

NDNにおけるNLSRによるキャッシュコンテンツ広告のトラフィックへの影響

御法川凌太[†] 中里 秀則[†]

[†] 早稲田大学基幹理工学部情報通信学科

〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1

E-mail: [†]minorikawa0709@ruri.waseda.jp, ^{††}nakazato@waseda.jp

あらまし Information Centric Networking (ICN) の一種である Named Data Networking (NDN) で使用されている Named-data Link State Routing Protocol (NLSR) にコンテンツモビリティへ対応する機能を追加した際の実用性を検討した。本稿では、NDN ルータがキャッシュしたコンテンツを確率的に広告する機能を追加し、トポロジや広告確率を変動させることで負荷の変化を計測、解析している。様々な条件に適用することで、追加機能がネットワークに与える影響を評価する。

キーワード NDN,NLSR,Cache,mobility

Traffic Overhead by NLSR Advertisement for Cached Contents in NDN

Ryota MINORIKAWA[†] and Hidenori NAKAZATO[†]

[†] Faculty of Engineering, Waseda University

Okubo 3-4-1, Shinjyuku-ku, Tokyo, 169-8555 Japan

E-mail: [†]minorikawa0709@ruri.waseda.jp, ^{††}nakazato@waseda.jp

Abstract We studied the practicality of adding a function for content mobility to the Named-data Link State Routing Protocol (NLSR) used in Named Data Networking (NDN), a type of Information Centric Networking (ICN). In this paper, we add a function to advertise the content cached by NDN routers with probability, and measure and analyze the change in load by varying the topology and advertisement probability. We evaluate the impact of the additional function on the network by applying it to various conditions.

Key words NDN, NLSR, Cache, mobility

1. はじめに

近年、新しい形のネットワークとして、ICN (Information Centric Networking) が期待されている。このネットワークでは、どこにコンテンツがあるのかではなく、どのようなコンテンツを求めているかが重要視されている。ICNには様々なアーキテクチャが存在し、その中でもNDN (Named Data Networking) [1] は階層型で可読性のある名前をルーティングやコンテンツ提供等に使用するプロトコルである。NDNは、コンテンツ要求側であるコンシューマのモビリティに対応しているが、コンテンツ提供側であるプロデューサのモビリティにはあまり対応できていない。そのため、使用しているルーティングプロトコルであるNamed-data Link State Routing Protocol (NLSR) [2] に、ルータがキャッシュしたコンテンツを自身が提供するコンテンツとして広告を行う機能を追加する。これによりプロデューサが増え、

プロデューサの移動時にネットワーク内でコンテンツ提供者が存在しない状況が防がれるため、プロデューサモビリティに対応できる。この手法は、コンテンツが移動する場合、移動しない場合のどちらにおいてもコンテンツの取得確率の向上が確認できた。[3]しかし、この手法はトポロジの増加に応じてパケット量が増加する懸念がある。

本研究では、トポロジを変化させた際や、キャッシュしたコンテンツの広告確率を変動させた際のパケットやパケット数の変化から、追加機能がネットワークに与える影響を評価し、実用性の検討を行なった。

2. NDN

2.1 アーキテクチャ

NDNはコンテンツ要求用のInterestパケットと、応答用のDataパケットが用いられ、そのフォーマットは図1に示す通り

である。どちらのパケットもコンテンツ名を表す Name field が存在し、これを元に転送を行なっている。要求パケットが、コンテンツを提供するサーバに到達する前にコンテンツを保持するルータに到達した場合、それ以降の転送は行わず、コンテンツの応答が行われるなど、通信が End-to-End とは限らない点が IP ネットワークと異なる。

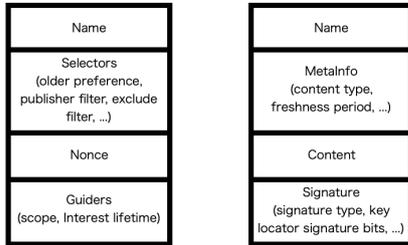


図 1: パケットの構成: Interest パケット (左) Data パケット (右)

2.2 転送プロセス

NDN のパケット転送プロセスでは、Interest パケットの転送先を決定する Forwarding Information Table (FIB), Interest パケットの受信インタフェースと要求コンテンツの対応を記憶する Pending Information Table (PIT), 受信した Data パケットの内、キャッシュしたコンテンツを保持しておく Content Store (CS) の 3 種類のテーブルが用いられる。

まず、Interest パケットが到着した際に、Name field を確認し、CS 内に同じ名前の Data パケットがあるかを確認する。あった場合は Interest パケットを受信したインタフェースに Data パケットを転送し、なかった場合は、PIT に同じ名前があるか確認する。次に、PIT に同じ名前のエントリがあった場合はそのエントリに受信したインタフェースを追記して Interest パケットは破棄する。なかった場合は FIB の情報を元に Interest パケットを次のルータに転送する。

図 2 にこの流れを示す。

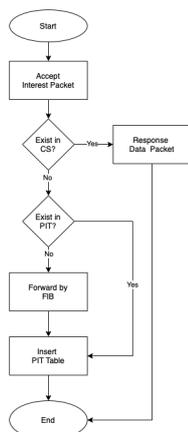


図 2: Interest パケット受信時における NDN ルータの動作

3. NLSR

3.1 アーキテクチャ

NLSR は、OSPF を元に作成された、NDN のリンクステート型ルーティングプロトコルである。隣接ルータと定期的な情報の送受信でネットワーク構成の状態確認を行う関係 (ネイバー) となり、Link State Database (LSDB) を同期することでルーティングを行う。

通信には Interest パケットと Data パケットのみが用いられ、表 1 に示すように分類される。

表 1: NLSR のパケット分類

Packet	Length (Byte)	Description
LSA Interest	100~130	LSA の要求
Info Interest	130~160	ネイバーの死活監視
Info Reply	240~	ネイバーの死活監視
LSA Data	240~	LSA の更新
Sync Interest	240~	LSDB の整合性確認
Sync Data	240~	LSDB の整合性確認

4. 提案手法

4.1 概要

プロデューサの移動時、NDN のルーティングプロトコルである NLSR によりコンテンツの経路情報は更新されるため、移動前に NDN ルータがキャッシュしたコンテンツは無駄になる可能性がある。そこで、NDN のルーティングプロトコルである NLSR にキャッシュしたコンテンツを広告する機能を追加することで、プロデューサが移動した際もルーティングテーブルの収束を待つことなく遅延時間無しにコンテンツ要求に応じる事を可能とすることを提案する。これにより NDN ネットワークにおけるプロデューサのモビリティサポートが行える。

本手法は、NDN におけるプロデューサモビリティサポートの 3 種類の手法 [4] である、rendezvous based approach, anchor-based approach, anchor-less approach の内、anchor-less approach に含まれる。この手法は他の 2 種と異なり、ネットワーク上で特定の機能を持った単一のノードを必要とせず、ネットワークの一部に適用した場合でも従来の方式と干渉しないメリットが存在するが、移動後にルーティングテーブル更新の収束を待つ必要があるというデメリットが存在していた。しかし、本手法は移動前にルーティングテーブルを更新するため、収束を待つ必要がなく、高速化されている。本手法のイメージを図 3 に示す。

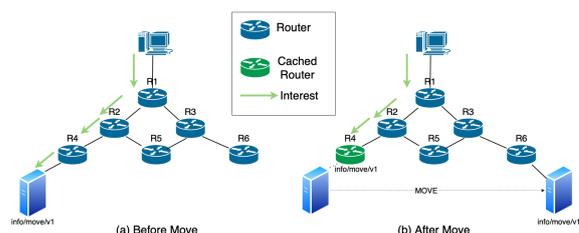


図 3: 提案手法

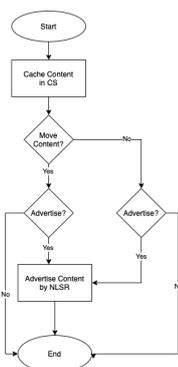


図 4: キャッシュしたコンテンツを広告する時の動作

この図の様に、サーバが提供しているコンテンツ (info/move/v1) が要求された時に、R4 がキャッシュし、広告することでサーバが R6 の下に移動した後も R4 にコンテンツを要求することでコンテンツを提供できるようになっている。この動作を行うため、ルータが特定のコンテンツをキャッシュしている場合はプロデューサが接続された状態、キャッシュクリアが起きた際は切断された状態として振る舞うことで Link State Database を更新する。

4.2 詳細

サーバは移動する可能性がある場合、Name field に記載するコンテンツ名に “/move” のプレフィクスを使用する。このプレフィクスによって、NDN ルータに経路情報として広告すべきコンテンツであることを伝える。

コンテンツ名の広告に関わり NDN ルータに追加する機能は、コンテンツの広告とその取りやめに分かれており、どちらも NDN ルータのキャッシュ機能である CS へのコンテンツ (Data パケット) の保存/削除を契機に実行され、具体的には NLSR の LSDB の更新および FIB の更新を行う。

ルータが、コンテンツをキャッシュしたことをトリガとしてリンクステート情報の広告の動作を始める。“/move” プレフィクスをもつ Data パケットを NDN ルータが受信すると、ルータは Data パケットを CS にキャッシュするとともに、コンテンツ名を NLSR によって広告する。コンテンツの広告は、広告対象を自ノードの LSDB に追加し、それによって LSA Data パケットが隣接ノードに送信されることで行われる。その後、隣接ノードは受信した LSA Data パケットから LSDB を更新することでコンテンツ情報は同期され経路の広告は完了する。隣接ノードでは、LSDB の更新に基づき、FIB に経路が設定される。

本提案では、“/move” プレフィクスをもつ移動するコンテンツだけでなく、通常のコンテンツについても一定の確率で広告を行う仕組みとしている。移動するコンテンツ/移動しないコンテンツにはそれぞれ異なる広告の確率を設定することができるため、ネットワークに流れるコンテンツの種類や量に応じて広告確率の調整を行うことができ、ネットワークに必要な以上の負荷をかけることがなくなる。ここで用いる確率はそれぞれ、ルータ毎に設定可能である。

図 4 に広告時の動作を示す。

コンテンツがキャッシュから削除された場合、削除をトリガとしてリンクステート情報の広告を削除する動作を始める。コンテンツの広告の取りやめは、対象を自ノードの LSDB から削除し、それによって LSA Data パケットが隣接ノードに送信されることで行われる。その後、隣接ノードは受信した LSA Data パケットから LSDB を更新することでコンテンツ情報は同期され広告の取りやめが完了する。LSDB の更新に伴い、FIB の経路情報も削除される。

本提案では、移動するコンテンツだけでなく、通常のコンテンツについても広告を取りやめる仕組みとしている。これは、広告されていないコンテンツに対してのこの動作はルーティング情報などに特に影響がないためである。

図 5 に広告を取りやめる時の動作を示す。

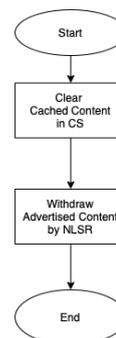


図 5: キャッシュクリアされたコンテンツの広告を取りやめる時の動作

これらの動作は、プロデューサの移動を元に発生するわけではないため、プロデューサの移動時にネットワーク内に該当コンテンツの経路情報が存在せず、要求が満たされない問題を解決している。また、キャッシュからコンテンツが無くなった場合は即座に広告した情報を削除するため、存在しないコンテンツを広告し続けることはない。

5. 実験

5.1 概要

提案手法がネットワークに与える影響を確かめるため、2種類の実験を行った。どちらの実験も ndn-tools [5] の ndnpeek と ndnpoke を使用することでコンシューマからプロデューサへのコンテンツ要求を継続的に行い、その際にネットワーク内で発生するパケットを tcpdump によりキャプチャし、解析を行った。

コンテンツ要求に関しては、ネットワークに配置する 4 つのプロデューサのそれぞれが 9 つの通常コンテンツと、6 つの移動可能コンテンツを保持しており、コンシューマはこの 60 種類の中からランダムなコンテンツに対して 1 秒毎に要求を行う。また、自作スクリプトによってプロデューサはこれらのコンテンツに対して ndnpoke で提供を続けている。この時コンシューマは移動せず、コンシューマに直接接続しているルータはコンテンツをキャッシュしない。

本実験ではキャッシュしたコンテンツの広告やコンテンツの

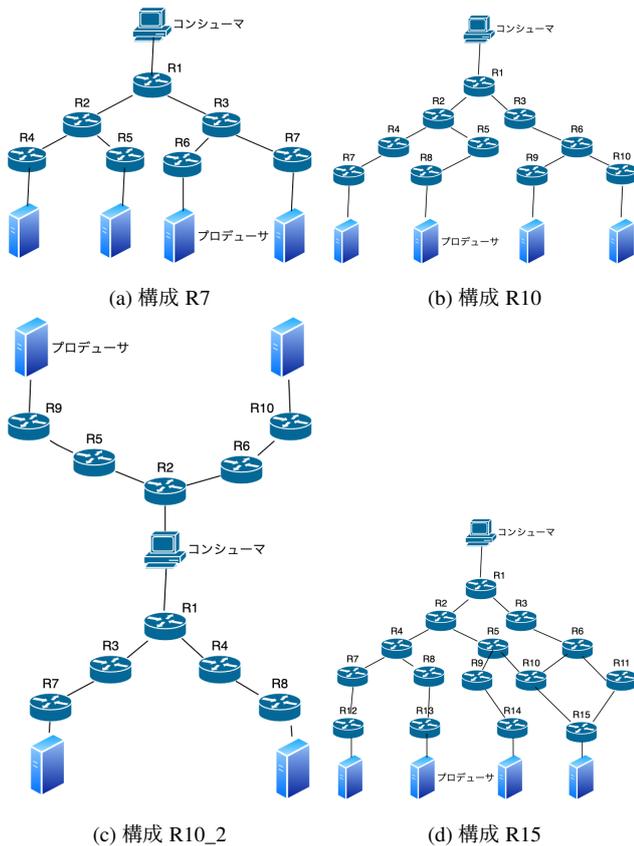


図 6: 実験で使用したネットワークトポロジ

移動を行う。キャッシュしたコンテンツの広告は、ルータ毎に割り当てられた特定の確率で行う。また、コンテンツの移動を行う場合は、5秒毎に移動可能なコンテンツの内ランダムに選ばれた1つが、別のランダムなサーバに移動する。

実験1では、トポロジを変化させた時のパケット量の変化を調べた。実験2では、キャッシュしたコンテンツの広告確率を変化させた時のパケット量の変化を調べた。

5.2 環境

実験環境として、Dockerを使用する。本実験では、Ubuntu20.04のDocker Imageをベースに、ndn-cxx, NFD, PSync library, NLSR, ndn-tools, shell script プログラムをインストールしたDocker Imageを作成し使用した。実験によって多少の差異はあるが、Docker Hub上の“minoeru/nlsr:base”が上記のImageとなっている。また、実験の際はDockerImageの起動から結果の取得までをAppleScriptで行った。

使用したトポロジは図6に示す4種類の内、実験1では4つ全てのトポロジを、実験2では構成R10を使用した。各トポロジにはコンシューマ1つとプロデューサ4つを配置して実験を行った。

5.3 実験 1

実験1で使用した、キャッシュしたコンテンツを広告する確率を表2に示す。表中、Edgeとは、プロデューサと直接接続しているルータで、Coreとは、それ以外のルータを示す。

表 2: 各条件におけるキャッシュコンテンツの広告確率 (%)

条件	Core(move)	Core(other)	Edge(move)	Edge(other)
0	0	0	0	0
1	50	10	100	50
2	50	0	100	0
3	50	0	50	0
4	0	0	50	0
5	100	0	100	0

この条件のもと、それぞれのトポロジにおいて取得されたパケットを全条件分足し合わせ、表1の種類毎に分類した結果を図7に示す。この分類は、ndn-toolsのndn.luaを用いて行った。

この結果から、トポロジの変更によりパケット数の増減が顕著であったLSA Dataパケットと、Sync Interestパケット、Sync Dataパケットを重点的に解析した。

次に、これらのパケットについて、トポロジ毎のパケット長の変化を調べる。表3にその結果を示す。

表 3: 各トポロジ毎のパケット長の平均値 (Byte)

	構成 7	構成 10	構成 15
LSA Data	765.5617	727.5008	723.3812
Sync Interest	548.0314	647.9519	783.7386
Sync Data	764.0244	864.6402	1000.304

この結果から、ルータ数増加に応じてLSA Dataパケットのパケット長はあまり変化が見られないが、Sync InterestパケットとSync Dataパケットのパケット長が増加している事がわかる。そのため、Syncパケットにおいてはパケット長の変化にも着目する。

実験によって得られた各トポロジにおけるパケット数やパケット長の増加率と、トポロジのリンク数、ノード数、ルータ数の増加率の比較を表4に示す。

表 4: 各トポロジ毎の増加率の比較

	構成 R7	構成 R10	構成 R10_2	構成 R15
LSA Data パケット数	1.000	1.080	1.119	2.243
Sync Interest パケット数	1.000	1.122	1.157	2.053
Sync Data パケット数	1.000	1.098	1.111	2.296
Sync Interest パケット長	1.000	1.326	1.363	2.935
Sync Data パケット長	1.000	1.242	1.253	3.006
リンク数	1.000	1.273	1.273	1.909
ノード数	1.000	1.375	1.375	2.000
ルータ数	1.000	1.429	1.429	2.143

この結果から、トポロジ毎のパケット数の増加率は、リンク数の増加に応じていると考えられる。そのため、トポロジが大きくなっても各ルータが送信するLSA DataパケットとSyncパケットの量はさほど増加しないと言える。しかし、パケット長とトポロジの関係は見受けられなかった。

そこで、Sync Interestパケット長とSync Dataパケット長のCumulative Distribution Function (CDF)を求めることでパケット

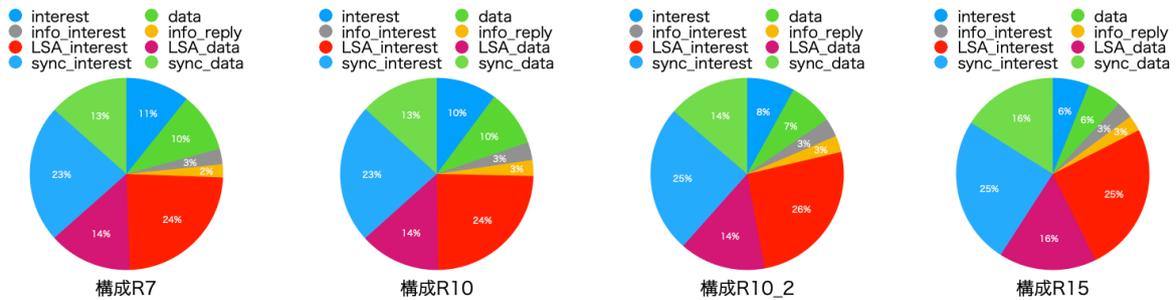
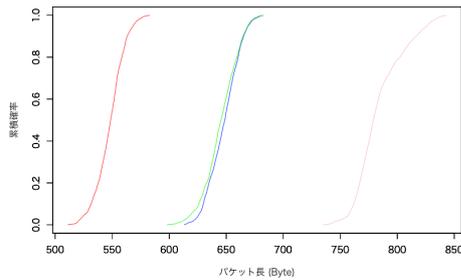
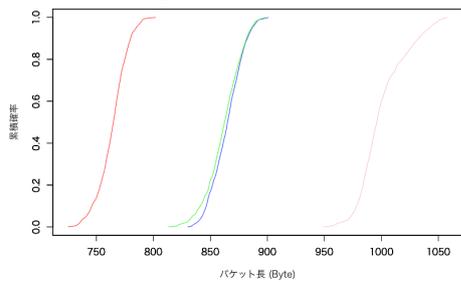


図 7: 各トポロジにおけるパケットの割合



(a) Sync Interest パケット



(b) Sync Data パケット

図 8: Sync パケット長の CDF

長について考察する。図 8 に Sync パケット長の CDF を示す。

これらの結果から、パケット長はネットワークのサイズに応じて一定量増加しているが、長さの取る範囲は狭いことがわかる。表 3 の平均値から、Sync パケットのパケット長はノード数が 1 増加する度に 30Byte 程増加していると言える。

5.4 実験 2

実験 2 で使用した、キャッシュしたコンテンツを広告する確率を表 5 に示す。これは、コンシューマやプロデューサに近いネットワークエッジにあるルータのキャッシュ確率を固定し、それ以外の、すなわちネットワークのコア部にあるルータのキャッシュ確率を変動した時の変化を調べるためである。

この条件のもと、tcpdump によりキャプチャしたパケットを種類毎に分類した時のパケット数の変化を図 9 に示す。

この結果から、広告確率の変更によりパケット数の増減が顕著であった LSA Interest パケット、LSA Data パケット、Sync Interest パケット、Sync Data パケットを重点的に解析した。

まず、図 10 に LSA Interest パケットと LSA Data パケットのパケット数の増加率を示す。

これらの結果から、LSA パケットはどちらもコアルータの

表 5: 各条件におけるキャッシュコンテンツの広告確率 (%)

条件	ルータ R1-6		ルータ R7-10	
	move	other	move	other
0	0	0	100	0
1	10	0	100	0
2	20	0	100	0
:	:	:	:	:
9	90	0	100	0
10	100	0	100	0

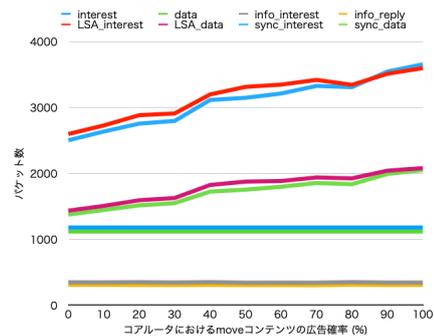
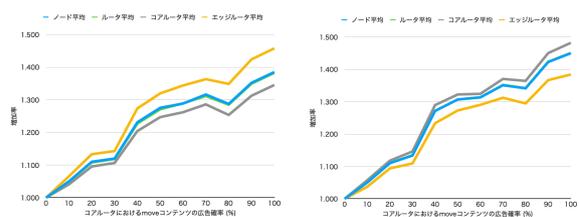


図 9: 各条件におけるパケット数の変化



(a) LSA Interest パケット

(b) LSA Data パケット

図 10: LSA パケット数の増加率

広告確率の増加に応じて対数的に増加していると言える。しかし、LSA Interest パケットはエッジルータの方がコアルータよりも、LSA Data パケットはコアルータの方がエッジルータよりも増加率が高い傾向にある事が分かる。これは、前者はコアルータの広告確率の増加により LSDB の変化が増え、その差異をなくすために LSA Interest パケットの送信回数が増加しているからであると考えられ、後者はコアルータの広告確率の増加により LSA Data パケットを送信する確率が増加しているから

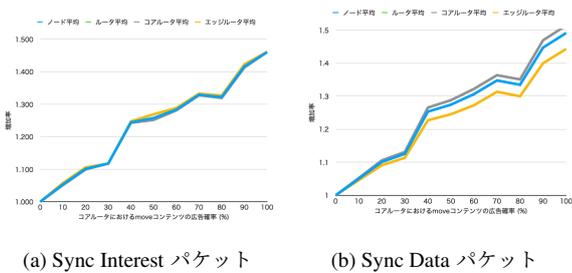


図 11: Sync パケット数の増加率

であると考えられる。

次に、図 11 に Sync Interest パケットと Sync Data パケットの増加率を示す。

これらの結果から、Sync パケットはコアルータの広告確率の増加に応じて線形的に増加していると言える。これは、コアルータの広告確率の増加により経路情報の変更回数が増加し、その同期を取るために Sync パケットを送受信する事で差異を伝え合ったからであると考えられる。

最後に、エッジルータとコアルータの広告確率を 0% から 100% まで 10% ずつ増加させた時のネットワーク内の全パケット数とパケットロスの発生回数を求めた。図 12 は、条件毎のパケット数とパケットロス数を掛け合わせたものである。

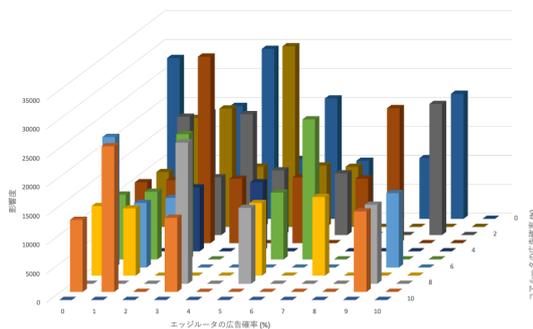


図 12: 各条件におけるパケットの増加数

この結果から、エッジルータとコアルータの広告確率の合計が 100% を超えると、パケットロスの可能性が大幅に減っており、片方が 100% の場合はパケットロスが無くなるのが分かる。

5.5 考察

5.5.1 実験 1

実験 1 の結果から、LSA Data パケットや Sync パケットのパケット数がトポロジの増加の影響をあまり受けないことが示されたが、これは、リンクステート型である NLSR において、下流のノードが移動した場合も上流のノードはルーティングテーブルに変化はないため、ツリー型のノードでは影響が少ないからであると考えられる。このことから、多少構成を変更するのでは影響はさほどなく、距離が大幅に離れた場所に移動する際の影響を考える必要がある。しかし、大幅に移動した場合も、ルーティングテーブルの変更は移動先の特定の範囲に限られる。

また、Sync パケットのパケット長がトポロジの増加に応じて一定量増加していたが、これは NLSR で使用されている SHA256 のハッシュ値であると考えられる。そのため、トポロジ内容からパケット長の推測が可能である。

5.5.2 実験 2

実験 2 の結果から、LSA Interest パケットと LSA Data パケットは、広告確率の増加に応じてある程度増加しているが、パケット長が小さくパケット数も Sync パケットと比較すると少ないため、ネットワーク全体への影響は少ないと考えられる。しかし、Sync パケットは増加率が高く、パケット長、パケット数も大きいため、このトポロジではこのパケットが支配的になっていると言えるが、実験 1 の結果から、このパケットのパケット数はトポロジの変化の影響をあまり受けないため、これ以上の急激な増加はないと考えられる。

以上のことから、エッジルータの広告確率を固定した際にコアルータの広告確率を増加した場合のパケットの増加率はあまり問題にならないことが示された。コアルータとエッジルータでは、エッジルータの確率を増やす方が影響範囲が少ないため、提供する移動するコンテンツ数とエッジルータのキャッシュ可能容量によっては、エッジルータのみにこの機能を追加するだけで問題を解決できると考えられる。

6. まとめ

これらの結果から、今回使用した様なツリー型のトポロジにおいて、1 台のコンシューマが移動するプロデューサに対してコンテンツの要求を行う場合、提案手法はネットワークへの負荷をあまりかけずに性能の向上を見込めることが示された。

今後の展望としては、トポロジのサイズを拡大することによりさらにネットワークが大きくなった際も想定通りの結果になるかの確認や、コンシューマの数を複数台に増加させ複数箇所からコンテンツの要求を行った場合のパケットの流れを確認したいと思う。また、現在は提案手法を shell Script で擬似的に実装しているため、NLSR のプログラムに動作を組み込みたいと思う。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 19K11952 の助成を受けたものです。

文 献

- [1] 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, 44(3):66–73, 2014.
- [2] 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, pages 15–20, 2013.
- [3] 御法川 凌太, 中里 秀則, NDN におけるコンテンツモビリティサポート, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 2021.
- [4] Chao Fang, Haipeng Yao, Zhuwei Wang, Wenjun Wu, Xiaoning Jin, and F Richard Yu. A survey of mobile information-centric networking: Research issues and challenges. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 20(3):2353–2371, 2018.
- [5] Named Data Networking Project Team. Ndn essential tools. <https://github.com/named-data/ndn-tools>