

## セマンティック Web エージェントによる 実世界指向のサービス連携機構

幸島明男, 和泉憲明, 車谷浩一, 中島秀之

### 概要

本論文では, “セマンティック Web ゲートウェイ” と呼ぶ, 実世界とデジタル世界を結ぶゲートウェイサービスコンポーネントについて述べる. セマンティック Web ゲートウェイのエージェント側のインタフェースを介して, デジタル世界のエージェントは, 実世界のデジタル機器や情報家電が提供するサービスにアクセスし, 利用することが可能になる. 一方で, 実世界のユーザは, セマンティック Web ゲートウェイのユーザ側のインタフェースを介することで, 自らが必要とする機能やリソースをエージェントに対して, 直観的に指示することが可能になる. こうして, エージェントとユーザとが, セマンティック Web ゲートウェイを介して, 必要とする機能やリソース, 提供できるサービスやオブジェクトを相互に参照し, インタラクションを可能にすることで, 動的なサービス連携の実現を目指す.

## Real World Service Coordination Architecture based on Semantic Web Agents

Akio Sashima, Noriaki Izumi, Koichi Kurumatani and Hideyuki Nakashima

### Abstract

In this paper, we propose a real world service coordination architecture based on Semantic Web agents. In the vision of Semantic Web, the agents are defined as the programs that collect information from diverse sources, process the information, and exchange the results with other programs. In order to extend application areas of the agents from the Internet to the real world, we propose a concept of agent-based service gateways, called *Semantic Web Gateways (SW Gateways)*. The gateway has a human-interface to communicate with agents in the digital world and an agent-interface to enable agents to access the real world services. According to the user's instruction, the agents coordinate the SW Gateways to realize real world service applications, such as context-aware web search services in museums.

### 1. はじめに

Tim Berners-Lee (TBL) らのセマンティック Web の構想[4]では, 人間に代わってインターネット上の多様なリソースから情報を収集し, 複数の情報サービスの連携を可能にする自律的ソフトウェアとしてのセマンティック Web エージェントの可能性が明確に打ち出されている. しかしながら, TBL らの構想は, オントロジーに基づく大規模な意味共有技術を核として, インターネット上の大量のコンテンツハンドリングを目指すものであり, 現時点では, セマンティック Web エージェントの応用領域は, インターネットに代

表されるデジタル世界に限定されている. 実世界の情報やサービスとの連携に関しては, 一部で専用のアプリケーションやインタフェースが検討されはじめた段階であり[6][16][18], 具体的なフレームワークの提案には至っていない.

そこで, 我々は, セマンティック Web エージェントのコンテンツ管理とサービス連携の技術を実世界へと適用し, エージェントの活躍の舞台を我々の日常生活環境へと拡張することを提案する.

例えば, ユーザの実世界の状況に即した素朴なサービス連携の要求として「一番近くにあるプ

所属: 産業技術総合研究所 サイバーアシスト研究センター/科学技術振興機構 CREST  
Cyber Assist Research Center, AIST / CREST, JST

Email: sashima@carc.aist.go.jp, niz@ni.aist.go.jp, k.kurumatani@aist.go.jp, h.nakashima@aist.go.jp

リント”に“印刷”したい”や“昨日美術館で見た絵”の“モデルを知りたい”]「出張先に到着したので“今晚予約済みのホテル”までの“道案内して欲しい””というような要求が考えられる。現在のところは、これらの要求を自動化するようなくみは提案されていないので、必要とするリソースの名称や URL 等を検索するようなデジタル世界のサービスと印刷サービスのような実世界サービスとを結びつけるという手間のかかる作業を逐一人間が行う必要がある。

本研究では、これらの作業を人間に代わって代行するソフトウェアエージェントとして、セマンティック Web エージェントの実世界への拡張を提案する。セマンティック Web の持つ大規模意味共有技術とエージェントの自律分散機能を用いることによって、実世界におけるさまざまなデバイスや機器、サービス間のアドホックな連携、そして、すでに大量に存在するインターネット上の情報サービスとのシームレスな連携の実現を目指す。

本論文では、このようなエージェントの実現に向けて、“セマンティック Web ゲートウェイ”と呼ぶ、セマンティック Web エージェントによる実世界指向のサービス連携アーキテクチャについて述べる。セマンティック Web ゲートウェイは実世界とデジタル世界の橋渡しを行うゲートウェイコンポーネントであり、ユーザとセマンティック Web エージェントのインタラクションを可能にする基盤を提供する。ユーザは、セマンティック Web ゲートウェイのユーザ側のインタフェースを通じて、必要とするサービスの連携を指示し、一方で、デジタル世界のセマンティック Web エージェントは、ユーザの状況に応じたサービスやサービス連携の提案を行うことができる。

以下、本論文の構成は次のとおりである。まず、第2章では、セマンティック Web エージェントによって実世界サービス連携を実現する上で問題となる、いくつかの技術的課題について述べる。そして、第3章では、その解決策として“セマンティック Web ゲートウェイ”を提案する。第4章では、セマンティック Web ゲートウェイに基づくサービス連携の具体例について、エージェントを用いた美術館案内システムを例にして述べる。第5章では、実世界サービス連携技術の現状について関連研究を概観し、本研究の意義について議論する。

## 2. セマンティック Web エージェントの実世界への適用

セマンティック Web エージェントの技術を実世界におけるサービス連携へと拡張する上でいくつかの技術的問題が生じる。本章では、本研究で扱う2つの問題について述べる。

### 2.1 セマンティック Web エージェントの物理場へのグラウンディング

セマンティック Web エージェントが実世界の情報にアクセスするには、実世界の記述モデルが必要である。しかしながら、モデルによって実世界を完全に記述することは本質的に不可能であるから、その記述には必ず不完全な部分を持つ。このようなモデル記述の不完全性に由来する問題をどのようにして回避し、実世界とエージェントとを緊密にインタラクトさせるかという問題を本研究ではエージェントの物理場へのグラウンディングの問題と呼ぶ。

こうした実世界のモデルの不完全性に対処するための代表的アプローチとして、Brooks の Physical Grounding 仮説[5]が知られている。Brooks のアプローチはセンサとアクチュエータを用いて環境とプログラムモジュールとをより緊密にカップリングさせ、実世界のオブジェクトを直接参照するような最小限の環境記述にとどめることで、この問題を解決しようとする。

我々は、セマンティック Web エージェントにおいても、グラウンディングの問題に対処するためには、Brooks の主張するような環境との緊密なカップリング機能が必要と考える。セマンティック Web ゲートウェイのアーキテクチャでは、このカップリング機能の実現を目指して設計を行う。

### 2.2 セマンティック Web サービスへのヒューマンインタフェース

現状のセマンティック Web エージェントの技術は Web コンテンツの機械処理を目指して実現されたものであり、実世界のユーザとインタラクトするための技術的フレームワークを持たない。そのため、DAML-S[3]等のサービス連携の研究においても論理的な妥当性やサービスプロセスの停止性等[20]に興味の焦点が集中しており、人間の要求をどう取得し、その要求を具体的なサービスとどう結びつけるかというヒューマンエージェントインタラクション技術の部分については十分な検討がなされていない。したがって、我々は、ユーザの要求とセマンティック Web のサービ

スとのギャップを埋めるためのエージェントインタラクション技術が重要であると考え、セマンティック Web ゲートウェイのサービス連携機構では、ユーザ要求とサービスを結び付けるためのヒューマンエージェントインタラクション技術を中心に設計を行った。

### 3. セマンティック Web ゲートウェイ

本章では、セマンティック Web ゲートウェイと呼ぶゲートウェイサービスエージェントについて述べる。以下では、セマンティック Web ゲートウェイの基本構造およびサービス連携のフレームワークについて述べる。

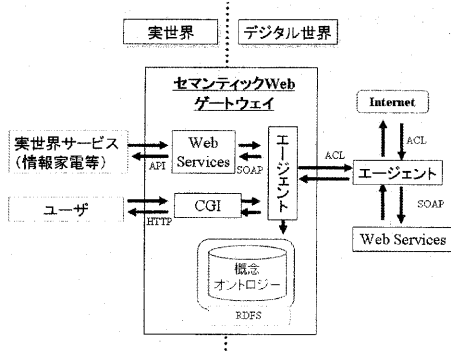


図 1 セマンティック Web ゲートウェイ

#### 3.1 セマンティック Web ゲートウェイの構成

セマンティック Web ゲートウェイは図 1 に示すようなサブコンポーネントから構成される。

- サービス呼び出しのためのエージェントインタラクション (Web Services 等)
- サービスオントロジー
- サービス管理エージェント
- Web フォームベースのヒューマンインタフェース (JSP, CGI 等)

図 1 に示すように、セマンティック Web ゲートウェイのインタフェースは、エージェント (もしくはユーザ) から見て、実世界 (もしくはデジタル世界) へアクセスするためのゲートウェイサービスの役割を果たす。そこで、このような実世界とデジタル世界を結ぶ双方向からのサービスインタラクションを持つゲートウェイサービスコンポーネントを “セマンティック Web ゲートウェイ” と呼ぶ。

まず、我々は、環境中に点在するすべての情報家電や情報機器、情報キオスクなどの提供するサービスに対して、エージェントがアクセスできる

インタフェース (たとえば Web Services[21]) を実装することを提案する。同時にその機器の機能と入出力に関するオントロジー (サービスオントロジー) を定義する。同時に、このオントロジーに基づいて機器を制御するための専門のエージェントを作成する。さらに、このエージェントとユーザが直感的にコミュニケーションするためにその情報機器自身に備え付けのディスプレイに表示する CGI, JSP 等の Web フォームによるヒューマンインタフェースを構築する。もしも、その情報機器に備え付けのディスプレイが無い場合は、その機器と物理的に「近接」したユーザの PDA に自動で表示されるものとする。これは、現在インタラクト中の情報機器が何であるか空間的な近接性に基づいてユーザが直感的に把握できることを狙ったものである。

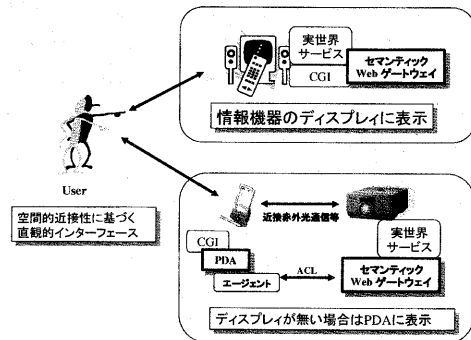


図 2 セマンティック Web ゲートウェイのヒューマンインタフェース

#### 3.2 セマンティック Web ゲートウェイにおけるグラウンディング

セマンティック Web ゲートウェイのエージェントは、ユーザからの入力を自らの担当するデジタル機器や情報家電の機能に関する知識やその物理的位置に関する知識に照らし合わせて解釈、実行することで、動作する。エージェントをセマンティック Web ゲートウェイのコンポーネントとして埋め込むことで、実世界とのカップリングを実現する。特定の実世界サービスの知識だけを持つエージェントを用いることで、モデルの複雑化を最小限にとどめることが実現できる。このような単純なエージェントが複数連携することで、ユーザの要求する実世界サービスの連携を実現するというのが、セマンティック Web ゲートウェイのグラウンディングの問題へのアプローチで

† 近接性の判別は近接赤外線通信による ID の交換等で実現する。

ある。

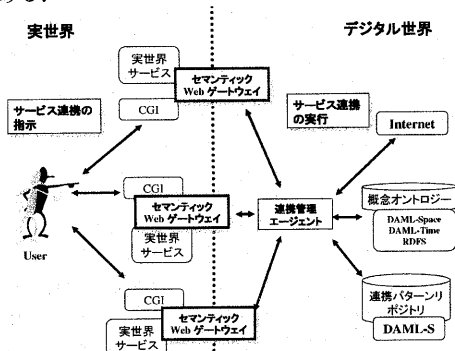


図 3 セマンティック Web ゲートウェイによるサービス連携モデル

### 3.3 セマンティック Web ゲートウェイにおけるヒューマンエージェントインタラクション

ユーザはセマンティック Web ゲートウェイと Web ブラウザを介した Web フォーム (HTML) を用いてエージェントとコミュニケーションする。すなわち、ユーザは、あるセマンティック Web ゲートウェイの出力を、近傍の異なるセマンティック Web ゲートウェイの Web フォームへの入力として利用する。こうして、複数のセマンティック Web ゲートウェイ間の入出力を結合することで、ユーザの要求に基づくサービス連携を実現する。

一方、エージェントは、自らの埋め込まれた物理的位置や機能などをもとに入力されたデータを解釈し、サービスの実行を行う。自らのサービスに関するオントロジーを用いることで、たとえば、「宿泊先」という属性で参照されるデータを「ホテル」という属性で参照される Web フォーム上のデータとを同じものとしてマッチングし、サービスへの入力とするというようなことが可能になる。また、入力時に認証キーなど必要とする情報が不足した場合、エージェントを介してインターネット上の適切なサービスを呼び出し、情報を補完することも可能である。

以上のようなユーザの直接的操作による指示とエージェント側のサービスオントロジーを用いて、セマンティック Web ゲートウェイのサービスの連携が実行される (図 3 参照)。たとえば、ユーザの出張スケジュールを管理するサーバから出力された HTML コンテンツを選択し、駅前

実際の入力操作では、WebSLIT[11]によるカット & ペーストを用いることで Web フォームへのテキスト入力は自動化されると想定している。

道案内情報キオスクの Web フォームに対して、ペーストすることで、今夜の宿泊先のホテルまでの道案内サービスが起動する、というようなアプリケーションが実現できる。

### 3.4 セマンティック Web ゲートウェイによる自律的サービス連携

ヒューマンエージェントインタラクションにおけるユーザの入出力の結合は、エージェントへの連携の指示とみなすことができる。そこで、エージェントは、この連携のパターンをテンプレートとしてリポジトリに記憶する。そして、次回からは、この連携テンプレートに基づいてサービス連携をユーザに提案し、実行することで自律的なサービス連携が可能になる。エージェントの連携パターンへの記述については、DAML-S[3]やシナリオ記述言語 Q[12]の利用を検討中である。たとえば DAML-S は、サービスをモデル、プロフィール、リソース、グラウンディングという 4 つの観点から記述する。この DAML-S のグラウンディング記述をセマンティック Web ゲートウェイに適用し、連携パターンを記述することで、サービス間の意味的検索や動的合成、並列実行などが可能になる。

実際のサービスの実行に関しては、連携パターンを解釈する連携管理エージェントの管理、指示もとで、整合的にエージェントが Web サービスを実行することによってサービス連携を実現する。具体的には、エージェント間の通信は FIPA-ACL[8]を用い、連携管理エージェントからの action の request に対して、各エージェントが、accept, reject, inform など答える単純な request プロトコルによってサービス連携は実現できる。FIPA-ACL を用いることで AgentCities[2]などのオープンなエージェントネットワークに接続可能になる。これは、世界中のセマンティック Web ゲートウェイが相互に通信可能であることを意味する。

## 4. サービス連携アーキテクチャの実装

セマンティック Web ゲートウェイを介して、実世界サービスにアクセスし、機能を合成することによって、エージェントはサービス連携を実現する。以下では、我々が提案するサービス連携アーキテクチャのプロトタイプとアプリケーションの構築例を取り上げ、その有用性に関して議論する。

## 4.1 実装

セマンティック Web ゲートウェイおよびサービス連携のプロトタイプシステムの実装は、我々が開発中のマルチエージェントアーキテクチャ CONSORTS[15][24]によって行った。CONSORTS は、エージェントベースのユビキタスコンピューティングアプリケーションを開発するための開発基盤であり、時空間情報をオントロジーを用いて管理する機能を持つ。

また、セマンティック Web ゲートウェイの Web Services 部分は Tomcat 上の Axis[1], Web フォームとエージェントの融合部分は JADE+JSP[13][17]を用いて行った。概念オントロジーの部分は RDF[21], RDFS[23]を用いて記述している。

## 4.2 美術館における情報支援システム

美術館は、単に展示物を見る場所というだけでなく、その展示物を通してさまざまな知識(所蔵者, 作者など)を得るという教育の場という機能をも併せ持つ。たとえば、美術館で「この絵の\*\*\*について教えて欲しい。」というサービス要求は自然なものである。

そこで、ここでは展示物に観客が近づくと質問 GUI が PDA 上に表示され、そのフォームの「\*\*\*」に該当する部分に「モデル」や「作者」などキーワードを補助情報として入力すると、インターネット上の Google Web Services[9]にアクセスし、たとえば、その展示物の「モデル」の情報を検索して表示する機能を実現する[24]。このサービスでは、

- 近接する展示物の名称を提示するサービス
- Google Web Services
- Google Web Services にアクセスするためのライセンスキーの提示サービス
- キーワード取得インターフェースサービス

の4つのサービスが、ユーザと展示物の「近接性」に基づいて連携することで実現される。現状では、ユーザのサービス連携の指示部分と連携スクリプトの実行部分の融合が済んでいないため、連携のロジック自体はハードコードされた静的なものとなっている。今後は、ユーザの指示をエージェントの連携テンプレートとして記録し、次回以降の連携へ利用することで、自律的なサービス連携を実現したいと考える。

## 5. 関連研究

エージェントを用いた日常生活の支援に関しては、パーソナルエージェントの通信機能を用いて知識交流を促進するシステムであるエージェントサロン[25], 実世界認識や状況依存情報処理機能をエージェントへの導入を狙った CoolAgent[6]などがある。また、実世界の人工物に知性を持たせようとする研究として Artifact intelligence[26]がある。これらの研究と比較した本研究の特徴は、日常環境の至るところにデジタル世界と実世界のサービスを結ぶゲートウェイを作っていくことで、異種世界間の情報流通を加速し、エージェントを身近なものにするというアプローチにある。

情報サービスの連携に関しては、セマンティック Web の研究コミュニティにおいて、DAML-S[3]や WSDL[27]といった、標準サービス記述言語を基盤に、インターネット上のサービスを連携させるためのフレームワークが精力的に研究されている。しかしながら、これまでのセマンティック Web エージェントによるサービス連携研究の応用例は、旅行手配における航空機の座席とホテルの予約の連携など、デジタル世界に閉じた定型的なビジネスプロセスの合成を目指すものばかりであり、我々が本研究で取り組んだ実世界のサービス連携については、依然として研究の対象外である。また、本研究で示したユーザインタラクションによるユーザの意図をサービス連携のダイレクトに反映させる手法については、検討がなされていない。

一方、ユビキタスコンピューティング[28]の研究分野においても、近年、家庭の情報機器や携帯端末を想定したさまざまな実世界サービスの柔軟な連携基盤を指向した研究[7][10][13][19]が増加の傾向を見せている。しかしながら、その多くはサービスプロセスの入出力変数の型情報に着目したマッチングにとどまり、本研究で目標としたオントロジーに基づくマッチングについては、十分に検討されていない。将来のユビキタスコンピューティングで想定される無数のセンサやアクチュエータ、情報家電をアドホックかつ自律的に連携させる手法として、本研究で示したセマンティック Web ゲートウェイのアイデアが役立つと考える。

## 6. おわりに

本稿では、実世界のサービスとデジタル世界のサービスの連携をセマンティック Web ゲートウェイというコンセプトのもとで実現する機構に

ついて述べた。本フレームワークの元では、すでに我々の日常生活に存在するデジタル機器やWebサービスを用いて、サービスの連携が実現できる。今後、こうしたネットワーク化された情報機器はますます増殖していくものと思われる。その一部が、セマンティックWebゲートウェイに対応し、相互に接続しあうことで、我々の日常生活世界に対するエージェントのグラウンディングが進展していくことを期待したい。

## 参考文献

- [1] Apache Axis, <http://ws.apache.org/axis/>, 2003.
- [2] AgentCities Network, <http://www.agentcities.net/>, 2002.
- [3] Ankolekar, A., Burstein, M., Hobbs, J. R., Lassila, O., Martin, D. L., McIlraith, S. A., Narayanan, S., Paolucci, M., Payne, T., Sycara, K., and Zeng, H., DAML-S: Semantic markup for web services, in *Proceedings of the International Semantic Web Workshop*, 2001.
- [4] Berners-Lee, T., Hendler, J., and Lassila, O., *The Semantic Web. Scientific American*, 2001.
- [5] Brooks, R. A., Elephants don't play chess, in *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 6, pp. 3-15, Elsevier, Amsterdam, 1990.
- [6] Chen, H., and Tolia, S., Steps towards creating a context-aware agent system. *TR-HPL-2001-231*, HP Labs, 2001..
- [7] Coulouris, G., Naguib, H. and Mitchell, S. Middleware support for context-aware multimedia applications. In *Proc. of International Working Conference on Distributed Applications and Interoperable Systems*, 9-22, September 2001.
- [8] The Foundation for Intelligent Physical Agents, <http://www.fipa.org/>, 2002.
- [9] Google Web Service APIs, <http://www.google.com/apis/>, 2003
- [10] 石井かおり, 由良淳一, 徳田英幸, "SmartTerminal構築のための基盤機構の実装", *情報処理学会情報家電コンピューティング研究グループ第5回研究会報告 (5)* pp.15-20, 2003
- [11] 和泉憲明, 車谷浩一, 中島秀之, サービス連携のためのアーキテクチャ CONSORTS におけるWebSLIT, *情報処理学会ユビキタスコンピューティングシステム第2回研究会報告(2)*, to Appear, 2003
- [12] Ishida, T., Q: A Scenario Description Language for Interactive Agents. *IEEE Computer*, Vol.35, No. 10, 2002
- [13] Iwai, M., Nakazawa, J., and Tokuda, H., uBlocks: Enabling Hand-made Distributed Application among Ubiquitous Embedded Devices, *Proc. of IEEE Workshop on Software Technologies for Future Embedded Systems*, pp.57-60, 2003
- [14] Java Agent DEvelopment Framework (JADE), <http://sharon.cseit.it/projects/jade/>, 2002
- [15] Kurumatani, K.: Social Coordination in Architecture for Physically-Grounding Agents, *Proc. of Landscape Frontier International Symposium 2002* (Kokura), pp.57-62 (2002).
- [16] Lassila, O., and Adler, M., Semantic Gadgets: Ubiquitous Computing Meets the Semantic Web. In Fensel, D., Hendler, J., Wahlster, W., and Lieberman, H., editors, *Spinning the Semantic Web*, pages 363-376. MIT Press, 2003.
- [17] Le Berre, D., JADE+JSP, <http://jade.cseit.it/doc/tutorials/jsp/JADE4JSP.html>, 2003.
- [18] Masuoka, R., Parsia, B. and Labrou, Y., Task Computing - the Semantic Web meets Pervasive Computing -, In *Proceedings of the 2nd International Semantic Web Conference 2003*, October 20-23, 2003
- [19] 南正輝, 杉田馨, 森川博之, 青山友紀, ユビキタス環境に向けたインターネットアプリケーションプラットフォーム, *電子情報通信学会論文誌*, vol. J85-B, No. 12, pp. 2313-2330, December 2002.
- [20] Narayanan, S. and McIlraith, S. A., Semantic web services: Simulation, verification and automated composition of web services. In *Proceedings of the Eleventh International World Wide Web Conference*, pages 77-88. ACM Press, 2002.
- [21] Pham Huy, H., Kawamura, T., Hasegawa, T., From Web Browsing to Web Service - Fertilizing Agent Environment, In *Proc. of Workshop on Web Services and Agent-based Engineering*, <http://agentus.com/WSABE2003/program/>, 2003
- [22] RDF Vocabulary Description Language 1.0: RDF Schema, <http://www.w3.org/TR/rdf-schema/>, 2002
- [23] Resource Description Framework (RDF), <http://www.w3.org/RDF/>, 2002
- [24] Sashima, A., Izumi, N., and Kurumatani, K., Location-Mediated Service Coordination in Ubiquitous Computing. In *Proceedings of the Third International Workshop on Ontologies in Agent Systems*, pp.39-46, 2003.
- [25] 角康之, 間瀬健二, エージェントサロン: パーソナルエージェント同士のおしゃべりを利用した出会いと対話の促進, *電子情報通信学会論文誌*, Vol.J84-D-I, No.8, pp.1231-1243, 2001.
- [26] Takeda, H., Terada, K. and Kawamura, T., Artifact intelligence: Yet another approach for intelligent robots. In *Proceedings of the 11th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication*, 2002.
- [27] Web Services Description Language (WSDL) 1.1. W3C Note 15 March 2001, <http://www.w3.org/TR/wsdl>
- [28] Weiser, M., The computer for the 21st century. *Scientific American*, 94-104, Sep 1991.