

階層的 POMDP を用いた商品検索型音声対話システムの検討*

☆山田燿司, 滝口哲也, 有木康雄 (神戸大)

1 はじめに

近年、レストラン検索 [1] やカーナビゲーションシステム [2] など、タスク指向型の音声対話システムを構成する際に、強化学習が多く利用されている [3][4][5]。この点から、本研究では、強化学習の一種である部分観測マルコフ決定過程 (POMDP) を階層的に用いて、商品検索型のタスクを遂行する対話システムについて検討する。本対話システムでは、対話ログの利用や、複数の POMDP に同時に焦点を当てるなどの制御機能を追加し、より効率的な対話システムを目指している。また、実際にユーザとシステムの対話実験を行い、性能を評価した。

2 階層的 POMDP

通常の POMDP では、Fig. 1 のように、システムが状態 s において行動 a を実行し、それにより報酬 r を得て状態 s' に遷移する。その後、ユーザが生成したデータ o を観測し、信念 $b(s)$ を $b(s')$ に更新するというサイクルをとる [6][7][8]。しかし、この POMDP の問題点として、状態数が増大するにつれて計算量が指数的に増えることが挙げられる。そこで、Fig. 2 のように、POMDP を階層的に構築して、タスクを複数の部分問題に分割し、政策を最適化することで問題の解決を図る [9]。

まず、最上位の POMDP1 から開始してその内部で状態の遷移が生じ、POMDP1 における最終目的となる状態にたどり着く。その後、次の POMDP2 もしくは POMDP3 に遷移する。こうして POMDP の遷移を続け、最下位の POMDP において最終目的の状態にたどり着いた場合、タスク全体のゴールとなる目的の状態に到達する。このように大きなタスクをサブタスクに分解し、階層的に統合することで従来よりも複雑なタスクを実現することが可能となる。

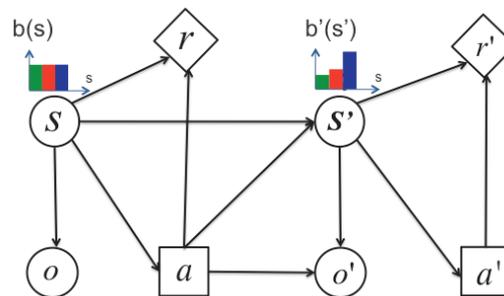


Fig. 1 POMDP の構造例

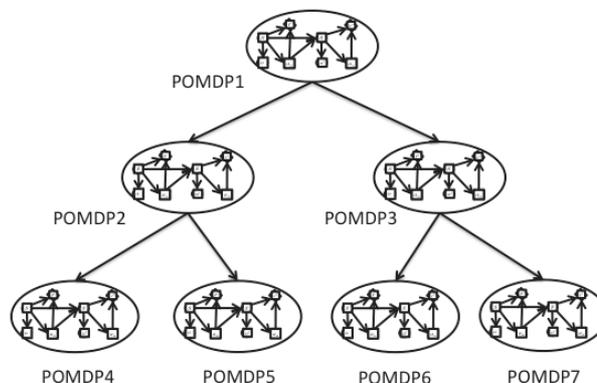


Fig. 2 階層的 POMDP の構造

3 商品検索型音声対話システム

3.1 商品検索の構成

階層的 POMDP を適用するタスクとして、商品の検索を目的とした音声対話システムを考える。商品とは本や CD、食品などの売り買いの対象となる物品を指す。今回は、本の検索のみをタスクとして設定する。Fig.3 に記載されているように、本の種類は小説や雑誌、参考書などに分類され、さらに小説は推理小説や歴史小説などのジャンルに分けられる。また、年齢層により、好まれる本が異なってくる場合もある。このように、細かくカテゴリに区分されているものの中から、システムの質問に答えることで一つずつ条件を絞り、抽象的な商品のイメージを具体化し、最終的におすすめの本を一冊紹介してくれるシ

*Spoken dialogue system for product search using hierarchical POMDP. by YAMADA, Yôji, TAKIGUCHI, Tetsuya, ARIKI, Yasuo (Kobe University)

システムを構築する。

ただし、分類の階層を一段ずつ下がっていく必要はなく、ユーザからの応答の中に、商品に関する情報が複数含まれている場合、階層を飛ばして下がることのできる制御機能を追加する。

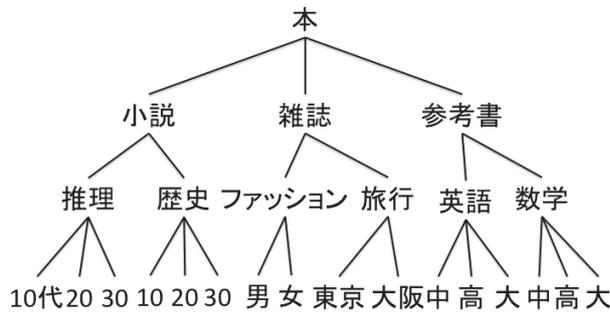


Fig. 3 本の分類

3.2 対話例

このシステムの実際の対話例を以下に示す。

システム：どんな本をお探しでしょうか？
 ユーザ：小説が読みたい。
 システム：小説ですね。ジャンルは何でしょう？
 ユーザ：推理がいいな。
 システム：推理ですね。何十代でしょうか？
 ユーザ：20代
 システム：20代ですね。こちらがおすすめで
 す。

3.3 階層的 POMDP の適用

この対話タスクを、階層的 POMDP に適用させる。まず、最上位に位置する POMDP の構成として、状態を {“小説”, “雑誌”, “参考書”} の集合、観測値を {“小説が読みたい”, “雑誌が読みたい”, “参考書が読みたい”}、行動を {“確認する(本の種類を聞く)”, “POMDP2へ遷移”, “POMDP3へ遷移”, “POMDP4へ遷移”} と設定する。“確認する”とはユーザの発言を促す行動を示す [7]。例えば、最上位の POMDP において、システムが “確認する” という行動として、本の種類を尋ねる。そして、ユーザ発言を観測して信念状態 $b(s')$ に更新され、“POMDP2へ遷移” という行動を選択したとする。その後、

Table 1 POMDP 一覧

深 さ 0	<p>POMDP1 s: 小説、雑誌、参考書 a: 確認する(本の種類を聞く)、POMDP2、POMDP3、POMDP4へ遷移 o: 小説、雑誌、参考書</p>
深 さ 1	<p>POMDP2 s: 推理、歴史 a: 確認する(小説のジャンルを聞く)、POMDP5、POMDP6へ遷移 o: 推理、歴史</p> <p>POMDP3 s: ファッション、旅行 a: 確認する(雑誌の種類を聞く)、POMDP7、POMDP8へ遷移 o: ファッション、旅行</p> <p>POMDP4 s: 英語、数学 a: 確認する(科目を聞く)、POMDP9、POMDP10へ遷移 o: 英語、数学</p>
深 さ 2	<p>POMDP5 s: 10代、20代、30代 a: 確認する(年齢を聞く)、本を提示(10代)、本を提示(20代)、本を提示(30代) o: 10代、20代、30代</p> <p>...</p> <p>POMDP10 s: 中学、高校、大学 a: 確認する(学校を聞く)、本を提示(中学)、本を提示(高校)、本を提示(大学) o: 中学、高校、大学</p>

POMDP2の行動として、システムは小説のジャンルを尋ねる。

このように、Fig.3の木構造を階層的 POMDP に適用して行くことで、最終的に Table 1 のような 10 個の POMDP が形成される。この中の最下位である深さ 2 の POMDP において、“本を提示する”という行動が選択されると、システムがユーザに本を一冊紹介し、タスク完了となる。

4 階層的 POMDP の制御

しかし、この階層的 POMDP の問題点として、例えば、最上位の POMDP において、“推理小説が読みたい”という観測が得られた場合に、“推理”という観測値がその POMDP に含まれないので、この情報を無視してしまうという問題がある。また、一度下位の POMDP に遷移してし

まった場合に、上位の POMDP に戻ることが出来ないという問題がある。これらの問題を解決するために、ユーザの発話ログを用いる機能と、複数の POMDP に同時に焦点を当てる機能を、階層的 POMDP に追加する。これにより、さらに柔軟で効率的な対話システムが実現できる。

4.1 ユーザの発話ログ機能

ユーザの発話 $\{o_1, o_2, \dots, o_n\}$ を全て保持することで、一度ユーザが観測値として入力した情報に対し、システムが再びその情報を得るために質問をする必要がなくなる。つまり、 n 回目の対話において、システムが行動 (質問) する前に、それ以前の、ユーザの発話である観測値 $\{o_1, o_2, \dots, o_{n-1}\}$ 全てを o_1 から順に観測値として照会し、その時点での POMDP における適切な観測値が含まれていれば、ユーザの発話を聞かずとも、それを観測値として POMDP の信念分布 $b(s')$ を更新するということである。この機能の追加により、以下のような対話が可能となる。

システム：どんな本をお探しでしょうか？
ユーザ：推理小説が読みたい。
システム：推理ですね。何十代でしょうか？
ユーザ：20代
システム：20代ですね。こちらがおすすめで
す。

このように、一度に“推理”と“小説”という情報を入力しても、対話ログとして情報が保管されるので、“ジャンルを聞く”という質問を省略することができる。

4.2 複数同時焦点機能

上位や下位の POMDP へ、より自由に行き来できるようにするために、複数の POMDP に同時に焦点を当て、観測値に基づいて POMDP の信念分布を更新できる機能を考える。具体的には、ユーザの発話に際して、現時点での POMDP とそれより1つ上位の POMDP、1つ下位の POMDP を全て同時に見て、その中から発話内容が観測値の集合に含まれる POMDP を選択する。それが複数存在する場合にはより下位の POMDP を1つ選び、その POMDP に遷移するという設計である。これにより、以下のような対話が可能となる。

システム：どんな本をお探しでしょうか？
ユーザ：推理小説が読みたい。
システム：推理ですね。何十代でしょうか？
ユーザ：やっぱり歴史がいいな。
システム：歴史ですね。何十代でしょうか？
ユーザ：20代
システム：20代ですね。こちらがおすすめで
す。

このように、対話の最初に“推理”という観測値を入力しても、深さ1の POMDP から開始できるために、対話の回数を減らすことができる。また、1つ上位の POMDP へ戻り、“歴史”を“推理”に変えるなど、質問に対する回答を変更することが可能となっている。

5 評価実験

5.1 実験内容

提案した POMDP を基に、商品検索型の音声対話システムをスマートフォンアプリケーションとして開発し、実際に被験者にシステムとの対話を行ってもらった。通常の階層的 POMDP (Sys1)、それにユーザの発話ログ機能を追加したもの (Sys2)、複数同時焦点機能を追加したもの (Sys3) の3種類全てを試してもらい、それぞれのタスク達成率、平均対話回数を比較する。また、システムの性能を評価する指数として、

$$\text{システム精度} = \frac{\text{タスク達成率}}{\text{平均対話回数}}$$

を提案する。以下に実験条件を述べる。

1. システムからの質問にユーザが答える。
2. その際、Fig.3に記載されている単語から自由に話す。例)「小説が読みたい」「推理小説」「英語の本」
3. 5回以内の対話で目的の本が見つからなければタスク失敗。
4. 3種類のシステムをそれぞれ2回ずつ、計6セッション行う。

この条件下で実験参加者13人により評価する。

5.2 実験結果

タスク達成率、平均対話回数、システム精度の結果を Table 2 に示す。この結果より、Sys3 が

タスク達成率は高く、平均対話回数は少ないため、システムのパフォーマンスとして最も優れていることが分かる。これは、Sys3が他のシステムよりも多くの観測値に対応でき、発話の自由度が高いためと考えられる。例えば、対話における最初のユーザの発話の傾向として、「旅行に行きたい」、「英語の本が欲しい」などが多く見られたが、これらには最上位のPOMDPの観測値、「雑誌」や「参考書」が含まれていないため、Sys3のみが観測値として入力できる。このように、多様な発話内容にも対応できるような対話システムが必要であり、それらをPOMDPのような確率モデルで構築することが、今後の課題となる。

Table 2 システムパフォーマンスの比較

	Sys1	Sys2	Sys3
タスク達成率	0.85	0.92	0.96
平均対話回数	3.73	3.27	2.92
システム精度	0.23	0.28	0.33

6 おわりに

今回、階層的POMDPという確率的モデルと、ルールベースな非確率的制御機能を統合することで、対話回数を減らし、タスクの達成率を向上させることができた。今後の課題として、階層的POMDP全体を、確率的に制御する機能を考察し、今回のシステムとの比較検討を行う予定である。また、実際の対話データを、このようなシステムに適用させることも考えている。

参考文献

[1] S. Young, M. Gasic, S. Keizer, F. Mairesse, J. Schatzmann, B. Thomson and K. Yu, “The Hidden Information State model: A practical framework for POMDP-based spoken dialogue management,” *Computer Speech and Language*, 24, 150-174, 2010.

[2] 岸本 康秀, 滝口 哲也, 有木 康雄, “階層的強化学習を適用したPOMDPによるカーナビゲーションシステムの音声対話制御,” *電子情報通信学会信学技報*, 110(143), 49-54, 2010.

[3] Ethem Alpaydin, “Introduction to Machine Learning third edition,” The MIT Press, 2014.

[4] R.S. Sutton and A.G. Barto, “強化学習,” 森北出版社, 2000.

[5] 谷口 忠大, “イラストで学ぶ人工知能概論,” 講談社, 2014.

[6] J. Williams, P. Poupart and S. Young, “Partially observable Markov decision processes with continuous observations for dialogue management,” *SIGdial*, 25-34, 2005.

[7] 南 泰浩, “部分観測マルコフ決定過程に基づく対話制御,” *日本音響学会誌*, 67(10), 482-487, 2011.

[8] S. Young, M. Gasic, B. Thomson and J. Williams, “POMDP-Based Statistical Spoken Dialog Systems: A Review,” *Proceedings of the IEEE*, 101, 1160-1179, 2013.

[9] 岸本 康秀, 滝口 哲也, 有木 康雄, “階層的強化学習を適用したPOMDPによる音声対話制御,” *電子情報通信学会信学技報*, 110(356), 121-126, 2010.