ICNのコンテンツポイズニング攻撃がキャッシュヒット率に与える影響の分析

Investigating Influence of ICN Content Poisoning Attack on Cache Hit Ratio

工藤 多空飛¹

上山 憲昭²

Takuto Kudo

Noriaki Kamiyama

福岡大学大学院 工学研究科 電子情報工学専攻¹

Graduate School of Engineering, Fukuoka University

立命館大学 情報理工学部²

College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

1. はじめに

コンテンツの名称でデータ通信を行い、コンテンツ配信を効率的に行うネットワーク (NW) アーキテクチャとして情報指向ネットワーク (ICN: information-centric networking) が注目を集めている。しかし、悪意を持ったユーザが不当なコンテンツを NW に展開することでキャッシュの効果を低下させるコンテンツポイズニング攻撃 (CPA: content poisoning attack) の問題が指摘されている [1]。CPA に対する対処法を確立するには、CPA が NW の性質に与える影響を明らかにする必要があるが、既存研究はその多くが小規模な NW トポロジや限定された攻撃者の位置のみで評価を行っている [1]。そこで著者らは、fake 型 CPA がキャッシュに与える影響を分析し [2]、また ICN のキャッシュ方式が独自 fake 型 CPA の脅威に与える影響を分析し [3]、さらに NW トポロジが独自 fake 型 CPA の脅威に与える影響を分析した [4]。本稿では、攻撃者の配置方式、ICN のキャッシュ方式、NW トポロジが、独自 fake 型 CPA のキャッシュヒット率の低減効果に与える影響を分析する。

2. fake コンテンツと Bot の配置方式

独自 fake 型 CPA は Bot から攻撃者の用意した fake コンテンツを要求し、NW 上に fake コンテンツを配信することで、キャッシュに fake コンテンツを注入する。fake コンテンツか Bot のうち先に配置する方の配置方式として、以下の二つを想定する。

BC: Betweenness Centrality が最大のノードに配置

DC: Degree Centrality が最大のノードに配置

先行配置で割当てなかった方の配置方式として、文献 [3] の PC (path count) を使用する。本稿では、先行配置方式を左側に表記し、方式の末尾に fake コンテンツの割り当ては f, Bot の割り当てであれば b を表記する。

3. 性能評価

本稿では計算機シミュレーションによって評価する。CAIDA で公開されている米国の商用 ISP のバックボーン NW トポロジのうち、At Home Network と Allegiance Telecom を評価に用いる。キャッシュ方式は AllCache (AC), EdgeCache (EC), Leave Copy Down (LCD) を想定し、キャッシュサイズは 100 とする。正当なコンテンツ数 $M = 10000$ に対し fake コンテンツ数 F は 32 及び 1024 を想定する。正常ユーザはパラメタ $\theta = 0.8$ の Zipf 分布に従いランダムに選択したコンテンツを要求するのに対し、Bot はランダムに fake コンテンツを要求し、その要求比率は全体の要求比率の 10% を想定する。fake コンテンツと Bot の両方をランダムに配置した場合 (Random) と、NW 内のホップ長が最大となるノード組みに両者を各々配置した場合 (Hop) を、2 節の配置方式に追加して評価する。また、fake コンテンツ及び Bot の配置数は各々、1 個ずつとする。

表 1 から表 4 に NW トポロジごと、各配置方式、各キャッシュ方式において、fake コンテンツ注入量 1 位から 3 位のノードにおけるローカルキャッシュヒット率の変化率を示す。表 1, 3 より、Bot を DC または BC 方式で先に割当て、fake コンテンツを PC 方式で配置することで fake コンテンツ数が少ない場合でも rank1 だけではなく、rank2, rank3 ノードにおけるローカルキャッシュヒット率を低減させることが確認できる。一方 fake コンテンツ数が多い場合、Bot の配置が重要ではなく、主要なノードに割当てているかが重要である。これは、fake コンテンツへの配信要求 (Interest) が分散され、Interest がオリジナルまで転送される機会が増えるためである。表 4 では、Hop 配置方式においても、rank1 ノードでのローカルキャッシュヒット率が大きく低減している。これは NW トポロジ内の最も主要ではないノードに fake コンテンツが注入されており、キャッシュの入れ替わりが頻繁に起こらないことが要因と考えられる。従って、Allegiance Telecom のようなハブノードが存在する NW トポロ

ジにおいては、ローカルキャッシュヒット率への影響は大きい。NW 全体の影響としては小さく、これは先行配置方式が DC または BC の場合も同様である。

表 1: Local cache hit ratio (At Home Network, F=32)

	rank1			rank2		rank3	
	AC	EC	LCD	AC	LCD	AC	LCD
Random	-7.7	-3.6	-4.7	-1.3	0.9	3.4	0.5
Hop	-2.5	-11.2	-1.5	2.7	-2.1	-7.1	-3.0
DCf-PCb	-37.7	-27.0	-22.3	1.0	-2.3	-9.0	-2.6
DCb-PCf	-20.5	-11.5	-15.0	-27.2	-5.3	-18.3	-3.7
BCf-PCb	-27.7	-24.5	-18.8	16.0	3.3	6.5	2.8
BCb-PCf	-39.7	-29.2	-16.8	-18.9	-3.4	-5.1	-2.2

表 2: Local cache hit ratio (At Home Network, F=1024)

	rank1			rank2		rank3	
	AC	EC	LCD	AC	LCD	AC	LCD
Random	-14.6	-8.2	-0.8	-7.1	-10.5	-1.4	4.4
Hop	-19.9	-14.6	-4.5	-13.8	-6.2	-21.0	-1.8
DCf-PCb	-53.8	-70.4	-33.8	-32.9	-34.1	-53.5	28.9
DCb-PCf	-52.9	-87.7	-53.1	-37.7	-48.7	-45.5	9.1
BCf-PCb	-65.5	-75.6	-59.4	-62.2	-39.7	-55.8	-0.2
BCb-PCf	-68.3	-91.6	-67.8	-60.3	-69.5	-62.2	-11.4

表 3: Local cache hit ratio (Allegiance Telecom, F=32)

	rank1			rank2		rank3	
	AC	EC	LCD	AC	LCD	AC	LCD
Random	-7.1	-5.9	-4.5	-0.1	-0.8	-0.1	-0.2
Hop	-12.2	-9.8	-7.2	-2.1	-2.4	-1.7	-0.9
DCf-PCb	-13.8	-1.4	-4.7	-2.0	-0.9	-4.1	-1.7
DCb-PCf	-25.6	-32.5	-25.7	-29.1	-23.9	-20.0	-37.4
BCf-PCb	-17.9	-14.5	-0.2	-5.5	-0.9	-0.5	-0.1
BCb-PCf	-8.5	-27.2	-16.5	-22.9	-17.6	-18.5	-18.5

表 4: Local cache hit ratio (Allegiance Telecom, F=1024)

	rank1			rank2		rank3	
	AC	EC	LCD	AC	LCD	AC	LCD
Random	-7.8	-11.4	-7.7	-4.9	-2.1	-9.6	-3.0
Hop	-85.1	-37.9	-9.1	-11.3	-2.2	-67.4	-1.4
DCf-PCb	-90.6	-84.7	-45.2	-65.9	-34.4	-51.3	-1.0
DCb-PCf	-90.2	-89.0	-97.5	-68.2	-71.2	-47.6	-3.4
BCf-PCb	-90.4	-86.7	-43.5	-67.3	-15.8	-47.8	-8.6
BCb-PCf	-91.7	-55.6	-97.6	-68.4	-71.5	-49.6	-1.6

謝辞 本研究成果は JSPS 科研費 18K11283 と 21H03437 の助成を受けたものである。ここに記して謝意を表す。

- [1] T. Nguyen, et al., "Content Poisoning in Named Data Networking: Comprehensive Characterization of real Deployment", IM 2017, 2017.
- [2] 工藤多空飛, 上山憲昭, "コンテンツポイズニング攻撃の影響分析", 2021 信学総大, B-6-24, 2021 年 3 月.
- [3] 工藤多空飛, 上山憲昭, "攻撃者の位置がコンテンツポイズニング攻撃の脅威に与える影響の分析", 2021 信学総大, B-11-18, 2021 年 9 月.
- [4] 工藤多空飛, 上山憲昭, "ネットワークトポロジがコンテンツポイズニング攻撃に与える影響の分析", 2022 信学総大, B-14-12, 2022 年 3 月.