

# Zivile Anwendungspotentiale der High Level Architecture (HLA)

Ulrich Klein, Steffen Straßburger  
Institut für Simulation und Graphik  
Fakultät für Informatik  
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg  
email:{uklein@isg, strassbu@sunpool}.cs.uni-magdeburg.de

## Zusammenfassung

Der Vortrag betrachtet die High Level Architecture aus dem Blickwinkel ziviler Anwendungsmöglichkeiten und zeigt exemplarisch Gebiete auf, in denen verteilte Modelle von Systemen Vorteile gegenüber klassischen stand-alone Modellen bieten. Die Anforderungen von HLA an klassische Simulations- und Animationstools werden beschrieben. Erste Erfahrungen und die aktuellen Arbeiten mit HLA werden abschließend skizziert.

## Schlüsselwörter

High Level Architecture, Simulation, Logistik, Produktion, Emergency Management, Simulations- und Animationstools.

## 1 Einleitung

Der Vortrag befaßt sich mit den Konzepten der *High Level Architecture (HLA)* des *Defense Modeling & Simulation Office (DMSO)* des *U.S. Department of Defense (DoD)* und deren Anwendung im zivilen Bereich. Obwohl die HLA als Nachfolger von z.B. dem *Aggregate Level Simulation Protocol (ALSP)* und der *Distributed Interactive Simulation (DIS)* Technologie zu sehen und demnach zunächst im militärischen Anwendungsbereich angesiedelt ist, sind die adressierten Probleme der Wiederverwendbarkeit und Interoperabilität von Simulationen ebenso für zivile Applikationen interessant.

Die bisherigen Ansätze zur verteilten, plattformübergreifenden, interoperablen Simulation führten bislang nicht zu befriedigenden Ergebnissen [14]. Zwar sind auf der Ebene der Simulations- und Animationstools Kopplungsmöglichkeiten vorhanden, wie z.B. zwischen ACSL und Spice (kontinuierliche Simulation), ohne jedoch Wiederverwendbarkeit und Interoperabilität der Simulationskomponenten über Plattformen und Produkte hinweg zu unterstützen.

Nachdem ALSP und DIS im zivilen Bereich nur vereinzelt Anwendung finden [12, 15], könnte HLA nun der Motor für vielversprechende Fortschritte sein und eine neue Qualität in der Unterstützung der o.g. Eigenschaften sein, ohne etwa Vollständigkeitsansprüche zu erheben; dies ist u.a. bedingt durch die schnelle Entwicklungszeit von HLA und zeigt sich in der rasanten Weiterentwicklung und der bereits begonnenen Planung an der Nachfolgetechnologie [1].

Nach einer Beschreibung der HLA (Abschnitt 2) wird eine Übersicht über eine Auswahl potentieller ziviler Anwendungsgebiete gegeben (Abschnitt 3) und auf die derzeitigen Schwerpunkte der Arbeiten am Institut für Simulation und Graphik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg eingegangen (Abschnitt 4).

## 2 Die High Level Architecture (HLA)

In der HLA-Terminologie schließen Teilnehmer (*Federates*), die an einer gemeinsamen Simulationsausführung (*Federation Execution*) teilnehmen wollen, einen Vertrag (*Federation*) über Schlüsselinformationen und das zugrundeliegende Einzel- bzw. Federation-Objektmodell. Zur Laufzeit kommunizieren die Federates über eine Basissoftware (*Runtime Infrastructure, RTI*), die koordinierende Services über eine Standardschnittstelle (*HLA RTI Interface*) anbietet.

Die HLA wird durch drei Hauptbestandteile spezifiziert: 1. die *HLA Rules*, die Verhaltensregeln für Federates und Federations aufstellen, 2. die *HLA Interface* Spezifikation (aktuelle Version: 1.1), die von allen Federates einzuhalten ist und 3. *das HLA Object Model Template (OMT)*, welches eine einheitliche Form und Dokumentation der Schlüsselinformationen von Federates (*Simulation Object Model, SOM*) und Federations (*Federation Object Model, FOM*) vorschreibt [3].

Die Schnittstellenfunktionalität der RTI gliedert sich in sechs funktionale Gruppen [2]: das *Federation Management* erlaubt das Erzeugen, Beitreten, Anhalten und Speichern sowie die entsprechenden Komplementärfunktionen für Federates bzw. Federation Executions, mittels der Funktionen des *Declaration Management* kann die Absicht zum Publizieren bzw. Abonnieren von Informationen erfolgen, und das *Object Management* erlaubt die Kontrolle auf Objektebene (Manipulation von Objektinstanzen und Nachrichtenaustausch). Weiterhin kann mittels des *Ownership Management* das Eigentum (Recht zur Änderung) von Objektattributen übergeben werden (Push und Pull werden unterstützt; s. a. Abschnitt 4.3).

Die beiden Kernbereiche sind jedoch das *Time Management*, welches eine transparente Koordination der lokalen Zeitfortschritte und Interoperabilität zwischen verschiedenen Zeitregimen zum Ziel hat, sowie das *Data Distribution Management*, welches mittels des *Routing Spaces*-Ansatzes eine effiziente Datenübermittlung gewährleisten soll (im Gegensatz zum Broadcast-Ansatz von DIS soll lediglich dort, wo sich Angebot und Nachfrage von Objektinformationen überschneiden, Kommunikation stattfinden).

Das Grundkonzept der HLA ähnelt *der Common Object Request Broker Architecture (CORBA)*, ohne jedoch wesentliche Merkmale zu übernehmen. So enthält sich z.B. das RTI im Gegensatz zu DIS auf Datenebene jeglicher Interpretation oder Konvertierung und sorgt damit für zusätzlichen Aufwand bei plattformübergreifenden Anwendungen, während CORBA einen transparenten Datenaustausch übernimmt. Auf der anderen Seite fehlt es CORBA an Möglichkeiten zur Handhabung des Zeitmanagements verteilter Simulationen; nicht nur dies läßt eine zukünftige Integration von CORBA und HLA interessant erscheinen.

## 3 Anwendungsbereiche

In Analogie zu den Proto-Federations des DMSO kann ein weiterer Bereich von Aufgaben von der Analyse, Vorhersage, Echtzeitsteuerung bis hin zu gemeinsamen Trainings- und Schuleinsätzen abgedeckt werden, die innerhalb der HLA verschiedene Schwerpunkte von Performance und Wiederholbarkeit über die Dynamik von Um-

welteffekten, flexiblen Federation-Strukturen und Objektverteilungen bis hin zur Interoperabilität heterogener Systeme setzen. Wesentlich ist hierbei auch die Art der Kopplung der Systeme (lose Anbindung eigenständiger Simulationen vs. verteilte Simulation zwischen eng gekoppelten Teilmodellen) und der Abstraktions- und Kommunikationsgrad (von gelegentlichen Updates stark aggregierter Objekte hin zur Signalebene im (k)Hz-Bereich). Einige der interessanten Anwendungsbereiche sind nachfolgend kurz beschrieben. Außerdem soll hier eine Anwendung von DIS bzw. HLA im Weltraumbereich bei der Simulation von Andockmanövern an die Internationale Raumstation ISS erwähnt werden [16].

### **3.1 Leit-, Steuer- und Führungssysteme**

Zivile Leitstellensysteme können von der Flexibilität und Interoperabilität der HLA-Federates z.B. durch Einbindung von Simulationsmodellen, graduellen Trainingsbetrieb und ein Szenarienmanagement profitieren. Außerdem gestattet es das HLA-Konzept, Federates über die definierte Schnittstelle zur Runtime Infrastructure als Black Boxes einzubinden und sowohl das lokale Zeitmanagement (für Simulationen) als auch die Natur des Federates (Simulation, (Online-)Umweltinformationssystem, Hardware etc.) zu verbergen. Auf diese Weise lassen sich Federates mit gleicher Funktionalität z.B. sowohl in Soft- und Hardware (Simulation versus Echtdaten) bzw. in unterschiedlicher Detaillierung austauschbar gestalten. Die notwendigen Voraussetzungen für die Fähigkeit, von einem gegebenen Zustand eines laufenden Systems aus Prognosesimulationen durchzuführen, werden im Rahmen der Institutsarbeiten untersucht. Diese Eigenschaft wäre für erweiterte Krisenmanagementfähigkeiten von großer Bedeutung (siehe auch Abschnitt 3.4).

### **3.2 Verkehr und Logistik**

In der Verkehrssimulation läßt sich die Nutzung der High Level Architecture unter anderem am Beispiel eines kooperativen Transportflottenmanagements und der Modellierung städtischer Infrastruktureilnetze zeigen. Die Modellierung nach Verkehrsarten, Transportmitteln oder beteiligten Organisationen und Unternehmen erschließen sowohl Möglichkeiten effektiver Verkehrssimulation zu Analyse- und Planungszwecken als auch Ansätze zur Echtzeitkopplung der entsprechenden Leitsysteme. Die zu nutzende Infrastruktur (Transportwege wie Straßen und Schienen, Kreuzungen), ihre dynamischen und statischen Eigenschaften könnten sowie die diversen Verkehrsträger können als eigenständige Federates betrachtet und modelliert werden. Hier spielt die Möglichkeit, alternativ mit Echtdaten operieren zu können, eine große Rolle. Vielfach ist der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) bereits mit Fahrzeugortungssystemen ausgestattet und Verkehrsrechner verfügen über Onlineinformationen von Kontakt- bzw. Zählschleifen, etc. Zusätzlich zu Anwendungen in der Fahrplan-, Strecken- bzw. Verkehrssteuerungsplanung kommen hier echtzeitorientierte Einsatzmöglichkeiten in Betracht, die z.B. für Verspätungsvoraussagen oder bessere Verkehrsteilnehmerinformation genutzt werden können. Eine experimentelle Federation, die gemäß der organisatorischen Verteilung die Verkehrsinfrastruktur und den ÖPNV (zunächst Straßenbahnverkehr) als Federates modelliert, ist in Zusammenarbeit mit einem ÖPNV-Betreiber in Planung.

### **3.3 Produktion, Fertigung und Fabrikplanung**

Simulation und Animation haben sich als wertvolles Hilfsmittel u.a. in verschiedenen Phasen des Produktlebenszyklusses wie auch in der Fabrikplanung erwiesen. Für

komplexere Produkte bzw. Objekte existieren teilweise eine Vielzahl von Modellen, die geographisch, funktional oder organisatorisch getrennt vorliegen. Verteilte Simulationsmodelle auf Basis von HLA könnten entfernten Entwicklungs-, Support- sowie anderen Teams eine Zusammenarbeit ebenso unterstützen wie auch andere fabrikplanerische oder prozeßsteuertechnische Tätigkeiten. Ein derzeit untersuchtes Anwendungsgebiet ist die weltweite Unterstützung von verteilten Task Forces für Sonderaufgaben innerhalb eines international produzierenden Unternehmens.

Im Produktionsbereich kann HLA zur Interoperabilität der eingesetzten Tools über den Produktlebenszyklus hinweg beitragen. Eine Technologie, die HLA bereits als Interoperabilitäts- und Integrationsplattform für Tools zur Unterstützung von Design, Entwicklung, Test und Training komplexer Systeme nutzt, ist das *Simulation Based Design (SBD)* [11].

### 3.4 Emergency Management

Im Hinblick auf entscheidungsunterstützende Eigenschaften für außergewöhnliche Situationen (Krisenmanagement) bietet die Verknüpfung von Verkehrs- und Umweltsimulationen ein prototypisches Anwendungsgebiet, auf dem bereits erste Erfolge auf Basis von HLA erzielt wurden [16] [Bild 1].

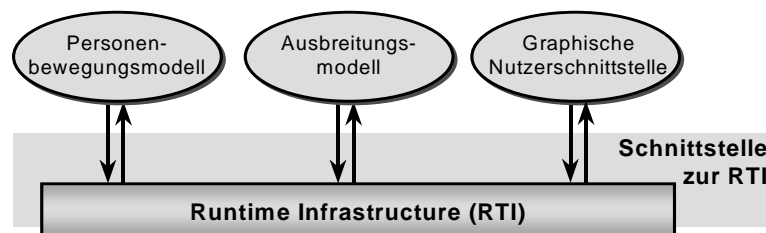


Bild 1 Kopplung von Bewegungs- und Ausbreitungsmodellen im Emergency Management

Im Bereich des Krisenmanagements ist hier z.B. die Möglichkeit von HLA, den Zustand von Federation Executions und Federates abspeichern und wiederherstellen zu können, von Interesse. Zur Entscheidungsunterstützung ist es so möglich, die Auswirkung verschiedener Entscheidungen im voraus zu simulieren und zu analysieren.

Die Möglichkeiten, die HLA zur Integration von Umwelt-, Verkehrs- und anderen Informations- und Simulationssystemen und zur Kopplung von Systemen kooperierender Organisationen im Hinblick auf erweiterte Krisenmanagementfähigkeiten bietet, werden untersucht und sollen in Machbarkeitsstudien analysiert werden.

Von besonderer Aktualität ist hier auch der Bereich zivil-militärischer Zusammenarbeit, z.B. im Katastrophenfall, der ggf. von HLA profitieren bzw. Impulse erhalten kann.

## 4 HLA: Erste Erfahrungen

Die High Level Architecture verspricht die Unterstützung von Interoperabilität und Wiederverwendbarkeit und bietet auf der Syntaxebene aufgrund der wohldefinierten Schnittstelle und des Black-Box-Prinzips eine große Flexibilität bzgl. der potentiellen Federates. Neben der unbeantworteten Frage der Interoperabilität auf Semantikebene (Kompatibilität der Objektmodelle) stellt die Integration dieser Standardschnittstelle bereits Anforderungen an Simulations- und Animationstools sowie andere Komponen-

ten [6].

#### 4.1 Anforderungen an klassische Simulations- und Animationstools

Klassische Tools zur Simulation wie z.B. GPSS/H [13] oder die neue Sprache SLX und auch Animationswerkzeuge wie Proof Animation sind als stand-alone Anwendungen konzipiert. Eine Verwendung dieser Tools im Zusammenhang mit HLA erfordert jedoch einerseits eine Koordination und Kommunikation mit externen Systemen (insbesondere die Verknüpfung externer und interner Ereignislistenverwaltung [5, 9]) und andererseits konkret die Einbindung der RTI-Bibliothek in die Simulations- oder Animationssoftware.

Während GPSS/H aufgrund fehlender programmtechnischer Möglichkeiten als Tool für HLA-basierte Modelle ausscheidet, konnten erste, in der Simulationssprache SLX erstellte Federates erfolgreich getestet werden. SLX ist ein Simulationstool für die Windows 95 / NT Betriebssysteme, für das zur HLA-Anbindung ein C-Wrapper für die C++-RTI-Bibliothek erstellt wurde, der auch die Funktionalität des Federate Ambassador enthält. Dieser C-Wrapper läßt sich nun in SLX einbinden und erlaubt SLX-Programmen die Teilnahme an Federations mit SLX- und anderen Federates. [6], [Bild 2].

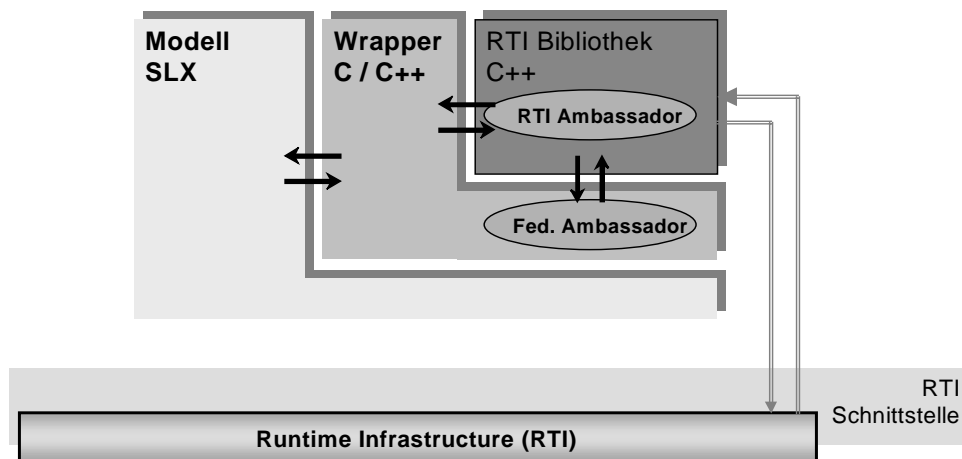


Bild 2 HLA-Anbindung des Simulators SLX

#### 4.2 HLA Software

Derzeit ist die RTI-Software Version 1.0 Release 2 in C++ für Unix-Workstations (SUN, SGI, HP, DEC, IBM) und Windows NT 4.0 verfügbar.

Das Institut für Simulation und Graphik hat im Rahmen des Forschungsgebietes plattformunabhängiger, internetfähiger Anwendungen zu GPSS/H und Proof Animation kompatible Systeme entwickelt, die auf Java basieren (JavaGPSS bzw. Skopeo [10]). Mit der für September angekündigten Java-RTI können die in Vorbereitung befindlichen Arbeiten zur Integration der HLA RTI-Schnittstelle in diese Systeme umgesetzt werden [8], wobei insbesondere bei dem stand-alone Tool GPSS die Einbettung der Fähigkeiten verteilter Simulation aufschlußreich sein wird.

Die neuen Fähigkeiten plattformunabhängiger, internetbasierter Federates, welche

orts- und systemunabhängig einsetzbar sind, sind dabei z.B. der Performance und den Netzeigenschaften gegenüberzustellen.

### 4.3 Zivile Prototypen

Mit HLA ist es möglich, ein System z.B. in Analogie zu dessen Subsystemen zu modellieren. Ein bereits angesprochenes Beispiel für komplex vernetzte Subsysteme ist der Verkehr mit den zugrundeliegenden Infrastrukturen.

Das Beispiel einer Lichtsignalanlage (LSA), die Straßen- und Fußgängerverkehr regelt, diente zur Untersuchung und Dokumentation des Übergangs von klassisch-monolithisch aufgebauten stand-alone-Simulationsmodellen zu verteilten Teilmodellen [7] [Bild 3].

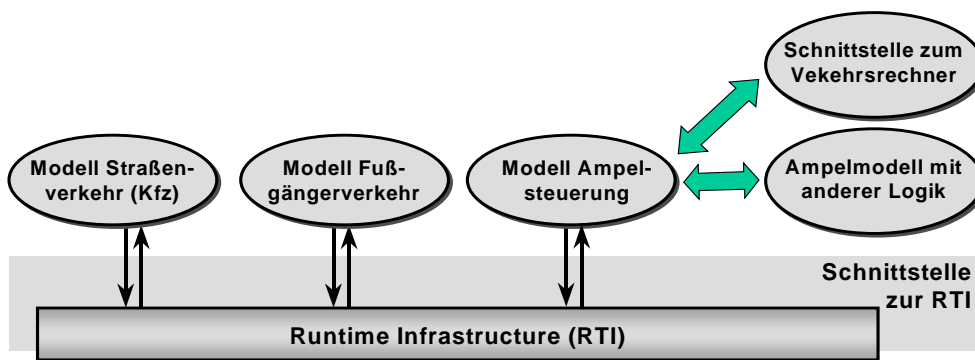


Bild 3 Verteilte Verkehrssimulation am Beispiel einer LSA-gesteuerten Kreuzung

Hierzu wurde in der Sprache GPSS/H ein zunächst monolithisches Modell erstellt, dann innerhalb des Modells funktional in LSA, Straßenverkehr und Fußgängerverkehr getrennt, um anschließend drei Teilmodelle zu erhalten, die über Dateien bzw. Pipes ihren Simulationsfortschritt koordinieren. Die letzte Stufe dreier über ein RTI kommunizierender HLA-basierter Teilmodelle wird aus den o.g. Gründen in SLX realisiert [Bild 4].

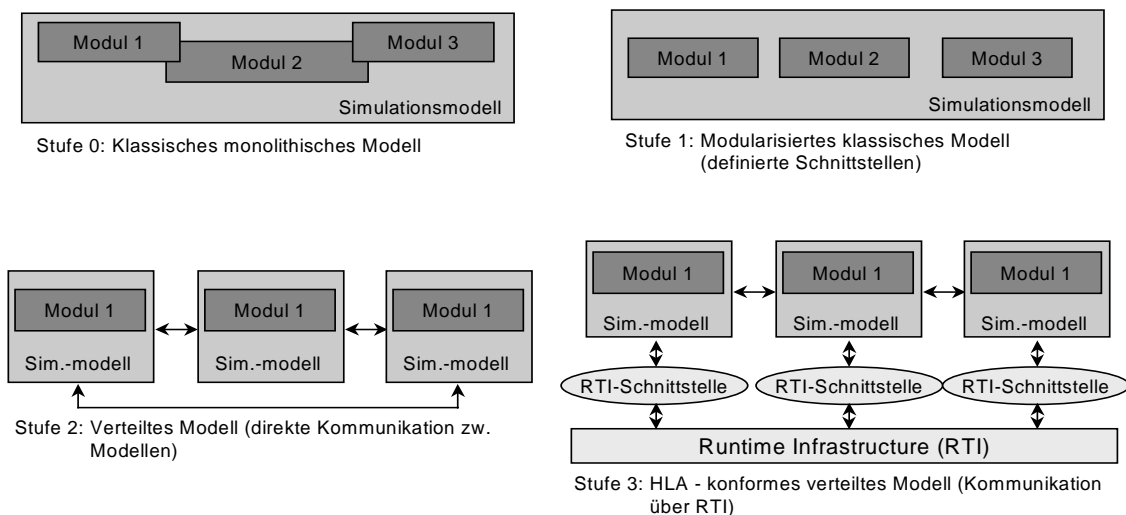


Bild 4 Verallgemeinerter Weg von einer klassischen monolithischen zur HLA-konformen verteilten Simulation

Das Ampelfederate ist mit einer gewissen Steuerlogik versehen und kann durch ein anderes Federate mit anderer Steuerlogik oder Echtdatenversorgung ausgetauscht werden. Zusätzliche SOM-kompatible Federates zur Echtdateneinbindung von Verkehrszählschleifen, bakenorientierten Fahrzeugortungssystemen (ÖPNV) und Lichtsignalplänen sind in Vorbereitung. Anhand komplexerer Ausschnitte (verknüpfte LSA, mehrere Verkehrsarten etc.) sollen weitergehende Federation-Strukturen untersucht werden.

Die RTI-Anbindung der Endstufe erfolgt über den Zwischenschritt der bereits oben erwähnten Wrapper-Library, die zwischen SLX-Funktionsaufrufen und eigentlichen RTI-Aufrufen vermittelt [Bild 5].

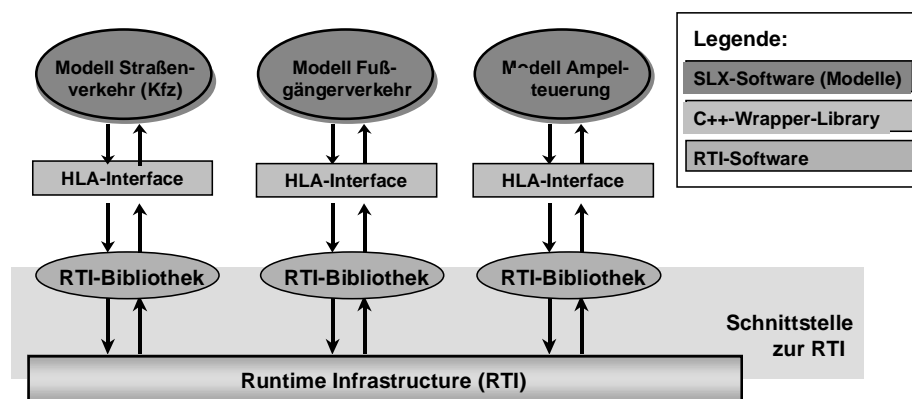


Bild 5 Das Beispiel aus Bild 3, realisiert mit der Simulationssprache SLX

Mittels eines Beispiels von kooperierenden Speditionen mit verschiedenen Flottenmanagementpolitiken sollen insbesondere weitere HLA-Fähigkeiten wie z.B. das Ownershipmanagement untersucht werden. Hierbei operieren mehrere Mitspieler (Speditionen) auf einer gemeinsamen Infrastruktur (entweder in den Speditionsmodellen abgebildet oder von einem separaten geographischen Infrastrukturfederate zur Verfügung gestellt). Interessant erscheint die Übertragbarkeit der Simulationsverantwortung für Objekte im Hinblick auf federationweite Lastverteilung, Datenbank- und GIS-Anwendungen („abholen, simulieren, wieder abgeben“) sowie dem Federateaustausch zur Laufzeit (als Alternative zu einem Save/Restore-Vorgang zwischen altem und neuen Federate), z.B. für einen Wechsel zwischen Echt- / Simulationsbetrieb oder verschiedenen Detaillierungsstufen.

Das Augenmerk der laufenden Arbeiten liegt auf der Verteilung der Federates auf geographisch getrennte Rechner mit ggf. unterschiedlicher Plattform und Betriebssystem, wobei Laufzeiteigenschaften und Latenzen ebenso wie die Eignung des Internet als Kommunikationsmedium untersucht werden.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Die HLA ist der derzeit aktuellste und vielversprechendste Zwischenschritt auf dem Weg zu Interoperabilität und Wiederverwendbarkeit von Komponenten und Simulationen. Eine Vielzahl von Problemstellungen aus dem zivilen Bereich können von einer modularen Architektur von Teilsystemen und Simulationen profitieren. Bereits die derzeitige, noch nicht ausgereifte RTI-Software läßt die Leistungspotentiale der HLA erkennen, welche sich, analog zu den Synergieeffekten verteilter Simulation, durch Informationsaustausch und die Zusammenarbeit der an dieser neuen Technologie Interessierten erarbeiten lassen.

### Literatur

- [1] Defense Modeling and Simulation Office (DMSO). *High Level Architecture Homepage*. URL <http://www.dmsomil/projects/hla>.
- [2] DMSO. *DoD HLA Interface Specification Version 1.1*, 12.02.1997. DMSO-Homepage.
- [3] DMSO. *DoD HLA Object Model Template Version 1.1*, 12.02.1997. DMSO-Homepage.
- [4] DMSO, MITRE, SAIC, Virtual Technology Corporation. *HLA Run-Time Infrastructure Programmer's Guide, Version 1.0, 15. Mai 1997*. DMSO-Homepage.
- [5] Fujimoto, R. Parallel Discrete Event Simulation. In *Communications of the ACM*, 1990, no. 10, pp. 30-53.
- [6] 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, in Vorbereitung.
- [7] Klein, U. S. Straßburger. *Einführung in die High Level Architecture (HLA)*. Tutorial. Tagung Simulation und Animation 1997 Magdeburg. URL [http://isgnw.cs.uni-magdeburg.de/~uklein/projects/hla/HLA\\_tutorial.html](http://isgnw.cs.uni-magdeburg.de/~uklein/projects/hla/HLA_tutorial.html).
- [8] Klein, U. S. Straßburger, J. Beikirch. *Distributed Simulation with JavaGPSS based on the High Level Architecture*. SCS International Conference on Web-based Modeling and Simulation, Jan. 11.-14. 1998, San Diego, in Vorbereitung. URL <http://isgnw.cs.uni-magdeburg.de/~uklein/projects/websim/kleinu.html>. URL der Konferenz <http://www.cise.ufl.edu/~fishwick/webconf.html>.
- [9] Lockheed Martin Corporation. *Simulation Based Design Homepage*. URL <http://sbdhost.parl.com/sbd.html>.
- [10] Lorenz, P. K.-C. Ritter. *Skopeo: Platform-Independent System Animation for the W3*. Proceedings of the Simulation und Animation Conference Magdeburg '97. SCS European Publishing House San Diego/Erlangen/Ghent/Budapest 1997, pp. 12-23. URL [http://simos2.cs.uni-magdeburg.de/papers/marz\\_engl.html](http://simos2.cs.uni-magdeburg.de/papers/marz_engl.html).
- [11] Mehl, H. *Methoden verteilter Simulation*. Vieweg Verlag, Braunschweig, 1994.
- [12] Möller, D. P. F. S. Deigmüller. *Distributed Interactive Simulation of Traffic Systems*. Proceedings of the 1997 Summer Computer Simulation Conference, July 13-17, 1997. Arlington, Virginia.
- [13] Schriber, T. J. *An Introduction to Simulation Using GPSS/H*. New York, New York: John Wiley & Sons. 1991.
- [14] Schürholz, A. C. Vornholt. *Mit Simulation Erfahrungen aus der Zukunft begegnen*.



Handelsblatt, 17.4.1996, Seite B10.

- [15] Vankov, A. P. Chliaev, A. Alyoshin, J. E. Miro. Distributed Interactive Simulation of Rendezvous and Docking with International Space Station. *SISO Simulation Interoperability Workshop Fall 1997*, 8.-12.09.97, Orlando, Florida. URL <http://siso.sc.ist.ucf.edu/siw/97fall/view-papers.htm> Paper 97F-SIW-005.
- [16] Williams, R.J. *An Emergency Management Demonstrator Using The High Level Architecture*. European Simulation Symposium EES '96. The Society for Computer Simulation International, October, 24-26 1996. URL <http://cbl.leeds.ac.uk/rodw/papers/ess-96/ess96.html>.