

主体的に情報収集を行う日常生活支援ヒューマノイドの構成法

小倉崇 神崎秀 岡田慧 稲葉雅幸 (東京大学)

Recognition Behavior Planning System for Daily Life Support Humanoid Robots using Subjective Information Collection

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

Abstract— There are a few researches about autonomy of humanoid robots in the level of tasks, because there are no humanoid robots which can do various task and they needs vast abilities for realize them. This paper proposes information collection as self-action, which should be done in its free time. Then robot action descriptions and how to describe environment information and control memories for realizing it. It illustrates a slicing ingredient task.

Key Words: Daily Life Support, Humanoid Robot, Subjective Information Collection

1. はじめに

日常生活支援ヒューマノイドロボットにもっとも求められる機能は多様な支援である。ヒューマノイドロボットは単独の機能ではそれらの機能に特化した自動化機器に勝るパフォーマンスを発揮することは難しい。しかし、それらをつなぐ仕事や特化して作ることが困難な多種多様なタスクをこなすことができればヒューマノイドロボットは家電のように日常生活において人間の生活を支援することができるようになるだろう。その実現のためにはさまざまな要素技術と新規動作の獲得・汎用化、そしてそれらを統合する技術が必要である。特に、様々なタスクをこなすことができ、それらをいかに繰り返し、自律行動体としてどのようにあるべきか、といった議論はこれまでヒューマノイドがタスクをこなすレベルになかったこともあり、あまり行われてきていない。本論文では、日常生活支援ロボットの自律行動体としての側面から、特に自律的に行うべき行動として、情報収集を取り上げその実現のためのヒューマノイドロボットの行動記述、環境情報記述、記憶、をどのように構成するべきかについて述べる。

2. 日常生活支援ヒューマノイドロボットの自律行動

これまで筆者らはほうきや掃除機を用いた掃除支援 [1], 包丁を用いた野菜のスライス [2], ハンドミキサー操作, IHヒーター操作, フライパン操作などの調理支援, ドリル操作などのDIY支援, 太鼓演奏によるエンターテイメント支援 [3], などを実現してきている。

生活支援のためにはこれらの行動をいかに繰り返し続けてゆくか, どのような形態で利用することができるべきかが問題になる。統合されたときに, ひとつの自律行動体としてヒューマノイドロボットは機能するが, そのときに, どのような自律的な行動を取るべきか, という問題がある。特に, ヒューマノイドロボットは指示を受ける時間に比較し, 明示的に指示を受けない時間が長いことが考えられ (この明示的に指示されない時間を自由時間 (free time) と呼ぶ), この間に行うロボッ



Fig.1 Some tasks by humanoid robot: Cleaning by a vacuum, cutting by a knife, pushing switches, shaking a frypan.

トの行動を自発行動 (self-action) と呼ぶ。ロボットは自発行為として, ロボットは何をすべきかについて以下考察する。ここでは自発行動を, ロボットが持つ動機から以下の3つに分けて考える

- 自己保存のための安定化・危険回避行動
- 他者目的推定に基づく明示的に指令されない行動
- 行動達成のための情報収集行動

まず, “自己保存のための安定化・危険回避行動” は, 姿勢の安定化, 環境へのなじみなどのロボットが壊れないために行う行動である。これは指示があるかどうかにかかわらず常に動くものである。次の “他者目的推定に基づく明示的に指令されない行動” は, ユーザの意図, 目的を指示なしに推定しあらかじめやっておく, いわば気の利く行動のことである。例として, このユーザは毎日4時には洗濯の指示をだすので, 4時になったら言われなくても洗濯をする, などといった行動である。最後の “行動達成のための情報収集行動” は今回提案する自発行動であるが, 自己の行動のため

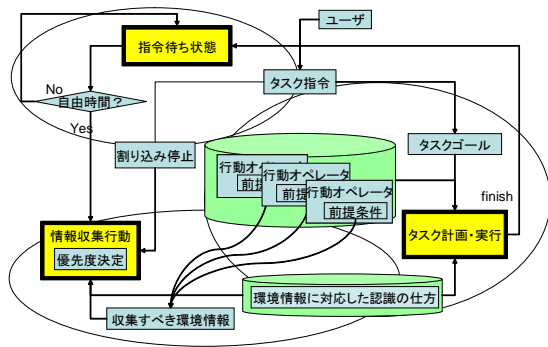


Fig.2 Whole system with task planning and information collection

に必要な環境情報をあらかじめ収集しておくことである。例えば、調理をするために材料の確認をしておくことが必要であることがあらかじめ分かっているならば、その指示に備えてあらかじめ冷蔵庫を開けに行き、その中身を確認しておく、といった行動である。

ヒューマノイドロボットが複数の動作を組み合わせる行動の際には、非常にコストの高いレベルでの認識を多数必要とするため、前持った情報収集は非常に効果的である。これまでのヒューマノイドロボットのタスク計画 [4] ではこの認識コストを陽に考慮してはなかった。次にヒューマノイドロボットのタスク計画について述べる。

3. タスク計画と主体的な情報収集

Fig.2は日常生活支援ヒューマノイドロボットのタスク計画と情報収集行動がどのように引き出され、どのように必要な情報を決定するかを示した図である。太枠で示した、指令待ち状態、情報収集行動、タスク計画・実行の3つ状態をロボットは持つ。自主的に動いてよいと判断した場合、自発行動である情報収集行動を行う。ユーザからのタスク指令により割り込みが入り、タスクを実行し、終了後指令待ち状態へと移る。ロボットが持つ知識は行動オペレータと呼ばれるタスクプランに用いる知識と、その前提条件をどのような行動で確認することができるか、という2種類の知識を持つ。これらから、情報収集行動時にどのような情報を収集すべきか、を決定し、自律的な情報収集を行う。

3.1 ヒューマノイドロボットのタスクプランニング

ロボットがタスク計画を行うために、古典的ではあるが、STRIPS[5] 的オペレータとして、動作 (action)、それを行うため必要な状況 (precondition)、その動作による環境の変化予定 (effect) をセットとして持っているとし、このセットをここでは行動オペレータと名づけて呼ぶ。例えば、調理行動のときに、Table 1 に示すようなものがあり (“!” は述語を示す記号、“?” は変数を表す記号、“~” は否定を表す記号である)、野菜をまな板の上に置く際に用いるオペレータ PutOn(x,y) は、実行する前提条件として、x を握っていること (Hold(x)) と手の届く範囲に y があること (Near(y)) があり、その結果 x が y の上に置かれるはずである (On(x,y)) という行動結果予定を持つ。適切な行動オペレータさえ

用意すれば、ユーザからの「材料を炒める。IH ヒータは切る」といった指令から、Fig.3 に示すような、材料スライス、IH ヒータの操作、フライパン操作などの連続的な計画が可能になる。この図の実線は解消する前提条件 (因果リンク) である。順序の拘束条件はここでは表現されていない。ここで想定されるロボットが認識する環境情報とは、ロボットが何か手に握っているか、手の届く範囲に何があるか、である。ロボットが持つすべてのオペレータの precondition の和集合こそがそのロボットが認識できる、認識して意味のある環境情報であると言える。また、これら precondition を認識するための行動に関する知識をあらかじめ持っている必要がある。しかし、ただ単にロボットが認識可能な環境を認識するだけでは、ロボットが可能な認識が増えるに従い、あらかじめ行うべきことが膨大になってしまう。そこで優先度や、認識するかどうかの閾値を決定する必要がある。さらに、

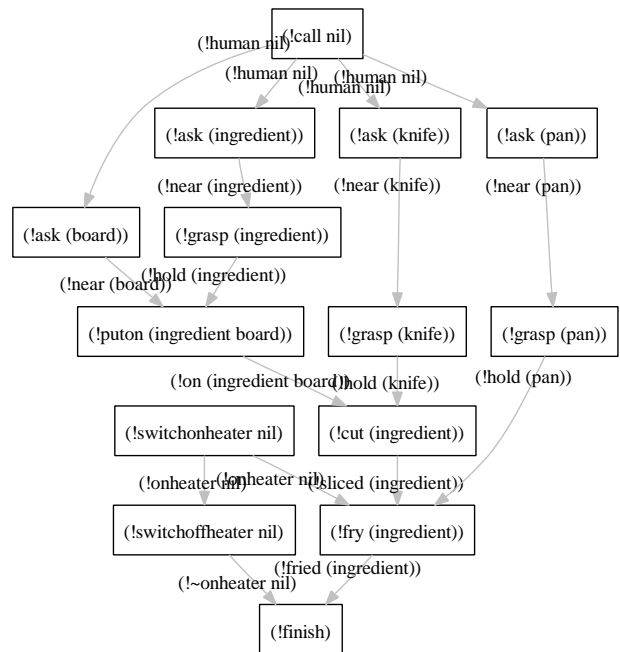


Fig.3 Plan of “fry and turn off heater” motion: Sequence of operators and preconditions

3.2 情報収集のための優先度の決定

動的な環境においては、それぞれの認識される環境情報に対して、以下の点を考慮しなければならない。

- 時間変化のしやすさ
- 認識が行動にとって必須なのか
- 認識により何が可能になるのか
- 認識の確かさ

人がまわりにいるかどうか、などは変化頻度が高く、自分がどの部屋にいるか、などは変化頻度が低い状況であろう。ここでの変化とは、ロボットの行動に依存しない変化のことである。つぎに、その状況を認識しなければ本当に行動できない、というようなものがあるかどうかがある。本来ロボットの行動は非常に多く

の条件が成り立つことで初めて成立するものであるが、その大部分はロボットが認識できないか、認識コストが非常に高いために、考慮されない。これがフレーム問題がロボットで問題にされない理由のひとつであると考えられるが、無視されるとまでいかなくとも、認識が必須でないが、あったほうがいい事象も存在する。また、その認識によって、非常に実行頻度が高い行動の実行条件のチェックができるのであれば、その状況の認識は価値が高いことになる。また、認識により確定した状況そのものの確かさ（確信度）を考慮する必要がある。時間変化が大きい状況は確信度も時間に従って早く減少するため、あらかじめ確認する必要性は低いにもかかわらず、頻繁に確認する必要がある。

以上のことを考慮すると、事前に動作する分には認識コストは認識優先度としてはかなり軽減させ、時間変化がしにくく、高い頻度で実行される行動、直接的に指示された行動のために必要となり、その状況の確信度が低いものを優先的に認識することが望まれる。これらの優先度を数値化し、閾値を越えたものに関して認識行動を行うようなシステムとすることが望ましい。認識効果度 $e = e_0 \cdot e_s / c_s$, 認識確信度 $c = c_0 \cdot e^{-(t-t_0)/\tau}$, 認識優先度 $f = (1 - c) \cdot e \cdot \tau$, のようにすることができる。

3.3 自由時間の判断

ロボットが自発行動を行ってよいか、つまり自由時間であるかどうかの判断が必要になる。もっとも簡単な方法は、ユーザがロボットに暇を出す方法である。毎回タスクが終わるたびにユーザが暇を支持するのは利便性が低いため、ロボットは自律的にその判断を行うことが期待される。その方法は最後の支持の完了時刻からの経過時間や、毎日の活動時刻の経験から学習的に決める方法、周囲に人がいるかどうかなどの環境から決定する方法などが考えられる。

4. 実験

4.1 包丁を用いた材料のスライス支援行動

包丁で野菜をスライスし、ユーザの調理行動を支援することを考える。このときにロボットが持つオペレータは、Table 1 のようであった。このオペレータから何も認識しない状態で半順序プランナは Fig.4 に示すような半順序動作シーケンスを生成する。

この図矢印上に書かれたものが満たすべき前提条件であり、初期知識がない状態ではいかなる状態であったとしても、これと同じだけの確認動作を必要とする計画を立てることになる。

実行にかかる時間をコストで近似し、Table 2 のようなパラメータでその認識優先度の変化をシミュレーションした結果の優先度の変化の様子を Fig.6 に示す。実行された確認行動は、human(人が近くにいるか首を回して探す動作), sliced(ingredient)(輪切りになった材料があるか), on(x, board)(まな板上に何かがあるか), human, near(x)(手の届く範囲に何かがあるか), human, nothing(何もしない), human, on(x, board), human であった。変化が大きいと定義した人を探す動作が頻繁に行われ、評価値の高い動作 sliced(ingredient) であっても、時間変化が少ないとされるものは一度認識され

るとしばらく認識動作が行われない。

ここで、実際には初期状態で human, on(ingredient, board) という状態であったと仮定する。初期知識がない場合はまず、human を行い人がいることに気づく、そこで、実際には Call は行わずに、near(x) により近くに存在するものを探す。しかし初期状態には near(ingredient) が存在しないために、Ask(ingredient) を実行し、せっかくなまな板の上にあった on(ingredient, board) を満たしていた ingredient を近くに置くように人間に要求してしまう。そのため、実行させる動作としては、結局 Fig.4 に示す行動を行うことになる。初期知識を持つことで、Fig.5 のような計画を行い、これは確認動作を減らすだけでなく、実行時コスト、プランコストを減少させるだけでなく、実際の動作も洗練されたものになる。

実機での動作結果を Fig.7 に示す。

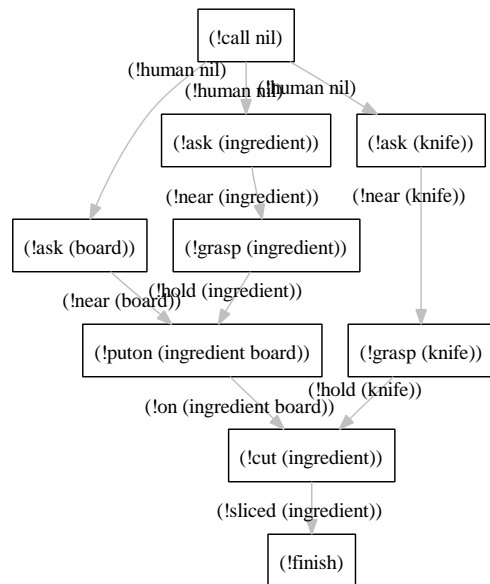


Fig.4 Whole plan of “slice” motion: Sequence of operators and preconditions

Table 2 Priority simulation configuration

condition	cost	tau	value
sliced(ingredient)	3	100	5
on(x, board)	3	30	1
near(x)	2	30	1
hold(x)	1	100	1
human	3	15	1

5. おわりに

日常生活支援ロボットにおいて、ロボットがもつ行動計画のための行動セットにもとづき、あらかじめ情報を収集しておくことで動作実行時の認識コストを減らすことを提案し、包丁を用いた材料のスライス行動を例にとり解説した。環境情報は行動オペレータによ

Table 1 The operators the robot has in order to realize “slice” motion

action	precondition	effect
(!cut (?x))	((!hold (knife)) (!on (?x board)))	((!sliced (?x)))
(!grasp (?x))	((!near (?x)))	((!hold (?x)))
(!puton (?x ?y))	((!hold (?x)) (!near (?y)))	((!on (?x ?y)))
(!ask (?x))	((!human nil))	((!near (?x)))
(!call nil)	nil	((!human nil))
(!fry (?x))	((!hold (pan)) (!sliced (?x)) (!onheater nil))	((!fried (?x)))
(!SwitchOnHeater nil)	nil	((!onheater nil))
(!SwitchOffHeater nil)	((!onheater nil))	((!~onheater nil))

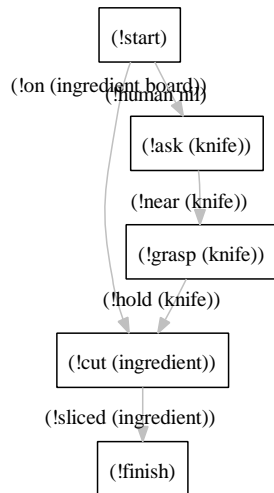


Fig.5 Revised plan by beforehand recognition

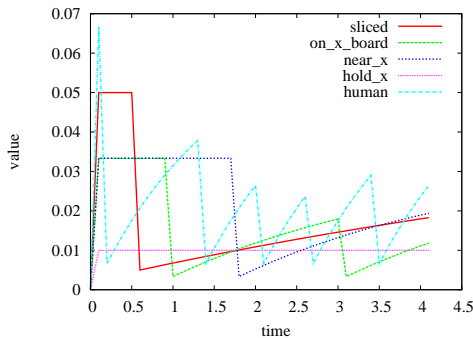


Fig.6 Change of the priorities of recognitions the robot should do

て決定されるため、ロボットにとって必要最小限の表現をとる。また、環境認識はロボットへの教示 [6] においても、その動作の因果関係理解のために必須であり、これを前もって理解しておくことは教示・学習の意味理解のためにも有効であると考えられる。

参考文献

[1] 小倉崇, 岡田慧, 稲葉雅幸. ”注目点を持つ幾何モデルを

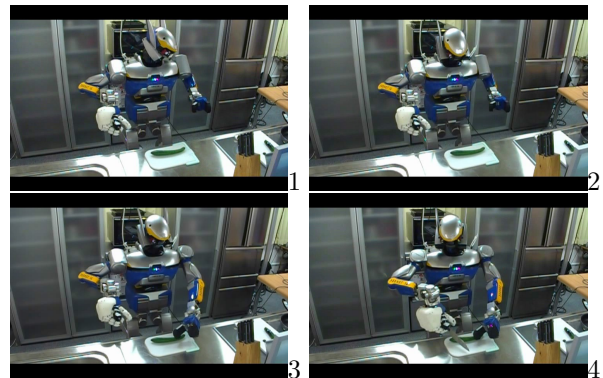


Fig.7 The motions of the robot generated by the plan

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.

[2] 小倉崇, 岡田慧, 稲葉雅幸. ”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”. 第 24 回ロボット学会学術講演会予稿集, p. 1H25, 2006.

[3] 小倉崇, 袖山慶直, 西野環, 浦田順一, 中西雄飛, 宮寺明彦, 神崎秀, 水内郁夫, 岡田慧, 稲葉雅幸. ”日常生活支援ヒューマノイドのための多指ハンドの開発と道具操作の実現”. 第 25 回ロボット学会学術講演会予稿集, p. to appear, 2007.

[4] Fabien Gravot, Atsushi Haneda, Kei Okada, and Masayuki Inaba. Cooking for humanoid robot, a task that needs symbolic and geometric reasonings. In *Proceedings of The 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, May 2006.

[5] N.J. Nilson. *Principles of Artificial Intelligence*. 1980.

[6] Takashi Ogura, Atushi Haneda, Kei Okada, and Masayuki Inaba. On-site Humanoid Navigation Through Hand-in-Hand Interface. In *IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robotics (Humanoids2005)*, pp. 175–180, 2005.

[7] 石田亨. 知識表現と動的な世界：最近のプランニング研究から. *人工知能学会誌*, Vol. 5, No. 2, pp. 146–153, 1990.