

# Ein eLearning-Werkzeug zur Videokommunikation über simulierte verlustbehaftete Netze \*

Kay W. Fiolka, Klaus D. Heidtmann, Bernd E. Wolfinger

Arbeitsgruppe Telekommunikation und Rechnernetze TKRN  
Universität Hamburg, Fachbereich Informatik  
Vogt-Kölln-Strasse 30  
D-22527 Hamburg  
{fiolka, heidtmann, wolfinger}@informatik.uni-hamburg.de

**Abstract:** Der vorliegende Beitrag bezieht sich auf die Entwicklung und den Einsatz von Werkzeugen zum eLearning für ausgewählte Themen der Telematik im Rahmen eines Drittmittelprojekts. Übergeordnete Zielvorgabe des Projektförderers ist die Verbesserung der Lehre innerhalb der bestehenden Präsenzuniversität. Dazu wurde u.a. ein Werkzeug entwickelt, mit dem insbesondere exploratives und experimentelles Lernen im Telematikbereich „Videokommunikation unter Echtzeitbedingungen“ unterstützt wird. Das Entwicklungsziel der problem- und mühelosen Nutzung des Werkzeugs, wie z.B. durch Plattformunabhängigkeit, konnte durch die Programmierung als Java-Applikation und die dadurch mögliche Nutzung mit Browsern erreicht werden. Das Werkzeug stieß beim bisherigen Einsatz in der Lehre auf reges Interesse bei den Studierenden. Anhand der Evaluation konnte u.a. eine wesentliche Steigerung der Motivation, sich in dieser Form mit dem Lernstoff zu beschäftigen, sowie eine empfundene Erleichterung beim Verständnis und der Aneignung des Lernstoffes nachgewiesen werden.

## 1 Einleitung

Bei der Ausführung verteilter Anwendungen in verzögerungs- und verlustbehafteten Netzen wie dem Internet oder in Mobilnetzen, erfahren die gesendeten Pakete unterschiedlichste Einflüsse auf ihrem Weg vom Sender zum Empfänger. Pakete können erheblich verzögert, dupliziert, verfälscht, in falscher Reihenfolge oder auch gar nicht ankommen, wodurch sich eine signifikante Auswirkung auf die Empfangsqualität ergeben kann. Die Fehler werden in der Regel von Protokollen wie TCP innerhalb der Protokoll-/Diensthierarchie behandelt und behoben. Wenn allerdings an die Kommunikation Echtzeitbedingungen geknüpft sind, so sollten aus Gründen der Erfüllbarkeit dieser Bedingungen, viele der Mechanismen zur Fehlerbehandlung nicht genutzt werden. Besonders Echtzeit- sowie auch die Medienkommunikation besitzen signifikante Qualitätsanforderungen an die darunter liegenden Netze, deren Nichterfüllung inakzeptable Dienstqualität auf Anwendungsebene implizieren kann.

Unser Ziel war es, im Zuge eines innovativen Lehreansatzes der eLearning-Mittel bewusst integriert, Wege zu finden, bei den Studierenden für die oben genannten Zusammenhänge zu einem tieferen Verständnis beizutragen. Dabei strebten wir eine möglichst

\* Diese Arbeit entstand im Rahmen des Drittmittelprojekts „Multimedialität und Mobilität zur Verbesserung der Lehre im Bereich Telematik“. Das Projekt wird in der Arbeitsgruppe TKRN am Fachbereich Informatik der Universität Hamburg durchgeführt und vom E-Learning-Consortium Hamburg (ELCH) gefördert.

umfassende Bereitstellung multimedialer Inhalte unter Fokussierung auf ein „Blended Learning“ [GSK 00] an. Die Herausforderungen wie die fehlende Quantifizierbarkeit von subjektiv empfundener Videoqualität oder die angemessene Darstellung der Abhängigkeiten zwischen Netzen und den auf ihnen ausgeführten verteilten Anwendungen, erschienen insbesondere durch ein multimediales Simulationswerkzeug für die Videokommunikation sehr gut behandelt werden zu können.

Im Abschnitt 2 dieses Beitrags werden nach einer Beschreibung der von den Studierenden zu erreichenden Lern- und Kompetenzziele, die Anforderungen an ein zu erstellendes Werkzeug und die Beurteilung unterschiedlicher Herangehensweisen diskutiert. Nach der Besprechung der Architektur und prototypischen Realisierung des Werkzeugs (Abschnitt 3), wird in Abschnitt 4 auf die ersten gemachten praktischen Erfahrungen beim Einsatz in der Lehre eingegangen. Der Abschnitt 5 mit einem kurzen Resümee und Ausblick schließt das Papier zusammen mit dem Literaturverzeichnis ab.

## **2 Anforderungen und angestrebte Einsatzmöglichkeiten des Simulationswerkzeugs *VideoExplorativ***

Das mit dem Namen *VideoExplorativ* titulierte Werkzeug soll folgende Lernziele für die Studierenden erreichen: Das Erkennen der Auswirkungen von Veränderungen des Netzverhaltens (Paketverzögerungszeiten, Fehlerrate, etc.) auf die Anwendung, bei Anwendungsparametern (Codierung, Art der Videosequenz, etc.) auf das Netz (z.B. bezüglich der resultierenden Netzlast) und bei den Dienstgüte-(QoS-)Anforderungen aus Endbenutzersicht deren Implikation auf die noch akzeptable Übertragungsqualität.

Durch die Verwendung des experimentellen eLearning-Werkzeugs *VideoExplorativ* in einem adäquaten curricularen Umfeld sollen die Studierenden ein verbessertes Know How insbesondere für die Beantwortung folgender Fragestellungen aufbauen können: Welches ist eine möglichst optimale Netzdimensionierung bei gegebener Anwendung und gegebenen QoS-Anforderungen? Wie ist eine möglichst optimale Parametrisierung einer Videoapplikation (z.B. netzzustandsabhängige Wahl der Codierung für adaptive Applikationen) bei gegebenem Netz und gegebenen QoS-Anforderungen unter der Voraussetzung, dass die dadurch induzierten Lastschwankungen einer Anwendung nicht das Verhalten des Netzes verändern? Welche Kombination von Netz und Anwendung ist bei gegebenen QoS-Anforderungen noch akzeptabel (subjektive QoS-Entscheidung)?

Resultierend aus den gesetzten Lernzielen und der aufzubauenden Problemlösungskompetenz bezüglich der oben aufgeführten Fragestellungen, ist es wünschenswert, eine Experimentierumgebung zu besitzen, in der das Verhalten einer verteilten Videoapplikation „in Echtzeit“ veranschaulicht werden kann. Dabei soll die Möglichkeit bestehen, Modifikationen vorzunehmen, die insbesondere folgende Aspekte betreffen: *Netzverhalten* (bspw. Paketverlustrate im Netz unter Berücksichtigung unterschiedlicher Echtzeit-schwellwerte), *Art der Videoapplikation* (unterschiedliche Sequenzen mit unterschiedlichen Charakteristika, z.B. die Bewegungsintensität betreffend) und *benutzte Videocodierung* (sowohl Algorithmus als auch das GOP-Muster bei Codierungsverfahren wie MPEG [Hal 01]). Grundsätzlich existieren verschiedene Möglichkeiten und Herangehensweisen, um die angestrebten Lernziele zu erreichen:

- 1) Betrachtung einer verteilten Videoanwendung direkt über ein reales (existierendes) Netz kommunizierend.

- 2) Betrachtung einer verteilten Videoanwendung unter Nutzung eines Netzemulators (z.B. *NetEmu* [SWS 03]), der das paketbezogene Verlust- und Verzögerungsverhalten des Kommunikationsnetzes emuliert.
- 3) Verwendung von Traces, um die empfangsseitigen Konsequenzen von im Netz aufgetretenen Verzögerungen und Verlusten für die Videoanwendung im Zielrechner in Echtzeit zu demonstrieren.

Jede dieser Varianten besitzt dabei ihre spezifischen Vor- und Nachteile:

*ad 1)* Der Vorteil bei dieser Variante besteht in erster Linie in dem – infolge der Betrachtung eines realen Netzes – fehlenden Validationsproblem. Allerdings sind die experimentellen Randbedingungen nur sehr schwierig veränderbar und die parallele Nutzung durch viele Studierende kann sich problematisch darstellen. Des Weiteren werden für Experimente sowohl ein Netz als auch eine verteilte Videoanwendung benötigt.

*ad 2)* Vorteilhaft ist hier die gute Möglichkeit, die experimentellen Randbedingungen zu verändern. Hingegen besteht allerdings ein Validationsproblem und die parallele Nutzung durch viele Studierende stellt sich als nichttriviales Problem dar. Die Bereitstellung einer Experimentierumgebung kann als mittlerer Aufwand eingeschätzt werden.

*ad 3)* Als größter Vorteil kann hier die sehr flexible Änderung der experimentellen Randbedingungen eingeschätzt werden. Die parallele Nutzung durch viele Studierende sowie die Bereitstellung (bspw. für eine Nutzung von Zuhause) kann als relativ leicht realisierbar bewertet werden. Problematisch ist allerdings das Validationsproblem, da hier lediglich versucht wird, sich realen Bedingungen möglichst gut anzunähern.

Nach eingehender Prüfung, Bewertung und Gewichtung der Vor- und Nachteile fiel die Entscheidung auf die Variante 3, die Nutzung von Traces. Dem Validationsproblem wird durch die Erstellung hinreichend vieler unterschiedlicher realer Traces, d.h. Messungen in existierenden Netzen, begegnet.

### 3 Architektur und prototypische Realisierung für *VideoExplorativ*

Das in Java entwickelte Werkzeug *VideoExplorativ* kann unter Eingabe eines Traces, eines Verzögerungsschwellwerts, d.h. ab wann Verzögerungen als (indirekter) Verlust zu werten sind, und einem Videostrom, die empfangerseitige Darstellung eines Videostroms simulieren (siehe Abb. 1). Dabei griffen wir für eine höchstmögliche Simulationsvalidität auf aktuelle Forschungsergebnisse zurück ([HKS 01], [Wol 01], [SWS 03]).

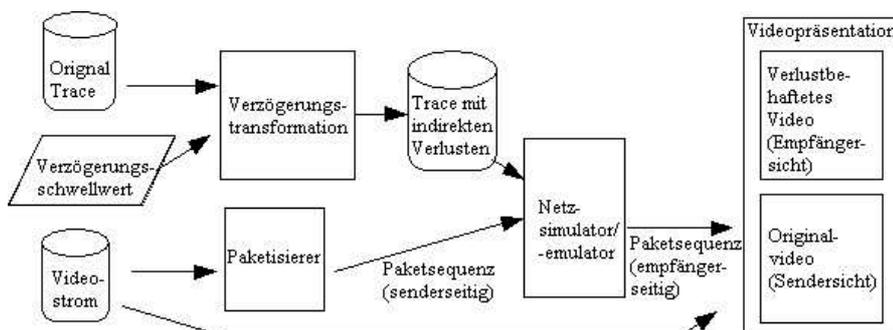


Abbildung 1: Ablaufschema von *VideoExplorativ*

Der Videostrom wird durch den Paketisierer in einzelne Pakete zerlegt und danach vom Netzsimulator mittels des (durch den Verzögerungsschwellwert) verlustbehafteten Tra-

ces als eine simulierte empfängerseitige Videopaketssequenz ausgegeben. Zu Vergleichszwecken kann auch das Originalvideo parallel abgespielt werden.

Für die Gewinnung von validen Traces für die Paketverzögerungen zwischen wohldefinierten Schnittstellen ergeben sich verschiedene Möglichkeiten und Verfahren, die allesamt mit dem Werkzeug realisiert werden können:

(i) *Direkte Messungen* in einem realem Netz. (ii) Messungen unter *Nutzung eines Netzsimulators*. (iii) Erzeugung des Traces *gemäß Wahrscheinlichkeitsverteilung*. (iv) *Erzeugung des Traces „von Hand“*.

Jede dieser Varianten hat wiederum ihre Vor- und Nachteile bei der Durchführung.

*ad (i)* Der große Vorteil hierbei ist, dass der Trace (für das gegebene Szenario) valide ist. Fraglich ist hierbei die Übertragbarkeit auf andere Szenarien, da ein solcher Trace immer nur eine nahezu einmalige Zustandssituation des Netzes widerspiegeln kann.

*ad (ii)* Der Aufwand für eine derartige Messung ist zwar relativ niedrig, aber die Validität ist nur bei einem validen Netzsimulator gegeben, dessen Herstellung wiederum mit einem sehr hohen Aufwand verbunden ist.

*ad (iii)* Eine Erstellung eines Traces ist hierbei mit sehr geringem Aufwand verbunden und die Parameter einer solchen Verteilung sind zwar einfach änderbar, allerdings ist das Auffinden einer notwendigen validen Wahrscheinlichkeitsverteilung sehr schwierig.

*ad (iv)* Die Variante ist extrem flexibel und bietet die Möglichkeit, auch verschiedene denkbare Szenarien einfach zu konstruieren (bspw. Situationen mit „burst“-artigen Paketverlusten). Die Herstellung und die Erstellung eines validen Traces kann aber sehr aufwändig sein, da die Annahmen bzgl. Netz und Übertragung valide sein müssen.

#### **4 Erfahrungen beim Einsatz in der Lehre**

Das Werkzeug *VideoExplorativ* wurde im Februar 2004 in den Übungen zur Vorlesung „Datenkommunikation und Rechnernetze“ eingesetzt. An einem 2-stündigen Übungstermin lösten 25 Studierende an fachbereichseigenen PCs mit Hilfe des Werkzeugs vorgegebene Aufgaben. Die Veranstaltung fand in Räumen unseres Fachbereichs statt, die mit entsprechenden PCs ausgestattet sind. Jeder Rechner wurde dabei von einer Gruppe aus zwei bis drei Studierenden genutzt. Bei der Nutzung des Werkzeugs traten keinerlei technische Probleme auf und die Teilnehmer fanden sich problemlos mit der Software zurecht. Generell wurde ein reges Interesse und sehr konzentriertes Arbeiten der Studierenden beim Umgang mit dem Werkzeug beobachtet. Fragen zur Benutzung des Werkzeugs waren die Ausnahme. Darüber hinaus soll das Werkzeug auch in einer Reihe weiterer Vorlesungen sowie in Praktika eingesetzt werden.

Beispiel einer mit *VideoExplorativ* zu lösenden Übungsaufgabe: „Übertragen Sie nun mit Hilfe des Netzsimulators und der beiden Traces „Hamburg ↔ Stuttgart“ sowie „Hamburg ↔ Berkeley“ die Bewegtbildsequenz auf ihren Monitor und sehen sie sich das Ergebnis dieser „Echtzeitübertragung“ an. Welche Qualitätseinbußen stellen sie bei den Videos *Nachrichtensprecherin*, *Verkäufer* und *Bauarbeiter* gegenüber den ungestörten Originalen aus dem vorherigen Experiment fest?“

Ein Beispielergebnis für einen durch einen Trace manipulierten Videostrom zeigt Abb.2.



Abb.2: Gesendete (o.) und empfangene (u.) Bilder eines Videos bei 1% Verlusten an Datenpaketen

Alle Teilnehmer beteiligten sich an der Evaluation, die u.a. folgende Angaben der Studierenden lieferte: Eine intuitive oder sehr intuitive *Nutzbarkeit des Werkzeugs* (68%), eine deutlich oder sehr deutlich gesteigerte *Motivation zur Bearbeitung der Übungsaufgaben* im Vergleich zu klassischen Übungsterminen (60%) und einen mindestens deutlichen *Wunsch, in Zukunft zusätzlich mit solchen Werkzeugen zu arbeiten* (60%). Die Studierenden konnten dabei mit ihren durchdachten und konstruktiven Verbesserungsvorschlägen und Kritiken wesentlich zur Verbesserung des Werkzeugs beitragen.

## 5 Resümee und Ausblick

Die Entwicklung eines Prototyps des Werkzeugs *VideoExplorativ* ist abgeschlossen. Sein erster Einsatz in der Lehre wurde erfolgreich durchgeführt und stieß auf reges Interesse und starken Zuspruch bei den Studierenden. Die Evaluationsergebnisse und persönlichen Gespräche zeigten eine wesentliche Steigerung der Motivation, sich in dieser Form mit dem Lernstoff zu beschäftigen sowie eine deutlich empfundene Erleichterung beim Verständnis und der Aneignung des Lernstoffes. Zur Zeit wird das Werkzeug um die reine Audioübertragung sowie die kombinierte Video- und Audioübertragung erweitert und in die Form eines Java-Applet überführt. Danach wird es in ein entsprechendes Lernmodul integriert, das weitere Animationen sowie Erläuterungen, Fragestellungen, zu lösende Aufgaben, ein Glossar und Selbsttests beinhalten soll. Wo es möglich und sinnvoll erscheint, sollen weitere multimediale Komponenten entwickelt und integriert werden (vgl. u.a. die in [May 01] gegebenen Anregungen).

## Literaturverzeichnis

- [GSK 00] Guttormsen Schär S., Krueger H., Using New Learning Technologies With Multimedia, IEEE Multimedia Magazine, July-Sept. 2000
- [Hal 01] Halsall F., Multimedia Communication, Addison-Wesley, 2001
- [HKS 01] Heidtmann K., Kerse J., Suchanek T., Wolfinger B.E., Zaddach M., Fehlertolerante Videokommunikation über verlustbehaftete Paketvermittlungsnetze, GI/ITG-Fachtagung KiVS 2001, Kommunikation in Verteilten Systemen, Springer, 2001
- [May 01] Mayer R. E., Multimedia Learning, Cambridge University Press, 2001
- [SWS 03] Scherpe C., Wolfinger B.E., Salzmann I., Model Based Network Emulation to Study the Behavior and Quality of Real-Time Applications, 7th IEEE Internat. Symp. on Distributed Simulation and Real Time Applications (DS-RT 2003), 23.-25. Okt. 2003, Delft, NL
- [Wol 01] Wolfinger B.E., Qualitätsverbesserung von Videokommunikation über verlustbehaftete Kommunikationsnetze, BMBF-Tagung Einsatz und Nutzung drahtloser Kommunikation, Rostock, 18./19. Juni 2001 (eingeladener Vortrag)