

(3) モノレール路線 CIM 化のための中心軸と断面を利用したレール点群のポリゴンモデル化

日高菜緒¹・道川隆士²・矢吹信喜³・福田知弘⁴・Ali MOTAMED⁵

¹学生会員 大阪大学大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻 博士前期課程

²非会員 理化学研究所研究員 光量子工学研究領域 光量子制御技術開発チーム

³フェロー会員 大阪大学教授 大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻
(〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1)

E-mail: yabuki@see.eng.osaka-u.ac.jp

⁴正会員 大阪大学准教授 大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻

⁵非会員 大阪大学 JSPS 外国人特別研究員

本稿では、スイープ構造であるモノレールのレールの点群のポリゴン化手法を提案する。モノレールは長大でモデル化が容易でなく、特にレール部分は高い所にあり満足に点群を計測することも難しい。そのため既存手法ではレールの維持管理に有効なポリゴン化は見込めない。提案手法は構造物がもつ対称性に着目して、点群データの欠損に頑健な中心軸を抽出する。中心軸が得られれば、それに沿って断面を押し出すことでポリゴンが簡単に生成できる。本手法は、維持管理に活用しやすい規則的なポリゴンが生成できるだけでなく、入力点群データの欠損を補完できるなどの利点がある。本論文では、レーザスキャナで計測したモノレールの点群に提案手法を適用することで有用性を検証する。

Key Words: point cloud, polygonization, center line, sweep, CIM

1. はじめに

モノレールは、都市間の交通手段の一つである。モノレールには、様々な形式が存在するが、一般的には、レールとそれを支える橋脚、駅舎などで構成される。これらのうち、レールと橋脚はコンクリートで作られており、他の土木構造物と同様、維持管理の対象となる。

土木構造物の維持管理における主な作業は、ひび割れなどの欠陥の発見および記録が必要である。この作業を効率的に行う為に、3次元モデルを用意して、そこに情報を記録する Construction Information Modeling (CIM)¹⁾という試みが行なわれている。新規の構造物であれば 3D CAD モデルが利用できるが、CAD モデルが存在しないような既存構造物であれば、レーザスキャナを用いて現物情報を 3次元モデルとして取得し、そこから CAD モデルに相当するモデルを作成する。この作業のボトルネックは、構造物ごとに最適なモデリング手法が存在する点である。1つの構造物の点群をそのままモデル化するのでなく、部材ごとに分けられたモデルである方が、より維持管理に効果的に扱える。既存の手法²⁾では、点群

を分割してポリゴンモデル化するものはないため、前工程での分割が必要になる。しかし、既存手法³⁾では形状がさまざまな土木構造物に対して一般化させることは困難である。

Hidaka ら⁴⁾は土木構造物の幾何学的類似性に着目して、局所的形状マッチングによる類似パーツ検出と位置合わせによるパーツのポリゴン配置による計測点群のポリゴン化手法を提案した。この手法は、連続して並ぶモノレールの橋脚部分の効果的なポリゴン化を実現している。しかし、この手法は、パーツを配置することでポリゴン化を行っているため、カーブがあるレール部分に適用できない。また、モノレール部分に欠損が多いため、既存のポリゴン化手法⁵⁾では、ポリゴンの品質が悪くなるという問題がある。モノレールのレール部分の点群を適切にポリゴン化するためには、連続性を損なわず、データ欠損を補い、規則的な面構成であることが望ましい。

本稿では、モノレールを対象としたポリゴン化手法を提案する。提案手法の基本的なアイデアは、レールがスイープ構造を持っている点に着目し、それに特化してポリゴン化する点にある。具体的には、レールの点群デー

タからスイープに必要な断面と軌道を抽出し、ポリゴンを生成する。軌道を計算するために、点群から中心軸を計算する。この問題は中立軸変換として知られているが、モノレールのように欠損が多いデータに対して求めることは困難である。本手法では、レールが対称的な構造をしている点に着目し、局所的な対称構造を抽出することで、軌道を計算する。断面は、点群と計算した軌道に垂直な面との交差を求めることで計算できる。

提案手法は、断面と軌道が計算できれば、欠損が存在していたとしても頑健にポリゴンを生成できる。また、ポリゴンの構造も、通常のポリゴン化手法と比較して、軽量かつ規則的な構造を持たせられるため、維持管理に適している。本稿では、提案手法を実際のレール点群に適用することで、提案手法の有効性を検証する。

2. 提案手法

提案手法は、モノレールのレール部分の点群を入力とし、スイープによって生成されたポリゴンを生成する。

図-1 に提案手法の概要を示す。本手法では、スイープ形状生成に必要な中心軸と断面を点群から抽出する。はじめに、レールの点群の対称性を基に中心軸を検出したのち、断面を中心軸に沿って押し出すことで連続性を保持したポリゴンを生成する。次項にて詳細を述べる。

(1) 中心軸および断面の検出

レールの対称性を利用して、中心軸を検出する。点群から中心軸を検出する手法は複数⁹⁾あるが、本研究では平面で構成されたオブジェクトに対して有効な Vanna らの手法⁹⁾を利用する。まず、入力点群 C 内で、各点 p_i の対蹠点 q_i を探す。対蹠点とは p_i との法線ベクトル n_i と q_i の法線ベクトル n_{qi} とのなす角が θ 以上であり、かつ p_i と q_i の距離 d_i が $d_{\max}$ 以下である点であり、見つからない場合もある。その対蹠点 q_i との中点を、中心軸 S_c の候補点にする。

この状態の S_c は点数が多く、点にばらつきがあるので、平滑化・単純化を行う。密度が低い部分を除去し、ラプラシアン平滑化を行うことでばらつきを抑える。更に一次元の線に近似させるため、主成分分析で近似直線を求め、それに点を投影する。最後に、一定間隔 r_s ごとにサンプリングを行う。

断面は中心軸 S_c の始点 p_{c0} 上にあり、かつベクトル p_{ci} に対して垂直な面 s を定義し、 s からの距離が d_s 以下である点を s に投影することで得られる。

(2) 断面のスイープ

得られた中心軸に沿って、断面をスイープする。断面は中心軸の始点 p_{c0} から開始する。その後、 p_{ci} が断面の重心と一致し、かつ断面が p_{ci} にあり、ベクトル p_{ci} p_{ci+1} と垂直な面上にあるように断面を移動する。そして対応した頂点同士を結んで面を張る。

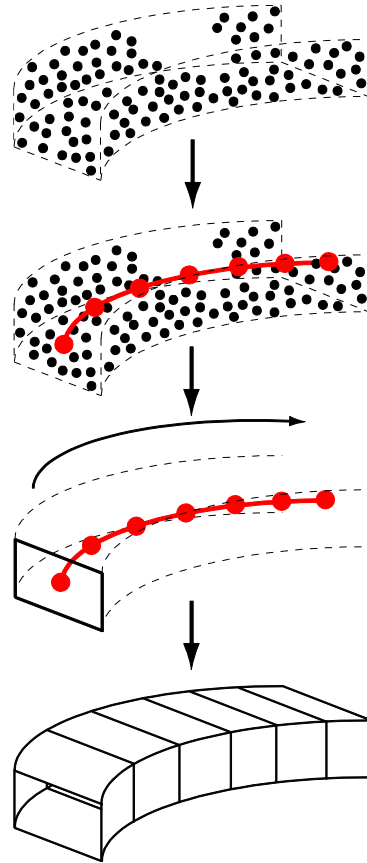


図-1 提案手法の概要

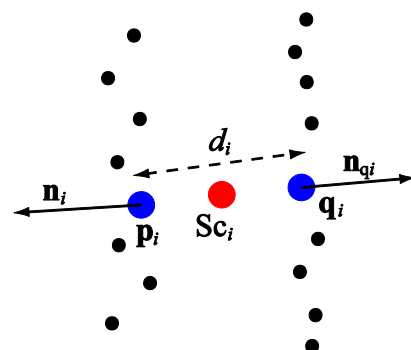


図-2 対蹠点と中心軸候補点の決定方法

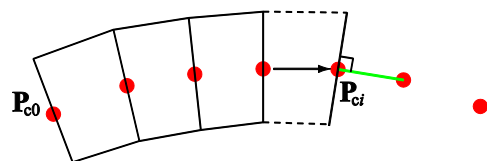


図-3 スイープ（真上から見た図）

3. 検証実験

検証実験では、Mobile Mapping System (MMS)で取得した大阪モノレール彩都線、阪大病院前～彩都西間のモノレール路線（長さ約 120m）の点群に対して提案手法を適用した。写真を図-4 に、点群を図-5 に示す。本実験では、事前に手動でレール部分のみ抽出（8,096 点）して、提案手法を適用した。このレール上部の点群が全く取得されておらず、側面も一部の点取得されていない（図-5）。中心軸の間隔 r_s は、3 パターン用意する。これはモノレールの橋脚の間隔約 20m に基づいた値である。断面ポリラインは、レール点群のスケールと得られた断面点群、写真からの情報を基に事前に手動で作成したものを使用する。ポリラインは単純化した矩形形状のものと、よりレールの形状に近づけたものの2つを用意する。図-6 に断面ポリラインの模式図を示す。ポリゴン化の結果を既存手法でポリゴン化した結果と比較しながら図-7 に示す。3 つの間隔、2 つの断面、他の手法での結果の比較は表-1 に示す通りになった。



図-4 モノレール写真

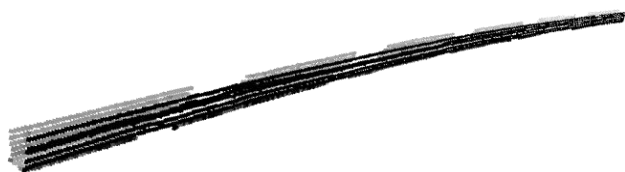


図-5 レール点群

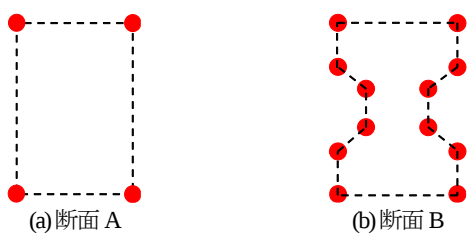


図-6 断面



図-7 ポリゴン化結果

表-1 断面とレール間隔、既存手法との比較

		r_s [m]	計算時間[s]	頂点	面	誤差 [cm]
提案手法	断面 A	20	3.966	28	48	6.3
		10	3.956	52	96	8.3
		5	4.063	96	184	9.6
	断面 B	20	3.928	84	144	8.0
		10	3.984	156	288	9.4
		5	3.926	288	552	10.2
既存手法	Poisson surface reconstruction ⁹⁾		0.223	17,497	34,990	1.78
	凸包		0.084	239	474	21.48
	Alpha shape		0.334	8,096	86,964	0

実験結果より、既存手法よりも少ない面数や低い誤差で、連続性を保持し、欠損を補完したポリゴン化が行えることを確認した。表-1 より、点群は MMS で取得したため、細かい形状まで点群で取得されていないことが、断面 B の方が誤差が大きいことで分かる。 r_s を変更しても大きな計算時間の差は見られず、誤差を考慮すると、 r_s の値は橋脚の間隔である 20m が適切であると言える。

大阪モノレールのレールは、橋脚とレールをつなぐ部分が分離しており、ジョイントで接合されている（図-8）。維持管理のためにはこの特徴を反映させる必要がある。しかし、このジョイントの間隔は全てが一定であるとは限らず、等間隔で中心軸をサンプリングする本提案手法では適用が難しい場合がある。そのため、橋脚部分のモデルと併用することで、適切なジョイントの間隔を有したレールのモデルが作れることを期待する。またモノレールの特徴上レールは側面にもついており、加えて送電線や作業用足場もある（図-4, 8）。これらもレール点群から得られる中心軸に沿ってスイープすれば容易に作成できることが期待できる。

4. まとめ

本研究では、モノレールのレール構造の点群から規則的な面で形成された 3D モデルを生成するために、中心軸を検出し、それに沿って断面を押し出すモデリング手法を提案した。レールはレーザスキャナで取得が難しい場所にあるため、取得される点群は欠損が多く質が悪い点が大きな課題であったが、欠損を補完したポリゴン生成が実現できた。

今後の課題は、ジョイントなど実際のレールの構造を反映したモデリングや、中心軸を利用した細かい部分の再現を挙げる。



図-8 大阪モノレールのジョイント部分の拡大写真

謝辞：本研究で使用したモノレール点群は、KUMONOS コーポレーション株式会社より提供されました。ここに御礼申し上げます。

参考文献

- 1) Yabuki, N.: BIM and Construction Information Modeling (CIM) in Japan, *Proc. of the International Conference on Computational Design in Engineering (CODE 2012)*, pp. 325, 2012.
- 2) Berger, M., Tagliasacchi, A., Seversky, L. M., Alliez, P., Levine, J. A., Sharf, A., and Silva, C. T.: State of the Art in Surface Reconstruction from Point Clouds, In S. Lefebvre & M. Spagnuolo (Eds.), *Eurographics 2014 - State of the Art Reports*. The Eurographics Association, 2014.
- 3) Nguyen, A., and B. Le.: 3D Point Cloud Segmentation: A Survey, In 2013 6th IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics (RAM), pp. 225-230, 2013.
- 4) Hidaka, N., Michikawa, T., Yabuki, N., Fukuda, T., and Motamedi, A.: Creating Product Models from Point Cloud of Civil Structures based on Geometric Similarity, *Proc. of ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-4/W5, pp. 137-141, 2015.
- 5) Hidaka N., Michikawa T., Yabuki N., Fukuda T., and Motamedi A.: Quality Enhancement Technique for Similarity-based Polygonization from Point Cloud, *Proc. of 16th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*, No. 85, 2016.
- 6) Kazhdan, M., Bolitho, M., and Hoppe, H.: Poisson Surface Reconstruction, *Proc. of the Fourth Eurographics Symposium on Geometry Processing*, pp. 61-70, 2006.
- 7) Kazhdan, M. and Hoppe, H.: Screened Poisson Surface Reconstruction, *ACM Transactions on Graphics* Vol. 32, No. 3, pp. 29:1-29:13, 2013.
- 8) Tagliasacchi, A., Zhang, H., and Cohen-Or, D.: Curve Skeleton Extraction from Incomplete Point Cloud, In *ACM SIGGRAPH 2009 Papers*, pp. 71:1-71:9, 2009.
- 9) Vanna Sam, Kawata, H. and Kanai, T.: A Robust and Centered Curve Skeleton Extraction from 3D Point Cloud, *Computer-Aided Design & Applications*, Vol. 9, No. 6, pp. 869-879, 2012.