

## 質問意図の曖昧性を考慮して対話を行う情報検索対話システム

Dialogue System for Information Retrieval that can Handle the Vagueness of User Intention

山崎 翔太\*<sup>1</sup>      中野 幹生\*<sup>1\*2</sup>      船越 孝太郎\*<sup>2</sup>      菅野 重樹\*<sup>1</sup>  
 Shota Yamazaki      Mikio Nakano      Kotaro Funakoshi      Shigeki Sugano

\*<sup>1</sup>早稲田大学大学院 創造理工学研究科

Graduate School of Creative Science and Engineering, Waseda University

\*<sup>2</sup>(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.

This paper describes the architecture for dialogue systems for information retrieval. When the users search information in an unfamiliar field, they may not know keywords appropriate for information search. If the system can ask back to clarify the user's information need, they can find information they need. In this paper, we propose a dialogue system architecture based on hierarchical domain knowledge and probabilistic estimation of user's information need. We built a system in a "creating web page" domain based on the proposed architecture and a preliminary user study suggested its viability.

## 1. はじめに

情報検索システムを使って何かを調べようとするとき、情報要求を表現するキーワードが自明でないことは多い。このとき、システム側から聞き返すことで質問意図を明確化することができれば、調べる対象に関する詳細な知識のないユーザでも必要な情報を見つけることができる。しかし、抽象的な情報要求は、ユーザが得た情報により初めて具体化される場合も多い。つまり、曖昧な情報要求の表現には、具体的な要求が存在するにもかかわらずそれを表現する言語表現に情報が不足している場合と、要求そのものが抽象的であり具体化するためには新たな知識が必要な場合が存在する。これは、人間の情報要求の階層 [Taylor 68] などとして説明されている。特に、ユーザが詳細な知識を持っていない分野の情報収集を対象としたドメインを扱う場合には、曖昧性のある情報要求の表現が多くなり、対話によってこれを明確化する情報検索対話システムが有効だと考えられる。

このような、大規模な情報資源を対話的に検索する研究として、トラブルシューティングを扱った対話システム [清田 03] や、ユーザに合わせた検索サービスを提供する対話システム [北村 08] などがある。これらは、主にルールや属性によって曖昧性を解消し、ユーザの情報要求とシステムが持っている情報を対話により適合させるものである。このような場合、ユーザはある程度自分が何をしたいかを決めている。一方で、何をしたいかが抽象的である場合には、システムのアドバイスが有効であるため、システムがユーザの目標を聞き出し、ユーザが考えている部分的なプランに応じて推薦を行う対話システム [Misu 10] など研究されている。しかし、これらのシステムは予め選択肢が用意されているユーザの意思決定を支援するためのものであり、知らない情報を調べる情報検索とは別の問題として扱われている。そのため、情報要求の曖昧性やユーザが知らない情報を扱うモデルにはなっていない。

本研究の目的は、質問意図の曖昧性を対話によって解消する

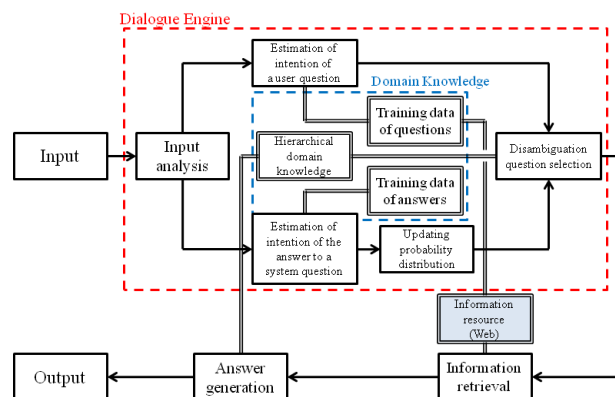


図 1: システム構成図

情報検索対話システムにおいて、情報要求にシステムが持っている情報を適合させるためのユーザ主導の対話と、情報提供をして知識を与えることでさらに情報要求を具体化するシステム主導の対話を、ドメイン固有のルールを使わずに統一的に扱う対話システムのフレームワークを提案し、その有効性を検証することである。そこで本論文では、階層的な知識構造に基づく確率的な意図推定により情報要求の曖昧性を解消する対話システムのアーキテクチャを提案する。また、このアーキテクチャに基づいてシステムを構成し、その有効性を検証する。

## 2. 提案システム

図 1 は、提案システム全体の構成図である。ドメイン知識である階層構造の中には、ユーザが聞きたいこととその答え（または答えを検索するクエリ）がノードとして表現されている。

システムを構築するには、まず対象ドメインにおけるユーザの情報要求、すなわちユーザが聞き出したいことを階層的に構造化し、対応するユーザ質問文とシステム質問に対するユーザ応答文の学習データから情報要求の確率分類を機械学習する。このとき、用意した質問文から情報検索により学習データを集

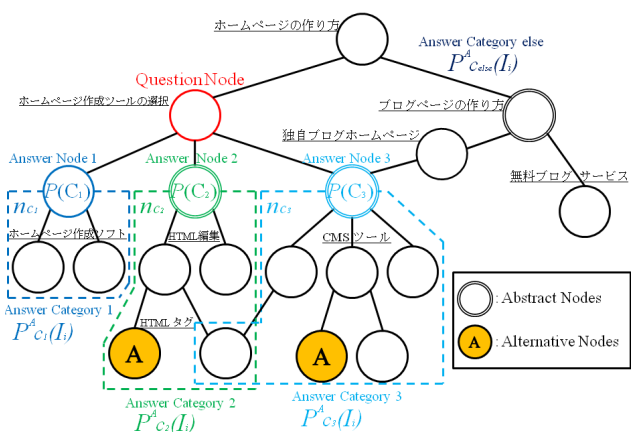


図 2: ドメイン知識の階層構造と確率更新

めることによって、大規模な情報資源を利用して確率分布を学習する。動作時には、自然言語の入力に対して情報要求の確率分布を推定し、曖昧である場合には聞き返すことで、その返答から階層構造を利用して確率分布を更新し、情報要求を適合させる。また、抽象的な情報要求に対しては、情報を与えた上で階層構造を利用して情報要求を具体化する。各発話ターンの対話状態に応じて、あらかじめ知識に組み込んである応答情報と、質問文の学習データから抽出したキーワードで情報資源を検索した結果を合わせた応答を出力する。以下に、知識構造、確率分布の学習、および対話処理と確率更新について、それぞれの構成と処理を具体的に説明する。

### 2.1 ドメイン知識

ドメイン知識として、ユーザの情報要求を階層的に構造化し、情報要求をノードとして表現する(図 2 はドメインを「Web ページ作成」に関する情報とした例の一部である)。ノードは基本的に以下の要素から構成されている。

- <ID>: ノードの ID
- <PARENT>: 上位ノードのリスト
- <INFORMATION>: 知識に組み込むユーザへの  
 応答情報(テキストや URL など)
- <DESCRIPTION>: 情報要求に対する応答情報の説明
- <QUESTION>: 下位ノードを具体的に選択させるような  
 ユーザへの聞き返し質問
- type="abs": 抽象ノード (Abstract Node) を表す属性

抽象ノードとは、例えば「ホームページの作り方を教えて」「HTML について知りたい」など、ノードが表現する情報要求が抽象的であり応答すべき情報が漠然として大きすぎるような場合を表す。

これらを XML で記述した知識の一例を図 3 に示す。この階層構造では、上位ノードの方が 1 つ下位のノードより知識を前提としない一般的な情報、時間的に前に当たる情報、抽象的な情報を持っている。上位ノードのリストに複数のノードを指定することを可能とすることで、知識の構造は完全な木構造ではなくネットワーク構造となる。また、各ノードの情報要求を表現するユーザ質問文と、上位ノードによりシステムが聞き返し質問をしてユーザから返答が得られた場合の情報要求を表現するユーザ応答文の学習データを用意し、これらを合わせてドメイン知識とする。

```

<NODE>
<ID> ホームページ作成ツールの選択 </ID>
<PARENT> ホームページの作り方 </PARENT>
<INFORMATION>
http://allabout.co.jp/gm/gc/31799/
</INFORMATION>
<DESCRIPTION>
どのような方法でホームページを作成するのがよいかを選ぶための
情報です。
ホームページ作成ツールを選択するための情報です。
</DESCRIPTION>
<QUESTION>
どのようなツールを使ってホームページを作っていますか?
・ホームページビルダーなどのホームページ作成ソフトを使っていますか?
・WordPress などの CMS ツールを使っていますか?
・直接 HTML を編集していますか?
</QUESTION>
</NODE>
    
```

学習データの元となる質問文の例

- ・ホームページを作るツールにはどんなものがありますか?
- ・ホームページを作るためのソフトを教えてください
- ・ホームページとブログの作成の仕方を教えてください
- ・HP の作り方を教えてください
- ・Web ページを作るオススメの方法、ツール、ソフトは?

図 3: 知識構造の例

### 2.2 確率分布の学習

ユーザ質問文とユーザ応答文の学習データから、多クラス確率分類の手法を用いて、入力に対する情報要求の確率分布を学習する。今回は、Bag of Words を素性とし、ナイーブベイズの多項モデルを利用する。このとき、ユーザ応答文は、システムの聞き返し質問が知識の中にあり、ある程度ユーザの返答が予測できるため、用意したデータをそのまま学習に使う。一方で、ユーザ質問文の場合は、ユーザの情報要求を表すトピックを網羅できず確率値の精度が出ないため、人手で作った少数の質問文のみで確率分布を学習するのは適当ではない。そこで、疑似適合性フィードバック [Xu 96] を模した方法を利用して、大規模な情報資源から情報検索によってユーザ質問文の学習データを集める。

まず、用意した少数の質問文を形態素解析し、名詞集合  $S_n$  と他の自立語集合(今回は動詞と形容詞を用いる)  $S_v$  を抽出する。また、名詞が連続する場合は 1 つの複合名詞とみなして、 $S_n$  から複合名詞の集合  $S_c$  を作る。こうして、1 つの質問文について  $S_c \cup S_v$  から AND 検索のクエリを作り、情報資源(Web)に対してキーワード検索を行う。その検索結果の上位数件からタイトルとスニペットなどを抽出し、それらをユーザ質問文の学習データとする。このように学習データを集めることによって、トピックを広げること、また単語頻度の信頼性を上げることができる。また、1 つのクラス(情報要求)に属する質問文について、検索結果の重複を消去することで、用意した質問文の中に似たようなものが多くあることにより不適切に確率値が高くなることを防ぐことができると考えられる。

質問文と応答文の各学習データについて形態素解析を行い、 $S_n \cup S_v$  を抽出してこれを素性集合とする。これらにナイーブベイズの多項モデルを適用すると、ユーザの発話  $U$  が入力されたときの、各ノードが表現するユーザの情報要求  $I_i$  の確率分布  $P(I_i|U)$  は、

$$P(I_i|U) = \frac{P(I_i)P(U|I_i)}{\sum_{k=1}^N P(I_k)P(U|I_k)} \quad (1)$$

$$P(I_i) = \frac{1}{N} \quad (2)$$

$$P(U|I_i) = \prod_{w_j \in U} P(w_j|I_i)^{n_{w,U}} \quad (3)$$

と表すことが出来る．ここで  $N$  は全ノードの数であり， $n_{w,x}$  は文字列  $X$  に単語  $w$  が属する頻度である．この通り，今回は情報要求の事前確率を平均とし，事前分布を与えていない．また， $P(w|I)$  は情報要求  $I$  に属する単語の出現確率であり， $|W|$  を総語彙数， $\alpha$  を定数として，

$$P(w|I) = \frac{n_{w,I} + \alpha}{\sum_{w \in W} n_{w,I} + |W|\alpha} \quad (4)$$

を学習データから計算しておく（加算スムージング）．

### 2.3 対話処理と確率更新

求めた確率分布に基づいて対話処理を行い，曖昧性を解消するために得られたユーザ応答から確率分布を更新する処理について説明する．階層構造を知識として用いる研究として，例えば [伊藤 02] では，ディレクトリの階層構造を利用してビデオデッキマニュアルの検索を対話的に行う方法が提案されているが，これは末端ノードのみに情報が存在しており，ユーザの入力をいずれかの末端ノードと適合させるために階層構造に基づいた Yes-No 質問を利用している．また，[Mehta 10] では，木構造のペイジアンネットワークを用いて，対話によって割り当てられた属性を埋めていくモデルが提案されているが，これは全てのノードの値の組を求める問題を解くために確率推論が利用されている．これらに対して，本研究で扱う問題は，中間層を含めて1つのノードを特定するものである．そこでこの対話システムでは，階層構造を利用してノードをクラス分類することで，確率分布を更新するアルゴリズムを提案する．

まず，ユーザの質問入力に対して学習結果から情報要求の確率分布  $P(I_i|U_1)$  を推定し，その分布から曖昧性を評価する．最大確率のノードとその他のノードの確率値の差が大きい場合には，最尤と推定されたノードで応答するが，それが抽象ノードである場合には聞き返し質問を返し，情報要求を具体化する．一方，差が小さい場合には，確率値の高いノード群 (Alternative Nodes: AN) を定め，それらに共通する上位ノードを聞き返しノード (Question Node: QN) として特定し，このノードが持っている聞き返し質問を返す．それに対するユーザの返答結果から，聞き返しノードの子ノードの確率分布  $P(C_m|U_t)$  を推定し，以下の式により確率分布を更新する．

$$P(I_i|U_t) = \frac{P(I_i|U_{t-1})P^A(I_i|U_t)}{\sum_{k=1}^N P(I_k|U_{t-1})P^A(I_k|U_t)} \quad (5)$$

ここで， $P^A(I_i|U_t)$  は次のように定義する．

$$P^A(I_i|U_t) = \frac{1}{\sum_{m=1}^{|C|} n_{C_m} \frac{P(C_m|U_t)}{P(C_j|U_t)}} \quad (I_i \in C_j) \quad (6)$$

確率更新では，知識構造を利用してノードを各子ノードの下位に属すカテゴリー  $C$  に区分する (図 2)．ここで， $U_t$  はターン  $t$  におけるユーザの発話， $I_i$  は各ノードが表現するユーザの情報要求を表し， $n_{C_m}$  はカテゴリー  $C_m$  に属するノードの数である．また， $P^A(I_i|U_t)$  はユーザの返答  $U_t$  に対する，各カテゴリー  $C_j$  に属するノード  $I_i$  の事後確率を表す．

各発話ターンにおいて，対話状態 (Dialog State) を設定し，それぞれシステムの応答の仕方を変更する．その設定を表 1 に示す．情報要求に応じてシステムが返答をすることは，要求された情報の応答情報と検索結果を返すことを意味し，聞き返し質問は返答とは独立したシステムの発話として出力される．

表 1: 対話状態とシステム応答

Dialog State	状態の説明	応答処理
Initial	初期値または対話履歴消去後	質問の受付
Unknown	該当する情報要求なし	分からない旨を返答
Specified	該当する情報要求が唯一つで抽象ノードではない	情報要求に応じて返答し対話終了
Abstract	該当する情報要求が唯一つで抽象ノードである	情報要求に応じて返答し聞き返し質問を返す確率分布をリセット
Ambiguous1	Alternative Nodes として複数の情報要求が該当 (AN に QN は含まれない)	Question Node の聞き返し質問を返す (情報返答なし)
Ambiguous2	Alternative Nodes として複数の情報要求が該当 (AN に QN が含まれる)	Question Node の聞き返し質問を返す (情報返答あり)

## 3. 検証

### 3.1 動作検証

提案アーキテクチャに基づき，ドメインとして「Web ページ作成」に関する知識を構造化してシステムを構築した．図 4 は，抽象的な質問に対して情報要求を具体化する対話動作の例である．また図 4 は，情報不足な質問に対して曖昧な情報要求を適合させる対話動作の例である．このように提案システムでは「ホームページの作り方を教えて」などの抽象的な質問に対して，ホームページの形式や作成ツールの選択を聞き返すことで情報要求を具体化したり「フォームを作りたい」などの情報不足な質問に対して，必要情報のレベルや使用ツールなど詳細な情報を聞き返すことで情報要求を適合することが出来る．

### 3.2 ユーザ予備実験

実際に被験者に使用してもらう予備実験を行った．実験では，被験者に対して「ホームページを作って情報を発信したい」という状況設定を与え，情報を検索して知らないことを調べてもらった．情報検索においては，以下の3つのツールを使用して比較を行った．

1. キーワード検索  
Yahoo! JAPAN のキーワード検索サービスを利用した．
2. 自然言語による対話システム  
構築した提案システムをそのまま利用した．
3. 検索結果選択システム  
2のシステムと提供できる情報は同じだが，対話を行わずに，質問に対する情報を選択する方式のシステムである．提案システムの確率分布計算をそのまま使い，N-best 解のノードを列挙する方法で構築したシステムを利用した．

被験者に与えた問いは，ホームページを作りたいが，漠然とした要求しかない場合にどのようなツールを使うのがよいのかを調べる問題と，HTML のタグを使って実現したいことから，それぞれどのようなタグを使えばよいのかを調べる問題の二種類である．これらの問題について，ホームページへの要求 (例：頻繁の更新し，お金がかかたくない) と，タグで実現したいこと (例：画像を入れたい) をそれぞれ3種類ずつ用意し，上記の3つのツールで情報を検索してもらった．

被験者2名でこの予備実験をおこなった結果，対話によって図 4 および図 5 の対話例にあるような情報要求の適合と具体化の対話がそれぞれ実際に行われることを確認できた．また，ユーザが一つの文書に辿りついたとき，視聴時間が長ければある程度その文書は情報要求に対して妥当であった可能性が高いと考えられるため，予備実験における検索質問あたりの平均文

U : ユーザ S : システム

U : ホームページの作り方を教えて

S : 応答情報「ホームページの作り方」(右上图)  
 作りたいホームページの形式は決まっていますか?  
 ・静的なホームページ(あまり更新しない)  
 ・ブログ形式のホームページ(更新が容易)  
 あるいは、どのようなツールを使ってホームページを作るのかを選択するための情報が必要ですか?

U : ブログ形式のホームページ

S : 応答情報「ブログホームページ」(右下图)  
 アメーバブログなどの無料ブログサービスを利用しますか?  
 WordPressなどのCMSツールを使って自分だけのブログホームページを作成しますか?

U : 無料のサービスを利用する

S : 応答情報「無料ブログサービス」

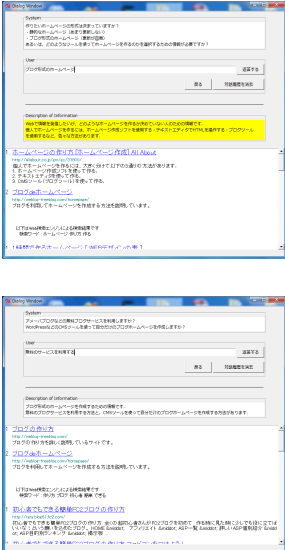


図 4: 対話動作例(情報要求の具体化)

U : ユーザ S : システム

U : フォームを作りたい

S : どのようなツールを使ってホームページを作っていますか?  
 ・ホームページビルダーなどのホームページ作成ソフトを使っていますか?  
 ・WordPressなどのCMSツールを使っていますか?  
 ・直接HTMLを編集していますか?

U : ワードプレスを使っている

S : 応答情報「WordPressで問い合わせフォームを設置する」(右図)

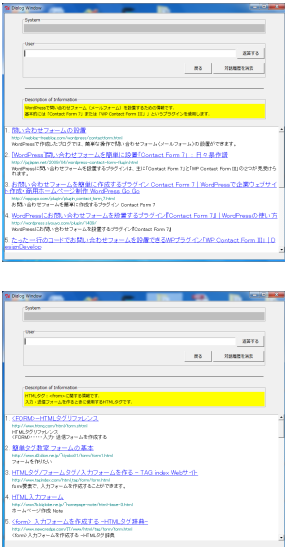


図 5: 対話動作例(情報要求の適合)

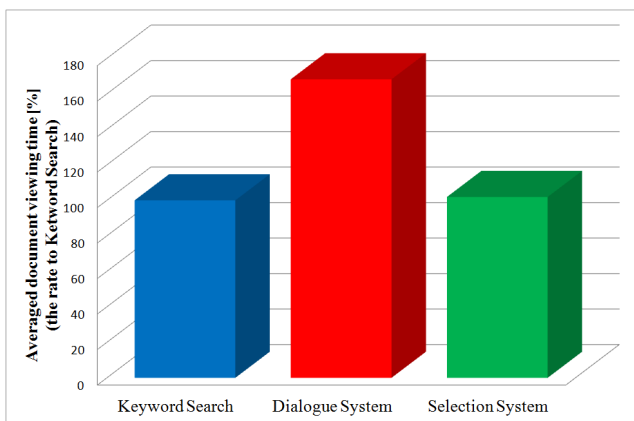


図 6: 平均視聴時間の関係

書視聴時間を比較した。その結果が図 6 である。提案システムによる対話の有効性がある程度示唆されていると言える。

実験後の被験者からは、キーワード検索では関係ない情報が多く出たが対話システムでは対話によって調べたいことを絞り込めた、システムが答えられないときにはそれが分かるようにして欲しい、といった意見が得られた。また、実験中に否定の表現に対応できていない(例:更新しない、広告を入れない)問題が散見された。これは確率分類の素性に Bag of Words を用いているためであり、今後改善していく必要がある。

#### 4. まとめ

本論文では、ユーザが詳細な知識を持っていないようなドメインで情報要求を具体化できる情報検索対話システム実現のために、階層的な知識構造に基づく確率的な意図推定によって情報要求の曖昧性を解消する対話システムのアーキテクチャを提案した。このアーキテクチャの利点は、緩い関係を定義としてドメインの知識をおおまかに構造化でき、情報要求を適合させるだけでなく、抽象的な情報要求を情報提供と対話によって具体化できることである。動作検証やユーザ予備実験の結果、想定するような対話が実際に行われることが確認できた。

今後は、より詳細で大規模なユーザ実験による比較評価や、人手で作る知識を少なくするために大規模な情報資源から直接曖昧性を計算したり、自動的に聞き返しを生成する枠組みの構成などを行う。また、情報要求の確率分布の学習精度を上げるために、ユーザの履歴を利用する方法や、WebのQ&Aサイトからの類似質問検索[Xue 08]などを応用する方法を検討する。さらに、ドメイン外の質問に対する応答も検討する。

#### 参考文献

[Denecke 05] Denecke, M. and Yasuda, N.: Does this answer your Question? Towards Dialogue Management for Restricted Domain Question Answering Systems, in *Proc. of SIGDial 2005*, pp. 65-76 (2005)

[伊藤 02] 伊藤亮介, 駒谷和範, 河原達也: 機器操作マニュアルの知識と構造を利用した音声対話ヘルプシステム, 情報処理学会論文誌, Vol. 43, No. 7, pp. 2147-2154 (2002)

[北村 08] 北村美穂子, 下畑さより, 介弘達哉, 池野篤司, 坂本仁, 折原幾夫, 村田稔樹: ラダリング型検索サービスのための対話エンジンの設計・開発, 情報処理学会自然言語処理研究報告, Vol. 2008, No. 67, pp. 97-102 (2008)

[清田 03] 清田陽司, 黒橋禎夫, 木戸冬子: 大規模テキスト知識ベースに基づく自動質問応答-ダイアログナビ-, 自然言語処理, Vol. 10, No. 4, pp. 145-176 (2003)

[Mehta 10] Mehta, N., Gupta, R., Raux, A., Ramachandran, D., and Krawczyk, S.: Probabilistic Ontology Trees for Belief Tracking in Dialog Systems, in *Proc. of SIGDial 2010*, pp. 37-46 (2010)

[Misu 10] Misu, T., Sugiura K. and Ohtake, K.: Modeling Spoken Decision Making Dialogue and Optimization of its Dialogue Strategy, in *Proc. of SIGDial 2010*, pp. 221-224 (2010)

[Taylor 68] Taylor, R. S.: Question-Negotiation and Information Seeking in Libraries, *College and Research Libraries*, Vol. 29, No. 3, pp. 178-194 (1968)

[Xu 96] Xu, J. and Croft, W. B.: Query Expansion Using Local and Global Document Analysis, in *Proc. of SIGIR 1996*, pp. 4-11 (1996)

[Xue 08] Xue, X., Jeon, J. and Bruce, W.: Retrieval Models for Question and Answer Archives, in *Proc. of SIGIR 2008*, pp. 475-482 (2008)