

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

崔 雄, 鄭 承珠, 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

A Design of Motion Capture System with a Haptic Display

Woong Choi, Seungzoo Jeong, Naoki Hashimoto, Shoichi Hasegawa, Yasuharu Koike, Makoto Sato

Precision and Intelligence Laboratory, Tokyo Institute of Technology

1.はじめに

実世界のような現実感を備えた仮想世界をコンピュータ上に構築するVR(バーチャルリアリティ)技術が大きく注目されており,近年では,等身大の仮想環境においてユーザと自然に対話することのできるバーチャルヒューマンの実現も盛んに試みられている.これらの研究では,バーチャルヒューマンの動作生成のために,運動学の利用やキーフレーム補間等の手法が用いられてきたが[1-4],多様な動きをリアルタイムで実現する必要のあるバーチャルヒューマンへの応用は依然として困難である.

一方,最近ではモーションキャプチャを利用して自然な動作データを得る手法が多く用いられている[5, 6].この手法では,比較的容易に自然な動作を獲得することが可能であると考えられているが,実際には,希望する動作を実演するための環境を用意する必要があり,演技者の技量にも大きな影響を受ける.また,バーチャルヒューマンがユーザと対話する際に,特に等身大仮想環境では相互に力覚を介した入出力が重要となる.例えば,ユーザがバーチャルヒューマンと握手をする場合,ユーザの手の動きや握力に合わせたバーチャルヒューマンの動きを映像表現し,さらに,握手をしている感覚を力覚提示することも重要な表現要素となる.このような要求を考慮すると,モーションキャプチャによる動作取得だけでは,対話性の高いバーチャルヒューマンの実現は困難である.

そこで本研究では,等身大仮想環境と力覚提示装置を組み合わせたモーションキャプチャシステムを提案する.視覚と力覚を利用して動作対象や

環境を実現するため,任意の環境を構築可能であり,様々な動作取得を容易に行うことが可能である[7].また,動作取得時に作用した力覚情報を記録することも可能となるため,力覚を介した対話を実現するバーチャルヒューマンの実現[8]にも有効である.

2.リアクティブモーションキャプチャシステムの提案

本研究で提案するシステムは,仮想環境からの視覚提示と力覚提示装置からの力覚提示を受けたユーザの反応動作,すなわちリアクションを取得することで,様々な動作データを取得する.この特徴から,本提案システムをリアクティブモーションキャプチャシステムと呼ぶ.

2.1 システム概要

実世界における人間の動作は,接触した物体との間に働く力を起点として発生する.道具を用いた動作や人間どうしのインタラクションにおいても同様に,動作対象からの反力に応じた動作,すなわちリアクションが発生する.例えば,重たい物体を持ち上げる場合には,その物体の重力に耐えうように腰を落とした姿勢をとる.リアクティブモーションキャプチャシステムは,インタラクションを行う対象を実在する物体や環境として提供するのではなく,力覚提示装置によって力覚として提示することで,ユーザのリアクションを発生させ,これを記録する.図.1に視覚と力覚による動作生成の概要を示す.

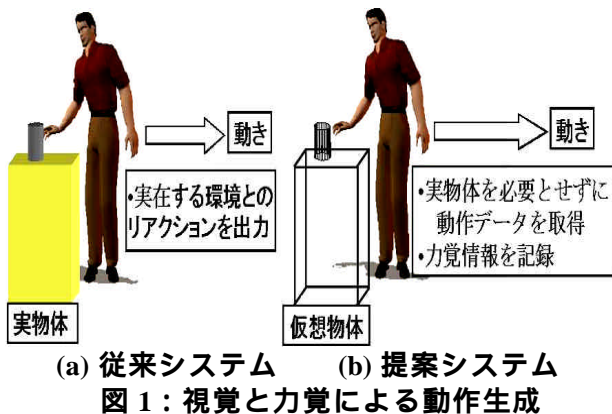
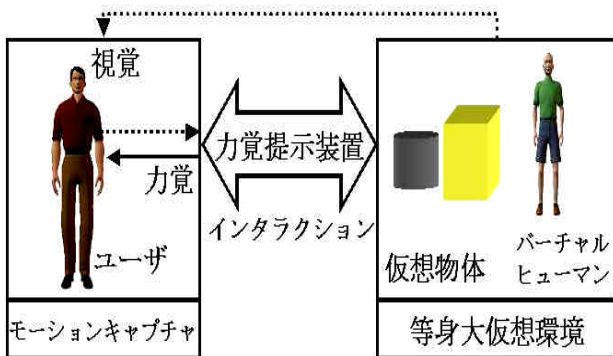


図.1(a)に示すように、既存モーションキャプチャシステムでは、必要な動作を生成するための環境、この場合では手で掴む対象物体が実在してはならない。リアクティブモーションキャプチャでは、図.1(b)に示すように、インタラクション対象を、等身大仮想環境を通して視覚および力覚を用いて提示することが可能となる。実在する物体を用意することは、簡単に思えて実際には困難な要求であり、提案システムでは VR 技術を利用してこの問題を解決している。



提案システムの構成を図.2に示す。図.2より、等身大仮想環境、等身大力覚提示装置、そしてモーションキャプチャ装置の3つが主要な構成要素である。等身大仮想環境は、そこに対象物体が実在するかのような視覚提示を行う。力覚提示装置は、ユーザが対象物体とインタラクションする際に、そこから伝わる力を提示する。この2つの装置によって実現された環境の中でのユーザの動作を、モーションキャプチャ装置を利用して取得する。本研究では、ユーザの動作を制約することなく実時間での計測が容易な磁気式ワイヤレス型モーションキャプチャ[9]を利用している。等身大仮想環境と力覚提示装置については、次項以降で述べる。

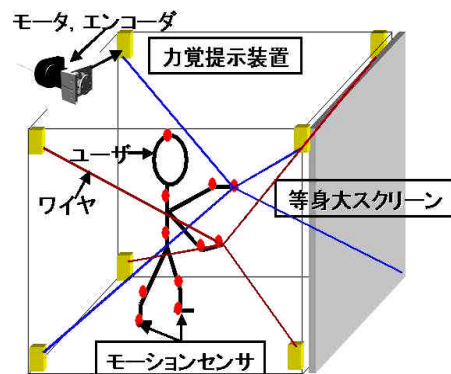
2.2 等身大仮想環境

VR 技術を利用して仮想世界を構築する場合に、最も重要な要素となるのがリアルな視覚提示である。本研究では、インタラクションの対象となる仮想物体の振る舞いをリアルタイムに可視化し、あたかも実在する物体のようにユーザに提示することのできる等身大仮想環境を構築している。ユーザの前方に120インチの大型スクリーンと液晶プロジェクタを配置し、ユーザの手元に仮想物体が実在するかのようなリアルな映像提示を可能としている。

2.3 等身大力覚提示装置

ユーザの動作取得に必要な範囲において、実物体とのインタラクションに相当する力覚を提示することのできる装置として、本研究では SPIDAR-H を用いた[10, 11]。SPIDAR-Hの構成を図.3に示す。本研究に用いた SPIDAR-H は、周囲から張り巡らせたワイヤをモータで駆動させることで力覚提示を行う装置であり、体験者が自由に動くことのできる縦 2.5m、横 2.5m、高さ 2.5mの領域を作業空間として設定した。SPIDAR-H の力覚提示部には、様々な形状の把持用グリップを装着することが可能であり、インタラクション対象に応じて選択可能である。グリップには4本のワイヤが接続され、各ワイヤを駆動するモータの合計トルクが提示する力となる。狭い設置スペースを有効に活用し、また磁気式のモーションキャプチャ装置に影響を考慮して金属性のフレームを排除し、周囲の壁にクランプとバイスを利用してモータを固定した。

以上のような構成により、本提案システムで用いた SPIDAR-H では、作業領域において 0.05N から 30N の力を提示することが可能である。



3. リアクティブモーションキャプチャシステムを用いた動作取得

本節では、リアクティブモーションキャプチャシステムを実際に構築し、基礎的な動作取得実験を行うことで、提案システムの特徴を考察する。

3.1 実験内容

本実験では、既存のモーションキャプチャシステムを用いて実在する物体を触る場合と、リアクティブモーションキャプチャシステムを用いて仮想物体を触る場合の動作を取得し、これを比較した。



(a) 実在する立方体 (b) 仮想の立方体
図4: 動作取得の様子

図.4 に、動作取得時の様子を示す。図.4(a)では実在する立方体を対象とし、図.4(b)では、等身大仮想環境に提示された立方体を対象としている。どちらの立方体も、被験者から一辺が 30cm、重さが 3Kg と知覚されるように設定した。仮想環境内では、被験者の手を表すポイントを対象物体に重ねて表示して、実際に自分の手で立方体を触っているような視覚効果を実現している。

今回の実験では、比較のために、力覚提示装置を用いずに仮想物体を触る場合を含め、以下の3つのタスクを設定した。

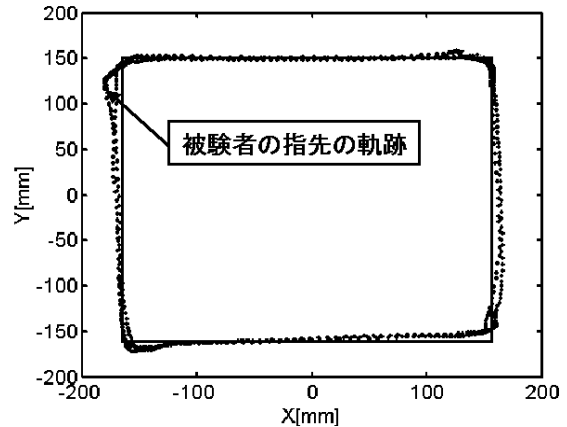
タスク1: 既存のモーションキャプチャシステムを用いて、実在する立方体の周囲を触る動作を取得する。

タスク2: リアクティブモーションキャプチャシステムを用いて、仮想の立方体の周囲を触る動作を取得する。

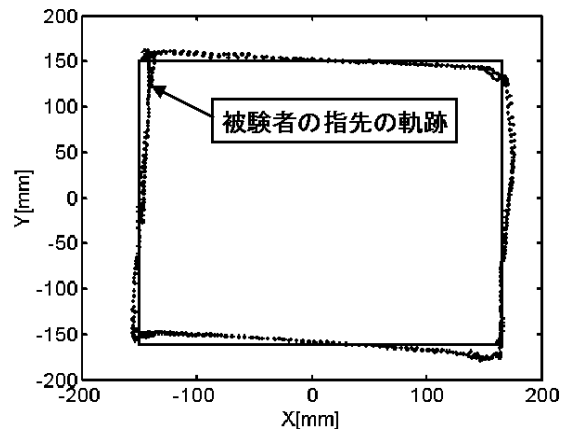
タスク3: タスク2を、力覚提示なしで行う。

各タスクにおいて被験者は指先にセンサを取り付け、立方体の周辺を2周なぞるように触るよう指示した。

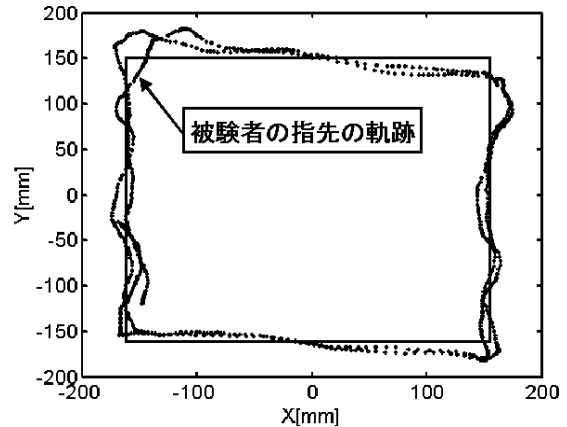
3.2 動作取得結果および考察



(a) タスク 1: 既存モーションキャプチャ



(b) タスク 2: 提案システム



(c) タスク 3: 提案システム (力覚なし)
図5: 取得した動作データ

表 1. 各タスクにおける計測誤差

単位: mm

	平均誤差	標準偏差
タスク 1	-1.08	± 3.75
タスク 2	-1.88	± 4.51
タスク 3	-13.52	± 29.85

本節での計測結果を図.5 に示す．各グラフの X・Y 軸はそれぞれ横方向・縦方向の位置を表し，立方体の存在した領域を実線で示している．点線は被験者の指が実際に移動した軌跡を表している．表.1 は，計測された動作軌跡と立方体の形状を比較した際の誤差を現している．

表.1 より，既存モーションキャプチャを使用したタスク 1 の場合においても多少の誤差が生じていることがわかる．これは立方体と接触している指先を厳密に計測することが困難なことから生じたものと考えられる．リアクティブモーションキャプチャを利用したタスク 2 における誤差の傾向がタスク 1 の結果に非常に類似していることがわかる．力覚提示を行っていないタスク 3 では大きな誤差が生じていることから，視覚に加えて力覚を提示することの重要性が確認できる．

これらの違いは，図.5 中のグラフからも明らかである．特にタスク 3 では Y 軸方向に指先を移動させる際に，立方体の存在する領域から大きく離れた場所に手を動かしていることがわかる．場所によっては 2cm 以上の誤差が生じており，被験者以外の観察者からでもその違いが容易に確認できる程である．

リアクティブモーションキャプチャシステムを用いて取得した動作データを利用して，バーチャルヒューマンに動作を与えた結果を図.6 に示す．図.6 では，本項で行った立方体を触る動作を再現しており．図中の番号 1-4 の順に立方体の周囲を滑らかに触っている様子が確認できる．

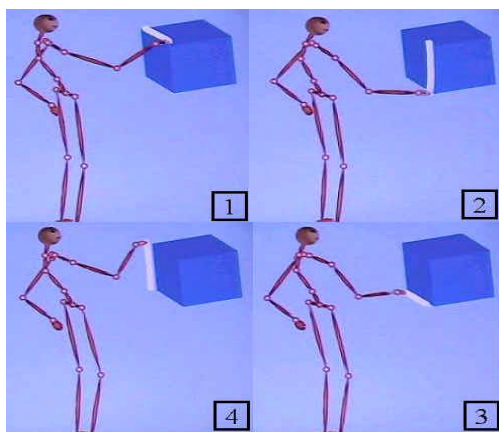


図 6: バーチャルヒューマンへの応用

4.おわりに

本研究では，既存のモーションキャプチャ装置と力覚提示装置を等身大仮想環境内にて組み合わせたリアクティブモーションキャプチャシステムを提案した．この提案システムでは，動作取得に必要な環境を，仮想環境内における視覚と力覚を利

用して提示することで，多様な動作取得を容易に実現することを可能とする．本研究では，実際にリアクティブモーションキャプチャを構築し，簡単な動作取得実験を通して，実物体を用いた場合と同様の動作データ取得が可能であることを示した．

今回の実験では，簡単な立方体のみを用いているが，今後はより多様な対象物体を用いた実験を行うことで，提案システムの有効性を示していく予定である．また，構築したリアクティブモーションキャプチャシステムに関しても，視覚および力覚提示の双方において，表現能力と精度の改善を引き続き行っていきたい．

参考文献

1. D. C. Brogan, R. A. Metoyer and J. K. Hodgins, "Dynamically simulated characters in virtual environments", IEEE Computer Graphics and Applications Vol.18, No.5, pp. 2-13, 1998.
2. <http://www.musculographics.com/>
3. <http://www.curiouslabs.com/>
4. <http://sega.jp/animanium/>
5. D. Komaki, H. Ishii, N. Ichiguchi, H. Shimoda and H. Yoshikawa, "A Study on Effective Representation Method for Human Walking Motion by VR", Information and Communication Engineers, Technical Report of IECE, MVE99-17.
6. D. J. Sturman, "A Brief History of Motion Capture for Computer Character Animation", SIGGRAPH94, Course9, 1994.
7. W. Choi, S. Z. Jeong, N. Hasimoto, S. Hasegawa, M. Sato, "An Interactive Motion Capture System with a Large Workspace Haptic Device in Human-Scale Virtual Environments", ICAT2002, p59-64, 4. Dec, 2002.
8. 鄭 承珠, 崔 雄, 橋本 直己, 長谷川 晶一, 小池 康晴, 佐藤 誠, "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", 情報処理学会, 第 65 回全国大会論文, 2003.
9. Ascension Technology Corporation, MotionStar Wireless: [Http://www.ascension-tech.com/](http://www.ascension-tech.com/)
10. Y. Cai, M. Ishi, M. Sato, "Position Measurement Improvement on a Force Display Device Using Tensed Strings", IEICE TRANS. INF. & SYST. Vol. E79-D, No.6 pp 792-798, June 1996.
11. L. Buoguila, Y. Cai, M. Sato, "New For Human-Scale Virtual Environment: Scaleable-SPIDAR", ICAT'97, 1997, pp.93-98.