

オーバーレイネットワークにおける ID/Locator 分離機構

吉田 幹* 寺西 裕一† 下條 真司‡

*株式会社ビービーアール

†大阪大学大学院情報科学研究科 ‡大阪大学サイバーメディアセンター

概要

本稿では、モバイル環境におけるオーバーレイネットワークへの適用を前提に、ノードの ID と接続位置を示す locator を分離する ID/Locator 分離の機構を提案する。提案機構は、オーバーレイネットワークにおけるメッセージ転送を、ID に基づくルーティングを行なう ID Transport 層と、IP アドレス等の locator により隣接ノードへのメッセージ転送を行う Locator Transport 層とに分離し、外部に ID から locator を解決するためのネームサーバを必要としない。また、オーバーレイネットワークの持つ経路表に対称性がある場合、ノード移動時に高速なハンドオーバーを可能とする。これによってノードのモビリティを高めるとともに、複数の物理ネットワークを跨った透過的な通信も可能となる。提案機構を P2P プラットフォーム PIAX に実装することにより、その実現性および有効性を確認した。

A Mechanism of ID/Locator Separation in Overlay Networks

Mikio Yoshida*, Yuuichi Teranishi† and Shinji Shimojo‡

*BBR Inc.

†Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

‡Cyber Media Center, Osaka University

Abstract

In this paper, we propose a new mechanism to separate an identifier (ID) of a node and its locator for overlay networks.

In this mechanism, there are two transport layers, ID transport and locator transport. ID transport has its own routing algorithm to forward messages according to the ID of each node. Locator transport forwards messages to the neighbor nodes according to node locators such as IP addresses. This mechanism does not require external name (ID) resolvers. Moreover, as long as the routing table of the overlay network is symmetric, handover is carried out efficiently. This mechanism also enhances the node mobility and enables transparent messaging across multiple physical networks.

Implementation of this mechanism on the P2P platform PIAX proves its feasibility and effectiveness.

1 はじめに

アクセス網の無線化やユーザ利用端末の携帯性向上により、モビリティを持った端末（ノードと記す）がインターネットに接続する機会が増加する傾向にある。従来、インターネットにおいて、IP アドレス（もしくは FDQN）はノード間の互いの通信先を示すエンドポイントとして機能していた。ノードが移動しない場合は IP アドレスによってノードを同定することができるが、ノードが移動する場合、通信中に IP アドレスが変化することがあり、通信相手のノードの同定が困難となる。また、ノードが 2 つ以上の ISP を経由してインターネットに接続するマルチホーム環境等の場合、実質的に同一ノードが 2 つ以上の IP アドレスを持つことになるため、複数のノードとして認識されてしまう。

この問題はノードの個体（identity）と接続位置

（location）の両方を IP アドレスによって表現することに起因し、IP アドレスの二元性（duality of the IP address）問題として認識されている[1][2]。この問題の解決のためには、ノードの個体と接続位置を概念的に分離し、個体を指し示すノード識別子（identifier、ここでは ID と略記する）と接続位置を指し示す位置識別子（locator）をアーキテクチャ上、別のレイヤで扱う必要がある。これを ID/Locator 分離と呼ぶ。

本稿では、オーバーレイネットワークを前提とした ID/Locator 分離のための機構について考察する。一般に、オーバーレイネットワークとは、物理ネットワーク上のエンドホストの集合により構成される論理ネットワークのことを指す。従来、DHT など多くの構造化オーバーレイネットワークの持つルーティングアルゴリズムにおいて、ID に基づくノード指定が可能となっているが、ID/Locator 分離を実

現しているものは見当たらない。ID/Locator 分離の仕組みをオーバーレイネットワークに組み込むことで、アプリケーションはノードが移動する環境やマルチホーム環境を意識することなく ID によるノード指定で End-to-End の通信を行なえる。また、Locator を ID から独立化させることにより、下位の物理ネットワークへの依存度を小さくすることができる。これによって例えば、物理ネットワークとして ZigBee のような non-IP ネットワークの選択や、IP ネットワークと他の non-IP ネットワークとの混在が可能となる。

本稿では、オーバーレイネットワークを前提とした ID/Locator 分離のための機構として、DNS や DHT といった外部に用意された表を参照しない ID/Locator の解決方法を提案する。また提案手法の P2P プラットフォーム PIAX [3][4]上での実装についても述べる。

2 ID/Locator 分離の既存方式

WIDE, IETF に代表されるインターネットの研究ソサイエティにおいて、IP アドレスの二元性問題は、早くから認識され、ID/Locator 分離のための機構についても、数々の方式が提案されてきた。ここでは、その代表例として、LINA (Location Independent Network Architecture) [1]と HIP (Host Identity Protocol) Architecture [5]を取り上げ、ID 解決の特徴とその問題について述べる。

2.1 LINA, LIN6

LINA は ID/Locator 分離のためのアーキテクチャとして、初期に提案されたモデルである。図 1 に、その仕組みを示す。

LINA は、Network 層を 2 つの副層に分離することにより、ID/Locator の分離を実現する。アプリケーション層では、通信相手として指定するノードの表現として、ID, locator の両方が利用可能となる。図において、(a)は相手ノードを ID により指定した場合、(b)は相手ノードを locator により指定した場合の処理の流れを示している。LINA では、ID から locator への変換 (ID 解決) は Network 層内の副層で行う必要がある。変換テーブルの管理は外部に存在する MA (Mapping Agent) が行う。ID 解決は、各ノードの持つ副層からの要求に MA が応える形で実現される。

LIN6 (Location Independent Networking for IPv6) [6]は LINA を IPv6 へ適用したプロトコルである。LIN6 において、ID はグローバルにおいてユニークな 40bit の数値を使って表現される。LIN6 の特徴は、ID を IPv6 アドレスの下位 64bit のフィールドに 24bit の固定プレフィックスと共に埋め込むところにある。これにより、パケットヘッダの変更がなく、既存の locator (ここでは IPv6 アドレスを指す) を使った通信との親和性が高くなる。

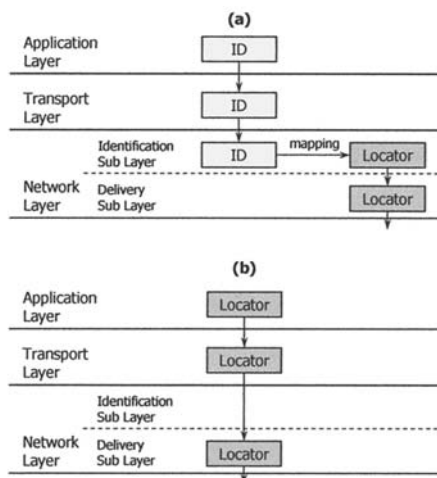


図 1: LINA におけるパケットの流れ

LIN6 においては、MA が ID/Locator を解決する上でのスケーラビリティを実現するため、この機能をどのように分散化するかが課題となっている。

2.2 HIP Architecture

HIP Architecture は、Transport 層と Network 層の間に ID 解決のための層を設ける意味で、LINA と同様のアーキテクチャを持つ。HIP Architecture の特徴としては、次の 2 つが挙げられる。

- LIN6 が ID を locator の一部に埋め込むのに対して、locator とは独立の空間に分離する。
- ID に認証と匿名性の機能を付与する。

HIP Architecture では、ID を表現するために、HI (Host Identifier) および HIT (Host Identity Tag) と呼ばれる識別子が用意されている。HI には公開鍵 (匿名部分については秘密鍵) を用いることが推奨されている。HIT は 128bit のランダムな数値で、HI の hash 値が用いられる。図 2 に、HI と HIT の生成関係を示す。尚、LSI (Local Scope Identifier) は IP アドレスとのブリッジに用いられる。

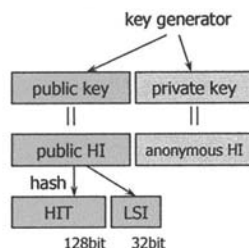


図 2: HI と HIT の生成フロー

LIN6 が、ID 解決のために MA と呼ばれるネームサーバを必要とするのと同様に、HIP Architecture においても、ID 解決のためのネーム

サーバが必要となる。

2.3 ID解決方法

これまで述べた LINA および HIP Architecture では、ID 解決のため、(ID, locator) の組をエントリとして保持するネームサーバが必要となる^(*)。ID 解決処理のスケーラビリティを出すためには、ネームサーバを分散的に構成する必要がある。分散型の構成方法として、階層型と P2P 型の 2 種類があり、それぞれの代表例として、DNS、DHT がある。下表 1 は、両者の比較である。DNS の場合は、エントリの更新時間が長くなるため、DHT が有力候補として検討が進められている^(†)。

ネームサーバはまた、不正なアクセスからエントリデータを守るため、認証機能を持つ必要がある。DHT における研究事例では、i3 [10]を拡張した secure-i3 [11]がある。

表 1: DNS と DHT の比較

	長所	短所
DNS	・レコード追加に対応できるため、新規に設備を作る必要がない。	・エントリの更新に要する時間が長い。
DHT	・エントリの更新時間が短い。 ・高いスケーラビリティを持つ。	・新規に設備を作る必要がある。

2.4 既存方式の問題

上記の ID/Locator 既存方式には以下にあげる問題がある。

(1) 実現性

LINA の実現のためには、IPv6 が十分に普及する必要がある。LINA および HIP Architecture の場合はプロトコルスタックの置き換え、脚注で挙げた LISP の場合はルータの置き換えを伴うため、実現には時間とコストを要する。

(2) ID 解決のオーバーヘッド

ネームサーバを用いることによるオーバーヘッドが生じる。このため、ハンドオーバー時における通信断をなくすることが困難である。

(3) セキュリティ強化の必要性

悪意を持ったノードからの不正なエントリの参照や改竄を防ぐため、各ノードを認証するための仕組みを用意する必要がある。

(4) DHT の技術課題

通信頻度の高いノード ID のハッシュ値を近傍に持つノードの負荷が高くなる。この負荷の平準化

のために新たな仕組みを用意する必要がある。また、DHT のネットワーク構成が頻繁に変化する場合 (churn 状態)、エントリ検索の失敗率が増加する[12]。このため、churn 状態と複製について綿密な管理が必要となる。

3 オーバレイネットワークにおける ID/Locator 分離の考察

本稿では、オーバレイネットワークに ID/Locator 分離機構を組み入れることで既存の方式における問題点の解決を目指す。本節では、オーバレイネットワークにおける ID/Locator 分離機構に求められる要件について議論する。

3.1 物理ネットワークにおける前提

今後、ユビキタスネットワークにおいては、IP ネットワークだけでなく、センサネットワークやアドホックネットワークなど多様な通信ネットワークが用途や目的に応じて使い分けられ、自律分散的に発展していくことが考えられる。ここではオーバレイネットワークはこうした様々な物理ネットワークを縦断し、束ねる役割をも担うことを想定する。したがって、図 3 のように既存インターネットを含む IP ネットワークのみならず、IP を用いない MANET のようなネットワークを含めた種々のネットワークが混在した形態を前提とする。

このように、異なる通信方式を持つネットワークが混在し、マルチホップにより、メッセージが伝達される形態を想定すると、従来の物理ネットワークにおける ID/Locator 分離機構は意味をなさなくなる。さらに、オーバレイネットワークの空間で、物理ネットワークに依存せず統一的に扱える ID が必要となる。

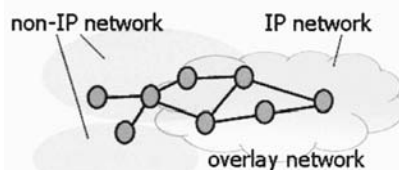


図 3: 物理ネットワークの形態

3.2 ID/Locator分離層におけるルーティング

オーバレイネットワークは、物理ネットワークから見てエンドホストに相当するノードがメッセージをルーティングするという特徴がある。このため、ID/Locator 分離機構をそれぞれに組み入れた場合、ID を相手先とみなす Transport 層 (ID Transport 層) と locator を相手先とみなす Transport 層 (Locator Transport 層) におけるメッセージ伝播の役割に差異が生じる。図 4 にこの違いを示す。

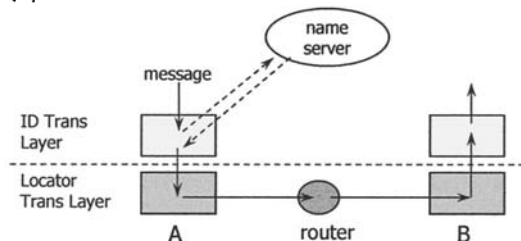
(a)は、IP ネットワークを前提としたメッセージの流れを示した図である。ID Transport 層にはル

* ここで挙げた以外に、LISP [7]と呼ばれる、ルータ側に ID/Locator 分離の機構を持たせる方法が提案されている。LISP3 と呼ばれるバージョンではネームサーバが必要となる。

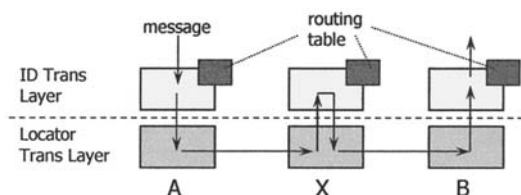
† OpenDHT [8]を使った実験が進められている。実験結果は Internet Draft の形で更新されている[9]。

ーティング機能がないため、送信元で ID を locator に変換する必要がある。この変換のために外部のネームサーバを用いる。(b)は、オーバーレイネットワークを前提とした場合のメッセージの流れを示した図である。ID Transport 層に ID をベースとしたルーティング機能があるため、ネームサーバを必要としない。但し、ホップ毎の通信は Locator Transport 層で行う必要がある。ホップ先を決める際には経路表が必要となる。

(a)では、任意のノード間におけるメッセージの到達性が必要であるのに対し、(b)では、各ノードの持つ経路表のエントリへのメッセージ到達性があれば十分である。例えば、(a) では、A→B のメッセージ到達性が必要であるが、(b)では、その必要がない。



(a) IP ネットワークのケース



(b) オーバレイネットワークのケース

図 4: ID/Locator 分離層におけるルーティング

さらに、(b)において、リンク A→X とリンク X→B が別々の物理ネットワークでもよいことが分かる。これは図 3 のような複合的な物理ネットワークの環境でも、(b)の方式が機能することを意味している。

次にノードが移動した場合について考える。(a)の場合は、ノードが移動したときに、新しい locator をネームサーバに登録するが、(b)の場合はネームサーバを使わないため、別のノードに locator の変化を知らせることができない。このため、そのノードをオーバーレイネットワークから一旦離脱させ、新しい位置で再び参加させる必要がある。しかし、経路表の性質によっては、これが可能になる場合がある。このとき必要な性質とは、ノードが移動する際、そのノードへリンクを持つノードがそのノードの locator を変更できるようにすることである。これは、経路表の対称性により可能となる（ノード P がノード Q を経路表のエントリとして持つときに必ずノード Q がノード P を経路表のエントリとして

持つ場合に、そのオーバーレイネットワークの経路表には対称性があるという）。但し、この場合もメッセージ交換できていたノードから到達不可能な場所に移動する場合は、ノードの離脱と再参加が必要となる。

上記考察はユニキャストに基づくものであるが、マルチキャストの場合もそのまま適用できる。

3.3 オーバレイネットワークに必要な条件

図 4(b) に示す方法が有効に機能し、ID/Locator 分離の有用な性質が引き出されるための条件を以下にまとめる。

- (1) メッセージ到達可能なノードのみから経路表が構成される。
- (2) 経路表に対称性がある。
- (3) ノードの移動によりそれまで確保されていたメッセージ到達性が損なわれない。

これらの条件を満たすオーバーレイネットワークとしては、例えば、IP ネットワーク上にオーバーレイネットワークを構成する前提であれば、Kademlia [13]や Skip Graph [14]などの構造化オーバーレイネットワークの実装が存在する。

4 オーバレイネットワークにおける ID/Locator 分離機構

3 章の考察を元に、本稿で提案する ID/Locator 分離機構とノード移動時の処理方法について述べる。

4.1 ID/Locator分離機構の構造

図 5 に、本稿で提案する ID/Locator 分離機構を含めたオーバーレイネットワークの構成を示す。

図に示す通り、ID/Locator 分離機構は ID Transport 層と Locator Transport 層の 2 層に分割される。ID Transport 層は内部に経路表を持ち、ID ベースのルーティングを行う。経路表には、ホップ単位の ID 解決のため、隣接ノードの ID に加え、locator を保持させる。Locator Transport 層は、下位の物理ネットワークとのインタフェースを取り、物理ネットワークに処理を委譲することで Locator に基づくメッセージ配送を実現する。委譲を行う機構により、オーバーレイネットワークは様々な通信方式に対応できるようになり、複合的な物理ネットワークへの対応が可能となる。

上記の仕組みにより、ID Transport 層より上位において、ID によるメッセージ到達性 (ID reachability) が確保される^{*}。

ノードが移動する際、経路表に対称性があり、それまでのメッセージ到達性が失われない場合は、次

* オーバレイネットワークの経路表は ID 空間に基づき構成され、指定した ID を持つノードへメッセージをルーティングできることが前提となる。

節の手順でハンドオーバーを行う。そうでない場合は、ノードの離脱と再参加を行う。

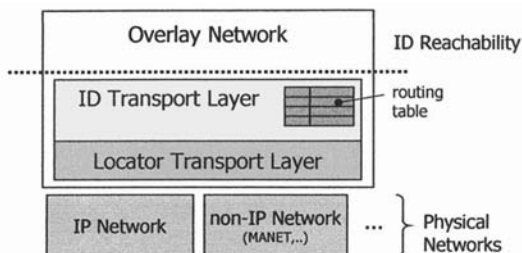


図5: ID/Locator 分離機構を含めた階層構造

4.2 ノード移動時の処理

ノードが移動する際、経路表に対称性があり、移動によって、それまで確保されていたメッセージ到達性が失われない場合は、効率の良いハンドオーバーが実現できる。図6に、その手順を示す。

ノードCが中央から下に移動する際、Cを指していたL1'とL2'のリンクが切れる。しかし、CからAとCからDへ向かうリンクは生きているため、このリンクを使ってCは新しいlocatorをAとDに公告することができる。この結果、AとDから即座に新しくL1とL2が張り直され、通信断となる時間を短く抑えることができる。

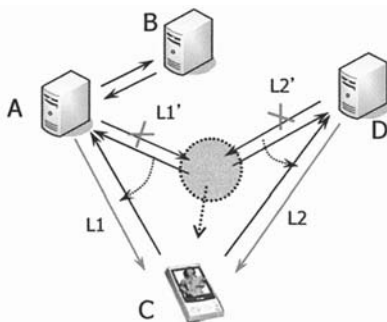


図6: ハンドオーバーの手順

経路表に対称性がない、または、対称性があっても、移動により、確保されていたリンクノードへのメッセージ到達性が失われた場合は、ノードをオーバーレイネットワークから一旦離脱させ、再参加させることにより、移動を実現する。この場合は、再参加に要する時間だけ、通信断が発生する。

5 PIAXにおける実装

4章で述べたID/Locator分離機構の実装事例として、PIAXへ適用したケースについて説明する。

PIAXは、ユビキタスサービスを統一的に稼働させる共通のプラットフォームとして機能することを目的として開発されている。PIAXは、マルチオーバーレイと呼ばれる機構を持ち、オーバーレイネット

ワークを自由に組み込むことができる。そのベースに使用されるオーバーレイネットワークとして、Multi-key Skip Graph [15]と呼ばれる、ノードに複数キーを保持できるようにSkip Graphを拡張した実装を持っている。Multi-key Skip GraphはSkip Graph同様、経路表に対称性がある。これにより、モバイル環境において、効率の良いハンドオーバーが実現できる。

提案方式を実装するため、PIAXの物理ネットワークとの境界に位置するOverlay Transport層にID/Locator分離機構を組み入れた。図7に、ID/Locator分離機構を組み入れた新しいOverlay Transport層の構造を示す。

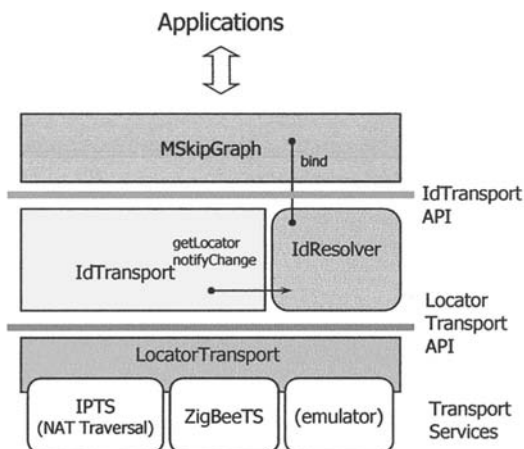


図7: PIAXの新しいOverlay Transport層の構造

4.1節で示したアーキテクチャにならない、Overlay Transport層は、ID Transport層とLocator Transport層の2層に分離した。ID Transport層とLocator Transport層の上位の境界にそれぞれIdTransport APIとLocatorTransport APIと呼ぶ共通インタフェースを設定している。locatorが必要となるのは、ID Transport層の内部だけで、ここにはMulti-key Skip Graphの経路表の処理を行うIdResolverが含まれる。IdResolverは他に、ノードが参加する際に用いるseedノードの保持や移動時に行う隣接ノードへのlocator通知の機能を持つ。情報とIdTransport APIより上ではノードに対する指定はすべてIDを使って行う。範囲探索など、Multi-key Skip Graphの持つ探索処理や、PIAXに追加したオーバーレイネットワークの行う探索処理はlocatorを必要としないため、IdTransport APIより上位に位置している。

Locator Transport層が物理ネットワークに対して行う委譲処理は、locator表現の抽象化により実現した。図に並んでいる複数のTransport Serviceがこのインスタンスに相当する。

PIAXにおけるID/Locatorの実装は現在も進め

られている。これまでにプロトタイプ実装が完了し、提案機構の実現性を確認している。また、複数の物理ネットワークを跨った環境における実装として、ZigBeeを使ったアドホックネットワークとIPネットワークの複合環境での実装を行い、センサ・アクチュエータ処理が問題なく動作することを確認している[16]。

6 まとめと今後の課題

本稿では、オーバーレイネットワークを対象としたID/Locator分離機構について、考察と具体的な機構の提案を行い、PIAXを使った実現性と有効性の確認を行った。提案機構による効果は、次のようにまとめられる。

- ノードの移動が起こっても、ID到達性が確保される。マルチキャスト(ALM)についても同様の仕組みでID到達性が確保される。
- 経路表に対称性がある場合、高速にハンドオーバーが可能である。
- 複数の物理ネットワークを跨った通信を透過的に行うことができる。
- 外部のネームサーバを参照しないため、ID解決の時間が短縮し、ネームサーバの管理とネームサーバの使用に伴う改竄防止策等の対策が不要である。

今後の課題として、複合的な物理ネットワーク上のオーバーレイネットワークにおけるルーティングアルゴリズムの検討がある。PIAXの実装では構造化オーバーレイネットワークを例にあげたが、通信品質や性能といった特性の異なるネットワークを跨る前提で効率の良いルーティングを行うためには、これまでとは異なるアプローチの検討が必要である。例えば、物理ネットワークの通信状況をオーバーレイネットワークに伝えるためのクロスレイヤ制御や、ルーティングトポロジにおける構造化と非構造化を融合したアプローチが考えられる。

謝辞

本研究は、平成19年度総務省委託研究「ユビキタスネットワーク認証・エージェント技術の研究開発」の一環として実施したものである。

参考文献

- [1] Ishiyama, M., Kunishi, M., Uehara, K., Esaki, H. and Teraoka, F.: LINA: A New Approach to Mobility Support in Wide Area Networks, IEICE Trans. Communication, Vol. E84-B, No. 8, pp. 2076-2086 (2001.8).
- [2] AKARI プロジェクト: 新世代ネットワークアーキテクチャ AKARI 概念設計書 (2007.4), <http://akari-project.nict.go.jp/index2.htm>
- [3] PIAX (2006). <http://www.piax.org/>
- [4] 吉田 幹, 奥田 剛, 寺西裕一, 春本 要, 下條 真司: マルチオーバーレイと分散エージェントの機構を統合した P2P プラットフォーム PIAX, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.1 (2008.1).
- [5] Moskowitz, R. and Nikander, P.: Host Identity Protocol (HIP) Architecture, RFC4423, IETF (2006.5).
- [6] Teraoka, F., Ishiyama, M. and Kunishi, M.: LIN6: A Solution to Multihoming and Mobility in IPv6, Internet-Draft, IETF (2003.12).
- [7] Farinacci, D., Fuller, V., Oran, D. and Meyer, D.: Locator/ID Separation Protocol (LISP), draft-farinacci-lisp-05 (work in progress), IRTF (2007.11).
- [8] OpenDHT (2004). <http://www.opendht.org/>
- [9] Henderson, T. and Gurtov, A.: HIP Experiment Report, draft-irtf-hip-experiment-03 (work in progress), IRTF (2007.3).
- [10] Stoica, I., Adkins, D., Zhuage, S., Shenker, S., and Surana, S.: Internet Indirection Infrastructure (i3), Proceedings of ACM SIGCOMM (2002.8).
- [11] Nikander, P., Arkko, J. and Ohlman, B.: Host Identity Indirection Infrastructure (Hi3), draft-nikander-hiprg-hi3-00, IETF, (2004.6).
- [12] 首藤一幸: 下位アルゴリズム中立な DHT 実装への耐 churn 手法の実装, 第 19 回 コンピュータシステム・シンポジウム (ComSys 2007) 論文集, pp.191-198 (2007.11).
- [13] Maymounkov, P. and Mazières, D.: Kademlia: A peer-to-peer information system based on the XOR metric, Proceedings of the 1st International Workshop on Peer-to-Peer Systems (IPTPS '02), Vol.258, p.263 (2002).
- [14] Aspnes, J. and Shah, G.: Skip Graphs, In Proceedings of the 14th Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms (SODA), pp.384-393 (2003).
- [15] 小西佑治, 吉田幹, 寺西裕一, 春本 要, 下條 真司: 単一ピアに複数キーを保持可能とする Skip Graph 拡張の提案, 情報処理学会, 第 131 回マルチメディア通信と分散処理研究会, pp.25-30 (2007.6).
- [16] 清野浩一: 認証機能とエージェント技術による安心・安全・快適なユビキタス社会を目指して, UNS2007, p.26 (2007.11).