

Diplomarbeit

Abstraktion verteilter Produktions- maschinen in cyber-physischen Pro- duktionssystemen

10. September 2016

Peter Heisig

Matr.-Nr.: 3521226

Betreuer

Dipl.-Medieninf. Gordon Lemme

Verantwortl. Hochschullehrer

Prof. Dr. Uwe Aßmann

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit mit dem Titel

Abstraktion verteilter Produktionsmaschinen in cyber-physischen Produktionssystemen

unter Angabe aller Zitate und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel selbstständig angefertigt habe.

Dresden, den 10. September 2016

Peter Heisig

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Zielsetzung	2
1.3	Rahmen dieser Arbeit	2
1.4	Methode und Aufbau	2
2	Grundlagen	3
2.1	Cyber-physische Produktionssysteme	3
2.2	Informationsmodelle	3
2.2.1	OPC Unified Architecture	3
2.2.2	MTCConnect	4
2.3	Zusammenfassung	4
3	Forschungsstand	5
3.1	Remote real-time CNC machining for web-based manufacturing [Wan+04]	5
3.2	Legacy Machine Monitoring Using Power Signal Analysis [DP11]	6
3.3	Prototype OPC UA Server for Remote Control of Machine Tools [Aya+13]	7
3.4	Multi Agent based Control Architectures [Fal16]	7
3.5	Zusammenfassung	7
4	Konzeption	9
4.1	Zusammenfassung	9
5	Implementation	11
5.1	Zusammenfassung	11
6	Evaluation	13
6.1	Zusammenfassung	13
7	Zusammenfassung	i
7.1	Schlussfolgerung	i

7.2 Ausblick	i
A Anhang	i
Abbildungen	iii
Programmcode	v
Tabellen	vii
Literatur	ix

1 Einleitung

1.1 Motivation

Durch sinkende Losgrößen und steigende Produktvariabilität sind Echtzeitüberwachung und -kontrolle in verteilten, rekonfigurierbaren Fertigungssystemen notwendig [Wan+04].

Die Infrastruktur für eine Verbindung zwischen automatisiertem Equipment und E-Manufacturing fehlt [Wan+04].

Heutige Produktionseinrichtungen beherbergen Maschinen jeden Alters, die zu einem gemeinsamen System verwachsen müssen. Gerade ältere Modelle (Altmaschinen) besitzen häufig keine Möglichkeit der Integration in die IT-Systeme einer modernen Fertigungsstrecke. So sind geschlossene Architekturen und fehlende Schnittstellen verantwortlich für eingeschränkte Überwachung und Steuerung, respektive für die Verhinderung von ökonomisch sinnvoller Automation [DP11].

Bisher basierten Produktionseinrichtungen auf dem manuellen Sammeln und Verteilen von Daten für Überwachung, Steuerung und Wartung der Maschinen. Doch gegenüber den hohen Kosten, menschlichen Fehlern, dem teilweise schlechten Zugang zur Maschine und Aspekten der Datensicherheit, sind Automatisierungslösungen heute günstig und damit Teil der Fertigungsindustrie [DP11].

Durch steigende Rechenleistung sind ARM-Prozessoren auf Einplatinencomputern in der Lage Mehrachsmaschinen zu kontrollieren [GM16].

1.2 Zielsetzung

1.3 Rahmen dieser Arbeit

- nur Fertigungsindustrie
- nur CNC-Maschinen

1.4 Methode und Aufbau

2 Grundlagen

Als Teil des Fertigungsprozesses besitzt eine Altmaschine keine Möglichkeit externer Kommunikation und kein *Application Programming Interface* (API) [DP11].

Value-Stream Mapping (VSM) ist eine Methode der *Lean Production*, mit der ein vollständiger Material- und Informationsfluss vom Zulieferer zum Endkunden abgebildet werden kann. Damit bietet VSM ein Maß tatsächlich benötigter Produktions- und Durchlaufzeit eines Produkts [MFT09].

G-code is considered a „dumb“ language as it only documents instructional and procedural data, leaving most of the design information behind. G-code programs are also hardware dependent, denying modern CNC machine tools desired interoperability and portability [XLY06].

In einer *Flexible Manufacturing Cell* (FMC) befinden sich zwei oder mehr CNC-Maschinen, die im Verbund ein *Flexible Manufacturing System* (FMS) bilden [Gro08].

2.1 Cyber-physische Produktionssysteme

2.2 Informationsmodelle

Hersteller von Software für *Supervisory Control and Data Aquisition* (SCADA) verwalten eine große Anzahl an Kommunikationstreibern für unterschiedliche Automations- und Informationssysteme. Außerdem erschweren verschiedene Kommunikationsprotokolle und Nachrichtenformate die Integration zusätzlicher Systeme [Aya+13].

2.2.1 OPC Unified Architecture

Die *OPC Unified Architecture* (OPC UA) ist ein semantischer Kommunikations- und Datenmodellierungsstandard für den Informationsaustausch via TCP/IP [Aya+13].

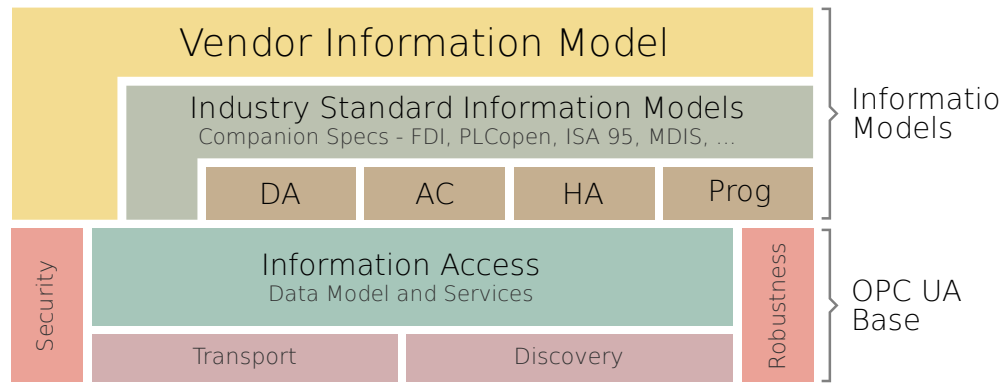


Abbildung 2.1: OPC UA Übersicht

Hoppe 2014 [Hop14]

Obwohl bereits verschiedene wichtige Informationsmodelle, wie OPC-UA for Analyser Devices, FDI (Field Device Integration), ISA95, MT-Connect, BACnet und PLCopen existieren, oder in der Entstehung sind, gibt es hier noch Handlungsbedarf:

- Wie geben sich z. B. ein „Temperatursensor“ oder eine „Ventilsteuerung“ zu erkennen?
- Welche Objekte, Methoden, Variablen und Ereignisse definieren die

Schnittstelle für Konfiguration, Initialisierung, Diagnose und Laufzeit? OPC-UA hat das Potential, sich als De-facto-Standard für den Daten- und Informationsaustausch in der Automatisierungspyramide für nicht-echtzeitkritische Anwendungen zu etablieren. Eine sichere, horizontale und vertikale Kommunikation vom Sensor bis in die IT-Systeme ist damit bereits heute umsetzbar. Die Verbände BITCOM, VDMA und ZVEI werden durch die Industrie-4.0-Arbeitskreise keinen neuen Kommunikationsstandard definieren können; die Arbeitskreise bieten aber eine gute Grundlage zum Informationsaustausch.

2.2.2 MTConnect

2.3 Zusammenfassung

3 Forschungsstand

3.1 Remote real-time CNC machining for web-based manufacturing [Wan+04]

Purpose Das Ziel von Wang et al. war die Entwicklung einer offenen Architektur für die Echtzeitüberwachung und -kontrolle von im Netzwerk befindlichen CNC-Maschinen.

Design/Methodology/Approach Ein Web-basierter Thin-Client des *Wise-ShopFloor* ermöglicht die Kontrolle und Überwachung der Maschinen über ein dreidimensionales Modell der Fertigungsstrecke. Das darunterliegende Framework basiert auf einer Client/Server-Architekturstil und verwendet seitens des Servers das MVC-Entwurfsmuster. Maschinen werden über das Fabriknetzwerk mit dem Server verbunden und sind somit vom Internet getrennt. Bei der Verwendung mehrerer Clients wird für das Routing ein Publish/Subscribe Mechanismus über HTTP-Streaming eingesetzt. Mit Hilfe dessen wird das Verhalten des auf Java 3D basierenden Visualisierungsmodells durch Sensorik an den Maschinen beeinflusst. In der von Wang et al. durchgeführten Case Study wurde unter Verwendung einer CNC-Fräsmaschine die Tauglichkeit des Konzepts verifiziert. Die Schnittstelle zwischen Server und Maschine wurde durch einen *Open Architecture Controller*¹ bereitgestellt. Für die Kontrolle der Fräse kann zwischen einem manuellen und einem automatischen Modus gewählt werden, wobei letzterer die direkte Übertragung von G-Code ermöglicht.

Findings Das Internet ist ein zentraler Aspekt verteilter Produktion. Jedoch sind damit Sicherheitslücken fatal für interne Daten und vertrauliche Informationen der Organisation. Die gezielte Verbreitung dieser stellt ein erhöhtes wirtschaftliches Risiko dar und muss in besonderem Maße geschützt werden. Weiterhin sind Systemfehler auf Maschinenebene im Bezug auf Personen- und Materialschäden untragbar. Daher muss die reibungslose Kommunikation von Steuerungsbefehlen zu jeder Zeit gewährleistet sein.

¹Steuerungskomponente, die Modifikationen über das API hinaus zulässt [Yon04]

Research Limitations/Implications Standards für die Kommunikation von Sensor- und Steuerungsinformationen sind notwendig um Effizienz und Integration der Systeme zu vereinfachen. So müssen globale Schnittstellen definiert und durch die Komponenten des Systems implementiert werden. Durch die Verwendung eines zuverlässigen NC-Befehlsinterpreters ist die verteilte Echtzeitsteuerung von CNC-Maschinen nach Wang et al. praktisch möglich. Jedoch setzt dieses System eine bestehende Anbindung an die Steuerungsebene voraus.

Practical Implications Die direkte Verbindung des Clients zu einer Maschine ist mit der verwendeten Technologie nicht möglich. Sowohl die Java Sicherheitsinfrastruktur, als auch die Überwindung von Firewalls stellen zukünftig zu lösende Probleme dar. Für künftige Maschinen ist daher das Einbetten eines dedizierten Web-Services in die Kontrolleinheit notwendig.

Originality/Value Ein wichtiger Aspekt des Konzepts von Wang et al. ist die technische Umsetzung auf der Java-Plattform. Mit dieser werden Sicherheitsinfrastrukturmerkmale wie byte-code-Verifikation und Rechtemanagement direkt unterstützt. Die Indirektion des Kontrollflusses über den Server der Architektur zu den Maschinen verhilft zur Einhaltung.

3.2 Legacy Machine Monitoring Using Power Signal Analysis [DP11]

Purpose Ziel von Deshpande et al. war eine nicht-invasive Methode der Echtzeitüberwachung von Energieverbrauch und weiteren Parametern bei Legacy-Maschinen.

Design/Methodology/Approach Durch das Abgreifen des Stromverbrauchs über eine *Universal Power Cell* (UPC), dem Sensor an der Maschine, können Informationen via TCP und UDP an eine externe Komponente übergeben und ausgewertet werden. Die in Kilowatt eingehenden Verbrauchsdaten wurden durch an Bedingungen gekoppelte Schwellwerte in Status (an, aus, Leerlauf), Energieverbrauch, Werkzeugwechsel und Werkstückdurchsatz unterschieden. Für die Case Study und einen anschließenden Vergleich hatten Deshpande et al. auch moderne Maschinen mit der UPC ausgestattet. Verglichen wurde die zeitabhängige Auslastung von drei unterschiedlichen Modellen.

Findings Mit einer Genauigkeit von 95% für den Status und 99% für Werkzeugwechsel und Durchsatz wurde das Konzept erfolgreich getestet.

Research Limitations/Implications Das Konzept nutzt ausschließlich den Eingangsstrom der Maschine, wodurch Genauigkeit und Umfang der Daten begrenzt werden.

Practical Implications Für den Einsatz in einer realen Produktionsumgebung feh-

len UI und API. Anforderungen an die Energieversorgung, sowie der Verbrauch von Teilsystemen der Produktionskette werden messbar. Die periodische Planung der Wartung kann aufgrund tatsächlicher Nutzung und Auslastung geschehen. Außerdem werden Prinzipien wie VSM echtzeitfähig und ermöglichen eine höhere Produktivität.

Originality/Value Die minimal-invasive Methode ist unabhängig von Hard- Software und erlaubt die autonome Aggregation von Informationen unzugänglicher Altmaschinen.

3.3 Prototype OPC UA Server for Remote Control of Machine Tools [Aya+13]

Purpose In der Arbeit von Ayatollahi et al. wird das Design eines OPC UA Servers vorgestellt. Mit diesem wird auf Basis des Standards die Steuerung von CNC-Maschinen ermöglicht.

Design/Methodology/Approach TODO

Findings TODO

Research Limitations/Implications TODO

Practical Implications TODO

Originality/Value TODO

3.4 Multi Agent based Control Architectures [Fal16]

Purpose TODO

Design/Methodology/Approach TODO

Findings TODO

Research Limitations/Implications TODO

Practical Implications TODO

Originality/Value TODO

3.5 Zusammenfassung

4 Konzeption

4.1 Zusammenfassung

5 Implementation

5.1 Zusammenfassung

6 Evaluation

6.1 Zusammenfassung

7 Zusammenfassung

7.1 Schlussfolgerung

7.2 Ausblick

A Anhang

Abbildungen

2.1	OPC UA Übersicht	4
-----	----------------------------	---

Programmcode

Tabellen

Literatur

- [Aya+13] I Ayatollahi, B Kittl, F Pauker u. a. „Prototype OPC UA Server for Remote Control of Machine Tools“. In: *International Conference on Innovative Technologies*. Band 1009. 12. 2013, Seiten 73–76 (siehe Seiten 3, 7).
- [DP11] Amit Deshpande und Ron Pieper. „Legacy Machine Monitoring Using Power Signal Analysis“. In: *ASME 2011 International Manufacturing Science and Engineering Conference, Volume 2*. ASME, 2011, Seiten 207–214. DOI: 10.1115/MSEC2011-50019 (siehe Seiten 1, 3, 6).
- [Fal16] Solmaz Mansour Fallah. „Multi Agent based Control Architectures“. In: *26th DAAAM International Symposium on intelligent Manufacturing and Automation* (2016), Seiten 1166–1170. DOI: 10.2507/26th.daaam.proceedings.164 (siehe Seite 7).
- [GM16] Sergej N. Grigoriev und Georgi M. Martinov. „An ARM-based Multi-channel CNC Solution for Multi-tasking Turning and Milling Machines“. In: *Procedia CIRP* 46 (2016), Seiten 525–528. ISSN: 22128271. DOI: 10.1016/j.procir.2016.04.036 (siehe Seite 1).
- [Gro08] Mikell P. Groover. *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing*. Prentice Hall, 2008, Seite 815. ISBN: 0132393212 (siehe Seite 3).
- [Hop14] Stefan Hoppe. „Standardisierte horizontale und vertikale Kommunikation: Status und Ausblick“. In: *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014, Seiten 325–341. DOI: 10.1007/978-3-658-04682-8_16 (siehe Seite 4).
- [MFT09] Heiko Meyer, Franz Fuchs und Klaus Thiel. *Manufacturing Execution Systems - Optimal Design, Planning, and Deployment*. Band 53. 9. 2009. ISBN: 9780071623834 (siehe Seite 3).
- [Wan+04] Lihui Wang, Peter Orban, Andrew Cunningham u. a. „Remote real-time CNC machining for web-based manufacturing“. In: *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 20.6 (2004), Seiten 563–571. DOI: 10.1016/j.rcim.2004.07.007 (siehe Seiten 1, 5).

- [XLY06] X.W. Xu, Lihui Lihui Wang und Yiming Yiming Rong. „STEP-NC and function blocks for interoperable manufacturing“. In: *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering* 3.3 (Juli 2006), Seiten 297–308. DOI: 10.1109/TASE.2005.862147 (siehe Seite 3).
- [Yon04] Chi Yonglin. „An evaluation space for open architecture controllers“. In: *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 26.4 (2004), Seiten 351–358. DOI: 10.1007/S00170-004-2111-X (siehe Seite 5).