

鋼橋レーザ計測点群からの規格化部材の自動抽出

北海道大学 ○橋川元彰, 金井 理, 伊達宏昭

要 旨

本研究は、鋼橋上部構造の3次元レーザ計測点群内から、様々な断面形状をもつ規格化部材を自動抽出する手法を開発する。本報では、鋼橋の部分点群から点分類と直線フィッティングを用いて、ある規格化部材の断面頂点に対応するエッジ成分を抽出し、部材の規格タイプとその位置を同定する一手法を提案し、その動作原理の検証を行った。

1 はじめに

近年、鋼橋の老朽化による保守点検の頻度が高まっており、そのas-built 3Dモデルを保守点検の情報管理に活用することが期待されている。鋼橋上部構造には、図1のようにH型鋼やL型鋼などの規格化部材が多く使われているため、レーザスキャナ等の計測点群内から、規格化部材の効率的なas-builtモデル作成を行う技術が要求されている。しかし、現在の市販ソフト[1]による計測点群からのas-builtモデル作成では、部材付近の点の選択や、点群に対する部材サイズ調整などに手動処理が不可欠で、時間と労力を大きく要する。そのため計測点群から鋼橋の規格化部材を完全自動抽出する手法が求められている。

藤井ら[2]は、ユーザが選択した点群領域内規格化部材寸法に一致する平面対を抽出し規格化部材のモデリングを行っている。しかし、部材毎に領域を手動指定する操作が必要な他、I字鋼、H字鋼のみに特化したアルゴリズムで、汎用性に欠ける。一方、Huangら[3]は、既知形状の部品モデルと点群クラスタとの特徴量マッチングにより、プラント計測点群内からのバルブ等の既知部品抽出手法を提案している。しかし規格化部材抽出に適用しようとする、長手方向サイズが部材毎に変なため特徴量も変化するため適用が困難である。このように、計測点群から、型鋼のように様々な断面をもつ規格化部材を自動抽出する手法は未だ確立されていない。

そこで本研究では、鋼橋上部構造の3次元レーザ計測点群を入力とし、平行エッジ群抽出と、エッジ相対位置と登録された規格部品断面頂点群とのマッチングを用いて、様々な断面形状をもつ規格化部材を自動抽出する手法を開発する。本報では、その基本動作原理の検証を行ったので報告する。

2 提案する規格化部材抽出手法

2.1 提案手法概要

提案手法の概要を図2に示す。まず、事前にJIS等の規格化部材の断面形状から、3点の特徴点間距離と角度で構成される特徴量を抽出し、ハッシュ表で表現されるデータベースを作成しておく(A0)。次に入力計測点群の主成分分析を行い、次元特徴量に基づいて点の局所分布を分類する(A1)。その後、単一直線を構成する点群のクラスタリングと、直線フィッティングを行い(A2)、平行直線群をグループ化する(A3)。さらに、直線に垂直な平面とグループ内直線群との交点を求め、その交点から算出される特徴量とハッシュ表の特徴量とを比較することで、部材の規格タイプとその位置を同定する(A4)。

2.2 データベースの作成

規格化部材断面の規格形状から、図3の例のように3点の特徴点 P, Q_1, Q_2 を選ぶ。このとき、3点 P, Q_1, Q_2 は、以下の4条件を満たすものに限定する。

- ・部材断面図形上の頂点と一致すること
- ・ $|PQ_1|, |PQ_2|$ が部材厚さより十分大きいこと
- ・ $|Q_1Q_2| > |PQ_1|$ かつ $|Q_1Q_2| > |PQ_2|$ を満たすこと

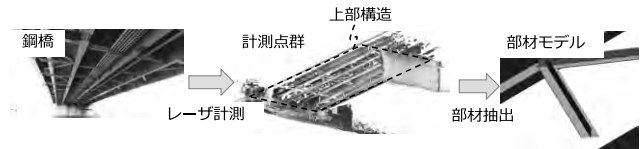


図1 研究概要

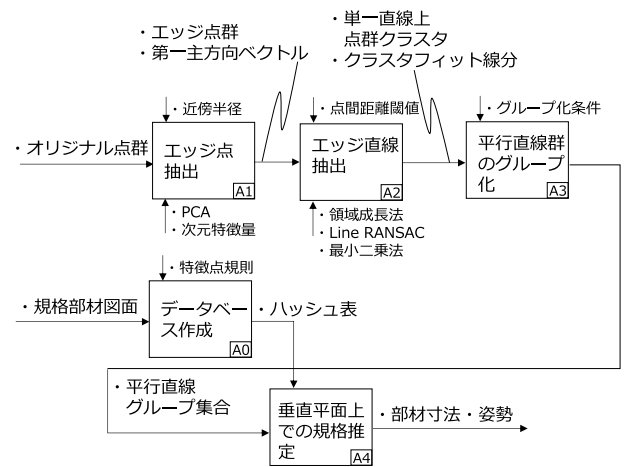


図2 提案手法の概要

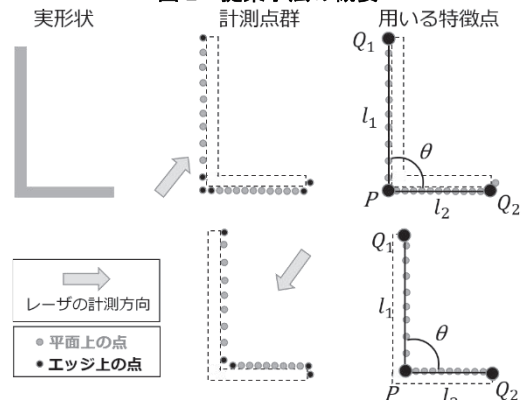


図3 L字鋼における特徴点 P, Q_1, Q_2

- ・ある方向からスキャナで計測した際、3点がいずれも可視であること

次に、 P を原点としたときの3点の座標と $\overline{PQ_1}$ の大きさ l_1 、 $\overline{PQ_2}$ の大きさ l_2 、 $\overline{PQ_1}$ と $\overline{PQ_2}$ のなす角 θ を求め、特徴量 $f = (l_1, l_2, \theta)$ をキーとしハッシュ化した値をインデックスとし、 P, Q_1, Q_2 の座標と部材の規格タイプをエントリとしてハッシュ表に登録する。ただし、一つの規格タイプに対し特徴点となる3点の選ぶるパターンは図3のように複数存在するため、上記条件を満たす全パターンをハッシュ表に登録する。これにより、橋梁の上部構造を地上から計測した際のように、部材断面の片側しか計測点を持たない場合でも、部材の認識が可能になる。

2.3 エッジ点抽出

入力点群の全点に対し主成分分析を行い、注目点の分散共分散行列の固有値 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 (\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3)$ と、 λ_1 に対応する固有ベクトル e_1 を求める。各固有値を用いて $S_1 = \lambda_1 - \lambda_2$ 、 $S_2 = \lambda_2 - \lambda_3$ 、 $S_3 = k\lambda_3$ を求め、 S_i の大小関係を比較する。図4に示すように S_1 が最大ならば注目点の近傍点群の局所分布は線状分布、 S_2 が最大ならば平面分布、 S_3 が最大ならば複雑立体分布とし、3種類に分類する。以降の処理では、線状分布と複雑立体分布とされた点をエッジ点として扱う。 k はエッジ点群の抽出漏れを防ぐため、複雑立体分布に近い平面分布の点を複雑立体形状の方に分類するための係数であり、本研究では k を実験的に6に設定した。

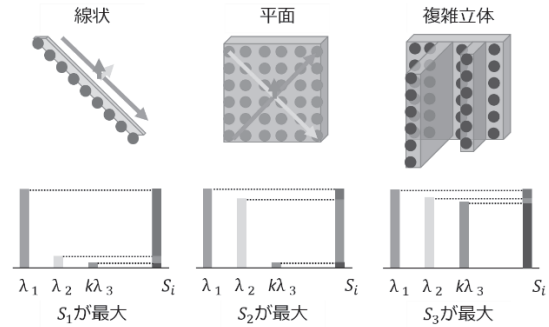


図4 分布による点分類

2.4 エッジ直線抽出

2.4.1 単一直線上点のクラスタリング

各エッジ点に対し、各点の主方向ベクトルである e_1 方向に沿って、以下に示す直線の領域成長法を行う。まずランダムに選択したシード点の主方向ベクトルを基準主方向とし、シード点から半径 R 内の近傍点の中で基準主方向との主方向角度差が閾値以内の点をその領域に追加する処理を反復する。また、点が追加される毎に基準主方向を領域内の主方向の平均へと更新する。ある領域の領域成長処理が終了した際、いずれの領域にも属していないエッジ点を新たなシード点として処理を繰り返し、得られた領域を単一直線状のクラスタ点群とする。

2.4.2 直線フィッティング

単一直線状のクラスタ点群に対し RANSAC 直線フィットを行い、得られたイン라이어点群のみにさらに最小二乗法で直線をフィッティングする。さらに直線にイン라이어点群を投影して線分の両端点を特定し、フィッティング線分を作る。

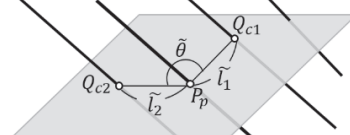


図5 特徴点とそのパラメータ

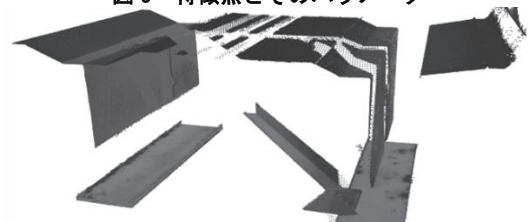


図6 鋼橋計測点群の一部

2.5 平行直線群のグループ化

各フィッティング線分について、その直線を親とするグループを作り、親直線の方角ベクトルと、別直線の方角ベクトルの角度差が閾値以内であれば子直線としてグループに追加する。さらに図5のように親直線に垂直な平面と、親直線の交点を P_p 、平面と子直線の交点を Q_c とし、 $P_p Q_c$ 間の距離が閾値以上に大きな場合は、その子直線をグループから削除する。

2.6 部材の規格タイプの推定

各平行直線群グループに対し、親直線と2本の子直線をランダムに選ぶ。親直線に垂直な平面と親直線との交点 P_p 、平面と2本の子直線の交点をそれぞれ Q_{c1} 、 Q_{c2} とし、特徴点3点として特徴量 \vec{f} を計算する。このとき $|Q_{c1}Q_{c2}|$ が $|P_pQ_{c1}|$ 、 $|P_pQ_{c2}|$ より大きければ有効な3直線対とする。ベクトル P_pQ_{c1} の大きさ \tilde{l}_1 、 P_pQ_{c2} の大きさ \tilde{l}_2 、 P_pQ_{c1} と P_pQ_{c2} の角度差 $\tilde{\theta}$ を求め、 \tilde{l}_1 、 \tilde{l}_2 、 $\tilde{\theta}$ をそれぞれ整数値に量子化する。このとき量子化誤差が5mm以内となるように設定した。 $\vec{f} = (\tilde{l}_1, \tilde{l}_2, \tilde{\theta})$ をキーとしてハッシュ値を求め、登録されたハッシュ表内を検索する。検索が成功した場合、その3直線対に対して部材の規格タイプに応じたラベル付けを行う。以上の処理を全ての3直線対について行う。

3 レーザ計測点群からのL字鋼抽出結果

図6に示す鶴川大橋の上部構造を地上型レーザスキャナにより計測した点群の一部を抽出したもの(点数 745,959)を入力とし、基本動作原理の検証を行った。なおデータベースには、100mm×100mmのL字鋼1種類のみを登録した。図7に抽出結果を示す。点群に含まれるこのL字鋼部分が、過不足なく抽出

図7 100mm×100mm L字鋼の抽出結果(太い黒線で表示)

出できたことが分かる。抽出処理時間は27.7[s]であった。

4 おわりに

鋼橋上部構造の3次元レーザ計測点群内から、データベースに登録された断面形状に一致した規格タイプをもつ規格化部材の位置と姿勢を自動で特定する手法を提案し、その基本動作原理検証を行った。実験の結果、提案手法により部材タイプと位置・姿勢の同定が可能であることが分かった。今後は、大規模点群への適用、寸法や規格タイプの異なる多くの部材を含む点群からの抽出性能を実験的に評価する予定である。

謝辞

本研究の一部は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の「SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」(管理法人: NEDO) によって実施された。記して感謝する。

参考文献

- [1]例えば InfiPoints など <http://www.elysium.co.jp/productinfo/infipts/spec/>.
- [2]藤井智; 増田宏. 大規模点群からの既知部品の検出とパラメータの同定. 2010年精密工学会春季学術講演会講演論文集, pp.117-118 (2010).
- [3] HUANG, Jing; YOU, Suya: "Segmentation and matching: Towards a robust object detection system" *Applications of Computer Vision (WACV), 2014 IEEE Winter Conference on*, pp. 325-332 (2014).