

シームレスな情報環境を実現するロボットメディアの設計と実装

江谷典子, 江谷為之*, 間瀬健二*

奈良先端科学技術大学院大学
情報科学研究科 知能情報処理学講座

e-mail:noriko-e@is.aist-nara.ac.jp

<http://ai-www.aist-nara.ac.jp/doc/people/noriko-e/home-j.html>

株式会社 ATR 知能映像通信研究所*
e-mail:{etani,mase}@mic.atr.co.jp*

Abstract

本稿では、自律走行ロボットを用いるガイドシステムの構成およびロボットエージェントのソフトウェアアーキテクチャについて記述する。本システムは、研究所内実験室などの見学者を案内することを目的としたロボットナビゲーションシステムである。本研究では、見学通路天井に赤外線ロケーションシステムを配置することで、空間全体にセンシングシステムを分散させたロボットシステムを構成する。見学者の携帯端末上で展開される情報空間で動作するガイドエージェントは目的地情報をロボットエージェントに送信し、その情報によりロボットエージェントは物理空間である実験室を移動しながら案内する「ロボットメディア」としての役割を果たす。本研究では、マルチエージェントシステムとして、センシングシステム、携帯端末、ロボット実機間の情報連携を実現し協調適応システム構築を目指す。

Design and Implementation of Robot-Media to Realize Seamless Information Environment

Noriko Etani, Tameyuki Etani*, Kenji Mase*

Artificial Intelligence Laboratory
Graduate School of Information Science
Nara Institute of Science and Technology

ATR Media Integration & Communications Research Laboratories*

Abstract

This paper describes a guide system and a software architecture of an autonomous interactive robot. A robot navigation system is developed so that the robot can guide people to visit halls in various showcases. The hallway is implemented by Infra-Red location systems on the ceilings, thus the environment is a part of the sensor-distributed robot system. A guide agent inhabiting in the handheld mobile computer transmits the information of destination to the robot agent. The robot agent plays a role of "ROBOT-MEDIA" to integrate information between the information space of the mobile computer and the physical space of the exhibits, in order to guide visitors in physical space. This research aims to develop one of cooperative adaptive systems as a two-way communication among space, media and human beings by introducing "INFORMATION VEHICLES" which consists of sensing systems, a mobile computer and a mobile robot built on a multi-agent system.

1 はじめに

人間と日常的に関わることができるような自律ロボットの実現を目指した人工知能研究が進められている [1]。本稿では、研究所内実験室などの見学者に案内を行うロボットガイドシステムの試作について紹介を行う。本研究の目的は、実験室の空間-メディア-人間間の情報連携による協調適応システム

の具体例として、まず携帯端末が提示する情報世界と人間が存在する物理世界を繋ぐインタラクティブなロボットナビゲーションを実現することである。携帯端末などでは、ネットワークや表示機能を利用した情報空間とのインタラクションが行われる [6]。しかしながら、人間が現実環境において物理的かつ身体的感覚を利用して実空間を歩くように情報空間を利用することは携帯端末では限界がある。そこ

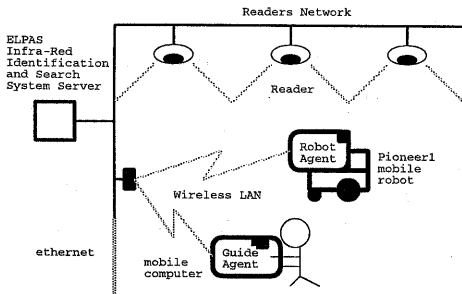


図 1: ロボットガイドシステムの構成

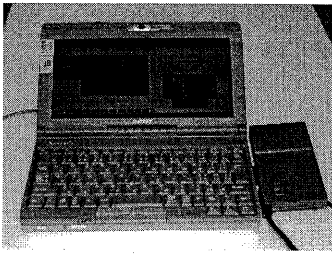


図 2: 見学者の携帯端末

で、実験室廊下天井には赤外線ロケーションシステムを配置し、空間全体にセンシングシステムを分散させたロボットシステムを構築して実空間のガイドと情報空間の連携を試みた。見学者の所持する携帯端末上に提示された情報からガイドエージェントが目的地情報をロボットエージェントに送信する。そのロボットエージェントは、実世界におけるパスプランニングを行い目的地へ見学者を案内する。すなわち、「実世界マルチエージェントシステム」である。以下、本文では、本試みのマルチエージェントシステムのプラットフォームおよびロボットエージェントのソフトウェアアーキテクチャについて記述する。

2 ロボットガイドシステムの構成

本システム(図 1)は、ATR 知能映像通信研究所の実験室空間を使って実装した。システムは、赤外線ロケーションシステムおよびその管理サーバー、無線 LAN を利用してサーバと通信を行う携帯端末および自律走行ロボットを用いたロボットエージェントから構成される。携帯端末は、SONY VAIO PCG-C1 を用いて、ネットワーク接続には、1.2GHz 帯域の無線 WaveLAN を利用し、これにより常に 1Mbit/秒の通信が可能になる(図 2)。見学者を案内するロボットエージェント(図 3)は、

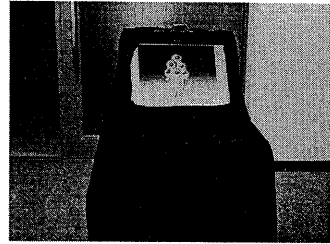


図 3: ロボットエージェントの外観 (1)

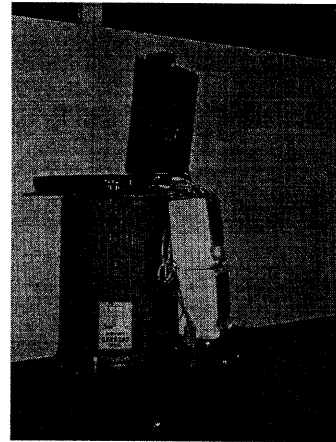


図 4: ロボットエージェントの外観 (2)

ActivMedia 社製 Pioneer1 mobile robot を用いる。本自律走行ロボット(図 4)は、7つの超音波センサー、エンコーダ、コンパス、2輪駆動モータから構成されており、これらを制御する専用 OS(PSOS)が搭載されている。その外部端末として、GateWay 社製 solo(Red Hat Linux release 5.1 搭載)を用いて、ロボット実機側の PSOS (Pioneer1 mobile robot 制御用 OS) と外部端末上のクライアントシステム間をシリアル接続する。本クライアントシステムは、PSOS 側から 100msec 毎に超音波センサー、エンコーダ、コンパスのデータ受信を行う。PSOS との通信を行う Saphira ライブラリを利用した本クライアントシステムは、ロボットエージェントとして、自律走行ロボットのセンシング情報の処理、モータ制御指示およびロケーションシステムからのサイト情報取得を行う。ロボットエージェントおよび見学者の携帯端末の位置検出には赤外線ロケーションシステム(以下、ロケーションシステム)を用いる。携帯端末およびロボット実機上にバッジを付け、実験室の廊下および各実験室天井に設置された赤外線リーダにより携帯端末およびロボット実機の位置検出を行い、ロケーションシステムのサーバで位置情報が更新される。携帯端末上の

ガイドエージェントは、各ユーザごとのガイド情報をロボットエージェントに通知する。見学者の携帯端末(図2)およびロボットエージェント(図3)間をガイドエージェントが移動することにより、携帯端末の情報世界とロボットエージェントと見学者が移動する実験室廊下(図9)の物理環境を繋ぐようなシームレスなロボットメディアを構築する。

3 ロボットメディアの設計

Saphira ライブラリを利用したクライアントシステムとして構築したロボットエージェントのソフトウェアアーキテクチャとその各階層間の通信プロトコルについて記述する。

3.1 ソフトウェアアーキテクチャ

ロボットエージェントは、環境入力およびガイドエージェントからの目的地情報(ドア番号)、ロケーションシステムから通知されたサイト番号およびロボット実機のコンパス情報から獲得した現在の位置および方角情報により、パスプランニングを行い目的地まで走行する。このエージェントの外部端末上で動作するクライアントシステムは、Communication 層、Behavior 層、Action 層の3つの階層から構成されるソフトウェアアーキテクチャ(図5)である。各階層の役割は次の通りである。

(1) Communication 層

アイドル、移動、案内、到着の4つの内部状態を管理し、この内部状態に応じたグラフィックキャラクター表示および音声ガイダンス出力を行う。

(2) Behavior 層

環境入力(ロケーションシステムのサイト番号、7つの超音波センサー、コンパス値、エンコーダ値)、内部状態、目的地のドア番号の管理を行い、ロボットの行動生成のためのパスプランニングを行う。

(3) Action 層

ロボット制御用オペレーティングシステム(PSOS)とロケーションシステムからの環境入力処理およびのモータによる車輪駆動制御。

3.2 行動決定通信プロトコル

前述のアーキテクチャを用いて、ロボットの行動を決定するための各コンポーネント間の調整通信プロトコル(図6)は次の通りである。

- (1) 超音波センサーにより100msec 毎に障害物検出と回避を行う。
- (2) ロケーションシステムからサイト番号は、Communication 層を通じて Behavior 層へ通知される。

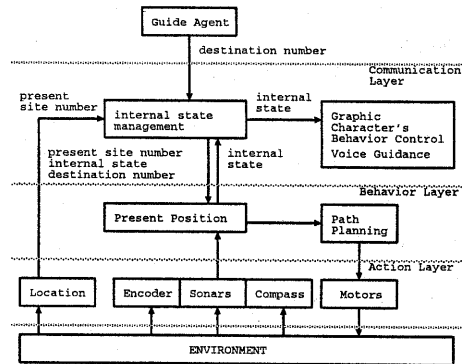


図5: ロボットエージェントのソフトウェアアーキテクチャ

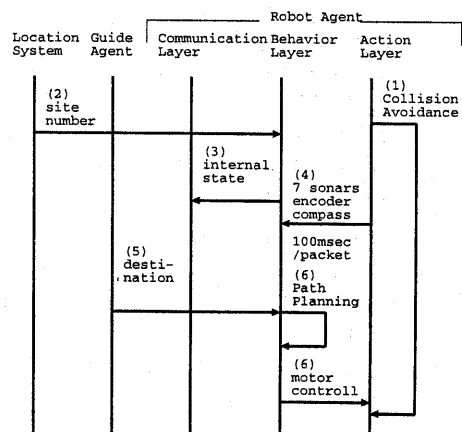


図6: 行動決定通信プロトコル

- (3) ロボット実機の内部状態更新時、Behavior 層から Communication 層へ通知される。
- (4) 超音波センサー、コンパス、エンコーダ値は、100msec 毎に Action 層から Behavior 層へ通知される。
- (5) ガイドエージェントから目的地を指示した場合、目的地情報は、Communication 層を通じて Behavior 層へ通知される。
- (6) Behavior 層ではパスプランニングが行われ、Action 層へモータ制御指示を通知する。

3.3 行動生成遷移通信プロトコル

Communication 層では、「アイドル (Idle)」「移動 (Transmission)」「案内 (Guiding)」「到着 (Goal)」

「アイドル (Idle)」の状態遷移モデル (図 7) に従い、内部状態が管理される。「アイドル (図 8)」とは、ロボットエージェントが直線廊下を往復し、各実験室のドア前ごとに停止し、音声ガイダンスを行う。「移動 (図 9)」とは、ロボットエージェントがアイドル状態時に見学者に会い、見学者の所持する携帯端末上のガイドエージェントがロボットエージェントへ Transmission Command を送信する。すなわち、「移動」への切り替わりは、アイドル状態の時に生じ、「携帯端末を所持した見学者がいない」か、あるいは「携帯端末のガイドエージェントが移動する必要がない」場合、アイドル状態を維持する。「案内 (図 10)」とは、ロボットエージェントが移動状態時、見学者が目的地指示を出すと、見学者の所持する携帯端末上のガイドエージェントはロボットエージェントへ Destination Command を送信し (エージェントのマイグレーション)、見学者を目的地へ案内する。「到着」とは、ロボットエージェントが見学者の指示した目的地に到着し、見学者の所持する携帯端末上のガイドエージェントへ Transmission End Command を送信する。この内部状態遷移に従って、Behavior 層ではパスプランニングを実行し、前進あるいは回転などの行動生成を行い、Action 層へモータ制御指示を行う。Communication 層におけるロボットの内部状態を遷移するトリガーとなる通信プロトコルを図 11 に示す。

- (1) ロボットエージェントの内部状態更新時、Behavior 層から Communication 層へ通知される。
- (2) ロボットエージェントは「アイドル」状態 (Behavior 層)。
- (3) ガイドエージェントから「移動」コマンドが、Communication 層を通じて Behavior 層へ通知される。
- (4) ロボットエージェントは「移動」状態 (Behavior 層)。60 秒以内に (5) へ遷移しない場合は、「アイドル」へ復帰する。
- (5) ガイドエージェントから案内先情報が、Communication 層を通じて Behavior 層へ通知される。
- (6) ロボットエージェントは「案内」状態 (Behavior 層)。
- (7) パスプランニングを行い、目的地へ向かう。
- (8) 目的地に到着すると、ロボットエージェントから「到着」コマンドが、Communication 層を通じて Behavior 層から通知される。
- (9) ガイドエージェントから「移動終了」コマンドが、Communication 層を通じて Behavior 層へ通知される。60 秒以内に「移動終了」コマンドを受信しない場合、強制的に (2) へ戻る。

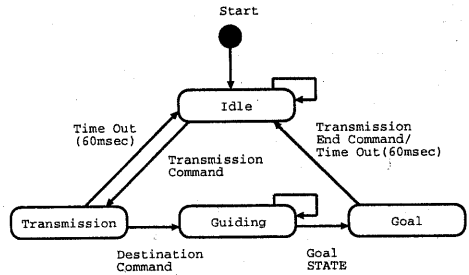


図 7: 行動生成モード遷移図



図 8: アイドル

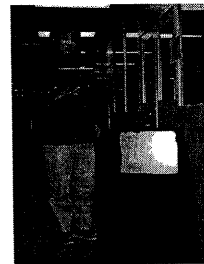


図 9: 移動

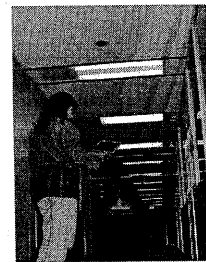


図 10: 案内

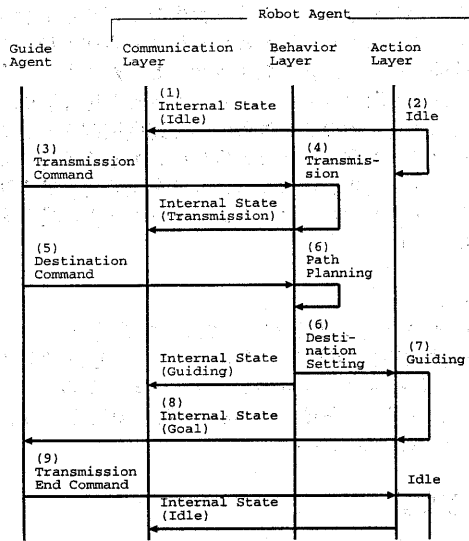


図 11: 行動生成モード遷移通信プロトコル

3.4 赤外線ロケーションシステムを用いたパスプランニング

図 12と図 13には、ロケーションシステムを用いたロボットエージェントの走行方向による移動空間分割を示す。ロボットエージェントは、サイト番号2を始点、サイト番号7を終点として、サイト番号2から7の間を往復する。案内状態時、Behavior層にて目的地ドア位置までのパスプランニングにより走行距離を求め、Action層に走行指示を行う。本パスプランニングでは、赤外線ロケーションシステムを用いてサイト番号の切り替わる地点間を一個のバスとして、その区間距離(単位: mm)を累積して走行距離を求める方法と目的地サイト番号およびサイト番号切り替え地点から目的地への距離を走行する方法を試みた。

3.4.1 サイト区間距離を累積する場合

目的地を含まない最終サイト番号までは距離を累積計算し、目的地のサイト番号に入ったら、その地点から目的地への距離を走行する。具体的には、以下の処理手順である。

- (1) 走行方向の調整
目的地方向が現在の走行方向と異なる場合180度回転する。
- (2) 目的地への走行距離計算

$$GoalDistance \leftarrow a^w + \sum_{i=NextSite}^{GoalSite} b^w + c$$

w: 走行方向

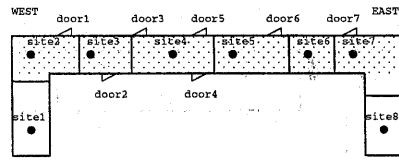


図 12: 東方向の空間分割

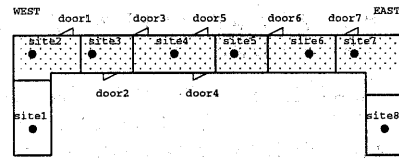


図 13: 西方向の空間分割

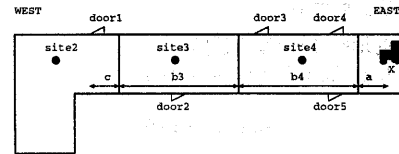


図 14: 目的地 door1 の場合

- a: 現在のサイト番号における位置から次のサイト番号切り替え地点までの走行距離(単位: mm)
- b: 各バスの長さ(単位: mm)
- c: 最終サイト番号切り替え地点から目的地への距離(単位: mm)

GoalSite: 目的地のサイト番号

NextSite: 次の走行区間のサイト番号

- (3) ロケーションシステムを用いた走行距離の補正
サイト番号更新時、現在の誤差を含むエンコーダ値を新規獲得サイト番号までの走行実測値に置き換える。

例えば、図 14で、現地点 X のロボットエージェントは、右(東)方向を向いており180度回転し、走行方向を WEST とし、現在のサイト番号における残りの走行距離 a およびサイト番号3と4の実測値の累積値さらにサイト番号2と3の切り替え地点から door1 までの距離 c の合計値を走行距離とする。PSOS にこの距離と方角を指示すれば、ロボットエージェントは目的地まで自動的に到着できる。しかしながら、本試行における処理では、案内中の障害物回避などによりエンコーダ値の誤差が増加するため正しくドア前停止が行えない場合がある。そこで、エンコーダ値に基づく走行距離を可能な限り短くし誤差を少なくするために次の方法を提案する。

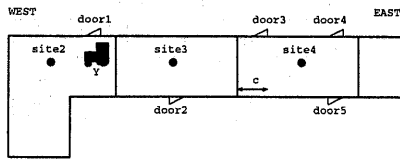


図 15: 目的地 door3 の場合

3.4.2 サイト番号およびサイト番号切り替え地点からの距離の場合

目的地を含む最終サイト番号までは距離によらず走行し、目的地のサイト番号に入ったら、その地点から目的地への距離を走行する。具体的には、以下の処理手順である。

- (1) 走行方向の調整
目的地方向が現在の走行方向と異なる場合 180 度回転する。
- (2) 目的地への走行距離計算
When GoalSite is detected,

$$\text{GoalDistance} \leftarrow c$$

c: 最終サイト番号切り替え地点から目的地への距離 (単位: mm)

GoalSite: 目的地のサイト番号

- (3) ロケーションシステムを用いた走行方向補正
サイト番号更新時、スリップなどによるエンコード値の誤差を縮小するため、東西走行方向の誤差をコンパス値およびロボット実機のシート値 (走行方向に対する傾き) より補正を行う。

例えば、図 15 で、現地点 Y のロボットエージェントの目的地が door3 の場合、走行方向を EAST として、エンコード値とは無関係にサイト番号 3 に切り替わるまで走行させる。サイト番号 3 に入ったら、サイト番号 4 に入るまで走行させ、サイト番号 4 に入った地点からの目的地への距離 c を走行する。

4 まとめ

今回の試みは、マルチエージェントシステム上に、自律走行ロボットを用いたロボットエージェントが、ロケーションシステム、超音波センサーおよびコンパスからの環境入力により自律的に行動生成ができるようなプラットフォームを構築した。本環境において、超音波センサーセンシング距離 2.5m、走行速度 20cm/sec、障害物回避およびモータストール脱出を行い、サイト区間距離を累積する方法を用いて走行させた。見学者の多くはロボットを避けて通るのだが、混雑度合によりエンコード値の誤差の変動が大きいためドア前領域で停止する

ことが困難であった。サイト番号およびサイト番号切り替え地点からの距離にて走行する方法では、ドア前停止領域の誤差を縮小させることができた。今後、人間も環境入力の一部として捉えた処理機構を検討し、見学者の混雑度に応じた速度制御やドア前停止位置の調整を行うなど変化のともなう状態空間に適した行動生成が行えるように進化論的計算手法などを用いたマルチエージェントシステムの構築を目指す [5]。

謝辞

本研究のために議論を行って頂いた株式会社 ATR 知能映像通信研究所の研究員の方々に感謝致します。携帯端末およびロボットエージェントのキャラクターデザインを提供して頂いた第一研究室 榎沢順氏に感謝致します。

参考文献

- [1] W. Burgard, A.B. Cremers, D. Fox, D. Haehnel, G. Lakemeyer, D. Schulz, W. Steiner, S. Thrun. The Interactive Museum Tour-Guide Robot. In Proceedings of the AAAI Thirteenth National Conference on Artificial Intelligence. Outstanding Paper Award. (1998).
- [2] 岩倉、白石、中内、安西. ユーザの行動の不確実性に対応した実世界指向分散ヒューマンインタフェースシステムの提案. 社団法人 情報処理学会. 情報処理学会論文誌. Vol.39. Number 5. pp.1502 - pp.1513. (1998).
- [3] 松原、上野、沢田、武田、西田. 人を含んだ実世界エージェントの協調系におけるプランニングと実行. 社団法人 人工知能学会. 人工知能学会研究会資料. SIG-FAI-9603-3(3/27). pp.12 - pp.17. (1996).
- [4] Jorg P. Muller. The Design of Intelligent Agents. A Layered Approach. Lecture Notes in Artificial Intelligence. 1177. Lecture Notes in Computer Science. Springer. (1996).
- [5] 沼岡、大沢、長尾. マルチエージェントシステム. 分散協調メディアシリーズ 11. 共立出版. (1998).
- [6] 暦本. デジタルとフィジカルの融合: 実世界に展開するユーザインタフェース. 社団法人 人工知能学会. 人工知能学会研究会資料. SIG-FAI-9802-1(9/24). pp.1 - pp.7. (1998).
- [7] S. Thrun. When Robots Meet People: Research Directions In Mobile Robotics. IEEE Intelligent Systems. (1998).
- [8] 山田. 適応エージェント. 認知科学モノグラフ 8. 日本認知科学会 編. 共立出版株式会社. (1997).