

VAIAS - Validierbare Architekturen für Industrielle Automatisierungssysteme

Valeriy Vyatkin

Martin Luther Universität Halle-Wittenberg
Kurt-Mothes Str.1
06120 Halle

Einleitung

Die Herausforderungen des schnelllebigen Marktes führten zur Entwicklung von Konzepten für eine skalierbare, flexible Fertigung. Versuche, solche Systeme zu implementieren, verursachten zunächst viele ungelöste Probleme in Bezug auf neue Algorithmen und Methoden für automatisierte Validierung und bei den Architekturen von „lower-level control“ Systemen.

Die Hauptanforderungen an derartige Systeme, Methoden und Tools umfassen:

- komponentenorientierte Software für „Intellectual Property“(IP)-Kapselung,
- Wiederverwendbarkeit,
- Portierbarkeit,
- Interoperabilität von Geräten,
- die Fähigkeit, Applikationen zu verteilen und zu integrieren,
- die funktionale Vollständigkeit des Systems; die Skalierbarkeit; die Erweiterbarkeit,
- die flexible Rekonfigurierbarkeit;

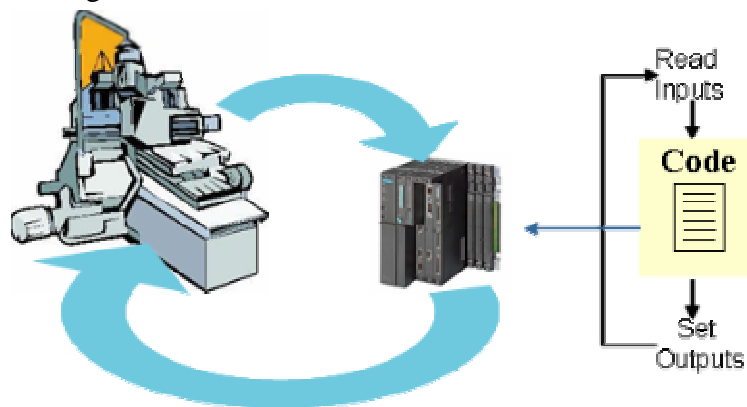


Abbildung 1. Die traditionelle Strecke – SPS-Steuerung geschlossener Kreis mit zyklischer Architektur des Steuerungsgeräts.

Der IEC 61131-3 Standard [IEC61131] für Programmiersprachen der SPSen (Speicher-Programmierbare Steuerung Geräte) wurde einer der erfolgreichsten globalen Software-Standards für industrielle Anwendungen. Immerhin ist dieser Standard jetzt 11 Jahre alt und erreicht damit das Ende seines technologischen Lebenszykluses. Sowohl seine Integrationsfähigkeiten als auch das Verarbeitungsmodell passen nicht mehr zu den neuen Anforderungen von verteilten und flexiblen Systemen in der Automatisierung. Das alte zentralisierte Programmierungsmodell (Abbildung 1) kann zu unvorhersehbaren Störungen der Verarbeitungszyklen führen wenn zwei oder mehr Steuerungskomponenten sind in einem

SPS Zyklus angeordnet (Abbildung 2) oder in den über ein Netzwerk kommunizierende Geräten ausgeführt. Bei der Forderung nach Rekonfigurierbarkeit wird die Wiederverwendung von Komponenten durch das zentralisierte zyklische Programmausführungsmodell erschwert.

Automatisierungssysteme sind im Allgemeinen sicherheitskritisch. Deswegen ist eine formale Validierung der Steuerungsalgorithmen sehr wichtig. Da komponentenbasierte Systeme von Natur aus dezentral und asynchron arbeiten, entstehen hier neue Herausforderungen für Test und Validierung. Gängige Testverfahren sind für den Test von komponentenbasierten und agil rekonfigurierbaren Systemen ungeeignet. Durch formale modellbasierte Validierung wird ein automatisierter Test von komponentenbasierten und rekonfigurierbaren Steuerungssystemen möglich. Erster und wesentlicher Teil der formalen Analyse von verteilten Systemen ist deren Modellierung. Die Modellierung wird in alle Phasen des Systemdesigns eingebettet durch strukturelle und semantische Modelle aller Strukturen und Grundelemente.

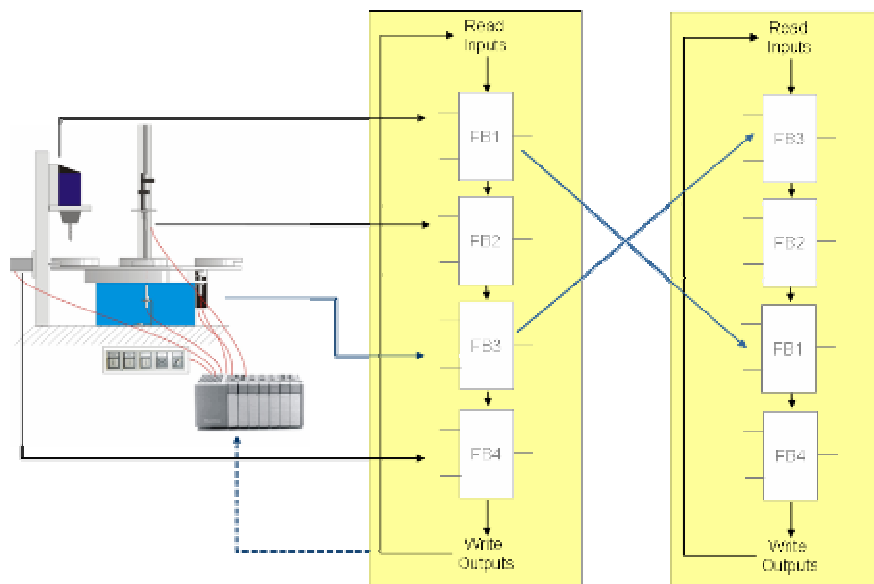


Abbildung 2. Komponenten - orientierte Organisation in IEC61131:
Die Semantik ist von Anordnung der Komponenten in Zyklus abhängig.

Ziel des VAIAS Projektes ist die Weiterentwicklung von Softwarearchitekturen und die Implementierung von entsprechenden Werkzeugen zur breiten Anwendung von formalen Methoden für **Software-Validierung** in der **Industrieautomatisierung**. Letztendlich soll dies die Sicherheit und die Rekonfigurierbarkeit von Produktionssystemen verbessern.

Stand der Wissenschaft und Technik

Der IEC61499 [IEC02a, IEC02b] ist ein Entwurf eines Standards, der die Architektur von Industrieautomatisierungssystemen in den nächsten Jahrzehnten bestimmen wird. Der Vorteil von IEC61499 gegenüber anderen Funktionsblock-orientierten Ansätzen liegt in seinem funktional kompletten und konsistenten Modell. Durch die komponentenbasierte *funktionelle Architektur* wird die erforderliche Funktionalität von verteilten Systemen (Sensoren/ Aktoren, Steuerung, Automation, Diagnoseprogramme, Kommunikation, Mensch-Maschine-Schnittstelle, Programmierung, Tests, Simulation, Validierung, usw.) vollständig abgedeckt, wobei durch die *Integrationsarchitektur* der Einsatz dieser Funktionalitäten in industriellen, offenen, verteilten Echtzeit-Steuerungssystemen wesentlich erleichtert wird.

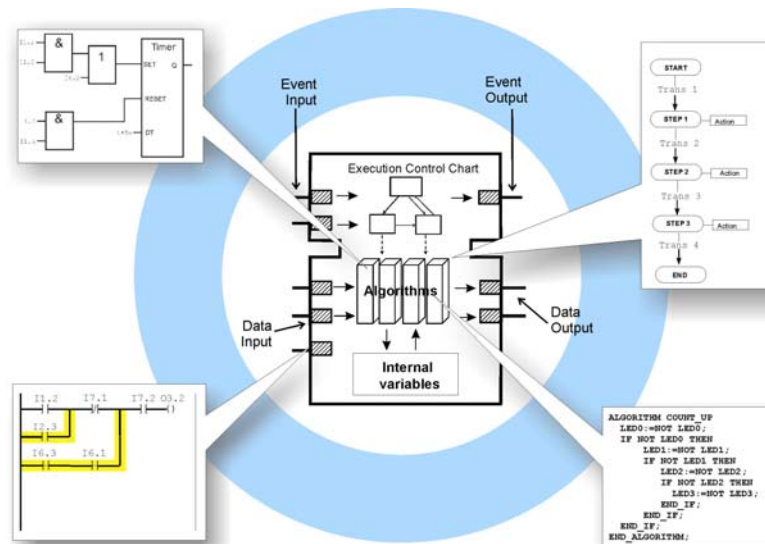


Abbildung 3. Funktionsblock Konzept des IEC61499.

Bisher sind nur wenige Softwarewerkzeuge gemäß IEC61499 entwickelt worden. Obwohl diese Werkzeuge die Evaluierung von mehreren Funktionen von IEC61499 zulassen, wie beispielsweise Interoperabilität, wurden viele sicherheitskritische Optionen noch nicht vollständig implementiert.

Jedoch der IEC 61499 Standard und sein Modell müssen netzwerkorientiert erweitert und modifiziert werden. Mit diesen Erweiterungen wird es gelingen, herstellerunabhängige Systemarchitekturen für die nächste Generation der offenen verteilten Steuerungssystemen zu nutzen.

Drei Prototyp-Plattformen mit sehr vereinfachter Semantik, die weit hinter den Erfordernissen des IEC61499 Standards zurück blieben, wurden von Rockwell Automation (USA), SOFTING AG (Deutschland) und PROFACTOR Produktionsforschung (Österreich) realisiert. Die Rockwell-Plattform basiert auf Java™ und hängt völlig von Java™ threads ab, wodurch Anwendungen, die deterministisches und zeitvoraussagbares Verhalten erfordern, nicht realisierbar sind. Die von SOFTING entwickelte Plattform ist auch auf Java™ basiert. Die von PROFACTOR entwickelte Plattform wurde für eingebettete Systeme entwickelt, die sehr beschränkte Ressourcen haben.

Die Engineering - Werkzeuge wurden an zwei Prototypen demonstriert und zwar von dem Function Block Development Kit von Rockwell [FBDK] und dem CORFU ESS [Thr02]. Diese Prototypen lieferten ein breites Spektrum von Funktionen, besaßen aber keine vollständigen visuellen Funktionsblock-Editoren sowie keine on-line Testfunktionen.

Obwohl IEC61499 ein formales semantisches Modell von verteilten Steuerungssystemen liefert, kann es nicht direkt für die Modellbildung der formalen Validierung verwendet werden. Um von der Anwendung von existierenden Modellvalidierungstools profitieren zu können, muß das IEC61499 Modell durch weitere universellere Formalismen beschrieben werden.

Anwendung von klassischem Petrinetzen (als in [Wur00]) führen zu hoch komplexen Modellen, die unbrauchbar für die automatisierte Validierung sind. Das von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (Ha 1886/10-1,2) [VH01a, VH03a] geförderte Forschungsvorhaben "Modellierung und Verifikation der Abarbeitungssteuerung von Funktionsblöcken nach IEC61499", das in Jahren 1999-2002 in MLU und Humboldt Universität Berlin ausgeführt

würde, führte eine allgemeine Modellierplattform für Funktionsblöcke nach IEC61499 ein, das "Net Condition/Event Systeme" (NCES) [Ha00] als Modellierungsmittel benutzt.

NCES es ist ein "discrete-state/discrete-time"- Formalismus, der sich gut für die Modellierung von verteilten Systemen mit diskreten Zuständen eignet (Abbildung 4). NCES ist ein formales Beschreibungsmittel die nützliche Eigenschaften wie die Verknüpfung von einzelnen Sub-Netzen durch Event-Signale besitzen sowie eine effektive Modularität und Kompaktheit sicherstellen. Für die formale Validierung werden NCES von der Werkzeug-Familie INA/SESA unterstützt, welche in der Humboldt-Universität Berlin entwickelt wird [Sta02].

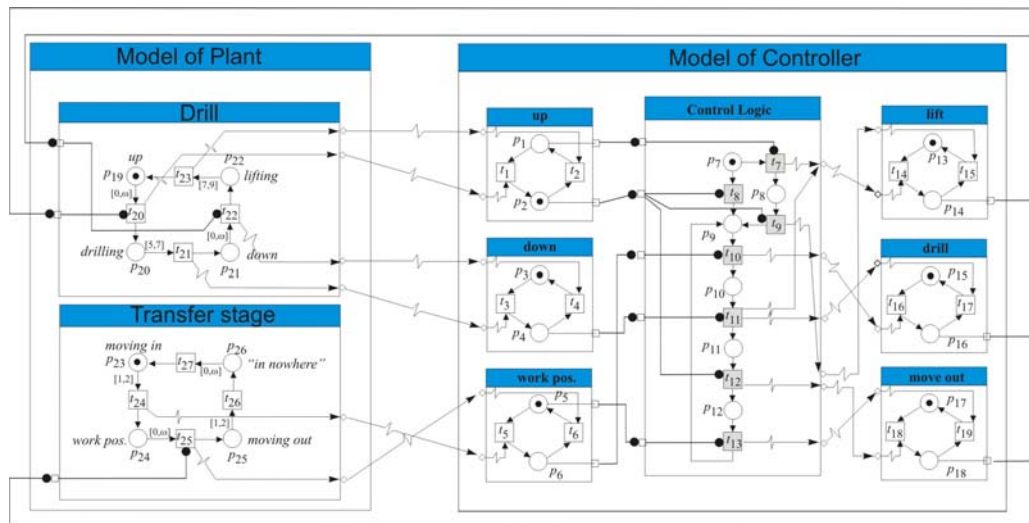


Abbildung 4. Beispiel einer geschlossenen Kreis NCES Modelle.

Projektstatus und Partnern

Der von BMBF geförderte Projekt „Validierbare Architekturen für Industrielle Automatisierungssysteme - VAIAS“ wird im Zeitrahmen 2004 – 2006 durchgeführt und eignet drei Partnern: Der Lehrstuhl für Automatisierungstechnik an der Martin-Luther-Universität Halle (Projektkoordinator), Firma PRO-SIGN GmbH (Magdeburg) und Firma ifak system GmbH (Magdeburg).

Der **Lehrstuhl für Automatisierungstechnik an der Martin-Luther-Universität Halle (AT/MLU)** hat einen Prototypen "Verification Environment for Distributed Applications" (VEDA) entwickelt sowie die Methoden zur formalen Modellierung und Validierung von verteilten Automatisierungssystemen nach IEC61499. Zur Zeit ist AT/MLU eines der wenigen weltweiten Kompetenzzentren für IEC61449, mit der ersten komponentenbasierten Anlage, die von echten IEC61499 konformen Geräten gesteuert wird.

Firma **PRO-SIGN** ist ein KMU, das sich im Bereich von Softwareentwicklung für die Industrieautomation spezialisiert hat. Es bietet eine moderne, leicht erweiterbare Entwicklungsumgebung für das grafische Programmiersystem iCon-L an, dass bereits eine breite Gerätepalette unterstützt und auf verschiedene Einsatzbereiche angepasst wurde (Abbildung 5). Es unterstützt die Anwenderprogramm-Entwicklung für MSR-Geräte von der Modellierung über die Implementierung und den Test bis zur Dokumentation und Wartung. Die Anwendung von iCon-L für die Anlagensimulation ermöglicht eine Erstellung der Anlagenmodelle mit minimalem Aufwand. Das zu testende Automatisierungsgerät (z.B. eine SPS) wird mit der in Echtzeit simulierten Anlage gekoppelt.

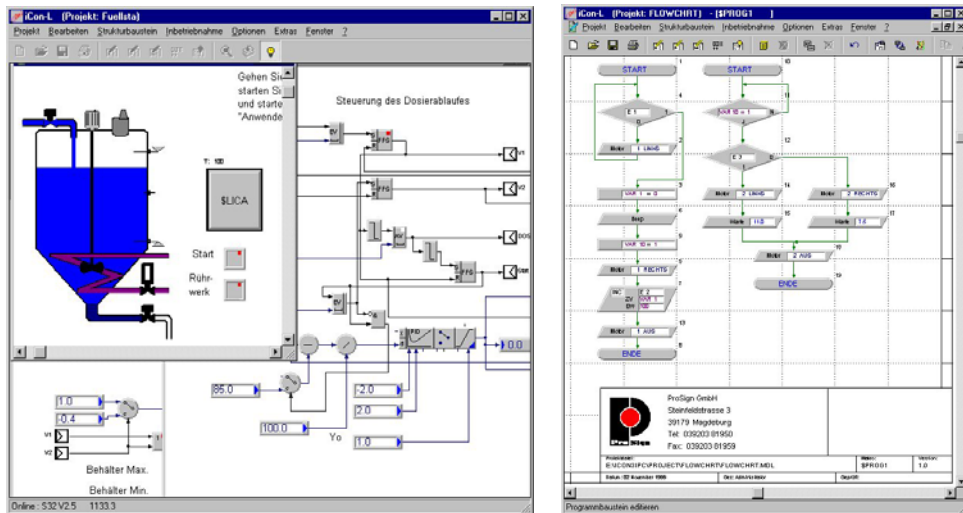


Abbildung 5. i-ConL System

Die **ifak system GmbH** entwickelt seit ihrer Gründung 1997 innovative Lösungen im Bereich der industriellen Kommunikation, der verteilten Automatisierung. So arbeitet man aktiv in zentralen Standardisierungsgremien (PNO, CiA, Drive- Com Nutzergruppe, Arbeitskreis FDT der PNO & ZVEI, OPC Foundation etc.) mit. So wurde bspw. am FDT-Standard (Field Device Tool), einem neuen Ansatz für die Konfiguration, Wartung und Diagnose von Automatisierungsgeräten, mitgearbeitet und es steht hier zwischenzeitlich ein FDT-Toolkit zur Verfügung. Im Rahmen dieser Entwicklungen setzten sich die Entwicklungsmitarbeiter von ifak auch mit dem Gedanken der verteilten Automation und dem dazugehörigen, noch in der Entwicklung befindlichen Standard IEC61499 auseinander. Somit stehen für die Durchführung der geplanten VAIAS Entwicklungen ausgezeichnete Voraussetzungen bei ifak zur Verfügung.

Wissenschaftliche und technische Ziele des Projekts

Ziel des VAIAS Projekts ist die Entwicklung und Integration von Methoden und Werkzeugen, die notwendig sind, um die Vorteile von komponentenbasierten Engineering-Werkzeugen in der industriellen Umgebung zu demonstrieren. Die Vision eines rekonfigurierbaren komponentenbasierten Automatisierungssystems wird in der Tabelle 1 zusammen mit den notwendigen Techniken dargestellt, die für die Implementierung erforderlich sind.

Ziel des VAIAS Projekts ist, es vorhandene Lösungen und Techniken zu integrieren, fehlende Teile zu entwickeln und das Ergebnis in industriellen Testumgebungen zu demonstrieren.

Tabelle 1.

Entwicklungsschritte eines rekonfigurierbare Automatisierungssysteme	Fehlende Technologien
<p>Schritt 1. Entwicklung von "Automationskomponenten", die die formale Spezifikation ihrer Semantik bei Schutz des geistiges Eigentums des Entwicklers zulassen.</p>	<p><i>Eine Brücke zwischen aktueller und zukünftiger Architektur von low-level Steuerungen und anwendungsorientierten Architekturen von rekonfigurierbaren Maschinen ist erforderlich.</i></p>
<p>Schritt 2. Design der Steuerungsanwendung in hierarchischer Weise durch Zusammenfügen von Komponenten. Die Anwendung muss daher auf unterschiedlichen Ebenen Funktionen der Steuerung, Kommunikation usw. auf der Basis gekapselter Komponentenfunktionen abdecken,</p>	<p><i>Entsprechende Ingenieur werkzeuge Engineering-Tools sind notwendig zur Unterstützung des System-Engineerings, gemäss den entwickelten Systemstrukturen und dem computerunterstützten Design der Maschine.</i></p>

unabhängig von der Architektur der Hardware.	
Schritt 3. Design des Steuerungssystems durch eine Zuordnung auf die jeweiligen Hardwarestrukturen. Eingeschlossen werden Rechner, Kommunikationseinrichtungen sowie Ressourcen.	<i>Verhalten der Laufzeitsysteme soll so spezifiziert werden, dass eine formale Analyse der Systemkonfiguration ermöglicht wird. Ein neues, vollständig konformes Laufzeitsystem soll entwickelt werden.</i>

In der Arbeitsgruppe der AT/MLU ist eine Laboranlage (FESTO Didactic) mit entsprechenden Speicherprogrammierbaren Steuerungen verschiedener Hersteller verfügbar. Die soll als Testbeispiel im Rahmen des VAIAS Vorhabens dienen (mit einigen Erweiterungen die notwendig sind, um die Rekonfiguration zu demonstrieren)¹.

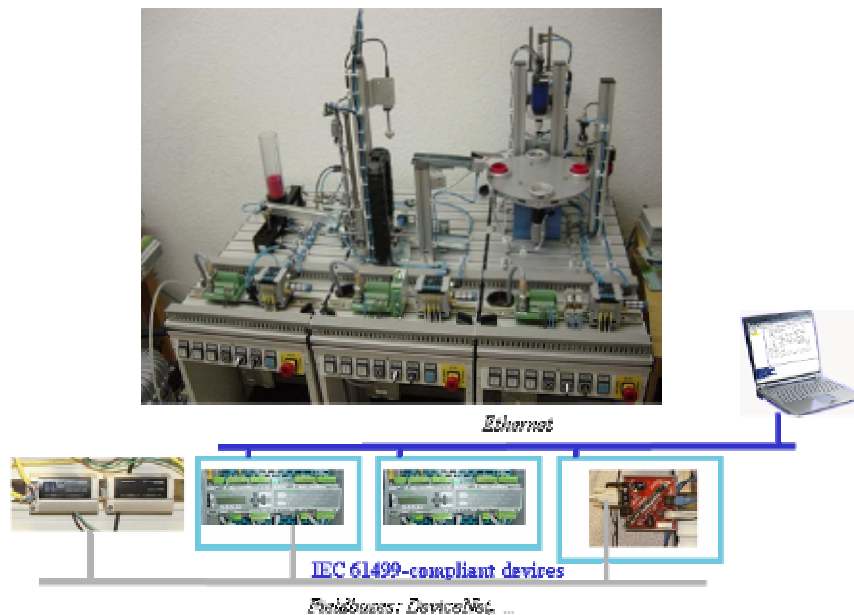


Abbildung 6. Komponentenbasierte Versuchsanlage.

VAIAS wird den praktischen Integration von verteilten intelligenten Geräten und Maschinen entsprechend IEC 61499 demonstrieren. Dank der Entwicklung der Engineering - Methodologie und dem ausgiebigen Gebrauch von eingebetteter Modellierung, Simulation und Verifikation, können die neuesten Erkenntnisse der Steuerungstechnik in die Praxis der Industrieautomatisierung übertragen werden. Das Projekt adressiert und löst die fundamentalen Probleme von Effizienz und Vorhersagbarkeit von IEC61499 Anwendungen, die sich in der Evaluierung ergeben. IEC61499 ist die erste Referenzarchitektur für verteilte Steuerungen, die einen formalen Hintergrund hat. Die Semantik von Anwendungen ist durch Verweis auf formale Modelle ihrer Komponenten definiert. Dies erlaubt die Anwendung von formalen Methoden, um die Korrektheit von Anwendungen zu überprüfen, oder die Art der Fehler zu bestimmen. Auf Grundlage der von den Partnern geführten Studien wird der Modellierformalismus weiter fortentwickelt zur Zusammenführung von ereignisgesteuerter Semantik, Modularität und intuitiver graphischer Schnittstelle für "Net Condition/Event-Systeme" mit den Vorteilen der UML Diagramme. Es ist beabsichtigt, die Kluft zwischen dem formalen Modell und dem allgemeinen Wissen der Steuerungstechniker zu überbrücken.

¹ Hierzu ist eine Erweiterung der vorhandenen FESTO-Anlage um einige neue mechatronische Komponenten für eine vierte Teilstation geplant. Damit können weitaus komplexere Steuerungsaufgaben und auch ein wirklich nebenläufiger Betrieb ermöglicht werden

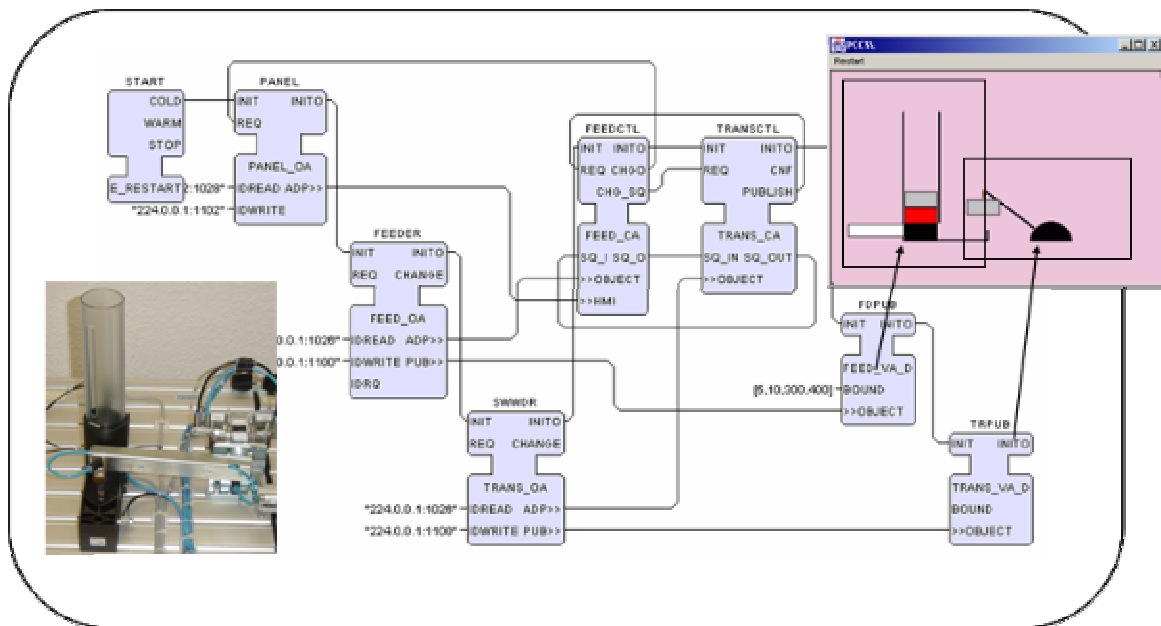


Abbildung 7. Implementierung von Steuerung, Modell und Visualisierung (MVC - Framework) für die erste Station der Versuchsanlage nach MVC Vorgang.

Vor allem spricht dieses Projekt direkt folgende Entwicklung an:

- Neue ingenieurtechnische Methoden für:
 - die Kapselung und Wiederverwendung von IP, die die konventionelle Softwaremethodologie der Unified Modelling Language (UML) mit dem IEC 61499 Funktionsblock-Modell kombinieren;
 - die Verbreitung solcher verkapselten IP in intelligente „Geräte“ mit Hilfe des IEC 61499 Gerätemodells;
 - die weitere Verbreitung und Integration von einfachen Komponenten in höherwertige Einheiten (Maschinen und Systeme) unter Benutzung von IEC 61499 System und Anwendungsmodellen;
 - Simulation, Test- und zunehmender Einsatz von solchen Geräten und Systemen, die auf IEC61499 basieren und ein erweitertes Model/View/Controller Framework (Abbildung 7) benutzen .

Neue Methoden und Tools für formale Validierung und Verifikation für Geräte und Systeme, die das IEC61499 ereignisgesteuerte Steuerungsmodell integriert mit Simulation und Visualisierung verwenden.

Die Anwendung von formaler Verifikation ist vorteilhafter, wenn sie für "closed-loop"-Modelle von Steuerungssystemen angewendet werden, d.h. Modelle werden in der gleichen Art wie Steuerungen in realen Anlagen eingebunden. Das MVC Framework erlaubt Beschreibungen von solchen "geschlossene Kreisen" für jede verteilte Komponente des Systems. Diese bildet die notwendige architektonische Voraussetzung für effektivere Integration der Verifikation in der Engineering - Praxis. Das Modell der Anlage wird wiederverwendbar, wodurch sich der Aufwand und die Kosten der Validierung reduzieren.

In VAIAS es ist geplant dass:

1. Formulierung und Formalisierung von Spezifikationen des gewünschten oder verbotenen Systemverhaltens werden durch die Verwendung von Spezifikationsmustern und einer graphischen Spezifikationsprache vereinfacht;

2. Heterogenes Modellieren und das MVC Framework erlauben, die Ergebnisse der Verifikation mittels Simulation und Visualisierung zu interpretieren;
3. Es wird angenommen, daß Methoden, die auf der Skalierbarkeit für heterogene Modelle basieren, die Komplexität der Modellüberprüfung reduzieren.

Die folgenden spezifischen Merkmale von verteilten Systemen mit dezentraler Steuerung sollen betrachtet werden:

- *verteilte Steuerungslogik*: Das Verhalten der Gesamtsysteme wird oft unüberschaubar und ist oft schwierig zu testen oder zu verifizieren.
- *dynamisch erstellte Strukturen* von Produktionsagenten führen zu statisch unvorhersagbaren Kombinationen von konkurrierenden Prozessen in der Anlage.
- *Änderungen in Systemprozeduren* (z.B. im data sampling) können unerwartetes Verhalten verursachen.
- Verteilung von Softwarekomponenten über *unterschiedliche Hardware Architekturen*. Parameter der Kommunikation (Protokolle, Geschwindigkeit, usw.) können die Laufzeitcharakteristik von verteilten Systemen stark beeinflussen.
- Neue Software Toolsets und Komponentenbibliotheken, die die oben aufgeführten Methodologien unterstützen.
- Neue Laufzeitplattformen konform mit der IEC 61499 Spezifikation, illustrieren die Netzwerk- und Hersteller-Unabhängigkeit dieser Architektur.

VAIAS Projekt zeigt auf, wie die Beschränkungen in vorherigen Ansätzen zu überwinden sind:

- Gebrauch von IEC 61499-konformen Funktionsblöcken für die Kapselung von Automatisierungs- und Steuerungsfunktionen in einer für Steuerungstechniker leicht verständlichen Form.
- Gebrauch der laut IEC 61499 genormten ereignisgesteuerten und verteilten Laufzeitarchitektur, um ein Geräte- und Systemdesign zu erreichen, dessen Eigenschaften formal von automatisierten Methoden getestet werden können.
- Isolieren von Hersteller- und Netzwerkabhängigkeiten durch klares Kapseln dieser Abhängigkeiten in Service Interface Function Blocks nach IEC61499.

Ergebnisse des VAIAS Projekts werden öffentlich zugänglich gemacht, um den Stand der Technik in der Steuerungstechnik zu verbessern, die Verbesserungen in die öffentlich zugängliche Spezifikation des IEC 61499 einzubringen und um die Netzwerkinfrastruktur für die nächste Generation von Industrieautomatisierung und Steuerungen zu definieren.

Literatur

- [IEC61131] International Standard IEC 1131-3, Programmable Controllers - Part 3, International Electrotechnical Commission, 1993, Geneva, Switzerland
- [IEC02a] Function blocks for industrial-process measurement and control systems - Part 1: Architecture, International Electrotechnical Commission, Geneva, 2002.
- [IEC02b] *Function blocks for industrial-process measurement and control systems - Part 2: Software tools requirements*, International Electrotechnical Commission, Geneva, 2001
- [FBDK] Function Block Development Kit, www.holobloc.com
- [IDA] IDA (Interface for Distributed Automation) Group <<http://www.ida-group.org/>>

- [Lew01] R. Lewis: *Modeling Control Systems using IEC 61499*, IEE, London, 2001
- [Chr00] J.H. Christensen: *Design patterns for system engineering with IEC 61499*. Proc. of Conference "Verteile Automatisierung" (Distributed Automation), pages 63--71, Magdeburg, Germany, 2000
- [Chr02a] J.H. Christensen: IEC 61499 ARCHITECTURE, ENGINEERING, METHODOLOGIES AND SOFTWARE TOOLS, 5th IFIP International Conference on Information Technology for BALANCED AUTOMATION SYSTEMS In Manufacturing and Services, to appear in Proceedings, Cancun, Mexico, September, 2002
- [Fle01b] M. Fletcher, R.W. Brennan: Designing Holonic Manufacturing Systems Using the IEC 61499 (Function Block) Architecture IEICE/IEEE Joint Special Issue on Autonomous Decentralized Systems' Assurance, IEICE Transactions Inf. & Sys. Vol. E84-D, No.10, 2001
- [Bnf03] M. Bonfe, C. Fantuzzi: *Design and Verification of Mechatronic Object-Oriented Models for Industrial Control Systems, IEEE Conference ETFA'2003, Lisbon, 2003, Proceedings, vol.II, pp.253-260*
- [Wur00] Wurmus, H.; Wagner, B.: «IEC 61499 konforme Beschreibung verteilter Steuerungen mit Petri-Netzen»; Fachtagung 2000 'Verteilte Automatisierung' 22. - 23.3.2000 Magdeburg; Institut für Automation und Kommunikation e.V. [Hrsg. Ch. Döscher];Magdeburg 2000.
- [DR00] C. Dietrich, M Riedl: Unterschiedliche Funktionsblockrepräsentationen in Feldgeräten, Steuerungen und Leitsystemen, Fachtagung verteilte Automatisierungssysteme, Magdeburg, Deutschland, 2000, Tagungsband, S.40-46.
- [Thr02] K. Thramboulidis, Development of Distributed Industrial Control Applications: The CORFU Framework, 4th IEEE International Workshop on Factory Communication Systems, Sweden, 2002, Proceedings.
- [Sta02] P. Starke, S. Roch, K. Schmidt, H.-M. Hanisch, A. Lüder: Analysing signal-event systems, Technical report, *Humboldt Universitat zu Berlin*, Institut für Informatik, <http://www.informatik.hu-berlin.de/lehrstuehle/automaten/tools/>, 2002
- [Ha00] Hanisch, H.-M. and A. Lüder: Modular modeling of closed-loop systems, Colloquium on Petri Net Technologies for Modeling Communication Based Systems. Proceedings, pp.103—126, Berlin, Germany, 2000
- [VH01a] Vyatkin V., Hanisch H.-M. *Bringing the model-based verification of distributed control systems to the engineering practice*, in book Intelligent Manufacturing Systems 2001, Elsevier Science, pp.152-157, November 2001
- [VH03a] Vyatkin V., Hanisch H.-M.: *Verification of Distributed Control Systems in Intelligent Manufacturing*, Journal of Intelligent Manufacturing, special issue on Internet Based Modeling in Intelligent Manufacturing, vol.14, N.1, 2003, pp.123-136
- [VHB04] V. Vyatkin, H.-M. Hanisch, G. Bouzon: Open Object-oriented validation framework for modular industrial automation systems, INCOM'2004, Proceedings, Salvador, Brazil, April, 2004
- [VH04] H.-M. Hanisch and V. Vyatkin, "Achieving Reconfigurability of Automation Systems by Using the New International Standard IEC 61499: A Developer's View", The Industrial Information Technology Handbook, CRC Press, in print, to appear in March 2004
- [VL03] Vyatkin V., J. LM Lastra: Architectural Foundations for Reconfigurable Manufacturing System, 3rd International Symposium on Open Control Systems SoftSympto'03, Helsinki, September, 2003

- [VHP03] Vyatkin V., Hanisch H.-M., Pfeiffer T. Modular typed formalism for systematic modeling of automation systems, 1st IEEE Conference on Industrial Informatics (INDIN'03), Proceedings, Banff, Canada, August 2003
- [VCLA03] Vyatkin V., Christensen J., J.L. Martinez Lastra, Auinger F.: OOONEIDA: An Open, Object-Oriented kKnowledge Economy for Intelligent Distributed Automation, 1st IEEE Conference on Industrial Informatics (INDIN'03), Proceedings, Banff, Canada, August, 2003
- [CVH03] Cai X., Vyatkin V., Hanisch H.-M. Design and Implementation of a Prototype Control System According to IEC 61499, IEEE Conference on Emerging Technologies in Factory Automation (ETFA'03), Proceedings, Lisbon, Portugal, September 2003
- [Vyat03] Vyatkin V.: Intelligent Mechatronic Components: Control System Engineering using an Open Distributed Architecture, IEEE Conference on Emerging Technologies in Factory Automation (ETFA'03), Proceedings, Lisbon, Portugal, September 2003