

雲を考慮した空のインタラクティブな編集システム

An Interactive System for Editing Sky Taking into Account Clouds

小野 亜由美[†]
Ayumi Ono

土橋 宜典[†]
Yoshinori Dobashi

山本 強[†]
Tsuyoshi Yamamoto

1 まえがき

コンピュータグラフィックス (CG) で屋外画像を作成する際には、背景として空が利用されることが多い。空は青空や夕焼けなど多種多様であり、空を効果的に用いることでそのシーンに様々な印象を与えることができる。そのため空は重要な要素であり、CGにより空を表示する手法は多数存在する。例えば、リアルな空を表示する手法としては物理シミュレーションによる手法が多く用いられている。しかし、これは多くのパラメータに依存しているため、ユーザの希望を反映させた空を生成するのは困難である。そこで本研究では、直観的に空を作成することができるシステムの開発を目標とする。提案手法では空の輝度分布と色、雲を考慮し、ユーザの所望する空を簡単に作成することができる。

2 関連研究

空を表示する手法として、物理シミュレーションによる手法 [1] [2] が挙げられる。文献 [1] では、大気分子によるレイリー散乱などを考慮したリアルな空の色を高速に計算することができる。しかし、この手法は多くのパラメータに依存しているため、パラメータを調整してユーザの所望する空を作成するのは困難である。文献 [2] では、物理シミュレーションを利用し、空の輝度分布を解析的な式で表現している。ユーザが容易に測定・推定可能なパラメータを使用しているが、この手法もユーザの希望を反映させるのは困難である。これらのことを踏まえ、本研究では直観的な空の作成を目的とする。

3 提案手法

提案手法は、空の輝度分布の作成、空の色付け、雲の合成の3段階に分けられる。まず、空の輝度分布はグレースケールの全周画像で表現し、太陽位置や輝度勾配などをインタラクティブに調整する。そして、その全周画像に対して部分的に色を指定し、空全体の色付けを行う。最後に、全周画像から任意方向の空画像を生成し、実写から抽出した雲を合成する。このようにして、ユーザは所望する空画像をインタラクティブに作成することができる。また、3.4節では、作成した空画像を用いて実写中の空を置き換える手法についても提案する。以後で各々の処理について詳しく説明する。

3.1 空の輝度分布の作成

空の輝度分布は、文献 [3] のモデルを用いて表現する。このモデルでは、任意方向の空の輝度 L は次式で与えられる。

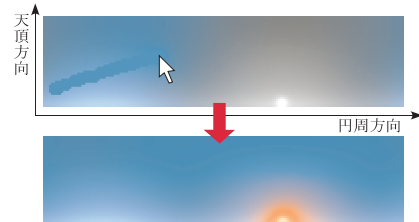


図1 空の色付け

$$L = L_z \frac{f(\theta_p, \gamma)}{f(0, \theta_s)} \quad (1)$$

$$f(x, y) = \{1 + a \exp(b / \cos x)\} \{1 + c \exp(dy) + e \cos^2 y\} \quad (2)$$

ここで、 θ_p は天空の注目方向の天頂角、 θ_s は太陽方向の天頂角、 γ は注目方向と太陽方向のなす角を表している。また、 L_z は天頂輝度、 a, b, c, d, e は気象係数と呼ばれる定数である。

本手法では、空全体をグレースケールの全周画像として表す。各パラメータの調整は全周画像上でのマウス操作により行うため、簡単かつインタラクティブな調整が可能である。なお、全周画像は半球の空を円周方向、天頂方向にそれぞれ2度ごとにサンプリングし、 180×45 のサイズで作成している。

3.2 空の色付け

3.1節の方法により作成した空の全周画像に対し、色付けを行う。本手法では、直感的に色付けをすることに重点を置き、文献 [4] を利用する。これは、グレースケール画像に対して部分的に色を指定し、その色情報をもとに画像全体をカラー化する手法である。この手法では YUV 色空間を採用しており、 Y は輝度、 U は輝度と青の色差、 V は輝度と赤の色差を表している。グレースケール画像は色情報である U, V を持っていないが、ユーザが部分的に色を指定することで、その指定したピクセルには U, V が与えられる。この与えられたピクセルでの U, V を初期条件とし、輝度が似ているところは色彩も似ているという仮定のもと、最適化により画像全体の U, V を決定していく。色の指定方法は図1のようにペイントソフトの要領で行うことができる。また、本手法では GPU を用いて高速化を図ることにより、リアルタイムでの色付けが可能である。

3.3 雲の合成

空を表現する上で雲は非常に重要であるが、3.2節の方法により作成した空には雲は含まれていない。そこで、文献 [5] を用いて雲の合成を行う。これは、雲の実写画像から雲テクスチャを抽出する手法である。雲テクスチャは、背後光の透過係数 α および雲の輝度 β からなる。雲テクスチャは実写中の雲画素の色 I 、補間により求めた雲背後の空の色 I_{sky} 、ユーザ

[†] 北海道大学大学院情報科学研究科, IST

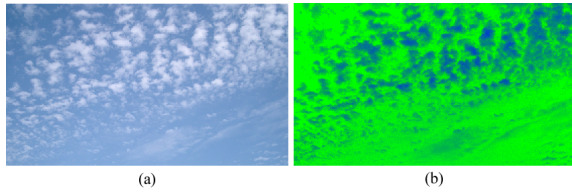


図2 入力画像と雲テクスチャ

が入力する太陽光の色 I_{sun} を用いて抽出することができる。図 2(a) に実写の雲画像, 図 2(b) に抽出した雲テクスチャを示す。雲テクスチャは, $(R,G,B)=(0,\alpha,\beta)$ として出力したものである。雲テクスチャを他の画像に合成する場合は, 合成後の雲画素の色 I' は式 (3) により算出する。

$$I' = \alpha I_{sky} + \beta I_{sun} \quad (3)$$

本手法では, 全周画像から任意方向の空画像を生成し, この画像に対して抽出した雲テクスチャを合成する。以上の方法を用いることにより, 背景画像に雲を自然に合成することが可能となる。

3.4 実写中の空の置き換え

作成した空画像の応用例として, 実写中の空の置き換え手法を提案する。空領域を作成した空画像でそのまま置き換えた場合, 空以外の領域の輝度との調和がとれず, 不自然になってしまう。そこで, 以下の方法により空以外の領域の輝度調整を行う。

空以外の領域にある物体表面は拡散面であると仮定すると, 置き換え後の物体の輝度 I_t は式 (4) で表すことができる。また, 導出は省略するが, 空の輝度分布の変化が滑らかであれば, 式 (4) は式 (5) ように近似することができる。

$$I_t = \int L_t(s)H(s)k \cos \theta ds \quad (4)$$

$$I_t \approx \int L_t(s)ds \frac{I_s}{\int L_s(s)ds} \quad (5)$$

ここで, s は物体表面上の注目点から空の任意の点に向かうベクトル, k は反射率, θ は s と物体表面の法線のなす角, $L_t(s)$ は作成した空の輝度分布, $L_s(s)$ は実写中の空の輝度分布, $H(s)$ は可視性を表す関数, I_s は実写中の空以外の領域の輝度を表している。実写中の空の輝度分布については, 1 枚の実写から空全体の輝度分布を得ることは困難であるため, 推定を行う。推定には, 3.1 節で用いた文献 [3] のモデルを利用する。このモデルにおいて, 実写中の空に対応するパラメータを推定することにより, 空全体の輝度分布を得ることができる。本手法では撮影日時・場所およびカメラパラメータは既知とする。未知パラメータである気象係数および天頂輝度は最急降下法を用いて推定する。ここでは RGB 色空間を採用し, それぞれのカラーチャンネルについて独立に推定を行う。

4 実装結果

提案手法により, 空の作成を行った結果を示す。実装環境は, CPU:Core2 Quad, GPU:GeForce GTS 250, メモリ:4GB である。また, 実写画像のサイズは 360×270 である。

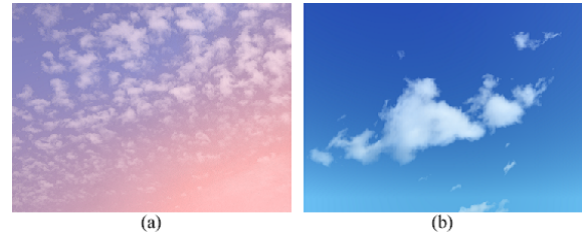


図3 作成した空画像



図4 置き換え結果

まず, 図 3 に作成した空画像を示す。図 3(a) は朝焼けの空, 図 3(b) は青空を目標として作成したものである。そして, 図 4(a) は実写画像, 図 4(b) は作成した空画像で実写中の空を置き換えた画像である。ユーザの希望を反映させた空が作成されていること, また, 作成した空を用いて自然な置き換えができていないことが確認できる。なお, 各画像の編集に要した時間は 2 分程度であった。

5 まとめ

提案法により, 空の輝度分布や色, 雲に関してユーザの希望を反映させた空を作成することができた。また, 作成した空を用いて, 実写中の空を置き換える手法についても提案した。

今後の課題としては, 雲の影の考慮が挙げられる。現在は雲を合成する前後で雲の影を変えていないため, 合成先の太陽方向と影の位置との関係が不自然になってしまうことがある。そこで, 雲の影を除去し, 新たに影付けを行う手法の開発が課題となっている。

参考文献

- [1] Y. Dobashi, T. Nishita, K. Kaneda and H. Yamashita, "A Fast Display Method of Sky Color Using Basis Functions," The Journal of Visualization and Computer Animation, vol.8, no.2, pp.115-127, April 1997.
- [2] A.J. Preetham, P. Shirley and B. Smits, "A Practical Analytic Model for Daylight," Proc. SIGGRAPH 99, pp.91-100, Los Angeles, California USA, Aug.1999.
- [3] R. Perez, R. Seals and J. Michalsky, "All-weather Model for Sky Luminance Distribution-preliminary Configuration and Validation," Solar Energy, vol.50, no.3, pp.235-245, March 1993.
- [4] A. Levin, D. Lischinski and Y. Weiss, "Colorization Using Optimization," Proc. SIGGRAPH 2004, pp.689-694, Los Angeles, California USA, Aug.2004.
- [5] 真造ら, "実写を利用した雲のインタラクティブなモデリング", Visual Computing/グラフィクスと CAD 合同シンポジウム, 2010(CD-ROM)