

Diss. ETH 0X3

DISS. ETH Nr. 11429

Entwurf eines feature- und constraint-basierten CAD/CAM-Systems zur fertigungstechnischen Optimierung

ABHANDLUNG

zur Erlangung
des Titels eines Doktors der technischen Wissenschaften
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von

Joachim Gisbert Taiber
Dipl. Masch. Ing. ETH
geboren am 7. Oktober 1965
von Deutschland

Angenommen auf Antrag von:

Referent: Herr Prof. Dr. M. Engeli
Korreferent: Herr Prof. Dr. R. Züst

1996



ETHICS ETH-BIB



00100002900306

Abstract

The creative part of process planning is only inadequately supported by CAD/CAM-systems commercially available at present. The main reason for this is the great difficulty of mapping into an appropriate system model all the human thought processes that occur during process planning. This Ph.D. thesis shows which methods of information theory can be used for such a mapping. The prismatic workpieces considered are those manufactured by milling and drilling.

The following problems are dealt with in regard to computer-aided process planning:

- production-oriented interpretation of workpiece geometry
- assignment of production tools to the manufacturing geometry using optimal machining parameters
- definition of an optimal manufacturing sequence

A specific feature- and constraint-based CAD-data model is defined, which provides a basis for the derivation of a production-oriented workpiece geometry from a function-oriented one by applying decomposition and grouping techniques.

Production tools are allocated to the manufacturing geometry by means of assignment rules. Partial sequences of production features and production tools are derived by using precedence rules. The solution space can be deduced from the set of partial manufacturing sequences.

In order to find the optimal solution within the manufacturing process optimisation, all solutions would have to be considered and each one evaluated according to a cost model. If a certain number of features and tools is exceeded, this becomes impossible on account of the combinatorial explosion of the solution space. For this reason, heuristic methods from the field of combinatorial optimisation have been examined.

The software prototypes developed within this work have been tested by a reference part. This part was defined at the beginning of the nineties by a group of experts from the German CAD/CAM development association for the evaluation of existing and future systems for 2.5-D drilling and milling manufacture. It consists of a set of typical manufacturing problems described by a total of seventy-five production features, and involving sixty-one production tools which have to be appropriately assigned.

The aim is not to eliminate the human planner from process planning, but rather to enable him, with the assistance of computer-aided optimisation tools, to cope with the increasing demands of planning quality and planning time. Usually, the main problem of the human planner lies not so much in the initial production of an operation plan as in the ability to react promptly to changes in the field of manufacturing geometry or production tools. It has been shown that, in altered manufacturing conditions, a computer can materially assist a human planner to produce, in minimal time, an alternative plan of comparable quality to the original. Although process plans can be produced completely automatically by the approach suggested in this work, the human planner can considerably influence the planning quality and the required calculation time.

In the manufacturing optimisation of a workpiece, the calculation time and the choice of method depend mainly on whether the part is a prototype or a series production part. In prototype production only a few pieces usually have to be produced, but series production often involves very large numbers. A saving of a few per cent in manufacturing time and costs can be very important for series production, whereas in prototype production the ability to react swiftly to design or manufacturing changes takes precedence.

Zusammenfassung

Der kreative Teil der Arbeitsplanerstellung wird durch die heute verfügbaren kommerziellen CAD/CAM-Systeme nur unzureichend unterstützt. Der Hauptgrund hierfür liegt in den grossen Schwierigkeiten, die während der Arbeitsplanung ablaufenden menschlichen Denkprozesse in ein geeignetes Systemmodell abzubilden. In der vorliegenden Dissertation wird aufgezeigt, welche informationstechnischen Methoden für eine solche Abbildung eingesetzt werden können. Betrachtet werden prismaartige Werkstücke, welche bohrend und fräsend zu bearbeiten sind.

Folgende Probleme werden im Hinblick auf eine rechnergestützte Arbeitsplanung behandelt:

- fertigungstechnische Interpretation der Werkstückgeometrie
- Zuordnung der Bearbeitungswerkzeuge zur Bearbeitungsgeometrie unter Verwendung optimaler Bearbeitungsparameter
- Bestimmung einer optimalen Bearbeitungsreihenfolge

Es wird ein eigenes feature- und constraintbasiertes CAD-Datenmodell definiert, welches die Grundlage dafür legt, aus einer funktionsorientierten Werkstückgeometrie durch Zerlegungs- und Gruppierungstechniken eine fertigungstechnische abzuleiten. Mittels Zuweisungsregeln werden Bearbeitungswerkzeuge der Bearbeitungsgeometrie zugeordnet. Durch die Anwendung von Reihenfolgeregeln werden partielle Folgen von Bearbeitungsfeatures und Bearbeitungswerkzeugen hergeleitet. Aus der Menge der partiellen Bearbeitungsreihenfolgen kann der Lösungsraum konstruiert werden.

Um in Rahmen einer fertigungstechnischen Optimierung die optimale Lösung zu finden, müssten alle Lösungen betrachtet und jeweils entsprechend einem Kostenmodell bewertet werden. Ab einer bestimmten Anzahl Features und Werkzeuge ist dies aufgrund der kombinatorischen Explosion des Lösungsraums nicht mehr möglich. Infolgedessen werden heuristische Verfahren aus dem Bereich der kombinatorischen Optimierung untersucht.

Die dieser Arbeit zugrundeliegenden Softwareprototypen werden anhand eines Referenzteil getestet. Dieses Referenzteil wurde von einer Expertengruppe der deutschen CAD/CAM Entwicklungsgesellschaft CEFE Anfang der 90er Jahre im Hinblick auf die Beurteilung existierender und künftiger Systeme für die 2.5-D-Bohr-Fräsbearbeitung definiert. Es besteht aus einer Sammlung typischer Bearbeitungsprobleme, welche durch insgesamt 75 Bearbeitungsfeatures beschrieben werden. Diesen stehen 61 Bearbeitungswerkzeuge gegenüber, welche geeignet zugeordnet werden müssen.

Es ist nicht das Ziel, den Mensch aus dem Arbeitsplanungsprozess zu verdrängen. Vielmehr soll er durch rechnergestützte Optimierungswerkzeuge befähigt werden, die steigenden Anforderungen an Planungsqualität und Planungszeit zu bewältigen. Für den menschlichen Arbeitsplaner liegt das zentrale Problem meist weniger in der Ersterstellung eines Bearbeitungsplans sondern in der flexiblen Reaktionsfähigkeit auf Änderungen im Bereich der Bearbeitungsgeometrie oder der Bearbeitungswerkzeuge. Es konnte gezeigt werden, dass der Rechner den Menschen entscheidend darin unterstützen kann, in sehr kurzer Zeit auf geänderte Bearbeitungsrandbedingungen einen im Vergleich zum ursprünglichen Plan qualitativ adäquaten Alternativplan zu erzeugen. Obwohl mit dem vorgeschlagenen Ansatz Arbeitspläne auch vollautomatisch generiert werden können, kann der Mensch durch die Güte der vorgegebenen Startwerte entscheidenden Einfluss auf die erzeugte Planungsqualität und die erforderliche Berechnungszeit nehmen.

Die Berechnungszeit und die Methodenwahl hängt bei der fertigungstechnischen Optimierung einer Werkstückbearbeitung in erster Linie davon ab, ob es sich um ein Prototypenteil oder ein Serienteil handelt. Im Prototypenbau müssen in der Regel nur einige wenige Exemplare gefertigt werden. In der Serienfertigung geht es oft um sehr grosse Fertigungsstückzahlen. Bereits Einsparungen in der Bearbeitungszeit und/oder Bearbeitungskosten im Bereich von wenigen Prozent sind in der Serienproduktion wichtig. Bei der Prototypenherstellung ist es eher wichtig, dass auf Änderungen sehr schnell reagiert werden kann.