

コンテンツ配布のためのネットワーク距離を考慮した 構造化オーバーレイ構築手法

大久保 拓哉^{†1} 植田 和 憲^{†1}

近年増加が続く P2P ネットワークアプリケーションによるトラフィックの影響で、ISP などのネットワーク運営者への負担が増大している。P2P ネットワークアプリケーションがコンテンツ検索などに用いるオーバーレイネットワークは、その多くがネットワークの物理的な接続関係を考慮せずに構築されているため、結果としてネットワーク間をまたぐトラフィックの増加の原因になっている。そこで、本研究では、ネットワークをまたぐトラフィックの削減を目的として、コンテンツ検索のためにネットワークの物理的距離を考慮したオーバーレイネットワークを含む複数のオーバーレイネットワークを用いるコンテンツ配送システムを提案する。

P2P Contents delivery network system with an overlay network based on network distance

TAKUYA OOKUBO^{†1} and KAZUNORI UEDA^{†1}

In recent years, traffic caused by P2P (Peer-to-Peer) network applications has increased and consumed resources of many networks such as commercial networks or campus networks. Since overlay networks constructed by many P2P network applications are not based on network topology, many queries and many files are exchanged among networks. To solve this issue, we propose a new P2P contents delivery system. Each peer searches files on our proposal system for contents delivery above overlay networks and one of them is based on distance of network.

1. はじめに

近年、インターネットの利用形態の変化によってネットワーク上のトラフィックは増加の傾向にある。総務省の調査¹⁾によると、2008 年 11 月時点のダウンロードトラフィック総量は約 990Gbps で、前年の約 1.2 倍となっている。また、カナダの Sandvine Incorporated 社が 2008 年に発表したレポートによれば、アップロード総トラフィックの約 61 %にもなると予測されている²⁾。

これに対して、ISP は様々な解決策を実施している。最もよく行われているのが P2P トラフィックに対する制限である。国内 ISP のぶらは 2003 年に平均トラフィックを大幅に超える利用があった場合、トラフィックを制限すると発表している³⁾。また、同年に、BIGLOBE は帯域制限を行えるように会員規約を改定した。2003 年は Winny⁴⁾ や BitTorrent⁵⁾ 等の P2P ファイル共有ソフトウェアの利用者が増え P2P トラフィックが増加傾向にあった年である。特に BitTorrent はブロードバンド・トラフィックの 18 %という報告がある⁶⁾。

一般のアプリケーションでは主としてダウンロードトラフィックが多いが、P2P トラフィックではネットワーク外に対するサービスも行われるためにアップロードトラフィックも多いという特徴がある。ISP はトラフィックが増加した場合バックボーンを強化するのが普通であるが、特定の一部のユーザが多くのネットワーク資源を消費することから、P2P トラフィックの増加への対応として帯域制御もよく行われた。帯域制御を行う理由としてさらに、コスト面の問題も挙げられる。ISP はピアリングもしくはトランジットという形態で他のネットワークと接続しているが、特にトランジットによる接続の場合、ネットワーク間のトラフィックの量がコストに影響するため、なるべくその量を減らすことが望ましい。

そこで本研究では、ネットワーク距離を考慮したオーバーレイネットワークを構築しトラフィックを可能な限り地域内ネットワークに収めることで、ネットワーク全体における総トラフィックを削減することを目的とする。ネットワーク距離を考慮したオーバーレイネットワークの構築方法として、既存研究の P2P クラスタリング手法を用いた。今回、ネットワーク距離の算出に RTT (Round Trip Time) や TTL (Time To Live) の値を用いた。提案システムのアプリケーションとして、P2P ネットワークでのコンテンツ配信を考えた。このモデルでは、コンテンツに設定された人気度（所持しているノードが多いほど高い）を基に、ネットワーク距離が近いノードからコンテンツの探索を順に行うことで、ネットワークをまたがる通信の量を削減できると考えられる。

^{†1} 高知工科大学
Kochi University of Technology

2. 構造化オーバーレイネットワーク

実際のネットワークの管理・制御を行うにはネットワークを行う情報通信機器の接続状態、すなわちネットワーク構成を管理しなくてはならない。一方、ネットワークに存在する複数の情報通信機器や通信回線を意識せずに通信機器やノード同士の論理的な接続関係に基づいてネットワーク管理をおこなう場合がある。このような、実際には直接接続していないが、しているものと見なしたネットワーク構成をオーバーレイネットワークという。

構造化オーバーレイネットワークとは、上記のネットワーク構成を一定のルールに従って構築したオーバーレイネットワークのことで、DHT（分散ハッシュテーブル）や Skip Graph などが存在する。

2.1 Skip Graph

Skip Graph は、ノードを効率的に探す事が出来る構造化オーバーレイである。Skip Graph は、ノードにキーを与えておき、探索を行う時に与えられたキーと同じ（もしくは近い）ノードを探し出す。探索には、skip list というデータ構造を用いる。

2.1.1 skip list

skip list⁷⁾ は 1990 年に William Pugh によって提案された図 1 のような木構造を構成するためのデータ構造である。図 1 の四角の箱はノード表しており、中の数字はキーを表している。skip list ではノードはキー順に並び、最下層には全ノードが存在し、層 i に存在するノードは $i-1$ に存在するノードが確率 p （図 1 では $1/2$ ）で上層に存在するという規則によって構成される。

skip list を用いての探索は、図 2 のように再上層の HEAD から始まる。図 2 ではキー 52 のノードを探索する。まず、HEAD から始まり、レベル 2 のキー 13 のノードに到達したとき、次のノードはキーの値が 52 を超えてしまうため、下層に移り、キーの値が 37 のノードに到達し、キーの値である 37 の次はキーの値が 52 を超えてしまうため、下層に移りキーの値が 52 のノードを発見するという手順になる。

3. P2P ネットワークモデル

サーバが存在するクライアント・サーバモデルと違い、サーバが存在せず各ノードが自律的に他のノードに直接接続するネットワークモデルを P2P ネットワークモデルという。P2P ネットワークモデルは、サーバの運用・管理・保守などの作業が必要なくコストが削減できる、また、各ノードが分散してネットワークを維持することによって負荷が 1 台のノ

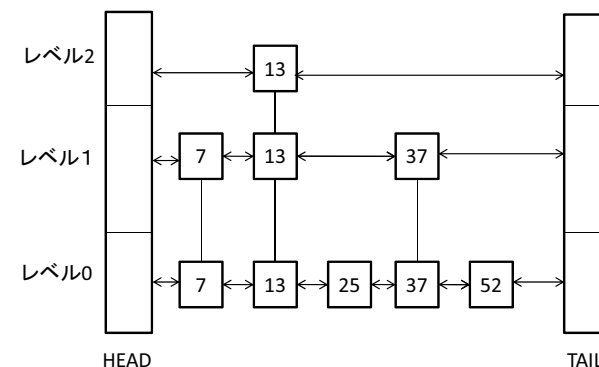


図 1 skip list

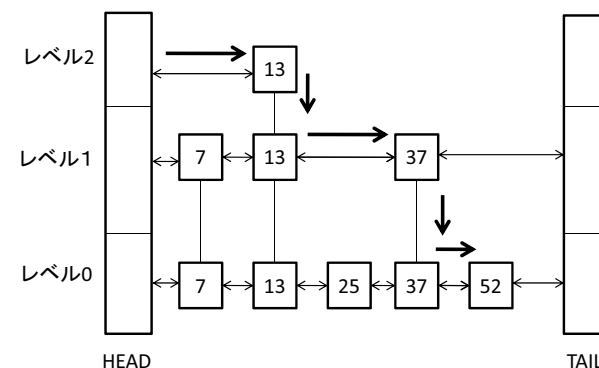


図 2 skip list を使用しての探索

ドに集中せず、ネットワーク規模に応じてシステム規模を増加する必要がない、などの特徴がある。

2004 年、P2P トラフィックは急増し総トラフィックの 60 %にも及んだが、現在では増加傾向は落ち着いているが、全体を占める割合は多い。

3.1 ネットワーク高度利用推進協議会

ネットワーク高度利用推進協議会⁸⁾では、新たな P2P 技術のガイドラインの策定、実証実験を行っている。ネットワーク高度利用推進協議会では、P2P トラフィックとインフラと

をめぐる課題として、コンテンツを取得する際、近くのピアではなく、遠くのピアから取得してしまう問題を指摘している。そこで、相手の所属ネットワーク情報を元に、データ要求・送信先を選択するという解決策を提示しているが、効果が実証されているとは言い難いとしている。

3.2 P4P

P4P は、DCIA (Distributed Computing Industry Association)⁹⁾ 内の P4P ワーキンググループにて議論されている P2P に代わる通信プロトコルのことである。P4P は、「Proactive network Provider Participation for P2P」もしくは「Provider Portal for P2P」の略で、P2P ネットワークの運営を ISP に協力してもらおうというものである。P2P アプリケーションがネットワークの効率的運用をするためには、相手ノードまでのネットワーク構成や利用可能帯域、パケット喪失率等の情報が必要である。P4P では、これらの情報を ISP が P2P アプリケーションに対して提示し、トラフィックの制御・管理を行うことで、P2P ネットワークの利用効率、通信速度を向上することが出来る。

3.3 P2P におけるノードのネットワーク距離に基づく階層的クラスタリング手法

P2P におけるクラスタリング手法（以下 P2P クラスタリング手法）は上田達也氏らによって提案¹⁰⁾ されている。この手法ではノードは動的かつ階層的にクラスタリングを行い、各クラスタにはネットワーク距離的に近いノードが同じ集合に属する。P2P クラスタリング手法では、各ノードは自分が所属する末端クラスタの全ノードへのポイントと、各階層において自分が所属するクラスタと同じ親クラスタに属する他のクラスタ（以下兄弟クラスタ）に属する任意の 1 ノード（以下代表ノード）へのポイントを持つ。図 3 を参考に示す。

図 3 はノード A の保持ポイントを矢印を使って表している。最上位レベル（階層 1）では A は<C0>に属しているため、兄弟クラスタである<C1>の代表ノード（図 3 では G）へのポイントを保持し、階層 2 ではノード A は<C00>に属しているため、兄弟クラスタである<C01>の代表ノード（図 3 では C）へのポイントを保持する。そして、末端クラスタである<C00>に属している全ノード（図 3 では B）へのポイントを保持する。

各ノードは、上述した情報をクラスタ表で管理する。階層数が n、サブクラスタ数が d とした時のクラスタ表の例を表 3.3 に示す。各クラスタ情報はクラスタの種類によって異なり、表 2 の情報を保持する。クラスタ ID は各クラスタ固有の識別子、遠方ノードのリストは自ノードとの距離を測定したものを遠い順に並べたもの、バックアップノードのリストは、代表ノードが使用できなくなったときに使用するノードのリストである。

ノードが新規にクラスタリングに参加する場合、サブクラスタ数が規定値に達していない

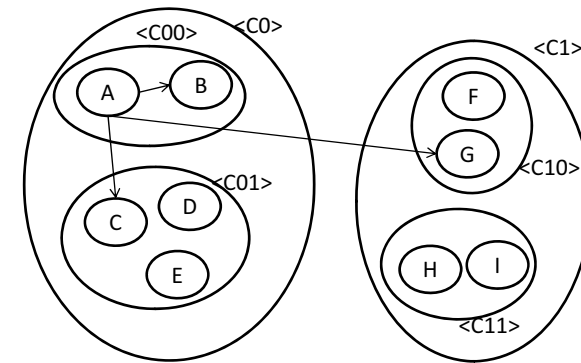


図 3 各クラスタへのポイント例

階層	所属クラスタ	兄弟クラスタ 1	兄弟クラスタ 2	...	兄弟クラスタ n
1	<C0> (のクラスタ情報)	<C1>	<C2>	...	<Cn>
2	<C00>	<C01>	<C02>	...	<C0n>
...					
d	<Cd0>	<Cd1>	<Cd2>	...	<Cdn>

表 1 クラスタ表 (n はサブクラスタ数 d は階層数)

クラスタの種類		保持する情報
所属クラスタ	末端以外	クラスタ ID, 遠方ノードのリスト, 代表ノード (自ノード)
	末端	クラスタ ID, 所属する全ノードのリスト, 遠方ノードのリスト, 代表ノード (自ノード)
兄弟クラスタ		クラスタ ID, 代表ノード, バックアップノードのリスト

表 2 クラスタ情報

場合はクラスタを新たに生成し、達していた場合は、ネットワーク距離に近いクラスタに所属する。また、ノードは一定の間隔で、より近いクラスタに所属クラスタを変更する。

3.4 コンテンツ配信アプリケーション

既存の P2P 型コンテンツ配信アプリケーションには、ファイル共有ソフトの Winny⁴⁾ や BitTorrent⁵⁾ などがある。

3.4.1 Winny

Winny⁴⁾ は日本製の P2P ファイル共有ソフトである。Winny のネットワークはユーザ指定のキーワードと回線速度を基にした階層型のクラスタ構成になっている。ファイルを公開するとファイルのキー（ファイル位置情報やファイル名等）が生成され、隣接ノードに拡散していく。そのため、キーはファイルを持っているノードの上位に問い合わせれば得ることができる。更に、検索途上にあったノードにもキーは複製される。キーはファイルを保持しているノードがネットワーク内に存在していれば定期的に送られてくるので、一定時間がたつと破棄されるようになっている。このようにして、Winny は検索性能を向上している。

3.4.2 BitTorrent

BitTorrent⁵⁾ は、ブルーム・コーエン氏によって開発されたファイル転送プロトコルおよびそのソフトウェアである。BitTorrent では、ファイルはピースとトレントファイルに分解される。ファイル検索者は Web サーバからトレントファイル入手する。トレントファイルにはすでに接続しているノードを保持しているサーバやファイルの情報が記されており、その情報を基にサーバに接続して、すでに接続しているノードの情報を取得し、ピースを取得する。ダウンロード中のノードはピース送信者が持っていないピースを送り返す。こうすることにより BitTorrent は、人気のあるファイルなほど、アップロード者が増え、より多くのユーザにファイル配布を行えるようになっている。BitTorrent は、トレントファイル入手しないと、ファイルのやり取りが出来ないため、著作権保護がしやすいという点がある。そのため、多くの企業が BitTorrent を使用してファイルを提供している。例えば株式会社コナミデジタルエンタテインメント¹¹⁾ は、自社の人気コンシューマゲームのアップデートの配信を BitTorrent を使用して行っている。

4. 研究概要

本研究では、P2P ネットワークのコンテンツ配布アプリケーションにおいて総トラフィックの削減を目指す。

P2P ネットワークをネットワーク距離を考慮した構成にし、ネットワーク距離が近いノードからコンテンツを取得する。これは第 3.1 節で述べた近くのピアより遠くのピアから取得するという問題の解決に繋がると考える。また、第 3.2 節で述べた P4P も同様の意図を持ったものである。

P2P ネットワークにおけるコンテンツ配信アプリケーションにおいて、ネットワーク距離を考慮した P2P ネットワークを構成することの有用性を検証する。ネットワーク距離が

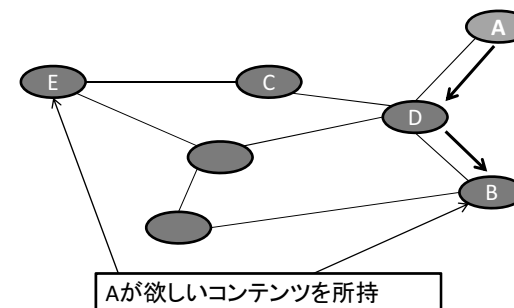


図 4 イメージ図

近いノードからコンテンツを受信することにより、ネットワークの総トラフィックを削減させることが出来ると考えられる。図 4 はイメージ図である。ノード A が検索要求したコンテンツをノード E と B が所持していると仮定すると、E から取得するよりも B から取得した方がネットワーク距離は近い。この時、D-B 間と D-C 間が同じネットワーク距離だとすると C-E 間分ネットワーク内のトラフィックを削減できることになる。本研究では、第 3.3 節で述べた P2P クラスタリング手法を用いて、ネットワーク距離を考慮したネットワークを構成する。

検索精度を高めるため、コンテンツ配信アプリケーションは構造化オーバーレイネットワーク上に構築する。構造化オーバーレイネットワーク上に P2P クラスタリング手法を用いたネットワークを構築し、コンテンツ配信機能をその上に構築する（図 5）。

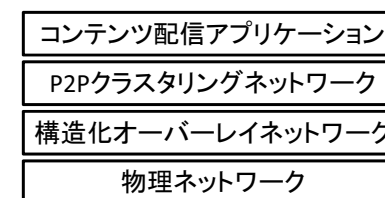


図 5 提案システムの構成図

ネットワーク距離でクラスタリングを行うため、上位のクラスタ間ほど遠いことになる。そこで、上位のクラスタ間でトラフィックが発生しなければトラフィックは削減できていると考えることができる。コンテンツの人気度によっては、ネットワーク距離でネットワー

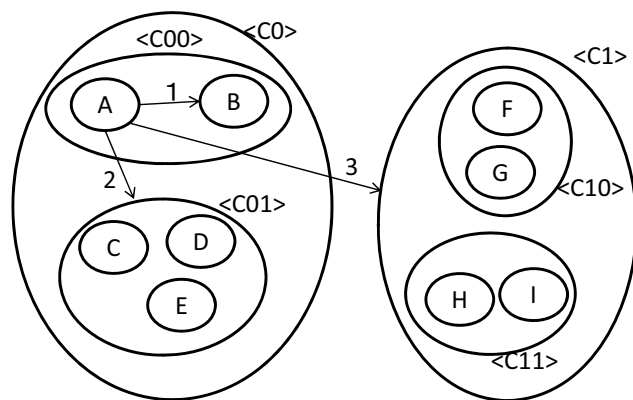


図6 検索手順

クを構成せずに、従来のコンテンツ傾向によってネットワークを構成を構築した方がトラフィックは削減できる可能性がある。そのため、本研究では、人気度がどの程度の時にコンテンツ傾向によるネットワーク構成の方がトラフィックを削減できるのかも調査を行う。

4.1 コンテンツ配布機能

本研究のコンテンツ配布機能は、最下位から問い合わせが始まり、徐々に上位に問い合わせる。検索するキーワードはコンテンツ名などの特定のコンテンツを指定するものではなく、属性を指定してある程度ファジィに検索する。そのため、検索結果はまずコンテンツのリストを取得し、そこから欲しいコンテンツを指定してダウンロードを行う。

図6を使って説明する。まず、ノードAが探索要求を出すと、最下位のクラスタがAと同じ(<C00>)ノードBに問い合わせる。ノードBは、保持しているコンテンツから、ノードAが問い合わせたコンテンツの属性と一致しているコンテンツのリストをノードBに送信する。ノードAが欲するコンテンツが見つからなければ、見つかるまで上位のクラスタ(<C01>)に問い合わせる。最上位のクラスタに問い合わせを行うか、コンテンツが見つかるまで行う。欲しいコンテンツが見つかったら、コンテンツを取得するという流れになる。

5. シミュレーションによる評価

第3.3節で述べた、P2P クラスタ手法を用いたネットワーク距離を考慮したネットワークをP2P エージェントプラットフォームであるPIAX上に構築し、コンテンツ配信機能を

実装し、シミュレーションを行う。

5.1 シミュレーション環境

「P2Pによるインターネットノードの階層的クラスタリング」¹⁰⁾で示されている内容に従い、サブクラスタ数は2、階層数は $((\log_2 n) - 1)$ を用いる。なお、nはノード数である。また、PIAXの下位レイヤーの構造化オーバーレイには、Skip Graphを採用する。それぞれのノードには、10個のランダムなコンテンツを与える。コンテンツは100個用意し、それぞれのコンテンツに属性を1種類与えた。シミュレーションは、100,200,300,400,500ノードで行う。シミュレーションの手順を100ノードで行う場合を例に以下に示す。

- (1) 100ノードがネットワークに参加
- (2) それぞれのノードがクラスタ作成もしくは参加
- (3) それぞれのノードにコンテンツを10個与える
- (4) それぞれのノードが保持しているコンテンツ属性の傾向を得る
- (5) rejoin処理を開始する
- (6) それぞれのノードがrejoin処理を5回行うまで待つ
- (7) ランダムなノードが、ランダムにコンテンツを探索

手順6の時にrejoin処理を5回行うまで待つ理由は、ノードが所属するクラスタが適切ではない可能性があるためである。手順7の時に流れるトラフィックを計測する。コンテンツの人気度によって、どのようにトラフィックが流れているか計測し、評価する。また、探索するコンテンツはコンテンツ属性の傾向が高いコンテンツを探索する。これは、保持しているコンテンツ属性ほど探索する可能性が高いためである。更に、Winny等のようにコンテンツ傾向でクラスタリングした場合との比較を行う。平均を取得するため、上記の処理は5回行う。

5.1.1 PIAX

PIAX¹²⁾は、エージェントベースのP2Pプラットフォームである。PIAXは下位レイヤーにDHTやLL-NET, Skip Graph等複数のオーバーレイネットワークを処理できるようになっている。上位レイヤーにはユーザーが開発したP2Pエージェントを稼働させるためのレイヤーが存在しており、よく使用される機能をライブラリとして提供している。

5.2 シミュレーション結果の考察

今回行うシミュレーションでは、ネットワーク距離を考慮したオーバーレイネットワークによってトラフィックを削減できるのかを、評価する。総トラフィックが削減できていれば、ネットワーク距離を考慮したネットワークは有効であるといえる。コンテンツの人気度が高

い場合は、ネットワーク距離の近いノードから受け取ることができるため、検索およびデータ転送においてトラフィック削減を図ることができると考えられる。ただし、コンテンツの人気度が低い場合は、近くのノードがそのコンテンツを保持している確率が低くなるため、平均して遠くのノードからコンテンツを取得することになると考えられる。その場合、従来のコンテンツ傾向でネットワークを構成する手法のほうが有効であるといえる。しかし、人気度が高いコンテンツは検索される回数も多いと考えられるため、ネットワーク距離でオーバーレイネットワークを構築する提案システムのほうが有効であると考えられる。

6. ま と め

近年、増加傾向にあるネットワークトラフィックの中でも特に P2P トラフィックはそれが顕著であり 2008 年時点で総トラフィックの 61 % を占めていた。そこで本研究では、ネットワーク距離を考慮したネットワークを構築することで、P2P トラフィックを削減することを目的とし、コンテンツ配送のためのオーバーレイネットワーク構築手法及びコンテンツ検索システムの提案を行った。シミュレーションでは、ネットワーク距離を考慮したオーバーレイによるネットワークと既存のクラスタリング傾向で構成したネットワークとを比較し、総トラフィックを削減できるのかを評価する予定である。

参 考 文 献

- 1) 総務省：総務省 — 我が国のインターネットにおけるトラフィックの集計・試算. available at http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/090227_3.html.
- 2) Sandvine Incorporated: Sandvine : Sandvine Releases Global Internet Traffic Trends Report. available at http://www.sandvine.com/news/pr_detail.asp?ID=203.
- 3) Plala Networks Inc.: B フレッツ値下げ、ぶららフォン for フレッツ特割の開始、トラフィック制御の開始について. available at http://www.plala.or.jp/access/topics/03_oct/20031020.html.
- 4) 金子 勇：Winny の技術，株式会社アスキー (2005).
- 5) BitTorrent, Inc: BitTorrent. available at <http://www.bittorrent.com/>.
- 6) Ellis, L.: BitTorrent's Swarms Have a Deadly Bite On Broadband Nets. available at http://www.multichannel.com/article/87516-BitTorrent_s_Swarms_Have_a_Deadly_Bite_On_Broadband_Nets.php.
- 7) Pugh, W.: Skip lists: a probabilistic alternative to balanced trees, *Communications of the ACM*, Vol.33, No.6, pp.668–676 (1990).
- 8) 財団法人マルチメディア振興センター：ネットワーク高度利用推進協議会. available

at <http://www.fmmc.or.jp/p2p-web/>.

- 9) Distributed Computing Industry Association: Distributed Computing Industry Association (DCIA). available at <http://www.dcia.info/>.
- 10) 上田達也，安部広多，石橋勇人，松浦敏雄：P2P によるインターネットノードの階層的クラスタリング，情報処理学会論文誌， Vol.47, No.4, pp.1063–1076 (2006).
- 11) Entertainment, K.D.: 株式会社コナミデジタルエンタテインメント. available at <http://www.konami-digital-entertainment.co.jp/>.
- 12) BBR Inc. and Osaka University: PIAX. available at <http://www.piax.org/>.