# 深層学習と可視化技術で現実世界を理解する

李 威特(重慶工商大学人工知能学部 講師)

E-mail wtli@ctbu.edu.cn

# 1. 概要

本稿は、2022 年 7 月 20 日に行われた「第 106 回国際 ARC セミナー」<sup>1</sup>における著者の講演につい て報告するものである。セミナーでは、3 次元計測点群 データに基づく透視可視化と深層学習による特徴領 域強調可視化について述べた。

# 2. 3次元計測点群データに基づく透視可視化

### 2-1. 透視可視化の必要性

3 次元計測技術が発達したことにより、実世界に存 在する複雑な立体的構造物の形状を、3 次元点群と して取得することが可能になった。計測で得られるデ ータは、数千万個から数十億個の大規模な点の集合 体であり、計測対象の複雑な 3 次元構造が精密に記 録されている。また、多くの場合、計測オブジェクトの 表面だけではなく、内部の 3 次元構造を記録した点 も含まれているため、複雑な 3 次元形状を記述した データであることが多い。このような点群データに対し て、記述されるオブジェクトの外観から細部まで詳細に 把握するためには、高精細な可視化が必須となる。

### 2-2. 特徵領域強調可視化

計測された物体が内部に 3 次元構造を持っており、 取得された点群が内部と外部の両方の形状を記録し ている場合、3 次元構造の複雑さが顕著になる。この ような複雑な点群データの 3 次元構造全体を分析す るためには、透視可視化技術<sup>20</sup>を用いて、計測データ の内部と外部の構造を同時に可視化する必要がある。 しかし、透視可視化では、対象の内部と外部の構造を 同時に可視化するため、生成された画像に含まれる情 報量が多くなり、対象の 3 次元構造の理解が逆に困 難になる場合がある。この問題を解決するために、「透 視可視化」と「特徴領域強調」を組み合わせて、「不透 明度に基づく特徴領域強調可視化」<sup>31</sup>が提案された。 図 1 に示すように、特徴領域(エッジ部分)をハイライ トさせて強調することで、可視化対象の内部構造と外 部構造の視認性を向上させることができる。



図 1 特徴領域強調可視化結果(祇園祭・八幡山の計測デ ータ)

### 3. 深層学習による特徴領域強調

「不透明度に基づく特徴領域強調」は、点がエッジ に沿って十分に密集し、かつ、均一に分布していること を前提としている。しかし、これは3次元計測された 点群データでは常に成り立つわけではなく、計測の欠 損とエッジ抽出の精度によっては、点密度が低いエッ ジ部分が出現する。例えば、図2に示している体育 館のエッジ領域では、手前の壁のところでは、点密度 が低いエッジが多いため、視認性が低下してしまって いる。特徴領域(エッジ部分)の視認性を向上させるた めには、エッジ部分に新しい点を生成すること、つまり、 エッジ領域のアップサンプリングが必要となる。このアッ プサンプリングに深層学習の技術を利用する<sup>4</sup>。



図2 計測された体育館データの特徴領域(エッジ部分)

近年では、PU-Net<sup>5)</sup>, PU-GAN<sup>6)</sup>, 3PU <sup>7)</sup>などの点群 データを対象とするアップサンプリング手法が提案され ている。これらの従来手法では、室内のスケールが小 さいオブジェクトを対象にしている。Dense Connection による特徴抽出モジュールを用いて点ごとの特徴を抽 出するため、スケールが小さく、点数も少ないデータの アップサンプリングを実現できるが、点数が増えると、 処理時間とメモリも増えるため,大規模な計測点群デ ータへの適用は難しい。そこで、著者らは、図3に示し ている3次元計測点群データに適した特徴抽出モジュ ールを提案した。PointNet<sup>8)</sup>を用いてグローバル特徴 を抽出し、EdgeConv<sup>9)</sup>を用いて、点ごとの特徴ではな く、ローカル領域の特徴を抽出する。こうして得られた 2 種類の特徴をそれぞれ評価することで、必要な計算 量が大幅に減少する。このような軽量な特徴抽出モジ ュールを用いて、大規模な点群データの処理は可能 になる。また、従来手法では特徴領域(エッジ領域)を 考慮しない学習を行ったため、生成された点はエッジ の周りに集中できないという問題点もある。そのため、 学習データセットを調整し、エッジ領域にも適した手法 を提案した。要するに、著者らは、特徴領域の透視可 視化視認性を向上するために、大規模な計測データ のエッジ領域を着目した深層学習を提案し、効率的な エッジアップサンプリング手法を実現した。



図3大規模な点群データを処理できる軽量モジュール

#### 4. 特徵領域強調可視化結果

著者らは、インドネシアのユネスコ世界文化遺産、ボ ロブドゥール寺院の有名な壁面レリーフのデジタルア ーカイブのプロジェクトを進めている。図4は、古代の 船が描かれているボロブドゥールレリーフの3次元計 測データ(3,520,688点)を用いて行った不透明度に 基づく特徴領域強調の実行結果である。エッジ領域が 船の輪郭と主要構造部を表現し、船の下にある海の波 と右上部分にある雲などのディテールの部分を表現し ている。しかし、エッジ領域での点密度の不足のため、 部分的にエッジの線が切れて描かれてしまっている。

一方、図 5 は、図 4 と同じデータに対する、エッジ領域を考慮した深層学習に基づくエッジアップサン プリング手法を用いた特徴領域強調可視化結果を示 している。図 4 の可視化結果と比べ、アップサンプリ ングで得られたエッジ領域の視認性が更に向上されて いる。そして、エッジ領域に新しい点を生成することに よって、十分な点密度が与えられており、ディテールの 部分が明確に認識できるようになっている。また、図 4 と図 5 の拡大図に示すように、不透明な可視化にし ても、特徴領域が分かるようになった。この可視化結果 により、深層学習によるエッジアップサンプリング手法 を用いることで、可視化対象となる点群の特徴領域の 透視可視化視認性を向上させるのに有効であることが 分かる。



図 4 不透明度に基づく特徴領域強調を用いた透視可視化 結果



図 5 エッジ領域を考慮した深層学習に基づくエッジアップサンプリング手法による特徴領域強調可視化結果

#### 5. 展望

深層学習による特徴領域強調可視化手法は、計測 対象物の直観的理解や詳細な分析、現実世界の3 次元シーンのデジタルツインを利用したビジュアルシミ ュレーションなどに利用可能である。3次元計測を利 用する分野は今後ますます増えると予想されるため、 本研究の成果は、様々な発展的応用も期待できる。

98

[注]

- 立命館大学アート・リサーチセンター「第 106 回 1) 国際 ARC セミナー https://www.arc.ritsumei.ac.jp/j/news/pc/01528 8.html
- 2) Tanaka, S.; Hasegawa, K.; Okamoto, N.; Umegaki, R.; Wang, S.; Uemura, M.; Okamoto, A.; Koyamada, K. See-Through Imaging of Laser-Scanned 3D Cultural Heritage Objects Based on Stochastic Rendering of Large-Scale Point Clouds. In Proceedings of the ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, Prague, Czech Republic, 12-19 July 2016; Volume III-3.
- 3) Kawakami, K.; Hasegawa, K.; Li, L.; Nagata, H.; Adachi, M.; Yamaguchi, H.; Thufail, F.I.; Riyanto, S.; Tanaka, S.; Brahmantara. edge highlighting Opacity-based for transparent visualization of 3D scanned point clouds. ISPRS Ann. Photogram. Remote. Sens. Spat. Inf. Sci. 2020, vol. 5, pp. 373-380.
- 4) Li, W.; Hasegawa, K.; Li, L.; Tsukamoto, A.; Tanaka, S. Deep Learning-Based Point Upsampling for Edge Enhancement of 3D-Scanned Data and Its Applica-tion to Transparent Visualization. Remote Sens. 2021, vol. 13, pp. 2526.
- Yu, L.; Li, X.; Fu, C.-W.; Cohen-Or, D.; Heng, 5) P.A. PU-Net: Point Cloud Upsampling Network. In Proceedings of the 2018 **IEEE/CVF** Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Salt Lake City, UT, USA, 18-23 June 2018; Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE): New York, NY, USA, 2018; pp. 2790-2799.
- 6) Li, R.; Li, X.; Fu, C.-W.; Cohen-Or, D.; Heng, P.-A. PU-GAN: A Point Cloud Upsampling Adversarial Network. In Proceedings of the 2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV), Seoul, Korea, 27 October-2 November 2019; Institute of **Electrical and Electronics Engineers (IEEE):** New York, NY, USA, 2019; pp. 7203-7212.
- 7) Wang Yifan, Shihao Wu, Hui Huang, Daniel Cohen-Or, and Olga Sorkine-Hornung. Patch-based progressive 3d point set upsampling. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2019, pp. 5958-5967.
- Qi, C.R.; Su, H.; Mo, K.; Guibas, L.J. 8) Pointnet: Deep Learning on Point Sets for 3d Classification and Segmentation. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Honolulu, HI, USA, 21-26 July 2017;

Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE): New York, NY, USA, 2017; pp. 652-660.

9) Wang, Y.; Sun, Y.; Liu, Z.; Sarma, S.E.; Bronstein, M.M.; Solomon, J. Dynamic Graph CNN for Learning on Point Clouds. ACM Trans. Graph. 2019, vol. 38, pp. 1–12.