

力覚を介したリアクティブバーチャルヒューマンの構築に関する一考察

鄭 承珠, 崔 雄, 橋本 直己, 長谷川 晶一, 小池 康晴, 佐藤 誠
東京工業大学 精密工学研究所

Virtual Human Animation Design for Force Reactive Motion

Seungzoo JEONG, Woong CHOI, Naoki HASHIMOTO, Shoichi HASEGAWA, Yasuharu KOIKE, Makoto SATO
P&I Laboratory, Tokyo Institute of Technology

1. はじめに

近年, 計算機によって作られた実世界と同様の仮想世界に人間が没入し, 様々な作業を行うことができるVR (バーチャルリアリティ) 技術が大きく注目されている. その中でも特に, 仮想世界の中において実在する人間のような表情や立ち居振る舞いを実現しているバーチャルヒューマンの研究[1]が盛んで行われている.

このようなバーチャルヒューマンに関する研究では, ユーザに提示する視覚的効果や聴覚的効果を実現することに主眼が置かれてきた. 例えば, ジェスチャと音声を利用してバーチャルヒューマンと対話を実現する研究や, ユーザが入力した文章に対して, バーチャルヒューマンの適切なジェスチャと合成音声を生成する研究[2], また, センサ等を組み込んだ入力インターフェースや入力装置を操作し, その動きに対するキャラクタの視覚及び聴覚的な反応を見せる研究[3]等が行われている.

しかし, 実世界でのインタラクションは多くの要素によって構築されているため, 音声やジェスチャのみによるインタラクションは, 非常に不自然なものとなる. 特に, より高い没入感を実現する等身大仮想環境においては, 視覚や聴覚以外の対象を直接に感じ知る感覚提示も利用してバーチャルヒューマンとインタラクションすることが理想的であると考えられる. バーチャルヒューマンが人間との動作に応じて適切な視覚的な反応を提示するとともに, 力覚を介したリアクションを与えることで, より現実的なインタラクションを実現することが可能である.

そこで本研究では, ユーザと力覚を介してインタラクションすることのできるバーチャルヒューマンを実現することを目的とする. まず, 力覚提示装置, SPIDAR-Hを組み合わせたモーションキャプチャシステム[4][5]を用いて, 人間同士が実際に力覚を介してインタラク

ションする際の動作を取得する. このときに記録した力覚情報と, それによって生じた動作情報をデータベースに蓄積する. そして, このデータベースを利用して, ユーザの入力する動作や力に応じたバーチャルヒューマンの動作をリアルタイムに生成する. さらに, バーチャルヒューマンとのインタラクションによって生じた力覚作用をユーザに伝達することで, より自然なバーチャルヒューマンとのインタラクションを実現する.

2. リアクティブバーチャルヒューマンの実現

2.1 リアクティブバーチャルヒューマンとは

本研究では, 提案システムを利用するユーザの力覚情報に応じて, 動作のリアクションを見せたり, また, そのリアクションに対応した力覚情報をユーザに提示することができるバーチャルヒューマンをリアクティブバーチャルヒューマンと呼ぶ.

2.2 システムの提案

本項では, リアクティブバーチャルヒューマンを構築するために必要な動作の取得と再生, そして力覚を介したインタラクションを実現するためのシステムを提案する.

まず, リアクティブバーチャルヒューマンには, 現実感の高い動作表現が求められている. 人間の全身を使った動作, つまり多関節体の動作を設計する際には, 関節の構造に起因する曲げの制限や動力的な効率性を考慮した正確な計算が必要とされる. しかし, これらの手法を用いても自然な動作を生成することは容易ではなく, 現時点においてもさらなる検討が行われている. そこで, 本研究では, 動力的な計算による人間の動作生成に代わり, 実際の人間のリアルな動作を確実に取得できるモーションキャプチャシステムを用いて動作を取得し, データベース化を行うことで効率

的に動作を生成する。モーションキャプチャシステムによる動作取得の際には、ユーザが周囲の環境に影響や制約を受けることなく様々な動作を行うことができるように、等身大の仮想世界で仮想物体や場面を作成し、これを提示する。

また、実世界でのインタラクション時の動作を再現するためには、仮想環境における視覚提示に加え、力覚の提示が重要となる。そこで、実際の世界で行われるインタラクション動作において生じる反動、すなわちリアクションの起源となる反力を提示できる力覚提示装置、SPIDAR-H を組み合わせることによって、ユーザは仮想世界に力覚を伝達し、その動作に応じたバーチャルヒューマンの動作再生や、ユーザへの反力の表現を実現する。

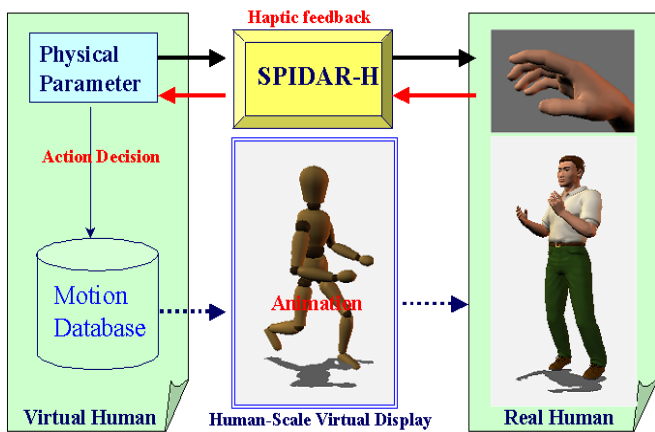


Fig 1. An reactive virtual human system structure

本研究では、このリアクティブモーションキャプチャシステムを利用して、等身大仮想環境において力覚を介したインタラクションを行い、動作データを取得する。そして、ユーザの動きに応じた様々なリアクティブな動作をデータベースに蓄積し、そのデータベースから力覚情報を検索キーとしてリアクティブ動作を決定する。この動作をリアルタイムで等身大仮想環境上に生成すると共に、ユーザに対して適切な力覚を提示する。このシステム構成を Fig1 に示す。

3. リアクティブ動作のためのデータベース構築

3.1 データベースの概要

本研究では、モーションキャプチャシステムにより取得された大量の動作データと、力覚提示装置により記録された物理的なパラメータを効率的に管理し、リアクティブ動作をリアルタイムで検索するため、データベースを構築した。

まず、取得したモーションキャプチャデータ形式を関係型データベース[6]のテーブルに変換するプログラムを作成し、Bulk-Copy による一括登録を行う。力覚提示装置から得られた 3 次元位置や力の強度を索引キーとして動作分類 ID で定義する。そして、この ID によって参照された関節の位置および方位データを動作データベースから検索し、これを再生する。この流れを Fig2 に示す。

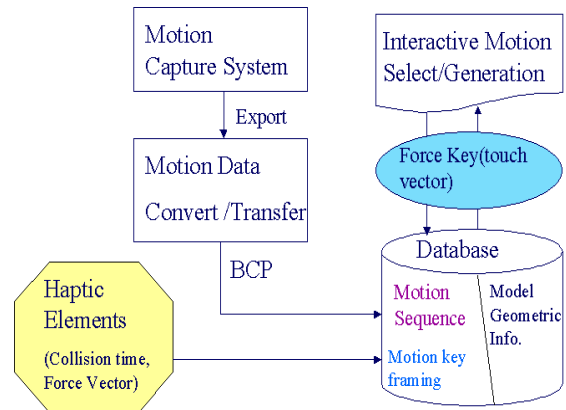


Fig 2. Implement process of motion database.

3.2 動作データベース : RDBMS

本研究では、データのトランザクション処理や要求された動作をリアルタイムでプレイバックするために関係型データベースを設計し、データアクセスのためのインタフェースとして ODBC (Open Database Connectivity) を用いた。これにより、ネットワーク上で接続された任意の端末から簡単に動作データにアクセスすることが可能になる。

本研究で使う動作データベースは、動作再生に直接関連する二つの基本テーブルと、動作再生に必要な構造に関する参照テーブルで構成されている (Fig3 参照)。

基本テーブルの一つは基本動作の情報と検索キーを持っている動作リストである。このリストは、ユーザと仮想物体が接触したときの位置ベクトルやフレームなどをキーにした動作検索のために使われる。もう一つの基本テーブルは、動作リストの動作分類 ID から参照されたフレーム毎のローカル関節角度や位置データを持ち、動作再生のために使われる。参照テーブルは、バーチャルヒューマンの骨格を定義した ID, 名称, スケールなどを表した関節情報テーブルと、多様なキャラクターに対応するようバーチャルヒューマンの構造を定義したモデルに関するテーブルで構成される。

また、データの操作のための検索語としては“SQL Query”の条件文と数値関数を用いて、ユーザがバーチャルヒューマンや物体に触れた瞬間の位置や力に対し

データベースの位置ベクトルから最も近接のデータを検索した。

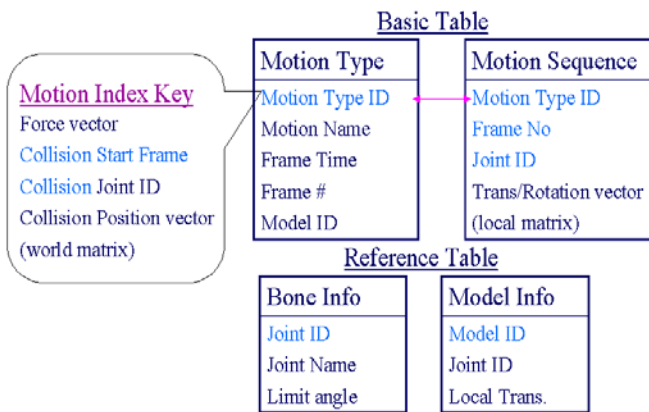


Fig 3. Relation of motion tables

4. リアクティブ動作の再生

4.1 バーチャルヒューマンのモデル構造

バーチャルヒューマンの骨格モデルは、Fig 4に示すように 19 個の関節で構成されており、骨盤をルートとした階層構造を持つ。ルートはモデルの位置情報と角度情報によって表され、それ以外の関節のローカルな角度情報のみによって表されている。

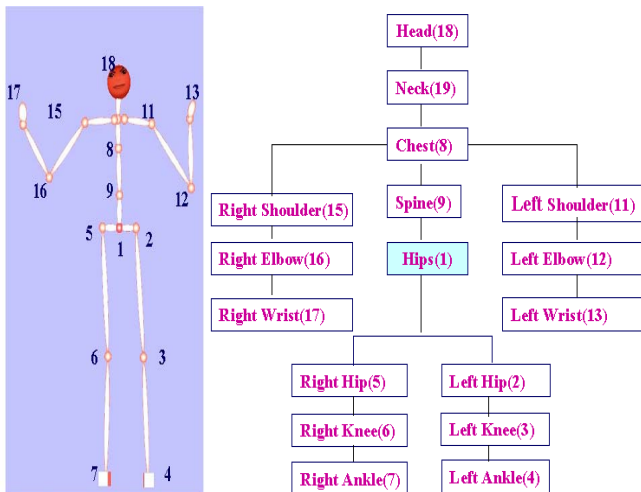


Fig 4: A simplified skeleton and the corresponding hierarchy.

各関節はローカル座標が常に明示されるので、結果として生じているワールド座標の姿勢は、ルートを基準にして相対的に表現される。例えば、3自由度を持っている肩はその下に肘関節がある。もし肩の座標が修正されるならば、ひじは動くが、そのローカル座標は同じままである。

本研究では、ローカル座標系の関節階層チェーンによる動作制御や、バーチャルヒューマンのモデルのエンドエフェクタをワールド座標に変換し、その手先の位置と仮想物体の衝突判定を行った。

4.2 バーチャルヒューマン動作の再生

ユーザから仮想物体に働く力により、仮想物体の移動位置や方向が予測される。その予測値からマッチングされたキーから、参照された骨格モデルの関節の位置や構造をバーチャルヒューマンのデータ構造に適用し、時系列的な動作データを取得して、これを再生する。

但し、データベースに登録されていない情報を利用する際には、基本姿勢の動作（デフォルト動作）が自動的に選択され、これを再生する。

5. 実装例

5.1 リアクティブ動作の実例

実際の人間がボールをキャッチする時の動作を観察すると、相手の投げる位置からボールの速度や移動距離を予測して、適切なタイミングでリアクションを行う。本研究では、人間のインタラクティブ動作の例として、バスケットボールを相互に投げ合う動作を選択し、相手の投げる動作に応じて、ボールをキャッチするリアクティブバーチャルヒューマンを試作した。

取得された動作から、ボールをキャッチするタイミングとそのフレームでの手先の中心位置情報を検索キーとしてデータベースに登録した。そのとき、相手が投げたボールに応じたバーチャルヒューマンのキャッチ動作検索のマッチング条件として、ボールの予測位置からキャッチする手先までの距離を求め、その差がボールの半径内であれば、ボールがキャッチできると判断した。

5.2 リアクティブバーチャルヒューマンの動作生成

ボールが投げられた直後、バーチャルヒューマンの手先まで到達する位置や方向の予測値と、登録されたバーチャルヒューマンの手先の位置と方位の値を比較して動作の検索を行い、OpenGL[7]を利用してマッチングした動作の再生を行った。その結果をFig6に示す。

投げられたボールの初期位置や速度はランダムに決定し、それに応じた適切な動作の検索を行った。また、単一動作間の繋ぎ部分は、前の動作の最後フレームと新しく検索された動作の先頭フレームの位置をキーフレームとして直線上に置く線形補間を用いて中間のアニメーションフレームを作成した。

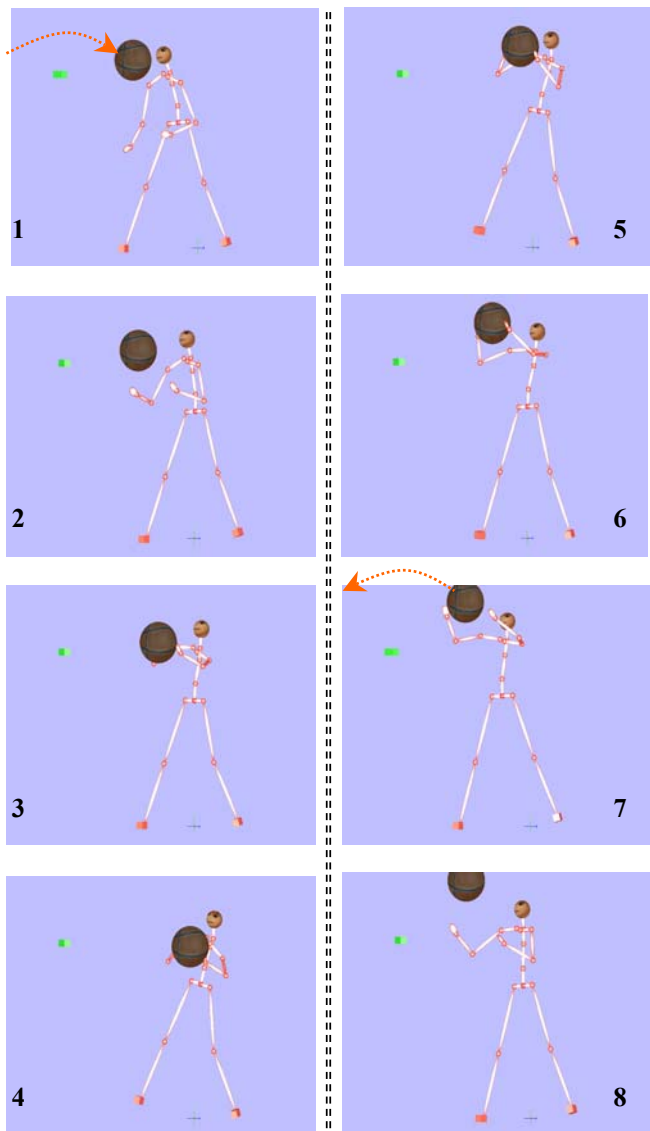


Fig 6: An Example of virtual human catching or throwing ball against random ball shooting

6. おわりに

本研究で、力覚を介したリアクティブバーチャルヒューマンを提案した。力覚を備えたモーションキャプチャシステムを用いて実際に動作取得を行い、任意の仮想物体の運動から得られた物理情報を主なキーにして動作データベースを構築した。そのデータベースからの検索結果を用いて、バーチャルヒューマンの動作生成した。

今後は、投げるときの速度や加速度の変化、力の入り具合などの入力パラメータまで考慮した物理関数によるリアルタイム検索を行い、リアクティブ性を高めていきたい。また、リアルタイムで動作データベースからバーチャルヒューマンの動作を抽出して等身大の仮想世界に再現し、力覚提示装置を通じて仮想物体や

バーチャルヒューマンとのインタラクション可能なシステムの実装を行う予定である。

参考文献

- [1] Daniel Thalmann: The Role of Virtual Humans in Virtual Environment Technology and Interfaces; Frontiers of Human-Centered Computing, Online Communities and Virtual Environments, Springer, London, pp. 27-38 (invited paper)
- [2] Cassell, J., Vilhjálmsón, H., and Bickmore, (2001) "BEAT: the Behavior Expression Animation Toolkit", Proceedings of ACM SIGGRAPH 2001, Los Angeles, August 12-17, p.477-486.
- [3] Johnson, M. P., A.Wilson, C. Kline, B.Blumberg and A. Bobick: Sympathetic Interfaces: Using a Plush Toy to Direct Synthetic Characters; Proceedings of CHI '99
- [4] W.Choi, S.Jeong, N.Hashimoto, S.Hasegawa, M.Sato: An Interactive Motion Capture System with a Large Workspace Haptic Device In Human-Scale Virtual Environments; ICAT 2002
- [5] 崔雄, 鄭承珠, 橋本直己, 長谷川晶一, 小池康晴, 佐藤誠:力覚提示機能を備えたモーションキャプチャシステムの構築; 情報処理学会第 65 回全国大会 (2003)
- [6] SQL Server 2000 Desktop Engine (MSDE 2000): <http://www.microsoft.com/sql>
- [7] The Industry's foundation for High Performance Graphics: <http://www.opengl.org/>