

Intelligente Entwurfsassistenz für Automatisierungssysteme

Vorteile deklarativer Paradigmen im Systementwurf

Björn Böttcher,	Fraunhofer Anwendungszentrum Industrial Automation (IOSB-INA), Lemgo
Natalia Moriz,	Institut für industrielle Informationstechnik (inIT), Lemgo
Oliver Niggemann,	Institut für industrielle Informationstechnik (inIT) und Fraunhofer IOSB-INA, Lemgo

Kurzfassung

Die Komplexität von Automatisierungssystemen steigt exponentiell an [1]. Gleichzeitig sind die für die Beherrschung dieser Komplexität notwendigen formalen Methoden in der Anforderungsbeschreibung und im Entwurf von Automatisierungssystemen kaum verbreitet [1] [2]. Der Grund dafür ist, dass ein Automatisierungssystem meist als maßgeschneiderte Individuallösung für die jeweilige Produktionsanlage betrachtet wird. Formale Methoden werden aufgrund fehlender Wiederverwendbarkeit in weiteren Anlagen als zusätzlicher Zeitaufwand verstanden.

Dieser Beitrag beschreibt ein neues Entwurfsverfahren für Automatisierungssysteme und dessen Implementierung in einem Assistenzsystem. Das Assistenzsystem unterstützt beim schnellen Erstellen eines konsistenten Anforderungsmodells auf Basis wiederverwendbarer Anforderungsbausteine. Es ermöglicht den automatischen Entwurf alternativer Automatisierungssysteme auf Basis des Anforderungsmodells. Das notwendige Entwurfswissen wird einmalig von Experten in deklarativer Form angelegt. Das Assistenzsystem realisiert die Anwendung dieses Wissens selbsttätig. Für den Anwender entfällt so die explizite Modellierung und Konfiguration des Automatisierungssystems.

Mit diesem Vorgehen wird die Entwurfsphase verkürzt und die Effizienz des Entwurfsprozesses erhöht. Dadurch ergibt sich eine Kostensenkung beim Entwurf und beim Umbau von komplexen heterogenen Automatisierungssystemen (Feld-, Steuerungs-, MES-Ebene).

1. Einleitung

Mit der Industrie 4.0 im Rahmen der Hightech-Strategie 2020 der Bundesregierung sollen Produktionssysteme zu effizienten, intelligenten technischen Systemen werden, die sich adaptiv an ihre Umgebung, neue Anforderungen und Produkte anpassen. Die bereits heute hohe Komplexität des Entwurfs, der Implementierung und der Konfiguration dafür notwendiger Automatisierungssysteme steigt rapide. Die Industrie 4.0-Strategie sieht die Lösung zur Beherrschung dieser Komplexität in Assistenzsystemen, die den Menschen aktiv unterstützen, Entscheidungen zu treffen [3] [4]. Die heute auf dem Markt vorhandenen Softwarewerkzeuge erschweren diese Aufgabe oft nur: Der Informationsumfang in solchen Werkzeugen ist sehr groß und dazu kompliziert verstrickt, sodass der Benutzer eher überfordert als unterstützt wird [5].

Dieser Beitrag beschreibt anhand des Verfahrens Assisted Design for Automation Systems (AD4AS) [6] [7] [8] ein Konzept für den Entwurf und die Konfiguration von Automatisierungssystemen. Das Konzept berücksichtigt, dass ein Automatisierungssystem eine maßgeschneiderte Individuallösung für die jeweilige Produktionsanlage ist. In dem Konzept wird die Individualität in einem Anforderungsmodell erfasst. Die nachfolgende Anwendung von allgemeingültigem Entwurfs- und Konfigurationswissen ergibt die maßgeschneiderte Lösung.

Im neuen Lösungsansatz wird der Mensch unterstützt, Anforderungen und Fachwissen über Entwurf und Konfiguration so zu beschreiben, dass dieses vom Assistenzsystem formalisiert und verarbeitet werden kann. Der eigentliche Entwurfs- und Konfigurationsprozess erfolgt automatisch und resultiert in alternativen Lösungsvorschlägen. Dem Menschen wird dabei eine maximale Handlungsfreiheit ermöglicht. Er beschreibt nur noch die Anforderungen - das „Was“. Das Assistenzsystem garantiert die logische Konsistenz dieser deklarativen Beschreibungen und führt den Entwurfsprozess - das „Wie“ - automatisch durch. Das bedeutet, dass Änderungen von Anforderungen lediglich eine Anpassung der deklarativen Beschreibungen erfordern. Der entsprechende Lösungsweg wird automatisch angepasst und durchgeführt.

Das Einsparpotential dadurch ist enorm. In der Entwurfsphase, begonnen mit der Erfassung von Anforderungen bis zur automatischen Erzeugung von Stücklisten, Konfigurationen und Dokumentationen beträgt das Einsparpotential bzgl. der aufzuwendenden Zeit mindestens 30%. Bei Planungsfehlern beträgt das Potential 70% [9]. Durch die hohe Qualität und mini-

mierte Fehlerrate automatisch entworfener Automatisierungssysteme sinken deren Herstellungs- und Änderungskosten um bis zu 15% [9]. Als Folge der optimierten Anlagenkonfigurationen ergeben sich u.a. Effizienzsteigerungen von bis zu 15% [10].

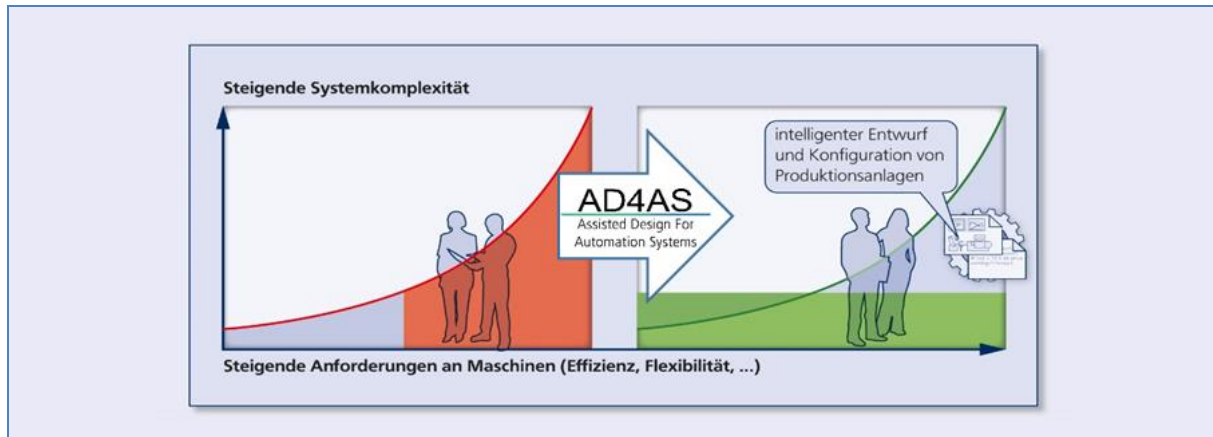


Abbildung 1: Steigende Komplexität und Lösungsidee des vorgestellten Entwurfsverfahrens

2. Entwurfsverfahren AD4AS in der Übersicht

AD4AS basiert auf vier konzeptuellen Schritten zum Entwurf von Automatisierungssystemen (siehe Abbildung 2), die in diesem Beitrag detailliert beschrieben werden.

Im ersten Schritt werden die Anforderungen an ein zu entwerfendes Automatisierungssystem erfasst. Speziell entwickelte formale Templates repräsentieren hier Systemanforderungen wie Prozessschritte, nichtfunktionale Anforderungen und strukturelle Anforderungen. Komplexe Zusammenhänge werden als formale Bedingungen (Constraints) über die Templates definiert. Im zweiten Schritt werden Constraints mit Hilfe eines Constraintsolvers behandelt, bis alle Inkonsistenzen behoben sind, sodass als Ergebnis ein in sich konsistentes Anforderungsmodell vorliegt.

Das Formalisieren des Expertenwissens über Automatisierungssysteme und dessen anschließende Anwendung in Form von Graphtransformationen realisieren den automatischen Entwurf im Schritt drei. Das Assistenzsystem erstellt auf Basis der formalisierten Anforderungen automatisch Varianten von Automatisierungssystemen, die sich nach verschiedenen Optimierungskriterien vergleichen, anpassen und auswählen lassen. Im letzten Schritt werden Lösungsvarianten automatisch mit konkreten Komponenten aus Produktkatalogen bestückt und

bewertet, sodass Benutzer eine möglichst optimale Lösung auswählen können. Je nach Bedarf kann beispielsweise eine möglichst günstige, leicht erweiterbare oder besonders langlebige Lösung bestimmt werden.

Der deklarative, in AD4AS aufgezeigte Ansatz ist bereits als Assistenzsystem implementiert. Bei allen formalen Methoden wird großer Wert auf die maximale Handlungsfreiheit und Transparenz für den Benutzer gelegt, da nur so eine hohe Benutzerakzeptanz erreicht wird.

Im Beitrag werden das Konzept und seine Umsetzung fachlich vertieft und eines Prototypen veranschaulicht, um die praktische Relevanz und den hohen Innovationsgrad zu demonstrieren.

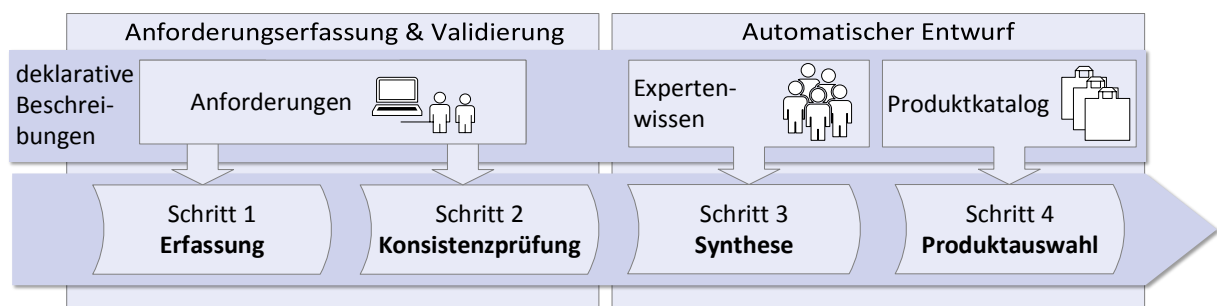


Abbildung 2: Gliederung des Entwurfsverfahrens AD4AS in 4 Schritte

3. Von der Anforderungserfassung zu einem konsistenten, formalen Modell

Während der Planung von Produktionsanlagen werden Kundenanforderungen heute von verschiedenen Fachleuten zum Teil im technischen Vertrieb, zum Teil in den entsprechenden Fachabteilungen bearbeitet. In dieser frühen Planungsphase entstehen Fehler, die in der anschließenden Implementierung der Anlage zu teuren Zeitverzögerungen oder ineffizienten Komponentenkonfigurationen führen [11]. Dies können vor allem fehlerhafte Absprachen aber auch überdimensionierte Aktoren, nicht interoperable Schnittstellen oder falsche Dokumentationen sein. Die zunehmende Komplexität des Entwurfs von Produktionsanlagen durch die Evolution zu CPPS verschärft diese Problematik [12] [13].

Die Planung der Anlage geht dem Entwurf des Automatisierungssystems typischerweise voran [1]. Somit stellt neben dem zu realisierenden Prozess vor allem der Anlagenentwurf die Anforderungen an das Automatisierungssystem. Daher berücksichtigt das hier vorgestellte Konzept die Möglichkeit, die Entwurfsdaten von einer Anlage als Ausgangsbasis für ein Anforderungsmodell zu verwenden. Dazu wird das Austauschformat Automation ML [14] zugrunde gelegt.

Alternativ dazu ist die manuelle Erstellung eines Anforderungsmodells mit Unterstützung durch das Assistenzsystem möglich. Dazu verwendet AD4AS generische Anforderungskomponenten (Templates), die beispielsweise für ein Förderband, einen Prozessschritt oder ein Antriebssystem stehen können. Formal sind diese Templates Erweiterte Feature Modelle (EFM), also eine hierarchische Anordnung von parametrierbaren Features und Bedingungen (Constraints) an die Parameter und Features. Beispielsweise sieht ein einfaches Template für ein Förderband wie folgt aus:



Das Template Förderband entspricht einem Konfigurationsmodell wie es in heutigen Produktkonfiguratoren für einzelne Produkte zum Einsatz kommt. Ein Template wird einmalig von einem Experten erstellt und kann dann beliebig oft in ein Anforderungsmodell für ein Automatisierungssystem eingefügt werden. Im oben exemplarisch dargestellten Template ermöglichen die Constraints, nur das vom Förderband zu transportierende Werkstück zu beschreiben. Wertebereiche für Tragkräfte oder notwendige Motorleistungen werden durch die Constraints automatisch bestimmt. Ebenso können Templates durch Constraints verknüpft werden, um beispielsweise die Werte der Werkstücke aufeinanderfolgender Prozessschritte gleichzusetzen. Das in diesem Beitrag beschriebene Entwurfsverfahren erleichtert den Umgang mit Constraints. Die Abbildung 3 und Abbildung 4 zeigen den AD4AS-Prototypen, der die Ergebnisse einer

Konsistenzprüfung der Anforderungen darstellt. Es wird geprüft, ob alle Constraints im Anforderungsmodell logisch widerspruchsfrei sind. Ist dies nicht der Fall, wird eine minimale Korrekturmenge für das Anforderungsmodell bestimmt. Dies ist die kleinste Anzahl von Constraints, deren Änderung alle Widersprüche beheben kann.

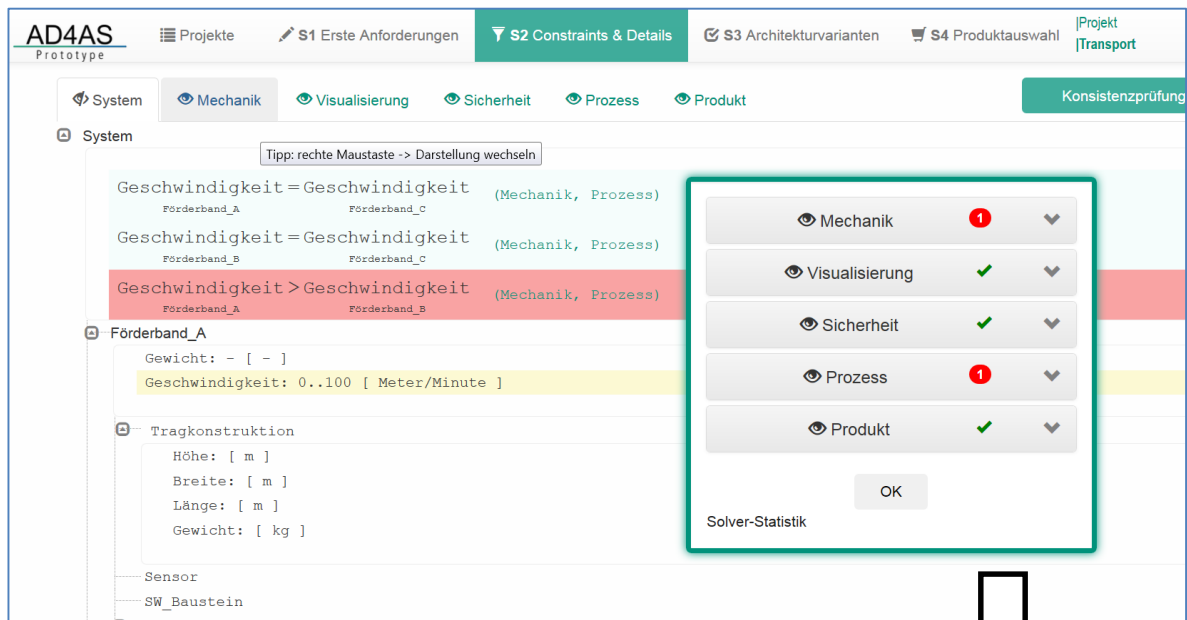


Abbildung 3: Weboberfläche des Assistenzsystems zeigt Ergebnisse der gewerkeübergreifenden Prüfung der Anforderungskonsistenz

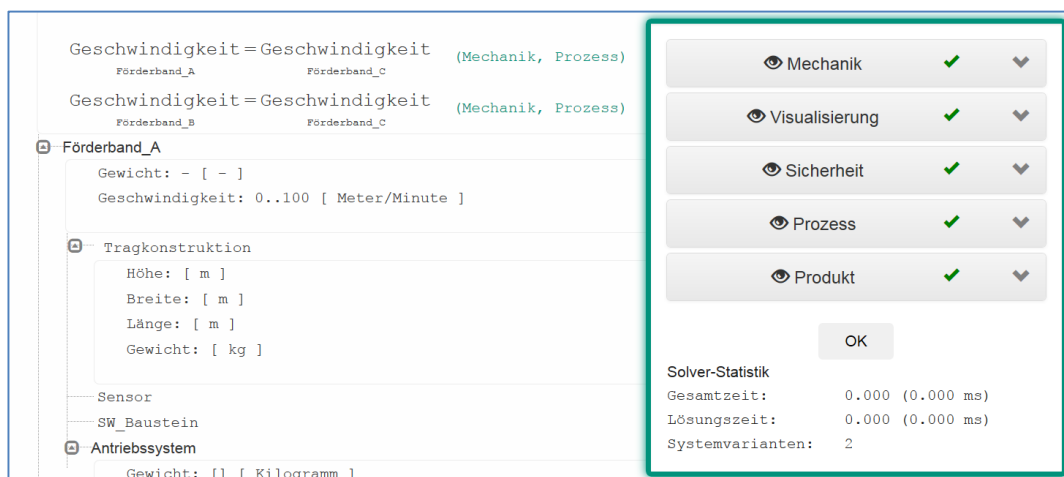


Abbildung 4: Erfolgreiche Überprüfung nach Entfernen des widersprüchlichen Constraints

Dadurch wird die Effizienz der Anforderungsmodellierung in zweierlei Weise gesteigert. Zum einen werden widersprüchliche Anforderungen gezielt identifiziert und dem Ingenieur mitge-

teilt. Zum anderen unterstützen die minimalen Korrekturmengen die interdisziplinäre Zusammenarbeit. Ist das Anforderungsmodell von mehreren Personen erstellt worden, zum Beispiel von einem Mechaniker, einem Elektriker und einem Visualisierungsexperten, kann mit den minimalen Korrekturmengen die minimale Zahl von Personen bestimmt werden, deren Anforderungen sich widersprechen. Das Assistenzsystem fokussiert also aktiv die Zusammenarbeit der beteiligten Gewerke.

4. Automatischer Entwurf von Lösungsvarianten

Da sowohl das EFM als auch die meisten Automatisierungstopologien durch einen Baum dargestellt werden können, setzt der Schritt 3 von AD4AS auf Graphtransformationen auf. So können einige Features (wie Sensoren, Aktoren oder andere Teilnehmer eines Automatisierungssystems) in die zu erstellende Topologie direkt übernommen, andere aber durch die Anwendung von Regeln hinzugefügt werden. Außerdem müssen alle Verbindungen zw. den Komponenten eines Automatisierungssystems korrekt sein und Ressourcenbeschränkungen wie zum Beispiel verfügbare Bandbreiten einhalten. Um diesen Ansatz realisieren zu können und dabei auch Lösungsvarianten zu bilden, wird ein mächtiges Regelwerk benötigt.

Das Formalisieren des Expertenwissens über Automatisierungssysteme und dessen anschließende Anwendung wird mit einem Graphersetzungssystem realisiert. Es müssen verschiedene Wissenskategorien, wie z.B. verschiedene Netzwerktopologien, technologiespezifische Eigenschaften, generische Eigenschaften, etc. identifiziert und formalisiert werden. Ingenieure können direkt Muster für Automatisierungstopologien oder Teile davon beschreiben. Berechnungen wie zum Beispiel die grundlegenden Eigenschaften von Echtzeit-Ethernet-Protokollen (IEC 61784 Teil 2) können durch Anwendungsbedingungen (Application Conditions) beschrieben werden. Dazu gehören Angaben zur Kapazität wie beispielsweise Durchsatz für Echtzeitdaten (Throughput RTE), Angaben zum Zeitverhalten, beispielsweise Genauigkeit der Zeitsynchronisation (Time synchronization accuracy) und Angaben zur Topologie wie etwa die Anzahl der Endstationen (Number of endstations).

In der Abbildung 5 ist ein Ausschnitt aus der Regeleingabe gezeigt. Das deklarative Konzept zur Regeleingabe ist wie folgt. In grafischer Weise wird das Muster für eine Automatisierungstopologie beschrieben. Exemplarisch gezeigt ist eine hierarchische Topologie, deren oberstes Element Umrichter sind. An einem Umrichter dürfen bis zu 5 Sensoren und ein oder zwei Motoren angeschlossen sein.

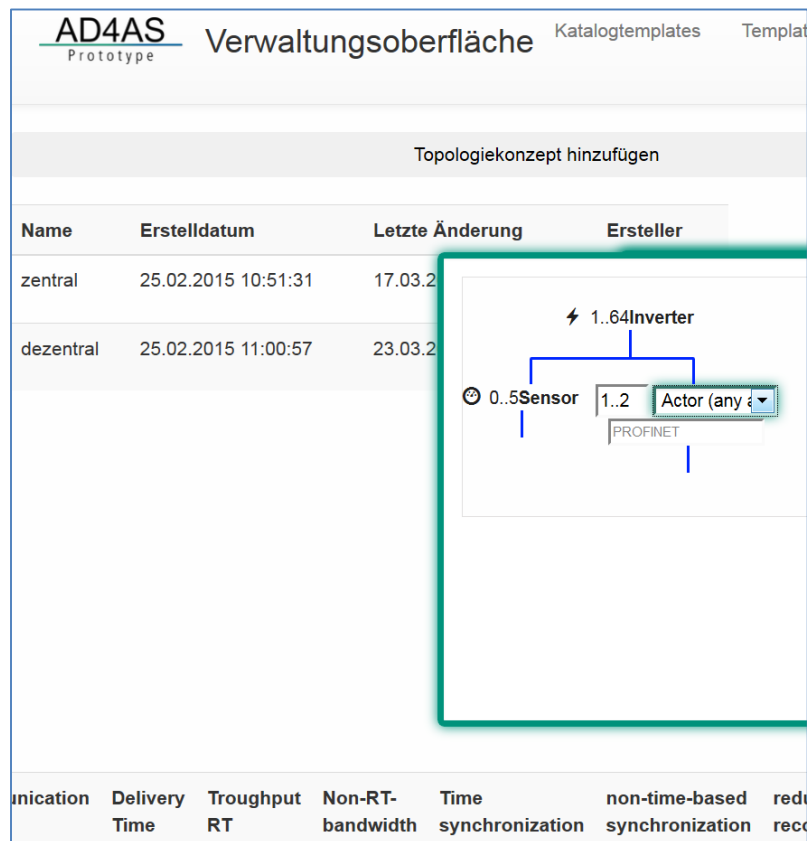


Abbildung 5: Grafische Beschreibung von Entwurfsregeln im Assistenzsystem

Diese Kardinalitäten können über Constraints weiter eingeschränkt werden. Beispielsweise kann die Anzahl der einer Komponente untergeordneten Komponenten durch die beanspruchte Bandbreite begrenzt werden.

Aus diesen Regeln werden dann automatisch Graphtransformationsregeln (Produktionen) und Anwendungsbedingungen generiert. Mit diesen wird der automatische Entwurf durchgeführt. Die Transformationen fügen fehlende Automatisierungskomponenten hinzu und bringen alle Komponenten in die vorgegebene hierarchische Anordnung. Die nachfolgende Abbildung 6 zeigt eine so generierte Lösungsvariante.

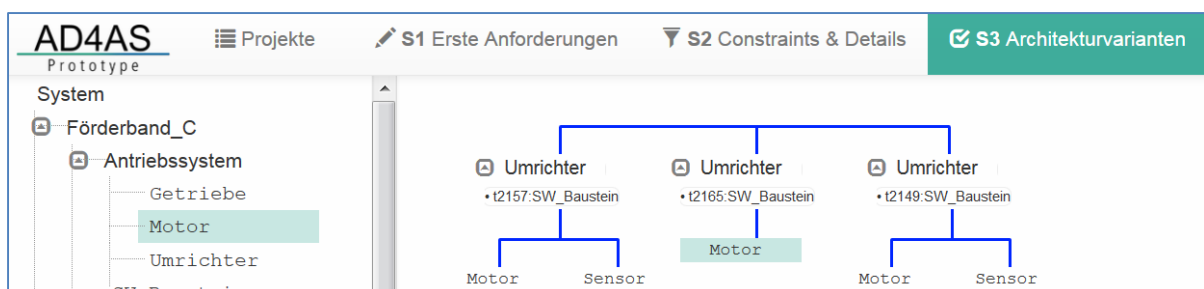


Abbildung 6: Beispiel für eine vom Assistenzsystem generierte Automatisierungstopologie

5. Zusammenfassung

Das vorgestellte Assistenzsystem unterstützt beim schnellen Erstellen eines konsistenten Anforderungsmodells und ermöglicht den automatischen Entwurf alternativer Automatisierungssysteme auf Basis dieses Modells. Das notwendige Expertenwissen wird formal beschrieben. Die Anwendung dieses Expertenwissens plant und führt das Assistenzsystem automatisch durch. Dadurch wird die Entwurfsphase verkürzt und die Effizienz des Entwurfsprozesses erhöht. Insbesondere können Anforderungen leichter geändert werden, da die Lösungen automatisch angepasst werden.

Das Assistenzsystem kombiniert und nutzt etablierte formale Methoden und benötigt dazu lediglich das „Was“, also deklarative Eingaben vom Benutzer. Die Lösungsfindung, das „Wie“ erfolgt automatisch. Die Konsistenzprüfung eingegebener Anforderungen garantiert, dass Benutzer widersprüchliche Anforderungen mit einer minimalen Anzahl von Änderungen beheben können. Dabei werden notwendige Absprachen zwischen möglichst wenigen der beteiligten Gewerke ermittelt.

Zusammenfassend lassen sich folgende Vorteile des in diesem Beitrag vorgestellten Verfahrens nennen:

- ✓ Höhere Qualität der Lösung durch frühe Konsistenzprüfung
- ✓ Automatische Anpassung des Entwurfs bei Änderung von Anforderungen
- ✓ Verkürzung der Entwurfsphase, Erhöhung der Effizienz durch teilweise Automation des Entwurfsprozesses
- ✓ Kostensenkung beim Entwurf, bei der Inbetriebnahme und beim Umbau von komplexen heterogenen Automationssystemen

Danksagung

Das dieser Veröffentlichung zugrundeliegende Projekt „Entwurfsmethoden für Automatisierungssysteme mit Modellintegration und automatischer Variantenbewertung (EfA)“ wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter den Förderkennzeichen 01M3204B & 16M3204A gefördert.

Quellen

- [1] A. Fay, B. Vogel-Heuser, T. Frank, K. Eckert, T. Hadlich und C. Diedrich, „Enhancing a model-based engineering approach for distributed manufacturing automation systems with characteristics and design patterns,” *Journal of Systems and Software*, Nr. 101, pp. 221-235, 2015.
- [2] B. Vogel-Heuser, C. Diedrich, A. Fay, S. Jeschke, S. Kowalewski, M. Wollschlaeger und P. Göhner, „Challenges for Software Engineering in Automation,” *Journal of Software Engineering and Applications*, Nr. 7, pp. 440-451, 2014.
- [3] C. Kurz, „Qualität der Arbeit wird sich ändern,” *VDMA Nachrichten 03/13, Industrie 4.0: Revolution, Zukunftsthema oder Hype?*, 2013.
- [4] Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V (VDMA), McKinsey & Company, „Zukunftsperspektive deutscher Maschinenbau,” 2014.
- [5] D. Spath, O. Ganschar, H. M. Gerlach S., T. Krause und S. Schlund, „Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0,” 2013.
- [6] B. Böttcher, J. Badinger, N. Moriz und Niggemann, „Design of Industrial Automation Systems - Formal Requirements in the Engineering Process,” in *18th IEEE International Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA)*, Cagliari, Italy, 2013.
- [7] N. Moriz, B. Böttcher und O. Niggemann, „Assisted Design for Automation Systems - from Formal Requirements to Final Designs,” *19th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*, 2014.
- [8] B. Böttcher, N. Moriz und O. Niggemann, „From Formal Requirements on Technical Systems to Complete Designs - A Holistic Approach,” *21st European Conference on Artificial Intelligence - Frontiers in Artificial Intelligence and Application 2014*, pp. 967-978, 8 2014.
- [9] U. Bracht und A. Spillner, „Die Digitale Fabrik: Nutzen und Methoden,” in *Digitale Fabrik - Methoden und Praxisbeispiele*, Springer, 2011.
- [10] H. Borchering, M. Köster, S. Windmann, M. Ehlich und O. Niggemann, „Energieeffizienz in der Intralogistik - Elektrische Antriebstechnik- intelligent und nachhaltig,” *Werkstattstechnik online*, 5 2013.
- [11] EU-Kommission, „MANUFUTURE – Strategic Research Agenda,” 2006.
- [12] BMBF Hightech-Strategie, „Zukunftsbild ,Industrie 4.0,“ 2013.

- [13] J. Otto, S. Henning und O. Niggeman, „Why cyber-physical production systems need a descriptive engineering-approach - a case study in plug & produce,“ *International Conference on System-integrated Intelligence*, 2014.
- [14] AutomationML e.V., „Automation Markup Language,“ 2014.
- [15] B. Vogel-Heuser, D. Schütz, T. Frank und C. Legat, „Model-driven engineering of Manufacturing Automation-Software Projects - A SysML-based approach,“ *Mechatronics*, pp. 883-897, 18 June 2014.