

MODELLGESTÜTZTE PROJEKTIERUNG VON AUTOMATISIERUNGSSYSTEMEN FÜR OBJEKTE MIT VERTEILTEN PARAMETERN

L. Feldmann, V. Lapko, A. Moldovanov, V. Svjatnyj

Technische Universität Donezk, Artemstr. 58, 83000 Donezk, Ukraine
svjatnyj@cs.dgtu.donetsk.ua

W. Bär

Universität Erlangen-Nürnberg, Cauerstr. 7, 91058 Erlangen
wolfgang.baer@rzmail.uni-erlangen.de

Abstract

Feldman L., Lapko V., Moldovanov A., Svjatnyj V., Bär W. Simulation support for the development of automated control systems for objects with distributed parameters. The requirements for the simulation support of the development of automated control systems are considered. The concept of the simulation support is proposed.

1. Einleitung

Automatisierungssysteme (AS) besitzen eine zunehmende Bedeutung für den wunschgemäßen, möglichst ökonomischen und ressourcensparenden Betrieb von industriellen Prozessen. Verbunden mit gestiegenen Anforderungen an die Anlagensicherheit und Produktqualität bedeutet dies bei neuen Verfahrenslösungen fast immer deutlich erhöhte Anstrengungen bei der Auswahl und der Realisierung von Automatisierungseinrichtungen. Nachdem in den meisten Fällen Verfahrensmuster nicht existieren bzw. die erste Anlage bereits im gewünschten Sinne produzieren soll, stellt die Simulationstechnik die einzig mögliche Methode dar, Systeme detailliert zu planen und ihr Verhalten gründlich und umfassend zu untersuchen. Dabei ist es wichtig, für jede Projektphase die entsprechenden Modelle und Simulationsmittel bereitzustellen und sie auf die verwendeten Projektierungsmethoden abzustimmen. Die vorhandenen CAD/CASE-Werkzeuge verfügen bisher in nur geringem Maße über Mittel zur Modellspezifikation, -entwicklung und -erstellung sowie zur Durchführung von Simulationsexperimenten bzw. zur Modellverwaltung entsprechend den einzelnen Projektphasen. Im Folgenden soll deshalb das Konzept eines universellen Entwurfssystems für die modellgestützte Projektierung von Automatisierungssystemen vorgestellt werden

2. Die Rechnerunterstützung für Automatisierungsprojekte

Das Ziel der Rechnerunterstützung für die Projektierung von Automatisierungssystemen besteht generell darin, die vorhandenen Hard- und Software-Mittel in jeder Projektphase zukunftsfähig

einzusetzen und dabei typische Entwurfsfehler weitgehend zu vermeiden [2]. Die CAD/CASE-Werkzeugsysteme zur Rechnerunterstützung verfügen dabei über

- Spezifikationsprachen für die Erstellung von Lasten- und Pflichtenheft, für den Systementwurf und für die Dokumentation;
- Projektmanagementmittel für die Planung, Verwaltung, Kontrolle, Produktverwaltung und Qualitätssicherung in allen Etappen;
- Benutzerschnittstellen zur interaktiven Kommunikation mit allen CAD/CASE-Ressourcen.

Die AS-Entwicklung geschieht durch schrittweise Verfeinerung (Dekomposition) in Teilaufgaben und die Definition von Subsystemen, Modulen und elementaren Entwurfsobjekten [1]. Die Implementierung beginnt mit den Entwurfsobjekten, die zu Modulen und - weiterhin - zu Subsystemen hierarchisch zusammengefügt werden. Auf diese Weise entstehen Projektierungsobjekte wachsender Komplexität, die nach entsprechenden Überprüfungen in ein AS-Gesamtprojekt umgesetzt und vom Projektmanagement zur Einschätzung der Entwicklungsaufwendungen begleitet und funktionell dokumentiert werden können.

3. Die Anforderungen an die CASE-Werkzeugsysteme und die Simulationsmittel

Die in [2] aufgeführten Eigenschaften von CASE-Werkzeug bilden auch die Hauptanforderungen für CASE-Werkzeuge zur rechnergestützten AS-Projektierung:

- integrierte Rechner- und Modellunterstützung für Entwicklung, Projektmanagement und zur Produktverwaltung;
- Nutzung von Simulationstechniken zur Qualitätssicherung des Projektes;
- Möglichkeiten für umfassende statische und dynamische Prüfungen einschließlich eines horizontalen und vertikalen Rapid-Prototyping auf der Basis der Simulation der entwickelten Entwurfsobjekte, Module und Subsysteme;
- Rechner- und Modellunterstützung für Software- und Hardware-Entwicklung;
- Rechner- und Modellunterstützung für Pflege und Wartung sowie zur Schulung des Bedienpersonals;
- Offenheit für andere Werkzeuge und Möglichkeit zur Einbeziehung in einen Software-Integrationsrahmen, d.h. Integration der modellgestützten AS-Projektierung in vorhandene sequentielle und/oder parallele Simulationsumgebungen.

Die Werkzeuge zur rechner- und modellgestützten AS-Projektierung sollen sich ergänzend durch die folgenden Merkmale auszeichnen:

- Unterstützung aller Projektetappen;
- Modellierungsmöglichkeiten entsprechend den jeweiligen Projektaufgaben;
- Konzipierung von Automatisierungsstrukturen für komplexe Systeme unter realistischen Randbedingungen;
- Möglichkeiten zur Lösung unter Echtzeitbedingungen;
- Kopplungsfähigkeit mit vorhandenen Hardware-Strukturen (HIL);
- Automatische Formulierung der Modellgleichungen für komplexe Objekte;
- Dialogfähigkeit;

- Funktions- und/oder Strukturähnlichkeit von Modellen und simulierten Objekten;
- Verfügbarkeit von Mitteln zur Visualisierung, Registrierung und Analyse der Simulationsergebnisse sowie zur Archivierung der Modelle;
- Integrationsmöglichkeit in Systeme zur rechnergestützten Projektierung;
- Verwendbarkeit der entwickelten Automatisierungssysteme zum Training und zur Schulung des Bedienpersonals.

4. Die Konzeption der modellgestützten Projektierung von Automatisierungssystemen

Die modellgestützte AS-Projektierung basiert auf dem Zusammenwirken zugeordneter Projekt- und Modellebenen und zeichnet sich durch vielfältige Dekompositions- und Kompositionsabläufe aus. Für alle Projektebenen, Subsysteme, Module, Entwurfsobjekte und Projektetappen stehen entweder entsprechende Modelle zur Verfügung oder werden parallel zur Projektlösung entwickelt und in einer geeigneten Simulationsumgebung realisiert. Ein Ziel der Arbeit war die Entwicklung von Simulationsverfahren und problemangepaßten Simulationswerkzeugen für Automatisierungsobjekte (Prozesse), die durch partielle Differentialgleichungen beschrieben werden, desweiteren die Realisierung und Implementierung der konzipierten Verfahren mit Hilfe von leistungsfähigen Rechenhilfsmitteln sowie deren Erprobung bei der rechnergestützten Projektierung von Automatisierungskonzepten für kontinuierliche - und auch kontinuierlich-diskrete - Systeme.

Die bisherigen Erfahrungen zeigten, daß bei realen Automatisierungsaufgaben die Komplexität der aus Teilobjekten zusammengefügt Modelle und Stmkturen sehr rasch ansteigt, so daß für die Simulationsumgebung - ab einer gewissen Komplexitätsschwelle - die Anwendung parallel arbeitender Ressourcen sinnvoll erscheint [3]. Dies wird durch die Entwicklung von Simulationsverfahren, die mit parallelen Algorithmen arbeiten, berücksichtigt.

5. Die Verfahrensschritte der modellgestützten Projektierung

Das Projektmodell der rechnergestützten Projektierung von Automatisierungssystemen hat einen entscheidenden Einfluß auf die Organisation der Modellunterstützung für die einzelnen Projektabläufe. Bisher wurden die folgenden Gesichtspunkte betrachtet und in der Entwicklungsumgebung des CAD/CASE-Werkzeugs EPOS analysiert [1]:

- Berücksichtigung funktioneller, konstruktiver bzw. technologie-orientierter Aspekte bei der AS-Projektierung;
- Früherkennung von Fehlern;
- Zuverlässige Verifikation der Projektlösungen;
- Einbettung von Simulationsmitteln für Automatisierungssysteme;
- Unterstützung unterschiedlicher Projektierungsverfahren (funktions-, informations-, daten-, ereignis-, modul-, gerätetechnisch-, objektorientierte Projektierung [2].

Auf der Basis der vorgeschlagenen Struktur zur modellgestützten Projektierung von Automatisierungssystemen wurde in der vorliegenden Untersuchung ein offenes

Entwurfswerkzeug konzipiert [4]. Es ermöglicht den Einsatz eines EPOS-Projektmodelles und die Verwendung von Simulationsmodellen zur modellgestützten Projektierung von Automatisierungssystemen für Objekte mit verteilten Parametern (OVP). Die Struktur orientiert sich am Dekompositionsansatz des AS-Projektmodells. Methodische Unterschiede bzw. besonders kreative Lösungen ergeben sich durch die konkreten OVP oder das gewählte Automatisierungskonzept. Das Ziel der Dekomposition ist es, Projektobjekte zu erhalten, die für die rechnergestützte Projektierung in einer CAD/CASE-Umgebung geeignet sind. Im allgemeinen wird die OVP-AS-Dekomposition eine kombinierte Vorgehensweise sein:

- Die OVP-AS-Struktur wird aus der Systemstruktur entwickelt.
- Die OVP-Prozesse basieren auf den beschreibenden partiellen Differentialgleichungen und werden als funktionale Dekompositionseinheiten behandelt.
- Die Randbedingungen des Systems (mit örtlich verteilten Parametern) werden klassifiziert. Die *äußeren Randbedingungen* sind Funktionen (Charakteristiken) der aktiven OVP-Komponenten und bilden funktionell selbständige Subsysteme (wie z.B. Generatoren, Pumpen, Ventilatoren, Kompressoren, usw.). Die *inneren Randbedingungen* gehören zu den einzelnen Strukturkomponenten des OVP und werden in den Modulen oder in den Entwurfsobjekten direkt, formal berücksichtigt.
- Die Automatisierungs-Struktur besitzt eine deutliche Hierarchie, die von einer oberen, operativen Ebene (mit *äußeren OVP-RB*) bis zu den unteren Ebenen für (lokale) Regelungsaufgaben für einzelne OVP-Komponenten (z.B. in den Zweigen von Netzobjekten) reicht. Es gibt vertikale Verbindungen zwischen den einzelnen Automatisierungsebenen sowie - über die Mehrgrößenregelungssysteme für einzelne OVP-Prozesse - horizontale Verknüpfungen in den jeweiligen Ebenen.
- Das Automatisierungssystem ist gerätemäßig aufgeteilt in a) *Meßgeräte* mit Datenübertragungseinheiten und *Regelungseinrichtungen* mit vor Ort installierten Reglern für konkrete Aufgaben sowie b) in *zentrale Rechnerressourcen* und *Benutzeroberflächen*.

Für alle bei der Dekomposition erhaltenen Komponenten des OVP-Automatisierungssystems sind Modelle zu entwickeln. Einfache Komponenten, die z.B. durch gewöhnliche Differentialgleichungen beschrieben werden, können z.B. mit Hilfe der blockorientierten Simulationssprache SIMULINK als Simulink-Modelle realisiert werden, während für kompliziertere Objekte mit verteilten Parametern eine rechnerunterstützte Modellerstellung entworfen wird, die mit einem Topologischen Analysator, einem Gleichungsgenerator und einem Gleichungslöser arbeitet.

Die in CAD/CASE-Umgebung erhaltenen Projektlösungen werden nach folgender Methodik (durch Simulation) geprüft:

- Entwurf eines Plans für die Simulationsexperimente;
- Definition der Betriebsarten der Projektobjekte entsprechend dem Pflichtenheft;
- Entwicklung von Testbedingungen für jede Betriebsart (Randbedingungen, Störungen, Eingangsvariable, Dauer der Betriebsarten, Wechselwirkungen zwischen den Projektobjekten des OVP-AS, usw.);

- Ermittlung der Auswirkungen, die - im Vergleich zu den hochgenauen Simulationsmodellen - die Verwendung der vereinfachten Entwurfsmodelle der Projektierung auf die Qualität der Projektlösungen hat (Einfluß von Nichtlinearitäten, Berücksichtigung der räumlichen Systemausdehnung, reale Störungen, sicherheitskritische Aspekte, usw.);
- Initialisierung der Projektobjekte mit den aktuellen Parametern;
- Durchführung von Simulationsexperimenten und Protokollierung der Ergebnisse;
- Erstellung einer Prüftabelle auf der Basis von Anforderungen des Projektmanagements;
- Analyse der Prüftabelle durch Projektextperten und ggf. Korrekturen mit Hilfe von Projektmanagementmitteln;
- Simulation der überarbeiteten Projektlösung und Prüfung auf Qualitätsverbesserungen;
- Archivierung der Modelle der Projektobjekte einschließlich der Simulationsergebnisse; Dokumentation in der Projektbeschreibung.

Nach der Entwicklung und Prüfung der Projektlösungen für die einzelnen Entwurfsobjekte ist im Projektablauf als nächstes ein "Kompositionsprozeß von unten nach oben" zu einem Gesamt-Systementwurf vorgesehen. In der CAD/CASE-Umgebung kann hierzu auf die fertigen Komponenten zurückgegriffen werden. Die einzelnen, nacheinander auszuführenden Kompositionsstufen (KS) sind:

- KS-1: Zusammenfassung von Teilregelkreisen zu Mehrgrößenregelungssystemen bzw. -modulen für Objekte mit verteilten Parametern mit der Möglichkeit zur Anwendung von regelungstechnischen Analyse- und Synthese-Werkzeugen;
- KS-2: Zusammenfassung von Teilsteuerungen zu ebenenübergreifenden Gesamtsteuerungs-Modulen;
- KS-3: Zusammenfassung von Modulen zu Subsystemen;
- KS-4: Zusammenfassung zum OVP-Automatisierungssystem.

Der Modellierungsschritt KS-1 betrifft die Verkopplung der Teilregelstrecken-Entwurfsmodelle über das zugrunde liegende OVP-Modell. Die höheren Kompositionsstufen greifen auf die niedrigeren Stufen zurück. Damit ist eine Modellerstellung für die höheren Stufen (KS-2, KS-3 bzw. KS-4) nur nach der Untersuchung der Modelle der vorherigen Kompositionsstufen möglich. Ebenso wie für die Entwurfsobjekte lassen sich für die zusammengefaßten Modelle numerische Algorithmen sowie Daten und Parameter zur Modellinitialisierung angeben.

Entsprechend dem Vorgehen bei den Entwurfsobjekten wird für jede Kompositionsstufe ein Satz von Simulationsexperimenten festgelegt und mit der Prüfung der Projektlösungen auf der niedrigsten Kompositionsstufe KS-1 begonnen. Die Simulationsuntersuchung für die Kompositionsstufe KS-2 wird in zwei Etappen durchgeführt. Zunächst wird die Arbeitsweise jedes einzelnen Steuerungsmoduls in Verbindung mit KS-1 überprüft; bei Fehlfunktionen werden Korrekturen angebracht. Danach wird die Gesamtfunktionalität von KS-2 mit KS-1 simuliert, geprüft und bedarfsweise korrigiert. Die Vorgehensweise für die weiteren Kompositionsstufen ist ähnlich, wobei für einzelne OVP-Automatisierungssysteme eine Unterscheidung nach KS-2 und KS-3 nicht immer möglich ist.

Das Modell des gesamten OVP-Automatisierungssystems umfaßt alle geprüften Modelle der vorigen Kompositionsstufen, die Module der oberen, algorithmischen Ebene sowie das Bedien-Oberflächen-Modul. Nach Abschluss der umfangreichen Simulationen steht eine realisierbare, im Rahmen der formulierten Randbedingungen erprobte Version des OVP-AS-Projektes zur Verfügung.

6. Integration von Hardware-Komponenten und Inbetriebnahme des Gesamtsystems

Das entwickelte Programmsystem zur modellgestützten Projektierung von Automatisierungssystemen ist als offenes Entwurfswerkzeug konzipiert und eröffnet damit auch die Möglichkeit zur Integration von Hardware-Funktionalitäten, d.h. von realisierten Komponenten, Geräten, Modulen und Subsystemen, insbesondere zur Qualitätssicherung und Validierung bzw. Verifikation. Dies kann wie folgt geschehen:

- Bereitstellung aller gerätetechnischer Komponenten incl. notwendiger Rechnerressourcen auf den einzelnen Kompositionsebenen;
- Prüfung der Hardware-Ressourcen zusammen mit den KS-I-Modellen;
- Programmiergenerierung und -debugging; Erstellung der AS-Software entsprechend der Module- und Subsystem-Struktur;
- Prüfung der AS-Software;
- Simulation der Inbetriebnahme;
- Verifikation der Simulationsergebnisse nach der Inbetriebnahme.

7. Zusammenfassung und Ausblick

Es wurde ein Konzept zur modellgestützten Projektierung von Automatisierungssystemen vorgeschlagen. Die entwickelten Methoden und Modelle wurden am Beispiel eines Kohlegruben-Bewetterungsnetzes erprobt und damit die Grundlagen für die Entwicklung eines Automatisierungssystems für die Ukrainischen Kohlegruben geschaffen. Die Anpassung der Projektlösungen an die realen Gegebenheiten erfolgte im Simulations- und Service-Zentrum für Grubenanlagen.

Literatur

- [1] *EPOS Software Product Description*. GPP mbH, 1992.
- [2] R.Lauber, P.Göhner. *Prozeßautomatisierung2*. Springer, 1999.
- [3] Parallele Simulationstechnik. / L.Feldmann, V.Svjatnyj, V.Lapko, E.-D.Gilles, M.Zeitz, A.Reuter, K.Rothermel I. - *Informatics, Cybernetics and Computer Science (ICCS-99)*. Donetsk State Technical University, Donetsk, 2000, p.6-14.
- [4] V.Svjatnyj. Probleme der parallelen Simulation von komplexen dynamischen Systemen. - *Informatics, Cybernetics and Computer Science (ICCS-99)*. Donetsk State Technical University, Donetsk, 1999, p.6-14 (Ukrainisch).