

アフォーダンスの概念に基づく 人体モーション合成システムの開発

石井 裕剛^{*1} 市口 誠道^{*2} 小牧 大輔^{*1} 社領 一将^{*1} 下田 宏^{*1} 吉川 榮和^{*1}

Development of a Human Body Motion Synthesis System based on the Concept of Affordance

Hirotake Ishii,^{*1} Nobuyuki Ichiguchi,^{*2} Daisuke Komaki,^{*1}
Kazumasa Sharyo,^{*1} Hiroshi Shimoda^{*1} and Hidekazu Yoshikawa^{*1}

Abstract — An affordance-based human motion synthesizing system (AHMSS) has been developed for synthesizing various kinds of human motions in virtual environment. By adopting the concept of affordance to design a human motion synthesizing system, it is concluded that the entire algorithm and the information necessary for synthesizing a human motion should be composed in the database for the related object. This design methodology makes it possible to add a new algorithm for synthesizing a new human motion without reconstructing the AHMSS. In this paper, how to adopt the concept of affordance to design the AHMSS and the overall configuration of the AHMSS are described.

Keywords : Affordance, Human Motion Synthesis, Virtual Reality, Computer Graphics

1. はじめに

近年、人と機械との新しいインタフェースとして、人と同じ形態を持ち、人と同じ身振りをし、人と同じように話すことができる仮想人間を仮想空間内に構築し、その仮想人間とコミュニケーションしながらプラントの操作等の共同作業を行ったり、複雑な機器の操作の訓練等を行ったりできるシステムが開発されつつある^[1]。筆者らも、人と同じ形態を持ち、会話やジェスチャ等を介して人と自然に交流できる「バーチャルコラボレータ」と呼ぶ擬人インタフェースの開発を目指してきた^[2]。バーチャルコラボレータを実現するためには、人の頭脳に相当するヒューマンモデルの開発^[3]等、幾つかの要素技術を開発する必要があるが、本研究では、それらの要素技術の1つである、バーチャルコラボレータの動作をコンピュータグラフィックス(CG)として合成できる「人体モーション合成システム」を開発することを目的とする。

ジェスチャ等を介して人と自然に交流できるバーチャルコラボレータを実現するためには、バーチャルコラボレータの様々な動作をCGとして合成する必要がある。しかし、人の身体は数多くの部位から構成され、動作の自由度が非常に高いために、人の全ての動作をCGとして自由に合成できる汎用的なアルゴリズムを開発することは非常に困難である。実際、これまでに人の動作をCGとして合成する様々なアルゴリズムが提案されているが^{[4]~[6]}、限定された動作に対するCGを合成する

ためのアルゴリズムが大半であり、人の全ての動作を自由に合成できるアルゴリズムはまだ提案されていない。従って、人体モーション合成システムを開発する場合、合成する必要がある動作の種類に応じて、必要なアルゴリズムを利用可能にする必要がある。しかし、合成する必要がある動作の種類は、バーチャルコラボレータの作業対象が変化する度に大幅に変化することが予想され、開発する人体モーション合成システムは、利用可能なアルゴリズムを柔軟に変更できる必要がある。

そこで本研究では、認知科学や人工知能の分野で注目されている、アフォーダンスの概念^[7]に基づいた人体モーション合成システム(Affordance-based Human Motion Synthesis System; AHMSS)を設計・開発する。アフォーダンスの概念を導入することにより、個々の物体に対する動作を合成する際に必要な各種情報(動作を合成するためのアルゴリズムやアルゴリズムが利用するデータ)は、動作の対象となる物体に内在させるべきであることが導かれる。これにより、操作性、拡張性が非常に優れ、様々なアプリケーションに容易に組み込むことができる人体モーション合成システムを開発できる。

以下、本論文では、アフォーダンスの概念とその人体モーション合成システムへの適用方法について述べた後、開発したAHMSSの概要と使用例について述べ、最後に結論と今後の課題について述べる。

2. アフォーダンスの概念とその人体モーション合成システムへの適用

本章では、アフォーダンスの概念について説明した後、AHMSSを設計する際の基本方針について述べる。

*1: 京都大学大学院エネルギー科学研究科

*2: 京都大学大学院エネルギー科学研究科
現在: 松下電器産業(株)

*1: Graduate School of Energy Science, Kyoto University

*2: Present; Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.

2.1 アフォーダンスの概念の導入

これまで、人のCGを利用したシステムを開発する場合は、合成する必要がある人の動作の種類を決定し、その後、合成する必要がある動作の種類に応じて、利用するアルゴリズムやアルゴリズムが利用するデータ等をシステムに組み込む方法が採られていた。これは、まず始めに仮想人間が置かれる環境を決定し、その環境に対する知識（環境のモデル）を仮想人間に備えさせることにより、その環境における仮想人間の行動を可能にしていると捉えることができる。しかし、仮想人間が置かれる可能性がある全ての環境に対する知識を仮想人間に予め備えさせることは非常に困難であり、従って、人の全ての動作を自由に合成できる人体モーション合成システムを開発することは非常に困難であると言える。

この問題に対する1つの解決策を提示する概念として、アフォーダンスの概念がある。「アフォーダンス」とは、視覚心理学者であったJames J. Gibsonにより提唱された概念であり、「観察者との関係で存在する環境の特性であり、環境が観察者に提供するもの」と定義される、環境に内在する情報である。アフォーダンスの概念では、人の動作は環境に誘発されて生じるものであるとされ、人が予め備えている環境のモデルに従って行動しているのではないとされる。

この概念に従えば、仮想人間の動作を合成する際に必要な各種情報は、人体モーション合成システムに予め格納するのではなく、動作の対象の物体に内在させ、必要に応じてそれらの情報を物体から仮想人間へ伝達し、利用すべきであると考えられる。例えば、仮想空間内に床が存在する場合、アフォーダンスの概念によれば、床は仮想人間に対して「歩く動作」をアフォードする。そこで、仮想人間の歩く動作を合成するアルゴリズムとアルゴリズムが利用するデータは、人体モーション合成システムに予め格納するのではなく、仮想空間内に配置される床の情報（3次元形状データやテクスチャ等の情報）と共にデータベースに格納し、床に対する仮想人間の動作を合成する際には、データベースから必要な情報をシステムに伝送して利用すべきであると考えられる。

このように、仮想人間の動作を合成するために必要な各種情報を、動作の対象の物体に内在させることにより、以下に示す利点があると考えられる。

- 仮想空間内に配置する物体（仮想物体）ごとに、その物体に関係する全ての情報をまとめて管理できるため、仮想空間内への仮想物体の追加や削除が容易にできる。
- 人体モーション合成システムを変更することなく、仮想物体の情報を記述するデータベースを変更するだけで、仮想人間の新しい動作の追加や既存の動作の削除ができる。

- 動作を合成する際に必要なアルゴリズムや各種データを、システムとは別に個々の物体ごとに開発できるため、開発する際の労力を分散できる。

本研究では、以上の考えを基に、仮想人間の動作を合成するためのアルゴリズムや各種データを、仮想物体の情報を記述するデータベース内に格納することを、AHMSS設計の第一方針とする。

2.2 アフォーダンスの融合の概念の導入

人は、椅子とコップが十分近い距離にある場合、コップを掴みながら椅子に座る動作を行うことができる。このように、人は複数の物体に対する動作を同時に行うことができるが、予め全ての物体の組み合わせに対する動作の方法を知識として備えているわけではない。このことは、アフォーダンスの概念に従えば、人はコップと椅子からそれぞれ「掴む動作」と「座る動作」の2つの動作を同時にアフォードされ、それらが融合されて「コップを掴みながら椅子に座る動作」がアフォードされると捉えることができる。

本研究では、この融合された動作をAHMSSで合成可能にするために、人が物体から受けるアフォーダンスに範囲と強さが存在すると考える。すなわち、人が物体からアフォーダンスを受ける場合、人の体全体に均一に受けるのではなく、人の体の部位ごとに受けるアフォーダンスの強さが異なると考える。例えば、人はコップから腕に「コップを掴む動作」としてのアフォーダンスを強く受け、その他の部位には弱いアフォーダンスを受けると捉える。また、人は椅子から下半身に「椅子に座る動作」としてのアフォーダンスを強く受け、その他の部位には弱いアフォーダンスを受けると捉える。そして、コップと椅子が十分に近い距離に置かれた場合、コップと椅子から同時にアフォーダンスを受け、それらが融合されて、腕はコップを掴む動作を、下半身は椅子に座る動作を行うことにより、コップを掴みながら椅子に座るという動作が実行されると考える。

本研究では、以上に述べたようなアフォーダンスの融合の概念を基に、AHMSSでの2つの動作を融合したCGの合成を可能にする。具体的には、Douglasら^[8]が提案した「重要度」という概念を用いる。重要度とは、融合する前の動作の各関節の動きが、融合後の動作にどれほどの影響を与えるかを0から100までの数値で与えたものであり、AHMSSでは、予めこの重要度を仮想物体がアフォードする動作ごとに設定する。重要度を用いた人の動作の具体的な融合方法については、筆者らの研究^[9]を参照されたい。

3. AHMSSに要求される仕様

本章では、バーチャルコラボレータの動作をCGとして合成するシステムとして、AHMSSに要求される仕様

について述べる。本研究では、第2章で述べたアフォーダンスの概念に従った設計方針と、実際にバーチャルコラボレータのシステムの一部として使用される際の状況を想定し、AHMSSは以下に示す6つの仕様を満たす必要があると考えた。

1. 仮想人間の動作とその動作に伴う仮想物体の動きの両方を同時に合成できる。

擬人インタフェースとしてのバーチャルコラボレータを実現する場合、物体を操作したり移動したりする動作を合成する必要があるため、仮想人間の動作だけでなく操作の対象となる仮想物体の動きも合成する必要がある。本研究では、仮想人間の動作を合成するためのアルゴリズムを利用可能にするのと同様に、仮想物体の動きを合成するためのアルゴリズムも利用可能にする。具体的には、AHMSSでは、各アルゴリズムをUNIX上で実行可能なプログラムの形式で構築し、必要に応じてプログラムを起動することにより利用する。

2. 合成可能な仮想人間の動作を容易に追加できる。

第2章で述べたように、AHMSSでは、仮想人間の動作を合成する際に必要となる各種情報を、動作の対象となる物体に内在させることにより、合成可能な動作を容易に追加できるようにする。しかし、実際には、仮想物体の種類が異なっても、使用するアルゴリズムやデータが同じである場合が多い。従って、アルゴリズムやデータを各仮想物体ごとに格納した場合、同じアルゴリズムやデータが数多くデータベース内に存在することになり効率が悪い。そこで本研究では、アルゴリズムや各種データをアルゴリズムデータベースとしてまとめて管理し、各仮想物体には、使用するアルゴリズムとデータの種類に関する情報を格納することにする。

3. 同時に2つの物体に対する動作を行うCGを合成できる。

第2章で述べたアフォーダンスの融合の概念に従い、各物体に対する動作ごとに予め重要度を設定し、動作の融合を実現する。

4. 仮想人間への動作の指示は計算機の端末から動作ごとに入力する。

AHMSSは、バーチャルコラボレータの頭脳に相当するヒューマンモデルからの指示に応じて、仮想人間の動作をCGとして合成するが、現時点では、ヒューマンモデルが構築されていないので、計算機の端末から手で動作を指示することにする。

5. 現在市販されているパソコン程度の性能でリアルタイム(10~20frames/sec)に動作を合成できる。

擬人インタフェースとしてのバーチャルコラボレータを実現するためには、ユーザが仮想人間の動

作を見て違和感を感じない程度に、高速に画面を描画する必要がある。そこで本研究では、毎秒10~20回の割合で画面を描画できるシステムを開発することを目指す。具体的には、仮想人間の動作を合成するアルゴリズムを実行する処理、仮想物体の動きを合成するアルゴリズムを実行する処理、仮想空間を描画する処理をそれぞれUNIX上の別々のプロセスとして実行できるシステムを開発することにより、計算の分散化、並列処理化を図る。

6. 仮想人間の動作を計算するプロセスと仮想空間を描画するプロセスを別々の計算機で実行できる。

それぞれのプロセスを別々の計算機で実行できるようにすることにより、計算の高速な計算機で仮想人間の動作を計算し、描画の高速な計算機で仮想空間を描画することが可能になる。実際にはソケット通信を用いることにより、別々の計算機で実行される各プロセス間での情報の共有を可能にする。

4. AHMSSの概要

本章では、前章までに述べた設計方針に従って開発したAHMSSの概要を述べる。

図1にAHMSSの概要を示す。AHMSSはシステム全体の制御を行うメインプロセス、仮想人間の動作を合成するアルゴリズムである人アルゴリズムプロセス、仮想物体の動きを合成するアルゴリズムである物アルゴリズムプロセス、仮想空間全体の情報を管理する仮想空間情報サーバ、仮想空間を描画する画像表示プロセス、仮想物体に関する情報を格納した物データベース、仮想人間に関する情報を格納した人データベースから構成される。AHMSSのユーザはコマンド部を介して仮想人間の動作の対象となる物体と合成する動作の指示等を行い、CGの合成結果は画像表示プロセスを介してディスプレイに表示される。以下で、各構成要素の概要を説明する。

- メインプロセス

メインプロセスは、システム全体の制御を行う部分であり、ユーザからの入力を受け付けるコマンド部、各種データベースから情報を読み込むデータベースインタフェース部、人や物アルゴリズムの起動や停止等の制御を行うアルゴリズム制御部、動作の融合を行う動作融合部、仮想空間情報サーバとの通信を行う通信部から構成される。

- 人アルゴリズムプロセス

人アルゴリズムプロセスは、仮想人間の動作を合成するためのアルゴリズムを、UNIX上で実行可能なプログラムの形で構築したものである。メインプロセス内のアルゴリズム制御部によって起動され、アルゴリズム制御部から受け取った情報を基に、仮想人間の動作を合成し、結果をアルゴリズム制御部

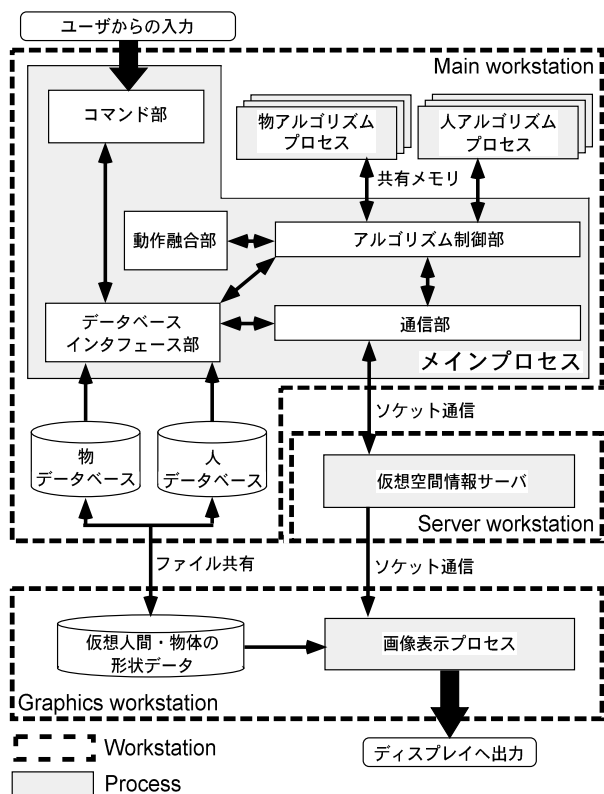


図1 AHMSS の概要
Fig.1 Overall Architecture of AHMSS.

に送る。

● 物アルゴリズムプロセス

物アルゴリズムプロセスは、仮想物体の動きを合成するためのアルゴリズムを、UNIX上で実行可能なプログラムの形で構築したものである。メインプロセス内のアルゴリズム制御部によって起動され、アルゴリズム制御部から受け取った仮想人間の姿勢に関する情報を基に、仮想物体の位置と姿勢を求め、結果をアルゴリズム制御部に送る。

● 仮想空間情報サーバ

仮想空間情報サーバは、仮想空間の情報を一元管理する部分であり、全ての仮想人間と仮想物体の位置と姿勢を保持している。仮想空間情報サーバは、必要に応じて各時点での仮想人間と仮想物体の位置と姿勢を、メインプロセスと画像表示プロセスに出力し、また、メインプロセスからの仮想人間の動作と仮想物体の動きの合成結果によって更新される。

● 画像表示プロセス

画像表示プロセスは、仮想空間情報サーバから仮想人間や仮想物体の位置と姿勢等の情報を受け取り、仮想空間を描画し、ディスプレイへ出力する。

● 物データベース

物データベースに格納されている仮想物体に関するデータの構造を図2に示す。図のように、物デー

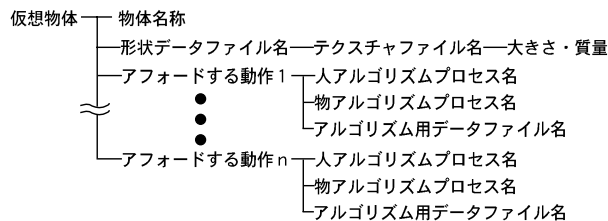


図2 物データベースの構造
Fig.2 Structure of the Object Database.

タベースには、仮想物体の名称、形状ファイル名、テクスチャファイル名、仮想物体の大きさや質量、アフォードする動作の名前、使用するデータファイル名、人アルゴリズムプロセス名、物アルゴリズムプロセス名等が格納される。

● 人データベース

人データベースには、仮想人間の形状ファイル名、テクスチャファイル名、仮想人間の各部位の重さや長さ等が格納される。

以下に、実際に AHMSS を用いて仮想人間の動作を合成する場合のシステム全体の処理の流れを示す。

1. ユーザが仮想空間内に仮想物体と仮想人間を配置する。
2. ユーザが仮想人間の動作の対象の物体を指定する。
3. ユーザに指定された物体に関する物データベースを参照し、物体がアフォードする動作の一覧をユーザに提示する。
4. ユーザが動作の一覧から合成する動作を選択し、さらに、必要な情報（動作の目標地点等）を入力する。
5. 動作を融合する場合には、2.～4.を繰り返す。
6. 選択された動作の種類に従い、物データベースを参照して、人アルゴリズムプロセスと物アルゴリズムプロセスから適切なアルゴリズムを選択して起動する。2つの動作を融合する場合は2つの人アルゴリズムプロセスと物アルゴリズムプロセスが起動される。
7. 現時点での仮想人間の姿勢とユーザから指示された情報を、起動した人アルゴリズムプロセスに渡す。
8. 人アルゴリズムプロセスが仮想人間の動作（1姿勢分）を計算する。
9. 動作を融合する場合には、8.での結果を動作融合部に渡し、重要度の設定を基に動作を融合する。
10. 8.もしくは9.で計算した仮想人間の位置と姿勢を物アルゴリズムに渡す。
11. 物アルゴリズムが仮想人間の位置と姿勢に合わせて仮想物体の位置と姿勢を計算する。
12. 求められた仮想人間と仮想物体の位置と姿勢を仮想空間情報サーバに送る。
13. 動作の合成が終了するまで、7.～12.を繰り返す。

以上の処理によって、ユーザからの指示に従って、仮想人間の動作と仮想物体の動きが合成され、ディスプレイに表示される。

5. AHMSS で利用可能なアルゴリズム

本章では、図 1 に示した AHMSS の構成要素の内、人アルゴリズムプロセスや物アルゴリズムプロセスとして、本論文の執筆時点で既に作成済みのアルゴリズムを説明する。

5.1 人アルゴリズムプロセス

仮想人間の動作を合成するアルゴリズムとしては、以下の 3 種類のアルゴリズムの他、「物を握る動作を合成するアルゴリズム」、「腕の姿勢を維持するアルゴリズム」等が作成されている。

- モーションキャプチャデータ再生アルゴリズム

モーションキャプチャデータ再生アルゴリズムは、3 次元モーションキャプチャシステムを用いて実際の人の動きを計測し、3 次元 CG として再生するアルゴリズムである。

- 歩行動作合成アルゴリズム^[10]

歩行動作合成アルゴリズムは、筆者らが独自に開発した 2 次元平面上での歩行動作を合成するためのアルゴリズムで、任意の距離と方向の歩行動作を合成できる。

- 球状線形補間アルゴリズム

球状線形補間アルゴリズムは、人の 2 つの姿勢の間を線形的に補間するアルゴリズムで、合成する動作の一連の動きの内、重要な姿勢を人が作成した後、連続的な動きとして合成する際に使用するアルゴリズムである。

5.2 物アルゴリズムプロセス

仮想人間の動作に応じて仮想物体の動きを合成するアルゴリズムとしては、以下の 2 種類のアルゴリズムが作成されている。

- ドアの開閉を合成するアルゴリズム

ドアの開閉を合成するアルゴリズムは、仮想人間の手の位置に合わせてドアの回転角度を計算し、ドアの開閉をシミュレーションするアルゴリズムである。

- 手に追従して移動するアルゴリズム

手に追従して移動するアルゴリズムは、仮想人間の手に合わせて仮想物体を移動させるアルゴリズムであり、仮想人間が仮想物体を握り、移動させる場合の CG を合成できる。

6. AHMSS の使用例

本章では、AHMSS の使用例として、以下に示すシナリオの CG を合成した結果について述べる。

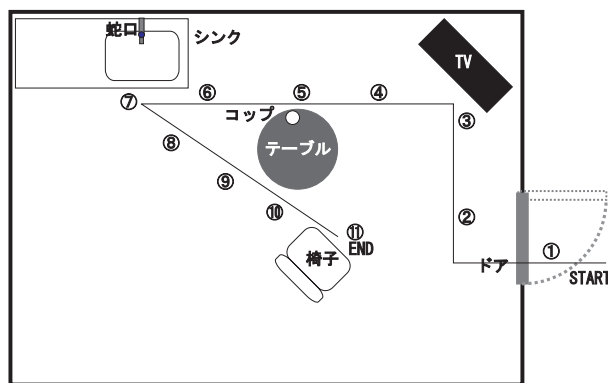


図 3 仮想人間の移動経路

Fig.3 Movement course of the virtual human.

動作 1 ドアを開ける

動作 2 テレビの前まで歩く

動作 3 テレビの電源スイッチを押す

動作 4 歩きながらコップを手にする

動作 5 蛇口をひねりコップに水を入れる

動作 6 歩きながらコップの水を飲む

動作 7 椅子に座る

仮想空間内の物体の配置と仮想人間の移動経路を図 3 に、各動作を合成する際に使用するアルゴリズムの一覧を図 4 に示す。以下では、第 5 章で述べたアルゴリズムは既に各アルゴリズムプロセスに利用可能な状態として構築済であるが、物データベースがまだ構築されていない状態から、上記シナリオの CG を合成する場合について述べる。

上記シナリオの CG を合成する場合、まず始めに上記シナリオで動作の対象となる仮想物体の情報を物データベースとして構築する。例えば、動作 1 で対象となる「ドア」に関して、図 2 に示した情報を記述したテキストファイルを作成し、ドアオブジェクトとして物データベースに追加する。同様に、床、テレビ、コップ、蛇口、椅子等に関する情報を作成し、物データベースに追加する。必要な物データベースを作成した後、第 5 章で述べたコマンド部を介して、動作の対象となる物体名、動作の種類等を順次入力することにより目的の CG を合成できる。一度作成した物データベースは他のシナリオの CG を合成する際にも利用できるため、今後、ドアを開ける、蛇口をひねる、椅子に座る等の CG を合成する際には、動作の対象となる物体名と、動作の種類を入力するだけで CG を合成できるようになる。

CG の合成例として、歩きながらコップを手にする動作の合成例を図 5 に示す。なお、今回の CG の合成では図 1 に示した Main workstation として Linux ワークステーション (CPU:Pentium III 700MHz×2) を、Graphics workstation として SGI 社のワークステーション Oc-

時間	動作	人アルゴリズム	物アルゴリズム
①	ドアの開閉	モーションキャプチャデータ再生	ドアの開閉を合成
②	歩行	歩行動作	
③	テレビの電源スイッチを押す	球状線形補間	
④	歩行	歩行動作	
⑤	歩きながらコップに手を伸ばす	歩行動作+球状線形補間	
⑥	歩きながらコップを握る	歩行動作+物を握る動作	手に追従して移動
⑦	歩行	歩行動作+腕の姿勢を維持	手に追従して移動
⑧	蛇口をひねる	球状線形補間	手に追従して移動
⑨	歩行	歩行動作+腕の姿勢を維持	手に追従して移動
⑩	歩きながらコップの水を飲む	歩行動作+球状線形補間	手に追従して移動
⑪	歩行	歩行動作+腕の姿勢を維持	手に追従して移動
⑫	椅子に座る	モーションキャプチャデータ再生+腕の姿勢を維持	手に追従して移動

注：図中、プラス(+)は動作の融合を表す

図4 仮想人間の動作とアルゴリズムとの対応
Fig. 4 The correspondence between the synthesized human motion and the algorithm.

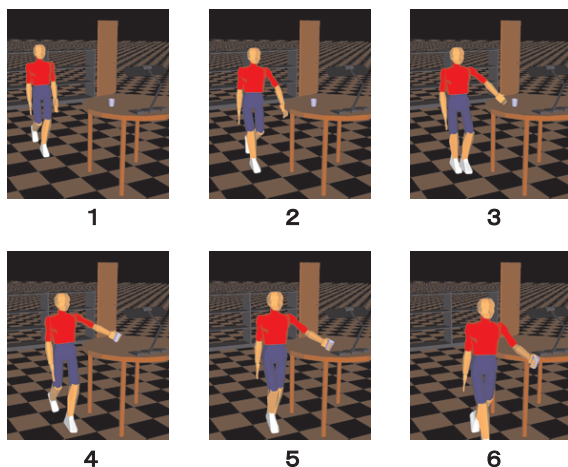


図5 歩きながらコップを手を取る動作の合成例
Fig. 5 The example snapshots of the virtual human who picks up a cup as he was walking.

tane(CPU:R10000 250MHz)を使用した。その結果、開発した AHMSS は第3章で述べた要求仕様を全て満たすことを確認した。

7. 結論と今後の課題

本研究では、認知科学における概念の1つであるアフォードンスの概念を用いた人体モーション合成システ

ム AHMSS を開発した。AHMSS では、仮想人間の動作を CG として合成するためのアルゴリズムを、動作の対象となる物体の情報を記述するデータベース内に格納することにより、仮想人間の新しい動作の追加や既存の動作の削除を容易にできる環境を実現した。また、アフォードンスが人の動作を誘発する強さと範囲が存在すると考えることにより、アフォードンスの融合の概念を導入し、同時に2つの物体に対する動作を合成する機能を AHMSS に実装した。

今後の課題としては、1. 利用可能な動作合成アルゴリズムや各種データの充実、2. 仮想空間内への仮想物体の配置や、仮想人間への動作の指示などを容易に行うことができる Graphical User Interface の構築、3. 仮想物体の状態に応じてアフォードする動作を適切に変更する機能(例えばドアの場合、「閉じた状態」では「開く動作」を、「開いた状態」では「閉じる動作」をアフォードする機能)の構築等が挙げられる。

参考文献

- [1] Rickel,J., Johnson,L. : Animated Agents for Procedural Training in Virtual Reality, Perception, Cognition, and Motor Control, Applied Artificial Intelligence, Vol. 13, pp. 343-382(1999).
- [2] Ishii,H., et al. : A Basic Study of Virtual Collaborator - The First Prototype System Integration -, Proc. of the 4th International Symposium on Artificial Life and Robotics, Vol. 2, pp. 682-685(1999).
- [3] Wu, 中川, 吉川 : プラント運転員の異常診断行動のモデリングとヒューマンモデルシミュレーションによる人間認知信頼性 (HCR) 曲線の導出法の研究, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 1, No. 2, pp. 11-24(1999).
- [4] Delaney,B. : The mystery of motion capture, IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 18, No. 5, pp. 14-19(1998).
- [5] Tolani,D. and Badler,N. : Real-Time Inverse Kinematics of Human Arm, Presence, Vol. 5, No. 4, pp. 393-401(1996).
- [6] Chen,D. and Zeltzer,D. : Pump it up : Computer animation of a biomechanically based model of muscle using the finite element method, Computer Graphics, Vol. 26, No. 2, pp. 89-98(1992).
- [7] J. ギブソン : アフォードンスの理論 ; 生態学的視覚論, サイエンス社, 第8章 (1985).
- [8] Douglas,D. and Sundhanshu,S. : Fast Techniques for Mixing and Control of Motion Units for Human Animation, Proc. of Graphics'94, pp. 229-242(1994).
- [9] 社領, 小牧, 石井, 下田, 吉川 : 仮想空間内における人の動作の融合手法に関する基礎研究, 第7回ヒューマンインタフェース学会研究会 (発表予定).
- [10] Shimoda,H., et al. : A Computer-Aided Sensing and Design Methodology for the Simulation of Natural Human Body Motion and Facial Expression', Proc. of EDA'98, CD-ROM(1998).