

Standards für das Internet der Dinge

Heterogenität, Interoperabilität und Herausforderungen

Marc P. Jensen und
Dieter Uckelmann, Stuttgart

Die digitale Transformation von Unternehmen wird nicht zuletzt durch das Internet der Dinge unterstützt. Eine besondere Herausforderung für die vernetzte Produktionswirtschaft ist eine übergeordnete Verknüpfung der einzelnen IT-Systeme und ein standardisierter Austausch von Daten zwischen den Akteuren. Nebenher entstehen immer größere Datenmengen. Für Unternehmen birgt dieser Informationsschatz ein großes Potenzial, wenn diese Daten im richtigen Kontext interpretiert und zusammengefügt werden können. Forschung und Industrie haben bereits verschiedene Technologien entwickelt und unterschiedliche Ansätze vorgestellt. Jedoch stellen die unterschiedlichen Anforderungen der einzelnen IoT-Domänen einen einheitlichen Informationsaustausch und standardisierte Datenmodelle noch immer vor Hindernisse.

Einleitung

Die Zahl der vernetzten Geräte steigt von Jahr zu Jahr kontinuierlich an, ob in privaten Haushalten oder in Unternehmen. Für den Anwender sollen die Sensoren und Smart Devices Daten erheben und möglichst präzise Zustände beobachten, damit das Umfeld beschrieben werden kann [1]. Hierbei werden riesige Datenmengen produziert, welche erst einmal sinnvoll gefiltert, harmonisiert und ausgewertet werden müssen. Computersysteme werten die Daten aus und geben diese an den Nutzer idealerweise strukturiert und semantisch angereichert weiter. Entscheidungen auf Basis der so gewonnenen Daten erfolgen automatisiert über entsprechende IT-Anwendungen oder über Menschen. Die Einbindung der Daten in die reale Welt ermöglicht dem Nutzer eine intuitive Schnittstelle zu den vernetzten Datenquellen in einem Internet der Dinge (engl. Internet of Things, IoT). Es existieren zahlreiche IoT-Plattformen und Spezifikationen, die oft die Vereinheitlichung der verschiedenen Schnittstellen anstreben, stattdessen jedoch einen weiteren domänen-spezifischen „Standard“ darstellen. Verschiedene Domänen (z. B. Produktion, Gebäudetechnik) haben unterschiedliche Anforderungen an die IoT-Systeme und somit werden auch unterschiedliche Protokolle und Kommunikationsstandards einge-

setzt. In diesem Beitrag wird eine Übersicht über aktuelle Ansätze und aktive Einsatzszenarien von IoT-Spezifikationen anhand einheitlicher Kriterien gegeben. Ziel ist es, die relevantesten und zukunftssichersten IoT-Standards zu identifizieren.

Problemstellung

Die digitale Transformation ist für Unternehmen zu einem wichtigen strategischen Fokus geworden [2]. Zudem findet eine immer stärkere Vernetzung und Erweiterung von IT-Systemen statt. Durch die Vernetzung der Systeme werden Daten effizienter verarbeitet, zusätzlich werden jedoch neue Daten generiert die vor der Transformation nicht verfügbar waren. Nun besteht eine zusätzliche Aufgabe darin diese Daten in bestehende Prozesse zu integrieren. Jedoch erschwert die Vielzahl von existierenden IoT-Standards einen solchen harmonisierten Datenaustausch aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen innerhalb der IoT-Domänen.

Verwandte Ergebnisse

In [3] wird beschrieben, wie die Verknüpfung von Daten neue Potenziale in ökonomischer und sozialer Hinsicht schaffen kann. Die horizontale und vertikale Datenintegration braucht jedoch übergreifende Standards, die bisher nur ansatzweise vor-

handen sind. An den Überschneidungspunkten, wie sie beispielsweise in Energieeffizienzsystemen und der Automatisierung vorkommen, sind die Entwicklungen am stärksten da diese unterschiedlichen IoT-Systeme zusammenarbeiten müssen. Dementsprechend fokussieren sich die Standardisierungsorganisationen auf diese Bereiche. Beschrieben wird dies in [4] durch die Unterscheidung von IoT-Systemen in sehr umfangreiche und große Systeme mit vielen einzelnen und unterschiedlichen Sensoren und Geräten und kritische Systeme welche häufig eine integrale Position haben und die Anwendungen eine stabile Kommunikation und Ausfallsicherheit erfordern. Durch die aktuelle Verbreitung von Anwendungen und Technologien im IoT-Umfeld werden neue Begriffe wie beispielsweise das Internet of Nano-Things (IoNT) geprägt. Hiermit ist laut [5] die Einbindung von immer mehr, aber auch immer kleineren Sensoren und fallspezifischen Sensoren gemeint. Zusätzlich wird gerade für diese technische Entwicklung ein zugängliches Ökosystem erfordert. Viele Standardisierungsorganisationen arbeiten bereits an unterschiedlichen Spezifikationen, um die IoT-Systeme besser zu verknüpfen und für externe Systeme zugänglicher zu machen. Ebenfalls wird die low-power Kommunikation in den IoT-Netzwerken priorisiert. Die derzeitigen Technologien für die Kommunikation in-

nerhalb des IoT sind bereits gut in der Industrie etabliert [4]. Die Entwicklung von Komponenten auf Basis offener Standards hat die Verbreitung stark unterstützt [5]. Der vielfältige Einsatz von IoT in den Domänen Medizin, Industrie, Smart Cities, Sicherheit und Landwirtschaft geht einher mit unterschiedlichen Anforderungen und es wird dargestellt, dass die Sicherheit und Flexibilität des Austausches zwischen den Domänen besonders schwierig ist [6]. Eine umfassende Interoperabilität zwischen den Standards fehlt. Durch semantische Modelle können Objekte mit einem hohen Detaillierungsgrad beschrieben werden. Diese detaillierten Beschreibungen können jedoch bereits für einfache Geräte sehr komplex werden [7]. Durch den steigenden Einsatz von Sensoren in allen Lebensbereichen und auch zwischen den Systemen steigt die Datenmenge, die von Menschen oft nicht mehr zu verarbeiten ist. Dies erfordert eine höhere Automation, bei der der Mensch immer weniger eingreifen muss [8]. Neben der Automation besteht die Möglichkeit, Menschen kontextbezogen mit User-zentrierten Informationen zu versorgen und so die Datenflut zu reduzieren.

■ Anwendungsfall

Für Anwendungsfälle im industriellen IoT-Umfeld (IIoT) sollen in den Bereichen der Logistik und Wartung Informationen verschiedener Sensoren und Akteure einheitlich für Anwender aufbereitet und zusammengeführt werden. Hierdurch soll dem Anwender eine direkte Schnittstelle zum Aufruf von Informationen vor Ort zur Verfügung gestellt werden, die Daten aus unterschiedlichen Quellen bezieht. Die höhere Stabilität von kabellosen Kommunikationsschnittstellen, führt zu einem verstärkten Einsatz im industriellen Umfeld [9]. Diese Entwicklung ist vorteilhaft für bestehende oder neue Installationen von IoT-Infrastruktur, da diese flexibler integriert werden können. In den vergangenen Jahren wurden unterschiedliche Ansätze verfolgt eine Interoperabilität zwischen den Systemen zu schaffen, wie in [10–12] beschrieben. Bestehende IoT-Standards wurden weiterentwickelt und neue Ansätze wurden verfolgt, um die Probleme der Interoperabilität von IoT-Systemen zu lösen. Ansätze aus Forschungsprojekten werden nach Ende der Projektlaufzeit oft nicht weiterverfolgt. Daher beschränkt sich dieser Artikel auf eine Auswahl aktiv weiterentwickelter Standards. Von be-

sonderem Interesse sind Standards mit einem industriellen Fokus für die bereits Referenzimplementierungen verfügbar sind. Zudem wird die Offenheit und Verfügbarkeit der Standards betrachtet.

■ Vergleich der Systeme

Neben den domänenspezifischen Ansätzen gibt es oft leichtgewichtige Schnittstellen, die zur Vernetzung unterschiedlicher Standards und Systeme zum Einsatz kommen. Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) und Representational State Transfer (REST) sind typische Beispiele hierfür. Laut [13] sind die Anforderungen an eine IoT-Middleware nicht klar definiert. Jedoch sind neben der Vernetzung von verschiedenen IoT-Domänen einheitliche Datenmodelle notwendig, die zur Beschreibung und letztlich zum übergreifenden Austausch der Daten erstellt werden müssen. Durch die semantische Beschreibung der erzeugten Sensordaten wird versucht hier eine Möglichkeit zu finden viele verschiedene Sensoren einheitlich abzubilden. Neben der semantischen Abbildung von Informationen können Maschinen semantisch eindeutige Daten einfach verarbeiten. Für das Zusammenspiel von Mensch und Maschine ist die semantische Form der Informationsaufbereitung ebenso erheblich besser, da Mehrdeutigkeiten vermieden werden müssen.

Nachfolgend listen wir verschiedene Standards und Plattformen die bereits (1) akzeptiert und etabliert oder (2) sehr aktuell und zukunftsweisend sind auf. In [14–16] wurde bereits teilweise die Performance der unterschiedlichen Standards zur Bewertung betrachtet. Wir führen eine Bewertung nach folgenden Kriterien durch:

- **Bewertung der unterstützenden Organisation**
Unterschiedliche Organisationen haben in vergangenen Jahren verschiedene IoT-Standards entwickelt. Diese Organisationen betreuen oftmals mehrere Spezifikationen. Zusätzlich haben sich im Laufe der Zeit neue Organisationen gegründet oder bestehende schlossen sich zu einem neuen Verbund zusammen. Die unterstützenden Organisationen sollten in der Lage sein den Standard weiter zu pflegen und zu verbreiten.
- **Bewertung der Aktivität**
Die Aktivität der Organisationen die an der Entwicklung der Standards beteiligt sind und ob die Standards auch

noch in der aktiven (Weiter-)Entwicklung sind ist ein Indikator für die Zukunftssicherheit. Ein weiterer Punkt sind Referenzimplementierungen und ob diese gegebenenfalls öffentlich verfügbar sind. Damit wird die Anwendbarkeit und Reproduzierbarkeit gestärkt.

- **Eingeschränkte domänenspezifische Zielorientierung**
Domäne und Einsatzzweck soll vermitteln in welchem Fachgebiet der ausgewählte Standard angesiedelt ist und ob dieser für einen beschränkten Einsatzzweck entwickelt wurde. Zusätzlich wird hinterfragt, ob diese auch eine Flexibilität zur Einbeziehung weiterer Standards ausweisen. Standards die nur zur Rechtfertigung der eigenen Existenz oder Umsetzung eigener Geschäftsmodelle entwickelt wurden haben wenig Chance auf Verbreitung.
- **Nutzung aktueller Protokolle**
Protokolle, die mit einem Standard eingesetzt werden, Zweck und Unterscheidungsmerkmale zu alternativen Protokollen werden aufgeführt.
- **Offenheit**
Offenheit ist gerade für die Verbreitung von Software ein großer Faktor. Zum einen können Entscheidungen besser und transparenter nachvollzogen werden, zum anderen können externe partizipieren und helfen die Entwicklung zu unterstützen. Für Hochschulen bieten offene Systeme die Chance zur aktiven und lizenzfreien Mitwirkung.
- **Unterstützte Schnittstellen**
Gateways bzw. Schnittstellen sind durch die hohe Fragmentierung fast eine Voraussetzung für den weiteren Erfolg von IoT-Plattformen. Durch die Integration von Adaptern können Kommunikationen auch zwischen den Domänen einfacher abgebildet werden. So können sich die einzelnen Standards bei der Weiterentwicklung einfacher annähern ohne direkte große Einschnitte und Änderungen zu erfordern. Im Folgenden werden die ausgewählten Standards kurz vorgestellt (Bild 1).

IoTivity

Die Open Connectivity Foundation (OCF) ist ein Zusammenschluss von Unternehmen die den gleichnamigen OCF Standard entwickeln. Ursprünglich befasste sich die Organisation unter dem Namen Open Interconnect Consortium (OIC) speziell mit Anwendungen unter Einsatz von CoAP und zählt zu den größten IoT-Standardisie-

IoT-Standard	OPC-UA	oneM2M	DDS	OCF
Organisation	OPC Foundation	oneM2M	OMG	OCF
Erste Version	2008	2015	2004	2018
Aktuelle Version des Hauptstandards	1.04 (November 2017)	3 (Dezember 2018)	1.4 (März 2015)	2.1.1 (Februar 2020)
Aktive Weiterentwicklung	+	+	- (*)	+
Datenmodellierung	+	+	+	+
IoT-Domänen	<ul style="list-style-type: none"> • Gesundheitswesen • Energie • Automation • Produktion 	<ul style="list-style-type: none"> • Gesundheitswesen • Öffentliche Sicherheit • Smart Cities • Heilautomation 	<ul style="list-style-type: none"> • Gesundheitswesen • Energie • Automation 	<ul style="list-style-type: none"> • Gesundheitswesen • Heilautomation • Gebäudeautomation
Quelloffene Implementierungen	open62541	OpenMTC	OpenDDS	IoTivity

* derzeit keine Änderungen an der Hauptspezifikation

Bild 1. Gegenüberstellung der betrachteten IoT-Standards

rungsorganisationen [17]. Die OCF Spezifikation umfasst zusätzlich ein Datenmodell, das die im IoT-Netzwerk verfügbaren Ressourcen beschreibt. Ziel des Standards ist es systemübergreifende Modelle für verschiedene Sensor- und Geräteklassen zu definieren, um eine bessere Interoperabilität zu ermöglichen. Ein Unterschied zu den anderen Standards besteht hierbei in der universellen Beschreibung der Modelle. Durch diese Definition ist es möglich die Datenstruktur auch mit anderen Systemen zu nutzen, um den Datenaustausch zu vereinheitlichen. Mit IoTivity hat die OCF auch eine eigene Referenzimplementierung die eine aktuelle Umsetzung des Standards zur Verfügung stellt. Sowohl Standards als auch Quellcode sind Open Source und stehen somit ohne größere Hindernisse zur Verfügung. Die Referenzimplementierung ist in C++ und Java umgesetzt.

DDS

Wie bereits beschrieben sind im M2M- und IoT-Umfeld Standards für spezielle Anwendungsfälle und Anforderungen einer Branche entwickelt worden. Im Fall von Echtzeitsystemen (Real-time, RT) sind die speziellen Anforderungen an ein solches System zu berücksichtigen. Je nach Einsatzszenario von RT-Systemen variieren diese und die Systeme müssen daher dynamisch und flexibel gestaltet werden. In [18] werden Bandbreitenverbrauch und Verzögerung in der Kommunikation sowie auch die Zuverlässigkeit im Datenaustausch (Quality of Service) genannt. Der Standard Data Distribution Service (DDS) ist von der Object Management Group (OMG) entwickelt und wird durch das Industrial Internet Consortiums (IIC) gestützt. Bei DDS handelt es sich um ein

Publish/Subscribe-System in dem ein zentraler Datenspeicher Zugriff auf die Daten ermöglicht [18]. Um einen effektiveren Datenaustausch ermöglichen zu können, werden alternativ zu einer Antwort im Rohdatenformat, Daten objektorientiert definiert. Neben kommerziellen Implementierungen sind auch Open Source Varianten verfügbar. OpenDDS (<http://opendds.org>) ist eine in C++ implementierte Version des Standards.

oneM2M

Unter oneM2M wird zu einen das Konsortium von Unternehmen bezeichnet als auch der gleichnamige Standard. Verschiedene Unternehmen haben sich in der Organisation zusammengeschlossen, um die industriellen Anforderungen der einzelnen IoT-Domänen besser abdecken zu können. So ist oneM2M (<http://onem2m.org>) einer der wenigen Standards der in vielen Domänen agiert. Zu den Anwendungsbereichen zählen Telematik, Gesundheit, industrielle Automatisierung und Smart Home. Ziel der Organisation ist es die technischen Spezifikationen zu vereinheitlichen und eine gemeinsame Basis für die Entwicklung künftiger Systeme zu schaffen. Es wird besonderen Wert auf die sicherheitsrelevanten Aspekte bei der Entwicklung der Standards Wert gelegt. Die Standards beziehen sich auf die horizontale Ebene, welche gerade im Aspekt der Energieeffizienz von Gebäuden eine Rolle spielen [19]. Hierzu zählen Architekturen wie Netzwerke, aber auch Anwendungen und relevante Services um mit verschiedenen Domänen zu kommunizieren. Mit OpenMTC (<https://www.openmtc.org>) ist eine Referenzimplementierung entwickelt worden, die die horizontale Architektur des openM2M Standards abbildet. Die Entwicklung wurde vom

Fraunhofer Institut for Open Communication Systems ins Leben gerufen, ist als Open Source Version zugänglich und wurde mir Python umgesetzt.

OPC-UA

OPC Unified Architecture (OPC-UA) ist ein Standard der es ermöglichen soll Daten zwischen M2M und Industrial IoT (IIOT) Systemen auszutauschen und wird von der OPC Foundation entwickelt. Die mehrschichtige Architektur von OPC-UA besteht aus Elementen zur Definition von Datenmodellen die einen strukturierten Datenaustausch ermöglichen, was sich derzeit als größte Herausforderung im IoT- und M2M-Umfeld gezeigt hat. Weiter definiert OPC-UA die Art der Kommunikation zwischen den Endgeräten und schließlich die Client/Server-Architektur. Ähnlich wie der oneM2M Standard umfasst die OPC-UA Spezifikation mehrere Definitionen die ebenfalls Elemente wie Sicherheitskonzepte und Dienste, wie z. B. das Entdecken von Geräten mit einbezieht [20]. In aktuellen Versionen der OPC-UA Spezifikation sind zudem auch die Kommunikation über einen Publish/Subscribe-Dienst definiert. In den vergangenen Jahren hat sich OPC-UA immer stärker im industriellen Umfeld etabliert. Laut [20] hat der Schritt den Standard als offenen und unabhängigen Standard zu entwickeln stark zur Verbreitung beigetragen. OPC-UA verfügt über eine große Anzahl an Implementierungen, welche in verschiedenen Programmiersprachen vorliegen. Neben den herkömmlichen Sprachen wie C, C++, C# und Java, sind auch Implementierungen in Python, Go, Rust und Node.js verfügbar (<https://github.com/open62541>). Sowohl der Standard als auch die Implementierungen sind offen und ermöglichen den Zugriff auf den Quellcode.

Adapter und Gateways

Die betrachteten Standards sind alle gut etabliert und werden kontinuierlich weiterentwickelt, um eventuell eine Annäherung und Vereinheitlichung zwischen den einzelnen M2M- und IoT-Anwendungsgebieten zu ermöglichen. Eine vollständige Vereinheitlichung wird jedoch auch in den kommenden Jahren die größte Herausforderung für die M2M- und IoT-Anwendungen bleiben. Für OPC-UA sind u.a Gateways verfügbar, die eine Kommunikation mit oneM2M und DDS zulassen. Wie bereits beschrieben, ist nicht die Kommunikation zwischen den unterschiedlichen Systemen das Problem, vielmehr ist ein

einheitliches Datenmodell das Ziel. Dies unterscheidet sich aber in den Anforderungen und der Komplexität von System zu System. Die führt dazu, dass auch der Einsatz von Adaptern und Gateways keine hundertprozentige Lösung ist.

Zusammenfassung

Die betrachteten Standards entsprechen in vielen Punkten den von uns ermittelten Kriterien. Die Organisationen ermöglichen einen einfachen Zugang zu den einzelnen Spezifikationen und den verfügbaren Referenzimplementierungen. Diese Entwicklungen wirken sich positiv auf die Verbreitung von IoT-Standards aus. Eine domänenübergreifende Lösung für einen IoT-Standard oder ein IoT-Datenmodell gibt es noch nicht. Die Bemühungen der OCF die Spezifikation für ein einheitliches Datenmodell werden durch einige Ansätze [21–23] unterstützt, um dieses auf bestehende Modelle (z. B. OPC-UA) zu übertragen. Diese Schritte, hinsichtlich einer Vereinheitlichung von IoT-Standards werden von Herstellern von IoT-Geräten generell unterstützt. Zu beachten ist jedoch, dass diese sich eine Flexibilität bei der Entwicklung ihrer IoT-Geräte wahren wollen. Problematisch ist hierbei die drohende Fortsetzung einer stärkeren Fragmentierung von IoT-Standards oder eine Entwicklung hin zu proprietären Standards und Datenmodellen. Für die Zukunft ist es möglich, dass Visualisierungstechnologien wie Augmented Reality und Maschine Learning dabei helfen, ein Bindeglied zwischen den IoT-Domänen zu bilden.

Literatur

- Gartner Identifies Top 10 Strategic IoT Technologies and Trends, Gartner. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2018-11-07-gartner-identifies-top-10-strategic-iot-technologies-and-trends>. [Zugegriffen: 04-Sep-2019]
- Pflaum, A. A.; Gölzer, P.: The IoT and Digital Transformation: Toward the Data-Driven Enterprise. *IEEE Pervasive Computing* 17 (2018) 1, S. 87–91
DOI: 10.1109/MPRV.2018.011591066
- Conde Gallego, B.; Drexler, J.: IoT Connectivity Standards: How Adaptive is the Current SEP Regulatory Framework? *IIC* 50 (2019) 1, S. 135–156
DOI: 10.1007/s40319-018-00774-w
- Goudos, S. K. et al.: A Survey of IoT Key Enabling and Future Technologies: 5G, Mobile IoT, Semantic Web and Applications. *Wireless Pers Commun* 97 (2017) 2, S. 1645–1675
DOI: 10.1007/s11277-017-4647-8
- Gardašević, G. et al.: The IoT Architectural Framework, Design Issues and Application Domains, *Wireless Pers Commun* 92 (2017) 1, S. 127–148
DOI: 10.1007/s11277-016-3842-3
- Balaji, S. et al.: IoT Technology, Applications and Challenges: A Contemporary Survey. *Wireless Pers Commun*, 2019
DOI: 10.1007/s11277-019-06407-w
- Bermudez-Edo, M. et al.: IoT-Lite: A Lightweight Semantic Model for the Internet of Things and its Use with Dynamic Semantics. *Pers Ubiquit Comput* 21 (2017) 3, S. 475–487
DOI: 10.1007/s00779-017-1010-8
- Lomotey, R. K.; Pry, J. C.; Chai, C.: Traceability and Visual Analytics for the Internet-of-Things (IoT) Architecture. *World Wide Web* 21 (2018) 1, S. 7–32
DOI: 10.1007/s11280-017-0461-1
- Iglesias-Urkia, M. et al.: Analysis of CoAP Implementations for Industrial Internet of Things: A Survey. *J Ambient Intell Human Comput* 10 (2019) 7, S. 2505–2518
DOI: 10.1007/s12652-018-0729-z
- Schooler, E. M. et al.: Rational Interoperability: A Pragmatic Path toward a Data-Centric IoT. In: *Proceedings of the IEEE 38th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS)*, 2018, S. 1139–1149
DOI: 10.1109/ICDCS.2018.00113
- Bröring, A. et al.: Enabling IoT Ecosystems through Platform Interoperability. *IEEE Software* 34 (2017) 1, S. 54–61
DOI: 10.1109/MS.2017.2
- Blackstock, M.; Lea, R.: IoT Interoperability: A Hub-based Approach. In: *Proceedings of the International Conference on the Internet of Things (IOT)*, 2014, S. 79–84
DOI: 10.1109/IOT.2014.7030119
- Happ, D. et al.: Meeting IoT Platform Requirements with Open Pub/Sub solutions, *Ann. Telecommun.* 72 (2017) 1, S. 41–52
DOI: 10.1007/s12243-016-0537-4
- Profanter, S. et al.: OPC UA versus ROS, DDS, and MQTT: Performance Evaluation of Industry 4.0 Protocols. In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, 2019, S. 955–962
DOI: 10.1109/ICIT.2019.8755050
- Pfommer, J. et al.: Hybrid OPC UA and DDS: Combining Architectural Styles for the Industrial Internet. In: *Proceedings of the IEEE World Conference on Factory Communication Systems (WFCS)*, 2016, S. 1–7
DOI: 10.1109/WFCS.2016.7496515
- Gezer, C.; Taşkın, E.: An Overview of the 24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU), 2016, S. 1705–1708
DOI: 10.1109/SIU.2016.7496087
- Park, S.: OCF: A New Open IoT Consortium. In: *Proceedings of the 31st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA)*, 2017, S. 356–359
DOI: 10.1109/WAINA.2017.86
- Bertaux, L. et al.: A DDS/SDN Based Communication System for Efficient Support of Dynamic Distributed Real-Time Applications. In: *Proceedings of the IEEE/ACM 18th International Symposium on Distributed Simulation and Real Time Applications*, 2014, S. 77–84
DOI: 10.1109/DS-RT.2014.18
- Floek, M. et al.: Horizontal M2M Platforms Boost Vertical Industry: Effectiveness study for building energy management systems. In: *Proceedings of the IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, 2014, S. 15–20
DOI: 10.1109/WF-IoT.2014.6803109
- Bruckner, D. et al.: An Introduction to OPC UA TSN for Industrial Communication Systems. *Proceedings of the IEEE* 107 (2019) 6, 19, S. 1121–1131
DOI: 10.1109/JPROC.2018.2888703
- Cavalieri, S.; Scropo, M. S.: A Proposal to Make OCF and OPC UA Interoperable. In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, 2018, S. 1551–1556
DOI: 10.1109/ICIT.2018.8352412
- Cavalieri, S.; Salafia, M. G.; Scropo, M. S.: Towards Interoperability between OPC UA and OCF. *Journal of Industrial Information Integration* (2019) 15, S. 122–137
- Cavalieri, S.; Salafia, M. G.; Scropo, M. S.: Mapping OPC UA AddressSpace to OCF resource model. In: *IEEE Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS)*, 2018, S. 135–140.

Die Autoren dieses Beitrags

Marc Philipp Jensen ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Hochschule für Technik Stuttgart mit dem Forschungsschwerpunkt Sensoren und IoT-Standards.

Prof. Dr.-Ing. Dieter Uckelmann ist Studiendekan des Bachelorstudiengangs Informationslogistik an der Hochschule für Technik in Stuttgart und seit 2018 Gastprofessor an der Universität Parma.

Summary

Standards for the Internet of Things: Heterogeneity, Interoperability and Challenges. The digital transformation of businesses is supported by the Internet of Things. A particular challenge is the linking of different IT-systems and the standardised data exchange. For businesses, this provides a valuable source of data, if they are able to use the information in a required context. Technologies like Augmented Reality can be used to provide the user access to a virtual data overlay. Business processes can be enhanced by linking spatial information and IoT-data. Several specifications were developed over the years but the standardised data exchange between the different IoT-domains still remains a challenge to complete.

Bibliography

DOI 10.3139/104.112245

ZWF 115 (2020) 3; page 171 – 174

© Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG
ISSN 0947–0085