

薄暗い場面で撮影された画像の薄明視画像への変換に関する研究

山口 正恵 (指導教員：齋藤 豪)

1 はじめに

1.1 研究背景と目的

近年技術の発達により、デジタルカメラは薄暗い時間帯や場面でも画像を暗くなり過ぎないように撮影することが可能である。しかしながら、フラッシュやタ方撮影用の機能を使用して撮影した画像は昼間のような明るい写真になってしまう。ヒトの目は暗順応をするに従い色覚が変化する一方、カメラは暗順応の機能を保持していないためである。本研究では、薄暗い場面で撮影された入力画像をヒトの目の生理学的機能に注目して変換することで、より実際に目で見ている景色に近いものへと変換する方法を提案する。

1.2 先行研究

錐体と桿体共に働く低光量な場面(照度約 $0.01lx \sim 3lx$)では薄明視という見え方をする[1]。Adamらの手法[2]は薄明視を考慮するにあたりCaoらの研究[3]を参照し低光量な場面での知覚を再現するトーンマッピング手法を提案している。Caoらの研究では心理物理学の視点から実験をしており、脳に信号を伝達する網膜以降の神経機構が考慮されている。

2 手法

本研究では文献[2]を元に、マカクザルのMC経路について実験を行ったCaoらのより新しい論文[4]を参照し、より明所視に近い薄明視状態での画像生成を行う。ただし、本研究では画像を対象とするのでMC経路の時間的応答については考えないものとする。

2.1 処理手順

文献[2]ではスペクトル画像とRGB画像のどちらの入力画像からも変換する手法を提案しているが、本研究ではRGB画像を入力とする。以下文献[2]に従い処理を行う。まず入力画像のRGB値を4次元の錐体・桿体反応のLMSR値に変換する。そのLMSR値を文献[2]に書かれている式に代入し、信号 $g_{Long}, g_{Medium}, g_{Short}$ を得る。 $g_{Long}, g_{Medium}, g_{Short}$ を求める式には、桿体がどれほど関与するかを決める係数 k_1, k_2 が存在する。明所視では両方共ほぼ0、十分に順応した暗所視ではそれぞれ0.25と0.4の値が適していると述べられており、文献[2]では後者が推奨されているが本研究ではより明所視に近い薄明視状態を対象としているのでより小さな値を用いる。次に錐体LMSからRGBに変換しトーンマッピングを行うことで結果画像を得る。

ここで、 $\Delta_{O_{Red/Green}}$ と $\Delta_{O_{Blue/Yellow}}$ は文献[2]と同じ値を用いるが、本研究では $\Delta_{O_{Luminance}}$ には以下に示す文献[4]のMC経路における神経節細胞の錐体と桿体からの信号による応答 A_{r+c} を用いる。

$$A_{r+c} = R_0 + \frac{R_{max}EC_{r+c}}{EC_{r+c} + C_{sat}}$$
$$EC_{r+c} = \sqrt{EC_r^2 + EC_c^2 + 2EC_rEC_c}$$
$$EC_r = R^{-1}(A_r)$$
$$EC_c = R^{-1}(A_c)$$

ここで、定数 R_{max} と C_{sat} は文献[4]の図1-B(20td)をMichaelis-Mentenの式にあてはめ読み取ること得た値40と0.14であるとし、定数 R_0 は同文献[4]より2とする。 EC_r, EC_c はそれぞれ桿体へのみ与える時間コントラスト刺激、錐体へのみ与える時間コントラスト刺激であり、 A_r, A_c はそれらの刺激によるMC経路上の神経節細胞の応答であり、 EC_{r+c} は論文[4]では位相差を考慮した EC_r と EC_c を合成した刺激 $EC_{r+c} = \sqrt{EC_r^2 + EC_c^2 + 2EC_rEC_c \cos(\phi_r - \phi_c)}$ であるが、本研究では時間的応答である位相差を考慮しないため $(\phi_r - \phi_c) = 0$ とした。 EC_r, EC_c の関数 R は文献[4]の式(1)であり、そこで用いられる定数 R_{max} と C_{sat} は文献[4]の図1-B(20td)より読み取り、桿体では28と0.16、錐体では28と0.20とし、 R_0 は2とする。文献[4]では3種類の錐体が等しく興奮するように調整した刺激を用いて実験を行っていたので、本研究ではそれにならぬ $A_c = g_{Long} + g_{Medium} + g_{Short}$ とし、 A_r はLMSRのR値とする。

実装はAdamらの手法をGIMPのプラグインとして実装したLow-Light Tone Mapper[5]に変更を加えることで行った。また、 k_1, k_2 については比を0.25:0.4に保ち、複数の組で実験した。

3 結果

実験には異なるシャッター速度で複数枚撮影した画像から合成したHDR画像を入力として用いた。図1上段と図3上段はそれらの階調を単純に圧縮した画像である。図1上段は左から明所視(照度約 $10lx$)、薄明視(約 $2lx$)、暗所視(照度計で測ることが不可能な照度)の場面で撮影された画像であり、中段は左から $(k_1, k_2) = (0, 0), (0.12, 0.192), (0.25, 0.4)$ の値を適用した文献[2]の実装例[5]による変換結果、下段は中段と同じ値を適用した本手法による結果である。 $(k_1, k_2) = (0, 0), (0.25, 0.4)$ は文献[2]で述べられている明所視、暗所視の場面での推奨される値だが、それぞれの結果において文献[2]の手法と本手法の適用結果には差異がほぼ無い。薄明視における k_1, k_2 についてより詳しく調べた結果が図2である。図2は文献[2]の手法と本手法で k_1, k_2 の値を明所視から暗所視に近くなるように変化させた結果画像である。2つの手法による結果の色差は減少していくことがわかる。以上より本手法で行った $\Delta_{O_{Luminance}}$ の置き換えは暗所視に近い薄明視への変換において可能である。

図3上段は薄明視場面(約 $1.5lx$)で撮影された画像である。図3中段は上段の入力に対して、文献[2]の実装例[5]による変換結果、下段は本手法による結果であり、中段と下段には $(k_1, k_2) = (0.12, 0.192)$ の値を適用している。

Adamらの手法結果と本研究の手法結果の異なる色調変化をより詳しく観察するために実験を行った。まず、図3の画像のRGB値を人間の目の知覚に近い $L^*a^*b^*$ 値に変換する。図4は図3画像を縮小したものの $L^*a^*b^*$ 値を3次元空間にプロットした図であり、赤い点群は図3の入力画像、緑の点群は図3のAdam



図 1: 上:入力画像 中央:文献 [2] の手法 下:本手法 中央と下: 左から $(k_1, k_2)=(0, 0), (0.12, 0.192), (0.25, 0.4)$



図 2: 左画像:文献 [2] の手法 右画像:本手法 上から $(k_1, k_2)=(0.06, 0.096), (0.09, 0.144), (0.18, 0.288)$

らの手法、青い点群は図 3 の本手法を表している。図 4 上段は L^* 軸 White 側から見たもの、下段は b^* 軸 Blue 側から見たものである。図 4 での軸は $L^*a^*b^*$ それぞれに対して Lab としている。図 4 より入力画像のほとんどの点群は文献 [2] と本研究の手法で処理をすると a^* 軸 Green 側、 b^* 軸 Blue 側に移行している。また、本研究の点群は文献 [2] の点群に比べてより青方向と赤方向に多く分布していることがわかる。

4 まとめ

本研究では文献 [2] の手法に沿った処理で用いる $\Delta O_{Luminance}$ を文献 [4] の A_{r+c} で置き換える手法を提案し、文献 [2] と本研究の手法を適用した結果画像について考察を行った。

一般的に明所視から暗所視へ変化する際には Purkinje Shift 現象が見られるが、今後は本研究の結果と Purkinje Shift 現象の関連性について調べていきたい。



図 3: 上:入力画像 中央:文献 [2] の手法 下:本手法 中央と下 $(k_1, k_2)=(0.12, 0.192)$

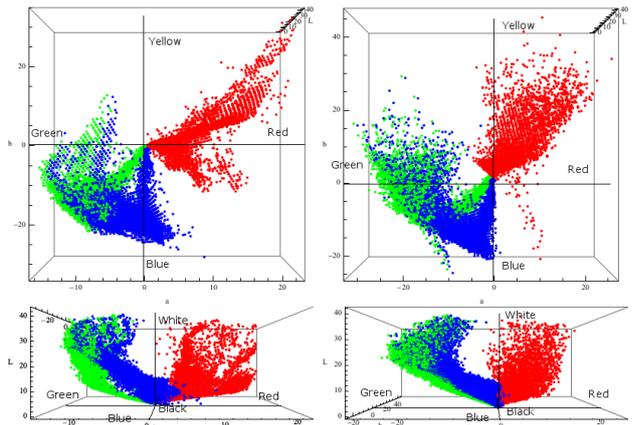


図 4: 左:図 3 左の画像 右:図 3 右の画像

参考文献

- [1] 湯尻照. 照度レベルによる表面色の明るさと変化 色相, 明度, 彩度の影響 . 照明学会誌 第 7 4 巻 第 1 0 号. 1990.
- [2] Adam G.Kirk, James F, and O'Brien. *Perceptually Based Tone Mapping for Low-Light Conditions*. ACM Transactions on Graphics, Vol30, No.4, Article 42. University of California, Berkeley, 2011.
- [3] Dingcai Cao, Joel Pokorny, Vivianne C.Smith, and Andrew J.Zele. *Rod Contributions to Color Perception: Linear with Rod Contrast*. Vision Res. 2008.
- [4] Dingcai Cao, Barry B.Lee, and Hao Sun. *Combination of rod and cone inputs in parasol ganglion cells of the magnocellular pathway*. Journal of Vision. 2010.
- [5] Yeon Jin Lee. *Low-Light Tone Mapper*. <https://www.ocf.berkeley.edu/~yglee/gimp/Welcome.html>.