Silicon Studio

リアルタイムレイトレーシングを用いたNPRペイント風レンダリング

CEDEC2025

シリコンスタジオ株式会社
研究開発室
山廣　美奈子

現地撮影可

SNS投稿可

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

はじめに

Silicon Studio

講演者紹介

シリコンスタジオ株式会社研究開発室

山廣　美奈子

Age 11

Age 12

Age 17

幼い頃から絵を描くのが好きでした

複素数で回転できることに感銘を受け数学に興味が進み

大学院から現在に至るまでリアルタイム3DCGに携わっています

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

NPRとはなにか？

Silicon Studio

Non Photorealistic Rendering

何が写真と違う？

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

①何かを抽象化する

Silicon Studio

写実的レンダリング

セルシェーディング

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

②何かを誇張する

Silicon Studio

輪郭を誇張する

写実的レンダリング

セルシェーディング

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

NPRって需要あるの？

Silicon Studio

- 視認性を上げてゲームをプレイしやすくする
- 写実的レンダリングが普及した昨今新しいルックが求められる
- 非言語コミュニケーションツールの一つ
- 文化の保存

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

NPR 何をどう抽象化・誇張するべきか

Silicon Studio

- それを知るためにはものごとの認識方法を知る必要がある。
- ものごとの認識方法は個人によって異なる

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

西洋的思考方法 vs 東洋的思考方法

Silicon Studio

この絵について言葉で説明してください

画像参照元[Nisbett et al 2003]

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

先ほどの絵には何がありましたか？

西洋的思考方法 と 東洋的思考方法の違い

Silicon Studio

西洋的思考方法

個々に独立する
オブジェクトが
組み合わさって
全体が構成される

東洋的思考方法

全体から細部を詰める
オブジェクト同士は相互に
作用する

Model “Chess Set” by Riley Queen(Poly Haven/CC0)

引用元[増田 2010]

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

CGのシェーディングと西洋的思考方法は似ている

シェーディングで使う独立した要素達

Silicon Studio

Material

素材の反射特性

Geometry

形状

Light

シェーディング結果

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

東洋的思考方法 でレンダリングするなら？

Silicon Studio

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

PBR(物理ベースレンダリング)
に対する疑問

PBR登場前のパラメータ(Blinn-Phongモデル)

Silicon Studio

Specular color
(r,g,b)

shininess

diffuse color
(r,g,b)

Empirical (経験則的)

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

PBRのパラメータ [Burley 2012]

Silicon Studio

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

マテリアルとライトを分けて考えるので違う環境で同じマテリアルを使いまわしてもシーンが破綻しない

違う作品でも似た見た目になりやすい

物理ベースレンダリングが「正しくない」事例

暗黒吸収体に吸い込まれたことになってる スポットライトの光

スポットライトの傘からの反射光は考慮されていない

指定した角度以上の計算をしない

＊パストレーサーはこの限りではない

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

物理量を感じて色覚となる

[篠田 et al.,2001] の図を参考に再現

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

明所視と暗所視で色の感度は変わる

Silicon Studio

＊注：講演者の記憶を元に色を再現　感覚には個人差があります

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

物理ベースレンダリングを使用しても
正しい値でないならば
ハードウェアの性能を最大限生かし
置きたい色を置こう

Silicon Studio

レイトレーシング+ペイント風

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

リアルタイムレイトレーシングのイメージは
なんですか？

リアルタイムレイトレーシングとは

Silicon Studio

- 2018年にNVIDIAがRTX seriesを発表。
- 対応するAPIとしてMicrosoftがDXRを発表
- シーンジオメトリを渡すと効率的なデータ構造を自動生成

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

フルレイトレーシングの時代が来る？？

Silicon Studio

- 「RTX 対応」は宣伝文句になりえますが
- 意外と使いどころに困っていませんか？
- 本セッションでは**1サンプルだけ**で軽量で個性的な表現を提案✨

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

本セッションにおける リアルタイムレイトレーシングの扱い

Silicon Studio

- ✕ フォトリアルを実現する
- ✕ 光の強さに物理量(lumen,lux,radianceなど)を使用する

- ○ 光線を素早く追跡する便利な道具
- ○ 最終的に欲しい絵のために光学的に間違ったことをする

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

従来の反射のレンダリング方程式

Silicon Studio

$$L_o(\mathbf{p}, \hat{\mathbf{v}}) = L_e(\mathbf{p}, \hat{\mathbf{v}}) + \boxed{\int_\Omega f(\hat{\mathbf{l}}, \hat{\mathbf{v}}) \otimes L_i(\mathbf{p}, \hat{\mathbf{l}}) \hat{\mathbf{n}} \cdot \hat{\mathbf{l}} d\omega_i}$$

積分だと明るさの制御が手間

引用元[2019 Akenine-Moller et.al,]

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

現実世界の値を元に架空のシーンを作成してみる

Silicon Studio

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

exposure　-3 空が暗くなってしまった😐

Silicon Studio

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

写実的な画を得るためには

Silicon Studio

- パストレーシングする
  - 計算コスト高い
- 「現実世界の値を元に組み立てる」をちゃんとやるには手間と費用がかかる。
  - マクベスカラーチェッカーで同じ撮影条件で撮影したデータを使い、正確なExposureを割り出す
  - 作業負担＋作業者に高度な色知識が必要。
- 物理ベースレンダリングで現実世界の値を元に組み立てていけば、感性に頼らず楽にリアルになるはずが
- 結局明るさ調整を人間が自分の感覚を元にやっている？

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

もっと感覚的に「楽しく」
レンダリングできないか？

光の物理量に依存しないmax合成反射方程式

Silicon Studio

A Max-Based Reflectance Approach Independent of physical Accuracy

$$V = \max_{i=1\ldots N}\left[L_i(\mathbf{p}, \hat{\mathbf{l}})\hat{\mathbf{l}} \cdot \hat{\mathbf{n}}\right]$$

V バリュー　陰影の結果

$\hat{\mathbf{l}}$ ライトベクトル　正規化済み

$\hat{\mathbf{n}}$ 法線ベクトル　正規化済み

$\mathbf{p}$ ワールド座標でのシェーディング点

N ライトの個数

L_i i番目のライト

ライトの強さは相対値で設定する

例：Sun 1.0

Point Light 0.1

色味は後工程でつける

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

V バリュー　陰影の結果

Silicon Studio

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

陰影の色付け

Silicon Studio

$$C = (1 - V) \cdot \mathrm{shadeColor} + V \cdot \mathrm{basecolor}$$

basecolor

shadeColor

影色

V バリュー　陰影の結果

C　シェーディング結果

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

直接光と間接光

印象派の絵画の特徴

Woman with a Parasol - Madame Monet and Her Son
クロード・モネ1875年

- 絵具をまぜると色が濁るのでなるべく混ぜない
- 遠い場所ほど筆が荒い
- **反射光が強調されている**
  - →レイトレで得られた反射光の結果を強調したらどうか？
  - リアルタイムレイトレーシングの少ないサンプル数を逆手にとって「抽象化」されてるかのように見せる

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

リアルタイムレイトレーシングペイント風全体図

Silicon Studio

Input Scene → Rasteriser → Realtime Raytracer → Filter → Composite

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

Filter Stageの詳細

Silicon Studio

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

kuwaharaフィルター[Kuwahara et al.,1976]

Silicon Studio

- エッジ保存フィルタの一種
- 絵画調フィルタとして使用されてることがある

フィルター適用前

フィルター適用後

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

Kuwaharaフィルターのしくみ[Kuwahara et al.,1976]

Silicon Studio

4つの象限に分かれて計算します

各象限で分散を計算します

n … フィルターサイズ

平均値 $\mathrm{m}_{i,j} = \frac{1}{n}\Sigma_{j=0}^{N}\Sigma_{i=0}^{M}x_{i,j}$

分散 $\sigma^2 = |\frac{1}{n}\Sigma_{j=0}^{N}\Sigma_{i=0}^{M}\left(x_{i,j} - m_{i,j}\right)^2|$

$= |\frac{1}{n}\Sigma_{i=1}^{n}x_i^2 - \hat{x}^2|$

$\sigma_{eval} = \sigma_r + \sigma_g + \sigma_b$

4象限のうち分散の最も小さいところの平均値を採用します

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

各ピクセルに対してシェーダで並列実行

Silicon Studio

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

Composite stage詳細

Silicon Studio

$$V = \max_{i=1\ldots N} \left[L_i(\mathbf{p}, \hat{\mathbf{l}})\hat{\mathbf{l}} \cdot \hat{\mathbf{n}} \right]$$

$$C = (1 - V) \cdot \mathrm{shadeColor} + V \cdot \mathrm{basecolor}$$

basecolor

shadeColor
陰領域色

V
Value
陰影

C

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

Composite stage詳細

Silicon Studio

$$C_o = C + R \cdot I_{ref} \cdot AO$$

C

$R \cdot I_{ref}$

反射成分

反射成分強調パラメータ

AO

Ambient Occlusion

C_o

最終的に
画面に出す色

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

フィルタをかけた反射光を加算

Silicon Studio

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

まとめ　リアルタイムレイトレーシング＋ペイント風

Silicon Studio

- リアルタイムレイトレーシングでとれるノイジーな結果を有効活用する
- サンプル数は少ないので計算負荷が低い
- デノイズして滑らかにするのではなく
- ペイント風フィルターをかけて荒々しい筆致を模す

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

余談：向いていないフィルタもある　SNNフィルター

Silicon Studio

フィルタサイズを大きくしても粒が消えない！
→逆にハッチングなど目立たせたいものがある場合には有効かもしれない

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

Silicon Studio

レイトレーシング+ハッチング

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

レイトレーシング＋ハッチング

Silicon Studio

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

Ambient Occlusionとは？

Silicon Studio

- 環境遮蔽
- どこからも光が当たりづらい暗いところ
- 光の方向には依存しない

geometry

ambient occlusion

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

レイトレーシングによるAmbient Occlusion

Silicon Studio

Cosine weighted hemisphere

法線を天頂とした半球上に
コサイン分布で重み付けしたランダムな方向にサンプリング

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

レイトレーシングによるAmbient Occlusion

Silicon Studio

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

一般的なAOに対するデノイズ手順

Silicon Studio

レイトレーシングで得られた
Ambient Occlusion

横方向にブラー

Horizontal Blur

縦方向にブラー

Vertical Blur

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

PhotoRealRenderingで使用される Cross bilateral filterのデノイズ手順

Silicon Studio

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

Step2 横方向ブラーがかかったバッファに対して縦方向にブラーをかける

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

提案手法：ノイジー画像に対して別々にブラーをかけてハッチング風にする

Silicon Studio

レイトレーシングで得られた
Ambient Occlusion

横方向にブラー

Horizontal Blur

縦方向にブラー

Vertical Blur

掛け算

ハッチング風

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

Bilateral Filterとは？

Silicon Studio

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

Bilateral Filterとは？

Silicon Studio

$$g(x,y) = \frac{\sum_{i=-W}^{W} f(x+i,y)exp(-\frac{i^2}{2\sigma_1^2} - \frac{(d(x,y)-d(x+i,y))^2}{2\sigma_2^2})}{\sum_{i=-W}^{W} exp(-\frac{i^2}{2\sigma_1^2} - \frac{(d(x,y)-d(x+i,y))^2}{2\sigma_2^2})}$$

$g(x,y)$ 出力画素

σ_1 画素の距離差分調節パラメータ

σ_2 デプス差分調節パラメータ

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

Bilateral Filterとは？

Silicon Studio

入力画像　画素の距離差　デプス値の差

$$g(x,y) = \frac{\sum_{i=-W}^{W} f(x+i,y)\,exp\left(-\frac{i^2}{2\sigma_1^2} - \frac{(d(x,y)-d(x+i,y))^2}{2\sigma_2^2}\right)}{\sum_{i=-W}^{W} exp\left(-\frac{i^2}{2\sigma_1^2} - \frac{(d(x,y)-d(x+i,y))^2}{2\sigma_2^2}\right)}$$

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

デプス値を考慮する・しない結果の違い

Silicon Studio

Bilateral filter(デプス値を考慮)

Gauss blur filter(デプス値を無視)

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

レイトレーシングによるハッチング風

Silicon Studio

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

レイトレーシングハッチングまとめ

Silicon Studio

- １サンプルでノイジーなAmbient Occlusion結果を
- フィルターのかけ方を工夫することによって
- ハッチングのような見た目のレンダリング結果を得られました

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

参照文献一覧

Silicon Studio

[2019 Akenine-Moller et,al] Akenine-Moller, Tomas, Eric Haines, and Naty Hoffman. Real-time rendering. AK Peters/crc Press, 2019.

[Nisbett et al ., 2003] R.E. Nisbett,& T. Masuda, Culture and point of view, Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 100 (19) 11163-11170, https://doi.org/10.1073/pnas.1934527100 (2003).

[増田 2010]増田貴彦(2010)ボスだけを見る欧米人みんなの顔まで見る日本人. 講談社

[篠田 et al.,2001] 篠田博之　藤枝一郎　共著(2007) 色彩工学入門　定量的な色の理解と活用　森北出版株式会社

[Burley 2012] Brent Burley “Physically-Based Shading at Disney” SIGGRAPH 2012 https://disneyanimation.com/publications/physically-based-shading-at-disney/

[Kuwahara et al.,1976] Kuwahara, Michiyoshi, et al. "Processing of RI-angiocardiographic images." Digital processing of biomedical images (1976): 187-202.

スカイマップデータ　PolyHeaven

テクスチャ AmbientCG https://ambientcg.com

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.

まとめ

絵画風を実現するために
あらゆる方法を試しました

表現したい頭の中は
人それぞれ
誰かのヒントになれば
幸いです！

©Silicon Studio Corp., all rights reserved.