

デジタルミュージアムマルチメディア MUD のための ブラウザの設計と実装

由 良 俊 介[†] 鵜 坂 智 則[†] 坂 村 健^{††}

本論文はデジタルミュージアムのマルチメディア MUD (MMMUD) のためのブラウザの設計と実装について述べる。MMMUD ブラウザは MMMUD の提供するマルチユーザ仮想環境にアクセスするためのユーザインタフェースソフトウェアである。多数のコンテンツを含む大規模な仮想環境においては、コンテンツにアクセスするためのユーザインタフェース、広大な仮想環境におけるユーザの活動支援という課題がある。そこで本研究では、前者の課題についてはツールメタファ、後者の課題についてはビデオガイドを提案する。ツールメタファでは、他ユーザと協調しながらグループ化されたコンテンツにアクセスすることができる。ビデオガイドは、仮想環境に埋め込まれた人間のビデオ映像で、仮想環境の説明をするなどしてユーザの活動を支援する。また本論文では、MMMUD ブラウザの実装を通じて提案した手法の有効性を検証するとともに、安価な計算機環境で MMMUD が利用可能であることを示す。

Design and Implementation of the Browser for the Multimedia Multi-User Dungeon of the Digital Museum

SHUNSUKE YURA,[†] TOMONORI USAKA[†] and KEN SAKAMURA^{††}

This paper describes a design and implementation of the browser for the Digital Museum multimedia multi-user dungeon (MMMUD). MMMUD browser is a user interface software to the multi-user virtual environment provided by MMMUD. In the large-scale virtual environment with many contents, there are themes such as user interface for accessing the contents and support of user's navigation in the immense virtual environment. We introduce the tool metaphor for the former problem and the video guide for the latter. The tool metaphor is an interface for accessing grouped contents collaboratively. The video guide is an embedded video image of human body in the virtual environment and guide the user with explanation about the virtual environment. This paper examines effectiveness of proposed ideas through implementation of MMMUD browser and shows that MMMUD is available from inexpensive computing environment.

1. はじめに

コンピュータネットワーク上に仮想社会を構築することができるマルチユーザ仮想環境は、その応用範囲の広さから近年注目されている。代表的な応用としては、ユーザ同士の仮想的なコミュニケーション環境を提供する MUD (Multi-User Dungeon)、実世界のシミュレーションを目的としたマルチユーザ仮想現実、娯楽の分野ではマルチプレイヤーゲームなどがある。さらに最近では、WWW (World Wide Web) の普及

とともにネットワークを通じて多数のコンテンツが提供されるようになったが、このような多数のコンテンツにアクセスするための環境としてマルチユーザ仮想環境を利用しようとする応用の重要度が高まっており、VRML¹⁾ (Virtual Reality Modeling Language) をベースとした様々なシステムが開発されている。

コンピュータ技術によって従来の博物館を強化することを目指している我々のデジタルミュージアム²⁾でも、博物館の収蔵資料という多数のコンテンツを広く一般に公開するための手段としてマルチユーザ仮想環境システムに注目した。実世界の博物館では、人間同士のインタラクションは重要な役割を果たしている。たとえば、教育目的で博物館を利用する例として、教師が生徒を引率して博物館を訪れる場合を考えると、生徒は教師から展示物の解説を聞いたり、他の

[†] 東京大学大学院理学系研究科情報科学専攻
Department of Information Science, Graduate School
of Science, The University of Tokyo

^{††} 東京大学総合研究博物館
The University Museum, The University of Tokyo

生徒と展示物について議論したりする。また、多数の生徒がある展示物に集まっていれば、その展示物が面白そうだということが分かる。博物資料は理解するために背景となる専門知識を必要とするものが多いが、このようなインタラクションを行うことにより、1人で展示物を観賞するのに比べ、展示物についてはるかに理解を深めることができる。このように実世界の博物館で重要な他者とのインタラクション機能が備わっていないければ、仮想博物館システムとしてはふさわしくないと考え、デジタルミュージアムでは、マルチメディアデータとしてデジタルアーカイブしている博物資料を提供するための環境として、マルチユーザ仮想環境システムである MMMUD (マルチメディア MUD) を開発した。

仮想博物館のように、多数のコンテンツにアクセスするための環境としてマルチユーザ仮想環境を利用する応用では、特にユーザの利用の面から見るといくつかの課題がある。第1の課題は、コンテンツにアクセスするためのユーザインタフェースである。多種多様で相互に関連性のあるコンテンツにアクセスするためには、どのようなユーザインタフェースが望ましいか、またコンテンツに複数のユーザで協調しながらアクセスすることができるか、という課題がある。第2の課題は、大規模な仮想環境におけるユーザの活動支援である。多数のコンテンツを扱う場合仮想環境の規模は大きくなるが、広大な仮想環境では一般に自分自身の位置を見失う問題 (wayfinding 問題³⁾) が生じるため、ユーザの活動を支援する何らかの機能が必要とされる。第3の課題は、安価な計算機環境での利用である。広く一般に利用される応用では、性能の低い安価な端末が狭帯域のネットワークに接続されるような安価な計算機環境からも利用可能であることが要求される。

そこで本研究では、第1の課題についてはツールメタファという概念を提案する。ツールメタファは、複数種類のツールを使ってグループ化されたコンテンツにアクセスするユーザインタフェースで、複数のユーザが互いにインタラクションしながら同時にコンテンツにアクセスできるようにするための協調ツール適用環境を提供する。第2の課題については、ビデオガイド機能を提案する。ビデオガイドは人間のビデオ映像で表現された特別なアバター (仮想環境におけるユーザの代理の存在) で、音声やジェスチャにより仮想環境の概要を説明したりユーザのアバターを案内する。第3の課題については、安価な機器で構成される端末で MMMUD が利用可能であることを実装を通じて示

す。また、MMMUD で用いている安価な計算機環境でユーザのビューのリアルタイム表示を行うためのアルゴリズム⁴⁾の概要についても述べる。

本研究では、MMMUD のユーザインタフェースソフトウェアである MMMUD ブラウザの設計と実装を行い、運用実験を通じて提案した手法の有効性を検証する。

2. 関連研究

マルチユーザ仮想環境を提供するシステムはこれまで様々なものが開発されている。LambdaMOO⁵⁾ はテキストベースの Multi-User Dungeon (MUD) システムであり、すべての情報がテキストのみで提供される。仮想現実の分野では、RING⁶⁾、MASSIVE⁷⁾、DIVE⁸⁾などのシステムがマルチユーザ仮想環境を提供しているが、これらのシステムでは主にサーバの構成に主眼が置かれており、仮想環境中のコンテンツへのアクセス方法などのユーザインタフェースには言及していない。VRML をベースにマルチユーザ仮想環境を提供する LivingWorlds⁹⁾ では、CommunityPlace¹⁰⁾などのブラウザが開発されている。LivingWorlds ではスクリプトノードやメッセージノードによりコンテンツへのアクセスが可能であり、またリンクを通じて WWW コンテンツにアクセスすることができるが、複数ユーザでの協調アクセスはできない。

仮想世界へのビデオの導入に関しては、InterSpace¹¹⁾ や VideoWidgets¹²⁾ が開発されている。InterSpace はユーザの顔のビデオ映像を取り込み、アバターを識別したり表情を伝えたりするために利用している。VideoWidgets では、階層ビデオ映像によって作られたビデオアクターを用いてアプリケーションのガイドを行っているが、2次元のアプリケーションでのみ利用可能であり、3次元環境での利用はできない。

3. MMMUD の概要

ここでは、MMMUD の提供するマルチユーザ仮想環境 (図1) とシステムアーキテクチャの概要を述べる。多数のコンテンツを有する仮想環境はいくつかの空間に分割されるのが自然であると考え、MMMUD では仮想環境を部屋の集合として構成した。部屋はお互いに通路によって連結される。部屋と通路によって仮想環境の枠組みが定義されるのに対し、オブジェクトは仮想環境の中身を定義する。オブジェクトはそれぞれある特定の部屋に所属する。オブジェクトは、アバターオブジェクトと展示オブジェクトに分けられる。アバターオブジェクトは仮想環境におけるユーザの代

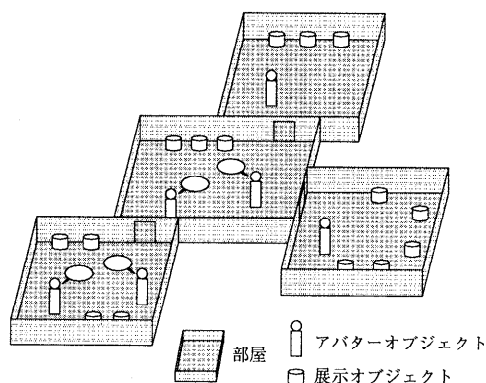


図1 マルチユーザ仮想環境

Fig. 1 Multi-user virtual interaction environment.

理の存在であり、ユーザは自分のアバターオブジェクトを操作することにより仮想環境内で活動することができる。展示オブジェクトは仮想展示物を定義する。仮想環境を視覚化するため、モデルデータによりオブジェクトの外観や仮想環境の装飾を定義する。MM-MUDは視覚インタラクションと会話インタラクションの2種類のインタラクションをサポートしている。視覚インタラクションというのは、他オブジェクトの外観や行動をお互いに見ることができる、ということで、会話インタラクションというのは、アバターどうしで会話が可能ということである。広大な仮想環境と多数のユーザをサポートするため、MMMUDではインタラクションを特定のスコープに限定している。

MMMUDは、仮想環境を管理するMMMUDサーバと、ユーザインタフェースソフトウェアであるMM-MUDブラウザから成るサーバ・クライアントアーキテクチャで構成されている。大規模な仮想環境をサポートするため、MMMUDサーバは複数のサーバプロセスから成る¹³⁾。MMMUDサーバは、仮想環境が正しく動作するよう部屋データ、オブジェクトデータ、モデルデータ、コンテンツなどMMMUDのあらゆる種類のデータを管理し、リアルタイムに移動するアバターの最新の座標、向き、速度、加速度をブラウザからの更新メッセージにより管理する。また、MMMUDではアバターどうしの音声による会話¹⁴⁾をサポートしており、MMMUDサーバは音声データの中継を行う。MMMUDブラウザは、ユーザコマンドを受け付けて実行し、必要なオブジェクトデータ、部屋データ、モデルデータやコンテンツをサーバからダウンロードして管理し、アバターのビューやツールの適用の様子をリアルタイムに表示する。

4. ツールメタファ

博物館のコンテンツは、博物資料の高精細な画像であったり、3次元の形状データであったり、解説文であったりするなど、収蔵する博物資料と何らかの関係がある。そこで我々は、コンテンツをグループ化し、コンテンツ群を代表するものを展示オブジェクトとして仮想環境に配置することにした。ツールメタファは展示オブジェクトを通じてコンテンツ群にアクセスするためのユーザインタフェースで、実世界で物を詳細に観察する際に道具を使うのと同様に、展示オブジェクトにツールを適用することでコンテンツにアクセスすることができる。ツールはコンテンツの種類に対応しており、ツールを使い分けることで複数種類のコンテンツにアクセスすることができる。また、展示オブジェクトどうしすなわちコンテンツ群どうしを関連づけることができ、現在ツールを適用している展示オブジェクトから関連する他の展示オブジェクトのある位置までユーザのアバターを移動させることができる。ツールメタファは、複数のユーザが協調しながらコンテンツ群にアクセスできるようにするため、展示オブジェクトごとに協調ツール適用環境を定義している。協調ツール適用環境では、同じ展示オブジェクトにツールを適用している他ユーザと会話をしたり、他ユーザのツール適用の様子を観察したり、他ユーザのツール適用の状態を自分のツール適用の状態としてコピーすることができる。

コンテンツにアクセスするためのマルチユーザ仮想環境システムであるVRMLベースのシステムとツールメタファを比較してみると、VRMLでは仮想環境中のオブジェクトからWWWコンテンツへハイパーリンクを張ることで多数のWWWコンテンツへアクセスすることができるが、WWWコンテンツへアクセスするには、協調ツール適用環境のようにユーザ同士でインタラクションを行うことができない。また、WWWコンテンツはアクセスしてみなければコンテンツの種類が分からないが、ツールメタファではツールがコンテンツの種類を表しているの、ユーザは自分の見たい種類のコンテンツに直感的にアクセスすることができる。

次に、MMMUDブラウザにおけるツールメタファの設計について述べる。MMMUDブラウザは、仮想環境モードとツールモードから成る。仮想環境モードでは、アバターのビューがリアルタイムに表示され(図2)、ユーザはビューを見ながら移動コマンドによりアバターを操作することができる。アバターの目の

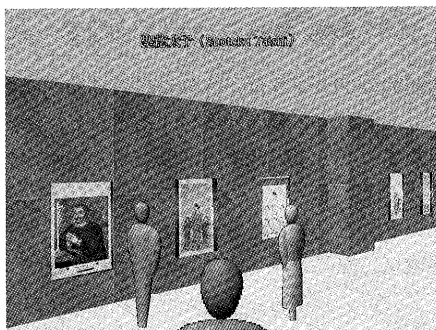


図 2 仮想環境モード

Fig. 2 World mode.

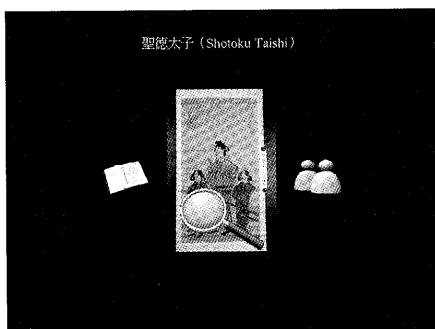


図 3 ツールの選択

Fig. 3 Tool selection.

前に展示オブジェクトがある場合は、そのオブジェクトにツールの適用が可能であることを表すために画面の上部にそのオブジェクトの名前が表示される。ツールモードは協調ツール適用環境においてツールを選択して展示オブジェクトに適用するためのモードである。仮想環境モードで展示オブジェクトが目の前にある状態で決定コマンドを実行すると、ツールモードへ移行する。ツールモードへ移行すると、対象オブジェクトが画面中央に飛び出してきて、その周囲を利用可能なツールが囲む（図 3）。ツールを選んで決定コマンドを実行するとそのツールを利用することができる。現在 MMMUD は虫眼鏡ツール、回転ツール、解説ツールの 3 種類のツールをサポートしている。また、他アバターのツール適用の様子を観察するための協調ツールも用意している。

虫眼鏡ツール 虫眼鏡ツールは対象のオブジェクトの高解像度画像を見るためのツールである（図 4）。画像の解像度は画面の解像度よりも通常高いので、虫眼鏡ツールでは拡大・縮小コマンドとスクロールコマンドが用意されている。これらのコマンドはリアルタイムに実行されるので、ユーザは自由に対象オブジェクトの全体を概観したり細部を詳細に観察したりするこ



図 4 虫眼鏡ツール

Fig. 4 Magnifying glass tool.



図 5 回転ツール（測定）

Fig. 5 Rotation tool (measure).

とができる。

回転ツール 回転ツールにより、3 次元形状データで表現された対象オブジェクトを回転したり拡大したりして観察することができる。回転ツールでは、コンテンツの種類によっていくつかの追加コマンドが提供される。測定コマンドでは、対象オブジェクトの任意の部分の長さを測ることができる（図 5）。対象オブジェクト上には交差する 2 つの測定カーソルが表示され、その交点が測定点を表している。決定コマンドを実行すると交点が測定原点として設定され、測定カーソルを移動させると測定原点と新たな交点との距離が表示される。また、画面の右には 2 つの測定カーソルに対応した断面図が表示される。時間的要素を持つコンテンツに対しては時間変更コマンドが用意されている。図 6 は、日本の震源地のプロットである。震源地はすべてタイムスタンプとともに保存されており、時間変更コマンドにより、任意の期間におきた地震の分布を観察することができる。

解説ツール 解説ツールにより、対象オブジェクトの詳細な説明を得ることができる（図 7）。説明文章は、テキスト、画像、ハイパーリンクから成るハイパーテキストで記述されており、テキストは音声によっても読みあげられる。ハイパーリンクは他のハイパーテキストを指すだけでなく、他の展示オブジェクトを指す

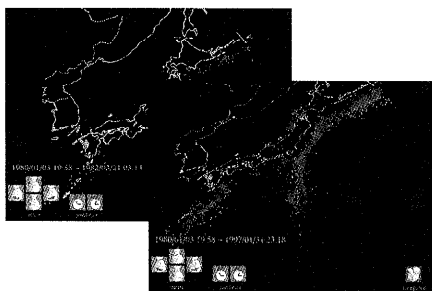


図 6 回転ツール (震源地の分布)
Fig. 6 Rotation tool (earthquake).

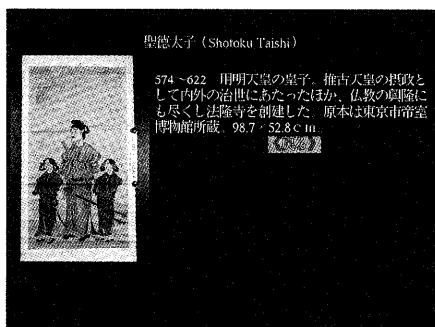


図 7 解説ツール
Fig. 7 Explanation tool.

こともでき、展示オブジェクトを指しているハイパーリンクをたどると、アバターは仮想環境モードに戻ってその展示オブジェクトの前に自動的に移動する。

協調ツール 協調ツールは同じ展示オブジェクトにアクセスしている他のアバターのツール適用の様子を観察するためのツールである。協調ツールの画面は対応するツール適用の画面と同じだが、観察対象のアバター名が画面の上部に表示され、そのアバターのツール操作に従って画面がリアルタイムに更新される(図8)。協調ツールで決定コマンドを実行すると、そのツール適用の状態がローカルにコピーされ、対応するツール適用に移行することができる。

5. ビデオガイド

ビデオガイドは、仮想環境でユーザのアバターが活動するのを支援する特別なアバターで、そのモデルデータはクロマキー技術によって作成された人間のくりぬきビデオ映像である(図9)。Wayfinding問題に対しては、従来オブジェクトの検索機能や仮想環境のマップ機能などが提供されていたが、ビデオガイドでは人間のジェスチャと音声によってより直感的に仮想環境の構造やオブジェクトに関する解説を行うことができる。たとえば、仮想環境の主要な分岐点にビデオ

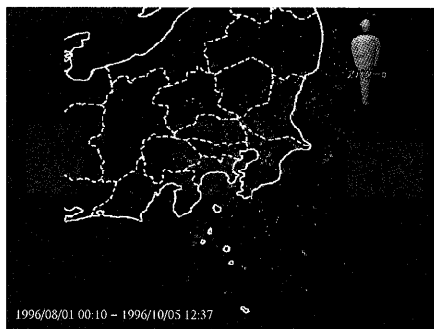


図 8 協調ツール
Fig. 8 Collaboration tool.



図 9 ビデオガイド
Fig. 9 Video guide.

ガイドを配置してそれぞれの行き先に関する解説をさせたり、部屋の入口に配置してその部屋にあるオブジェクトの概要について説明させることで、ユーザは自分の周囲の様子をつねに把握することができる。スケーリングもビデオガイドの特徴で、特に実寸が大きな展示オブジェクトをビデオガイドと同じ縮尺で表示することにより、ユーザは展示オブジェクトの大きさを実感することができる。また、あらかじめ編集されたビデオガイドだけでなくリアルタイムに人間がビデオガイドとして仮想環境に登場することも可能で、この場合はまさに実世界で来訪者を案内するのと同様に仮想環境内でユーザの活動を支援することができる。

また、ビデオガイドはガイドツアーの機能も提供している。ビデオガイドには、巡回ルートとビデオガイドを見るための最適な視点が設定されている。ガイドツアー副モード(仮想環境モードの副モード)に入ったアバターは最適な視点に自動的に移動し、ビデオガイドを追従しながら、仮想環境を自動的にまわることができる。ガイドツアーの巡回ルートとして仮想環境の代表的な地点を設定しておけば、ガイドツアーに参加したユーザは仮想環境の全体構造の概要を知ることができる。

ビデオガイドと従来の検索機能やマップ機能との相異点としては、従来の方法が自動的に提供される機能であるのに対し、ビデオガイドは新たに作る必要がある点である。仮想環境の構造が変化した場合、ビデオガイドの修正が必要となる。また、リアルタイムなビデオガイドでは、ビデオガイドの数だけ演者が必要となるので、支援することができるユーザの数が限られる。したがって、ビデオガイド機能は、従来の機能と相互に補完しあう機能であるといえる。

6. 実 装

MMMUD ブラウザの有効性を検証するため、1997年に開催された東京大学創立 120 周年記念イベントの 1 つである知の開放展において、MMMUD システムによる仮想展示を行った。MMMUD システムは 2 カ月間稼働させたが、展示会を訪れた総勢 48,000 人の利用にも問題なく運用することができた。展示会を訪れる人は基本的に MMMUD について初心者であることから、タッチパネルやジョイスティック、ボタンなどで直接的に操作することができるキオスク端末上に MMMUD ブラウザを実装した。キオスク端末はタッチパネル端末とジョイスティック端末の 2 種類を用意した。この展示会では、東京大学の部門ごとに代表的な資料を、資料の実物とサポートする計算機から構成されるカプセルと呼ばれる展示ユニットにより展示した。タッチパネル端末はカプセルの一部として実装し、ジョイスティック端末は 360 度の投影角と 180 度の視野角の半球状のスクリーンを持つ VisionDome¹⁵⁾ 用に実装した。展示会場には、タッチパネル端末を含むカプセルを 16 台、ジョイスティック端末を含む VisionDome を 1 台設置した。

MMMUD で構築した仮想環境は、100 の部屋、700 の展示オブジェクト、1600 のコンテンツから構成される。部屋は 25 の領域に分類され、中央の部屋からそれぞれの領域に接続するよう仮想環境を構成した。仮想環境の一部では、過去に東京大学総合研究博物館で開催された実展示の仮想的な再現も行った。ビデオガイドはそれぞれの領域に配置し、その領域の概要を 1 分ほどで説明させるようにした。

MMMUD 端末には Intel 社の 266 MHz の Pentium-III チップと 128 MB のメモリで構成される PC/AT 互換機を用い、OS は FreeBSD、ウィンドウシステムは X Window を用いた。MMMUD サーバとは 100BASE のファーストイーサネットに接続されている。MMMUD ブラウザは、リアルタイム表示を行う描画処理部、入力デバイスからのユーザコマンドを処

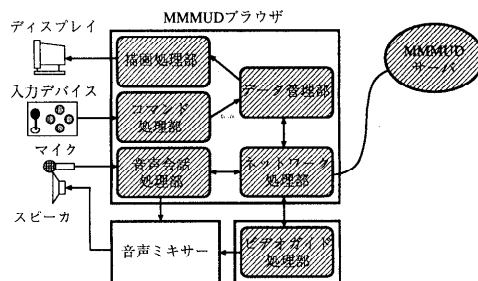


図 10 MMMUD ブラウザの構成

Fig. 10 Structure of MMMUD browser.

表 1 MMMUD ブラウザのソースコードの内訳
Table 1 Source code of MMMUD browser.

ブラウザ	21,510	ビデオサーバ	5,750
描画処理部	6,170		
コマンド処理部	5,320		
音声会話処理部	2,380		
データ管理部	5,440		
ネットワーク管理部	1,640		
その他	560		

理するコマンド処理部、会話処理を行う音声会話処理部、各種データを管理するデータ管理部、MMMUD サーバやビデオガイド処理部とデータをやりとりするネットワーク管理部から成る (図 10)。ブラウザはすべて C 言語で記述されており、ソースコードの内訳は表 1 のとおりである。

ビデオガイド ビデオガイド機能を実装するために、それぞれの MMMUD 端末にビデオプレイヤを設置した。ビデオプレイヤで再生されるビデオ映像はビデオキャプチャボードで取り込まれ、ビデオサーバで処理されたうえで MMMUD ブラウザに転送される (図 11)。この方式により、ネットワーク帯域を必要とせず、また安価な装置で高画質のビデオ映像を提供することができる。また、前後左右の 4 方向からのビデオ映像を画面分割して 1 つのビデオ映像に合成することで、ビデオガイドを複数の映像で表現することができ、擬似的に 3 次元でビデオガイドを表示できるようにした。ビデオサーバはアバターの座標と方向からビデオガイドの方向を求め、対応するビデオ映像を取り出す処理を行う。ビデオ映像には検出可能なカラーパターンも埋め込まれていて、ビデオガイドの移動とビデオ映像を同期させるのに用いられる。アバターの 3 次元ビューをリアルタイムに表示するためには演算パワーを必要とするので、ビデオサーバはブラウザプロセスとは別の計算機 (SUN ワークステーション) 上で動作させた。なお、我々の開発環境では SUN ワークステーションを利用したが、性能的には標準的な PC

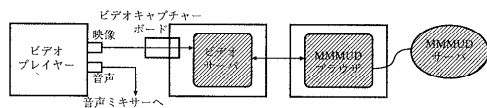


図 11 ビデオガイド処理部のハードウェア構成
Fig. 11 Hardware configuration for video guide.

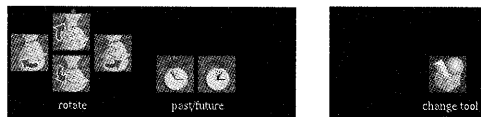


図 12 タッチパネル端末のコントロールアイコン
Fig. 12 Control icons of the touch panel terminal.

互換機等で代用可能である。また、今回の実装ではビデオプレイヤーの再生をコントロールすることができなかったため、つねにビデオガイドが仮想環境を巡回してしまっていたが、コントロール可能なビデオプレイヤーを用意すればビデオガイドを所定位置に待機させてユーザへのガイドを行うことができる。

入力デバイス ツールメタファの説明に用いた図 6 はタッチパネル端末の画面例で、画面下部にはコントロールアイコンが表示されている（図 12）。すべてのコントロールコマンドがそれぞれ別のアイコンに割り振られている（表 2）。誤操作による意図しないモード変更を防ぐため、移動用のアイコンとモード変更用のアイコンを離して配置した。図 12 の場合、回転ツールを終了するためのアイコンは右端に表示され、その他のツール操作用のアイコンはまとめて左端に表示される。

ジョイスティック端末ではボタンの数が限られるため、すべてのコマンドを別々のボタンに割り振ることができない。今回利用したジョイスティックはスティック 1 つとボタン 4 つから成る構成だったので、基本的な 4 つの機能（シフト、決定、取消、切替）をボタンに割り付け、スティックとボタンの組合せでコマンドを表現した（表 3）。決定ボタンと取消ボタンはモード変更に用いられる。シフトボタンはスティックと組で用いられ、様々な移動コマンドやツール操作コマンドを表す。切替ボタンは、仮想環境モードではガイドツアー副モードの切替えやアバターの視点切替えに用いられる。また、回転ツールの測定コマンド使用時は、たくさんのツール操作コマンドが必要となるため、切替ボタンでスティックの機能を切り替えるようにした。

ビューのリアルタイム表示 MMMUD ブラウザはアバターが仮想環境内を自由に活動できるようにするため、必要な情報をリアルタイムにユーザに提供することが求められる。ツールモードでは、必要なデータ

表 2 タッチパネル端末のコマンド
Table 2 Commands of the touchpanel terminal.

共通	
	仮想環境モードへ戻る
	ツール選択へ戻る
仮想環境モード	
	前後左右移動
	左右回転
	上下移動
	視点の切替
	ガイドツアー副モードの切替え
ツールモード	
	ツール選択
	ツールの切替え
	選択されたツールの適用
	虫眼鏡ツール
	スクロール
	拡大・縮小
回転ツール（測定）	
	回転
	測定カーソルの移動
	拡大・縮小
	測定原点の決定
回転ツール（震源地）	
	回転
	時間の変更
解説ツール	
	スクロール・ハイパーリンクの選択
	ハイパーリンクをたどる
協調ツール	
	観察対象アバターの切替え
	ツール適用状態のコピー

であるコンテンツはツールを利用する前にすべてサーバからダウンロードされツール利用中は変化しないので、リアルタイム表示はそれほど問題ではないが、仮想環境モードでは、必要なデータ、つまりアバターのビューに含まれるオブジェクトのモデルデータはアバターの移動に従って変化する。ところが、特に安価な計算機環境では、ネットワーク帯域の限界からビューの表示に必要なすべてのデータをダウンロードすることができるとは限らず、また端末の計算能力の限界からビューに含まれるすべてのオブジェクトを表示すると多大な時間がかかってしまう可能性がある。それでも、ブラウザはユーザが不自然さを感じないような一定のフレームレートを維持しながらある程度の画質のビューを提供する必要がある。そこで、MMMUD プ

表 3 ジョイスティック端末のコマンド
Table 3 Commands of the joystick terminal.

仮想環境モード	
スティック	前後移動・回転
シフト + スティック	左右上下移動
切替	視点の切替え
シフト + 切替	ガイドツアー副モードの切替え
決定	ツールモードへ移行
ツールモード	
スティック	ツール選択
決定	ツールの切替え
取消	選択されたツールの適用 仮想環境モードへ戻る
虫眼鏡ツール	
スティック	スクロール
シフト + スティック	拡大・縮小
取消	ツール選択へ戻る
回転ツール (測定)	
スティック	測定カーソルの移動/回転
シフト + スティック	拡大・縮小
決定	測定原点の決定
切替	スティックの機能切替え
取消	ツール選択へ戻る
回転ツール (震源地)	
スティック	回転
シフト + スティック	時間の変更
取消	ツール選択へ戻る
解説ツール	
スティック	スクロール・ハイパーリンクの選択
決定	ハイパーリンクをたどる
取消	ツール選択へ戻る
協調ツール	
スティック	観察対象アバターの切替え
決定	ツール適用状態のコピー
取消	ツール選択へ戻る

ラウザではビューにおける重要度を基にすべてのオブジェクトの優先度を求め、優先度に応じてネットワークの帯域と演算パワーをオブジェクトに割り振る手法⁴⁾を開発した。ネットワーク帯域の分割を有効にするため、データのダウンロード時にプログレッシブの手法を用いた。この手法では、一部のデータでオブジェクトの概観を表示でき、データのダウンロードに従い解像度を徐々に高めることができる。演算パワーの分割のためには多重 LOD (levels of detail) の手法を導入した。多重 LOD で表現されたオブジェクトは、複数の解像度、つまり複数のコストで描画することができる。多重 LOD では LOD 決定アルゴリズムが必要だが、一定のフレームレートを持続しながらオブジェクトを描画することができる予測アルゴリズム¹⁶⁾を採用した。予測アルゴリズムでは、すべてのオブジェクトについて演算コストと描画コストの予測値を求め、予測コストの合計がフレーム時間を超えないようにそれぞれのオブジェクトの LOD を決定する。文献 16) では 3 次元形状データのみ扱っていたが、MMMUD ではモデルデータとしてビットマップ画像データと 3 次元形状データをサポートしているので、複数種類のデータの混在に対応できるようアルゴリズムを拡張

した。

7. 評価とまとめ

まず、MMMUD ブラウザのユーザインタフェース全般としては、ユーザが基本的に初心者であったにもかかわらず、ほとんどのユーザは仮想環境を探索することができた。これは、ユーザインタフェースがシンプルであったためと、3 次元環境が直感的に分かりやすかったためであろう。タッチパネル端末はアイコンの絵柄からコマンドを理解しやすいため、初心ユーザにとってはジョイスティック端末より使いやすかったようだ。ジョイスティック端末はボタンの配置を覚える必要があるが、操作を覚えたユーザはタッチパネル端末よりも素早く行動することができた。

ツールメタファについては、仮想環境にはコンテンツ群のキーとなる展示オブジェクトのみ、具体的には実物資料の外観のみを配置すればよいことから、様々なコンテンツで埋めつくすことなく実世界での展示と同様の展示レイアウトで仮想展示空間を構成することができた。その結果、ユーザにとって実世界の博物館と同様の感覚で探索することができる仮想展示空間を提供することができた。ツールの利用については、展示オブジェクトにツールを適用するという直感的なユーザインタフェースのため、多くのユーザがツールを使って展示オブジェクトを詳細に観察する、すなわちコンテンツにアクセスすることができた。ただし、協調ツールについては、あまりユーザの利用がなかった。その原因としては、会場での協調ツールに関する説明不足、展示会での端末の配置方法、複数アバターで協調しながらコンテンツにアクセスするためのツールであることが分かりにくいユーザインタフェース、などが考えられるが、この評価については今後の課題としたい。

ビデオガイドについては、仮想環境の主要領域を巡回するガイドツアーを作成したため、仮想環境の概要をユーザに知らせることができ、ユーザの仮想環境における活動に役立った。

安価なコンピューティング環境からの利用に関しては、標準的な計算機とネットワーク帯域を必要としないビデオプレイヤで構成された端末上で MMMUD ブラウザをリアルタイムに動作させることができた。

本論文では、多数のコンテンツにアクセスするための環境としてマルチユーザ仮想環境を利用する場合にユーザの利用の面で生じる課題に対し、ツールメタファ、ビデオガイドの提案を行った。また、提案した手法を基にデジタルミュージアム MMMUD のための

ブラウザの設計と実装を行い、大規模な仮想展示空間を構築し、展示会において2カ月に及ぶ運用実験を行った。その結果、MMMUDブラウザは多数のコンテンツにアクセスするための環境として有効であることが分かった。また、安価な機器で構成された端末上でブラウザをリアルタイムに動作させることができ、安価な計算機環境からMMMUDが利用可能であることが分かった。

参 考 文 献

- 1) The Virtual Reality Modeling Language.
<http://www.vrml.org/Specifications/VRML97/>.
- 2) 坂村 健: デジタルミュージアム, 情報処理, Vol.39, No.5, pp.385-392 (1998).
- 3) Darken, R.P.: Wayfinding in Large-Scale Virtual Worlds, *Proc. CHI 95*, ACM, pp.45-46, ACM Press (1995).
- 4) Yura, S. and Sakamura, K.: Real-Time Browser for the Digital Museum Available with Low-Cost Terminals and Low-Bandwidth Networks, *Proc. 13th TRON Project International Symposium*, TRON Association, pp.70-80, IEEE Computer Society Press (1996).
- 5) Curtis, P.: Mudding: Social Phenomena in Text-Based Virtual Realities, *Proc. 1992 Conference on Directions and Implications of Advanced Computing* (1992).
- 6) Funkhouser, T.A.: RING: A Client-Server System for Multi-User Virtual Environments, *1995 Symposium on Interactive 3D Graphics*, pp.85-92, ACM SIGGRAPH (1995).
- 7) Greenhalgh, C. and Benford, S.: MASSIVE: a Distributed Virtual Reality System Incorporating Spatial Trading, *Proc. 15th International Conference on Distributed Computing Systems*, pp.27-34 (1995).
- 8) Hagsand, O.: Interactive Multiuser VEs in the DIVE System, *IEEE Multimedia*, Vol.3, No.1, pp.30-39 (1996).
- 9) Living Worlds. <http://www.vrml.org/WorkingGroups/living-worlds/>.
- 10) Community Place. <http://vs.sony.co.jp/Worlds/>.
- 11) Sugawara, S., Suzuki, G., Nagashima, Y., Matsuura, M., Tanagawa, H. and Moriuchi, M.: InterSpace: Networked Virtual World for Visual Communication, *IEICE Trans. Information and Systems*, Vol.E77-D, No.12, pp.1344-1349 (1994).
- 12) Gibbs, S., Breiteneder, C., de Mey, V. and Papathomas, M.: Video Widgets and Video Actors, *Proc. UIST'93*, pp.179-185 (1993).
- 13) Usaka, T. and Sakamura, K.: A Design and Evaluation of the Multi-User Virtual Environment Server System for the Digital Museum, *Proc. 13th TRON Project International Symposium*, TRON Association, pp.60-69, IEEE Computer Society Press (1996).
- 14) 森 洋久, 坂村 健: MUD の音声チャットアルゴリズムにおけるハウリング防止アルゴリズムの比較, 第55回情報処理学会全国大会論文集, pp.4.95-4.96 (1997).
- 15) Walker, G., Traill, D., Hinds, M., Coe, A. and Polaine, M.: VisionDome: A collaborative virtual environment. <http://btlabs1.labs.bt.com/people/walkergr/IBTE-VisionDome/>.
- 16) Funkhouser, T.A. and Séquin, C.H.: Adaptive Display Algorithm for Interactive Frame Rates During Visualization of Complex Virtual Environments, *Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH'93)*, pp.247-254 (1993).

(平成10年6月1日受付)

(平成10年12月7日採録)

由良 俊介 (学生会員)



昭和46年生。平成8年東京大学大学院理学系研究科情報科学専攻修士課程修了。現在同専攻博士課程在学中。ユーザインタフェースの分野に興味を持つ。ACM, IEEE Computer Society 会員。

鵜坂 智則 (学生会員)



昭和46年生。平成8年東京大学大学院理学系研究科情報科学専攻修士課程修了。現在同専攻博士課程在学中。マルチユーザ仮想環境システム、ユーザインタフェース等に興味を持つ。ACM, IEEE Computer Society 会員。

坂村 健 (正会員)



東京大学総合研究博物館教授。1984年よりTRONプロジェクト・リーダーとして新しい概念に基づくコンピュータ体系の構築に精力を注ぐ。さらに、最近はコンピュータ技術を駆使したデジタルミュージアムの構築を、東京大学総合研究博物館において手がける。