

IP と NDN の混在環境における通信遅延の低減効果の分析

田中 晃平[†] 上山 憲昭^{††}

[†] 立命館大学 大学院 情報理工学研究科

〒 567-8570 大阪府茨木市岩倉町 2-150

^{††} 立命館大学 情報理工学部

〒 567-8570 大阪府茨木市岩倉町 2-150

E-mail: [†]is0565kf@ed.ritsumei.ac.jp, ^{††}kamiaki@fc.ritsumei.ac.jp

あらまし コンテンツの名称で要求パケット (Interest) を転送することにより, IoT データなどのコンテンツを効率的に転送可能な情報指向ネットワーク (ICN: information-centric networking) が次世代のネットワークとして研究されている。ICN のアーキテクチャの一つとして, 特に研究が盛んに行われているものに NDN (named data networking) がある。NDN が実世界で実用化される際, NDN の普及過程においては, IP の AS (autonomous system) と NDN の AS との混在環境が生じるため, どのようにパケットを転送するかが課題となる。IP-AS 内では, IP アドレスにより通信相手を指定しパケットの交換を行う。しかし, NDN-AS 内では Interest により応答データパケットを要求するため, 通信開始時に名前解決による通信相手の特定を行わない。したがって異種のネットワークを用いる AS 間で通信を実現するためには, IP パケットと NDN パケットの相互変換を実現する必要がある。この課題に対して, 異種の AS 間の境界となるリンクにパケット変換機能を有する Gateway (GW) を設置し, パケットのヘッダを書き換えることにより, IP-NDN 間での通信を行う手法が提案されている。しかし, パケットのヘッダを書き換えるためには各パケットのヘッダに記載されている IP アドレスやコンテンツの名称に対して, それぞれ対応するコンテンツの名称や IP アドレスをパケット変換 GW で管理する必要がある。そこで, 本稿ではパケット変換 GW によるパケット変換手法を, 実際の IP と NDN が混在した環境で利用するためのパケット転送法を提案する。また, 提案手法が通信時間に与える影響を計算機シミュレーションにより評価し, IP と混在している環境においても NDN が効率的なコンテンツ配信に有効な可能性が存在することを示す。

キーワード ICN, NDN, 通信遅延, AS 間通信

Investigation of Effect of RTT Reduction in IP/NDN Mixed Environment

Kohei TANAKA[†] and Noriaki KAMIYAMA^{††}

[†] Graduate School of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

2-150, Iwakura-cho, Ibaraki, Osaka 567-8570

^{††} College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

2-150, Iwakura-cho, Ibaraki, Osaka 567-8570

E-mail: [†]is0565kf@ed.ritsumei.ac.jp, ^{††}kamiaki@fc.ritsumei.ac.jp

Abstract By forwarding request packets (Interest) based on the name of the content, information-centric networking (ICN), which enables efficient transmission of content such as IoT data, is being researched as a next-generation network. Among the architectures of ICN, Named Data Networking (NDN) has been particularly active in research. When NDN is implemented in real-world applications, a mixed environment of IP autonomous systems (AS) and NDN-AS is expected during the adoption process of NDN. This raises the challenge of determining how to forward packets. Within IP-AS, communication partners are specified and packets are exchanged using IP addresses. In contrast, within NDN-AS, data packets are requested through Interest packets without resolving the communication partner at the start of communication. Therefore, to enable communication between heterogeneous ASes, it is necessary to realize the mutual conversion of IP packets and NDN packets. To address this issue, a method has been proposed that places gateways (GWs) with packet conversion functions at the boundary links between heterogeneous ASes. These gateways perform communication between IP and NDN by rewriting the packet headers. However, rewriting packet headers requires the gateway to manage the mapping between IP addresses and content names, as well as the corresponding content names and IP addresses, recorded in the headers of each packet. In this study, we propose a packet forwarding method that employs packet conversion by gateways to enable communication in an environment where IP and NDN coexist. Furthermore, we evaluate the impact of the proposed method on communication time through computer simulations and demonstrate the potential of NDN to achieve efficient content delivery even in environments mixed with IP.

Key words ICN, NDN, Communication Delay, Inter-AS Communication

1. はじめに

従来のインターネットで利用されている TCP/IP では、通信開始時に DNS (domain name system) でデータの配信ホスト (Publisher) の名前解決を行い、IP アドレスを取得することで Publisher とデータの送受信を行う。しかし、現在のインターネットの利用目的の多くは Web や動画といったデジタルコンテンツの配信であり、TCP/IP が開発された当時のものは大きく異なっている。また、現在普及の進む IoT (internet of things) サービスでは、ユーザがキーワードや探索条件などの具体性を持たないコンテンツ名でデータを要求することが想定され、DNS での名前解決が困難になる。

そこで、コンテンツの効率的な配信を実現する、次世代のネットワークとして ICN が研究されている。ICN は通信開始時に名前解決を行わず、コンテンツの名称で Interest を転送し、Publisher から配信されるコンテンツをルータでキャッシュする。ICN では Interest のヘッダに記載された情報から、ルータがコンテンツ名を把握可能である。そのため、Interest が転送される経路上のルータに要求しているコンテンツのキャッシュが存在している場合、ルータからキャッシュを用いた効率的なコンテンツ配信が行われる。ICN を実現するためのネットワークアーキテクチャとして、特に盛んに研究が行われているものが NDN であり、本稿でも ICN のアーキテクチャとして NDN を想定する。

NDN ではルータの FIB (forwarding information base) と PIT (pending interest table) という二つのテーブルによってパケットの経路が決定する。FIB は、次に Interest を転送すべき Next Hop (NH) を調べるためのテーブルであり、これを参照することで Interest の転送経路を決定する。Publisher はコンテンツをネットワーク上に公開した際、そのコンテンツの名称を広告する。コンテンツ名の広告は、広告を受けたルータが隣接ルータへと再広告することでネットワーク全体に広がり、FIB は、隣接ルータからコンテンツ名の広告を受けたときに更新される。この処理によって、Interest が Publisher に向けて転送されるように FIB が設定される。また、PIT は Interest の転送元である、隣接ルータを記録するテーブルである。Interest の応答としてデータパケットを返送する際、PIT に記録された Interest の転送元へとデータパケットを転送していくことで、Interest が転送された経路を遡るようにデータパケットの転送経路が決定する。

NDN は各 AS を運営するネットワーク事業者によって導入の判断が行われるため、既存の IP のネットワークが一斉に NDN へと置き換わるという環境は非現実的であり、IP-AS と NDN-AS が混在した環境が構築されると想定される。このような環境では IP と NDN という異種のネットワーク間でのパケット転送法が必要になる。IP アドレスに基づいてパケットを転送する IP と、コンテンツの名称に基づいてパケットを転送する NDN との間での通信を実現するためには、パケットのヘッダを書き換えることにより、IP パケットと NDN パケットの相互変換を行う必要がある。そこで先行研究では、IP-AS と NDN-AS の境界となるリンクにパケット変換機能を有した GW を設置することで IP-NDN 間でのパケット転送を実現する手法が提案された [1]。しかし、文献 [1] では NRS (name resolution service) という、IP アドレスとコンテンツ名の対応を管理するサーバの情報を利用することを想定しており、NRS が IP アドレスとコンテンツ名の対応付けをどのように行うかについては未検討であった。

そこで本稿では、NRS のような IP アドレスとコンテンツ名の対応を管理するものを用意するのではなく、配信要求を行

うホスト (Consumer) 自身がパケット変換 GW を利用する際に、GW に対してパケット変換に必要な情報を提供することで、GW を用いた IP-NDN 間のパケット転送を実現する手法を提案する。また、本手法を用いた場合の通信時間に与える影響を計算機シミュレーションにより評価し、IP と混在している環境においても NDN が効率的なコンテンツ配信に有効な可能性があることを示す。

以下、2 節で関連研究について説明し、3 節と 4 節では提案手法の具体的な説明をする。5 節では計算機シミュレーションでの性能評価を行い、6 節で本稿についてまとめ、今後の方針を述べる。

2. 関連研究

文献 [1] で、IP から NDN への移行期間において、パケットの変換機能を有する GW を利用することで IP-NDN 間パケット転送を実現する手法が提案された。さらにパケット変換 GW のアーキテクチャを提案し、そのスループットの実験的分析が行われた。この数値評価によって、コンテンツ人気度の偏りによってスループットが向上することが確認された。IP と NDN が混在した環境を実現するための手法として、パケット変換 GW を利用する手法以外にデュアルスタックアプローチ [3] や、既存のネットワークを利用しオーバーレイネットワークとして NDN を展開する手法 [5] など様々なアプローチが提案されてきた。パケット変換 GW を利用する利点は、IP から NDN へと移行するために必要なネットワークハードウェアのアップグレードコストが小さいという点である [2]。

2.1 NDN-IP 変換 GW の概要

文献 [1] で提案された GW (DINT-GW: Dual-channel IP-to-NDN translation gateway) の概要を述べる。以下の図 1 は DINT-GW の構成を表した図である。

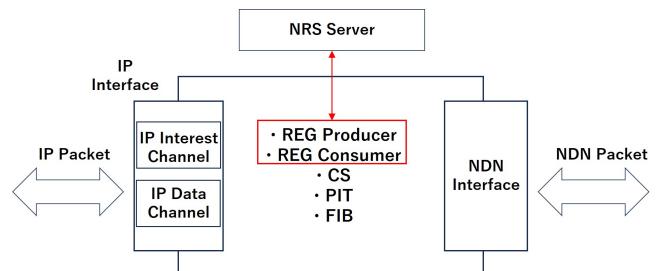


図 1 Components of Packet translation gateway

提案された DINT-GW は IP で通信を行うための IP Interface と NDN で通信を行うための NDN Interface を持っている。IP パケットのやりとりをする時に、転送されているパケットが Interest パケットであるかデータパケットであるかを識別するために、IP Interest Channel と IP Data Channel の二つのチャネルを持ち、それぞれで異なる IP アドレスを使用する。REG (register table) はコンテンツの名称と IP アドレスの対応関係を DINT-GW 内で保存するためのものである。IP ネットワークでは各ホストが、Consumer と Producer (Publisher) の双方の役割を果たす可能性があるため REG は、REG Producer と REG Consumer の二種が存在する。パケットの変換はこの REG に保存されたコンテンツの名称と IP アドレスの対応に基づいて行われる。コンテンツの名称と IP アドレスの対応が REG で解決出来ない場合は、NRS に問い合わせ解決する。

DINT-GW の CS (Content Store), PIT, FIB はそれぞれ NDN ルータのものと同様の役割をもつ。CS はコンテンツデータをキャッシュする機能をもち、PIT は Interest の転送元の隣

接ルータの記録に利用され、FIB は Interest の転送先を決定するために利用される。本稿で想定するパケット変換 GW はこの DINT-GW と同等のものである。しかし、コンテンツの名称と IP アドレスの対応付けの問題を考慮し、NRS と REG は利用しない。

3. パケット転送前の処理

本稿で提案する GW を用いた IP-NDN 間のパケット転送手法では、パケット転送前には、パケット変換 GW に Interest を転送するための FIB 設定と、NDN-AS 上のコンテンツを GW の IP アドレスで DNS に登録するという二つの処理が必要となる。NDN の FIB のエントリには、接続している NDN-AS 内に存在している Publisher への経路情報しか存在していない。NDN-Consumer がコンテンツの名称のみ分かっている状態で IP-AS 上のコンテンツに対する Interest を転送する場合、NDN-AS 上の FIB で NH を解決不可能となる。この問題を解決するために、パケット変換 GW に Interest を転送するための FIB 設定が必要となる。FIB にエントリが存在していないコンテンツ名を持つ Interest が転送された場合、ルータは最も近くに存在するパケット変換 GW への NH に Interest を転送する。パケット変換 GW に Interest が到達すると、パケット変換 GW が NDN-Interest を IP-Interest に変換してパケット転送を実現する。

また、IP-Consumer が NDN-AS 上のコンテンツを要求する場合、NDN のコンテンツは IP アドレスを持たないため名前解決が不可能である。この問題を解決するために、NDN-AS 上のコンテンツを GW の IP アドレスで DNS に登録するという処理が必要になる。Publisher が NDN-AS で新しくコンテンツを公開した時、Publisher が存在している NDN-AS 内にコンテンツ名の広告が行われる。この広告はパケット変換 GW に対しても行われ、パケット変換 GW がコンテンツ名の広告を受け取ると、そのコンテンツ名をドメインとし、パケット変換 GW 自身の IP アドレスをドメインに対応した IP アドレスとして DNS に新規エントリを追加する。パケット変換 GW が追加したエントリを用いることによって、IP-Consumer が NDN-AS 上のコンテンツを要求した場合、パケット変換 GW へと Interest が転送され、パケット変換 GW が IP-Interest を NDN-Interest に変換してパケット転送を実現する。

4. パケット転送時の処理

本稿で提案する GW を用いた IP-NDN 間のパケット転送手法では、IP-NDN 間でパケット転送を行う場合、パケット変換 GW でパケットのヘッダを書き換える。このヘッダを書き換える処理において、パケット変換 GW はヘッダに記載すべき IP アドレスやコンテンツの名称を把握している必要がある。したがってパケット変換 GW では RIMT (rewriting information management table) というテーブルで、Interest を送信する各 Consumer が要求しているコンテンツの名称や IP アドレスなどのヘッダ書き換えに必要な情報を管理する。

DNS や各 Consumer から提供される情報によって RIMT にヘッダ書き換えに必要な情報を集め、IP パケットと NDN パケットの相互変換を実現する。RIMT は Interest 転送時にパケット変換 GW を利用する場合に更新されるが、RIMT で管理が必要な情報は Consumer が NDN-Interest を転送していたか、IP-Interest を転送していたかによって異なり、IP-Consumer 用 RIMT と NDN-Consumer 用 RIMT の二種が必要となる。

IP-Consumer 用 RIMT に必要となる情報は、IP-Interest の転送元ホストの IP アドレス、要求しているコンテンツの名称の二種である。本稿では、この二つをまとめて ICII (IP-consumer

interest information) とする。また、NDN-Consumer 用 RIMT に必要となる情報は、要求しているコンテンツの IP アドレス、要求しているコンテンツの名称、変換した IP-Interest を転送する際に使用するポート番号の三種である。本稿では、この三つをまとめて NCII (NDN-consumer interest information) とする。

以下、4.1 節で IP-AS から NDN-AS に Interest を転送する場合の処理を、4.2 節で NDN-AS から IP-AS に Interest を転送する場合の処理について、そして 4.3 節で複数の GW をパケットが経由する場合の処理を各々述べる。

4.1 IP-AS から NDN-AS に Interest を転送する場合

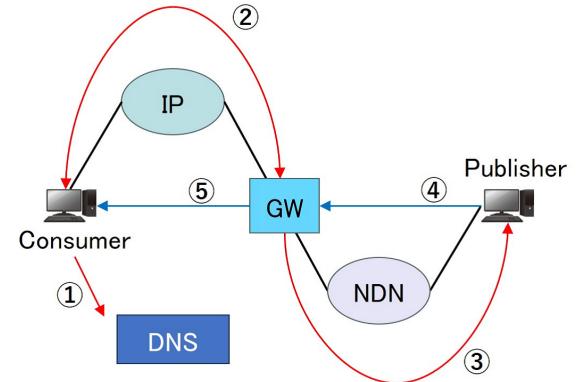


図 2 Interest packet forwarding from IP-AS to NDN-AS and Data packet forwarding from NDN-AS to IP-AS

図 2 は IP-AS から NDN-AS への Interest パケット転送及び NDN-AS から IP-AS へのデータパケット転送の手順を示した図である。図 2 の説明を以下に示す。

IP-Consumer が配信要求を行う場合はパケット転送先の IP アドレスが必要なため、通信開始時に名前解決を DNS に依頼する(①)。この時 NDN-AS 上のコンテンツを要求する場合は、パケット転送前の処理で行う、NDN-AS 上のコンテンツを GW の IP アドレスで DNS に登録する処理によって DNS に登録された、パケット変換 GW の IP アドレスが IP-Interest の宛先 IP アドレスとして使用される。したがって、IP-Interest は一度、パケット変換 GW へと転送される。

パケット変換 GW は IP-Interest を受診すると、その IP-Interest の転送元に対して、コンテンツの名称を通知するように要求する。この要求により、IP-Consumer はパケット変換 GW に対して、要求コンテンツの名称を送信し、パケット変換 GW はこの名称を用いて IP-Interest のヘッダを書き換える(②)。またヘッダの書き換えと同時に RIMT に、この IP-Interest の ICII が記録される。

処理②で Interest の変換が完了すると、変換した NDN-Interest を NDN-AS へと転送し目的のコンテンツを取得する(③)。また、NDN ルータはコンテンツのキャッシュ可能なため、NDN-Interest の転送経路上のルータに目的コンテンツのキャッシュが存在している場合は、図 2 のように Interest が Publisher まで転送されるのではなく、キャッシュが存在しているルータからコンテンツが配信される。

Interest の転送が完了すると、PIT に記録された経路で NDN データパケットがパケット変換 GW に返送される(④)。NDN データパケットがパケット変換 GW まで返送されると、パケット変換 GW は RIMT に記録された ICII を参照し、そのコンテンツデータを要求していた IP-Consumer の IP アドレスを特定する。この処理によって特定した IP アドレスによって NDN-

データパケットのヘッダを書き換え IP-データパケットに変換する。変換した IP-データパケットを IP-Consumer に返送し、通信を終了する (⑤)。パケット変換 GW のメモリ量には限界があるため、IP-データパケットの返送が完了した要求の ICII は削除される。

4.2 NDN-AS から IP-AS に Interest を転送する場合

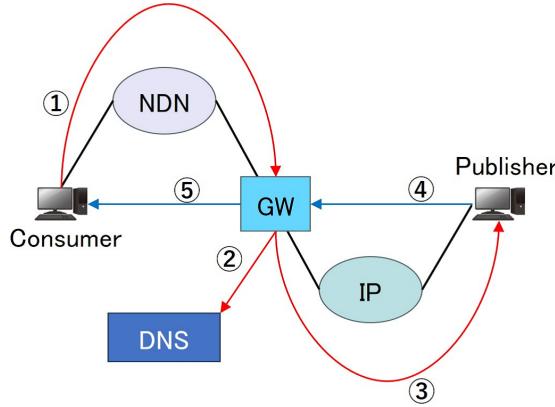


図 3 Interest packet forwarding from NDN-AS to IP-AS and Data packet forwarding from IP-AS to NDN-AS

図 3 は NDN-AS から IP-AS への Interest パケット転送及び IP-AS から NDN-AS へのデータパケット転送の手順を示した図である。図 3 の説明を以下に示す。

NDN では名前解決を行わず、コンテンツの名称で Interest を転送する。IP-AS 上のコンテンツの名称で NDN-Consumer が NDN-Interest を転送した場合、FIB で NH を解決出来ない。よってパケット転送前の処理で行う、パケット変換 GW に Interest を転送する FIB 設定によってパケット変換 GW へと転送される (①)。パケット変換 GW に NDN-Interest が転送されると、パケット変換 GW は、転送された NDN-Interest のヘッダからコンテンツの名称を読み取り、その名称で DNS に名前解決を依頼する。要求している名称のコンテンツが IP-AS 上に存在するものであった場合、そのコンテンツの IP アドレスが DNS から返されるため、その IP アドレスを用いてパケットのヘッダを書き換える (②)。処理②で Interest の変換が完了すると、変換した IP-Interest を IP-AS へと転送し、目的のコンテンツを取得する (③)。また、変換した IP-Interest の転送時、RIMT にこの NDN-Interest の NCII が記録される。

IP-Interest が Publisher まで転送されると、Publisher は IP-Interest の転送元 IP アドレスに対してデータパケットを返送する (④)。この時、転送された IP-Interest はパケット変換 GW によって変換されたものであるため、IP-データパケットの宛先 IP アドレスはパケット変換 GW の IP アドレスとなる。

パケット変換 GW に IP-データパケットが返送されると、パケット変換 GW は RIMT に記録された NCII を参照し、NCII に記録された IP アドレス及びポート番号が返送された IP-データパケットの、転送元 IP アドレス及びポート番号と一致するコンテンツの名称を確認する。この処理によって IP-データパケットのヘッダを書き換え、変換した NDN-データパケットを Consumer へと返送する (⑤)。

4.3 複数のパケット変換 GW を経由するパケット転送

NDN-AS を経由して IP-AS から別の IP-AS に通信をする場合や、IP-AS を経由して NDN-AS から別の NDN-AS へと通信する場合でも 4.1 節及び 4.2 節で述べた処理を応用し繰り返すことでパケット転送が実現可能である。AS 間のルーティング

経路がパケット転送前にあらかじめ決まっているという仮定のうえでは、複数回パケット変換 GW を経由する場合は DNS に名前解決を依頼した時点で、経由するパケット変換 GW が判明する。

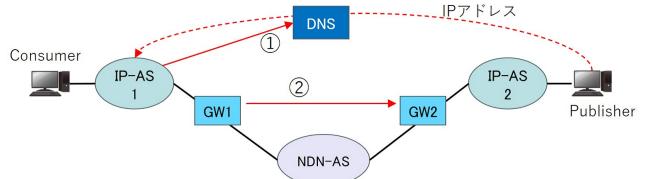


図 4 Packet Transfer between IP-AS across NDN-AS

図 4 は NDN-AS を経由して IP-AS から別の IP-AS に Interest パケット及びデータパケットを転送する手順において、複数回パケット変換 GW を利用することによって新たに加わる処理を示した図である。

Consumer が名前解決を行うと、目的コンテンツ自体の IP アドレスが DNS から返される (①)。AS 間のルーティング情報があらかじめ決まっているれば、IP-AS1 内のルーティングテーブルは、IP-AS2 にパケットを転送するためにパケット変換 GW1 に IP-Interest が転送されるように設定される。パケット変換 GW1 が、パケット変換 GW2 宛の IP-Interest を受診すると、パケット変換 GW1 がパケット変換 GW2 への中継機のような役割を果たすようになる。図 2 の②と同様に ICII を記録し、パケット変換 GW1 がパケット変換 GW2 の識別名をヘッダに用いて、コンテンツ名中継パケット (CNRP: content name relay packet) という、要求コンテンツの名称をパケット変換 GW 間で伝達するためのパケットを転送する (②)。パケット変換 GW2 は CNRP によって伝達されたコンテンツの名称で図 3 の①と同様に NCII を記録し、IP-Interest を IP-AS2 に転送することで目的コンテンツを取得する。その後は図 2、及び図 3 の④、⑤と同様の処理によってデータパケットが返送される。

IP-AS を経由して NDN-AS 間で通信を行う場合も、NDN-AS を経由して IP-AS 間で通信する場合と同様にパケット変換 GW 自体が次に経由するパケット変換 GW への中継機となることで複数のパケット変換 GW を経由した通信を実現可能となる。なお、NDN-Interest を受信したパケット変換 GW が、次に経由するパケット変換 GW に対して IP-Consumer のように振る舞い IP-Interest を転送することによって、図 2 の②と同様の処理でパケットの中継が可能になり、IP-AS を経由したパケット変換 GW 間の Interest 中継が実現される。

5. 性能評価

5.1 評価モデル

提案方式がネットワークに与える通信遅延の評価を、実際の AS 間トポロジデータ [4] を用いた計算機シミュレーションにより行った。[4] のデータはシミュレーションで扱うにはデータ量が多すぎるため、[6] で用いられているサンプリング法により AS 数を削減した。サンプリング後に存在している全ての AS に対して、他の AS との最短経路をダイクストラ法により最短経路を求め、その経路で通信を行う場合の通信遅延を調査した。

NDN を導入するメリットは低次数 AS の方が大きい [6]。しかし高次数 AS の方が、より多数の AS 間経路で使用されることがから、高次数 AS が NDN を導入したほうが全体の遅延低減効果が高い。よって、次数が 2 以下の AS の 70%のみが NDN を導入する場合 (シナリオ 1) と、次数が上位 5% の AS と次数 2 以下の AS の 70% が NDN を導入する場合 (シナリオ 2) の 2

つのシナリオを想定する。

提案手法では、RIMT にパケットのヘッダを書き換えるための情報を保存する。しかし、RIMT に記録できる Interest の情報量以上の Interest がパケット変換 GW に転送されると、Interest の処理が間に合わずパケットロスが発生する。パケットロスが発生した場合、パケット変換 GW は RIMT に Interest 情報を記録できないため、Consumer に Interest の再送信を要求する必要がある。この処理によって多大な通信遅延が発生する可能性がある。本稿で行う計算機シミュレーションでは、通信時間は各通信の経路として使用する AS の数に比例すると仮定し、平均 RTT (round trip time) は約 296ms とする。計算機シミュレーションで使用する AS 間トポロジでの各発着 AS ペア sd 間の平均 AS 数は約 4.43 個であるため、各 AS での通信時間は約 33.4ms として計算する。また、計算機シミュレーションで使用する平均 RTT は複数の地域から選択した大学に存在している RIPE Atlas [7] の端末から実測した通信時間の平均値である。測定先として使用した RIPE Atlas 端末の所在地はそれぞれ、京都大学 (日本), ボストン大学 (アメリカ合衆国), スタンフォード大学 (アメリカ合衆国), リオグランデ・ド・スル大学 (ブラジル連邦共和国), マドリード・カルロス 3 世大学 (スペイン王国), ハンブルク大学 (ドイツ連邦共和国), ネルソン・マンデラ大学 (南アフリカ共和国) である。

本稿で考慮する通信時間は Interest 及びデータパケットの転送時間のみであり、DNS の利用時間やパケット変換 GW がパケットのヘッダを書き換えるために要する時間などは含まれていない。5.2 節で、各発着 AS ペア sd 間で経由するパケット変換 GW 数について述べ、5.3 節で通信遅延量のシミュレーション結果を評価する。

5.2 経由パケット変換 GW 数

各発着 AS ペア sd 間で Interest の転送時、経由する NDN-AS でキャッシュヒットした場合はそのキャッシュからコンテンツ配信が行われるため、キャッシュヒットが発生した AS より着 AS 側の AS には Interest が転送されない。

Interest の転送経路が短縮されると、パケット変換 GW の利用率も減少する。 sd 間でパケット変換 GW の経由数が少なければ少ないほど、平均パケットロス発生回数は少なくなる。よって、提案手法が通信遅延に与える影響を考慮する際、通信経路で経由するパケット変換 GW の数は重要な要素となる。そこで、Interest の転送経路短縮を顧慮したパケット変換 GW 経由数を調査する計算機シミュレーションを行った。なお、各 NDN-AS でのキャッシュヒット率の値として三つの場合を各々想定した。

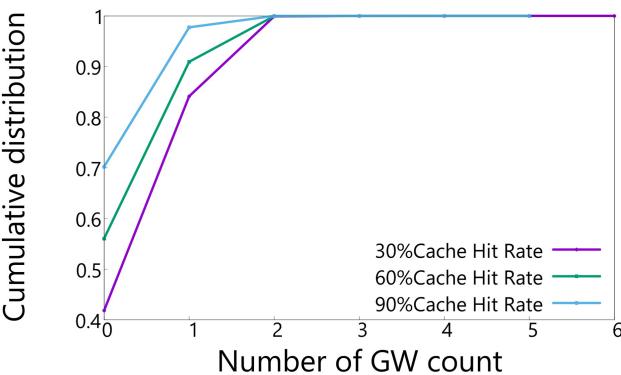


図 5 Cumulative distribution of GW count on each path (scenario 1)

図 5, 図 6 に各々、シナリオ 1, シナリオ 2 での各発着 AS

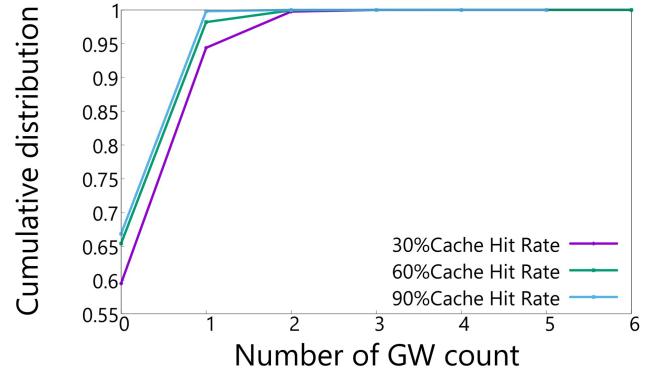


図 6 Cumulative distribution of GW count on each path (scenario 2)

ペア sd 間で経由するパケット変換 GW 数の累積分布を示す。シナリオ 2 では、ハブ的な役割を果たす高次数 AS の一部に NDN が導入されているため Interest の転送経路の短縮効果が大きい。キャッシュヒット率が 30% の場合であっても複数回のパケット変換を必要とする確率は 1 割未満であり、オーバーヘッドの発生が抑制されている。シナリオ 1 の場合であってもパケット変換 GW の経由数が 2 以下となる経路が 99% 以上を占め、シナリオ 2 程ではないもののパケット変換 GW の利用率は低い値に抑えられていることが確認された。

5.3 提案手法によるパケット遅延

パケット遅延を、送信ホストが要求パケットを送信してから、それに対するデータパケットを受信するまでに要する遅延時間と定義する。提案手法の、パケット遅延に影響を与える要素は、低減させる要素と、増加させる要素の両方がある。パケット遅延を低減させる要素は、NDN の導入による通信経路の短縮効果である。一方、4.1 節で述べた IP-Consumer がパケット変換 GW に要求コンテンツ名を通知する処理、5.1 節で述べたパケット変換 GW でパケットロスが発生した時の処理の二つが、パケット遅延を増加させる要素となる。パケット変換 GW では IP アドレスやコンテンツ名を一時的に記憶しておくため、ICII と NCII の二つのテーブルを用いている。しかしこれらのテーブルのサイズは有限なので、メモリ容量が不足する場合、これらテーブルに変換情報を記録することができない。その場合、再度、送信ホストは要求パケットを送信する必要がある。本節では、これらテーブルにおけるロス率を様々に変えたときの、相反する二要素によるパケット遅延時間への影響の評価結果について述べる。

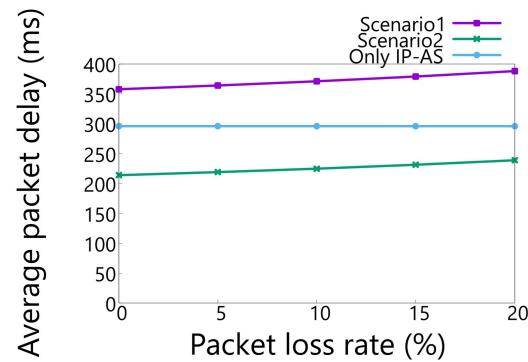


図 7 Average packet delay with 30% cache hit ratio in NDN AS

図 7, 図 8, 図 9 に各々、各 NDN-AS のルータでのキャッ

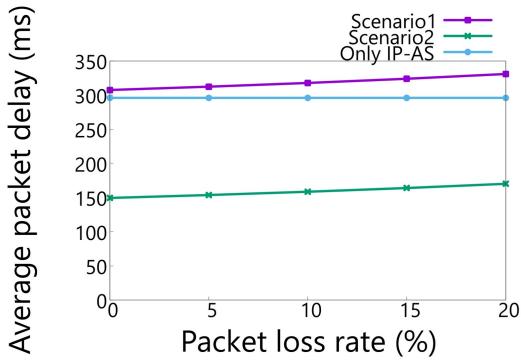


図 8 Average packet delay with 60% cache hit ratio in NDN AS

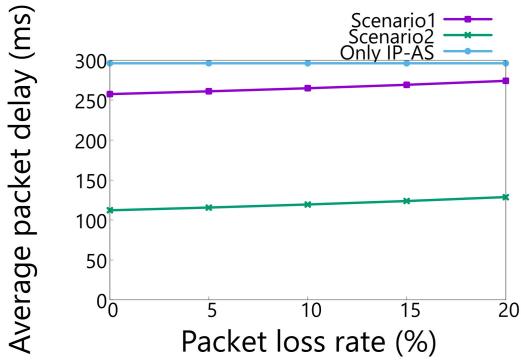


図 9 Average packet delay with 90% cache hit ratio in NDN AS

シユヒット率が 30%, 60%, 90% の時の、平均パケット転送遅延を、GW におけるパケット損失率に対してプロットする。シナリオ 2 では常に小さい平均パケット遅延を記録している。これは Interest の転送経路として高頻度で利用される AS に NDN が導入された結果、Interest 転送の早い段階でキャッシュヒットが発生する確率が高くなつたためと考えられる。一方、シナリオ 1 ではシナリオ 2 よりも経由するパケット変換 GW の数が多いため、パケットロス率による平均パケット遅延の上昇量がシナリオ 2 と比較して大きい。また、経由する多くの発着 AS ペア sd 間の経路として使われる高次数 AS で NDN が利用できないため、キャッシュヒット率が 30%, 60% の場合では通信遅延の低減効果が小さく、IP のみで通信を行う場合と比較して、平均パケット遅延が増大する。以上のことから、高次数の AS に NDN が導入されることが、全体の平均パケット遅延の低減に有効なことが確認できる。

6. ま と め

本稿では、パケット変換 GW を用いた IP-NDN 間でのパケット転送手法を提案した。パケット転送前の処理によって異種のネットワーク間で通信を行う際に Interest がパケット変換 GW に転送されるための準備を行い、パケットの転送時に RIMT でヘッダの書き換えに必要な情報を管理する。この二段階の処理によって IP パケットと NDN パケットの相互変換を実現する。また計算機シミュレーションにより、IP と NDN の混在トポロジで通信を行う時の、経由パケット変換 GW 数及び平均パケット遅延を評価した。

提案手法には、パケット変換 GW でのパケットロス率が高い場合にパケット遅延が非常に大きくなる場合があるという課題がある。パケットロス発生時はパケット変換 GW が Consumer に対して再送要求を行い、通信をやり直す。再送試行回数ごと

の、パケットロスが起きずに Interest の転送に成功する確率は幾何分布に従うので、パケットロス率が高い場合は同一のパケット変換 GW で繰り返しパケットロスが発生する確率が高くなるためである。提案手法では転送されるすべての Interest に対して ICII もしくは NCII を記録する必要があるため、Interest の転送レートがパケット変換 GW でのパケットロス率に大きな影響を与える。提案手法の利用時、通信遅延の低減が期待可能なパケットロス率を実現するため、パケット変換 GW で記録可能な ICII, NCII の数を今後の研究予定とする。

また、本稿での計算機シミュレーションはダイクストラ法によって決定した各発着 AS ペア sd 間の最小ホップ数となる経路をパケットの転送経路として採用した。しかし、実際には NDN のキャッシュを利用することによって経路は短縮されるため、NDN の利用率を上げるようなパケット転送経路を利用した方がパケット転送経路の短縮効果が高まり、RTT の低減効果が高くなる可能性がある。よって、提案手法の経路短縮効果を考慮した最適 AS 間ルーティング法も今後の研究予定とする。

謝辞 本研究成果は、JSPS 科研費 23K21664, 23K21665, 23K28078 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] Feri Fahrianto and Noriaki Kamiyama, Migrating from IP to NDN Using Dual-Channel Translation Gateway, IEEE Access, Vol. 10, pp. 70252-70268, Jul. 2022
- [2] Feri Fahrianto and Noriaki Kamiyama, Comparison of migration approaches of ICN/NDN on IP networks, in Proc. 5th Int. Conf. Informat. Comput. (ICIC), Nov. 2020, pp. 1-7.
- [3] Hao Wu, Junxiao Shi, Yaxuan Wang, Yilun Wang, Gong Zhang, Yi Wang, Bin Liu, Beichuan Zhang, On incremental deployment of named data networking in local area networks, in Proc. ACM/IEEE Symp. Archit. Netw. Commun. Syst. (ANCS), Beijing, China, May 2017, pp. 82-94.
- [4] CAIDA, “Autonomous System Taxonomy Repository”, 2013-11-6, <https://www.caida.org/catalog/datasets/as-taxonomy/> (参照 2024-09-14)
- [5] Samar Shailendra, Bighnaraaj Panigrahi, Hemant Kumar Rath, Anantha Simha, A Novel Overlay Architecture for Information Centric Networking, 2015 Twenty First National Conference on Communications. (NCC), Feb 2015.
- [6] Shuntaro Hashimoto, Makoto Misumi, and Noriaki Kamiyama, Analysis of Diffusion Process of ICN Based on Economic Factors, IEEE/IFIP NOMS 2024 (Short Paper)
- [7] RIPE NCC, “RIPE Atlas - RIPE Network Coordination Centre”, <https://www.ripe.net/analyse/internet-measurements/ripe-atlas/>