

MPEG-4 - der neue Austauschstandard für Autorensysteme in der Fernlehre der Virtuellen Universität?

Stepping¹, Bonse², Steinkamp³, Kaderali⁴

FernUniversität Hagen, Feithstraße 142 – TGZ, D-58084 Hagen, Tel. +49 2331 987 4110

<mailto:{michael.stepping|gerd.steinkamp|thomas.bonse|firoz.kaderali}@fernuni-hagen.de>

Kurzfassung

Der Standard *MPEG-4* legt standardisierte Mechanismen für den integrierten Einsatz von unterschiedlichen Multimediaobjekten fest. Bislang geschieht die Verknüpfung von multimedialen Objekten nur innerhalb proprietärer Formate in Autorentools wie beispielsweise „Authorware“. Als besonders zukunftssträftig bietet sich das international normierte, hersteller- und betriebssystemunabhängige Austauschformat MPEG-4 an. Dieser Praxisbericht beschreibt die Aktivitäten zur Erstellung von MPEG-4 Inhalten für den Einsatz in der Fernlehre (Distance Teaching). Zum Einsatz kommt unter anderem die MPEG-4 Referenzsoftware als Player sowie das MPEG-4 Autorenwerkzeug MDS-Tool des ENST - Télécom Paris, France. Die Arbeiten wurden im Rahmen des EU ESPRIT-Projektes „*MPEG-4 PC – MPEG-4 System Implementation and Tools for Personal Computers*“ durchgeführt [1].

Ausgangspunkt Fernlehre

Um den neuen Anforderungen an die Bildungssysteme gerecht zu werden, wurde an der FernUniversität Hagen das Projekt „Virtuelle Universität - ET-Online“ (<http://virtuelle-uni.fernuni-hagen.de>) 1995/1996 initiiert. Seit dem Wintersemester 1995/96 wird umfangreiche Lehre über das Internet mit inzwischen mehr als 5000 Studierenden erfolgreich abgewickelt. Das am Fachbereich Elektrotechnik entwickelte Konzept dieser Virtuellen Universität **ET-Online** beinhaltet Vorlesungen, Übungen, Praktika aber auch Seminare und Kommunikation mit den Dozenten und unter den Studierenden im Netz. Das Lernsystem, das auf einer Datenbank basiert, ist dabei für den universitätsweiten Einsatz geeignet. Der zentrale Vorteil der Virtuellen Universität besteht im flexiblen, orts- und zeitunabhängigem, niveauangepaßtem, bedarfsorientiertem Lernen. Simulationen, Animationen und Videokommunikation spielen dabei eine zentrale Rolle.

Die elektronischen Kursmaterialien orientieren sich zur Zeit an den traditionellen Printkursen, welche im vierzehntägigen Rhythmus an die Studierenden versendet werden. Die elektronischen Kursmaterialien werden üblicherweise durch ein Glossar, Index sowie Informationen zum Autor und Prüfungen ergänzt. Neben den textbasierten Kursunterlagen werden multimediale Erweiterungen angeboten, welche das Verständnis in bekannten Problembereichen verbessern. Der Zugriff auf die Kursmaterialien ist auf diejenigen Studierenden beschränkt, die für den entsprechenden Kurs eingeschrieben sind. Die Zugriffskontrolle wird hierbei mit Hilfe der Datenbank durchgeführt, deren Daten regelmäßig mit dem Datenbestand aus der Verwaltung abgeglichen werden.

In der dreijährigen Laufzeit des Projektes wurden Erfahrungen auf dem Gebiet der webbasierten Lehre gesammelt. Zum einen war schnell klar, dass der Einsatz von Multimedia in der Lehre einen großen Mehrwert für den Studierenden bedeutet. Auf der anderen Seite können die Kosten für die Herstellung multimedial aufbereiteter Kurse von einzelnen Fachgebieten resp. Instituten nicht alleine getragen werden. Nachteilig kommt hinzu, dass es bisher keine Autorensysteme gibt, die die effiziente Erstellung von Lehrmaterialien für die Verwendung im World Wide Web unterstützen.

Die verwendeten multimedialen Elemente wurden mit den Produkten „Authorware“, „Macromedia Shockwave“ und „Toolbook“ oder aber komplett manuell mittels „Java“, „HTML“ oder „PDF“ umgesetzt. Das aktuelle Pro-

¹ Dipl.-Ing. Michael Stepping, Fachgebiet Kommunikationssysteme, FernUniversität Hagen

² Dr.-Ing. Thomas Bonse, Forschungsinstitut für Telekommunikation, FernUniversität Hagen

³ Dipl.-Ing. Gerd Steinkamp, Fachgebiet Kommunikationssysteme, FernUniversität Hagen

⁴ Prof. Dr.-Ing. Firoz Kaderali, Fachgebiet Kommunikationssysteme, FernUniversität Hagen

blem besteht darin, dass für jedes Produkt ein sogenanntes Plug-In in den Internet-Browser integriert werden muß. Eine solche Prozedur sollte dem Anwender nach Möglichkeit nicht zugemutet werden.

MPEG-4 als neuer Lösungsansatz

Wünschenswert ist hier ein international anerkannter Standard, der die umfassende Repräsentation von multimedialen Inhalten, den Plattform übergreifenden Datenaustausch, sowie die Integration von zeitabhängigen und interaktiven Elementen ermöglicht.

Die erfolgreiche Moving Pictures Experts Group (MPEG), eine Untergruppe der "International Organization for Standardization (ISO)" hat im Oktober 1998 einen entsprechenden Standard in der Version 1 verabschiedet: Das Multimediaformat MPEG-4.

Das Kürzel MPEG verbinden viele Anwender bisher eher mit AC-3 (Audio Codec), dem im Internet recht beliebten Audiokompressionsverfahren, das auch fälschlicherweise als MPEG-3 (MP3) bezeichnet wird. Richtig heißt es: „Audiokompression nach MPEG - Layer III“. Weiterhin ist die Verbindung des Kürzels MPEG in Verbindung mit den effizienten Videokompressionsverfahren geläufig, die unter anderem bei Video-CDs, DVDs und beim digitalen Fernsehen eingesetzt werden.

Blickt man zurück, so sind tatsächlich diese beiden erfolgreichen Video- und Audiokompressionsstandards MPEG-1 und MPEG-2, die Wegbereiter für das objektbasierte MPEG-4 gewesen. MPEG-1 wurde 1994 verabschiedet und ist vorwiegend für CD-ROM basierte Videoanwendungen konzipiert worden, MPEG-2 schaffte zwei Jahre später den Sprung zur Standardisierung und kommt seitdem in digitalen Broadcastszenarien wie DVB oder BusinessTV zum Einsatz.

Der neue Standard MPEG-4 liefert nun eine einheitliche Beschreibung für interaktive und objektbasierte Multimediaanwendungen. Neben der erhöhten Kompressionseffizienz gegenüber MPEG-1 und MPEG-2 ist der wesentliche Fortschritt bei MPEG-4 im wahlfreien Anwenderzugriff auf einzelne multimediale Elemente (Objekte) zu sehen. Damit ist das multimediale Objekt und dessen Arrangement, die sogenannte Szenenbeschreibung, gegenüber dem Inhalt des Objektes zentraler Gegenstand von MPEG-4.

Die einzelnen Objekte können auch mit anderen Kodierverfahren erstellt worden sein, wie zum Beispiel Stillbilder im JPEG-Format, Videokonferenzmaterial mit *H.261 / H.263*, Audio mit *G.723, AC-3*, etc. Die Flexibilität von MPEG-4 erlaubt zudem die Integration von zahlreichen interaktiven Elementen, die heutzutage auch in Autorenwerkzeugen mit proprietären Lösungen zu finden sind.

Ein markantes Beispiel für die Integrität des MPEG-4 Standards ist, daß dieser den Standard zur *Virtual Reality Modelling Language VRML* komplett beinhaltet.

Das MPEG-4 Terminal

Auch bei MPEG-4 hat es Verbesserungen in der Audio- und Videokompression gegeben. Doch der eigentliche Fortschritt von MPEG-4 ist jedoch die konsequent integrierte Umsetzung von Multimedia-OBJEKTEN in einem standardisierten Format.

Daraus resultiert, dass der Inhalt des Objektes nicht der wesentliche Gegenstand bei MPEG-4 ist, sondern das audio-visuelle-Multimediaobjekt als Objekt ebenso wie das Arrangement der Objekte untereinander.

Das Prinzip, einzelne Multimedia-Elemente als Multimedia-Objekte zu verstehen und zu behandeln, ist von dem oben beschriebenen Einsatz von multimedial angereicherten Vorlesungen an der Virtuellen Universität hinlänglich bekannt. Das neue an MPEG-4 ist das international festgelegte Verhalten von Elementen und die Repräsentation in einer einheitlichen Beschreibungsform.

Wie in **Abbildung 1** dargestellt, ist ein MPEG-4 System aufgeteilt in die Schichten *Kompression, System* und *Transport*.

Die Abbildung zeigt ebenfalls das Zusammenspiel der

- Szenenbeschreibung, welches die Position, Größe und Sichtbarkeit des Objektes regelt,
- der nativen multimedialen Objekte, wie Audio, Video, Standbild,
- und der Benutzerinteraktivität.

Das DAI (*DMIF Application Interface*⁵) stellt eine unabhängige Schnittstelle für den Datentransport über Netze oder lokale Speichermedien dar.

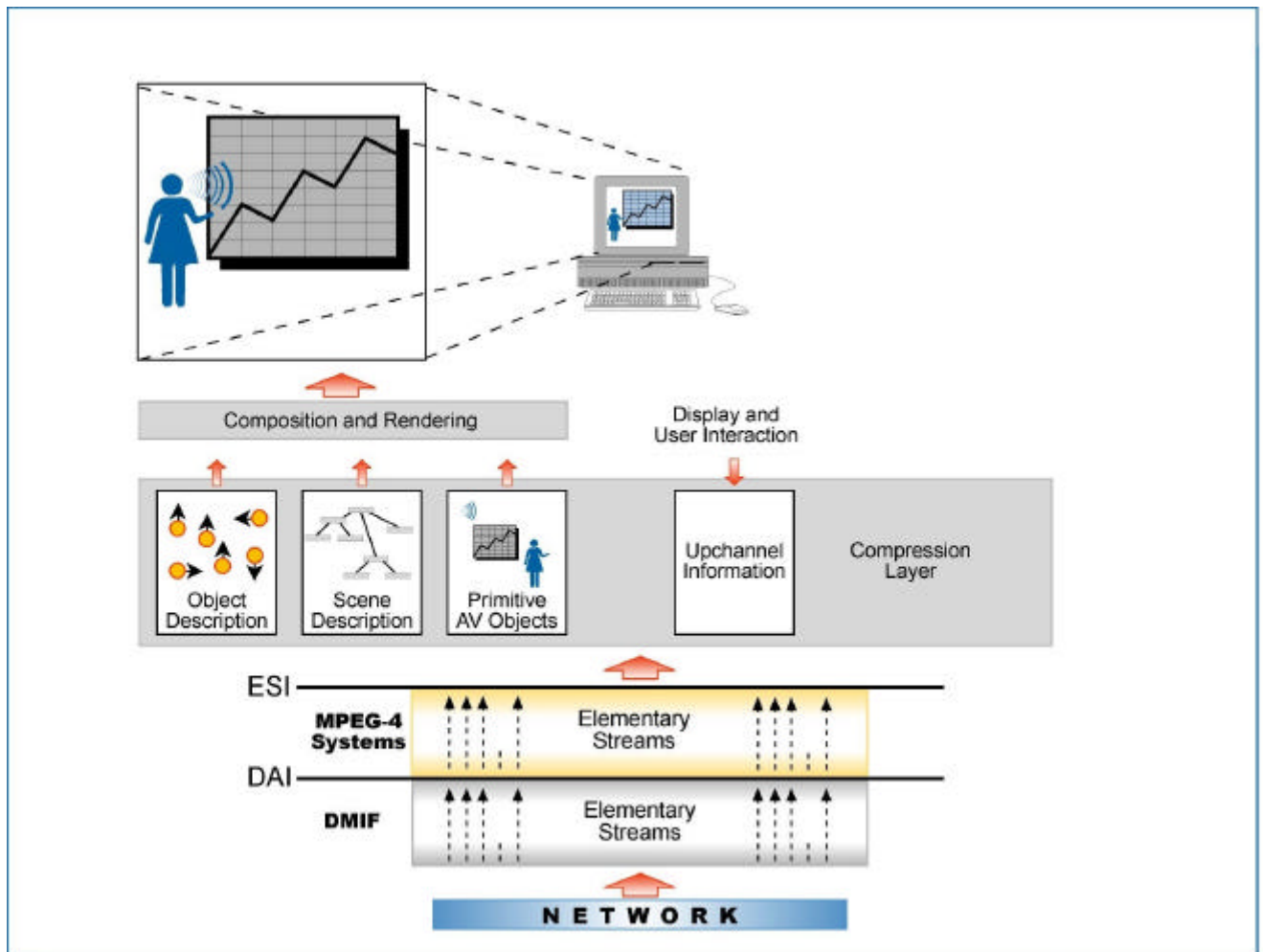


Abbildung 1: MPEG-4 Systemüberblick

Dabei ist das *Delivery Multimedia Integration Framework DMIF* mehr als nur ein reines Transportnetzwerk. Erstens verbirgt DMIF die Herkunft der Daten (lokale Datenablage, Remote-Interactive: Client-Server, Broadcast als Quelle). Zweitens garantiert DMIF eine zuverlässige *Quality of Service* entsprechend den spezifischen Anforderungen des Elementary Streams. Das *Elementary Stream Interface ESI* rekonstruiert die einzelnen Multimediaobjekte. Die Kompressionsschicht wertet die Szenenbeschreibung unter Verwendung der Objektdeskriptoren aus, instanziiert den objektspezifischen Decoder und liefert die Daten an die Komposition und Berandungsschicht (Composition and Rendering) aus. Die Szenenbeschreibung liefert die Position (x,y,z-Koordinaten), Art und Erscheinung des multimedialen Objektes, wie Audio, Video, Stillbild. Ebenfalls werden Benutzerinteraktivitäten gemäß der Szenenbeschreibung ausgewertet. Die Komposition arrangiert die Objekte auf dem Benutzerbildschirm je nach Blickwinkel bei 3D-Playern bzw. Vorder- und Hintergrund bei 2D-Playern. Die Kompressionsschicht regelt das Zusammenspiel der Szenenbeschreibung und der Benutzerinteraktivität.

⁵ Die FernUniversität Hagen arbeitet in der ISO-Arbeitsgruppe MPEG aktiv an der Spezifikation des DMIF mit [5].

Erstellung von multimedialen Inhalten

Das Autorensystem

Die französische Hochschule *École Nationale Supérieure des Telecommunications* (ENST - Télécom Paris, France) hat innerhalb der MPEG-4 Standardisierungsaktivitäten ein einfaches Autorenwerkzeug *MPEG-4 DevStudio MDS* zur Verifikation der Konformität von Bitströmen erstellt. Dieses Werkzeug ist eine betriebssystemunabhängige Implementation in Java und erfordert fundierte Kenntnisse der Elemente der Szenenbeschreibung mittels *BIFS* (*Binary Information For Scenes*). Als Vorteil für die Verwendung von BIFS ist die Tatsache anzusehen, daß BIFS auf den Elementen und Prinzipien von VRML [7] [8], einer weiteren Arbeitsgruppe des ISO (ISO/IEC JTC1 SC24), basiert.

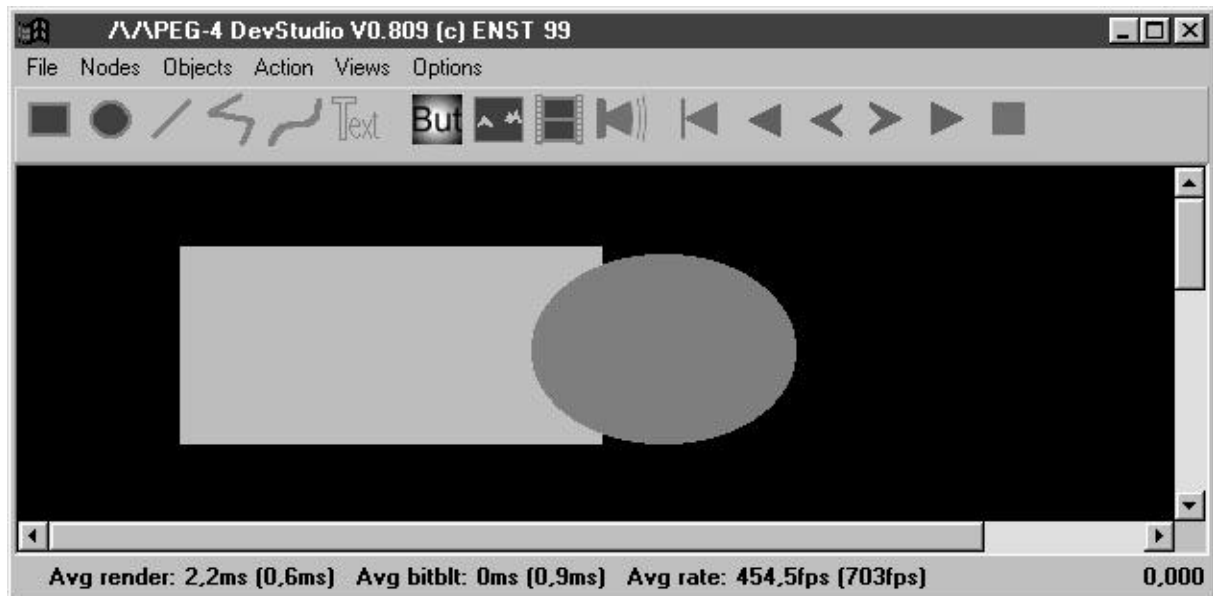


Abbildung 2: MPEG-4 Autorenwerkzeug MDS (Quelle ENST)

Abbildung 2 zeigt eine sehr einfache Szene in dem Autorenwerkzeug MDS. Anstelle der beiden Objekte (Ellipse, Rechteck) können prinzipiell auch beliebige andere multimediale Objekte verwendet werden (Audio, Video, etc.). Aktuell kann das MDS beim Erstellen allerdings nur JPEGs darstellen, so daß für andere Objekte (bspw. MPEG-2 Video) ein Platzhalter gesetzt werden muß. Dieser Platzhalter muß allerdings ebenso wie jedes andere Objekt Attribute zur Darstellung auf dem MPEG-4 Player besitzen.

Interaktivität wird durch Sensoren erreicht. Es gibt beispielsweise den *TouchSensor*, welcher Nachrichten (Events) beim Überfahren, beim Anklicken, beim Verlassen usw. generiert. Weiterhing gibt es den wichtigen *TimeSensor*, welcher nach bestimmten Zeiten Nachrichten (Events) generiert. Diese Events können mittels eines Bedingungsknotens (*Conditional*) in Verbindung mit einem Weiterleitungsknoten (*Route*) an weitere Knotenelemente gesendet werden. Damit ist es relativ einfach möglich Verzweigungen in Lehrinhalten zu ermöglichen, seien es Multiple Choice Tests oder das bestimmte Springen innerhalb einer MPEG-4 Applikation.

Diese Interaktivität kann unterschieden werden zwischen lokaler Interaktivität und Server Interaktivität. Unter lokaler Interaktivität wird die Auswahl bzw. Verwendung von Objekten verstanden, die schon auf das MPEG-4 Terminal geladen sind. Die Server Interaktivität fordert hingegen von dem DAI noch weitere Objekte an, beispielsweise aus einer Datei oder von einem MPEG-4 Server. (Das an der FernUniversität Hagen entwickelte Broadcast-DMIF muß hierzu die Objekte vorausschauend auf das MPEG-4 Terminal herunterladen.)

Die Szenenbeschreibung

Die Autorenwerkzeuge haben die Szenenbeschreibung als sogenanntes *BIFSText* zu exportieren. Tabelle 1 zeigt einen kleinen Auszug aus dem BIFSText, welcher aus der Szene in Abbildung 2 generiert wurde.

Die Verwandtschaft von BifsText zu VRML ist deutlich zu erkennen. Der Unterschied ist darin zu sehen, daß VRML seine Beschreibungen im unkomprimierten Klartext abspeichert, hingegen BIFS die Szenenbeschreibung

nach festgelegten Algorithmen unter Zuhilfenahme des Werkzeuges *BIFSEncoder* binär codiert ablegt. Dieses führt zu einer Datenkompression der Szenenbeschreibung, die für eine effektive Übertragung von MPEG-4 Datenströmen unbedingt erforderlich ist. Ergänzend soll noch darauf hingewiesen werden, dass natürlich auch bestehende VRML Anwendungen in MPEG-4 Applikationen überführt werden können, was üblicherweise eine massive Reduzierung der Größe der ursprünglichen VRML Szenenbeschreibung zur Folge hat.

```
Group {
  children [
    Transform2D {
      Translation -352.0 288.0
      Children [
        DEF I0 Group { # Root
          Children [
            DEF I5 Transform2D {
              Translation 193.0 -92.0
              Children [
                DEF I4 Shape {
                  geometry
                  DEF I3 Rectangle {
                    size 219.0 102.0
                  }
                  appearance
                  DEF I1 Appearance {
                    ...

```

Tabelle 1: Szenenbeschreibung BIFS als BifsText

Generierung des „trivialen“ Dateiformats

In der Anfangsphase der MPEG-4 Standardisierung wurde ad hoc ein einfaches „*Trivial Fileformat*“ als Arbeitsformat definiert, um Szenenbeschreibungen und Objekte persistent ablegen zu können.

Die Szenenbeschreibung und eine daraus exportierte Objektdeskriptorenbeschreibung werden als Eingangsdateien für den *Multiplexer* verwendet. Dieser Multiplexer versieht jeden Elementardatenstrom mit den nötigen *Inter-Objekt-Synchronisationsinformationen*, wie z. B. den *Lieferzeitstempel DTS*. Alle Objekte an sich werden allerdings wie in einem Archiv seriell abgelegt.

Abbildung 3 zeigt schematisch diese Erstellungsprozedur eines trivialen MPEG-4 Files. Es ist ebenfalls dargestellt, dass der *Elementary Stream ES* vor dem Multiplexen mittels *Stream Muxer* durch den medien-spezifischen Encoder noch codiert wird.

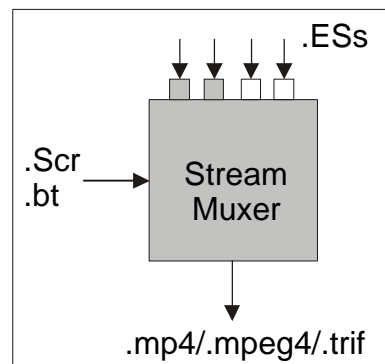


Abbildung 3: Generierung von .mp4-Dateien

Generierung des MPEG-File Format

Das endgültige MPEG-4 File Format ist zur Zeit in der Standardisierungsphase. Hier dient das von Apple überlassene *Quicktime* Format als Grundlage. Das MPEG-4 File Format besteht zum einen aus flexibel gemultiplexten Objekten (*Interleaving, FlexMux*), als auch den Hinweisspuren (*Hint Tracks*). Diese werden mindestens Informationen zu Synchronisationspunkten (*Random Access Points*) beinhalten, so daß ein Einspringen in ein MPEG-4 File an jeder beliebigen Stelle ermöglicht wird. Dies wird im Beispiel der Fernlehre insbesondere dann benötigt, wenn ein Studierender beispielsweise eine Übung bis zu einem bestimmten Punkt bearbeitet hat, aber die Übung zu einem späteren Zeitpunkt an dieser Stelle fortführen möchte.

Momentan existieren noch beide Formate, das Trivial File Format sowie das vorgeschlagene MPEG-4 Fileformat, nebeneinander. Mit einem weiteren Werkzeug wird momentan das triviale File Format in das MPEG-4 File Format überführt.

Object Descriptors und Elementary Streams in der Szenenhierarchie

Zur Veranschaulichung zeigt die folgende Übersicht skizzenhaft die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Elementen. Verschiedene Uhren (*Clocks*) sowie verschiedene Zeitstempel innerhalb des gesamten MPEG-4 Datenstromes werden für die Synchronisierung benötigt. Die hierarchische Szenenbeschreibung (*Scene Tree*) beinhaltet Objektdeskriptoren. Diese Objektdeskriptoren sind zur logischen Gliederung der Szene erforderlich. Sie enthalten einen Verweis auf den bzw. die zugehörigen Elementary Streams. Diese Elementary Streams enthalten decoderspezifische Informationen (Decoderart, Decoderinstanz, Buffer, ...) und einen Zeiger auf die eigentlichen Objektdaten (z. B. H.263 Videodaten).

Der Authoring-Prozess

Derzeit bedarf es für die Erstellung von MPEG-4 Inhalten der folgenden Schritte:

Erstellung einer MPEG-4 Applikation.

Unter dem Begriff *MPEG-4 Applikation* wird die komplette und ablauffähige MPEG-4 Szene mit allen Dokumenten und Teildokumenten verstanden. In der Praxis ist meistens eine Applikation in einer Datei (MPEG-4 Triviales oder File Format) abgelegt.

Somit muß zu Beginn des Erstellungsprozesses einer solchen MPEG-4 Applikation entweder eine bereits vorliegende Applikation zwecks Modifikation geöffnet werden, oder es muß eine neue Applikation generiert werden. Eine neue MPEG-4 Applikation ist im MDS-Tool zunächst leer; nur das hierarchische Wurzelknotenelement (*Root Node*) ist enthalten.

Einführung von Objekten. Um die Applikation mit Leben zu füllen, werden üblicherweise mehrere verschiedene Szenen entworfen. Diese Szenen werden als Teilbäume in der hierarchischen Szenenbeschreibung *BIFSText* abgelegt. Die benötigten nativen multimedialen Objekte müssen getrennt zur Verfügung stehen. So empfiehlt sich die Darstellung eines gesprochenen Lehrtextes vor einem statischen Hintergrund in Form einer Audiodatei (mit gewünschtem Audio-Codec) und einem JPEG kodierten Stillbild. Nicht immer ist die speicheraufwendige Nutzung eines Videos notwendig, um eine lebendige Szene zu generieren. Bewegte Texte und die meisten Animationen, beispielsweise ein Multiple Choice Test, können direkt in BIFS beschrieben werden. Soll dennoch auf ein begleitendes Video nicht verzichtet werden, stehen die verschiedenen üblichen Codecs, wie H.263, MPEG-1, MPEG-2 oder MPEG-4 Video zur Verfügung.

Editieren. Als nächstes erfolgt die zeitliche und räumliche Komposition der Szenen. Dazu müssen die Attribute der Objekte, Knoten (*node*), Wege (*route*), Ereignissabhängigkeiten (*event*) und das Verhalten (*behaviour*) gesetzt werden. Interaktivitäten müssen sowohl als Element (*TouchSensor*) als auch als Attribut gesetzt werden. Soweit das MDS-Tool den verwendeten objektspezifischen Codec unterstützt, kann eine Vorschau der bisher erstellten MPEG-4 Applikation erfolgen.

Encoder/Decoder Parameter. Damit der Player beim Abspielen der MPEG-4 Applikation Informationen zu den ES erhält und implizit den korrelierten Decoder instanzieren kann, müssen Szenenbeschreibung und Ob-

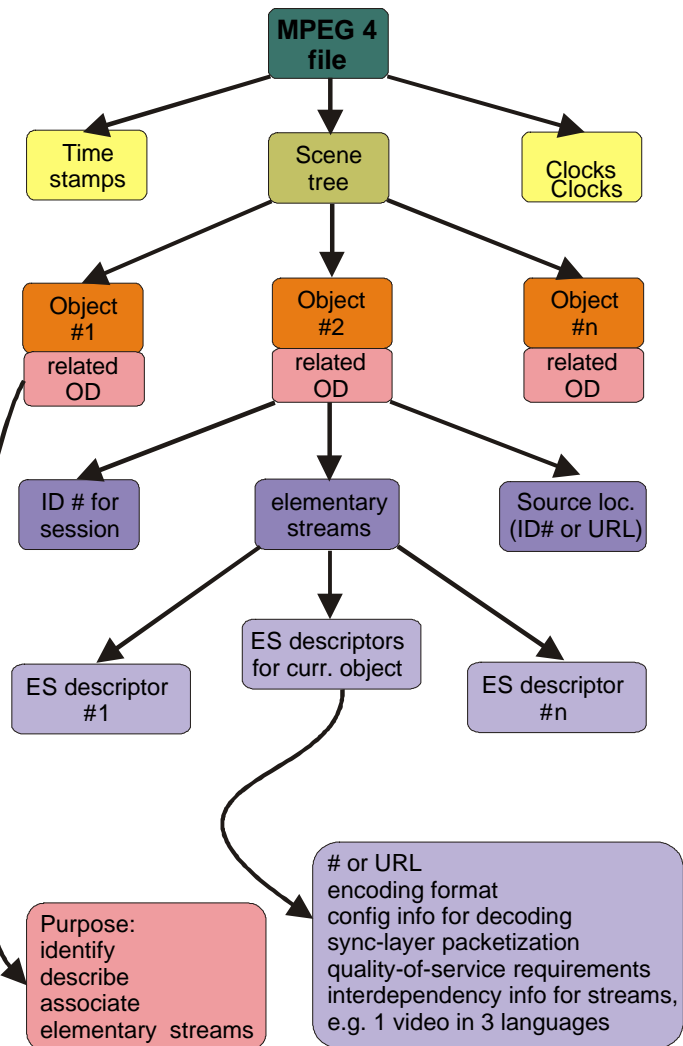


Abbildung 4: MPEG-4 Szenenbeschreibung

jektdeskriptoren die Attribute zu den verwendeten Elementary Streams enthalten. Diese Attribute müssen vor dem Multiplexen gesetzt worden sein.

Produktion des MPEG-4 Files. Die in *BIFSText* abgelegte Szenenbeschreibung wird in die binäre Form mittels des *BIFSEncoders* überführt. Der Stream Multiplexer fügt jedem Elementary Stream Synchronisationsinformationen hinzu. Diese erfolgen zum einen objektspezifisch (Framerate, u. a.) und zum anderen gemäß den Vorgaben des Autors, zum Beispiel bei einem Szenenwechsel. Abschließend erfolgt der Aufruf des Konverters *MP4Tool*, welches aus dem *trivialen* Fileformat das endgültige MPEG-4 Fileformat erzeugt.

Es sind nun neben den nativen multimedialen Objekten noch die Dateien für BifsText, Objektdeskriptoren, binäres BIFS, trivial MPEG-File und das MPEG-4 File im MPEG-4 Fileformat entstanden.

MPEG-4 Player. Die MPEG-4 Applikation ist fertiggestellt und kann auf einem MPEG-4 Player angesehen werden. Die diesem Bericht zugrunde liegenden Arbeiten wurden auf der Referenzsoftware, dem *IM-1 Player* [3, Part 5] abgespielt.

Schlußfolgerungen

Die Prinzipien zur Erstellung von multimedialen Inhalten sind von der Entwicklung der Lehrinhalte der Virtuellen Universität her vertraut. Es sollte daher bei den zukünftigen Umsetzungen bzw. Neukonzeptionierungen von Kursen keine Probleme mit dem offenen und standardisierten MPEG-4 Systemkonzept geben. Im Gegenteil, der eigentliche Vorteil des Einsatzes von MPEG-4 ist die Unabhängigkeit von Herstellern und Betriebssystemen sowie die durch die internationale Standardisierung bedingte Offenheit. Auf der betriebswirtschaftlichen Seite ergibt sich dadurch der weitere Vorteil einer hohen Investitionssicherheit. Es ist zu vermuten, dass die bisherigen Autorenwerkzeuge „Authorware“, „Shockwave“, „Macromedia Director“ und „Toolbook“ in der nächsten Zeit ebenfalls das MPEG-4 File Format exportieren als auch importieren können werden.

Dieser große Vorteil für das Zielpublikum, das einheitliche Format der verwendeten multimedialen Elemente, führt dazu, daß nur noch eine Anwendung bzw. ein Plug-In des Internet-Browsers für das Studieren der Kurse der Virtuellen Universität benötigt wird. Der Studierende muß sich also nicht mehr darum kümmern, ob und welche Anwendung welches multimediale Element bearbeiten kann, so wie es heute noch häufig der Fall ist, sondern kann mit einem einzigen Werkzeug alle Kurse bearbeiten.

Durch die aktive Mitarbeit des Forschungsinstitutes für Telekommunikation bei der internationalen Standardisierung von MPEG-4 in den Jahren 1998/1999 konnten zahlreiche Erkenntnisse beim Umgang mit MPEG-4 gewonnen werden. Erste MPEG-4 Applikationen sind bereits verfügbar und werden im Fachgebiet Kommunikationssysteme weiter evaluiert.

Für die Entwicklung von Softwarekomponenten im Zusammenhang mit dem MDS-Autorentool sei Herrn Marcus Ladwig besonders gedankt.

Literatur

- [1] EU Esprit-Projekt 23191 „MPEG-4 PC – MPEG-4 System Implementation and Tools for PC“, Nov. 96 – Aug. 99, <http://www.q-team.de/mpeg4/mpeg4pc.htm>
- [2] Kaderali, Steinkamp: „Virtuelle Universität – ET-Online“, Webpage: <http://www.et-online.fernuni-hagen.de>, Forschungsberichte des Fachbereiches Elektrotechnik der FernUniversität Hagen, ISSN 0945-0130 1/1999
- [3] ISO/IEC IS 14496: „Information Technology – Generic Coding of Audio - Visual Objects“, ISO/IEC 14496, Part 1 - 6, ISO/IEC JTC/SC29/WG11, 1999
- [4] ISO/IEC: „Information technology - Open Systems Interconnection - Basic Reference Model: The Basic Model“, ISO/IEC 7498-1, 1994
- [5] ISO/IEC JTC/SC29/WG11: M4182: Stepping, M., et al.: „DMIF Application Interface: Syntax Definition“, 1998
- [6] ISO/IEC JTC/SC29/WG11: M4508: Stepping, M.: „DMIF Group and Broadcast Signalling: comments and DNI messages“, 1999
- [7] J. Hartman, J. Wernecke: „The VRML 2.0 Handbook“, 1996
- [8] R. Grabowski: „The Web Publishers – Illustrated Quick Reference – Covers HTML 3.2 & VRML 2.0“, 1997