

# 形状の特徴を考慮した点群の再構成

栗野 直之<sup>†</sup> 西尾 孝治<sup>†</sup> 金谷 孝之<sup>‡</sup> 小堀 研一<sup>‡</sup>  
 大阪工業大学<sup>†</sup> 広島国際大学<sup>‡</sup>

## 1 はじめに

3次元デジタルの普及により、高密度な点群を容易に取得することが可能になった。従来、点群はサーフェスデータへ変換して利用されることが一般的であったが、近年では点群に対して直接に編集できる手法や描画できる手法が利用されることも多い。しかし、それらの手法の多くは、点群にノイズが含まれていないことや、できるだけ均一であることが望ましい。そこで、点群を均一になるように変換する手法を提案する。提案手法では、従来手法の Locally Optimal Projection (LOP)<sup>[1]</sup>によるエッジを構成する部分を維持することが難しい問題を改善する。

## 2 Locally Optimal Projection (LOP)

LOP は入力点群  $P = \{p_j\}_{j \in J}$  に対して別の点群  $X = \{x_i\}_{i \in I}$  を射影する手法であり、式(1)~(3)を任意の  $k(= 1, 2, \dots)$  回反復計算することで徐々に均一な射影点群  $X$  を得ることができる。

$$x_i^{k+1} = E_1 + \mu E_2 \quad (1)$$

$$E_1 = \sum_{j \in J} p_j \frac{\theta(\|\xi_{ij}^k\|) / \|\xi_{ij}^k\|}{\sum_{j \in J} \theta(\|\xi_{ij}^k\|) / \|\xi_{ij}^k\|} \quad (2)$$

$$E_2 = \sum_{i' \in I \setminus \{i\}} \frac{\delta_{ii'}^k \left| \frac{\partial \eta}{\partial r}(\|\delta_{ii'}^k\|) \right| / \|\delta_{ii'}^k\|}{\sum_{i' \in I \setminus \{i\}} \left( \theta(\|\delta_{ii'}^k\|) \left| \frac{\partial \eta}{\partial r}(\|\delta_{ii'}^k\|) \right| / \|\delta_{ii'}^k\| \right)} \quad (3)$$

このとき、 $\xi_{ij}^k = x_i^k - p_j$ 、 $\delta_{ii'}^k = x_i^k - x_{i'}^k$  である。また、 $\theta$  と  $\eta$  は減衰関数であり、それぞれ式(4)と(5)で表される。

$$\theta(r) = e^{-r^2/(h/4)^2} \quad (4)$$

$$\eta(r) = 1/3r^3 \quad (5)$$

ここで、 $h = 4\sqrt{d_{bb}/m}$  であり、 $d_{bb}$  は入力点群のバウンディングボックスの対角距離、 $m$  は入力点群の点数である。

また、式(2)と式(3)に対し、近隣点の密度の重みを積算することによって出力点群をさらに均一になるように改良した WLOP<sup>[2]</sup>も提案されている。しかし、式(2)は入力点群への吸着項であるが、LOP と WLOP のいずれも近隣点を用いた重み付き重心であるため、エッジを構成する部分を維持することが難しい要因であると考えられる。

## 3 提案手法

提案手法では WLOP をベースとして入力点群のエッジを構成する部分を維持できるように点群を整列する。その方法として、図 1 に示すように視点を中心とした球を、入力点群を包含するように作成し、点群を球面反転させることで滑らかな曲面を構成する点群へ近似できる<sup>[3]</sup>ことを利用する。そして、球面反転後の空間で  $E'_1$  を算出し、その結果を元の空間へ球面逆反転した結果を  $E_1$  として利用し、元の空間での  $E_2$  を加算することで、エッジを構成する部分を維持した整列を実現する。以下、射影点群  $X$  の各点における球の作成方法と、球面反転によって拡大された空間での  $E_1$  の算出方法について説明する。

### 3.1 球面反転用のための球の作成

従来の球面反転法<sup>[3]</sup>は描画手法である。したがって、図 1 における視点はそのままのビューイングにおける視点、半径は点群に対して十分大きい値としている。提案手法では、射影点の近隣点の単位平均法線ベクトルを利用して視点を算出する。そして、半径は、射影点からの近隣点として取得した範囲  $h$  に対して十分大きい値である  $d_{bb}$  を利用する。ここで、入力点群に法線ベクトル  $N = \{n_j\}_{j \in J}$  が付加されていない場合は、式(6)を用いて算出したベクトルを利用する。式中の  $q$  は範囲  $h$  内の近隣点、 $k_j$  は近隣点数である。

$$\operatorname{argmin}_n \sum_{i=1}^{k_j} \left( n_j \cdot \left( (q_i - p) - \frac{\sum_{l=1}^{k_j} (q_l - p)}{k_j} \right) \right) \quad (6)$$

### 3.2 球面反転空間上での $E_1$

図 1 に示したように、球面反転させた点群は入力点群よりも大きな広がりを持つ。よって、球面反転後の点群を利用して式(4)中の影響範囲  $h$  をそのまま利用すると、範囲内の点群の点数が大きく減少する。これは、入力点群における局所領域を参照していることと同義であり、重み付き重心によってエッジを維持するためには望ましいが、重心を算出するための母数が大きく減少することは望ましくない。

そこで、球面反転させる際に密度を考慮したアップサンプリングを行う。まず、射影点  $x_i$  から範囲  $h$  にある近隣点数を  $n_{input}$  とする。図 2(a) に示すように近隣点を球の中

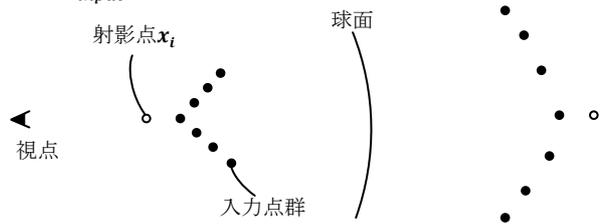
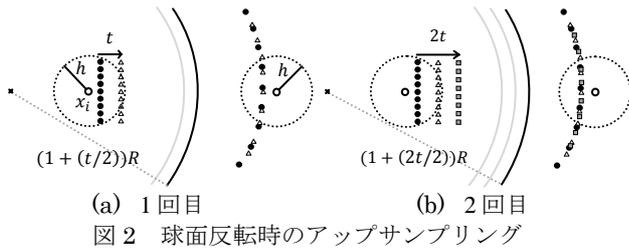


図 1 球面反転の例

Geometry Reconstruction for the Preservation of Sharp Features of Point Clouds

<sup>†</sup> Naoyuki Awano, Koji Nishio, Ken-ichi Kobori  
 Osaka Institute of Technology

<sup>‡</sup> Takayuki Kanaya  
 Hiroshima International University



(a) 1回目 (b) 2回目  
図2 球面反転時のアップサンプリング

心とは逆方向に $t$ 移動し、球の半径を $t/2$ 大きくして球面反転させると、同図(a)中の右側のような点群が得られる。次に、近隣点を球の中心とは逆方向に $2t$ 移動し、同様に半径も拡大することによって、同図(b)のような点群が得られる。この処理を反転後の点群において範囲 $h$ にある点数が $n_{input}$ 以上になるまで繰り返す。これによって入力点群の密度を維持したアップサンプリングとなり、それらを用いて $E'_1$ を算出する。そして、 $E'_1$ を球面逆反転させることにより、元の空間上での $E_1$ とする。

#### 4 実験と考察

提案手法の有効性を検証するために実験を行った。以後、 $d_{bb} = 1.0$ とし、十分に収束した結果で評価するために $k = 100$ とする。

##### 4.1 メッシュを用いた精度の検証

精度を検証するために、メッシュデータとその頂点を利用し、再構成後の点群の各点において最近隣メッシュまでの距離の平均を算出する。その結果を図3に示す。なお、同図左の形状の頂点数は21,009点、同図右の形状の頂点数は155,354点であり、射影点群はどちらもランダムに10,000点選出した頂点を用いた。同図より、値が小さい方が高精度であるため、提案手法の方が高精度であることがわかる。

##### 4.2 ベクトル $t$ の考察

提案手法では、球面反転時に移動ベクトル $t$ にもとづいたアップサンプリングを行っている。ここで、例えば図4中の①で示す点群と球面の場合は①の反転された点群が得られるが、球面に近い②の点群と球面の場合は②の反転された点群が得られ、①と②では反転後の形状が大きく異なる。そのため、 $\|t\|$ をできるだけ微小単位とし、②の形状を用いてアップサンプリングを行わないようにする。そこで、 $\|t\| = R/m$ とし、異なる $m$ での4.1節で示した精度を検証したところ、 $m > 10$ において大きな差異がないことを実験により確認した。そこで、提案手法では $m = 20$ とし、以後すべての結果においても同様である。

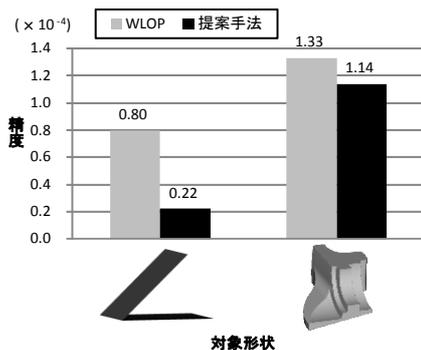


図3 精度

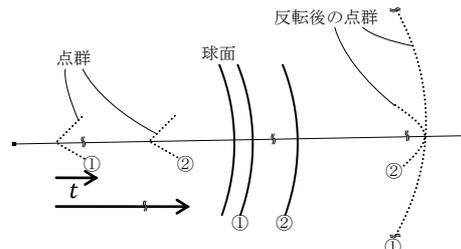


図4  $\|t\|$ による反転後の形状の違い

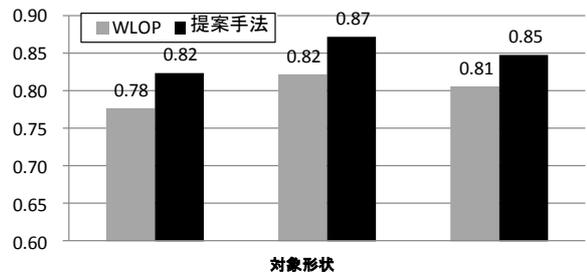


図5 均一度

##### 4.3 点群での検証

提案手法によって得られる点群の密度の均一性を評価する。評価には式(7)に示すSchlömerらの均一度<sup>[4]</sup>を用いる。同式は $0 \leq \bar{d}_x \leq 1.0$ であり、高い値ほど均一である。

$$\bar{d}_x = \frac{1}{|X|} \sum_{x \in X} \min_{y \in X \setminus \{x\}} d_T(x, y) / \sqrt{2/\sqrt{3}|X|} \quad (7)$$

評価結果を図5に示す。同図では左から順に889,076点、1,656,198点、1,011,679点の点群のデータを利用している。同図より、従来手法よりも提案手法の方が均一であることが分かる。これは、球面反転により局所的な点群を参照できるようになり、密度差に大きく影響されなくなったことが挙げられる。

#### 5 おわりに

本研究では計測点群を整列させることで形状を再構成する手法を提案した。提案手法ではWLOPをベースとし、球面反転させることで滑らかな形状空間へと変形されることを利用してエッジを構成する部分を維持したままの整列を実現した。実験により、提案手法の有効性を確認し、さらに従来手法よりも均一になることも確認した。

#### 参考文献

- [1] Y.Lipman, D.Cohen-Or, D.Levin, H.Tal-Ezer, "Parameterization-free Projection for Geometry Reconstruction", ACM Transaction on Graphics, 26, 3, pp.22:1-22:6 (2007)
- [2] H.Huang, D.Li, H.Zhang, U.Ascher, D.Cohen-Or, "Consolidation of Unorganized Point Clouds for Surface Reconstruction", SIGGRAPH Asia '09, ACM Transaction on Graphics, 28, 5, Article 176 (2009)
- [3] S.Katz, A.Tal, R.Basri, "Direct Visibility of Point Sets", SIGGRAPH '07, ACM Transaction on Graphics, 26, 3, pp.24:1-24:11 (2007)
- [4] T.Schlömer, D.Heck, O.Deussen, "Farthest-Point Optimized Point Sets with Maximized Minimum Distances", SIGGRAPH Symposium on High Performance Graphics, pp.135-142 (2011).