

知識状態差動型対話ロボットによるユーザに適応した話題選択と 齟齬解消発話の発現

User-Adaptive Topic Choice and Expression of Fixing Variance Speech for Interactive Robot Based on the Differences between User's and Robot's Knowledge

伊藤伶^{1*} 島田伸敬¹ 白井良明¹
Satoshi ITO¹ Nobutaka SHIMADA¹ Yoshiaki SHIRAI¹

¹ 立命館大学大学院理工学研究科

¹ College of Science and Engineering, Ritsumeikan University

Abstract: This paper proposes the methods of choosing user-adaptive topic and following user's dialogue for interactive robot which services or collects the information between some users. The robot considers each utility of information, differences between user's and robot's knowledge and relation of last user's speech. And the robot calculates the value of topic, and choose the highest one. If there is variance knowledge, the robot delivers more certain knowledge by using Bayesian network based on the knowledge and collected evidence.

1 はじめに

近年、音声対話ロボットと人間のインタラクションに関する研究が盛んに行われており、中でも実世界の情報を円滑にやりとりするコミュニケーションが注目されている。

Drygajlo らは、博覧会において人に対してどの展示物を見たいかを対話によって尋ね、その場所まで誘導する案内役ロボットの開発を行った [1]。しかし対話相手に関する情報をプロファイル化しないため、何度か接している相手に対して同じような情報を提供している場合でも、人の知っていることと知らないことを無視した一方的な対話が行われるという問題がある。またロボットは情報の提供しか行わず、変化のない一定の情報を提供し続けることになり、さらにロボットが発話する話題を決定する際、話題間を固定的に結び付けた流れ図でモデルが構成されているため、流れず通りに対話を進めなければならず柔軟性に欠けるといった問題がある。

他の話題決定方法としては、状況の if-then ルールに基づいて判断し話題を決定する方法 [2] がある。しかし考慮する状況の数が多くなると if-then ルールが多くなるといったことに加え、新たに行う話題や考慮する状況を追加する際には、これまで生成したルールを再構

築する必要性が出てくるためこれも問題となる。

一方松井らは、オフィス内を移動しながら人間とのコミュニケーションやセンシングを行い、環境や人に関する情報を収集して学習する自律能動学習システムを構築している [3] [4]。前述のロボットに対して対話相手に関するプロファイルを作成し、その人に応じた対話を行えることに加えて、かつ情報の収受を行うことができ、インタラクティブ性の高い対話ロボットとなっている。しかし一方で、人の対話の割り込みには対応できず利便性の面で問題がある。具体的には例えば人が急いでいる状況で、とにかくある情報だけを知りたいといった場合に、ロボットが進めていく対話に割り込んで人の意思を伝ようと試みるも、ロボットはこの人の発話に追従することができないといったことが考えられる。

そこで本稿では上記の問題点を解決し、複数のユーザと情報をやりとりする対話ロボットのための適応的
話題選択・追従方法を提案する。人の知っていることと知らないことを無視した一方的な対話、人の発話に追従できないといった問題を解決し、よりユーザにとって利便性の高いインタラクションを行うため、ロボットは一般的な各情報の利得、ユーザとロボット双方の知識状態の差、直前の対話内容との関連度および対話時間を考慮し、その状況における最も話題価値の高い発話を選択する。また知識の不足部分を埋めていくだけでなく、ユーザ間の知識に齟齬が見つかった場合に

*連絡先：立命館大学大学院理工学研究科
〒 525-8577 滋賀県草津市野路東 1 丁目 1-1
E-mail: s-ito@i.ci.ritsumeikai.ac.jp

も対応するため、その知識と収集した証拠に基づくベイネットを用いてより確かな知識のほうを他者に伝達するアプローチも現在研究中である。

本稿は本章を含め5章で構成されている。2章では、知識の表現方法や対話制御の流れ、話題の価値の定式化など、ユーザに適応した話題選択方法について具体的に述べる。3章では2章で述べた手法の有効性をユーザとの対話実験によって示す。続いて4章では、ユーザ間の知識に齟齬（そご）がある場合の問題点について触れ、現在取り組んでいる齟齬解消方法について述べる。最後に5章で本稿のまとめと今後の課題について述べる。

2 ユーザに適応した話題の選択方法

2.1 対話制御モデル

情報の収集と提供を行うロボットの対話を考えるとき、次のような問題を考慮する必要がある。

- ロボットが知っている情報を繰り返しユーザに提供すること、また逆にロボットが知らない情報を繰り返しユーザに尋ねること
- ユーザが既知っている情報をロボットが提供すること、また逆にロボットが既知っていることをユーザに尋ねること
- ロボットがユーザに質問した際ユーザがそれに答えずに別の質問または依頼をロボットに投げかけてきた場合、ロボットがそれに追従して答えることができないこと

これらの問題を解決するためには、ロボットはユーザとロボットがそれぞれどのようなことを知っているかまたは知らないかを理解しておかなければならない。つまり、様々な情報に対して双方の知識がどのような状態になっているのかを記録しておく必要がある。知識状態を記録する手法としてはユーザモデルを構築する手法 [5][6][7] がある。しかし、これらはユーザの知識のみをモデル化するに留まっており、ロボットの知識についてはモデル化されていないため双方の知識を表現することができない。そこで本研究では、ユーザとロボット双方の知識モデルを用いる。本研究で用いた知識モデルを図1に示す。

この知識モデルでは、ロボットが知っている情報の内容とその情報の正しさを表す確信度を各情報ごとに記録する。これによりロボットが情報を推定する状況や、時間経過により情報の確かさが劣化していくといった、情報のあいまいさを表現することができる。そして双方の知識における情報の内容と確信度の差異によ

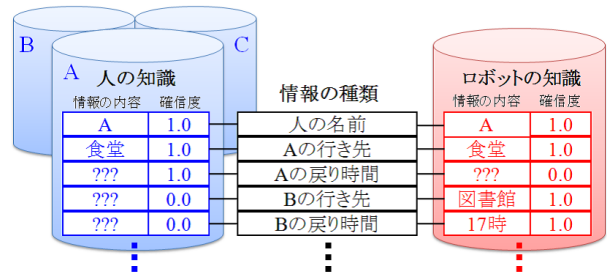


図 1: 知識モデル

り対話を進めていく。なお人の知識モデルは1ユーザにつき1つ用意し、どのような知識を持っているかをユーザごとに記録しておく。

しかし問題として3つ目に挙げたものは、双方の知識を理解させるだけでは対応できない。この問題が起こる原因は、ユーザが直前に発話した内容をロボットが理解していないために起こると考えられる。すなわち、知識モデルにより双方の知識状態を理解させ、人の直前の発話内容を考慮して適応的に話題を選択できる対話ロボットの実現を目指す。

以上のロボットとユーザの知識状態の差異、およびユーザの直前の発話内容を考慮する方針の下で、提案する対話制御のモデルを図2に示す。

ここで言う「話題」とは、各話題の処理手順において1つの情報を提供および収集する話の単位と定義しておく。ロボットが行う対話は話題ごとに分割して用意しておく。

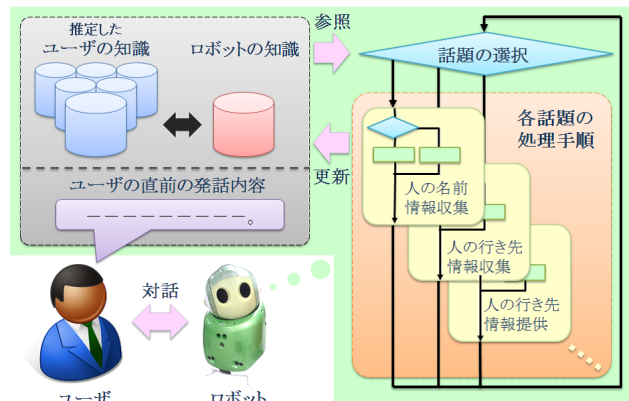


図 2: 対話制御モデル

2.2 実行する話題の決定方法

第1章でも紹介したように、ロボットが話題を決める方法はいくつかあるが ([1][2] など) 静的な構造や拡張性の問題がみられ、多くの状況を考慮しながら対話を進めるためには適していないと考えられる。そこで

本研究では、状況に応じて動的にかつ拡張性の高い話題の選択手法として、実行する候補となる話題の実行価値を複数のユーザの知識や状況などを考慮して計算し、その中で最も価値の高いものを選択していく手法を提案する。ここで話題の実行価値は、人にとってどの程度利益になるかを考慮する。人の利益となる話題として「人にとって効用の高い情報を提供・収集する話題」および「情報を短時間で提供・収集する話題」の2点を考える。効用とはその情報を正しく知っているときに人にどの程度の利益を与えられるかを示す値である。

以上のような考えに基づき、これらの利益の度合いを話題の実行価値として評価する。話題の選択時には、全ての話題に対してこの実行価値を求め、最大の実行価値となる話題を次に実行する話題として選ぶ。ロボットはこれを繰り返すことによって対話を進める。

2.3 話題実行価値の計算方法

2.3.1 情報を提供する話題の価値計算方法

情報を提供する話題の実行価値を考えるにあたり、ロボットが知っていて今日の前にいる人が知らない情報をいかに正しく人に伝えることができるようになるかを考える必要がある。すなわち話題実行前と話題実行後における効用の差が、話題の実行価値になると考えることができる。その概念図を図3に示す。

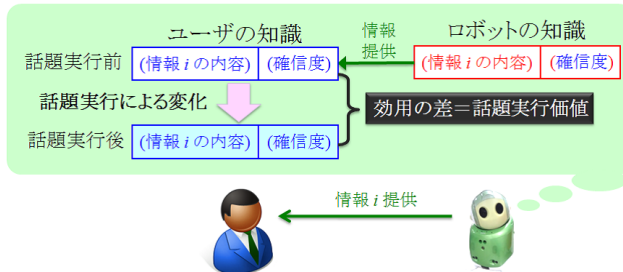


図 3: 情報を提供する話題の実行価値の概念

ここで、図3の概念の定式化を行う。まず、情報*i*におけるロボットの知識及び人の知識をそれぞれ K_i^r, K_i^h とする。このときロボットの集合を R 、ユーザの集合を H とすると、 r, h は $r \in R, h \in H$ の関係にある。また、それらの確信度をそれぞれ $C(K_i^r), C(K_i^h)$ とし、さらに情報*i* についての話題を h に対して実行することを A_i^h とすると、その話題を実行する利得は $U(A_i^h)$ 、話題実行の所要時間は $T(A_i^h)$ 、直前の発話にあった情報*k* の話題との関連度合を $R(A_i^h|A_k^h)$ と書ける。このとき、情報の提供及び収集それぞれの話題実行価値を $V(A_i^h)$ とすると、情報提供は以下の(1)式、情報収集は以下の(2)式で表現できる。

$$V(A_i^h) = U(A_i^h)T(A_i^h)R(A_i^h|A_k^h) \{C(K_i^r) - C(K_i^h)\} \quad (1)$$

$$V(A_i^h) = U(A_i^h)T(A_i^h)R(A_i^h|A_k^h) \{C(K_i^h) - C(K_i^r)\} \quad (2)$$

ただし、(2)式の収集における利得 $U(A_i^h)$ は値を計算で求める。

2.3.2 情報を収集する話題の価値計算方法

情報を収集する話題の実行価値は、ロボットが今日の前にいる人から情報を集めることによりロボットの知識を変化させ、将来会う人からされるであろう質問に対して知識を用いていかに適する回答を生成し答えることができるようになるかを考える必要がある。つまり、さきほどと同様に話題実行前と話題実行後における質問の効用の差が話題の実行価値になると考えることができる。この概念図を図4に示す。

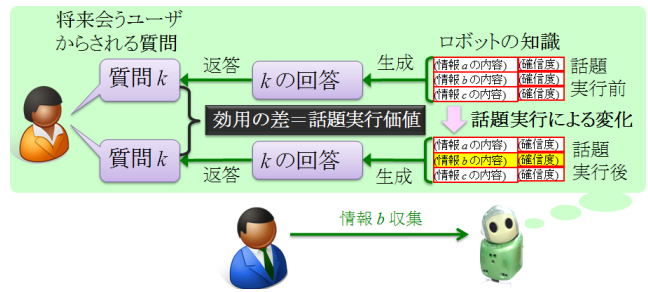


図 4: 情報を収集する話題の実行価値の概念

2.3.1で示した(2)式で情報を収集する際の話題実行価値を求めることができるが、分子にある利得 $U(A_i^h)$ をなんらかの方法で計算しなければならない。そこで、以下ではこの利得 $U(A_i^h)$ を計算する方法について述べる。まず、現在の話題を実行することによって将来出会うと思われる人物*h* に対して、提供する話題の実行価値の期待値を $E(h)$ とする。このとき、人物*h* が情報*i* について質問してくる確率を $P(A_i^h)$ 、情報の提供を行う話題の集合を Q 、将来人物*h* にと会う確率を $P(h)$ 、将来会う可能性のある人物の集合を H とする。ここで、人物 $h \in H$ に対して情報*i* を収集する前に情報*j* を提供する場合は話題実行価値を $V(A_j^h)$ 、人物*h* に対して情報*i* を収集した後に情報*j* を提供する場合は話題実行価値を $V^*(A_j^h)$ とすると、話題実行価値の期待値 $E(h)$ は以下の(3)式となる。

$$E(h) = \sum_{j \in Q} P(A_j^h) \{V^*(A_j^h) - V(A_j^h)\} \quad (3)$$

このとき、 $V^*(A_j^h)$ におけるロボット側の知識を K_j^{r*} とすると、 $V(A_j^h)$ 及び $V^*(A_j^h)$ は(1)式より変形でき、かつ情報*j* についての話題は仮定の話であることを考慮すれば $T(A_j^h), R(A_j^h|A_k^h)$ は無視して1とおけるため(3)式は(4)式と書ける。

$$E(h) = \sum_{j \in Q} P(A_j^h)U(A_j^h) \{C(K_j^{r*}) - C(K_j^r)\} \quad (4)$$

次に、将来出会う可能性のある人物全体の利得の期待値 $E(H)$ を考えると、これは結局求めていた $U(A_i^h)$ と

等価であるため、

$$U(A_i^h) = E(H) = \sum_{h \in H} P(h)E(h) \quad (5)$$

と求められる。この (5) 式を (2) 式に代入したものが情報を収集する際の話題実行価値を求める式となる。

3 実験

3.1 目的

本実験の目的は、第 2 章で示した対話制御手法の有用性を確認することである。つまりロボットとユーザが対話した際、

1. 状況に適應しながら動的に話題を選択できるか
 2. 知識の差を埋めようとしているか
 3. 人が話題を転換しても追従できるか
- の 3 点を実際に対話実験を行い確認する。

3.2 実験方法

3.2.1 対話ロボットの構成

本研究では、対話ロボットとして NEC 製のパーソナルロボット PaPeRo[8] を用いた。PaPeRo の主な構成を図 5 に示す。あらかじめ PaPeRo には音声合成エンジンや音声認識エンジン、CCD カメラが備わっているため、今回はそれを用いた。

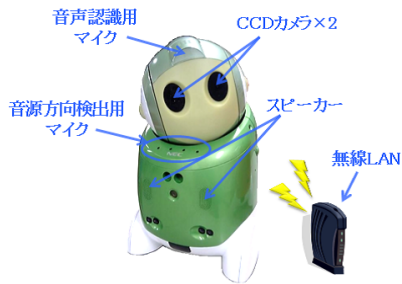


図 5: 対話ロボットの構成

3.2.2 ロボットのタスク定義

本研究ではロボットが行うタスクとして、ロボットが発見した人物に対して居場所情報を中心とした情報の提供と収集を行うこととする。具体的な扱える情報とその利得および話題の種類はそれぞれ表 1,2 に示しておいた。実際はインターネットから天気予報やニュース、占いといった情報も保持しており適宜ユーザに提供できるようになっている。これらの話題を状況に応じて適応的に対話をする。

3.2.3 各パラメータの設定

表 1 において、情報の収集における利得は (2) 式から動的に求められる。一方で情報提供における利得はヒューリスティックに値を設定する。利得の決定に関しては、一般に個人の性質やその人の知識状態等、様々な要因によって変化すると考えられるが、本研究ではこれらの影響は考慮しないものとし今回は全ての情報の利得は等しいとして実験を行った。

表 1: 取り扱う情報の内容とその利得

ID	情報の略称	情報の内容	利得 U
R0	名前	ユーザ名	(2) 式から求める
R1	行き先	ユーザの行き先	
R2	戻り時間	ユーザの戻り時間	
R3	探す人	ユーザの探している人物名	
R4	探索伝える	探している人物に伝えるか	
R5	御用	他に用事があるかどうか	
U0	探される人	ユーザを探している人物名	1.0
U1	予定	ユーザの近い将来の予定	1.0
U2	探す人行き先	探している人物の行き先	1.0
U3	探す人戻り時間	探している人物の戻り時間	1.0

表 2: 実行する話題の内容

ID	話題の略称	話題の内容
ActR0	名前尋ね	ユーザの名前を尋ねる
ActR1	行き先尋ね	ユーザの行き先を尋ねる
ActR2	戻り時間尋ね	ユーザの戻り時間を尋ねる
ActR3	探す人尋ね	ユーザの探している人物名を尋ねる
ActR4	探索伝え尋ね	探している人物に伝えるかを尋ねる
ActR5	御用尋ね	他に用事があるかどうかを尋ねる
ActU0	探される人伝達	ユーザを探している人物名を伝える
ActU1	予定伝達	ユーザの近い将来の予定を伝える
ActU2	探す人行き先伝達	探している人物の行き先を伝える
ActU3	探す人戻り時間伝達	探している人物の戻り時間を伝える

次に話題実行の所要時間 $T(A_i^h)$ と直線の話題との関連度 $R(A_i^h|A_k^h)$ について述べる。今回、 $T(A_i^h)$ は簡単化するため提供する話題と収集する話題の 2 つにわけて定義した。情報の提供は収集よりも対話のやりとりが少なく済むため提供する話題実行の所要時間は 1.0、収集する話題の所要時間は 0.5 簡易的に定義した。すこし直観的にはわかりにくいだが、時間が短いほど 1.0 に近い値、長いほど 0.0 に近い値を設定するようにしている。次に関連度 $R(A_i^h|A_k^h)$ であるが、話題の前後間での繋がりが不自然と考えられる場合には関連度は 0.5、自然なつながりと考えられる場合には 1.0 と定義した。

表 3 に各話題における所要時間と関連度の設定した値をまとめておいた。この表は R または T が書いてあ

れば書いてある変数に1の値を設定し、書いてなければ0.5の値を設定したことを意味している。

表4には人物hが情報jについて質問してくる確率 $P(A_{hj}^h)$ をヒューリスティックに定めたものである。設定の方針としては、ロボットのタスクが主に居場所情報を収受することから居場所に関連するものを高くなるように設定している。

表3: 話題実行の所要時間と関連度

直前の話題	次の話題											
	A _{R0}	A _{R1}	A _{R2}	A _{R3}	A _{R4}	A _{R5}	A _{U0}	A _{U1}	A _{U2}	A _{U3}		
A _{R0}	R	R	R				RT	RT	T	T		
A _{R1}	R	R	R				RT	RT	T	T		
A _{R2}	R	R	R				RT	RT	T	T		
A _{R3}	R	R	R	R	R		RT	RT	RT	RT		
A _{R4}	R	R	R	R	R		RT	RT	RT	RT		
A _{R5}	R	R	R	R	R		T	T				
A _{U0}	R	R	R	R	R	R	RT	RT	RT	RT		
A _{U1}	R	R	R	R	R	R	RT	RT	RT	RT		
A _{U2}	R	R	R	R	R	R	RT	RT	RT	RT		
A _{U3}	R	R	R	R	R	R	RT	RT	RT	RT		

表4: ユーザが質問するであろう内容とその発生確率

質問される内容	確率
探している人がどこにいるか尋ねてくる	0.35
自分が誰かに探されていたか尋ねてくる	0.20
探している人がいつ戻ってくるか尋ねてくる	0.15
何がニュースがないか尋ねてくる	0.10
今日または明日の天気予報を尋ねてくる	0.10
今日の占いの結果について尋ねてくる	0.10

3.2.4 実験条件

本実験の前提として、ユーザ「伊藤」が場所「食堂」に外出する状況を想定して対話を行った。このときロボットは以前に笠井から伊藤のことを探しているという対話をしており事前に知識として得ていたものとする。またそのときの笠井との対話によって、笠井の行き先が「図書館」、戻ってくる時間は「17時」ということも同時に知識として持っていたとする。

3.3 実験結果と考察

前述した前提条件において伊藤がロボットと対話を行ったときの対話の流れを表5に示す。

紙面の都合上、話題の価値がユーザの発話や知識状態に応じて動的に変わる部分が明示できないのは残念であるが、表5でもユーザの知らないことを伝え、話題の転換にも柔軟に対応できていることがわかるのではないだろうか。発話ターン3から4にかけてを見てもユーザの話題に追従しつつ知らない情報を適確に提供しているのが読み取れる。本実験により3.1節で述べた確認事項を確認することができた。

表5: 実験時の対話の流れ

発話ターン	話者	発話内容
1	ロボ	どちら様ですか？
	伊藤	伊藤です。
2	ロボ	伊藤さん、さっき笠井さんが探していましたよ。
3	ロボ	どこへ行くのですか？
	伊藤	笠井くんはどこですか？
4	ロボ	笠井さん今図書館に行っています。
5	ロボ	17時頃に戻ると言っていましたよ。
6	ロボ	笠井さんに探していることを伝えましょうか？
	伊藤	食堂に行ってきます。
7	ロボ	行き先は食堂ですね。何時頃に戻ってきますか？
	伊藤	13時です。
8	ロボ	13時に食堂からお戻りですね。わかりました。笠井さんに探していることを伝えましょうか？
	伊藤	やっぱり14時に戻ってきます。
9	ロボ	14時に食堂からお戻りですね。わかりました。笠井さんに探していることを伝えましょうか？
	伊藤	お願いします。
10	ロボ	伝えておきます。他に何かご用はありますか？
	伊藤	ありません。

4 ユーザ間の知識齟齬解消

4.1 齟齬による問題

上記の実験ではうまく対話が進行したが、一つだけ提案手法では解決できない問題が生じた。その問題が起こる際の知識状態を図6に示す。

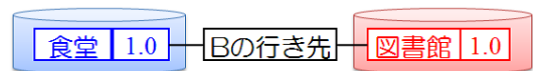


図6: 知識間に齟齬がある状態

図6を見ていただければわかるが、「Bの行き先」という答えが一つに限られる情報においてロボットは「図書館」、ユーザは「食堂」に行っているとそれぞれ確信している状態である。本稿では、このように一つの情報に対して異なる知識を持つ状態のことを「知識間に齟齬がある状態」と呼ぶこととする。

この状態の何が問題かといえば、2.3.1で示した(1),(2)式でこのBの行き先に関する話題の価値を計算すると $V(A_i^h) = 0$ となることである。つまり、齟齬がある状態にも関わらずこの話題は無視されてしまうといった問題が起きる。

4.2 齟齬解消方法

この齟齬を解消するためには以下の3つが課題として浮かび上がってくる。

課題1: 確信度の計算方法

確信度という項目を設けてはいたが、実際のところ実験の段階では知っていれば1.0, 知らなければ0.0としていただけであった。しかし齟齬解消の目的だけでなく、よりの確で柔軟な話題選択をするためにも情報の正さを正確に把握することは必要である。

ある情報が正しいかを判断する材料は一意には決められず、非常に多くの要素が掛け合わさって「正さ」を形成していると考えられる。しかし対話ロボットの場合、その持っている情報というのは自分の目で見た情報かもしくは他から聞いた情報に限られる。情報の正さを判断するには、誰から何を聞いたのか、どのぐらいの人が同じ意見を持っているのか、自分の目で見た情報なのかといったその情報を形成した証拠が肝であると考えられる。そこで本研究では、ある情報の正さを判定するため収集した証拠に基づくベイズネットを構築し情報の正さを確率として計算する手法を検討する。現在、考えているベイズネットを図7に示す。

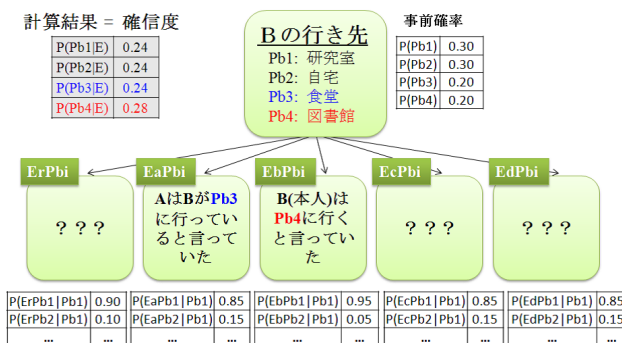


図7: 知識間に齟齬がある状態

課題2: 齟齬の検知方法

ベイズネットの証拠に今までの情報とは食い違う内容の情報がセットされると今までPaPeRoが正しいと思っていた情報の確信度が下がる。その下がったときに齟齬だと判定する。

課題3: 齟齬も考慮にいれた話題選択方法

知識間に齟齬がある場合、ロボットが正しいと判断するほうの情報を他者に伝えに行くのか、それともより多くの証拠を集めにロボットから情報収集に向かうのか、齟齬のまま置いておいて他のことを優先するのか、多くの選択肢が考えられる。

今後の課題として、この課題に対しても2.3節で述べたような、ロボットが自らが考え動けるような価値

計算の式を定め状況に応じて柔軟に対話ができるよう研究を進めていく予定である。

5 おわりに

本稿では知識差、直前の発話内容、話題時間および話題間の関連度を考慮した話題実行価値の式を用いれば、ユーザに不足している情報を話題の転換にも対応しながら動的に提供できることを示した。

ただし、知識間に齟齬が生じた場合に問題が生じるため、齟齬の状況も考慮した定式化を行うことが今後の課題である。また、時間が経つに連れて情報の信頼性は劣化すると考えられるため、時間情報も考慮した式を再定義し、検証する必要がある。

謝辞

本研究にあたり、日頃から研究方針や内容について熱心に御指導頂いた立命館大学大学院理工学研究科の島田伸敬准教授、白井良明教授に深謝する。

参考文献

- [1] Andrzej Drygajlo, Plaman J. Prodanov, Guy Ramel, Mathieu Meisser and Roland Siegwart: "On developing a voice-enabled interface for interactive tour-guide robots", *Advanced Robotics*, Vol. 17, No. 7, pp. 599-616 (2003)
- [2] 神田 崇行, 平野 貴幸, ダニエル イートン, 石黒 浩: "日常生活の場で長期相互作用する人間型対話ロボット", *日本ロボット学会誌*, Vol. 22, No. 5, pp. 636-674 (2004)
- [3] 松井 俊浩, 麻生 英樹, John Fry, 浅野 太, 本村 陽一, 原 功, 栗田 多喜, 速水 悟, 山崎 信行: "オフィス移動ロボット Jijo-2 の音声対話システム", *日本ロボット学会誌*, Vol. 18, No. 2, pp. 300-307 (2000)
- [4] H. Asoh, Y. Motomura, F. Asano, I. Hara, S. Hayamizu, K. Itou, T. Kurita, T. Matsui, N. Vlassis, R. Bunschoten and B. Kroese: "Jijo-2: An Office Robot that Communicates and Learns", *IEEE Intelligent Systems*, Vol. 16, No. 5, pp. 46-55 (2001)
- [5] 高間 康文, 土肥 浩, 石塚 満: "擬人化エージェントにおける音声対話を通じての協調的応答戦略の自動学習", *人工知能学会誌*, Vol. 12, No. 3, pp. 456-465 (1997)
- [6] 熊本 忠彦: "自然言語対話システムにおける協調的応答の生成", *人工知能学会誌*, Vol. 14, No. 1, pp. 3-10 (1999)
- [7] 溝口理一郎: "知的教育システム", *情報処理学会誌*, Vol. 36, No. 2, pp. 177-186 (1995)
- [8] NEC メディア情報研究所 ロボット開発センター: "パーソナルロボット パペロ (PaPeRo)", <http://www.incx.nec.co.jp/robot/index.html>