

Exploitation of tolerances and quasi-redundancy for set point generation

Doctoral Thesis

Author(s):

Sellmann, Florian

Publication date:

2014

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010335533>

Rights / license:

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

Diss. ETH No. 21975

Exploitation of tolerances and quasi-redundancy for set point generation

A dissertation submitted to the
ETH ZURICH

for the degree of
Dr. sc. ETH Zürich

presented by
FLORIAN SELLMANN
Dipl.-Ing. Maschinenbau, TU Darmstadt
born 4. April 1981
citizen of Germany

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. K. Wegener, examiner
Prof. Dr. C. Glocker, co-examiner

2014

Abstract

An increase in productivity of a machine tool is obtained by reducing the processing time, while maintaining the required quality within given constraints, which result from the features of the machine structure, the actuators and the process. The set point generation, consisting of geometry optimisation and feed rate optimisation, is minimising the processing time within machine specific limits.

This thesis presents an algorithm for discrete geometry optimisation using B-splines, and allows for a pointwise tolerance for deviations from the original geometry for any number of axes. By the use of a tolerance model the geometric uncertainties of the machine tool can be considered for the pointwise evaluation of the smoothing tolerance. For the subsequent feed rate optimisation higher parametric derivatives are optimised during the optimisation. The discretised geometry is optimised by a quadratic programming approach. Depending on the manufacturing process the manufacturing tolerances are shared by the different axes, which is demonstrated at the example of a 5-axis laser cutting machine tool. Application examples show, that the geometry optimisation leads to an increase of the machining productivity over state of the art methods.

Furthermore a method for the exploitation of the quasi-redundancy is presented in this thesis based on additional degrees of freedom, which arise in 5-axis machining depending on the manufacturing process. Taking into account the inertias of the different axes the exploitation of the quasi-redundancy is demonstrated at the example of a 5-axis laser cutting machine tool with two quasi-redundant degrees of freedom. The optimisation of the weighted jerks of the different axes in response to the quasi-redundant degrees of freedom results in a nonlinear optimisation problem for the general case of a large orientation tolerance with either linear or nonlinear constraints. For the use case of a small orientation tolerance a linearisation of the optimisation problem mentioned above is obtained, which leads to a quadratic programming problem. Thus for a given trajectory at the Tool-Center-Point a jerk minimal trajectory of all axes is determined. Application examples show, that the mechanical excitation of the machine tool and the path disturbance can be reduced.

Zusammenfassung

Eine Produktivitätssteigerung einer Werkzeugmaschine ergibt sich durch Reduktion der Bearbeitungsdauer unter Beibehaltung der geforderten Qualität innerhalb gegebener Randbedingungen. Diese ergeben sich durch die Eigenschaften der Maschinenstruktur, der Antriebe und des Prozesses.

Die Führungsgrössengenerierung, bestehend aus Geometrieoptimierung und Geschwindigkeitsführung, minimiert die Bearbeitungsdauer innerhalb maschinenspezifischer Limite.

Diese Arbeit präsentiert einen neuen Algorithmus zur diskreten Geometrieoptimierung mittels B-Splines beliebiger Ordnung, welcher für beliebig viele Achsen eine punktweise Tolerierung der Abweichungen von der Originalgeometrie berücksichtigt. Mittels eines Toleranzmodells können für jedem Punkt im Arbeitsraum geometrische Unsicherheiten bei der zur Verfügung stehenden Toleranz berücksichtigt werden. Für die anschliessende Führungsgrössengenerierung werden während des Optimierungsschritts höhere parametrische Ableitungen optimiert. Im Algorithmus erfolgt eine Formulierung als ein quadratisches Optimierungsproblem, welches mit einem Standardverfahren gelöst werden kann. In Abhängigkeit des Fertigungsverfahrens erfolgt eine Aufteilung der Fertigungstoleranzen auf die einzelnen Achsen, was am Beispiel des 5-achsigen Laserschneidens für Linear- und Rundachsen dargelegt wird. Anhand von Anwendungsbeispielen wird aufgezeigt, dass sich durch die beschriebene Geometrieoptimierung eine Produktivitätssteigerung gegenüber herkömmlichen Verfahren ergibt.

Des Weiteren wird in dieser Arbeit ein Verfahren zur Ausnutzung der Quasi-Achsredundanz präsentiert. Hierbei handelt sich um zusätzliche Freiheitsgrade bei der 5-Achs-Bearbeitung, welche sich in Abhängigkeit des Fertigungsverfahrens ergeben. Die Auflösung der Quasi-Achsredundanz wird am Beispiel des 5-achsigen Laserschneidens mit zwei quasi-redundanten Freiheitsgraden und unter Berücksichtigung der Achsträgheiten aufgezeigt. Durch Optimierung der gewichteten Achsrücke in Abhängigkeit der inneren Freiheitsgrade ergibt sich für den allgemeinen Fall grosser Orientierungstoleranzen ein nichtlineares Optimierungsproblem mit wahlweise linearen- oder nichtlinearen Nebenbedingungen. Für den Anwendungs-

fall mit kleiner Orientierungstoleranz wird eine Linearisierung des o.g. Optimierungsproblems durchgeführt. Hieraus ergibt sich ein quadratisches Optimierungsproblem, welches sich mit einem Standardverfahren lösen lässt. Somit lässt sich zu einer gegebenen Trajektorie am Tool-Center-Point eine ruckminimale Trajektorie aller Maschinenachsen bestimmen. Anhand von Anwendungsbeispielen zeigt sich, dass sich der Ruck der einzelnen Maschinenachsen, die mechanische Anregung der Maschine und somit Bahnabweichungen reduzieren lassen.