

遠隔商品管理向けマルチエージェントシステムの構築

川村 潤、澤本 潤、小泉 寿男、辻 秀一

東京電機大学 理工学研究科情報システム工学専攻

三菱電機株式会社 IT 宇宙システム推進本部

東海大学 電子情報学部情報メディア学科

アプリケーション構築の為にエージェントアーキテクチャとしてエージェントモデルや構築方法を開発し、実用レベルの評価を行いながら、アプリケーションの種類に対応した共通の構築基盤として整備していくことが求められている。本研究では、エージェントによるアプリケーション構築基盤として、マルチエージェントによる協調問題解決方式の提案を行う。さらに、開発支援手法として、エージェントモデルとタスクモデルによるテンプレートを構築し利用する方式について述べ、本提案の有効性を実証するために、商品管理システム分野に適用し考察を行う。

Construction of A Multi-Agent System for Remote Merchandise Management

Jun Kawamura, Jun Sawamoto, Hisao Koizumi, Hidekazu Tsuji

Tokyo Denki University

Mitsubishi Electric Corporation

Tokai University

It is required to establish a common basis for constructing various kinds of agent applications, by developing an agent model and the construction methodologies as the agent architecture for application construction, accompanied by practical evaluations. In this research, we propose a cooperative problem solving framework with multi-agents as the agent application construction basis. Furthermore, we introduce the system development support technique where the templates by the agent model and the task model are built and utilized. In order to prove the validity of our proposal, we apply the proposed method to the field called merchandise management.

1. はじめに

ユビキタス環境が普及する中、モバイル機器を使って移動しながら活動する利用者に、場所（位置）時間などに応じてさまざまなサービスを提供することが求められている。サービスを提供する仕組みとして、動的なサービスの発見や結合を可能とする技術が不可欠であるといわれている。ユーザの好みや位置、時間を含むコンテキストの変化に動的に適應していくことが求められている。こういったユビキタス環境に対応した動的なサービスを実現する仕組みとしてセマンティック Web やエージェント技術等の適用が考えられている^[1]。しかしながら、アプリケーション構築において、エージェントシステム構築の方法論が確立されるに至っておらず、応用ごとにエージェントモデルや処理系をアドホックに選択している状況にある。

筆者らは、マルチエージェントを用いた位置情報サービスの構築に関する提案を行ってきた^[5, 6]。これは、位置情報に応じたサービスシステムをマルチエージェントを用いて構築していくシステム基盤の提案を行うことによって構築を容易にすることを狙うものである。本稿では、既に提案しているマルチエージェントシステム構築基盤^[5]を遠隔商品管理システムの開発に適用し、その有効性の評価を行う。既報の構築基盤では、

基本となるマルチエージェントによる協調問題解決フレームワークと、それらを用いたシステム構築手法を示した。協調問題解決フレームワークは、各エージェント間の問題解決手順に関する処理と、各エージェントでの内部（ローカル）処理を別け、前者をエージェントレベル、後者をタスクレベルとしてシステム構築を行う。マルチエージェントシステム構築手法としては、本フレームワークにおいて、エージェントモデル、タスクモデルのテンプレートを活用し、エージェントシステム開発のプロセスに対応したトップダウンアプローチとボトムアップアプローチによりエージェントモデルとタスクモデルの統合を行うことにより構築支援する方式を示した。

遠隔商品管理システムの開発では、システム構築の方式として、ボトムアップ的なエージェント方式の適用を行う。この方式では、エージェントへの問題割当ては動的に行われ、交渉や仲介の機能が重要となる。遠隔商品管理システムの事例として、車両部品管理システムを考える。具体的には、車両部品に IC タグを付加し、IC タグ認識するスペース（領域）に入ることによってユーザに車両情報を自動的に通知し、「どこが故障している」「○○部品の交換が必要」などの情報を提示することで車両管理を支援するサービスを考え、プロトタイプ構築による評価構想について述べる。

2. マルチエージェントによる協調問題解決フレームワーク

2.1 基本フレームワーク

本稿では、遠隔商品管理システムをマルチエージェントを用いて構築していくシステムの基本フレームワークとして、エージェント間の協調的な問題解決手順に関する処理と、各エージェントにおける内部（ローカル）処理を分離して考える。図1に示すように前者をエージェントフレームワークとして与え、後者をタスクフレームワークとして与えることにより効率的な分散システムの構築を可能にする。このフレームワークでは、マルチエージェントによる協調的な問題解決手順と各エージェントが持つローカルな内部処理をできるだけ分離した形で表現することができる。

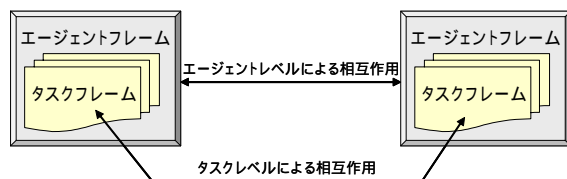


図1 エージェントレベルとタスクレベルの分離

エージェントフレームワークでは、協調問題解決を行なう為のエージェント間の調整機能を提供する。エージェント間で行なわれる ACL (Agent Communication Language)^[4] ベースの通信機能を中心にインタラクションプロトコルを与える。マルチエージェント間協調プロトコルとしては、契約ネットプロトコル、ファシリテータプロトコル、黒板アーキテクチャ等の各種アーキテクチャを適用する。

タスクフレームワークでは、データベース(以下 DB) 処理、検索処理などの内部でのローカルな処理を基本的なタスクの集合で構成したものである。

エージェントとタスクの枠組みを作り、それぞれの動作レベルによる相互作用を行うことで、エージェントフレームワークとタスクフレームワークはフレームワーク間で干渉しないことを意味する。これは、再利用性・開発効率の向上を意味し、独立性に優れていることになり、フレームワークごとの開発を容易にする。

2.2 問題解決基本モデル

2.1 で述べた基本フレームワークをさらに具体化して問題解決のモデルを考える場合、問題解決のプロセスを考え、それをシステム開発プロセスにマッピングする必要がある。本稿では、システム開発プロセスを考慮した開発支援が重要であると考え、典型的な問題解決プロセスとして、トップダウン的な分割連携エージェント方式とボトムアップ的な分散連携エージェント方式およびそれらの組合せ方式を対象とする。方式によって当然ながら備えるべき機能が異なってくる。前者では、事前に問題が与えられ、部分問題に分割された後、その部分問題に対して担当エージェントを設計する方式を取る。後者では、エージェントへの問題割当ては動的に行われ、割当てを受けるかどうかは自

律的なエージェントの判断による。ここでは、交渉や仲介の機能が重要となる。

2つのシステム開発プロセスについてその特徴を表1にまとめて示す。

表1 2つのシステム開発プロセスの特徴

問題解決モデル	開発プロセスの特徴
分割連携 エージェントモデル	・ トップダウン的な問題解決 ・ 問題の分析、部分問題分割 ・ 部分問題を担当するエージェント群の設計 ・ 最終的なエージェント群の組合せ統合
分散連携 エージェントモデル	・ ボトムアップ的な問題解決 ・ 解くべき問題の分割や割当てをエージェントが行う ・ 予め用意されたエージェント群から問題解決に適したエージェントを探索したり、エージェントを組織する ・ 前もって規定できないオープンな問題解決

我々が提案するエージェントによる問題解決の基本モデル構成を図2に示す。基本モデルではタスクレベル、エージェントレベル、プラットフォームレベルの3階層構成とする。さらにエージェントレベルは共通的なエージェント基本機能の部分と問題解決モデルに対応した部分の2階層で構成される。管理プラットフォームレベルは、FIPAが提案する管理プラットフォーム機能であり、エージェント管理、ディレクトリ、エージェント通信路等の機能により構成される。エージェント基本機能としては、共通的な機能の抽出を行い、エージェント通信機能、知識の共有機能、移動機能、意思決定・判断機構を共通基盤ライブラリーとして持つものとする。意思決定機構は、内部機能として信念(状況に関する情報、知識)、意図(実行目標)、プランニング機能等を持っている。エージェントレベルの問題解決モデルに対応した部分では、分割連携エージェントモデルと分散連携エージェントモデルに対応したエージェントフレームワークを利用可能とする。タスクレベルでは、タスクオントロジーを考慮したタスクモデルに基づく問題解決構造を提案する。

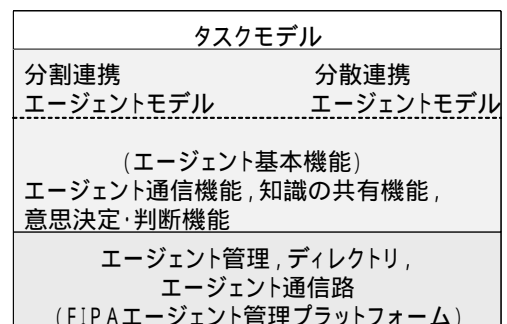


図2 エージェントによる問題解決の基本モデル構成

この基本モデル構成によって、トップダウン的な方式とボトムアップ的な方式を容易に組合せながら柔軟な問題解決が可能な枠組みを与えることができる。

3. 分散連携エージェント方式によるシステム構築

分散連携エージェントは、自律性の強い多数のエージェントが互いに協力し合い、ユーザのために様々な処理作業を代行していく環境を実現する。オープンなネットワーク社会をベースにしたエージェント社会の実現には、既に存在しているエージェントの集団を組織化し問題解決に当たる事が重要になってくる。ここでは、エージェント集団へのリアルタイムでのタスク割当てを可能とする。分散連携エージェント方式によるシステム構築は以下のような内容を実現することを目指している。

遠隔商品管理を行うために、統一したサービスインターフェースの提供を行う

商品情報などの状況に対応した最適なサービスの提供を行う

遠隔商品管理システム構築手法の提供を行う

遠隔商品管理システム変更・拡張への対応

3.1 エージェント方式の特徴

本提案では、ユーザの状況を適切に把握し、エージェントの存在する環境に対応して最適なサービスを提供するシステムを支援する問題解決エージェントモデルの作成を行う。特徴は以下のようなものになる。

ユーザの行動・処理や、実装する応用例などに合わせたエージェントの性格を決めることで、様々なエージェントモデルの作成が可能である。

存在する環境に応じて自律的に行動して、他のエージェントと協力して目的を遂行する能力を持つ。ユーザのニーズに応じたエージェントの適応能力（ヒューマンインタフェース）。

ネットワーク間の移動（他ホストへの移動）

3.2 エージェントシステムの構築と拡張

（１）エージェントシステムの構築

3.1 を満たすためには、フラットにエージェント群が集団を形成する必要がある。エージェントは、情報と内部状態に応じてその時点での目標を決め、自律的にプランを生成して問題解決を行っていく。基本的なシステム構成を図3に示す。

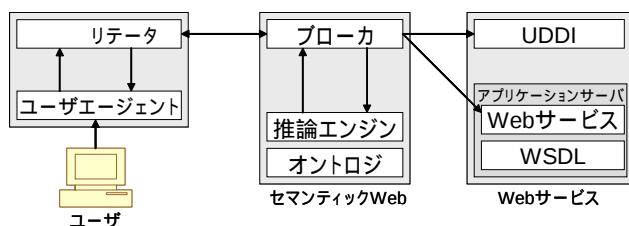


図3 エージェントシステム構成

遠隔商品管理を実現するためのシステム構成として、ユーザ情報を管理しネット上でのユーザの代理を行う

ユーザエージェント、ユーザエージェントからのリクエストに応じてコンテキストを考慮しながら最適なサービス候補を提供するブローカの検索を行うファシリテータ、Web サービスをユーザからのサービス要求に合わせるために、推論エンジンを用いて検索・決定を行うブローカ、各種サービスを登録、管理する Web サービスから成るものとする。ここではロケーションに応じたファシリテータを考えることにより、ユーザエージェントにユビキタスなサービスを提供する。

（２）エージェントシステムの拡張

エージェントシステムにおいて、エージェントごとの協調動作はシステムの拡張を意味する。様々な性質や特徴を持つエージェントの相互作用により、単体のエージェントでは出来なかった処理やシステムを実現することができる。これは、本提案の構築方法論にあるマルチエージェントによる協調問題解決フレームワークを提案した理由である。すなわち、エージェント群が協調動作することで、新しいエージェント機能を作り出し、新たな処理や動作をエージェントに追加することになるので、結果としてエージェントシステムの拡張に繋がる可以说える。

すべてのエージェントの行動は保持する知識に基づくものである。その知識を共有することで、エージェントシステムの拡張を行う。そこで、マルチエージェントごとの個別知識と、マルチエージェント間の共有知識について考える。共有知識としては、全体社会のルール、問題領域における語彙、通信手段のプロトコル等、各エージェントが持つことにより協調動作が支障なくまた効率良く行われる。マルチエージェントごとの個別知識と、マルチエージェント間の共有知識の様子を図4に示す。

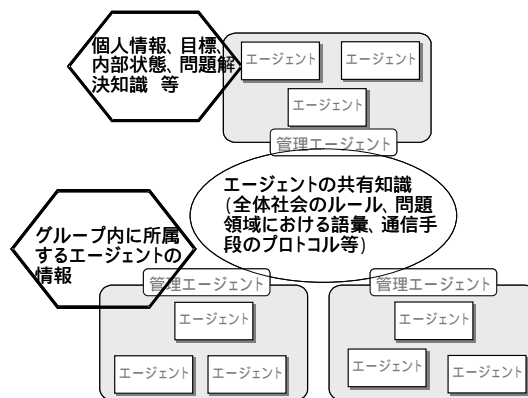


図4 マルチエージェント間の知識共有

4. 遠隔商品管理システムのプロトタイプと評価構想

4.1 遠隔商品管理システムの構成

分散連携エージェントモデルに対応した動的なサービスを実現する遠隔商品管理システム基盤の仕組みとしてセマンティック Web や Web サービス等の技術の適用が考える。具体的には、遠隔で商品を管理するシステムである。商品を管理するとは、保守・サービス提

供や商品のトレーサビリティのことを示す。ここでは、図5に示すような、車両の修理や故障についての保守システムを考える。

遠隔商品管理システムをマルチエージェントを用いて構築していくシステム基盤の基本的なシステム構成を図5に示す。ユーザ情報と商品情報を管理し、移動媒体上（車両）でのユーザの代理を行うユーザエージェント、ユーザエージェントからの商品情報やサービス要求に応じてコンテキストを考慮しながら最適なサービス候補の検索を行うサービスステーション（駐車場）、各商品会社情報と各種サービス情報を登録・管理するサービスセンタ、各商品を管理している商品会社の4階層から成るものとする。

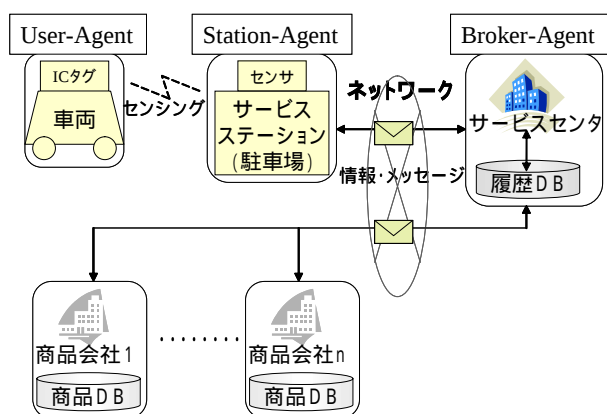


図5 遠隔商品管理システムの例

以下にシステム構成の概略を述べる。

移動媒体（車両）

移動媒体で起こる事象としては、受動的な部分であるので、サービスステーションを認識しない限り動作することはない。そのため、常にサービスステーションとの関係のためにスタンバイ状態になっている。

サービスステーション（駐車場）

サービスステーションで起こる事象としては、車両に取り付けられたICタグをサービスステーション内にあるセンサが認識して、ICタグの情報を読み取る。読み取った情報をもとにサービス要求を提案し、サービスステーションと連係してサービスを提供する。実際のシステムでは、「どこが故障している」や「○○部品の交換を提案する」などのメッセージを移動媒体のインターフェースに投げかける。これらサービスステーションは、どこでも場所を選ばず、常駐設置や臨時設置など臨機応変に設置することが可能である

サービスセンタ

サービスセンタで起こる事象としては、サービスステーションで読み取った商品情報とサービス要求を取得し、その情報をもとに適切なサービス検索と連係を行う。また、顧客の履歴情報などから、顧客に合わせた商品調達やサービス提供を行うものである。

商品会社

商品会社で起こる事象としては、サービスセンタからの商品問い合わせに対する返答を行う。この部分は、各商品会社によって内容が大きく異なることになる。

（１） エージェントの種類と機能

本提案では、図5に示す3種類のエージェントを用いる。以下にそれぞれのエージェントについて述べる。

UserAgent（以下UAと記す）

ユーザプロフィールの獲得、行動履歴によるユーザ要求の補完等の役割を担う。また、ユーザと共に移動する対象（図5では車両）に付加された過去にセンシングされたICタグの情報やユーザの個人情報情報を管理し、サービス（車両診断システム）を利用するユーザの特徴に合わせて、エージェントをカスタマイズすることができると同時に、本システムにおけるユーザインターフェース機能を持つ。UAが自律的に動作することで、利用者は、提供されているサービスやシステムを意識しないで利用することができる。

StationAgent（以下SAと記す）

ICタグを認識するセンサの場所（図5では駐車場）にエージェントを用いることで、設置する場所ごとにエージェントを実装することができ、このエージェントの性質を変えることで、設置場所ごとにシステム設計ができることから、ロケーションサービスを実現することが出来る。主な機能としては、ICタグとセンサの情報のやり取りを管理して適切なサービス要求を導き出し、その要求を満足するBrokerAgentを検索することが挙げられる。

BrokerAgent（以下BAと記す）

BAはサービスセンタに常駐し、「履歴DB」などから取得した情報を基に個々のUAに対応した処理や手続きを行い、サービス内容などを臨機応変に設定し、利用者に提供する。具体的には、過去の故障履歴や商品情報などから、様々なサービスを連係して、最適なサービスを提供する機能を持つ。他には、サービスセンタが保持する「履歴DB」は各会社の履歴情報を持ち、利用者が求める商品を保持する商品会社へ部品調達願いなどを通知する機能を持つ。

（２） エージェント間プロトコル

マルチエージェント間の協調プロトコルを図6に示し、時系列順に各処理の詳細を述べる。

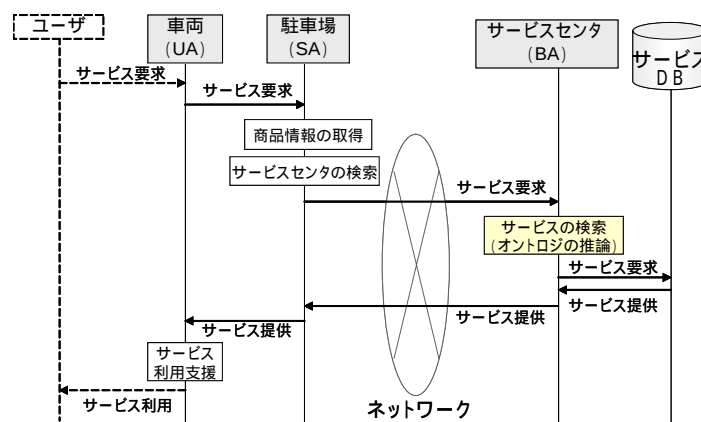


図6 エージェント間協調プロトコル

エージェント間協調プロトコルの処理：

UA は、ユーザプロフィールの獲得、行動履歴によるユーザ要求の補完等の役割を担い、ユーザの移動に伴いロケーションを更新していく。

UA から、現在のロケーションでのコミュニティを管理する SA に対してユーザの意識に関係なく商品情報と過去の IC タグ情報をメッセージとして送信する。

SA は、複数のサービスセンタからの情報を整理・統合して統一的なサービスインターフェースに変換する。また、UA からのサービス要求を受け、サービス提供を行う BA の検索を行い、サービス要求の問い合わせを行う。

サービス要求を受けた BA は、SA から送られてきた、商品情報やロケーション情報 などをもとに、オントロジーなどを利用して「サービス制御処理」（詳細を後に述べる）を起動する。処理内容として、必要なサービスの連携を行ったり、必要である場合は、商品調達の処理を行う。

起動された「サービス制御処理」からの結果を SA に通知する。SA の形式により結果が SA を経由する場合と経由しない場合がある。

UA は、ユーザが要求する結果を受け、ユーザに伝える。ユーザが結果へのアクセスを行いやすいように支援する。

(3) BA によるサービス制御処理

本提案で用いる 3 つのエージェントのうち UA と SA が受動的なエージェントであり、BA が能動的なエージェントとなる。すなわち、本システムにおいて、能動的に動作する BA の処理結果によって、システム全体の有効性というものが決定する。このところ、BA のメイン処理であるサービスを検索して連携する「サービスの制御」について述べる。

BA がユーザからのサービス要求に応答するまでの制御システムを図 7 を用いて説明する。まず、ユーザのサービス要求に対して、BA がサービス要求に対応するサービスの検索を行う。次にそのサービスの検索結果をもとに目標とするサービス連携を行う。この場合、詳細なサービス要求にも対応できるように、サービスの連携結果をフィードバックして、目標のサービス要求に近づける制御を行うことで、ユーザの細かいニーズに対応することが出来る。

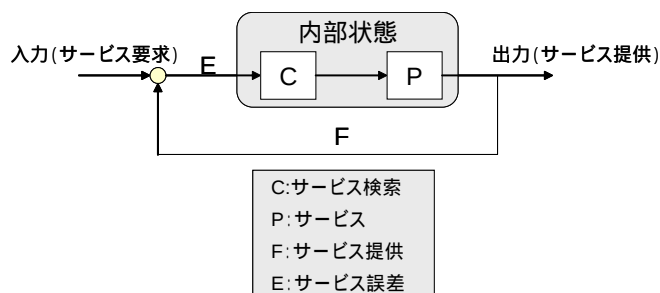


図 7 サービス制御

フィードバック制御では、入力と出力のサービス誤差を抑えるために、オントロジーを用いることで、出来るだけ入力に近い出力を導き出すようにしている。

4.2 システム構築方法

(1) システム構築の流れ

4.1 で述べたシステム構成を実際に本方式に従ってエージェントとタスクの統合によるシステムの構築手順を図 8 に示す。

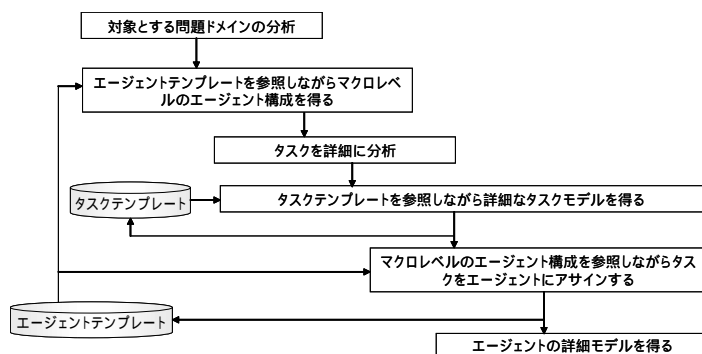


図 8 システム構築手順

図 8 より、今回は「遠隔商品管理システム」に必要な問題を解決する機能として、通信機能や意思決定・判断機能や基本エージェント機能などがある。これらの機能をさらに、アプリケーションレベルに依存しないタスクレベルの粒度まで小さくするためのタスク処理の分析を行う。分析結果から、タスクテンプレートの DB を参照しながらタスクモデルの作成を行い、エージェントモデルへ適用する。以上の処理を繰り返してモデル作成を行う。また、分析結果から必要なエージェント機能やタスク機能が発生した場合には、その都度テンプレートの作成を行い各 DB に保存し、テンプレートの情報を蓄える。

(2) テンプレートの検索と構築

図 8 に示すエージェントテンプレートとタスクテンプレートの中身の詳細としては、図 9 に示す階層構造となっている。

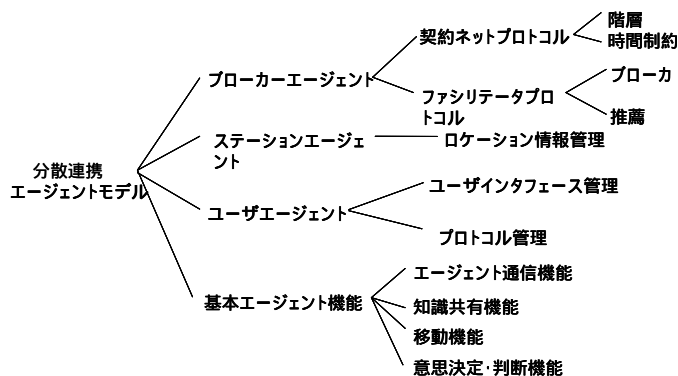


図 9 エージェントモデルの階層

図9のように、分散連携型の枠組みを適用したエージェントモデルを階層ごとにテンプレートとして管理することで、再利用性や柔軟性を高める。このようにファクタリングすることで、エージェントの振る舞いの拡張を試みることができる。エージェントのテンプレートを適用することで、1からエージェントを設計し直すのではなく、すでに作成したテンプレート(プログラム)の変更を極力抑えながら機能を追加していくことができる。

図10にテンプレート適用のフローチャートを示し、テンプレートの利用方法を述べる。このとき、図10の矢印を処理の流れとし、点線矢印を情報の流れとする。

テンプレート適用の流れ：

解決すべき設計上の問題を把握する

「目的」をスキャンし、候補となるパターンを拾い出し、テンプレートDBを検索して再利用できるテンプレートをを用いる。

テンプレート候補のパターンの「動機」と「適用可能性」を読み、使うべきか決める。

「階層構造」が示すクラス構造を自分の設計に当てはめ、その効果を「結果」と見比べて、選んだパターンが正しいかどうか見極める。

選んだパターンを設計に適用し、各フレームワークレベルで組み合わせる。組み合わせパターンの「絶対パス」をログとしてファイルに保存する。

「関連するパターン」や「デザインパターン間の関連」から、次に適用すべきパターンの候補を拾い出し、に戻る。

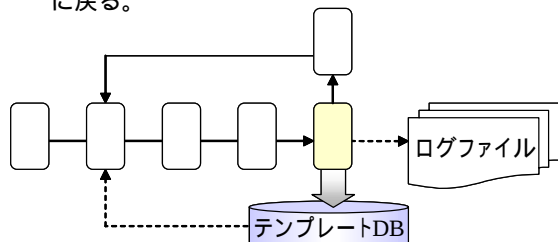


図10 テンプレートの適用

4.3 遠隔商品管理システムの評価構想

本研究の評価構想として、分散連携エージェントモデルの評価と本構築方を採用した遠隔商品管理システムの評価を行う。

(1) 分散連携エージェントモデルの評価構想

1つの応用例(今回は遠隔商品管理システムに対して適用する)について、本方式を採用する前と後の構築結果を比較し、本方式採用後のテンプレートの再利用率を調べ、有効性を確認する。具体的には、図6のエージェント間プロトコルの処理をシミュレーションすることで、最低限の動作を確認することができるので、それぞれのエージェントを始めからプログラムを記述する。このとき、本方式を採用する時のために、エージェントレベルとタスクレベルでのテンプレートの蓄積を行う。

次の段階として、本方式を採用した場合を考える。実際には、4.2で述べた構築法を採用し、図10に示す手順を踏まえてシステムを構築する。このとき、再利用率を調べ

るために、図10のステップの部分でテンプレート数をカウントして、全体の何割再利用したのかを確認することで評価を行う。

(2) 遠隔商品管理システムの評価構想

今回、車両の部品を商品と見立てて、様々な商品パラメータを用意して、本提案より構築した「遠隔商品管理システム」の動作を確認することで、評価を行う。

今回の構築方法は、提案したエージェント方式を適用・評価するまでに至らなかったが、今後、提案方式での実装を行い、処理性能、構築容易性、変更に対する柔軟性等の評価を実施していく予定である。

5. まとめと今後の課題

マルチエージェントによってユビキタス環境に対応した動的なサービスを実現するシステム基盤について提案した。システム構築の方式として、ボトムアップ的な分散連携型エージェント方式を適用し、そのエージェント構成、協調プロトコル、エージェントテンプレートの利用等について提案した。方式の評価は今後、車両診断システムとして、遠隔商品管理システムのプロトタイプの構築を行っていく予定である。また、実際の商品管理への本エージェント方式の応用を考える場合今回の実験的なモデルよりもはるかに複雑な状況の扱いが必要であると考えられる。エージェントシステムの実用化に向けそれらを想定した実験を積み重ねていく必要があると考える。

課題として、4.1章の(3)で述べた「サービス制御処理」において、最適性の意味合いやサービス制御プロセスを明確にしていける必要がある。さらに、現在の評価方法では、まだ本研究全体を評価するには不十分なので、新しい評価尺度を構想する必要があると考える。

参考文献

- [1]小倉弘敬, 村上佐枝子, 佐藤宏之, 小島富彦, 清水昇, 細見 格, “セマンティック Web の応用システム,” 情報処会誌 43 巻 7 号, pp.743-750, 2004.
- [2]T. Ishida et al., Digital City Kyoto, “Towards a social information infrastructure,” In Proc. CIA-99, LNAI 1652, (Springer, 1999).
- [3]西田豊明 編 エージェントと創るインタラクティブネットワーク、倍風館 2003.
- [4]FIPA(Foundation for Intelligent Physical gents): <http://www.fipa.org/>.
- [5]澤本 潤, 辻 秀一, 小泉寿男, “協調問題解決型マルチエージェントシステム構築基盤とその評価,” 情報処理学会研究報告 GN/EIP 研究会, GN-50-4, pp.23-29, January, 2004.
- [6]澤本 潤, 樋口 博, 岩橋 努, 臼井 澄夫, 辻 秀一, 小泉 寿男, 位置情報サービス(Location Based Services, LBS)向けマルチエージェントシステム構築基盤の提案、マルチメディア、分散、協調とモバイル(DICOM2004)シンポジウム, pp.41-44, 2004.