

X-Slit を備えた光源とカメラを用いた BRDF 計測

宮田 明裕[†] 久保 尋之[†] 船富 卓哉[†] 向川 康博[†]

奈良先端科学技術大学院大学[†]

はじめに

物体の反射特性は、光源方向と観測方向に応じた光の反射率を定める双方向反射率分布関数 BRDF(Bi-directional Reflectance Distribution Function)によって記述される。これを計測しておくことで、任意の照明環境下における物体の見え方を CG で再現することが可能になる。BRDF は空間的に一様な反射特性と等方性反射を仮定して、図 1 のように 3 つの角度のパラメータを用いて $f_{BRDF}(\theta_i, \theta_r, \phi)$ と表されることが多い。ここで θ_i, θ_r, ϕ はそれぞれ入射角、反射角、物体表面上での角を表す。これらの組み合わせを計測するには多数回の計測を必要とするので、反射屈折光学系を工夫するなど、専用の高価な計測装置が用いられていた[1]。本論文では、X-Slit と呼ばれる 2 つのスリットによって縦と横の画角が異なる光学系を用いて安価に BRDF を計測できる手法を提案し、有効性をシミュレーションで評価した結果を報告する。

計測モデル

X-Slit[2]は図 2 のように縦と横のスリットを配置することで簡単に構成でき、イメージセンサ(以下では単にセンサと呼ぶ)の画角が縦と横で異なる性質を持つ。

光源とセンサそれぞれに X-Slit を備えた装置を使用した BRDF の計測手法を提案する。X-Slit はピンホールと同様に光線の方向を一意に決定できるスリットであり(図 2)、センサと光源それぞれの前に X-Slit を置くことで、光源から出る光の方向と物体で反射して届く光の方向が決定さ

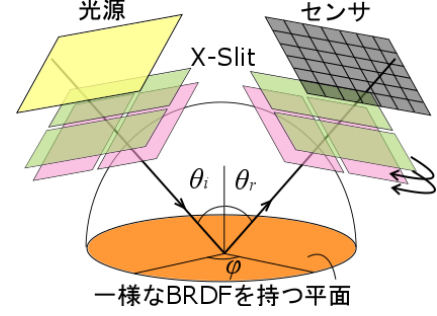


図 1 BRDF 計測モデル

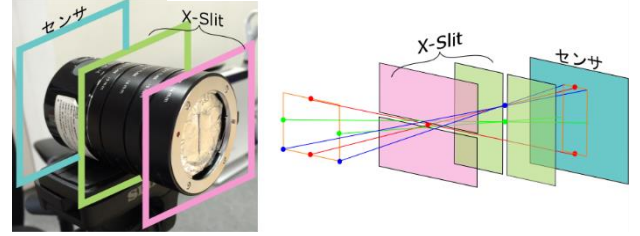


図 2 X-Slit の原理

れる。このとき図 1 のようにセンサの各画素で $\theta = (\theta_i, \theta_r, \phi)^T$ が取得できる。またピンホールと異なって、センサ側のスリットを回転させることでセンサに届く反射光の方向が変化し、より多くの計測が可能である。

評価

センサに対する物体と光源の位置は既知であるとして BRDF 計測のシミュレーションを行う。

スリットを回転させて計測される θ の集合を S としたとき、 θ のパラメータ空間における計測サンプルの分布が CG における物体の見え方の再現精度に大きく影響する。この精度を評価する一つの指標として、実際に CG を用いたレンダリング画像の各画素 u, v で必要とされる θ' と、集合 S における最近傍のサンプルとのユークリッド距離

$$d(u, v) = \min_{\theta \in S} \|\theta - \theta'(u, v)\|$$

を用いる。レンダリングに必要とされる物体形状および光源位置と視線方向によって再現精度も異なるが、ここでは CG の分野でよく使用される 3D モデルである Stanford Bunny を用いた場合の $d(u, v)$ を図 3 に示す。

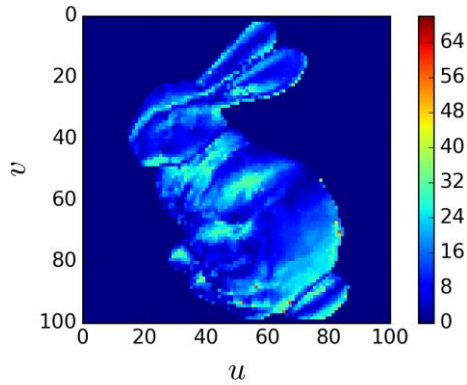


図 3 角度集合 S との最近傍距離マップ

また、各スリットの光源やセンサに対する位置を変化させることで画角を変化させることができ、これによっても精度が異なる。物体領域 ω 内の最近傍距離 $d(u, v)$ の平均値 μ

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{u, v \in \omega}^N d(u, v)$$

を評価値として、この画角の変化に対する評価値の変化を分析した結果を図 4 に示す。

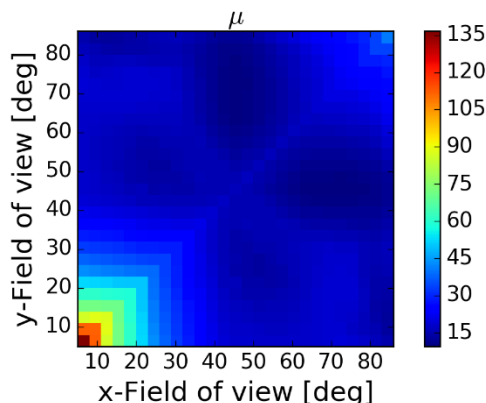


図 4 評価値の画角に対する分布

縦と横のスリットを同じ位置に置いた場合には、画角が縦横で等しいピンホールカメラと等価になるが、これを用いるより縦と横で画角が異なる場合の方が、評価値が小さくなることが分かる。評価値が最小となる角度の組み合わせは、縦横の画角がそれぞれ 65° と 44° の場合であり、ピンホー

ルの場合に比べて θ のパラメータ空間において計測サンプルが広く分布しているからではないかと考えられる。

まとめと今後の課題

本論文では、X-Slit を用いた新たな BRDF 計測を提案した。この手法では簡便な装置による効率的な BRDF 計測の可能性を示した。特にピンホールモデルを用いるより、X-Slit を用いた方が、効率的に BRDF 計測ができることが示唆されたが、さらなる分析が必要であると考えられる。

また、この手法を実装するためには、有限の開口を持つスリットに対応する集光用のシリンドリカルレンズを用いた光学系と、[3]で述べられている Lens-ray transform を考慮し設計する必要がある、この検討は今後の課題である。

参考文献

- [1] Y. Mukaigawa, K. Sumino, Y. Yagi, Rapid BRDF measurement using an Ellipsoidal Mirror and a Projector, IPSJ Transactions on Computer Vision and Applications, Vol.1, pp.21-32, 2009
- [2] A. Zomet, D. Feldman, S. Peleg, and D. Weinshall. Mosaicing New Views: The Crossed-Slits Projection. TPAMI, 2003.
- [3] J. Ye, Y. Ji, W. Yang, and J. Yu. Depth-of-Field and Coded Aperture Imaging on XSlit Lens. In Computer Vision–ECCV 2014, pages 753–766. Springer, 2014.

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP25240027, JP15H05918 (新学術領域「多元質感知」) の助成を受けたものです。