実世界俯瞰画面へのスケッチ動作による 家庭用ロボットの動作指示インタフェース

An Interface for Home Robots by Sketching Behaviors on a Top-down View of a Real World

○本田 浩一郎 (東大, JST ERATO 五十嵐デザインインタフェースプロジェクト)
坂本 大介 (東大, JST ERATO 五十嵐デザインインタフェースプロジェクト)
稲見 昌彦 (慶応大, JST ERATO 五十嵐デザインインタフェースプロジェクト)
五十嵐 健夫 (東大, JST ERATO 五十嵐デザインインタフェースプロジェクト)

Koichiro HONDA, The University of Tokyo, JST, honda@designinterface.jp,
Daisuke SAKAMOTO, The University of Tokyo, JST,
Masahiko INAMI, Keio University, JST,
Takeo IGARASHI, The University of Tokyo, JST

Recently, various kinds of home robots have been developed and are getting common in our lives. However, most of the users of home robots do not have the knowledge of hardware and robotics, so they should not be compelled to do any troublesome procedures and manipulation. In this paper, we introduce an intuitive interface for simple and direct manipulation of home robots, focusing on how to interact with robots when we use them. In particular, our system adopts pen-stroke gesture as an input command on computer screen. We designed and implemented several types of gestural commands representing corresponding tasks, and then conducted some usability experiments.

Key Words: Home Robots, Human Robot Interaction, Sketch-based Interface, Pen Gesture, GUI

1. 緒言

一般家庭において、ペットロボットのみならず、実際の仕事を行うロボットの普及が始まりつつある。家庭用ロボットを含むサービスロボットについての研究はその性能をあげることに主眼をおいているが、残念ながら現在のこれらのロボットの多くは、まだ実際の日常生活で役に立つものではない。我々は、家庭用ロボットが現在家庭において普及している電化製品のように、日常生活に有用で、誰もが簡単に扱うことのできるものとして普及するためには、その操作インタフェースが重要であると考えている。

電化製品が普及した理由を考えてみたときに、それは家庭内での家事の時間を短縮することができる大きな理由であると考えられる。統計によれば、一般の既婚女性の場合においては週 29.8 時間を掃除、洗濯などにかけているが[16]、これらの仕事をロボットに任せることができれば、負担をより軽減できるだろう。

一方、これまでロボットと呼ばれるものに期待されることは自律的に仕事を実行することであった。しかし、現在のロボットにそれを実行させることは難しい。但し、この難しさは「完全に自律的」に動作することであって、タスクを遂行すること自体ではない。即ち、完全に自立的に動作できなくとも、ある程度の人の介入を許容してタスクを遂行することは難しいとは限らない。例えば、電子レンジや洗濯機は自動機械ではあるが、我々の指示なしには、我々の意図に即した結果を出力できない。この点において、家電もロボットではあるが、良く考えられたインタフェースによってその賢さを保証されていると考えられる。簡単なインタラクションによって、ユーザにとって有益な結果が得られるのならば、積極的にこの相互補完的なアプローチを採用するべきであろうと考えている。

Human Robot Interaction (以下 HRI) の研究の大きな目的に人とロボットの共生があるが、本主張はこれを現実的な

Fig. 1 System concept. In our system, users directly draw gesture commands onto top-down view of a room

なちで実現するものであり、非常に重要な点であると考えている。この点において我々は、これまでのロボット開発において、人からロボットに対して指示を与えるためのインタフェースに注目されることは少なかったと考えている。インタフェースが人とロボットとのインタラクションを円滑にし、ロボットへの動作指示を簡単かつ、直感的にすることができれば、ロボットはその活用できる範囲を飛躍的に広め、便利なものとなる可能性がある。我々はこれに注目する。

本稿では、人とロボットとの相互補完的なアプローチのための研究として、家庭用ロボットのための行動指示インタフェースを提案する。具体的には、ユーザに提示された実際に存在する空間の俯瞰画面上においてペンジェスチャによりロボットへの動作指示を行うことができるインタフェースを開発する。本稿では開発システムについても述べたあと、今後の家庭用ロボットのインタフェースについて議論を行う。

2. 実世界俯瞰画面上への動作指示書き込み インタフェース

本稿では、家庭用ロボットの例として掃除ロボットを取り上げ、そのための動作指示インタフェースを提案する。掃除

は家庭内での仕事の重要な位置を占めているが、未だ自動化することができていないものであり、ロボットがその役割を担うことができる可能性があるためである。

本システムにおいては、部屋の天井に設置したカメラからのリアルタイム映像を利用した俯瞰画面 (Top-down View) を用いて、ペンストロークによってロボットに行動の指示を与えることが出来る (図 1)。ロボットを操作するためのビューとして、実際の部屋の様子を提示されていることは重要である。家庭用ロボットの操作にはユーザが指示を与えたい場所と、ロボットの状態を同時に知る必要があるであろうが、これには、天井からの俯瞰視点が最も操作が容易であると考えられる。この俯瞰視点を利用することによって、画面上に実際にスケッチをしているような感覚を提示することが出来ると考えられる。このため、ユーザはより直感的にロボットへ指示を送ることができると考えられる。ロボット操作については、命令の指示設計や、行動計画が煩雑になりがちであるため、直感的な操作は重要であろう。

一方で、ロボットの制御を行う上で必要なロボットの位置と物体の位置の認識についても俯瞰視点は有効である。ロボットの動作する平面に垂直に映像を取得することで座標変換等の処理が不要になり、より誤差を小さくすることが出来る。さらに、キャリブレーションも不要となるため、設置後ただちに使用することもできる。

また、我々はユーザからの指示の入力として、ペンストロークを採用する。ペンストロークによる入力は家庭用ロボット操作に応用しうる有用な点が多くある。例えば、ユーザの学習が不要であり、一般ユーザにも困難無く扱うことが出来るほか、俯瞰画面においては PC 上でのオブジェクト操作のようにロボットを操作できる。これまでに Human Computer Interaction (以下 HCI) の分野において、様々なペンストロークに関する研究が行われてきているが、これは実世界で実際に動作するロボットにおいても同様に有用であろう。ロボットへのインタフェースだけではなく、HRI における研究としても、これらの研究は多いに参考になる。また、インタフェースへの入力が点ではなく線であるため、そのまま経路選択や範囲指定などに使用することが出来ることも重要である。

2.1 関連研究

これまでに俯瞰画面を用いたロボット動作指示手法はいくつか提案されてきている。Skubicらは俯瞰画面上でロボットの移動軌跡を書くことで、ロボットの操作を実現した[11]。俯瞰画面上にユーザの書き込み動作によりロボットの動作指示を実現した研究もある[15][12][14]。これらの研究では俯瞰画面を利用し、かつ画面への書き込み動作を利用してロボットの動作指示を実現していたが、実世界の画像を使っていなかった。このため、ロボットが実際に動いているのかどうか、その臨場感を得ることは難しかったと考えられる。

ロボットの直接動作指示手法についても多くの研究が行われてきている。Freiらはロボットを直接手で動かし、それを再生することが出来るロボットを開発した[13]。細井らは手持ち型プロジェクターからの映像を利用してロボットの直接操作を実現した[9]。これらの手法は非常に直感的にロボットを操作することが可能な一方で、長時間にわたる仕事の指示や、大きなロボットの指示には向かないと考えられる。

コンピュータ上での一般的な操作手法 (選択, ドラッグアンドドロップなど) のロボットインタフェース上での実装を試みた研究についてもすでに存在する。中西らはロボットの遠隔操作のインタフェースとして、コンピュータのGUI操作を模したユーザフレンドリな操作システムを提案している[6]。

Fig. 2 System Overview

また、Kempらはロボットに対する指示にレーザポインタを使用することで、クリックして選択するというコンピュータにおけるマウスの操作を模したインタラクションを実世界における物体の選択として実現している[5]。

HCIの分野では本稿の提案手法でも採用するペンストロークに関する研究が数多く行われてきており、その応用事例も数多く提案されてきている[4][12][7][1]。我々はこのペンストロークに関する研究はHRIの分野においても、ロボットの遠隔操作手法の一つとして非常に有効であると考えられる。

我々は実世界の俯瞰画面のように高い臨場感を有し、かつ直感的な操作が可能であるペンストロークを採用することで、ロボットに詳しくないユーザであっても簡単に操作することが出来るインタフェースの開発を目指す。

3. 実装するシステム

提案する実世界俯瞰画面上でのロボット行動指示インタフェースの設計と実装について詳述する。また、本稿で開発するシステムの構成を図2に示す。

3.1 家庭用ロボット

本稿で開発するシステムでは、家庭用ロボットとして、iRobot社製のRoomba 570を使用する。本ロボットは市販されている自走式のロボット掃除機であり、通常の製品としてはアルゴリズムに従って部屋の中を自動的に走りながら掃除させることができるほか、リモコンを利用してユーザが操縦することも出来る。本ロボットの寸法は直径 340mm×高さ 92mm であり、速度は最大で毎秒 500mm 移動である(図3)。

本ロボットには、開発者向けにAPIが公開されており、プログラムの記述によって、様々な指示が可能である。本システムではロボットにBluetooth-シリアル変換アダプタを接続し、Bluetooth通信による遠隔操作を可能とした。

Fig. 3 iRobot Roomba 570

3.2 俯瞰画面 (Top-down View) の構築

本システムでは、カメラは市販されている標準的なWebカメラを並べたものを用いる。これを天井に設置し、インタフェースに使用する。本稿ではLogicool社製のQcam Pro for Notebooksを使用する。カメラの解像度は1280px×960pxに固定されており、使用する画像では約3m×2mの範囲を取得することが出来る。また、本システムでのロボットや物体の位置認識については、ARToolkitを使用している。これにつ

いては、今後モーションキャプチャシステムなどを使用し、さらに精度良くロボットや物体の位置認識を行うシステムとしていく予定である。

3.3 ペンジェスチャを用いた動作指示

本システムではロボットへの動作指示の入力としてペンストロークによるジェスチャを採用する。本稿で提案するシステムでは、全ての操作をペンジェスチャで行う。

ペンストロークには、ロボット操作を行う上で有用な点が数多く存在する。例えば、ペンを使うことによってユーザに強いる学習が不要であり、従来の GUI の様にボックスやリストをクリックするような細かい作業をせずに済むため、ストレスを感じずに指示が行えることが考えられる。

本システムではプロトタイプとして、

- ロボットの移動の指示 (MOVE)
- 掃き掃除の指示 (SPOT)
- 中断 (PAUSE)、再開 (RESUME)、停止動作 (STOP) の指示
- ロボットの充電ステーションに帰る指示 (DOCK)

の 6 種類の動作を、ペンストロークを用いて実装する。実装するジェスチャを図 4 に示す。以下、各動作の実装について述べる。

Fig. 4 Gestures for robot direction.

3.3.1 ロボット自身の移動の指示

ロボット自身を移動させたい場合、どちらもペンストロークによって、軌跡を描くことによって行うことができる。この場合、軌跡を描く開始地点がロボット上であれば、ロボットの移動指示となる (図 5 左)。

ユーザが軌跡を描き終わると、開始地点から終了地点まで軌跡が表示される。この軌跡は動作の終了まで表示されるが、これは、指示自体が送信されても実際に移動が完了するまでには時間がかかるため、実際の進行状況が視覚的に確認できるようにするためである。

中西らの手法[6]では、開始地点と終了地点を指定することは出来るが、途中経過については指定していない。だが、一般的に、経路選択をアルゴリズムによって解決しようとする、家具の配置や、床に落ちている物体を認識しなければならないため、非常に問題は難しくなる。その上、ユーザの意図しない経路、例えば入ってほしくない場所においては、結局はユーザの意図を何らかの手段で入力しなければならない。本システムにおいては、ユーザは無意識的に障害物をさけて動作経路を指示すると考えられるため、一般物体認識の問題を暗黙的に避けることができる。

3.3.2 掃き掃除の指示

掃き掃除の指示には、掃き掃除をしたい場所に対して、図 5 右のようにストロークで範囲を指定するジェスチャをする。これによりロボットは指示された領域の中心へ移動し、掃除を開始する。自動的に掃除範囲が決められ、ロボットに対して動くべき軌跡が送信される。

Fig. 5 Task direction. Left: MOVE, Right: SPOT

Fig. 6 Visualization of direction result

Fig. 7 Visualization of robot status.

3.3.3 中断、再開、停止動作の指示

ロボットの操作では物理的な移動や動作が伴うため、指示してから動作が完了するまでに時間がかかることが多い。そのため、作業を実行中に作業場所周辺の状況が変わったり、違う指示を与えたりする必要がある可能性もある。そこで、行っている作業を途中で中断させたり、再開させたりすることも必要である。

本システムでは動作の中断、動作の再開を、簡単な記号認識によって実装を行った。ジェスチャ認識のアルゴリズムは、Wobbrockらの手法[8]を参考にしており、画面の任意の場所に、決められた記号 (中断は砂時計マーク、再開は再生ボタンマーク) が描かれると、実際にその動作を行う。また、動作および作業の停止や、ロボットの定位置 (充電ステーション) に戻るといった指示についても実装を行った。

3.4 ユーザに提示される情報

ペンジェスチャによる動作指示においては、ジェスチャの入力が成功したか否かを判断するための情報提示が必要である。また、ユーザはロボットが現在どのような状態なのかを知りたい欲求もあるだろう。このため、本システムではジェスチャの入力が成功した場合に、ただちにその結果を知らせるための情報を出力することとした (図 6)。また、ロボットの状態を示すため、ロボットの名前および状態を俯瞰画像にオーバーレイ表示させている (図 7)。

4. 議論

本稿ではペンジェスチャによるロボットへの行動指示インタフェースを提案し、プロトタイプを開発した。

5.1 実世界俯瞰画面を用いたロボット操作

本システムではロボット操作インタフェースとして実世界での実世界俯瞰画面映像を利用した。これまでの俯瞰画面を用いた研究では実世界の画像を用いておらず、このため、実際にロボットを操作している感覚を提示することは難しかった。本システムでは実世界の画面を利用することで、実際にロボットが動いている様子をリアルタイムで確認しながらロボットの操作を行うことができるインタフェースを構築することが可能となった。さらに、俯瞰画面を提示し、その上で

ロボットの行動を指示することが可能となったため、ユーザはロボットの向きの誤認識をすることなく、自然な動作指示が可能となった。

これまでも俯瞰画面以外にロボット視点で操作を行うインタフェースについても様々な提案されてきているが、本システムではロボットだけではなくソフトウェアの知識もないユーザと主な対象としていた。この点においても俯瞰画面は、ロボットの行動する範囲を把握し、適切にロボットを移動させることを想像することが可能な環境として適切であると考えている。

5.2 ロボット動作の非同期性

家庭用ロボットに求められる機能の中でも重要なものの一つに動作の非同期性がある。電化製品は家事に関する指示を、それを行う機器に対して指示を行うことができ、かつ、それを非同期化させることが可能であったため、広く普及したと考えられる。本システムはロボットに対する指示を非同期化することができるという点で、重要であろう。ただし、現在はロボットへの動作指示がただちに実行されてしまうようになっているため、完全に非同期化された訳ではない。しかし、動作の実行についてディレイを設けることや、指定時刻に実行するようなシステムを実装することは難しくないので、今後実装する予定である。

5.3 他のロボットシステムへの応用可能性

本システムは家庭用ロボット、特に掃除ロボットに注目したものであった。我々は、もちろん掃除ロボットのみに注目している訳ではなく、このため、他のロボットへ本稿の知見を応用する必要がある。例えば、ものを運ぶことができるロボットに対して、ものを取ってくる指令を出す際には本稿のインタフェースは有効であろう。しかし、また、他のサービスロボット、特に人型ロボットへの応用可能性について考えてみたときに、ストロークジェスチャのみでは難しいことが考えられる。Glasらは人に対して対話を通してサービスを提供するロボットの遠隔操作インタフェースを提案した[10]。このインタフェースではロボットからの情報をビジュアルにユーザ（オペレータ）に提示し、またロボットが可能な行動を併せて提示することで、複数台の人型ロボットの操作を可能にした。しかし、ナビゲーション動作については扱っておらず、このため、移動をすることはできなかった。本システムを用いることで、人型ロボットのナビゲーションについてはユーザが自由に行うことができるようになるであろう。

本システムではロボットを1台のみ扱っていたが、ロボットが現在よりもさらに普及し、複数台のロボットが同時に存在すると想定される未来においては、インタフェース、およびロボットの自律性がさらに求められる。例えば、掃除して欲しい範囲を指定するだけで、適切なロボットが選択され、実行されることが求められるようになるであろう。今後はこのようなシステムについても設計、開発を行っていく予定である。

5. 結言

本稿では実世界の俯瞰画面を用いたロボットへの動作指示インタフェースのプロトタイプを開発した。本システムではペンストロークを用いたロボットへの直感的な指示が可能であった。提案した手法は家電としての家庭用ロボットにとって重要な、非同期的な操作手法として有効であることがわかった。

本稿で提案した俯瞰画面を用いた動作指示システムは天井にカメラを設置することで、1. キャリブレーションが不要であり、2. 座標変換も不要であることから、システムの設置が

ら開始までに手間がかからない。このため、多くの家庭で簡単に使用することができるシステムとして実装されたと考えている。

本稿ではコンピュータ画面上でのペンストロークを入力として与えていたが、本質的にはストロークによる入力であれば同等の処理が行える。例えばレーザーポインタ等であっても操作を行うことが出来る。これはつまり、実世界でのポインティングジェスチャをレーザーによって行うことができ、よりユーザにとって自然なロボットへの実世界指向インタフェースとなりえる可能性があるということである。

ストロークジェスチャによるインタフェースはコンピュータ画面上だけではなく、実世界により親和性のあるインタラクション手法であると考えられる。今後はさらにこれらの研究を進めていく予定である。

文 献

- [1] C. Alvarado and R. Davis. Preserving the Free-dom of Paper in a Computer-based Sketch Tool. Proceedings of HCI International, 2001.
- [2] A. Forsberg, M. Dieterich, and R. Zeleznik. The Music Notepad. Proceedings of the 11th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, pp. 203-210, 1998.
- [3] J. Hersch and L. S. Stratton. Housework and Wages. The Journal of Human Resources, 37(1):217-229, 2002.
- [4] T. Igarashi, S. Matsuoka, and H. Tanaka. Teddy: A Sketching Interface for 3D Freeform Design. Proceedings of the 26th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, pp. 409-416, 1999.
- [5] C. Kemp, C. Anderson, H. Nguyen, A. Trevor, and Z. Xu. A Point-and-Click Interface for the Real World: Laser Designation of Objects for Mobile Manipulation. Proceedings of the 3rd International Conference on Human Robot Interaction, pp. 241-248, 2008.
- [6] 中西英之, 村上友樹: 案内ロボットの遠隔操作のための GUI の提案, 情報処理学会研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション, pp. 79-86(2008).
- [7] K. Perlin. Quikwriting: Continuous Stylus-based Text Entry. Proceedings of the 11th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, pp. 215-216, 1998.
- [8] J. Wobbrock, A. Wilson, and Y. Li. Gestures without Libraries, Toolkits or Training: A \$1 Recognizer for User Interface Prototypes. Proceedings of the 20th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, pp. 159-168, 2007.
- [9] 細井一弘, ダオ ヴィン ニン, 森 晶洋, 杉本雅則: モバイルディスプレイを用いた直感的なヒューマンロボットインタラクションの提案, インタラクション 2008 論文集, pp. 17-24 (2008).
- [10] Glas, D. F., Kanda, T., Ishiguro, H., and Hagita, N. Simultaneous teleoperation of multiple social robots. In Proceedings of HRI '08, 311-318, 2008.
- [11] Skubic, M., Anderson, D., Blisard, S., Perzanowski, D. and Schultz, A., Using a hand-drawn sketch to control a team of robots, In Auton. Robots, 22 (4), 399-410, 2007.
- [12] Setalaphruk, V., Ueno, A., Kume, I., Kono, Y. and Kidode, M. Robot Navigation in Corridor Environments using a Sketch Floor Map. Proceedings of the 5th IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation, pp.544-551, 2003.
- [13] Frei, P., Su, V., Mikhak, B., and Ishii, H. curlybot: designing a new class of computational toys. In Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 129-136, 2000.
- [14] Lapedes, P., Sharlin, E., and Costa Sousa, M. Three dimensional tangible user interface for controlling a robotic team. In Proc. of the 3rd ACM/IEEE international Conference on Human Robot interaction, pp. 343-350, 2008.
- [15] Lundberg, C., Barck-Holst, C., Folkesson, J. and Christensen, H.I. PDA interface for a field robot. In Proc. 2003 IEEE/RSJ Intl. Conf. Intelligent Robots and Systems, pp. 2882-2887, 2003.
- [16] J. Hersch and L. S. Stratton. Housework and Wages. The Journal of Human Resources, 37(1):217-229, 2002.