

Auf dem Weg zur allwissenden Fabrik

Vertikale Integration auf Basis kontinuierlicher Datenverarbeitung

Christoph Heinz, Jürgen Krämer, Tobias Riemenschneider, Bernhard Seeger
Fachbereich Mathematik und Informatik
Philipps-Universität Marburg, Deutschland
{heinzch, kraemerj, tobys, seeger}@mathematik.uni-marburg.de

Abstract: In modernen Produktionsunternehmen gilt mehr denn je die Devise *Zeit ist Geld*. Daher ist eine zeitnahe Reaktion auf Vorfälle und Entwicklungen innerhalb der eigenen Produktion als auch auf marktwirtschaftliche Ereignisse unabdingbar. Im Rahmen dieses Berichts werden die wichtigsten an der Produktion beteiligten Softwaresysteme skizziert, anhand betriebswirtschaftlicher Zielsetzungen charakterisiert und die typischen Schwachpunkte aufgezeigt. Anschließend wird diskutiert, wie mit den Mitteln der vertikalen Integration und aktuellen Ergebnissen des *Complex Event Processing* diese Zielsetzungen effizienter umgesetzt werden können. Weiterhin wird gezeigt, wie diese Umsetzung mit unserer Java-Bibliothek PIPES und der *Production-to-Business*-Software i-Plant realisiert werden kann und welche Synergieeffekte daraus entstehen können.

1 Einleitung

Moderne Produktionsprozesse stellen Unternehmer vor immer größere Herausforderungen. Zum einen herrscht innerhalb von Produktionsprozessen oftmals ein hoher Grad an Automatisierung vor, weswegen eine schnelle, automatisierte Reaktion auf Unregelmäßigkeiten von größter Bedeutung ist. Zum anderen führt die Kombination mehrerer Produktionsprozesse innerhalb einer Wertschöpfungskette zu einer unüberschaubaren Zahl von Prozessparametern, welche es permanent zu überwachen und ggf. nachzusteuern gilt. Darüber hinaus erzeugen häufige Konfigurationswechsel innerhalb dieser Produktionsprozesse ein äußerst dynamisches Umfeld, auf welches Kontroll- und Analyseverfahren adaptiv reagieren müssen.

Grundlage der automatisierten Steuerung von Produktionsprozessen ist eine softwaregestützte *Betriebsdatenerfassung* (BDE). Deren effiziente Umsetzung erfordert neben einer direkten Erfassung von technischen Betriebsdaten wie Maschinen- und Prozessdaten auch den unmittelbaren Zugriff auf organisatorische Betriebsdaten wie Auftrags- und Personaldaten. Diese Betriebsdaten sind oft hochgradig heterogen und fallen in großen Mengen an. Darüber hinaus müssen im Rahmen der BDE Betriebsdaten verschiedener Quellen verarbeitet, mit persistenten Betriebsdaten, welche üblicherweise durch herkömmliche Datenbanksysteme bereitgestellt werden, in Beziehung gesetzt und aussagekräftige *Key Performance Indicators* (KPI) daraus extrahiert werden.

Auf Grundlage der Betriebsdaten und abgeleiteter KPIs verwalten *Enterprise Resource Planning*-Systeme (ERP) die vorhandenen Unternehmensressourcen und verteilen diese möglichst effizient auf die einzelnen Produktionsprozesse. Die Integration eines ERP-Systems erfolgt meist mittels Punkt-zu-Punkt-Verbindungen zwischen dem ERP-System, der BDE und den Echtzeit-Fertigungssystemen. Mit Hilfe von *Manufacturing Execution Systems* (MES) können BDE und Echtzeit-Fertigungssysteme zwar in einem prozessnah operierenden System zusammengeführt werden, jedoch erfolgt deren Anbindung wiederum über Punkt-zu-Punkt-Verbindungen oder spezielle Integrationsplattformen.

Aus dieser Vielzahl an verwendeten Softwaresystemen resultiert eine äußerst heterogene Informationslandschaft. Daher erweist sich das Monitoring und die zeitnahe Analyse der Produktionsprozesse als äußerst schwierig und ist nur über aufwändige Eigenentwicklungen oder spezielle *Enterprise Manufacturing Intelligence*-Systeme (EMI) zu realisieren. EMI-Systeme stellen dabei die unternehmensweite Verfügbarkeit von Betriebsdaten und KPIs sicher. Jedoch unterstützen sie die zeitnahe, dynamische Bestimmung neuer KPIs im besten Fall durch die Bereitstellung einiger statistischer Methoden, sodass für eine flexible *Produktionsplanung und -steuerung* (PPS) zusätzliche Werkzeuge benötigt werden.

Im Folgenden werden die Anforderungen an ein *dynamisches* EMI-System aufgezeigt und dessen Umsetzung mit Hilfe unserer Java-Infrastruktur PIPES vorgestellt.

2 Anforderungen an dynamische EMI-Systeme

Als betriebswirtschaftliche Zielsetzungen der typischen Softwarelandschaft sind u. a. hohe Verfügbarkeit der produktiven Faktoren durch reduzierte Fehl- und Rüstzeiten, höhere Anlagenauslastung und Benchmarking von Produktionsprozessen zu nennen. Jedoch erfordert eine Umsetzung dieser Zielsetzungen eine flexible, transparente und zeitnahe Sicht auf die einzelnen Produktionsprozesse. Voraussetzung hierfür ist die Echtzeitverfügbarkeit der aktuellen Betriebsdaten. Mit Hilfe von aussagekräftigen KPIs, welche im Alarmfall immer weiter verfeinert und präzisiert werden müssen (*Drill-Down*), könnte so ein zeitnahe Prozessmonitoring ermöglicht werden, welches zum Zwecke der PPS auf allen Ebenen eines Produktionsunternehmens verfügbar sein müsste.

Im Zuge der *vertikalen Integration* werden Anknüpfungspunkte zu allen in der Produktion eingesetzten Systemen hergestellt – von der BDE und den Echtzeit-Fertigungssystemen auf der Steuerungsebene bis zum ERP-System auf der Planungsebene. Auf Basis dieser Anknüpfungspunkte wird mit Hilfe von EMI-Systemen eine sog. *vertikale* Ebene errichtet, welche Betriebsdaten und KPIs von der Planung bis zur Produktion bereitstellt. Um ein EMI-System sinnvoll einsetzen zu können, muss dieses vielfältige Anbindungen an betriebliche Anwendungssysteme auf allen Ebenen, z. B. ERP, *Enterprise Application Integration* (EAI) und verschiedene Datenbanksysteme, zur Verfügung stellen. Darüber hinaus erfordert der flexible und zeitnahe Einsatz eines EMI-Systems jedoch noch weitere Fähigkeiten, welche sich unter dem Oberbegriff *Online-Prozessmonitoring und -analyse* zusammenfassen lassen. Als Grundlage hierfür müsste zunächst eine kontinuierliche Auswertung der verfügbaren Betriebsdaten, welche durch Sensoren direkt an den einzelnen

produktiven Faktoren abgegriffen bzw. durch angebundene Softwaresysteme geliefert werden, in das EMI-System integriert werden. Dies ermöglicht erst das zeitnahe Erkennen und Reagieren auf Unregelmäßigkeiten in den zugehörigen Produktionsprozessen. Eine solche kontinuierliche Auswertung müsste ausdrücklich auch die Fusion und Analyse von Betriebsdaten verschiedener Produktionsprozesse mit einschließen. Dies hätte zur Folge, dass die Konsolidierung der Betriebsdaten und die Erzeugung einheitlicher Datensichten komplett im EMI-System ablaufen könnten. Da die kontinuierliche Datenanalyse als Teil des EMI-Systems abliefe, könnte dieses KPIs auf Basis von aggregierten Daten zur Verfügung zu stellen. Diese könnten dann direkt in das Prozessmonitoring einfließen bzw. zur späteren Kontrolle in Datenbanken abgelegt werden. Als Folge dessen ließe sich die Überwachung komplexer Wertschöpfungsketten komplett innerhalb des EMI-Systems realisieren. Zu guter Letzt müsste das System weiterhin die dynamische Definition neuer KPIs, komplexer Alarmsituationen und Business-Rules erlauben, um ein flexibles und auf die jeweiligen Bedürfnisse zugeschnittenes Prozessmonitoring zu ermöglichen.

Ein naheliegender Ansatz für die Umsetzung eines EMI-Systems ist die Verwendung einer Datenbank zur Speicherung und periodischen Abfrage der kompletten Betriebsdaten. Dieser Ansatz offenbart bei näherer Betrachtung jedoch gravierende Mängel. Einerseits kann ein solches System seine Zeitnähe nur durch eine entsprechend hohe Abfrageperiode sicherstellen. Auf der anderen Seite wächst die Datenbank des Systems durch das Speichern unverarbeiteter Betriebsdaten beständig an. Dies führt jedoch zu steigenden Abfragezeiten der Datenbank, wodurch die zeitnahe Bereitstellung von Ergebnissen nicht mehr garantiert werden kann. Diese Probleme lassen sich durch eine kontinuierliche Verarbeitung der Betriebsdaten auf Basis von *Complex Event Processing* (CEP) [Luc02] vermeiden. Hierfür interpretiert man Änderungen in den Betriebsdaten als Events, welche mittels CEP zeitnah verarbeitet werden können. Dies beinhaltet sowohl die zeitnahe Erfassung, Aufbereitung und Analyse von KPIs als auch das kontinuierliche Monitoring von Betriebsdaten und abgeleiteten KPIs. Zum Zwecke der Archivierung können sowohl Betriebsdaten als auch KPIs weiterhin in einer Datenbank gespeichert werden.

Im Folgenden wird die Umsetzung eines dynamischen EMI-Systems auf Basis unserer Java-Infrastruktur PIPES erläutert und anhand einer konkreten Fallstudie illustriert.

3 Umsetzung eines dynamischen EMI-Systems auf Basis von PIPES

PIPES (*Public Infrastructure for Processing and Exploring Streams*) [KS04, KS05] ist unsere Infrastruktur zur flexiblen Verarbeitung von Datenströmen. Unter einem Datenstrom versteht man hierbei eine kontinuierliche Folge von Datensätzen, welche z. B. Sensormesswerte oder Events sein können. PIPES überträgt die klassische, von Datenbanksystemen bekannte Anfrageverarbeitung auf Datenströme. Dies ermöglicht die zeitnahe, kontinuierliche Verarbeitung von Datensätzen direkt bei ihrem Eintreffen, d. h. ohne eine persistente Speicherung. Abbildung 1 skizziert die in PIPES enthaltene Laufzeitumgebung und die Anbindung sogenannter Datenquellen und -senken über entsprechende Konnektoren. Für die Umsetzung eines CEP-basierten EMI-Systems stellt PIPES alle notwendigen Komponenten zur Verfügung.

3.1 Datenerfassung

Die Anbindung an produktive Faktoren und Fremdsysteme findet über spezielle Konnektoren statt. Für die BDE stehen eine Reihe von Konnektoren bereit, welche sowohl kontinuierlich bereitgestellte Betriebsdaten in Form von Datenströmen als auch in herkömmlichen Datenbanken abgelegte Betriebsdaten in der Leitebene zur Verfügung stellen.

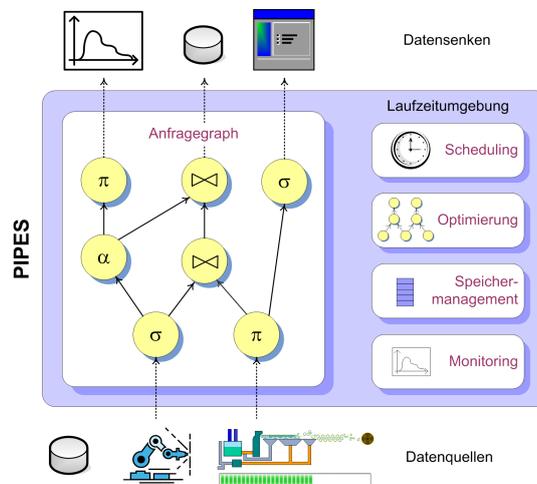


Abbildung 1: Überblick über die Architektur von PIPES

3.2 Datenverarbeitung

Ausgehend von den Konnektoren können nun KPIs, Alarmsituationen und Business-Rules als kontinuierliche Anfragen über Datenströmen formuliert werden. Dazu stehen in PIPES eine Vielzahl an vorgefertigten Datenverarbeitungsoperatoren sowie eine breite Analysefunktionalität zur Verfügung. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht ist hierbei die Online-Aggregation [HHW97] von besonderem Interesse, mit deren Hilfe Datenströme über Aggregate direkt verdichtet werden können. Die zentrale Komponente der kontinuierlichen Anfrageverarbeitung bildet eine adaptive Laufzeitumgebung, welche aufgrund ihrer hochgradigen Skalierbarkeit nicht nur in der Lage ist, eine hohe Zahl an Anfragen gleichzeitig auszuwerten, sondern bei der zur Laufzeit auch dynamisch Anfragen an- und abgemeldet werden können. Weiterhin können mittels kontinuierlicher Anfragen auch verschiedene granulare Sichten auf Produktionsprozesse spezifiziert werden, wodurch z. B. die hierarchische Navigation (*Drill-Down*) in Alarmsituationen ermöglicht wird. Anfragen zur Spezifikation neuer KPIs oder Alarmsituationen können mit Hilfe einer SQL-kompatiblen Syntax oder grafischen Benutzeroberflächen ohne weitere Programmierkenntnis zur Laufzeit erstellt werden. Dies bietet einen großen Vorteil gegenüber herkömmlichen EMI-Systemen, in denen zeitnah arbeitende Eigenentwicklungen ausgiebige Test- und Debuggingphasen erfordern und oftmals nicht zur Laufzeit integriert (*Hot Plugging*) werden können.

3.3 Datenaufbereitung

Anfrageergebnisse lassen sich wiederum über Konnektoren an Fremdsysteme, z. B. ERP-Systeme, weiterleiten, in verdichteter Form in Datenbanken ablegen oder mittels EMI-Werkzeugen wie beispielsweise Dashboards innerhalb der Leit- und Planungsebene wieder zur Verfügung stellen.

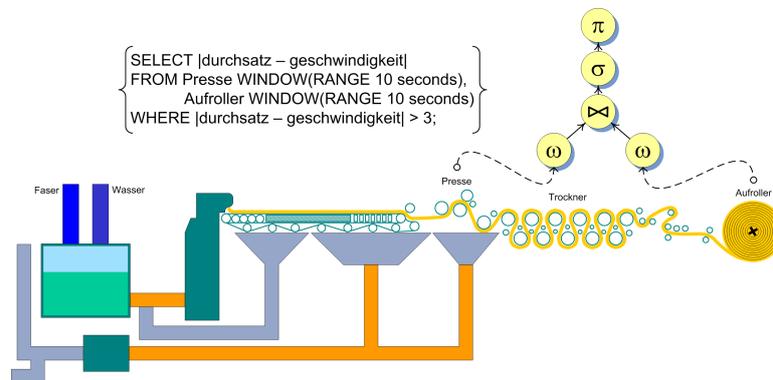


Abbildung 2: Kopplung zwischen PIPES und i-Plant

Der modulare Aufbau von PIPES erlaubt eine flexible Adaption der einzelnen Komponenten an unterschiedlichste Anwendungsszenarien. Indem man weitere Konnektoren zum Zwecke der Anbindung von Produktionshardware und -software entwickelt, Verarbeitungslogik über entsprechende Anfragen abbildet und geeignete Mechanismen zur Aufbereitung von Anfrageergebnissen entwirft, kann man PIPES hervorragend zur Umsetzung der vertikalen Integration innerhalb eines Unternehmens einsetzen.

In [CHK⁺06] wurde bereits die Eignung von PIPES für den Einsatz in der Fabrikautomation gezeigt. Hierfür wurde PIPES mit der industriellen *Production-to-Business*-Software (P2B) i-Plant [Lan03] gekoppelt. i-Plant stellt ein spezielles EMI-System dar, über das Echtzeit-Fertigungssysteme, Datenbanksysteme und betriebswirtschaftliche Systeme miteinander kommunizieren können. Hierfür bietet i-Plant eine Reihe von Konnektoren zu einer Vielzahl von im Produktionsumfeld eingesetzten Systemen, z. B. Siemens SIMATIC S7, an. Zusätzlich ermöglicht i-Plant die browserbasierte Visualisierung von Betriebsdaten und KPIs. Die Kopplung zwischen i-Plant und PIPES erfolgt über ein Konnektorenpaar, mit dessen Hilfe einerseits in i-Plant registrierte Datenquellen in PIPES zur Verfügung gestellt und andererseits mit Hilfe von PIPES erzeugte Anfragen wiederum als Datenquellen in i-Plant registriert werden können. Die Komposition beider Systeme schafft ein neues, dynamisches EMI-System, welches die vielseitigen Anbindungsmöglichkeiten und die EMI-Fähigkeiten i-Plants mit der flexiblen und kontinuierlichen Anfrageverarbeitung von PIPES kombiniert.

Abbildung 2 zeigt ein typisches Anwendungsszenario dieses EMI-System. Auf Basis der Visualisierung einer Papiermaschine, welche in i-Plant erfolgt und Auskunft über den aktuellen Zustand des zugehörigen Produktionsprozesses gibt, können mit Hilfe von PIPES dynamisch und ohne weitere Programmierkenntnisse neue Alarmsituationen definiert und in i-Plant integriert werden. Im Beispiel wird mittels einer in SQL-kompatibler Syntax formulierten Anfrage eine entsprechende Alarmsituation modelliert. Konkret wird immer dann ein Alarm ausgelöst, wenn der Durchsatz der Presse und die Geschwindigkeit des Aufrollers innerhalb der letzten 10 Sekunden um mehr als 3 m/min voneinander abweichen.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieses Berichts wurde gezeigt, wie aktuelle Forschungsergebnisse der kontinuierlichen Datenverarbeitung in modernen Produktionsunternehmen eingesetzt werden können. Die Integration kontinuierlicher Datenverarbeitung ins Produktionsumfeld ermöglicht nicht nur die effiziente und zeitnahe Verarbeitung großer Datenmengen, sondern reduziert auch die Reaktionszeit auf außergewöhnliche Ereignisse drastisch. Neben einer detaillierten Diskussion dieser Integration auf Basis der Bibliothek PIPES wurden die konkrete Kopplung von PIPES mit der P2B-Software i-Plant und die daraus resultierenden Synergieeffekte diskutiert.

Neben der Ausweitung des Einsatzes von PIPES auf weitere Szenarien im Produktionsumfeld ist die Spezifikation einer breiten Auswahl typischer, wiederverwendbarer Datenverarbeitungsoperatoren für Produktionsunternehmen, welche mittels geringfügiger Konfiguration zusammengefügt und direkt eingesetzt werden können, das Ziel zukünftiger Arbeiten. Da die Anwendung von PIPES nicht auf das Produktionsumfeld beschränkt ist, ist die Erschließung weiterer Anwendungsfelder – wie z. B. in der Intensivmedizin bereits geschehen – ein zukünftiges Arbeitsgebiet.

Literatur

- [CHK⁺06] Michael Cammert, Christoph Heinz, Jürgen Krämer, Tobias Riemenschneider, Maxim Schwarzkopf, Bernhard Seeger und Alexander Zeiss. Stream Processing in Production-to-Business Software. In *Proceedings of the International Conference on Data Engineering*, Seite 168. IEEE Computer Society, 2006.
- [HHW97] Joseph M. Hellerstein, Peter J. Haas und Helen J. Wang. Online Aggregation. In *Proceedings of the ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, Seiten 171–182. ACM Press, 1997.
- [KS04] Jürgen Krämer und Bernhard Seeger. PIPES – A Public Infrastructure for Processing and Exploring Streams. In *Proceedings of the ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, Seiten 925–926. ACM Press, 2004.
- [KS05] Jürgen Krämer und Bernhard Seeger. A Temporal Foundation for Continuous Queries over Data Streams. In *Proceedings of the International Conference on Management of Data*, Seiten 70–82. Computer Society of India, 2005.
- [Lan03] Langner Communications AG. Executive Briefing on i-Plant. Whitepaper online verfügbar unter http://www.factoryxml.com/pdfs/executivebriefing_e.pdf, 2003.
- [Luc02] David Luckham. *The Power of Events: An Introduction to Complex Event Processing in Distributed Enterprise Systems*. Addison Wesley Professional, 2002.