

High Level Architecture (HLA) in der Straßenverkehrssimulation

Thomas Schulze, Ulrich Klein, Steffen Straßburger

{tom,uklein,strassbu}@isg.cs.uni-magdeburg.de

Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, Fakultät für Informatik

39106 Magdeburg, Universitätsplatz 2

Hans-Peter Menzler

menzler@cci.de

Competence Center Informatik (CCI) GmbH

49716 Meppen, Lohberg 10

Zusammenfassung

Monolithische Simulationsmodelle sind in der Straßenverkehrssimulation lange bekannt und sie werden mit Erfolg eingesetzt. Verteilte Simulationsmodelle wurden in der Vergangenheit ausschließlich zur Geschwindigkeitssteigerung bei der Ausführung von Simulationsläufen verwendet. Mit der Verfügbarkeit der High Level Architecture (HLA) ergeben sich neue Ziele bei der Anwendung der verteilten Simulation. Diese Ziele werden mit den Begriffen Interoperabilität zwischen und Wiederverwendbarkeit von Simulationsmodellen beschrieben. Ausgehend von einer Beschreibung des Istzustandes in der monolithischen Straßenverkehrssimulation, den elementaren HLA-Konzepten und den verwendeten Tools werden zwei prototypische HLA-Federations für den Bereich Straßenverkehr vorgestellt und hinsichtlich der neuen Eigenschaften diskutiert. Ein Prototyp umfaßt die Simulation und Visualisierung von einfachen Straßenverkehrsprozessen mit Fahrzeugen, Fußgängern und Lichtsignalanlagen. Der andere Prototyp beschreibt eine verteilte Fahrsimulation zwischen einem Echtzeit-Fahrsimulator und einem ereignisgesteuerten Verkehrssimulator. Ein Ausblick auf weiterführende Arbeiten bildet den Abschluß.

1 Monolithische Straßenverkehrssimulation

Simulationsmodelle für den Straßenverkehr werden traditionell als monolithische Modelle entwickelt. Ein monolithisches Modell beinhaltet alle für die Modellierung notwendigen Informationen in einem einzigen Modell. Im Gegensatz dazu besteht ein verteiltes Simulationsmodell aus mehreren Teilmodellen, wobei jedes Teilmodell einen bestimmten Anteil vom Gesamtmodell beschreibt. Das Zerlegen eines Modells in Teilmodelle hängt von verschiedenen Faktoren ab, die beim Entwurf berücksichtigt werden müssen. Straßenverkehrsmodelle lassen sich z.B. nach geographischen Regionen (für jeden Knoten eines Verkehrsnetzes wird ein Teilmodell verwendet) oder nach den Verkehrsarten (es werden unterschied-

liche Teilmodelle für Fahrzeuge, Fußgänger, ÖPNV usw. verwendet) unterteilen.

Mikroskopische Straßenverkehrsmodelle beschreiben den Straßenverkehr mit einem hohem Grad an Detailliertheit. Monolithische mikroskopische Modelle enthalten eine Vielzahl von statischen Komponenten zur Beschreibung der Infrastruktur (Fahrbahnen, Kreuzungen, Lichtsignalanlagen usw.), von dynamischen Komponenten (Fahrzeuge, Fußgänger, Radfahrer usw.) und von Entscheidungsregeln zur Beschreibung der Beziehungen zwischen den dynamischen Komponenten. Durch die Anzahl der beteiligten Komponenten und die Anzahl der Relationen zwischen ihnen lassen sich diese Modelle als large-scale Modelle charakterisieren. Monolithische mikroskopische Simulationsmodelle werden zu groß, zu unhandlich in der Wartung und Anpassung an neue Bedingungen der Realität. Diese Umstände führen zu:

- langen Laufzeiten für die Simulationsläufe,
- langen Entwicklungs- und Testzeiten bei der Verwendung von monolithischen Modellen,
- einen hohem menschlichen Aufwand bei der Wartung der Modelle bzw. ihrer Anpassung an neue Aufgaben
- geringer Flexibilität und Wiederverwendbarkeit.

Was kann gegen diese Umstände unternommen werden? Die Verwendung von leistungstärkerer Hardware hat nur einen direkten Einfluß auf die Laufzeiten der Modelle. Neue Möglichkeiten ergeben sich durch die Aufteilung von monolithischen Modellen in eine entsprechende Menge von Teilmodellen. Die Reduzierung der Laufzeit ist ein traditionelles Ziel für verteilte Modelle zur Straßenverkehrssimulation [1]. Gegenwärtig zeichnen sich neue Ziele für die Anwendung der verteilten Simulation ab [2]. Diese neuen Zielstellungen werden mit Interoperabilität und Wiederverwendbarkeit umschrieben. Im nächsten Abschnitt wird auf eine aktuelle Architektur zur Umsetzung der verteilten Simulation eingegangen.

2 Die High Level Architecture (HLA)

Die High Level Architecture (HLA) ist eine vom amerikanischen Department of Defense (U.S. DoD) initiierte Architekturform, die sich zu einem IEEE Standard für die verteilte Simulation entwickeln wird [3]. Diese Architektur ist durch folgende Merkmale bestimmt:

- Regeln bestimmen das Verhalten einzelner Simulationsmodelle (Federates) und der Gesamtheit aller Modelle (Federation).
- HLA definiert eine einheitliche Schnittstelle (HLA-interface) für alle Federates, um in Kontakt mit der Runtime Infrastructure (RTI) zu treten. Die RTI stellt Basis-, Koordinations- und Kommunikationsdienste zur Laufzeit bereit. Eine Kommunikation

findet lediglich zwischen Federate und RTI und nicht zwischen den Federates selbst statt. Die RTI als zentrale Software-Koordinierungskomponente kann auf einem beliebigen Netzwerkcomputer lokalisiert sein.

- Eine Federation kann als ein Vertrag zur Durchführung eines Simulationslaufes zwischen den Federates angesehen werden, in dem die Einzelheiten und Objektmodelle der Federates und der Federation festgelegt sind.

Der nächste Abschnitt stellt Simulations- und Animationstools vor, mit denen HLA-Federates erstellt werden können.

3 Werkzeuge zur Simulation mit HLA

Der Ursprung der HLA-Technologie liegt im Bereich der militärischen Simulationsmodelle. In diesem Applikationsfeld erfolgt die Implementierung der Modelle vorwiegend in allgemeinen Programmiersprachen wie C bzw. C++. Diese Simulationsmodelle erfüllen softwareseitig die Bedingungen zum Anschluß an die RTI-Softwarebibliotheken. Zivile Anwendungsbereiche sind durch eine andere Situation geprägt. Die verwendeten Simulationstools entbinden den Nutzer von der Notwendigkeit, seine Modelle auf der Ebene von C bzw. C++ zu implementieren. Die verwendeten Tools sind überwiegend für eine autonome stand-alone Nutzung entwickelt wurden. Verfügbare Simulations- und Animationstools wurden hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit in einer HLA-Architektur untersucht. Im Ergebnis wurden zwei Tools ausgewählt, die dann hinsichtlich ihrer HLA-Kompatibilität erweitert wurden:

- Ein wesentliches Merkmal des Simulationstools SLX (von der Wolverine Software Corporation [4]) ist seine offene Architektur und damit die Möglichkeit zum Aufruf von Funktionen aus einer Windows DLL. Die Entwicklung der SLX-Version 1.0 erfolgte nicht mit dem Ziel eines Tools zur verteilten Simulation. Durch die Verwendung einer Wrapper-Bibliothek [5] wurde Standard SLX erweitert, so daß SLX-Modelle als Federates in einer HLA-Federation operieren können.
- Das Animationstool Skopeo [6] wurde ursprünglich als ein Java-basiertes 2D Werkzeug entwickelt. Auch dieses Tool wurde um die Fähigkeit erweitert, innerhalb einer HLA-Federation Visualisierungsaufgaben zu übernehmen.

4 Prototypische Federations

In diesem Abschnitt werden zwei prototypische HLA-Federations für die Straßenverkehrssimulation beschrieben. Die Prototypen wurden mit unterschiedlichen Zielstellungen entwickelt. An beiden Prototypen werden unterschiedliche Formen der Wiederverwendbarkeit und Interoperabilität aufgezeigt.

4.1 Prototyp Einfacher Straßenverkehr

Diese Federation wurde an der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg entwickelt und besteht aus vier unterschiedlichen eigenständigen Federates. Jedes Federate kann unter stand-alone Bedingungen laufen. In der Federation sind drei Simulationsfederates und ein Federate zur Visualisierung vereint. Die Struktur dieser Federation ist Bild 1 zu entnehmen.

Das Verkehrsmodell wurde in drei eigenständige Simulationsfederates geteilt: **Car Traffic**, **Pedestrian Traffic** und **Traffic Light Control**. Jedes Simulationsfederate wurde mit dem Simulationssystem SLX (unter Verwendung der HLA_SLX-Bibliothek [5]) entwickelt. Das Federate Car Traffic simuliert auf einer Straße ankommende Fahrzeuge. Eine Lichtsignalanlage (LSA) ist in der Straßenmitte aufgestellt. Diese LSA beeinflusst den Auto- und den Fußgängerverkehr. Mit dem Federate Pedestrian Traffic werden Fußgänger simuliert, welche die Straße queren möchten werden. Ein Überqueren der Straße ist nur möglich, wenn die LSA für die Fußgänger ein grünes Licht signalisiert. Im anderen Fall wird der Fußgänger einen Knopf zur Anforderung des grünes Signals drücken. Die Steuerung der LSA wird im Federate Traffic Light Control simuliert. Die Visualisierung der parallelen Prozesse erfolgt im Visualisierungsfederate. Dieses Federate wurde mit dem Tool Skopeo implementiert.

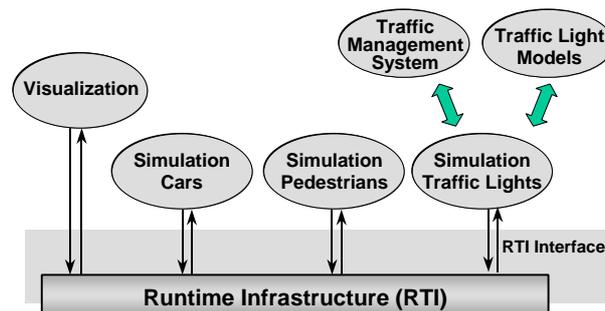


Bild 1: Struktur der HLA-Federation Einfacher Straßenverkehr

HLA erlaubt ein transparentes Zeitmanagement zwischen den unterschiedlichen lokalen Zeiten in den beteiligten Federates. Das Zeitmanagement eines Federates wird durch die folgenden zwei Schalter bestimmt: *time constrained* (es wird auf zeitliche Zwänge anderer Federates reagiert) und *time regulating* (die lokale Zeit anderer Federates wird beeinflusst). Die verwendeten Schalterstellungen sind der Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1: Federates und die Schalterstellungen zum Zeitmanagement

Federate	Time constrained	Time regulating	Zeitfortschritt
Car Traffic	Ja	Ja	Ereignisorientiert
Pedestrian	Ja	Ja	Ereignisorientiert
Traffic Light Control	Ja	Ja	Ereignisorientiert
Visualisierer	Ja	Ja/Nein	Echtzeitproportional

Die Zielstellungen für die Entwicklung dieses Prototyps lagen in der Evaluierung folgender Aufgaben:

- Interoperabilität zwischen ereignisorientierten Simulationsfederates,
- Interoperabilität zwischen Simulations- und Animationsfederates,
- Verwendung des RTI-Zeitmanagements zur Kopplung von ereignisorientierten Simulationsfederates unter Verwendung konservativer Zeitfortschrittsverfahren und
- Verwendung des RTI-Zeitmanagements zur Synchronisation der lokalen Zeiten zwischen ereignisorientierten Simulationsfederates und echtzeitproportionalen Visualisierungsfederates.

Als Ergebnis dieser Untersuchungen kann vermerkt werden, daß mit den verwendeten Tools die Aufgaben erfüllt wurden.

4.2 Prototyp Verteilte Fahrsimulation

Diese Federation wurde von der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg (UniMD) gemeinsam mit dem Competence Center Informatik GmbH Meppen (CCI) entwickelt. Die beteiligten Partner fügten unabhängig von einander entwickelte Federates in dieser Federation zusammen. Bild 2 illustriert die Struktur dieser Federation. Die Simulationsfederates basieren auf existierenden Simulationsmodellen, die hinsichtlich ihrer HLA-Einbindung erweitert werden mußten. Diese Erweiterungen bezogen sich auf folgende Aspekte:

- Kommunikation mit der RTI
- Interoperabilität zwischen den Modellen
- Synchronisation des lokalen Zeitfortschritts

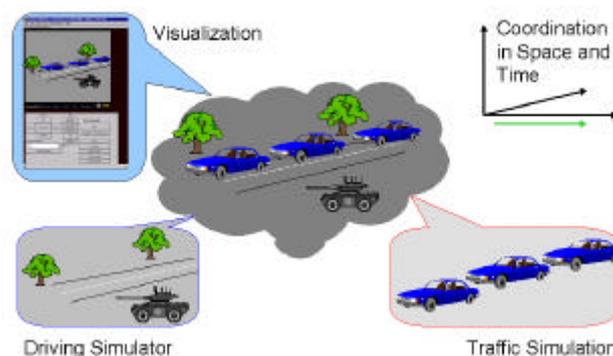


Bild 2: Struktur der Federation Verteilte Fahrsimulation

Die beteiligten Federates werden im folgenden kurz charakterisiert:

Federate **Driving Simulator**: Dieses Federate wurde auf der Basis eines existierenden

Echtzeit-Fahrsimulators für Geländefahrzeuge entwickelt. Ein menschlicher Fahrer fährt in diesem Simulator ein Geländefahrzeug in einer synthetisch erzeugten Umgebung, die keinen Straßenverkehr modellieren kann. Der Simulator ist in C++ für Unix-Maschinen implementiert und er offeriert eine 3D-Visualisierung auf einer Silicon Graphics Maschine. Dieses Federate wurde von CCI entwickelt.

Federate **Traffic Simulator**: Dieses Federate wurde an der UniMD entwickelt. Es basiert auf einem existierenden ereignisorientierten Straßenverkehrssimulator, dessen einer Schwerpunkt auf der Abbildung des psycho-physischen Fahrzeugfolgeverhaltens liegt [7]. Dieser Simulator wurde in der Sprache SLX implementiert und läuft auf Win32 Standard PC. Mit diesem Federate wird Straßenverkehr nachgebildet. Die Fahrzeuge haben im Zusammenspiel mit dem Federate Driving Simulator auf Aktionen des Fahrers zu reagieren. Im Gegenzug muß der Fahrer im Federate Driving Simulator auf die jeweiligen Fahrzeuge aus dem Straßenverkehr reagieren.

Federate **Visualization**: Das Beobachterfederate basiert auf dem Visualisierungstool Skopeo.

Die beiden Simualtionsfederates mußten ihre alte Funktionalität erweitern. Der Driving Simulator hat zusätzlich die Fahrzeuge auf der Straße zu visualisieren. Bild 3 zeigt einen Blick von einer Position oberhalb des Geländewagens. Der menschliche Fahrer muß nur auf die Fahrzeuge auf der Straße reagieren, wenn er mit seinem Fahrzeug den Straßenverkehr beeinflußt. Zur selben Zeit hat auch das Straßenverkehrsmodell auf den externen menschlichen Fahrer zu reagieren. Beide Federates operieren nun in einem neuen gemeinsamen Ereignisraum. Sie müssen ihre Zustände in Raum und Zeit koordinieren. Zur Umsetzung dieser Interoperabilität ist HLA ein geeigneter Rahmen.

Die unterschiedlichen Hardware-Plattformen für die Simualtionsfederates waren auch getrennt in Meppen und Magdeburg aufgestellt. Als unterliegendes Netzwerk wurde in diesen Fall eine dial-up ISDN Verbindung verwendet. Tests wurden auch auf der Basis von LAN und Internet erfolgreich durchgeführt.

Die Charakteristika des Zeitmanagements in dieser Federation sind in Tabelle 2 zusammengefaßt. An dieser Stelle sei auf die korrespondierenden Merkmale für den Prototyp Einfacher Straßenverkehr in Tabelle 1 verwiesen.

Tabelle 2: Federates und die Schalterstellungen zum Zeitmanagement

Federate	Time constrained	Time regulating	Zeitfortschritt
Fahrsimulator	Nein	Ja	Echtzeit
Starßenverkehr	Ja	Ja	Ereignisorientiert
Beobachter	Ja	Nein	Echtzeitproportional

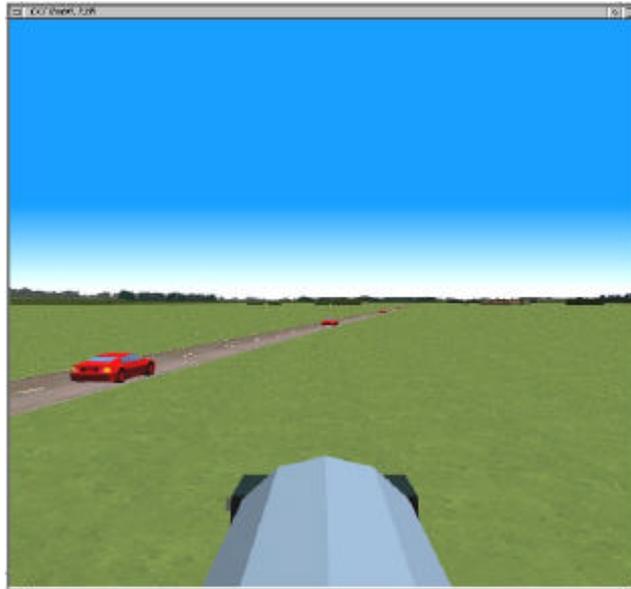


Bild 3: Blick vom Geländewagen auf den Straßenverkehr

Die Federation Verteilte Fahrsimulation zeigte, daß ein unabhängige Entwicklung von Federates und eine Wiederverwendung von existierenden Simulationsmodellen als Federates möglich ist. Die folgenden Aspekte charakterisieren den erfolgreichen Versuch zur Verwendung von HLA als ein Rahmen zur Erreichen des Zieles der Interoperabilität zwischen Simulationsmodellen:

- Interoperabilität zwischen unterschiedlichen Zeitfortschrittmethoden (Echtzeit vs. ereignisorientierter Zeit , ereignisorientierte Zeit vs. proportionaler Echtzeit)
- Interoperabilität zwischen heterogenen Hardwareplattformen (SGI vs. Windows PC vs. plattformunabhängige Java Applikationen)
- Interoperabilität zwischen den Implementationsprachen (C++ vs. SLX vs. Java)
- Interoperabilität zwischen den verwendeten Netzwerken (LAN vs. ISDN-Link vs. Internet)

5 Ausblick

HLA ist gegenwärtig eine vielversprechende Technologie in der verteilten Simulation mit den Zielen der Interoperabilität zwischen und der Wiederverwendbarkeit von Simulationsmodellen. Basierend auf dieser Technologie wurden erfolgreich Prototypen für verteilte Simulationsmodelle aus dem Bereich Straßenverkehr entwickelt. Die verteilten Modelle offerieren eine neue Flexibilität und Vorteile gegenüber bekannten monolithischen Simulationsmodellen. Federates operieren in einem gemeinsamen Ereignisraum mit abgestimmten lokalem Zeitfortschritt. Die nächsten Schritte befassen sich mit der Integration

von Straßenverkehrsinformationssystemen in das Federation Object Model und der Entwicklung der Ankopplung von GIS-Systemen in die HLA-Welt.

Literatur

[1] Mabry, Susan L., Jean-Luc Gaudiot. Distributed parallel object-oriented environment for traffic simulation (POETS). In: Proceedings of the 1994 Winter Simulation Conference, ed. J. D. Tew, S. Manivannan, D. A. Sodowski, and A. F. Seila, pages 1093-1100.

[2] U. Klein und S. Straßburger. Die High Level Architecture: Anforderungen an interoperable und wiederverwendbare Simulationen am Beispiel von Verkehrs- und Infrastruktursimulationen. In *Simulationstechnik, Tagungsband 11. Symposium in Dortmund*, November 1997, ed. A. Kuhn und S. Wenzel. Seiten 529-534, Vieweg 1997.

[3] Defense Modeling and Simulation Office (DMSO). 1998. The High Level Architecture Homepage. Online available at <http://hla.dmsomil>.

[4] Schulze, Th. und J. Henriksen. Simulation Needs SLX. Handbuch zum Simulationssystem SLX. Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, Fakultät für Informatik 1998.

[5] Straßburger. S. und U. Klein. Integration des Simulators SLX in die High Level Architecture. In *Proc. Simulation und Visualisierung'98, Magdeburg*. Eds. P. Lorenz und B. Preim, März 5-6. 1998, SCS Europe, Seiten 32-40.

[6] Ritter, K. C., U. Klein, S. Straßburger and M. Diessner. Web-basierte Animation verteilter Simulationen auf der Basis der High Level Architecture (HLA) In *Proc. Simulation und Visualisierung'98, Magdeburg*. Eds. P. Lorenz und B. Preim, März 5-6. 1998, SCS Europe, Seiten 41-52.

[7] Schulze, Th. und Th. Fliess. Entwicklung eines SLX-basierten mikroskopischen Straßenverkehrssimulators. In *Simulationstechnik, Tagungsband 11. Symposium in Dortmund*, November 1997, ed. A. Kuhn und S. Wenzel. Seiten 345-350, Vieweg 1997.