Zielsystemunabhängiger Modellbasierter Entwurf auf der Basis von MATLAB/Simulink® mit einem vollständigen Model in the Loop-Test und automatischer Code-Generierung für einen Mischprozess

B. Büchau¹, G. Gröbe²

Zusammenfassung

Auf der Basis eines modellbasierten Entwurfs mit MATLAB/Simulink® wird der Entwurf für einen Mischprozess einer Mischstation vorgenommen. Durch den Einsatz der Toolbox PLC Coder™ von Mathworks® kann dieser Entwurf ohne jegliche Änderungen für aktuell 12 Automatisierungssysteme verschiedener Hersteller verwendet werden, so dass dies als ein zielsystemunabhängiger Entwurf angesehen werden kann.

Der Vorteil besteht darin, dass nicht wie bisher ein klassischer Entwurf des Systems entsprechend IEC 61131 Teil 3 mit einer entsprechenden hersteller- bzw. systemspezifischen Entwicklungsumgebung durchgeführt wird, sondern ein hersteller- und systemunabhängiger Entwurf mit den zur Verfügung stehenden Werkzeugen von Simulink vorgenommen werden kann. Mit der verwendeten Toolbox PLC Coder™ für MATLAB/ Simulink® wird strukturierter Text nach IEC 61131 Teil 3 für das jeweilige Automatisierungssystem automatisch generiert.

Im vorliegenden Fall wird als Automatisierungssystem eine SIMATIC ET 200SP Open Controller mit entsprechenden Erweiterungsmodulen (digitale und analoge Ein- und Ausgänge usw.) und das TIA Portal in der Version 15.1 der Fa. Siemens eingesetzt.

Für den Mischprozess, eine Mischstation, werden Flüssigkeiten aus drei verschiedenen Behältern in verschiedenen vorgegebenen Mischverhältnissen und Mengen dosiert und in einen Mischbehälter geleitet. Hierfür wird der modellbasierte Entwurf primär mittels endlicher Zustandsautomaten mit einer unterlagerten Durchflussmengenregelung in insgesamt neun Subsystemen vorgenommen. Um eine möglichst hohe Genauigkeit des Mischproduktes zu erzielen, wird hierbei die Dosierung der verschiedenen Flüssigkeiten volumengesteuert vorgenommen.

Für den vollständigen modellbasierten Entwurf der Automatisierung der Mischstation, dessen Visualisierung sowie der Modellierung des HMI mittels Apps des App Designers von MATLAB/ Simulink® wird ein vollständiger Model in the Loop (MIL)-Test in Realzeit zur Verifikation des Gesamtsystems durchgeführt, der hier den Schwerpunkt darstellt.

Durch den auf einem deutlich höheren Abstraktionsniveau durchgeführten modellbasierten Entwurf und den MIL-Test werden die Implementierungs- und Inbetriebnahmephase minimal.

Abschließend werden die wesentlichen Vorteile des modellbasierten Entwurfs behandelt und ein Ausblick gegeben.

¹ Hochschule Stralsund, bernd.buechau@hochschule-stralsund.de, B. Büchau

² Hochschule Stralsund, gerald.groebe@hochschule-stralsund.de, G. Gröbe

Stichwörter

Modellbasierter Entwurf, MATLAB/ Simulink®, MIL, Model in the Loop, PLC Coder™, Automatische Codegenerierung

1 Ausgangssituation und Ziel

Die Entwicklungsprozesse und -umgebungen werden zunehmend komplexer und damit verbunden steigt auch der Aufwand für die Entwicklung von Automatisierungslösungen.

Um dies zu verbessern, besteht ein Ansatz darin, dass ein modellbasierter Entwurf auf der Basis des mittlerweile weit verbreiteten Werkzeugs MATLAB/ Simulink® mit automatischer Codegenerierung mittels einer Toolbox, dem PLC Coder™ von Mathworks®, für das jeweilige Automatisierungssystem durchgeführt wird.

Der Vorteil besteht darin, dass nicht wie bisher ein klassischer Entwurf des Systems entsprechend IEC 61131 Teil 3 mit einer entsprechenden hersteller- bzw. systemspezifischen Entwicklungsumgebung durchgeführt wird, sondern ein hersteller- und systemunabhängiger Entwurf mit den zur Verfügung stehenden Werkzeugen von Simulink vorgenommen werden kann. Mit der Toolbox PLC Coder™ für MATLAB/ Simulink® wird grundsätzlich Strukturierter Text nach IEC 61131 Teil 3 für das jeweilige Zielsystem automatisch generiert, womit keine speziellen Programmiersprachenkenntnisse des Entwicklers erforderlich sind und durch die immer gleiche Generierung des Quellcodes für Algorithmen ein individueller Programmierstil des Entwicklers vermieden wird, was die Qualität des zu entwickelnden Produktes deutlich erhöht.

Ziel dieses Projektes ist es, den modellbasierten Entwurf auf der Basis von MATLAB/ Simulink® mit automatischer Code-Generierung für ein Automatisierungssystem in industriellen Einsätzen zu erproben, die Machbarkeit abzusichern sowie die Vor- und Nachteile aufzuzeigen.

Es wird der gesamte Entwicklungsprozess vom modellbasierten Entwurf inkl. einer Übersicht der Modelle, den MIL-Test, die automatische Codegenerierung und die Implementierung in das Zielsystem dargelegt.

Der modellbasierte Entwurf wurde bereits in [1, 2] vorgestellt. Im Vordergrund dieser Arbeit steht der vollständige MIL-Test in Realzeit, bei dem mittels des App Designers von The Mathworks Inc. die Bedienung und die Visualisierung des Mischprozesses vorgenommen wird.

2 Der technische Prozess

2.1 Auswahl des technischen Prozesses Mischstation

Ausgewählt wurde ein technischer Prozess mittlerer Komplexität (Mischstation), der die Steuerung und Regelung bedingt und exemplarisch für einen industriellen technischen Prozess angesehen werden kann (Bild1) [3, 4].

2.2 Beschreibung des technischen Prozesses der Mischstation

Der Mischprozess entsprechend Bild 1 besteht darin, dass Flüssigkeiten aus drei verschiedenen Behältern, den Dosiertanks (B201, B202 u. B203), in unterschiedlichen vorgegebenen Mischverhältnissen und Mengen dosiert und über eine Pumpe mittels elektrisch ansteuerbaren Ventilen (V201, V202 u. V203) und einer durchflussgeregelten Mischpumpe (P201) in den Mischbehälter (B204) geleitet werden. Die Durchflussmenge wird einerseits über einen mechanischen Durchflussmengenmesser FI zur

optischen Kontrolle angezeigt und andererseits einen Durchflussmengenmesser FIC für die Dosierung der Mengen im Mischtank B204 erfasst. Die Niveaus der Behälter werden über kapazitive Sensoren (LS- u. LS+) überwacht, um das Trockenlaufen der Mischpumpe bzw. das Überlaufen der Behälter zu vermeiden. Als Notabschaltung ist für jeden Behälter ein Überlaufschutz LA+ vorgesehen, die unabhängig von der Ansteuerung wirken und die Pumpen deaktivieren. Die elektrisch ansteuerbaren Ventile V211 - V213 (alternativ die Handventile V204 - V207) und V210 sowie die Rücklaufpumpe P202 dienen dazu, um nach erfolgten Mischvorgängen und vollem Mischtank die Dosiertanks B201 - B203 mit der Flüssigkeit aus dem Mischtank B204 wieder zu befüllen.

Die Bedienung der Mischstation erfolgt über ein Bedienpanel mit Tastern und einem Drehschalter und die Signalisierung der Systemzustände erfolgt über Leuchtmelder im Bedienpanel. Des Weiteren wird die Parametrierung der Mischmengen und -verhältnisse sowie die Visualisierung des Prozesses über ein LCD-Touchpanel vorgenommen.

Die gesamte Sensorik und Aktorik ist direkt über das Automatisierungssystem mit der Mischstation gekoppelt.

Bild 1: Fließbild des technischen Prozesses der Mischstation [1, 2]

3 Entwicklungsumgebung und Automatisierungssystem

3.1 Entwicklungsumgebung und eingesetztes Automatisierungssystem

Für den modellbasierten Entwurf auf der Basis von MATLAB/Simulink® gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten:

1. Einsatz der Toolbox PLC Coder™ von The Mathworks Inc. für die Codegenerierung
2. Einsatz einer herstellereinspezifischen Toolbox für die Codegenerierung

Nur mit dem ersten Weg ist ein herstellerunabhängiger Entwurf möglich. Zur Veranschaulichung ist der Entwicklungsprozess, welcher unterteilt ist in vier Phasen, in Bild 2 dargestellt.

In der 1. Phase wird der modellbasierte Entwurf zur Automatisierung der Mischstation und der MiL-Test in Realzeit für das gesamte System durchgeführt. Das daraus resultierende Simulink-Modell wird

in der 2. Phase aus dem Simulink-Modell mit der Toolbox PLC Coder™ der Quellcode für das Automatisierungssystem als strukturierter Text nach IEC 61131 Teil 3 generiert [5-7], womit eine große Anzahl von Automatisierungssystemen bedient werden können.

Allerdings werden hier nicht alle Simulink-Blöcke bzw. Optionen der Simulink-Blöcke unterstützt. Die verfügbaren Simulink-Blöcke und Optionen sollten allerdings für die meisten Anwendungen in der Automatisierungstechnik ausreichend sein.

Als Entwicklungsumgebung wird in den beiden ersten Phasen für den modellbasierten Entwurf mit automatischer Code-Generierung MATLAB/ Simulink® der Fa. The Mathworks Inc. die Version 2020a eingesetzt. Dies ist auch erforderlich, da die entwickelten und eingesetzten Apps für den MIL-Test diese Version von MATLAB/ Simulink® bedingen.

In der 3. und 4. Phase kommen die herstellerspezifische Entwicklungsumgebung und das Automatisierungssystem zum Einsatz. Für die Konfiguration und Parametrierung des Automatisierungssystems kommt als herstellerspezifische Entwicklungsumgebung das TIA-Portal der Fa. Siemens AG in der Version V15.1 zum Einsatz [8]. Als Automatisierungssystem wird ein SIMATIC ET 200 Open Controller plus entsprechender Ein- und Ausgabebaugruppen verwendet (Bild 2).

Bild 2: Entwicklungsprozess mit dem PLC Coder™ und dem TIA Portal von Siemens [8]

3.2 Unterstützte Automatisierungssysteme von Drittanbietern

Bisher werden Entwicklungsumgebungen von 12 Herstellern herstellerspezifischer Automatisierungssysteme mit Stand vom November 2021 unterstützt [5]:

- 3S-Smart Software Solutions CODESYS Version 2.3 or 3.3 or 3.5 (SP4 or later)
- B&R Automation Studio® 3.0 or 4.0
- Beckhoff® (TwinCAT® 2.11 oder 3)
- KW-Software MULTIPROG® 5.0 or 5.5
- OMRON® Sysmac® Studio Version 1.04, 1.05, 1.09 or 1.12
- Phoenix Contact® PC WORX™ 6.0
- Rexroth IndraWorks version 13V12 DIE
- Rockwell Automation® RSLogix™ 5000 Series Version 17, 18, 19 or 20 and Rockwell Studio 5000 Logix Designer Version 21 or 24
- Siemens® SIMATIC® STEP® 7 Version 5.3, 5.4 or 5.5 und Siemens TIA Portal ab V13
- Generic
- PLCopen XML

4 Modellbasierter Entwurf für die Automatisierung der Mischstation

Am Anfang des Projektes sind funktionale Anforderungen formuliert worden, welche hier nicht näher ausgeführt sind. Auf deren Basis ist ein Strukturblockschaltbild unter Berücksichtigung der funktionalen Anforderungen und der physikalischen Anschlüsse des technischen Prozesses entworfen worden, wie dies in Bild 3 dargestellt ist.

Der modellbasierte Entwurf wird primär mittels endlicher Zustandsautomaten für den Ablauf mit einer unterlagerten Durchflussregelung für die Dosierung unter Berücksichtigung des Realzeitverhaltens durchgeführt. Der Ablauf für die Dosierung der Mengen erfolgt hier volumengesteuert auf der Basis der gemessenen Durchflussmenge, wodurch eine sehr hohe Dosiergenauigkeit erzielt wird.

Das Ergebnis ist das Simulink-Modell für die Station Mischen in Bild 4, welches in die neun Subsysteme

- Entprellung Bdauer,
- Zustandsautomat Bedienung,
- Auswertung Sensorik Entprellung,
- Berechnung Mengen,
- Zustandsautomat Programme,
- Ansteuerung Leuchtmelder,
- Ventil Pumpensteuerung,
- die Durchflussregelung und
- Berechnung Volumen (Mischtank)

unterteilt ist.

Die Benennungen der digitalen und analogen Ein- und Ausgänge des Modells in den Bildern 3 und 4 korrespondieren mit denen des Automatisierungssystems der Mischstation.

Die Ausführung der Subsysteme erfolgt bei Simulink® grundsätzlich von oben nach unten und von links nach rechts, womit die geometrische Anordnung der Simulink-Blöcke einen entscheidenden Einfluss auf den Ablauf hat. Um den Ablauf unabhängig von der geometrischen Anordnung der Simulink-Blöcke zu machen, interagieren sämtliche relevanten Simulink-Blöcke im Quittungsbetrieb, wie dies auch in den Bildern 3 und 4 dargestellt ist.

Durch den Einsatz der Toolbox PLC Coder™ von MATLAB/ Simulink ist für den modellbasierten Entwurf die wesentliche Grundvoraussetzung, dass nur diskrete Übertragungsblöcke verwendet werden dürfen und die Codegenerierung nur für einzelne Simulink-Blöcke möglich ist, weswegen für die Codegenerierung eines Gesamtsystems alle relevanten Subsysteme zu einem Subsystem zusammengefasst werden müssen. Aus diesem Grund sind auch sämtliche linearen Übertragungsglieder in der Laplace-Ebene in entsprechende Differenzengleichungen umgerechnet worden.

Es gibt noch eine Reihe weiterer Einschränkungen, die aber nicht grundsätzlicher Natur sind und für den vorliegenden Entwurf und vergleichbare Entwürfe nicht relevant sind [5-7].

Besonders wichtig ist es, dass der Solver von Simulink® auf eine feste Schrittweite (Fixed step) gesetzt wird. Als Solver kann die automatische Solver-Auswahl auto (Automatic solver selection) gewählt werden und die feste Schrittweite Fixed-step size (fundamental sample time) muss identisch mit der Zykluszeit des eingesetzten und entsprechend konfigurierten Automatisierungssystems sein. Für das vorliegende Projekt ist eine Fixed-step size von 50ms auf Grund der Zeitkonstante des Mischprozesses, bedingt durch die Zeitkonstante der Mischpumpe mit dem Stellglied von ca. 1 sec, gewählt worden.

Bild 3: Strukturblockschaltbild für den modellbasierten Entwurf zur Automatisierung der Mischstation

5 Verifikation des Modells für die Automatisierung der Mischstation

Der Test sämtlicher Subsysteme aus Abschnitt 4 ist entsprechend den funktionalen Anforderungen in Realzeit vorgenommen worden.

In einem zweiten Schritt sind dann sämtliche Subsysteme zum Gesamtsystem zusammengeführt, der technische Prozess der Mischstation (Regelstrecke Mischpumpe P202, die Dosiertanks B201 bis B203 und der Mischtank B204) sind als Modell nachgebildet worden, die die Testumgebung darstellt, wie dies in Bild 5 dargestellt ist. Für die Bedienung, Parametrierung der Mischprogramme und die Visualisierung des Fließbildes der Mischstation sind insgesamt drei Apps mit dem App Designer von The Mathworks Inc. erstellt worden, wie dies in Bild 6 dargestellt ist.

Die Verifikation des Gesamtsystems ist vor der Implementation auf der Basis der funktionalen Anforderungen mit der Testumgebung und den Apps in den Bildern 5 und 6 durchgeführt worden. Die Apps wurden als unterbrechbare unsynchronisierte Tasks mit den in Tabelle 1 angegebenen Zykluszeiten implementiert. Für alle Elemente der Apps können per Mouseover Bedieninformationen abgerufen werden. Das Simulink-Modell ist nicht unterbrechbar, womit dessen Zykluszeit garantiert ist.

Tabelle 1: Zykluszeiten des Simulink-Modells und der Apps

Task	Arbeitsweise	Zykluszeit
Simulink-Modell	nicht unterbrechbarer unsynchronisierter freilaufender Task	50 ms
Visualisierung Mischstation	unterbrechbarer unsynchronisierter freilaufender Task	200 ms
Bedienung Mischstation	unterbrechbarer unsynchronisierter freilaufender Task	100 ms
Mischprogramme Mischstation	unterbrechbarer unsynchronisierter freilaufender Task	500 ms

Der Ablauf der Verifikation im MIL-Test ist folgender in MATLAB/ Simulink:

1. Starten des Simulink-Modells
2. Starten der App Visualisierung Mischstation
3. Starten der App Bedienung Mischstation
4. Starten der App Mischprogramme Mischstation
5. Durchführung des MIL-Tests

Der MIL-Test wird dann folgendermaßen entsprechend der Anforderungsspezifikation über die Bedienung der Apps vorgenommen:

1. App Mischprogramme Mischstation: Auswahl der Dosiermenge des Mischtanks und der Mengenanteile der Dosiertanks für das Mischprogramm
2. App Bedienung Mischstation: Auswahl des gewünschten Mischprogramms über den Drehschalter in der Stellung „Prog“ und den Taster „Prog“. Das entsprechende Mischprogramm wird durch Betätigung des Tasters „Start“ ausgeführt bis der Mischvorgang beendet ist.
3. Visualisierung Mischstation: Die Füllstände der Dosiertanks und des Mischtanks werden in Realzeit visualisiert. Aktive Ventile, Füllstandssensoren und Pumpen werden dabei grün dargestellt, inaktive rot.

Bild 5: Simulink-Modell der Testumgebung

Bild 6: Apps für die Testumgebung des modellbasierten Entwurfs für die Mischstation

5 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel war es für einen modellbasierten Entwurf für eine Mischstation auf der Basis bereits erfolgter Arbeiten [1, 2] einen vollständigen MIL-Test in Realzeit durchzuführen. Folgende Vorteile besitzt der modellbasierte Entwurf:

- Deutlich höheres Abstraktionsniveau der Entwurfsmethoden [1, 2].
- Keine Programmierkenntnisse erforderlich [1, 2].
- Steigerung der Zuverlässigkeit, da höhere Qualität des Quellcodes, weil dieser immer auf die gleiche Art und Weise generiert wird [1, 2].
- Sehr einfach durchführbare Verifikation, insbesondere mit einem MIL-Test.
- Sehr einfache Erprobung von Varianten.
- Reduktion der Implementierungs- und Inbetriebnahmephase [1, 2].
- Hohe Flexibilität durch zielsystemunabhängigen Entwurf [2].

Durch den modellbasierten Entwurf werden durch die Modelle für die Dosiertanks und den Mischtank immer die exakten Füllmengen berechnet, wodurch bis auf den Überlaufschutz LA+ der Tanks, die acht Füllstandsensoren LS- u. LS+ entfallen könnten und nicht unerhebliche Kosten eingespart werden könnten. Bei einem klassischen Entwurf nach IEC 61131 würde man gar nicht auf die Idee kommen so vorzugehen.

Insgesamt hat sich der modellbasierte Entwurf auf der Basis von MATLAB-Simulink mit automatischer Code-Generierung bewährt und ist insbesondere für komplexere Aufgabenstellungen sehr gut geeignet.

6 Literatur

- [1] Büchau, B., Gröbe, G.; Modellbasierter Entwurf auf der Basis von MATLAB-Simulink mit automatischer Code-Generierung für einen Mischprozess; Tagungsband AALE 2020, Automatisierung und Mensch-Technik-Interaktion; 17. Fachkonferenz Leipzig; ISBN 978-3-8007-5180-8 (Buch); ISBN 978-3-8007-5181-5 (E-Book)
- [2] Büchau, B., Gröbe, G.; Zielsystemunabhängiger Modellbasierter Entwurf auf der Basis von MATLAB/ Simulink® mit automatischer Code-Generierung für einen Mischprozess; 2. Virtueller ASE-Kongress 16. – 18.11.2020
- [3] Schellmann B., Helmich J., Handbuch Station Mischen, Festo Didactic GmbH & Co. KG, 73770 Denkendorf, Germany, Bestell.-Nr. 696686, 2006
- [4] ADIRO Automatisierungstechnik GmbH, RI-Fließbild Station Mischen, Festo Didactic GmbH & Co. KG, 73770 Denkendorf, Germany, 2005
- [5] The MathWorks, Inc., Simulink PLC Coder, URL: <https://de.mathworks.com/products/simulink-plc-coder.html>, Letzter Aufruf am 22.11.2021
- [6] Simulink® PLC Coder™ User's Guide, https://de.mathworks.com/help/releases/R2018a/pdf_doc/plc-coder/plc_st.pdf, Letzter Aufruf am 24.09.2021
- [7] Simulink® PLC Coder™ Release Notes, https://de.mathworks.com/help/releases/R2020a/pdf_doc/plc-coder/rn.pdf, Letzter Aufruf am 24.09.2021
- [8] Siemens AG, TIA Portal - Ein Überblick der wichtigsten Dokumente und Links – Steuerung, URL: <https://support.industry.siemens.com/cs/ww/de/view/65601780>; Letzter Aufruf am 24.09.2021