

明度が二分される HDR 画像のためのトーンマッピング Tone-mapping for HDR Images Divided into Two Luminance Distributions

北浦 真樹[†]
Masaki Kitaura

神原 誠之[†]
Masayuki Kanbara

横矢 直和[†]
Naokazu Yokoya

1. はじめに

ハイダイナミックレンジ (HDR : High Dynamic Range) 画像合成は、露出の異なる複数の画像を合成するなどして広いダイナミックレンジを表現可能な画像を生成する手法である。生成された HDR 画像は各画素が通常の 8bit 以上の階調値を保存しており、表示できる階調値が 8bit である LDR (Low Dynamic Range) ディスプレイで HDR 画像の情報を正確に表現するためには HDR 画像のダイナミックレンジを圧縮するトーンマッピングを行う必要がある。これまでに様々なトーンマッピング手法が提案されており、代表的なものとしてはアナログ写真の現像技術をデジタル画像に応用した Reinhard らの手法 [1] や人の視覚の働きの特性から勾配変化に着目した Fattal らの手法 [2] が挙げられる。

一般的なトーンマッピング手法は画像上の領域毎に利用できるダイナミックレンジが狭いため、領域毎に広いダイナミックレンジが要求される HDR 画像、特に明度が二分されるような HDR 画像のトーンマッピングには適していない。ここで言う二分とは、二峰性ヒストグラムとなる画像の輝度分布によるヒストグラム上での二分割、かつ明暗の差により画像空間上の領域が二分割されることを意味する。明度が二分される画像の例を図 1 (左) に示す。前述の通り明度が二分される HDR 画像に対し、人の視覚の特性である局所的適応に基づいて、各領域の特徴を考慮したトーンマッピングを行う Yee ら [3], Chen ら [4] の手法が提案されている。これらの手法は、領域間での輝度値の連続性を考慮しているために各領域で独立にトーンマッピングを施してはならず、その結果、領域間で輝度値の大小関係が保持される。つまり、各領域のダイナミックレンジが制限されており、ダイナミックレンジを有効に利用できていない。

そこで本研究では、屋内と屋外のように輝度分布と空間的な領域が分割される場合には、各領域において独立にトーンマッピングを適用することが可能であると仮定し、各領域のダイナミックレンジを有効に利用するトーンマッピング手法を提案する。

2. 輝度分布と画像上の領域が二分されるトーンマッピング

2.1 提案手法の概要

本研究では、明暗により画像空間上の領域が二分される HDR 画像を対象とし、各領域で独立にトーンマッピングを施すことで各領域を広いダイナミックレンジで表現可能な画像の生成を目的とする。提案手法の処理の流れは以下である。

1. 入力 HDR 画像を明部と暗部へ領域分割。

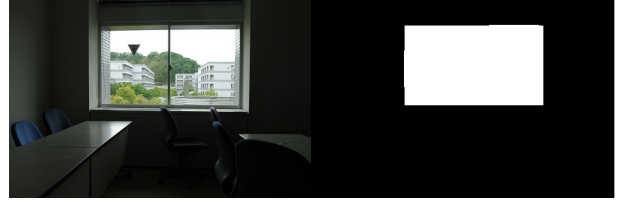


図 1: 明度が二分される画像の例 (左) とマスク画像 (右)



図 2: HDR 画像合成に用いる露出画像

2. 各領域を独立にトーンマッピング。

1. の明部と暗部への領域分割において、人の視覚が認識する空間的な領域に基づいて領域を分割することが重要となるため、インタラクティブかつ領域の境界を考慮して分割が可能な手法を用いる必要がある。そこで、本研究ではインタラクティブに分割する領域を指定することができ、また境界処理に対してロバストな手法である GrabCut [5] を適用する。入力 HDR 画像を GrabCut [5] を用いて領域分割し生成したマスク画像を図 1 (右) に示す。次に 2. において、本研究では代表的なトーンマッピングの一つであり、幅広い種類の画像を想定して設計されており特に広いダイナミックレンジを持つ画像に対しても有用である Reinhard ら [1] のトーンマッピングを適用する。ここでは、明部と暗部の各領域で独立に [1] のトーンマッピングを適用するため、各領域の情報を正確に表現可能な基準値をそれぞれ選出することが重要となる。

2.2 Reinhard らのトーンマッピング

Reinhard ら [1] のトーンマッピングは、アナログ写真の現像技術として用いられる Zone System と Dodging-and-burning に基づいて、入力となる HDR 画像のダイナミックレンジから出力画像のダイナミックレンジの中央部の輝度値となる基準値を算出し入力画像の輝度値を変換する。また、局所的に明るい部分の輝度値を下げ、暗い部分の輝度値を上げるように働く。まず、出力画像のダイナミックレンジの中央部の輝度値となる基準値を算出する。ここでは、過去の多くの階調再現に関する研究で用いられている対数平均輝度値を基準値とする。この基準値 $\bar{L}_w$ は以下の式で算出することができる。

$$\bar{L}_w = \frac{1}{N} \exp \left(\sum_{x,y} \log (\delta + L_w(x,y)) \right) \quad (1)$$

ここで $L_w(x,y)$ は画素 (x,y) における入力輝度値であ

[†]奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科
Nara Institute of Science and Technology (NAIST)



(a) Reinhard[1]



(b) Fattal[2]



(c) 提案手法

図 3: トーンマッピング結果

り, N は画像における総画素数, δ は画像中に黒画素が存在した場合の特異点を避けるための定数である. 次に基準値 $\bar{L}_w$ を用いて画像全体にスケーリングを行う.

$$L(x, y) = \frac{a}{\bar{L}_w} L_w(x, y) \quad (2)$$

ここで $L(x, y)$ はスケーリング後の画素 (x, y) の輝度値であり, a はパラメータとなる. さらに, ハイライト部分などの高い輝度値を持つ画素に対して圧縮を強める制約を式 (2) に加える.

$$L_d(x, y) = \frac{L(x, y)}{1 + L(x, y)} \quad (3)$$

ここで $L_d(x, y)$ は画素 (x, y) の出力輝度値となる. 式 (3) では, 高い輝度値は近似的に $1/L$ によってスケーリングされ, 一方低い輝度値は 1 によってスケーリングされる. 式 (3) の分母がこれらの 2 つのスケーリング間を滑らかに調和させるように働く. 本手法では, それぞれ明部のトーンマッピングの基準値 $\bar{L}_{w_{Light}}$ と暗部のトーンマッピングの基準値 $\bar{L}_{w_{Dark}}$ を領域毎に算出する.

3. 輝度分布と画像上の領域が二分されるトーンマッピングの実験

3.1 実験環境

入力の HDR 画像を生成するために, デジタル一眼レフカメラ (K-7, PENTAX) に搭載されているオートブラケット機能を利用し図 2 のような露出の異なる複数の画像を撮影した. カメラで撮影した複数の露出画像を, ハイダイナミックレンジ画像合成ソフトウェア (LuminanceHDR) を用いて HDR 画像へと合成し本実験の入力画像とした. 本実験におけるパラメータ a は 0.85, 明暗部の基準値 $\bar{L}_{w_{Light}}$, $\bar{L}_{w_{Dark}}$ はそれぞれ 0.50, 0.08 とした.

3.2 トーンマッピング結果

入力の HDR 画像に対して一般的に用いられる従来手法と提案手法を適用した. 図 3(a), 3(b) に Reinhard [1] と Fattal [2] らのトーンマッピングをそれぞれ適用した結果, 図 3(c) に提案手法を適用した結果を示す. [1] の手法は明暗部の各領域のテクスチャを表現しきれてはならず, 本研究が対象とする明度が二分される画像に対しては適していない. また, [2] の手法は明暗部の各領域のテクスチャを表現できているが, 輝度値の大きさの反転を許さないために画像全体に入力画像には無いグラデーションが発生するなど絵画的な効果が生じている.

提案手法では, 各領域に注目すると明部 (屋外) と暗部 (屋内) のそれぞれの領域でテクスチャが表現できており, 図 3(b) のようなグラデーションは発生していない. また, 図 3(c) を見る限り, 輝度値の大きさの反転を許したことで人の視覚にとって見やすい画像となっている.

4. まとめ

本研究では, 明暗により空間的に二分される HDR 画像に適したトーンマッピングを施すことで, 各領域で広いダイナミックレンジを実現した画像を生成することを目的とし, 領域分割後に独立にトーンマッピングを施すことで各領域の情報を正確に表現した画像を生成することができた. また, 明度が二分される画像に対して, 領域間で輝度値の大きさの反転を許したトーンマッピングを施すことの有用性を確認することができた. 今後の課題としては, 人の視覚にとって見やすい画像を生成することを確認する主観評価, 局所的適応に基づいた従来手法との結果比較, 提案手法の対象となる画像の判別方法の検討が考えられる.

謝辞 本研究の一部は, 日本学術振興会科学研究費基盤研究 (A) No. 23240024 による.

参考文献

- [1] E. Reinhard, M. Stark, P. Shirley and J. Ferwerda: "Photographic tone reproduction for digital images," ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH '02), Vol. 21, pp. 267-276, 2002.
- [2] R. Fattal, D. Lischinski and M. Werman: "Gradient domain high dynamic range compression," ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH '02), Vol. 21, pp. 249-256, 2002.
- [3] Y. H. Yee and S. Pattanaik: "Segmentation and adaptive assimilation for detail-preserving display of high-dynamic range images," The Visual Computer (VC), Vol. 19, pp. 457-466, 2003.
- [4] H.-T. Chen, T.-L. Liu and T.-L. Chang: "Tone reproduction: A perspective from luminance-driven perceptual grouping," International Journal of Computer Vision (CVPR2005), Vol. 65, pp. 73-96, 2005.
- [5] C. Rother, V. Kolmogorov and A. Blake: "GrabCut : Interactive foreground extraction using iterated graph cuts," ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH '04), Vol. 23, pp. 309-314, 2004.