著者最終稿　日本機会学会1999年度年次大会講演論文集（Ⅰ）pp.384～385, 1999 掲載

フォースフィードバックグローブを用いたＶＲ環境でのロボット教示

Robot Teaching using Force-Feedback Glove in Virtual Reality Environment

正　○　川崎 晴久　(岐阜大)　　学　中山　寛治（岐阜大）
川村　典夫（岐阜大）　　天野　　剛（岐阜大）
Haruhisa KAWASAKI, Kanji NAKAYAMA, Norio KAWAMURA, Tuyoshi AMANO
Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu 501-1193

This paper presents a robot teaching system for multi fingered robots using a force feedback glove that generates the virtual forces at 10 points of human fingers in virtual reality environment. A motion intention of the human is analyzed through the virtual force at the human fingers and the 3D motions of the human and the virtual object. In the analysis, the human motion is segmented into primitive motions. An unnecessary part in the segment for executing a task is cut and the rest part is represented by a smooth time function. These results are used in the robot teaching instructions.

Key Words: Robot teaching, virtual reality, multi finger, force, glove, motion intention

1. はじめに

ロボットの教示の従来法は，ロボットプログラミング，教示ツールを用いたダイレクトティーチングプレイバックが主であるが，同時に多点の運動と力の教示が必要な人間型ハンドロボットに対しこれらの教示法では適用は困難である．近年，自動プログラミングに向け人間動作を視覚等によりモニターしその運動をダイレクトに教示するTeaching by showing，Assembly plan from observation[1]，仮想環境での仮想力を用いた作業シミュレーション[2]等の手法が提案されているが，十分に確立した技術ではない．

本報告は，フォースフィードバックグローブを用いたバーチャルリアリティ環境での人間の動作の意図を解析し，ロボット教示を行うＶＲロボット教示システムについて述べる．

2. ロボット教示システムの構成

人間型ハンドをもつロボットの教示方法として，Fig. 1 に示すように，仮想空間で人間が操作する一連の動作を計測し，その計測値から人間の操作の意図を抽出し，ロボット教示コマンドに自動的に展開できるシステムを研究開発している．操作は，遠隔のロボットからのビジョンをもとに構築されるバーチャル空間で，仮想物体を対象に操作する．このとき，人間の手には指の関節等を計測しかつ人間の手に力感覚を提示するフォースフィードバックグローブ(FFG)を装着する．

Fig. 1 Consept of robot teaching in VR environment

仮想物体と人間の手に対応する仮想ハンドが空間的に干渉すると，その干渉量に比例した仮想抗力を生成し，この仮想抗力を目標値としてフォースフィードバックグローブが動作し，人間の指に力が提示される．人間の動作，対象物の位置姿勢，仮想抗力を観測し，これらの観測値から，ロボットに教示するコマンドを自動的に生成するシステムは，人間型ハンドをもつロボットへの教示を容易にするものと考える．

3. フォースフィードバックグローブ

試作したフォースフィードバックグローブ(FFG)をFig. 2 に示す．この機構は，市販のデータグローブの上に装着される．手の甲に搭載したギヤ付きモータとワイヤロープにより，指の固定部に力を提示する．力は導電性ゴムによる力センサによって計測される．モータは目標値に対して力のPI 制御が施され，各指について２箇所の最大20Nの力を合計10 箇所に提示できる．重量は254gf で現在のところ，十

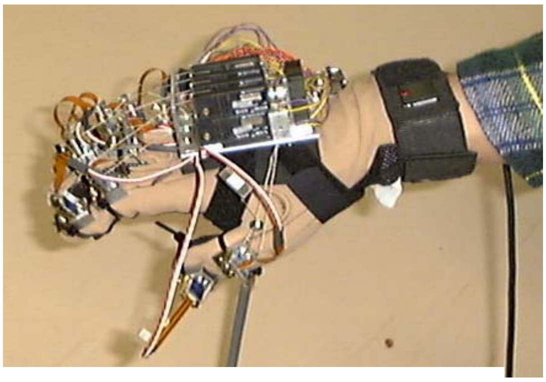

Fig. 2 Force feedback glove

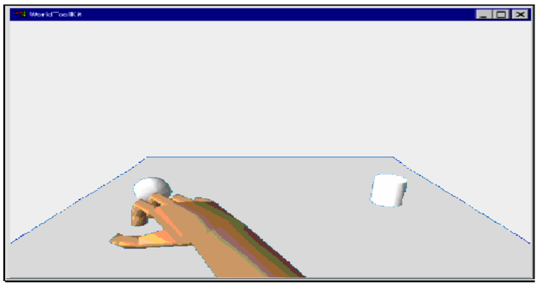

Fig. 3 CG of a VR simulation system

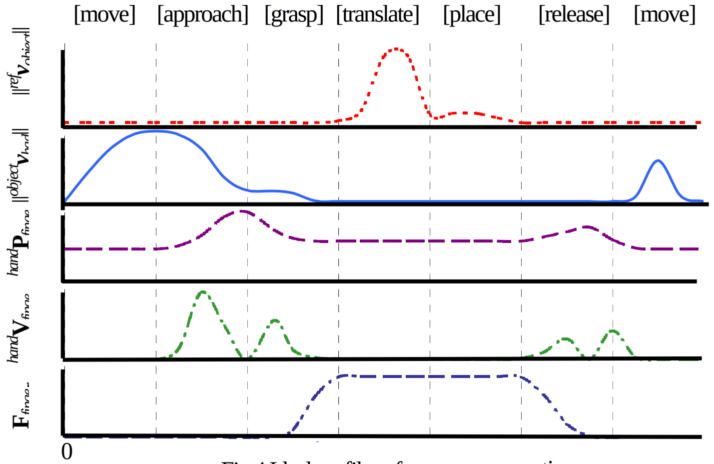

Fig.4 Ideal profiles of parameters

Fig. 5 Automatic segmentation of pick and place task

分に軽量とは言いがたいが, 仮想物体の操作は可能である. 操作者は, Fig.3 に示す CG をみて，仮想物体を操作する．仮想ハンドと仮想対象物との干渉量に比例した抗力が FFG で生成される.

4 動作意図の解析

人間の動作の意図は，広範囲に及び，単に操作者の運動の計測から解析できるものではないが，ロボットに物体把持，搬送，組み立てなどの作業を実行させるとき，操作者が考える目標運動軌跡や安定把持のための接触点や把持力はその操作者の一連の運動と仮想抗力にあらわれている．動作の意図解析は，一括して解析することは困難であるため，動作の単位ごとにセグメントに分割し, 各セグメント毎にその意図を解析する. ここでは, Pick & Place タスクにおけるセグメントの分割方法について述べる.

Pick & Place タスクは，物体の置かれた方向へ腕を移動する move，物体の近傍での腕の移動と物体形状に沿って指を開く approach, 物体を把持する grasp, 把持した物体を搬送する translate, 目的地近傍で丁寧に物体を置く place，手を離す release，手を所定の位置に移動する move に分割できると仮定する。この分割は, 対象物座標での腕の速度 $^{object}\boldsymbol{v}_{hand}$, 基準座標での物体の速度 $^{Ref}\boldsymbol{v}_{object}$, ハンド座標での i 番目の指先の位置 $^{hand}\boldsymbol{p}_{i\text{-th finger}}$ と速度 $^{hand}\boldsymbol{v}_{i\text{-th finger}}$,及び仮想抗力 $f_{i\text{-th finger}}$ から分割ができると考える。ただし，３次元運動を総合的に評価するため，ベクトルノルムで評価することを基本とし，複数の指の運動は，各指の位置ベクトルと速度ベクトルのノルムの総和

$$^{hand}P_{finger} = \Sigma \| ^{hand}\boldsymbol{p}_{i\text{-th finger}} \|$$
$$^{hand}V_{finger} = \Sigma \| ^{hand}\boldsymbol{v}_{i\text{-th finger}} \|$$

と指先の力の総和

$$F_{finger} = \Sigma \| \boldsymbol{f}_{i\text{-th finger}} \|$$

で評価することとした。$^{hand}P_{finger}$ は指の開きを表す指標，$^{hand}V_{finger}$ は指の動きを表す指標，F_{finger} では把持力の大きさの指標である。このときの, これらパラメータの理想的なプロフィールをFig. 4に示す。この考えにもとづき, 実際の観測値をもとにセグメント分割した結果をFig. 5 に示す．分割が自動的に実施できている.

観測データは一連のタスク実行において大量であり，振動成分やノイズも含まれている. また, 人間は休止することもある. そこで, 休止部分は自動的に削除することとした．残余部分を，操作者の技能を表しかつデータを圧縮しロボットに高次の振動モードを励起しないように滑らかな運動軌跡とするために，軌跡は始点，速度の極値となる点，終点を通貨するように区分的に時間の５次多項式で近似することとした．Fig. 6　は，translateセグメントにおける観測データと生成した目標軌道を示す．良好な目標軌道が生成されているといえる．こうして得た，滑らかな軌道をロボットの教示データに役立てる.

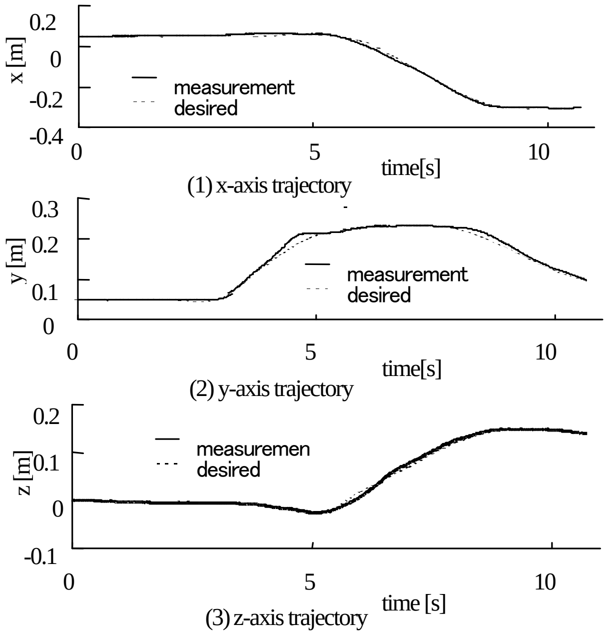

Fig. 6 Desired trajectory at *translate* segment

5. おわりに

人間型ハンド[3]をもつロボットの自動プログラミング化に向け，バーチャルリアリティ環境でＦＦＧを用いたロボット教示を示した．今後は，生成した教示コマンドによるシミュレーションシステムと実ロボットによる作業の研究等を進める計画である.

本研究の一部は，岐阜県研究開発財団RSP事業の支援を受けた.

参考文献

[1] S.B.Kang et. al., Toward Automatic Robot Instruction from Perception-Temporal Segmentation of Tasks from Human Hand Motion, IEEE Trans. on Robotics and automation, vol. 11, No. 5, 1995, pp. 670-681

[2] 吉川恒雄　他, 組立作業のハプティックバーチャルリアリティシミュレーション，TVRSJ、Vol. 14, No.1, pp.313-320, 1999

[3] H. Kawasaki et. al., Development of Anthropomorphic Robot Hand driven by built-in Servo-motors, Proc. of ICAM'98, pp.215-220, 1998