

Diss. ETH No. 14865

Towards Adaptive Management Systems in Manufacturing

—An Agent-Supported Approach—

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZURICH

for the degree of
DOCTOR OF TECHNICAL SCIENCES

presented by
JENS HENOCH
Dipl. Chem.-Ing. ETH

born 12th October 1972
citizen of Germany

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Hans-Jakob Lüthi, examiner
Prof. Dr. Markus Schwaninger, co-examiner

2003

Abstract

Owing to changing customer demands and expectations, a shift from build-to-forecast to build-to-order production for competitive reasons often becomes necessary in manufacturing. Management systems as a vital part of manufacturing systems have to master these new requirements, i.e. management systems have to cope with complexity and uncertainty. The motivation for this study is based on the observation that a rigid centralized approach to manufacturing planning and control is no longer appropriate. Therefore, this dissertation promotes an agent-based approach as a means of supporting operationally human-centered management systems towards an adaptive and flexible conduct, nowadays essential in manufacturing.

The core of this thesis presents a modeling and simulation framework integrating concepts of the fields of management cybernetics, production logistics management, artificial intelligence, and object-oriented concurrent programming. As such, the work is at the crossroads of these fields. The framework features three modeling levels. The resulting models can be analyzed independently utilizing simulation. Physical layout considerations—such as the selection of machines to be utilized—are mapped on the physical level. Operational issues are addressed at the logical level, meaning that instructions are given on how to operate a physical system. Organizational structures and task responsibilities regarding the operations are modeled on the management level. The organizations being mapped on the management level of this framework are multi-agent systems providing means for management systems in their striving to improve their adaptiveness to the situational conditionalities of the shop-floor.

In order to effectively support management systems, multi-agent systems must

follow the structural guidelines as proposed by cybernetics. Operationalized, the framework supports recursively structured multi-agent systems, in which the behaviors of planning, scheduling and execution can be found in every multi-agent system. Thus, the an agent's behavior determines the necessary capabilities of an agent, i.e. its entire action repertoire.

The advanced level of adaptive conduct as a source for building eigen-variety is supported in a way that agents feature multiple levels of adaptation. Owing to the multi-level adaptation process, robustness can be gained attenuating uncertainty. In order to maintain the system's cohesion, the adjustment of agents' variety is brought about by the introduction of constraint blocks to be respected by them. The information base of agents is embodied by their knowledge bases and internal models.

Additionally, a distinction has been made between decision-related agents (management agents) and decision-supporting agents (service agents). Multi-agent systems containing management agents are being developed on the management level and are subject to performance assessments regarding their organizational structure. The primary reason for the introduction of the management level is not the analysis of algorithmic competence, but rather to examine its utilization by decision-making agents.

The conceptual development of agents is technically backed up by an implementation based on an active object approach, which grants agents communication and process autonomy. The conceptual separation of the three modeling levels is technically supported as well. However, agents must intervene on the logical level. Proxies as special types of service agents can encapsulate objects on the logical level. As a result, the proxies are able to redirect the information flow to managerial agents, which was originally connecting the objects on the logical level. Thus, these agents are, among other things, able to allocate resources differently than originally planned.

Zusammenfassung

Das veränderte Kundennachfrageverhalten bedingt, dass Firmen, um wettbewerbsfähig zu bleiben, nach neuen Wegen in der Produktion suchen. Um die Kundenwünsche besser befriedigen zu können, tritt anstelle einer prognosebasierten Produktion immer mehr eine Fertigung, die fast ausschliesslich eingehende Aufträge berücksichtigt. Managementsysteme als essentielle Bestandteile von Fertigungssystemen müssen sich diesen neuen Anforderungen stellen. Im speziellen wird der Umgang mit Komplexität und Unsicherheit fortan im Mittelpunkt der Betrachtungen stehen müssen. Die vorliegende Dissertation leistet zu diesem Themenschwerpunkt einen Beitrag, in dem ein situatives und flexibles Vorgehen bezüglich der Planung und ihrer Umsetzung in der Produktionslogistik, anstelle einer starren zentralisierten Vorgehensweise, vorgeschlagen wird. Dazu sollen die bestehenden Planungs- und Steuerungssysteme bei der Erledigung operationeller Aufgaben von Agentensystemen unterstützt werden.

Den Kern dieser Arbeit stellt eine Modellierungs- und Simulationsplattform dar, die Konzepte aus der Managementkybernetik, des Produktionslogistikmanagements, der künstlichen Intelligenz und der simultanen objekt-orientierten Programmierung integriert. Die Plattform beinhaltet drei Modellierungsebenen, deren Modelle mittels Simulation unabhängig voneinander analysiert werden können. Entscheidungen, die das physische Design, wie die des Festlegens der Anzahl zu verwendender Maschinen betreffen, werden auf der physischen Ebene abgebildet. Auf der logischen Ebene werden operationelle Abläufe bezüglich der physischen Systemkonfiguration modelliert. Organisationsstrukturen und das Festlegen von Aufgabenverantwortlichkeiten betreffend der operationell notwendigen Tätigkeiten werden auf der Managementebene thematisiert. Die Einheiten, die auf den Managementebenen abgebildet werden, sind

Agentensysteme, die die Managementsysteme in ihrem Streben nach eine Verbesserung der Anpassungsfähigkeit der Organisationen bezüglich der situativen Gegebenheiten in der Werkstatt unterstützen. Um Managementsysteme effektiv unterstützen zu können, haben Agentensysteme den gleichen strukturellen Aufbau wie das System, welches sie unterstützen sollen. Kybernetische Konzepte beachtend, ist die Struktur von Agentensystemen rekursiv. Auf jeder Rekursionsebene können die Funktionalitäten der Planung, Koordination und Steuerung in jedem Agentensystem gefunden werden.

Eine Funktionalität bestimmt das notwendige Verhaltensrepertoire eines Agenten bezüglich seines Einsatzgebietes und seiner Umwelt. Eine flexiblere Handlungsweise von Agenten wurde dadurch realisiert, dass diese mehrere Möglichkeiten haben, sich bezüglich einer Situation adäquat anzupassen. Durch einen mehrstufigen Anpassungsprozess wird ein robusteres und besser vorhersehbares Systemverhalten ermöglicht. Um eine Einhaltung der gesetzten Ziele eines Produktionssystems sicherzustellen, können Agenten unter Umständen mittels Vorgaben in ihrem Handlungsspielraum eingengt werden. Die informationelle Basis eines Agenten stellen seine Wissensbasis und seine internen Modelle dar.

Ferner wurden zwei Agenten-Typen eingeführt. Agenten, die Entscheidungen herbeiführen, die so genannten Management-Agenten und Service-Agenten, die die Management-Agenten dabei algorithmisch und technisch unterstützen. Die Unterscheidung ist nötig, da in erster Linie die Organisationsstruktur von Agentensystemen bezüglich der durch sie erbrachten Leistung analysiert werden soll und nicht die Qualität der Algorithmen im Vordergrund des Interesses steht.

Die konzeptionelle Entwicklung von Agenten wurde technisch durch eine Implementierung basierend auf aktiven Objekten abgestützt, welche die Umsetzung von Eigenschaften wie Autonomie auf der technischen Ebene ermöglicht. Ebenso wurde die konzeptionelle Aufteilung in den drei Modellierungsebenen technisch realisiert. Da Agenten auf der logischen Ebene unter Umständen in die Prozesse eingreifen müssen, wurden spezielle Service-Agenten entwickelt, die Objekte auf der logischen Ebene von ihrem Informationsfluß abschneiden und diesen zu Agenten umleiten können. Damit sind Agenten unter anderem in der Lage, Ressourcen anderweitig zu beanspruchen als es ursprünglich vorgesehen war.