

ロバストな対話システム構築に関する一考察

伊藤敏彦¹ 肥田野勝¹ 山本幹雄² 中川聖一¹

¹豊橋技術科学大学 情報工学系

〒441 豊橋市天伯町字雲雀ヶ丘 1-1

²筑波大学 電子・情報工学系

〒305 つくば市天王台 1-1-1

ユーザに自然な発話を許す対話システムは、これまで音声認識でテスト用に用いられてきた朗読文などの発話に比べてバリエーションの大きな発話を扱わなければならない。文法は書き言葉に比べてかなり緩くなり、間投詞、言い直し、曖昧な発話などの現象も多く生じてくる。制約の多くを文法的制約に頼る音声認識システムではパーブレキシティが増大し、認識率が下がる。また、間投詞や言い直し、未知語などの問題によって認識率はさらに下がり、音声認識結果には単語の置換、挿入、脱落などが増大する。このため、現状の音声対話システムでは誤りを含んだ認識結果を解析しなければならない。すなわち、音声対話システムの品質を向上させるためには、間投詞、助詞落ち、言い直し、倒置などを含む文の理解はもちろん、誤認識文からの発話文の復元も必要不可欠である。

本稿では、人間が誤認識を含んだ認識文をどのようにして復元しているか調査した実験を参考に考案した復元ストラテジーを報告する。また復元ストラテジーを用いたロバストな意味理解システムとそのシステム評価実験について報告する。

Consideration on Development of a Robust Spoken Dialogue System

Toshihiko ITOH¹, Masaru HIDANO¹,

Mikio YAMAMOTO² and Seiichi NAKAGAWA¹

¹ Department of Information and Computer Sciences

Toyohashi University of Technology, Tenpaku, Toyohashi, 441, Japan

² Institute of Information Sciences and Electronics

Tukuba University, 1-1-1 Tennodai, Tukuba, 305, Japan

A spoken dialogue system that can understand spontaneous speech needs to handle extensive range of speech compared to the read speech that have been studied so far. The spoken language has looser restriction of the grammar than the written language and has ambiguous phenomena such as interjections, ellipses, inversions, repairs, unknown words and so on. It must be noted the fact that a recognizer may output the sentence that human being never speaks. Therefore, the interpreter must cope not only with spontaneous sentences but also with illegal sentences having recognition errors. We explain about human recovery strategy and the robust interpretation method that uses some heuristics for understanding spontaneous or misrecognized sentences. And, we explain an overview of our dialogue system that was designed according to the human recovery strategy. Then we show the results of the evaluation experiment.

1 はじめに

ユーザに自然な発話を許す対話システムはこれまで音声認識でテスト用に用いられてきた朗読文などの発話に比べてバリエーションの大きな発話を扱わなければならない。文法は書き言葉に比べてかなり緩くなり、間投詞、言い直し、曖昧な発話などの現象も多く生じてくる。制約の多くを文法的制約に頼る音声認識システムではパーブレキシティが増大し、認識率が下がる。また、間投詞や言い直し、未知語などの問題によって認識率は

さらに下がり、音声認識結果には単語の置換、挿入、欠落などが増大する。受理可能な文を多くすることと認識率はトレードオフであるため [1]、どこかで妥協するしかない。このため、現状の音声対話システムでは誤りを含んだ認識結果を解析しなければならない。すなわち、音声対話システムにおいて自然な発話を理解するためには間投詞、助詞落ち、言い直し、倒置などを含む文の理解はもちろん、誤認識文からの発話文の復元も対話システムの品質を向上させるために必要不可欠である。

いくつかのシステムでは、これらの自然な発話文や

誤認識を含む文を扱うためにロバスタなマッチングを使用している。SRI の Template Matcher(TM) は、発話での最適な単語やフレーズをスロットに埋めようとするテンプレートを_using_している [3]。もっともスコアの高いテンプレートが意味表現を生む。Carnegie Mellon University の Phoenix は、フレーム構造のスロットとして現れるいくつかの semantic token に一致するフレーズパターンを Recursive Transition Network で表現している [4]。システムは、dynamic programming beam search の方法を使い、並列に異なったフレームのスロットを埋めていく。フレームのスコアは、埋められた入力単語の数である。また、R.Kuhn と R.De Mori は意味理解用のルールをトレーニングデータから自動的に学習させる新しい方法を提案している [2]。そのルールは Semantic Classification Trees(SCTs) と呼ばれる木の集まりからエンコードされ、その方法によって学習されたルールは、非文法的な文や入力文の誤認識に対してロバスタになる。

本稿では、人間が誤認識を含んだ認識文をどのようにして復元しているか調査した実験結果を参考に考案した復元ストラテジーを報告する。また復元ストラテジーを用いたロバスタな意味理解システムとシステム評価実験について報告する。

2 誤認識結果の人間による復元

実際に音声認識システムで誤認識された認識結果を人間に訂正してもらった誤認識訂正実験 [5] より、以下のストラテジーを用いていることがわかっている。

- 名詞、動詞、疑問詞などの自立語の訂正は難しい。
- 助詞の誤認識、終助詞の誤認識の修正は人間にとってそれほど難しいことではない。実際、我々は小さなタスクでは、多くの助詞落ち、助詞誤りを解析可能とする手法を提案している [6]。
- 人間は名詞、動詞をできるだけそのまま使用し、文脈的、意味的にそれではおかしい場合にそれらを訂正しようとしている。
- 名詞、動詞、疑問詞の誤認識を意味理解部で修正することは、文脈を利用することによりある程度可能になる。
- 未知語、言い直し、間投詞として誤認識された重要な名詞、動詞、疑問詞をその部分の音声認識結果である不完全な音韻系列から推測し訂正している。
- 訂正困難と思われる文は重要と考えられる名詞、動詞、疑問詞から文全体を推察する。

以上のストラテジーはシステムについて全く知らない被験者による結果である。システムに熟知しているエキスパートはさらに以下の様なストラテジーも持っている。

- よく誤認識される単語のパターンを用いて訂正を行なう。また単語の音響的類似性を考慮して訂正する。

単語数 241、パープレキシティ 74 の文法で、音声認識部だけでの平均文認識率は 57.4%(文法受理率は 87.0%) であったが、人間による訂正によって文理解率は 80%に向上した。またエキスパートによる訂正の場合は文理解率は 87%まで上昇した [7]。

3 音声対話システム

3.1 音声対話システムの概要

ユーザの発話は音声認識部で認識され、文字列に変換された後、対話システムへ送られる。対話システムは、認識結果を形態素解析、文節解析、構文解析、意味解析、文脈解析を行なった後、応答生成部が応答を文字列として生成する。生成された応答文は音声合成部で音声合成され、ユーザに音声で応答する。それぞれの部分はおおよそシーケンシャルに処理がなされる。以下に音声認識部、応答文生成部・対話制御部の概要を述べる。

3.2 音声認識システム

対話システムの音声認識部は、HMM を音節のモデルとして用い、文脈自由文法の構文解析法とフレーム同期型連続音声認識の統合アルゴリズムを基礎としたものである。さらに不要語や言い直しの部分を未知語処理に基づいて処理する。未知語処理では、これらの部分を任意の音韻系列により表現し、その認識尤度スコアにペナルティを設ける。文脈自由文法は自然な対話音声を認識するために、助詞落ちや倒置を含む文を受理するように作成した。未知語処理は文節の境界で間投詞や言い直しが生じると仮定している。語彙数は 241、受理できる文集合のテストセットでパープレキシティは 74 である。音声認識部に関する詳しい内容は文献 [8] を参照されたい。

3.3 応答生成部・対話制御部

応答生成部は、ユーザの発話の意味表現を受け取り応答文を生成する。応答生成部は問題解決器、知識データベース、応答文生成用意味ネットワーク生成部、応答文生成部から構成されている。知識データベースは意味概念とその間の関係による意味ネットワークで表現されている。問題解決器は入力された文の要求するデータの検索を行なう。応答文生成用意味ネットワーク生成

部では入力文意味ネットワークからの応答文生成に必要な情報と問題解決器のデータ検索結果を使用し応答文生成部へ入力するための応答文意味ネットワークを生成する。応答文生成部では入力された生成用意味ネットワークの形から応答文用テンプレートを選択し、生成用意味ネットワークの各ノードをテンプレートに埋め込んでいく方法で応答文の生成を行なっている。応答文生成部はユーザの質問に対して応答を生成するが、対話制御部は主に叙述文が入力されたときにどのような応答を返すかを決定する。

4 自然な発話の音声認識結果に対する構文・意味理解部

本節では、自然な発話や誤認識文に対しても正しく構文解析・意味理解を行なうために訂正復元実験の結果を参考に開発された構文・意味理解部のヒューリスティックスについて述べる。構文解析・意味理解部は文節解析を行なった結果の係り受けに基づく文節間依存関係を解析する。解析の途中結果はチャートデータベースに格納され、一度行った部分解析結果を保存するようになっている。またこの時、助詞落ち、助詞誤り、倒置に対応するためにいくつかのヒューリスティックスを用いている。係り受け解析が成功した場合は、再帰的に文節の意味表現を組み合わせて文の意味を作る。意味表現は文脈的、背景的な観点からおかしなところがないかどうかチェックされる。これをフィルタリングと呼ぶ。詳しくは4.2節で述べる。さらに、ボトムアップに意味表現を得ることができない場合は、トップダウン的にキーワードによる意味の抽出を行う。パターンに記述された制約に適合する単語を探すことにより、全体の意味表現を得る。詳しくは4.3節で述べる。全体の処理は次のような手順で行われる [9]。

1. 以下の処理を順次行っていき、解析が成功した時点で(2)へ行く。すべての処理で失敗した場合は(3)へ行く。
 - (a) 助詞落ち、倒置を禁止して解析
 - (b) 助詞落ちを許可して解析
 - (c) 助詞落ち、倒置を許可して解析
 - (d) 助詞の誤りを認めて、倒置を許可して解析
(助詞が誤っていると仮定した助詞は省略されたと見なし、助詞落ちを解析するヒューリスティックスを用いる。)
2. 文脈的な知識によって、正しい内容かどうかをチェックする(フィルタリング)。
 - (a) 正しくない場合
修正用のヒューリスティックスがある場合は、それを適用し、解析結果とする(解析終了)。修正用のヒューリスティックスがない場合は、(3)へ行く。
 - (b) 正しい場合
得られた意味表現を解析結果とする(解析終了)。
3. 部分解析結果を用いてキーワード解析を行い、その結果を解析結果とする。

4.1 助詞落ち、助詞誤り、倒置の解析

我々は、小さいタスクでは助詞落ちと倒置の90%を解析可能とする以下のようなヒューリスティックスを提案している [6]。

助詞落ち用

- 助詞が省略された名詞文節は最も近くの述部に係る。
- 述部に係る場合は、必須格を候補として考える。
- 文頭の助詞落ち名詞文節には「は」を補った文節も文節切り出しの結果の一つとして追加する。
- 述部を飛び越さない次の名詞文節に「の」が省略されているものとして係ることができる。ただし、これは述部に係ることができない場合に限る。
- 助詞の省力された名詞が、次の名詞文節と概念階層上で一つ上の親概念を持つ場合、並列の「と」の省略として係ることができる。

倒置用

- 文の先頭を含み、終止形の述部で終わる最も長い部分解析木から順番に倒置でない部分を候補とする。
- 任意の部分解析木は直前(文の左隣)の部分解析木に係ることができる。

解析システムでは、助詞落ち、倒置がないものとして解析を行ない、それに失敗した場合、これらのヒューリスティックスが使われる。さらにヒューリスティックスを使っても解析に失敗した場合、助詞が誤っているものとして解析を試みる。誤っていると仮定した助詞は省略されたとみなし、上記のヒューリスティックスを用いることによってこの処理を行なっている。誤りと仮定した助詞が少ない解析結果を候補として優先する。

4.2 タスクの情報を利用したフィルタリング

フィルターは、認められない意味表現を記述したパターンとして登録されている。修正して正しく変形することが可能なものは、修正手続きをパターンと共に登録してある。このパターンに一致した場合、意味表現はリジェクトされ、修正手続きがある場合は、その手続きが適用される。パターンの例を図1に示す。patternの後はマッチング用のパターン、modify-funの後は修正用の関数が記述される。例えば、図1のfilter1の例では、「ある」または「かかる」が主動詞の発話は質問であるはずである」という知識を記述している。このような知識を使用して終助詞の誤認識などの復元訂正を行なっている。

```
filter1: (pattern: ((ある かかる) (form assert))
         modify-fun: (change 'form yn-q))
```

図1: 意味表現フィルターの記述例

4.3 キーワード抽出による意味解釈

上記までで述べた意味解釈の方法がすべて失敗した場合、トップダウン的な意味解釈を行う。各文節の意味表現を抽出し、その意味表現とマッチする変数（キーワード）を持つパターンを使って意味表現を作る。図2にこの手法の知識（キーワードパターン）の例を示す。prototypeの後は結果としての意味表現のもととなるパターン、bindingの後は変数の束縛条件である。変数の前には「?」が付けてある。図2では?aruという変数は「(ある)」という意味を持つ文節の意味表現に束縛される。その値が、パターンの変数の値として展開される。図2のキーワードパターンは「富士山にどんなホテルがありますか」などの文に対応する意味表現を抽出するもので、「富士山」などの場所の名詞、「ホテル」などの施設の名詞、「ありますか」などの「ある」という意味を持つ動詞が、音声認識結果に含まれていれば、強制的に上記のような意味表現に変換する。このようにして人間が重要な単語から文全体の意味を想定するストラテジーを対話システム上に実現した。

```
(prototype: (?aru (form wh-q) (target (obj))
              (obj ?org)
              (at-loc ?loc))
binding: (?aru (imi (ある))
              (?org (sem-features org))
              (?loc (sem-features loc)))
```

図2: キーワードパターンの例

5 評価実験

この節では、実際に雑音のある実験室で対話システムを使用し収集したデータをもとに行なった音声対話システム意味理解部の評価実験について述べる。

5.1 評価実験1

意味理解部の最初の評価として、富士山観光案内対話システムについてある程度知っている研究室内の5人の学生に、実際に対話システムを使用してもらった。被験者には、1泊2日の富士山周辺への研究室旅行を計画すると想定してもらった。それから富士山周辺の観光(観光地、宿泊施設)について聞く事ができる音声対話システム(富士山観光案内システム)を使用し、いくつかの項目(1、2日目の目的地とそこでのプラン、宿泊施設の場所、種類、料金、名前の計8項目)を決めてもらうタスクを与えた。5人の被験者のタスク達成率は100%であった。実験結果を表1に示す。また、5人の被験者の全発話119文中89文が音声認識用文法で受理可能であった。

表1: 各モードでの意味理解率

モード	意味理解率 [%]	
	音声認識部 が正解認識	音声認識部 が誤認識
通常モード	20.2	9.2
助詞落ちモード	7.6	2.5
助詞誤りモード	0.0	2.5
フィルターモード	0.0	2.5
キーワードモード	0.8	9.2
合計	28.6	25.9

対話システムの意味理解部の評価方法として、被験者が実際に発話した入力文の書き起こしをシステム開発者が意味表現(意味ネットワーク)に変換したもの(意味表現1)と、入力文の認識結果を対話システムの意味理解部に入力し、結果として出力した意味表現(意味表現2)が一致した場合、正解とし評価を行なった。

表1の「通常モード」はノーマルな意味理解モード、つまり特別な理解処理無しに正しい意味表現を出力できた割合を示している。表より、全体の9.2%が音声認識部で誤認識となっても正しく意味理解できることがわかる。例えば入力文が「富士山に泊まりたいですけど。」に対し出力が「富士山に泊まりたいんですが。」の場合などである。「助詞落ちモード」は助詞落ちモードによる処理によって正しい意味表現を出力することができた割合を示している。「助詞誤りモード」、「フィルターモード(フィルターパターン数7)」、「キーワードモード(キーワードパターン数14)」もそれぞれのモードの処理によって正しく意味理解された割合を示している。従って、表から正しく意味理解できた全発話の54.5%(28.6%+25.9%)の内、ノーマルモードによる29.4%(20.2%+9.2%)の他にリカバリーモードによって25.1%が正しく意味理解されたことを示している。これはまたシステムの音声認識率は28.6%であるが、リカバリーモードによって意味理解率は54.5%まで上昇したことを意味している。

5.2 評価実験2

評価実験1の終了後、その実験結果などを用いてさらにフィルターモード、キーワードモード等の知識の追加(フィルターパターン数2、キーワードパターン数5追加)を行ない、評価実験2を行なった。被験者は音声対話システムに関して全く知識のない大学院生7人である。被験者には、1泊2日の富士山周辺への研究室旅行を計画すると想定してもらい、それから富士山周辺の観光(観光地、宿泊施設)について聞く事ができる音声対話システム(富士山観光案内システム)を使用してもらった。決定してもらう項目は、1、2日目の目的地とそ

こでのプラン、宿泊施設の場所、種類、料金、名前の計8項目である。この時、被験者には富士山観光案内システムについて簡単な説明は行っており、さらに実際の富士山観光案内システムの対話例を提示し参考にしてもらった。

このようにして収集したデータの内訳を表2に示す。7人の全発話数232文の内、140文が音声認識用文法で受理可能であり、また全体の文認識率は38.8%であった(評価実験1より文法受理率対して認識率が良い(38.2%対64.2%)のは認識条件が異なるためである。評価実験1では話者適応モデル・メルケプストラム・継続時間制御で音声区間の切り出し誤りを含む、評価実験2では話者適応モデル・メルケプストラム・回帰係数・継続時間制御で音声区間の切り出し誤りはない)。項目達成率は98.2%である。全体的に間投詞や言い淀みなどが少ないのは、被験者が機械対人間の対話と意識し過ぎているためと思われる。

表2: 評価用データ

被験者数	7人
項目達成率	98.2%
発話数	232文
文法受理文数	140文(60.3%)
正解認識数	90文(38.8%)
間投詞	15文
言い淀み	8文
言い直し	3文
言い間違い	5文

対話システムの意味理解部の評価方法は評価実験1と同じ方法で行なった。またこの評価実験は条件を変化させ二度行なった。一度目は7人の発話データをそのまますべて用いて評価を行なった。それから7人の発話データの半分(116文)を全くランダムに抜きだし、その認識結果と書き起こしデータを意味理解部の開発者に渡した。それをもとにさらに意味理解部の知識データの追加(フィルターパターン数27、キーワードパターン数2追加)を行なってもらい、残りのデータ116文(232文-116文)で二度目の評価を行なった。表3にその結果を示す。

表の「テキスト」とは被験者の発話文を書き起こしたものの(つまり音声認識率100%の場合で、間投詞、言い直し部分等を除いたもの)を直接意味理解部に入力した場合の結果である。テキスト入力でも正しく意味理解できなかった理由として、約半分が意味表現生成用規則がないためであり、残り半分は意味理解部の解析用語彙への単語の未登録のためであった(登録単語数は自立語のみで284である)。この表を見ると第一回の評価では全体の発話文の50%、第二回目の評価で全体の発

表3: 評価結果

評価	意味理解文数	評価文数
第一回	117文(50.4%)	232文
	51文(44.0%)	116文
第二回	146文(62.9%)	232文
	65文(56.0%)	116文
テキスト	182文(78.4%)	232文
	96文(82.7%)	116文

話文の60%が正しく意味理解できていることがわかる。この結果は復元訂正実験の結果より悪い。この理由として訂正実験で用いた入力発話の文法受理率は87.0%(115文中100文)であるのに対して、この評価実験の文法受理率は60.8%と約20%も低いことがあげられる。そこでこの評価実験2の認識結果を対話システムに関する知識のない被験者二人に復元訂正してもらった。その場合、訂正成功率は64.0%程度であった。このことから意味理解部は人間に近い意味理解率であることが分かる。

表4: 文法受理不可文内訳

理由	発話数
未知語	26文
文法規則外	20文
未知語&文法規則外	39文
言い間違い	5文
タスク範囲外	2文
合計	92文

次に音声認識用文法で受理できなかった文(92文)の内訳を表4に示す。これを見ると未知語が原因で文が受理できない文が65文(未知語+未知語&文法規則外)もあり、未知語に対する処理の必要性がかなり重要であることがわかる。今回の評価では、文法受理不可文92文中の11文が意味理解部で正しく意味理解できていた。正しく意味理解できた文を見てみると、辞書にない動詞や終助詞を意味的に同等な動詞や終助詞に置き換えることによって正しく意味理解しているものがほとんどであった。そこで、音声認識用文法の改良を行ない、表4のタスク範囲外の文を2文を除いた90文を認識用文法で受理できるまで拡大した。これによって単語数は275、パーブレキシティは102となった。それから改良した文法を用いてDATに録音してある発話データをもう一度、音声認識システムに認識させた。この時の文認識率は52.1%であった。そして認識結果を意味理解部に入力し評価を行なった結果を表5に示す。

認識用文法を改良し、文法受理率を改良前の60.3%から99.1%(230/232文)まで向上させた場合、意味理解率

表 5: 文法改良後の評価結果

	意味理解文数	評価文数
認識文法 改良前	146 文 (62.9%)	232 文
	65 文 (56.0%)	116 文
認識文法 改良後	162 文 (69.8%)	232 文
	83 文 (71.6%)	116 文
テキスト	182 文 (78.4%)	232 文
	96 文 (82.7%)	116 文

は7%程度上昇した。受理可能な文に対する認識率はパープレキシの増大のために減少しているが(64.2%から52.6%へ)全体としての意味理解率は向上していることから未知語の減少や未知語に対する処理の必要性がわかる。認識用文法改良後の意味理解率70%は、文認識率が52.1%である割にテキスト入力の意味理解率に近い結果であるから、意味理解部のロバスト性はかなり向上したと言える。

6 システムの拡張

今回は訂正復元実験によって得られた人間の修正ストラテジーの一部である、助詞の修正、フィルタリングによる修正、キーワードによる修正を実現し評価した。しかしながらその他に以下のようなストラテジーも意味理解率の向上に有効であると考えている。

- 音韻情報の利用。
音声認識部が未知語として音韻系列を出力する場面があるが、この場合、入力単語の認識部での結果が不確かなために入力を棄却しその部分を未知語として出力した場合と本当に音声認識部にとって未知語であった場合の二通りがある。我々のシステムの音声認識部の辞書と文法は、その結果に対して理解する言語理解部の辞書と文法とは異なるものを使っている。このため音声認識部では未知語である単語でも、言語理解部では未知語でないものもありうる(言語理解部の方が単語辞書を大きくしておく場合)。このため、音声理解部で未知語となったものは言語理解部で復元できる可能性がある。そのため未知語、間投詞として認識された音韻や誤認識された単語の音韻情報を利用して元の単語に復元する。これによって重要な名詞、動詞、疑問詞などを復元できる可能性がある。
- 誤りやすい誤認識パターンの利用。
よく間違われる誤認識のパターンをシステムに与える。これによって上記の場合と同様に重要な名詞、動詞、疑問詞などの復元の可能性がある。

- 動的文脈の利用。
現在のシステムは静的な文脈のみを利用しているが、訂正実験では人間は以前になされた発話も非常に重要視していることが確認されている。これらの動的文脈の使用も考えている。
- N-best の利用。
今は認識結果は最適と考えられるもののみを対象にしているが、いくつかの認識候補結果を利用するN-bestもロバストなシステムには有用であると思われる。

7 むすび

人間は誤認識された音声認識結果をどのくらい原文と意味的に正しい文に訂正できるかという実験を行ない、この人間の訂正ストラテジーを用いた自然発話の意味理解システムの開発を行ない、その評価実験を行った。今後は6節で述べた方法を順次試みていく予定である。

参考文献

- [1] J.Dowding et al: "Gemini: a natural language system for spoken-language understanding", Proceedings of the 31st Annual Meeting of the ACM, pp.54-61, (1994)
- [2] R.Kuhn and R.De Mori, "The Application of Semantic Classification Trees to Natural Language Understanding", IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.17, no.5, pp.449-460, May 1995.
- [3] E.Jackson, J.Bear, R.Moore, and A.Podlozny, "A template matcher for robust NL interpretation" Proc. Speech and Natural Language Workshop, Morgan Kaufmann Inc., pp.190-194, Feb. 19-22, 1991
- [4] W.Ward and S.Young, "Flexible use of semantic constraints in speech recognition," Proc. ICASSP 93, vol. II, pp.49-50, Minneapolis, Apr. 1993.
- [5] 伊藤, 大谷, 肥田野, 山本, 中川: 「事前説明によるシステムへの入力発話の変化と認識結果の人間による復元」, 情報処理学会, 音声言語情報処理研究会, 94-SLP-4-7(1994.12)
- [6] 山本, 小林, 中川: 「音声対話文における助詞落ち・倒置の分析と解析手法」, 情報処理学会論文誌 Vol.33, No.11, pp.1322-1330(1992).
- [7] 肥田野, 伊藤, 山本, 中川: 「音声対話システムにおける自然発話の頑健な一理解法」, 情報処理学会, 全国大会論文集, pp.467-468(1994)
- [8] 甲斐, 間宮, 中川: 「自然発話の認識・理解のための解析・照合手法の比較」, 情報処理学会, 音声言語処理研究会報告, 94-SLP-2-12(1994.7)
- [9] 山本, 肥田野, 伊藤, 大谷, 中川: 「自然発話の意味理解と対話システム」, 情報処理学会研究報告, 94-SLP-2-13, pp.91-98(1994.7)