

## 移動透過通信を利用した P2P 型ファイル配布の評価

正岡 元<sup>†</sup> 関 顕生<sup>††</sup> 岸場 清悟<sup>†††</sup> 近堂 徹<sup>†††</sup> 西村 浩二<sup>†††</sup>  
相原 玲<sup>†††</sup>

<sup>†</sup> 広島大学大学院 総合科学研究科 〒 739-8521 広島県東広島市鏡山 1-7-1

<sup>††</sup> 広島大学 工学部 〒 739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1

<sup>†††</sup> 広島大学 情報メディア教育研究センター 〒 739-8511 広島県東広島市鏡山 1-4-2

E-mail: †{hajimechan,b056142,kishiba,tkondo,kouji,ray}@hiroshima-u.ac.jp

**あらまし** 近年, Linux や FreeBSD など Unix 系 OS の配布などで, BitTorrent をはじめとした P2P 型のファイル共有ソフトウェアが利用されている. P2P 型のファイル共有プロトコルでは, ノードのアドレス変更や切断にある程度対応するための仕組みが含まれている. しかし, 多くのノードが移動している場合など, アドレスが頻繁に変更される場合, 転送効率が低下し, 高速なネットワークであってもその帯域を十分利用できない. 一方, ネットワークを移動してもセッションを中断することなく通信を継続できる技術として移動透過通信がある. 移動透過通信を利用し P2P 型ファイル配布を行うことで, ファイル転送の速度向上を実現することができる. 本稿では, 移動透過通信を利用した場合の P2P 型ファイル配布時間を測定することにより, 多くのノードが頻繁に移動する環境におけるファイル配布方式について評価する.

**キーワード** 移動透過通信, P2P

## Evaluation of P2P Type File Distribution using IP Mobility

Hajime MASAOKA<sup>†</sup>, Akio SEKI<sup>††</sup>, Seigo KISHIBA<sup>†††</sup>, Toru KONDO<sup>†††</sup>, Kouji NISHIMURA<sup>†††</sup>,  
and Reiji AIBARA<sup>†††</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University  
Kagamiyama 1-7-1, Higashi-Hiroshima, Hiroshima, 739-8521 Japan

<sup>††</sup> Faculty of Engineering, Hiroshima University  
Kagamiyama 1-4-1, Higashi-Hiroshima, Hiroshima, 739-8527 Japan

<sup>†††</sup> Information Media Center, Hiroshima University  
Kagamiyama 1-4-2, Higashi-Hiroshima, Hiroshima, 739-8511 Japan  
E-mail: †{hajimechan,b056142,kishiba,tkondo,kouji,ray}@hiroshima-u.ac.jp

**Abstract** Recently, P2P type file sharing softwares including the BitTorrent are used by distributing Unix line OS such as Linux and FreeBSD. The mechanism to correspond to change of the IP address and terminate the network session is included in P2P type file sharing protocols. However, when the IP address is frequently changed as a lot of nodes move, the forwarding efficiency decreases, and even if it is a high-speed network, the bandwidth cannot be used enough. On the other hand, there is an IP mobility as a technology that can continue communicating without interrupting the session even if the node is moved. The speed of the file transfer can be improved by doing the P2P type file distribution by using an IP mobility. In this paper, we evaluate the file sharing protocol in an environment where a lot of nodes move frequently by measure the P2P type file distribution time with IP mobility.

**Key words** IP Mobility, P2P

## 1. はじめに

近年、Linux や FreeBSD など Unix 系 OS の配布など、ファイル配布元のサーバや通信帯域に負担をかけずに大規模なファイル配布を行う手法として、BitTorrent をはじめとした P2P 型のファイル共有ソフトウェアが利用されている。P2P 型ファイル共有ソフトウェアのアーキテクチャには、様々なファイルを同時に扱うものと、BitTorrent のように特定のファイルの大規模な配信を対象とするものがある。特定のファイルの配信を対象とする P2P 型ファイル共有アーキテクチャを応用して、ストリーミングなどリアルタイム性が必要なコンテンツ配信に活用するアプリケーションがある。大学においても、講義資料として動画コンテンツの配信や共有を行いたいという需要が考えられる。

一方、ネットワークを移動してもセッションを中断することなく通信を継続できる技術として移動透過通信がある。キャンパス内に整備された無線 LAN ネットワークの上で移動透過通信を利用することで学生のキャンパス生活を情報通信技術で支援するシステムとして、筆者らはキャンパス生活支援システム [1] を提案した。キャンパス生活支援システムでは、移動透過通信によってキャンパス内のどこにいても、移動しながら継続して動画や音声の双方向のコミュニケーションなどキャンパス生活に必要な情報を手に入れることができる。このキャンパス生活支援システムでは、ユーザである学生や教員が移動時にもネットワークに接続し、コンテンツを取得することを想定している。P2P 型ファイル共有を多数のユーザが移動している環境で行う場合、ネットワーク間の移動に伴うリンク切断やアドレス変更などによるセッションの切断の影響を受ける。

P2P 型のファイル共有プロトコルでは、ノードのアドレス変更や切断にある程度対応するための仕組みが含まれている。たとえば BitTorrent では、トラッカーと呼ばれるサーバがノードの IP アドレスやポート番号を管理し、ノードが新たにピースを取得する際にトラッカーに他のノードを問い合わせることでアドレス変更に対応している。また、ファイルを複数のピースに分割し、さらにピースを分割したサブピース単位でファイル転送を行う。BitTorrent のファイル転送とそのネゴシエーションを行うピアプロトコルでは、サブピースサイズを制限している。再送はこのサブピース単位で行われるため、ノードのアドレス変更や切断が起きた場合でも重複して転送しなければならないデータ量は小さく、大きな影響を与えない。

しかし、多くのノードが移動している場合などアドレスが頻繁に変更される場合には、トラッカーに新たな IP アドレスを通知することが間に合わず、トラッカーは他のノードからのリクエストに対して正しいノード情報を通知することができない。このような状況では、転送効率が低下し、高速なネットワークであってもその帯域を十分利用できない。ここで移動透過通信を利用して P2P 型ファイル配布を行うことを考える。移動透過通信によってノードのアドレス変更を隠蔽し、ファイル転送の速度向上を実現することができる。

本稿では、P2P 型ファイル配布プロトコルの中でも BitTor-

rent に着目し、移動透過通信を利用した場合のファイル配布時間を測定することにより、多くのノードが頻繁に移動する環境におけるファイル配布方式について評価する。

## 2. 移動時の P2P 型ファイル配布

### 2.1 移動端末へのファイル配布

キャンパスにおいて教員や学生は、講義などのためキャンパス内を移動する。しかし移動中は継続してネットワークを利用することが難しく、ネットワークの利用を一時停止し、移動後に再開する必要がある。さらにアプリケーションによっては、移動前のセッションを維持することができず、新たにセッションを開始しなければならない場合がある。そこで筆者らはキャンパス生活支援システムを提案し、学生や教員などのユーザが移動しながらネットワークを利用しつづけることができることを示した。

これを利用して動画など次の講義の資料を移動中に配布/取得し、講義に利用するなどの活用が考えられる。そのためには特定のファイルを大規模に配布でき、かつ移動を考慮したファイル配布システムが必要となる。

このような要求を満たすものとして、P2P 型のファイル配布システムが挙げられる。P2P 型のファイル配布システムには、BitTorrent や Napster、Gnutella など様々な仕組みが存在する。P2P 型のアーキテクチャを応用して動画ストリーミングなどリアルタイム性の高いコンテンツの配信に応用する試みも UG Live / Ocean Grid<sup>(注1)</sup> や SkeeDcast<sup>(注2)</sup> などいくつか存在する。P2P 型のファイル共有システムは、ファイル検索の構造によりクライアントサーバ型とピア P2P 型とに分類されるが、それとは別に BitTorrent のように単一のファイルを配布することに特化し、検索の仕組みを持たないシステムも存在する。BitTorrent 型のファイル配布システムでは、単一ファイルに特化することで公平かつ高速にファイル配布を行うことができる。この特徴は講義資料を短時間に多数のユーザに配布することを目的とする今回の要求に合っているため、ここでは BitTorrent 型のファイル配布システムについて整理する。

### 2.2 BitTorrent のプロトコル

BitTorrent<sup>(注3)</sup> は P2P 型のファイル配布ソフトウェア/プロトコルである。BitTorrent のファイル配布プロトコルは BitTorrent プロトコル仕様書 [2] に詳細に記されている。

まず、BitTorrent における用語の定義及び BitTorrent において特徴的な動作について述べる。

BitTorrent におけるファイル配布には以下にあげるいくつかのノードが登場する。これらのノードが BitTorrent プロトコルによって互いに情報を交換しあい、ファイル配布を行う。

- インデックスサーバ  
メタインフォファイルの提供を行う HTTP サーバ

(注1) : <http://www.utagoie.com/jp/technology/grid/live/index.html>

(注2) : <http://www.dreamboat.co.jp/service/sccds.html>

(注3) : <http://www.bittorrent.org/>

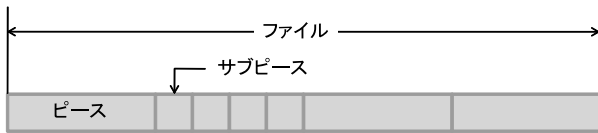


図 1 BitTorrent におけるファイルの分割

- **トラッカー**  
配布ファイルやダウンローダーの管理を行うノード
- **オリジンダウンローダー (ファーストシーダー)**  
ファイルの配布元となるノード
- **ダウンローダー**  
ファイルを取得するノード
- **シーダー**  
ファイルの取得を完了し、配布できるようになったダウンローダー
- **ピア**  
オリジンか否かにかかわらず、現在稼働しているダウンローダー

BitTorrent では、ファイルをピースと呼ばれる単位に分割して扱う。ピースのサイズは一般的に 128kByte から 256kByte が選択される。トラッカーは各ピアがどのピースを保持しているか管理する。そのため、ピアは保持しているピースを定期的にトラッカーに報告する。トラッカーはピアからのピースの要求に対して、そのピースを保持しているピアのリストを返す。ピア同士のデータ転送は、ピースをさらに分割したサブピース単位で行う。このファイルとピース、およびサブピースの関係を図 1 に示す。

あるダウンローダーがファイルを取得する際は、まずインデックスサーバから HTTP でメタインフォファイルを取得する。次にメタインフォファイルを読み込み、トラッカーに対して HTTP を用いて自分の IP アドレスやポート番号等の情報を登録する。メタインフォファイルにはファイルがいくつのピースに分割されているかや、ピースのサイズについて記述されている。ここでダウンローダーは HTTP を用いてトラッカーにピースのリクエストを行い、そのピースを保持している複数のピアの情報を取得する。その後、取得したピアに対して BitTorrent 独自のピアプロトコルを用いて接続し、各ピアの情報を取得する。このピアプロトコル上で、複数のピアに対して、ピースをさらに 16kByte 単位に分割したサブピースの要求を行う。この初期動作を図 2 に示す。

この際ダウンローダーは 1 つのピースが完成するまでは次のピースの取得は行わず、1 つのピースを完成させることに集中する。複数のピアからサブピースを取得することで効率よくダウンロードを行うが、最後のサブピースを要求したピアがたまたま低速なネットワークに接続していた場合、ピースの完成が遅くなってしまふ。そのため、BitTorrent は最後のサブピースの取得に End Game モデルを採用している。End Game モデ

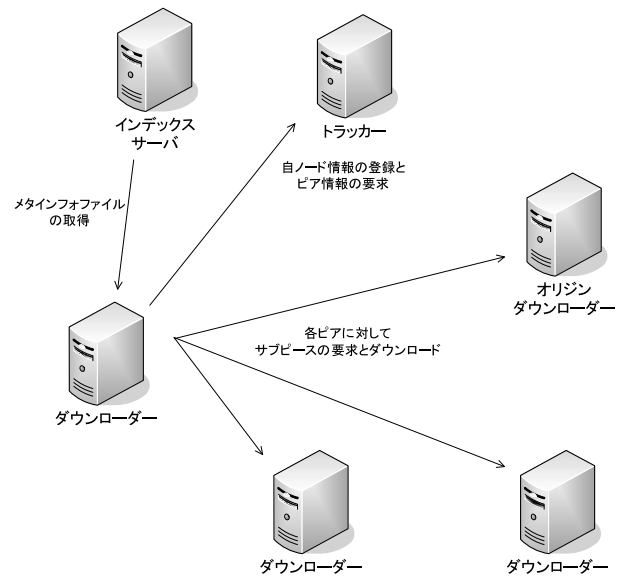


図 2 BitTorrent の初期動作

ルでは、最後のサブピースの要求を利用可能な全てのピアに送信し、可能な限り多くのピアからサブピースを取得する。これによって低速なピアに律速されることなくピースを完成させることができる。1 つのピースが完成したら、同じ手順によって次のピースの取得を行う。これを全てのピースに対して繰り返すことでファイルのダウンロードを行う。

この間 BitTorrent は定期的にトラッカーに対して自ノードの情報を登録し続ける。これによりトラッカーは常に全てのダウンローダーのアドレスや、保持しているピースの情報を最新に保つことができる。そのため、ダウンローダーのアドレスが変更されても、ただちにピアはそれを知ることができ、新しいアドレスに対して接続しなおすことができる。さらに、ピースを分割したサブピース単位で転送することで、切断時の破棄データを最小に抑えることができる。

### 2.3 BitTorrent の問題点

ファイル配布に参加する各々のノードは、様々な種類の回線によってインターネットに接続されている。そのため、ノード毎の帯域の違いや、ネットワークの切断、それに伴うアドレス変更などによってセッションは中断されてしまう。第 2.2 節に述べたように、BitTorrent 型のファイル配布プロトコルを用いることで、このような環境でも大きく効率を落とすことなく、かつファイル配布に参加しているノード全体に均等にファイルを配布できる。しかし多数のノードが移動を続けている状況では各ノードのアドレスは常に変化しているため、ノードがネットワークを移動するたびにセッションが切断され、アドレス変更に伴いプロセスの再起動が必要な場合もある。このような環境では再接続や再送コストが大きくなり、帯域を有効に活用することができず、転送効率が低下してしまう。

転送効率が低下する原因には他に、ピース要求時のピア選択アルゴリズムによるものや、ピースやサブピースのサイズによるものがある。前者の、ピアの選択アルゴリズムを変更することで効率を改善しようという試みに石津ら [3] や杉本ら [4] の研

突がある。これらの手法により、サブピース要求時のシグナリングや End Game モデルによる無駄なトラフィックを削減できる。しかし無駄なトラフィックの削減やネットワーク全体の負荷を下げることは可能だが、これらの手法だけではノードが移動している場合の転送効率を改善することは困難である。そこで、移動透過通信を利用ファイル配布を行い、セッションを維持したままネットワーク間を移動することを可能にする。移動透過通信ではアプリケーションに対してネットワークを移動しても変化しないアドレスを提供し、ネットワークに対してはその場で提供されるアドレスを用いて通信することで、アプリケーションに対して移動透過性を提供する。

次節では、移動透過通信の概略と移動透過通信を用いた BitTorrent 型ファイル配布システムの動作について述べる。

### 3. 移動透過通信を利用したファイル配布

#### 3.1 移動透過通信の概要

移動透過通信とはノードがネットワーク間を移動しても通信の途絶なく継続して通信できることを言う。移動透過通信を用いることで移動しながら映像伝送や VoIP などの双方向通信が可能である。移動透過通信を実現するアーキテクチャには MIP6 [5] や LIN6 [6], MAT [7] などが提案されている。

移動透過通信ではノード識別子と位置識別子の2つの識別子を用いる。例えば MIP6 では2つの識別子として Home Address と Care-of Address の2つの IPv6 アドレスを、MAT では Home Address と Mobile Address の2つの IPv6 アドレスを用いる。ノード識別子はノードに固定であり、通信相手の識別にはノード識別子を用いる。実際のネットワーク上の送信元及び先アドレスには、このノード識別子と対応する位置識別子を用いる。この識別子対を MIP6 では Binding, MAT ではマッピング情報と呼ぶ。移動透過通信では、これらの識別子の対を管理するために特殊なノードを用意する。この特殊なノードを MIP6 では HA(Home Agent), MAT では IMS(IP Address Mapping Server) と呼んでいる。

この特殊なノードが移動ノードの位置識別子を管理する。移動ノードはネットワークを移動する度に Binding やマッピング情報を HA や IMS に登録する。MIP6 では、移動ノードと HA との間にトンネルを張り、通信相手ノードとは Home Address を用いて通信する。MAT では、移動ノードや通信相手ノードにおいて Home Address と Mobile Address とのアドレス変換を行い、Mobile Address を用いて通信する。これらの方式により、移動ノードや通信相手ノードで動作するアプリケーションは常に固定の Home Address のみを扱えばよく、移動してもセッションを維持して通信を継続することができる。

本稿では、実験のために用いる移動透過通信の方式として MAT を選択する。移動透過通信であればどの方式であっても、多数のノードが移動している環境での BitTorrent の問題を解決することができる。ただし、帯域を最大限に活用することを目指す上では、常に最適経路で通信を行う MAT のアーキテクチャが適していると判断した。MAT を用いて移動ノード (MN) がネットワーク間をハンドオーバーする際のメッセージのやり

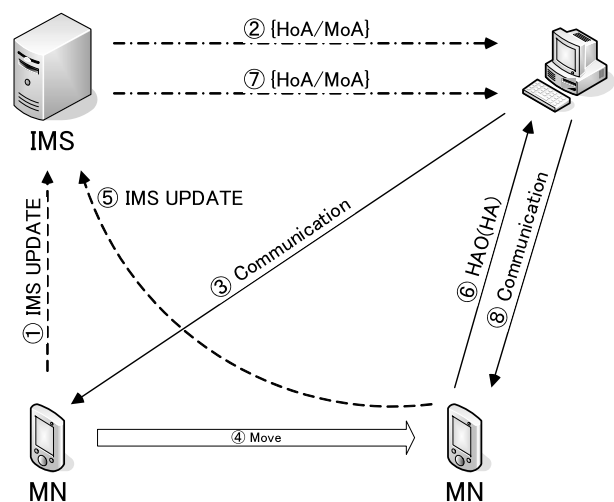


図3 MATのハンドオーバー動作

取りを図3に示す。

#### 3.2 移動透過通信を利用したファイル配布システムの動作

第2節に述べたように、現行の BitTorrent では、多数のダウンローダーが移動している場合に再接続や再送のため転送効率が低下してしまう。ここで移動透過通信を用いることで、ネットワーク移動時のアドレス変更を隠蔽し、セッション切断やプロセス再起動によるロスを低減する。

移動透過通信を利用している場合、ダウンローダーがネットワーク間を移動しても、アプリケーションが扱うアドレスは常に固定であり、変化しない。また、短時間で移動を完了した場合にはピアとのセッションが切断されることもない。そのため、再接続や再送による効率の低下は起きにくい。

## 4. 評価

#### 4.1 評価内容

BitTorrent によるファイル配布がアドレス変更によって受ける影響と、移動透過通信を用いることで改善される効果を BitTorrent を用いたファイル配布実験によって評価する。

キャンパス生活支援システムが想定しているような、多数のノードが移動している環境において BitTorrent 型ファイル配布システムを利用する際に必要とされる性能を評価する。移動している多数のノードへのファイル配布を短時間に行うためには、移動にともなう無駄なトラフィックを減らし、サーバやダウンローダーおよびネットワークへの負荷を低くする必要がある。これらの性能を評価するための評価項目として以下をあげる。

1. ファイル配布時間
2. ネットワーク帯域の使用率
3. トラッカーの負荷

講義の間などの限られた時間でファイル配布を完了できることを、全てのノードにファイルを配布するのに必要な時間を測定することで評価する。ネットワーク帯域の使用率の測定によって、移動にともなう無駄なトラフィックとそれによるネッ

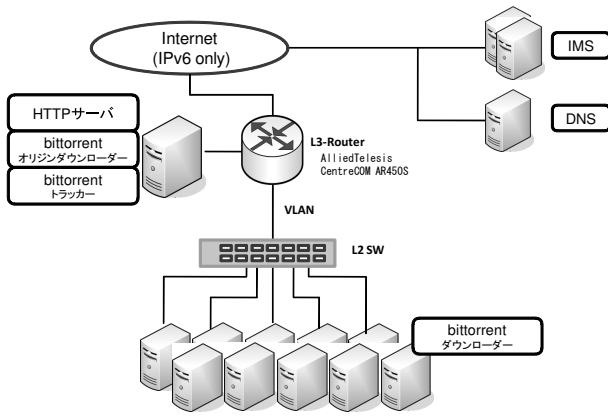


図4 実験環境

表1 実験機材の仕様

	トラッカー	ダウンローダー
CPU	P-D 3.40GHz	Celeron 900MHz
RAM	1024MB	128MB
OS	Debian 4.0	
kernel	2.6.16.5+MAT	

ネットワークへの負荷を求められる。ノードが移動する度に自ノードの情報を登録し、他のノードは新しいノード情報を要求するため、多くのノードを管理するコストが必要となる。移動によってトラッカーにかかる負荷を測定することで、トラッカーにおけるノード管理コストを評価する。

ここでは移動中のノードに対して十分に短い時間でファイル配布を完了することができるかどうかを評価するために、全ノードへのファイル配布時間を測定し、移動による配布時間への影響と移動透過通信による効果を示す。

#### 4.2 実験環境

実験は11台のPCを用いて行う。1台はメタインフォファイル配布するHTTPサーバとトラッカー、オリジンダウンローダーを兼ねる。つまり、1台から10台に対してファイルを配布する実験を行う。

BitTorrentの実装にはBitTornado<sup>(注4)</sup>を用いる。BitTornadoはPythonで書かれたBitTorrentクライアントであり、IPv6にも対応している。移動透過通信を用いた実験はDebian GNU/LinuxのIPv6環境で行うため、LinuxとIPv6の双方に対応したクライアントが必要であり、BitTornadoを採用した。

実験環境を図4に示す。オリジンダウンローダーおよびダウンローダーはNICを2枚持っており、全て異なるL3セグメントに接続する。10台のダウンローダーはL2SWを経由してVLANでL3Routerに收容し、ルーティングがL3Routerで行う。ダウンローダーとL2SWの間は100M-Fullであり、L2SWとL3Routerの間およびオリジンダウンローダーとL3Routerの間は1000M-Fullであるため、L2SWとL3Router間のVLANがボトルネックにはならない構成である。

また、実験に用いたPCの仕様を表1に示す。

実験は1GBのファイルを10台のダウンローダーに配布す

表2 ファイルの配布時間(10台の平均)

測定環境	試行回数				
	1	2	3	4	5
a	804	793	809	794	798
b	1417	1247	1458	1401	1426
c	837	916	849	834	853

る時間を計測する。あらかじめ各PCの時計はNTPを用いて同期しておく。10台同時にBitTorrentクライアントを起動し、起動時刻を配布開始時刻とする。ダウンロードが終了したファイルのタイムスタンプを配布終了時刻とし、開始時刻との差分を配布時間とする。各クライアント毎に配布時間を測定する。

アドレス変更による影響及び移動透過通信による効果とを比較するため、測定は以下の3つの環境でそれぞれ行う。

- ダウンローダー10台のアドレスを固定
- ダウンローダー10台のアドレスを変更(移動透過通信なし)
- ダウンローダー10台のアドレスを変更(移動透過通信あり)

なお、オリジンダウンローダーのアドレスは常に固定する。アドレスの変更はダウンローダーに用意した自律的に動作するスクリプトを用い、使用するNICを切り替えることで行う。アドレス変更の間隔は60秒とし、1台ずつ5秒ずらすことで同時にアドレス変更がおきないようにする。移動透過通信なしの環境ではアドレス変更の際にbindしたアドレスを失うため、アドレス変更と同時にBitTorrentクライアントの再起動を行う。

前述の3つの環境それぞれにおいて、BitTorrent起動時からファイル配布が終了するまでの時刻を1台ごとに計測し、10台の平均値を求める。これを各環境ごとに5回繰り返し、結果を得る。

#### 4.3 実験結果

実験結果を表2に示す。表中の測定環境は4.2節に挙げた3つの測定環境のa, b, cにそれぞれ対応する。測定結果の単位は秒である。

この測定結果をみると、移動透過通信を利用しないbの環境でネットワーク間の移動を頻繁に行った場合、移動を行わないaに比較してファイルの配布にかかる時間が平均して74%増加している。これは、移動の際のアドレス変更によりクライアントを再起動し、トラッカーへノード情報を送信しなおすまでのアドレスを変更したノードにおける影響に加えて、ダウンロード中に相手のアドレス変更により切断されたことによるトラッカーへのピア要求および、ピアへのピース要求のアドレスを変更したノード以外のノードが受ける影響によるものである。一方移動透過通信を利用したcの環境では、固定ネットワークであるaに比較して配布時間は若干延びるものの、平均して7%程度に納まっている。

これらの結果から、多数の端末が移動している環境においてファイル配布を行う際に、移動透過通信を利用してP2P型ファイル配布を行うことで、移動の影響を最小限に抑えたと上で、高速で転送効率の高いファイル配布を行うことができる。

(注4) : <http://www.bittornado.com/>

## 5. ま と め

キャンパス内の無線 LAN ネットワークの普及などにより、移動しながらネットワークを活用する需要が増加している。その一つが、BitTorrent をはじめとした P2P 型ファイル配布システムである。しかし現行の P2P 型ファイル配布システムのプロトコルでは、ノードのアドレスが変化したりネットワークから切断されることに対してある程度は対応し、著しく転送効率が低下することがないように設計されている。しかし、ノードが継続的にネットワークを移動し続ける場合には転送効率が低下するという問題がある。

そこで本稿では、移動透過通信を利用して P2P 型ファイル配布システムを動かすことで、多数のノードが継続的に移動し続ける場合でも P2P 型ファイル配布システムを利用することを提案した。さらに実験によってノードが継続的にネットワークを移動する環境において BitTorrent によるファイル配布がどのような影響を受けるか示した。また、移動透過通信を用いることでノードがネットワークを移動することによる影響を低減し、移動しながらでも効率のよいファイル配布が可能であることを示した。

## 謝 辞

ファイル配布実験の環境の構築にあたり機材を提供していただいた、広島大学の田島浩一氏に感謝いたします。

本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金(19300019, 20300029, 20700066)、総務省戦略的情報通信研究開発推進制度(SCOPE-地域 ICT, 082308001)及び、広島市立大学平成 19, 20 年度指定研究(7203)の支援を受けて実施しています。ここに記して謝意を表します。

## 文 献

- [1] 正岡, 田島, 岸場, 西村, 相原, 前田: “移動透過通信を用いたキャンパス生活支援システム”, マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム論文集, **2007**, 1, pp. 873–878 (2007).
- [2] B. Cohen: “Bittorrent protocol specification v1.0”.
- [3] 石津, 船阪, 石田: “P2p ネットワークにおける冗長トラフィックの削減を目指したファイル取得方式”, 電子情報通信学会技術研究報告. IN, 情報ネットワーク, **107**, 378, pp. 109–114 (2007).
- [4] 杉本, 田頭, 藤田: “Bittorrent 型並列ダウンロードシステムにおける効率的なマッチメイキング手法の提案”, 電子情報通信学会技術研究報告. IN, 情報ネットワーク, **106**, 578, pp. 167–172 (2007).
- [5] D. Johnson, C. Perkins and J. Arkko: “Mobility Support in IPv6”, RFC 3775, IETF (2004).
- [6] M. Ishiyama, M. Kunishi, K. Uehara, H. Esaki and F. Teraoka: “Lina: A new approach to mobility support in wide area networks”, IEICE Transaction on Communication, **E84-B**, 8, pp. 2076–2086 (2001).
- [7] 相原, 藤田, 前田, 野村: “アドレス変換方式による移動透過性インターネットアーキテクチャ”, 情報処理学会論文誌, **43**, 12, pp. 3889–3897 (2002).