

NDN の AS 間トラフィック削減のためのミラー動的配置法

曹 栩珩[†] 上山 憲昭^{††}

[†] 立命館大学 情報理工学研究科
〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1
^{††} 立命館大学 情報理工学部
〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1

E-mail: [†]gr0579sp@ed.ritsumei.ac.jp, ^{††}kamiaki@fc.ritsumei.ac.jp

あらまし SNS やストリーミングの普及に伴い、インターネット上を流れるトラフィック量が急激に増えている。そのため、ネットワーク上のノード及びパブリッシャーにかかる負荷が爆発的に増加しており、より良いネットワークサービスを提供するために、色々な緩和策を提案されていた。負荷分散かつ配信性能の向上のために広く使われているコンテンツデリバリーネットワーク (CDN: Content Delivery Network) がその一例として挙げられる。しかしユーザがネットワークに求めるものと、ネットワークのパラダイムとの間に矛盾が生じており、根本的な解決策とはならない。何故かという、すなわち SNS やストリーミングを利用するユーザにとって、コンテンツの配信元は重要ではなく、コンテンツその物さえ正しければいい。しかし TCP/IP はコンテンツではなく、コンテンツの配信元であるホストに着目したパケット転送方式を採用している。そこで情報指向ネットワーク (ICN: information-centric networking) がコンテンツを効率的に配信する新しいネットワークアーキテクチャとして提案された。本研究が想定する Named Data Networking (NDN) は ICN の実現形態の一種である。NDN におけるパケット転送に用いられる識別子はコンテンツの配信元となるホストを表す IP アドレスではなく、直接コンテンツを表すコンテンツ名である。NDN はネットワーク内のキャッシング機能を備えており、NDN はコンテンツ配信性能を高められると期待されている。しかし NDN においても、コンテンツのオリジナルが近隣に存在しない場合、依然として遠方よりコンテンツを取得する問題が存在している。そこで本稿では AS 間トラフィック量の削減を目的に、動的にコンテンツのオリジンなるのコピー (ミラー) を生成する方式を提案する。また、より現実的な状況を反映するため、現実のコンテンツの人気の変動を考慮した計算機シミュレーションにより、提案方式の性能を評価する。そして提案方式の有効性を確認する。

キーワード ICN, NDN, キャッシュポリシー

Dynamic Mirror Placement for Reducing Inter-AS Traffic in NDN

Xuheng CAO[†] and Noriaki KAMIYAMA^{††}

[†] Graduate School of Information Science and Engineering, Ritsumei University
1-1-1, Nojihigashi, Kusatsu, Shiga 525-8577
^{††} College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University
1-1-1, Nojihigashi, Kusatsu, Shiga 525-8577

E-mail: [†]gr0579sp@ed.ritsumei.ac.jp, ^{††}kamiaki@fc.ritsumei.ac.jp

Abstract With the proliferation of SNS and streaming, the amount of traffic flowing over the Internet has dramatically increased. As a result, the load on network nodes and publishers has exponentially increased, and various mitigation measures have been proposed to provide better network services. One example widely used for load balancing and improving delivery performance is Content Delivery Network (CDN). However, there is a contradiction between what users expect from the network and the network paradigm, and it does not provide a fundamental solution. The reason is that for users who use SNS and streaming, the content source is not important as long as the content itself is correct. However, TCP/IP adopts a packet forwarding method that focuses on the host, which is the content source, rather than the content itself. Therefore, Information-Centric Networking (ICN) has been proposed as a new network architecture to efficiently deliver content. Named Data Networking (NDN), which is assumed in this study, is one form of ICN realization. The identifiers used for packet forwarding in NDN are content names that directly represent the content, rather than IP addresses representing the content source. NDN includes caching functionality within the network, and it is expected to improve content delivery performance. However, even in NDN, the problem of retrieving content from a remote location still exists when the original content is not available nearby. Therefore, this paper proposes a method to dynamically generate copies (mirrors) of the content's origin in order to reduce inter-AS traffic. Furthermore, a computer simulation considering the popularity fluctuations of real-world content is conducted to evaluate the performance of the proposed method and verify its effectiveness.

Key words ICN, NDN, Cache policy

1. はじめに

近年、SNS とストリーミング配信の急速な普及により、膨大な数のコンテンツが提供されている。また、これらのコンテンツにアクセスするためにインターネットに接続するデバイスも急増している。それに伴いネットワークやパブリッシャへの負荷が急増し、QoS の低下が問題視されている。他に、複数の遠隔地における同一のコンテンツ配置による要求オーバーヘッドという問題もある [11]。従来、コンテンツ配信の品質向上とコスト低減のためにコンテンツデリバリネットワーク (CDN: Content Delivery Network) が広く用いられている。CDN は多数のキャッシュサーバーで構成され、コンテンツをパブリッシャのオリジンサーバーの代わりにキャッシュサーバーから配信することで、コンテンツを提供するパブリッシャのオリジンサーバーの負荷を軽減し、要求ユーザの近くからコンテンツを配信する。

しかし現在のインターネットで用いられている TCP/IP は、ホスト間通信のために設計されており、全てのパケット通信はホストを特定し、宛先ホストに対してパケットが転送される。そのため、複数ホストに配置される同一コンテンツは違う識別子になる [9]。故に、CDN の構築及び利用には高いコストがかかる。また、CDN はオーバーレイにのみ存在するため、全ての性能を発揮することができない [6]。

このような問題を解消するために提案されたのが情報指向ネットワーク (ICN: information-centric networking) である。ICN はパブリッシャのところに保存されているコンテンツとネットワーク上で転送されているコンテンツは同じものであるというところに着目し、ネットワーク内のストレージを活用すれば、ネットワーク上のコンテンツも利用できるようにするというコンセプトからなるネットワークアーキテクチャである。ICN には様々な実現形態が存在し、本研究の対象となる Named Data Networking (NDN) [10] はその中の一つである。NDN においては、コンテンツを要求する際に用いるのはコンテンツを提供するパブリッシャのホスト IP アドレスではなく、コンテンツの名前である。要求を転送する際に、Interest パケットと呼ばれる要求パケットは、要求コンテンツの名前に基づき、経路ルータ上でネクストホップに転送される。また NDN はネットワーク内のストレージを利用する機能を備えている。ノード（ネットワークを構成するルータやスイッチなどのことを指す）が上記の Interest パケットを転送する前に、まず自身のキャッシュの中に、要求コンテンツをキャッシュしているかどうかをチェックする。もし、ノードが要求コンテンツをキャッシュしている場合、パブリッシャの代わりに Data パケットという応答用パケットでデータを返送する。また、ノードが Data パケットを転送する際に、キャッシュポリシーに基づき、Data パケットを自身のキャッシュに入れるかどうかを決定する。このような機能があるため、NDN はスケール性が高く、コンテンツ配信の性能も高いとされている。

しかしながら、NDN のキャッシュ機能にはまだ課題が残っている。NDN におけるネットワーク内のキャッシュを利用できるのは、Interest パケットの転送経路上に位置するノードに限定される。そのため NDN におけるキャッシュの性能は、コンテンツをキャッシュに入れるかどうかを決めるキャッシュポリシーと、キャッシュの容量が足りない時に削除するコンテンツを決める置換ポリシー、及びコンテンツの人気度分布に大きく影響を受ける。またキャッシュの性能が低下する要因の一つとして、要求ユーザが存在する自律システム (AS: Autonomous System) 内の Interest パケットの転送経路上に要求コンテンツがキャッシュされておらず、他の AS に存在するパブリッシャのところまで Interest が転送されることが多発することが考えられる。AS 間トラフィックを減らせば、トラフィックの転送コストを大幅に下げることができる [4]。一番理想的な状態は、各 AS が自 AS 内のユーザの要求を自 AS 内部で完結させることである。そこで本稿では、配信要求を AS 内部で完結させるという視点から、従来のネットワークでコンテンツ配信性能

をたかめるのために提案された CDN のコンセプトを参考にして、NDN において高コスト AS 間トラフィック量を削減し、NDN のキャッシュ性能を向上させる方式を提案する。

以下、2. 節で NDN のキャッシュ性能を高めるための研究を紹介し、3 節で本研究の提案方式の詳細を述べる。そして 4 節で性能評価結果について述べ、5 節で全体をまとめる。

2. 関連研究

NDN の性能はキャッシュ性能に大きく左右されているため、これまでにキャッシュ制御に関する研究が数多くみられる。

[1] では、TCP/IP で重要な役割を果たしている Domain Name System (DNS) のコンセプトを参考にして、常に最適なキャッシュにアクセスできる手法が提案されている。著者らは NDN におけるキャッシュ発見は Interest パケットの転送経路上しか行えない問題点に着目し、もし全ての Interest パケットが最寄りのキャッシュへ転送されるようになったら、キャッシュ性能が大幅に上昇できるという考えから、コンテンツ名とキャッシュ位置と紐づけた NDN における名前解決手法を提案している。具体的には、各 Internet Service Provider (ISP) 内に一つ集中型の追跡サーバーを設置し、常に ISP 全域のキャッシュ情報を収集する。そして、要求が発生するたびに、ノードが Interest パケットを送信する前に、まず追跡サーバーに問い合わせして、要求コンテンツのキャッシュの存在を確認する。もし ISP 内部に、要求コンテンツのキャッシュが存在すれば、通常のフォワーディングをせずに、Interest パケットを要求コンテンツのキャッシュを所持している最寄りのノードへ、最短経路を沿って転送する。

しかしながら、追跡サーバーの設置コストが大きい上に、ネットワーク内のキャッシュ情報を収集するオーバーヘッドも高い。また、NDN の高いスケール性はフォワーディングが自律分散という点であるため、集中型サーバーを用いると、NDN のスケール性が損なわれる。

[3] では、NDN で CDN を構築するために、階層化したキャッシュ制御方式を提案している。この研究では、ノードを 3 種類に分けて、それぞれ違う機能を果たす。一番上層部のノードは長期間コンテンツをキャッシュして、従来の CDN と同じような機能を果たす。次は人気コンテンツをキャッシュし、周辺ノードへ自身の存在を示すノードであり、ユーザに近いところから人気コンテンツを配信する。最後は通常の NDN ノードである。

階層化したキャッシュ制御でキャッシュの利用率と性能が向上するが、CDN を構築するための構造であるため、NDN 本来のスケール性が損なわれる。一方で NDN を用いれば、一部のトポロジにおけるキャッシュ性能は CDN より高いとされており [8]、NDN のキャッシュ性能を活用することで CDN の必要性も無くなると考えられる。

[7] では、AS 間トラフィックに着目した自律分散型の方式が提案されている。この研究では AS 内部のノード間に AS 外部のコンテンツに関する情報を交換する。そして、その情報を基に、キャッシュの位置を調整して最適化を行う。ノードの協調によりキャッシュの最適化を実現されるが、キャッシュの置き換えが頻繁に発生するため、ストレージコストが高いという問題が存在する。また本方式は一部のトポロジしか対応できない問題もある。

3. 提案方式

本節では本稿で提案する、一部のルータのキャッシュをミラー化し、AS 内のトラフィックを誘導することで、AS 間トラフィック量を減らす方式について述べる。まず 3.1 節で AS の境界ルータにおいて、AS 外にオリジナルが存在するコンテンツを発見する方法を述べる。そして、3.2 節で、発見したコンテンツを AS 内でミラー化する方法を述べる。

3.1 AS 外のコンテンツの探知

1. 節で述べたように、本研究では AS 間トラフィックに着目し

たキャッシュ制御を提案する。そのために、まず必要となるのはパブリッシャが他 AS に存在するコンテンツを探知する手法である。NDN のフォワーディングにより、Interest パケットは要求コンテンツの名前に基づき、パブリッシャへ向い転送される。故に、もしあるコンテンツのパブリッシャが AS の内部に存在しないときは、必ず Interest パケットは AS の境界にそんざいするゲートウェイルータを経由して、外部 AS へ転送される。そのため AS のゲートウェイルータは高い処理能力を有していると考えられる。そこで、図 1 に示すように、ゲートウェイルータが自身を経由して外部へ転送される Interest パケットの要求コンテンツ名をチャプチャすることで、AS 内部で需要のある AS 外部のコンテンツを把握できる。

しかし、AS 内のルータのキャッシュ容量には上限があるため、全ての外部コンテンツをミラー化する事は不可能である。ミラー化の効果を最大化するには、高人気コンテンツのみミラー化することが適切である。そのため外部コンテンツの人気度も考慮する必要がある。そこでゲートウェイルータにおいてコンテンツごとに Interest の到着数を計測する。

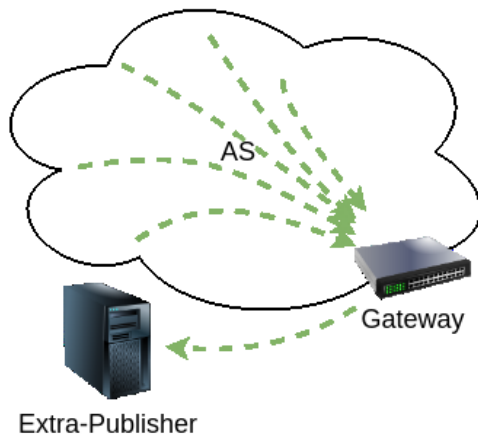


図 1 Detection of external-AS contents at gateways

3.2 ミラー配置ノードの選択と要請法

本研究では AS 間トラフィックに着目し、コストの高い AS 間トラフィックを削減することを目的とする。そこで TCP/IP の CDN のコンセプトを参考にし、AS 内にオリジナルのコピー（ミラー）を作成することで、パブリッシャの代わりに AS 内のノードからコンテンツを配信し、AS 外部への転送が必要な要求を AS 内部で完結させることで、AS 間トラフィックを削減する。ミラー化とは、コンテンツをルータでキャッシュした後、通常の置換ポリシーで削除しないで長時間キャッシュ内にコピーを保存し続けることである。またミラー化したキャッシュをミラーと呼ぶ。

3.1 節で述べたように、ネットワーク上のストレージには容量の制限がある。そのため人気のコンテンツのみミラー化する必要がある。そこでゲートウェイで集計した各コンテンツの Interest 到着数の情報から、人気度上位 $K\%$ のコンテンツをミラー化する。

本稿では、AS のゲートウェイが AS 内部のトポロジを把握していることを想定する。そのためゲートウェイルータで最適のミラー配置先を計算することが可能となることから、ミラー設置により AS 内部のトラフィック量も抑制できるように、Algorithm 1 に示す最適配置アルゴリズムを提案する。本アルゴリズムは郵便ポスト最適配置問題を参考にして、要求ユーザから最寄りのミラーへの平均遅延を最小化する。

ゲートウェイルータがミラー配置位置を決定したら、各ミラーノード x へミラーを立てる要請を NLSR [5] を用いて送信する。この要請パケットにはミラーを立てる時に必要な情報が記載されている。このパケットを受け取ったノードはパケット内の情報に基づき、協調しミラー化する。そのときノード x のキャッシュにまだ空き容量があれば、ノード x は予め該当コンテンツを要求し、キャッシュし、ミラー化する。ノード x のキャッシュの空き容量が不足す

るときは、該当コンテンツの人気度に基づき以下の処理を行う。もし該当コンテンツの人気度がノードが所持するコンテンツより高い場合、置換ポリシーで人気度の低いミラーを置き換える。もし該当コンテンツの人気度がノードが所持するコンテンツより低い場合、該当コンテンツをキャッシュせずに周辺ノードへ要請を転送し、要請を受けたノードは同じ処理を行う。その結果、人気の高いコンテンツは一番適切なノードから展開されることになる。

ミラー化コンテンツの選択、ミラー化ノードの選択、ミラー化の要請という、ミラー化の一連の処理は一定周期 T ごとに行い、ミラーのライフタイムもミラー化周期と同じ長さとする。故に、ミラーの置換は必要がなくなる。なぜなら、新しいミラーを立てるとき、前の周期で作ったミラーは期限を超え、一般のキャッシュコンテンツとなっているからである。

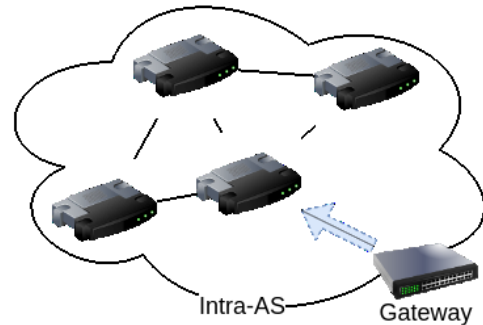


図 2 Sending mirror request from gateway to selected routers in AS

Algorithm 1 Optimally selecting nodes placing mirrors

- 1: Input: n , mirror count and G , topology
- 2: Randomly selects n candidate nodes C in G
- 3: Derives H , average hop length to closer node in C from each node in G
- 4: Finds node C_n adjacent to any node x of C with consideration that we can reduce H if we replace C_n with x
- 5: Replaces C_n with x and return step 2 if C_n exists
- 6: Completes algorithm after outputting C as results if C_n does not exist

3.3 ミラーへの誘導

ミラー化を行うだけでは、フォワーディングを行うときにノードがまだミラーの存在をしらないため、1. 節で述べた NDN におけるキャッシュ発見の問題が依然として解決できない。そのためには新たに作成したミラーに Interest が転送されるよう、AS 内のルータの転送テーブル (FIB: forwarding information base) を修正し、Interest がミラーに転送されるようにする必要がある。

まず、ミラー化を行うノードは最後にミラー化要請を受け取り且つ空き容量のあるノードである。そのノードがミラー化するコンテンツを予め要求し、キャッシュする。そしてミラー化が完了したら、AS 全域へミラーの存在を知らせる。すなわち、図 3 に示すように、AS 内の全ノードに対し、ミラー化コンテンツの名称を保存するパケットを NLSR [5] を用いてブロードキャストする。本ブロードキャストパケットを受け取ったノードは、パケット内に記載されたコンテンツ名の FIB 上のエンTRIES を、本パケットが到着したポート番号に変装することで、Interest の転送方向を更新する。またミラーは有効期限が存在するため、FIB 内の本ミラーのエンTRIES にも同一の有効期限を付与する。また、ミラーが消失しても Interest のフォワーディングが正常に行えるよう、ミラーに指すエンTRIES が期限を超えたら、元のエンTRIES に戻す。その結果、図 4 に示すように、ミラー化したコンテンツに対する要求は AS 外部へ転送されずに AS 内に生成したミラーへ転送される。これで、本

コンテンツに対する AS 内ユーザからの要求は全て AS 内部で完結する。またコンテンツをミラー化することにより、ユーザの近いところからコンテンツを配信することとなり、要求遅延と AS 内トラフィック量の低減も期待できる。

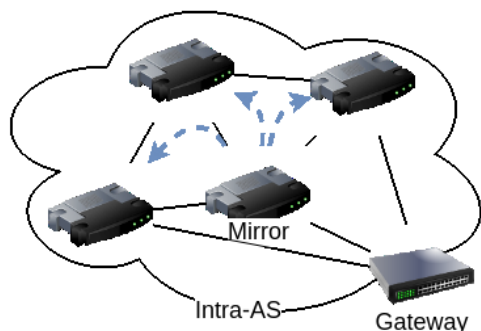


図 3 Notifies other nodes of existence of mirror

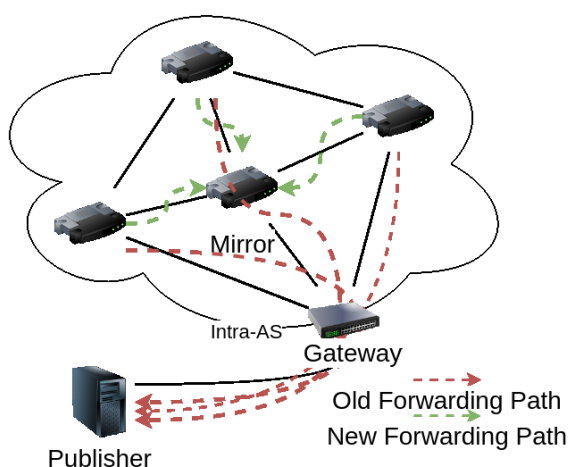


図 4 Changes Interest-forwarding routes to mirror in intra AS from publisher in external AS

4. 性能評価

本稿では NDN において、コストの高い AS 間トラフィック量を削減する動的ミラー構築方式を提案した。本提案方式の有効性を確認するために、本節では計算機シミュレーションによりキャッシュヒット率や AS 外ホップ長を評価する。本研究では AS 間トラフィック削減に着目し、AS 外部のコンテンツのみをミラー化対象としているため、評価では外部パブリッシャのみを考慮した。すなわち、外部コンテンツしか存在しない計算機シミュレーションを行う。また、ネットワーク上のコンテンツの人気度分布は Zipf 分布に従うことが知られているため [2]、本稿でも Zipf 分布に基づき各コンテンツの要求比率を設定する。

4.1 評価条件

以下に性能評価で用いる用語を定義する。

- ミラーサイズ比: ミラーは一定期間内、且つ AS 全域の人気度しか考慮していないため、もし全ての容量をミラーに分配すると、局所的な人気コンテンツはキャッシュされなくなる。その結果、キャッシュの性能は低下することが予想される。そのためノード (ルータ) 上のキャッシュ容量の一部をミラー用に、残りの容量を一般のキャッシュ用に用いる。各ノードのキャッシュ容量のうちミラー用に用いる容量をミラーサイズ比と定義する。
- ミラー数: 一個の外部コンテンツに対して構成するミラーの数をミラー数と定義する。
- 平均 AS 間経路長: 全ての Interest パケットが要求ユーザ AS の外部で、平均何ホップ転送されたかを表す値で定義する。

- キャッシュヒット率: ユーザの配信要求に対して、パブリッシャのオリジンサーバ以外の場所、すなわちルータのキャッシュか、ミラーからデータを配信できた割合で定義する。

また、キャッシュ制御方式として以下のポリシーを各々、用いた場合の評価を行う。

● Caching Policy:

- (1) LCE: Data パケットが経路する全てのノードでコンテンツをキャッシュする。
- (2) PROB: Data パケットの経路上の各ノードで、パブリッシャからのホップ距離に反比例する確率でコンテンツをキャッシュする。
- (3) UNIPROB: 固定確率で、Data パケットの経路上の各ノードで各々、コンテンツをキャッシュする。

● Replace Policy:

- (1) LRU: 最後に要求されてからの経過時間が最大のコンテンツを削除する。
- (2) FIFO: 最も古い時刻にキャッシュされたコンテンツを削除する。

計算機シミュレーションで用いたデフォルトの各種設定値を表 1 に示す。

表 1 Simulation Configurations

Parameter	Value
Topology	At Home Network
Zipf parameter	0.8
Simulation Time	200,000 requests
Number of gateways	3
Ratio of mirrored contents, K	0.1
Number of contents	10,000
Cache size at each node	100
Mirror Building Cycle	per 50,000 requests

4.2 コンテンツの人気度が時間変動しない場合の評価

本節ではコンテンツの人気度が時間的に変動しない場合の、提案方式のキャッシュヒット率と平均 AS 間ホップ長を評価する。なお、図 5 に、様々な各キャッシュポリシーにおける、提案方式を用いた場合のキャッシュヒット率を、着目 AS 内のミラーサイズ比に対して示す。ミラーサイズ比が 0 の場合は、提案方式を用いない場合に相当する。ミラーサイズ比の増加に伴い、キャッシュヒット率が上昇するが、ミラーサイズ比が 0.4 を超えたあたりから、キャッシュヒット率の上昇が見られなくなった。これは、キャッシュとして用いることができるメモリのサイズが小さくなることが要因と思われる。図 6 に、ミラーサイズ比に対して AS 間平均ホップ長を同様にプロットするが、提案方式を用いることで、AS 間トラフィックの削減効果はミラーサイズ比の増加に伴い、やはり増加することが確認できる。以上のことから、提案方式の有効性が確認できる。

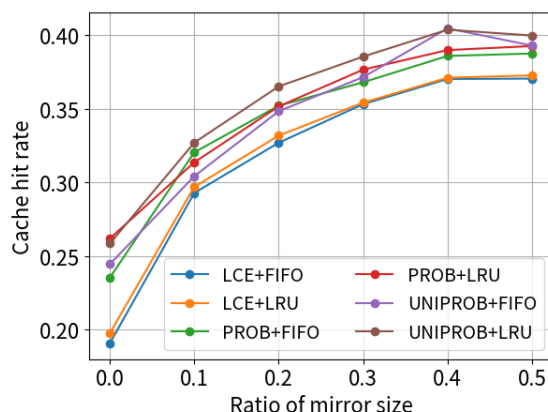


図 5 Cache hit rate against mirror size ratio

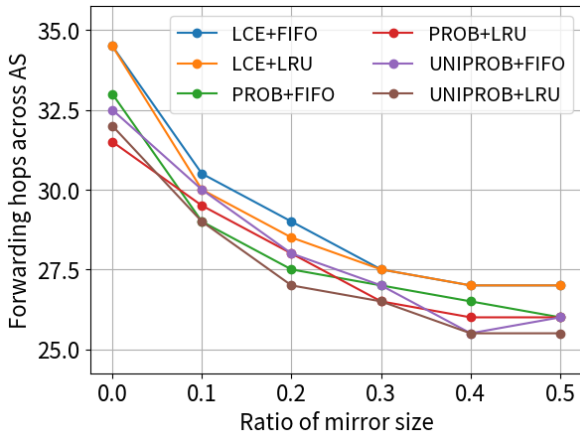


図 6 Average inter-AS hop length against mirror size ratio

4.3 人気度の時間変化を考慮した性能性能

4.2 節では、各コンテンツの人気度が固定で時間的に変化しない場合において、提案方式の有効性を確認した。しかしコンテンツの人気度が不変であるという想定は非現実的であり、そのため、より現実に近い評価ができるよう、コンテンツの人気度変化を考慮した場合について評価する。

Google API から取得した著名映画の検索回数の時系列データを正規化し、これら映画コンテンツの人気度変化を示す時系列データとみなす。そして複数人気度時系列データを、以下の 3 種類の変化パターンにまとめる。

(1) コンテンツがリリースされた時は高い人気度であるが、すぐに人気度が低下する。

(2) コンテンツがリリースされた時は高い人気度で、かつ長い期間の間、高い人気を保つ。すなわち人気は緩やかに低下する。

(3) コンテンツがリリースされたあとは人気の変化があるものの、リリースされた時の人気を維持する。

これら 3 パターンの人気度変化から、各コンテンツに対し、ランダムに一つ選択する。同時に、各コンテンツのライフタイムを決める。常時に存在するコンテンツ数を 10,000 個ぐらいに維持するため、コンテンツのライフタイムをおおよそ 10,000 個後のコンテンツが生成される時に自身のライフタイムが切れ、削除されるように設定する。そしてコンテンツ生成周期に合わせて、ライフタイムを調整する。その後、選択した人気度変化パターンに基づき、各コンテンツに対し人気度変化の時系列データを作成し、時系列によって各コンテンツの重みを設定する。そして、各コンテンツの重みに基づき、人気ランキングをタイムスロットごとに決める。そのランキングに基づき、各コンテンツの各タイムスロットの要求確率を Zipf 分布で設定する。また、シミュレーションの進行にともない、新しいコンテンツを生成し、古いコンテンツを削除することで、現実に近い人気度変化をシミュレータに実装した。

図 7 にコンテンツ生成周期を 1 としたときの、ミラー生成周期の相対的な長さに対し、提案方式のキャッシュヒット率を示す。なお、実際に固定されるのはミラー生成周期である。相対ミラー生成周期の増加に伴い、ヒット率は低減した。原因として考えられるのは、ミラーの構築速度がコンテンツの人気度変化に追いつかないことである。そのとき、ミラーの鮮度が消えやすくなるため、キャッシュ性能も下がる。しかしながら、コンテンツの人気度変化が激しい場合でも、提案方式を用いることで従来方式より優れる結果が得られた。これで、人気度の変化を考慮する場合でも、提案方式は有効であることを確認した。

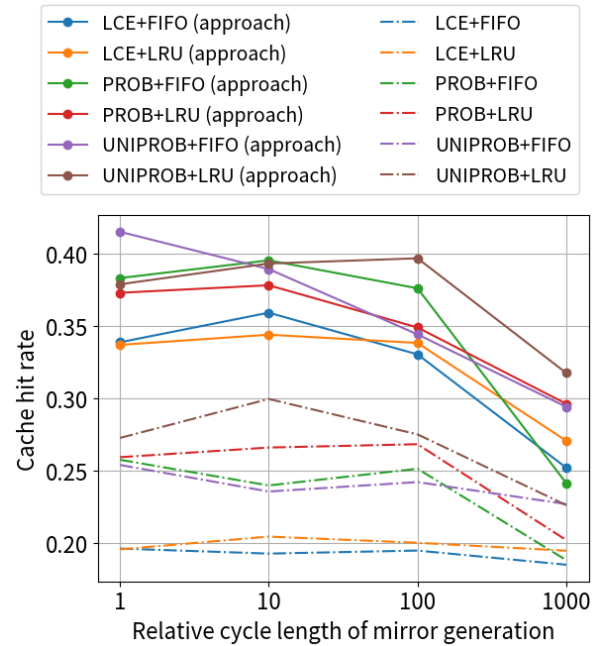


図 7 Cache hit rate against relative cycle length of mirror generation

以後の評価では、ミラー生成周期とコンテンツ生成周期の比率を 100:1 とした。

図 8 にキャッシュサイズ比に対してキャッシュヒット率を示す。図 5 に示したように、やはりキャッシュサイズ比の増加に伴いヒット率は増加するが、ミラーサイズ比が 0.4 を超えたあたりから、キャッシュヒット率の増加が見られなくなる。

図 9 にミラー数に対してキャッシュヒット率を示す。ただし AS 内の全ルータでミラーを収容できるルータのキャッシュ容量は一定なので、ミラー数の増加に伴い、ミラー化の対象とするコンテンツ数は減少する。提案方式を用いない場合 (ミラー数が 0) の場合と比較して、提案方式を用いることでヒット率が大幅に増加すること、またミラー数の増加に伴いヒット率は低下することが確認できる。これはミラー数の増加に伴い、ミラー化できるコンテンツ数が減少し、ミラーの多様性が低減したためである。そのためミラー数は 1 の場合が最良の結果となった。

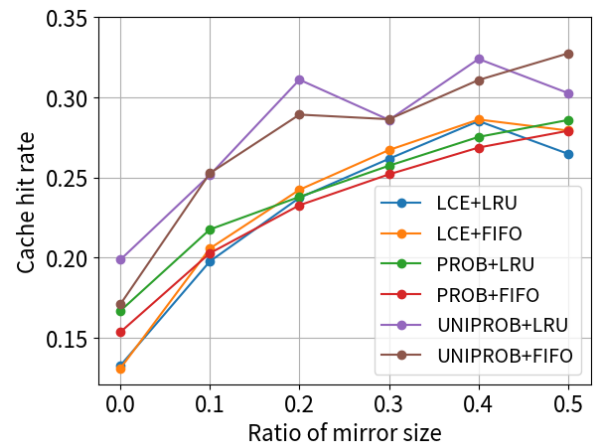


図 8 Cache hit rate against mirror size ratio

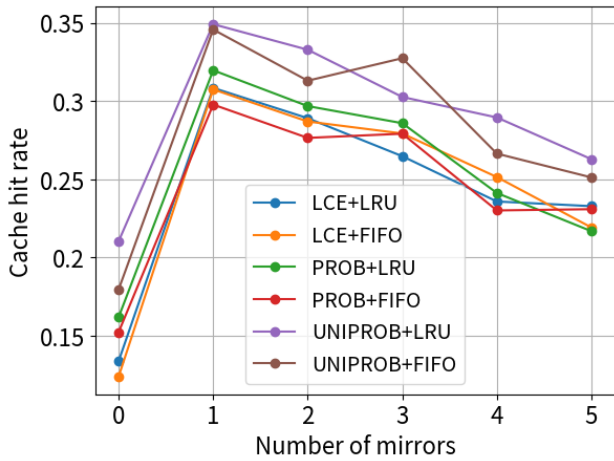


図9 The Impact of Number of Mirrors on Cache Hit Rate

ここまでの評価は Ladder 型，すなわち次数の高いノードが存在しないトポロジである At Home Network を用いた。他のタイプのトポロジでの提案方式の有効性を確認するため，高次数のハブノードが存在する Hub and spoke 型のトポロジである Verio のトポロジを用いて，提案方式の性能を評価する。図 10 と図 11 に，ミラーサイズ比とミラー数に対してキャッシュヒット率を各々示す。Verio においても同じ傾向の結果が得られ，提案方式の有効性が確認された。

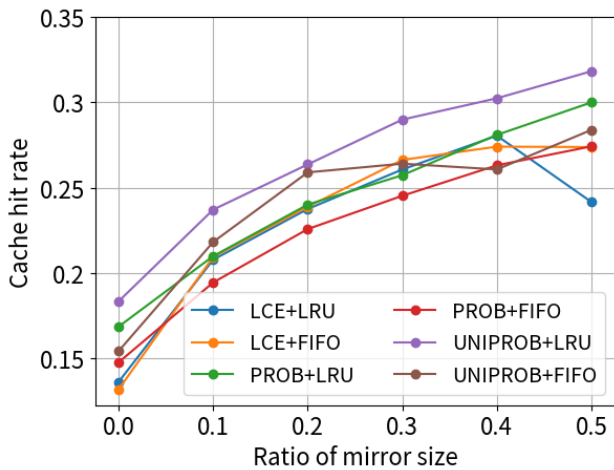


図10 Cache hit rate against mirror size ratio in Verio

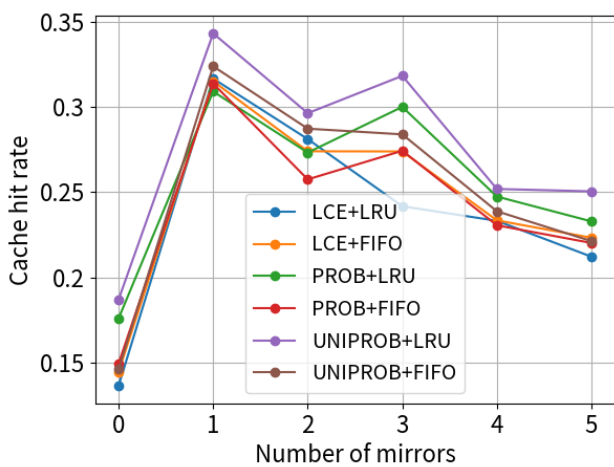


図11 Cache hit rate against mirror count in Verio

5. ま と め

NDN ではルータにキャッシュを導入し，ルータのキャッシュカ

らパブリッシャの代わりにコンテンツを配信する。しかし NDN のキャッシュ発見は Interest パケットの転送経路上でのみ実施されるため，NDN のキャッシュ性能の向上が困難である。そのため他の AS にパブリッシャが存在する場合，コストの高い AS 間トラフィック量の低減が困難である。

そこで本稿では，AS 内での高いキャッシュヒット率を実現し，AS 間トラフィック量の削減を低減することを目的に，NDN における動的ミラー構成法を提案し，AS 外部のコンテンツを AS 内部でミラー化し，AS 内部のトラフィックをミラーへ誘導することを提案した。また計算機シミュレーションにより，提案方式により AS 内のキャッシュヒット率が向上することを確認した。今後は動的なミラー構築や柔軟なミラーライフタイム管理，そして性能やオーバヘッドの比較評価を行う予定である。

謝辞 本研究成果は，JSPS 科研費 21H03437 の助成を受けたものである。ここに記して謝意を表す。

文 献

- [1] Jianxun Cao, Dan Pei, Xiaoping Zhang, Beichuan Zhang, and Youjian Zhao. Fetching popular data from the nearest replica in ndn. In *2016 25th International Conference on Computer Communication and Networks (ICCCN)*, pp. 1–9. IEEE, 2016.
- [2] Seyed Kaveh Fayazbakhsh, Yin Lin, Amin Tootoonchian, Ali Ghodsi, Teemu Koponen, Bruce Maggs, KC Ng, Vyas Sekar, and Scott Shenker. Less pain, most of the gain: Incrementally deployable icn. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, Vol. 43, No. 4, pp. 147–158, 2013.
- [3] Chavoosh Ghasemi, Hamed Yousefi, and Beichuan Zhang. icdn: An ndn-based cdn. In *Proceedings of the 7th ACM Conference on Information-Centric Networking*, pp. 99–105, 2020.
- [4] Mohamed Hefeeda and Behrooz Noorizadeh. On the benefits of cooperative proxy caching for peer-to-peer traffic. *IEEE transactions on Parallel and Distributed Systems*, Vol. 21, No. 7, pp. 998–1010, 2009.
- [5] AKM Mahmudul Hoque, Syed Obaid Amin, Adam Alyyan, Beichuan Zhang, Lixia Zhang, and Lan Wang. Nlsr: Named-data link state routing protocol. In *Proceedings of the 3rd ACM SIGCOMM workshop on Information-centric networking*, pp. 15–20, 2013.
- [6] Dirk Kutscher, Suyong Eum, Kostas Pentikousis, Ioannis Psaras, Daniel Corujo, Damien Saucez, T Schmidt, and Matthias Waehlich. Information-centric networking (icn) research challenges. Technical report, 2016.
- [7] Jun Li, Hao Wu, Bin Liu, Jianyuan Lu, Yi Wang, Xin Wang, Yanyong Zhang, and Lijun Dong. Popularity-driven coordinated caching in named data networking. In *Proceedings of the eighth ACM/IEEE symposium on Architectures for networking and communications systems*, pp. 15–26, 2012.
- [8] Ge Ma, Zhen Chen, Junwei Cao, Zhenhua Guo, Yixin Jiang, and Xiaobin Guo. A tentative comparison on cdn and ndn. In *2014 IEEE international conference on systems, man, and cybernetics (SMC)*, pp. 2893–2898. IEEE, 2014.
- [9] Guoqiang Zhang, Yang Li, and Tao Lin. Caching in information centric networking: A survey. *Computer networks*, Vol. 57, No. 16, pp. 3128–3141, 2013.
- [10] Lixia Zhang, Alexander Afanasyev, Jeffrey Burke, Van Jacobson, KC Claffy, Patrick Crowley, Christos Papadopoulos, Lan Wang, and Beichuan Zhang. Named data networking. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, Vol. 44, No. 3, pp. 66–73, 2014.
- [11] Meng Zhang, Hongbin Luo, and Hongke Zhang. A survey of caching mechanisms in information-centric networking. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 17, No. 3, pp. 1473–1499, 2015.