

# Jupiter: ユビキタス通信に向けた Peer-to-Peer ネットワーキングプラットフォーム

加藤 剛志<sup>†</sup> 石川 憲洋<sup>†</sup> 角野 宏光<sup>†</sup> ヨハン ジェレム<sup>††</sup> 宮津 和弘<sup>†††</sup> 村上 慎吾<sup>†††</sup>

近年、インターネットでは様々な P2P サービスが注目を集めている。P2P はその特性として、リソース発見・共有、負荷分散のメカニズムを有し、高い拡張性を持つ効率的な分散アプリケーションを実現する可能性を持っている。さらに P2P は、探索メカニズム、デバイス間の単純な一対一通信、拡張性の高いリソースの配信、膨大なリソースを扱うための分散検索などの仕組みを持ち、多数のセンサーデバイスやモバイル端末、情報家電など、様々な通信対象が至る所に存在する、ユビキタス通信環境におけるネットワークに適した技術の一つであるといえる。本稿では、様々なデバイスによる様々なネットワークを介した相互通信を実現するユビキタス P2P ネットワーキングの検討について述べ、アーキテクチャとプロトコルの提案をする。さらに、P2P ネットワーキングプラットフォーム "Jupiter" のプロトタイプ及び API の実装について紹介する。

## Jupiter: Peer-to-Peer Networking Platform toward Ubiquitous Communications

Takeshi Kato<sup>†</sup>, Norihiro Ishikawa<sup>†</sup>, Hiromitsu Sumino<sup>†</sup>, Johan Hjelm<sup>††</sup>, Kazuhiro Miyatsu<sup>†††</sup>, Singo Murakami<sup>†††</sup>

The peer-to-peer service has entered the public limelight over the last few years. Peer-to-peer has the potential to realize highly scalable, extensible, and efficient distributed applications, because its basic functions realize resource discovery, resource sharing, and load balancing in a highly distributed manner. Peer-to-peer is one of the most important and suitable technologies for ubiquitous network where many sensors, persons and different kinds of objects exist, move, and communicate with one another, since it supports discovery mechanisms, simple one-to-one communication between devices, free and extensible distribution of resources, and distributed search to handle the enormous number of resources. In this paper, we provide a consideration about a ubiquitous peer-to-peer network architecture that will allow various devices to communicate with one another across various networks and propose architecture and protocols for realizing peer-to-peer networking. Additionally, we introduce a prototype and APIs of a peer-to-peer networking platform software called "Jupiter".

### 1. はじめに

近年、P2P ネットワーク技術が注目を集めており、グループウェア[1]や分散検索システム[2]など、様々な P2P アプリケーションが開発され、また、JXTA[3]のような汎用的な P2P プラットフォームなどの研究も行われている。インターネットの急速な発展に伴い、多くのリソースがネットワーク上に存在するようになり、そのような環境では、従来の Server/Client モデルでのリソース管理が困難であることから、P2P ネットワークを用いた新しい形のアプリケーションが注目を集め、盛んに研究、開発が行われている。

一方、i モードをはじめとする携帯電話によるネットワークサービスや、無線 LAN や Bluetooth などの、モバイル向けネットワークインフラも急速に普及が進んでおり、携帯電話や PDA などを用いたモバイル向け P2P サービスの実現に対する需要も高まっている。さらには、プロセッサや無線通信技術の進歩により、従来の PC やサーバ、ワークステーションに加えて、情報家電によるホームネットワークや自動車テレマティクスなど、様々なデバイスが通信機能

を搭載し、ネットワーク化され始めている。さらには、近い将来、多くのセンサーやプロセッサが様々なものに埋め込まれ互いに通信を行う、ユビキタス通信環境が実現されていくと考えられる。P2P は、デバイス間の単純な一対一通信から、探索メカニズム、拡張性の高いリソースの配信、膨大なリソースを処理するための分散検索まで、分散コンピューティング環境に適した様々な仕組みを有していることから、ユビキタスアプリケーションに適した技術の一つであると考えられる。このように、P2P ネットワークは、膨大なネットワークリソースを抱えるインターネットと、動的な分散コンピューティング環境であるユビキタス通信環境の双方に適した技術であると言える。さらに、アプリケーションレイヤーネットワーク (ALN) として、インターネット、アドホックネットワーク、ホームネットワーク、センサーネットワーク等、ヘテロジニアスなネットワーク環境を横断的にリンクし、様々なデバイス間のシームレスな通信を実現できると考えている。

我々の研究の目的は、分散されたネットワークリソースの効率的な利用と、その移動性の支援を行うユビキタス P2P アーキテクチャを提案し、ユビキタスネットワーク化されたデバイスの通信機能を有効活用することにある。さらに、その提案に基づき P2P ネットワーキングプラットフォームミドルウェアを実装し、ユビキタスアプリケーションに最適な通信インターフェイスを提供する。

<sup>†</sup> 株式会社 NTT ドコモ マルチメディア研究所  
NTT DoCoMo, Inc. Multimedia Laboratories

<sup>††</sup> エリクソン・リサーチ  
Ericsson Research

<sup>†††</sup> エリクソン・リサーチ・ジャパン  
Ericsson Research Japan

本稿では、2章においてP2Pアーキテクチャについて提案し、3章ではプロトコル設計について述べ、4章においてプロトタイプソフトウェアを紹介する。5章で、関連研究について言及し、6章で考察及び今後の課題について簡潔に述べる。7章でまとめを行う。

## 2. P2Pアーキテクチャ

### 2.1. 要求条件

提案するP2Pアーキテクチャを検討するにあたり、以下の項目を要求条件として考えた。

**ユビキタスネットワークへの対応**：ユビキタスネットワークは多様な異種ネットワークを統合できなければならない。そのようなネットワーク環境は、インターネットをはじめとするIPネットワークや、非IPネットワークであるセンサーネットワーク、ホームネットワークなど、様々なネットワークから構成される。提案するP2Pアーキテクチャは、多様なネットワークを介して接続される、様々なデバイス間において、効率的なルーティング、柔軟なネットワーク構成を実現しなければならない。また、その方式はインターネットなど特定のネットワークに依存してはならない。

**マルチキャスト通信**：グループウェアや多数のデバイスを用いたセンシングアプリケーションなどでは、多くの場合、複数ノード間のグループ通信を利用する。提案するP2Pアーキテクチャは、効率的なグループ間通信をサポートする必要がある。

**スケーラビリティ**：ユビキタス通信環境では、膨大な数のデバイスがネットワークを形成するため、スケーラビリティが不可欠である。効率的な探索メカニズムや、メッセージルーティングが必要となる。

**耐障害性**：P2Pネットワークを構成するノードがダウンしたとき、それを動的に検知し、回復しなければならない。

**モビリティ**：P2Pノードは、頻繁にネットワークに参加、離脱した、移動したりする。P2Pネットワークは、動的なトポロジーの変化と、ノードの移動性を支援しなければならない。

**自律制御**：P2Pネットワークでは、各P2Pノードは自律的に動作しなければならない。例えば下記のような自律制御機構が必要となる。

- ・ P2Pネットワーク参加時のFirst Peerの発見
- ・ ネットワーク分断の回復
- ・ ネットワークトポロジー最適化

**セキュリティ**：セキュリティはP2Pネットワークとアプリケーションにとって、非常に重要な問題である。要求されるセキュリティ機能としては、P2Pノード間の相互認証、メッセージの改ざん防止と暗号化、アクセスコントロールなどが考えられる。匿名性などのプライバシー機能についても検討が必要である。

**拡張性**：P2Pネットワークは一般性と拡張性が要求され、様々なネットワーク、様々なアプリケーションに適応しなければならない。既存の技術と両立し、共存できなければならない。

### 2.2. アーキテクチャ概要

提案するアーキテクチャの基本的な構成要素として、以下のエンティティの定義を行う。

**P2Pノード**：P2Pノードは独立した、双方向通信機能を持ったエンティティである。センサーデバイス、モバイル端末、PDAやパソコン、サーバなどあらゆる通信デバイスを想定している。

**コミュニティ**：コミュニティは、共通の興味やポリシーを持ったP2Pノードの論理集合である。コミュニティはコミュニティIDによって区別される。

**Pure P2Pネットワーク**：図1(a)のように、P2Pノードからのみ構

成されたネットワークである。P2Pノード間の接続は、相互信頼によって確立される。各P2Pノードは、独立したエンティティであり、自由にネットワークに参加したり、離脱したりできる。あるP2Pノードから送信されるメッセージは、直接的、あるいは幾つかの中間ノードを介して目的ノードに届けられる。

このPure P2Pネットワークは、非常にシンプルであるが、幾つかの本質的な問題点がある。

- ・ **First Peer 発見メカニズムの欠如**：P2Pノードが、P2Pネットワークに参加する際に、ブートストラップノード無しに、最も適したノードに接続することは不可能である。
- ・ **ネットワーク障害のための回復メカニズム**：P2Pノード間にkeep-aliveメカニズムが無い限り、ネットワークの分断を検出することは困難であるが、時としてネットワークへ過度の負荷となる。さらに、P2Pノードだけのネットワークでは、ネットワーク全体的に最適な回復メカニズムを検討するのは、非常に困難である。
- ・ **セキュリティ導入の困難性**：認証局や認証管理エンティティを決定することが困難であるため、特に、課金機能やアクセスコントロールのような認証メカニズムの導入が困難である。

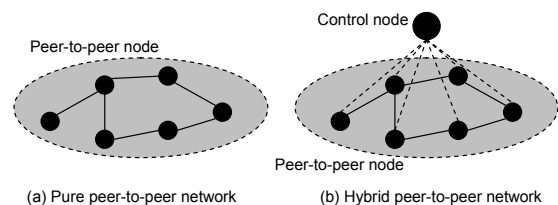


図1：Pure P2PネットワークとHybrid P2Pネットワーク

上記の検討から、Pure P2Pネットワークの問題点解決のために、管理エンティティの導入を検討した。

**Controlノード**：Controlノードは、P2Pコミュニティを管理するエンティティである。Controlノードは、特定のアプリケーションに依存しない機能として、P2Pノードの名前解決、ルーティング情報の管理、P2Pノードの認証、ネットワークトポロジーの管理、マルチキャストグループの管理などを行う。

**Hybrid P2Pネットワーク**：Hybrid P2Pネットワークは、Pure P2Pネットワークにおける、非効率なルーティングや、ネットワークの分断検出、不十分なセキュリティなどの問題に解決策を与える。このアーキテクチャを図1(b)に示す。

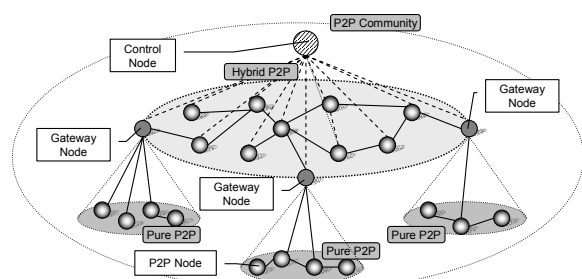


図2：P2Pネットワーク概観

一方、Hybrid P2Pアーキテクチャは、インターネット上に構成されるP2Pネットワークには適しているが、ワイヤレスセンサーネットワークやホームネットワークなどの動的な通信環境には適さない。そのような環境では、P2Pノードは必ずしも管理ノードにアクセスできるとは限らないからである。そこで、我々は

Gateway ノードを、Pure P2P ネットワークと Hybrid P2P ネットワークを接続する、3 番目のエンティティとして導入した。

**Gateway ノード**：Gateway ノードは、Pure P2P ネットワークと Hybrid P2P ネットワークを接続する接続エンティティである。Gateway ノードは、Pure P2P ネットワーク側の P2P ノードへのプロキシ機能として、Control ノードへのルーティング情報の代理問い合わせ、ノード認証、マルチキャストグループ管理などを行う。

最終的に提案する P2P ネットワークを図 2 に示す。Hybrid P2P ネットワーク側の P2P ノードは、Control ノードに状態を通知する。Control ノードは、Hybrid P2P ネットワークの状態を把握しており、P2P ノードからの要求に応じて、ルーティング情報を提供し、また要求される P2P ネットワークのポリシーに応じて、トポロジーの最適化、セキュリティ機能の提供を行う。Gateway ノードは、Pure P2P ネットワーク側の P2P ノードの状態を収集し、Control ノードに通知する。それにより Control ノードは、Pure P2P ネットワークの状態の把握も可能となる。Gateway ノードは、Pure P2P ネットワーク側の P2P ノードの問い合わせメッセージを受け、代理で Control ノードに転送する。これらのメカニズムにより、Pure P2P ネットワーク側のノードと Hybrid P2P ネットワーク側のシームレスな通信が可能となる。提案するアーキテクチャは、3 つのエンティティのみで構成されているが、ユビキタス P2P ネットワーキングの主要な要求条件を満たす。例えば、Hybrid P2P ネットワークは、インターネット上で構成されるグリッドコンピューティングのような、規模の大きい高度に組織化された P2P ネットワークに適している。一方、Pure P2P ネットワークはセンサーネットワークや無線 LAN アプリケーションなど、アドホックなシステムに適している。

### 2.3. P2P 通信モデル

P2P 通信モデルは、Server/Client モデルとは異なり、各通信エンティティの役割が、明確に区別されていないことが多い。しかし、一般的な P2P 通信モデルの確立において、明確な区分が必要であると考える。本研究では"Role"という概念を導入する。代表的な P2P アプリケーションを参照して、P2P 通信モデルを詳しく検証する。図 3 に示すような P2P 分散検索アプリケーションで、P2P ノードは 3 種類に分類されることがわかる。1 番目ノードはデータベースを保持し検索結果としてコンテンツデータを提供するノードであり、2 番目はコンテンツ検索の要求をするノード、3 番目はその検索要求を中継するノードである。或いは、図 4 の P2P アプリケーションレイヤーマルチキャストにおいても、メッセージを送信するノード、メッセージを中継するノード、メッセージを受信するノードの 3 つに区分される。これらの考察により、本研究では P2P 通信モデルの Role (役割) として、以下の 3 つの項目を定義する。

**Producer Role**：この Role は、アプリケーションデータやサービスを提供する役割のことである。

**Consumer Role**：この Role は、アプリケーションデータやサービスを要求し、それを受ける役割のことである。

**Relay Role**：この Role は、アプリケーションデータのルーティングや中継をする役割のことである。

P2P アプリケーションにおいて、P2P ネットワーク内のノードは上記の Role に応じてそれぞれの役割を担うことになる。ノードがどの Role となるかは、それぞれの P2P アプリケーションに基づいて動的に決定される。

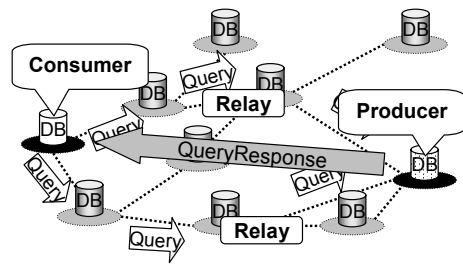


図 3：P2P 分散検索アプリケーション

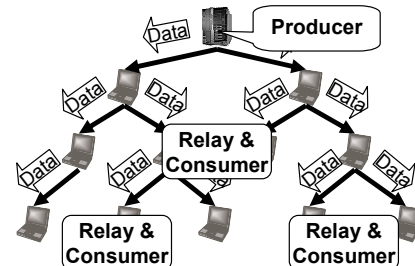


図 4：P2P アプリケーションレイヤーマルチキャスト

さらに、上記の 3 つの Role に基づいて、P2P ネットワークのモデル化を検討した。図 5 は、前述の Role という概念を通じて、P2P ネットワークをモデル化した図である。この図のように、P2P 通信モードには Producer Role が自発的に情報を Consumer Role に発信する場合と、Consumer Role の要求に応じて情報を発信する場合の 2 つの通信モードがある。本研究では、この 2 つの通信モードを以下のように定義することにする。

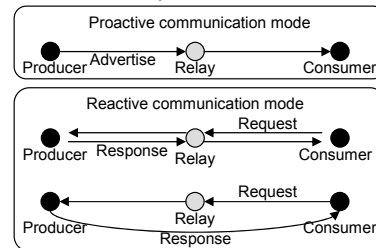


図 5：Role と通信モード

**Proactive 通信モード**：自発的に情報発信を行い、送信相手に応答を要求しない通信モードである。この通信モードは Advertise メッセージからなる。

**Reactive 通信モード**：相手に応答を要求し、その要求に応じて情報を通知する通信モードである。この通信モードは Request 及び Response メッセージからなる。

また、図 6 のように、基本的な通信タイプとして Unicast 通信、Broadcast 通信、さらに効率的なグループ間通信を実現するために Multicast 通信を定義する。通信モデルに基づき、Unicast 通信では、Multi-hop 通信、Multi-destination Unicast 通信を定義する (図 7)。

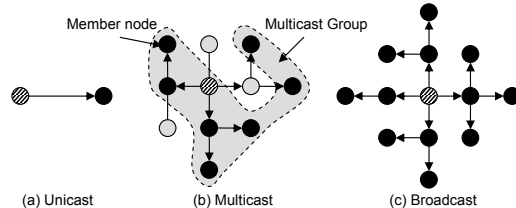


図 6：P2P 通信タイプ

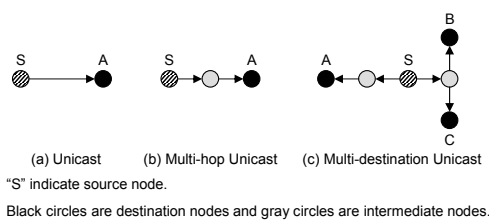


図7: Unicast 通信の種類

## 2.4. P2P Multicast 通信

本章では、P2P ネットワークにおける Multicast 通信について述べる。提案する Multicast は、図8のようにP2P ネットワーク上で、ネットワークに参加する一部のノードをグループとして、効率的なグループ内通信を実現するものである。

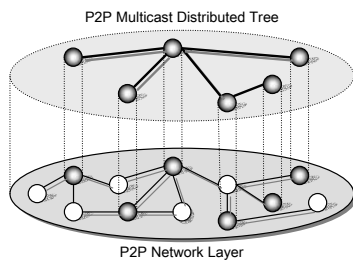


図8: P2P マルチキャスト配信ツリー

P2P ネットワーク上での Multicast を検討するにあたり、以下の項目を要求条件とした。

**配信経路の最適化:** P2P ネットワークでは、P2P ノード間リンクの接続、切断が頻繁に生じるが、そのような環境においてもマルチキャスト配信経路はできる限り最適化する。

**動的な配信ツリーの維持:** P2P ネットワークでは、ネットワークやマルチキャストグループへのP2P ノードの参加、離脱が頻繁に行われるため、最適な配信ツリー再構築のメカニズムが必要である。

**マルチセNDERへの対応:** P2P という性質上、グループに参加する全てのノードが送信元となることを想定する必要がある。

**耐障害性:** 障害等によるP2P ノードの離脱に際しても、配信経路を速やかにリカバリーできなければならない。

マルチキャスト配信方式は、一般的に表1のように分類される。[4]これらの配信方式を、提案するマルチキャストに適用した場合の利点と問題点について整理する。表1のように、Flooding 方式はブロードキャストと同様であり、全く最適化されていない。Spanning Tree 方式では、ネットワーク全体にツリーが形成されてしまうという問題がある。さらに、Shared Tree 方式では、P2P という性質上、RP(Rendezvous Point)の決定が困難である。Source Based Tree 方式では、最適な配信ツリーは得られるが、送信元毎のルーティングテーブルの大きさと、構築時のフラッディングが問題となる。さらに、ツリーの維持管理コストに関しては、Flooding 方式、Spanning Tree 方式ではノードの離脱、移動に対するツリーの再構築コストが比較的小さい。また、マルチセNDERへの対応について検討すると、Flooding 方式と Source Based Tree 方式が比較的適しているといえる。最後に、耐障害性の比較をすると、Flooding 方式や Source Based Tree 方式は、ほとんど影響が無いが、その他の2方式、特に Shared Tree 方式ではRPのダウンによる影響が大きいと考えられる。以上の検討により、本研究では Spanning Tree 方式を応用し、マルチキャストグループメンバー間

で双方向 Spanning Tree を構築する Bi-Directional Spanning Tree 方式を提案している[5]。提案方式では、図9のようにグループメンバー間で Spanning Tree を形成し、新たに参加するノードは、そのツリー形状に対して最適な接続先ノードを1つ選択し、接続することによってグループに参加する。マルチキャスト送信者は、必ずグループに参加する。

表1: Multicast 方式とその特性

	Optimization of distribution tree	Dynamic management	Support of Multi Sender	Fault tolerance
Flooding	BAD (non optimum just like broadcast)	GOOD (low impact)	GOOD (Sender independent)	GOOD (Low impact)
Spanning Tree	MIDIUM (spanning tree is constructed in entire network)	GOOD (low impact)	MEDIUM (Depend on shape of tree)	MEDIUM (need a function to find adjacent member nodes)
Source Based Tree	GOOD (tree is constructed and optimized for each sender)	BAD (Flooding happens when tree reconstructs)	GOOD (Optimized tree is constructed for every node)	GOOD (Low impact)
Shared Tree	MIDIUM (It is difficult to determine RP in the peer-to-peer network)	BAD (if RP leaves, overall reconstruction of tree is required.)	MEDIUM (Depend on shape of tree)	BAD (High impact)



図9: 提案方式の概観

## 3. プロトコルデザイン

### 3.1. プロトコル概観

上記で述べた P2P アーキテクチャの検討に基づきプロトコルの設計を行った。提案するプロトコルの要求条件は以下の通りである。

**様々なアプリケーションへの拡張性:** 様々なアプリケーションに対応するため、全般的な機能を持ち、拡張性が無ければならない。

**既存技術との共存:** 既存の技術を活用しなければならない。既存のネットワーク技術に適応できなければならない。

**トランスポートプロトコルからの独立:** 様々なネットワーク環境で動作するために、特定のトランスポートプロトコルに依存しないよう設計しなければならない。

図10は、提案するプロトコルスタックを示す。プロトコルスタックは、図のように2層構成となっており、P2P Core Protocol はP2P 通信モデルの実現と、Name-based ルーティングの機能を持つ。上層のプロトコル群は、機能別に定義されたプロトコルである。また、全てのプロトコルはXML で定義した。

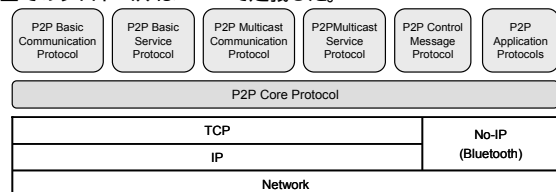


図10: プロトコルスタック

### 3.2. プロトコル詳細

P2P Core Protocol はP2P 通信モデルに従って、P2P メッセージを

処理する。その他のプロトコルは、このプロトコル上に定義される。

以下に、表2に示した各プロトコルの詳細を述べる。P2P Basic communication Protocol は、P2P セッションの確立とその開放を行う。提案する P2P アーキテクチャでは、すべての通信は隣接する P2P ノード間のセッションに基づいて行われる。さらに、このプロトコルは、P2P ノードのリソース情報の交換を行う機能を持つ。P2P Multicast Communication Protocol は、マルチキャストツリーの構築に用いる。P2P Basic Service Protocol は Hybrid P2P ネットワークにおいて、P2P ノードと Control ノード間の通信に用いられるプロトコルである。P2P Multicast Service Protocol は Hybrid P2P ネットワークにおいて、マルチキャスト機能に関連する、P2P ノードと Control ノード間の通信に用いられるプロトコルである。P2P Control Message Protocol は、メッセージ転送エラーの通知や P2P ノード間の keep-alive、First Peer の探索など、補助的な機能を提供する。

表2：メソッドとメッセージ

Protocol	Method	Message		
P2P Basic Communication Protocol	Hello method	Hello		
		HelloResponse		
	Bye method	Bye		
		Resource Information Exchange method	ResourceInformationAdvertise ResourceInformationRequest ResourceInformationResponse	
P2P Basic Service Protocol	Service Provide method	ServiceAdvertise ServiceRequest ServiceResponse		
		P2P Multicast Communication Protocol	Join method	Join JoinResponse
				Leave method
P2P Multicast Service Protocol	Multicast Service Provide method	MulticastServiceAdvertise MulticastServiceRequest MulticastServiceResponse		
		P2P Control Message Protocol	Error Report method	ErrorReport
				Diagnose method
Lookfor method	Lookfor LookforResponse			

## 4. プロトタイプ

### 4.1. プラットフォームソフトウェア

本研究では、提案方式の有効性実証のために、P2P ネットワーキングプラットフォーム Jupiter の実装を行っている。"Jupiter"とは "Jisedai Ubiquitous Peer-to-peer networking Infrastructure"の各文字を取ったものである。実装したプラットフォームソフトウェアは Java (J2SE 1.3.1) 及び C++により実装している。

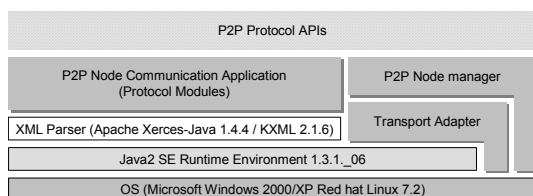


図11：Jupiter ソフトウェアアーキテクチャ

### 4.2. API デザイン

Jupiter の API は、以下の方針で設計した。

**一般的な要求条件：** API は P2P アプリケーション開発に必要なサービス、例えば P2P メッセージの作成、送信、受信やエラーの検出、上位 P2P プロトコル機能の利用、P2P ノードの状態取得の機能などを全般的に提供しなければならない。

**複数のアプリケーションへの対応：** 複数のアプリケーションに適応しなければならないが、他のアプリケーションの動作を制御できてはならない。

**プラットフォーム独立性：** プラットフォームソフトウェアのパラメータの変更など、プラットフォームの動作を制御できてはならない。プラットフォームの実装は、アプリケーションの実装と独立でなければならない。

図12のように、APIは2つのグループ(P2P Communication Service API と P2P Core API)に分けられるが、実際は Java のサブパッケージにより提供される。図11のように、ルートパッケージとして "Jupiter"があり、それは9つのサブパッケージから構成される。

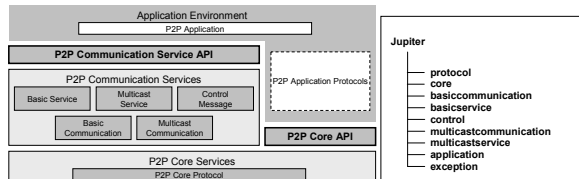


図12：API とその構成

Jupiter.application と Jupiter.exception は、P2P アプリケーション開発のためのサブパッケージ群である。アプリケーション開発者はこれらのサブパッケージを用いて、P2P アプリケーションの構築を行う。Jupiter.application サブパッケージは P2P ノード間の通常のメッセージ交換のためのクラス群から構成される。Jupiter.exception サブパッケージは、例外処理をするクラス群から構成される。これらの API により、Jupiter プラットフォーム内の処理を把握せずに、P2P アプリケーションの構築が可能である。

## 5. 関連研究

### 5.1. JXTA

JXTA[3]は、Sun Microsystems が提案する汎用的な P2P プラットフォームである。JXTA と Jupiter 共に、汎用的な P2P プラットフォームの構築、P2P アプリケーション開発のために必要な機能を提供することを目的としており、特定のデバイス、特定の開発言語、特定のアプリケーションに依存しない設計方針となっている。JXTA との主な相違点として、通信アーキテクチャが挙げられる。本研究では Pure P2P と Hybrid P2P アーキテクチャの融合の検討を行っているが、JXTA では、スーパーノードを用いた階層型アーキテクチャを用いている。2つめの大きな相違点は、Multicast 通信の導入である。提案アーキテクチャでは、P2P Multicast により効率的なグループ間通信を実現している。

### 5.2. DHT (Distributed Hash Table)

分散ハッシュテーブル(DHT)は、P2P ネットワークでの効率的なコンテンツルーティング手法として検討されている。

**Plaxton, Pastry and Tapestry：** Pastry[6]と Tapestry[7]は、Plaxton アルゴリズム[8]と prefix-based 探索プロトコルを用いている。ハッシュ値に応じたネットワークポロジを構築し、ルーティングの効率化を行っている。

**CAN：** CAN[9]は、n 次元トラスモデルを用いて、ハッシュテーブルを構築している。CAN では、各ノードは n 次元トラス上の座標空間の一部を占有しており、探索メッセージを隣接する空間を占有しているノードに転送することによって、ルーティングを行う。

**Chord：** Chord[10]は 1 次元環状モデルを用いている。1 次元空間内で、各ノードは ID のハッシュ値により線上に配列される。各ノードは隣接するノードと、数ホップ先のノードのリストを保持してお

り、それにより探索メッセージのルーティングを行う。

これらのルーティング方式は、提案する P2P ネットワークにおける効率的なノード探索やサービス探索に応用可能である。

### 5.3. ALM (Application Layer Multicast)

P2P ネットワークにおける Multicast 通信の関連研究としては、一般的にアプリケーション層マルチキャスト (ALM) として数多くの研究が行われている。既存の ALM は、配信ツリーを直接、構築する Tree-first アプローチと、まずメッシュ状のオーバーレイネットワークを構築し、その後、配信ツリーを構築する Mesh-first アプローチの 2 つに大きく分類される。Tree-first アプローチは、Mesh-first アプローチよりも、経路の冗長性の低さから耐障害性が低い。提案方式では、マルチキャストに参加しないノードを含めた配信ツリーの構築が可能であるため、前者 2 つの方式よりも冗長性が高いと言える。

表 3: 関連技術との比較

Approach	Tree-first	Mesh-first	Overlay
Shape of tree	Shared Tree	Source Based Tree	Shared Tree
Optimization of distribution tree	<ul style="list-style-type: none"> <li>Control Server method</li> <li>Dispersed and Cooperative method (Not necessarily optimum)</li> </ul>	Optimized tree is constructed when sending multicast message	<ul style="list-style-type: none"> <li>Control Server methods</li> <li>Dispersed and Cooperative method (Not necessarily optimum)</li> </ul>
Route Redundancy	Small	Medium	Large
Example cases	ALMI[8], Overcast[10], Yoid[9]	Narada[7], Gossamer [11]	Proposed method

## 6. 考察及び今後の課題

### 6.1. P2P アプリケーション

多様な通信デバイスが、複数のインターフェイスを持ち、多様なネットワークを介して相互通信する環境において、P2P ネットワークをはじめとするアプリケーション層ネットワーク (ALN) アプローチは、その様々なネットワークへの適応性、多様なネットワークサービスへの拡張性から、非常に有効な手段であると考えている。今後は、提案する P2P アーキテクチャを、ホームネットワークアプリケーションやユビキタス分散アプリケーションへ応用し、その有効性を評価していく。

### 6.2. P2P セキュリティ

P2P プラットフォームには、P2P ネットワーク上のリソースへの P2P ノードのアクセスのコントロールや、悪意ある攻撃への対処のために、Authentication や Authorization のメカニズムが不可欠である。本研究では、P2P ノード間、また P2P ノードと Control ノード間の認証メカニズムとアクセスコントロールについて検討している。さらに、P2P メッセージの改ざん防止や暗号化の方式についても検討している。ユビキタス P2P ネットワークは、現状の P2P ネットワークと同様に、セッション鍵交換プロセスや著作権管理 (DRM) などのセキュリティ問題を抱えているが、それ以外の問題点としては、以下の項目が挙げられる。

**プライバシー:** ユビキタス通信環境では、多くのセンサーや通信デバイスが存在するため、人々はそれらによるトラッキングのリスクに絶え間なくさらされることになる。

**安全性:** ユビキタス通信環境では、多くのデバイスが、膨大な数のデバイスと通信を行う。そのようなデバイスの中の悪意を持ったユビキタスクラッカーへの対応を検討しなければならない。

**認証:** 認証サーバが存在しないような、ユビキタス通信環境での認証機構について検討する必要がある。また、膨大な数の端末と通信をする際の効率的な認証方式についても検討する必要がある。

### 6.3. DHT アルゴリズム

DHT は効率的な Name-based ルーティングを実現するのに有効なアプローチである。本研究では提案する P2P ネットワークに DHT の導入を検討している。現状の DHT アルゴリズムはコンテンツ検索に利用されているものが殆どであり、一般的な P2P Name-based ルーティングに適したアルゴリズムの検討が必要である。

## 7. おわりに

本稿では、ユビキタス通信環境に向けた P2P ネットワーキングプラットフォームの提案を行った。提案する P2P アーキテクチャは、Control ノードを用いる Hybrid P2P アーキテクチャと P2P ノードからのみ構成される Pure P2P アーキテクチャを融合するものであり、インターネット、アドホックネットワーク、ホームネットワークなど異種ネットワークを横断的に接続するアプリケーションレイヤーネットワークのアーキテクチャとして適していることを説明した。また、提案するアーキテクチャに基づいて設計した P2P プロトコルについて提案を行った。さらに、提案方式に基づき実装した、プラットフォームソフトウェアと API の紹介を行った。

今後の課題は、P2P セキュリティとプライバシーである。膨大な数のデバイスが相互通信を行う、ユビキタス通信環境に適した認証方式、アクセス制御、暗号化通信について研究を進める。さらに効率的な P2P ルーティングアルゴリズムとして DHT アルゴリズムの検討を行っていく。また、新しいユビキタスアプリケーションの検討も進めていく予定である。

## 参考文献

- [1] GROOVE, <http://www.groove.net/>.
- [2] Gnutella, <http://gnutella.wego.com/>.
- [3] Sun Microsystems "Project JXTA", <http://www.jxta.org/>
- [4] Dave Kousiur, マスタリング TCP/IP IP マルチキャスト編
- [5] 加藤 剛志他, "モバイル向け P2P ネットワークにおける P2P マルチキャストの提案", DICO2003, June. 2003
- [6] Rowstron A., and Druschel P., "Pastery: Scalable distributed object location and routing for large-scale peer-to-peer systems", Proceedings of the 18th IFIP/ACM International Conference on Distributed System Platforms, Nov. 2001.
- [7] Ben Y. Zhao, John Kubiatowicz, Anthony D. Joseph, "Tapestry: An Infrastructure for Fault-tolerant Wide-area Location and Routing", Technical Report, April 2001.
- [8] C. Plaxton, R. Rajaram, and A. W. Richa, "Accessing nearby copies of replicated objects in a distributed environment", Proceedings of the Ninth Annual ACM Symposium on Parallel Algorithms and Architectures (SPAA), June 1997.
- [9] S. Ratnasamy, P. Francis, M. Handley, R. Karp, and S. Shenker, "A scalable content-addressable network", Proceedings of ACM SIGCOMM'01, Aug. 2001.
- [10] I. Stoica, R. Morris, D. Karger, M. F. Kaashoek, and H. Balakrishnan, "Chord: A scalable peer-to-peer lookup service for Internet applications", Proceedings of ACM SIGCOMM'01, Aug. 2001.
- [11] D. Pendarakis, S. Shi, D. Verma and M. Waldvogel, "ALMI: An Application Level Multicast Infrastructure," Proceedings of the 3rd USNIX Symposium on Internet Technologies and Systems (USITS '01)
- [12] J. Jannotti, D. K. Gifford, K. L. Johnson, M. F. Kaashoek, and J. W. O'Toole Jr., "Overcast: Reliable multicasting with an overlay network," Operating System Design and Implementation (OSDI), Oct. 2000.
- [13] P. Francis, Yoid: Extending the Internet Multicast Architecture., <http://www.aciri.org/yoid/>, Apr. 2000.
- [14] Yang-hua Chu, Sanjay G. Rao and Hui Zhang, "A Case For End System Multicast", Proceedings of ACM SIGMETRICS, Santa Clara, CA, Jun. 2000.
- [15] Y. Chawathe. Scattercast: An Architecture for Internet Broadcast Distribution as an Infrastructure Service. Ph.D. Thesis, University of California, Berkeley, Dec. 2000.