(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)特許出願公開番号
特開2007-334443
(P2007-334443A)
(43)公開日　平成19年12月27日(2007.12.27)

(51)Int.Cl.		F I		テーマコード（参考）
G06T 17/40	(2006.01)	G06T 17/40	D	5B050

審査請求 未請求　請求項の数 6　ＯＬ　（全 23 頁）

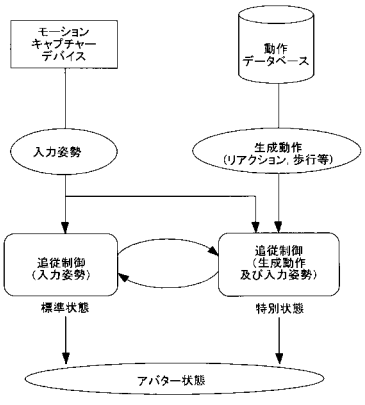
(21)出願番号　特願2006-162666 (P2006-162666)
(22)出願日　平成18年6月12日 (2006.6.12)

(71)出願人　504174135
国立大学法人九州工業大学
福岡県北九州市戸畑区仙水町１番１号
(74)代理人　100099634
弁理士　平井　安雄
(72)発明者　尾下　真樹
福岡県飯塚市大字川津６８０－４　九州工業大学内

Ｆターム(参考)　5B050 BA08 BA12 BA15 CA07 EA12 EA24 EA27 FA02 FA08

(54)【発明の名称】アバター動作制御システム、そのプログラム及び方法

(57)【要約】
【課題】衝撃等を受けたときのアバターの自然なリアクション動作を実現する、第三者視点を用いた仮想現実アプリケーションのためのアバター動作制御システムを提供する。
【解決手段】入力姿勢及び／又はアバターの現在の状態にもとづいて決定される追従制御の混合比率の入力姿勢の追従制御及び生成動作の追従制御で追従制御がなされるので、アバターの現在の状態が入力姿勢のみに従うだけでなく、また、アバターの現在の状態が生成動作のみに従うだけでなく、つまり、アバターの現在の状態が入力姿勢だけでなく生成動作にも従うことで、モーションキャプチャー装置によってアバターを動作させ、且つ、所定条件に該当する場合には生成動作でアバターを動作させ、より現実世界に合致した自然な動作を実現することができる。
【選択図】図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
モーションキャプチャー装置と、
モーションキャプチャー装置から得られた利用者の入力姿勢とアバターの現在の状態から追従制御する入力姿勢の追従制御手段と、
入力姿勢又はアバターの現在の状態が所定条件に該当するか否かを判断する動作認識手段と、
所定条件に該当する場合に当該所定条件に対応する動作を生成する動作生成手段と、
当該動作生成手段からの生成動作とアバターの現在の状態から追従制御する生成動作の追従制御手段と、
入力姿勢及び／又はアバターの現在の状態からアバターに対する入力姿勢の追従制御手段による追従制御と生成動作の追従制御手段による追従制御の混合比率を決定する制御指令手段とを含み、
当該決定された混合比率で追従制御するアバター動作制御システム。
【請求項２】
前記所定条件が能動的動作であり、
前記動作生成手段で生成される動作が能動的動作である
前記請求項１に記載のアバター動作制御システム。
【請求項３】
前記所定条件が受動的動作であり、
前記動作生成手段で生成される動作が受動的動作である
前記請求項１に記載のアバター動作制御システム。
【請求項４】
動作データを記録する動作記憶手段とを新たに含み、
前記動作生成手段が当該動作記憶手段から動作データを読み出して動作を生成する
前記請求項１に記載のアバター動作制御システム。
【請求項５】
モーションキャプチャー装置から得られた利用者の入力姿勢とアバターの現在の状態から追従制御する入力姿勢の追従制御手段と、
入力姿勢又はアバターの現在の状態が所定条件に該当するか否かを判断する動作認識手段と、
所定条件に該当する場合に当該所定条件に対応する動作を生成する動作生成手段と、
当該動作生成手段からの生成動作とアバターの現在の状態から追従制御する生成動作の追従制御手段と、
入力姿勢及び／又はアバターの現在の状態からアバターに対する入力姿勢の追従制御手段による追従制御と生成動作の追従制御手段による追従制御の混合比率を決定する制御指令手段としてコンピュータを機能させ、
当該決定された混合比率で追従制御するアバター動作制御プログラム。
【請求項６】
モーションキャプチャー装置から得られた利用者の入力姿勢とアバターの現在の状態から追従制御するための入力姿勢の追従制御の情報を生成する工程と、
入力姿勢又はアバターの現在の状態が所定条件に該当するか否かを判断する工程と、
所定条件に該当する場合に当該所定条件に対応する動作を生成する工程と、
当該生成した生成動作とアバターの現在の状態から追従制御するための生成動作の追従制御の情報を生成する工程と、
入力姿勢及び／又はアバターの現在の状態からアバターに対する入力姿勢の追従制御による追従制御と生成動作の追従制御による追従制御の混合比率を決定する工程と、
入力姿勢の追従制御の情報及び生成動作の追従制御の情報を決定された混合比率で追従制御する工程を含むアバター動作制御方法。
【発明の詳細な説明】

【技術分野】
【０００１】
本発明は、３次元空間内での利用者の動きを測定し、コンピュータに取り込むモーションキャプチャー装置を入力装置として利用し、仮想空間内に描画されるアバター（利用者が操作する仮想人間）のアバター動作制御に関する。
【背景技術】
【０００２】
モーションキャプチャー技術は色々な領域で用いられており、例えば、映画、動作分析、ゲームで使用されている。現在は、これらのオフライン向けに主に利用されているが、コンピュータゲームなどにおける操作インターフェースとしての期待も大きい。
【０００３】
モーションキャプチャー装置を入力装置として用いることで、利用者は仮想空間内でのアバター(利用者が操作する仮想人間)の全身の動作を制御し、さまざまな動作を行わせることが可能となる。
【０００４】
発明者は、このようなアプリケーションにおいては、第三者視点を利用することが最適であると考える（図１６参照）。現在、多くの仮想現実アプリケーションでは、まるで利用者が仮想空間内にいるかのように感じる本人視点が用いられている。しかし、キャラクターの動きが重要となる格闘ゲーム等のアプリケーションにおいて、本人視点は適切ではない。現実世界では、我々人間は、感覚を通じて自分の体の動きや、他のキャラクターや物体との物理的な接触を感じることができる。しかしながら、現在の仮想現実アプリケーションでは、視覚的な情報や限られた触覚デバイスしか用いることができないため、そのよう感触を利用者が感じることはできない。そこで、利用者自身をアバターとして見る第三者視点を用いることで、利用者は動きと他のオブジェクトとの可視的な相互作用を感じることができる。これが、発明者が、第三者視点がエンターテイメントアプリケーションにより適しているとする理由である。
【０００５】
そのようなアプリケーションを実現するために解決するべき問題として、２つの主な問題がある。１つ目の問題は、アバターはモーションキャプチャー装置からの入力にもとづき制御されるため、例えばアバターが他のキャラクタと衝突したときのリアクション動作など、環境からアバターへの物理的相互作用を実現することは難しい、ということである。これは、仮想空間内でアバターに物理的な影響が加えられても、利用者にその力を作用させることはできないからである。また、２つ目の問題として、仮想環境と比べモーションキャプチャーの領域は狭いため利用者が歩き回ることは困難である、という問題がある。現在の仮想現実システムでは、ナビゲーション向けのゲームパッド、３Ｄポインティングインターフェースのような追加的な装置が用いることでこのような問題を解決しているが、発明者が想定しているようなモーションキャプチャー装置を使用して全身動作を制御するシステムでは、このような追加的な装置を使用することは難しい。
【０００６】
ところで、モーションキャプチャーを入力装置としたキャラクター制御については、いくつかの研究がある（非特許文献１）。しかしながら、多くのシステムでは、入力姿勢をそのままキャラクターの動作の制御に用いており、キャラクターと環境の物理的相互作用は考慮されていない。
これに対し、非特許文献２で本発明に関連するシステムが提案されている。つまり、第三者視点及び追従制御を用いている。
【０００７】
また、非特許文献３では、マーシャルアーツの格闘ゲームにおいて、横から見た第三者視点を用いている。モーションキャプチャー装置から取得した利用者の姿勢をもとにアバターを制御し、コンピュータグラフィックスを用いてアバターを画面に描画する代わりに、カメラからリアルタイムの取得された利用者の動画像を直接画面に描画している。

【非特許文献１】Shin, H.J., Lee, J., Gleicher, M., Shin, S.Y. Computer Puppetry: An Importance-Based Approach, ACM Transactions on Graphics. 20 (2), 67-94, 2001.

【非特許文献２】Hasegawa, S., Ishikawa, T., Naoki Hashimoto, N. Human Scale Haptic Interaction with a Reactive Virtual Human in a Realtime Physics Simulator. In Proc. of Advances in Computer Entertainment Technology 2005.

【非特許文献３】Hamalainen, P., Ilmonen, T., Hoysniemi, J., Lindholm, M., Nykanen, A. Martial Arts in Artificial Reality, Proceedings of ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 005), 781-790, 2005.

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【０００８】

前記非特許文献２のシステムでは第三者視点及び追従制御を用いているものの、入力姿勢に追従するものであり、自動的な反応を生成するものではない。したがって、キャラクターに大きな衝撃が加わった場合には、アバターの動作は不自然になる。

【０００９】

前記非特許文献３の手法自体はユニークであるが、敵からの打撃に対してアバターが反応することができない。ここで、このシステムは、２つめの課題として述べたモーションキャプチャー領域の問題を、利用者の水平方向の移動を拡大し、垂直方向の動作に強調を加えることで、解決している。しかし、この手法では、モーションキャプチャー領域を多少拡大することはできるが、やはり広い仮想空間を利用者が歩き回るようなことはできない。

つまり、本発明は、前記非特許文献２及び３では解決することができなかった前述した２つの課題を解決する。

【００１０】

ところで、コンピュータアニメーションにおいて、与えられた衝撃に対するリアクション動作を生成することは最も難しい技術の１つである。人の制御モデルの仕組みはとても複雑であり、まだ十分にモデル化されていないため、自然な人間のリアクション動作を計算機を用いて生成することは大変難しい。

【００１１】

これに対して、複数の研究者により、追従制御及び／又は動作データベースを用いる手法が提案されている。

文献１（Zordan, V. B., Chiu, B., Majkowska, A., Fast, M. Dynamic Response for Motion Capture Animation. ACM Transactions of Graphics (Proc. of SIGGRAPH 2005), 24(3), 697-701,2005.）では、仮想的なキャラクターに衝撃が与えられた後の動力学シュミレーションの結果にもとづき、データベースから適切な動作データを探索して、動力学シミュレーションの結果と検索された動作データを混合することによって、衝撃に応じた自然なリアクション動作を生成する方法を提案している。

【００１２】

文献２（Komura T., Ho E. S.L., Lau R. W.H. Lau. Animating Reactive Motion Using Momentum-based Inverse Kinematics. The Journal of Computer Animation and Virtual Worlds, 16(3-4), 213-223, Wiley, 2005.）では、入力された衝撃情報に応じて適切なリアクション動作データを検索し、衝撃の大きさに応じて動作データを変形した後に、モーメント変化量を考慮しながら動作データを追従制御を行うことで、衝撃に応じた自然なリアクション動作を生成する方法を提案している。

【００１３】

文献３（Oshita, M., Makinouchi, A. A Dynamic Motion Control Technique for Human-like Articulated Figures. Computer Graphics Forum (EUROGRAPHICS 2001), 20(3), 192-202,2001.）では、、全身のバランスや関節負荷を考慮しつつ、追従制御の出力を修正するような動的制御アルゴリズムを開発することで、あらかじめ用意されたリアクショ

ン動作を使用することなく、自然な動作を生成している。

【００１４】

これらの手法は、モーションキャプチャーからの利用者の動作を用いるのではなく、あらかじめ作成されたリアクション動作データを入力として用いて、任意の衝撃を与えたときのリアクション動作を生成するように設計されている。

【００１５】

一方で、本発明で提案する手法は、モーションキャプチャーからの入力姿勢と文献２と文献１に示す同じような手法でデータベースから検索されたリアクション動作にもとづきアバターを制御する。本発明では、検索されたリアクション動作をそのまま目標動作として使用するが、文献２及び文献１に記述されるような手法を本発明に組み合わせて、より自然なリアクション動作を使用することがてきる。

【００１６】

モーションキャプチャー以外の直感的な入力装置を用いる制御インターフェースとして、さまざまなものが開発されている（文献４：Yin, K. K., Pai, D. K. FootSee: an Interactive Animation System. In Proc. of ACM SIGGRAPH / Eurapraphics Symposium on Computer Animation 2003, 329-338, 2003.）。しかしながら、そのようなインターフェースはキャラクターと環境の相互作用が考慮されていない。また、本発明では利用者による全身制御が必要であるため、それらをナビゲーション等の追加的インターフェースとして本発明と同時に用いることも困難である。

【００１７】

動作認識（文献５：Emering, L., Boulic, R., Thalmann, D. Live Participant's Action Recognition for Virtual Reality Interactions. In Proc. of Pacific Graphics, 15-21, 1997.）には多数の手法がある。しかしながら、現存の手法はどの種の動作実行がなされているのかを簡単に認識するものである。一方、本発明においては、単に利用者が歩行動作を行っているかという判定を行うだけではなく、歩行速度などを利用者の動作に合わせて制御する必要がある。そのため、本発明では、歩行動作をいくつかの状態に分け、利用者の動きからファジールールを用いて現在の状態を認識することで、状態遷移の速度から歩行速度を計算する手法を用いる。

【００１８】

本発明は前記課題を解決するためになされたものであり、モーションキャプチャーを入力として、衝撃等を受けたときのアバターの自然なリアクション動作を実現する、第三者視点を用いた仮想現実アプリケーションのためのアバター動作制御システムを提供することを目的とする。

また、本発明は、限られた利用者の移動範囲の中でその移動範囲より広い仮想空間内を移動することができるアバター動作制御システムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【００１９】

［発明の上位概念］

本発明に係るモーションキャプチャーシステムは、モーションキャプチャー装置と、モーションキャプチャー装置から得られた利用者の入力姿勢とアバターの現在の状態から追従制御する入力姿勢の追従制御手段と、入力姿勢又はアバターの現在の状態が所定条件に該当するか否かを判断する動作認識手段と、所定条件に該当する場合に当該所定条件に対応する動作を生成する動作生成手段と、当該動作生成手段からの生成動作とアバターの現在の状態から追従制御する生成動作の追従制御手段と、入力姿勢及び／又はアバターの現在の状態からアバターに対する入力姿勢の追従制御手段による追従制御と生成動作の追従制御手段による追従制御の混合比率を決定する制御指令手段とを含み、当該決定された混合比率で追従制御するものである。

【００２０】

このように本発明によれば、入力姿勢及び／又はアバターの現在の状態にもとづいて決定される追従制御の混合比率の入力姿勢の追従制御及び生成動作の追従制御で追従制御が

なされるので、アバターの現在の状態が入力姿勢のみに従うだけでなく、また、アバターの現在の状態が生成動作のみに従うだけでなく、つまり、アバターの現在の状態が入力姿勢だけでなく生成動作にも従うことで、モーションキャプチャー装置によってアバターを動作させ、且つ、所定条件に該当する場合には生成動作でアバターを動作させ、より現実世界に合致した自然な動作を実現することができる。

【００２１】

入力姿勢の追従制御の比率と生成動作の追従制御の比率を合わせて１になる必要は必ずしもない。例えば、比率の和が１よりも小さければ、アバターの追従性は鈍くなり、ゆっくりとした動作になる。

【００２２】

混合比率の決定に用いる入力姿勢、アバターの現在の状態は、ひとつの入力姿勢、アバターの現在の状態であってもよいし、複数の入力姿勢（現在の入力姿勢、過去の入力姿勢）、アバターの状態（現在のアバターの状態、過去のアバターの状態）であってもよい。複数のものから導き出せる所定部位の速度、加速度であってもよい。

【００２３】

制御指令手段は、入力姿勢及び／又はアバターの現在の状態から追従制御の混合比率を決定しているが、入力姿勢、アバターの現在の状態に加え、動作生成手段が生成した動作も参照して追従制御の混合比率を決定する構成であってもよい。つまり、入力姿勢、アバターの現在の状態及び／又は生成動作からアバターに対する入力姿勢の追従制御手段による追従制御と生成動作の追従制御手段による追従制御の混合比率を決定する構成であってもよい。

【００２４】

入力姿勢又はアバターの現在の状態が所定条件に該当しない場合には動作生成手段により動作が生成されず、生成動作の追従制御手段による追従制御もなく、入力姿勢の追従制御手段による追従制御となる。

【００２５】

前記動作生成手段が動作を生成する場合には、動作データを記録する動作記憶手段から動作データを読み出して動作を生成する。実施形態においては動作記憶手段は動作データベースとして説示している。この動作記憶手段に様々は動作データを記録することで動作生成手段が様々な動作を生成することができる。また、動作記憶手段をデータベースで構築することもでき、動作データの検索性及び格納性に優れ、より迅速に動作生成手段が動作を生成することができる。

【００２６】

［発明の下位概念その１］

アバターの状態から所定条件（衝撃を受ける、武器を投げられる、声をかけられる等の受動的動作）に該当することを判別したとき、適切なリアクション動作データを生成し、生成されたリアクション動作に追従制御する。そうすることで、他のキャラクターから攻撃を受けた場合に衝撃に対する適切なリアクション動作をとることができ、前記第１の課題を解決して環境とアバターとの物理的な相互作用を実現する。

【００２７】

本発明ではでは、モーションキャプチャー装置からの入力動作を単純に再生するのではなく、モーションキャプチャーからの入力姿勢に追従するようにアバターを制御する（図１参照）。ここで、発明の下位概念その１を第１の発明とする。例えば、アバターに衝撃が与えられたとき（例えば、他のキャラクターと衝突したとき）、システムはアバターが転倒するようなリアクション動作データを生成し、アバターはそのリアクション動作に追従する。リアクション動作中でも、利用者は僅かではあるがアバターを制御することができる。本発明により、システムはモーションキャプチャー装置からの入力された利用者の入力姿勢とシステムによって生成されたリアクション動作の間の自然な遷移を実現することができる。

【００２８】

現実世界では、衝撃を受けたからといって人間はまったく自分の体をコントロールできなくなるのではなく、衝撃に応じて衝撃を受けつつ自分の体をコントロールすることができる。具体的には、ボクサーは相手のボクサーの攻撃を受けて身が反り返りながらも反撃のパンチを出すことができる。ただし、あまりも相手の攻撃が強すぎて空に浮いた場合にはもはや自分の体をほとんどコントロールすることができない。本発明により仮想現実の中でも受動的動作、能動的動作のどちらか一方の動作に陥るのではなく、どちらの動作も含んだより現実世界に合致した動作が可能となる。

【００２９】

［発明の下位概念その２］

入力姿勢から、利用者が行っているしぐさが所定条件（例えば、歩きの身ぶり、走るの身ぶり、早歩きの身ぶり、泳ぐ、登る、飛ぶ、よける、しゃがむ、振り返る等の能動的動作）に該当することを判別したとき、適切な動作を生成し、生成動作に追従制御する。そうすることで、例えば、利用者は、歩きの身ぶり、走るの身ぶり、早歩きの身ぶりをすることで、それぞれ仮想空間内で、アバターに、歩き、走る、早歩きの動作を行わせることができ、第２の課題を解決してモーションキャプチャーの領域よりも広くアバターが移動することができる。このとき、生成動作にアバターを完全に追従させるのではなく、入力姿勢への追従制御の比率を適切に制御することで、例えば、歩きながら手を振ったり等の、生成動作と利用者の動作を同時に実行させることができる。

【００３０】

すなわち、本発明は歩行等の身ぶりによるナビゲーションインターフェースも有する（図２参照）。ここで、発明の下位概念その２を第２の発明とする。このインターフェースにより、利用者が足踏みをすると、つまり、水平的な移動なしに一定の場所で歩行の身ぶりをすると、システムが歩行動作を生成し、アバターはその歩行動作に追従する。システムが生成する歩行動作は、利用者の身ぶりによって制御される。例えば、利用者が手足を素早く動かすと、その動作速度にもとづいて、システムは走る動作を生成する。つまり、利用者の歩行のしぐさに応じて、アバターの歩行速度や曲がる方向も制御することができる。本インターフェースを用いることで、利用者は、容易且つ直感的に、アバターの歩行動作の速度や方向を制御することができる。

【００３１】

本発明は第三者視点を用いた仮想現実アプリケーションで用いることが望ましい。このように適用することで、利用者は、アバターの動作を通して、特別な力覚装置を用いることなくとも、アバターへ加えられた衝撃などの環境からの物理的な相互作用を視覚的に認識することができる。

なお、発明者は、発明技術を実際に実装したプロトタイプシステムを開発した（図３参照）。

【００３２】

本発明は、システム以外に、アバター動作制御プログラム、アバター動作制御装置、アバター動作制御方法としても把握することができる。

これら前記の発明の概要は、本発明に必須となる特徴を列挙したものではなく、これら複数の特徴のサブコンビネーションも発明となり得る。

【発明を実施するための最良の形態】

【００３３】

本発明は、多くの異なる形態で実施可能である。従って、下記の実施形態の記載内容のみで解釈すべきではない。また、実施形態の全体を通して同じ要素には同じ符号を付けている。

実施形態では、主にシステムについて説明するが、所謂当業者であれば明らかな通り、本発明はコンピュータで使用可能なプログラム及び方法としても実施できる。また、本発明はハードウェア、ソフトウェア、またはソフトウェア及びハードウェアの実施形態で実施可能である。プログラムは、ハードディスク、ＣＤ－ＲＯＭ、ＤＶＤ－ＲＯＭ、光記憶装置または磁気記憶装置等の任意のコンピュータ可読媒体に記録できる。さらに、プログ

ラムはネットワークを介した他のコンピュータに記録することができる。
【００３４】
［１．システム構成］
アバター状態は、シミュレーションの各時刻において、モーションキャプチャーからの入力姿勢にもとづき更新される。
アバターは、通常の状態では、モーションキャプチャー装置からの入力姿勢に追従する。
大きな衝撃がアバターに与えられたとき、主にリアクション動作データベースから検索されたリアクション動作に追従する。
利用者が歩行の身ぶりを行ったときには、モーションブレンディング技術を用いることで歩行動作が生成され、アバターはそれに応じて歩行動作に追従する。
リアクション動作又は歩行動作中でも、状況に応じてアバターは入力姿勢にも追従することが可能であるため、利用者はアバターを制御することができる。
【００３５】
［１．１　追従制御］
文献６（Hodgins,, J. K., Wooten, W. L., Brogan, D. C. and O'Brien, J.F. Animating Human Athletes. SIGGRAPH '95 Proceedings,71-78, 1995.）、文献７（Laszlo J., van de Panne M., Fiume E. Limit Cycle Control and Its Application to the Animation of Balancing and Walking. In Proc. of SIGGRAPH 1996, 155-162, 1996.）の標準的な物理的シュミレーションにおいては、追従制御部は関節トルクを演算し、シュミレーションはその関節トルクから関節加速度を演算しているが、発明者は制御性の観点から角加速度を用いることを選択した。
【００３６】
トルクにもとづく追従制御では、安定した制御を実現するためには、適切なゲイン計数などのパラメータをキャラクターの骨格や目標動作に対して慎重に調整する必要がある。そのため、本発明のように、複数の追従制御部からの出力を混合してアバターの制御を行おうとすると、不安定な動作が生成されることになる。したがって、発明者は文献３、文献８（Yamane, K., Nakamura, Y. Dynamics Filter - Concept and Implementation of Online Motion Generator for Human Figures. IEEE Transactions on Robotics and Automation,19(3), 2003.）に記載されている方法と同じやり方で、角加速度を制御することにした。
【００３７】
トルクにもとづく制御は一般的により物理的に妥当な動作を生成すると考えられているが、本実施形態のシステムにおいては必要ない。というのは、入力姿勢データとデータベース上のリアクション動作の両方は、実際の人間の動作をモーションキャプチャーしたものであり、それらはもともと物理的に妥当であるからである。文献６や文献７とは異なり、本実施形態では、物理的に正しい動作を生成するためでなく、複数の目標動作にもとづいて動作を生成することを目的として追従制御を用いる。
【００３８】
［１．２　人体モデル］
アバター、及び、システムが操作するキャラクターなどの仮想人間は、多関節体としてモデル化される。本実施形態の人体モデルは、図４に示すように、２０の体節、１９の関節を有する多関節体によってモデル化されている。これは、コンピュータゲームで一般的に使用されるものと同様の、典型的な人体モデルである。
人体モデルの姿勢は、次の数式で表現される。
【００３９】

【数１】

$$M = \left\{ P_{root}, q_{root}, q_0, \Lambda, q_i, \Lambda, q_{n-1} \right\} \qquad (1)$$

【００４０】

人体モデルの姿勢は、腰の位置・方向、各関節の回転からなる。ここで、ｎは関節の番号である。本実装形態では、腰の方向や関節の回転を、回転ベクトルで示す。回転ベクトルの方向は親の体節に対する相対的な回転の回転軸を示し、回転ベクトルの長さはその回転軸まわりの回転角度を示す。回転ベクトルを用いることで、任意の回転を表現することができる。

人モデルの速度Ｍ´及び加速度Ｍ´´も、（１）で示したものと同様の形式で示される。

【００４１】

本実施形態では、アバター状態は、姿勢Ｍと速度Ｍ´からなる。追従制御部は、角加速度Ｍ´´を出力する。アバターの姿勢Ｍと速度Ｍ´の変化は、各シュミレーションステップにおけるアバターの加速度Ｍ´´をもとに、積分計算によって計算される。アバターが、他のキャラクター又は物体と衝突したときには、文献９（Moore, M., and Wilhelms, J. Collision Detection and Response for Computer Animation. Computer Graphics (SIGGRAPH '88 Proceedings), 22(3), 289-298, 1988.）で述べられている方法により、全体節間の衝撃と速度変化の関係を表す線形問題を解くことで、衝突によるアバターの速度Ｍ´の変化を算出することができる。

【００４２】

［２．アバター制御］

本実施形態では、アバターの現在状態と目標動作から得られる目標状態にもとづいて、追従制御のアバターの加速度を求める、ＰＤ制御法を使用する。

【００４３】

【数２】

$$q_i'' = k\left(q_{target,i} - q_i\right) + d\left(q'_{target,i} - q_i'\right), \qquad (2)$$

【００４４】

ここで、q_i''はｉ番目の関節の出力回転加速度であり、q_i、q_i'はそれぞれ現在の関節角度、回転速度であり、$q_{target,i}$、$q'_{target,i}$はそれぞれ目標動作から得られる目標の関節角度、回転速度である。ゲイン計数ｋ、ダンピング計数ｄには、それぞれ適切な値を手動で設定している。本実施形態では、追従制御に関節トルクではなく角加速度を用いるので、全ての関節で同じｋ、ｄを用いることができる。

ＰＤ制御部で関節回転を制御するために、回転及び回転速度を回転ベクトルとして扱う。

関節回転に加え、腰及び地面に接触する末端部位（足先、手先など）も制御される。

【００４５】

本システムは、腰や末端部位の位置及び方向を制御し、それらの値から、逆運動学(inverse kinematics)をもちいて手足の各関節の回転を計算する。本実施形態では非特許文献１の解析的運動学手法を使用する。

腰（末端部位）の位置p_jは、次のように制御される。

【００４６】

【数３】

$$p''_j = k_{pelvis}\left(p_{target,j} - p_j\right) + d_{pelvis}\left(p'_{target,j} - p'_j\right). \qquad (3)$$

前記（２）で示した関節回転の制御と同様の方法で、腰の方向も制御される。

【００４７】

［３．衝撃時のリアクション動作］

本実施形態では、発明の本質的要素としての、動作生成部におけるリアクション動作生成処理と、制御司令部における入力姿勢及び生成動作の追従制御の混合比率の決定処理を工夫することで、衝撃時のリアクション動作を実現する。

【００４８】

本実装形態では、実際の人間の動作を観察することで得られた、人のリアクション動作は３つの段階に分けることができるという考えにもとづき、自然なリアクション動作を実現する。３つの段階は、能動制御段階、ステップ付き能動制御段階、受動制御段階である（図５参照）。一般に、衝撃が人に与えられたとき、その人は手や上半身を動かしてバランスをとろうとする（能動制御段階）。衝撃が小さい場合には、能動制御段階中に、バランスを回復することができる。もし、与えられた衝撃が比較的大きく、能動制御段階中にバランスを回復することができない場合には、通常、転倒を防ぐために、倒れようとする方向に足を踏み出す（ステップ付き能動制御段階）。このとき、足を数歩分動かすことでバランスを回復することもあれば、バランスを回復できずに転倒してしまうこともある。転倒動作中は、その人の運動はほぼ重力によって左右されるため、自分の体をほとんど制御することができない（受動制御段階）。このように、図５（ａ）ないし図５（ｃ）が示すように、能動制御段階でバランスを回復する場合、ステップ付き能動制御段階でバランスを回復する場合、受動制御段階が終わってからバランスを回復する場合、の３通りにリアクション動作を分類する。

【００４９】

本実施形態では、上記のようなリアクション動作を実現する。まず、アバターに衝撃が加えられたときに、３種類のリアクション動作のどれを実行するかを、衝撃が加えられた後のアバターの状態にもとづいて決定する。入力姿勢に対する追従制御とリアクション動作に対する追従制御の混合比率は、実行するリアクションの種類及び３つの段階のどの段階であるかにもとづき、制御される。図５の各リアクション動作の下の実線と点線は、各種類のリアクション動作の各段階における、入力姿勢に対する追従制御とリアクション動作に対する追従制御の混合比率をどのように変化させるかを、それぞれ表している。

【００５０】

衝撃が与えられた直後のアバター状態の変化が小さいときには（図５（a）参照）、動作データベースに格納されたリアクション動作データ（以降、衝撃によって実現される結果の動作を「リアクション動作」、それを生成するために追従制御の目標動作として使用する、あらかじめ動作データベースに格納されている動作データのことを「リアクション動作データ」と呼称する。）は使用せず、入力姿勢の追従制御に小さな比率を使用することで、衝撃の影響によって利用者がアバターを完全に制御することができない能動制御段階を実現する。一方、大きな衝撃がアバターに与えられたときには、適切なリアクション動作データを動作データベースから検索して、追従制御の目標動作として使用する。アバターの状態をもとに動作データベースから検索されたリアクション動作データに設定された情報にもとづいて、実行するリアクション動作の種類を決定する。アバターがそれほど大きくバランスを崩していなければ、ステップ付き能動制御段階でバランスを回復する（図５（ｂ）参照）。アバターが大きくバランスを崩していれば、受動制御段階まで実行する（図５（ｃ）参照）。これらのリアクション動作を実行する場合も、小さな衝撃が与えられた場合（能動制御段階でバランスを回復する場合）と同様に、最初は入力姿勢の追従制御に小さな比率を付与する。ステップ付き能動制御段階にバランスを回復する場合には

、ステップ付き能動制御段階中に比率を徐々に大きくすることで、当該段階の終了時には、アバターは入力姿勢の追従に戻る。他方、受動制御段階まで実行する場合には、ステップ付き能動制御段階で、リアクション動作データへの追従制御の比率を徐々に大きくし、入力姿勢の追従制御の比率を徐々に小さくしていく。受動制御段階の間は、入力姿勢への追従制御の比率は０にセットされ、アバターはリアクション動作データに完全に追従する。

【００５１】

受動制御段階まで実行し、アバターが転倒ししてしまうと、リアクション動作が終了した時点で、アバターの姿勢と利用者の姿勢は異なる。このとき、アバターを利用者の姿勢に追従させると、アバターが不自然に立ち上がるような動作が生成されてしまう。このような問題の回避をするために、リアクション動作が終了した後に、アバターが利用者の姿勢に近い姿勢になるように、適切な遷移動作を実行する。前記遷移動作の実行方法については、後説する。

【００５２】

［３．１　リアクション動作データベース］

動作データベースには、あらかじめ、いくつかのリアクション動作データを格納しておく。大きな衝撃がアバターに加えられ、アバターがバランスを崩したとき、本実施形態では、動作データベースから適切なリアクション動作データを検索し、追従制御の目標動作として用いる。加えられた衝撃やそのときのアバターの状態に応じて、最も自然なリアクション動作を実現するのに最適なリアクション動作データを検索するため、それぞれのリアクション動作データには、前もって自動的に算出したインデックスキーを付与しておく。このインデックスキーは、リアクション動作が開始された際のアバターのバランス状態と姿勢状態が含まれる。

【００５３】

実行するリアクション動作データを決定する上で、リアクション動作を開始する時点でのアバターの運動方向や速度が最も重要となる。なぜなら、これらの値がリアクション動作の方向を決定するからである。リアクション動作データの検索において、重心の位置及び速度を考慮するため、本実装形態では、文献１３（Hof A. L., Gazendam, M. G. J., Sinke, W. E. The condition for dynamic stability. Journal of Biomechanics, 38, 1-8, 2005.）で提案されている推定重心位置（ＸｃｏＭ）の考え方を利用した。ＸｃｏＭは、重心の位置と速度から計算される位置で、文献１３では人間のバランス状態を評価するために用いられている。

ＸｃｏＭは逆振り子モデルにもとづいており、次の式により算出される。

【００５４】

【数４】

$$p_{XcoM} = p_{CoM} + \sqrt{l/g}\,P'_{CoM}\ , \qquad (4)$$

【００５５】

P_{CoM}、P'_{CoM}はそれぞれ重心の位置、速度であり、ｌは足の長さであり、ｇは重力加速度である。ここで、ＸｃｏＭを使用する代わりに、重心の位置及び速度を独立した変数として検索時の評価に用いることも可能であるが、この場合は、位置と速度をどれくらいの割合で勘当するこという適切な比率を何らかの方法で決定することが必要になる。そこで、本実施形態では、このような比率の決定を避けるために、文献１３で使用されているモデルを用いることとした。

【００５６】

適切なリアクション動作データを選択するためには、リアクション動作を開始するときの重心の位置や速度だけではなく、アバターの全身の姿勢や速度も重要な要素である。しかしながら、全ての部位の位置、速度を検索時の評価として用いるのは冗長である。そこ

で、本実施形態では、手先足先などの人体の末端部位の位置、速度のみを考慮することとした。一般に、バランスを失おうとするときのアバターの運動速度は大きいため、末端部位の位置だけではなく、速度も考慮する必要がある。そこで、ＸｃｏＭと同様の考え方にもとづき、位置と速度の両方を考慮するため、手先足先の末端部位についても、式（４）を用いて、推定末端位置（ＸＥＥ）を計算することにする。ＸＥＥは、各手足の元となる部位（手の場合は肩、足の場合は股関節）を原点とするローカル座標系で示される。ローカル座標系の向きは、Ｚ軸がは人体モデルの前方方向を向き、Ｙ軸はワールド座標系のＹ軸を向いている。以上で説明した通り、ＸｃｏＭ（３次元ベクトル）と各手足のＸＥＥ（３次元ベクトル）を使用し、インデックスキーは１５次元のベクトルとして表される（図６）。

【００５７】

動作データベース中の各リアクション動作データのインデックスキーは、あらかじめ計算しておく。各リアクション動作データにおいて、キャラクターに衝撃が与えられた後にＸｃｏＭ長さが最も大きくなったときのキャラクターの状態にもとづいて、インデックスキーを計算する。各リアクション動作データごとに、開発者が大まかなリアクション開始時刻を指定しておくと、指定時刻の前後の一定時間間隔内（０．２［秒］）を探索して、ＸｃｏＭが最も大きくなる時刻を算出する。

【００５８】

［３．２　リアクション動作の探索］

アバターに衝撃が与えられると、本実施形態では、まずはその衝撃が小さいものと仮定し、図５（a）に示すように、リアクション動作データは使用せず、追従制御の混合比率を単純に制御し始める。その後、各シミュレーションステップにおいて、アバターのバランス状況（ＸｃｏＭ及びＸＥＥｓ）を算出する。一般に、ＸｃｏＭがアバターのサポートポリゴンの外部にある場合、アバターはバランスを失っていると考えることができる（文献１３）。このとき、最もアバターの状態に近いインデックスキーを有するリアクション動作データが用いられる。なお、サポートポリゴンとは、両足などのアバターが地面に接触している範囲全体を含む最小の凸多角形のことである。サポートポリゴンは、アバターの姿勢及び描画用の幾何形状モデルから、アバターと地面の間の接触面を計算し、その全ての接触面を含む凸包を計算することで、算出することができる。凸包計算の方法については、文献１４などで説明されている（文献１４：O'Rourke, J. Computational Geometry in C (Cambridge Tracts in Theoretical Computer Science), Cam-bridge University Press, 1998.）。アバターがバランスを失い始めたとき、つまり、アバターのＸｃｏＭがサポートポリゴンの外に移動したときに、そのときのアバターの状態から計算されたインデックスキーと、動作データベース中の各リアクション動作データのインデックスキーとを比較して、次の式で計算される、２つのインデックスキーの差が最も小さくなるリアクション動作データを検索する。

【００５９】

【数５】

$$E_i = w_{XcoM}\left|p^i_{XcoM} - P_{XcoM}\right| + \sum w_j\left|p^i_j - p_j\right|, \qquad (5)$$

【００６０】

ここで、P^i_j、P^i_{XcoM}はそれぞれＸｃｏＭの位置、ｊ番目の端部（手、足、頭）の位置であり、w_j、w_{XcoM}はそれぞれＸｃｏＭの重み、ｊ番目の端部の重みである。たとえば、現在の実装においては、w_{XcoM}＝５．０、w_j＝１．０を用いている。

衝撃がアバターに与えられた直後は、ＸｃｏＭの長さは小さく、その後、徐々に大きくなる。そのため、あまり早くリアクション動作データの検索を行ってしまうと、適切なリアクション動作データが検索されない。そこで、ＸｃｏＭがサポートポリゴンを超えた後

、指定された持続期間の間、バランス状況を算出し続け、初めてＸｃｏＭの長さが極大値となったときの状態が、リアクション動作データの検索に用いられる。

【００６１】

［３．３　混合比率制御］

前説した考え方にもとづき、図５に示すように、入力姿勢への追従制御とリアクション動作への追従制御の混合比率は、実行しているリアクション動作の種類、現在の段階、リアクション動作開始からの経過時間より決定される。それぞれのリアクション動作データには、前もって各段階の切り替わるタイミングを示す時刻が設定されているものとする。最初の能動制御段階では、比率は線形に変化する。２番目のステップ付き能動制御段階では、しばらくは一定の比率を使用し、次の段階に切り替わる時刻の一定時間前から、同じく比率を線形に変化させる。

【００６２】

本実施形態では、図５で示される線形関数を単純に使用するのではなく、入力姿勢の上半身の速度にもとづいて、入力姿勢への追従制御の比率を変化させる。図５の比率を単純に使用した場合、もし利用者が上半身をほとんど動かさなければ、アバターはその静止した姿勢に追従するため、追従制御の結果を混合して生成された動作は、元々のリアクション動作データに比べて動きが小さくなってしまう。そこで、この問題を解決するために、利用者の両手と頭の速度の合計値があらかじめ決められた閾値よりも小さい場合には、図５の重み関数ｆ（ｔ）に、両手と頭の速度を掛け合わせたものを比率として使用する。

【００６３】

【数６】

$$w_{input}(t)=\begin{cases} f(t) & if\left(\left|v_{right\_hand}\right|+\left|v_{left\_hand}\right|+\left|v_{head}\right|\right)\rangle v \\ f(t)\times\left(\left|v_{right\_hand}\right|+\left|v_{left\_hand}\right|+\left|V_{head}\right|\right)/v & otherwise. \end{cases} \qquad (6)$$

【００６４】

リアクション動作の種類とリアクション動作データが決定された後は、動作司令部は、リアクション動作が続く間、混合比率の制御を続ける。リアクション動作の実行が終了し、さらに必要であれば遷移動作の実行が終了すると、システムは標準の制御状態に戻る。

【００６５】

［３．４　入力姿勢の遷移］

前記したように、アバターが転倒した後に、不自然な動作が生成されることを防ぐため、本実施形態では遷移動作を実行する。ここでは、利用者は常に両足で立っていると仮定し、転倒した状態から立ち上がるような動作データを目標動作として追従制御を行う。このとき、なるべく自然な遷移動作を実行するためには、入力姿勢（利用者の状態）及び現在の状態（アバター状態）にもとづき、動作データベースから適切な動作データを動的に計算することが望ましい。しかし、現在の実装では、それぞれのリアクション動作データに、適切な立ち上がる動作をあらかじめ手動で割り当てている。

【００６６】

［４．歩行動作］

本実施形態では、図２に示すように、利用者が歩行のしぐさを行うことで、追従制御の目標動作として歩行動作を生成する。アバターの歩行動作を開始するときには、利用者は、普段歩くときと同様に、手足を同時に動かして足踏みのしぐさを行う必要がある。アバターが歩行動作を始めた後は、利用者は必ずしも足に合わせて手を動かす必要はなく、利用者が足踏みを続ける限り、アバターも歩行動作を続ける。そのため、アバターが歩行動作を開始した後は、利用者は、アバターの上半身の動作を自由に操作することができる。例えば、利用者は、アバターに、歩きながら手を振ったり、他のキャラクターを打撃させたりすることができる。このようなインターフェースを実現するために、本実施形態では

、利用者の体全体のしぐさ（歩行動作の開始判定に使用）と、利用者の下半身のしぐさ（歩行動作の継続判定に使用）を認識する。入力姿勢への追従制御と歩行動作への追従制御の比率もまた、この動作認識の結果にもとづいて制御される。

【００６７】

［４．１　歩行動作の生成］

本実施形態では、動作生成部において、利用者の動作にもとづき、生成される歩行の速度や曲がる方向を制御するために、歩行動作の生成にモーションブレンディング技術を用いる（文献１５：Park S. I., Shin H. J., Shin S. Y. On-line Locomotion Generation Based on Motion Blending. In Proc. of ACM SIGGRAPH Symposium on Computer Animation 2002, 113-120, 2002.）。もちろん、どのような動作生成の技術（例えば、モーションクラフ、ダイナミックシュミレーション等）も、本発明と組み合わせて使用することができる。

【００６８】

モーションブレンディングを行うために、まず、さまざまな速度、曲がる方向のいくつかの歩行動作（サンプル動作）を用意する。各サンプル動作には、あらかじめ手動で動作の節目を表すキー時刻を設定しておく。このキー時刻の情報は、速度の異なるサンプル動作を同期して、モーションブレンディングを行うために作融合処理の不可欠である。加えて、それぞれのサンプル動作の速度及び曲がる方向も、前もって計算される。生成する歩行動作のパラメータ（速度及び曲がる方向）が与えられたとき、この情報を用いて、与えられたパラメータを満たす歩行動作を生成するための、サンプル動作の混合比率が計算される。この混合比率にもとづきサンプル動作をブレンディングすることで、歩行動作が生成される。モーションブレンディングに関してより詳細な事項は文献１５に記載されている。

【００６９】

［４．２　歩行の身ぶりの検出］

利用者のしぐさに応じてアバターの歩行動作を制御するためには、利用者が足踏みのしぐさを行っているかの判定だけではなく、利用者のしぐさから歩行動作の速度や曲がる方向などのパラメータを計算する必要がある。歩行方向（曲がる方向の角度）は利用者の腰の向きの変化から容易に算出できる。歩行速度を計算するために、図７に示すように、歩行動作を四つの状態に分け（右足上げ、右足下げ、左足上げ、左足下げ）、利用者が現在どの状態の動きを行っているかを検出することで、状態遷移の速度から歩行速度を計算する。利用者がどの歩行状態を行っているかは、利用者の腰、足及び手の速度にもとづいて（図８参照）、ファジールールを用いて判定する。

【００７０】

全身のしぐさによる歩行状態を検出するために、腰、足及び手の速度を用いる。例えば、右足が上がっている状態（図７「右足上げ」）では、右足の垂直速度$v_y^{right_foot}$は大きな正の値（上向きの運動）になる。また、右手の水平$v_z^{right_hand}$は負の値（後方への運動）、左手速度$v_z^{left_hand}$は正の値（前方への運動）になる。また、足踏みのしぐさ中は、腰の水平速度$v_{|x+z|}^{pelvis}$は常に小さな値となる。

【００７１】

図９に示すように、あらかじめ与えられた速度の平均値と分散により定義されるメンバーシップ関数にもとづいて、各速度がどれだけ足踏みしぐさ中の値に近いかを表す評価値を計算する。例えば、右足$v_y^{right_foot}$の評価値（０から１の間の値をとる）は次の式により算出される。

【００７２】

【数７】

$$e_y^{right\_foot} = \begin{cases} \left(v_y^{right\_foot} - a^{right\_foot}\right) / d^{right\_foot} & if \left| v_y^{right\_foot} - a^{right\_foot} \right| < d^{right\_foot} \\ 0 & if \left| v_y^{right\_foot} - a^{right\_foot} \right| \geq d^{right\_foot} \end{cases} \quad (7)$$

【００７３】

同様の方法で計算された各部位の速度の評価値にもとづき、例えば、利用者の全身のしぐさが、右足が上がっている状態（図7 Right Leg Up）かどうかの確率を表す評価値は、次の式により算出される。

【００７４】

【数８】

$$e^{right\_leg\_up(full)} = \min\left\{ e_y^{right\_foot}, e_{|x+z|}^{pelvis}, e_z^{right\_hand}, e_z^{left\_hand} \right\}. \quad (8)$$

同様に、下半身のしぐさによる歩行状態を検出するためには、手の速度は考慮せず、腰及び足の速度のみを用いる。

【００７５】

【数９】

$$e^{right\_leg\_up(lower)} = \min\left\{ e_y^{right\_foot}, e_y^{left\_foot}, e_{|x+z|}^{pelvis} \right\}. \quad (9)$$

【００７６】

他の３つの歩行状態の認識（図７）にも、同様の関数を用いる。

$e^{right_leg_up(full)}$又は$e^{left_leg_up(full)}$のどちらかの確率が閾値を超えると、アバターは歩行動作を開始する。

歩行動作中に、次の歩行状態（例えば、現在の状態が右足上げであれば、次は右足下げ）$e^{right\_leg\_down(lower)}$）の可能性が閾値を越えたら、次の歩行状態へ遷移する。

【００７７】

歩行状態がある状態から次の状態へ遷移する瞬間は、手足の速度はゼロに近づくため、歩行状態を正しく認識することができない。この問題を解決するため、一定時間の間、どの歩行状態でもない状態が続いても、前の歩行状態を継続する。一定時間以上、どの歩行状態でもない状態が続いたら、歩行のしぐさは停止したと認識する（図７の「不歩行」）。

【００７８】

利用者のしぐさが次の歩行状態であると検出されたら、動作認識部は、利用者の歩行状態を次の状態に遷移させる。動作状態の遷移速度は、以前のいくつかの歩行状態への遷移時刻から、算出される。また、現在の動作状態と状態遷移速度にもとづき、歩行動作の標準時間（１周期の歩行動作の開始時刻を０、終了時刻を１とし、０から１の間で変化する時間）も算出される。

【００７９】

［４．３　歩行動作制御］

歩行動作の実行中は、入力姿勢に対する追従制御の比率は、腰を含む下半身については常に０である。上半身については、利用者が全身で歩行動作のしぐさを行っている間、又は、利用者が手を全く動かしていない間は、比率は０である。一方、（６）の計算と同様に、利用者が手を動かす速度が一定値以上であれば、上半身の比率には１に近い値を設定

する。このような比率制御により、歩行動作が開始された後は、利用者の上半身が歩行以外の動きを行ったときにのみ、アバターは利用者の上半身の姿勢に追従する。このように本実施形態では上半身と下半身で追従制御の比率を変更したが、複数の部位で追従制御の比率を変更することができる。たとえば、衝撃を受けた近傍部位は入力姿勢に対する追従制御の比率を小さくし、その衝撃を受けた近傍部位から離れる部位程入力姿勢に対する追従制御の比率を大きくすることもできる。

【００８０】

［５．ハードウェア構成の具体例］

図１０は本実施形態に係るモーションキャプチャーシステムのハードウェア構成図である。

本実施形態に係るモーションキャプチャーシステムは、コンピュータ１０、表示装置２０及びカメラ３０からなる。この他、利用者に取り付けるマーカがある。

【００８１】

コンピュータは、ＣＰＵ(Central Processing Unit)１１、ＤＲＡＭ(Dynamic Random Access Memory)１２等のメインメモリ、外部記憶装置であるＨＤ(hard disk)１３、入力装置であるキーボード１５及びマウス１６、ネットワークに接続するための拡張カードであるＬＡＮカード１７、ＣＤ－ＲＯＭドライブ１８等からなる。なお、本実施形態ではＬＡＮカードを使用しないが、当業者であれば明らかな通り、システム構成によってはＬＡＮを構築して本発明を実現することができる。

例えば、ＣＤ－ＲＯＭに格納されているアバター動作制御プログラムがＨＤ１３上に複製（インストール）され、必要に応じてアバター動作制御プログラムがメインメモリ１２に読み出され、ＣＰＵ１１がかかるプログラムを実行することでアバター動作制御装置を構成する。

【００８２】

［６．ブロック構成図の説明図］

図１１は本実施形態に係るシュミレーションシステムのブロック構成図である。

モーションキャプチャー部４１は、カメラ２０からの出力信号を受け、利用者の姿勢を計算し、入力姿勢として出力する。

入力姿勢用の追従制御部４２は、出力された入力姿勢（目標とする入力姿勢）及びアバター状態を受けて制御加速度を求めて出力する。なお、たとえば、ＰＤ制御法を用いて制御加速度を算出する。

【００８３】

動作認識部４３は、出力された入力姿勢及び動作状態を受けて利用者の動作状態を認識して動作状態を出力する。

制御指令部４４は、出力された動作状態及びアバター状態が所定状態に合致するか否かを判断し、合致している場合には対応する動作を動作生成部４６に生成するように制御信号を出力する。また、制御指令部４４は、所定状態に対応する混合比率を出力する。

【００８４】

動作生成部４６は、制御信号を受けて動作データベース４７から適切なリアクション動作データを読み出し、必要に応じて変更を加えて生成動作として出力する。

生成動作用の追従制御部４８は、出力された生成動作の姿勢（目標とする生成動作の姿勢）及びアバター状態を受けて制御加速度を求めて出力する。より詳細には、各時刻ごとに、生成動作の該当時刻の姿勢を目標姿勢として追従制御を行う。なお、たとえば、ＰＤ制御法を用いて制御加速度を算出する。

【００８５】

状態変化計算部４５は入力姿勢に係る制御加速度、生成動作に係る制御加速度及び混合比率を受けて、混合比率にもとづいて入力姿勢に係る制御加速度及び生成動作に係る制御加速度を用いてアバター状態を変更する。

キャラクター制御部５０はアバター以外の仮想空間内に存在するキャラクターの動作を制御する。

衝突処理部６０はアバターとキャラクターの衝突を検出し、アバター状態とキャラクター状態を衝突に応じて更新する。

【００８６】

［７．データ構造の具体例］

アバター状態は、腰の位置・向き・並進速度・回転速度、各関節の回転行列・回転速度（又は各回転軸の回転角度・回転角速度）からなる。

制御加速度は、腰の並進加速度・回転加速度、各関節の回転加速度（又は各回転軸の回転角加速度）からなる。ただし、足が地面に接触しているときは、足先の並進加速度・回転加速度も含める。

動作状態は、現在の状態を表すフラグ（通常状態・歩行動作中・リアクション動作中）、歩行状態（４種類）、リアクション動作のタイプ（３種類）、実行中のリアクション動作の各段階の切り替わりの時刻からなる。

【００８７】

［８．動作フローチャートの具体例］

図１２ないし図１５は本実施形態に係るシュミレーションシステムの動作フローチャートである。

モーションキャプチャー部４１がカメラ３０からの入力情報から入力姿勢を出力する（ステップ１０１）。

入力姿勢の追従制御部４２において、アバター状態が入力姿勢に近付くような、制御加速度を計算する（ステップ１１１）。

動作認識部４３において、入力姿勢・前の動作状態に応じて、現在の動作状態を認識する（ステップ１２１）。

制御指令部４４が現在の動作状態が歩行動作であるか否かを判断し（ステップ１３１）、歩行動作でなければ制御指令部４４が現在の動作状態がリアクション動作であるか否かを判断する（ステップ１３２）。

【００８８】

ステップ１３２でリアクション動作でないと判断した場合には、制御司令部４４は、入力姿勢にもとづく追従制御の割合が１になるような混合比率を出力する（ステップ１４１）。

状態変化計算部４５において、追従加速度・混合比率にもとづき、アバター状態を更新する（ステップ１５１）。

ステップ１５１の後、ステップ１０１に戻る。

前記ステップ１３１で歩行動作であると判断した場合には、制御指令部４４において、動作状態にもとづき、歩行動作のパラメタを決定する（ステップ２０１）。

【００８９】

制御指令部４４において、混合比率を計算する（ステップ２１１）。

動作生成部４６において、指定された歩行動作のパラメタと、動作データベース４７に格納された動作データをもとに、動作ブレンディング処理を行って適切な歩行動作を生成する（ステップ２２１）。

生成動作の追従制御部４８において、アバター状態が、生成動作の現在姿勢に近付くような、制御加速度を計算する（ステップ２３１）。

【００９０】

状態変化計算部４５において、追従加速度・混合比率にもとづき、アバター状態を更新する（ステップ２４１）。歩行動作が終了した後に、ステップ１０１に戻る。

制御指令部４４において、バランスを大きく崩した場合は、動作状態をリアクション動作中とし、リアクション動作のパラメタを動作生成部４６に渡す（ステップ３０１）。

制御指令部４４において、混合比率を計算する（ステップ３１１）。

動作生成部４６は、制御指令部４４から渡されたパラメタ（バランス状態）をもとに、適切なリアクション動作を生成する（ステップ３２１）。

【００９１】

追従制御部４８において、アバター状態が、生成動作の現在姿勢に近付くような、制御加速度を計算する（ステップ３３１）。
状態変化計算部４５において、追従加速度・混合比率にもとづき、アバター状態を更新する（ステップ３４１）。リアクション動作が終了した後に、ステップ１０１に戻る。
処理の終了は例えば試合形式の格闘ゲームであれば一試合終了と同時に終了する。試合の開始とともに再度処理がなされる。

【００９２】

アバターとキャラクターの衝突は次の処理による。なお、ステップ１０１ないしステップ３４１の処理と、ステップ４０１及びステップ４１１の処理は別々のプロセス、スレッドとして並列処理させることもできるが、たとえば、ステップ１０１ないしステップ３４１におけるステップ１５１、ステップ２４１、ステップ３４１の後にステップ４０１及びステップ４１１の処理を実行する構成であっても実装することができる。

【００９３】

アバターとキャラクターが衝突したか否かを衝突処理部６０が判断する（ステップ４０１）。衝突していると判断した場合には、アバター状態・キャラクタ状態を更新する（ステップ４１１。衝突に応じて両者の速度を変化させる）。衝突していないと判断した場合、ステップ４１１の後、ステップ４０１に戻る。このアバターとキャラクターの衝突の処理は前記ステップ１０１ないし３４１の処理とは別プロセス、別スレッドで並行に処理することが望ましい。なお、衝突が生じる例としては、キャラクター制御部５０がキャラクタ状態を更新してキャラクターが動作した場合、前説した処理によりアバターが動作する場合がある。

【００９４】

以上の前記実施形態により本発明を説明したが、本発明の技術的範囲は実施形態に記載の範囲には限定されず、これら実施形態に多様な変更又は改良を加えることが可能である。そして、かような変更又は改良を加えた実施の形態も本発明の技術的範囲に含まれる。このことは、特許請求の範囲及び課題を解決する手段からも明らかなことである。

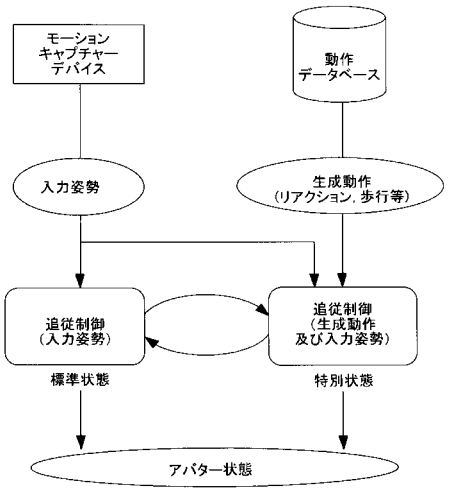
【図面の簡単な説明】

【００９５】

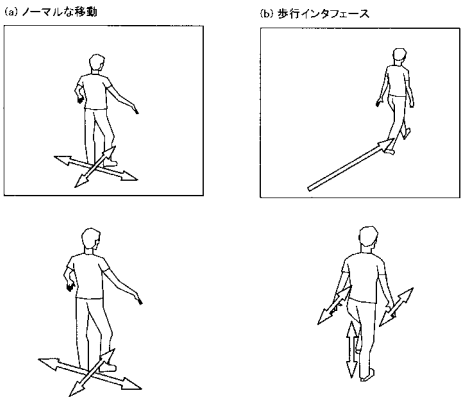
【図１】本発明の第１の発明概念図である。標準時アバターは入力姿勢に追従する。生成動作を要するとき、アバターはどちらもとぎれることなく追従する。
【図２】本発明の第２の発明概念図である。
【図３】本発明の試作システムの使用外観図である。
【図４】本発明の実施形態に係る人体モデルの正面図である。
【図５】本発明の実施形態に係るリアクション動作の説明図である。リアクション動作は３つの段階からなる。アバターがどの段階でバランスを回復するかによってリアクション動作は３種類に分類される。実線が入力姿勢の比率であり、点線がリアクション動作の比率である。
【図６】本発明の実施形態に係るリアクション動作のインデックスキーの説明図である。適切なリアクション動作は重心及び末端部位にもとづき検索される。
【図７】本発明の実施形態に係る歩行状態の遷移図である。
【図８】本発明の実施形態に係る歩行の身ぶりの検出説明図である。
【図９】本発明の実施形態に係る状態評価に使用するメンバーシップ関数の一例である。
【図１０】本発明の実施形態に係るモーションキャプチャーシステムのハードウェア構成図である。
【図１１】本発明の実施形態に係るモーションキャプチャーシステムのブロック構成図である。
【図１２】本発明の実施形態に係るモーションキャプチャーシステムの動作フローチャートその１である。
【図１３】本発明の実施形態に係るモーションキャプチャーシステムの動作フローチャートその２である。

【図１４】本発明の実施形態に係るモーションキャプチャーシステムの動作フローチャートその３である。
【図１５】本発明の実施形態に係るモーションキャプチャーシステムの動作フローチャートその４である。
【図１６】背景技術の各視点の説明図である。
【符号の説明】
【００９６】
１０　コンピュータ
１１　ＣＰＵ
１２　ＤＲＡＭ
１３　ＨＤ
１５　キーボード
１６　マウス
１７　ＬＡＮカード
１８　ＣＤ－ＲＯＭドライブ
２０　表示装置
３０　カメラ
４１　モーションキャプチャー部
４２　（入力姿勢の）追従制御部
４３　動作認識部
４４　制御指令部
４５　状態変化計算部
４６　動作生成部
４７　動作データベース
４８　（生成動作の）追従制御部
５０　キャラクタ制御部
６０　衝突処理部

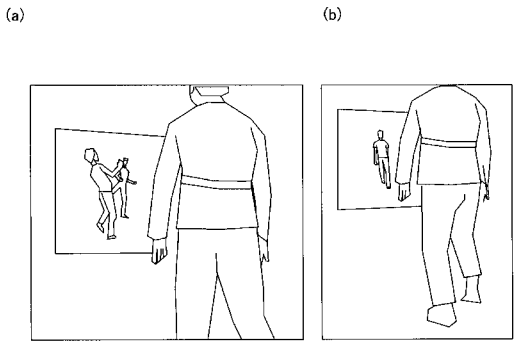
【図１】


モーション
キャプチャー
デバイス
動作
データベース
入力姿勢
生成動作
（リアクション，歩行等）
追従制御
（入力姿勢）
追従制御
（生成動作
及び入力姿勢）
標準状態
特別状態
アバター状態

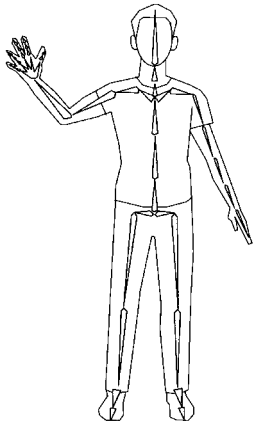
【図２】


(a) ノーマルな移動
(b) 歩行インタフェース

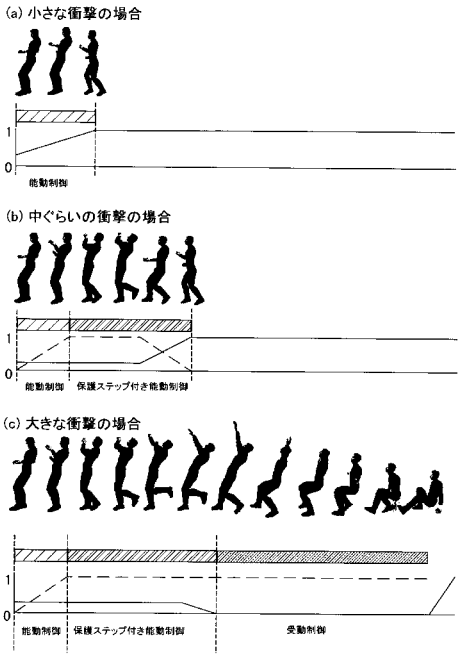
【図３】


(a)
(b)

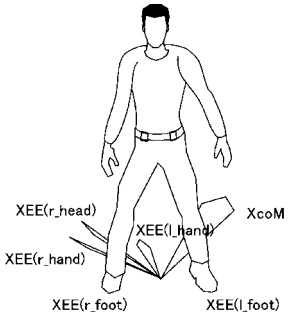
【図４】



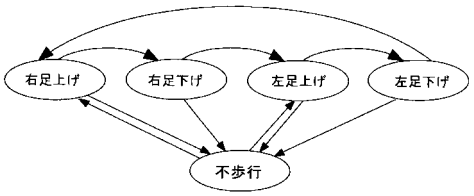
【図５】


(a) 小さな衝撃の場合
1
0
能動制御
(b) 中ぐらいの衝撃の場合
1
0
能動制御
保護ステップ付き能動制御
(c) 大きな衝撃の場合
1
0
能動制御
保護ステップ付き能動制御
受動制御

【図６】


XEE(r_head)
XEE(l_hand)
XcoM
XEE(r_hand)
XEE(r_foot)
XEE(l_foot)

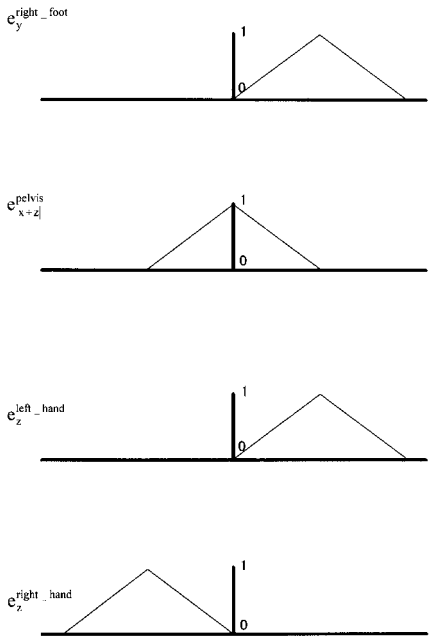
【図７】


右足上げ
右足下げ
左足上げ
左足下げ
不歩行

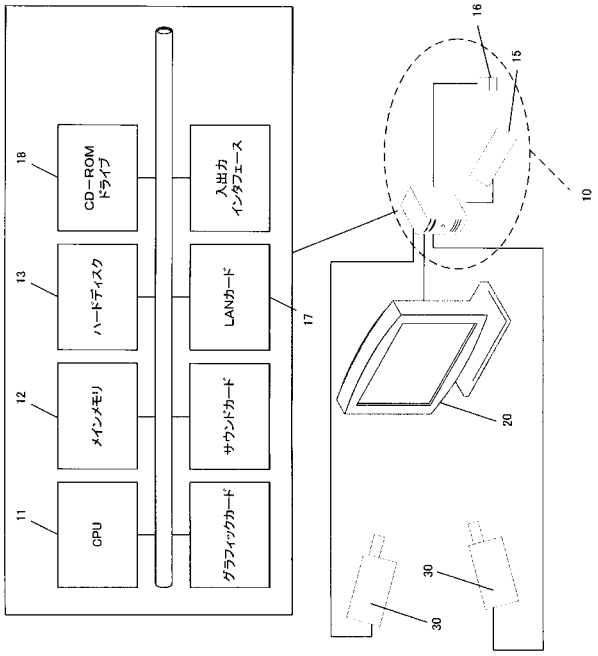
【図８】


腰
右手
左手
左足
右足

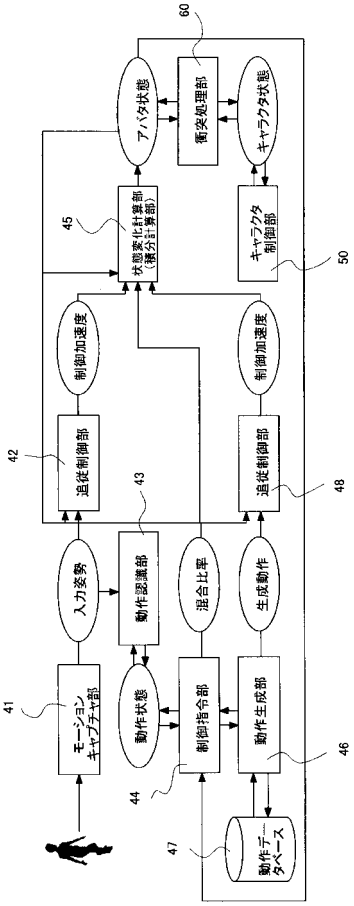
【図９】


$e_y^{right\_foot}$
1
0
$e_{x+z|}^{pelvis}$
1
0
$e_z^{left\_hand}$
1
0
$e_z^{right\_hand}$
1
0

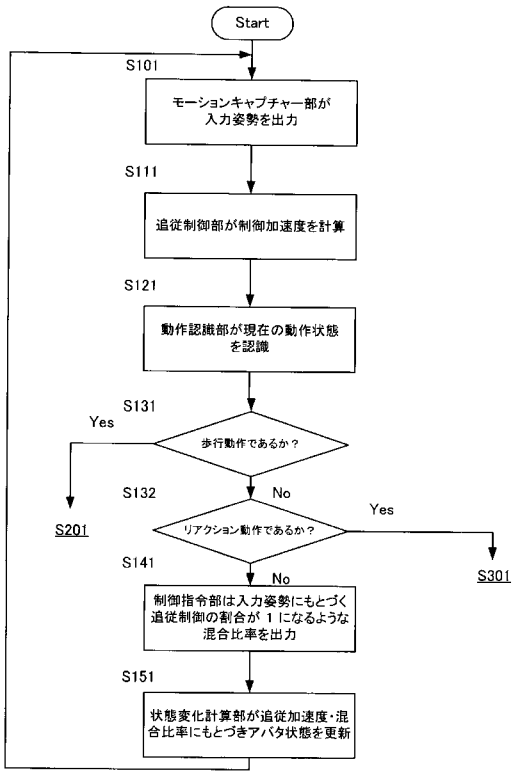
【図１０】



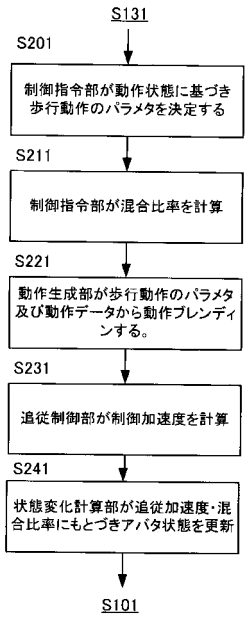
【図１１】



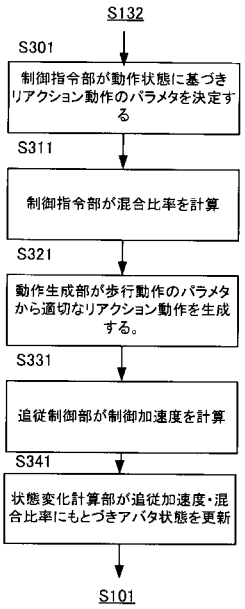
【図１２】



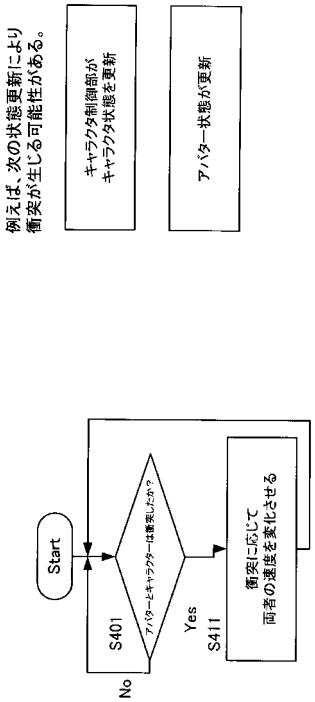
【図１３】



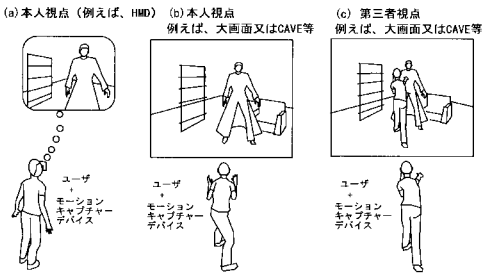
【図１４】


S132
S301
制御指令部が動作状態に基づきリアクション動作のパラメタを決定する
S311
制御指令部が混合比率を計算
S321
動作生成部が歩行動作のパラメタから適切なリアクション動作を生成する。
S331
追従制御部が制御加速度を計算
S341
状態変化計算部が追従加速度・混合比率にもとづきアバタ状態を更新
S101

【図１５】


例えば、次の状態更新により衝突が生じる可能性がある。
キャラクタ制御部がキャラクタ状態を更新
アバター状態が更新
Start
S401
アバターとキャラクターは衝突したか？
Yes
S411
衝突に応じて両者の速度を変化させる
No

【図１６】


(a)本人視点（例えば、HMD）
(b)本人視点
例えば、大画面又はCAVE等
(c) 第三者視点
例えば、大画面又はCAVE等
ユーザ
＋
モーション
キャプチャー
デバイス