

## マルチオーバーレイと分散エージェントの機構を統合化した P2P プラットフォーム PIAX

吉田 幹\* 寺西 裕一† 春本 要‡ 下條 真司†

\*株式会社ビービーアール

†大阪大学サイバーメディアセンター ‡大阪大学大学院工学研究科

### 概要

ユビキタス環境におけるアプリケーションでは、ユーザの位置を同定した上で、物理的、意味的に近傍に位置するオブジェクトを探索し、発見された情報やサービスを相互に連携させて高度なサービスを実現する仕組みが必要となる。本研究では、分散環境上に散在する情報やサービスを連携させるシステムの1つの実現形態として、P2P エージェントプラットフォーム PIAX を提案する。PIAX では、能動的に動作するエージェントに、オーバーレイネットワークの持つ強力な資源探索機能を融合させることで、ユビキタス環境におけるユーザの位置や、情報間の関係に基づくサービスの発見と連携をスケーラブルに実現する。また、エージェントによる複数のサービス主体が相互に発見・連携するための簡便な API を提供し、高い開発効率でアプリケーション構築を可能としている。本稿では、PIAX の設計と現状、ならびに今後の課題等について述べる。

## PIAX: A P2P Platform for Integration of Multi-Overlay and Distributed Agent Mechanisms

Mikio Yoshida\*, Yuuichi Teranishi†, Kaname Harumoto‡ and Shinji Shimojo†

\*BBR Inc.

†Cyber Media Center, Osaka University

‡Graduate School of Engineering, Osaka University

### Abstract

In the ubiquitous environment, applications must identify the user's current location, discover objects which are located near the users both physically and semantically, and combine the discovered objects to realize highly intelligent services. In this study, we propose a new P2P-based agent platform called 'PIAX', to realize such services. PIAX achieves scalable discovery and automatic cooperation of distributed services by the combination of active agents and resource discovery function of the overlay network. Moreover, PIAX provides simple and strong discovery-messaging API for efficient development of applications. In this paper, the basic design of PIAX, its current status and facing problems to be solved are described.

### 1 はじめに

ユビキタスネットワークは、携帯端末やウェアラブルコンピュータのような小型のアプライアンス、センサや CCD のように環境中に埋め込まれた小型デバイス、家電機器や自動車といった生活に密着した装置など、多種多様なデバイスを結合することにより、大規模な分散システムへと発展していく過程にあるといえる。このような環境において、アプリケーションは、大規模なネットワーク上に無数に存在するデータやサービスの中から適切なものを選び出すと同時に、ユーザの置かれた状況やプロファイルにマッチした親和性の高いサービスをユーザ

に提供しなければならない。このように、3C (Computing, Contents, Connectivity) everywhere の面でネットワークが進化すればするほど、ユビキタス環境における、プロセッサ、コンテンツ等のオブジェクトの密度と多様性が高まり、アプリケーションに求められる要求はさらに高度化していくと考えられる。

上記要求を満たすには、多様なオブジェクトを統一的に表現可能とするとともに、広域に分散する大量のオブジェクトの中から瞬時に必要なものを探索し、サービスとして利用できる技術を確立する必要がある。

本研究では、上記要求を満たすシステムの1つの

実現形態として、エージェントベースの P2P プラットフォーム PIAX (P2P Interactive Agent eXtensions) を提案する。PIAX は、オーバーレイネットワークと分散エージェント機構を統合したプラットフォームであり、ネットワーク上に散在する複数のアプリケーションに対して、統一的なオブジェクト表現とスケラブルなオブジェクト探索機能を提供する。さらに、PIAX は、エージェントに強力な資源探索機能を融合させることで、ユビキタスネットワークを高度に統合化された大規模分散システムとして機能させることが可能となる。

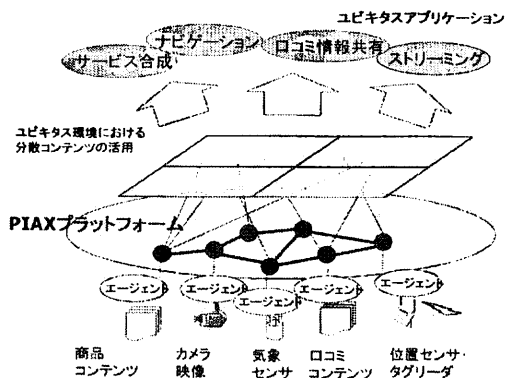


図 1: ユビキタスサービスの実現イメージ

図 1 は PIAX がユビキタスアプリケーションの共通プラットフォームとして機能するイメージを示している。図に示す通り、PIAX は、ユビキタス環境に分散して存在する多様なコンテンツを、様々なアプリケーションから効率的に利用可能とする共通プラットフォームの提供を目指している。

以降の章では、ユビキタス環境におけるプラットフォームに対する要件、PIAX の設計とアーキテクチャ、アプリケーション事例、今後の課題について述べる。

## 2 ユビキタス環境における P2P サービス

### 2.1 近傍性、近接性と相互作用

ユビキタスサービスでは、人々の挙動パターンを状況 (コンテキスト) にあわせて学習し、その結果を利用してサポートを行うことが要求される。このようなサービスを実現する場合、人やモノの位置を知ることが不可欠である。

位置情報には、地理的な扱いと記号的な扱いの 2 つがある。

ユビキタスサービスの典型的な手続きは、サービス対象となるユーザの位置を同定した上で、近傍に位置するオブジェクトと、仮想空間上に蓄積された関連性のあるオブジェクトの両者を探索するとこ

ろからはじまる。探索するオブジェクトについて、前者においては物理空間における近傍性、後者においては意味空間における近接性が存在する。前者において、地理的な位置情報の扱いが重要となり、後者において、記号的な位置情報の扱いが重要となる。

近傍性と近接性を持つオブジェクトを探索した後の次の手続きは、これらのオブジェクトを使って、ユーザに適切なサービスを提供することにある。ここで注意すべきことは、探索したオブジェクトが必ずしも受動的な情報に限らない点である。例として、センサのように能動的に振舞うオブジェクトや、サービスを提供するオブジェクトがある。サービスの実現において、単一のサービス主体が探索した情報を処理するだけでは弱く、複数のサービス主体と能動的オブジェクトが相互に連携しあうことでサービスを実現する枠組みが必要となる。

以上を定性的にまとめると、「ユビキタスサービスは、ユーザ (群) とその近傍、近接にあるオブジェクト間における相互作用により実現される」と捉えることができる。

### 2.2 ユビキタス P2P サービス

ユビキタスサービスの実現において、センサや知識、サービス等のオブジェクトの表現、オブジェクトの発見、発見した知識やサービスを合成するための競合・制約等の解消やプランニングなどの機構、さらには、センサやネットワークの自動組織化など、幅広い AI 関連の技術が必要となる。

セマンティック Web は、センサや知識、サービス等のオブジェクトを統一的に表現する手段と、広域に分散する意味情報を統合的に扱うためのフレームワークを提供している。ユビキタスサービスを現実のものとするためには、共通のフレームワークを設定することが必要であるが、セマンティック Web はユビキタスコンピューティングの共通フレームワークとして中心的な役割を果たすものと考えられる<sup>\*</sup>。

ユビキタスサービスのための共通基盤 (プラットフォーム) を実現する上で、P2P ネットワークは重要な技術として位置づけられる。セマンティック Web に視点を置くと、Web サービスの利点を取り入れ、セマンティック Web サービスへと進化してきている。他方、P2P システムは、DHT 技術により Structured P2P (第 3 世代) へと進化した後、P2PKM (Peer-to-Peer Knowledge Management) [2] に象徴されるよう、セマンティックを指向した方向性が見えてきている。

上記の考察から、図 2 に示す、セマンティック Web と P2P システムの 2 つの技術の進化融合形が見えてくる。本論文ではこのユビキタスサービスに最適と考えられるシステム形態をユビキタス P2P

\* セマンティック Web の体系をユビキタスコンピューティングに活用したエージェントシステムの例として、CONSORTS [1] などがある。

サービスと呼ぶことにする。

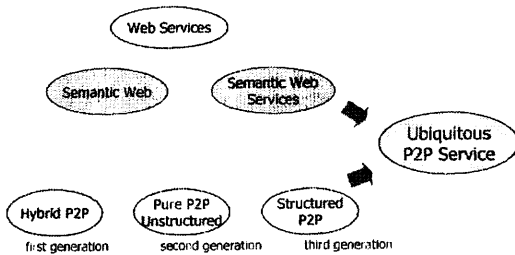


図 2: ユビキタス P2P サービスの位置づけ

### 3 P2P エージェントプラットフォーム PIAX

#### 3.1 P2P エージェント

我々は、PIAX が前節で示したユビキタス P2P サービスのモデルの 1 つの実現形となることを想定し、エージェントベースの P2P プラットフォーム PIAX の研究開発を進めている。

PIAX の特徴は、P2P オーバレイネットワークの層の上位にエージェントの層を置き、アプリケーション開発をオーバレイネットワークにより機能強化した分散エージェントの枠組みで行えるよう API 機能を提供している点にある。

アプリケーションから見ると、PIAX におけるエージェントは、P2P ネットワーク上に分散する相互連携性と自律性を持ったオブジェクトとして捉えることができる。P2P タイプのアプリケーションは、P2P ネットワークを介して相互連携することで 1 つのまとまった機能を実現するが、これと同様のことをエージェントの粒度で実現している。

本論文では、このようなエージェントを P2P エージェントと呼ぶことにする。

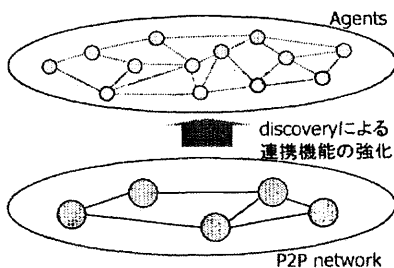


図 3: P2P エージェントの概念

図 3 に P2P エージェントの概念を示す。P2P エージェントは、オーバレイネットワークの持つ強力な資源探索機能を利用することで、ユビキタスネットワークに求められる "what to find" をスケールアップに実現することができる。P2P エージェントにより、サービス主体と能動的オブジェクトを含め

たオブジェクトを表現し、P2P エージェント間の相互連携により、オブジェクト間の相互作用を実現する。近傍オブジェクトの探索については、5 章で述べる地理的資源探索のためのオーバレイネットワークである LL-Net [3] がその役割を果たし、近接性を持ったオブジェクトの探索については、セマンティック Web を支援するエージェントがその役割を果たす。

PIAX は、P2P エージェントを稼働させるためのプラットフォームである。本論文では、P2P エージェントプラットフォームという表現を用いる。

#### 3.2 P2P エージェントのモビリティ

P2P エージェントのベースは弱モビリティ [4] を持ったモバイルエージェントで、Aglets [5] をベースにしている。

P2P エージェントにモビリティが備わることにより、以下の優位性がもたらされる。

- 帯域の効率的利用  
通信頻度の高い相手の近傍にエージェントを移動させることで、帯域効率の良い通信が行える。
- 負荷の平準化  
負荷の高いエージェントを複製し、他のピアに移動させることで負荷の平準化が図れる。
- 持続性を持ったサービスの実現  
ネットワークから離脱するピアのエージェントを安定したピアへ退避させることや、エージェントの複製を他のピアに持たせるにより、サービスの持続性が図れる。
- P2P ネットワークの不定状態に対する対応  
頻繁なピアの参加、離脱、停止によりもたらされるネットワークの不定状態に起因したサービスダメージを、エージェントの複製と移動により抑えることができる。

#### 3.3 セキュリティ、プライバシー保護

P2P システムとモバイルエージェントに共通する技術上の課題として、セキュリティとプライバシー保護の問題がある。加えて、ユビキタスサービスにおける安全性の確保は重要な要素である。

PIAX では、最低限の安全性確保のために、ピアと P2P エージェントにおける PKI ベースの認証機構を実現している。本機構の実現の詳細については本稿の範疇外とする。

### 4 PIAX のアーキテクチャ

PIAX は図 4 に示すよう階層的なアーキテクチャを持つ。下位の階層は上位の階層に機能的に独立していることと、階層間の API が決まっていることにより、高いモジュール性と拡張性を実現している。各階層において実現される機能を次に記す。

### (1) RPC / Streaming Wrapper

最下位の層では socket により物理ネットワークの通信機能を実現している。RPC / Streaming Wrapper は上位層に対し下位層の通信インタフェースを隠蔽し、代わりに RPC とストリーミングの 2 種類の通信インタフェースを提供する。NAT 越えの機能もこの層により実現される。

### (2) P2P Overlay

5 章で述べるマルチオーバーレイを実現する。プラグインの機構により、複数のオーバーレイネットワークを管理する。上位層に対しては、用途に応じてオーバーレイネットワークを切り替えることにより必要な機能を提供する。現在、DHT, LL-Net, ヒューマンネットの 3 種類のオーバーレイネットワークが実現されている。

### (3) Agents Home

P2P エージェントを稼働させるための機能を持つ。ピアにおいては、共通に使用される P2P エージェントをライブラリとして揃えることで機能拡充ができる。現在、近接性処理(統計ベース)とセマンティック Web のサポートを中心に機能拡充をしている。状況適合型のページアンフィルタ、RDF のリポジトリ、演繹エンジン等の機能を持つエージェントが用意されている。

### (4) Web Service

外部システムに対して、ピアまたは P2P エージェントの機能を Web サービスのインタフェースを介して提供する。

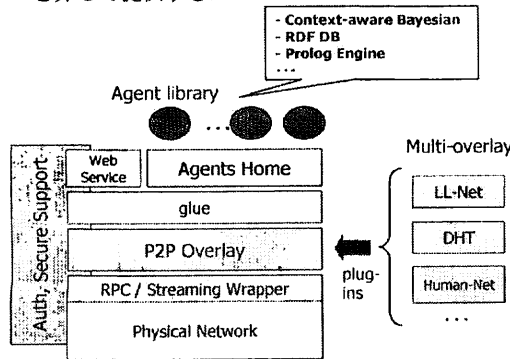


図 4: PIAX 階層構成

階層をまたがるモジュールに Auth, Secure Support がある。このモジュールでピアおよび P2P エージェントの認証のための機能を提供している。

## 5 マルチオーバーレイ

### 5.1 マルチオーバーレイの機能

本論文では、P2P システムにおいて複数のオーバーレイネットワークをサポートすることをマルチオーバーレイと呼ぶことにする。

PIAX は、ユビキタスサービスのための共通的な

プラットフォームとして機能する必要があるが、単一のオーバーレイネットワークをサポートするだけでは、多様なアプリケーションの要求に応えることができない。このため、想定されるクエリパターンに分だけオーバーレイネットワークを用意し、アプリケーションからの要求に従い、適切な機能を切り替えて提供することが必要となる。

オーバーレイネットワークに求められる資源探索のクエリパターンとして、以下が想定される。

- 完全または部分一致探索  
指定されたキーワードに完全に、または部分的に一致する属性を持つ資源を探索する。
- 範囲探索 (1次元またはN次元)  
指定された範囲に含まれる属性を持つ資源を探索する。地理的領域指定の探索はこれに相当する。
- 連想探索  
リンクをたどって得られる資源を対象に含めて、完全(部分)一致探索または範囲探索を行う。口コミ情報を対象とした探索はこれに相当する。
- 意味探索  
指定された表現と同じ意味表現を持つ資源を探索する。RDF などのメタデータの探索はこれに相当する。

連想探索を除き、以上述べたクエリパターンは、structured なオーバーレイネットワークを使って処理できる。structured なオーバーレイネットワークには、DHT ベースのものとはそれ以外がある。それ以外に分類されるオーバーレイネットワークに LL-Net と Skip Graph [6] がある。LL-Net は地理的資源探索、Skip Graph は完全一致探索と範囲探索に向く。

部分一致探索と意味探索については、オーバーレイネットワークの持つ基本機能だけでは実現できないため、上位に専用の機構を付与する。文献[7], pSearch[8] は DHT をベースにしたそれぞれの実現例である。

連想探索については、ピア同士のリンク関係を元に形成されるオーバーレイネットワークを用いる。口コミ情報を用いる場合は、人の関係に基づくネットワーク(ヒューマンネット)を使う。

ここでは、単一のクエリパターンについて述べたが、一般的には複数のクエリパターンを組み合わせた複合的なクエリパターンについてサポートする必要がある。このためには、該当するオーバーレイネットワークの探索をうまくインターリーブさせる高度な仕組みが必要となる。

### 5.2 代表的なオーバーレイネットワーク

現在 PIAX でサポートされている代表的なオーバーレイネットワークについて記す。

## (1) DHT

ネットワーク上に分散するハッシュ表をサポートする。

## (2) LL-Net

指定された地理的領域に含まれる資源をスケラブルに探索する機能を持つ。ピアには経度、緯度の位置座標を設定する必要がある。ユビキタスサービスの実現において重要となる近傍オブジェクトの探索に使用される。

## (3) ヒューマンネット

人の関係を単方向グラフで表現したリンク構造を元に形成されるオーバーレイネットワークである。リンクには、複数の属性とそれに対する重み(信頼度)を持たせる。最大返答数、最大ホップ数、属性、信頼度の範囲を指定したクエリが使用できる。

# 6 P2P エージェント API

## 6.1 状態遷移

リスト 1 に P2P エージェントの状態遷移に関するメソッド定義を記す。1.から順に、P2P エージェントの生成、消滅、複製、永続化、永続化からの復帰、他のピアへの移動を行う。P2P エージェント生成の際に指定する引数 kind は、P2P エージェントの種別を指定するもので、同報型メッセージで対象となる P2P エージェントを特定するために用いられる。PIAXProxy は P2P エージェントのプロキシとして機能するインスタンスを定義するクラスである。P2P エージェントは、永続化または移動により実体がピア上に存在しないことがある。このため、P2P エージェントに対する操作はプロキシを介して行われる。いずれのメソッド定義も Aglets のモデルに準拠している。

リスト 1

1. `PIAXProxy createAgent(String clazz, String kind, String name)`
2. `void disposeAgent()`
3. `PIAXProxy cloneAgent()`
4. `void deactivateAgent(int duration)`
5. `void activateAgent()`
6. `void dispatchAgent(String peerId)`

## 6.2 同期型、非同期型メソッド呼び出し

リスト 2 には、P2P エージェントに対するリモートを含めたメソッド呼び出しのためのメソッド定義を記す。7., 9.はローカルピアにおけるメソッド呼び出しで、8., 10.はリモートメソッド呼び出しになる。メソッド呼び出しには同期型と非同期型がある。非同期型を使うと、戻り値を待たずに次の処理を行うことができる。戻り値を非同期的に取り出すためのクラスとして、FutureReturn クラスが用意されている。

リスト 2

7. `Object call(PIAXProxy proxy, String method, Object[] args)`
8. `Object call(String peerId, String agentId, String method, Object[] args)`
9. `FutureReturn callAsync(PIAXProxy proxy, String method, Object[] args)`
10. `FutureReturn callAsync(String peerId, String agentId, String method, Object[] args)`

## 6.3 同報型、発見型メソッド呼び出し

リスト 3 には、指定した kind を持つエージェントに同報されるメソッド呼び出しのためのメソッド定義を記す。11.から順に、ローカルピア内の同報、リモートピア内の同報、そして、ある条件にマッチするすべてのピアを対象にした同報を実行する。複数の戻り値を非同期的に取り出すためのクラスとして、ReturnSet クラスが用意されている。

最後の条件マッチングを前提とした同報型メソッド呼び出しを特に発見型メソッド呼び出しと呼ぶ。条件マッチングの指定部分はマルチオーバーレイに対応している。例えば、LL-Net の機能を使う場合、条件部分に地理的領域を与えることで、その領域に属するピアを対象にメソッド呼び出しが同報される。このタイプのメソッド呼び出しを使うことで、P2P エージェントは、広域ネットワークの中から条件に合致する P2P エージェントを探し出すと同時にメソッド呼び出しをかけることができる。

リスト 3

11. `ReturnSet callMulti(String kind, String method, Object[] args)`
12. `ReturnSet callMulti(String peerId, String kind, String method, Object[] args)`
13. `ReturnSet callMulti(MatchingSpec mspec, String kind, String method, Object[] args)`

# 7 アプリケーションの事例

PIAX の代表的なアプリケーションに状況適合型のコンテンツ推薦システムがある。昨年、我々のグループが属する UAA プロジェクト[9] で、ショッピングモールを対象としたコンテンツ推薦システムを開発し、2006/2/4 ~ 3/5 の1ヶ月間にわたる実証実験をのべ 2000 人のユーザを対象に実施した[10]。この実験を通し、PIAX の持つ性能と可用性、安定性について有用な評価を得た。

また、我々のグループでは、PIAX の地理的領域に含まれる情報探索機能の活用例として、地図上の口コミ情報共有アプリケーション MapWiki [11]

の P2P に基づく実装を進めている。

## 8 今後の課題

現在、PIAX の開発は基本機能のブラッシュアップを進めている段階にある。PIAX における今後の課題として次の事項が挙げられる。

### 8.1 範囲探索機構の改良

LL-Net が提供する範囲探索では、ピアに割り当てられた物理位置しか対象にできない。このため、仮想的な位置を持つ資源を探索する上で支障が生じる。MapWiki はこの支障を生じる例となっている。また、6.3 節で述べた ReturnSet を使った返り値集約にも性能上の問題点が見つかっている。

### 8.2 近接オブジェクト発見のための機能強化

近接するオブジェクトを発見するためのアプローチとして、記述されたルールを使ってオブジェクト間の関係を見つける方法と、統計的手法により見つける方法の 2 つがある。分散演繹[12] とページアンネットワークはそれぞれに対応する技術であるが、研究途上である等の理由により、PIAX に取り込まれていない。

### 8.3 P2P エージェントにおける移動透過性と複製透過性の実現

P2P エージェントの移動透過性と複製透過性の実現のためには、複製された一群の P2P エージェントを論理的に単一の P2P エージェントとして扱えるようにすることが必要である。この機構を PIAX で用意することにより、利用する側で P2P エージェントの存在位置や複製履歴を意識する必要がなくなり、P2P エージェントの持つ耐性も著しく向上する。

### 8.4 セキュリティ、プライバシー保護の強化

PIAX の持つセキュリティ機能としては、ピアと P2P エージェントに対する PKI ベースの認証機能を用意したところである。P2P ネットワークにおけるセキュリティの研究知見をシステムに反映し、実証を通して検証していくことが重要であると考えている。併せて、プライバシー保護の機構も設ける必要がある。

## 9 まとめ

本稿では、ユビキタス環境におけるアプリケーションプラットフォームの要件、その要件に基づいた PIAX の設計、アーキテクチャ、および、アプリケーション事例、今後の課題について述べた。

PIAX は、JDK 5 以上の JVM 環境で動作するプログラムとして開発を進めている。共通プラットフォームとして広く使用されることを目的に 2006 年中にオープンソースとして公開する予定である。オ

ープンソースとして広く利用可能とすることで得られる知見を元に、さらなる改良・高度化を進めたい。

## 謝辞

本研究の一部は、総務省委託研究「ユビキタスネットワーク技術の研究開発」の助成によるものである。研究開発にあたり、貴重な助言をいただいた UAA プロジェクトのメンバーに深謝する。

## 参考文献

- [1] 幸島昭男, 和泉憲明, 車谷浩一, 中島秀之, “ユビキタス計算環境におけるコンテンツ流通のためのマルチエージェント: CONSORTS,” 人工知能学会論文誌, 19(4):322-333, 2004.
- [2] “International Workshop on Peer-to-Peer Knowledge Management (P2PKM).” available at <http://www.p2pkm.org/>.
- [3] 金子雄, 春本要, 福村真哉, 下條真司, 西尾章治郎, “ユビキタス環境における端末の位置情報に基づく P2P ネットワーク,” 情報処理学会論文誌: データベース, vol. 46, pp. 1-15, Dec. 2005.
- [4] A. Fuggetta, G. P. Picco and G. Vigna, “Understanding Code Mobility”, IEEE Trans. of Software Engineering, vol.24, No.5, pp.342-361, 1998.
- [5] “Aglets Software Development Kit.” available at <http://www.trl.ibm.com/aglets/>.
- [6] J. Aspnes and G. Shah, “Skip Graphs,” In Proceedings of the 14th Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms, Jan. 2003.
- [7] M. Harren, Joseph M. Hellerstein, R. Huebsch, B. T. Loo, S. Shenker and I. Stoica, “Complex Queries in DHT-based Peer-to-Peer Networks,” Proc. 1st International Workshop on Peer-to-Peer Systems (IPTPS'02), Mar, 2002.
- [8] C. Tang, Z. Xu and M. Mahalingam, “pSearch: Information Retrieval in Structured Overlays,” ACM HotNets-I, October, 2002.
- [9] “UAA Project.” available at <http://www.uaa-project.org/>
- [10] 石芳正, 新井イスマイル, 寺西裕一, 春本要, 下條真司, 武本充治, 須永宏, 田中絵里香, 西木健哉, “ユビキタス環境における P2P エージェントプラットフォームを用いた情報推薦機構の提案と実装,” 第 127 回マルチメディア通信と分散処理研究会 (2006.6).
- [11] Yuuichi Teranishi, Junzo Kamahara, Shinji Shimojo, “MapWiki: A Map-based Content Sharing System for Distributed Location-dependent Information,” Academy Publisher, JOURNAL OF COMPUTERS, Vol. 1, Issue 3, pp.13-19, 2006.
- [12] 大谷隆三, 竹内亨, 吉田幹, 寺西裕一, 春本要, 下條真司, “状況依存型サービスのための分散演繹機構の提案,” 第 126 回マルチメディア通信と分散処理研究会 (2006.3).