事情通ロボットによるオフィス環境における知的作業支援

Jijo2 robot that supports works in an office environment

本村陽一† 松井俊浩† 麻生英樹† 浅野太† 原功† John Fry ††

Yoichi Motomura† Toshihiro Matsui† Hideki Asoh† Futoshi Asano† Isao Hara† John Fry††

† 電子技術総合研究所 †† Stanford university

† Electrotechnical Laboratory †† Stanford university

Abstract: We develop the Jijo2 robot that supports daily works in an office environment. Jijo2 implies Japanese word, 'JIJYOU-TSU' who knows many things about the environment. In this paper, distinctive functions of Jijo2 robot are introduced. Through developing the robot, important research issues are getting clear. It is called non-deterministic selection problem. For this problem, probabilistic framework is effective to understand from computational point of view.

1 はじめに

電総研でオフィスにおける作業を支援するための知的システムのプロトタイプとして「事情通ロボット」と名付けたシステムの研究開発を行っている [1, 2]. ここでは限定された閉じた環境ではなく, 一般の多様な生活環境で人間と柔軟にコミュニケートしながら協調して動作できる知的システムを目指している. そのために人間が自然に扱っている多様な情報を統合して処理を行う能力と, 動的に変化する開放系である実環境に適応するための学習能力が重要な鍵となっている [4].

事情通ロボットは「自分のオフィス環境についての獲得した知識をユーザーの要求に応じて提供する」ことで作業を支援する知的システムであり, 次のようなタスクを実行することができる.

- 訪問客を目的地まで案内する.
- 渡された物を届け先に持って行く.
- 用件のある人の居場所を探して連絡をとる.
- オフィス外の外出先からインターネットを通じた情報提供.
- 職員の居場所やスケジュール管理.
- 会議室などのオフィスのリソース管理.
- グループのミーティングの調整, 部屋予約.
- 組織内の OA データベースについての情報検索.

などのような日常的な作業を支援する電子秘書ロボットとしての役割が想定されている.

このために実際的なオフィスにおいて望まれる重要な能力は, すでに電子化されたデータだけでなく, 明示的にオンライン化されていなかったり直接観測することが難しいが暗黙的にその環境では通用している常識, スタッフが共有している知識, 時々刻々と起きている出来事に関する情報なども扱えることである. このような情報はこれまでの情報システムにとっては比較的取扱いにくいものであり, こうした種類の知識を獲得する手法の研究は情報処理技術にとってのブレークスルーとなると期待できる. 事情通ロボット計画において我々は, これら人間が日常的に扱っている多様な知識をシステムが吸収し, 学習するための移動型実環境インターフェースとしての機能にも注目して研究を進めている. 本発表では, これまでに開発した事情通ロボットの機能の特長と, 知的な日常作業の支援のために重要な課題として非決定的な選択の問題について述べる. この問題に対する一つのアプローチとして確率推論と事情通データベースからの学習についても説明する.

連絡先: 〒305 つくば市梅園 1-1-4 電子技術総合研究所 情報科学部, 本村 陽一, E-mail: motomura@etl.go.jp, Tel: (0298)54-5836, Fax: (0298)54-5301, URL: http://www.etl.go.jp/ motomura/

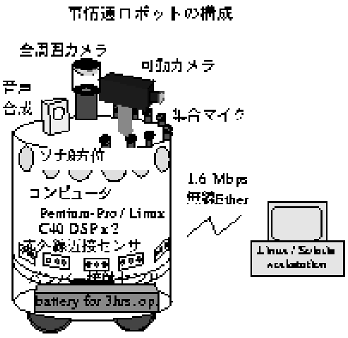

図 1: 事情通ロボット

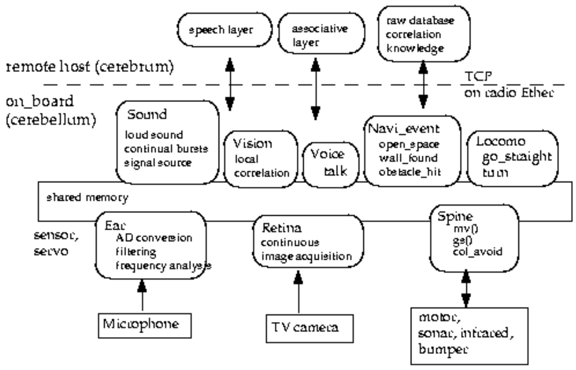

図 2: ソフトウェアモジュールの構成

2 事情通ロボットシステム

事情通ロボットの特徴としては,

- 自分が居る環境についてよりよく知る (事情通になる) ために情報を獲得することために行動する.
- その環境の中で動作を実行しながら環境とのインタラクションを通じて学習し続ける.
- 自分ではどうしても判断できない情報については近くにいる人と対話することによって知識を獲得する.
- 環境内の場所を同定しながら自由に移動ができる.
- インターネットを通じて遠隔操作ができる.
- ロボットが獲得した情報は既にオンライン化された OA データベースなどと同様に SQL データベースに格納され, WWW などからも利用できる. 逆に WWW やリモートセンサなどから変更した情報もロボット本体から利用できる.

といったことが挙げられる [5, 6].

以降では事情通ロボットシステムとして実現されている主要な各機能をそれぞれ説明する.

2.1 移動ロボット

ロボットベースとして Nomadic 社の Nomad 200 をもとに機能拡張したプロトタイプによって開発が進められている. また最近では同社の新型ロボットである XR4000 を用いてより多くの機能モジュールを搭載したシステムへと移行中である.

ロボットはソナーセンサ, 赤外線センサ, 可動型カメラ, オムニビュー全方位カメラ, レーザーレンジファインダー, マイクなどのセンサ類を搭載し, 障害物を回避しながら目的地へ移動したり [3], 人物を発見して近付いたりすることができる.

ロボットを制御するソフトウェアモジュール群は図 2 のようなマルチエージェント構成をとる [8]. リアクティブな反応が求められる単純だが高速に動作するモジュールはロボット本体に内蔵した PC(Linux) 上で動作し, より高度であるが熟考型のモジュールは無線 LAN 上のソケット通信を介して外部に設置した複数のワークステーションなどで動作する.

2.2 音声対話システム

オフィス環境において自然な音声対話を実現するために 8 本のマイクロフォンアレイによる音源方向推定とビームフォーミングや非音声を除去する方法を用いたノイズリダクション [9, 10] を DSP で処理した音声信号を HMM を用いた不特定話者連続音声認識システムに入力して利用している. ロボットからユーザーへの出力は音声合成モジュールによる日本語の発声で伝えられる.

ユーザーが発話する対話文は特定の文法ルールと職員の名前などを語彙集合にとして与えることで, 次のような発話を理解することができる.

移動機能 「右に曲がって」「真っ直ぐ行って」「止まって」

ナビゲーション 「ここはどこ？」「～さんの部屋です」

タスク指示 「～さんに届けて」「～さんを呼んで」「連れていって」「ファックスを送って」

データベース, スケジュール 「～さんはどこ？」「会議はいつから？」「本館に行きます」「～時から～時

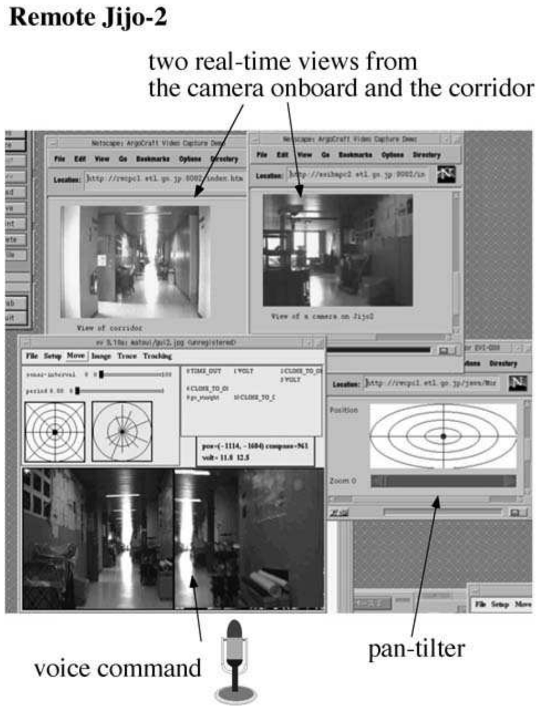

図 3: Remote control window

までです」

自然な対話を行い, ユーザーの心理的負担を低減するために, 発話の長さ, 無駄な発話の数を減少させることが重要である. そのために以前に発話された文脈をスタックで管理することにより注意する言葉を限定し誤認識を減らし, 省略された単語を補間することができる [11].

2.3　WWW によるリモートコントロール

WWW ブラウザから事情通ロボットに対する命令を指示したり, 事情通ロボットの観測情報を得るようなリモートコントロールインターフェースを JAVA などを用いて実装し (図 3), 名古屋、オーストラリアからつくばにある事情通ロボットを操作する実験を行った.

2.4　事情通データーベース

オフィスに関する情報として事情通ロボットが学習し, 蓄積した情報は比較的大規模なものとなる. またロボットが観測した情報以外にもスタッフの電話番号, 所属グループなど別の用途でオンライン化されているデータにも事情通ロボットから統一的にアクセスできることが望ましい. そこで, 事情通ロボットが持つ情報は一般的な SQL データベースに格納する. 商用データベースとして OA に用いられている Oracle なども利用できるようにするため, ロボットからは知的なフィルタ機能を持つ一種のミドルウェア (Jijo2DB I/F) を介して適切なテーブルの検索, 格納先のデータベースを選択してアクセスする (図 4). Jijo2DB I/F は JAVA で書かれており, JDBC を適用することで一般的な複数種類のデータベースソフトとの接続を可能にしている.

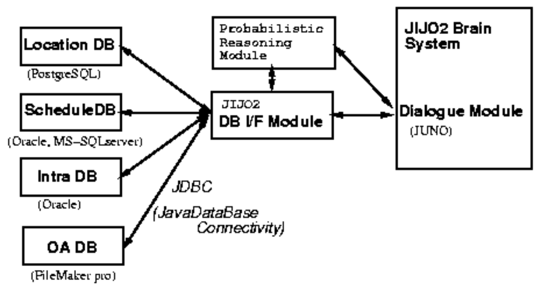

図 4: 事情通データベース

また後述するようにロボットは不確実性を伴う場面での意志決定に確率推論を利用する. この確率推論エンジンとしては非線形性, 連続値変数を自然に扱うことのできるベイジアンネット BNNN[12] を用い, 事情通データベースに格納された観測データから頻度確率を求め環境に関する確率的知識を学習する (図 8).

2.4.1　所在場所インジケーター

事情通ロボットは訪問者が来訪した時などに職員の居場所を確認し, 部屋に居る場合には部屋に案内し, そうでない場合には所在場所を知らせたり, 連絡がつく場合には電話をかけたりする. このために, 職員は席に戻った時や外出する時などに自分の所在場所, 行き先などを WWW ブラウザ上の JAVA アプレットを操作することでわかるようにしておく (図 5). つまりこれはオフィスや研究室などでよく利用されている行き先表示板のオンラインデータベース版である. 居場所情報は Jijo2DB I/F にコマンド送ることで SQL データベースに記録される. したがって, 入口に設置したパソコンの WWW ブラウザ上のインジケータ (JAVA アプレット) でアクセスする他にも, ロボットに話しかけることでアクセスしたり, 外出先や自宅などのインターネットに接続された PC からアクセスすることが可能である. 変更履歴はデータベースに保持されていて, これを後述の確率推論エンジンに学

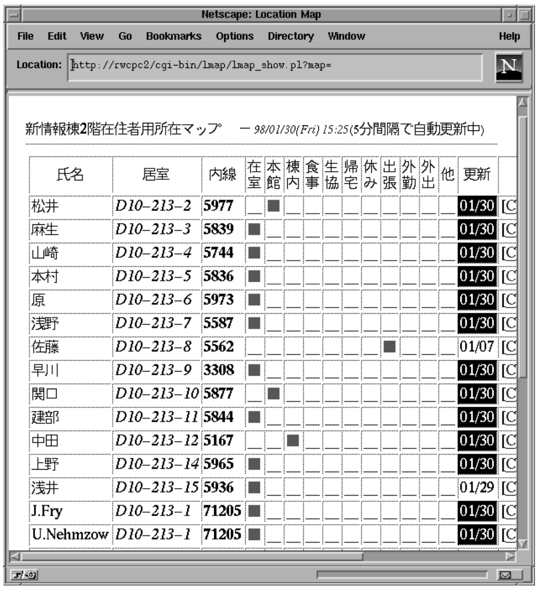

図 5: 所在場所インジケーター

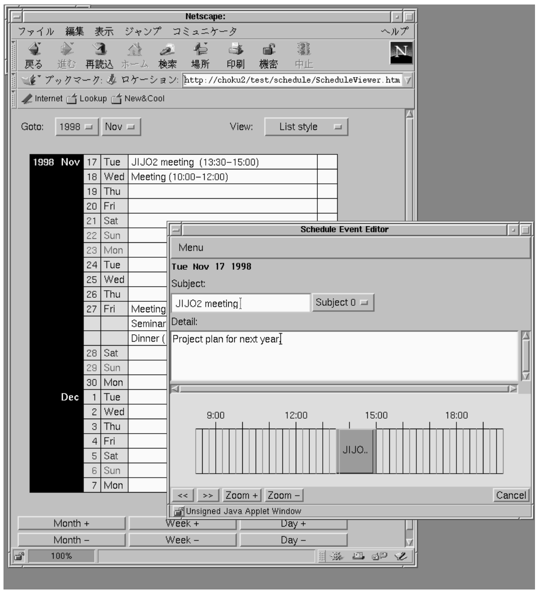

図 6: スケジュール管理システム

習させることで, 各個人の行動パターンなどの予測も行う予定である.

2.4.2 スケジュール管理システム

プロジェクトメンバのミーティングの日時を調整したり, 連絡を取りたい相手の予定を知るために各自のスケジュール情報を事情通データベースで管理する. このために Jijo2DB I/F を通じてスケジュールを記録する JAVA アプレットを開発した (図 6). 研究グループのメンバの協力を得て, 実験的に各メンバのスケジュールをできるだけここに登録するようにする. 将来的にはノートパソコンや PDA などに記録したスケジュール情報をシンクロナイズさせ, 事情通データベースに読み込むことも予定している.

3 非決定的選択の問題

事情通ロボットの上で様々な機能を統合していく過程で, 扱う対象が高度, 複雑になるにつれ共通の問題が明らかになってきた. ここでは非決定的選択という観点から具体的な各問題について概観してみる.

音声認識システムの中で理解できる単語, 文を増やして行くとそれにつれて入力音声に対して候補となりうる認識結果の種類も増大する. すると, 単純な文しか理解できない場合に比べて, 認識を誤る頻度も増えた. 入力音声信号の分離度に比べて, 判別空間の相対的な距離が近くなりすぎてしまったためである. そこで文脈情報や状況を正しく文節することでその局面において対象とする候補をある程度限定することが必要である.

この問題は扱う知識が逐次増大していく事情通ロボットにとっては本質的な問題であり, 様々な場面で選択を行い, 対象を限定することが, 事情通ロボットがその機能を拡張し, 情報を獲得し学習して成長していく上で重要であることがわかってきた. しかし, この選択をどのように行えばよいかというメタな知識も自明でなく, それ自体も環境内での動作を通じて学習すべきものである. ここではこれを非決定的な選択と呼ぶ. つまり確率的に選択するなどしてその選択についての評価を行い, それによって次回の選択基準が変化するような二重構造を考えなければならない. この問題は未解決であるが, 事情通ロボットにおいて具体的に直面する各場面を整理することで課題を切り出してみる.

3.1 適切なランドマーク, 特徴量の選択

オフィスの中で目的地に向かって正しく移動するナビゲーションタスクにおいてはロボットが現在居る場所を同定することが重要な課題である. 場所同定を行うためのセンサーとしてはソナーセンサやカメラ画像を用いるが, どのような特徴量を利用するかは認識対象に強く依存しているためオフィス環境のような多様な場所にお

いて何をランドマークとして設定し, どの特徴を入力として利用するかを一義的に決めることが難しい. 例えば, 赤外線センサやソナーセンサは主に近距離にある周囲の壁までの距離を判断するために使われ, 狭い回廊で仕切られた環境で曲がり角を探しながら移動するような状況に向いているが, 広いスペース内で目的物を探して移動するよう場合にはあまり有効ではない.

様々な状況が混然としている一般的なオフィスでも頑健に移動できるためには環境の状況を判断して適切なランドマーク, 特徴, センサを適宜選択することが必要となる. 本来パターンを識別する特徴は識別空間を最適に分離できるように設計されるものであるから対象とするパターンクラスを事前に仮定していることになるが, ここでの議論ではこの対象とするパターンクラス自体が動的に変化することを考えなければならないから, 識別空間の表現, パターンクラスをどのように扱い特徴量を決定するかが重要な問題である.

また構成した識別空間内が十分なものでなく, 各パターンクラスが比較的接近している場合には入力パターンの持つ尤度情報だけでは十分に判定できない. この場合, ベイズの事後確率を計算する際に状況に依存した事前確率分布をベイジアンネットで学習し, これを積極的に利用することで認識精度を高める方法 [13] が応用できる. そのためには状況をうまく文節して, 適切な事前確率を表現するためのモデル構築手法, ベイジアンネットの学習法が主要な問題になる.

3.2 情報ソースの選択性

目的の環境についての事情通データベースを整備し, 扱うデータの種類を増やして行く場合には単一のテーブルに項目を追加していくよりも複数のデータベース, テーブルにデータを分割して格納する方が一般的である. この場合には必要としている情報がどのデータベース, テーブルに含まれているかを完全に把握して SQL 文を生成することは繁雑であり, 扱うデータベースを簡単に拡張することが難しい.

そこで, ロボットから事情通データベースへのアクセスは単一のミドルウェアに集約し, ミドルウェアの中で実際の問い合わせ先を判断したり, 直前に問い合わせがあった結果を文脈情報として保持する. 問い合わせ先の判定は必ずしも完全に成功するとは限らない. 場合によっては複数回の試行が必要になることもある. そのため計算コストを最小にするためには全探索的に試行を繰り返すのではなく, 要求を満足できそうな可能性が高いものから順に試行する戦略が重要になる. このために要求を満足する可能性を評価するための基準が必要になる.

さらに事情通ロボットの場合には受動的な観測だけではなく, 能動的に情報を探索する行動をとることができる. ロボットが能動的な探索行動を取った後に始めて観測できるような情報に関しては, ある局面においてどの探索行動を実行するべきかについても全く同様の問題が生じる.

4 非決定的選択のための確率推論

前章で述べた非決定的選択の問題に対する解決策としては (1) 状況に応じて選択の候補を限定する, (2) 選択すべきもっともらしさによって候補に重みづけを与え優先順位をつける, などの方法が考えられる.

(2) は確率論的なアプローチであるが, この場合観測できない事象のもっともらしさを条件付きの頻度確率などによって与え, その期待値を評価する確率推論を実行することでできるだけ合理的な選択を行うことが期待できる. 例えば不確実性が多い, すなわち確率論的にエントロピーが高い対象について高い相互情報量を与える観測行動を実行する戦略を考えることなどが考えられる. こうした場合に重要なことは確率評価を適切に求めることである. そのために確率計算を行うモデルを観測事例から精密に学習することが重要である. 確率論的なアプローチは (1) の候補を限定する時の評価基準としても使用できる.

直接観測することができない対象についての推定を行うために別の観測結果を使って予測を行い, その期待値で評価を行うことが考えられる. この確率計算を実行するために問題領域における依存関係をグラフ構造を持つベイジアンネットを使ってモデル化し, 対象のそれぞれの値についての確信度を確率分布として求める方法がある. このモデル化を忠実に行うために事情通データベースからのベイジアンネット学習が必要になる. 我々はそのためにデータベースからの学習機能を持つ確率推論システムを開発し [14], 依存関係の抽出や条件付き確率の学習を行っている.

5 まとめ

オフィス環境における日常的な作業を支援するための知的システムの一例として事情通ロボットについて述べた. この研究を通じて機能や情報を統合する場合の重

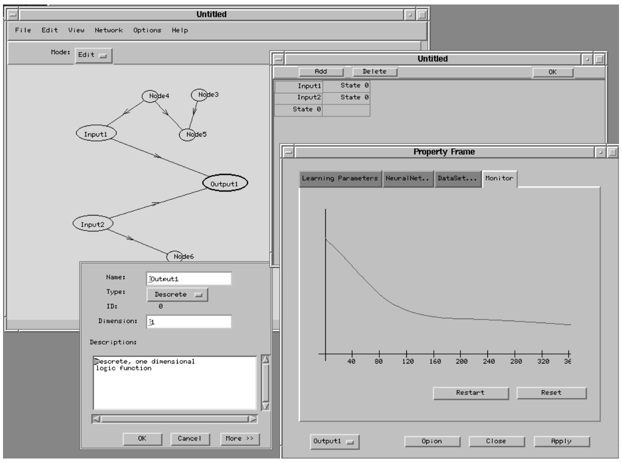

図 7: 確率推論エンジン BAYONET

要な研究課題として不確実な事象についての非決定的な選択の問題が明らかになってきた. この問題を定式化し, 学習の結果得られた統計的なデータを解釈するためには確率的アプローチが有効である. しかし確率を用いることは理論的な見通しを明らかにする一方で計算コストの増大を招きかねない [7]. 今後は理論的に何を行っているのかという計算論的なモデルを明らかにする一方で, 現実的な速度での動作を実現するための近似的なアルゴリズム, 実装を考えて行くことが重要な課題である.

謝辞

本研究は RWC Program の一環として行われた。

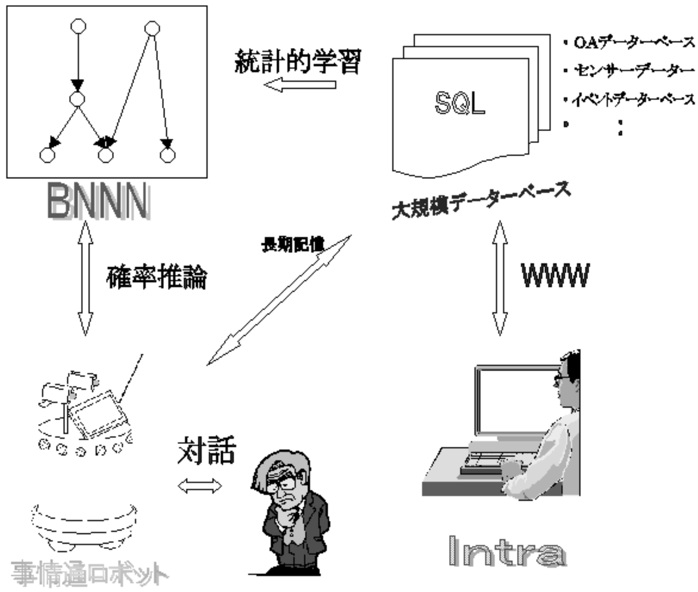

図 8: 事情通ロボット, データベース, 推論エンジン

参考文献

[1] T. Matsui, I. Hara, H. Asoh, Y. Motomura, F. Asano, and S. Akaho: Dialogue-guided remote navigation of the office conversant mobile robot Jijo-2, Academic Exhibition, IJCAI'97, Nagoya, Japan, (1997).

[2] 松井俊浩：おせっかいロボットとも呼ばれる事情通ロボットの計画, bit,Vol.29, No. 12, pp.4-11 (1997).

[3] T. Matsui, H. Asoh, and F. Asano: Map learning of the office conversant mobile robot, Jijo-2, by dialogue guided navigation, Int. Conf. on Field and Service Robots (FSR'97), Canberra, Australia, Dec. 1997.

[4] Hideki Asoh, Satoru Hayamizu, Hara Isao, Yoichi Motomura, Shotaro Akaho, and Toshihiro Matsui: Socially embedded learning of the office-conversant mobile robot, Jijo-2, IJCAI'97, pp. 880-885, (1997).

[5] H.Asoh, Y.Motomura, I.Hara, S.Akaho, S.Hayamizu, and T.Matsui: Combining probabilistic map and dialog for robust life-long offifce navigation, IROS'96, pp.807-812, (1996).

[6] 麻生英樹, John Fry, 速水悟, 浅野太, 本村陽一, 松井俊浩: 所内事情通ロボット Jijo2 の対話機能, 意味と理解研究会, (1998).

[7] 麻生英樹, 赤穂昭太郎, 本村陽一:統計的推論と AI の推論, 人工知能学会論文誌, Vol.12, No.2, pp.196-203, (1997).

[8] Hideki Asoh, Isao Hara and Toshihiro Matsui: A structured dynamic multi-agent architecture for controlling mobile office-conversant robot, ICRA'98, (1998).

[9] 浅野太, 速水悟, 松井俊浩：話者方向同定と雑音抑制による 音声認識性能の改善, 日本音響学会誌, 53,11 (1997).

[10] Futoshi Asano and Hayamizu Satoru: Speech ehnancement using array processing based on the coherent-subspace method, IEICE Trans. on Fundamentals, Vol.E80-A, No.11, pp.2276-2285, (1997).

[11] John Fry, Hideki Asoh and Toshihiro Matsui: Natural dialogue with the Jijo-2 office robot, IROS'98 (1998).

[12] Y. Motomura, I. Hara, H. Asoh, and T. Matsui: Bayesian network that learns conditional probabilities by neural networks, the Progress in Connectionist-Based Information Systems, pp.584-587, Springer (1997).

[13] Yoichi Motomura: Integration of situated prior probability and neural network classifier in a handwriting recognition task, Int. Conf. on Neural Information Processing (1998).

[14] 本村陽一, 原功: "データベースからの学習機能を持つ確率推論システム BAYONET", 第 12 回人工知能学会全国大会, (1998).