

TR-0862

目標指向型対話システムにおける発話の
生成方式

今村 誠 (三菱)、小谷 亮 (三菱)、
近藤 省造 (三菱)、田中 千代治 (三菱)

© Copyright 1994-1-5 ICOT, JAPAN ALL RIGHTS RESERVED

ICOT

Mita Kokusai Bldg. 21F
4-28 Mita 1-Chome
Minato-ku Tokyo 108 Japan

(03)3456-3191~5

Institute for New Generation Computer Technology

目標指向型対話システムにおける発話の生成方式†

今村 誠‡ 小谷 亮‡ 近藤 省造‡ 田中 千代治†

概要

ユーザの目標達成を支援する対話システムでは、対話のなされている状況に応じた発話を生成する機構が重要となる。従来の自然言語対話システムでは、状況に応じた発話を生成するために、ある対話の目的と文脈に対する対話の進め方を記述する、問題領域と独立な定型的ルールを用いるものが多かった。しかし、この方式では、理解しやすさと簡潔性のような互いに相反する条件を適度に満たす発話や問題領域の固有の知識が対話の流れに影響するような発話を生成することが困難になる。この原因は、個々のルールの適用制御の複雑化に起因している。本稿では、この問題点の解決を目的として、与えられた文脈における次発話で達成される部分目標としての妥当さを評価する尺度を導入することを特徴とするプランに基づく発話生成方式を提案する。本方式では、従来の対話システムにおける対話制御ルールを、部分目標としての妥当さを評価する関数として表現するので、ルール適用の制御の問題は部分目標の評価値の大小を比較する単純な問題に帰着される。本方式によれば、ユーザのおかれている状況や目標の達成状況に応じた発話生成を、従来のプランに基づく発話生成方式を拡張した単純な機構によって実現できた。

1 はじめに

目的指向型対話においては、対話のながれをどのように組み立てるかは、対話の効率や理解のしやすさに大きく影響する。したがって、ユーザの目標達成を支援する対話システムを実現するためには、対話のなされている文脈に応じて、柔軟な発話を生成する機能が不可欠である。すなわち、ユーザのおかれている状況や目標の達成状況に応じて、ユーザの状態を把握するための質問、目標達成に必要な行為を促す提案、目的達成に必要な情報伝達を行なう必要がある。

このような応答を生成する方式に関しては、いくつかの研究がなされている。佐川ら [1] は、典型的な対話のパターンを記述した状態遷移ルールと対話の焦点を管理する機構を導入することにより、文脈に依存した入れ子構造をなした対話制御を実現している。加藤ら [2] は、継続、後退、進行、分岐などの話題の推移に基づいて、スタックに格納された話題の履歴を操作することにより、一貫性のある対話を生成する方式を提案している。Moore ら [3] は、対話によって達成しようとする目標、その目標を達成するプラン、そのプランを構成する際に用いられる仮定を記録することによって、対話の進行に伴って変化する文脈に応じた説明の生成方式を提案している。Cawsey [4] は、対話における話題の中断や転換に対応するため、説明に含まれるべき内容を決定するプランニングと話題転換などの対話制御に関するプランニングからなる説明生成方式を提案している。

これらのアプローチは、対話処理に必要な知識を、対話によって解決しようとする問題領域に関する知識と対話の流れを管理する知識とに分離することによって、問題領域に依存しない対話制御方式を提案している。いずれの手法もルール記述に用いる概念を細分化したり、ルール自体を追加することによって、より柔軟な対話制御を実現することができる。

一方、目的指向型対話の流れは、「対話は導入、中身、終了からなる」、「知識の獲得は、自分の質問生成と相手の質問への応答によって達成される」などの問題領域に独立な定型的ルールでは記述するのが困難な場合もある。例えば、対話で扱う目標を達成するために重要な発話が優先されたり、目標が達成されるかぎり省略や話題転換が許される場合などがそれにあたる。さらに、理解しやすさという観点からは、ある発話が好ましいが、冗長性の観点か

†Generating Explanations in Goal Oriented Dialogue Systems by Makoto IMAMURA, Akira KOTANI, Shozo KONDO, Chiyoji Tanaka(Mitsubishi Electric Corporation)

‡三菱電機株式会社 パーソナル情報機器開発研究所

†情報システム開発研究所

本研究は、(財)新世代コンピュータ技術開発機構 (ICOT) からの委託により第五世代コンピュータプロジェクトの一環として行なわれたものである。

らは、また別の発話が好ましいなど、相反する条件をほとんど満たす発話が要求される場合もある。このような発話生成に対応するために、問題領域に独立な定型的なルールを追加していくと、ルールの増大とルール適用制御が複雑化するという問題が生じる。

本稿では、上記の問題を解決することを目的とした発話生成方式について述べる。本方式のアプローチの概略は以下の通りである。

① 対話を問題解決過程とみなす。

Cohen ら [5] や Appelt [6] と同様に、情報伝達、質問、参照のような発話を、聴者の状態を変化させる行為とみなし、物理的な行為と同様の枠組で記述する。さらに、Grosz ら [7]、Littman [8] と同様に、対話の流れが一貫性を持っていることを、対話によって達成しようとする目標との関係によってとらえる。すなわち、対話処理を、対話の目標を達成しようとする問題解決の過程として扱う。この観点では、システムの発話生成は、ユーザの目標に対するある部分目標を達成する行為の実現に相当し、対話制御は、次発話によって達成を試みる部分目標を選択することに相当する。

② 次発話で達成を試みる部分目標としての妥当性を評価する尺度を導入する。

本稿では、Beaugrande らが提案する対話が満たすべき基準 [9] の一部を次発話によって達成を試みる部分目標を選択するためのヒューリスティックとして具体化する。すなわち、「発話がどの程度ユーザの目標達成に貢献しているか」、「発話がユーザにとって十分な情報量があるか」、「発話は対話のなされた文脈と適切に結合されているか」、「発話がユーザの労力が最小限となるように計画されているか」などの基準をプランに基づく対話処理の観点から解釈することによって、発話によって解決する部分目標としての妥当性を評価する関数を定義する。対話によって解決しようとする全体の目標に対する部分目標中で評価値のもっとも高いものを選択し、その部分目標を達成する発話を生成する。

本稿の構成は以下のとおりである。2章では、発話生成において、本稿で解決しようとする問題点について述べる。3章では、上記①で述べた本方式が前提とする対話処理方式全体について概観した後、4章で、②で述べた評価関数を用いた部分目標の選択方式について述べる。5章では、実験システムの動作概要を例題に即して述べ、最後の6章で、今後の課題についてまとめる。

2 応答生成における問題点

対話の流れは、対話によって解決しようとする問題領域に関する知識やユーザのおかれている状態などの対話のなされる状況と複雑に関連しあっている。本章では、これらの関連が、円滑な対話の流れを実現する発話生成におけるルール記述を困難にしていることについて、二つの例をあげて説明する。

(1) 対話例 1

以下に、対話の流れが、問題領域の個別の知識に依存することを示す例をあげる。以下の対話例では、Uで始まる識別子はユーザの発話であることを示し、Sで始まる識別子はシステムの発話であることを示す。

① 対話例 1a

U1a1: トラベラーズチェックを落としたので、再発行したいのですが。
S1a1: トラベラーズチェックの購入控えは持っていますか?
U1a2: いいえ。
S1a2: 失礼ですが、トラベラーズチェックの購入控えがないと再発行できません。

② 対話例 1b

U1b1: トラベラーズチェックを落としたので、再発行したいのですが。
S1b1: トラベラーズチェックの紛失証明書は持っていますか?
U1b2: いいえ。
S1b2: トラベラーズチェックの購入控えは持っていますか?
U1b3: いいえ。
S1b3: 失礼ですが、トラベラーズチェックの購入控えがないと再発行できません。

上の例は、システムのユーザに対する質問の順序によって、対話に要するインタラクション数が異なることを示す。トラベラーズチェックの再発行するためには、購入控えと紛失証明書が必要だが、紛失証明書は警察署で

発行してもらえるのに対して、購入控えはそれを紛失した場合に再び手に入れる方法はない。そこで、購入控えを所持していない場合には、紛失証明の所持にかかわらず結論は同じとなる。このような場合は、対話例 1a のように、購入控えの所持を先に確認する方が、システムとユーザとのインタラクションの回数を減らすことができるという点で望ましいといえる。したがって、対話例 1 a のような発話を生成するには、問題領域の個別の知識を利用して、ユーザの目標を達成にとって、より重要な発話を優先させる機構が必要となる。

(2) 対話例 2

以下に、相反する二つの条件を適度に満たす発話を生成しなければならない例をあげる。

① 対話例 2a

U2a1: トラベラーズチェックを落とした。
S2a1: トラベラーズチェックの購入控えは持っていますか？
U2a2: はい。
S2a2: トラベラーズチェックの紛失証明書は持っていますか？
U2a3: はい。
S2a3: 銀行でトラベラーズチェックの再発行の申請ができます。

② 対話例 2b

U2b1: トラベラーズチェックを落とした。
S2b1: トラベラーズチェックの購入控えは持っていますか？
U2b2: はい。
S2b2: 紛失証明書があれば、銀行でトラベラーズチェックを再発行の申請ができます。
 紛失証明書がない場合には、警察署で発行してもらえます。

③ 対話例 2 c

U2c1: トラベラーズチェックを落とした。
S2c1: 購入控えと紛失証明書があれば、銀行でトラベラーズチェックを再発行の申請ができます。
 購入控えがなければ、トラベラーズチェックの再発行はできませんが、紛失証明書だけがない場合には、警察署で発行してもらえます。

いずれの対話も「トラベラーズチェックの再発行方法の伝達」という同じ目標を達成しており、また問題領域に関する同じ知識を利用しているが、前の対話例ほど、場面に特化した情報を提供しているという点で理解しやすいといえる。なぜなら、置かれた状況に応じた行為を選択する作業をシステム側がより多く負担しているからである。一方、後ろの対話例ほど、対話のインタラクション数が小さく、より一般的な情報を提示しているため応用性に富むという点で、能率的であるといえる。このような発話を生成し分けるには、理解のしやすさと能率性という相反する条件のどちらをどの程度優先するかという基準が必要となる。この例では、ユーザの推論能力に応じて発話を選択することが望ましい。なぜなら、ユーザの推論能力が高い場合には、能率が理解のしやすさよりもより重要となるので、後の対話例の方が望ましく、逆の場合は、前の対話例の方が望ましいといえるからである。以上の検討をまとめると、対話例 2 のような発話を生成するには、ユーザの推論能力のような対話のなされる状況に応じて、達成すべき目標の細かさを選択する機構が必要といえる。

3 対話処理のモデル

本章では、本稿で提案する発話生成方式が前提とするプランに基づく対話処理のモデルについて述べる。本モデルでは、対話の進行を、対話の部分目標を達成する行為列を求めるプランニングとその行為列の実行を繰り返す過程とみなす。以下に、対話処理の過程で用いられる知識表現と処理の流れについて説明する。

3.1 知識表現

対話処理の過程では、ユーザの目標達成に必要な知識であるプランを用いて、対話によって達成しようとする目標を管理する意図構造が中間的に生成される。以下、この処理過程を説明する上で重要となる「発話」「プラン」「意図構造」の表現方式について述べる。

3.1.1 発話

発話は、聴者の信念の状態に影響を与える情報伝達、質問などの発話行為としてモデル化する。発話行為と聴者の信念の状態は、各々表 1、2 に示す論理式を用いて表現される。例えば、例 2a の対話例における発話行為とその発話行為によって達成される聴者の信念の状態は、表 3 のように表現される。但し、表 3 の論理式の引き数中では、大文字で始まる文字列は変数であることを示し、ユーザを u と、システムを s と、トラベラーズチェックを tc と略記する。また、論理式 $\text{plan}(P,A,E)$ は、「条件 P の元で、行為 A を行なえば、状態 E が達成される」ことを示す。

表 1: 発話行為の表現 (部分)

構文	意味
$\text{inform}(A,B,P)$	主体 A が主体 B に命題 P を伝達する。
$\text{inform_if}(A,B,P,T)$	主体 A が主体 B に命題 P の真偽値が T であることを伝達する。
$\text{inform_ref}(A,B,O,Atr,V)$	主体 A が主体 B にオブジェクト O の属性 Atr の値が V であることを伝達する。
$\text{request}(A,B,Act)$	主体 A が主体 B に行為 Act を実行することを依頼する。

表 2: 信念の状態の表現 (部分)

構文	意味
$\text{bel}(A,P)$	主体 A は命題 P を信じている。
$\text{bel_if}(A,P,T)$	主体 A は命題 P の真偽値が T であると信じている。
$\text{bel_ref}(A,O,Atr,V)$	主体 A はオブジェクト O の属性 Atr の値が V であると信じている。
$\text{goal}(A,P)$	主体 A は命題 P が成立する状態を目標としてもつ。

表 3: 対話例 2a における発話行為と達成される聴者の信念の状態

発話	発話行為	達成される聴者の信念の状態
U2a1	$\text{inform}(u,s, \text{落とした}(u,tc))$	$\text{bel}(s, \text{goal}(u, \text{持つ}(u,tc)))$
S2a1	$\text{request}(s,u, \text{inform_if}(u, \text{持つ}(u, \text{購入控え}), T))$	$\text{bel}(u, \text{goal}(s, \text{bel_if}(s, \text{持つ}(u, \text{購入控え}), T)))$
U2a2	$\text{inform_if}(u,s, \text{持つ}(u, \text{購入控え}), \text{true})$	$\text{bel_if}(s, \text{持つ}(u, \text{購入控え}), \text{true})$
S2a2	$\text{request}(s,u, \text{inform_if}(u, \text{持つ}(u, \text{紛失証明書}), T))$	$\text{bel}(u, \text{goal}(s, \text{bel_if}(s, \text{持つ}(u, \text{紛失証明書}), T)))$
U2a3	$\text{inform_if}(u,s, \text{持つ}(u, \text{購入控え}), \text{true})$	$\text{bel_if}(u,s, \text{持つ}(u, \text{購入控え}), \text{true})$
S2a3	$\text{inform}(s,u, \text{plan}([], \text{申請する}(u, \text{再発行}(tc), \text{銀行}), \text{持つ}(u,tc)))$	$\text{bel}(u, \text{plan}([], \text{申請する}(u, \text{再発行}(tc), \text{銀行}), \text{持つ}(u,tc)))$

3.1.2 ブラン

ブランは、行為とその行為実行後の状態の変化との関係を表現する知識であり、表 4 に示す 8 つのスロットに論理式を埋める形式 (プランスキーマ) で記述する。本スキーマの特徴は、論理ベースのプランニングにおいて通常用いられる STRIPS のプランスキーマ [10] と比べて、行為が目標を達成するために必要な条件に相当する部分を適用条件 (図表では、AC と略記)、スキーマ条件 (SC と略記)、前提条件 (PC と略記)、欲求条件 (WC と略記) の 4 条件に細分化されている点にある。

(1) 発話行為プランスキーマ

表 1 に示す発話行為に関する知識は、各々図 1 に示すようなスキーマによって記述される。この例は、「話者 S が聴者 H に命題 P を伝達する行為は、話者 S が命題 P を信じており、かつ聴者 H が命題 P を信じることを話者 S の目標としてもつ場合に実行され、聴者 H が命題 P を信じるという結果が引き起こされる」という知識を表現する。

(2) ドメインプランスキーマ

表 4: プラン記述のためのスロット

スロット名	説明
HEADER	プラン名
AC	プラン実行の制約条件. この成立していない場合には, プランの適用を断念する.
PC	DECOMP の行為列を実行するために必要な条件.
SC	DECOMP の行為列実行した場合に GOAL に示す状態が達成されるために必要な条件.
WC	DECOMP 中の行為の主体者が DECOMP 中の行為を実行したくなるために必要な条件
DECOMP	HEADER の行為を達成するより下位の行為列.
EFFECT	DECOMP 中の行為を実行した後の状態を特徴付ける論理式.
GOAL	プランが目標とする状態を特徴付ける論理式.
CONST	他のスロット中のパラメータ間で成立する制約.

```
[ HEADER:      inform(S,H,P)
  PC:          bel(S,P)
  WC:          goal(S,bel(H,P))
  EFFECT:      bel(H,P)
  GOAL:        bel(H,P) ]
```

図 1: 発話行為プランスキーマの例

ドメインプランは、対話が対象とする問題領域に関する目標を達成するために用いられる領域固有の知識である。図 2 に、対話例 2 a で用いられるドメイン知識の例を示す。トラベラーズチェックを再発行するには購入控えと紛失証明書をもつ必要があり、ユーザに行為の実行を促すためには、「銀行で申請をすることによってトラベラーズチェックを再発行できること」を知らせればよいことを表現する。

```
[ HEADER: 再発行(tc)
  AP:      持つ(U, 購入控え)
  PC:      いる(U, 銀行)
  SC:      持つ(U, 紛失証明書)
  WC:      bel(U,plan(持つ(U, 購入控え)
                    ∧ 持つ(U, 紛失証明書),
                    申請する(U, 再発行(tc), 銀行),
                    持つ(U,tc))
  DECOMP: 申請する(U, 再発行(tc))
  EFFECT: 持つ(U, tc)
  GOAL:   持つ(U, tc) ]
```

図 2: ドメインプランスキーマの例

3.1.3 意図構造

意図構造は、対話によって最終的に達成しようとする目標の部分目標として何があるか、その中のどの部分目標が達成済みか、また現在どの部分目標をどのプランによって達成しようとしているかを表現するデータ構造であり、ラベル付木と部分目標履歴スタックから構成される。

図 3 は、対話例 2a の発話 S2a1 生成時のラベル付木であり、「ユーザが tc を持つ」という目標に対する部分目標とその部分目標を達成する行為との関係が記述されている。ラベル付木は、ドメインプランを用いて構成され、ラベルには、プランのスロット名が、ノードにはスロットの値である状態や行為が入る。

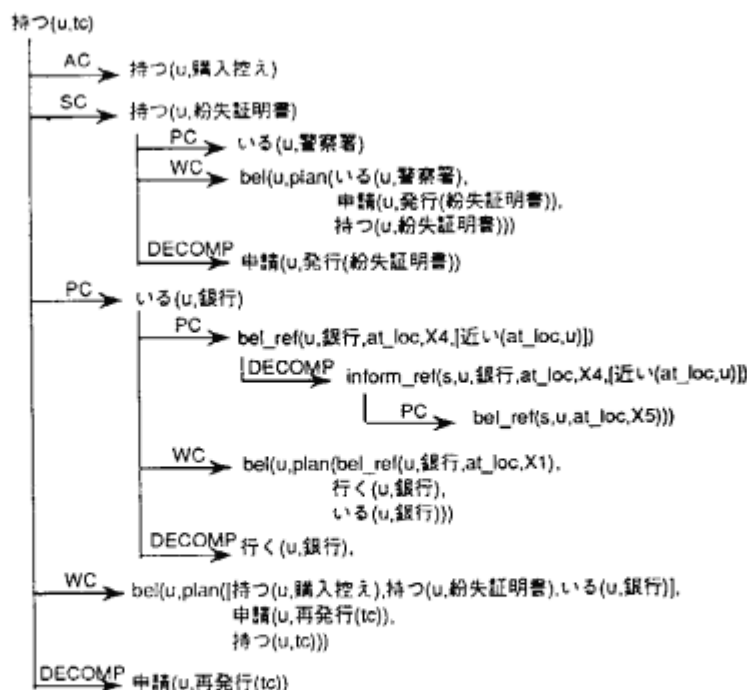


図 3: 意図構造を表現するラベル付グラフの例

図 4は、対話例 2a の発話 S2a3 生成時の部分目標履歴スタックであり、発話によって達成されたと推定される部分目標が発話順にプッシュされている。スタック中の式は、上から順に、発話 S2a3, S2a2, S2a1 で達成が試みられた部分目標に対応している。

bel(u,plan([いる(u,銀行), 申請(u,再発行(tc)), 持つ(u,tc))])
bel_if(s,持つ(u,紛失証明書),T)
bel_if(s,持つ(u,購入控え),T)

図 4: 部分目標履歴スタックの例

3.2 処理の流れ

対話処理は、図 5 に示す部分処理からなり、各処理は信念ベースにアクセスしながら処理を進める。この信念ベースとは、問題領域に関する知識、ユーザに関する仮定、そして対話の進行に伴って動的に構成される意図構造を格納／管理している。以下、処理内容について順に述べる。

(1) ユーザプラン推定処理

ユーザの発話からプランスキーマを用いて前向きに推論して得られる状態と単一化可能な意図構造中の部分目標を探索することにより、ユーザの目標とプランを同定する。本処理は、本質的には、Allen ら [11] の意図認識方式と同じである。

(2) カレント目標候補生成処理

次に示す 2 つの手続きによって、カレント目標候補を生成する。

- ① 意図構造中の部分目標からプランスキーマを用いて後ろ向きに推論して得られる部分目標であり、かつ発話行為がプランスキーマの GOAL スロットと単一化可能なものを集める。これらの部分目標の中で実現可能なものをカレント目標候補とする。ここで、実現可能な部分目標とは、論理式中の変数が適切に束縛されているもので、信

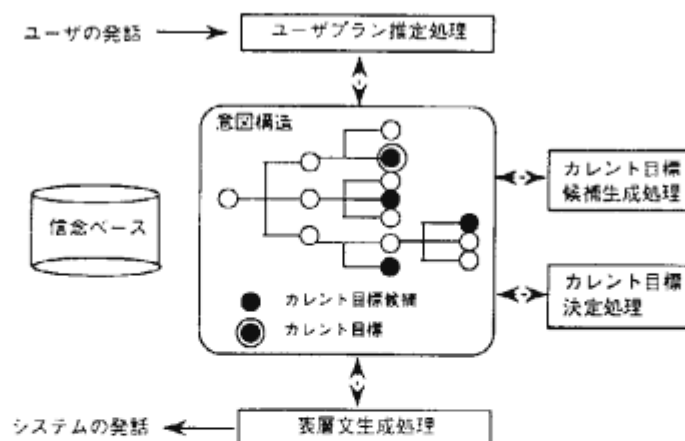


図 5: 対話処理フロー概略

念の状態を示す論理式 $bel(u,P)$, $bel_if(u,P,T)$, $bel_ref(u,O,Atr,V)$ の場合は、各々の変数 P,T,O,Atr,V が定数に束縛されていることを意味する。

② 後ろ向き推論によって得られる部分目標が、ドメインプランスキーマを用いてもうこれ以上展開できず、かつ発話によって達成できる目標でない場合には、「その成立の有無を知ることが目標であることをユーザに知らせること」をカレント目標候補とする。すなわち、部分目標 A に対し、 $bel(u,goal(s,bel_if(s,A,T)))$ をカレント目標候補とする。

(3) カレント目標決定処理

前処理で得られたカレント目標候補中で評価値の最も高い目標を選択する。この評価値は、次発話で達成される目標としての妥当性を評価する関数（カレント目標評価関数）を用いて計算される。カレント目標評価関数については4章で、動作例については、5章で詳述する。

(4) 表層文生成処理

発話行為プランスキーマを用いて、カレント目標を達成する発話行為を決定し、発話内容である命題を文の機能的な関係を表現する FTS(Functional Text Structure) を中間的に生成し表層文を得る [12]。また、発話内容である命題がプランの説明である場合には、プランニングの推論過程を表現する推論ネットを生成した後、FTS を経て表層文を得る [13]。

4 部分目標の選択方式

本章では、カレント部分目標決定処理で利用されるカレント目標評価関数について述べる。まず4.1節で、Beaugrande ら [9] を参考にして、発話が一般的に満たすべき基準について整理する。ついで4.2節では、前章で述べた対話処理のモデルの観点から、発話が満たすべき基準を具体化することによって、カレント目標評価関数を定義する。

4.1 発話の満たすべき条件

Beaugrande らは、発話がコミュニケーションの手段として機能するために必要な基準を規定する構成的原理と、コミュニケーションを円滑に進めるために必要な基準を規定する制御原理について論じている。発話生成システムの立場からは、構成的原理は許される発話の条件を規定し、制御原理は発話の妥当さを計る尺度を与えていると解釈できる。以下、これらの原理を簡単に紹介し、カレント目標評価関数を定義する上で、重要となる基準について述べる。

(1) 構成的原理

構成的原理は、以下の7基準からなる。

① 結束構造

発話の表層を構成する要素の並びが、文法や慣習を満たす。

② 結束性

発話が、対話の背後にある概念や関係と結合されている。

③ 意図性

発話が、話者の目標を満たす。

④ 容認性

発話が、聴者の目標を満たす。

⑤ 情報性

発話が、聴者にとって未知の情報を含む。

⑥ 場面性

発話が、それがなされる場面と適合している。

⑦ 相互関連性

発話が、他の発話についての知識と適切に結びついている。

(2) 制御原理

制御原理は、以下の3基準からなる。

① 能率性

話者と聴者が対話に費やさず労力は、小さいほどよい。

② 有効性

聴者に強い印象を与え、目標達成のためにより好都合な条件を作り出す発話ほどよい。

③ 適切性

構成的原理中の基準をすべて満たすことができない場合や能率性や有効性にトレードオフの関係がある場合には、発話のなされる状況により適切な発話ほどよい。

本方式では、上記の構成的原理の諸基準中で、カレント目標評価関数を定義する上で重要となる原理として、特に結束性、容認性、情報性に注目する。結束構造に関しては、表層的な基準なので、本稿で対象とする部分目標の評価には直接関与しないと判断した。システムの発話生成を扱う場合には、意図性／容認性は、各々システムの目標／ユーザの目標についての条件となる。ユーザの目標達成を支援する対話では、システムの目標はユーザの目標に等しいので、容認性を満たせば意図性を満たしているといえる。場面性に関しては、儀式や交渉などと異なり、ユーザとシステムが協調的な関係にある目標指向型対話では、重要度は低いと判断した。相互関連性に関しては、パロディや批評などと異なり、場面性と同様に重要度は低いと判断した。

4.2 カレント目標評価関数

カレント目標評価関数とは、意図構造中の部分目標に対して、次発話で達成を試みる目標としての妥当性を計る尺度である。以下では、結束性、容認性、情報性のそれぞれに対する制御原理の観点からの妥当性を計る尺度を導入し、それらの尺度を総合することによって、カレント目標評価関数を定義する。

(1) 結束性

目標指向型対話においては、「対話の背後にある概念や関係」として最も重要なものは意図構造である。結束性の観点からのカレント目標評価関数 ϕ_c を、発話が達成しようとする部分目標が意図構造とどのように結合されているかを数値化することによって、以下の式で定義する。

$$\phi_c(cg) = 1/n$$

但し、 n は、意図構造を示す木において、直前の発話に対するカレント目標に対応するノードからカレント目標候補 cg に対応するノードをたどるのに要するラベル数である。

上式中の n は、ユーザとシステムが類似のプランスキーマをもつと仮定すると、対話の進行に伴って推移するカレント目標をユーザが追従するのに必要な労力を数値化している。 $\phi_c(cg)$ が大きいほど、制御原理の能率性を高めるので、カレント目標としての妥当性を評価しているといえる。

(2) 容認性

以下では、目標達成に必要なとされるユーザの労力を数量化することによって、容認性の観点からのカレント目標と評価関数を定義する。ユーザの労力としては、対話のインタラクション数とユーザに強いる推論の負荷に着目する。対話のインタラクション数が短い方が、また、ユーザに強いる推論の負荷が小さい方が、ユーザの労力は小さくなり、制御原理の能率性を高めるからである。

① 対話のインタラクション数

システムは対話に必要なすべての情報を持つことができないので、どの部分目標から達成すれば対話のインタラクション数が小さくなるかを前もって完全に知ることはできないが、カレント目標候補のタイプを利用することで、優先的に達成すべき部分目標を推定することができる。

カレント部分目標候補のタイプとは、そのカレント部分目標を得る際に用いられたドメインプランスキーマの前提条件のスロット名であり、3.1.2で述べた4条件 WC, AC, SC, PC を意味する。 $type(cg)$ を、カレント目標 cg に対して条件のタイプを対応させる関数とする時、対話のインタラクション数の観点からのカレント目標評価関数 $\phi_{interaction}$ を、以下の式で定義する。

$$\begin{aligned}\phi_{interaction}(cg) &= w(type(cg)) \\ w(WC) &> w(AC) > w(SC) > w(PC)\end{aligned}\quad (1)$$

式(1)は、対話のインタラクション数が短くするという観点からは、欲求条件、適用条件、スキーマ条件、前提条件の順に、優先的に達成すべきであることを意味する。以下に、その根拠を示す。まず、欲求条件は、プランそのものを伝達することになるので、対話は一発話で終わり、インタラクションの回数は最小になる。ついで適用条件は、プランスキーマの適用の有無を決める要因であり、この条件が成立しない場合は、他の条件の充足の有無は問題とならないため、なるべく早期に本条件成立の有無を確認する必要がある。スキーマ条件と前提条件の差は、スキーマ条件を満たさず前提条件を満たす場合は行為の実行は可能だが、行為自身は無駄に終わるのに対して、スキーマ条件を満たし前提条件を満たさない場合は行為の実行そのものができないことによる。すなわち、行為の実行コストが高い場合には、スキーマ条件を先に成立させることで、無駄な行為の実行を抑制できる。

② ユーザに強いる推論の負荷

推論の負荷は、定性的には、発話の解釈に必要な推論量に比例し、ユーザの推論能力に反比例し、有限の下限値をもつ。ユーザに強いる負荷の観点からのカレント目標評価関数 ϕ_{share} を、推論の負荷の逆数として、以下の式で定義する。

$$\phi_{share}(cg) = \min(ua/c(cg), 1)$$

但し、 ua をユーザの推論能力を示す数値、 $c(cg)$ は伝達される命題の複雑さを示す数値である。

意図性と容認性の観点から評価関数 ϕ_a は、インタラクションの回数とユーザの負荷に関する評価を共に満たす必要があり、以下のように、 $\phi_{interaction}$ と ϕ_{share} の積で定義する。

$$\phi_a(cg) = \phi_{interaction}(cg) \times \phi_{share}(cg)$$

但し、 ua や $c(cg)$ の単位は、適用条件やスキーマ条件を評価する関数 w と比較できるように設定する必要がある。 $\phi_a(cg)$ は、 $\phi_{interaction}$ 、 ϕ_{share} がトレードオフの関係にある場合でも、なんらかの評価値を返すことができる点で、制御原理の適切性を満たしているといえる。

(3) 情報性

システムの発話生成を扱う場合には、情報性は、発話がユーザにとって未知の情報を含むことを意味する。情報性の観点からのカレント目標関数 $\phi_i(cg)$ を、カレント目標成立の確率 cg_{pr} を用いて、以下の式で定義する。

$$\phi_i(cg) = 1 - cg_{pr}$$

情報を伝達する発話のカレント目標は、伝達しようとする命題をユーザが知ることであり、したがって、 $\phi_i(cg)$ が大きいほど、 cg_{pr} が小さい。すなわち、ユーザが知らない可能性が高い命題の伝達を優先させることを示している。ユーザが知らない命題の伝達を優先させるほど、制御原理の能率性を高めるので、 $\phi_i(cg)$ はカレント目標としての妥当性を評価しているといえる。

(4) カレント目標評価関数

カレント目標は、上記の結束性、容認性、情報性の基準を同時に満たす必要がある。カレント目標評価関数 $\phi(CG)$ を、以下のように、各々の評価関数の積で定義する。

$$\phi(CG) = \phi_e(CG) \times \phi_a(CG) \times \phi_i(CG)$$

5 インプリメンテーション

5.1 実験システムの概要

前章で述べた発話の選択方式が2章で述べた問題点を解決しているかを確認するために、旅行におけるトラブル相談を行う実験システムを試作した。実験システムは、ESP(Extended Selfcontained Prolog)[14]で記述され、第3章の図5に示す構成を持つ。但し、表層文生成処理はDulcinea[15]を利用している。

図6は、システムとの対話例であり、信念ベースに状況を記述する述語を設定した後、表1に示したような発話行為表現を、ユーザからの入力として受理する。信念ベースに記述される状況としては、ユーザの目標、プラン、知識、推論能力などがある。ユーザの推論能力は連続的な値を設定することも可能だが、ここでは推論能力の差異による応答の変化をみるために、大、中、小の3段階の設定とした。信念ベースやユーザの入力を変化させることにより、その状況に応じた対話例が生成される。例えば、図6では、ユーザの持つ知識に関しては特別な知識をもたず、ユーザの推論能力は小と設定されている。

[信念ベースに記述された状況]

- システムは、ユーザの推論能力が小さいと信じている。
- システムは、「ある場所にいるためには、移動すればよく、そのためには移動先の場所を知る必要がある」という知識を常識として持っていると信じている。
- システムは、ユーザがトラベラーズチェックの購入控えを持っているかどうか知らない。
- システムは、ユーザが紛失証明書を持っているかどうか知らない。

[対話例]

U31: トラベラーズチェックを落とした。(inform(u,s,goal(u,持つ(u,tc))))
S31: トラベラーズチェックの購入控えは持っていますか?
U32: はい。(inform.if(u,s,持つ(u,購入控え),true))
S32: トラベラーズチェックの紛失証明書は持っていますか?
U33: はい。(inform.if(u,s,持つ(u,紛失証明書),true))
S33: あなたはどこにいますか?
U34: ホテルAにいます。(inform.ref(u,s,u,at_loc,hotelA))
S34: 再発行を申請すれば、トラベラーズチェックを持つことができます。
したがって、銀行にいったら、再発行を申請して下さい。
銀行はホテルから東へ2ブロック行ったところにあります。

図 6: 信念ベースの内容と対話例

上記の対話生成時における、カレント目標評価関数の設定詳細とカレント目標候補の評価例について述べる。

(1) カレント目標評価関数の設定詳細

結束性観点からの評価関数 ϕ_e は、前章で述べた通りとして、意図性／容認性観点からの評価関数 ϕ_a 、情報性の観点からの評価関数 ϕ_i を以下の通り設定する。

関数 ϕ_a 中の関数 w 、 $c(CG)$ 、 ua の設定は、以下の通り。関数 w は、4.2節の不等式(1)を満たすように、 $w(WC) = 5$ 、 $w(AC) = 4$ 、 $w(SC) = 2$ 、 $w(PC) = 1$ とした。伝達される命題の複雑度 $c(CG)$ は、その命題の論理式としての複雑度を用いて数値化する。ここでは、プランを伝達する発話に対応する部分目標候補の場合には、プランの前提条件にあたるリテラル(述語またはその否定)の数とし、それ以外の部分目標に対応する発話は $1/10$ とした。また、ユーザの推論能力は、大、中、小の3種類を設定し、ユーザの推論能力の評価尺度 ua を、大、中、小に対して、各々 10 、 1 、 $1/10$ とした。関数 ϕ_i 中の cg_{pr} は、ユーザに伝達すべき述語 pr がシステムの信念ベースに含まれる時に 1 、含まれない時に 0 とした。

表 5: カレント目標候補の評価例

カレント目標候補	ϕ_c	ϕ_a	ϕ_i	評価値
bel(u, plan([持つ (u, 購入控え), 持つ (u, 紛失証明書), いる (u, 銀行)], 申請 (u, 再発行 (tc)), 持つ (u, tc)))	1	1 / 6	1	1 / 6
bel(u, goal(s, bel_if(s, 持つ (u, 購入控え), T))	1	-1	1	-1
bel(u, goal(s, bel_if(s, 持つ (u, 紛失証明書), T))	1	2	1	2
bel(u, goal(s, bel_ref(s, u, at_loc, X2)))	1 / 4	1	1	1 / 4
bel(u, plan(いる (u, 警察署), 申請 (u, 発行 (紛失証明書)), 持つ (u, 紛失証明書)))	1 / 2	1 / 2	1	1 / 2
bel(u, goal(s, bel_ref(s, u, at_loc, X5)))	1 / 3	1	1	1 / 3

(2) カレント目標候補の評価例

表 5 に、図 6 の対話例のシステムの発話 S2 生成時のカレント目標候補とその評価値を示す。図 3 の意図構造中の未達成の部分目標を集めることで、カレント目標候補が生成され、上記のカレント目標評価関数によって値が計算される。その結果、評価値の最も高い $\text{bel}(u, \text{goal}(s, \text{bel_if}(s, \text{持つ}(u, \text{購入控え}(tc)), T))$ がカレント目標として選択され、発話 S 2 が生成される。

5.2 実験結果

実験では、信念ベースに設定するユーザの目標、プラン、知識、推論能力を変化させることで、その状況の差異に応じた適切な応答が生成されるかを調べた。その結果、2 章で提起した 2 つの問題、「問題領域の個別の知識内容に依存した質問順序の選択」、「ユーザの推論能力に応じた発話生成」が実現できることを確認した。実際、2 章の対話例 1 と例 2 は、実験システムとの対話例を単純化したものであり、対話例 2a, 2b, 2c は、各々ユーザの推論能力が小、中、大の場合に対応している。

一方、本方式では、選択された発話内容がそれまでの文脈から飛躍したものとなる場合がある。例えば、図 6 の対話例の発話 U33 のように、突然ユーザの居場所を尋ねられると、質問する背景が説明されないため、唐突な質問だという印象をあたえる。このような現象は、中間的に生成される意図構造が大きくなるほど顕著になる。

6 おわりに

本稿では、次発話で達成を試みる部分目標としての妥当さを計る尺度であるカレント目標評価関数を用いた発話の生成方式について論じた。以下、推論方式、適用対話分野、解析との関連について、本方式の位置付けを述べた後、今後の課題をまとめる。

本方式を推論方式の観点からみると、結束性、容認性、情報性などの必ずしも両立しない条件を適度に満足する発話を生成するために、記号的な発話プランニングの制御に、数値的なカレント目標評価関数を利用している点に特徴がある。この点は、純粋に記号的な推論のみを用いた場合には、各々の基準間の干渉に関するメタなルールを記述する必要が生じ、プランスキーマの記述が複雑になるという問題点に対処する試みとして位置付けられる。

また、本稿では、対象とする対話をユーザの目的達成を支援する目標指向型の対話に限定して考察を進めた。しかし、カレント目標評価関数が根拠とするボウグランドらの基準は、それ以外のタイプの対話においても成立するものである。したがって、プランに基づく処理が有効である限り、本方式と同様の枠組みが有効であることが期待される。交渉などの対話参加者の目標が異なるような対話やユーザのプラン推定処理が失敗したため、達成すべき目標が特定できないような対話に対し、同様の枠組みが適用可能であるかを考察することは今後の課題である [16]。

また、対話の解析の観点からは、カレント目標評価関数は、相手が発話によって達成しようとする目標を予測する基準とみなすことができる。実際、[17] の Candidate Focused Goal を決定するアルゴリズムは、結束性の観点からのカレント目標評価関数を問題にしているといえる。ただし、解析の際には、[18] に見られるような表層的な情報を有効に利用する機構が必要になる。

今後、実用的なシステムを構築するためには、次のような課題が残されている。生成される発話の質に関しては、実験結果に述べたような唐突さの問題がある。これは、発話の結束性を高めるには、カレント目標が選択された理由などの発話の背景となる情報を発話に追加する機構の必要性を示唆している。また、システム開発に関しては、カレント目標関数のパラメータの設定が手間であるという問題がある。この問題点に対しては、パラメータの定義を洗練

化すると共に、学習機能を付加することにより自動的にパラメータを設定する機構を導入することなどが考えられる。

謝辞

本研究の機会を与えてくださるとともに適切な助言をくださった(財)新世代コンピュータ技術開発機構(ICOT)の田中裕一第六研究室長(現富士通研究所)に感謝いたします。また、日頃ご指導いただく三菱電機(株)パーソナル情報機器開発研究所小林啓二グループマネージャーに感謝いたします。

参考文献

- [1] 佐川雄二, 杉原厚吉, 杉江昇: 柔軟な対話制御機構を持ったコンサルテーション・システム. 情報処理学会論文誌, Vol.29, No.4, pp350-358 (1988)
- [2] 加藤恒昭, 中川俊: 自然言語インタフェースシステムにおける意図の把握と話題の管理. 情報処理学会論文誌, Vol.29, No.9, pp815-823 (1988)
- [3] Moore, J.D. and Paris, C.L.: *Planning Text for Advisory Dialogues*. In Proceedings of the Twenty-Seventh Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, pp203-210 (1989)
- [4] Cawsey, A.: *Generating Interactive Explanations*. AAAI-91, pp86-91 (1991)
- [5] Cohen, P.R. and Perrault, C.R.: *Elements of a plan-based theory of speech acts*. Cognitive Science, Vol.3, pp177-212 (1979)
- [6] Appelt, D.E.: *Planning English Sentences* CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS (1985)
- [7] Grosz, B.J. and Sidner, C.L.: *Attention, Intentions and the Structures of Discourse*. Computational Linguistics 12(3):pp175-204 (1986)
- [8] Litman, D.J. and Allen, J.F.: *A Plan Recognition Model for Subdialogues in Conversation*. Cognitive Science 11, pp163-200 (1987)
- [9] Beaugrande, R. de and Dressler, W.U.: *Introduction to Text Linguistics*, Longman Group Limited, Harlow, Essex. (1981) (テキスト言語学入門, 池上嘉彦他訳, 紀伊國屋書店)
- [10] Fikes, R.E., and Nilsson, N.J.: *STRIPS: A new approach to the application of theorem proving to problem solving*. Artificial Intelligence, 2, pp189-208 (1971).
- [11] Allen, J.F. and Perrault, C.R.: *Analyzing intention in utterances*. Artificial Intelligence, Vol.15, pp143-178 (1980)
- [12] 小谷亮他: 文章の機能的構造からの接続表現の生成, 情報処理学会, 自然言語処理研究会 82-7 (1991)
- [13] 小谷亮他: 対話システムにおけるプラン説明文の生成, 情報処理学会第44回全国大会, Vol.3 PP85-86 (1992)
- [14] Chikayama, T.: *Unique Features of ESP*. In Proceedings of FGCS'84, pp292-298. (1984)
- [15] Ikeda, T., Kotani, A., Hagiwara, K. and Kubo, Y.: *Argument text generation system(dulcinea)*. Fifth Generation Computer Systems 1992, vol.1, pp73-88, ICOT, (1992)
- [16] 今村誠他: 対話参加者のもつプランゴール構造の差異を考慮した対話制御方式, 情報処理学会, 自然言語処理研究会 82-8 : (1991)
- [17] Carberry, S.: *Plan Recognition and its Use in Understanding Dialogue*. In Wahlster, W. and Kobsa, A. (eds) *User Modelling in Dialogue Systems*, pp.133-162 Springer Verlag. (1987)
- [18] 飯田仁, 有田英一: 4階層プラン認識モデルを使った対話の理解. 情報処理学会論文誌, Vol.31, No.6, pp810-821 (1990)