

没入型仮想環境における

3DCG キャラクタアニメーションの表示手法

鶴田 清也

崔 雄

八村 広三郎

立命館大学大学院 理工学研究科 立命館大学 COE 推進機構 立命館大学 情報理工学部

本研究は、デジタルアーカイブ化された舞踊動作を、モデリングツールを用いて作成された3DCG キャラクタに対し割り当て、大型立体表示装置において提示することにより、再現度の高い高品位なVRアプリケーションを制作することを目指している。

我々は、VR空間でのアニメーションの表示手法を示し、インタラクシオン可能な高い没入感の得られるVRアプリケーションの提案を行う。

Displaying Method of 3DCG Character Animation in Immersive Virtual Environment

Seiya Tsuruta

Graduate school of
Science and Engineering
Ritsumeikan University

Woong Choi

Center for Promotion of
the COE
Ritsumeikan University

Kozaburo Hachimura

College of
Information Science and Engineering
Ritsumeikan University

We combine digital achieved dance movement into 3DCG character using modeling tool. The object of this research is making of VR(Virtual Reality) contents of highest quality through displaying the dance movement of 3DCG character with IVE(Immersive Virtual Environment).

We propose that VR application which is available for interaction with users through displaying method of 3DCG character animation in IVE.

1. はじめに

近年、様々な歴史的文化的財を、情報技術を利用して計測・記録・保存し、さらにこのようにして得られたデジタル情報からCG技術などにより元の様子を復元し、再利用する「デジタルアーカイブ」の研究が盛んに行われるようになってきた。これは人文科学、情報科学のそれぞれの連携協力による、文理融合の研究として注目されている。このデジタルアーカイブでは、絵画や古文書など平面的な資料だけでなく、歴史的建造物などの立体形状を持つものもデジタル化し、保存する試みがなされている[1]。さらに近年では、このような有形文化財だけでなく、舞踊などの無形文化財もデジタルアーカイブの対象となっている。これらの身体動作の計測にはモーションキャプチャシステムが用いられ、無形文化財のデジタルアーカイブが行われる。すなわちデジタルアーカイブは、伝統的なものと最先端の技術による研究であると言える。

一方、CGを用いてコンピュータの中であたたかも現実であるかのような空間を構築し、それを人が体験することを可能にする仮想現実感

(VR:Virtual Reality)の技術がある。近年では、VR空間の中にユーザが実際に入り込んだような感覚、すなわち没入感を実現する没入型仮想環境が注目され、様々な研究が行われている。ユーザに没入感を与える表示装置として、HMD(Head Mounted Display)と呼ばれる頭部装着型のディスプレイや、プロジェクトを用いた大型立体表示装置がある。

本研究では、没入型仮想環境(IVE:Immersive Virtual Environment)を用いて、デジタルアーカイブ化された舞踊動作を、立体視可能なVRコンテンツとして再現することを目的とする。3DCG ツールで作成したキャラクタアニメーションを、OpenGLのプログラムによりリアルタイムレンダリングし、インタラクシオン可能なVRコンテンツを構築する。これはIVEを用いたコンテンツとしてだけではなく、舞踊を学習する上での教育コンテンツとしての利用や、仮想空間におけるインタラクシオンの実験環境としての利用も視野に入れている。

2. 舞踊のデジタルアーカイブ

無形文化財は「人」によって伝承されるものであるため、時代とともに形態が大きく変化する可能性がある。極端な場合、消滅する危険性があり、これらの正確な記録・保存が大きな課題である。舞踊や芸能などについては、これらを演じている人体の動きを計測し、記録・保存することが必要であるが、複雑な構造をしている人体の動きを計測し、記録することは必ずしも容易ではない。

舞踊に関しては、体の動きを記述する Labanotation と呼ばれる舞踊記述法があり、アメリカの舞踊界を中心に広く利用されている[2]。これは音楽における楽譜に相当し、体の動作を図形的な記号で記述するものである。しかし、この Labanotation の記譜法は必ずしも万能ではない。Labanotation 以外の方法として、映画やビデオでの記録・保存は古くから行われているが、これらは 2 次元の映像としての記録であり、踊り手や演技者の細かな 3 次元的な動きを記録することはできない。

本研究室では、数年前からモーションキャプチャを利用して、舞踊などの無形文化財をデジタルアーカイブし、動作の解析や CG による再現などの研究が行われている[3]。さらに、日本の伝統芸能である能あるいは日本舞踊などについても研究が行われており、ここでは、家元級のプロの演技による、さまざまな演目のモーションキャプチャが行われている[4]。

モーションキャプチャを用いた舞踊のデジタルアーカイブの研究として、バレエなどのダンスの基本ステップをアーカイブし、Web 上で閲覧可能にしたもの[5]や、取得した人間の舞踊動作を、ロボットで実行可能な動作に再構築し、二足歩行ヒューマノイドロボットに模倣させる研究[6]が行われている。

また、モーションキャプチャ以外で 3 次元的な動きを記録する方法として「3 次元ビデオ」がある。これは、複数のカメラを用いて撮影された多視点映像から、動的な 3 次元オブジェクトを生成する技術のことであり、3 次元ビデオの撮影や編集、表示を行う一連のシステムの研究[7][8]が行われている。さらに、この 3 次元ビデオを用いた舞踊のアーカイブ[9]や、意味の区切れによってセグメンテーションを行う研究[10]、オンラインで 3 次元映像を生成する研究[11]などが行われている。

モーションキャプチャを用いる場合、正確な身体動作の 3 次元位置を計測するために、モーションスーツと呼ばれる専用の計測用スーツを着なくてはならない。舞踊のアーカイブには身体の動きだけでなく、衣装や化粧の状態も重要であるが、これらはモーションキャプチャだけでは記録できない。一方、3 次元ビデ

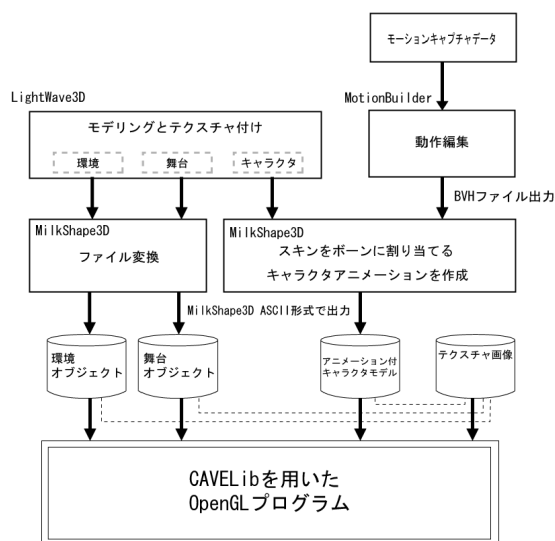


図1. システムの概要とデータの流れ

オでは衣装の状況や動きも記録できるが、利点のみがあるわけではない。3 次元ビデオの場合は、多視点映像から 3 次元の映像を生成するため、データ量が膨大である。そのため、映像生成時には処理に時間がかかり、通常の TV 映像などに比べフレームレートが落ちてしまう問題がある。

以上のようにして得られた舞踊動作は、数値的・定量的な動作分析や比較研究に利用されるが、これらのデータから 3DCG によるキャラクターアニメーションとして再現することができる。表現芸術の再現のためには、CG キャラクターそのものの詳細な表現だけではなく、それらの演技にふさわしい環境、すなわち舞台や周辺の様子も用意する必要がある。このような観点から、舞台空間などのアーカイブデータを CG により復元し、CG キャラクターと共に表示することで、アーカイブされた様々な舞踊動作の表現に利用できる。

3. キャラクターアニメーションによる舞踊動作の立体表示システム

3.1 システムの概要

提案システムの概要とデータの流れを図 1 に示す。CG キャラクターのモデリングには LightWave3D を用いる。光学式モーションキャプチャで取得したモーションデータは、MotionBuilder を用いて編集する。CG キャラクターアニメーションの制作には MilkShape3D を用い、CG キャラクターとモーションデータをこのツールにインポートし、モーションデータを CG キャラクターに割り当てる。

制作した CG キャラクタアニメーションのファイルを MilkShape3D の ASCII 形式でエクスポートし、これを CAVELib を用いた OpenGL プログラムで読み込むことにより、IVE 上で CG キャラクタアニメーションを表示する。

3.2 3DCG キャラクタのモデリング

本研究では 3DCG キャラクタアニメーションをリアルタイムに描画することを考慮し、ポリゴン数をできるだけ抑えるよう CG キャラクタをモデリングする。本研究では、CG のレンダリングは OpenGL により行うので、LightWave3D では、そのモデリング機能のみを使用する。モデリングした CG キャラクタに対し、この段階でテクスチャマッピングを設定する。制作した CG キャラクタは最終的にアニメーションを付与したいので、アニメーションによる形状の変化にテクスチャも変形する必要がある。

そのために CG キャラクタには UV マッピングを設定する。UV マッピングを行うことで、CG キャラクタが動作・変形するに伴いテクスチャがポリゴンに追従するようになる。UV マッピングの設定は、モデルを平面状に展開し、展開されたポリゴンに対しテクスチャを作成する。制作した CG キャラクタのポリゴン数は 1220、頂点数は 748 である。

3.3 モーションデータ

モーションキャプチャデータの記録形式には様々なものがある。本研究では、骨格の階層構造を持ち、モーションキャプチャデータとして比較的ポピュラーな BVH ファイルフォーマットを用いる。

BVH ファイルフォーマットは HIERARCHY 部と MOTION 部に分かれる。HIERARCHY 部では関節と関節の接続、およびモーションデータに対するオフセットが記述されている。最初に ROOT キーワードが記述され、その後名前を定義する。次に OFFSET キーワードが記述され、ROOT の基準となる位置を定義する。そして CHANNELS キーワードと数字が続く。この数字の数だけ MOTION 部からデータを読み込む。読み込むデータは Xposition, Yposition, Zposition, Zrotation, Xrotation, Yrotation, の順で格納される。

3.4 モーションデータのキャラクタモデルへの割り当て

CG キャラクタへのモーションデータの割り当てには MilkShape3D を用いる。MilkShape3D は多数のファイルフォーマットの入出力に対応しているローポリゴンモデリング・アニメーションツールである。MilkShape3D において、CG キャラクタモデルとモーションデータである BVH

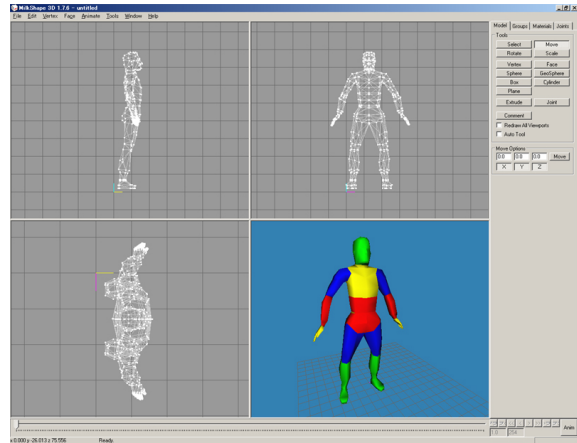


図 2. モーションデータのキャラクタモデルへの割り当て

ファイルをインポートし、CG キャラクタモデルにモーションを割り当てる(図 2)。モーションデータの CG キャラクタモデルへの割り当ては、CG キャラクタの頂点をモーションデータの持つジョイントに割り当てていく。割り当てを行うことにより、この段階で CG キャラクタモデルがモーションデータに連動してアニメーションする。これを MilkShape3D の ASCII 形式で出力する。

3.5 出力ファイルのフォーマット

MilkShape3D から出力されるファイルにはモデルの形状、マテリアル、モーションの情報が含まれる。ファイルフォーマットは Meshes 部、Materials 部、Bones 部の 3 つに分かれている。

Meshes 部では頂点座標と法線情報、およびポリゴンを構成する頂点番号が記述されている。最初にメッシュの総数が記述され、メッシュ名、頂点の総数、頂点の座標が記述される。座標の部分では、頂点の座標と共に UV マッピングのための UV 値と、その頂点がどのボーンに属するかという情報も持つ。

Materials 部ではマテリアルの総数、マテリアル名が記述されており、それに続いてアンビエント、ディフューズ、スペキュラ、エミッシブ、シャイネストランスペアレンシーの各値が記述されている。さらにカラーマップと α 用のテクスチャファイル名が記述される。

Bone 部ではジョイントの総数とジョイント名、親ジョイント名が記述され、ジョイントの初期位置とキーフレームにおける位置、回転の変化量が記述されている。

3.6 3DCG キャラクタのスキニング

3.6.1 スキニングとそのアルゴリズム

CG キャラクタアニメーションを行う場合、円柱状のオブジェクトと球を組み合わせたり、部

分ごとに作られたパーツを組み合わせて CG キャラクタを構成する方法が考えられる。この場合、CG キャラクタの関節部分に継ぎ目ができてしまう。この問題点を解決するために、1つのメッシュ構造で構成されるキャラクターを用い、フレームが進むに伴い CG キャラクタの形状を変形させてアニメーションを行う。そのためには CG キャラクタの内部にボーンを埋め込み、ボーンが動作するに従い、その外側にあるスキンの形状を変化させる。この技術をスキニングと呼び、そのアルゴリズムは以下ようになる [12][13].

- Step1: 関節部分となるジョイントの 1 フレーム間における座標の変化量より、各ジョイントの変換行列 M を求める
- Step2: 親となるジョイントから末端のジョイントに向かって変換行列の合成を行い、1 フレームにおける各ジョイントの最終的な変換行列 M_{final} を求める
- Step3: 求めた変換行列 M_{final} をそのジョイントに属する頂点 $V_{current}$ に適用し、変換後の頂点 V_{final} の座標を算出する。
- Step4: 算出された頂点 V_{final} の座標をもとにポリゴンを描画する。

3.6.2 頂点ブレンディング

スキニングのみを行った場合、関節付近ではポリゴンが他のポリゴンにめり込んでしまう現象が起こる。この問題を解決するための技術が頂点ブレンディングである。頂点ブレンディングは 1 つの頂点が 2 つ以上のジョイントから影響を受けるように設定されるものである。現在の頂点を $V_{current}$ 、変換後の頂点を V_{final} 、各ジョイントの変換行列を M_{final_n} 、頂点がジョイントから受けるウェイトを W_n とすると、変換後の頂点は

$$V_{final} = (W_0 \times V_{current} \times M_{final_0}) + (W_1 \times V_{current} \times M_{final_1}) + \dots + (W_n \times V_{current} \times M_{final_n})$$

で表される。

ただし、ウェイトは頂点がジョイントから受ける影響の比であるので、 $W_0 + W_1 + \dots + W_n = 1$ である。この処理を行うことで、関節付近がなめらかに変形する。

3.7 3DCG キャラクタのテクスチャマッピング

3.7.1 テクスチャファイルのフォーマット

本研究では、テクスチャ用の画像に TGA(Targa)ファイルを用いる。TGA ファイルは Truevision 社のグラフィックボードで使用されて

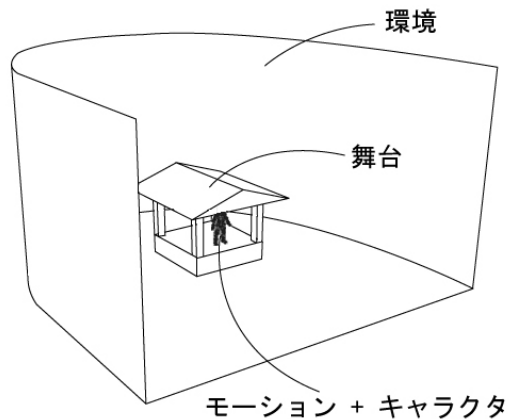


図 3. 作成したシーンの概観



図 4. LightWave3D でレンダリングした西本願寺北能舞台

いた画像形式であり、 α 値を持つことができるので、3DCG ツールのテクスチャにしばしば使用される。読み書きが高速で、ファイルの記述形式が簡単ということから TGA を用いることにする。TGA ファイルは RGB 値を持つ 24bit のものと RGB に α 値を加えた 32bit のものがある。

3.7.2 UV マッピング

本研究では、キャラクターアニメーションを行うため、CG キャラクタの形状の変化に対しテクスチャもそれに追従する必要がある。そのために UV マッピングと呼ばれる手法を用いる。UV マッピングとは、ポリゴンの頂点の座標と画像の座標を対応させてテクスチャを貼る方法のことである。3次元空間での (x, y, z) と区別するために、テクスチャの座標系には (u, v) を用いる。読み込んだテクスチャ画像は縦横それぞれが 1.0 に正規化される。モデルのファイルには頂点の座標と共に、その頂点を持つ UV 値が記述されている。この UV 値をもとに頂点の座標とテクスチャの座標を結びつけ、ポリゴンにテクスチャを貼る。これによりオブジェクトの変形にも対応することが可能になる。

3.8 IVE での実行結果

本研究では、CAVELib を用いてスキニング、UV マッピングを実装した VR コンテンツを制作した。モーションデータを割り当てた CG キャラクタに加え、CG キャラクタが踊る舞台、さらにこれらを取り囲む環境を作成した(図 3)。能舞台は、実測図をもとに作成された西本願寺北能舞台のモデルを用い、テクスチャは実際の能舞台の画像を利用した(図 4)。さらに、能舞台の特徴的部分である鏡板には、当時の様子を復元した松の絵を用いている[14]。

これらのオブジェクトは別々のファイルで構成されており、それぞれのファイルをアプリケーションから読み込み、シーンを描画する。ファイルを入れ替えることで、様々なシーンを描画することが可能である。さらに、IVE では WANDA と呼ばれるコントローラーを用いて視点位置を自由に変更することができる。これにより任意の視点から対象を観察することが可能になる。図 5 に IVE での実行結果を示す。

CG キャラクタのポリゴン数は 1220、頂点数は 748 で、舞台のポリゴン数は 1988、頂点数は 2814、環境のポリゴン数は 16、頂点数は 30 であった。描画処理に関しては、開発用の PC(OS: Windows XP professional, CPU: Xeon 2.8 GHz, RAM: 1.0 GB, Video: nVIDIA Quadro FX 500 128MB VRAM)で表示した場合、60FPS 前後のパフォーマンスが得られたが、IVE で立体視を行った場合、CG キャラクタのアニメーションで一部残像が描画されるという現象が見られた。

4. 結論

本研究では、デジタルアーカイブ化された舞踊動作を、IVE を用いて立体視可能な VR アプリケーションとして構築することで、臨場感と没入感のあるコンテンツの新たな表示手法を提案した。これにより、IVE でメッシュ構造を持つ CG キャラクタアニメーションを表示し、かつインタラクションを行うことが可能になった。さらに、表示させたいオブジェクトをそれぞれ別々のファイルにすることで、環境、舞台、キャラクターの変更を容易に行うことが可能になり、アーカイブでの活用の可能性を示すことができた。

今後の課題として、CG キャラクタアニメーションの頂点ブレンディングを実装すること、衣装の動きも表現できるようにクロスシミュレーションを行うことや、バーチャルアクタを追加し、複数人の CG キャラクタアニメーションを行うことなどが挙げられる。

また、WANDA による視点移動ではなく、指



図 5. IVE での実行結果

定されたカメラのパスに沿って視点移動のアニメーションを行うパススルーや、モーションデータと CG キャラクタモデルの分離を行い、CG キャラクタはそのままにモーションのみを変更する機能、描画するシーンと同期したオーディオ機能の追加、DirectX ファイルの読み込みに対応すること、GPU を用いた処理や、バーチャルアクタとのインタラクションを行うインタラクティブ性の向上なども今後の課題として挙げられる。

さらに、今回は簡易的な照明を用いたが、CG

キャラクターの影が舞台に落ちるようにシャドウイングを行ったり、3次元ビデオを表示可能にすることなども今後の課題として挙げられる。

謝辞：本研究は文部科学省 21 世紀 COE プログラム「京都アート・エンタテインメント創成研究」と文部科学省オープンリサーチセンター補助事業および科学研究費補助金基盤研究(B)16300035の支援により行われた。

参考文献

- [1] 安藤真, 谷川智洋: デジタルアーカイブと教育 — マヤ遺跡の復元と教育応用 —, 日本バーチャルリアリティ学会学会誌, VOL.8, NO.1, pp.10-14, 2003.
- [2] 中村美奈子: 舞踊の記録・分析・保存 — 舞踊記譜法 (Labanotation) による舞踊研究試論 —, 神奈川大学経営学部「国際経営論集」, No.19, pp.109-126, 2000.
- [3] 八村広三郎: 無形文化財のデジタルアーカイブ化とその応用, 日本人間工学会関西支部大会講演論文集, pp.1-8, 2005.
- [4] 吉村ミツ, 八村広三郎, 丸茂祐佳: 舞踊動作を表す特徴についての検討, 情報処理学会研究報告, 2005-CH-65, pp.17-24, 2005.
- [5] 曾我麻佐子, 海野敏, 安田孝美, 横井茂樹: ウェブコンテンツとしてのダンスモーションアーカイブの構築と 3DCG による振付・演出システム, 第 1 回デジタルコンテンツシンポジウム講演予稿集, 3-8, pp. 34-37, 2005.
- [6] 中岡慎一郎, 中澤篤志, 横井一仁, 池内克史: 人の全身動作をロボットで模倣するための動作プリミティブ, 「画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2004)」, pp. 1-177-1-182, 2004.
- [7] 松山隆司, 高井勇志, ウ小軍, 延原章平: 3 次元ビデオ映像の撮影・編集・表示, TVRSJ, Vol. 7, No. 4, pp. 521-532, 2002.
- [8] 松山隆司, ウ小軍, 高井勇志, 延原章平: 3 次元ビデオの生成・編集・表示: ベースライン・システムの構築, 第 1 回デジタルコンテンツシンポジウム講演予稿集, S1-1, 2005. pp.201-202, 2000.
- [9] 富山仁博, 片山美和, 折原豊, 岩館祐一: 伝統舞踊演者の 3 次元動オブジェクト生成技術- 伝統舞踊の 3 次元アーカイブ化-, 第 1 回デジタルコンテンツシンポジウム講演予稿集, S1-3, 2005.
- [10] 山崎俊彦, 相澤清晴: 信号処理的特徴量による 3D ビデオのセグメンテーション, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 105, pp. 13-18, 2005.

[11] 上田恵, 有田大作, 谷口倫一郎: 3 次元ビデオ映像のオンライン生成, 情報処理学会研究報告. CVIM, Vol. 2004, pp. 133-140, 2004.

[12] J. Lander : Skin Them Bones: Game Programming for the Web Generation, Game Developer Magazine, pp. 11-16, May 1998.

[13] J. Lander : Using Technology to Create Believable 3D Characters, GDC Roadtrips, September-December 1999.

[14] 古川耕平, 崔雄, 八村広三郎, 荒木かおり: 国宝能舞台のデジタル復元とその応用, 情報処理学会エンタテインメントコンピューティング 2005, pp.131-134, 2005.