

GUIを用いた作業実行システム(VISIT)

Task Execution System for Robot Using GUI

○高階爾*, 小菅一弘*

○Akira Takashina*, Kazuhiro Kosuge*

*東北大学

*Tohoku University

キーワード： ロボット (robot), 遠隔操作 (Tele-operation), 作業実行 (task execution),
マンマシンインターフェイス (man-machine interface)

連絡先： 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉01 東北大学大学院 工学研究科 機械知能工学専攻 小菅研究室
高階爾, Tel.: (022)217-4035, Fax.: (022)217-4035, E-mail: akira@irs.mech.tohoku.ac.jp

1. 緒言

現在、ロボットによる遠隔操作（テレオペレーション）システムは、主に宇宙空間や原子炉、深海底といった、直接人間が立ち入ることのできない環境での作業に利用されている。システム自体このような特殊な環境下での使用を目的として開発されたため、ロボットとオペレータ間の通信には、特別に敷設された専用回線、もしくは衛星回線が利用されてきた。また、システムは特定の場所からの利用に限られており、同時に2人以上のユーザが利用できるものは希であった。

しかし、近年のインターネットの普及に伴い、汎用回線であるコンピュータネットワークを通信回線に利用することで、上述した従来の遠隔操作システムが抱えていた問題を解決し得る、新しいテレオペレーションシステムへの期待が高まっている。

コンピュータネットワークを介した遠隔操作システムでは、インターネットや携帯電話、PHS等の情報インフラストラクチャを利用できるため、専

用回線を敷設する場合に比べて、システムの構築がコスト・労力・期間の面で容易であり、通信システムを占有しないため、ランニングコストも低く抑えることができる。さらに、ネットワークの特性として、ユーザがネットワーク上のどこからでも遠隔操作システムにアクセスでき、また多数のユーザに利用が可能となるため、遠隔操作システムの利用範囲が大きく広がることになる。

しかしながら、コンピュータネットワークはその使用状況により通信負荷が不規則に変化したり、また通信プロトコルに伴う様々な制約により、通信条件が時間的に一定であるとは限らない。その為、ネットワークを経由した情報にはランダムな伝送遅延が生じることとなる。さらに、現在もっとも一般的に用いられている遠隔操作の手法にマスタースレーブシステムがあるが、これはオペレータに6自由度の操作を要求する為、オペレータがある程度操作に習熟していなければ作業を行うことは難しく、オペレータには作業だけでなくロボッ

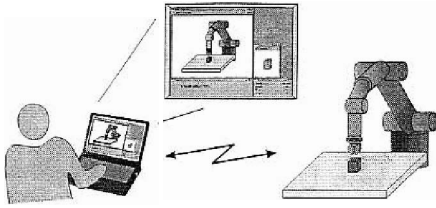


Fig. 1 Proposed Robot Control System

トに関する知識・技能が必要となる。

そこで本稿では、ロボット制御技術・画像処理技術・ネットワーク技術・GUIを統合した、従来にはない操作性を有する新しいロボット操作システム、VISIT(Visual Interface System for Interactive Task Execution)を提案する(Fig.1).

2. システムの特徴

提案するシステムは、コンピュータネットワークを利用する利点を最大限に活用し、「どこからでも操作可能」であるシステムを目標とする。システム内には作業に関する知識・技能が予め準備されているため、オペレータはロボットの制御や操作に直接関わる必要が無い。さらにオペレータは作業の内容をシステムと対話することでロボットに教示し、作業を実行することが出来る。本システムでは、マンマシンインターフェイスにGUIを用い、ロボットに関する知識を持たないオペレータでも簡単に作業を実行することが可能なため、「誰にでも操作可能」なシステムとなっている。本システムの持つ特徴をまとめると以下ようになる。

- ロボットと操作システムは、コンピュータネットワークを利用してネットワーク結合できるような構造を持ち、どこからでも操作が可能である。
- 操作デバイスを限定せず、モバイルコンピュータを含めた一般的なコンピュータシステ



Fig. 2 Construction of VISIT

ムを想定する。

- マウスなどの一般的なポインティングデバイスを用いたGUI操作により、誰にでも簡単にロボットによる作業を行うことができる。
- 作業に必要な情報をITEM(Interactive Task Execution Module)がインタラクティブに収集し、作業手順を生成することで、技能を必要とする複雑な作業も簡単に実行することができる。
- 一般的な作業を対象としたシステムを構築することを目標とし、遠隔操作のみならず、ロボットの教示作業システムとしても有効である。

このような特徴を有するシステムは、一般的に複雑なシステムアーキテクチャを必要とするが、VISITではシステムをいくつかのモジュール群に分割しモジュール単位で研究開発することにより、アーキテクチャの複雑性を改善し、システムの構築・再構築を容易にしている。

システムは、GUIモジュール・画像処理モジュール・ITEM(Interactive Task Execution Modules)・制御モジュール・通信モジュールの5つから構成されており、それぞれのモジュールが有機的に情報を交換することで作業が遂行される(Fig.2).

3. GUIモジュール

GUIモジュールはシステムとオペレータの仲介をするモジュールであり、オペレータの操作は全てGUIを介して行われる。

本システムでは、作業側に設置されたカメラより送られてくる作業環境の実画像を、ポインティングデバイスで直接操作することにより作業を実行するシステムを提案するが、実際にはポインティングデバイスの動きと共にリアルタイムで作業が行われない限り、実画像のみを利用して作業を実行することは不可能である。そこで、画像処理モジュールによって認識された作業対象物や作業環境のCGを実画像にオーバーレイし、CGを操作することによってあたかも実環境に直接働きかけているかのような感覚をオペレータに提供し、作業の実行を計る。

本研究で提案するGUIは、ポインタ、実画像とCGのウィンドウ・ボタン・スケール等から成り立っており、直感的で簡単な操作が行えるよう、一般的なOSのウィンドウシステムのルールをそのまま取り入れている。オペレータは実行したい作業内容をメニューバーより選択し、ポインティングデバイスを用いて作業に必要な情報をシステムに提供する(Fig.3)。

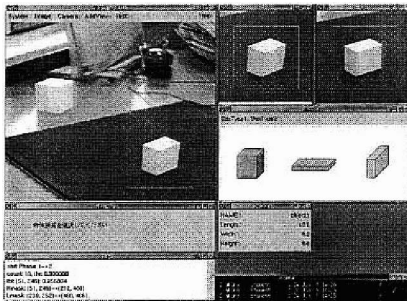


Fig. 3 Graphic User Interface

4. 画像処理モジュール

ロボットによって物体を取り扱うためには、システムが物体の位置・姿勢・形状を認識している必要があるが、一般的な作業を対象とした本システムでは、作業対象物の位置・姿勢等は不明であることを前提としなければならない。仮にシステムが物体の幾何学情報を保有していたとしても、一般的な作業では不確定な要素が多く含まれており、作業の進行とともに誤差が生じるため、情報の更新が必要となる。しかし、作業中にオペレータが対象物の位置や姿勢を計測し直すことは作業の効率やオペレータに掛かる負担を考慮すると得策ではない。なにより遠隔操作の場合、オペレータが実際に遠隔地の環境を計測することは不可能である。

そこで本システムでは、作業環境の実画像に対して画像処理を行うモジュールを用意し、画像から作業対象物の位置・姿勢を計測する。但し、オペレータの作業指示に関する負担を軽減するため、作業対象物の認識は全て自動で行うことを目標とするが、現在、画像認識に関しては人間の視覚処理の方が計算機上の高度なアルゴリズムよりも遙かに高速かつ正確である。そこで、本システムの画像処理モジュールは、各処理の妥当性をオペレータが確認し、必要ならばパラメータを調整することのできる、いわば人間の視覚処理と計算機による画像処理とを複合させたシステムになっている。

5. ITEM

5.1 作業実行システム

現在様々な分野において広く使用されている産業用ロボットは、基本的に直接的な動作指示方法を基礎としている。例えば作業環境のCADデータを利用したり、実際に人間が作業ポイントを計測してロボット言語によるプログラミングを行うこ

とによって作業の実現が図られる。しかし、それにはロボットに関する知識を十分に持ったオペレータが事前に複雑な作業を行わなければならない。さらに、ロボットに別の作業を行わせるためには再び時間と労力をかけて教示をやり直す必要がある。

そこで本システムでは、ITEM(Interactive Task Execution Module)がオペレータに代わって作業手順を生成し、作業を実行する。ITEMが必要なパラメータをオペレータや他のモジュールからインタラクティブに収集するため、オペレータはITEMからの要求に対して、何らかの指示を行うだけで、作業を簡単に実行することが可能となる。

ITEMはBasic Task ModulesとPrimitive Packageの組み合わせから構成されており、作業固有のモジュールとして定義される。さらに、簡単な作業を行うITEM同士を組み合わせることでより複雑な作業を行うITEMを構築することもでき、例えば部品の組み付けといった一般的な作業も簡単に実行することが可能となる。

5.2 Basic Task modules

Basic Task Modulesは、作業に必要な技能や手順などを各作業毎にパッケージングしたもので、システムには予めいくつかのBasic Task Modulesが用意されている。Basic Task Modulesは、ロボットが作業を行うための動作を特定の意味を持つ動作、つまり把持や移動、設置等に分解したもので、類似の作業に適用可能な汎用性のある動作と捉えることができる。ITEMは単独、または複数個のBasic Task Modulesを包含し、それらの組み合わせによって固有の作業を実現する。ITEMとしてシステムに登録されていない作業を行う場合は、オペレータが作業に応じて必要となるBasic Task Modulesや後述するPrimitive Packageをオンライン/オフラインで組み合わせ、システムに登録することによって可能となる。

5.3 Primitive Package

作業を行うに当たってロボットに必要な基本動作を考えると、エンドエフェクタの開閉やマニピュレータの移動など様々なものが存在する。また、こうした基本動作を行うためには制御パラメータが必要となるが、パラメータの値によって全く異なった振る舞いをする動作も存在する。その為パラメータの設定には何らかの指針が必要となる。

本研究では、ロボットの原始的な基本動作をMotion Primitive、パラメータの設定指針をPlanning Primitiveとして定義し、それらを含ませたPrimitive Packageの組み合わせによって作業が実行されると考える。上述のBasic Task Modulesは、このようなPrimitive Packageの集合であり、その組み合わせ方でBasic Task Modules、ひいてはITEM全体の作業内容が決定される。

5.4 情報収集

ITEMによって作業手順が生成される際、ITEMを構成するBasic Task Module群に必要な各種のパラメータを設定しなければならない。これらのパラメータは作業に固有の物であるため、扱う対象物や作業の種類に応じてPlanning Primitiveに従い設定されなければならない。しかし、作業対象物や作業環境の特性、そしてそれらの時間的な変化などを考慮して事前に各パラメータを適切な値に設定することは極めて困難である。さらに本システムでは、オペレータはポインティングデバイスと実画像、及びGUIモジュールによって生成されたCGとでしかシステムに情報を与えることができないため、オペレータが全てのパラメータを設定することは非常に難しい。そこでITEMは、作業に必要なパラメータを他のモジュールやオペレータからインタラクティブに取得し、作業手順を生成する。但し、オペレータに掛かる負担を考慮し、ITEMは出来る限りオペレータからの情報

収集を避け、他のモジュールやデータベースから優先的に取得するよう設計される。

ITEMを利用することにより、オペレータはシステムに対し漠然とした指示を与えるだけで、作業を行うことが可能となる。

6. 制御モジュール

ロボットを制御し、実際に作業を行うモジュールである。位置・姿勢制御・力制御など複数の制御系が用意され、作業に合わせてそれらを組み合わせて使用する。

コンピュータネットワークを介しているため、現在の作業状況をオペレータがリアルタイムに把握することは不可能であり、また実画像からの情報は誤差を含むことを前提としなければならない。本モジュールでは誤差がある環境でも作業を遂行でき、不測の事態が起こったときでもロボットを安全に制御できる制御系が必要とされる。

7. 通信モジュール

VISITを構成する各モジュールは、物理的にモジュール毎に分割されているわけではなく、1つのモジュールが複数のコンピュータに構築されたり、1台のコンピュータ上に複数のモジュールが構築されたりする場合も存在する。通信モジュールがそのようなモジュールの物理的構造に依らない通信環境を提供することで、各モジュールは相互に情報を交換して作業を遂行することが可能となる。

8. 実験

本論文で説明したシステムの特徴、機能を実現するため、実験システムの構築を行った。さらにVISITの有効性を示すため、構築したプロトタイプシステムを用いた実験を行った。

物体の搬送作業を行った流れをFig.4-Fig.7に示

す。作業に用いたITEMは既に構築してあるものを用いた。

まず、オペレータは実画像上でポインティングデバイスをを用いて作業を行う対象を選択する(Fig.4)。システムは画像処理を行い選択された対象物の位置・姿勢などの情報を取得し、認識された作業対象物をワイヤーフレームモデルで表示する(Fig.5)。表示されたワイヤーフレームをマウスで操作することにより作業内容を指示する(Fig.6)。実際にロボットにより作業が行われる(Fig.7)。

9. 結言

本論文では、GUIを用いた知能化機械用の新しい作業実行システムVISITを提案した。本システムにより、GUIを用いた新しいシステムの1つの方向を示すことが出来た。

参考文献

- 1) 小菅, 菊池, 延寿寺, 竹尾: GUIを用いた作業実行システムVISIT第1報・システムの概要, 第15回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 419/420 (1997)
- 2) 菊池, 延寿寺, 小菅: GUIを用いた作業実行システムVISIT第2報・画像処理, ロボティクス・メカトロニクス講演会'98 講演予稿集, No.98-4, 2C13-7 (1998)
- 3) 高階, 菊池, 小菅: GUIを用いた作業実行システムVISIT第3報・インタラクティブな画像処理モジュールの構築, 第17回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 833/834 (1999)
- 4) 高階, 小菅: GUIを用いた作業実行システムVISIT第4報・ITEMの構築, 第18回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 833/834 (1999)

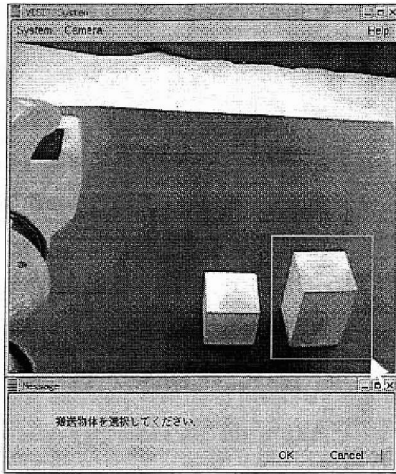


Fig. 4 Selecting Object

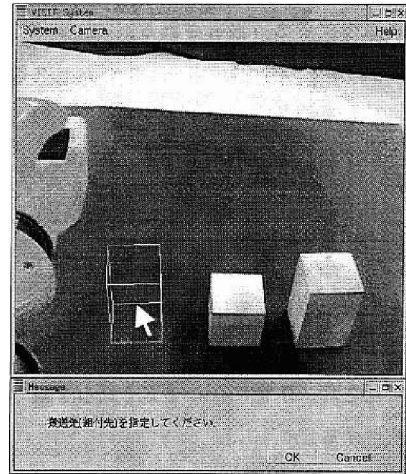


Fig. 6 Command the motion by dragging the wire frame model

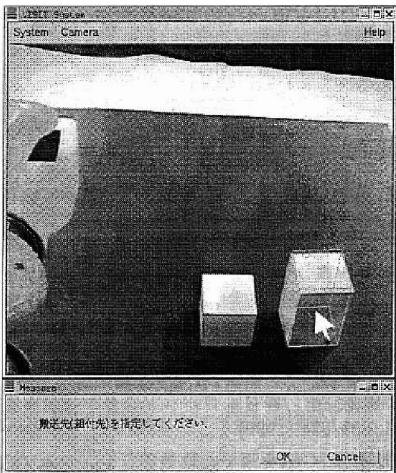


Fig. 5 Recognize Target Object

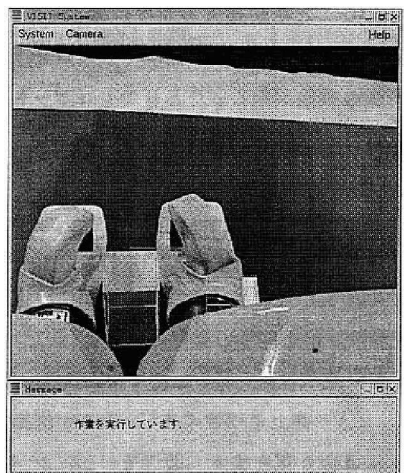


Fig. 7 Execution of the task