

視覚と力覚を利用したヒューマノイドによる野菜切断作業の実現

○小倉崇 岡田慧 稲葉雅幸 (東京大学)

Cutting Vegetables Tasks by Humanoid Robot using Vision and Force Sensors

*Takashi OGURA, Kei OKADA, Masayuki INABA (The University of Tokyo)

Abstract— This paper picks up cutting vegetable manipulation from various humanoids' operations with tools, and shows the system that realizes cutting vegetables by humanoid robot using vision and force sensors. Cutting operation by knife requires recognition of the position and size of a target vegetable by vision because the targets have infinite forms, double arms and adding strong force at tool. Then this work is high level task for humanoid robots. The system that enables cutting some kinds of targets by some different methods is shown in this paper. We have succeeded to cut carrots, potatoes and cucumbers using force sensor and recognizing by vision.

Key Words: Kitchen, Cooking, Humanoid Robot

1. はじめに

ヒューマノイドロボットが他のロボットに比べ優れている点として人間の道具をそのまま利用できることがある。しかし、ヒューマノイドが人間の道具をそのまま利用するためには課題が多い。複雑な形状の道具を利用するには器用なハンドが必要であるし、目的のタスクを達成するためには作業対象と道具の両方を認識する必要がある。また、力の入れ方なども対象、道具それぞれによって異なってくる。

これまでのヒューマノイドが道具を用いて道具以外のものに働きかけるという試みは、産総研らによる人間の操縦によるバックホーの運転 [1]、ドラム演奏では、TOYOTA のヒューマノイドや ATR による DB [2] が行なっている。同じく DB によってテニスラケットやエアホッケーの扱いもある。また、包丁をヒューマノイドが扱う例としては早稲田大学の Wendy による実験 [3] があるが、これは上半身のみヒューマノイドで、ハンドの性能を示すためのものであり、本稿のように視覚力覚を利用した認識に基づき自律的に動作生成を行わせようというものは本質的に異なる。

これらにほぼ共通することは、道具が働きかける対象が一定のものであるということである。それはすなわち、動作パラメータは道具のみに依存する。そのためにその道具に関して動作や制御器を作りこんでしまえば認識機構が必要なくなるものばかりである。ヒューマノイドのように汎用性を求められるロボットの場合、このようなタスクが求められることはむしろ少なく、多種多様な対象を扱うことが求められる。そこで、今回はタスクとして、将来的に実際にヒューマノイドにやらせるアプリケーションとなりうるもので、多種多様な対象を扱うタスクとすることにする。そこで、そのような観点から包丁による切断作業を取りあげることにした。このタスクは切断対象が不定形・多種であるために視覚による認識が必要不可欠であり、また、対象に応じて強い力を発生させる必要があるため、力覚による動作制御が求められるタスクでもある。

一方で、筆者らは道具の動きの観察からの動作の自動生成をめざし、道具利用行動を道具モデルに埋めこ



Fig.1 The scene of cutting vegetables by knife

んだ情報と、その軌跡で記述する方法によりヒューマノイドの全身動作を作成することを提案しており [4]、ほうき掛けや、掃除機の操作などを等身大ヒューマノイドによって実現してきた。この枠組に視覚による対象の認識結果を用いた動作プランニングと、動作中の力の監視機能を加えた動作計画実行システムが実現のためのコアとなる。

本稿ではまず人間の包丁による切断動作がどのようなものがあり、どのようにして実現可能か、どのような切り方を実装すべきか考察する。次にそれを実現するために必要な機能について述べ、どのようなシステム構成が求められるかについて述べる。そして実際に等身大ヒューマノイドに実装したシステムと実験例について解説を行い、得られた知見について考察してゆく。

2. 包丁による野菜の切断行動

切断対象としては肉、野菜、魚などがあるが、本稿では最も単純である野菜の切断を取り上げる。野菜の包丁での切断動作は一般に Table 1 に示すような多数の

切り方があるが、ここではその作業工程に基き分類した。ひとつは押えて切るだけの単純なもの。押える位置、姿勢、切る位置、角度などが異なるが、それらのパラメータを変化させ、繰り返すだけで、記述が可能である。つぎは、対象を把持して動かしながら切るもの。乱切りや、ささがき、桂むきなどがこれに当る。桂むきなどは細かな操作が必要のため非常に困難であるが、対象を把持してしまえば対象を自由に動かすことが可能になるため、ささがきなどは楽に記述できる。つぎは、切ったものを再配置し、切るものであるが、切った対象の認識、再配置は認識、取り扱い、ともに非常に複雑になりうる。しかし、大部分は、その他の動作のつづきであったりするため、再配置がポイントとなる。最後は決まった切り方ではなく、芸術的センスに基づき自由に切るかざり切りなどがある。本稿では、基本となる押さえて切るもの、対象を把持して動かし切るもの、それぞれの代表的な切り方について実機での検証を行うことにする。

3. ヒューマノイドによる野菜切断を実現するソフトウェアシステム

本節ではヒューマノイドによる野菜切断を行うためのソフトウェア構成について述べる。Fig.2にこのシステムの概要を示す。入力としてロボットに与えるものは切り方と、そのパラメータ(厚さなど)、対象物とする。対象物に関しては、対象を差し示すなどの指示にとどめ、形状、色などの知識はできるだけ与えないものとする。道具知識は包丁の場合は視覚から機能の推定が可能ではあるが、道具一般においてはその機能、つまり、道具の因果関係の認識が困難な場合もあるため、道具の知識はあらかじめ与えることにした。また、先に述べた切り方についても知識として与えることにする。ただし、具体的には対象と包丁に関し、軌道と力の拘束条件を切り方とした。

ロボットはまず、対象物を検出し、ステレオ視などにより、3次元空間での位置姿勢・サイズを視覚によって測定する必要がある。次に、入力である、切り方とパラメータ(厚さなど)と観測した対象物のデータから、切り方に関する知識に基き、両手先の軌道のプランを行い、力の拘束条件を加える。道具や対象の軌道からのロボットの全身動作生成法は文献[4]で述べた。力の拘束条件とは、つまり、まな板と包丁が強く衝突している場合は切断が終了したとして、即座に包丁を引き上げる必要があり、また、確実に切断するためにはその衝突により、切断が確認できる。軌道は認識誤差を考慮し、衝突予測位置より深い位置までの軌道を作成し、実行時には衝突を終端とするといった働きである。

4. 等身大ヒューマノイドロボットによる野菜切断実験

前節で述べた動作計画実行システムに基づき、以下に述べるような実験システムを構築し、輪切りによってニンジン、軽くゆでたジャガイモ、キュウリを同一プログラムで切断し、ニンジンは切り方の指定を替えるだけで乱切りによって切断できた。

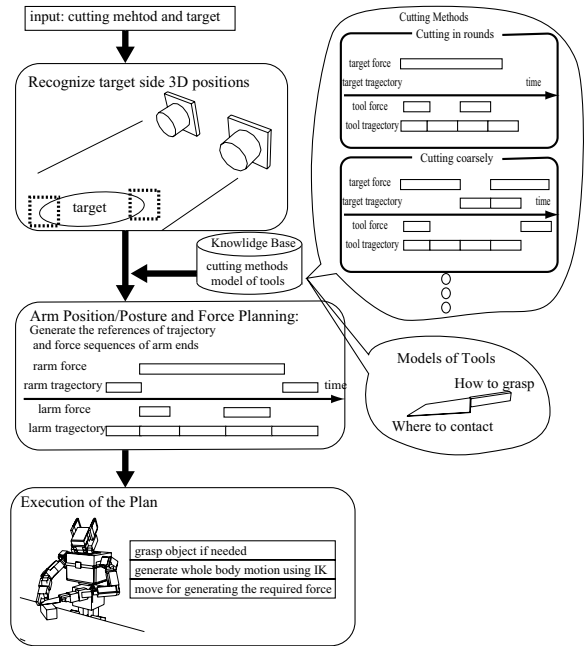


Fig.2 Configuration of proposed system

4.1 実験システム

等身大ヒューマノイドとして HRP2-JSK を用いた。産総研らによって開発された HRP2[5]を基に、ステレオ視に特化したカメラを搭載し、腕部手首の自由度を1増したヒューマノイドロボットである。

実験の流れは以下ようになる。包丁は安全に確実に把持するために手渡しという手段を取ることにした。ヒューマノイドのアプリケーションという応用可能性を考え、何も持っていない初期状態から始まり、何も持っていない初期状態へ戻る一連の流れを示す。

1. 色検出を利用したまな板の範囲検出
2. まな板の変化監視
3. 対象物体の識別
4. ステレオ視によるまな板上の物体の中心と両端の3次元位置の計算
5. 包丁の受け取り準備動作
6. 顔と包丁のマーカー検出により包丁の3次元位置取得
7. 包丁を把持
8. 対象端の押える
9. 逆の端から切断準備
10. 力を監視しながら切断(終了でなければ8に戻る)
11. 手先をにぎられると包丁を離す
12. 初期状態へ

1のまな板検出ではまな板の色は既知とし、色抽出、ラベリングし、その領域の大きさから判別している。認識の結果はFig.6の左ようになる。2ではまな板の色ではない領域を検出する。その中で1で検出した領域にあるものを作業対象とした。作業対象の識別を色、縦横のサイズ比を入力として、あらかじめbackpropagationによって学習させておいたNeural Networkによって識別が出来る。この情報をもとに手先の力の入れ具合の学習を行うことを考えている。4では2でラベルを

Table 1 包丁による切り方の分類

特徴	切り方
押えて切る	輪切り, 小口切り, 斜め切り, ぶつ切り, ザク切り, せん切り
対象を把持して動かす	乱切り, ささがき, シャトー切り, 桂むき, 面とり
切ったものを配置し直す	半月切り, いちょう切り, みじん切り, 拍子木切り, 短冊切り, さいの目切り
決まったやり方がないもの	かざり切り

した領域の左右両端位置を検出し、ここを相関演算の窓の中心としてステレオ視の原理により3次元位置を抽出している (Fig.6 中:赤い四角は両眼での視差を表わす)。ロボットのカメラとハンドは事前にハンドアイキャリブレーションによりモデル誤差を減らしている。6では Fig.6 右に示すように Haar 型特徴量により、人間の顔領域を抽出しステレオ視により3次元位置を割り出し、マーカーにより計測した包丁位置との差が一定範囲にある場合、人間が包丁を渡そうとしていると判断し、逆運動学の解の存在範囲内にある場合にグリッパにより把持する。次に包丁を把持していない手に近いほうの対象の端点に、できるだけ近い位置を把持する。把持が完了したら逆の端点から切断する。切断位置・姿勢は切り方の種類によって決定される。まず、力がある値 (5[N] 程度の小さな値) になるまで等速で包丁を動かし、まず対象と包丁の接触を確認する。その後、切断するまで力のリミットを上げ、切断する。切る回数に従い8へ戻る。安全に終了するために、包丁を人間が引っぱるとその力をセンサにより検知し、包丁を離すようにした。

4.2 実験結果と考察

ニンジン輪切りに切り切断した実験の様子を Fig.3 に、軽くゆでたジャガイモ、キュウリを切断した様子を Fig.4, Fig.5 に示す。それぞれ3回、輪切りに20[mm]の厚さで切断するように入力した。同一のプログラムによって、異なる野菜を切断できていることが分かる。Fig.8 にじゃがいもを切断した際の包丁を持った手にかかった力を示す。大きなピークが、切断し、包丁がまな板に押えつけられている瞬間である。その前に小さなピークが2つある。1つ目は小さな力のリミットで対象を確認した時であり、もう一つは切断の瞬間に値が小さくなっているものである。このグラフでは1回目にこのピークがなく、切れずに空振していることが見て取れる。力でのタスク成否の確認が可能であることが示されている。Fig.7 は実際にヒューマノイドが切断した野菜(上:ジャガイモ, 下:ニンジン)である。精度としては±10[mm]程度の誤差がある。これは体幹コンプライアンス制御などによる安定化制御と、サーボエラー、たわみなどによるものである。また、入力である切断方法を変更するだけで、ニンジンを持ち替える乱切りも可能になっている (Fig.9)。

5. おわりに

本稿では等身大ヒューマノイドで視覚を用いて対象の位置、サイズを認識し、その結果に基づき動作計画をし、力を監視して野菜切断を行うシステムを提案した。同一のプログラムで実機を用いてニンジン、ジャガイ



Fig.3 Cutting a carrot by knife (in rounds)



Fig.4 Cutting potato by knife



Fig.5 Cutting a cucumber by knife

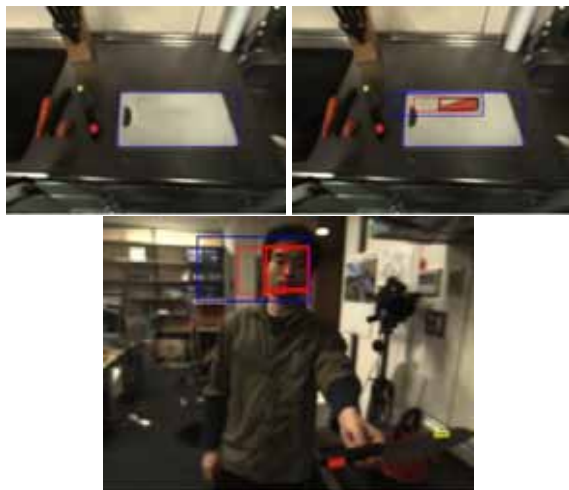


Fig.6 Recognition results (Left: detection of cutting board, center: finding a carrot by color extraction, right: detection of a human face and knife position)



Fig.7 The vegetables cut by humanoid robot

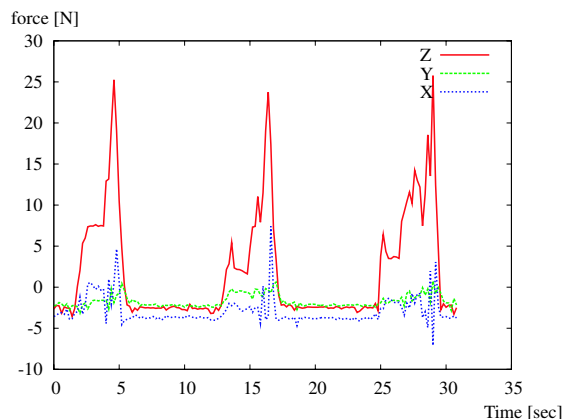


Fig.8 The graph of the force of the end of the arm that grasps knife

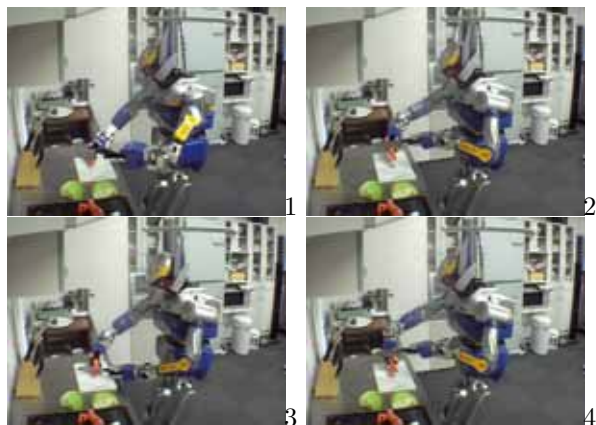


Fig.9 Cutting a carrot (coarsely)

モ、キュウリを切ることができるようになった。現在の動作精度は十分とは言えないが、切る際に見る、切ったものを見てフィードバックかける、などの処理が入ることによって減少させることができると考える。また、切断時には 30[N] ほどの力がかかり、さらに硬い物体の場合は転倒の危険性もあることが分かった。さらなる安定化処理が必要になるが、それと精度を上げることは必ずしも比例しないため、このような反応系と動作計画実行系との連携が求められてくる。今後はあらかじめ与えた、動作計画のための知識を人間の手本からの推測や観察、教示、模倣などによって獲得させることを計画している。これは、包丁だけでない、汎用的な用途へ利用可能なシステムへと発展させてゆくことにもなる。

参考文献

- [1] K.Yokoi, K.Nakashima, M.Kobayashi, H.Mihune, H.Hasunuma, Y.Yanagihara, T.Ueno, T.Gokyu, and K.Endou. A Tele-operated Humanoid Robot Drives a Backhoe in the Open Air. In *2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Oct.2003.
- [2] Christopher G. Atkeson1, Josh Hale, Mitsuo Kawato, Shinya Kotosaka, Frank Pollock, Marcia Riley, Stefan Schaal, Tomohiro Shibata, Gaurav Tevatia, Ales Ude, and Sethu Vijayakumar. Using Humanoid Robots to Study Human Behavior. *IEEE Intelligent Systems magazine, Special Issue on Humanoid Robotics*, pp. 46–56, 2000.
- [3] Toshio MORITA, Hiroyasu IWATA, and Shigeki SUGANO. Human Symbiotic Robot Design based on Division and Unification of Functional Requirements. In *ICRA'00*, pp. 2229–2234, 2000.
- [4] 小倉崇, 岡田慧, 稲葉雅幸. ”注目点を持つ幾何モデルを利用したヒューマノイドの道具利用動作の生成法”. 第 23 回ロボット学会学術講演会予稿集, p. 1F15, 2005.
- [5] K.Kaneko, F.Kanehiro, S.Kajita, H.Hirukawa, T.Kawasaki, M.Hirata, K.Akachi, and T.Isozumi. Humanoid Robot HRP-2. In *Proc. Int. Conf. on Robotics and Automation(ICRA)*, pp. 1083–1090, 2004.