

人間の適応的プランニング過程の計算モデル化とその評価

Computational Modeling and Evaluation of Human Adaptive Planning

佐藤敦史*1 石川悟*2 大森隆司*3 山内康一郎*1 栗原正仁*1
 Atsushi SATO Satoru ISHIKAWA Takashi OMORI Koichiro YAMAUCHI Masahito KURIHARA

*1北海道大学 *2北星学園大学 *3玉川大学
 Hokkaido University Hokuseigakuen University Tamagawa University

With our flexibility of behavior, we can act efficiently in real environments. To understand process of the ability, in this study, we assumed that the environments are dynamic, humans cannot keep their memories completely and do not plan their action sequence completely. We propose a model of human action planning in the dynamic environments. Our model has a topdown and a bottomup processes. The topdown process outputs a list of actions to achieve the task. The bottomup process outputs a list of actions corresponding to recognized objects. An adaptive planning is achieved by a combination of both processes. To evaluate our model, we simulated a coffee making task in a virtual dynamical world. The result showed that an agent with the proposed model acted more efficient and flexible than an agent without the bottomup process.

1. はじめに

人の行為には、柔軟性があると言われている。ギブソンは、機能を獲得した行為の単位を「タスク」とし、一つの対象に対する一回の操作を「運動」とした上で、柔軟性は「タスクを構成するために埋め込まれる運動単位に潜在している置き換え可能性」と定義した [1]。この定義に従えば、柔軟に行為を行う人の認知過程は、たくさんの獲得済みの運動の中からタスクを達成する運動を選択し順番を決める、というプランニングが行われていると考えられる。この柔軟性を持つ行為を生み出す人のプランニングの認知過程について、計算の観点からモデル化し理解することが本研究の目的である。従来の人工知能 (AI) でのプランニング研究では、プランの事前探索や再探索、あるいは不確定状況を事前に予測したプランニング等の研究が行われた [2]。しかし人は環境を動的かつ時空間的に部分的にしか知覚できず、人の記憶保持は不確かである。また人の日常的な行為実行では、プランを熟考してから行為を始めることは少なく、プランニングと行為実行が同時であることが多い。人の柔軟な行為を生み出すプランニングのモデルは、これらの制約を想定せねばならない。そこで本研究で我々は、このような人の認知過程の制約の下でプランニングを行うモデルを提案する。そして、提案モデルが人のような柔軟な行為を生み出すプランニングと行為実行を行うかどうか、「制約がある中でも効率的に行為を行う」、「見えたものに反応してタスク達成に必要な余計な運動を時々してしまう」の2つに注目して検討した。

2. 適応的プランニングモデル

提案モデルは、与えられたタスクに基づくが制約によりいつ実行すべきか決定されない「現在実行すべきトップダウン (TD) 運動リスト」と、環境からアフォードされた「その瞬間に実行できるボトムアップ (以下 BU) 運動リスト」を組合わせて運動を選択することで、周りの環境変化に応じた運動が選択・実行されて効率的なタスク達成を実現する。本研究ではこのモデルを適応的プランニングモデルと呼ぶ (図 1)。以下に、機能単位ごとにモデルを概観する。

TD プロセス 「目標」が入力されるとそれを達成する半順序プランが選択される (図 1 右上部 A)。この半順序プ

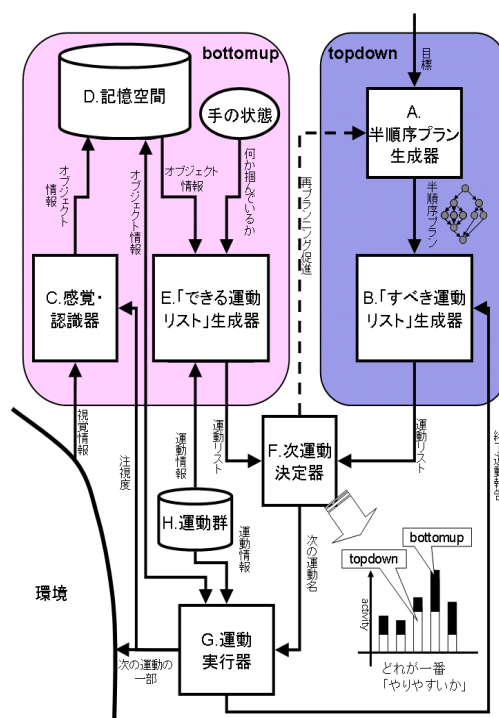


図 1: 提案モデルの機能ブロック図。右上部は TD プロセス、左上部は BU プロセスで、以降の合成プロセスでそれらが統合されて各瞬間の運動が計画される。

ランは、適応的プランニング過程で用いられる知識であり本研究では過去の経験により既に獲得されているとした。半順序プランにはその目標達成に必要な運動順序の制約が表現されており、これをもとに現在実行すべき TD 運動のリストが出力される (図 1 右上部 B)。このリストには、運動の種類およびその瞬間の重要性の指標 (TD アクティビティ) が含まれる。

BU プロセス 環境からの視覚情報を入力として、どのオブジェクトがどの位置に見えたかといった情報が記憶空間 (図 1 左上部 D) に格納される (図 1 左上部 C)。記憶空間のオブジェクト情報と現在の自分の手および運動の状

連絡先: 石川悟, 北星学園大学文学部, 札幌市厚別区大谷地西 2-3-1, ishi_s@hokusei.ac.jp

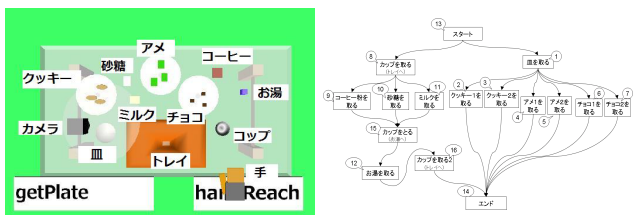


図 2: 左: シミュレーション環境の鳥瞰図. テーブル上にオブジェクトが多数ある. 右: コーヒーメイキングタスクに対応した半順序プラン. それぞれのノードは運動を表している.

態についての情報を入力として, 現在実行可能な BU 運動のリストが出力される (図 1 左部 E). このとき最も劣化の少ないオブジェクトを「対象」とする運動から順に「BU 運動リスト」に登録される. またこのリストには, 運動の種類および運動のし易さの指標 (BU アクティビティ) が含まれる.

合成プロセス TD・BU 両プロセスから合成運動リストを作成する. その際, 運動ごとに TD・BU の両アクティビティを足した合成アクティビティを求め, その値が一番高い運動を選択する (図 1 中央部 F). 選択された運動は「手を伸ばし・~を掴み・持ってきて・離す」等の部分運動 (メソッド) に分解され, このモデルの各運動サイクルではこのメソッドが実行される (図 1 下部 G). これにより, ある運動が実行中であっても違う運動へ変更が可能になった. 一方, 合成がうまくいかなかった場合, タスク達成には不必要な運動が選択される可能性があり, 人で見られるマイクロスリップ現象が生じ得る.

3. 適応的プランニングモデルの検証

提案モデルの妥当性を検討するため, 動的環境における行為実行場面を想定した計算機シミュレーション実験を行い, 提案モデルにより人の柔軟なプランニングと行為実行の特徴が再現されることを確認した.

シミュレーション課題として, 日常的と考えられる複数人の同時行為による「コーヒーメイキング」場面を想定した. 提案モデルを実装した「行為者」は, 一杯のコーヒーを入れ規定数のお菓子を皿に取ることを求められた. テーブルに課題達成に必要な材料を準備した (図 2 左). 環境の動的特性は, アメとチョコの配置場所を 5%の確率で入れ替えることで実現した. タスク達成に必要な半順序プランは既知として与えた (図 2 右). また, TD・BU の合成時に両者の割合を決める指標として $bRatio$ を定義した. シミュレーション実験では, $bRatio$ を 0~1.0 の範囲で 0.1 間隔で設定し, タスク達成数, タスク達成までの平均ステップ数と実行された運動の遷移を調べた.

その結果, $bRatio = 0$ の時のトップダウンのみによるプランニングよりも $bRatio = 0.1 \sim 0.4$ の時に課題達成に要するステップ数が有意に小さかった (図 3 上). 試行毎の運動遷移では, $bRatio > 0$ では運動中における他の運動への遷移が見られた (図 3 下). また, コップを取りに行った後トレイに置くか湯の前に置くか迷い両方の運動を遷移し続ける行為が発生した試行も確認された.

4. 考察とまとめ

シミュレーション実験より, オブジェクトの位置の動的変化や記憶情報の劣化といった制約の中では提案した適応的プランニングモデルが効率的な行為を実現することが確認された.

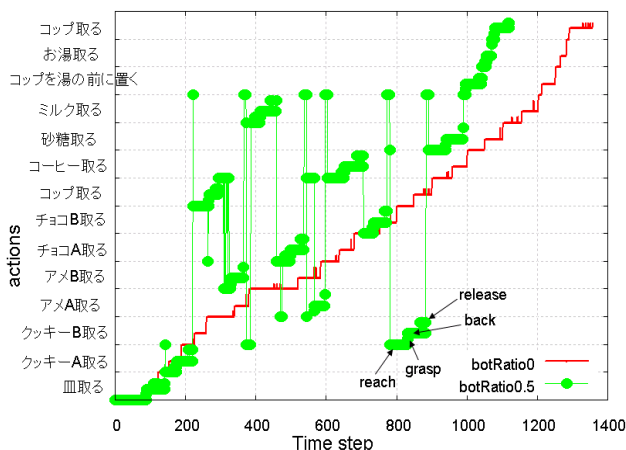
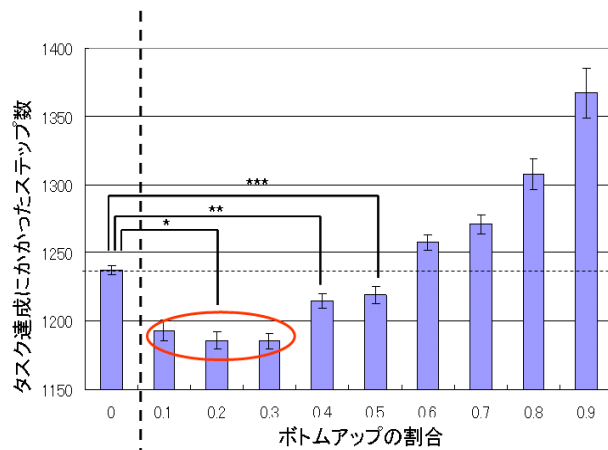


図 3: 上: タスク達成までにかかった平均ステップ数. * $p < .01$ ** $p < .05$ *** $p < .10$. エラーバーは標準誤差を表す. 下: ある試行における, $bRatio = 0.0$ でのプランニング時と $bRatio = 0.5$ でのプランニング時の運動の遷移.

そして「コップを持っていく場所に迷って手が右往左往する」といったタスク達成には必要のない冗長な運動が再現されたことから, 人で見られるマイクロスリップ現象のような行為の柔軟性・不定性も適応的プランニングにより実現されると考えられる. 以上のことから, 人のような柔軟な行為の実現には本研究の提案モデルのようなプランニング過程が関与していることが示唆された. 今後は, プラン中の完了運動についての記憶の劣化等の制約がどのようにプランニングと行為実行に関与しているか検討する必要がある. また, 半順序プランの獲得方法や修正方法もプランニングと行為実行において明らかにしなければならない大きな問題である.

参考文献

[1] Gibson, E. J. An ecological psychologist's prolegomena for perceptual development: A functional approach. In Dent-Read, C. & Zukow-Golding, P. (Eds.), Evolving explanations of development: Ecological approaches to organism-environment systems; American Psychological Association, 1998

[2] Russell S., Norvig P. Artificial Intelligence - A Modern Approach; Prentice Hall 1995 (古川康一【監訳】, エージェントアプローチ 人工知能, 共立出版, 1997)