

## 情報伝達効率最大化に基づく音声対話制御法

堂坂浩二 安田宣仁 相川清明

日本電信電話株式会社, NTT コミュニケーション科学基礎研究所

### 1 はじめに

音声対話システムとは、ユーザとの音声対話を通して、与えられたタスクをユーザと協同で実行するシステムである。人とコンピュータが円滑で自然な音声対話を通して意思疎通できるようになれば、音声対話は理想的な人-コンピュータのインタフェースとなりえる。しかし、円滑な対話を実現するためには、音声認識誤りに対処する必要がある。このため、システムはユーザ要求内容を認識した結果をユーザに対して確認し、ユーザからの承認発話(例:「はい」)を待つ、要求内容を確定するという対話(確認対話)を実施することが普通である。音声認識誤りのため確認は必須ではあるが、過度に長い確認対話は対話の円滑さを損ねるので、無駄な確認は避けることが望ましい。

典型的な無駄な確認は、ユーザがシステムのデータベースに存在しない情報を要求したり、ユーザ要求内容がデータベース内容に比べて詳細すぎる場合に起きる [2]。気象情報案内システムを例にとる。システムは、警報がどこにも発表されていないと知っており、ユーザ発話内容が「神奈川県警報は？」であると認識された状況を想定する。このとき「神奈川県」を確認することは無駄である。なぜなら、場所を確認してもしなくても、システムの応答の長さはほとんど同じであり、場所を確認しない方が対話全体の長さを短くすることが可能であるからである。

音声対話システムとユーザの間で効率的な対話を実現するための対話制御法について盛んに研究が進められている [1, 3, 4]。これらの従来法は、確認対話の長さを削減することに注目しており、確認対話後にユーザに必要な情報を伝達するためのシステム応答を含む対話全体の長さを削減することを考慮していない。したがって、上に述べたような不必要な確認を回避できないという問題点がある。そこで、データベースの内容に応じて、最短の対話に必要な情報を伝達するデュアルコスト法と呼ばれる対話制御法をこれまでに提案してきた [2]。デュアルコスト法では、確認対話の長さ(確認コスト)と確認対話後にユーザに情報を伝達するシステム応答の長さ(情報伝達コスト)の和を対話コストととらえ、対話コストを最小化するように対話を制御する。どれほどの確認コストをかけてよいかは、情報伝達コストとの兼ね合いで決まり、情報伝達コストは、システムのデータベースの内容に大きく依存する。デュアルコスト法は、従来法とは異なり、データベースの内容に依存するシステム応答まで含めた対話全体の長さを削減することにより、従来法が避けることができなかった無駄な対話を回避できる。

デュアルコスト法は、未確定の要求内容に基づいて、ユーザにとって必要のない情報を伝達することを避けるた

めに、確定済みの要求内容のみに基づいてシステム応答を生成するという戦略をとる。しかし、この戦略は、対話全体の長さの削減を阻む原因にもなっている。システムにとって重要なことは、最短の対話で必要な情報を提供するという情報伝達効率の最大化である。確認を省いた結果、誤ったシステム応答を生成し、無駄なやり取りを行う可能性があったとしても、確認を省くことにより、対話全体の長さの期待値を削減できるならば、確定済みの内容のみに基づいて応答を生成することにこだわる必要はない。

例えば、気象情報案内システムにおいて、次の状況 S を想定する。

(状況 S) ユーザが明日の降水確率に関する情報を要求していることは確定済みである。ユーザが関心をもつ場所については、神奈川県であるとは認識しているが、確認はまだ行っていない。

ここで、場所についての確認を行ってから、確定済みの場所、日の降水確率を伝達するシステム応答を生成するという対話プラン A と、場所についての確認無しでシステム応答を生成し、ユーザがシステム応答の誤りを伝える拒否発話を行った場合には、対話をやり直し、今度は場所を確定した後、確定済みの要求内容に基づいて応答を生成するという対話プラン B について考える。対話プラン B のように、一部の項目の確認を省き、未確定の要求内容に基づいて情報伝達を行い、ユーザからの拒否発話があった場合には確認を行うという情報伝達方法を試行的な情報伝達と呼ぶ。対話プラン B は、ユーザが必要とする情報を含まないシステム応答を生成する可能性はあるが、当初のシステム理解結果が正しければ、場所の確認を無しで済ませることができるので、音声認識率とシステム応答の長さによっては、対話プラン B の方が対話プラン A よりも対話の長さの期待値が小さくなる可能性がある。

本稿では、旧デュアルコスト法 [2] を拡張し、試行的な情報伝達を考慮した上で、データベースの内容に応じて最短の対話でユーザに必要な情報を伝達することを可能とする試行型デュアルコスト法を提案する。また、シミュレーション対話実験の結果を示し、試行型デュアルコスト法の有効性について論じる。

### 2 音声対話システムの対話制御

システムとユーザの対話は、ユーザ要求確定フェーズとシステム情報伝達フェーズという2つのフェーズの間を移行しながら進行する。ユーザ要求確定フェーズでは、システムとユーザは確認対話を通してユーザ要求内容を確定していく。システムがユーザ要求内容を理解した結果は、シ

システム理解状態として保持される。システム理解状態は、3つ組〈属性、値、確定フラグ〉の集合として保持される。ユーザ要求タイプの種類と属性の全体集合はタスクごとに決まっている。各ユーザ要求タイプについて、ユーザ要求の内容として含むことができる属性と、各属性がとりうる値の範囲が決まっている。各ユーザ要求タイプについて、ユーザ要求内容として含むことができる属性を有効な属性、値としてとりうる属性値を有効な属性値とよぶ。有効でない属性、属性値を無効な属性、属性値とよぶ。確定フラグは、属性の値が確認対話により確定するまで「未」という値をとり、確認対話により確定されると「済」という値をとる。

ユーザ要求確定フェーズでは、システム理解状態にしたがって、確認行動、情報要求行動のいずれかの行動を行う。確認行動とは、システム理解状態において値が与えられている属性について、ユーザに対して属性値を確認する発話（確認発話）を行い、「はい」といったユーザの肯定的な発話（承認発話）によって属性値が確定されるまで、その属性の値の確認を繰り返すという行動である。ユーザは、承認発話以外に、システムの確認内容を訂正する発話（訂正発話）を行うことができる。情報要求行動とは、システム理解状態において値が与えられていない属性について、ユーザに対して属性の値を要求する発話（情報要求発話）を行い、その後、その属性についての確認行動を実施するという行動である。すなわち、情報要求行動とは一つの情報要求発話に続く確認行動と同等である。

システム情報伝達フェーズでは、その時点のシステム理解状態に沿って、必要な情報をユーザに伝達するシステム応答を生成する。ユーザは、システム応答が必要な情報を含んでいないなら、システム応答を拒否する拒否発話を行う。ユーザの拒否発話を受けたら、システムはユーザ要求確定フェーズに戻って対話をやり直す。システム情報伝達フェーズにおいて必要な情報をユーザに伝達するためのシステム応答を生成するという行動を情報伝達行動と呼ぶ。情報伝達行動として、確定的な情報伝達行動と、試行的な情報伝達行動の2種類の行動を考える。確定的な情報伝達行動とは、確定済みの要求内容にしたがってシステム応答を生成するという行動である。試行的な情報伝達行動とは、確定済みの要求内容に加えて、未確認の属性の値を正しいものと仮定して、システム応答を生成し、システム応答終了後、ユーザの拒否発話を受けたら、ユーザ要求確定フェーズに戻って、その属性の確認行動を開始するという行動である。未確定の属性の値の確からしさは、属性値の音声認識率や対話文脈に依存して決まる。

対話制御とは、対話の各時点において、対話を効率的に実施するという観点から最適なシステム行動を決定することである。システム行動としては、上に述べたように、確認行動、情報要求行動、確定的な情報伝達行動、試行的な情報伝達行動がある。

本稿では気象情報案内を行うシステムを想定する。ユーザ要求タイプとして、警報問い合わせ、天気問い合わせ、気温問い合わせ、降水確率問い合わせの4種類のユーザ

要求タイプを考える。属性の全体集合は、場所、日、警報種別、情報種別の4つの属性から成る集合である。場所属性は、どのユーザ要求タイプでも有効な属性であり、特定の場所の名前を値としてとる。日属性は、ユーザ要求タイプが天気、気温、降水確率の問い合わせであるなら、今日か明日という値をとる。警報問い合わせでは、日属性は無効な属性である。警報種別属性は、大雨、洪水といった値をとり、天気問い合わせ、気温問い合わせ、降水確率問い合わせの各ユーザ要求タイプにとっては無効な属性である。情報種別属性は、ユーザ要求タイプに応じて、警報、天気、気温、降水確率という値をとる。警報という属性値は、ユーザ要求タイプが警報問い合わせであるときにのみ有効であり、他のユーザ要求タイプでは無効である。天気、気温、降水確率という属性値についても、同様である。

たとえば、1節で取り上げた状況Sでは、システム理解状態は次のようになる。

{〈場所、神奈川県、未〉、〈日、明日、済〉、  
〈情報種別、降水、済〉}

### 3 試行型デュアルコスト法

試行型デュアルコスト法は次のように動作する。

(Step1) ユーザ要求確定フェーズにおいて、現時点のシステム理解状態で確定済となっている属性値が無効となるようなユーザ要求タイプを排除することにより、現時点で可能なユーザ要求タイプを導き出す。可能なユーザ要求タイプごとに、可能な対話プランをすべて生成する。対話プランとは、対話手順を表したシステム行動の列である。

(Step2) 現時点で実行可能なシステム行動をすべて生成する。各システム行動と各ユーザ要求タイプごとに、現時点でその行動の実行を許す対話プランで、最小の対話コストをもつプランを選択する。選択されたプランの対話コストを各ユーザ要求タイプにおけるシステム行動の随伴対話コストと呼ぶ。

(Step3) ユーザ要求タイプの確率分布に基づいて、各システム行動の随伴対話コストの期待値を計算し、随伴対話コストの期待値が最小となるシステム行動を選択する。

(Step4) 選択されたシステム行動の種別にしたがって、次のいずれかの行動を行う。

(Step4-1) 選択されたシステム行動が確定的な情報伝達行動ならば、その確定型の情報伝達行動に沿ってシステム応答を生成し、対話を終了する。

(Step4-2) 選択されたシステム行動が確認行動か情報要求行動であるなら、その行動を実行する。ユーザからの応答を待って、システム理解状態を更新し、(Step1)に戻る。

(Step4-3) 選択されたシステム行動が、試行的な情報伝達行動ならば、その試行型の情報伝達行動

に沿ってシステム応答を生成する。システム応答後にユーザが拒否発話を行ったら、その試行型の情報伝達行動に伴う確認行動を実行する。ユーザからの応答を待って、システム理解状態を更新し、(Step1)に戻る。

これまでに提案してきた旧デュアルコスト法 [2] では、(Step1)、(Step2)において、確認行動、情報要求行動、確定的な情報伝達行動のみを考え、試行的な情報伝達行動は考慮しなかった。また、旧デュアルコスト法では、(Step4-3)は存在しない。旧デュアルコスト法と試行型デュアルコスト法の違いは以上の点のみである<sup>1</sup>。新旧のデュアルコスト法の違いは、旧デュアルコスト法が、属性の確認行動と後続する確定的な情報伝達行動を選択するときに、試行型デュアルコスト法では、その属性の確認を後回しにする試行的な情報伝達行動を選択する場合があることにある。音声認識率とシステム応答の長さによっては、試行型デュアルコスト法の方が短い対話で情報を伝達できる場合がある。

対話プランの対話コストについて説明する。確認コストは確認対話の長さの期待値であり、情報伝達コストはシステム応答の長さの期待値である。対話プランに含まれる各システム行動の確認コストと情報伝達コストについて説明する。

まず、確認行動の確認コストについて考える。属性の集合が与えられるとき、すべての属性の値を確定するための確認行動の確認コストは、その属性をすべて正しく認識する属性認識率を  $p$ 、確認すべき属性の数を  $m$  個とするとき、次の式で定義される [2]。

$$Cost_c(p, m) = \frac{2m}{p} - m + 1$$

与えらたすべての属性の値を確定するための情報要求行動の確認コストは、次の式で定義される [2]。

$$Cost_s(p, m) = \frac{2m}{p} + m + 1$$

確定的な情報伝達行動の情報伝達コストは、生成されるシステム応答に含まれる自立語の数の期待値であると定義する [2]。

未確定の属性集合  $A$  の値が正しいと仮定したときの試行的な情報伝達行動について考える。属性集合  $A$  の値がすべて正しいならば、実際に実行される行動は、属性集合  $A$  の値がすべて正しいとしたときのシステム応答のみとなる。属性集合  $A$  のいずれかの値が誤っているときは、まず、属性集合  $A$  の値がすべて正しいとした上でシステム応答  $Res_1$  を生成し、ユーザからの拒否発話を受けた後、属性集合  $A$  についての確認行動  $Act_c$  を行い、属性集合  $A$  の正しい値を確定した後に、システム応答  $Res_2$  をや

<sup>1</sup> 文献 [2] では、行動の損失という概念を用いて、デュアルコスト法の計算手順を示したが、本稿では、行動の損失という概念を使わず、代わりに、行動の随伴対話コストという概念を用いた。どちらの概念を用いても、デュアルコスト法の効果は同等である。

り直すことになる。属性集合  $A$  に含まれる属性の数を  $m$ 、属性認識率を  $p$  とすると、確認行動  $Act_c$  の確認コストは  $Cost_c(p, m)$  と書ける。ユーザからの拒否発話の長さは 1 であるとし、確認コストに組み入れる。現在のシステム理解状態において、未確定の属性集合  $A$  の値がすべて正しい確率を  $q$  とすると、試行的な情報伝達行動の確認コストは次のようになる。

$$(1 - q)(1 + Cost_c(p, m))$$

応答  $Res_1$  に含まれる自立語の数の期待値を  $J_1$ 、応答  $Res_2$  に含まれる自立語の数の期待値を  $J_2$  とする。試行的な情報伝達行動の情報伝達コストは、確率  $q$  で応答  $Res_1$  を生成し、確率  $1 - q$  で応答  $Res_1$  と  $Res_2$  の両方を生成することになるから、次のようになる。

$$qJ_1 + (1 - q)(J_1 + J_2)$$

対話プランの対話コストは、対話プランに含まれる各行動の確認コストと情報伝達コストの和である。

#### 4 シミュレーション対話実験

システムと模擬ユーザとの間のシミュレーション対話実験によって、試行型デュアルコスト法の評価を行った。模擬ユーザとは、実ユーザの振舞をシミュレートするエージェントである。システムと模擬ユーザは、音声で対話するのではなく、発話内容を属性と値の対のリストとして表現した上で、属性と値の対のリストをやり取りすることによって対話を行う。ユーザの発話内容をシステムに送るときには、属性認識率に応じて属性値に誤りが含まれるように、システムの音声認識誤りをシミュレートした。また、未確定の属性の値が正しい確率は属性認識率と等しいとした。

実験で用いたタスクは気象情報案内タスクである。場所は 50 個の都市、日は今日か明日の 2 通りである。警報種別としては、洪水、大雨など 10 個の種別がある。システムは、データベースの中に、各都市の今日、明日の天気、最高気温と最低気温、6 時間ごとの降水確率のデータを保持している。また、警報については、現在どこにも警報は発表されていないということをデータとして保持している。

試行型デュアルコスト法と比較するために、提案済みの旧デュアルコスト法に加えて、システムのデータベースの内容にかかわらずユーザ要求の内容のすべてを逐一確認する 2 つの従来方法として、従来法 1、従来法 2 と呼ぶ対話制御方法を用いた。従来法 1 は、できるだけ多くの属性を一度に確定しようとする方法であり、従来法 2 は、属性を一つずつ確定する方法である [2]。

シミュレーション対話実験では、4 つのユーザ要求タイプごとに、ユーザの要求内容をランダムに生成した。各属性の属性認識率を等しく 0.7 から 1.0 まで 0.01 刻みで変化させていった。各認識率において 5000 回のシミュレーション対話を実施された。4 つの対話制御法の性能を対話の効率性の観点から比較した。対話の効率性は、タスクが完了するまでの対話の長さの平均によって評価した。

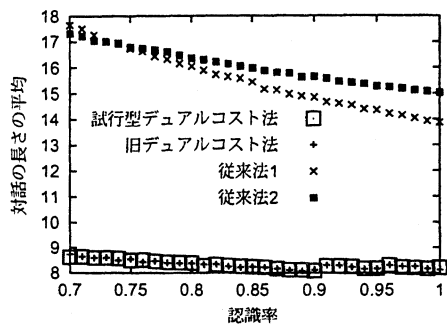


図 1: ユーザ要求タイプが警報問い合わせの場合における属性認識率に応じた対話の長さの平均

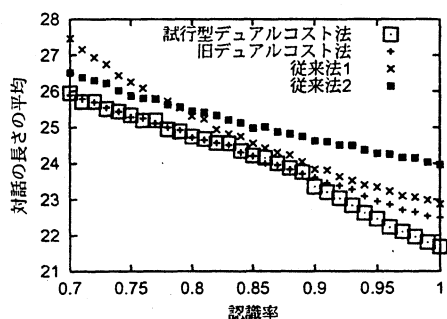


図 2: ユーザ要求タイプが降水確率問い合わせの場合における属性認識率に応じた対話の長さの平均

シミュレーション対話実験の結果を示す。図 1 は、ユーザ要求タイプが警報問い合わせの場合における属性の認識率に応じた対話の長さの平均の推移を示しており、図 2 は、ユーザ要求タイプが降水確率問い合わせの場合における属性の認識率に応じた対話の長さの平均の推移を示している。警報問い合わせの場合は、場所属性の確認を回避できるという点で、デュアルコスト法の効果が最も発揮されやすい場合であり、降水確率問い合わせの場合は、デュアルコスト法であっても、場所属性、日属性、情報種別属性のすべてを確認しなければならない場合がほとんどであり、デュアルコスト法の効果を発揮することが困難な場合であるからである。両極端な場合を取り上げることで、新、旧のデュアルコスト法にとって有利な状況では、デュアルコスト法が実際に効果を上げることができ、そうでない状況であっても、従来法に比べて対話の効率を低下させないことを実証することを目的とする。

両図から分るように、旧デュアルコスト法、試行型デュアルコスト法ともに、従来法 1、従来法 2 に比べて、短い対話で必要な情報を伝達できている。図 1 から分るように、警報問い合わせの場合、旧デュアルコスト法、試行型デュアルコスト法の効率が大きく従来法 1、2 の効率を上回っている。これは、現在のデータベースでは警報がどこにも発

表されていないので、デュアルコスト法は、場所、日の属性の確認を省くことができるためである。旧デュアルコスト法と試行型デュアルコスト法の効率が変わらないのは、警報問い合わせの場合、旧デュアルコスト法であっても、情報種別のみを確認するという最善の戦略を選ぶことができるので、旧デュアルコスト法を改良した試行型デュアルコスト法の利点を活かす余地がないためである。

図 2 では、音声認識率が高い状況では、旧デュアルコスト法の効率性は従来法 1 とほぼ同じである。このことから、旧デュアルコスト法は、データベース内容によらずユーザ要求のすべてを逐一確認しなければならないような場合であっても、対話の効率を低下させることはないことが分る。加えて、試行型デュアルコスト法は、音声認識率が高い状況では、従来法、旧デュアルコスト法に比べて、短い対話で必要な情報を伝達できている。試行型デュアルコスト法は、日や場所の属性を確認することなく、試行的な情報伝達を行うことにより、日や場所の属性を確定した後に確定的な情報伝達を行う他の方法よりも、対話全体の長さを削減できるためである。

## 5 おわりに

本稿では試行型デュアルコスト法とよぶ音声対話制御法を提案した。試行型デュアルコスト法は、旧デュアルコスト法 [2] と同様に、システムのデータベース内容に応じて最短の対話でユーザが必要とする情報を提供できる。加えて、ユーザ要求の一部を確認することなしに、未確定の要求内容に基づいて情報を伝達し、誤った情報を伝達したことが判明したら、対話をやり直し、今度は未確定の項目の確認をした後に、確実な要求内容に基づいて情報を伝達するという対話プランまで考慮に入れた上で、ユーザの必要とする情報を最短の対話で伝達することができる。

謝辞: 日頃よりご指導いただくメディア情報研究部 村瀬洋部長、熱心に討論して下さるマルチモーダル対話研究グループの諸氏に感謝致します。

## 参考文献

- [1] Jennifer Chu-Carroll. Mimic: an adaptive mixed initiative spoken dialogue system for information queries. In *Proc. of ANLP-2000*, pp. 97-104, 2000.
- [2] 堂坂浩二, 安田宜仁, 相川清明. システム知識制限下での効率的音声対話制御, 自然言語処理, Vol.9, No.1, pp.43-63 (2002).
- [3] Yasuhisa Niimi and Yutaka Kobayashi. Dialog control strategy based on the reliability of speech recognition. In: *Proc. ICSLP*, 1996.
- [4] Satinder Singh, Michael S. Kearns, Diane J. Litman, and Marilyn A. Walker. Empirical evaluation of a reinforcement learning spoken dialogue system. In *Proc. AAAI-2000*, pp. 645-651, 2000.