

大型工作物形状計測のための高精度位置補正技術の開発

グリーンニューディール技術開発支援室 兼 機械システム科 係 長 釘 宮 雄 一

長崎県は造船や製缶といった大型工作物の製造が基幹産業となっているが、これら製品の製造途中のブロックはその大きさ故に形状の正確な測定が難しい。そこで本研究では光切断法を用いた自走式形状計測ロボットの製作を目的として、ロボットの自己位置および形状データの高精度位置補正技術の開発を行った。その結果、曲面要素に対して機械学習による推定が有効であることが明確になった。

1. 緒 言

長崎県は造船や製缶といった大型工作物の製造が基幹産業となっているが、これら製品の製造途中のブロックはその大きさ故に形状の正確な測定が難しい。そのため、都度現場合わせて調整をすることになり、生産性と品質の低下を招いてしまっている。

このような大型工作物の形状計測方法として、マーカーと静止画像を組み合わせた形状計測方法やドローンにレーザーレンジファインダーを搭載して形状計測する方法などが試みられている [1]-[3]。しかしながら、既存の方法では広い範囲を計測できるものの、時間がかかる、ドローンの操作が難しい、必要な精度が担保されないなどの問題がある。

そこで本研究では光切断法を用いた自走式形状計測ロボットの製作を目的として、ロボットの自己位置および形状データの高精度位置補正技術の開発のための検討を行った。

2. 検討方法

光切断法はライン状のレーザーを非測定物に照射し、TVカメラで2次元画像を撮影することで高さ方向のプロファイルを取得する手法である。この高さ方向のプロファイルを撮影位置で並べることで点列データとなり、3次元の形状データの取得ができる。今回は、予め3次元測定機（ミットヨ製 LEGEX9106）によりX方向に対するZ方向の計測を行い（図1）、形状の特定された非測定物にラインレーザーを照射して得られた画像（図2）について高さ方向のプロファイルが機械学習により姿勢のずれについて補正できるかを検討した。また、計測を行った対象物を非測定物にし、非測定物にラインレーザーを照射し、TVカメラで撮影した画像から実際の座標を機械学習により推定できるかについて検討した。

今回の検討では、演算量を削減するために、ライン

レーザーの照射面と3次元測定機のXZ平面を一致させることでY座標を一定として実験を行った。

3次元測定機で測定した100組の(x,z)座標と、この測定座標に対応した画像から得られる100組の(u,v)座標を教師データ（以下トレーニングセットと呼ぶ）とし、別途測定した10組の(u,v)座標と(x,z)座標（以下テストセットと呼ぶ）を推定した結果により機械学習の評価を行った。検討を行った機械学習の手法 [4] を表1に示す。

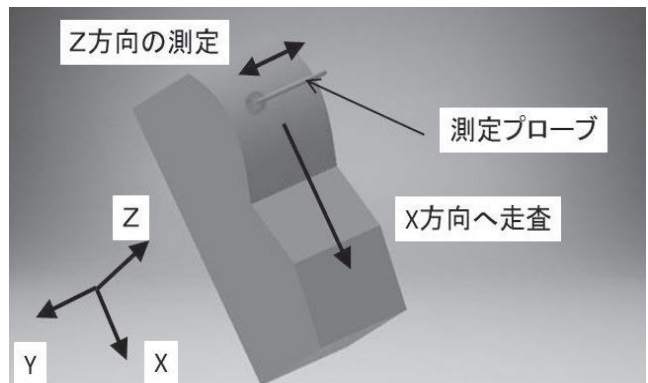


図1 三次元測定機での測定イメージ

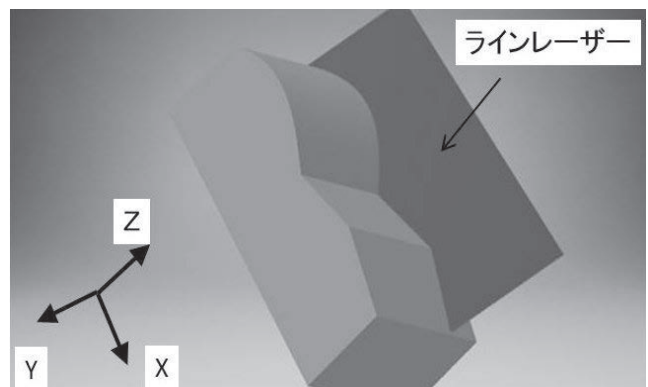


図2 光切断法の測定イメージ

表 1 検討した機械学習の手法

No	手法	教師データ
1	多項式近似と最小二乗法による推定	あり
2	最尤推定法を用いた回帰分析による推定	あり
3	ベイズ推定	あり

3. 結果

多項式近似と最小二乗法による推定、最尤推定法を用いた回帰分析による推定、ベイズ推定の3種類の機械学習手法を用いてTVカメラで撮影した画像上の(u,v)座標値から三次元測定機で測定した(x,z)座標値の推定を行った。それぞれの手法による推定結果を以下に示す。

3.1 多項式近似と最小二乗法による推定

N個のトレーニングデータに対し、 $M+1 \leq N$ を満たすM次の近似式を残差平方和が最小になる条件で求めた。このとき、高次の場合には当然誤差が小さくなるが、教師データとして用いなかったデータにより推定をすると誤差が大きくなるオーバーフィッティングが問題となる。実際に今回のデータでは、次数Mが4以上になると推定値の誤差が大きくなることを見受けられた。この手法については直線形状または曲線形状においては比較的良好な結果が得られた。

3.2 最尤推定法による回帰分析による推定

最尤推定法による回帰分析による推定は、あるデータが得られる確率を設定し、そこから最良のパラメータを決定していくことで回帰式の最適化を行う手法である。この手法では教師データを多くすることで多項式近似と最小二乗法による推定と比較してより精度の高い回帰式を得ることができた。また、結果の評価として対数尤度を評価することで回帰式の次数を最適化できることも明確になった。対数尤度の評価では3~4次で誤差が小さくなった。

3.3 ベイズ推定

ベイズ推定はパラメータが一意に決まる最尤推定法に対し、パラメータに対して様々な確率をとる可能性があると考えて、それぞれの値をとる確率を計算する手法である。本手法では教師データのデータ数を増やしながら、観測データの確立分布がどのように変化するかを評価した。結果としては、事前に予想したとおりに教師データのセットを増やすことで確率分布曲線

と教師データが一致することを確認できた。

4. 考察

本検討では3種の機械学習法について光切断法を用いた形状計測への適用を模索した。図1、図2に示すような曲線と直線を組み合わせたものを評価する場合には、事前にエッジ検出をして、各形状要素にデータを切り出すことで比較的良好な学習結果が得られていた。しかし、異なる形状要素を合わせた評価では形状の近似式が凹凸をうまく推定できず、事前にデータ処理が必要があった。また、ベイズ推定については非線形のデータについてもトレーニングセットと酷似した形状においては確率分布を評価することで近い値を得ることができた。

5. 結言

複数の機械学習法を用いた位置補正技術について、既知のトレーニングセット、テストセットによる評価を行い、位置補正に適した手法を探索した。結果としては、既存のエッジ検出と直線近似の組み合わせに比べて、機械学習を用いた手法では曲面要素に対する推定が有効であることが明確になった。ただし、エッジ検出は三次元測定機における測定指示と同様に幾何形状の認識をするために必要で、エッジとエッジの間の要素がどのような形状なのかを効率よく判断し、そのデータに対して複数データを機械学習させることで人間が複雑なアルゴリズムを構築しなくとも補正ができる可能性が示された。

参考文献

- [1] 樋口 他5名：リングレーザとカメラを用いた大型構造物の三次元計測のための Structure from Motion による光切断面の統合、第21回ロボティクスシンポジウム講演予稿集、pp.326-331、2016.
- [2] 甘中 他3名：ステレオカメラを用いた柔軟構造物の三次元振動変形測定法、神戸製鋼技報、Vol.64No2、pp.86-89、2014.
- [3] 前田、眞部：マルチコプター（ドローン）を活用した縦穴洞窟の形状計測、佐世保工業高等専門学校研究報告、第52号、pp8-11、2016.
- [4] 中井：ITエンジニアのための機械学習理論入門、技術評論社、2015.