Kampe, G.; Zeitz, M. (Hrsg.): Simulationstechnik - 9. Symposium in Stuttgart, Oktober 1994. Vieweg-Verlag, Braunschweig, 1994, S. 603-606

Regelbasierte Optimierung von Produktionssystemen

Dipl.-Inf. Sven Hader
Fakultät für Informatik, TU Chemnitz-Zwickau
Postfach 964, 09009 Chemnitz
E-Mail: sha@informatik.tu-chemnitz.de

Kurzfassung

Diese Arbeit beschreibt die regelbasierte Optimierung komplexer Systeme als Alternative zur traditionell verwendeten manuellen Optimierung durch einen Ingenieur. Dabei soll der Ingenieur nicht verdrängt, sondern durch ein regelbasiertes System unterstützt und entlastet werden. Als konkretes Beispiel wird das regelbasierte System DIM_EXPERTE vorgestellt.

1 Einführung

Auf dem Gebiet der Produktionstechnik und der Produktionsprozesse läßt sich in den letzten Jahren ein stark zunehmender Komplexitätsgrad der verwendeten Systeme verzeichnen. Dieser ergibt sich vorrangig durch die Notwendigkeit der Realisierung flexibler Produktionskonzepte, die den Anforderungen eines sich rasch verändernden Marktes gewachsen sind. Ein wesentliches Indiz dafür ist die zunehmende Bedeutung Flexibler Fertigungssysteme (FFS) in der Praxis.

Der Entwurf derartig komplexer Systeme stellt hohe Anforderungen an die Fähigkeiten des Ingenieurs, da das zu entwerfende System i.allg. bezüglich bestimmter Zielvorgaben (finanzieller und operationeller Art) optimal sein soll. Erschwerend kommt hinzu, daß für die betrachteten Systeme meist keine mathematischen Analyseverfahren existieren, so daß der Ingenieur auf die Simulation zurückgreifen muß, um die notwendigen Informationen über das Verhalten konkreter Systementwürfe zu erhalten. Diese Informationen lassen sich bei den betrachteten komplexen Produktionssystemen nur durch sehr umfangreiche und zeitintensive Simulationsstudien ermitteln, wodurch der Ingenieur über einen längeren Zeitraum mit der Entwurfsoptimierung beschäftigt ist.

Ausgehend von der geschilderten Problematik erscheint es sinnvoll, den Prozeß der (parametrischen) Optimierung der Systeme weitgehend zu automatisieren. Dafür existiert eine Reihe von Ansätzen, die sich im wesentlichen durch den Grad der Verwendung fachspezifischen Wissens unterscheiden. Die traditionellen mathematischen Optimierungsverfahren erscheinen in dieser Hinsicht ungeeignet, da sie nur auf bestimmte Problemklassen anwendbar sind und fachspezifisches Wissen meist nicht handhaben können. Einen interessanten Ansatz bietet die Verwendung *genetischer Algorithmen* (siehe [SCHU93]), die zwar kein fachspezifisches Wissen verwenden, aber für ein breites Spektrum von Problemen im Mittel gute Ergebnisse liefern. Diese Robustheit wird jedoch durch die Notwendigkeit erkauft, eine große Anzahl von Systementwürfen zu testen, was sehr zeitintensiv sein kann. Ein anderer Ansatz ist die Verwendung der *wissensbasierten Optimierung*, die durch Nutzung einer fachspezifischen Wissensbasis bei der Optimierung für konkrete Problemklassen sehr gute Ergebnisse erzielen kann. Durch Austausch der Wissensbasis ist die Anpassung an andere Problemklassen leicht möglich. Eine Spezialform der wissensbasierten Optimierung ist die *regelbasierte Optimierung*, die das Fachwissen in Form von Regeln darstellt und deshalb vor allem für technische Systeme geeignet ist.

2 Die regelbasierte Optimierung

Die regelbasierte Optimierung beschäftigt sich mit der Optimierung von Systemen unter Einbeziehung von menschlichem Fachwissen, das in Regelform vorliegt (*Regelbasis*). Die Regeln werden verwendet, um mit Hilfe eines *Regelinterpreters* das Vorgehen eines Ingenieurs bei der Optimierung zu "simulieren". Die Wissensrepräsentation in Form von Regeln gilt als geeignete Darstellung für technisches Fachwissen. Des weiteren bilden Regeln abgeschlossene Wissenseinheiten, die unabhängig voneinander erzeugt und verarbeitet werden können, so daß die Regelbasis sukzessive erweitert werden kann.

Der Ingenieur benutzt bei der manuellen Optimierung von Systemen i.allg. eine zweistufige Methode. In der ersten Stufe analysiert er einen konkreten Systementwurf (z.B. durch Simulation) und stellt evtl. vorhandene Schwachstellen fest. In der zweiten Stufe versucht er, durch bestimmte Maßnahmen (Änderung von Parameterwerten) diese Schwachstellen zu beseitigen und somit einen besseren Systementwurf zu erzeugen. Entspricht der neue Entwurf nicht den gestellten Zielvorgaben, dann wird danach wieder zur ersten Stufe zurückgekehrt.

Um diese Methode nachbilden zu können, müssen in der Regelbasis zwei Arten von fachspezifischem Wissen zum aktuellen System vorhanden sein:

(1) **Analysewissen**
Dieses Wissen wird verwendet, um einen konkreten Systementwurf zu bewerten und vorkommende Schwachstellen, Engpässe bzw. Leistungsreserven zu identifizieren.

(2) **Transformationswissen**
Dieses Wissen wird verwendet, um einen Systementwurf so zu ändern, daß die erkannten Schwachstellen nicht mehr auftreten. Es handelt sich dabei vor allem um Wissen darüber, wie durch Änderung von Parameterwerten das Verhalten des Systems beeinflußt werden kann.

Während sich das Analysewissen relativ einfach formalisieren läßt, entstehen bei der Formalisierung des Transformationswissens größere Schwierigkeiten. Diese Wissensart gibt nicht nur an, welche Systemparameter zu ändern sind, um konkrete Schwachstellen zu beseitigen, sondern auch, wie groß diese Änderungen günstig zu wählen sind. Da diese Werte jedoch stark vom betrachteten Entwurf abhängen, ist es i.allg. sehr schwer, hier konkrete Zahlen anzugeben.

Wenn die beiden genannten Wissensarten für ein konkretes System in Regelform dargestellt werden können, dann kann die regelbasierte Optimierung das Vorgehen eines Ingenieurs nachbilden und solche "optimalen" Entwürfe finden, die auch der Mensch gefunden hätte. Da dieses Wissen für komplexere Systeme meist nur unvollständig vorliegt, erscheint es realistisch, bei der regelbasierten Optimierung keine optimale, sondern lediglich eine "gute" Lösung zu erwarten.

3 Das regelbasierte System DIM_EXPERTE

Das regelbasierte System DIM_EXPERTE (siehe [HADE94]) verwendet den oben geschilderten regelbasierten Ansatz. Es ist der Prototyp eines Systems zur automatischen Optimierung von komplexen Systemen, insbesondere der Produktionstechnik, unter Nutzung von fachspezifischem Wissen. Zur Bewertung konkreter Systementwürfe verwendet dieses System die Simulation, wobei die entsprechenden Simulationsprogramme vom Nutzer bereitgestellt werden müssen. Einen Einblick in die Kommunikationsbeziehungen des Systems gibt Bild 1.

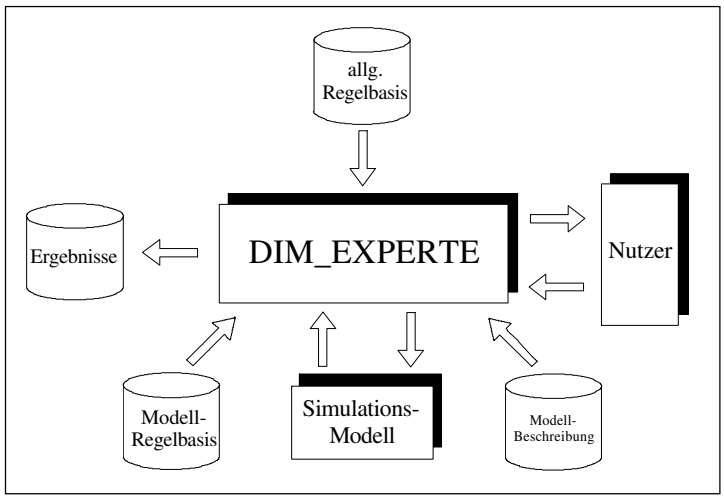

Bild 1: Kommunikationsbeziehungen des regelbasierten Systems DIM_EXPERTE

Den Kern des Systems bildet ein Modul zur regelbasierten Optimierung, das aus einem Regelinterpreter ("simuliert" den Ingenieur) und einer Regelbasis (enthält das Fachwissen) besteht. Der Regelinterpreter arbeitet mit Vorwärtsverkettung; die Regelauswahlstrategie erlaubt eine dynamische Priorisierung der Regeln. Die Regeln werden in Textdateien gespeichert und vor Beginn der Optimierung in die Regelbasis geladen. Durch das Laden verschiedener Regeldateien können sehr unterschiedliche Systeme optimiert werden. Die verwendete Regelbasis kann auch unvollständig sein; die Regeln werden als *Heuristiken* betrachtet, die nicht in jedem Fall zum Erfolg führen müssen. Die Regeln besitzen die allgemein übliche WENN-DANN-Struktur

(1) WENN <Bedingung> DANN <Schlußfolgerung> bzw.

(2) WENN <Situation> DANN <Aktion> .

Die Regelform (1) dient zur Darstellung des Analysewissens (Systementwurf → Schwachstellen), während die Regelform (2) das Transformationswissen (Schwachstellen → neuer Systementwurf) kodiert. Da beim Transformationswissen die Angabe konkreter Änderungsschritte für Parameter Schwierigkeiten bereitet (s. Abschnitt 2), sind auch qualitative Änderungsangaben (z.B. *erhöhe*, *verringere*, *ändere*) erlaubt. In diesen Fällen werden die neuen Parameterwerte durch eine gezielte numerische Optimierung ermittelt.

Die Kombination von regelbasierter und numerischer Optimierung verbessert die Effizienz des Verfahrens vor allem bei solchen Systemen, über die nur unvollständiges Wissen vorhanden ist, z.B. bei komplexen Produktionssystemen. Außerdem wird der Nutzer bei der Formulierung des Transformationswissens entlastet, da keine konkreten Zahlenangaben mehr erforderlich sind. Eine Erweiterung im Sinne der Fuzzy-Logik ist denkbar (z.B. "erhöhe *geringfügig*").

DIM_EXPERTE wurde bislang vorrangig für die Optimierung von Lager/Produktion-Systemen verwendet, wobei z.B. die Wahl geeigneter Lagerhaltungsstrategien oder die Dimensionierung des Produktionssystems (FFS) betrachtet wurden. Dabei zeigte sich, daß das System gute Ergebnisse erzielt, die jedoch stark von der Güte der verwendeten Regeln abhängig sind. Positiv wurde

bemerkt, daß die z.T. sehr zeitintensive Optimierung (i.allg. im Stundenbereich) völlig selbständig abläuft, so daß sich der Ingenieur in dieser Zeit mit anderen Aufgaben befassen kann.

Die Implementation von DIM_EXPERTE erfolgte in SNI-Prolog auf einer Sun-Workstation. Der Quelltext umfaßt zur Zeit etwa 6000 Programmzeilen. Die Implementation der verwendeten Simulationsmodelle kann in einer beliebigen Sprache erfolgen, einzige Bedingung ist das Vorhandensein einer ASCII-Dateischnittstelle zum Datenaustausch zwischen DIM_EXPERTE und den Simulationsprogrammen.

4 Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit wurde die Verwendung des regelbasierten Ansatzes bei der Optimierung von komplexen Systemen, insbesondere der Produktionstechnik, motiviert. Der Vorteil dieser Methode besteht in erster Linie in einer zeitlichen Entlastung des Ingenieurs in der Phase der Entwurfsoptimierung. Es ist jedoch zu beachten, daß durch unvollständige Regelbasen meist nur eine "gute" und keine optimale Lösung erzielt werden kann; die ermittelten Lösungen sollten deshalb vom Ingenieur verifiziert werden. Als konkretes Beispiel wurde das regelbasierte System DIM_EXPERTE vorgestellt, das eine Kombination von regelbasierter und numerischer Optimierung benutzt und die erzeugten Systementwürfe anhand eines Simulationsmodells bewertet.

Im Rahmen der Weiterentwicklung soll DIM_EXPERTE in ein umfassendes Paket zur wissensbasierten Modellierung, Simulation und Optimierung von komplexen Systemen eingebettet werden. Dieses Paket soll den Nutzer sowohl bei der Modellentwicklung und -implementation als auch bei der Erstellung der notwendigen Regelbasis und der Optimierung bzgl. nutzerdefinierter Zielvorgaben unterstützen. Dadurch soll es möglich werden, daß auch Nutzer ohne das notwendige Fachwissen komplexe Systeme entwerfen und optimieren können.

Literatur

[HADE94] S. Hader: *Ein regelbasiertes System zur automatischen Planung und Durchführung von Simulationsläufen*. 7. Workshop des ASIM-Arbeitskreises "Simulation und Künstliche Intelligenz", Braunschweig, 13.-14. April 1994.

[MITA94] A. Mital, S. Anand (eds.): *Handbook of Expert Systems Applications in Manufacturing - Structures and Rules*. Chapman & Hall, London, 1994.

[POWE91] D.J. Powell, M.M. Skolnick, S.S. Tong: *Interdigitation: A Hybrid Technique for Engineering Design Optimization Employing Genetic Algorithms, Expert Systems, and Numerical Optimization*. In: L. Davis (ed.): Handbook of Genetic Algorithms. Van Nostrand Reinhold, New York, 1991, pp. 312-331.

[SCHU93] J. Schulte, B.-D. Becker: *Optimierung in der Werkstattsteuerung: Simulation und genetische Algorithmen*. In: A. Sydow (Hrsg.): Simulationstechnik - 8. Symposium in Berlin, September 1993. Vieweg, Braunschweig, 1993, S. 599-602.