ETH zürich

ETH Library

Resilient Automotive Production in Vulnerable Supply Networks

A Supply Chain Event Management System

Doctoral Thesis

Author(s):
Heinecke, Georg

Publication date:
2013

Permanent link:
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-010049348

Rights / license:
In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

Originally published in:
Fortschritt-Berichte VDI. Reihe 20, Rechnerunterstützte Verfahren 452

This page was generated automatically upon download from the ETH Zurich Research Collection.
For more information, please consult the Terms of use.

Diss.-No. ETH 21551

RESILIENT AUTOMOTIVE PRODUCTION IN VULNERABLE SUPPLY NETWORKS: A SUPPLY CHAIN EVENT MANAGEMENT SYSTEM

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

GEORG HEINECKE

Dipl.-Wirtsch.-Ing., Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, Germany
M.Sc., Rose-Hulman Institute of Technology, Terre Haute, Indiana, USA
born April 13th, 1984
citizen of Germany

accepted on the recommendation of:

Prof. Dr. Konrad Wegener, examiner
PD Dr. habil. Andreas Kunz, co-examiner
Dr.-Ing. Raffaello Lepratti, co-examiner
Dr. Steffen Lamparter, co-examiner

2013

Abstract

Supply chains in the automotive industry are shaped by two trends. Upstream, on the demand-side of a company, mass customization has led to a proliferation of models that are offered in countless variants and that are built from countless components. Since demand for specific variants cannot be forecasted anymore, companies have adopted build-to-order production, triggering production and supply processes only for confirmed customer orders. Downstream, on the supply-side of a company, lean management has accelerated the globalization of supply chains and the integration of supplier and buyer. Time and stock buffers for the delivery of customer-specific components were completely eliminated with just-in-sequence supply strategies. Hence, automotive manufacturers are embedded in networks that demand the timely shipping of countless variants to customers and the coordination of the delivery of countless components.

The reduction of stocks of highly-customized products and components along all stages of a supply chain, has made companies vulnerable to disturbances that endanger the timely delivery of inputs from the supply base to a system and outputs from the system to the customer. Using a supply chain vulnerability index, a study finds on a sample of 760 firms that the automotive industry is most exposed to these supply chain events, followed by firms selling information and communication technology, and firms in process manufacturing (e.g., chemicals, oil and gas). Many other studies report that delivery delays and deliveries of defective parts are seen as the most common and important supply-side problems. In fact, one study reports for a sample of 110 modules for automotive manufacturers in Germany and North America that the mean of delivery disruptions was 3.6 with a maximum of 40 over a period of 24 months. Since assembly lines are never stopped, these disruptions result in missing material for planned assembly sequences. For the manufacturer the result is costly rework of unfinished products after assembly while the customer has to cope with delivery delays.

The dissertation presents an approach for the reactive management of these small-scale supply chain events with a supply chain event management (SCEM) system. It is a software that covers three functionalities that support decision makers to manage the occurrence: Event identification, impact analysis and reactive strategies. Before their development, the dissertation validates the requirements for the sys-

tem and the functions through a survey of companies of the German automotive industry. It then presents an architecture and system concept that embeds the functionalities into the current IT-landscape of companies. For the realization of the event identification functionality, the SCEM application receives trace data that describes the movement of individual objects as they traverse the supply chain. It uses this data in conjunction with the planned build date of the associated customer order to detect material supply that is expected to be not available on time. The dissertation proposes two methods for event identification. First, a non-probabilistic approach based on complex event processing. It uses a pre-defined rule base to which the incoming trace and plan data is matched. The result is a binary distinction where the conditions of the rule are either fulfilled or not. Second, a probabilistic approach that is based on a supply chain model. In contrast to the non-probabilistic method, it uses the trace data to estimate precise probabilities of the availability of the material at a certain time.

Individual material availabilities are insufficient, however, for the description of the aggregated supply situation that a company faces. For impact analysis, the dissertation presents an approach that calculates expected performance of a company when the estimated supply situation materializes. It uses a flow shop model that summarizes the material availabilities in such a way that their impact on several performance indicators is returned. They mirror the future state of the organization and support a user to assess the significance of the current situation. The third functionality, proposal of reactive strategies, then builds on the material availabilities to calculate the probability that the respective customer order can be manufactured. Given that material is expected to be delivered late, the dissertation proposes several rescheduling strategies for affected orders that an SCEM system can apply. They explicitly consider the implications of just-in-sequence deliveries and a bi-objective approach that considers sequence stability and schedule optimality.

The dissertation validates the developed SCEM solution in two ways: A real-world hardware environment and a simulated automotive use case. First, the testing of the system in a hardware environment of an industrial use case is presented. The implementation illustrates the technical feasibility of the system. It receives trace data from the supply chain and internal processes. The data is used to identify problems in the material flow early on and to reactively amend the production schedule. The system receives the planned production schedule, amends it according to the current supply situation and returns the update to the systems. The changes are subsequently communicated as work orders to the shop floor. The interaction of the SCEM system with data capturing applications as well as production and control systems that are commonly used in industry shows the technical feasibility of the proposed system and concept in current IT-infrastructures. Second, to illustrate the benefit of the system in a large-scale supply chain, a simulation model is developed. It mirrors the use case of an automotive manufacturer with three just-in-sequence suppliers. Their deliveries are unreliable to a small percentage. The early identification of supply problems and their management through the reactive rescheduling strategies shows that performance can be considerably improved while still maintaining a high sequence stability. The validation shows that an SCEM system can ensures the resilience of flow production processes in event-prone, vulnerable supply networks.

Zusammenfassung

Lieferketten der Automobilindustrie unterliegen zwei wesentlichen Trends. Erstens, auf der Nachfrageseite führt die Individualisierung des Produktes dazu, dass zahllose Varianten angeboten werden, die aus einer ebenso großen Anzahl verschiedener Komponenten bestehen. Die Prognose der Nachfrage für spezifische Produktvarianten ist damit unmöglich geworden und Hersteller sind zu einer auftragsbezogenen Fertigung übergegangen. Bei diesem Ansatz wird der Produktions- und Zulieferprozess erst angestoßen, wenn ein Kundenauftrag vorliegt. Zweitens, auf der Zulieferseite hat Lean Management die Lieferkette globalisiert aber gleichzeitig Lieferanten und Produzenten stärker gekoppelt. Zeit- und Bestandspuffer zwischen Prozessen und Unternehmen wurden mit der Einführung von sequenzgenauen Teilelieferungen weitgehend abgebaut. Die Automobilindustrie ist heute in Liefernetzwerke eingebunden, die eine pünktliche Lieferung von individuellen Produkten verlangen und gleichzeitig eine Koordination von zahllosen Zulieferteilen erfordern.

Der Bestandsabbau an spezifischen Komponenten und Fertigprodukten entlang der gesamten Lieferkette hat Unternehmen anfällig für Prozessstörungen gemacht. Diese Ereignisse gefährden einerseits die pünktliche Lieferung von Zulieferteilen zum Unternehmen für dessen Produktionsprozesse und andererseits die termingenaue Auslieferung von Fertigprodukten an Kunden. Tatsächlich hat eine Studie von 760 Unternehmen anhand eines Störungsindex festgestellt, dass die Lieferketten in der Automobilindustrie am anfälligsten für Störungen sind – noch vor Unternehmen aus der Telekommunikation und der Prozessindustrie. Viele andere wissenschaftliche Studien belegen zudem die negativen Konsequenzen von Störungen und das Lieferverspätungen und defekte Komponenten zu den häufigsten Zulieferproblemen zählen. Eine Studie hat zum Beispiel 110 verschiedene Komponententypen untersucht, die an Automobilhersteller in Nordamerika und Deutschland geliefert werden. Die Ergebnisse zeigen, dass im Durchschnitt 3,6 Störungen pro Typ innerhalb von 24 Monaten aufgetreten sind, wobei das Maximum bei 40 Störungen lag. Da Montagelinien nicht gestoppt werden, resultieren derartige Störungen in Fehlteilen für geplante Produktionsprozesse. Das bedeutet einerseits teure Nacharbeit von unfertigen Produkten für Produzenten und andererseits Lieferverspätungen für Kunden.

Die vorliegende Doktorarbeit präsentiert einen Ansatz für die reaktive Behandlung von derartigen, opera-

tiven Ereignissen nach deren Auftreten in der Lieferkette. Dazu wird ein sogenanntes Supply Chain Event Management (SCEM) System entwickelt. Dabei handelt es sich um eine erweitertes Frühwarnsystem, das drei Funktionen bietet, um Entscheidungsträger bei der Behandlung des Problems zu unterstützen: Erkennung des Problems, Abschätzung von dessen Auswirkungen und Vorschlagen von Gegenmaßnahmen. Vor der Entwicklung der Funktionen wird der Bedarf des Systems und die Anforderungen an die Funktionen anhand einer Nutzerstudie in der deutschen Automobilindustrie validiert. In einem nächsten Schritt wird eine Systemarchitektur und ein Systemkonzept entwickelt, welche die Einbindung und Funktionstüchtigkeit der Anwendung in heutige IT-Landschaften ermöglichen.

Für die Umsetzung der Problemerkennung erhält das System Verfolgungsdaten von Objekten, die deren Bewegungen entlang einer Lieferkette dokumentieren. Das System setzt diese Daten dann in den Kontext von geplanten Startterminen von Produktionsaufträgen, die zu dem identifizierten Material gehören. Die Arbeit präsentiert zwei Methoden, die auf verschiedene Weise die Materialverfügbarkeit für geplante Aufträge herleiten. Erstens, einen nicht-probabilistischen Ansatz der auf dem Complex Event Processing Konzept basiert. Diese Methode nutzt eine definierte Regelbasis, mit der das System die eingehenden Verfolgungs- und Plandaten vergleicht. Das Ergebnis ist binär: Entweder die Daten passen zur Regelbasis und das System nimmt die Verspätung des Materials an oder die Regel wird nicht ausgelöst. Zweitens, eine Methode die auf einem probabilistischen Lieferkettenmodell basiert. Es nutzt die aktuellen Verfolgungsdaten für die Berechnung von genauen Wahrscheinlichkeiten. Damit prognostiziert der Ansatz dem Unternehmen die Verfügbarkeit des Materials zu einem bestimmten Zeitpunkt.

Individuelle Materialverfügbarkeiten sind allerdings unzureichend für die Unterstützung des Entscheiders in Hinsicht auf die Signifikanz der gegenwärtigen Situation der Lieferkette für ein Unternehmen. Dafür müssen die aggregierten Auswirkungen der festgestellten Situation analysiert werden. Dazu präsentiert die Arbeit einen Ansatz, der die einzelnen Verfügbarkeiten zusammenfasst und auf wichtige, operative Leistungsindikatoren abbildet. Hierfür verwendet die Arbeit ein Modell einer Fließfertigung wie sie in Montagelinien auftreten. Die resultierende Leistungsdarstellung bildet einen zukünftigen Zustand ab, der es dem Entscheidungsträger ermöglicht, die jetzige Situation einzuschätzen und den Bedarf für Gegenmaßnahmen zu ermessen. Das System unterstützt diesen Vorgang durch Vorschläge von verschiedenen Umplanungsstrategien. Die Dissertation präsentiert einen Ansatz der geplante Produktionssequenzen repariert. Die Strategien berücksichtigen Implikationen von sequenzgenauen Lieferungen, Optimalität des Plans hinsichtlich Liefertreue sowie die Wahrung der Sequenzstabilität.

Die Dissertation validiert das entwickelte System in einer industrienahen Umgebung sowie einer Simulationsstudie. Erstens, ein Test des Systems in einer echten Hardwareumgebung zeigt dessen technische Machbarkeit. Mithilfe von Verfolgungsdaten aus der Lieferkette und der Produktion werden Probleme des Materialflusses frühzeitig erkannt und der Produktionsplan mithilfe einer Umplanungsstrategie reaktiv angepasst. Das System bezieht dazu den gegenwärtigen Produktionsplan, passt diesen aufgrund der erkannten Situation an und übergibt ihn an das Planungs- und Kontrollsystem. Die Änderungen werden dann an die Produktion kommuniziert. Die Interaktion der SCEM Anwendung mit gängigen Systemen für Datenerfassung und Produktionskontrolle zeigt die Umsetzbarkeit des vorgeschlagenen Konzepts. Zweitens, um den Mehrwert des Systems in komplexen und störanfälligen Lieferketten zu demonstrieren, wird ein Simulationsmodell auf Basis eines konkreten Anwendungsfalls entwickelt. Das Modell spiegelt die Anwendung des Systems in einer Lieferkette mit drei Zulieferern wider. Deren Lieferprozesse bringen Komponenten sequenzgenau zum Produzenten, sind aber zu einem geringen Prozentsatz unzuverlässig. Die frühe Identifikation von Lieferverspätungen und deren Behandlung durch Anpassung von geplanten Produktionssequenzen zeigt eine wesentliche Leistungsverbesserung des Produzenten. Das SCEM System vermeidet Nacharbeit aufgrund von Fehlteilen, ermöglicht termingenaue Lieferungen und erhält eine hohe Sequenzstabilität. Die Validierung zeigt, dass das entwickelte System eine widerstandsfähige Fließproduktion auch in störanfälligen Liefernetzwerken gewährleisten kann.