

# Anwendung von HLA-basierten Lösungen bei der Modellierung und Steuerung chemischer Anlagen

Ahcene Bouguezouli / Steffen Straßburger  
Universität Magdeburg, Fakultät für Informatik  
Institut für Simulation und Graphik  
Postfach 41 20  
D-39016 Magdeburg  
Email: {ahcene, strassbu}@isg.cs.uni-magdeburg.de

## Zusammenfassung

Mit dem Erscheinen der neuen High Level Architecture (HLA) des amerikanischen Defense Modeling & Simulation Office (DMSO) erhält das Gebiet der verteilten Simulation neue Impulse [1]. Die Arbeit beschäftigt sich mit der flexiblen verteilten Modellierung von Simulationen und allgemeineren Systemen sowie möglichen neuen Anwendungsfeldern, die durch HLA für Simulationen erschlossen werden können. Die Lösungsansätze werden kritisch bewertet und Konzepte zu möglichen Verbesserungen erarbeitet. Im folgenden stellen wir eine Anwendung des HLA-Konzepts bei der Modellierung und Steuerung chemischer Anlagen vor.

## 1 Die High Level Architecture (HLA)

Die HLA bietet einen Ansatz, die Forderungen nach Wiederverwendbarkeit und Interoperabilität von Simulationsmodellen umzusetzen und die Schwierigkeiten mit monolithischen Modellen bei Änderungen der Funktionalität oder Konnektivität zu umgehen.

Ähnlich dem CORBA zugrundeliegenden Prinzip wird eine einheitliche Schnittstelle (*HLA Interface*) definiert, welche die Teilnehmer (*Federates*) eines gemeinsamen Simulationslaufs aufzuweisen haben, um in Kontakt mit der *Runtime Infrastructure* (RTI) zu treten, welche Basis-, Koordinations- und Kommunikationsdienste zur Laufzeit bereitstellt. Eine *Federation* kann als ein Vertrag zur Durchführung eines Simulationslaufes (*Federation Execution*) zwischen den Federates angesehen werden, in dem die Einzelheiten und Objektmodelle der Federates (*Simulation Object Model*) und der Federation (*Federation Object Model*) festgelegt sind. Weiterhin legt HLA zwingende Verhaltensregeln für Federates und Federations fest. Ein Vorteil der Architektur ist die Offenheit für andere Arten von Federates; sowohl Softwarebausteine wie z.B. Datenbanken und Beobachter als auch reale Elemente wie Sensoren und andere Hardware können bei Einhaltung der HLA-Spielregeln bei Federation Executions mitwirken. Weiterhin unterstützt HLA ein transparentes Zeitmanagement, welches den

Federates außer der Koordinierbarkeit keine Vorschriften bzgl. des lokalen Zeitfortschritts (z.B. Zeitschritt-, Ereignis-, Echtzeitsimulation) macht.

## 2 Referenzanwendung

Als Referenzbeispiel wird ein diskontinuierlicher Misch- und Trennprozeß herangezogen<sup>1</sup>. Bild 1 zeigt die Struktur der Anlage auf. Die weiteren Ausführungen beziehen sich im wesentlichen auf den Verdampfungsprozeß. Durch verschiedene Spezifikationen sowie rein physikalische Gesetzmäßigkeiten muß der Verdampfungsprozeß hybrid modelliert werden. Dafür werden Bilanzgleichungen erstellt, deren Terme in Abhängigkeit der Zustandsgrößen im Verdampfer sowie einiger Führungsgrößen ein- und ausgeschaltet werden.

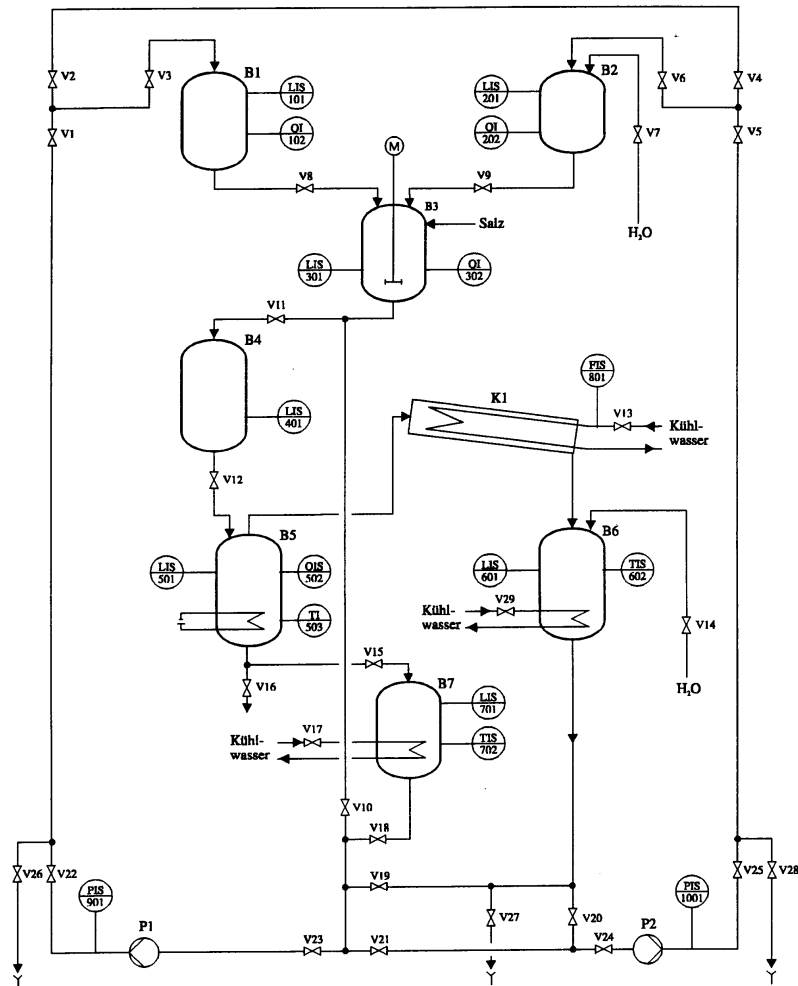


Bild 1: Struktur der modellierten Anlage

<sup>1</sup> Die Anlage wurde 1991/1992 von Prof. H.-M. Hanisch am Lehrstuhl für Anlagensteuerungstechnik an der Universität Dortmund entworfen und unter seiner Anleitung aufgebaut.

In dem Misch- und Trennprozeß wird chargenweise Salzlösung von vorgegebener Konzentration durch Mischen von hochkonzentrierter Salzlösung und Wasser hergestellt. Das Produkt wird im Anschluß durch Verdampfung wieder in seine Ausgangsbestandteile getrennt.

Um die Anwendbarkeit von HLA im Bereich der Modellierung, Steuerung und Visualisierung verfahrenstechnischer Prozesse zu demonstrieren, wird eine heterogene Federation mit den in Bild 2 aufgeführten Teilnehmern gebildet.

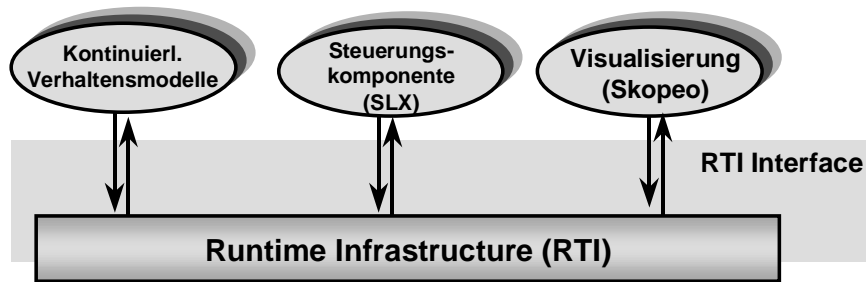


Bild 2: Aufbau des Referenzbeispiels

## 2.1 Kontinuierliches Modell des realen Systems

Das dynamische Verhalten von verfahrenstechnischen Elementen wird durch Differentialgleichungen modelliert. Diese können in C/C++ implementiert werden und anhand numerischer Verfahren (Runge-Kutta-4, ...) gelöst werden.

Im Fallbeispiel wird ein Trennungsprozeß durch Verdampfung beschrieben. Die Implementierung der Energie- und Massenbilanzen erfolgt in SLX. Die numerische Lösung der Differentialgleichungen erfolgt durch selbstimplementierte Algorithmen. Sie basieren auf wohlbekanntem Verfahren zur numerischen Integration (Runge-Kutta-4).

## 2.2 Steuerungskomponente

Die Steuerungskomponente wird als Rezeptsteuerung modelliert. Die Norm IEC 1131-3 definiert graphische und textuelle Sprachen, die man für die Beschreibung der Steuerung nutzen kann. Sie sind unter dem Namen SPS-Programmiersprachen bekannt<sup>2</sup>.

Da die hier beschriebenen chemischen Prozesse ein schrittweise kontinuierliches Zustandsverhalten haben, eignet sich die Ablaufsprache für die Beschreibung der Steuerung. Um die Rezepturen in einem Federate simulieren zu können, werden sie

---

<sup>2</sup> SPS = speicherprogrammierbare Steuerung

zunächst in eine Simulationssprache übersetzt [6]. Dies geschieht automatisch durch eine Analyse des Steuerungsprogramms. Zur Analyse wird SLX selbst genutzt, d.h. ein SLX-Programm, welches die Rolle eines Parsers hat, erzeugt wiederum ein SLX-Modell, welches die Steuerung abbildet.

SLX wurde aufgrund seiner Leistungsfähigkeit für die Modellierung der Steuerungskomponente genutzt. Zur Anbindung an HLA wird eine existierende Lösung für den Simulator SLX genutzt [4], [5]. Die HLA-Erweiterungen der Steuerung werden derzeit manuell vorgenommen. Möglichkeiten zur Automatisierung werden untersucht. Die Kapselung der Steuerung in ein eigenes Federate erlaubt es, andere Steuerstrategien ohne Änderung der zugrundeliegenden Dynamik zu testen.

### **2.3 Visualisierung**

Die Visualisierung erfolgt online durch das System Skopeo, welches ebenfalls über eine HLA-Schnittstelle verfügt. Skopeo ist in der Lage, beliebige HLA-Objektattribute sowie Interaktionen darzustellen. Hierfür werden externe Mappingdateien verwendet, die beschreiben, welche Auswirkungen Attribute-Updates bzw. Interaktionen auf die Animation haben sollen [7].

Ein Animationsmodell wird aus einer Analyse des Steuerungsprogramms und der Struktur der Anlage automatisch generiert [6]. Die Animation zeigt den Stoffablauf sowie die Änderung des Füllstands in den Behältern und stellt die Änderung der Meßgrößen (Masse, Temperatur, Konzentration) als Kurven dar.

Zur Generierung des Layouts werden existierende AutoCAD-Zeichnungen des realen Systems im DXF-Format verwendet. Eine Konvertierung ist z.B. unter Mithilfe von Proof Animation, dem Referenzsystem von Skopeo, möglich. Die DXF-Dateien können von Proof Animation eingelesen und im Proof-eigenen Layout-Format abgespeichert werden. Dieses Format kann dann über existierende REXX-Scripte in das Skopeo-Format umgesetzt werden.

## **3 Objektmodell der Referenzanwendung**

Das HLA-Konzept schreibt eine einheitliche Objektsichtweise für die beteiligten Federates und für den Zusammenschluß zu einer Federation vor. In der Beispielanwendung sind die modellierten Objekte die verfahrenstechnischen Elemente, die in der Anlage enthalten sind. Tabelle 1 gibt die wichtigsten dieser Objekte mit ihren Attributen wieder.

Tabelle 1: Objektmodell der Referenzanwendung

Objekt	Attribute
Behälter B4	Masse
Verdampfer B5	Masse, Temperatur, Konzentration
Behälter B6	Masse, Temperatur
Behälter B7	Masse, Temperatur
Ventil	Zustand (auf / zu)

Zur Steuerung werden verschiedene Signale genutzt, die unter HLA als Interaktionen modelliert werden. Das Federate Steuerung beobachtet über verschiedene Sensoren (in HLA-Terminologie Objektattribute) das dynamische Verhalten der Anlage und löst gegebenenfalls Steuerereignisse (Aktoren) aus.

#### 4 Zeitliche Synchronisation

In der verteilten Simulation können voneinander abhängige Simulationen ihren lokalen Zeitfortschritt nicht mehr autonom durchführen; vielmehr ist dieser (bei HLA mittels der RTI) zu koordinieren [2, 3]. So ist es z.B. bei ereignisgesteuerten Simulatoren nötig, die Ereignisketten von sich am Zeitfortschritt beteiligenden Federates miteinander zu synchronisieren bzw. verknüpfen. Hierfür ist es notwendig, daß jeder Simulator einen Zeitfortschritt bei der RTI beantragt und dann von dieser unter Berücksichtigung der Abhängigkeiten gewährt bekommt [8].

Bei kontinuierlichen Modellen stellt sich eine besondere Herausforderung, da diese in gewisser Weise diskretisiert werden müssen. Es ist hierfür notwendig, zwischen eng und lose gekoppelten Systemen zu unterscheiden.

Eng gekoppelte Systeme sind dadurch gekennzeichnet, daß eine Änderung der Ausgangsgrößen der Differentialgleichungen direkt Ereignisse in anderen Simulationen bzw. Federates auslösen kann. Dies ist bei lose gekoppelten Systemen nicht der Fall.

Ein Beispiel für eng gekoppelte Systeme ist die in diesem Beitrag vorgestellte Klasse von Simulationen. Das Grundprinzip in den vorgestellten Beispielen besteht jeweils darin, daß die Ausgangsgrößen der kontinuierlichen Verhaltensmodelle (Federate „Verhaltensmodelle“) im Federate „Steuerung“ überwacht und bewertet werden. Ereignisse werden ausgelöst, wenn die Ausgangsgrößen bestimmte Schwellwerte über- bzw. unterschreiten. Die Synchronisation für diese Klasse von Simulationen ist insofern schwierig, als daß bei konservativen Verfahren für jeden Integrationsschritt eine Synchronisation stattfinden muß.

Es ist hier kritisch anzumerken, daß erste Erfahrungen bezüglich des Performanceoverheads bei dem von uns verwendeten numerischen Integrationsverfahren die Praxisrelevanz der hier vorgestellten Kopplung in Frage stellen. Es ist dringend notwendig, andere Lösungen zur Synchronisation zu finden.

Ein erster Lösungsansatz besteht in der Berücksichtigung der Synchronisationsprobleme bei der Aufteilung der Modelle. Es ist empfehlenswert, eine lose Kopplung zwischen den Modellkomponenten bzw. Federates anzustreben. Dies könnte z.B. so aussehen, daß das Federate, welches das Differentialgleichungssystem berechnet, gleichzeitig die Suche nach Crossings (d.h. die Suche nach relevanten Ereignissen) durchführt und im Erfolgsfalle ein entsprechendes Ereignis auslöst. Hierbei stellt sich jedoch das Problem, daß vor Berechnung der Differentialgleichung nicht bekannt ist, wann ein Crossing auftritt. Es müßte also quasi bis zum nächsten Crossing (d.h. zum nächsten für die Federation relevanten Ereignis) „vorgerechnet“ werden, und danach der Zeitfortschritt zu diesem Ereignis beantragt werden. Dieses Vorrechnen könnte sinnvollerweise in Verbindung mit optimistische Synchronisationsvarianten eingesetzt werden.

Eine ähnliche Methode zur Prediktion von Modellgrößen aus dem militärischen Bereich ist das Dead Reckoning. Eine mögliche Anwendung dieser Technologie auf die in dem vorgestellten Anwendungsfeld auftretenden Probleme werden derzeit untersucht.

## **5 Ausblick**

Der Beitrag stellt Möglichkeiten der Anwendung von HLA-basierten Lösungen im Bereich der Modellierung und Steuerung von chemischen Anlagen vor. Es wurden Möglichkeiten aufgezeigt, wie die High Level Architecture for Modeling and Simulation (HLA) zur Kopplung von heterogenen Komponenten, die im Anwendungsfeld der chemischen Industrie von Interesse sind, genutzt werden kann. Weitergehende Untersuchungen werden sich einerseits auf die Performanceprobleme, die durch die Synchronisation mit kontinuierlichen Modellen entstehen, konzentrieren.

Andererseits wäre der Austausch der simulierten Steuerung durch eine reale (SPS) zu untersuchen.

## 6 Literatur

- [1] Defense Modeling and Simulation Office (DMSO). *High Level Architecture Homepage*. URL <http://hla.dmsso.mil/>.
- [2] Mehl, H. *Methoden verteilter Simulation*. Vieweg Verlag, Braunschweig, 1994.
- [3] Fujimoto, R. *Parallel Discrete Event Simulation*. In Communications of the ACM, 1990, no. 10, pp. 30-53.
- [4] Straßburger, S., U. Klein. *Integration des Simulators SLX in die High Level Architecture*. Tagung Simulation und Visualisierung. 05.03.-06.03.1998, Magdeburg.
- [5] Klein, U., S. Straßburger. *Die High Level Architecture: Anforderungen an interoperable und wiederverwendbare Simulationen am Beispiel von Verkehrs- und Infrastruktursimulationen*. 11. Symposium Simulationstechnik (ASIM 97), 11.11.-14.11.1997, Dortmund.
- [6] Bouguezouli, A. *Bild- und textbasierte Modellgenerierung für chemische Anlagen*. 11. Symposium Simulationstechnik (ASIM 97), 11.11.-14.11.1997, Dortmund.
- [7] Ritter, K.C., U. Klein, S. Straßburger, M. Diessner. *Web-basierte Animation verteilter Simulationen auf Basis der High Level Architecture (HLA)*. Tagung Simulation und Visualisierung, 5.-6.3.1998, Magdeburg.
- [8] Defense Modeling and Simulation Office. *HLA Time Management Design Document, Version 1.0*. U.S. Department of Defense, Washington D.C. August 1996.