \cdot \exp\left(-\frac{(\|L\| - L_0)^2}{k_l^2}\right) \cdot \max \cdot \frac{L}{\|L\|}, \\ G &= \frac{\delta u}{\delta x} + \frac{\delta u}{\delta y}, \\ L &= \frac{\delta^2 u}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 u}{\delta y^2} \end{aligned}$$

ここで $G_0, L_0, k_g, k_l$ はパラメータであり、 $\max$ は補正值の最大値を表す。本研究では $G_0 = 2\sqrt{2}, L_0 = 8, \max = 1.5, k_l = \frac{L_0}{G_0} \cdot k_g$ とし、 $k_g$ のみを変化させた。

## 4 評価

### 4.1 評価手法

評価にはPSNRという指標を用いる。PSNRとは2つの画像の類似度表す値であり、値が大きいほど2つ

A Method of Inverse Tone Mapping from True- to Deep-Color Depth for Computer Graphics Images

Sosuke Namba<sup>†</sup> Tetsu Narumi<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Graduate School of Informatics and Engineering, the University of Electro-Communications

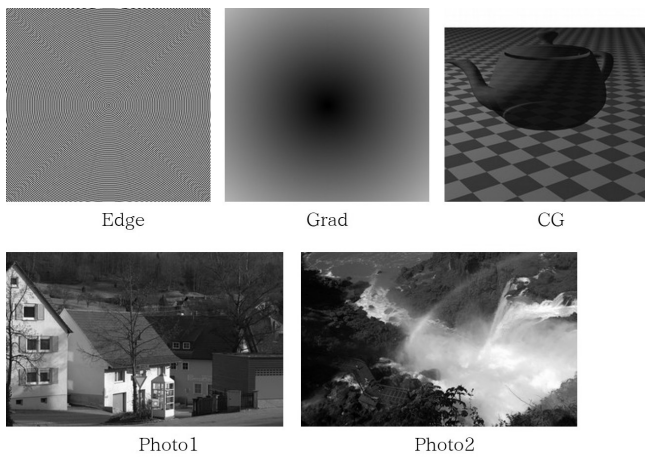


図 1: 評価に使用した画像 (Photo1 と Photo2 は参考文献 [5] より引用)

表 1: 評価結果 (PSNR)

画像	補正無し	線形拡散	PMD	$L$ の逆符号で 微小定数加算	本手法
Edge	53.666	52.387	52.387	52.387	53.666
Grad	58.434	60.954	60.954	60.956	64.703
CG	56.708	56.960	56.960	56.919	57.147
Photo1	58.312	58.587	58.587	58.587	58.297
Photo2	58.284	58.770	58.770	58.770	58.306

の画像が似ているということになる。PSNR は以下の式で計算できる。

$$\begin{aligned}
 PSNR &= 10 \cdot \log_{10} \frac{MAX^2}{MSE} \\
 &= 20 \cdot \log_{10} \frac{MAX}{\sqrt{MSE}}
 \end{aligned}$$

ここで、 $MSE$  は平均二乗誤差、 $MAX$  は画素値の最大値で 10bit では 1023 である。補正処理前の True Color 画像から Deep Color 画像を推定し、それと元々の Deep Color 画像との間の PSNR を計算する。

#### 4.2 評価結果

3つの CG 画像と 2つの写真画像 (図 1) で評価を行った (図 2, 表 1)。線形拡散, PMD, 本手法でのパラメータ調整は、画像 Edge の PSNR が最高になる範囲内で画像 Grad の PSNR が最高となるようにした。CG 画像での PSNR は本手法が最良となったが、写真画像では他の手法よりも PSNR が低く、補正無しするときよりも PSNR が低下する場合があった。

#### 4.3 考察

$L$  の逆符号で微小定数加算した場合では多くの画像で PSNR が向上している。計算上では  $L$  の符号が正の場合は  $-1$ 、負の場合は  $0$  を補正值として加算するようになっている。これにより、ステップ状の部分はかつてグラデーション部だったという仮定の下では誤差が減少し、PSNR を向上させることができたと考えられる。線形拡散と PMD のパラメータ調整の結果、これ

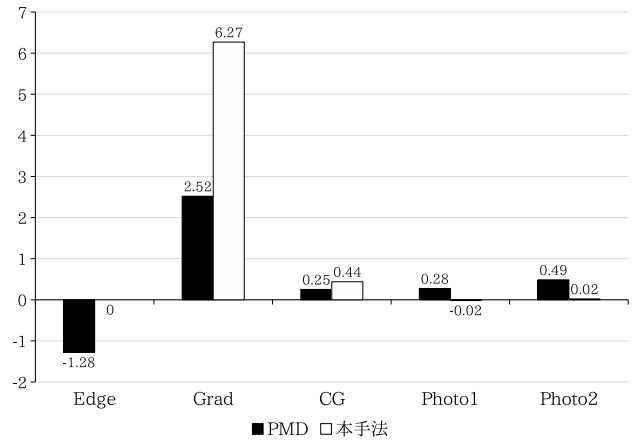


図 2: 補正無しの場合からの PSNR 値の増減

らの補正值は  $L$  の逆符号で微小定数加算した場合の補正值と似たものとなった。実質的には単純な補正とあまり変わらない。

本手法はステップ状の部分で補正值が最大となるように設計したが、写真画像では元々ステップ状の部分が多く存在する場合があります。本手法によりステップ状の部分破壊され PSNR の低下を招いたと考えられる。写真画像でも PSNR を向上させるためには、写真画像での部分的構造を解析し、構造に応じた補正関数を複数用意する必要があると考えられる。

また複数の手法を同時に適用した場合でも評価する必要がある。

#### 5 おわりに

本研究では True Color から Deep Color への Inverse Tone Mapping を開発し、その評価を行った。本手法では CG 画像では PSNR が向上したが、写真画像では PSNR が低下した。現状では 1024x1024 ピクセルの画像を処理するのに数秒かかるため、リアルタイム処理を行うには高速化を行う必要がある。

#### 参考文献

- [1] Francesco Banterle, et al. Inverse Tone Mapping. GRAPHITE '06, November 29, 2006
- [2] Reinhard, et al. Photographic tone reproduction for digital images. ACM Transactions on Graphics (TOG) - Proceedings of ACM SIGGRAPH 2002. 21(3), July 2002
- [3] 竹内健, 甲藤二郎, 早稲田大学大学院基幹理工学研究科. 中間調画像の色ビット深度拡張に関する検討. 電子情報通信学会技術研究報告. IE, 画像工学 110(22), 55-60, 2010-04-19
- [4] J Weickert. Anisotropic diffusion in image processing. 1998 - lpi.tel.uva.es [http://www.lpi.tel.uva.es/muitic/pim/docus/anisotropic\\_diffusion.pdf](http://www.lpi.tel.uva.es/muitic/pim/docus/anisotropic_diffusion.pdf)
- [5] RAWSAMPLES.CH <https://www.rawsamples.ch>