

P2P SIPを用いたサーバレス mPAN アーキテクチャの検討

吉田 瑞輝[†] 峰野 博史^{†††} 水野 忠則^{††}

近年, Skype のようなピアツーピア (P2P) を用いた VoIP システムが急速に普及してきている。このようなシステムでは P2P を用いることによりサーバ機能を分散し, 管理コストの削減や高品質な通信を可能としている。これまで我々は, 携帯電話からの制御で通信中の音声・映像 (メディアストリーム) をホームネットワーク内の周辺 AV 機器へ柔軟に転送する mPAN ストリーミングモビリティアーキテクチャを提案してきた。このアーキテクチャに P2P の仕組みを適用することで, サーバレスで FMC (Fixed Mobile Convergence) のような環境をユーザ主体で構築できると考える。本稿では, P2P ベース mPAN アーキテクチャの検討・提案をする。

Serverless Mobile PAN Architecture Using Peer-to-Peer SIP

MIZUKI YOSHIDA [†], HIROSHI MINENO ^{†††} and TADANORI MIZUNO^{††}

Recently, the VoIP system using peer-to-peer (P2P) like Skype is rapidly widespread. In such a system, a server function is distributed by using P2P, and then management cost is reduced and high quality communication is enabled. We've proposed the mPAN streaming mobility architecture which forwards flexibly media stream to the devices in a home network by control from a cellular phone. In this paper, we investigate and propose a P2P based mPAN architecture.

1. はじめに

近年, インターネットにおけるマルチメディアサービス (VoIP) の需要が急速に高まってきている。マルチメディアアプリケーションにおける汎用セッション制御プロトコルとして SIP (Session Initiation Protocol)²⁾ が IETF によって標準化されている。高いスケーラビリティと負荷バランス, 耐故障性を特徴とする P2P 技術は, 多様なアプリケーション (ファイル共有の例: Gnutella, Kazaa) やサービス (VoIP の例: Skype) に適用されている。現在, P2P と SIP を組み合わせた P2P SIP の研究が盛んに行われている³⁾。P2P SIP システムはサーバ機能を分散することで, 既存 SIP システムで問題となるスケーラビリティと耐故障性を改善することが可能であり, 管理コストの削減や高品質な通信を実現する。

一方, 情報家電制御技術や無線通信技術の発展, 標

準化の進展などによりさまざまな機器がネットワークに接続される環境が整い, ネットワークに接続可能な情報家電が次々と製品化されている。携帯電話においては, 広域無線通信だけでなく短距離無線通信にも対応可能な無線デュアル端末 (iphone, hTcZ 等) が登場してきており, 移動系と固定系の通信を融合させる FMC (Fixed Mobile Convergence) サービスの実現が可能となってきた。そこで, 本研究室ではこれまで異種網の連携サービスとして, 携帯電話からの制御で通信中の音声・映像 (メディアストリーム) をホームネットワーク内の周辺 AV 機器へ柔軟に転送する mPAN ストリーミングモビリティアーキテクチャに関して検討を進めてきた¹⁾。ただし, 通常, このようなサービスを展開しようとする, SIP サーバのようなキャリア側の設備・対応が必要となり, ユーザにはそれ相応の利用料が生じると考えられる。

このような背景の下, 本稿では, mPAN アーキテクチャに P2P の仕組みを適用することで, サーバレスで FMC のような環境をユーザ主体で構築可能な P2P ベース mPAN アーキテクチャ (P2P-mPAN) を提案する。P2P-m PAN は, 移動体通信網から固定網への切り替えによって安定した通信網を使用し, より高性能な AV 機器へメディアストリームを転送して快適

[†] 静岡大学大学院情報学研究科
Graduate School of Informatics Shizuoka University

^{††} 静岡大学創造科学技術大学院
Graduate School of Science and Technology Shizuoka University

^{†††} 静岡大学情報学部
Shizuoka University Faculty of Informatics

で品質の良いサービスを携帯電話ユーザに提供する。Skype とは異なり、ユーザ主体で音声と映像を別々に異なる IP ホストのデバイスに転送することも可能である。

本稿では、関連研究について述べた後、提案アーキテクチャの概要とセッション制御手順を説明し、実装・評価方法について検討する。

2. 関連研究

2.1 DHT (Distributed Hash Table)

DHT とは、ハッシュテーブルを複数のピアで分散管理して使用することでアドホック性とスケーラビリティ性を確保するための探索手法である。DHT が P2P ネットワークにおいて必要となる理由を Pure-P2P を例にして述べる。

Pure-P2P (例 : Gnutella) は情報を管理する中央サーバが存在せず、互いのピアがアドホックに接続して情報のインデックスを管理するサーバの役割を分散するという環境を構築する。そのため、いくつかのピアが故障しても P2P ネットワーク全体の機能を維持することが可能であり、さらにネットワーク全体の負荷を分散することが可能である。しかし、ピア数が増加しネットワーク規模が大きくなると、探索トラフィックが増加してネットワーク負荷が増大する、またネットワーク上のコンテンツを探索することが困難になるという欠点を持つ。Pure-P2P ではこのような欠点を持つが、DHT を用いることでネットワーク負荷を抑制、ネットワーク上のコンテンツを漏れなくかつ高速に探索することが可能となり、大規模ネットワークにも対応可能となる。

DHT では、各情報に一意に識別するためのキーが割り当てられ、キーとそれに対応する値 (一般にその情報を保持するピアの ID) のペア (ハッシュテーブル) を、キーのハッシュ値に近いハッシュ値を持つピアが管理する。そして独自の論理ネットワークを構築して探索リクエストをルーティングする。平均探索数は DHT アルゴリズムに依存し、例えば、Chord⁴⁾ という DHT アルゴリズムではネットワーク中のピア数を N とすると $\log_2 N$ のホップ数で情報探索を行うことが可能である。しかし、DHT は実装が難しく、ハッシュ関数を用いているため連続した範囲を指定した検索ができない、完全一致探索しかできないという欠点を持つ。ハッシュ関数とは、文字列などのデータを与えると、決まった範囲の値を返す関数である。DHT アルゴリズムには前述した Chord の他に、CAN, Pastry, Kademia といったものがある。

2.2 P2P SIP

P2P SIP は、従来の SIP システムで必要となる SIP サーバの機能 (例えば、レジストラ、ロケーション、プロキシ、リダイレクト) を分散することで、スケーラビリティや耐故障性を向上するための技術である。現在普及している P2P 技術を利用した Skype はフリーで誰もがダウンロードして使用できるが、独自仕様プロトコルとなっている。そのため、クローズドな技術ではなく、オープンスタンダードな技術として SIP に P2P 技術を適用した P2P SIP が注目され研究がなされてきた^{5),6)}。

P2P SIP には P2P over SIP と SIP using P2P という大きく分けて 2 つのモデルがある⁷⁾。P2P over SIP は SIP メッセージングを用いて P2P プロトコルを実装したものである。このモデルの利点は SIP メッセージを中継するプロキシサーバノードにおいて B2BUA (Back to Back User Agent) による NAT 越えが可能であるということ、欠点に SIP メッセージの転送はオーバーヘッドが高いこと、従来の SIP を流用しにくいこと、SIP メッセージを扱うために一般的な P2P ルーティングよりも遅延が大きくなるということが挙げられる。P2P over SIP には、DHT に Chord を用いた SOSIMPLE⁵⁾ があり、Chord アルゴリズムを SIP メッセージングにより実装している。

SIP using P2P はアドレス解決 (通信相手の探索) のためにロケーションサーバ機能のみを P2P プロトコルに置き換えて実装したものである。このモデルは前述したモデルとは異なり、P2P プロトコルに SIP メッセージングを使用しないため、SIP 層と P2P 層が独立し、実装が容易、P2P プロトコルの代替が可能であるという利点を持つ。問題となるのはエンドツーエンドでの直接的な通信を行うとき、プロキシサーバノードがないために NAT 越えが困難であることが挙げられる。そのため、STUN や TURN などの NAT 越え技術による対応が必要になる。

基本的に P2P SIP では、アドレス解決に DHT を利用する。そのため、既存 SIP では $O(1)$ で目的ノードのアドレスを取得していたが、DHT の平均探索経路長分 (Chord では $O(\log_2 N)$) だけ余分に遅延が生じることになり、アドレス解決時間がセッション確立遅延に大きく依存してくる。P2P SIP におけるシグナリング遅延に関する研究⁸⁾ では、アドレス解決からセッション確立までの時間を CSD (Call Setup Delay) と定義し、P2P ネットワークの規模やアドレス解決方法が CSD に影響を与え、既存 SIP システムよりも大きな遅延を生じる可能性を示している。

本研究では、SIP using P2P を採用する。この理由は他のモデルと比べて実装が容易であるだけでなく、P2P プロトコルを代替可能なためである。また、NAT 越え問題については本 mPAN アーキテクチャではホームゲートウェイ (GW) を利用するため、GW において NAT 越え機能を実装することで対処することが可能である。CSD については、提案アーキテクチャにとって探索効率の良い P2P プロトコルを検討することで、アプローチしていく。

3. P2P ベース mPAN アーキテクチャ

3.1 アーキテクチャ概要

P2P-mPAN は、これまで検討・提案してきた mPAN アーキテクチャ¹⁾ に P2P ネットワークを適用することでロケーションサーバ機能を分散したアーキテクチャである。P2P ネットワークはアドレス解決のみに使用して P2P 層と SIP 層を独立させることで、これまでのアーキテクチャをそのまま流用することができる。

図 1 に、mPAN ストリーミングモビリティの基本アーキテクチャを示す。本アーキテクチャは、通信相手 (CN)、mPAN を制御する携帯電話 (CP)、ホームネットワークに参加可能かつ mPAN に対応したディスプレイやスピーカ、固定電話といったデバイス (Dev)、ホームネットワークをインターネットと接続し mPAN に対応したホームゲートウェイ (GW) の 4 つを基本構成要素とする。ここで、CN は mPAN であってもよく、図中の固定系、移動系ネットワークの連携は FMC と想定できる。また、複数の mPAN が存在したとき、各 mPAN 内の GW 同士が P2P ネットワークを構築し、ロケーション情報を分散管理することで、図 2 のようなサービスモデルが提供可能となる。これにより、キャリア側が用意する SIP サーバを P2P ネットワークで代替してアドレス解決を行うことで、スケラビリティと耐故障性の向上、さらにはユーザ主体で FMC サービス環境を構築することが可能となる。

本アーキテクチャでは、携帯端末を利用して通信相手とマルチメディアセッションを確立したユーザが、自宅のホームネットワークにおいて mPAN を形成することで、ホームネットワークに接続された入出力デバイスへ自由にセッションを転送することが可能となる。SIP を利用しているため、柔軟なマルチメディアセッションの制御が可能であり、音声とビデオ映像を異なる出力デバイスへ転送したり、片方のストリームのみを転送するといった様々なユーザ要求を満たす制御を実現可能としている。

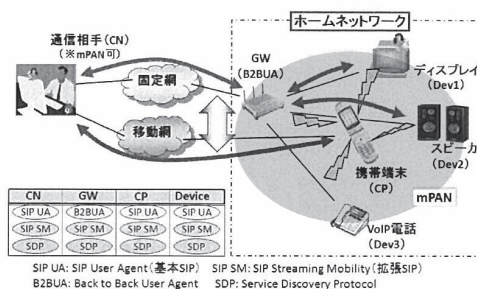


図 1 mPAN ストリーミングモビリティアーキテクチャ

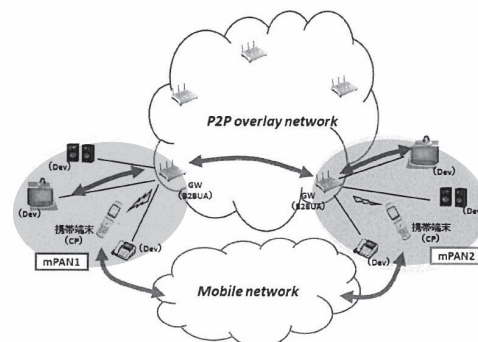


図 2 提案サービスモデル

3.2 構成要素上で動作する機能

各構成要素上では、mPAN ストリーミングモビリティを実現するために、図 1 の表中に示した機能が動作する。全ノードは基本的に SIP UA の機能によって標準的な SIP による呼び制御に対応する。GW で動作する B2BUA は、プライベートネットワーク側とグローバルネットワーク側を担当する 2 つの SIP UA の機能を持ち、SIP メッセージやボディ内容の変更、メディアストリーム中継を行う (SBC 型: Session Border Controller 型) ことで SIP メッセージの NAT 越えも可能とする。なお、ホームネットワーク上の各デバイスの SIP URI を登録するローカル SIP レジストラの機能や SIP メッセージの統括配信機能を持つ SIP サーバは B2BUA との統合を想定している。CP はインターネット上のノードと直接通信可能なネットワーク I/F と、PAN を形成することで近隣のデバイスと通信可能なネットワーク I/F の二つを装備するものとする。CN, CP, B2BUA はインターネット上のノードと直接通信可能なグローバル IP (gIP) を持ち、CP, B2BUA, Dev はプライベート IP (pIP) を介してホームネットワーク内の通信を行う。SIP では、セッションの情報や利用可能なメディアフォーマットなど

のセッションに関する能力の記述には SDP (Session Description Protocol) が用いられる。

SIP ストリーミングモビリティ (SIP SM) は、前述した mPAN におけるメディアストリーム転送機能を提供する。また、サービス発見プロトコル (SDP:Service Discovery Protocol) として、SLP (Service Location Protocol) や UPnP で使用される SSDP (Simple Service Discovery Protocol) の利用を想定しているが、本稿では特に言及しない。

セッション制御には、起動時接続手法¹⁾を用い、B2BUA~Dev 間は予め起動時にセッション確立しておき、メディアストリームを流さない Sleep 状態で待機することで、転送要求があった場合にすぐに通信を開始できるようになっている。そして、起動時接続を生かして転送処理に特化するよう構築した拡張 OPTIONS メソッドを用いることで、CP を制御ポイントとした mPAN 制御、および CP 指示を反映する GW (B2BUA) を介した CN~Dev 間のメディアストリーム転送を実現する。詳細な制御については後述する。

3.3 P2P プロトコルの検討

P2P-mPAN は SIP using P2P モデルをベースに設計する。したがって、P2P プロトコルはアドレス解決にのみ使用される。P2P SIP において、アドレス解決はセッション確立時間に大きく影響するため、探索効率の良い P2P プロトコルが求められる。また、P2P-mPAN では VoIP を想定しており、電話をかける対象は知人である可能性が高い。このような特性を考えると、知人関係をたどると世界中の誰とでも比較的少ない経由でつながっているというスモールワールド効果を P2P ネットワークに適用すること¹⁰⁾で、VoIP システムに対して効率の良い探索を可能とする P2P プロトコルを構築できると考えられる。DHT にスモールワールドを適用した研究に、Symphony¹¹⁾がある。Symphony は Chord をベースとしており、ランダムに遠隔ノードとショートカットリンクを張ることで、リンク数が少なくても平均経路長が短くなる性質を持つ DHT である。しかし、Symphony では、ランダムでリンクを張るようになっているので、人間関係を考慮してはいない。そこで、P2P-mPAN ではスモールワールドの特性を考慮したアルゴリズムを利用し、アドレス解決に要する時間を削減する手法を検討していく。P2P プロトコル詳細は検討不足であるため、今後の課題としておく。本稿では P2P プロトコルには差し当たり Chord を採用して実装することにする。

3.4 セッション制御

通信の開始、周辺デバイスへの転送、通信の終了に

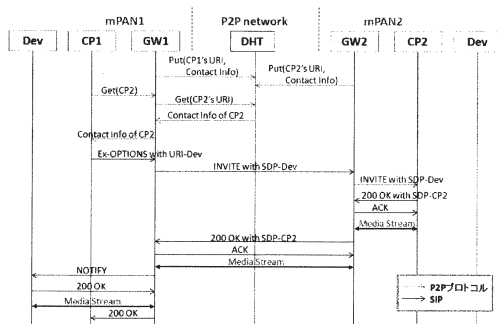


図 3 セッション確立コールフロー

におけるセッション制御について例を挙げて説明する。

3.4.1 セッション確立

通信を開始するためのセッション確立処理におけるコールフローを図 3 に示す。これは別々の mPAN に参加している携帯電話 (CP1,CP2) のうち、CP1 が CP2 へ通信を開始して、CP2 のメディアストリームを周辺デバイス (Dev) へ転送する場合のコールフローである。GW は P2P ネットワークに参加済みであると仮定する。まず、各 CP が mPAN 内に参加することで GW は PUT 要求により CP2 へのコンタクト情報を DHT に保持させる。そして、CP1 が通信を開始する際には、CP2 へのコンタクト情報を GET 要求により取得する。ここまでは P2P プロトコルの動作である。コンタクト情報を取得した後は、CP1 が GW1 に対して転送要求である拡張 OPTIONS を送信し、INVITE によって GW1~GW2 間、GW2~CP2 間のセッションを確立し、GW1 から Dev へ NOTIFY によるスリープ状態の解除を要求することで、通信が成功する。このように P2P プロトコルはセッション確立のアドレス解決のみで使用され、その他の処理は SIP を使用している。したがって P2P と SIP が分離されている。

3.4.2 周辺デバイスへのメディアストリーム転送

通信中のメディアストリームを mPAN 内の周辺デバイスへ転送するコールフローを図 4 に示す。すでに通信相手とはセッションが確立されているため、ここでは CP1 が拡張 OPTIONS を GW1 に送信し、Dev から Dev2 へメディアストリームを転送するように要求する。GW1 は Dev2 に NOTIFY によるメディアストリーム復旧処理を行い、Dev に対しては Sleep 処理を行う。もし、転送元 (Dev) と転送先 (Dev2) のメディア能力が異なっている場合は、メディアストリームの再生処理でエラーが起きるのを防ぐために、再ネゴシエーションを行う。このようにして周辺デバイス

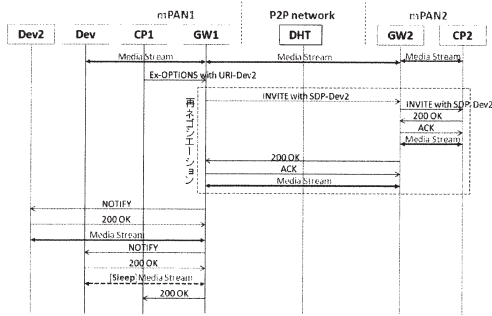


図4 周辺デバイスへの転送コールフロー

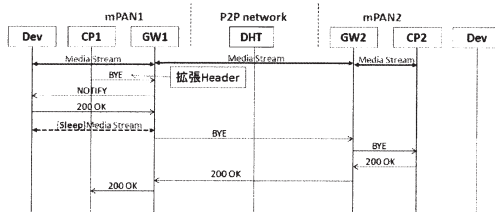


図5 セッション切断コールフロー

へのメディアストリーム転送を実現する。

3.4.3 セッション切断

通信を終了するためのセッション切断処理におけるコールフローを図5に示す。

前述のセッション確立、メディアストリーム転送を行い、通信している状況下において、CP1がBYEによる切断要求をGW1に対して送信する。それを受信したGW1は通信中のDevにはNOTIFYを送信してSleep処理を、GW2にはBYEを送信して切断処理を行う。GW2はCP2との切断処理を終えたら、切断処理が成功したことをGW1へ通知、GW1はCP1へ通知する。以上の手順で、セッション切断を実現する。

4. 実験及び評価方法の検討

4.1 実験環境

本アーキテクチャのプロトタイプを、NISTが提供しているSIP-Communicatorをベースとして、セッション制御に必要な機能を実装することでmPANサービスを実現する。SIP-Communicatorはオープンソースのフリーソフトであり、SIPプロトコルを通じてインターネット上の他の端末に対し、マルチメディア（音声や映像）コミュニケーションを提供するアプリケーションである。SIP-CommunicatorはすべてJAVAでコーディングされており、主なモジュールは図6のように、SIP、Media、GUIの3つから構成さ

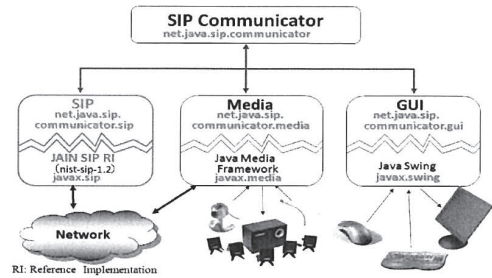


図6 mPAN サポート UA のアプリケーションデザイン

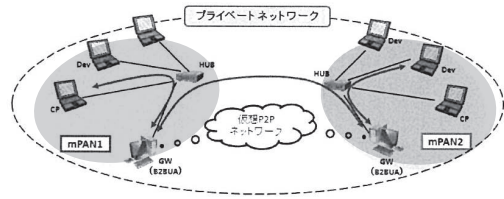


図7 実験環境

れる。MediaモジュールについてはJMF（Java Media Framework）を使用することで処理を実現している。P2P処理部分の実装はOverlay Weaver⁹⁾を用いる。Overlay Weaverは、オーバレイ構築ツールキットであり、DHT（Chord, Tapestry, Kademliaなど）やマルチキャストといった高レベルサービスに対する共通APIを提供している。さらに、新たに実装したアルゴリズムの試験、評価、比較のためのエミュレータ機能も提供している。

実験は、図2の提案モデルを模して、図7のような環境で行うことを検討している。CPは携帯端末を想定しているが、現段階では開発の容易さのためにノートPC上で動作させる。GWはP2Pネットワークを構築するが、大規模ネットワークを実機で構築するのは困難なため、Overlay Weaverでエミュレーションすることで仮想的にネットワークを構築する。なお、GWへの統合を想定しているSIPサーバは、現状では未統合であるため、実験では他機（ノートPC）上で動作させる。

実装プロトタイプはNAT越えについて未実装であるため、各端末のIPアドレスには固定プライベートアドレスを割り当て、電波強度の影響を受けないよう有線LANとHUBを用いて同一プライベートネットワークに接続させることにする。以上のような実験環境を想定して実装していく。

4.2 評価について

アドレス解決からセッション確立までに要する時間

をネットワーク規模の変化と比較して評価する予定である。測定には、図 3 において、アドレス解決時間は Overlay Weaver でエミュレーションした結果を用い、セッション確立時間は SIP メッセージング区間の始終でプログラム内にタイマーを埋め込んで動作させた結果を用いて、2つの時間を合わせる方法を用いる。このとき、DHT には Overlay Weaver で実装されている Chord を用いる。

5. おわりに

本稿では、mPAN アーキテクチャに P2P の仕組みを適用することで、サーバレスで FMC のような環境をユーザ主体で構築可能な P2P-mPAN を提案した。

今後は、P2P-mPAN のセッション制御、GW に P2P 機能を実装し、セッション確立までの遅延を測定・評価する予定である。遅延は、アドレス解決時間に大きく影響され、P2P プロトコルの探索効率が重要となる。よって、3章で言及したように、遅延短縮を実現するために新たな P2P プロトコルを提案し、Chord との比較・評価をしていくことを検討している。

参 考 文 献

- 1) 吉田瑞輝, 峰野博史, 水野忠則, "FMC を想定したリアルタイムメディアストリーム転送の評価," DICO 2008, pp.317-324, Jul. 2008.
- 2) G. Camarillo, A. Johnston, J. Peterson, R. Sparks, M. Handley, and E. Schooler, "SIP: Session Initiation Protocol," IETF RFC 3261, 2002.
- 3) P2P SIP, <http://www.p2psip.org/>.
- 4) I. Stoica, R. Morris, D. Karger, F. Kaashoek, and H. Balakrishnan, "Chord: A Scalable Peer-to-peer Lookup Service for Internet Applications," ACM SIGCOMM, Aug. 2001.
- 5) D. Bryan, B. Lowekamp, and C. Jennings, "SOSIMPLE: A Serverless, Standards-based, P2P SIP Communication System," AAA-IDEA, Jun. 2005.
- 6) K. Singh and H. Schulzrinne, "Peer-to-peer Internet Telephony Using SIP," Columbia University Technical Report CUCS-044-04, Oct. 2004.
- 7) L. Le, and G. Kuo, "Hierarchical and Breathing Peer-to-Peer SIP System," ICC 2007, pp.1887-1892, Jun. 2007.
- 8) C. Zhang, J. Shi, L. Li, W. Lin, Y. Wang, L. Gu, Y. Ji, and Z. Feng, "Signaling Latency Analysis of Peer-to-Peer SIP Systems," CCNC 2008, pp.505-509, Jan. 2008.
- 9) Overlay Weaver, <http://overlayweaver.sourceforge.net/>.
- 10) D. J. Watts, and S. H. Strogatz, "Collective dynamics of 'small-world' networks," Nature, vol.393, 1998.
- 11) G. S. Manku, M. Bawa, and P. Raghavan, "Symphony: Distributed Hashing in a Small World," 4th USENIX Symposium on Internet Technologies and Systems, 2003.