

# 対話ロボットのマルチエキスパートモデル RIME の拡張性向上による柔軟な対話行動制御の実現

Flexible Dialogue and Behavior Control based on the Extension of a Multi-Expert Model for Dialogue Robots RIME

中野 幹生\*1  
Mikio Nakano

Antoine Raux\*2  
Antoine Raux

竹内 誉羽\*1  
Johane Takeuchi

船越 孝太郎\*1  
Kotaro Funakoshi

\*1(株) ホンダ・リサーチ・インスティテュート・ジャパン

Honda Research Institute Japan Co., Ltd.

\*2Honda Research Institute USA, Inc.

Honda Research Institute USA, Inc.

This paper describes the recent extension of RIME, which is a toolkit for building the dialogue and behavior control subsystem in conversational robots. The previous version of RIME had two problems; it did not allow employing the two-stage expert selection method, which is robust and extensible, and it was not able to flexibly control dialogue and behavior in that it could not cancel its behaviors unless user commands to cancel them were detected. We extended RIME so that these problems can be avoided.

## 1. はじめに

音声対話機能を持つサービスロボットは、人間と対話しながら人間の要求を理解し、物理的な行動を行ったり対話によって情報を授受したりしながらタスクを遂行する必要がある [Asoh 01]。また、人の発話に応じてタスクを動的に変更したり、実行中の動作への中止の要求に対処したりすることが必要になる。

このようなロボットのモデルとして、我々は、特定のタスクに特化した知識と内部状態を持つエキスパートと呼ぶモジュールを複数用いるモデル RIME (Robot Intelligence based on Multiple Experts) [Nakano 08, Nakano 11a] を提案し、様々なロボットシステムを構築してきた [Nakano 06, Funakoshi 07, Nishimura 07, Nakano 10]。また、ロボットを用いない場合でもマルチドメイン対話システムのプラットフォームとして様々なシステム構築に用いてきた。

RIME はエキスパートが満たすべきインタフェース (Application Programmable Interface) を規定しており、そのインタフェースを実装していれば、どのようなエキスパートでもアプリケーションに組み込むことができる。

しかしながら、従来の RIME のエキスパートのインタフェースは、(1) 最近提案された 2 段階ドメイン選択モデル [Nakano 11b, 佐藤 11] を用いることができない、(2) 特定の発話交替戦略しかサポートしていないという問題があった。そこで、エキスパートのインタフェースを改良し、より、柔軟な対話行動制御が行えるようにした。本稿では、この改良について述べ、その利点を議論する。

## 2. 対話行動制御のマルチエキスパートモデル RIME

### 2.1 モジュール構成

RIME は、ロボットの知能システムの中で、記号レベルでの状況理解と行動選択を司るモジュール (対話行動制御部と呼ぶ) のモデルである。対話行動制御部は、行動認識部から、

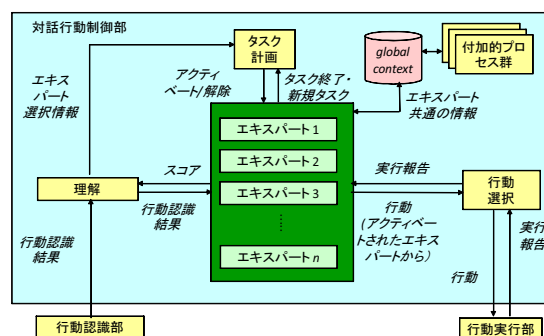


図 1: RIME のモジュール構成

音声・画像認識などを用いて人の行動を認識した結果を受け取り、それを基に人の意図や状況を推測し、適切な行動 (発話を含む) を選択し、ロボットハードウェア制御や音声合成などの行動実行モジュールに送る。RIME のモジュール構成を図 3 に示す。

### 2.2 エキスパート

RIME で用いるエキスパートは、特定の種類のサブタスクに特化した知識と内部状態を持つ。たとえば、天気予報に関する質問に答えられるロボットであれば、「天気予報に関する質問を理解する」というサブタスクのためのエキスパートや「天気予報を人に伝える」というサブタスクのためのエキスパートを持つ。また、「特定の場所に移動する」という物理行動を行うサブタスクのためのエキスパートや、「人の発話に単純に反応する」ためのエキスパートなども用いることができる。これらのエキスパートを順次利用することにより、複雑なタスクを遂行することができる。たとえば、ある物を説明するタスクは、その物のところに人を案内して、言葉で説明するという二つのサブタスクを順次遂行することによって行うことができる。

各エキスパートは、発話を理解するための知識や行動選択をするための知識を持ち、サブタスクの遂行の状態を内部的に保持している。たとえば、「天気予報に関する質問を理解する」エキスパートであれば、理解の途中結果などが内部状態として保持されている。

連絡先: 〒 351-0188 埼玉県和光市本町 8-1 (株) ホンダ・リサーチ・インスティテュート・ジャパン, 中野 幹生, E-mail: nakano@jp.honda-ri.com

エキスパートはオブジェクト指向プログラミングにおける抽象クラスとして定義され、すべてのエキスパートが共通に持つべきインタフェースが定義されている。これはユーザの行動理解やロボットの行動選択のためのメソッドからなる。それらのメソッドを実装しさえすれば、内部で知識や状態をどのような形で保持しているか、また、どのようなアルゴリズムで理解や行動選択を行うかに関わらず、どのようなエキスパートでも導入することができる。

### 2.3 調整プロセス

複数のエキスパートを調整 (coordinate) するため、理解プロセス、行動選択プロセス、タスク計画プロセスの3つのプロセスが並行して動作する。

理解プロセスは、行動認識結果を受けとった時、それを各エキスパートに送る。各エキスパートは、その行動が、どのくらい自分が処理すべきかを判断してそのスコアを返す。最も高いスコアを返したエキスパートを選択する。そのエキスパートがアクティベートされていない場合、新たにアクティベートされるべきエキスパートの候補として、その情報をタスク計画部に送る。また、その発話が今行っている行動に対する割り込みかどうかとも判断する。

タスク計画プロセスは、どのエキスパートをアクティベートするか、アクティベーションを解除するかを決める。これには、理解プロセスからのエキスパート選択情報、エキスパートから送られてくる新規タスクやタスクの終了情報などを用いる。

行動選択プロセスは、アクティベートされているエキスパートから行動を受け取り行動実行部に送る。そして、その実行結果を行動実行部から受け取るとエキスパートに返すという操作を繰り返す。もし、割り込み発話が検出されたら、今実行している行動をキャンセルするなどの操作を行う。

### 2.4 エキスパートインタフェース

調整プロセスが上記の処理を行えるよう、エキスパートは以下のようなタスクタイプ依存のメソッドを実装していなくてはならない。

**understandAndEstimateDomainScore** 理解プロセスから呼ばれる。行動認識結果を受け取り、現在の内部状態に基づいて理解するとともに、その発話がどのくらいそのエキスパートが扱うべきかを表すスコアを返す。最も高いスコアを返したエキスパートが、その発話を理解すべきエキスパートとして選ばれる。

**selectAction** 行動選択プロセスから呼ばれる。内部状態に基づいて、実行すべき行動を返す。

**detectInterruption** 理解プロセスから呼ばれる。直前に **understandAndEstimateDomainScore** で理解した行動が、現在実行中の行動に対する割り込みであるかどうかを判断した結果をブール値で返す。

**handleInterruption** 行動選択プロセスから呼ばれる。割り込みが発見された場合にシステムが実行すべき行動を返す。たとえば、実行を中止する命令などが返されることがある。

この他にも、行動の終了後に行動選択プロセスによって呼ばれるメソッドなどがあり、override することで動作を変更することができるが、説明は省略する。

## 3. RIME の拡張性向上

上記のアーキテクチャには次の二つの問題点があった。

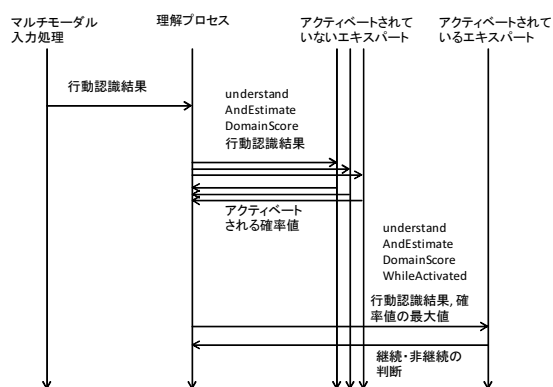


図 2: 行動理解におけるプロセス間通信

エキスパート選択の方法が限定される 理解プロセスは、すべてのエキスパートの **understandAndEstimateDomainScore** を順不同に呼ぶので、対話ドメインの継続性を有効に利用するエキスパート選択手法 [Nakano 11b, 佐藤 11] を組み込むことができない。したがって、利用できるエキスパート選択手法が、比較的単純な手法 ([Lin 99] など) に限定される\*1。

ユーザ行動以外による割り込み処理ができない あるエキスパートから出力された行動が実行されている途中では、ユーザの行動が認識され、**detectInterruption** が true を返さない限り、行動を中止・変更することができない。音声入出力だけを扱う対話システムであればそれで良いが、対話ロボットの場合、画像認識や環境認識の結果を用いて行動を中止・変更することができない。例えば、ロボットが画像認識を用いて物体を探索するために移動している時、物体を発見した場合に方向を変えたり停止することができない。

上記の問題を解決するため、RIME をより拡張性の高いアーキテクチャに変更した。まず、エキスパートインタフェースを以下のように変更した。

**understandAndEstimateDomainScore** アクティベートされていない時に理解プロセスから呼ばれる。行動認識結果を受け取り、現在の内部状態に基づいて理解するとともに、その発話がどのくらいそのエキスパートが扱うべきである確率を返す。これは、アクティベートされていない場合にのみ呼ばれる。

**understandAndEstimateDomainScoreWhileActivated** アクティベートされている時に理解プロセスから呼ばれる。行動認識結果と、上記の **understandAndEstimateDomainScore** の戻り値の最大値を入力とし、他のエキスパートがアクティベートされる確率を考慮しながら、このエキスパートが引き続きアクティベートされるべきかどうかを判断して返す。

**selectAction** 行動選択プロセスから呼ばれる。内部状態に基づいて、実行すべき行動を返す。

\*1 用いるエキスパートの集合があらかじめ決められ、種類が限定されている場合には、神田ら [神田 07] の方法や池田ら [池田 09] の方法など、ロバスト性の高いドメイン選択手法を利用できる。これらの手法は RIME の上実装されている。

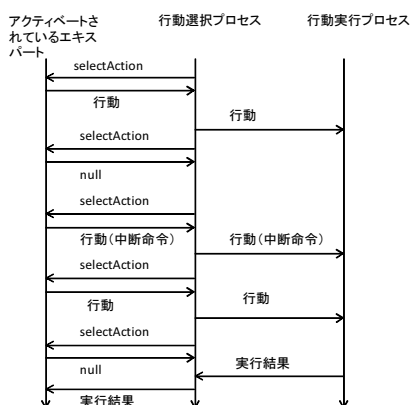


図 3: 行動選択におけるプロセス間通信

理解プロセスは、行動認識結果を受け取ると、アクティベートされていないエキスパートの `understandAndEstimateDomainScore` を呼び、その返り値の最大値を求める (これは 2 段階ドメイン選択法の 1 段目に相当する)。アクティベートされているエキスパートの `understandAndEstimateDomainScoreWhileActivated` を呼び (2 段階)。これが「継続」を返せば何もせず、「非継続」を返した場合には、`understandAndEstimateDomainScore` の返り値が最大であったエキスパートを、アクティベートされるエキスパートの候補としてタスク計画部に送る。

行動選択プロセスは定期的に (例えば 10ms 毎に) アクティベートされているエキスパートの `selectAction` を呼び。 `selectAction` は、行動の実行中や、状況の変化を待っているときには、`null` を返すのでその場合は何もしない。行動を実行している間でも `selectAction` が定期的に呼ばれることにより、エキスパートはユーザの行動に関係なく行動の中止や変更を行うことができる。

この変更により、あらかじめ決められたルートに沿って動きながら物体を探索するロボットが、その物体に似た画像を発見した時にルートを変更することが可能になる [Nakano 10]。また、ロボットがある行動を実行し始めてから一定時間が経ったときに中断することも可能になる。

従来の RIME は、エキスパートの設計を単純にするため、いわゆる話者交替の機能の一部が、エキスパートや理解プロセス、行動選択プロセスに埋め込まれていた。しかしながら、対話とは異なるタイプのタスクを行う場合には、より柔軟な制御が必要となる。今回の改良は、基本アーキテクチャから話者交替の機能を取り去ることで、柔軟性を向上させたと言える。しかしながら、音声対話が主なタスクであるようなエキスパートの場合は、割り込み発話の扱いなどの話者交替の機能をエキスパート開発者が実装する必要が出てくる。これは開発者の負担を増やすことにつながる。そこで、RIME のライブラリの一つとして、従来の RIME の話者交替と同じ機能をもつ、エキスパートのサブクラスを用意することとした。これにより、開発者の負担を増やさず、柔軟性を高めることができた。

#### 4. おわりに

本稿では、様々なタスクが行えるロボットの対話行動制御に向けた RIME の拡張を説明した。対話と物理的行動の統合的制御は、異なる種類の制御を統合する必要があることから見通しよく設計することが難しいが、今回の拡張により、簡素な

アーキテクチャを保ったまま、より柔軟な制御を行うことができるようになった。

今後はこのアーキテクチャに基づいて様々なタスクを実装して行きながら、さらに柔軟性を高めて行く予定である。

#### 参考文献

- [Asoh 01] Asoh, H., Motomura, Y., Asano, F., Hara, I., Hayamizu, S., Itou, K., Kurita, T., Matsui, T., Vlassis, N., Bunschoten, R., and Kröse, B.: Jijo-2: An Office Robot that Communicates and Learns, *IEEE Intelligent Systems*, Vol. 16, No. 5, pp. 46–55 (2001)
- [Funakoshi 07] Funakoshi, K., Nakano, M., Torii, T., Hasegawa, Y., Tsujino, H., Kimura, N., and Iwahashi, N.: Robust acquisition and recognition of spoken location names by domestic robots, in *Proc. IROS-2007*, pp. 1435–1440 (2007)
- [池田 09] 池田 智志, 駒谷 和範, 尾形 哲也, 奥乃 博: マルチドメイン音声対話システムにおけるトピック推定と対話履歴の統合によるドメイン選択手法, *情報処理学会論文誌*, Vol. 50, No. 2, pp. 488–500 (2009)
- [神田 07] 神田 直之, 駒谷 和範, 中野 幹生, 中臺 一博, 辻野 広司, 尾形 哲也, 奥乃 博: マルチドメイン音声対話システムにおける対話履歴を利用したドメイン選択, *情報処理学会論文誌*, Vol. 48, No. 5, pp. 1980–1989 (2007)
- [Lin 99] Lin, B., Wang, H., and Lee, L.: A Distributed Architecture for Cooperative Spoken Dialogue Agents with Coherent Dialogue State and History, in *Proc. ASRU-99* (1999)
- [Nakano 06] Nakano, M., Hoshino, A., Takeuchi, J., Hasegawa, Y., Torii, T., Nakadai, K., Kato, K., and Tsujino, H.: A Robot That Can Engage in Both Task-Oriented and Non-Task-Oriented Dialogues, in *Proc. Humanoids-2006*, pp. 404–411 (2006)
- [Nakano 08] Nakano, M., Funakoshi, K., Hasegawa, Y., and Tsujino, H.: A Framework for Building Conversational Agents Based on a Multi-Expert Model, in *Proc. 9th SIG-dial Workshop*, pp. 88–91 (2008)
- [Nakano 10] Nakano, M., Iwahashi, N., Nagai, T., Sumii, T., Zuo, X., Taguchi, R., Nose, T., Mizutani, A., Nakamura, T., Attamimi, M., Narimatsu, H., Funakoshi, K., and Hasegawa, Y.: Grounding New Words on the Physical World in Multi-Domain Human-Robot Dialogue, in *Proceedings of the AAAI 2010 Fall Symposium on Dialog with Robots*, pp. 74–79 (2010)
- [Nakano 11a] Nakano, M., Hasegawa, Y., Funakoshi, K., Takeuchi, J., Torii, T., Nakadai, K., Kanda, N., Komatani, K., Okuno, H. G., and Tsujino, H.: A multi-expert model for dialogue and behavior control of conversational robots and agents, *Knowledge-Based Systems*, Vol. 24, No. 2, pp. 248–256 (2011)

- [Nakano 11b] Nakano, M., Sato, S., Komatani, K., Matsuyama, K., Funakoshi, K., and Okuno, H. G.: A Two-Stage Domain Selection Framework for Extensible Multi-Domain Spoken Dialogue Systems, in *Proc. of the SIG-DIAL 2011 Conference* (2011)
- [Nishimura 07] Nishimura, Y., Minotsu, S., Dohi, H., Ishizuka, M., Nakano, M., Funakoshi, K., Takeuchi, J., Hasegawa, Y., and Tsujino, H.: A Markup Language for Describing Interactive Humanoid Robot Presentations, in *Proc. IUI'07*, pp. 333–336 (2007)
- [佐藤 11] 佐藤 隼, 中野 幹生, 駒谷 和範, 船越 孝太郎, 奥乃 博: ドメイン外発話が扱え拡張性が高い対話ドメイン選択フレームワーク, 情報処理学会研究報告 SLP-86, No. 12, pp. 1–8 (2011)