

マルチエージェントに基づく対人サービスロボットシステムの設計

Design of Human Service Robot System based on Multi-Agent

西山 裕之 溝口 文雄
Hiroyuki Nishiyama Fumio Mizoguchi

東京理科大学 理工学部
Faculty of Sci. and Tech., Tokyo University of Science

We designed a Sommelier & Photographer robot system based on our agent architecture. In this system, a multifunction robot with mobile and handling functions pours wine into guest's glasses and takes pictures of the party. Other small mobile robots deliver the pictures from a printer to the guests. In our agent architecture, we prepared several types of agents that control robots, acquire sensor information, and support humans. The human support agent, called a monitor agent, is generated when the human is recognized in the environment, and information is collected from several sensors and service logs from robots. The agent then recognizes the location and behavior of the human and requests suitable service tasks from the robots. We implemented a human service system that consists of a large multifunction robot and small single function robots in the party hall.

1. はじめに

近年、人間に対してサービスを行うロボットとして、車輪型の移動ロボットを用いた美術館や建物などの案内を行うサービスロボット [Burgard99, Montemerlo02] が開発されているが、いずれも、タッチパネルやボタン操作などによる人間の直接の入力に応じて指定されたサービスを行うというものであり、人間はサービスの依頼を行う他は、環境内の障害物として扱われている。また、人間とコミュニケーションを音声認識や発話により行う研究としては、複数の人間から同時に話しかけられても対応可能な認識ロボット [Nakadai02] や、受付サービスを行う会話ロボット [Kobayashi00] など開発されている。これらのロボット研究は、画像解析や音声認識など、特定のセンサ処理に特化した研究となっており、また、単体ロボットによる人間に対するサービスを対象としている。実際に人間に対するサービスを実現することを考えた場合、対象となる人間の位置や振る舞いなどを正確に把握するために、必要に応じてセンサ系を増設可能な設計を行うほうが好ましい。また、ロボット自身や環境内に設置するセンサの数においても、サービスを行う環境や目的などの条件に応じて増減するため、センサの種類や数の増減に対応可能な情報の統合システムが必要とされる。さらに、サービスを行うロボットの種類や台数も単体ではなく、環境に応じて増減させる拡張性およびロボット間の協調システムも要求される。

このような背景の下、本研究では多機能・複数台のロボットおよび各種センサ系を用いた人間に対するサービスを行うロボットシステムを設計する。ここで、本論文における対人サービスロボットとは、人間の入力に頼らずにその動向・意図を把握し、その人間の望むサービスを実行するロボットのことである。このようなサービスを実現するために、使用する多機能ロボットとして、移動能力、ハンドリング能力といったサービスを実現するための能力以外に、ロボット内外に多種類のセンサ系を用いるものとする。これにより、各動作系およびセンサ系が統合的にもしくは個別に協調することにより、環境内の人間の位置や状態を認識し、その個人の望んだサービスを実現するものとする。さらに、人間に対する複数種類のサービスを可能

にするために、複数台のロボット用いたシステムを実現するとともに、ロボット間の協調を行うことにより、より効率的な対人サービスを実現する。

このようなサービスロボットシステムの実現に際し、本研究では我々の開発したマルチエージェントプログラミング言語 MRL (Multi-agent Robot Language) [Mizoguchi99, Yamazaki04] を採用した。これにより各動作系およびセンサ系を個別のエージェントとして定義することで独立・並行的な制御を可能にし、エージェント間通信に基づく協調動作を可能にする。また、本言語を用いることにより各ロボットを一つのエージェントグループとして表現可能であり、エージェントグループ間の通信に基づくロボット間協調を実現する。また、環境内に存在する人間を監視・サポートするためのエージェントを設計し、そのエージェントを感知した人間ごとに生成できるようにする。これにより、センサ系に基づいた環境内の人間の動向および意図を個別に把握し、各個人の望むサービスを実現するシステムが設計可能となる。具体的なサービスとして、1台の多機能ロボットがパーティー会場で自律的なワインの給仕を行いながら、そのサービスを受けている人物や全体の集合写真などを撮影し、プリンタから自動出力された印刷された用紙を、小型移動ロボットにより、その人物の位置まで配達する、Sommelier & Photographer ロボットシステムを設計、実装した。そして、複数のパーティー会場にてサービス実験を行い、対人サービスを実現した。

2. 対人サービスを実現するためのエージェントアーキテクチャ

従来、対人サービスという用語は、ボランティアや介護などの、人間から人間に対する支援を行うためのサービスとして用いられている。このようなサービスでは、サービス内容の依頼や要望は人間の間で日常的に用いられている動作である、様々な振舞いや会話により成立している。本論文では、ロボットからの対人サービスにおいて、キーボードやマウスなどの入力に頼らずに、その動向・意図を把握し、その人間の望むサービスを実行するロボットシステムを実現することを目的とする。

本研究では実際の対人サービスとして、パーティー会場等におけるワインの給仕サービスおよび写真撮影サービス、さらには、撮影した写真の印刷・配達サービスをその会場内で行う。

連絡先: 西山 裕之, 東京理科大学理工学部, 〒 278-8510 千葉県野田市山崎 2641, Tel:0471-24-1501ex3855, Fax:0471-24-7802, E-mail:nisiyama@ia.noda.tus.ac.jp



図 1: 対人サービス例．左図はパーティー会場におけるワインサービスの様子．右図は撮影した写真の印刷および配達サービスにおける，腕型ロボットを介してプリンタから移動ロボットへ受け渡す様子．

ここで，我々の想定するワインの給仕サービスは，事前にワインが注がれたグラスを配って回るというのではなく，ロボットが紅白のそれぞれのワインボトルを持って移動し，会場内の人間の持つグラスに対して注ぐサービスを行うというものである（図 1 左参照）．

これらのサービスにおいて，配達サービスだけであれば，駆動能力のみを有する小型の移動ロボットにより実現可能である（図 1 右参照）．しかしながら，パーティー会場で上記のようなワイン給仕のサービスを行うためには，まず，客に対してワインを勧めるとともに，赤ワインか白ワインかの好みを尋ねる．そして，差し出されたグラスに対して望まれたワインを注ぐことになる．このように，我々が日常的に行っている飲み物を給仕するサービスを実現するためには，人間の持つ，足，手，口，耳，目の 5 つの機能が必要となり，これらの能力を有する多機能ロボットを用意しなければならない．また，本研究ではワインサービス中における記念撮影も同一の多機能ロボットにより行なっているが，撮影した写真の配達サービスは，移動能力のみを有する小型の移動ロボットでも行えるようにするなど，ロボットの持つ能力に応じたサービスを可能にする柔軟性も必要となる．

2.1 機器間の協調を行うためのエージェント

以上のような問題を解決するために，本研究では，各動作系や感覚系の制御ソフトウェアを個別の機器エージェントとして定義することにより，各系による並列的な処理を可能にする．上記のような対人サービスを実現するためには，並列に動作するエージェント群どうしの協調作業が必要となる．また，多機能ロボットのように複数の機器エージェント群から一台のロボットが成り立つような場合，交渉エージェントを用意することで，図 2 のようにそれらの機器エージェントを一つのグループとして扱うことができる．

2.2 人間の行動をトレースするためのエージェント

本研究では，環境内に存在する人間のモニターと支援を個人ごとに行うために，その人間の振舞いをモニターしロボットにサービスタスクを依頼するモニターエージェントを用意する．このモニターエージェントは，モニター生成エージェントが各種センサ系からの情報に基づき，新たに人間を認識することで生成される．生成されたモニターエージェントは，モニター対象となる人間の位置情報やロボットのサービス履歴等の情報を受け取ることで，その人間の位置や振舞いを継続的にトレースする．また，その状況に応じて，対象人物に対するサービスを行うための依頼を，ロボットに対して行う．

本研究では，センサ系から得られた人間の情報が，どのモニターエージェントにより管理されている人間のもののかの競合を

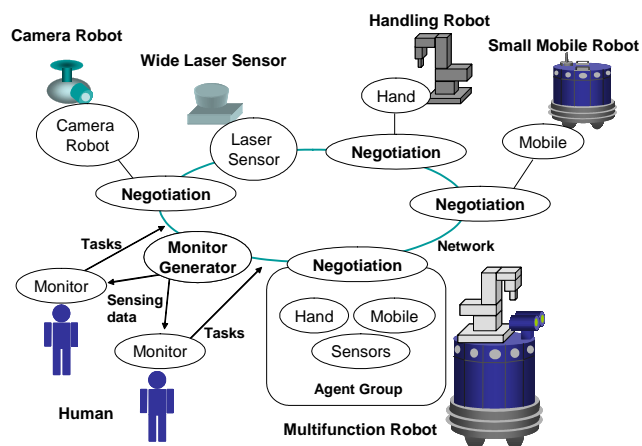


図 2: マルチエージェントに基づくシステム設計

判定するために，モニター生成エージェントをスーパーバイザとするエージェント間交渉により解決を行う．

モニターエージェントは対象者が認識範囲から出ることで消滅することになるが，このとき，蓄積された個人データは保存される．これらの個人データは，顔画像認識などにより個人識別が行われた場合，その個人データを持つモニターエージェントが生成されることになる．これは，個人の嗜好などの情報を予めデータベース化しておくことにより，認識と同時に個人に特化したサービスを開始することができることを意味する．

3. システム設計

上記の対人サービスを実現するためには，複数エージェントの分散・協調モデリングが不可欠となる．そこで本研究では，並列論理プログラミング言語に基づいて設計されたマルチエージェント言語 MRL[Mizoguchi99, Yamazaki04] を，その実装に採用する．MRL は並列論理型言語である KL1[Chikayama93] のもつ同期・非同期制御，ストリーム通信の機能を導入しており，複数エージェントの並行処理やエージェント間通信，およびエージェントの動的な生成・削除を実現できる言語である．これにより，各動作系および感覚系，そしてモニターエージェントを個別のエージェントとして定義することで，必要に応じて新たなエージェントを生成でき，不用になれば削除可能である．さらに，MRL の持つ通信機能と同期・非同期制御の機能により，各エージェントの並行制御および協調制御を実現できる．

3.1 機器エージェント

各機器における動作系の制御および感覚系の各センサからの情報収集においては，それぞれの系ごとに個別のエージェントを用意することで，各処理を並行に実行できる．また，各エージェントはストリーム通信を介してのメッセージのやり取りにより，必要に応じて他エージェントとの協調が可能となる．

ここで，動作系として移動ロボットと腕型ロボット，感覚系としてカメラロボットやレーザーセンサ，そしてマイクセンサなどを備えた一体の多機能ロボットを想定する．

各機器エージェントは交渉エージェントを介した他エージェントからの要求に応じて動作もしくはセンシングを個別に行う．また多機能ロボットにおいては，必要に応じて，移動ロボットとソナーおよびレーザーセンサによる対象物への正確な

接近、腕型ロボットとカメラセンサによる正確なハンドリング処理などの協調作業を行う。

3.2 交渉エージェント

交渉エージェントは、他の交渉エージェントや下記のモニターエージェントからのタスク依頼を受けるエージェントである。また、上記の機器エージェントからの要請により協調作業が必要となる際、他の交渉エージェントとの間でタスク依頼の交渉を行い、協調相手を捜し出すためのエージェントでもある。交渉の結果、タスクの依頼を受けた交渉エージェントは、機器エージェントへタスク内容を送信する。

交渉エージェントを介した協調作業は、契約ネットプロトコル [Smith80] に基づく交渉プロトコルにより協調相手が選択される。本プロトコルでは、タスクを委託するエージェントの選択は、タスクの委託 (request)、依頼に対する返答 (accept)、そして、返答してきたエージェントへのタスク実行の委託 (commit) の流れで行われる。request はエージェントすべてにタスクをブロードキャストし、accept の返答を一つないしは複数受け取る。そして、その中から一つのエージェントに対して commit メッセージを送信する。

3.3 モニターエージェント生成用エージェント

上記のように動作系および感覚系はそれぞれを個別のエージェントとして定義し、使用する種類の数だけ起動時に生成させればよい。しかしながら、一人一人の人間を監視するためのモニターエージェントは、人間が新たに認識された段階で生成されることになる。そのため、本論では感覚系から得たデータより新たな人間を感知したという判断を行い、モニターエージェントを動的に生成させるエージェント (モニター生成エージェント) を用意する。

モニター生成エージェントは各感覚系エージェントに環境変化に対する情報を要求する。そして受け取った情報に基づき、その環境変化が監視している人間によるものか否かを判断する。その結果、その環境変化が新たに感知した人間 (モニターしていない人間) によるものであった場合、その人間をモニターするためのエージェントを生成する。逆に、既にモニターしている人間の情報であった場合、そのモニターエージェントへ情報を伝達する。

3.4 モニターエージェント

モニターエージェントでは単体のエージェントで一人の人間をモニターし、対人サービスの実現に必要な情報を収集する。そして、それらの情報に基づき動作系に依頼を行い、モニターしている人間に対するサービスを実行する。

本論文ではモニターエージェントが保持する個人情報を、次のように定義している。

monitor(ID, Location, Behavior, Favorite, Service)

ここで、各変数の意味は次の通りである。

- *Locate* ... 人間の位置情報。

モニターしている人間の位置情報を絶対座標により記録する。この情報はサービスを行う際に用いられる他、サービスロボットとの距離関係等によるサービスの優先度にも影響する。精度は情報を提供したセンサにより異なる。

- *Behavior* ... 人間の振舞い情報。

モニターしている人間が現在どのような行動を行なっているかを記録する。例えば、停止中であるか、また、移

動中であればサービスロボットへ近付いているのかも否かなどである。その情報は使用する感覚系に依存する。例えば、カメラセンサを用いたドリンクサービスなどであれば、グラスを差し出しているかなどの情報も含まれることになる。

- *Favorite* ... 人間の好み。

どのようなサービスを望んでいるかを記録する。ワインサービスであれば、どのようなワインを好んでいるかなどの情報が該当する。

- *Service* ... 過去に行ったサービス内容。

これまでに、どのようなサービスを実行したかを記録する。また、サービスを行おうとして拒否された場合の情報も記録する。この情報は、サービスの優先度にも影響する。

これらの情報の内、*Service* 以外は感覚系から得られた情報に基づき動的に更新される。そして、それぞれの情報に基づき、サービスの依頼がロボットの交渉エージェントに対して発行されることになる。例えば、ワインサービスであれば、サービスロボットとの相対距離やロボットに対する振舞い (近付いているかなど)、また、既に近い過去にワインサービスを行っているか、もしくはサービスを行おうとして拒否 (無視) されているか、などにより、その人物がワインサービスを望んでいるかを判断する。すなわち、モニターエージェントはモニターしている人間の代理人としての役割を、人間との直接のコミュニケーション無しに果たすことになる。

3.5 エージェント間交渉に基づく感覚系からの情報取得

多人数が存在する環境においては、感覚系からの移動体に対する情報が、どのモニターエージェントで監視している人物のものか、もしくは新たに感知された存在かを判断することは困難となる。この問題に対して、本研究では、タスクの依頼における交渉エージェント間のプロトコルと同様にして、モニターエージェント間の交渉により解決を行う。具体的には、次のようになる。

ステップ1 感覚系より移動体の位置情報を受け取ったモニター生成エージェントは、モニタープロセス群に対して情報のブロードキャストを行う。

ステップ2 情報を受け取ったモニターエージェントは、自分の監視している人物の位置情報と照合し、その移動物がモニター対象であるか否かの判定を行う。移動体が複数感知された場合は、それぞれについて行う。そして、その結果と距離情報をモニター生成エージェントに返答する。

ステップ3 すべてのモニターエージェントから返答を受け取ったモニター生成エージェントは、その返答結果をもとにして、移動体がどのモニターエージェントのものかを判定する。移動体がいずれのモニターエージェントとは無関係であった場合は、新たに感知された人物として判断し、モニターエージェントを新たに生成する。

以上の交渉プロトコルを用いることで、収集したデータに対するモニターエージェント間の競合解消を行うとともに、新たな人物の認識への対応を可能にしている。

4. 実装実験

本研究では、対人サービスの実装実験として、以下のようなサービスロボットを用意し、図1のようにパーティー会場におけるワインサービスおよび写真撮影サービスを行った。

4.1 Sommelier & Photographer ロボットシステム

Sommelier & Photographer ロボット(図1左参照)は、Nomad社の開発した移動ロボットXR4000上に三菱の開発した腕型ロボットPA-10が備え付けられたロボットとなっている。感覚系としては、XR4000に備え付けられているソナーセンサおよびレーザーセンサ(SICK LMS200)、そして、腕型ロボット側面にはカメラロボットが2台が備え付けられている。その他、マイクとスピーカーを用いた音声によるサービス案内やサービスの要求を受け付けることが可能である。

4.2 プリントデリバリロボットシステム

プリントデリバリロボットシステム(図1右参照)は、小型移動ロボット(Nscout)と腕型ロボット、そしてプリンタの他、移動ロボットの座標情報を補正するための各種センサ群からなる[Mizoguchi99]。本システムを用いることで、ソムリエロボットの撮影した写真をプリンタが印刷し、移動ロボットにより指定された位置まで配達することが可能になる。

上記の2種類のロボットシステムを用いることで、本実装では、ソナーおよびレーザーセンサから人間の位置情報が上記により生成されているモニターエージェントへ送信される。モニターエージェントでは、モニターしている人物がそのロボットに近づいた場合、そのロボットにワインサービスの依頼を送信する。このとき、モニターエージェントは、その人物が過去にサービスを受けた履歴を持っていた場合、その回数と利用したワインの色情報も送信する。これにより、複数のモニターエージェントから依頼が同時に発生した場合でも、サービスを受けていない人に対して優先的にサービスが行われる。依頼を受けたソムリエロボットでは、対象人物の方角へ方向転換するとともに、スピーカーとマイクを用いた会話により好みのワインの色を聞きだし、捧げられたグラスをカメラロボットにより認識し、その位置へ腕型ロボットにより注ぐ作業を行う。また、注ぐ動作を行うときに、図3のような記念撮影を行い、写真を印刷するかを音声により尋ねる。その結果、印刷を求められた場合、写真ファイルの印刷および配達依頼を行い、プリントデリバリロボットがタスクを受け付けることになる。そして、最終的に小型移動ロボットが印刷された写真を配達することになるが、このとき、その対象者のモニターエージェントが存在した場合、すなわち、センサ系の感知範囲内に対象者が存在した場合、その場所まで近づいてきてくれるなど、個人化したサービスを実現した。

本システムを用いたサービス実験は、我々の所属する建物で行われるパーティー会場の他、2箇所の外部のパーティー会場にロボットを搬送してドリンクサービスを実施した。その結果、計200名以上の来客に対するドリンクサービスを成功した他、25名にドリンクサービス中における記念写真の撮影を行い、写真の配達サービスを実施した。

5. おわりに

本論文では、人間と同様の機能を持つ多機能ロボットを用いた対人サービスとして、パーティー会場内で来客のグラスにワイン等の飲み物を注いで回り、また、そのシーンをカメラで撮影するロボットシステムを、マルチエージェントシステムとして設計した。本研究では、多機能ロボット、単機能ロボットおよび各種センサ系を同一のエージェントアーキテクチャとし



図3: ワインサービス時の記念写真

て表現可能であり、各ロボットを個別に、そして必要に応じて協調的に作業を行わせることに成功した。また、対人支援を行うためのモニターエージェントが各センサ系やロボットのサービス履歴を収集することにより、個人の位置や過去の振舞いを認識し、その個人の好みや位置に応じたサービスを実現した。本研究では、実際に大型の多機能ロボットの他に複数の単機能ロボットと組み合わせた対人サービスシステムを実装し、実際のパーティー会場での対人サービスを行った。

参考文献

- [Burgard99] W. Burgard, A.B. Cremers, D. Fox, D. Hahnel, G. Lakemeyer, D. Schulz, W. Steiner and S. Thrun: Experiences with an interactive museum tour-guide robot, *Artificial Intelligence*, Vol. 114, No. 1-2, pp.3-56, 1999.
- [Chikayama93] T. Chikayama: A KL1 Implementation for Unix Systems, *New Generation Computing*, Vol.12, pp.123-124, 1993.
- [Kobayashi00] H. Kobayashi, T. Tsuji, and K. Kikuchi: Study on Face Robot Platform as a KANSEI Medium, *IEEE International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation*, pp.481-486, 2000.
- [Mizoguchi99] F. Mizoguchi, H. Nishiyama, H. Ohwada and H. Hiraishi: Smart Office Robot Collaboration based on Multi-agent Programming, *Artificial Intelligence*, Vol. 114, No. 1-2, pp.57-94, 1999.
- [Montemerlo02] M. Montemerlo, J. Pineau, N. Roy, S. Thrun and V. Verma: Experiences with a Mobile Robot Guide for the Elderly, *American Association for Artificial Intelligence(AAAI2002)*, pp.587-592, 2002.
- [Nakadai02] K. Nakadai, H.G. Okuno and H. Kitano: Exploiting Auditory Fovea in Humanoid-Human Interaction, *Proc. of Eighteenth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-2002)*, 431-438, 2002.
- [Smith80] R. Smith: The Contract Net Protocol: High-Level Communication and Control in a Distributed Problem Solver, *IEEE Transactions on Computers*, Vol. C-29, No.12, 1980.

- [Yamazaki04] W. Yamazaki, H. Nishiyama, H. Hiraishi, and F. Mizoguchi: GMAL: An Agent-based Programming Language for GRID Environments, *New Frontiers in High-performance Computing*, pp. 311-320, 2004.