

[StHe91] *Ralf Steinmetz, Ralf Guido Herrtwich; Integrierte verteilte Multimedia-Systeme;* Informatik Spektrum, Springer-Verlag, Band 14, Nr.5, Oktober 1991.

Integrierte verteilte Multimedia-Systeme

R. Steinmetz und R. G. Herrtwich

IBM ENC Heidelberg

Zusammenfassung. Integrierte verteilte Multimedia Systeme bieten Möglichkeiten zur rechnergestützten Erzeugung, Verarbeitung, Darstellung, Speicherung und Kommunikation unabhängiger diskreter Medien wie Text oder Graphik und kontinuierlicher Medien wie Ton oder Bewegtbild. Ihre Stärken ergeben sich aus der Vereinigung von Medien-, Rechner- und Kommunikationsfunktionen, die neue Anwendungen eröffnet, etwa in der Ausbildung, im Büro oder in der Unterhaltungsindustrie. Während die meisten heute verfügbaren Multimedia-Systeme analoge Audio- und Videogeräte bedienen, werden künftige Systeme vollständig in die digitale Rechnerwelt integriert sein. Das hohe Aufkommen an zeitkritischen Multimedia-Daten stellt bei der Realisierung dieser Systeme das Hauptproblem dar. Diesem Problem wird durch den Einsatz digitaler Signalprozessoren, optischer Speicher und Hochgeschwindigkeitskommunikationsnetze sowie durch eine Systemverwaltung, die den Echtzeitanforderungen der Daten Rechnung trägt, begegnet.

Schlüsselwörter: Multimedia, Medienintegration, Verteilung

Summary. Integrated distributed multimedia systems provide computer-controlled creation, processing, presentation, storage, and exchange of independent discrete media such as text and graphics and continuous media such as audio and video. Their potential results from combining media, computers, and communication, offering new applications, e.g., in education, office, or entertainment. Whereas most of today's multimedia systems operate analog audio and video devices, future systems will be fully digitalized. The large amount of multimedia data to be handled within tight timing constraints is the single most important problem for realizing such digital systems. This problem can be solved by using digital signal processors, optical storage technology, and high-speed communication. It also requires careful management of system resources that takes the real-time requirements of multimedia data into account.

Key words: Multimedia, Media integration, Distribution

Computing Reviews Classification: C.0, C.2.4, C.3, D.4.0, I.3.2

1. Einleitung

Der Begriff „Multimedia“ ist zu einem neuen Schlagwort in Informatik und Telekommunikation geworden. Wenn auch jeder zustimmt, daß künftige Systeme Multimedia-Funktionen anbieten sollen, so besteht doch oft Unklarheit darüber, was ein Multimedia-System genau ist. Ebenso wenig sind die erforderlichen zentralen Funktionen und die Unterschiede zu „konventionellen“ Rechensystemen allgemein bekannt. In dieser Arbeit wird ausgehend von einer Klärung des Multimedia-Begriffs untersucht, welche Auswirkungen sich durch Multimedia-Funktionen im Einsatz und Aufbau von Rechensystemen ergeben.

Abschnitt 2 erläutert unser Verständnis eines integrierten verteilten Multimedia-Systems. Abschnitt 3 befaßt sich mit den neuen Möglichkeiten, die sich durch solche Systeme eröffnen, nicht ohne auch potentielle Gefahren zu erwähnen. In Abschnitt 4 wird anhand von Beispielen gezeigt, wie sich diese Möglichkeiten für Anwendungen nutzen lassen. In den folgenden Abschnitten geht es schließlich um die eigentlichen technischen Schlüsselfragen bei der Realisierung von integrierten verteilten Multimedia-Systemen: Abschnitt 5 stellt verschiedene Systemarchitekturen einander gegenüber. Abschnitt 6 beschäftigt sich mit Fragen der Systemsoftware, wohingegen in Abschnitt 7 Fragen der Schnittstelle zur Anwendung behandelt werden.

2. Begriffsbildung

Als *Medium* bezeichnet man gemeinhin ein Mittel zur Verbreitung und Darstellung von Informationen, etwa Text, Graphik, Bild, Sprache, Geräusch oder Musik. Me-

3.1. Einfluß der Medienvielfalt

Waren anfangs die Benutzungsschnittstellen von Rechensystemen eher auf die Bedürfnisse der Maschine denn des Menschen zugeschnitten, haben sich Mensch-Maschine-Schnittstellen immer mehr an den Anforderungen der Benutzer orientiert. Dennoch sind die heutigen Formen der Ein- und Ausgabe weder besonders natürlich für den Menschen noch sonderlich effizient: Sprechen ginge schneller als Schreiben, Zuhören viele leichter als Lesen, und Zeigen wäre einprägsamer als Beschreiben.

Menschen nehmen Informationen mit Hilfe ihrer fünf Sinne auf. Deshalb teilen sie ihre Gedanken, Ideen und Gefühle so mit, daß die fünf Sinne ihrer Kommunikationspartner angesprochen werden. Jede Einschränkung des Sinnesspektrums kann es erschweren, eine Idee als Ganzes weiterzugeben oder eine Situation vollständig zu erfassen. Alle Medien unterliegen jedoch solchen Einschränkungen: sie können nur in die von ihnen angesprochenen Darstellungsräume Information transportieren [49].

Die Einführung von Ton und Bewegtbild erweitert das Informationsspektrum und damit die Ausdrucksfähigkeit an der Mensch-Maschine-Schnittstelle. Sie ermöglicht es, rechnergestützte Arbeiten weitgehend an herkömmliche Tätigkeiten anzugleichen. Der Erfolg des Desktop-Prinzips demonstriert dieses Vorgehen, das ohne geeignete Medienunterstützung (in diesem Fall durch Graphik) nicht möglich ist. Durch die Einbindung von Ton in einer verteilten Umgebung ließen sich ein Telefon, ein Anrufbeantworter, ein Diktiergerät oder gar ein Radio dem elektronischen Schreibtisch beifügen.

Traditionell werden Rechnern Befehle textuell erteilt. So wie in einem Desktop-System die graphische Selektion die textuelle Eingabe ablöst, ließen sich Kommandos in einem Multimedia-System auch akustisch erteilen. Für Ausgaben ist eine visuelle Darstellung nicht mehr die einzige Möglichkeit. Fortschritte auf den Gebieten der Spracherkennung und -synthese erlauben die Interaktion mit Rechensystemen in Situationen, die eine Texteingabe oder visuelle Ablenkung des Benutzers verbieten, etwa im fahrenden Auto. Auch Behinderten kann so der Zugang zu Rechnern erleichtert oder überhaupt erst ermöglicht werden.

Die audiovisuellen Möglichkeiten von Multimedia-Systemen erlauben den Aufbau von Kunstwelten (oder „virtuellen Wirklichkeiten“ – *virtual realities*). Die Realitätsnähe einer Darstellung kann in diesen Systemen noch durch spezielle Ausgabegeräte wie Monitorhelme unterstützt werden, die Wahrnehmungen aus der „tatsächlichen“ Wirklichkeit unterbinden. Eingaben erfolgen durch Sensor-Handschuhe oder gar -Anzüge. Solche futuristischen Systeme rufen verständlicherweise auch Kritiker des rasanten Multimedia-Fortschritts auf den Plan: Je realistischer Scheinwelten werden, je leichter sie dem einzelnen zugänglich sind, desto größer ist die Gefahr von Realitätsverlust und sozialer Isolation ihrer Benutzer. Auch kann das Bevorzugen leicht zugänglicher Medien zum Verlust von Fertigkeiten in Bezug auf andere Medien führen. Schon heute ist zu beobachten, daß vermehrtes

Fernsehen dazu führt, daß Kinder weniger und auch schlechter lesen. Diese Entwicklung könnte durch Multimedia-Systeme gefördert werden.

3.2. Einfluß der Vernetzung

Kommunikationsnetze erlauben den Austausch von Information über räumliche Grenzen hinweg: Jeder an ein Netz angeschlossene Teilnehmer kann jeden anderen erreichen. Die Verknüpfung der Netze untereinander führt zu einer vollständigen globalen Vermaschung. Das weltweite Telefonsystem ist ein solches Netz. Allerdings ist das System funktional begrenzt; es kann nur eine eingeschränkte Menge von Medien unterstützen.

Um dies zu ändern, arbeitet die Telekommunikationsindustrie weltweit an der Einführung diensteintegrierender digitaler Netze (*integrated services digital networks*, ISDNs) [1]. Haben erst einmal alle Medien digitale Repräsentationen, besteht aus technischer Sicht kein Bedarf mehr, die bestehende Vielfalt von Kommunikationsnetzen beizubehalten. Die bislang aufgebauten ISDN-Systeme können jedoch aufgrund ihrer Übertragungskapazität nur Telefon- und Datenverkehr miteinander vereinen; die angebotenen Möglichkeiten zum Bildfernsprechen lassen qualitativ zu wünschen übrig und sind für große Benutzergruppen nicht sonderlich attraktiv.

Das soll sich mit Breitband-ISDN und integrierten Breitbandkommunikationsnetzen (*integrated broadband communication networks*, IBCNs) ändern, die auch hochwertige Bewegtbilder und HiFi-Ton an viele Benutzer verteilen können [24]. Über sie ließen sich Videokonferenzen in guter Bildqualität mit gleichzeitigem Austausch der diskutierten Dokumente abhalten und in IBCN gar Fernseh- und Rundfunkdienste anbieten. Doch auch bei der Einführung eines solchen Netzes muß erst einmal ein Teufelskreis aufgebrochen werden. Teilnehmer schließen sich – unabhängig von den Kosten – an das Netz erst an, wenn es genügend interessante Dienste bietet; Anbieter werden solche Dienste jedoch nicht bereitstellen, ohne eines genügend großen Kundenkreises sicher zu sein.

IBCN-Systeme erlauben nicht nur die Integration bestehender Kommunikationskanäle, sondern auch das Ersetzen eines Teils der traditionellen nichtelektronischen Informationsverteilung. Statt sie in der örtlichen Videothek zu leihen, können die Benutzer künftig Videokassetten von einem Videoserver erhalten. Dies verbessert die Dienstleistung sogar: Es erhöht die Verfügbarkeit des Videos (die Kassette könnte jemand ausgeliehen haben, aber die Kopie auf dem Server ist immer verfügbar) und verringert die Zugriffszeit (der Weg zur Videothek entfällt). Ähnliche Überlegungen ließen sich für die Verbreitung von Schallplatten oder gar Zeitungen und Büchern anstellen. Die traditionellen physikalischen Informationsträger können von Massenspeichern ersetzt werden, die die Rolle der eigenen Plattensammlung und der öffentlichen Bibliothek übernehmen. Die Rolle des Informationsvermittlers verlagert sich in Richtung der Dienstanbieter auf Kosten des Zwischenhandels.

Informationswesen. Integrierte verteilte Multimedia-Systeme können zum Informieren der angeschlossenen Benutzer verwendet werden. Informationsanbieter können dabei z. B. Reisebüros, Immobilienmakler, Versandkaufhäuser oder Nachrichtendienste sein. Dabei ist die Ausdrucksfähigkeit durch Medienvielfalt von besonderer Bedeutung. Das Bild eines einzelnen Hauses sagt weit weniger aus als eine Bewegtbildsequenz des entsprechenden Anwesens.

Der Vorteil solcher Informationssysteme besteht in der Flexibilität der gespeicherten Information. Anders als bei herkömmlichen Angebotsträgern wie Katalogen und Zeitschriften kann Information jederzeit durch den Anbieter verändert werden. Dies garantiert Aktualität bei Nachrichtendiensten und rasche Marktanpassung bei der Werbung und Preisgestaltung.

Überwachung und Steuerung. Ging es in den obigen Anwendungen darum, Information von Menschen für Menschen darzustellen, so ist in einem Überwachungs- und Steuerungssystem der Mensch allenfalls auf einer Seite des Kommunikationskanals involviert. Ein solches System erlaubt die Fernsteuerung komplexer technischer Prozesse, ohne unwirtlichen und gefährlichen Umgebungen ausgesetzt zu sein, etwa in chemischen oder nuklearen Anlagen, in der Tiefsee oder im Weltraum.

Die Multimedia-Funktionen erlauben dabei nicht nur das Aufzeichnen, sondern auch das Nachbereiten von Informationen. So kann ein mit einer Ultraschallkamera oder anderen Sensoren aufgenommenes Bild z. B. zur Führung eines Fahrzeugs verwendet werden. Dadurch ergeben sich größere Anforderungen an die Fehlertoleranz dieser Systeme. Während bei einem Bildtelefonat eine gelegentliche Bildstörung keine größere Rolle spielt, kann ein Rechner durch solche Störungen leicht in die Irre geführt werden. Die oft gehörte Behauptung, daß etwa bei der Behandlung von Bewegtbildern nur geringe Fehlerkorrekturmaßnahmen erforderlich sind, bedarf in diesem Zusammenhang einer gründlicheren Analyse.

Simulation. Audiovisuelle Information kann auf eine Weise präsentiert werden, die dem Betrachter den Eindruck vermittelt, zu einer Szene zu gehören. Solche Simulationen werden einerseits zu Unterhaltungs- und andererseits zu Ausbildungs- und Studienzwecken verwendet. Charakteristisch ist dabei, daß es meist unmöglich oder zumindest riskant ist, Menschen der simulierten Situation real auszusetzen, etwa beim Erlernen des Fliegens eines Flugzeugs. Die Vorteile der Simulation liegen in der Möglichkeit, Situationen herbeizuführen, die in der Praxis selten auftreten bzw. nicht auftreten sollten. Bei Studien ist die Möglichkeit der Reproduktion exakt gleicher Versuchsbedingungen wichtig.

Zwei Techniken lassen sich bei der Simulation anwenden. Zum einen kann der Rechner zuvor aufgezeichnete Information wiedergeben. So funktioniert z. B. ein Programm des MIT Media Lab, das dem Benutzer erlaubt, ein Fahrzeug durch die Straßen von Aspen, Colorado, zu steuern [40]. Die Forschungsgruppe fuhr durch alle Straßen von Aspen und nahm diese Fahrten mit vier um 90° versetzt montierten Kameras als eine Folge von Einzelbildern auf. Jede Szene, von einer Straßenecke zur näch-

sten, ist durch eine Schnittstelle abrufbar, und ein Benutzer hat das Gefühl, selbst den Wagen zu steuern.

Die Alternative zur Verwendung vorproduzierter Daten ist die Erzeugung dieser Informationen durch den Rechner. Der Vorteil einer solchen Computer-Animation besteht darin, daß sie beliebige Bewegungen und Ansichten zuläßt. Beim Fahren durch Aspen hat der Benutzer nicht die Möglichkeit, die Straße zu verlassen und in eine Einfahrt hineinzufahren, wenn die dazu erforderlichen Bilddaten nicht von vornherein erfaßt waren.

5. Systemaufbau

Kontinuierliche und diskrete Medien wurden technisch bisher meist in voneinander unabhängigen Umgebungen betrachtet. Aufgrund der verschiedenen Anforderungen und Randbedingungen (unterschiedliche Datenraten, verschiedene Benutzungscharakteristiken etc.) entstanden völlig separate Systeme für die analoge Fernmelde-, Rundfunk- und Fernsehtechnik sowie die digitale Datenverarbeitung. Verteilte integrierte Multimedia-Systeme können nun diese Techniken miteinander in Einklang bringen.

5.1. Hybride Systeme

Der naheliegende Weg bei der Realisierung eines Multimedia-Systems besteht darin, sich vorhandener Ein/Ausgabe- und Aufzeichnungsgeräte zu bedienen. Manche modernen Audio/Video-Geräte wie Kameras, Videorekorder und CD-Speicher verfügen über Schnittstellen, die ihre Ansteuerung durch einen Rechner erlauben. Auch die Verbindung zwischen Quellen und Senken, eine Vermittlung für analoge Bild- und Tonsignale, kann digital angesteuert werden. Weil der Rechner nur in die Steuerung eingreift, nicht aber den eigentlich Datenstrom bearbeitet, bleiben Qualität und Formate der Ton- und Bilddaten erhalten. Ein solches System bezeichnen wir als *hybrid*, weil es – wie in Abb. 1 dargestellt – analoge und digitale Komponenten umfaßt.

Hybride Systeme würden naturgemäß als erste Multimedia-Systeme realisiert: Das bei Bell Communications Research in Red Bank, New Jersey, eingerichtete Integrated Media Architecture Laboratory (IMAL) [30] verknüpft eine Vielzahl digitaler und analoger Komponenten und Netze, um die mit ihnen möglichen Multimedia-Dienste zu studieren. Die Video-Dienste des Athena-Projekts am MIT [14, 22, 32] basieren auf einem ähnlichen Ansatz: Jeder Rechner ist sowohl an das Ethernet zur Datenkommunikation als auch an ein Kabelfernsehtnetz angeschlossen. Die Bildsignale werden über einen Parallax-Adapter [3] in den Rechner gespeist und dort angezeigt. In einem Fenster wird dann das Bewegtbild mit einer Blaupause-Technik eingeblendet.

Eine Erweiterung des inhomogenen Ansatzes ergibt sich, wenn zwar lokal analoge und digitale Komponenten eingesetzt werden, ortsübergreifend jedoch nur ein einziges digitales Kommunikationsnetz verwendet wird. Diesen Ansatz verfolgt das DiME-Projekt am Europäischen

Benötigter Speicherplatz je Bildschirmseite = $640 \times 480 \times 1 \text{ Byte} = 307\,200 \text{ Byte} \approx 300 \text{ KByte}$

- Sprache in Telefonqualität wird mit 8 kHz abgetastet und mit 8 bit quantisiert, dies ergibt einen Datenstrom von 64 kbit/s.

Benötigter Speicherplatz je Sekunde = $\frac{64\,000 \text{ bit}}{8 \text{ bit/Byte}} \approx 8 \text{ KByte}$

- Ein Stereo-Tonsignal in CD-Qualität sei mit 44.1 kHz abgetastet und pro Kanal mit 16 bit quantisiert.

Datenrate = $2 \times \frac{44\,100}{\text{s}} \times \frac{16 \text{ bit}}{8 \text{ bit/Byte}} = 176\,400 \text{ Byte/s}$

Benötigter Speicherplatz je Sekunde = 176 400 Byte $\approx 172 \text{ KByte}$

- Eine Videosequenz besteht aus 25 Vollbildern je Sekunde, und die Luminanz (Helligkeit) und die Chrominanz (Farbinformation) jedes Pixels seien zusammen in 3 Byte kodiert.

Datenrate = $640 \times 480 \times 25 \times 3 \text{ Byte/s} = 23\,040\,000 \text{ Byte/s}$

Benötigter Speicherplatz je Sekunde = 23 040 000 Byte $\approx 22 \text{ MByte}$

(Hier muß angemerkt werden, daß Video nach der Europäischen PAL-Norm 625 Zeichen und eine Auflösung von ca. 833 Bildpunkten in horizontaler Richtung hat. Bei HDTV wird sich die Zeilenzahl verdoppeln, bei einem Seitenverhältnis von 16:9. Damit wird sich die Datenrate auf mehr als das Fünffache gegenüber dem heutigen Fernsehen vergrößern.)

Diese Beispiele zeigen, welche erhöhten Anforderungen an ein digitales Multimedia-System sich bezüglich des Datendurchsatzes ergeben. Mit konventionellen Systemen sind solche Datenmengen nur eingeschränkt verarbeitbar.

Schlüsseltechnologien für digitale Multimedia-Systeme. Hohe Datenmengen und -raten können durch *Signalprozessoren* komprimiert werden. Mit heutigen Kompressionsalgorithmen lassen sich z. B. Bewegtbildsequenzen mit einer verminderten, aber durchaus akzeptablen Qualität bis zu einer Datenrate unter 180 KByte/s komprimieren. Dabei wird die in der Bildinformation vorhandene Redundanz ausgenutzt, etwa in großen gleichfarbigen Flächen oder zwischen benachbarten Bildern eines Films. Je nach Anwendung lassen sich neben symmetrischen Verfahren mit gleichem Aufwand für Kompression wie für Dekompression auch asymmetrische Verfahren einsetzen. Diese Verfahren sind optimiert für eine möglichst einfache Dekompression in Echtzeit. Sie erfordern zumeist spezielle aufwendige Hardware für den Kompressionsprozeß, der nicht in Echtzeit abläuft. Der PLV-Modus (*Presentation Level Video*) in Intels DVI-System ist ein solches asymmetrisches Verfahren. DVI [29, 18] war das erste in größerem Stil kommerziell verfügbare System, das digitale, programmierbare Bausteine zur Kompression/Dekompression von Bewegtbildern und Audioinformationen einsetzte. Mittlerweile befinden sich internationale Normen zur Kompression von Standbildern (z. B. JPEG [48]) und Bewegtbildern (z. B. MPEG [25]) kurz vor der Verabschiedung.

Selbst in komprimierter Form haben Bild- und Tondaten noch einen erheblichen Speicherplatzbedarf. Eine typische Fernsehsendung mit 30 Minuten Länge hat immer

noch ein Datenvolumen von über 300 MByte. Für das Abspeichern solcher Datenmengen sind *optische Speicher* hilfreich. Für digitalen Stereo-Ton ist bereits seit mehreren Jahren die CD-DA (Compact Disc-Digital Audio) auf dem Markt. Ihre technischen Spezifikationen gelten auch für CD-ROM-Speicher, die eine Ablage beliebiger digitaler Daten bis zu 650 MByte erlauben. Bei diesen Datenträgern werden Daten nur gelesen, nicht neu abgelegt. Zum einmaligen Abspeichern können optische WORM-Platten (Write Once Read Multiple), zum beliebigen Lesen und Schreiben magneto-optische Platten verwendet werden [51].

Das auch nach Kompression noch hohe Datenaufkommen ist bei der Übertragung digitaler Multimedia-Daten ein Hauptproblem. Selbst wenn heutige Kommunikationsnetze wie ein Token-Ring insgesamt Datenraten von 4 oder 16 Mbit/s erlauben, so heißt dies noch nicht, daß diese Kapazität einem Benutzer an der Anwendung zur Verfügung steht: Zum einen umfaßt die Datenrate des Netzes neben den reinen Nutzdaten auch Protokollinformationen, zum anderen muß sie unter allen Benutzern aufgeteilt werden. *Glasfaser-Kommunikationssysteme* lösen das Problem durch höhere Übertragungskapazitäten. Lokale Netze wie FDDI und Weitverkehrsnetze in der heute favorisierten ATM-Technik erreichen Datenraten über 100 Mbit/s; [13] gibt ein Beispiel für solche Systeme.

6. Systemverwaltung

Selbst nach einer Kompression der Daten und unter Ausnutzung neuer Technologien werden Multimedia-Systeme zumindest für einige Zeit an den Grenzen ihrer Kapazität arbeiten. (Die verfügbare Kapazitätssteigerung wird zudem sicher erst in bessere Qualität umgesetzt, z. B. um ein verlustbehaftetes Komprimieren von Bildinformationen zu vermeiden.) Dieses Entwicklungsstadium wird in [9] als „Fenster der knappen Betriebsmittel“ bezeichnet (s. Abb. 4).

Je knapper Betriebsmittel sind, um so mehr Bedeutung kommt ihrer Vergabe zu. In integrierten verteilten Multimedia-Systemen befinden sich mehrere Anwendungen miteinander im Wettbewerb um die Ressourcen des Systems. Die Systemverwaltung muß durch Planungsalgorithmen dafür sorgen, daß die Anforderungen all dieser Anwendungen erfüllt werden. Insbesondere ist die zeitgerechte Bearbeitung kontinuierlicher Medien zu garantieren: Ein Videobild darf nicht verspätet präsentiert werden, nur weil das Kommunikationssystem eine Reihe von Buchungsdateien zu transferieren hatte. Gemäß dem Integrationsgedanken dürfen solche Probleme jedoch nicht so gelöst werden, daß das System für traditionelle Anwendungen unbrauchbar wird.

In prominenten heutigen Versionen lokaler Multimedia-Systeme wie CD-I und DVI [18, 29, 31, 42] wird das Problem zeitgerechter Verarbeitung so gelöst, daß für Multimedia-Anwendungen ein Echtzeitbetriebssystem die Kontrolle des gesamten Systems übernimmt oder keine weitere Anwendung läuft. Der Rechner kann dann nur noch für DVI- oder CD-I-Anwendungen genutzt werden. Die von Olivetti und der Universität Cambridge entwick-

dia-Systemen oft darum, Zeitschranken zu finden, die eine Einplanung aller Anwendungen ermöglichen.

6.2. Betriebsmittelreservierung

Die Koexistenz diskreter und kontinuierlicher Medien auf einem Betriebsmittel erfordert die Verfolgung zweier sich eigentlich widersprechender Ziele:

- Zeitkritische Prozesse dürfen nie einer Prioritätsumkehrung unterliegen, d.h. sie dürfen nie für eine unbestimmte Dauer durch zeitunkritische Prozesse verdrängt werden.
- Zeitunkritische Prozesse dürfen nicht dauerhaft blockiert werden, weil zeitkritische Prozesse zuviel Betriebsmittelkapazität erfordern.

Als Ausweg aus diesem Dilemma bietet es sich an, dem System selbst die Entscheidungsbefugnis über die von ihm akzeptierte Last zu geben. Dann kann die a-priori-Reservierung einer bestimmten Teilkapazität der Betriebsmittel für zeitunkritische Prozesse deren Benachteiligung vermeiden [6].

Die Reservierung bietet zugleich das Mittel, zeitkritischen Prozessen die Verfügbarkeit der zum Erreichen ihrer Zeitschranken nötigen Betriebsmittel und damit eine gewisse *Dienstgüte* zu garantieren. Reservierungen gehen üblicherweise vom *pessimistischen* Fall aus: Sie legen die maximale Arbeitslast als ungünstigsten Fall allen Reservierungen zugrunde. Damit vermeiden sie Fristverletzungen, haben jedoch eine ungenügende Betriebsmittelauslastung zur Folge, wenn die tatsächliche Arbeitslast von der maximalen stark abweicht, z. B. bei Verwendung von Kompressionsverfahren mit variabler Datenrate.

Als Alternative bieten sich *optimistische* Reservierungsverfahren an [20]. Hier beruht die Reservierung auf Durchschnitts- oder gar Minimalwerten. Anders als bei pessimistischen Verfahren kann dabei wegen möglicher „Überbuchung“ von Betriebsmitteln die Dienstgüte nicht immer gewährleistet werden, ihr Einhalten muß getrennt überwacht werden. Eine Konfliktbeseitigung sorgt bei Überlastung für das Annullieren weniger wichtiger Aufträge.

Pessimistische Verfahren sind für qualitativ hochwertige oder kostspielige Anwendungen geeignet. Eine Video-Produktion oder die Übertragung klassischer Musik in HIFI-Qualität sind zwei Beispiele. Optimistische Verfahren lassen sich bei Sprachübertragung, Videokonferenzen oder fernsehähnlichen Anwendungen einsetzen.

Bei der Aushandlung der Dienstgüte verfolgt man heute meist einen *imperativen* Ansatz: Die Anwendung bestimmt die nötigen Parameter, und das System kann diese akzeptieren oder ablehnen. Dieses Schema kann in Richtung eines *kooperativen* Ansatzes fortentwickelt werden: Die Anwendung gibt die bevorzugten Werte und die mit Qualitätsabstrichen noch tolerierbaren Werte an. Das System versucht dann, die Wünsche der Anwendung so gut wie möglich zu erfüllen. Durch die gegenseitige Abhängigkeit einzelner Parameter (mehr Fehlerkorrekturen führen z. B. zu größeren Verzögerungen) kann dieses Verfahren kompliziert und zeitaufwendig werden; eine einheitliche

Metrik für Dienstgüteparameter [21] mit Kostenfunktionen [7] kann den Entscheidungsprozeß vereinfachen.

6.3. Synchronisation

Echtzeitanforderungen bleiben nicht auf einzelne Ströme kontinuierlicher Daten beschränkt. Um zeitlichen Zusammenhängen zwischen ansonsten unabhängigen Informationseinheiten Rechnung zu tragen, ist eine Synchronisation erforderlich. Dabei kann man folgende Fälle unterscheiden:

- Synchronisation zwischen verschiedenen Datenströmen kontinuierlicher Medien kann sowohl gleiche als auch unterschiedliche Medien betreffen. Ein Stereosignal besteht aus zwei von sich aus unabhängigen, aber synchronisierten Audiosignalen. Unterschiedliche Verzögerungen bei der Wiedergabe verfälschen das räumliche Klangbild. Ein weiteres Beispiel: Bewegtbildsequenzen und Ton treten auch häufig gemeinsam auf. Wird hier keine Lippensynchronität erreicht, ist dies für den Betrachter äußerst störend.
- Oft bestehen auch enge Beziehungen zwischen Datenströmen kontinuierlicher Medien und diskreten Informationseinheiten. Die Untertitel eines Films können als Text vorliegen und nur bei der Darstellung geeignet eingeblendet werden. Ton kann auch in ein diskretes Medium eingebettet sein: In einem Textdokument kann es zu bestimmten Begriffen eine verbale Erläuterung geben, die simultan mit der Textanzeige abgespielt wird.

Zur Bestimmung der zu synchronisierenden Informationseinheiten kann bei kontinuierlichen Medien auf Information über die Rate des Datenstroms zurückgegriffen werden. Darüber hinaus können auch Zeitstempel oder Zustandsmarken [43] in die zu synchronisierenden Daten aufgenommen werden: dies ist zumindest für die Einbettung diskreter Medien notwendig.

Bei einer *Live-Synchronisation* geht es darum, Information in der zeitlichen Beziehung zu präsentieren, in der sie auch entstanden ist. Dies ist z. B. bei der in Abschnitt 4 erwähnten Gruppenarbeit erforderlich: Wenn sich zwei Arbeiter an verschiedenen Orten über ein neues Fertigungsmuster unterhalten und mit dem Bildschirmzeiger auf bestimmte Punkte deuten, dann sollen beide Datenströme gekoppelt sein, damit Aussagen wie „An dieser Stelle sehen wir . . .“ auch semantisch richtig wiedergegeben werden. Live-Synchronisation wird oft durch einen räumlichen Zusammenhang der zu synchronisierenden Informationseinheiten erleichtert, etwa durch eine verstränkte Codierung der zu synchronisierenden Ströme.

Liegen die zu synchronisierenden Informationseinheiten bereits vor der Präsentation vollständig vor, spricht man von *synthetischer Synchronisation* [28]. Dieser Fall tritt beispielsweise in den in Abschnitt 4 vorgestellten Lern- und Simulationssystemen auf. Hier geht es primär um das korrekte Zusammensetzen von einzeln aufgenommenen Informationselementen. Dieses Zusammensetzen wird durch Operatoren wie *parallel*, *sequentiell* und *unabhängig* definiert [27, 39].

text sei auf die Arbeiten im Bereich der Multimedia-Datenbanken hingewiesen [33].

Der Rechner als Werkzeug zum wahlfreien Speicherzugriff erlaubt, von der traditionellen linearen Organisation von Information abzugehen. Attribute können dazu verwendet werden, verschiedene Daten im Speicher miteinander in Beziehung zu setzen. So können Referenzen vom Namen einer Schauspielerin auf alle Filme führen, in denen sie mitgespielt hat. Solche Attribute bilden Hypermedia-Referenzen. Sie erlauben Benutzern, strukturierte, aber selbst gewählte Wege durch eine Datensammlung einzuschlagen; [37] erklärt die hierbei möglichen Varianten genauer.

In Hypermedia-Systemen wechseln zwei Phasen der Informationsgewinnung einander ab: das Navigieren durch den Referenzgraphen und die eigentliche Informationswiedergabe. Dabei kann es vorkommen, daß sich der Benutzer aufgrund der Vielzahl möglicher Verzweigungen und Pfade in der Datensammlung verliert („lost in hyperspace“). Ein gutes Hypermedia-System muß deshalb Navigationshilfen anbieten und für den Benutzer nicht nur Fragen wie „Wo bin ich?“, „Was kann ich hier tun?“, „Wie bin ich hierher gekommen?“ und „Wo kann ich hin?“ beantworten, sondern zudem Empfehlungen auf Fragen der Art „Wo sollte ich hin?“ unterbreiten.

Produktionsdienste. Während bei diskreten Medien gemeinhin das gleiche Werkzeug zum Erfassen und zum Verändern dient, wird bei der Bild- und Tonproduktion unterschieden zwischen der initialen Aufnahme der Daten und ihrer Weiterverarbeitung. Diese Trennung ergibt sich aus der Eigenschaft kontinuierlicher Medien, anders als etwa Text keine Korrekturen beim Aufnahme-prozess zuzulassen.

Beim Modifizieren von kontinuierlichen Medien lassen sich zwei Formen unterscheiden: Die „Inhaltsänderung“ verändert die Bild- und Toninformation selbst, modifiziert also den Wert eines Einzelbildes oder Audiofragments. Die „Stellungsänderung“ modifiziert die Anordnung von Bild- und Tonwerten, setzt also eine neue Ablaufreihenfolge fest. Stellungsänderungen machen den Großteil der Nachbearbeitung von Bild- und Tonmaterial aus. Bei Inhaltsänderungen bedient man sich vordefinierter Bibliotheksfunktionen der verfügbaren Geräte und Signalprozessoren.

8. Schlußbemerkung

In dieser Arbeit haben wir erläutert, welche Ziele mit der Entwicklung integrierter verteilter Multimedia-Systeme verbunden sind und welche technischen Fragen dabei beantwortet werden müssen. Eine Betrachtung der heute zur Verfügung stehenden Produkte zeigt, daß wir noch weit von der Integration entfernt sind: CD-I als Beispiel eines nahezu ausgereiften Produkts ist ein in sich geschlossenes System; heute verfügbare Arbeitsplatzrechner mit Multimedia-Komponenten verhindern nicht Störungen in der Tonausgabe, wenn man heftig die Maus des Geräts bewegt – sie nehmen keine sorgfältige Systemverwaltung vor. Doch solche Systeme erlauben uns heute

schon. Multimedia-Anwendungen mit unterschiedlichen Systemlösungen genauer zu betrachten und geeignete Verfahren zur Verwirklichung der Integration zu erarbeiten.

Diese Arbeit entstand aus unseren Erfahrungen in den Multimedia-Projekten DiME und DASH. Wir danken unseren Kollegen J. Rückert, B. Schöner und H. Schmutz vom Europäischen Zentrum für Netzwerkforschung der IBM in Heidelberg sowie D. Anderson von der University of California at Berkeley für viele kontroverse und konstruktive Diskussionen im Rahmen dieser Projekte.

Literatur

1. Special Issue on ISDN. Proc. IEEE, Vol. 79, No. 2, Feb. 1991
2. M-Motion Video Adapter/A. User's Guide, Product Description. IBM 1990
3. The Parallax 1280 Series Videographic Processor. Parallax Graphics 1987
4. Ambron, S., Hooper, K.: Interactive Multimedia. Redmond, WA: Microsoft Press 1990
5. Anderson, D.P., Govindan, R., Homsy, G.: Abstractions for Continuous Media in a Network Window System. Techn. Rep. UCB/CSD 90/596, UC Berkeley, Sept. 1990
6. Anderson, D.P., Herrtwich, R.G.: Resource Management for Digital Audio and Video. IEEE Workshop on Real-Time Operating Systems and Software. Charlottesville, May 1990
7. Anderson, D.P., Herrtwich, R.G., Schaefer, C.: SRP: A Resource Reservation Protocol for Guaranteed-Performance Communication in the Internet. Techn. Rep. 90-006, International Computer Science Institute, Berkeley, Feb. 1990
8. Anderson, D.P., Homsy, G.: Abstractions for Continuous Media in a Network Window System. Int. Conf. on Multimedia Information Systems, Singapore, Jan. 1991
9. Anderson, D.P., Tzou, S., Wahbe, R., Govindan, R., Andrews, M.: Support for Continuous Media in the DASH System. 10th Int. Conf. on Distributed Computer Systems, Paris, May 1990
10. Arons, B., Binding, C., Lantz, K., Schmandt, C.: The VOX Audio Server. 2nd IEEE COMSOC International Multimedia Communications Workshop, Montebello, Quebec, Apr. 1989
11. Blair, G., Hutchison, D., Shepard, D.: Multimedia Systems. Tutorial, 3rd IFIP Conference on High-Speed Networking, Berlin 1991
12. Bormann, U., Bormann, C.: Offene Bearbeitung multimedialer Dokumente. Info.-Spektrum 14, 270 (1991)
13. Butscher, B., Henckel, L., Luckenbach, T.: Die Kommunikationsplattform BERKOM für multimediale Anwendungen. Info.-Spektrum 14, 261 (1991)
14. Champine, G., Geer, D., Ruh, W.: Projekt Athena as a Distributed Computer System. IEEE Comp. 23, No. 9 (1990)
15. Corey, D., Schmidt, J., Abel, M., Bulick, S., Coffin, S.: Multimedia Communications: The US West Advanced Technologies Prototype Telecollaboration System. 5th IEEE International Workshop on Telematics, Denver, Sep. 1989
16. Ellis, C. A., Gibbs, S. J., Rein, G. L.: Groupware: Some Issues and Experiences. Commun. ACM 34, No. 1 (1991)
17. Fiume, E., Tschritzis, D.: Multimedia Objects, in: Active Object Environments (D. Tschritzis, ed.), University of Geneva 1988
18. Harney, K., Keith, M., Lavelle, G., Ryan, L. D., Stark, D. J.: The i750 Video processor: A Total Multimedia Solution. Commun. ACM 34, No. 4 (1991)
19. Herrtwich, R. G.: Betriebsmittelvergabe unter Echtzeitgesichtspunkten. Info.-Spektrum 14, 123 (1991)
20. Herrtwich, R. G.: The Role of Performance, Scheduling, and Resource Reservation in Multimedia Systems, in: Operating Systems in the Nineties and Beyond (J. Nehmer, ed.), Lecture Notes in Computer Science, Berlin-Heidelberg-New York: Springer (in press)