

## BDIモデルを用いた対話戦略に基づく知的エージェントの構築

## Construction of Intelligent Agent based on Dialogue Strategy using BDI Model

高橋 拓誠\*<sup>1</sup>      目良 和也\*<sup>1</sup>      黒澤 義明\*<sup>1</sup>      竹澤 寿幸\*<sup>1</sup>  
 Takumi TAKAHASHI      Kazuya MERA      Yoshiaki KUROSAWA      Toshiyuki TAKEZAWA

\*<sup>1</sup> 広島市立大学大学院情報科学研究科

Graduate School of Information Sciences, Hiroshima City University

Although a lot of natural language dialogue systems are developed, most of them cannot consider the meaning of the input sentence and cannot understand “why I (the system) replies in such way.” Our research group tries to create a natural language dialogue system which can understand and consider the meaning of utterances. For the first step, this paper proposes an intelligent agent system which have reasoning process and decision making process. The structure of the agent is based on BDI model consists of three elements (Belief, Desire, and Intention). The system executes commonsense reasoning from the input sentence and creates some desire candidates. Next, a desire which will make the best situation for the agent is selected. Finally, an intention is created to realize the selected desire. The created intentions for various situations were evaluated by questionnaire. 80.0% of created intentions correspond to the result of the questionnaire.

## 1. はじめに

近年、人と対話することを目的としたシステムの研究が進み、社会に浸透しつつある。製品として普及している対話システムの代表的な例として、AppleのSiri\*<sup>1</sup>やNTT docomoのしゃべってコンシェル\*<sup>2</sup>が挙げられる。これらのシステムの機能は、道案内や天気予報など使用者の問題解決のために利用されるタスク指向型と、人間と雑談することを目的とした非タスク指向型の2つに分けられる。一般に後者のシステムでは、雑談というものに明確な目標設定がしにくく、状況や人に応じて提供する話題や返答が千差万別であるため、実現するのが非常に困難であり、多くの課題が残されている。

既存の非タスク指向型対話システムの研究では、ルールベース型の研究[目良10]や統計的応答手法を用いた研究[稲葉12]が挙げられる。ルールベース型は、入力発話と出力発話の対をルールとしてあらかじめ登録する手法である。[目良10]では単純な入出力発話のパターンマッチング処理に留まらず、入力発話から生起するシステムの感情計算をシステムの応答に考慮している。一方で、統計的応答手法は、文脈と発話候補から素性抽出を行い、ランキング学習を用いて発話候補として妥当な順に順位付けが行われる。そのため、ルールベース型に対して応答文作成のコストが小さく、入力発話に対して出力発話が必要とされるという点で優れている手法である。しかし、現在のところルールベース型でも統計処理型でも意味を考慮した上で返答生成を行えるような手法は存在しない。

そこで本研究では、意味を理解し、意図をもって対話を行えるような非タスク指向型対話システムの構築を目的とする。この内部処理においてシステムは、対話における状況の認知や推測、意図することを目指す。その実現のために、本研究ではBDIモデル[島津14]を採用する。BDIモデルは、信念と

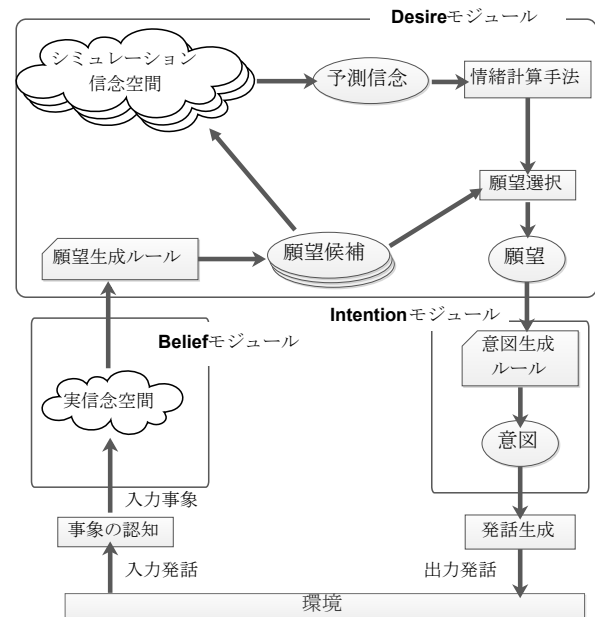


図 1: 提案手法の構成図

願望に基づき意図を生成するという知的エージェントのモデルの1つである。このBDIモデルでは、エージェント自身にとっての願望を決定することが出力となる意図に繋がるため、願望決定処理が重要である。そこで提案手法のBDIモデルでは、願望の処理において、いくつか生起した願望の候補の中から1つ選択するために、情緒計算手法[目良02]から求められる快/不快と情緒強度を用いて、最尤の願望を決定する。

## 2. BDIモデル

### 2.1 概要

BDIモデルは、信念と願望に基づいて意図を選択し、意図による行動(発話)選択を行う知的エージェントである。信念

連絡先: 広島市立大学大学院情報科学研究科

〒731-3194 広島市安佐南区大塚東3丁目4番1号

E-mail: mera@hiroshima-cu.ac.jp

\*<sup>1</sup> <http://www.apple.com/ios/siri/>

\*<sup>2</sup> [https://www.nttdocomo.co.jp/service/information/shabette\\_concier/](https://www.nttdocomo.co.jp/service/information/shabette_concier/)

表 1: 入力事象の格フレーム化

格要素	$Bel(A)$	$Bel(B)$
主体	太郎	太郎
客体	健太	秀人
目的	遊び	映画
述語	誘われる	誘われる

(Belief) は、実世界の事象に対してエージェントがそうだと思うことであり、願望 (Desire) は、そこからエージェントが望ましいと思う状態を示す。意図 (Intention) は、信念と願望よりエージェントが目指す状態に至るまでの行動に基づく意志である [島津 14]。このような性質をもつ BDI モデルは、対話システムと親和性が高いと言える。

本研究では、BDI モデルがもつ 3 つの要素 (信念、願望、意図) による処理から、ある事象を入力したとき、システムの行動目標となる意図を出力するシステムを提案する。提案手法の構成図を図 1 に示す。はじめに、発話から得られた事象をシステムに入力する。実信念空間では、現時点でシステムが真と考える信念が格納されている。入力事象はこの実信念空間内で新たな真の信念として格納される。さらに、推論機構により、別の信念が真になったり偽になったりすることもある。続いて、実信念空間の状態に基づいて、願望生成ルールを適用することで、願望候補をいくつか生成する。シミュレーション信念空間では、ある願望を実行した後に起こり得る事象を予測する。ここで、予測された事象を予測信念という。ここで、いくつか生成された予測信念に対して、情緒計算手法 [目良 02] を適用することで計算された快/不快とその強度を指標として、願望を 1 つ選択する。最後に、決定した願望から意図生成ルールに従って選択された意図が提案手法における出力となる。対話システムにするためには、ここから発話を生成する処理が必要となる。

提案手法に入力する事象は、発話内容を深層格フレーム構造で表したものである。以下の入力事象を例として、以降の説明を行う。

- $A$ : 太郎は健太に遊びに誘われる
- $B$ : 太郎は秀人に映画に誘われる

## 2.2 Belief モジュール

ここでは、入力された信念に基づいて、誰が何をした、何がどうである、といったことをシステム自身に認知させるための役割をもつ。

ここで、入力された事象の深層格フレーム構造 (表 1) に基づいて、実信念空間において信念の状態を構築する。本例では、実信念空間は以下の 2 つの状態をとる。

- $Bel(A)$ : (誘われる ((主体:太郎), (客体:健太), (目的語:遊び)))
- $Bel(B)$ : (誘われる ((主体:太郎), (客体:秀人), (目的語:映画)))

## 2.3 Desire モジュール

前節より生成された実信念空間を参照し、願望生成ルールに基づいて、信念の状態に合った願望候補を生成する。本節では、信念に対して生成されるいくつかの願望候補と、その中からシステムの願望を採用するまでの処理について説明する。

```
if : Bel([人物1]は[人物2]に[目的語]に誘われる)
then : [人物1]は[人物2]と[目的語]に行きたい
```

図 2: 願望生成ルール

### 2.3.1 願望の生成

図 2 のような願望生成ルールに従って、願望候補をいくつか生成する。生成ルールは、if-then ルールの形で作られている。ここで、条件は 2.2 節の実信念空間内の信念が用いられ、then 以下の文字列が願望候補として設定される。また、ルール中の [人物 1] は信念中の 1 人目の人物 (主体), [人物 2] は信念中の 2 人目の人物 (客体), [目的語] は信念中の目的である。これらは表 1 の深層格に基づく格要素の語に従う。

図 2 のルールを適用すると、以下の願望候補が生成される。

- $Des(A)$ : 太郎は健太と遊びに行きたい
- $Des(B)$ : 太郎は秀人と映画に行きたい

これらの 2 つの願望候補に対して、続いてシミュレーション信念空間で予測信念を定義する。

### 2.3.2 予測信念の定義

2.3.1 節の願望より、ある願望  $\phi$  を実行した際に起こり得る事象を予測する。本研究では、これを予測信念 ( $preBel(\phi)$ ) と定義する。本例の予測信念は、表 2 のような因果関係を持ち、願望から予測信念、予測信念から予測信念へと派生する。

### 2.3.3 予測信念の尤度計算

表 2 より生成された 4 つの予測信念に基づいて、2 つの願望候補のうち、システムにとってどちらがより望ましい願望であるかを考える必要がある。そこで、情緒計算手法 [目良 02] を用いることで、予測信念に対して生起する情緒を手がかりに願望の尤度を計算する。

情緒計算手法は、ある事象から特定の人物の嗜好情報をもとに複数の情緒とその情緒の強度を並列に計算する手法である。計算に用いる嗜好情報は、 $[-1.0, 1.0]$  の実数値で与えられ、正の実数値では“好き”, 負の実数値では“嫌い”, 0 であれば“どちらでもない”という状態を示す。各予測信念に情緒計算手法を適用した結果を図 3, 図 4, 図 5, 図 6 に示す。

ここでは、願望ごとの予測信念について求められた快/不快とその情緒強度を用いて、願望の尤度を計算する。計算では、以下の要素に基づいて式 (1) および式 (2) を計算する。これらの計算結果を各願望の尤度として、手順 1, 手順 2 に従って願望を決定する。

- $pcount_{\phi}$ : 願望  $\phi$  における快の個数
- $ncount_{\phi}$ : 願望  $\phi$  における不快の個数
- $pdegree_{\phi}$ : 願望  $\phi$  における快の情緒強度の和
- $ndegree_{\phi}$ : 願望  $\phi$  における不快の情緒強度の和

$$csum(\phi) = pcount_{\phi} - ncount_{\phi} \quad (1)$$

$$dsum(\phi) = pdegree_{\phi} - ndegree_{\phi} \quad (2)$$

手順 1 式 (1) において最大となる願望  $\phi$  を採用

手順 2 式 (2) において最大となる願望  $\phi$  を採用

表 2: シミュレーション信念空間における予測信念の生起

願望	因果関係	予測対象	予測結果
Des(A)	$Des(A) \rightarrow preBel(Des(A))$	太郎は健太と遊びに行きたい	太郎は健太と遊びに行く
	$preBel(Des(A)) \rightarrow preBel(preBel(Des(A)))$	太郎は健太と遊びに行く	太郎は秀人と映画に行かない
Des(B)	$Des(B) \rightarrow preBel(Des(B))$	太郎は秀人と映画に行きたい	太郎は秀人と映画に行く
	$preBel(Des(B)) \rightarrow preBel(preBel(Des(B)))$	太郎は秀人と映画に行く	太郎は健太と遊びに行かない

```
preBel(Des(A)) => 太郎は健太と遊びに行く
##### 好感度情報#####
主体：太郎=1.0
相互作用の相手：健太=0.6
行動：遊ぶ=0.9

##### 感情ベクトル#####
(fs,fom,fp)=(1.0,0.6,0.9)

##### 快/不快#####
=>快

##### 情緒強度#####
its degree = 0.40
```

図 3:  $preBel(Des(A))$  に対する情緒計算結果

```
preBel(preBel(Des(A))) => 太郎は秀人と映画に行かない
##### 好感度情報#####
主体：太郎=1.0
相互作用の相手：秀人=0.6
行動：映画=0.6

##### 感情ベクトル#####
(fs,fom,fp)=(1.0,0.6,-0.6)

##### 快/不快#####
=>不快

##### 情緒強度#####
its degree = 0.32
```

図 5:  $preBel(preBel(Des(A)))$  に対する情緒計算結果

```
preBel(Des(B))=> 太郎は秀人と映画に行く
##### 好感度情報#####
主体：太郎=1.0
相互作用の相手：秀人=0.6
行動：映画=0.6

##### 感情ベクトル#####
(fs,fom,fp)=(1.0,0.6,0.6)

##### 快/不快#####
=>快

##### 情緒強度#####
its degree = 0.32
```

図 4:  $preBel(Des(B))$  に対する情緒計算結果

```
preBel(preBel(Des(B)))=> 太郎は健太と遊びに行かない
##### 好感度情報#####
主体：太郎=1.0
相互作用の相手：健太=0.6
行動：遊ぶ=0.9

##### 感情ベクトル#####
(fs,fom,fp)=(1.0,0.6,-0.9)

##### 快/不快#####
=>不快

##### 情緒強度#####
its degree = 0.40
```

図 6:  $preBel(preBel(Des(B)))$  に対する情緒計算結果

手順 1 では、願望  $\phi$  について、快の個数から不快の個数を引いた値が最大となる願望を採用する。しかし、最大値をもつ願望が複数存在する可能性がある。複数存在した場合、手順 2 より、快の情緒強度の和から不快の情緒強度の和を引いた値が最大となる願望を採用する。

まず手順 1 より、各願望間でその数を比較すると、 $csum(Des(A)) = 0$ ,  $csum(Des(B)) = 0$  より、同値であるため、ここでは願望を決定することはできない。続いて手順 2 より、各願望ごとに情緒強度を合計し比較すると、 $dsum(Des(A)) = 0.08$ ,  $dsum(Des(B)) = -0.08$  となる。以上より、 $dsum(Des(A)) > dsum(Des(B))$  となり、 $Des(A)$  がシステムの願望として採用される。

## 2.4 Intention モジュール

本節では、2.3 節より決定した願望より、意図生成ルールに従って意図を決定する。意図生成ルールは、願望生成ルールと同様の if-then ルールの形式である。ただし、条件は願望であり、その結果意図は 1 つに定まる。上記の制約に従う生成ルールを、図 7 に示す。

前節および図 7 より、本例では、“太郎は健太と遊びに行く”が意図として出力される。

## 3. 実験

本節では、特定のシナリオに対して 8 種類の好感度設定による条件付けを行い、各条件における行動選択について質問紙調査による調査を行った。この調査結果と、同条件の提案手法の実行結果を比較することで、本手法の妥当性を評価する。

### 3.1 実験方法

本実験では、図 8 のシナリオと表 3 の好感度情報に基づいて、各条件における太郎の行動選択傾向を調査する。被験者は大学生 57 名である。各被験者には、各条件における太郎の行動について図 8 の【太郎の行動】以下の 4 つの選択肢の中から 1 つ回答をしてもらった。

### 3.2 実験結果

調査の結果を表 4 に示す。表 4 において、2 列目から 5 列目までは、図 8 の各項目の回答数に対応する。また、V(分散度)は回答のばらつき具合を見るために式 (3) より算出した。

```
if : Des([人物1]は[人物2]と[目的語]に行きたい)
then : [人物1]は[人物2]と[目的語]に行く
```

図 7: 意図生成ルール

表 4: 各場面における太郎の行動のアンケート結果とシステムの出力の比較

	回答数				V(分散度)	システムの出力
	健太と遊ぶ	秀人と映画	どちらも断る	その他		
Scene1	41	5	2	9	0.055	健太と遊ぶ
Scene2	0	57	0	0	0.035	秀人と映画
Scene3	0	15	41	1	0.052	秀人と映画
Scene4	50	3	0	4	0.042	健太と遊ぶ
Scene5	35	2	17	3	0.065	健太と遊ぶ
Scene6	2	33	16	6	0.072	健太と遊ぶ
Scene7	9	6	34	8	0.075	秀人と映画
Scene8	39	1	1	16	0.056	健太と遊ぶ

登場人物：太郎、健太、秀人

夜、太郎に健太から今度の日曜日に遊ぼうとLINEがくる。  
返信をしようとする、今度は秀人から、日曜日に映画に行かないかとメールがくる。

↓ ↓  
【太郎の行動】

1. 太郎は健太にOKの返事をして、秀人の誘いは断った
2. 太郎は秀人にOKの返事をして、健太の誘いは断った
3. 太郎はどちらの誘いも断った
4. その他

図 8: 質問紙調査のシナリオと行動選択肢

表 3: 各場面における太郎の好感度情報

	健太	遊び	秀人	映画
Scene1	とても好き	なかなか好き	なかなか好き	なかなか好き
Scene2	とても嫌い	なかなか好き	なかなか好き	なかなか好き
Scene3	とても嫌い	なかなか好き	やや嫌い	なかなか好き
Scene4	なかなか好き	なかなか好き	なかなか好き	やや嫌い
Scene5	とても好き	なかなか嫌い	なかなか嫌い	なかなか好き
Scene6	なかなか嫌い	とても好き	とても好き	なかなか嫌い
Scene7	とても好き	とても嫌い	なかなか好き	なかなか嫌い
Scene8	なかなか好き	とても好き	なかなか好き	なかなか好き

ここで求めた V(分散度) は、値が大きいほど被験者の評価が分散し、小さいほど収束しているということの意味する。ただし、 $M$ : 選択肢の数 (4つ)、 $count_i$ : 行動選択肢  $i$  の回答数、 $\overline{count}$ : 回答数の平均 ( $4/57=0.07$ ) である。

$$V = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^M (count_i - \overline{count})^2}} \quad (3)$$

### 3.2.1 分散度に基づく行動選択結果の分析

調査結果は、いずれの条件においても、回答がどれかに収束しているように見えるが、収束具合は条件ごとに異なっている。これは、各条件における好感度設定が人手で判断しやすいものと、難しいものがあつたことを表している。本実験では、人手での評価と同条件のシステムの実行結果を比較するため、ある程度以上人手の評価が収束しているものについて比較を行う。そこで最初に、3.2節で求めた分散度を用いて、比較対象とするべき条件を選定する。

選定方法については、全分散度の平均値を閾値とし、閾値以下の条件を比較対象とする。まず、全分散度の平均値は 0.057 であつた。ここで、0.057 以下の分散度をもつ条件は、Scene1, 2, 3, 4, 8 の 5つの条件であつた。この 5つの条件についてシステム出力との比較を行う。

各条件の調査結果について、過半数を超えた回答をその条件での正解とする。この正解とシステムの実行結果が一致した条件は、Scene1, 2, 4, 8 であつた。これを正出力群と定義

する。また、正解例とシステムの実行結果が一致しなかつた条件は Scene3 であつた。これを誤出力群と定義する。以上より、ある程度以上調査結果が収束した条件においては、調査結果とシステムの実行結果との一致率は 80.0% を示した。

### 3.3 考察

誤出力群である Scene3 は、“どちらも断る” という回答が過半数を占めていた。ここで V(分散度) は、閾値以下の値であるため、この条件における調査結果は収束性が高いことがわかる。そのため、“どちらも断る” と選択することがこの場面では正しいと言える。しかし、システムの出力意図は“秀人と映画” となつた。これは、願望選択の処理の際に、快/不快や情緒強度の尤度からどちらがより良いかということのみ考慮して決定しているためである。今後は、“どちらも断る” と選択するような論理的構造も必要であると言える。

## 4. おわりに

本研究では、BDI モデルを用いて、ある事象に対するシステムの行動 (発話) 選択の基準となる意図を決定する知的エージェントの構築を試みた。その結果、ある状況下における行動選択を対象とした実験では、被験者の意見がある程度以上収束した条件において、最も多かつた行動選択結果と提案手法の出力した結果の一致率は 80.0% となつた。

今後の課題として、意図を生成する際に願望だけではなく、信念の状態も判断基準として用いることで、3.3 節のような状況でも対応できるような論理的構造を構築する必要がある。また、生成した意図から発話文字列の生成を行うことも課題の一つとして挙げられる。

## 参考文献

- [稲葉 12] 稲葉 通将, 平井 尚樹, 鳥海 不二夫, 石井 健一郎: 非タスク指向型対話エージェントのための統計的応答手法, 電子情報通信学会論文誌, Vol. 95, No. 6, pp. 1390-1400 (2012)
- [島津 14] 島津 明, 中野 幹生, 堂坂 浩二, 川森 雄仁: 話し言葉対話の計算モデル, 電子情報通信学会 (2014)
- [目良 02] 目良 和也, 市村 匠, 相沢 輝昭, 山下 利之: 語の好感度に基づく自然言語発話からの情緒生起手法, 人工知能学会論文誌, Vol. 17, No. 3, pp. 186-195 (2002)
- [目良 10] 目良 和也, 市村 匠, 黒澤 義明, 竹澤 寿幸: 情緒計算手法と心的状態遷移ネットワークを用いた音声対話エージェントの気分変化手法, 日本知能情報ファジィ学会誌, Vol. 22, No. 1, pp. 10-22 (2010)