

デプスカメラを用いた三次元形状生成と動作認識によるVRシステムの研究

KUROSAWA, Takaaki / 黒澤, 賢昭

(発行年 / Year)

2010-03-24

(学位授与年月日 / Date of Granted)

2010-03-24

(学位名 / Degree Name)

修士(理学)

(学位授与機関 / Degree Grantor)

法政大学 (Hosei University)

デプスカメラを用いた三次元形状生成と
動作認識による VR システムの研究

**Research of the VR system by 3D shape modeling
and motion capture using Depth camera**

黒澤 賢昭

Takaaki Kurosawa

法政大学院 情報科学研究科 情報科学専攻

吉田研究室

E-mail: takaaki.kurosawa.rk@gs-cis.hosei.ac.jp

目次

卒業論文本論文

Abstract	3 p
1. まえがき	3 p
1.1 研究背景	3 p
1.2 研究目的	4 p
2. 基本技術	5 p
2.1 Zcam	5 p
2.2 Zcam 制御用 SDK	6 p
2.3 DirectX	7 p
3. システム開発	7 p
3.1 開発仕様	7 p
3.2 フローチャート	10 p
3.3 自動立体形状生成	11 p
3.4 モーションキャプチャ処理	13 p
4. 初期の研究内容	16 p
5. アンケート調査	17 p
5.1 実証実験の方法	17 p
5.2 アンケート内容	17 p
5.3 アンケート調査結果	19 p
6. 研究結果	23 p
7. 今後の課題	24 p
8. 謝辞	24 p
9. 参考文献、資料	25 p

Abstract

Recently, The small depth camera that can measure depth information from the camera at the same time as taking a picture appears, and it is used for various real time contents as a new interface that can intuitive be operated. The virtual reality system that mounted the function of the automatic 3D CG shape modeling and the simple real time motion capture aiming at the improvement of the absorption feeling in such contents was developed from the research. It is possible to make a posture for the formed character model by forming a similar 3DCG human character model to the player based on image information from the depth camera automatically when this system is used, and capture the operation of the player's upper-body just like the player. And, the future of a virtual reality contents with a depth camera was considered by doing the proving test and the questionnaire survey by using this system.

近年、撮影と同時に深度情報を計測することのできる小型デプスカメラが登場し、直感的操作が可能な新たなインターフェースとして様々なインタラクティブコンテンツに活用されてきている。本研究では、そのようなインタラクティブコンテンツにおける没入感の向上を目的として、自動立体形状生成と簡易的リアルタイムモーションキャプチャの機能を実装したバーチャルリアリティシステムを開発した。本システムを用いることで、デプスカメラによる撮影画像中の深度値情報を元にプレイヤーに似せた人型 3DCG キャラクターモデルを自動生成し、さらにプレイヤーの上半身の動作を認識することで、生成したキャラクターモデルに対してプレイヤーと同じようにアクションさせる機能を実現した。

そして本システムを用いて、被験者による実証実験およびアンケート調査を行うことにより、デプスカメラを用いたインタラクティブコンテンツの今後の発展の可能性について検討した。

1. まえがき

1.1. 研究背景

近年、通常の撮影による RGB 情報取得と同時に、レンズから撮影対象までの深度情報をリアルタイムに計測することのできる小さなデプスカメラが登場し、計測した深度情報を基にした多様な機能を実装したインタラクティブコンテンツに用いられてきている。そして計測された深度情報から自動作成される Z 値画

像に対して画像認識処理を行うことによって、人体の部位座標認識やコンポジット用マスク画像の自動生成などといった様々な機能を実現させるシステムが既に開発されており、デプスカメラを用いたコンテンツの可能性はさらに広がりつつある。

現在デプスカメラの技術は、家庭用ゲーム機である Xbox360 の直感的操作を行える新たな周辺機器として発売が予定されている Project Natal[1]や、多数のアーケードゲームなどにおいて使用されてきている。そしてデプスカメラの特徴である体を動かして操作することが可能なゲームコンテンツは、現在コンシューマで人気を博している任天堂の家庭用ゲーム機 Wii などの効果も相まって、今後一層普及して行くことが予想される。

しかしこれまでに登場してきているデプスカメラを用いたコンテンツでは、撮影されているプレイヤーの部分的な深度値の変動をトリガーとすることで、対応するオブジェクトの座標値を変更させたり CG ソフトであらかじめ作成されているモーションデータを再生させたりしているだけで、プレイヤーの身体動作を直接キャラクターの各関節にリンクさせるような操作を行えるようにはなっていない。また、キャラクターモデルを使って身体動作によって操作を行う際に、従来のコンテンツにおけるアバター作成機能では決まった形状パターンの CG オブジェクトのみしか使用できないため、プレイヤーとキャラクターの間の体格差が大きい場合には操作を行う際に違和感を与えてしまうといった問題点も生じている。そのため、今後デプスカメラを用いた操作システムやそのリアリティをさらに向上させていくために、そうした問題点を改善したシステムの登場の必要性が高まっている。

1.2. 研究目的

本研究では、デプスカメラを用いたインタラクティブコンテンツにおけるプレイヤーの動作と身体形状の忠実な再現による没入感のさらなる向上を目的とし、デプスカメラの機能を利用した新たな 3DCG キャラクターモデルの自動立体形状生成システムと、インタラクティブコンテンツでのインターフェースとしての使用を想定した簡易で高速なリアルタイムモーションキャプチャシステムを開発し実証実験を行う。

本システムでは、デプスカメラによる人物撮影画像を基に、人型 3DCG オブジェクトの自動立体形状生成を行って被験者に似せたキャラクターモデルを生成し、完成したモデルに対してデプスカメラを用いたリアルタイム動作認識を行うことにより、キャラクターモデルの各関節にアクションを与える。本システムを評価するための実証実験では、被験者により本システムを体験・操作してもらった後アンケート調査を行い、本研究で提案するデプスカメラによる操作を用いたインタラクティブコンテンツの今後の発展の可能性を検討する。

2. 基本技術

2.1. Z cam

本研究ではリアルタイム深度計測が可能な小型デプスカメラである，3DV System 社製品”Zcam”[2]を使用する．(図 1)Zcam は通常の撮影機能に加え，レンズから放射したパルス状赤外光の反射光を深度センサーによって受信することで，カメラから物体までの距離をリアルタイムに計測することが可能である．Zcam で撮影の可能な最大解像度は 320×240 となっている．

また，付属している SDK を使用することで，撮影画像の深度情報や，被験者の手の位置座標，開いている指の本数などの数値をプログラム内に読み込むことができる．これにより，被験者はジェスチャーによってアプリケーションに指示を与えることが可能となり，新たなインターフェースとして用いることができる．

付属のサンプルソフトウェア(図 2)においては，撮影対象の簡易な 3DCG ワイヤフレームモデルの生成や，深度情報をマスクとしたリアルタイム実写合成，手の動作をハンドル操作に見立てて運転を行うアクションゲームなどといったアプリケーションも実現されており，使い方次第で様々なインタラクティブコンテンツへの対応が考えられる．



図 1: Zcam の外観



図 2: Zcam の深度撮影画面

2.2. Zcam 制御用 SDK

前述の Zcam 制御用の SDK には、DMachineSDK と DeepMediaSDK という二つのライブラリが用意されている。どちらもプログラム中に読み込むことで、Zcam の持つ機能や設定をリアルタイムに操作することができるようになるものである。

それらの SDK の一つである DMachineSDK とは、主に深度情報の操作や Zcam の環境設定の変更を行うための機能が実装されており、撮影画像の各ピクセル毎の深度情報の取得、深度情報つき Targa 静止画面像の作成、深度値を基にした現実の距離の算出、撮影可能距離の決定などといったことを実現する様々な関数が用意されている。Zcam には図 3 のように、撮影画像の明るさやコントラスト、スムージング処理の度合いなどといった多くの設定項目が用意されており、DMachineSDK に含まれるこうした関数群によりその全てにアクセスすることが可能である。

そして DeepMediaSDK とは、撮影範囲に存在する手や頭といった人間の身体部位の認識を行うためのライブラリである。これを用いることにより右手と左手、それぞれの位置座標や開いている指の本数の取得、頭の位置座標認識、撮影範囲のキャリブレーション処理といった機能を実現する様々な関数が使用可能となる。こうした関数群を用いることで、Zcam を用いた新たなインターフェースを構築することができ、ジェスチャーによる操作の可能なアプリケーションの開発が容易となる。

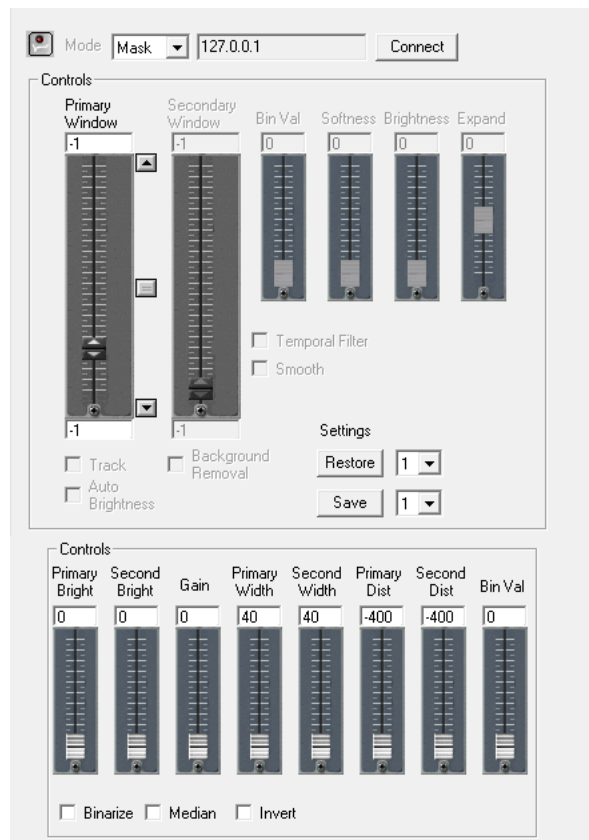


図 3: Zcam の撮影環境設定項目

2.3. DirectX

DirectX SDK は Microsoft 社が提供しているマルチメディア処理用 API 群であり、特にゲーム開発の分野で広く利用されている。DirectX ライブラリにはグラフィックスやサウンド、外部デバイスからの入力処理等を扱う複数のコンポーネント群が存在する。[3, 4]本研究では Direct3D というコンポーネント群を用いて 3D グラフィックスの描画やシェーディング、カメラ設定等のリアルタイム処理を行う。DirectX を用いることで複雑な 3D グラフィックスの描画処理を高速で簡潔に行うことができるようになる。

また、DirectX には 3DCG オブジェクトを扱うためのファイルフォーマットである X ファイルがあり、これを使用することで Autodesk Maya[5]などの 3DCG ソフトウェアで作成した、ポリゴンオブジェクトをプログラム内に読み込むことができる。X ファイルからポリゴン情報を読み込むことにより、そのオブジェクトを構成する頂点や UV 座標値の数値、骨格モデルに組み込んである各関節情報をプログラムから制御することが可能となる。[6]

本研究では、Autodesk Maya で作成した骨格モデルを設定してあるポリゴンオブジェクトを X ファイル形式に変換するために、フリープラグインである CVXporter[9]を使用した。これを用いることで、Maya によって設定した各頂点の座標、法線、UV 情報や、各骨格から受ける影響力が DirectX で用いるためのフォーマットに自動変換された。(図 4)

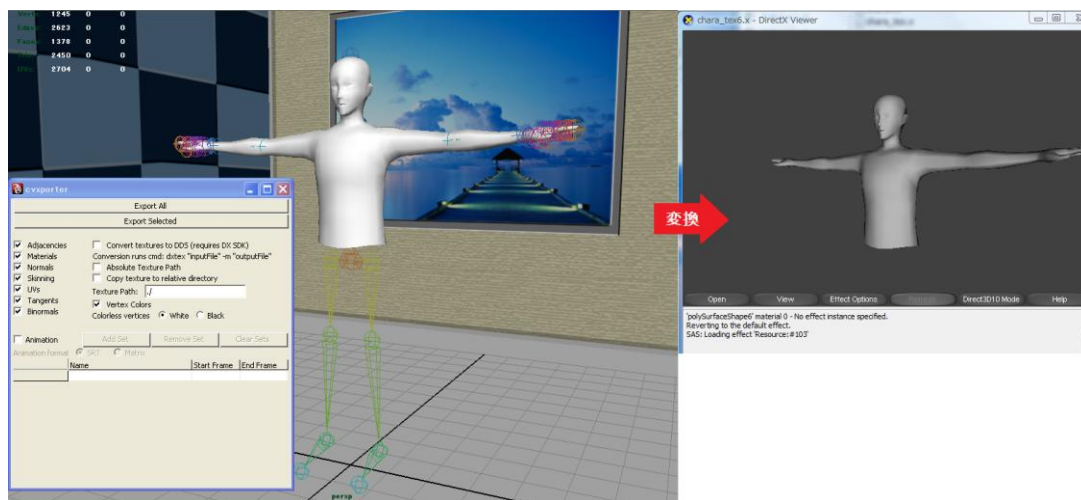


図 4: Autodesk Maya から X ファイルへの変換

3. システム開発

3.1. 開発仕様

本研究では、デプスカメラである Zcam から得られる情報を基に人型の 3DCG キャラクターモデルを自動生成するシステムと、そのモデルに対して簡易的なリアルタイムモーションキャプチャを行い、身体動作によって各関節にアクションを与えるためのシステムを開発する。

本システムは Microsoft Visual Studio 2008 を用いて C++言語により開発を行い、ライブラリとして DirectX SDK(November 2007)と Zcam 制御用の SDK の Deep Media SDK と DMachineSDK をプログラム中に読み込み使用している。開発には表 1 のようなスペックのノート PC を使用した。アプリケーション実行中は Zcam をアクティブにしつつプログラムを起動し、Zcam の撮影範囲内で身体動作を行うことによって操作する。 [7]

表 1: 開発 PC のスペック

CPU	Intel Core2 Duo 2.2GHz
OS	Windows Vista 32bit
メインメモリ	2GB
GPU	Mobile Intel965 ExpressChipsetFamily
ディスプレイモード	1280×800 (32bit) (60Hz)
DirectX バージョン	DirectX10 (November 2007)

アプリケーションプログラムには、静止画撮影モードとモーションキャプチャモードの二つの実行画面に分かれている。プログラムを起動すると、まず図 5 のような静止画撮影モードの操作画面が表示され、キーボード操作による Zcam からの深度情報付きの全身画像と、顔の近影画像の撮影を行うことができる。その後、モード切り替えのキーを押すことで、撮影画像を反映してモーションキャプチャモードに移行することができる。撮影を行わずキーを押した場合は、前回撮影した画像が反映されることとなる。

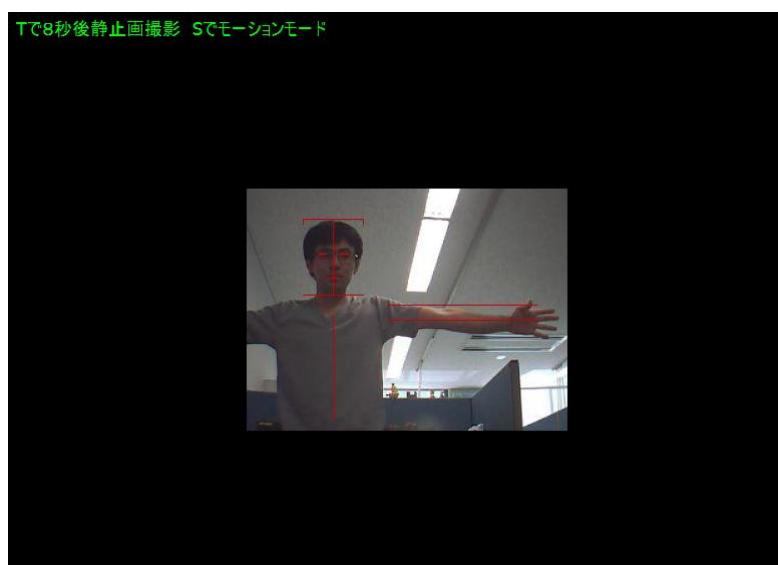


図 5: 静止画撮影モードの実行画面

モーションキャプチャモードに移行すると、撮影画像を基に生成されたプレイヤーに似せたキャラクターモデルが表示される図6のような操作画面となる。そしてZcamはリアルタイムで常に深度情報を計測し続け、プレイヤーの手、上半身、頭の認識処理が行う。それにより、画面に表示されているキャラクターモデルの各関節を身体動作によって動かすことが可能となる。また予備機能として、画面右側に映っている球体をキャラクターモデルに掴ませて運ぶ運搬処理、図7のようなキーボード操作によるキャラクターモデルの髪形変更処理も行うことができる。運搬処理では球体付近にキャラクターモデルの手を動かし、手を握ることで球体はその手についてくるようになる。そして再び手を離すことで球体をその場所に停滞させるといった処理になっている。



図6: モーションキャプチャモードの実行画面

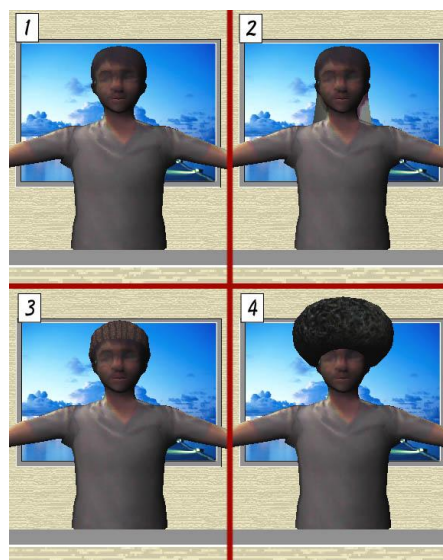


図7: 髪形の変更機能

3.2. フローチャート

本システムのフローチャートを図 8 に示す。

本システムのプログラムは、フローチャートに示されているように、大きく分けて三つのパートに分かれている。まず DirectX などの初期化処理，Zcam による深度つき画像撮影と撮影画像を基にした 3DCG キャラクターモデルの自動形成処理，そして Zcam による連続撮影認識を用いたリアルタイムモーションキャプチャ処理である。これらを組み合わせることで，Zcam で撮影した画像の深度値を基に 3DCG キャラクターモデルを自動生成し，生成したキャラクターモデルの各関節に対してプレイヤーの実際の身体動作による操作を行うシステムが実現される。

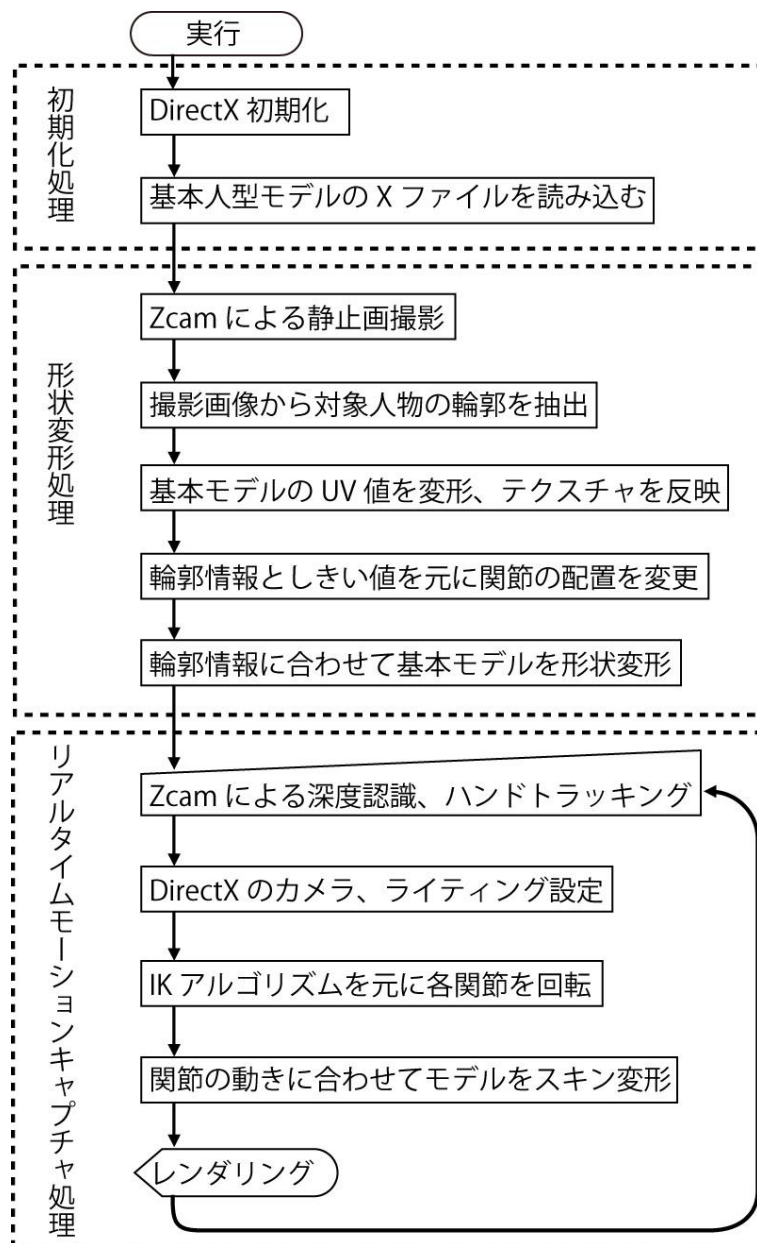


図 8: フローチャート

3.3. 自動立体形状生成

3DCG オブジェクトの自動立体形状生成は、既に骨格モデルを設定してある人間形の標準ポリゴンオブジェクトをプログラム中に読み込み、その頂点形状をプレイヤーに合わせて変形させることで実現する。[8]

標準ポリゴンオブジェクトは、Autodesk Maya 2008 を使用して標準的体格のモデリングおよび骨格モデルの設定を行い、スキンモデルとして作成する。そして骨格モデルを CVXporter を用いて、DirectX プログラムでの使用が可能な X ファイル形式に変換出力する。

自動立体形状生成のフローは、X ファイルによって標準ポリゴンオブジェクトをプログラム中に読み込んだ後、図 9 のように Zcam でプレイヤーの深度値情報付き静止画データを TARGA 形式で生成し、それを元に自動立体形状生成を行うというものである。また、キャラクターモデルには撮影画像をそのままテクスチャとして貼り付けるため、被験者に似せた体格、外観のモデルが自動生成される。しかし Zcam で撮影できる解像度の最大値は 320×240 であり、全身撮影画像をテクスチャとした場合、パーツの多い顔部分では画像の粗さが目立ってしまう。そのため本システムでは、顔の近影画像を別に撮影することで顔部分の解像度を上げているため、顔部分においては全身画像とは別のテクスチャを用いている。

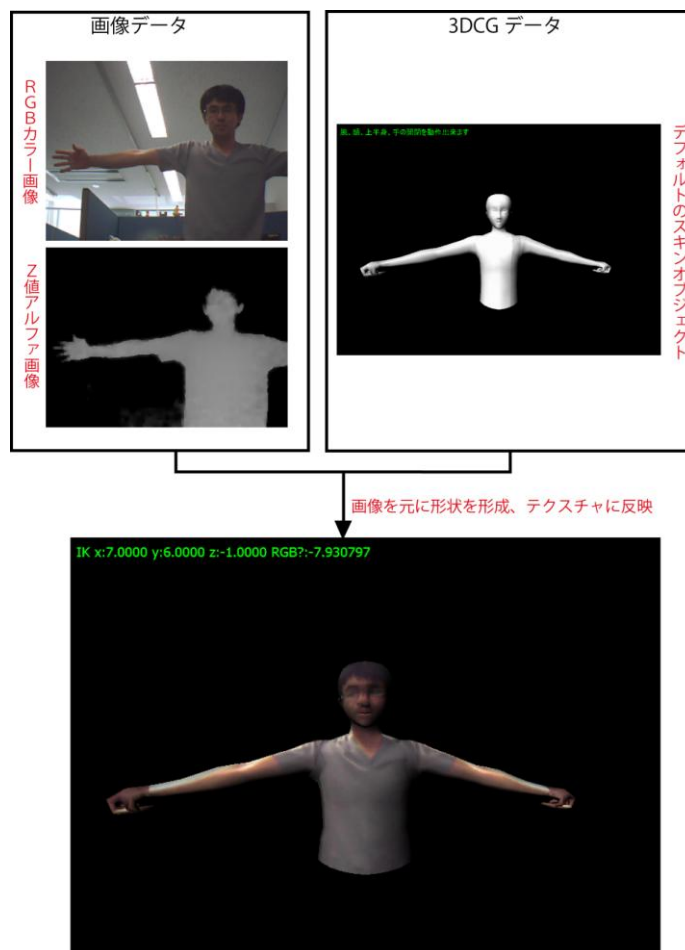


図 9: 自動オブジェクト生成方法

自動生成の手順は、人物画像内の連続したアルファ情報を探索することでプレイヤーの腕、胴、頭などの長さを計測してプログラム中の三次元空間内の値に変換し、標準ポリゴンオブジェクトの各関節や各頂点を計測したプロポーションに合わせて移動させる手法である。各身体部位の長さ計測のために、全身画像の撮影の際には図 10 のようにキャプチャ画像にラインを引いて、ポーズを統一してもらうようになっている。このように上半身の中心線、腕の位置をライン合わせ、頭の高さがどの撮影時にも同じ長さになるように撮影することで、各身体部位の長さ計測が安定しやすくなる。そして撮影した画像の深度値から、図 11 のように頭の横幅、胴の横幅、腕の太さと長さになる連続したピクセル長を計測する。

全身画像撮影の際にプレイヤーの頭の高さを基準線に合わせてもらったことから、どの人物の撮影の際にも頭の高さのピクセル長は同一の数値となるため、画像の頭の高さ＝標準オブジェクトの頭の高さであると捉え、すべての長さの基準倍率として考える。これにより計測したすべてのピクセル長を DirectX による三次元空間座標系の数値に変換することが可能となり、標準オブジェクトの各頂点に対して、変換して導きだした各数値に合わせて拡大・縮小を行うことで画像の人物に類似した体系を構成することができる。

しかし Zcam では深度値計測の際に毛髪部分において赤外線が吸収されてしまうため、プレイヤーの頭髪形状等の輪郭を十分に計測することができず、キャラクターモデルにも髪形状を反映させることができない。これは Zcam の機能上の問題であるため、本研究ではポリゴンデータとしてあらかじめ用意しておいた複数の髪形用の 3DCG オブジェクトから、プレイヤーが任意の髪形を選択できるようにすることでその問題点を補った。

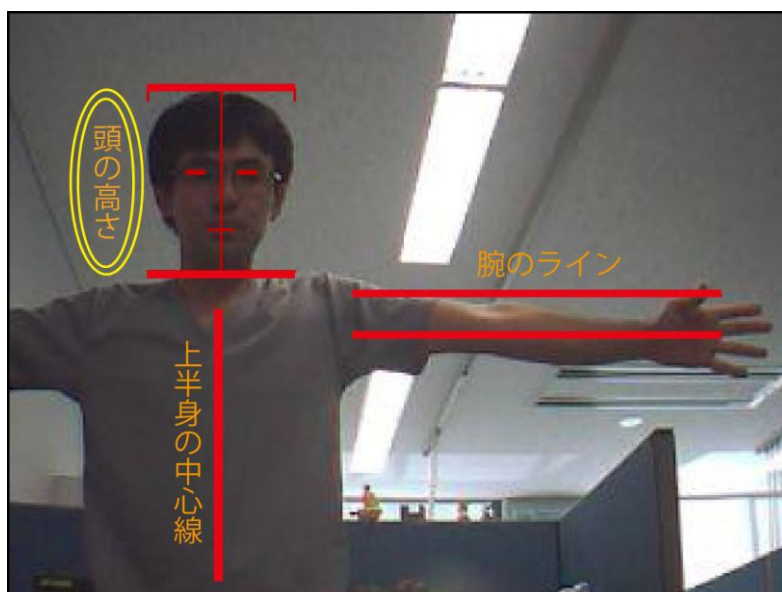


図 10: 静止画撮影時の指定ポーズ

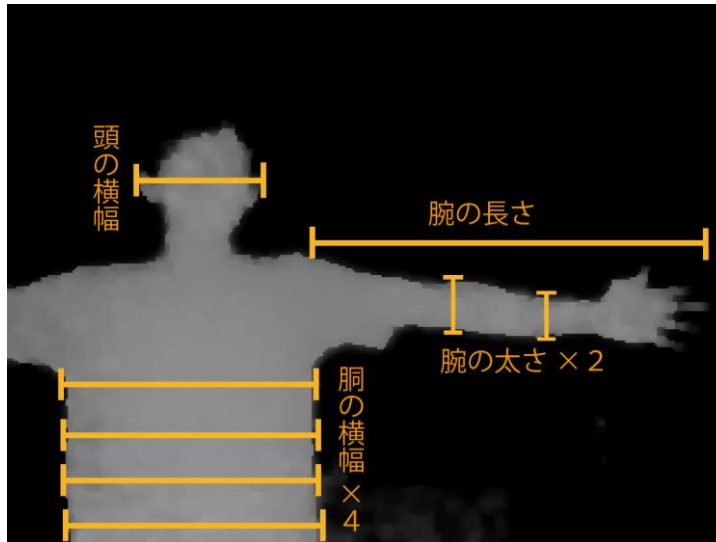


図 11: 静止画撮影後の長さの計測部位

3.4. モーションキャプチャ処理

人型モデルの生成後は、Zcam から送られる深度値情報を利用した簡易なリアルタイムモーションキャプチャによって、キャラクターモデルの各関節に対してアクションを与える。本システムではキャラクターモデルの腕、上半身、頭を被験者の動作によりアクションを与えることを可能にした。

腕関節のモーションキャプチャ方式は、インバースキネマティクス(IK)の処理を用いて肩、腕の先端を目標値に向かわせる方法で各関節を回転させている。本システムでは通常 3DCG ソフト等で使用されている再帰的アルゴリズムによる IK 方式[10]は使用せず、式 1 に示すような独自に考案した計算式を用いている。この計算式は腕と肩それぞれの専用 IK 方式であるため、あらゆる関節構造に対応することはできず、従来の再帰的 IK 公式と比べると関節角度の算出精度が多少大まかな物になってしまうが計算速度が速く、腕と肩が人間関節的にありえない方向に曲がることをある程度抑えることができる。

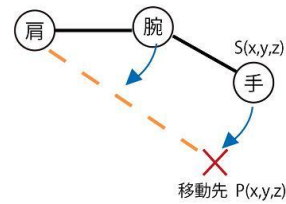
通常の IK 方式と異なる点として、まず腕の角度の算出においては、腕は一方方向にしか回転しないため、X 方向や Z 方向といった別方向に対する角度値が固定となっており、(肩)-(手)間の長さ d を目標値までの距離と合わせる意味での関節回転しかしていない。そのため実際に手の位置を目標値に追従させる関節回転は肩のみが行っているため、肩の関節回転では(肩)-(手)間を一本の棒に見立てて Y 方向、Z 方向に対しての回転を行っている。こうして、肩と腕において合計三箇所の数値をそれぞれ一つの式で決定しているため実行が速いが、Zcam では腕の捻り方向への回転が予測できないため、関節回転の再現度において従来の方式より大まかになってしまっている。

本研究で開発するシステムはインタラクティブコンテンツでの使用を主眼に置いているため、リアルタイムでの処理に適した方式として独自のアルゴリズムを実装した。

肩関節 IK

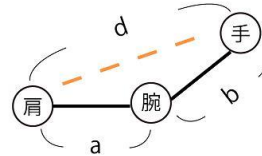
$$\tan_y \theta = \frac{S_x P_z - S_z P_x}{S_z P_z + S_x P_x}$$

$$\tan_z \theta = \frac{P_y}{P_x}$$



腕関節 IK

$$\cos_y \theta = \frac{d^2 - a^2 - b^2}{2ab}$$



式 1: 肩, 腕の IK 動作処理の式

そして式 1 における先端関節の移動先座標 $P(x, y, z)$ に対して, DeepMediaSDK が Zcam を用いて図 12 のように毎フレーム導き出すプレイヤーの両手の位置座標をプログラム中の座標系に変換して入力することで, 簡易なリアルタイムモーションキャプチャとしての機能を実現している. また, 画面に映っている手のうちのどちらが右手か左手かという判断は, 最初に手が認識された際にその手が体から見てどの位置にあったかで判別している. Zcam によるトラッキングを続けることで, 後で手を交差しても右手左手の判断に狂うことなく処理できるようになっている.

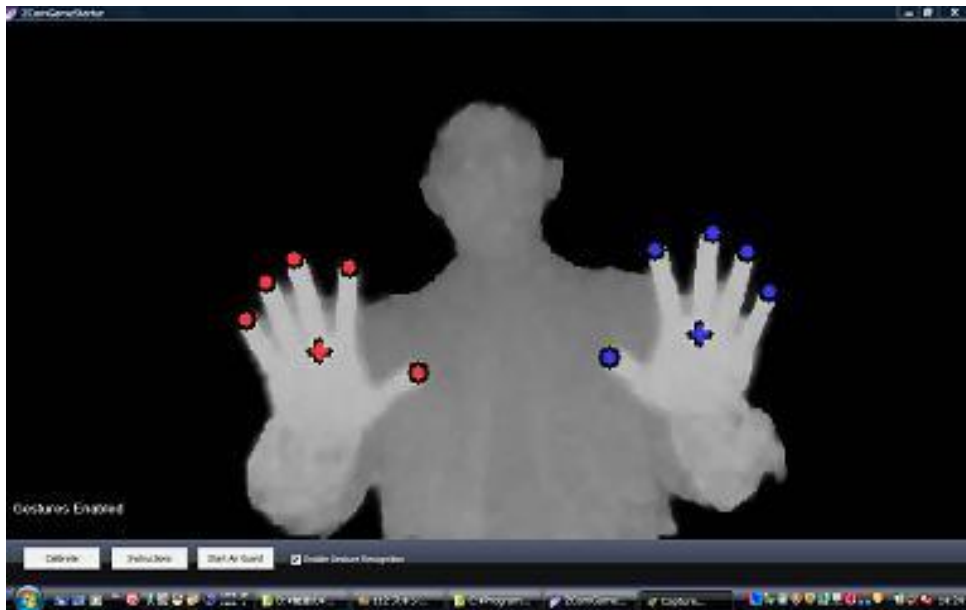


図 12: 手の認識状態

次に上半身と頭のモーションキャプチャ方式では、Zcam が撮影している各ピクセルの深度情報値を配列に格納し、図 13 のように撮影範囲内に存在するプレイヤーの輪郭を識別することで関節を回転させている。上半身の動作は、画面下部の中央付近に存在する物体の異なる高さの左右端点を探索し、その二つの中間点の水平差分を上半身の傾き度数として回転角度を決定している。続いて頭の動作では、まず画面上部から深度値が胴と近い物体を探索し、探索した物体を頭として、その左右端点を元に頭の中心座標を割り出す。そして上半身のキャプチャの際に求めた二つの異なる高さの胴中間点同士を直線で結び、その延長線に傾き補正を加えた線に対して、頭の中心座標がどこに位置しているかによって頭の回転角度を決定している。

しかし Zcam では奥行き方向に対して精細に分割された深度値を算出することができず、上半身と頭の安定した奥行き方向への動作をさせることが困難であったため、本システムでは上半身と頭の奥行き方向に対する動作はさせていない。当初実装したプログラムでは、頭と上半身下部の深度値の差を計測するアルゴリズムによって、お辞儀のような奥行き方向動作の実現を図ったが、撮影範囲内に存在する別の物体による影響を大きく受けてしまい、基本操作として組み込むには至らなかった。

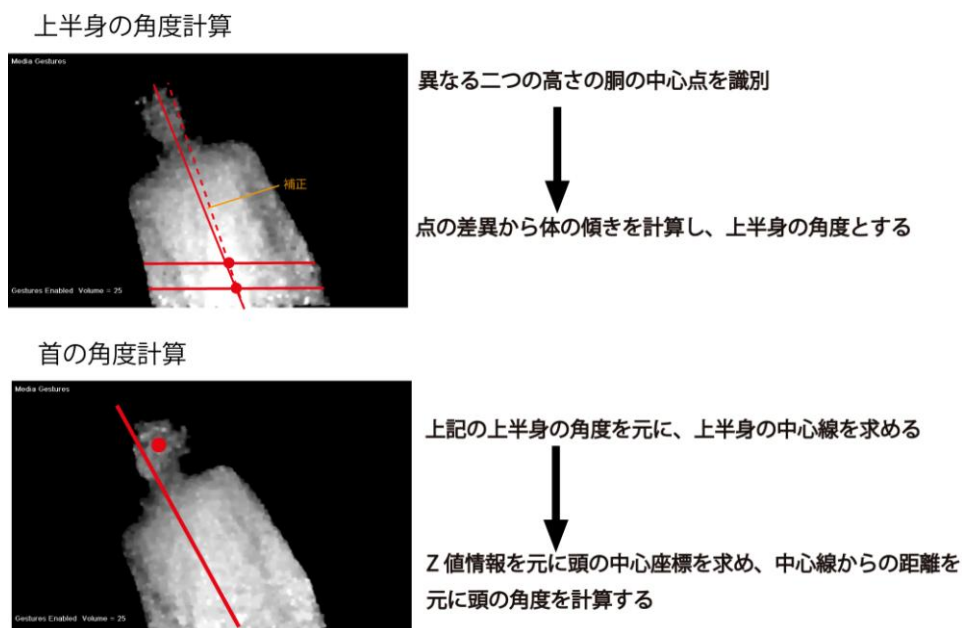


図 13: 上半身，頭の回転動作処理の方式

これらのモーションキャプチャの他に、DeepMediaSDK の基本機能には指の開閉を認識する機能も実装されている。本システムではこれを利用することで、プレイヤーの指に合わせて、画面内の CG モデルにも同様の開閉動作をさせる処理も可能となっている。これはプレイヤーが Zcam に向けて開いている指の本数情

報を基に，CG キャラクターの手の開閉状態を瞬時に切り替える単純なものであるが，画面内のCG キャラクターに物をつかませるシステムに転用することが可能である．指の開閉は図 14 のように 1 フレームで瞬時に行われ，物体周辺で行うことにより物体を運搬することができるようになる．

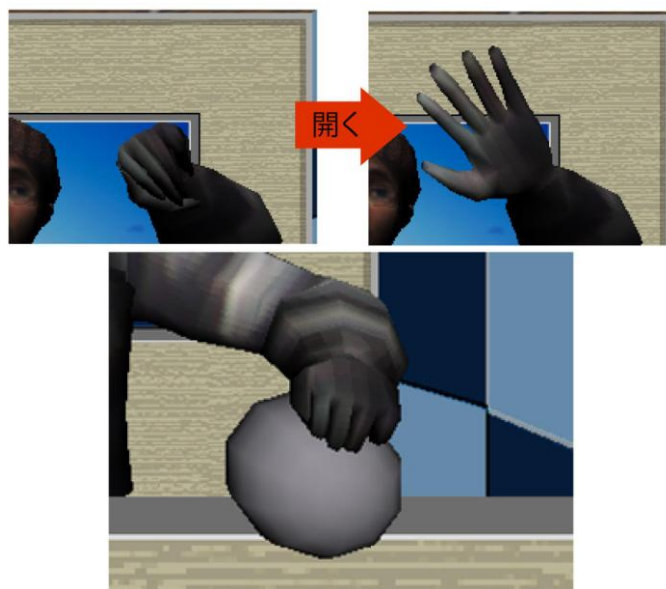


図 14: 手の開閉処理，物体のアタッチ処理

4. 初期の研究内容

本システムでは最終的に用いられなかった初期の研究内容として，一つ一つの頂点そのものを作り出す自動形状生成システムがあった．このシステムでは標準CGモデルを用いず，まず Zcam による撮影画像を基に一つ一つの頂点を自動生成し，各頂点をつなぐことでポリゴンモデルを単純形成する．そして撮影画像の深度値を基に，必要となるピクセルにおける人物の法線を求めた．その法線情報に合わせて単純形成したモデルの各頂点を，より詳細に変形することで自動形状生成を実現した．この方法では撮影画像に忠実に一からポリゴンを生成するため，本システムにおける自動形状生成システムよりも撮影対象に沿った綺麗な形状を作ることができた．

しかしモーションキャプチャ処理を行うためには，骨格モデルと各関節からの影響度を設定したスキンモデルとなっている必要があるが，骨格と影響度を自動設定によって完璧に処理することは困難である．また，撮影画像に忠実に一からポリゴンを生成しているため，Zcam による撮影画像において生じやすいノイズの影響を受けやすく形状が安定しづらかったこともあり，本システムにこの方式を実装することは断念することとなってしまった．

しかしこの方式による自動形状生成は本システムのものより形状のクオリティが高い．そのため今後実用に足るスキンモデルの骨格と影響度の自動設定システムが登場した際には，この方式を用いて，本システムのさらなる発展に貢献されることに期待される．

5. アンケート調査

5.1. 実証実験の方法

本システムに関する実証実験を行うことで、考案したシステムの有用性に関する効果測定を行う。

実証実験は無作為に選出したインタラクティブコンテンツをプレイしたことのある一般人 27 人に対して行い、実際にアプリケーションを体験操作してもらい、その後システムの有用性に関するアンケートに答えてもらった。被験者に対しては以下の図 15 のようなフローで本システムの機能を一通り体験してもらい、没入感の向上度や各機能の精度、改善点などを問うアンケートの各質問に回答してもらった。

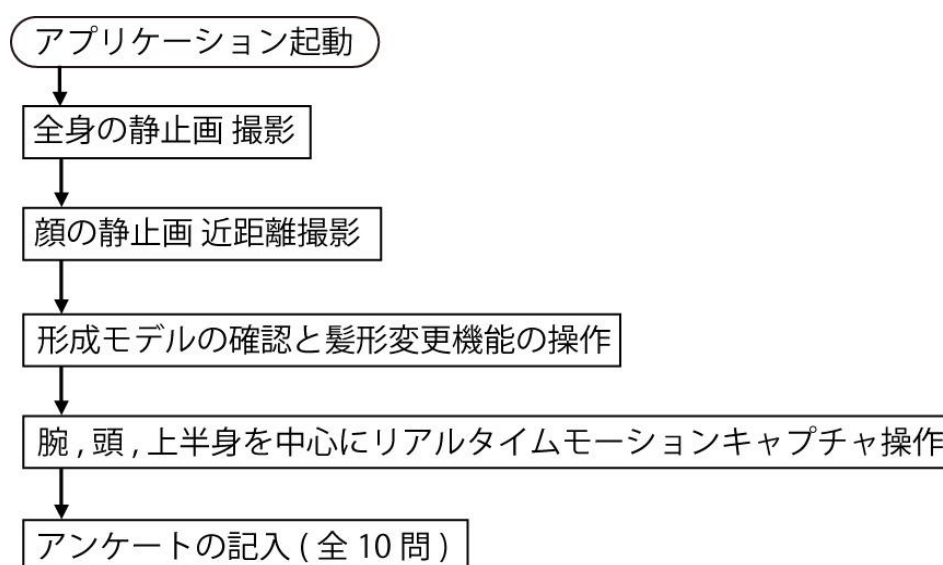


図 15: 実証実験のフロー

5.2. アンケート内容

アンケート調査では被験者に対し、以下のような内容で質問した。選択式の質問では五段階の評価をつけてもらい、自動立体形状生成とリアルタイムモーションキャプチャの有用性を調査した。

- 1) プレイヤーに類似させた形状、見た目を持つキャラクターを使用できることで、従来の簡易なアバターキャラクターを用いたコンテンツと比べて臨場感は上がったと思いますか？

(非常に上がった 上がった 変わらない 下がった 非常に下がった)

- 2) プレイヤーに類似させたキャラクターの形状は、自分の体格をよく表せていたと思いますか？

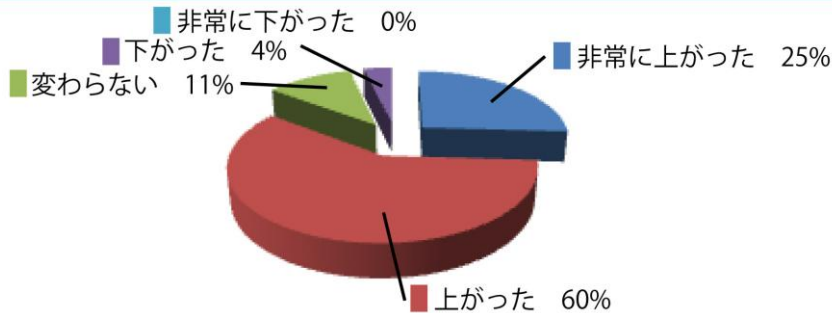
(非常に出来が良い 出来が良い ふつう 出来が悪い 非常に出来が悪い)

- 3) 自分の体の動作と画面内のキャラクターの動作をリアルタイムにリンクさせたことで、従来の体感コンテンツと比べて臨場感が上がったと思いますか？
(非常に上がった 上がった 変わらない 下がった 非常に下がった)
- 4) 実際に身体を動かしながらキャラクターを操作してみて、各身体部位の動作性は良かったですか？
- 腕 (非常に良い 良い ふつう 悪い 非常に悪い)
上半身 (非常に良い 良い ふつう 悪い 非常に悪い)
頭 (非常に良い 良い ふつう 悪い 非常に悪い)
- 5) モーションキャプチャの精度の高さは、全体として満足出来るものでしたか？
(非常に高い まあまあ高い ふつう 低い 非常に低い)
- 6) これらのシステム(キャラクター形状生成とリアルタイムモーションキャプチャ)を用いる事で、全体としてゲームコンテンツ等の没入感の向上に貢献すると思いますか？
(非常に向上する 向上する 変わらない 減少する 非常に減少する)
- 7) 髪型のリアルタイム変更機能は満足の行くものでしたか？
(非常に良い 良い ふつう 悪い 非常に悪い)
- 8) このシステムについて良くないと思った箇所や、没入感向上のために改善した方が良くと思う箇所がありましたらお書き下さい。
(記述回答)
- 9) このシステムをさらに拡張するために、あったら良いと思う機能や改良点がありましたらお書き下さい。
(記述回答)
- 10) このシステムを使ってどんなゲームコンテンツをプレイしてみたいと思いますか？またその理由をお願いします。
(コンテンツのジャンルと、その理由を記述回答)

5.3. アンケート調査結果

まず、立体形状生成システムにおける臨場感の向上度を問うアンケート1の質問に対しては、上がった・非常に上がったという意見の合計が89%と高い評価が得られ、本システムの自動形状生成を用いた3DCGアバター機能としての使用には大いに期待が持てると言える。

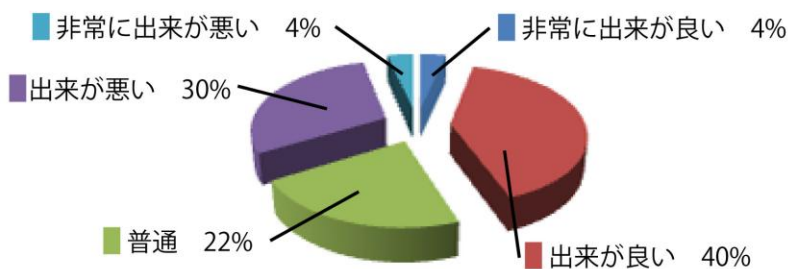
1) プレイヤーに類似させた形状、見た目を持つキャラクターを使用できることで、従来の簡易なアバターキャラクターを用いたコンテンツと比べて臨場感は上がったと思いますか？



アンケート 1

しかし自動形状生成の完成度については被験者によって人体形状の再現度にばらつきが出てしまったこともあり、生成されたモデルの完成度を問うアンケート2の質問では、良い悪いの意見が分かれる結果となってしまった。

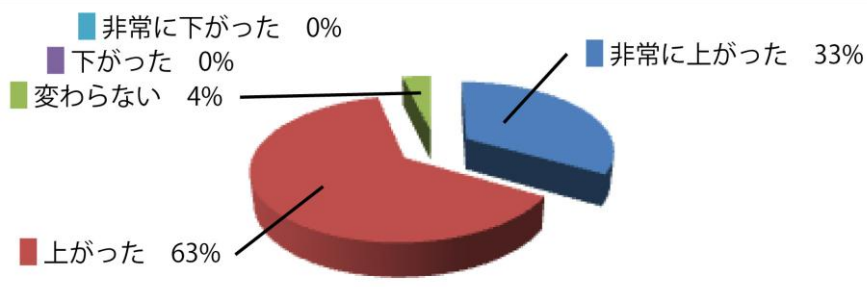
2) プレイヤーに類似させたキャラクターの形状は、自分の体格をよく表せていたと思いますか？



アンケート 2

次に、リアルタイムモーションキャプチャシステムによる臨場感の向上度を問うアンケート3の質問では、ほぼ全ての人が上がった、非常に上がったと答え、体を動かす操作システムとしてゲームコンテンツ等への転用を求める意見も多く得られた。新たなインターフェースとしての使用に向けた高い期待を得られる結果となった。

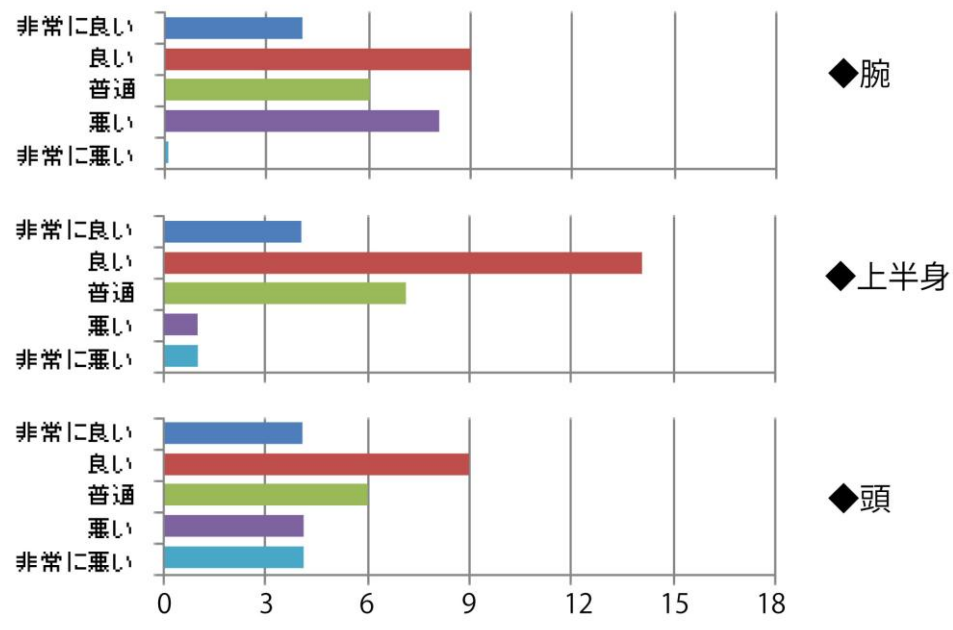
3) 自分の体の動作と画面内のキャラクターの動作をリアルタイムにリンクさせたことで、従来の体感コンテンツと比べて臨場感が上がったと思いますか？



アンケート 3

各身体部位ごとのリアルタイムモーションキャプチャの認識精度の高さを問うアンケート 4 の質問では、上半身については動かしやすいという意見の多い結果であったが、腕や頭については特定のポーズにおいて読み取りにくくなるといったケースも多数見られ、評価にばらつきが出る結果となった。また、頭と上半身については前後方向の動作を実装していない点などでも残念であるという意見が挙げられた。

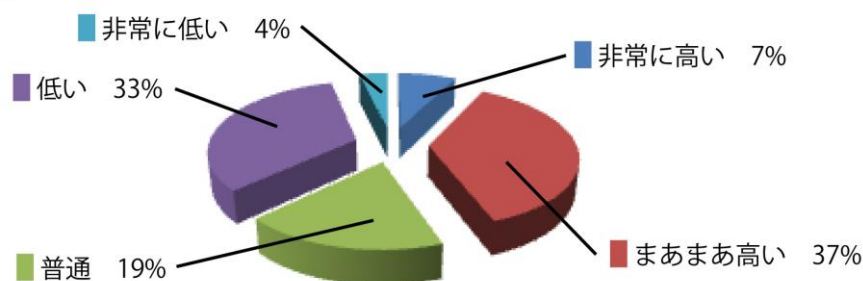
4) 実際に身体を動かしながらキャラクターを操作してみて、各身体部位の動作性は良かったですか？



アンケート 4

本研究のリアルタイムモーションキャプチャシステム全体として見た認識精度の高さを問うアンケート5の質問については、精度が高いという意見と低いという意見の分かれる結果となり、低いと回答する人も多く見られた。その中では余計な動きやブレが多い、操作可能な撮影範囲が狭いなどといったコメントも挙げられた。こうした評価のばらつきは、被験者の衣服やキャプチャ操作の位置条件によって実験結果が不安定になり、多数の状況において不具合が発生したことも要因の一つであると考えられる。そうした問題点も含め、より安定し、精度の高い認識のできるシステムを目指す必要のある結果となった。

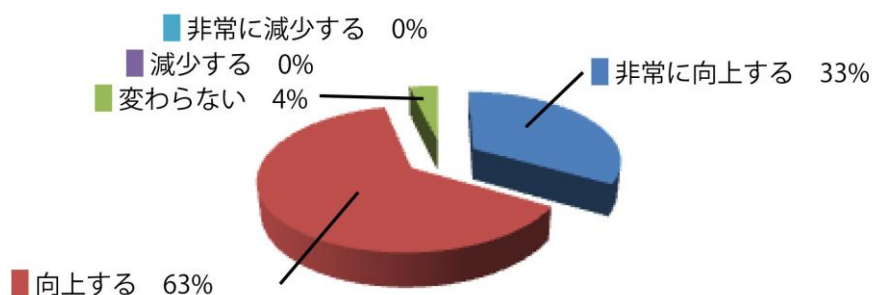
5) モーションキャプチャの精度の高さは、全体として満足出来るものでしたか？



アンケート5

しかし本システムを用いることによる、インタラクティブコンテンツにおいての有用性を問うアンケート6の質問ではほぼ全ての人がある有用性を認める結果となった。これにより自動立体形状生成とリアルタイムモーションキャプチャを用いることによる、全体としての没入感の向上度は非常に高いものであると言える。

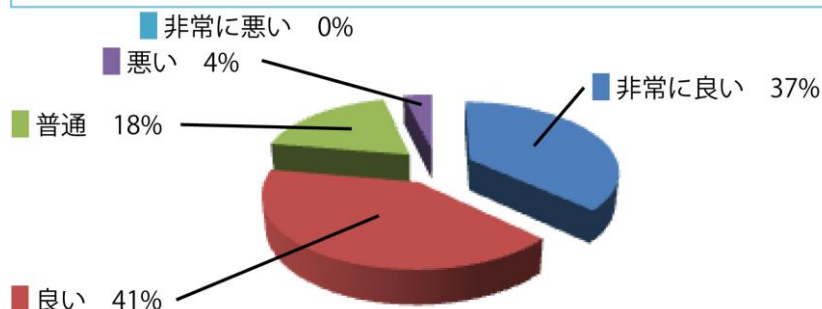
6) これらのシステム(キャラクター形状形成とリアルタイムモーションキャプチャ)を用いる事で、全体としてゲームコンテンツ等の没入感の向上に貢献すると思いますか？



アンケート6

そして Zcam の深度値計測におけるプレイヤーの頭髪部分での認識力の低さを補うために実装した髪形変更機能の効果を問うアンケート 7 の質問では、良いという意見の合計が 78% と好評な結果を得られた。髪型をいつでも変更できて面白い、バリエーションをさらに増やして欲しいといったコメントを頂いた。

7) 髪型のリアルタイム変更機能は満足が行くものでしたか？



アンケート 7

本システムの悪かった部分や改善すべき点を問うアンケート 8 の質問では、以下のような意見が主に挙げられた。

- ・生成した形状が、崩れたような形になってしまった
- ・撮影できる範囲がせまく、思ったように動かないことがある
- ・キャラクターモデルの動きが予期しない不安定な動作をした
- ・着ている服によって精度が変わるのではなく、安定した動作をして欲しい
- ・速く体を動かすと読み取りが遅れることがあった

こうした意見の中には、システムの体験中に起きた例外的な誤動作に対するものが多く、あらゆる状況に対応しきれなかったことに要因があるといえる。改善すべき点として挙げられた意見は、全体的な精度がより高くなる事を望む回答が多数を占めた。

本システムにあったら良いと思われる改良点を問うアンケート 9 の質問では、以下のような意見が挙げられた。

- ・CGモデルの自動形成後、手動による体型の微調整をできるようにする
- ・部分的に撮影しなおすことで、テクスチャや形状を一部変更する機能
- ・物を掴む、投げるといった動作を可能にする
- ・リアルタイムのフェイシャルモーションキャプチャ機能
- ・下半身のリアルタイムモーションキャプチャ機能
- ・髪形だけでなく、服や肌の色などといった様々なパーツの詳細変更機能
- ・髪形等の変更パーツのバリエーションの増加

これらの案には現状ではまだ実現が困難なものも多かったが、今後本システムによるバーチャルリアリティシステムの没入感の向上を図る上で効果的なものもあり、今後の発展の過程で実装されることに期待される。

また、本システムの活用方法に関するアンケート 10 の質問では以下のようなコンテンツ、ゲーム等が挙げられた。

- ・格闘ゲーム
- ・FPS 等のシューティングゲーム
- ・体のトレーニングソフト
- ・レースゲーム
- ・アバターによるチャット通信
- ・オンライン RPG
- ・リハビリなどの医療ソフト
- ・コミュニティサービス
- ・スポーツゲーム
- ・ダンス、音楽ゲーム
- ・手の動作で操作するパズルゲーム

プレイヤーに似せたキャラクターを使えるという点と、直感的な操作ができる点から、ゲームに関する分野のもので使用したいという意見が中心に挙げられ、様々なジャンルのコンテンツへの転用に期待することができた。こうした意見の全体から考察すると、特に体を激しく動かすゲームコンテンツへの転用を望む声が多く寄せられたといえる。

6. 研究結果

前述のアンケートの結果から、本研究におけるデプスカメラを用いた自動立体形状生成とリアルタイムモーションキャプチャシステムによる臨場感の向上性に関しては、良いとされる回答がアンケート 1 で 89%、アンケート 3, 6 では 100% と多くの支持を集め、本システムとデプスカメラを用いたインタラクティブコンテンツの登場には大いに期待が持てると考えられる。そしてアンケート中のコメントにおいて、格闘やスポーツなどといった体を動かすアクションゲームで使用してみたいという意見が多かった点から、周辺機器を用いた家庭用ゲームやアーケードで設置される体感ゲームなどでの使用に特に向いていると思われる。

また、本研究における主目的のテーマではないが、キャラクターモデルの指の開閉処理を利用して、配置してある物体周辺で手を閉じた際にその物体を手でタッチするという単純なアルゴリズムを試験的に実装してみた所、CG キャラクターに任意の物体を掴ませ、運搬させるといった処理を簡易に実現することができた。これを発展させることで、仮想空間内の物体への干渉や、それによる物理シミュレーションなどといった、バーチャルリアリティ性をさらに向上のための新たな拡張機能の実現も期待することができる。

しかしアンケート 2, 4, 5 の質問において悪いという意見も多かったことや、寄せられた改善を求めるコメントの内容から、自動形状生成の完成度や動作認識精度の低さ、特定のポーズにおいてどうしても発生してしまうカメラの死角などといった点で改善すべき箇所も多くあることが分かり、本システムは実用化に至るレベルにはまだ至っていないという結果となった。また、被験者の髪の毛や服の材質に影響され、部分的にデプスカメラの深度値計測性能が著しく低下するケースもあり、被験者の外見の状態によって実行結果が不安定になることも多かった。特に全身の正確な撮影を求められる自動立体形状生成ではプレイヤーの形状再現度の成功失敗の差が激しく、インタラクティブコンテンツに実用するにはより安定した結果が得られるシステムであらなければならない。

7. 今後の課題

本システムの今後の課題として、まず自動立体形状生成とリアルタイムモーションキャプチャ双方においてさらなる精度の向上が不可欠であると考えられる。現状ではまだ、生成されたCGキャラクターモデルの形状が現実のプレイヤー通りの自然なプロポーションを完全に再現しているとは言い難く、髪形の形状を再現することができない点からもプレイヤーの外見を再現しきれていない部分がまだ多くあると言える。また、リアルタイムモーションキャプチャの際に身体動作認識のアルゴリズムやZcamの性能限界から発生することがあるキャプチャの誤動作もプレイヤーにストレスを与える要因となるため、本システムを商用のインタラクティブコンテンツ等で用いるためには、プレイヤーに不自由を感じさせることのない広い範囲を補うことのできる誤動作回避アルゴリズムの確立や、キャプチャ精度のさらなる向上が急務であるといえる。

現状の上記の課題に対する解決策としては、まずデプスカメラそのものの撮影解像度、深度値計測の精度向上が考えられる。それに加え、複数のデプスカメラを同時起動して用いることにより、モーションキャプチャ時にどうしても発生してしまう死角を補うこともある程度可能となる。それゆえデプスカメラのコスト面や性能がさらに改善されることで、本システムの正確性もより高めることができると思われる。

次に、今後のデプスカメラの改良に合わせた、様々なニーズに対応できるシステムを構築していくことも重要な課題であるといえる。現在考えられるそのための機能拡張案としては、デプスカメラの撮影可能解像度を向上させることで上半身だけでなく全身の動作認識を可能にする案や、一般PCやゲームハードにおけるCPUの平均実行速度をあげることで、前述の物体を掴む処理や物理シミュレーションなどといったさらなるバーチャルリアリティを感じられる機能を組み込むといった案が挙げられる。

そして今後のデプスカメラの改良を受けて本システムにおけるアルゴリズム全体のさらなる強化を行うことで、実用に耐えうるシステム構築のための研究開発に取り組んでいきたい。

8. 謝辞

本研究の指導教員である吉田健治教授からは、法政大学入学当初より授業を通して様々な技術の指導を受け、卒業研究などの際にも多くの技術提供や指導をいただいた。

また、現在決定している進路に進むことが出来たのも、教授の開設して下さっていた授業を受講したことが大きなきっかけとなっており、本項の謝辞をもって感謝の意を表したい。

参考文献、資料

- [1] Xbox360 Project Natal ホームページ
<http://www.xbox.com/en-US/live/projectnatal/>
- [2] 3DV systems 社 Zcam ホームページ
<http://www.3dvsystems.com/>
- [3] MicroSoft 社 DirectX ホームページ
<http://www.microsoft.com/japan/windows/directx/default.msp>x
- [4] 鎌田茂雄, DirectX 逆引き大全 500 の極意, 秀和システム, 2006
- [5] Autodesk Maya ホームページ
[http://www.autodesk.co.jp/adsk/servlet/index?id=11473813
&siteID=1169823](http://www.autodesk.co.jp/adsk/servlet/index?id=11473813&siteID=1169823)
- [6] 松浦健一郎/司ゆき, 3D 格闘ゲームプログラミング, ソフトバンククリエイティブ, 2007
- [7] msdn ライブラリ DirectShow リファレンス
[http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms783323\(VS.85\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms783323(VS.85).aspx)
- [8] 田中 弘美: 距離・カラー画像からの適応的 3次元物体モデリング ,1995.11
- [9] CHAD VERNON CVXporter ホームページ
<http://www.chadvernon.com/blog/downloads/cvxporter/>
- [10] TMPS Wiki CCD-IK and Particle-IK
<http://www.tmps.org/index.php>