

Flexible Netzwerkarchitekturen für das Internet of Production

Martin Henze · René Glebke · Klaus Wehrle

Zusammenfassung Dem Internet of Production liegt die Vision zugrunde, die großen Mengen an Daten, die in der Produktionstechnik vorhanden sind, einfach zugänglich, interpretierbar und vernetzbar zu machen, so dass daraus wertvolles Wissen abgeleitet werden kann. Hierbei können Edge Cloud Services einen wichtigen Beitrag leisten, um die zu kommunizierenden Datenmengen beherrschbar und die echtzeitfähige Steuerung von Produktionsprozessen möglich zu machen.

1 Einleitung

Konzepte wie das Industrielle Internet der Dinge und Industrie 4.0 haben die Erfassung und Verarbeitung von Produktionsdaten zur Automatisierung von Produktionsprozessen sowie die Entwicklung und den Einsatz autonomer Kontrollmechanismen zur Verbesserung der Systemsicherheit und Zuverlässigkeit zum Ziel [1]. Die bisher vorgeschlagenen Konzepte zielen jedoch hauptsächlich auf spezifische lokal begrenzte Verbesserungen in isolierten Bereichen. Im Gegenzug verfolgt das Internet of Production [2] das Ziel eine domänen- und unternehmensübergreifende Zusammenarbeit zu ermöglichen, indem Daten aus Produktion, Entwicklung und Nutzung interessierten Parteien in Echtzeit, einer angemessenen Granularität und potenziell in globalem Maßstab zur Verfügung gestellt werden. Dazu soll die Isolierung von Daten, die von Produktionsmaschinen erzeugt werden, überwunden sowie Maschinen und Pro-

Dieser Artikel erschien ursprünglich in den ITG-news 02/2019, Seiten 7-8, herausgegeben von der Informationstechnischen Gesellschaft im VDE (ITG).

Lehrstuhl für Informatik 4 (Kommunikation und verteilte Systeme) · RWTH Aachen
Ahornstr. 55 · 52074 Aachen
E-Mail: {henze, glebke, wehrle}@comsys.rwth-aachen.de

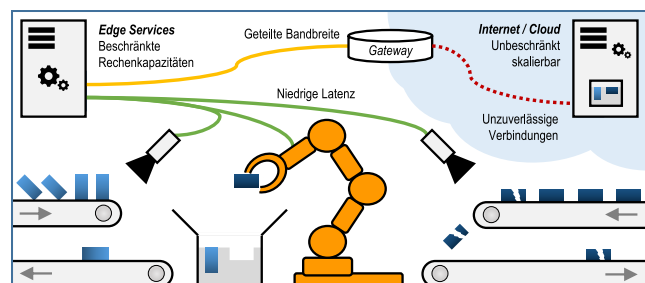


Abb. 1 In künftigen Produktionszenarien werden niedrige Latenz- und hohe Zuverlässigkeitsanforderungen der Maschinensteuerung und -überwachung mit den quasi unbegrenzten, aber nicht zuverlässig erreichbaren Rechen- und Speicherressourcen der Cloud konkurrieren.

duktionsstätten auf der ganzen Welt in die Lage versetzt werden, Informationen über eine einzige globale Infrastruktur miteinander auszutauschen.

2 Kommunikation im Internet of Production

Die präzise und funktional sichere Steuerung von Produktionsmaschinen erfordert eine höchst zuverlässige und latenzarme Kommunikation zwischen den beteiligten Geräten (Sensoren, Steuerungsgeräte, Aktoren). Zum Erlernen und stetigen Verbessern digitaler Modelle von Produkten und deren Produktionsprozessen wird jedoch die Datenmenge, welche nicht nur zwischen verschiedenen Teilen einer Produktionslinie, sondern auch zwischen Linien und den jeweiligen Steuerungseinheiten und weiteren übergeordneten Systemen ausgetauscht wird, in Bezug auf Frequenz, Anzahl und Größe stark ansteigen müssen. In diesem Spannungsfeld werden traditionelle Fabriksteuerungsarchitekturen und -netzwerke jedoch an ihre Skalierbarkeitsgrenzen stoßen, wie in Abbildung 1 dargestellt: Während hohe Datenmengen und Modellkomplexitäten eine zentralisierte Verarbeitung auf

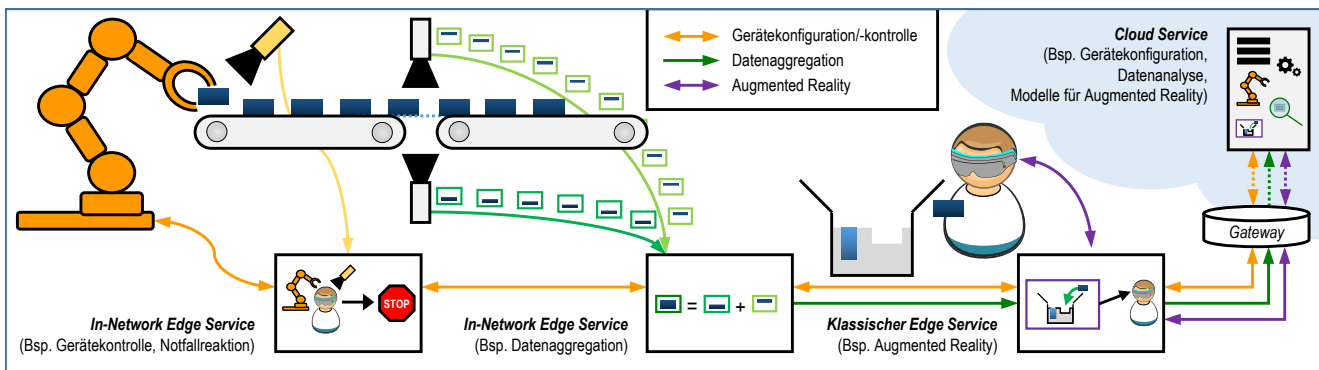


Abb. 2 Edge Services in der Produktion treten in zwei Varianten auf: In-Network Services auf Routern, Switches und einfachen Endgeräten für einfache und sicherheitskritische Aufgaben (links, mittig), sowie Services mit hohen Rechenkapazitätsanforderungen auf Edge Clustern (Mitte rechts). Entfernte Cloud Services führen Datenanalysen durch und konfigurieren die Edge Services.

(Netzwerken von) speicherprogrammierbaren Steuerungen erschweren und daher an Cloudservices im Internet ausgelagert werden müssen, ist eine Kontrolle der Maschinerie über das Internet aufgrund der Unzuverlässigkeit der Verbindung (Paketverluste, Jitter) nicht möglich. Um das Internet of Production verwirklichen zu können, müssen daher neue, flexiblere Architekturen, die eine horizontale Skalierung und damit eine Verteilung der Verarbeitungslast im Netzwerk selbst ermöglichen, entwickelt werden.

3 Vorteile von Edge Services

Um sowohl den Latenzanforderungen als auch den stark steigenden Datenmengen Herr zu werden, erlauben es Edge Cloud Services, Datenverarbeitung und Kontrolle wesentlich näher an die Produktionslinie zu bringen, als dies bei traditionellen Cloud-basierten Diensten möglich ist. Dabei lassen sich wie in Abbildung 2 dargestellt zwei Arten von Edge Cloud Services unterscheiden: (i) In-Network Edge Services, welche leichtgewichtige Aufgaben wie Datenvorverarbeitung und kleinere Steuerungsroutinen direkt im Kommunikationsnetzwerk durchführen können, sowie (ii) klassische Edge Services für speicher- und rechenintensivere Aufgaben.

4 In-Network Edge Services

Um In-Network Edge Services zu realisieren, ermöglicht Software-defined Networking mit OpenFlow [3] und P4 [4] als prominenten Protokollen und Programmiersprachen, Verarbeitungsregeln mit niedriger Latenz direkt auf Netzwerkgeräte wie Router und Switches zu übertragen, um z.B. eine Vorfilterung von Sensordaten oder Weiterleitungsrichtlinien effizient umzusetzen. Netzwerkgeräte, die ursprünglich nicht für die Ausführung komplexer Algorithmen entwickelt wurden, sind jedoch in

ihrer Rechenleistung begrenzt, was die Regeln, die auf ihnen ausgeführt werden können, stark beschränkt. Erste Ansätze, Software-defined Networking mit ausdrucksstärkeren Sprachen wie eBPF zu kombinieren, zeigen jedoch großes Potential zur Ausführung von rudimentären Kontrollalgorithmen direkt auf Netzwerkgeräten [5]. Somit bieten In-Network Edge Services eine effiziente Möglichkeit, um leichtgewichtige Kontroll-, Sicherheits- und weitere Funktionalitäten effizient und so nah wie möglich an der Produktionslinie zu realisieren.

5 Klassische Edge Services

Für Fälle, in denen die Fähigkeiten von Netzwerkgeräten nicht ausreichen, können klassische Edge Services, d.h. das Auslagern von Funktionalitäten an leistungsfähigere Maschinen in der Nähe der kontrollierten Prozesse, eingesetzt werden [6]. Während Edge-Geräte zwar über viel Speicherplatz und Rechenkapazitäten verfügen, sind sie jedoch oft mit Standard-Betriebssystemen ausgestattet, deren komplexe Netzwerkstacks schlecht für die Verarbeitung großer Datenströme und Niedriglatenzanforderungen geeignet sind. Lösungen, die darauf abzielen, entweder die Stacks zu umgehen [7] oder die Anwendungslogik teilweise in den Betriebssystemkern auszulagern [8], können eingesetzt werden, um diese Verzögerungen zu verringern.

6 Herausforderungen

Edge Cloud Services können einen wichtigen Beitrag leisten, um die im Rahmen des Internet of Production auftretenden Datenmengen beherrschbar zu machen und Latenzanforderungen zu erfüllen. Eine wesentliche Herausforderung dieses neuen Ansatzes zur Verarbeitung von Daten und Steuerung von Prozessen im Produktionsumfeld liegt im Zusammenspiel der zwei ver-

schiedenen Arten von Edge Cloud Services die zum Einsatz kommen können. Da klassische Edge Services weiter von den kontrollierten Prozessen entfernt sind als In-Network Edge Services, können klassische Edge Services höchstwahrscheinlich nicht für Prozesse wie die Steuerung von Produktionsmaschinen verwendet werden, die häufig Latenzen unter 1 ms erfordern [9]. Daher ist eine große offene Forschungsfrage, wie ein präzises Zusammenspiel zwischen ressourcenstarken klassischen Edge Services mit mittlerer Latenz und ressourcenschwachen In-Network Edge Services mit niedriger Latenz realisiert werden kann. Darüber hinaus ergeben sich Fragen in Hinblick auf IT-Sicherheit und Geschäftsgeheimnisse, wenn zum einem Kontrolllogik eines Drittanbieters in das eigene, gesicherte Produktionsnetzwerk eingespeist wird und zum anderen Edge Services über Firmengrenzen hinweg vertrauliche Daten austauschen müssen.

Danksagung Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Unterstützung im Rahmen des Exzellenzclusters "Internet of Production" (Projektnummer 390621612) und des Schwerpunktprogramms 1914 ("Cyber-Physical Networking").

Referenzen

- [1] R. Glebke, M. Henze, K. Wehrle, P. Niemietz, D. Trauth, P. Mattfeld, and T. Bergs, "A Case for Integrated Data Processing in Large-Scale Cyber-Physical Systems," in *HICSS*, 2019.
- [2] "Internet of Production," 2019. [Online]. Available: <http://www.iop.rwth-aachen.de>
- [3] N. McKeown, T. Anderson, H. Balakrishnan, G. Parulkar, L. Peterson, J. Rexford, S. Shenker, and J. Turner, "OpenFlow: Enabling Innovation in Campus Networks," *ACM SIGCOMM CCR*, vol. 38, no. 2, 2008.
- [4] P. Bosshart, D. Daly, G. Gibb, M. Izzard, N. McKeown, J. Rexford, C. Schlesinger, D. Talayco, A. Vahdat, G. Varghese, and D. Walker, "P4: Programming Protocol-Independent Packet Processors," *ACM SIGCOMM CCR*, vol. 44, no. 3, 2014.
- [5] J. RÜth, R. Glebke, K. Wehrle, V. Causevic, and S. Hirche, "Towards In-Network Industrial Feedback Control," in *ACM SIGCOMM NetCompute*, 2018.
- [6] W. Shi, J. Cao, Q. Zhang, Y. Li, and L. Xu, "Edge Computing: Vision and Challenges," *Internet of Things Journal*, vol. 3, no. 5, 2016.
- [7] L. Rizzo, "Netmap: A Novel Framework for Fast Packet I/O," in *USENIX ATC*, 2012.
- [8] F. Schmidt, O. Hohlfeld, R. Glebke, and K. Wehrle, "Santa: Faster Packet Delivery for Commonly Wished Replies," in *ACM SIGCOMM Poster*, 2015.
- [9] A. Frotzcher, U. Wetzker, M. Bauer, M. Rentschler, M. Beyer, S. Elspass, and H. Klessig, "Requirements and current solutions of wireless communication in industrial automation," in *IEEE ICC*, 2014.