

# Verteilte- und Web-basierte Simulation: Gemeinsamkeiten und Unterschiede

Steffen Straßburger, Thomas Schulze  
Fakultät für Informatik  
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg  
Email: [strassbu,tom@isg.cs.uni-magdeburg.de](mailto:{strassbu,tom}@isg.cs.uni-magdeburg.de)

## Zusammenfassung

Der Beitrag untersucht aktuelle Trends im Bereich der Simulation. Hierbei geht es zum einen um die High Level Architecture (HLA) als neuen de-facto Standard auf dem Gebiet der verteilten Simulation und zum anderen um den Bereich der Web-basierten Simulation. Die Ziele und Grundideen beider Gebiete werden miteinander verglichen und mögliche Synergieeffekte herausgearbeitet. Ausgewählte Prototypen und Initiativen zur Unterstützung der Synergien werden kurz vorgestellt.

## 1 Einleitung

Im Bereich der verteilten Simulation kann die *High Level Architecture for Modeling and Simulation (HLA)* als der derzeit gültige State-of-the-Art Standard angesehen werden. HLA wurde durch das Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) standardisiert und erhält aus dem militärischen Simulationsbereich kommend inzwischen auch vermehrt in zivilen Simulationsanwendungen Einzug.

Neben HLA ist seit einiger Zeit der Bereich der Web-basierten Simulation (und Animation) ein aktuelles Forschungsthema. Die Web-basierte Simulation versucht, die Vorteile des WWW (z.B. Plattformunabhängigkeit, Ortsunabhängigkeit) auf Simulationsanwendungen zu übertragen und nutzbar zu machen.

Der vorliegende Beitrag untersucht die aktuellen Tendenzen in beiden Bereichen, erläutert die Unterschiede, mögliche Synergieeffekte bei der Integration beider Techniken und stellt einige Prototypen vor.

## 2 Verteilte Simulation

Forschung auf dem Gebiet der verteilten und parallelen Simulation hat eine langjährige Tradition. Historisch wurde vor allem auf dem Gebiet der parallelen Simulation geforscht. Hierbei standen Aspekte der Reduktion der Ausführungsdauer von Simulationen im Vordergrund. Mit der 1996 eingeführten *High Level Architecture for Modeling and Simulation (HLA)* erhielt das Gebiet der verteilten Simulation neue Impulse. Hauptziel ist hier im Gegensatz zur Parallelsimulation nicht der Geschwindigkeitsgewinn durch Parallelisierung, sondern die Interoperabilität zwischen heterogenen Simulationsmodellen.

HLA ist ein moderner Interoperabilitätsstandard für Simulationsanwendungen, der den Anspruch hat, nicht auf eine bestimmte Kategorie von Simulationen (z.B. echtzeitorientiert, ereignisorientiert) beschränkt zu sein.

Hauptbestandteil von HLA ist eine Interface Spezifikation, welche die Schnittstelle zwischen verschiedenen Simulationen (Federates) und einer Infrastruktursoftware (Runtime Infrastruktur, RTI) festlegt [1].

HLA unterscheidet sich von anderen Interoperabilitätsstandards für allgemeine Applikationen (wie z.B. CORBA, DCOM) durch spezielle Dienste, die für Simulationsanwendungen unbedingt erforderlich sind. Das in HLA integrierte Zeitmanagement, welches die Synchronisation von Federates zur Laufzeit erlaubt, sei hier als ein Alleinstellungsmerkmal genannt.

Obwohl HLA aus dem Bereich der militärischen Trainingssimulationen stammt, ist ein Einsatz im zivilen Bereich ebenfalls möglich [2]. Verschiedene HLA-Schnittstellen für Simulatoren wurden innerhalb von Forschungsprojekten entwickelt (z.B. SLX, SIMPLEX). Einige Hersteller von Simulatoren haben ebenfalls reagiert und Interesse gezeigt, HLA-Schnittstellen in ihre Simulatoren zu integrieren.

Aus Anwendersicht sind Verbesserungen und Ergänzungen der HLA hauptsächlich bzgl. der Handhabbarkeit verteilter Anwendungen im allgemeinen notwendig. Die grundsätzliche Tatsache, dass die Komplexität verteilter Anwendungen im Vergleich zu stand-alone Anwendungen wesentlich höher ist, trifft natürlich auch auf verteilte Simulationen unter HLA zu. Die Entwicklung, der Test und das Debuggen sind Tätigkeiten, die im Vorfeld der Ausführung notwendig sind und eine gesteigerte Komplexität aufweisen. Auch die Ausführung einer verteilten Simulation erfordert einen höheren Koordinierungsaufwand. Hier wären zentrale Command&Control-Werkzeuge zur Ausführung, Konfiguration und Verwaltung von Federation Executions wünschenswert. Denkbar ist hier, dass Web-basierte Techniken zum Einsatz kommen, die dem Nutzer Applets offerieren, von dem aus Federates gestartet und beendet werden können und der Lauf einer Federation überwacht werden kann. Existierende Lösungen beschränken sich auf stand-alone Applikationen, die das Überwachen einer Federation zur Laufzeit unterstützen (z.B. FedDirector von AEGIS Technologies)

### **3 Web-Basierte Simulation**

Keines der derzeitig aktuellen Forschungsgebiete im Simulationssektor ist so weitläufig und divers wie das Gebiet der Web-basierten Simulation. Verschiedene Auffassungen und Begriffsdefinitionen existieren für den Begriff „Web-basierte Simulation“. Laut Page [3] werden vielfach auch Web-basierte Modell-Datenbanken, Web-gestützte Modellierung, und die Bereitstellung von Texten und Anleitungen zur Simulationsentwicklung zum erweiterten Gebiet der Web-basierten Simulation gezählt.

Unter Web-basierter Simulation im engeren Sinne soll hier die Ausführung von Simulationsmodellen in einer Web-Umgebung verstanden werden, die auf dem klassischen Client-Server Konzept beruht. Ein Client nutzt die von einem Simulationsserver angebotenen Dienste. Diese Dienstonutzung kann in zwei unterschiedlichen Formen der Nutzer-einbindung erfolgen: der stapelorientierten und der interaktiven Ausführung. Bei der klassischen stapelorientierten Form kann der Simulationsserver in zwei Varianten operieren:

#### *a) Simulationsserver als Applikationsserver*

Der Web-Browser ermöglicht einen Zugriff des Clients auf einen entfernt (remote) aufgestellten Web-Server. Dieser Web-Server kann direkt als Simulationsserver fungieren oder er ermöglicht einen Zugriff auf einen speziellen Simulationsserver. Der Client sendet seinen Quelltext des Simulationsmodells oder Parameter für ein auf dem Simulationsserver existierendes Modell zum Server und er bekommt die Resultate der Serveroperationen wieder in seinem Web-Browser dargestellt. Eine auf diesem Ansatz basierende Lösung wurde für den Simulator GPSS/H entwickelt und wird erfolgreich für Forschung und Lehre eingesetzt [4].

#### *b) Simulationsserver als Fileserver*

Der Client lädt vom Web-Server ein Simulations-Applet, und führt die Simulation innerhalb seines Web-Browsers aus. Diese Variante wird auch als „mobile Code“ Lösung [5] charakterisiert. Lösungen, die auf dieser Variante basieren, sind seltener zu finden, da hierfür geeignete Simulationsentwicklungsumgebungen häufig noch nicht existieren. Die auf Java basierende Simulationssprache SILK stellt hier eine Ausnahme dar [6]. SILK ist eine Klassenbibliothek mit vordefinierten Simulationskonstrukten für die Programmiersprache Java und erlaubt u.a. die Erstellung von Java-Applets zur Simulation.

Auch bei der interaktiven Ausführung der Simulation, wie z.B. dem Unterbrechen der Simulation während der Ausführung zum Debugging lassen sich die beiden o.g. Formen des Simulationsservers finden. In [7] wird die interaktive Ausführung von SIMAN-Modellen in einer Web-basierten „SIMAN simulation engine“ (Applikationsserver) unter Nutzung eines weiteren Datenbankservers beschrieben. Wiedemann erläutert in [8] eine Kommunikationsform zur interaktiven Kopplung des Simulationsservers mit dem Client.

Auf die Betrachtung der Web-basierten Simulation im weiteren Sinne, der Web-gestützten Simulation und Modellierung durch umfassende Web-basierte Simulationsumgebungen soll hier verzichtet werden. Eine kritische Analyse dieser Gebiete ist in [9] zu finden. Die im Abschnitt 5 vorgestellte B2B Simulation Initiative ist ein Beispiel für eine solche Betrachtung.

## **4 HLA- und Web-basierte Simulation**

### **4.1 Gemeinsamkeiten und Unterschiede**

Sowohl Web-basierte Simulationen als auch verteilte Simulationen gemäß HLA stellen im Normalfall verteilte Anwendungen dar. Im Falle der Web-basierten Simulation basiert die „Verteilung“ auf einer klassischen Client-Server-Architektur. In verteilten Simulationen unter HLA liegt eine Verteilung im Sinne einer Peer-to-Peer Architektur vor: Anwendungen (Federates), die auf verschiedenen Rechnern laufen, kommunizieren direkt miteinander. Zur Koordinierung ist lediglich ein Rechner notwendig, der einen Server-Dienst bereitstellt, über den sich die Federates finden und eine gemeinsame verteilte Simulation aushandeln.

Der Grundgedanke der Web-basierten Simulation besteht darin, die Vorteile des WWW (z.B. Orts- und Plattformunabhängigkeit) auch für die Simulation nutzbar zu machen. Bei der verteilten Simulation unter HLA liegt die Grundidee darin, Interoperabilität

zwischen heterogenen Simulationsanwendungen zu schaffen. Die Heterogenität bezieht sich hierbei sowohl auf die genutzte Software, als auch auf die zugrunde liegende Hardwareplattform.

Obwohl derzeitige Implementierungen der HLA-Basissoftware (RTI) als Kommunikationsmedium häufig die Standard-Netzwerkprotokolle des Internet benutzen (UDP, TCP/IP), wäre es falsch, eine verteilte HLA-basierte Simulation als „Web-basierte Simulation“ zu bezeichnen. HLA-basierte Simulationen können jedoch in Kombination mit Web-basierten Techniken durchaus Synergieeffekte erzielen. Im folgenden sollen einige Möglichkeiten in dieser Richtung diskutiert werden.

## 4.2 Synergien

Um Synergien zwischen HLA- und Web-basierten Simulationen und Techniken zu erzielen, ist u.a. zu untersuchen, in welcher Form HLA-Federates „web-fähig“ im Sinne der oben gegebenen Definition Web-basierter Simulation gemacht werden können.

Zur Beantwortung dieser Fragestellung liegt es nahe, die bekannten Ansätze der Web-basierten Simulation auf ihre Anwendbarkeit für HLA-basierte Simulationen zu untersuchen. In Analogie zu diesen Ansätzen sind folgende Lösungsmöglichkeiten denkbar:

- HLA-Federates, die auf dedizierten Web- bzw. Applikationsservern ausgeführt werden und aus dem Web-Browser gestartet werden. Dieser Ansatz erscheint als grundsätzlich durchführbar und ist anhand des Simulationssystems SLX untersucht worden.
- HLA-fähige Java-Applets (bzw. Anwendungen innerhalb des Web-Browsers)

Das Probleme dieses Ansatzes bestehen darin, dass Java-Applets diversen Sicherheitsbeschränkungen unterliegen. So ist es für normale Applets nicht möglich, direkt mit Rechnern zu kommunizieren, die verschieden von dem Web-Server sind, von dem sie heruntergeladen wurden. Dies ist im Normalfall jedoch notwendige Voraussetzung für eine über mehrere Rechner verteilte Simulation. Eine zu untersuchende Lösungsmöglichkeit stellen sogenannte „Trusted Applets“ dar. Dies sind Applets, denen der Nutzer vertraut und zusätzliche Rechte auf seinem Rechner einräumt. Eine andere Möglichkeit sind Applets, die über eine Relais-Applikation auf ihrem Server mit anderen Rechnern kommunizieren können.

## 5 Prototypen

Dieser Abschnitt beschreibt Prototypen bzw. verweist auf Links zur verteilten und Web-basierten Simulation. Eine Auflistung und Beschreibung erfolgreicher Projekte zur verteilten Simulation, die unter Mitwirkung der Universität Magdeburg entwickelt wurden, ist unter der URL <http://www.kompetenzzentrum-hla.de/federations.html> zu finden. Auf diese Projekte wird in diesem Abschnitt nicht weiter eingegangen. Im folgenden wird ein Prototyp zur klassischen Web-basierten Simulation und ein Prototyp zur Integration von Web-basierter und verteilter Simulation beschrieben.

## 5.1 Prototyp eSimulation

Die Zielstellung des Prototyps e-Simulation der Fraunhofer-Gesellschaft [10] (<http://www.e-simulation.fhg.de/>) ist die Anbindung von Simulationsmodellen an das Internet. Simulationsmodelle werden nach Fertigstellung einer Planung ohne spezifische Hard- oder Software nutzbar. Die Nutzer senden die szenario-spezifischen Daten via E-Mail an den eSimulation-Dienst der FhG. Dort werden die Daten auf ihre Konsistenz überprüft und dem existierenden Simulationsmodell übermittelt. Mittels E-Mail werden die Ergebnisdaten dem Kunden wieder zurück übertragen. Dies eine klassische Form der Web-basierten Simulation, in der der Simulationsserver als Applikationsserver operiert.

## 5.2 Die B2B Simulation Initiative

Die B2B Simulation Initiative wurde von der Universität Magdeburg initiiert (<http://www.b2bsim.de/>). Ziel dieser Initiative ist die Web-basierte Unterstützung von Geschäftsbeziehungen zwischen Simulation benutzenden Partnern. Partner in diesem Sinn sind z.B. Simulation Service Provider (SSP), die komplexe simulationsbasierte und -unterstützende Dienstleistungen anbieten, Produzenten von Simulationssoftware, die ihre Produkte zum Mieten offerieren und Simulationsanwender, die Partner zur Abwicklung von Simulationsprojekten suchen.

B2B Simulation ist der Ausgangspunkt für diese Initiative. B2B Simulation betrachtet die Simulation als Subjekt der Internet-basierten Kommunikation unter dessen Nutzung die beteiligten Partner interagieren und handeln. Über das Internet werden Simulationsdienste angefordert, angeboten, vermittelt und vermietet. Durch diese Zielstellung unterscheidet sich B2B Simulation von der klassischen Web-basierten Simulation. Es ermöglicht die Integration von Web-basierter und verteilter Simulation.

Beispielsweise offerieren Simulation Service Provider folgende Web-basierten Dienste:

- Betrieb von applikationsspezifischen Simulation Service Centers,
- Modellentwicklung,
- Bereitstellung und Pflege von Simulations- und Animationsmodellen,
- Unabhängige Validierung von existierenden Simulationsmodellen,
- Management von verteilten Simulationsmodellen, wobei die einzelnen Komponenten von unterschiedlichen Eigentümern bereitgestellt werden,
- Unterstützung bei der Auswertung von Simulationsläufen und
- Qualitätskontrolle und Zertifikation von Simulationsmodellen

## 6 Zusammenfassung

HLA-basierte und Web-basierte Simulation sind zwei aktuelle Trends in der Entwicklung der Simulationstechnik, die sich eindeutig voneinander abgrenzen lassen und deren Zu-

sammenführung zu neuen Synergien in der Simulation führt. Zur Nutzung dieser Synergien aus der Verbindung des Interoperabilitätsstandards HLA mit den Web-basierten Technologien sind weitere Forschungsarbeiten notwendig. Beispielsweise wäre es wünschenswert, Web-basierte Applikationen zu entwickeln, die es ermöglichen den gesamten Lebenszyklus einer HLA Federation Execution zu steuern bzw. zu unterstützen.

## Referenzen

- [1] Straßburger, S. Distributed Simulation Based on the High Level Architecture in Civilian Application Domains. Ghent: SCS-Europe BVBA, 2001.
- [2] Schulze, T., S. Straßburger, U. Klein. Migration of HLA into Civil Domains: Solutions and Prototypes for Transportation Applications. SIMULATION, Vol. 73, No. 5, pp 296-303, November 1999
- [3] Page, E. The Rise of Web-based Simulation: Implications for the High Level Architecture. In: Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, eds. Medeiros, D.J. and E. Watson, pp. 1663-1668. SCS, Washington, D.C.
- [4] Dorwarth, H., P. Lorenz, K.-C. Ritter and Th. J. Schriber. Towards a Web Based Simulation Environment. 1997 Winter Simulation Conference Proceedings pp.1338-1344
- [5] Page, E. Beyond Speedup: PADS, the HLA and Web-Based Simulation. In: Proceedings of the 13<sup>th</sup> Workshop on Parallel and Distributed Simulation (PADS'99), eds. R. Fujimoto, S. Turner, pp. 2-9.
- [6] Healy, K., R. Kilgore. Introduction to Silk and Java-Based Simulation. In: Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, eds. Medeiros, D.J. and E. Watson, pp. 327-334. SCS, Washington, D.C.
- [7] Guru, A., P. Savory, R. Williams. A Web-based Interface for Storing and Executing Simulation Models. In: Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference, eds. J. A. Joines, R. R. Barton, K. Kang, and P. A. Fishwick, pp.1810-1814.
- [8] Wiedemann, T. Web-basierte Modellierung und Simulation mit SLX. In: Proceedings der Konferenz "Simulation und Visualisierung 1998", eds. T. Schulze, S. Schlechtweg, V. Hinz, SCS Europe Publishing House, Delft, Erlangen, Ghent, San Diego, pp. 341-349. Magdeburg 2001.
- [9] Kuljis, J., R.J. Paul. A Review of Web Based Simulation: Whither We Wander? In: Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference, eds. J. A. Joines, R. R. Barton, K. Kang, and P. A. Fishwick, pp.1872-1881.
- [10] Sihn, W., H. Halmosi, J. Mandel. Komplexe simulationsgestützte Internetdienstleistungen: die Beispiele Produktionssimulation und Logistikanalyse. In: Proceedings der Konferenz „Simulation und Visualisierung 2001“, eds. T. Schulze, S. Schlechtweg, V. Hinz. SCS Europe Publishing House, Delft, Erlangen, Ghent, San Diego, pp. 329-340. Magdeburg 2001.