

自律型知識メディアとしてのロボット

オフィスワーク支援ロボットの試作

武田 英明、上野 敦志、佐治 禎基、中野 剛、宮本 圭、吉村 俊哉、片山 顕正*

奈良先端科学技術大学院大学

Robot as Autonomous Knowledge Media

Prototyping of Office Work Assistant Robot

Hideaki Takeda, Atsushi Ueno, Motoki Saji, Tsuyoshi Nakano,

Kei Miyamoto, Toshiya Yoshimura and Akimasa Katayama*

Abstract: In this paper, we discuss roles of robots as autonomous knowledge media and show our prototyping systems of office work assistant robot based on this approach. Nowadays, we are surrounded by a huge amount of artifacts and information that is making difficult for human to deal with. Robots can help people by gathering and arranging information intelligently instead of people themselves. Our prototyping system called Knowledgeable Environment III is an office work assistant robot that can tell people location of daily goods in office. It firstly looks around to capture images of desks in order to remember what and where such goods. Then it can identify them by cutting them out from the background and categorizing them by color, shape, and figure. People can ask it to take goods in office by either specifying names or features such as color. We also realized discovery of objects three-dimensionally by comparing captured scenes with expected ones.

Keywords: office robot, knowledge media, object recognition, intelligent environment

1. はじめに.

現在、我々の周囲は多様かつ日々発展する人工物と情報で埋め尽くされている。今日問題なのはこのわれわれを取り囲む人工物や情報の量がわれわれの認識能力を超え、処理しきれないという事態に直面しつつあるということである。このようなモノと情報の氾濫には限りがないが、われわれの認識能力には限界があるので、今後ますますこの問題は深刻となると思われる。

情報の世界においては近年いかに情報を整理し統合化して人間に提供するかということはさまざまに研究されている[1]。とくに人間の代理、代行をするエージェントはその解決のひとつの有効なアイデアである。

しかし、これらの方法は情報の世界に限られている。われわれの生活する環境は情報的環境ではなく、むしろ物理的環境に大きく依存している。とはいえいまや情報的環境を抜きには生活環境を考えることも困難なことも事実である。いま、必要とされているのは物理的環境と情報的環境をいかにつなぎあわせるかということである。

Intelligent Environment という考え方はそのひとつの方向である(たとえば[2])。ここでは環境を計算機を使って知的にすることで物理的環境と情報的環境をシームレスにつなごうとしている。われわれも Knowledgeable Environment というテーマで研究を行ってきた。ここでは環境に知識を持たせることにより物理的環境と情報的

環境を統合することにより、人間が自己の意図をより容易に発揮できるような状況を作ることを目標としている。このためにまず比較的整備された環境でのプロトタイプシステムを作成した[3][4](図1参照)。ここではマルチエージェントシステムを基本として構成した。各機器や各情報処理モジュールをエージェントとして、エージェント間で通信を行い問題を解決するという分散型の機構である(図2参照)。このことにより、あるエージェント(ウオッチャ)がユーザの要求を発見して、それを仲介するエージェント(メディエータ)が適切なタスクに構成しなおしてエージェント群に実行させるということが可能になった。またここでのタスクの表現をエージェント間で共有することにより環境の表現を容易にしている。このシステムにおいては環境の表現はオントロジーすなわち概念の体系を用意してそれに沿った表現をすることでよりやさしくしているものの、基本的にシステムが物理的環境から情報を獲得するわけではないので、環境構築の負荷ということから逃れ得ない。われわれが直面する環境というのは日々変化する、すなわち環境中の人工

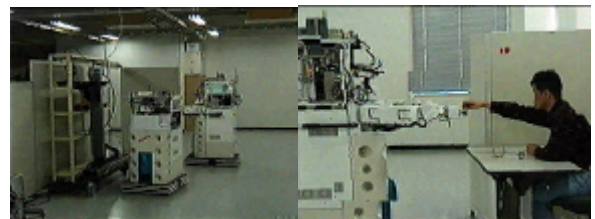


図1 Kappa I

* 現在、三井造船株式会社玉野事業所(玉野市玉原3-16-1)

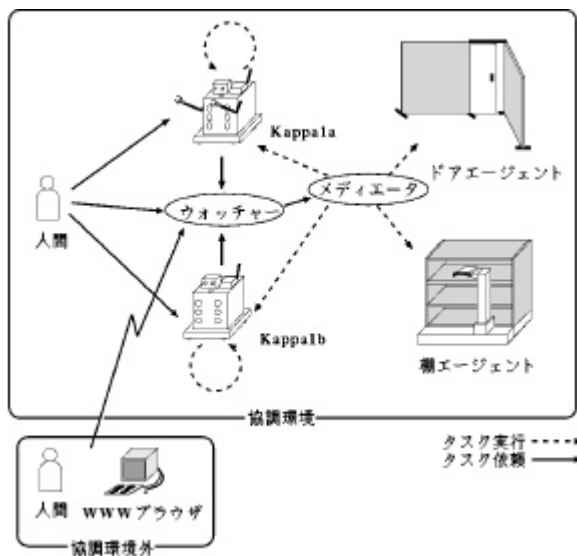


図2 マルチエージェントシステムとしての実装

物は新たに加わったり変化したりしている。そのような動的な環境に対応する必要がある。すなわち、環境中の人工物を動的に獲得する仕組みが必要となる。

そこでここではロボットを環境情報のための自律的知識メディアとして位置付け、このようなメディアによってわれわれの情報収集の手助けを行うという方法を提案する。ロボットは環境から人工物の情報などを自律的に収集し蓄積する。ユーザはこのロボットにアクセスすることで動的な環境情報を取得することができる。ユーザはロボットに環境の観察からではわからない情報の意味を教示することで、ロボットは情報をより構造化して蓄積する。すなわちロボットと人間は知識を部分的に共有することで環境の環境を容易にする(図3参照)。

同様の方向の研究としては事情通ロボット[5]、ユビキタスロボティクスシステム[6]がある。前者は人間からの情報をいかに自然にロボットが獲得しそれを提供できるかが研究の焦点であり、対話に重点が置かれている。後者では人間の状況をいかに自動的に獲得できるかについての研究がなされている。これらの研究が人間に関する情報を扱うのに対して、本研究では基本的に獲得すべき情報は環境、とくに環境中のものに関する情報であり、それを人間と共同して獲得するという方向で実現している。したがってこれらは相補的であり、両方の情報獲得の実現が真に人間と共存できるロボットの実現になると思われる。

2. オフィスワーク支援ロボット

現在、われわれは実際の人間が活動する環境を対象にして前章で述べたようなロボットシステム Kappa III を試作している[7][8][9]。

ここではオフィス内での物品を場所を管理するロボットを実装している。すなわち、人間から要求された物を口

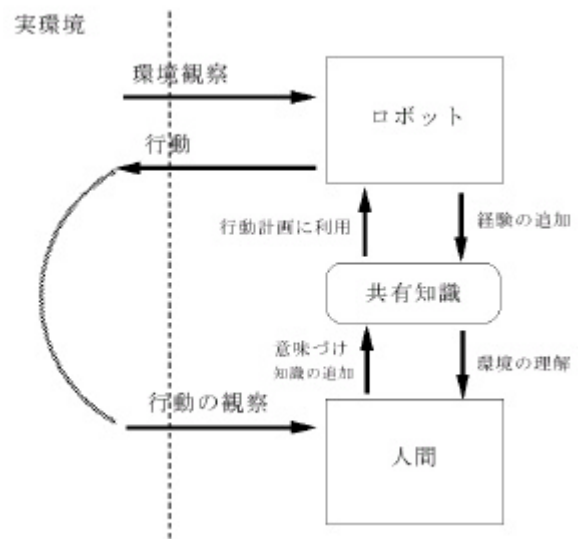


図3 自律型知識メディアとしてのロボット

ポットが環境内を自律的に移動してその物を見つけ出し、それを持って依頼された人の所まで運ぶ、というものである。ただし、現状ではものを掴むなどの動作は実現していないので、そういった行為においては人間の手助けを必要とする。

2.1 ロボットの基本動作

ユーザがこのロボットを使う際の作業の流れを以下に示す(図4参照)。

1. ユーザがユーザインタフェースから持って行きたい物の名称あるいはカテゴリーを入力する(図5参照)。ユーザが名前がわからない、ロボットが名前を知らないような場合は、ものの持つ属性(色、形、大きさ)を指定する。ロボットは蓄積したものの情報を検索して、そのものが置かれている候補地とそのスナップショットをユーザインタフェースに出力する(図4の3)。
2. 名前のつけられていないものでユーザが名前を知っている場合、そのものに名前付けを行うことができる(図4の4)。
3. ユーザはそのスナップショットを見て、自分が入力したものが写っているスナップショットを選択する(図4の5)。
4. ものの取得(図4の6)
 - 4-1 ロボットは選択されたスナップショットが撮影された場所へ移動する。
 - 4-2 移動後、ロボットはその場所の近くにいる人に対して、依頼されたものをロボットに載せるように協力を求める。
 - 4-3 その物を持って、依頼したユーザのもとへ移動する。

このための情報をつめるためにロボットは適宜オフィス内を徘徊してものがありそうな場所のスナップショッ

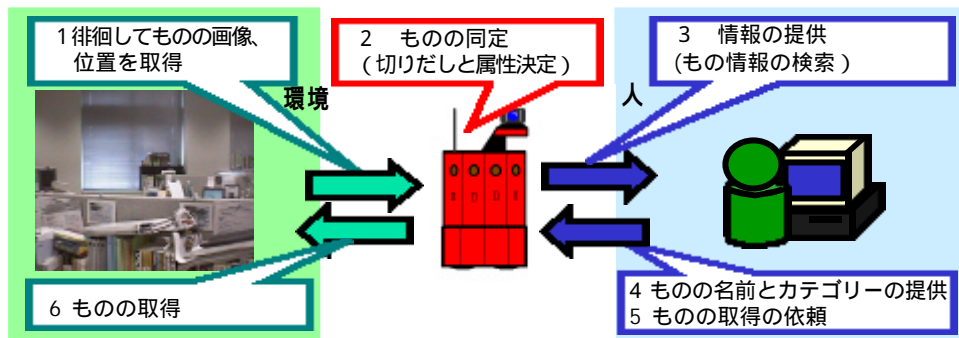


図4 Kappa III の利用の仕組み

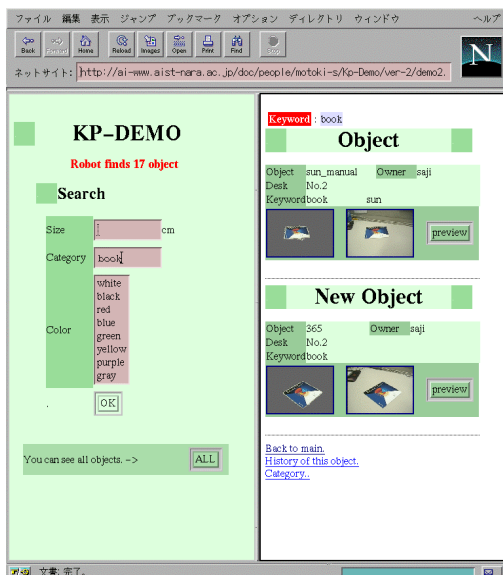


図5 人間による検索と教示の画面

トを収集し(図4の1)、ものの属性を抽出しておく(図4の2)。

2.1 必要とされる機能

このようなロボットを実現するには以下の機能が必要である。

1. 移動機能、物体把握・保持機能
2. 物理的情報の獲得機能
3. 概念的情報の獲得機能

1の移動機能に関しては基本的に距離角度をもった経路地図に基づいた移動を行っている。物体を把握・保持する機能については現在実装していない。

2の物理的情報の獲得機能とはいかに実世界の情報を取り込むかということである。現在は、単眼の静止画像から形、大きさ、色をもった物体を認識している(次章)。また時間と場所は自動的に記録される。このほかにも文字情報を認識する試み(第4章)、3次元の形状を認識する試み(第5章)も行っている。

3の概念的情報の獲得については、2通りの対応がある。オフィス内で変化のない(少ない)情報については予め用意することができる。上記の地図、また机の所有者などである。しかし移動可能な物品などについては新たに

持ち込まれたり、持ち去られたりするので、予め用意することは困難である。そこで、人間からものの名前とそのものが属するカテゴリーを適宜教示してもらう仕組みを作っている。

3. 属性情報を利用したものの認識

人がものを認識するにはいくつかのアプローチがある。それら全ては五感によるもので、たとえば臭いであるとか、手触りであるとか音である等である。ここでは画像処理に関して人の認識モデルを構築することを考えるため、人の視覚によるものの認識に用いられる要素はたとえば以下のものであろう。

- 文字は書いてないか？
- 大きさはどのくらいか？
- どのような形をしているか？
- どんな色をしているか？
- 材質は何でできているか？

もし、もの上に文字によるタイトルが書いてあれば無論読むであろう。能力があるならそれらを読み取ってしまえば良い。次に重要度が高いのは、「色」、「形」、「大きさ」といった属性情報であると考えられる。人はまずもの大まかな形を見、色や材質からそれが何であるか判断を下すであろう。このシステムをロボットに模倣させるために、これらの属性を学習する必要がある。このような属性を手がかりとするもの認識システムを作成した[10]。手順は以下の通りである。

- (1) ものの切りだし
- (2) 色の特徴の獲得
- (3) 形、大きさの獲得
- (4) もの画像の正規化
- (5) オブジェクトの同定
- (6) オブジェクトの名前つけ

ここでは机の上のものに限定してものの認識を行うシステムを作成している。

- (1) ものの切りだし

背景からものの領域を切り出す。机の上であるので背景はほぼ一定であるのでこれを利用して切り出す(図6、図7参照)。



図6 ロボット撮影画像 図7 もの画像の切りだし

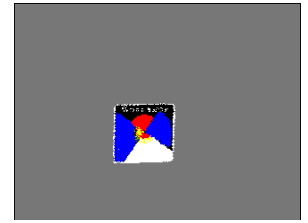
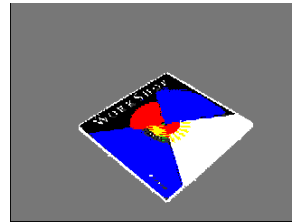


図8 色の単純化 図9 透視変換による変形

(2) 色の特徴の獲得

ここでは人間がものを認識するための属性として色を用いるので、人間が分別可能な少数の色に単純化する(図8参照)。現在は8色に単純化している。これは人間の認識のためであると同時に照明などの影響を減らす効果もある。

(3) 形と大きさの獲得

今回は机の上の物品と限定しているため、単眼の画像でも透視変換によって形と大きさの復元をすることができる(図9参照)。こうすることにより、もの実際の大きさと形を得ることができる。

(4) もの画像の正規化

ものの姿勢や全体画像中の位置に依存しないように正規化する。ここでは、切り出されたものの画像の最大幅を1辺の長さとする正方形の中にももの画像の長辺を一定の方向になるようにもの画像を配置して、正規化した画像としている。

(5) オブジェクトの同定

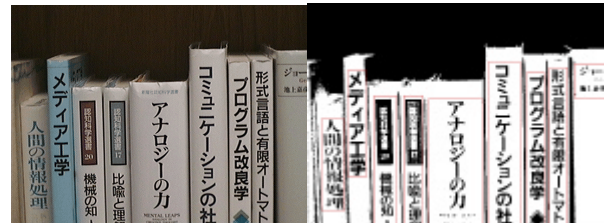
以上のプロセスによって、ひとつのもの画像には元画像、正規化したもの画像、大きさ、撮影された場所、時間が得られる。これをオブジェクトのインスタンスと呼ぶ。このインスタンスには同じものを別の場所、別の時間に撮影したものもべつ々のデータとなっている。そこで同一のオブジェクトのインスタンスを纏め上げる作業が必要である。ここではこれをオブジェクトの同定と呼ぶ。

オブジェクトの同定は、正規化画像の類似性によって行う。すなわち、もの画像が登録されたとき、その正規化画像とすでに特定のオブジェクトのインスタンスとして登録されている正規化画像と類似性を調べ、その類似性が一定の閾値を超えもっとも類似した正規化画像がある場合、その属するオブジェクトのインスタンスとして登録する。もし、このようなオブジェクトが見つからない場合、新たなオブジェクトを登録して、そのインスタンスとする。

類似性の判定は正規画像のピクセル毎の色のマッチの合計で行っている。またすべての正規化画像と類似性のテストを行うのではなく、画像中の最大の色が同一であり、大きさが約2割の範囲で一致する画像のみ類似性のテストを行っている。

(6) オブジェクトの名前つけ

上の方法ではオブジェクトは色や形、大きさで特徴付け



(a) 本棚の画像 (b) 文字領域の同定



(c) 文字列の認識

図10 本棚の文字列の認識

られるが、これだけでは人間にとっては不自由である。オブジェクトには固有の名前があるはずであるが、それはロボットだけの認識能力では獲得することは困難である。そこでこのシステムでは人間がオブジェクトを検索するときに、付随的にオブジェクトに名前をつけることができるようにしている。このとき、もしシステムの類似性の判定の基づく分類が間違っていれば、訂正することもできる。

4. 環境中の文字の発見

上記の方法ではものの形と色だけに注目したが、文字情報が利用可能であれば人間にとってより理解が容易になる。そこで、環境中から文字を収集する仕組みについても試作中である[11]。

任意の環境中の文字列を認識することは容易ではないが、ここでは本棚の本と壁のポスターを対象にして文字列を収集することを試みている(図10参照)。この場合文字列は必ずしもきちんと取れている必要はない。部分的な文字列でも他の情報源(たとえば本のデータベース)によって補完可能であるし、また検索するときもあいまい性をもって検索することで解決できるからである。この仕組みにより部屋の中のどこにどのような文字列が存在することがわかるようになる。



図 11 観察画像

5. 仮想環境とのマッチングによるものの発見

前章では机の上の物体の認識という比較的認識環境が一定の場所を対象にしている。このため物体の切り出しが容易に行うことができた。机の上に限らず部屋一般において物体の認識を行うとすると、物体をその背景から切り出すことすら難しくなる。そこで今回は廊下など比較的ものの移動が少ないが多様な大きさや形のもの置かれる環境でのものの認識を解決することを試みる[12]。ここでは壁や机など比較的移動の少ないものと移動の多いものを分け、前者を背景として後者の認識を行う。背景と使うためにここでは移動の少ない物体を3次元的に表現して、そこから2次元の見えの画像を生成する。この見えの画像と観察される2次元のイメージを比較することでものの移動や新規のものの発見を行う。ここでは以下の手順によってものの発見を行う。

- (1) 固定された物体による仮想空間の生成
- (2) ロボットによる環境の観察
- (3) 移動物体の発見
- (4) 移動物体を配置することによる仮想空間の更新

(1) 固定された物体による仮想空間の生成

オフィス内は壁、机などの比較的移動の少ないものと本など移動の多いものが混在している。ここでの目的は移動の少ない物体（固定物体）を利用して移動の多い物体（移動物体）を認識することである。まず3次元の仮想空間は家具など比較的環境中で安定なものを予め配置してしておく。すなわち、ものごとに形と色を決めておく。色は実画像での色の中でそのものが表現される代表的な色をいくつか登録しておく。これは仮想空間の表示には使われないが、実画像とのマッチングで用いられる。

(2) ロボットによる環境の観察

次にロボットがある場所にいったとき、そのロボットが観察した画像（図11参照）とこの仮想空間をどう位置から見え方の画像（図12参照）を比較する。まず、固定物体の見え方のずれを利用してロボットの位置の修正を行



図 12 仮想空間での見え方の画像

う。ロボットの位置を微小修正して仮想空間画像と観察画像の色の差異が最小になるような位置を求めている。

(3) 移動物体の発見

その修正後の仮想空間画像と観察画像を比較して、色が著しく合わない領域が発見されれば、それはものが移動したか、あるいは新しいものがおかれたかのどちらかである。図13の場合、机の上の灰色の部分（ソフトウェアの箱）、机の左下の灰色の部分（ダンボール箱）、机の右側（イス）新しいものの発見を示す部分である。

色の比較はピクセル毎に行い、観察画像のピクセルが仮想空間画像でその場所を占める物体のどの色にも合わないとき、色が合わないと判定される。このようなピクセルが閾値を超えた領域として存在するとき、移動あるいは新規物体と認識される。

新しいもの追加の場合、新規物体を示す領域の下部にあたる物体（床面、机面など）を底面を仮定することでその場所と大きさを推定する。なお、ここではすべてのものは直方体として推定される。位置と幅についてはこの方法で推定できるが、高さや奥行きについては推定できないので、現在は仮定される物体は高さや奥行きが等しいと仮定している。

(4) 移動物体を配置することによる仮想空間の更新

このようにしてえられた移動物体は位置と大きさをもつので、仮想空間上に配置することができる。こうすることで、

- (a) 人間にとっては視覚的に物体を認識できる
- (b) ロボットは再度観察したとき、認識済みのものは新規物体として認識しなくなる
- (c) 障害物回避などロボットの行動計画に利用できる

といったことができるようになる。

図14はこの結果仮定された移動物体を仮想空間の中に配置した結果である。図14では机の上の箱、机の脇の箱については位置と大きさが正しく発見されているが、椅子については足の部分が認識できなかったため、間違っ

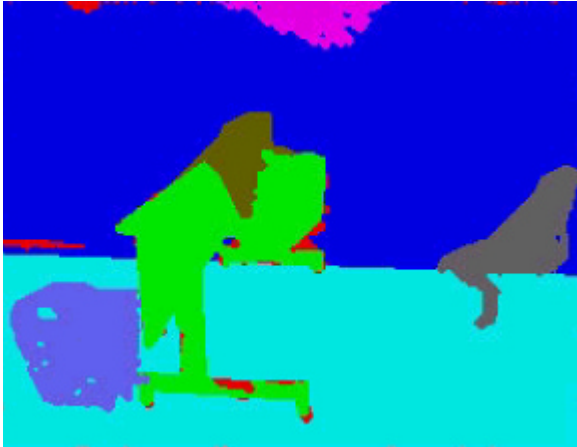


図 13 新規・移動物体の発見

た位置に置かれている。

この方法は初期の仮想空間は作成しなければならないので環境構築の負荷をある程度存在する。しかし、一旦使い始めれば、新規の物体や物体の移動はシステムがその推定をしてくれるので、仮想空間の更新や容易になる。

6. まとめ

本研究では人間にとって環境をより自分のために利用しやすくするためにKnowledgeable Environmentを提案した。この実現のためにはロボットを自律的知識メディアとして利用する方法について議論を行った。ここでのロボットは、自ら環境を観察する能力をもつだけでなく、人間の知識をスムーズに受け入れる仕組みが必要となる。このためにユーザとして対話しながら環境中のものの意味を獲得する仕組みを提案した。

ロボットの環境の認識能力は2つの意味で限られている。外界を観察するセンサの能力としてもまだ多くの面で人間に比べ限られている。もうひとつの面は概念化能力、すなわち機であること、本であること、あるいはさらにこの本はなんの分野の本であるかといった観察された事項と概念を結びつける能力は著しく劣っている。前者はセンサ技術の発展により日々改善されることが、後者はまさに知識の問題であり、まだ未解決の問題が多い。本研究では人間が適切な助言を行うことで、この2つの能力を補うことを試みている。

本研究では、ロボットの観察は画像、ユーザとのインタラクションも画像と文字を通じてのみと限られたものであった。今後は多様なメディアでの観察と複数のインタラクションチャンネルの利用など、より幅広く環境を捉えるシステムにしていく必要がある。

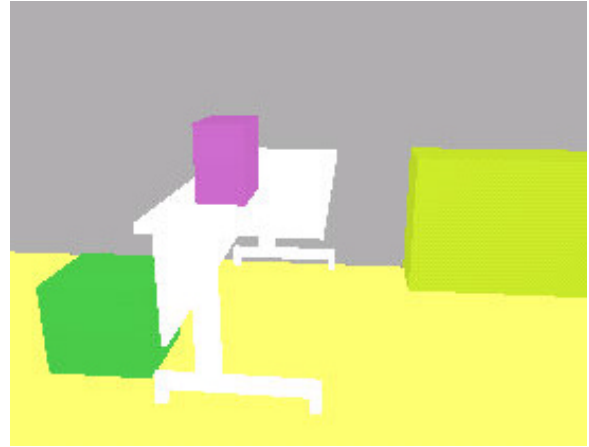


図 14 新規・移動物体の仮定と配置

参考文献

- [1] 武田英明. ネットワークを利用した知的情報統合. 人工知能学会誌, 11(5):680-688, 1996.
- [2] Michael Coen (ed.), Intelligent Environments, Technical Report SS-98-02, AAAI, 1998
- [3] Hideaki Takeda, Nobuhide Kobayashi, Yoshiyuki Matsubara, and Toyoaki Nishida. A knowledge-level approach for building human-machine cooperative environment. In Alexis Drogoul, Miland Tambe, and Toshio Fukuda, editors, Collective Robotics, Lecture Notes in Artificial Intelligence 1456, pages 147-161. Springer, 1998.
- [4] 武田英明, 小林展英, 松原慶幸, 上野敦志, 西田豊明. 人間・機械の共生のための知識的環境の提案と実現の試み. 1997 年度電子通信情報学会 情報・システムソサティ大会 併催シンポジウム「ソフトウェアエージェントとその応用」シンポジウム講演論文集, pages 147-154, 1997.
- [5] 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
- [6] 佐藤知正. ユービキタスロボティックシステム. 日本ロボット学会誌. Vol.15, No.4, pp.16-20. 1997.
- [7] 内田恵久, 武田英明, 西田豊明. 弱い知識構造に基づくロボットの行動生成. 情報処理学会研究報告 知能と複雑系 111-4, 1998.
- [8] 片山顕正, 内田恵久, 武田英明, 西田豊明. 人間との共有知識に基づくロボット行動の実現. 人工知能学会全国大会(第12回)論文集, pages 228-231, 1998.
- [9] 片山顕正, 上野敦志, 武田英明, 西田豊明. オフィスロボットにおけるインタラクティブな属性学習を用いた物体の位置情報管理. 人工知能学会研究会資料 (SIG-KBS-9803), pages 7-12, 1999.
- [10] 中野剛, 上野敦志, 武田英明. 移動のある物体の認識・管理を行うオフィスロボットの構築. 電子情報通信学会 人工知能と知識処理研究会(3/21-22), 信学技報. 2000(予定).
- [11] 宮本圭, 上野敦志, 武田英明. オフィス環境における文字情報の検出と利用に関する研究. 人工知能学会研究会資料(SIG-KBS-9904), 2000.(予定).
- [12] 中野剛, 上野敦志, 武田英明. 環境変化を検出し記憶する室内監視ロボットの構築. 電子情報通信学会 人工知能と知識処理研究会(3/21-22), 信学技報. 2000(予定).