2ZC-5

# クラスタ主成分分析による符号付き球面距離関数の圧縮

川口　貴大†　　岩崎　慶‡

和歌山大学大学院システム工学研究科†　　和歌山大学システム工学部‡

## 1.　はじめに

近年，コンピュータグラフィックスの分野では，イメージベースライティング(IBL)を用いた照明計算手法が数多く提案されている．IBL による照明計算は，高品質な画像が生成できる一方，処理が高コストという欠点がある．この問題を解決するために，Wang らは IBL を考慮した物体表面の放射輝度を高速に計算する手法として符号付き球面距離関数(Spherical Signed Distance Function，以下 SSDF と略す)を提案した[1]．Wang らは各頂点で SSDF を計算し，主成分分析により圧縮をしているが，この手法では頂点数の多いオブジェクトを扱うことが難しい．

そこで，本研究では物体表面の頂点をクラスタリングし，クラスタ主成分分析を用いて SSDF を圧縮する手法を提案する．

## 2.　提案手法

本手法は Wang らの手法を基にオブジェクトの頂点をクラスタリングし，SSDF の主成分分析を行う．SSDF$\boldsymbol{\theta(i)}$は式(1)によって計算される．

$$\boldsymbol{\theta(i)} = \begin{cases} +\boldsymbol{min_{V(t)=0}\, cos^{-1}(t \cdot i)} \\ -\boldsymbol{min_{V(t)=1}\, cos^{-1}(t \cdot i)} \end{cases} \qquad (1)$$

ここで$\boldsymbol{V(t)}$は可視関数であり，各頂点から$\boldsymbol{t}$方向のレイが物体によって遮蔽される場合は 0 を返し，それ以外は 1 を返す 2 値関数である．入射方向ベクトル$\boldsymbol{i}$について，$\boldsymbol{V(i)} = 1$の場合，$\boldsymbol{V(t)} = 0$となる方向ベクトルのなかで最も近い方向ベクトル$\boldsymbol{t}$との球面距離を返す．$\boldsymbol{V(i)} = 0$の場合，$\boldsymbol{V(t)} = 1$となる最近傍の方向ベクトル$\boldsymbol{t}$との球面距離にマイナスを掛けたものを返す．

クラスタリングは k-means++[2]を用いる．k-means++法はオブジェクトの三角形ごとに実行する．三角形の頂点座標から重心の座標を計算し，各重心の座標をクラスタリングする．

まず，1 つ目のクラスタ中心をランダムに決定する．次に全重心に対して既に決定されたクラスタ中心との最短距離を計算する．各重心の最短距離の中で最長な重心を次のクラスタ中心に選択する．これを全クラスタ行い，初期値を決定する．次に全データを最も近いクラスタに割り当てる．各クラスタで重心の平均を計算し，新しいクラスタの中心とする．再度最も近いクラスタにデータを割り当てる．これを繰り返しクラスタに変化がなくなるまで行いクラスタリングが完了する．

クラスタごとに各三角形の頂点が保持している SSDF を列ベクトルとして表現する．この行列を特異値分解し，$U$，$S$，$V$ の 3 つの行列の積に分解する．クラスタごとに三角形の頂点が保持している SSDF を行列として扱い特異値分解を行う．行列 $S$ の対角成分には特異値が並んでおり，値の大きいものから順に並び，対角成分以外の要素は 0 となる行列である．元の行列は，特異値と直交行列 $U$ の各列ベクトルと直交行列 $V$ の転置行列$\boldsymbol{V^T}$の各行ベクトルの積の和で表現される．ここで，特異値が大きいベクトルを $m$ 個選択することにより元の行列を近似することができるので，寄与率の小さい特異値を破棄することで元の行列を近似し，データ量を圧縮する．

## 3.　実行結果

ティーポット（頂点数 12,801 個）と床（頂点数 4,225 個）のシーンにおいて，主成分分析により SSDF を圧縮した場合を図 1 に示す．また，クラスタリングを可視化したものを図 2，に示す．

---

Compression of Spherical Signed Distance Function using Cluster Principal Component Analysis

†Takao Kawaguchi, Graduate School of Systems Engineering, Wakayama University

‡Kei Iwasaki, Faculty of Systems Engineering, Wakayama University



Copyright ©2014 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.

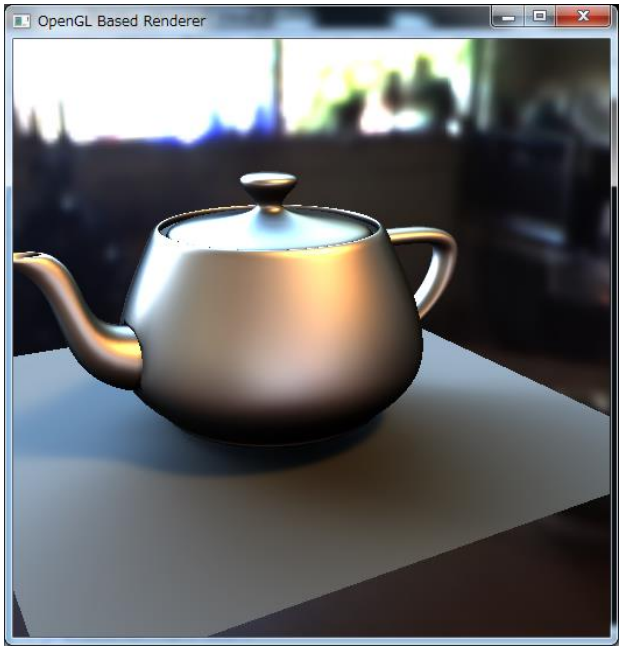


図 1：ティーポットでの適用例

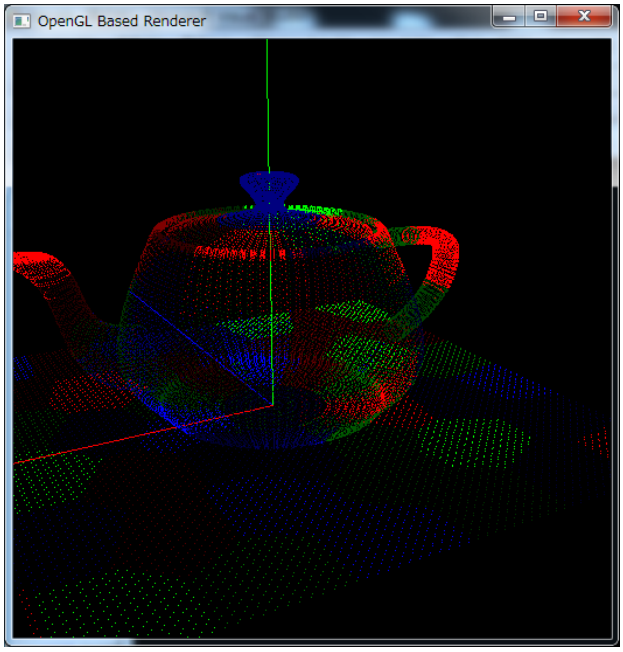


図 2：クラスタリングの例

続いて，各クラスタ数でのデータを示す．
表 1 はクラスタ数 64，各クラスタの特異値数 48 での結果になり，元ファイルと比較すると圧縮率が 75.037%で累積誤差が 0.312758 となり高い圧縮率で少ない誤差の結果となった．表 2 はクラスタ数 64 で各クラスタの寄与率が 90%の結果となる．圧縮率は 91.654%で累積誤差は 1.4008 となり，表 1 の圧縮結果より累積誤差は大きくなるが高い圧縮率という結果になった．

表 1：クラスタ数 64,
各クラスタの特異値数 48 のデータ

| | データサイズ | 圧縮率 | 累積誤差 |
|---|---|---|---|
| 元ファイル | 266MB | | |
| 各クラスタの特異値数 48 | 66.4MB | 75.037% | 0.312758 |

表 2：クラスタ数 64 のデータ

| | データサイズ | 圧縮率 | 累積誤差 |
|---|---|---|---|
| 元ファイル | 266MB | | |
| 各クラスタの寄与率 90% | 22.2MB | 91.654% | 1.4008 |

## 4. まとめと今後の課題

本稿は，クラスタ主成分分析による符号付き球面距離関数の圧縮を提案した．主成分分析により SSDF を圧縮した場合とクラスタ主成分分析（クラスタ数 64，各クラスタの特異値数 48）を行った場合を比較すると，圧縮率 75%で累積誤差約 0.312 となり高い圧縮率かつ少ない誤差結果となった．

今後の予定としては，さらに最適なクラスタリングの検討や，主成分分析の高速化などがあげられる．

## 参考文献

[1] J. Wang et al.: All-Frequency Rendering of Dynamic, Spatially-Varying Reflectance, ACM Trans. Graph, Vol.28, No.5, pp.133:1-133:10 (2009).

[2] D. Arthur, k-means++: The Advantages of Careful Seeding, Proc. of the eighteenth annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithm, pp.1027-1035 (2007).



Copyright ©2014 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.