

SOA-Einsatz für Monitoring und Control in der Automatisierungstechnik

Armando Walter Colombo*, Stamatis Karnouskos**, Thomas Bangemann***

HS Emden-Leer / Schneider Electric Automation
Constantiaplatz 4, D-26723 Emden
Steinheimer Str. 117, D-63500 Seligenstadt
awcolombo@et-inf.fho-emden.de; armando.colombo@schneider-
electric.com

**SAP Research
Vincenz-Priessnitz-Str 1
D-76131, Karlsruhe
stamatis.karnouskos@sap.com

***ifak Institut für Automation und Kommunikation e.V. Magdeburg
Werner-Heisenberg-Str. 1
39106 Magdeburg
thomas.bangemann@ifak.eu

Abstract: Die Steuerung von Produktionsprozessen ist heute sowohl aus informationstechnischer als auch aus organisatorischer Sicht hierarchisch strukturiert. Einhergehend mit dieser strukturellen Entwicklung sind diverse, auf die unterschiedlichen Belange zugeschnittene und zum Teil inkompatible Kommunikations- und IT-Infrastrukturen entstanden. Um diese Situation zu überwinden, werden auf MES- und ERP-Ebene Integrationstechnologien eingesetzt, zu denen auch der Einsatz Service-orientierter Architekturen zählt.

In den unterschiedlichen IT- und AT-Ebenen eines Unternehmens sind verschiedene Modelle, Syntax und Semantik von Daten, eingesetzte Kommunikationssysteme

und damit verbundene Netzwerkübergänge zu finden. Können Service-orientierte Architekturen dazu beitragen, diese Inkonsistenzen zu überwinden?

Im Beitrag werden Ergebnisse des Projektes „SOCRADES – Service-Oriented Cross-layer inFRAstructure for Distributed smart Embedded devices“ sowie grundlegende Ansätze des aktuell laufenden Projektes „IMC-AESOP Architecture for Service-Oriented Process – Monitoring and Control“ vorgestellt. Während in SOCRADES der Einsatz Service-orientierter Architekturen in der Fertigungstechnik im Vordergrund stand, widmet sich IMC-AESOP den Themen Monitoring und Control in der Verfahrenstechnik.

1 Ausgangssituation

Sowohl fertigungstechnische als auch Prozess-orientierte Produktionsanlagen stellen sich heute als komplexe, oftmals interdisziplinäre, vernetzte, heterogene Systeme dar, die in der Regel sowohl aus informationstechnischer als auch aus organisatorischer Sicht hierarchisch strukturiert sind. In ihrer Gesamtheit stellen sie komplexe Systeme, bestehend aus Komponenten mit sehr unterschiedlicher Komplexität und „Intelligenz“ – angefangen von einfachsten Sensoren, die lediglich ein Einheitssignal liefern, bis hin zu relativ autonom funktionierenden Einheiten (z. B. Package Unit), die mit anderen Komponenten (z. B. SCADA – Supervisory Data Acquisition and Control, Leitsystemen oder Steuerungen) interagieren – dar. Die daraus resultierenden komplexen Systeme sind in der Lage, Aufgabenstellungen zu adressieren, die mit entkoppelten Komponenten nicht in automatisierter Form, der notwendigen Effizienz oder bei geforderten Sicherheitsstandards realisierbar wären. Abbildung 1 zeigt beispielhaft die Komplexität der AT- und IT-Architektur zur Steuerung einer verfahrenstechnischen Produktionsanlage.

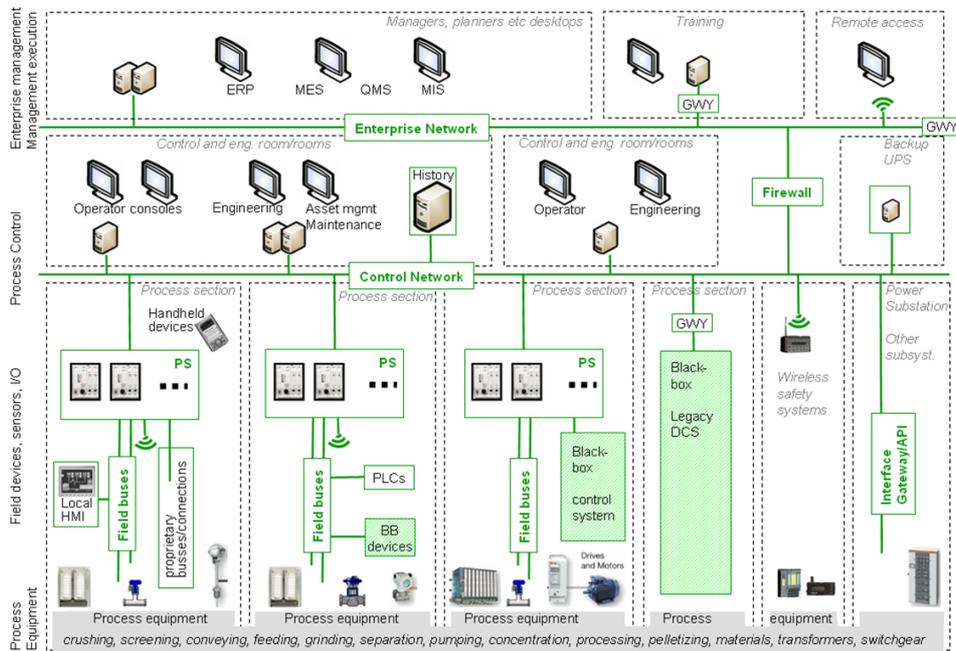


Abbildung 1: AT- und IT-Architektur einer Produktionsanlage [KC10]

Die Komplexität wird weiterhin dadurch erhöht, dass sich für die unterschiedlichen Lebenszyklusphasen diverse Struktureinheiten mit entsprechenden Verantwortlichkeiten etabliert haben. Einhergehend mit der strukturellen Entwicklung eines Unternehmens sind oftmals diverse, auf die unterschiedlichen Belange zugeschnittene und zum Teil inkompatible IT-Infrastrukturen entstanden. Als Konsequenz dieses Entwicklungsprozesses sowie wechselnder Anforderungen an die IT (Informationstechnik) und AT (Automatisierungstechnik) haben sich z. B. unterschiedliche Modelle, Syntax und Semantik von Daten, eingesetzte Kommunikationssysteme und damit verbundene Netzwerkübergänge herausgebildet.

Flexible, komplexe Systeme erfordern den Einsatz skalierbarer und modularer Steuerungs- und Regelungsalgorithmen, Architekturen und Plattformen. Aus Effizienzgründen sollte beim Entwurf künftiger SCADA- und Leitsysteme auf ein entsprechendes Maß an Generalität und branchenübergreifende Einsetzbarkeit geachtet werden. Es gilt, die erwähnten Inkompatibilitäten zu überwinden und den Aufwand für das Engineering des Gesamtsystems zu reduzieren. Außerdem sollte die Einführung neuer Funktionalitäten vereinfacht und schneller erfolgen, um

mit den Anforderungen geänderter Geschäftsprozesse Schritt halten zu können.

Im Produktionsumfeld treffen heute zwei Einsatzgebiete Ethernet-basierter Kommunikation mit zum Teil grundlegend unterschiedlichen Anforderungen aufeinander – die für die Steuerung von Produktionsprozessen optimierte AT und IT mit erhöhten Anforderungen an Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Antwortzeiten, Sicherheit etc. und die allgemeine Bürokommunikation mit weit verbreiteten und kostengünstigen Standardanwendungen. Der Wunsch, die Vorzüge beider Welten zu vereinen, liegt nahe.

Hierfür ist zu untersuchen, wie in der Bürowelt weit verbreitete Technologien wie drahtlose Netzwerke, Web-Technologien, Plug-and-Play-Mechanismen oder zum Beispiel semantische Beschreibungsmittel für den Einsatz in der Automatisierungstechnik, unter Berücksichtigung der spezifischen Anforderungen, nutzbar gemacht werden können. Offensichtlich ist, dass klassische IT-Komponenten und -Technologien aus dem Büroumfeld nicht ohne Anpassung entsprechend der besonderen Anforderungen übernommen werden können.

Aktuelle Forschungs- und Entwicklungslösungen auf dem Gebiet Steuerung und Automatisierung komplexer verteilter Systeme zeigen Ansätze für die Lösung grundlegender, eingangs beschriebener, Problemstellungen. Die in diesem Artikel vorgestellten Konzepte adressieren Fragen der Optimierung der für Monitoring und Control verwendeten Systemarchitekturen und Funktionalitäten. Eine wesentliche Rolle spielen hierbei Konzepte für Service-orientiertes Monitoring und Control sowie SoA-basierte SCADA- und Leitsystemarchitekturen.

Die vorgestellten Arbeiten basieren auf den Ergebnissen einer Reihe vorangegangener bzw. momentan laufender, durch die Europäische Kommission geförderter, Projekte: SIRENA [BB06], SODA [DC06], SOCRADES [CK09]. In diesen Projekten wurde der Einsatz Service-orientierter Architekturen in der Automatisierungstechnik und für die Integration automatisierungstechnischer Komponenten in Managementanwendungen (MES, ERP) untersucht [CK09, KB07, KS10]. Erste Piloteinsätze für die Fahrzeugproduktion, die Elektronikgerätefertigung sowie die Prozessindustrie haben Potenziale

Service-orientierter Architekturen aufgezeigt und zu weiterführenden Arbeiten ermutigt (Siehe www.socrades.eu und [BN08]).

2 Anforderungen an und Einsatzpotenziale von Service-orientierten Architekturen

Angesichts der Tatsache, dass automatisierungstechnische Aufgaben immer komplexer werden und sich Systeme zu „Systemen von Systemen“ (SoS – Systems of Systems [SM10]) entwickeln, lassen sich diverse Herausforderungen für Monitoring und Control formulieren [KC10]:

- Verteiltes Beobachten und Steuern komplexer Systeme (bis zu mehreren Zehntausend interoperablen Geräten unterschiedlicher Komplexität) z. B. zur Online-Bestimmung diverser KPI (Key Performance Indicator) oder als Input für Entscheidungsunterstützungssysteme.
- Dynamische Anpassung der bereitzustellenden Informationen (variierende Qualität, Quantität der durch die Informationsquellen bereitzustellenden Daten, variable Zahl der Informationssenzen).
- Variable Komplexität des Systems entsprechend dynamischer Anforderungen aus dem Produktionsmanagement (z. B. Batch Control), Integration existierender oder neuer Geräte (Evolution) bzw. Systeme [KB07].
- Große Bandbreite von Geräte- und System-Performance (z. B. Antwortzeiten, Energieverbrauch, Kommunikationsbandbreite, Security).
- Integration von Bestands- und künftigen Systemen (Interoperabilität).

Durch den Einsatz Service-orientierter Architekturen für Monitoring und Control werden diverse Vorteile erwartet [KC10, KC11]:

- Die Funktionalitäten von Monitoring- und Control-Systemen werden in Form von standardisierten Diensten bereitgestellt. Diese sind weiter kombinierbar und können als Basis für „höherwertige“

bzw. komplexere Dienste und Applikationen genutzt werden (Komposite Dienste, mash-up-Applikationen).

- Offene Monitoring- und Control-Systeme, deren Dienste durch beliebige, autorisierte Anwendungen aufgerufen werden können.
- Neue SCADA- und Leitsystemfunktionen können mittels Komposition, Aggregation oder Orchestrierung erstellt und als Service bereitgestellt werden.
- Direkter Zugriff durch Systeme der MES- und ERP-Ebene auf Komponenten der unterlagerten Ebenen.
- Nutzbarkeit von Funktionalitäten wie “plug-and-play”, “self-discovery” der Geräte, komplexerer Komponenten und Dienste [DT10] im gesamten System.
- “ease-of-use” und vereinfachte Überwachungs-, Diagnose- und Instandhaltungsfunktionen durch in Geräten und anderen Komponenten integrierte bzw. definierbare Dienste.
- Erhöhte Kosteneffizienz durch im System verteilte und gemeinsam nutzbare SCADA- und Leitsystemfunktionen.
- Event basierte Monitoring- und Control-Funktionen im verteilten System.
- Homogenes Netzwerkmanagement.

3 Lösungsansatz

Die Nutzarmachung des Konzeptes Service-orientierter Architekturen in der Automatisierungstechnik erfordert das Überdenken etablierter Verfahren auf unterschiedlichen Ebenen (Netzwerk, Dienste, Anwendungen) und betrifft alle Systemkomponenten. Der Einzug neuer Internet-basierter Technologien in die AT bringt neue Chancen aber auch Herausforderungen und Risiken. In den zurückliegenden Jahren wurden auf internationaler und nationaler Ebene diverse Forschungsprojekte zu dieser Thematik umgesetzt – einige wurden bereits im Kapitel 1 referenziert. Nachfolgend werden Ergebnisse des bereits abgeschlossenen

Projektes „SOCRADES – Service-Oriented Cross-layer infRAstructure for Distributed smart Embedded devices“ sowie die Ziele und aktuelle Arbeiten im Projekt „IMC-AESOP ArchitecturE for Service-Oriented Process – Monitoring and Control“ präsentiert. Damit sollen einige grundlegende Themen des SOA-Einsatzes für Monitoring und Control komplexer Systeme beleuchtet werden.

SOCRADES (www.socrades.eu) war ein durch die Europäische Union gefördertes und in Kooperation zwischen französischen, deutschen, finnischen, schwedischen, englischen und italienischen Partnern durchgeführtes Forschungsvorhaben. Die wissenschaftliche und technologische Zielstellung von SOCRADES war es, Web Service-basierte, Service-orientierte Systemarchitekturen im automatisierungstechnischen Umfeld zu ermöglichen und auf dieser Basis Grundlagen für intelligente, vernetzte Systeme zu schaffen, die aus drahtgebundenen und/oder drahtlosen Komponenten unterschiedlicher Systemebenen bestehen.

Das Projekt „IMC-AESOP – ArchitecturE for Service-Oriented Process – Monitoring and Control“ (www.imc-aesop.eu) ist ein durch die Europäische Kommission innerhalb des 7. Rahmenprogramms gefördertes „Integriertes Projekt“ mit Partnern aus Deutschland, Frankreich, England, Italien, Schweden, Finnland und der Tschechischen Republik. Ziel des Projektes ist es, den Einsatz von Service-orientierten Architekturen für die Überwachung und Steuerung komplexer, verteilter Automatisierungssysteme in der Prozessindustrie zu untersuchen. Dabei soll untersucht werden, wie weit man mit Service-orientierten Architekturen in die Feldebene gehen kann, ohne die Performance-Anforderungen der verschiedenen Anwendungen der Prozessautomatisierung zu verletzen. Im Sinne der Migration der verschiedenen Geräte- und Systemgenerationen spielen Fragen der Integration „klassisch“ automatisierter Anlagenbereiche in Service-orientierte Architekturen (und umgekehrt) eine besondere Rolle.

3.1 SOCRADES¹ – Ergebnisse für den SOA-Einsatz in der AT

Grundgedanke des SOCRADES-Projektes war es, dass sich Geräte wie verteilte, autonome, intelligente, pro-aktive, fehlertolerante und wieder verwendbare Systemkomponenten verhalten sollen. Die Systemkomponenten stellen Dienste zur Verfügung, die mittels Web-Services untereinander agieren.

Als wesentliche Middleware-Technologie wurden DPWS (Device Profile for Web Services) und OPC UA ausgewählt. Das intelligente Systemverhalten kann durch kooperatives Zusammensetzen der von den Geräten bereitgestellten Teilfunktionalitäten erreicht werden. Auf Basis dieser Funktionalität ist eine schnelle Programmierung bzw. Umkonfigurierung von Maschinen und Anlagen möglich. Für drahtlose Geräte wurde die Integration in Service-orientierte Architekturen und die Unterstützung geforderter funktionaler und Leistungsparameter untersucht. Der Einsatz von Web-Services ermöglicht eine einfache Integration von Geräten in Managementanwendungen und verteiltes Workflow-Management. Eine spezielle Middleware wurde im Rahmen des Projekts entwickelt und vereinfachte die Integration an Enterprise-Systemen. Die durch diese Middleware angebotenen „Infrastruktur-Dienste“ unterstützen die Integration und Kommunikation zwischen die verschiedenen Systemen, Diensten und Geräten.

Für SOCRADES wurde eine Web-Service-basierte Architektur (aus informationstechnischer Sicht) festgelegt. In Abbildung 2 ist zu erkennen, dass die grundlegenden automatisierungstechnischen Komponenten (leistungsfähige Feldgeräte, SPSen, Leittechnik, MES, ERP, Engineering-Werkzeuge) aus informationstechnischer Sicht in einer flachen Struktur angeordnet sind. Die reale IT- und AT-Struktur wird in der Praxis von diversen technischen und nicht-technischen Einflussfaktoren abhängen. Web-Services, basierend auf DPWS und OPC UA, kommen an den Schnittstellen zum Einsatz.

SOCRADES-konforme Geräte verfügen über einen Satz von Web-Services für grundlegende Funktionen wie z. B. Informationsdienste über

¹ Die Autoren danken der Europäischen Kommission und den Partnern des europäischen EU FP6 IST-5-034116 IP Projektes "SOCRADES – Service-Oriented Cross-layer inFRastructure for Distributed smart Embedded devices" (SOCRADES – www.socrades.eu) für ihre Unterstützung.

bereitgestellte Dienste, Erkundungsdienste, Beschreibungen für Dienste oder Event- und Messaging-Fähigkeiten. Hinzu kommen anwendungsspezifische Dienste oder die Fähigkeit, komplexe Dienste aus elementaren Diensten zu bilden bzw. verschiedene Dienste nach einer definierten Logik abzuarbeiten. Auf dieser Basis können verteilte Anwendungen statisch oder dynamisch aufgebaut werden.

Nicht alle Geräte sind jedoch in der Lage, Web-Services anzubieten (Kriterien können z. B. sein: Prozessorkapazität, Stromverbrauch, verfügbarer Speicherplatz, Kosten, konzeptionelle oder firmenpolitische Gesichtspunkte). Zu diesem Zweck sieht die Architektur die Komponenten Gateway und Mediator vor.

Ein Gateway hat die Aufgabe, die unterlagerten und über ein Kommunikationssystem (z. B. Feldbus) angeschlossenen Komponenten zum übrigen SOCRADES-System hin über entsprechende Web-Services zu repräsentieren. Jedes Gerät wird durch „eigene“ Stellvertreter-Web-Services repräsentiert. Für das Gateway ist ein, vom unterlagerten Kommunikationssystem abhängiges, Konfigurationsmanagement erforderlich.

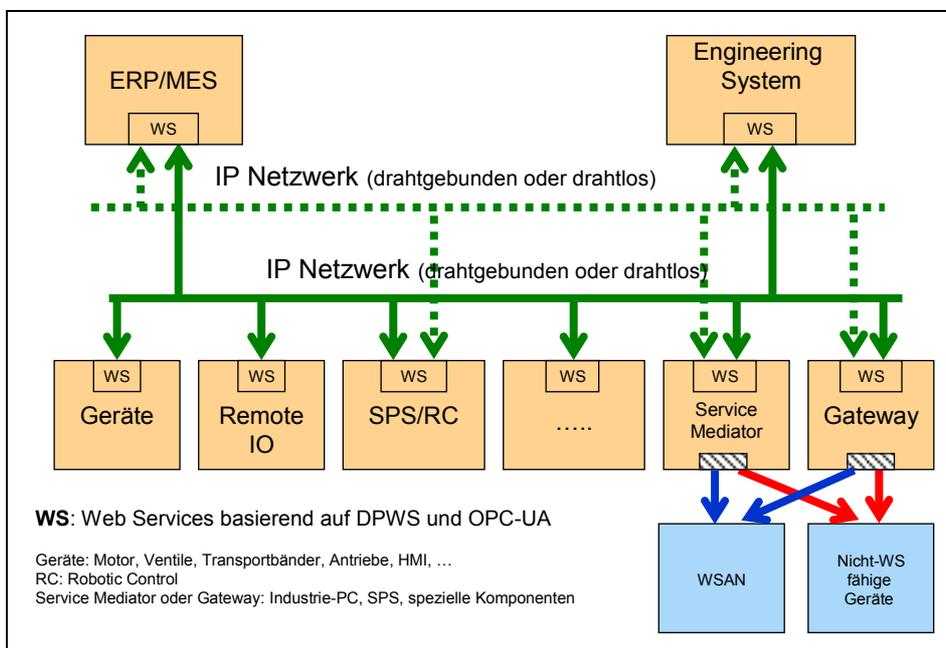


Abbildung 2: In SOCRADES umgesetzte Service-orientierte Architektur

Mit Hilfe eines Mediators ist es möglich, Eigenschaften und Funktionen komplexer technischer Einrichtungen (z. B. einer Package Unit) mittels Web-Services zu repräsentieren. Im Gegensatz zum Gateway besitzt der Mediator Business-Logik-orientierte Funktionalitäten. So können z. B. Aussagen über den Zustand einer Maschine oder Anlage aus den Daten verschiedener Sensoren aggregiert und ein Dienst „Maschinenstatus“ bereitgestellt werden. Realisiert werden können ein Gateway oder ein Mediator z. B. in einer SPS, einem speziellen Datenserver oder anderen prozessnahen Komponenten. [Ba08, DM08, BR09]

3.2 IMC-AESOP² – Lösungsansatz für Monitoring und Control in der Prozessindustrie

In Abbildung 1 ist beispielhaft die AT- und IT-Architektur einer verfahrenstechnischen Produktionsanlage dargestellt. Die Gesamtanlage ist in mehrere Teilanlagen unterteilt, die durch Leitsystemkomponenten (PS) gesteuert werden. Die prozessnahen Komponenten (PNK) haben Zugriff auf Feldgeräte, Steuerungen, Regler usw., die die Schnittstelle zum Prozess bzw. zur automatisierten Anlage bilden. Für abgeschlossene Aufgaben, wie z. B. der Druckluftversorgung der Anlage, ist es üblich, sogenannte Package Units (im Bild als Black Box – BB bezeichnet) einzusetzen. Eine Package Unit verfügt über eine eigene Steuerung mit Schnittstelle zur übergeordneten Leittechnik. Anzeige- und Bedienkomponenten, Engineering Stationen, Instandhaltungsplanungssysteme oder andere Managementanwendungen sind in einer zentralen bzw. verteilten Warte installiert. Geschäftsprozesse bzw. das operative Produktionsmanagement werden durch ERP- bzw. MES-Systeme unterstützt. Auf die mit dieser Architektur oftmals einhergehenden Inhomogenitäten wurde bereits eingegangen.

In IMC-AESOP wird daran gearbeitet, diese physischen und logischen Brüche zu überwinden. Die Umsetzung einer Service-orientierten Architektur soll es erlauben, dass Komponenten auf einer horizontalen Ebene und Komponenten auf unterschiedlicher Ebene (z. B. Feld- und MES- Ebene) direkt miteinander interagieren können. Im IMC-AESOP-

² Die Autoren danken der Europäischen Kommission und den Partnern des europäischen EU FP7 INFSO-ICT-258682 IP Projektes "IMC-AESOP – ArchitecturE for Service-Oriented Process – Monitoring and Control" (www.imc-aesop.eu) für ihre Unterstützung.

Projekt ist eine flache Informations-basierte Infrastruktur vorgesehen. Hier stellt sich die Frage, wie weit die heute verfügbaren Technologien angepasst werden können, damit die bestehenden Echtzeitforderungen erfüllbar sind. Wie tief kann oder sollte man mit SOA gehen? Welche effizienten Protokolle sind hierfür am besten geeignet? Für welche Zwecke lassen sich Internet-basierte Technologien nutzen (nur Monitoring oder auch wahlweise für die Steuerung)? Entsprechende Untersuchungen werden derzeit im IMC-AESOP-Projekt durchgeführt.

Das „Perfect Plant-Wide System“ [CK10, CK09, KB08] soll es ermöglichen, Monitoring und Control der gesamten Anlage mit einem Minimum an physischen und logischen Übergängen zu realisieren. Alle SCADA- und leittechnischen Einrichtungen werden ein kooperierendes System verteilter Komponenten bilden. Bei Bedarf soll es möglich sein, neu hinzugefügte Komponenten und ihre Dienste zu erkennen (Discovery), Informationen zusammenzuführen und neue, auf die jeweilige Aufgabenstellung zugeschnittene Dienste bereitzustellen. Durch den Einsatz von offenen und standardisierten Technologien soll es möglich sein, dass ein System, entsprechend wirtschaftlicher Anforderungen, wachsen oder in seiner Komplexität reduziert werden kann. Die Kapselung von Funktionalitäten und die Definition zugeschnittener Dienste ermöglichen die Integration vom Bestands- oder künftigen Systemen.

In den zurückliegenden Jahren ist in der Automatisierungswelt ein Trend zu Ethernet-basierten Netzwerktechnologien, wie Fieldbus HSE, EtherNet/IP, Modbus/TCP, PROFINET usw. zu beobachten. Der in IMC-AESOP verfolgte Ansatz setzt ebenfalls auf bekannte Ethernet-basierte Technologien auf und untersucht auf höherer Ebene Internet-basierte Interaktionen mit zukünftigen Anwendungen und Systemen. Das bei Ingenieuren der Automatisierungstechnik vorhandene Basisverständnis ermöglicht einerseits den Einstieg/Migration in die neue Technologie als auch die Integration existierender Systeme mittels Mediator-Lösungen.

Der „uneingeschränkte“ Zugriff auf Informationen im Gesamtsystem sowie die dynamische Systemarchitektur stellen neue Herausforderungen an die in der AT einzusetzenden Kommunikationsmechanismen. Der heute dominierende „Polling-Betrieb“ führt in dem vorgeschlagenen System mitunter zu enormen Kommunikationslasten, die schnell zu einer Beeinträchtigung der geforderten Dienstgüte führen können. Das IMC-

AESOP-Konzept sieht daher den verstärkten Einsatz von ereignisorientierten Konzepten und asynchronen Event-Mechanismen (z. B. CEP – Complex Event [IL11] bzw. Event-Scheduling Processing [MS08]) vor.

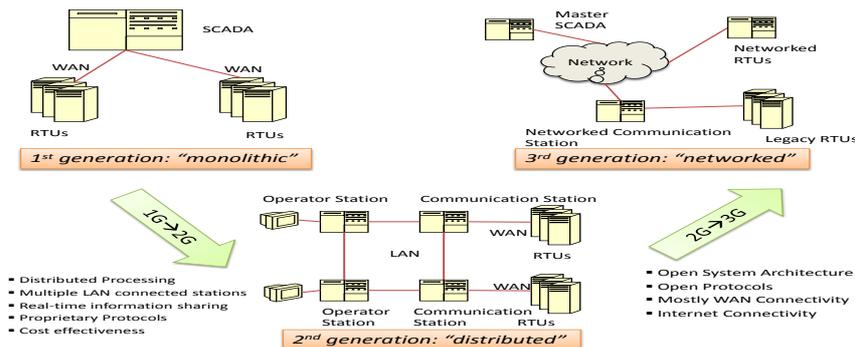


Abbildung 3: AESOP-Konzept für Monitoring und Control auf der Basis eines „System of Systems“

Die Akzeptanz einer technischen Lösung hängt nicht zuletzt von deren Handling und der Unterstützung durch Engineering-Werkzeuge ab. Angesichts des umfangreichen Einsatzes von Event-basierter Kommunikation stellt sich verstärkt die Frage nach der Voraussage der System-Performance. Die Entwicklung entsprechender Werkzeuge soll künftig Ingenieure bei der Auslegung komplexer, SOA-basierter Systeme unterstützen.

4 Ausblick

In den letzten Jahren haben sich diverse Projekte mit dem Einsatz Service-orientierter Projekte auseinandergesetzt. In SOCRADES wurde der Nachweis erbracht, dass entsprechende Protokollstacks und Anwendungen, wenngleich auch mit eingeschränkten Leistungsmerkmalen, in eingebettete Systeme der Automatisierungstechnik integrierbar sind und sich über Orchestringsmechanismen zu komplexen Diensten verknüpfen lassen [CH10, MB09]. Die Integration klassischer Automatisierungslösungen erfolgt über Gateways und Mediatoren. Die bereitgestellten Dienste lassen sich durch Anwendungen auf allen Hierarchieebenen eines

Unternehmens aufrufen. Die Erprobung erfolgte in erster Linie in für die Fertigungstechnik typischen Anwendungen.

Das im Anschluss an SOCRADES gestartete Projekt IMC-AESOP setzt auf diese Ergebnisse auf und zielt auf die Optimierung der Performance einzelner Komponenten und des Gesamtsystems, wenn es als ein System von Systemen betrachtet wird [SM10]. Es werden effiziente Protokollvarianten wie EXI oder REST für deren Eignung erprobt und untersucht, wie weit SOA in der Feldebene (harte Echtzeit-Bedingungen) geeignet ist. Als Stichworte für die Untersuchungen seien hier “real-time web services; interoperability; plug-and-play; self-adaptation; reliability; cost efficiency; energy-awareness; high-level cross-layer integration and cooperation; event-propagation, -aggregation und -management” genannt. Der Einsatz der Basistechnologien soll für Monitoring und Control im Prozessumfeld geeignet sein. Die wesentlichen Ergebnisse des Projektes IMC-AESOP werden Anfang 2013 erwartet.

Literaturverzeichnis

- [KC10] Karnouskos, S.; Colombo, A. W.; Jammes, F.; Delsing, J.; Bangemann, Th.: Towards an Architecture for Service-Oriented Process Monitoring and Control. IECON 2010, Phoenix, USA, November 07-10, 2010.
- [CK10] Colombo, A. W.; Karnouskos, S.; Mendes, J. M.: Factory of the future: A service-oriented system of modular, dynamic reconfigurable and collaborative systems. In: L. Benyoucef and B. Grabot (editors): Artificial Intelligence Techniques for Networked Manufacturing Enterprises Management. ISBN 978-1-84996-118-9. Springer, 2010.
- [Ba08] Bangemann, Th., Diedrich, Ch., Colombo, A.W., Karnouskos, S.: SOCRADES – Service-Oriented Architecture in der Automatisierungstechnik, Die Integration nicht-Web Service fähiger Geräte. AUTOMATION 2008, Baden-Baden, 3.-4.06.2008. ISBN 978-3-18-092032-0, S. 65-68.
- [BB06] Bohn, H.; Bobek, A.; Golasowski, F.: SIRENA – service infrastructure for real-time embedded networked devices: A service oriented framework for different domains. In: Proc. of the International Conference on Networking, Systems, Mobile Communications and Learning Technologies, page 43. IEEE Computer Society, 2006.

- [DC06] de Deugd, S.; Carroll, R.; Kelly, K. E.; Millett, B.; Ricker, J.: SODA: Service Oriented Device Architecture. *Pervasive Computing*, IEEE, 5(3), 94-96, july-sept. 2006.
- [CK09] Colombo, A. W.; Karnouskos, S.: Towards the factory of the future: A service-oriented cross-layer infrastructure. In: *ICT Shaping the World: A Scientific View*, volume 65-81. European Telecommunications Standards Institute (ETSI), John Wiley and Sons, 2009.
- [KB07] Karnouskos, S.; Baecker, O.; de Souza, L. M. S.; Spiess, P.: Integration of SOA-ready networked embedded devices in enterprise systems via a cross-layered web service infrastructure. In: *Proceedings of 12th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA 2007*, Patras, Greece, pages 293-300, September 25–28, 2007.
- [KS10] Karnouskos, S.; Savio, D.; Spiess, P.; Guinard, D.; Trifa, V.; Baecker, O.: Real World Service Interaction with Enterprise Systems in Dynamic Manufacturing Environments. In: L. Benyoucef and B. Grabot (editors): *Artificial Intelligence Techniques for Networked Manufacturing Enterprises Management*, number ISBN 978-1-84996-118-9. Springer, 2010. (in press).
- [BN08] Boyd, A.; Noller, D.; Peters, P.; Salkeld, D.; Thomasma, T.; Gifford, C.; Pike, S.; Smith, A.: *SOA in manufacturing – guidebook*. Technical report, IBM Corporation, MESA International and Capgemini, 2008.
- [DT10] Guinard, D.; Trifa, V.; Karnouskos, S.; Spiess, P.; Savio, D.: Interacting with the SOA-based Internet of Things: Discovery, Query, Selection, and On-Demand Provisioning of Web Services. *Services Computing*, IEEE Transactions on, Issue:99:16, 2010.
- [KB08] Kennedy, P.; Bapat, V.; Kurchina, P.: *In Pursuit of the Perfect Plant*. Evolved Technologist, 2008.
- [IL11] Izaguirre, J.G.; Lobov, A.; Lastra, J.L.M.: OPC-UA and DPWS Interoperability for Factory Floor Monitoring using Complex Event Processing. *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Industrial Informatics (INDIN'11)*, July 25-27, 2011, Lisbon, Portugal.
- [MS08] Mendes, J.M.; de Sousa, J.; Leitão, P.; Colombo, A.W.; Restivo, F.: Event Router-Scheduler for the Modular Anatomy of Service-oriented Automation Components. *Proc. of the 6th CIRP International Conference*

on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering (ICME'08), July 23-25, 2008, Naples (Italy).

- [SM10] Simanta, S.; Morris, E.; Lewis, G.A.; Smith, D.B.: Engineering Lessons for Systems of Systems Learned from Service-Oriented Systems. Proc. of the IEEE International Systems Conference (SysCon), 2010.
- [CH10] Cachapa, D.; Harrison, R.; Colombo, A.W.: Monitoring Functions as Service Composition in a SoA-based Industrial Environment. Proc. of the 36th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2010), Phoenix, USA, November 7-10, 2010.
- [MB09] Mendes, J.M.; Bepperling, A.; Pinto, J.; Leitão, P.; Restivo, F.; Colombo, A.W.: Software Methodologies for the Engineering of Service-Oriented Industrial Automation: The Continuum Project. 33rd Annual IEEE Int. Computer Software and Applications Conf. (COMPSAC'09). Seattle, USA, July 20-24, 2009.
- [KC11] Karnouskos, S.; Colombo, A.W.: Architecting the Next Generation of Service-based SCADA/DCS System of Systems. 37th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2011), Melbourne, Australia, November 7-10, 2011.
- [DM08] Diedrich, Chr.; Mühlhause, M.; Riedl, M.; Bangemann, Th.: Mapping of smart field device profiles to web services. IEEE Workshop on Factory Communication Systems 2008, May 21-23, 2008.
- [BR09] Bangemann, Th.; Riedl, M.; Diedrich, Ch.; Harrison, R.; Monfared, R.; Wuwer, D.: Integration of Automation Devices in Web Service supporting Systems. IMCSIT/ RTS 2009, 30th IFAC Workshop on Real-Time Programming and 4th International Workshop on Real-Time Software (WRTP/RTS'09), Mrągowo/Poland, October 12-14, 2009, <http://www.imcsit.org/pg/272/221>.