

Development of Orthros, an Evaluation System for Free Curved Plate Thickness with a Robot: Generation of the Path for Thickness Measurement Considering Continuity of Postures

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2018-06-15 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24517/00050001

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



ロボットを用いた自由曲面板厚評価システム Orthros の開発

- 姿勢の連続性を考慮した板厚測定経路の生成 -

金沢大学大学院 奥川裕理恵, 浅川直紀, 岡田 将人

Development of Orthros, an Evaluation System for Free Curved Plate Thickness with a Robot
-Generation of the Path for Thickness Measurement Considering Continuity of Postures-
Kanazawa Univ.Graduate School Yurie OKUGAWA, Naoki ASAKAWA and Masato OKADA

The study deal with a development of an automatic measurement and evaluation system for free curved plate thickness, called Orthros. We have proposed a method to generate measuring path using posture interpolation represented by quaternion to generate measuring path that have high continuity of measuring postures. Then positions and postures of representative points for interpolation affect measuring path. In the report, a new method is proposed to determinate positions and postures of representative points for appropriate interpolation. From the evaluations of the continuity of the path on the basis of change in configuration of robot, the validity of the proposed method was confirmed.

1. 緒言

現在, 塑性加工後の自由曲面を有する成形品の高密度な板厚測定の方法として適当なものがない。そこで, 本研究室では産業用ロボットとレーザ変位計を用いた板厚測定システム Orthros を提案してきた¹⁾。しかし, 測定原理通りに測定点に対してレーザを垂直に照射して測定を行う場合, 測定物の形状によってはレーザと測定物が干渉し, 測定が行えないことがある。そこでCAD データに基づき干渉検出を行い, 測定姿勢を変化させて干渉を回避した測定を行うが, レーザ変位計の特性により誤差が増大する姿勢が存在する。これらを考慮して測定姿勢を決定するが, 測定の安定性のためには測定姿勢の連続性が重要である。そこで本研究では, クォータニオンを用いた回転補間 squad²⁾(spherical and quadrangle)を適用することで姿勢の連続性を考慮した測定経路生成方法を提案してきた³⁾。本報では最適な補間のための代表点の位置と姿勢の決定方法について述べ, ロボットのコンフィギュレーション変化から連続性を評価した結果について報告する。

2. システム構成

図1に本システムの構成を示す。レーザ変位計2基を対向させて設置した板厚測定ユニットを用いる。産業用ロボット先端に測定物を固定し, 原理的には次の手順で板厚測定を行う¹⁾。
1) 片方のレーザ変位計を用いて形状測定を行う。2) 形状データから各測定点に法線ベクトルを生成する。3) 法線ベクトルとレーザ照射軸が一致するようなロボットの姿勢を生成し, 測

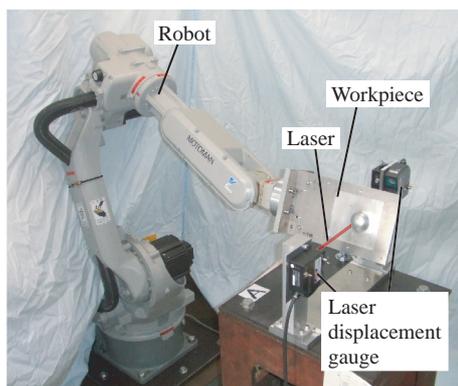


Fig.1 Configuration of the system

定経路とする。このときの姿勢を基本姿勢と定義する。4) 板厚測定を行う。

3. C-Space による姿勢評価

図2に示すような測定物とレーザ変位計との干渉が発生する場合, 測定姿勢を変化させることで干渉を回避した測定を行うが, 姿勢を表すパラメータを統一的に扱うためにコンフィギュレーション空間(C-Space)を適用する。図2に示す座標系の各軸回りの回転角度 γ, β, α をパラメータとする C-Space を各測定点に張り, 図3のような測定可能な姿勢の領域³⁾をマッピングする。この領域を測定可能領域と呼ぶ。

4. squad を用いた測定姿勢の滑らかな補間

3. で求めた各測定点の C-Space が持つ測定可能領域の中から任意の1点を選択することで, 測定姿勢を決定する。本研究では, 滑らかな測定経路を生成するために, 3D アニメーションなどに広く普及しているクォータニオンを用いた回転補間 squad²⁾を適用する。squad は経路を定義する一連の3点以上の方向を連続的に補間することが可能である。クォータニオンは式(1)で表され, 1つのスカラー要素と1つの3Dベクトル要素を

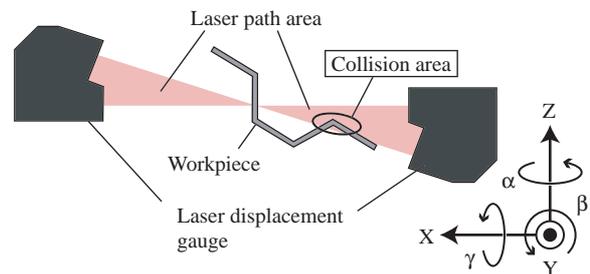


Fig.2 Collision between laser and workpiece

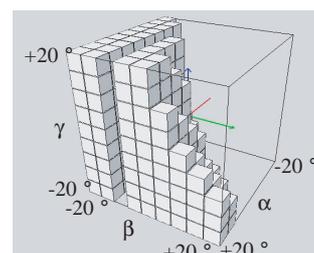


Fig.3 A C-Space mapped measurable postures

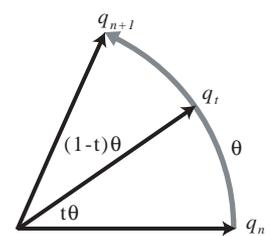


Fig.4 Interpolation of rotation with slerp

含む．squad を用いると代表点 q_n, q_{n+1} 間の姿勢は式 (2) で求めることができ、0~1 の値をとる補間パラメータ t によって補間割合を決定する．また、式 (2) の $\text{slerp}^{(2)}$ (spherical liner interpolation) , a_n はそれぞれ式 (3) , (4) で得られ、式 (3) の θ は図 4 のように q_n と q_{n+1} が成す角である．式 (1) の w に 0 , v に測定姿勢を表すベクトルを代入して使用する．図 5 にベクトルの姿勢補間の例を示す．なお本システムでは一定の走査方向に測定を行うが、測定列 1 列を測定経路要素と定義し、連続性を考慮する対象は各測定経路要素内のみとする．

$$q = [w, x, y, z] = [w, v] \cdots \cdots (1)$$

$$\text{squad}(t; q_n, q_{n+1}, a_n, a_{n+1}) = \text{slerp}(2t(1-t); \text{slerp}(t; q_n, q_{n+1}), \text{slerp}(t; a_n, a_{n+1})) \cdots \cdots (2)$$

$$\text{slerp}(t; q_n, q_{n+1}) = \frac{q_n \sin(\theta(1-t)) + q_{n+1} \sin(t\theta)}{\sin \theta} \cdots \cdots (3)$$

$$a_n = q_n \exp\left[-\frac{\log(q_n^{-1}q_{n-1}) + \log(q_n^{-1}q_{n+1})}{4}\right] \cdots \cdots (4)$$

5. 代表点と初期姿勢の決定

測定経路要素の端点である始点、終点は必ず代表点とする．また測定経路要素内の各点において、C-Space 上の測定可能領域の重心座標とその移動量を求め、極大値をとる点を求める．そして、その前後の点における C-Space と測定可能領域を比較し、次の 2 つの場合に分けて代表点を決定する．

- 1) 3 つの領域が積領域を持つ場合は極大値をとる点．
- 2) 積領域を持たない場合は極大値をとる点の前後の点．

代表点における測定姿勢を初期姿勢と定義するが、1) では積領域の重心となる姿勢を、2) では C-Space 上の原点から最短距離にある姿勢を初期姿勢とする．

6. 測定経路生成

処理手順を以下に示す．

- 1) 各測定点において基本姿勢での干渉検出を行う．
- 2) 干渉が検出された測定点を含む測定経路要素内の各点に対してそれぞれ図 3 のように測定可能領域の C-Space を張る．
- 3) 代表点、初期姿勢を決定し、squad を用いて補間する．その後の姿勢に対しては再度、測定可能領域内にあるか調べる．そうでない場合には、測定可能領域外に出た姿勢を持つ点を新たに代表点として補間し直す．この処理は全ての点が測定可能領域内に収まるまで繰り返す．干渉が検出されなかった場合は基本姿勢での測定経路を生成する．

7. 実験

図 6 に示すような 2 箇所を円錐台形状に加工したアルミ板 (A1050 , 厚さ 0.5mm) の 46×46mm の範囲に対し、測定間隔 2mm で連続性を考慮した干渉回避経路を生成し、板厚測定を行う．図 7 に測定された板厚分布を示し、図 8 に生成した測定経路を示す．図 7 より対象領域全てで測定できたことがわかる．図 9 にポイントマイクロメータでの測定結果との比較を示すが、概

ね本システムの設計精度での測定が可能であった．また同じ代表点間の測定姿勢を線形補間 (lerp) を用いて補間した場合の測定経路と測定時のロボットの関節角度 (6 軸) 変化を比較した結果を図 10(a) に、関節角度変化の二階微分結果の比較を図 10(b) に示す．図 10(a) より生成した経路は急激な変化が生じておらず、図 10(b) では最大値が線形補間した経路よりも小さいことがわかる．以上より、測定姿勢の高い連続性を持ち、干渉を考慮した板厚測定を行うことができたといえる．

8. 結言

C-Space 上にマッピングした測定可能領域の重心座標の移動量に着目することで、補間のための最適な代表点の位置、姿勢を決定し、姿勢の連続性を考慮した測定経路を生成することができた．

参考文献

- 1) N. Asakawa et al : Development of a Free Curved Plate Thickness Evaluation System Using a Robot -Verification of Principal of Measurement-,Proc. of the 5th Int. Conf. on Leading Edge Manufacturing in 21th Century.
- 2) M. DeLoura et al :Game Programming Gems,2002.
- 3) 奥川他, ロボットを用いた自由曲面板厚評価システム Orthros の開発 - 姿勢の連続性を考慮した板厚測定経路の生成 -, 2012 年度精密工学会秋季大会学術講演論文集, H21, 2012 .

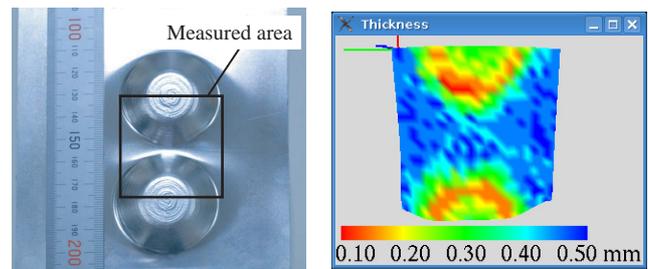


Fig.6 Workpiece

Fig.7 Thickness map

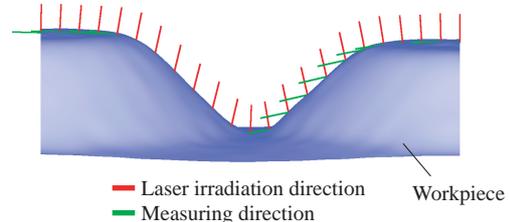


Fig.8 Measuring postures

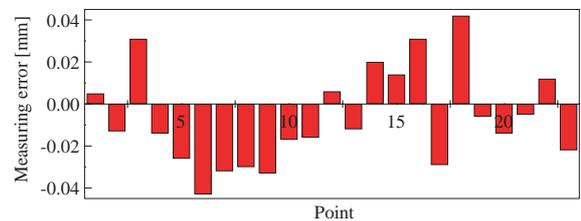


Fig.9 Measuring errors

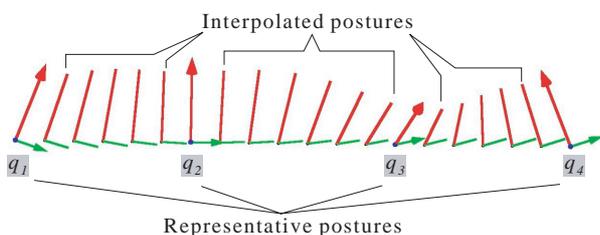
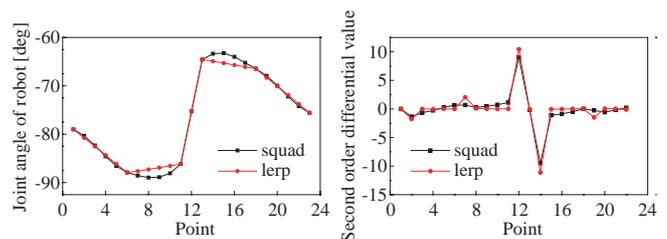


Fig.5 Interpolation of rotation with squad



(a) Change in joint angle of robot (Axis 6)

(b) Second order differential value of change in joint angle

Fig.10 Comparison between squad and lerp