

情報指向ネットワークにおける ネットワーク障害時のコンテンツ可用性に関する一検討

A Study on Content Availability at Network Failure in Information-Centric Networking

中村 遼
Ryo Nakamura

上山 憲昭
Noriaki Kamiyama

福岡大学 工学部
Faculty of Engineering, Fukuoka University

1 はじめに

近年、データを送受信するホストではなくデータそのものを中心としたネットワークである情報指向ネットワーク (ICN: Information-Centric Networking) が注目を浴びている。

ICN では、コンテンツキャッシングにより、コンテンツ配送遅延の短縮や可用性の向上などが期待されているが、ネットワーク障害 (例: ルータの故障や災害によるルータやリンクの破損) に対して、ICN がどの程度堅牢であるかはこれまで十分に明らかにされていない。

本稿では、ネットワーク障害のパターンとしてランダムなルータの故障を対象とし、数値計算により、ノードをランダムに除去した時の ICN におけるコンテンツ可用性を分析する。

2 コンテンツ可用性の定式化

複数のルータおよび複数のリポジトリ (コンテンツサーバ) から構成される ICN ネットワークのトポロジを無向グラフ $G = (V, E)$ と表記する。また、ネットワーク中のノード v におけるコンテンツ c に対するキャッシュヒット率を $q_{c,v}$ と表記する。

本稿では、コンテンツ可用性を、ノードの配下に接続されているエンティティ (要求者) がコンテンツを正常に取得できる確率とする。ICN では、ネットワーク障害により、エンティティからリポジトリまでの経路が分断されたとしても、経路上のルータからコンテンツを取得できる。このため、ノード v におけるコンテンツ c に対する可用性 A_c^v は、キャッシュヒット率 $q_{c,v}$ を用いて、

$$A_c^v = 1 - \prod_{v' \in P_{c,v}} (1 - q_{c,v'}) \quad (1)$$

である。ここで、 $P_{c,v}$ は、ノード v におけるコンテンツ c に対する任意の経路である。

ノード v における平均コンテンツ可用性 A^v は、ノード v におけるコンテンツ c に対する可用性 A_c^v と、ノード v におけるコンテンツ c に対する要求割合の重みつき平均 (文献 [1] における式 (14)) で与えられる。従って、ネットワーク全体の平均コンテンツ可用性 A は、ノード数 $N (= |V|)$ を用いて、以下のように与えられる。

$$A = \frac{\sum_v A^v}{N} \quad (2)$$

3 数値例

ネットワークトポロジとして、ER (Erdős-Rényi) モデルで生成したノード数 $N = 100$ および平均次数 $k = 4$ のランダムネットワークを使用した。ネットワークにおいて、次数が最も高いノードにリポジトリを接続した。リポジトリには 1,000 種類のコンテンツを配置した。

全てのノードに一台のエンティティを接続し、リポジトリが保有するコンテンツに対してコンテンツ取得要求をエンティティから繰り返し送出させた。エンティティからの各コンテンツに対する要求割合はパラメータ 0.8 の Zipf 分布で与えた。

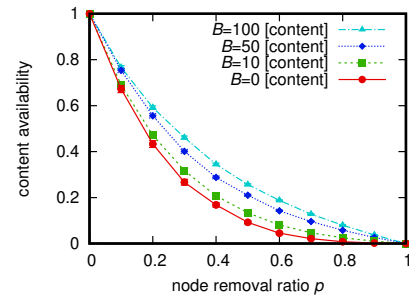


図1 ノード除去率とネットワーク全体の平均コンテンツ可用性の関係

ネットワーク全体の平均コンテンツ可用性は以下のよう計算した。まず、ネットワーク生成モデルによりネットワーク G を生成した。各ノードのコンテンツに対するデフォルト経路を、当該コンテンツを保有するリポジトリまでの最短経路とした。与えられた条件下において、任意の ICN ネットワークの性能解析 [1] を用いて、ノードにおける各コンテンツに対するキャッシュヒット率 $q_{c,v}$ を計算した。次に、ネットワーク障害として、ネットワーク G からノードを確率 p でランダムに除去することにより、障害後のネットワーク $G(p)$ を得た。デフォルト経路上で到達性が維持されているノードまでの経路を、ノード v のコンテンツ c に対する経路 $P_{c,v}$ とした。そして、障害前のネットワーク G におけるキャッシュヒット率 $q_{c,v}$ と、障害後のネットワーク $G(p)$ におけるノード v のコンテンツ c に対する経路 $P_{c,v}$ から、ネットワーク全体の平均コンテンツ可用性 (式 (2)) を計算した。

ER モデルにより 10 種類のランダムネットワークを生成し、与えられたノード除去率 p の下でランダムなノード除去を 100 回繰り返した時の、ネットワーク全体の平均コンテンツ可用性の平均と 95% 信頼区間を求めた。

ノード除去率 p を変化させた時の、ネットワーク全体の平均コンテンツ可用性を図 1 に示す。図中には、ノード (ルータ) におけるキャッシュサイズ B を 0, 10, 50, 100 [content] と変化させた時の結果を示している。

この結果から、(1) ノード除去率の増加に対して、ネットワーク全体の平均コンテンツ可用性は急激に失われること、(2) ネットワーク可用性 ($B = 0$ の時のコンテンツ可用性) と比較して、キャッシュサイズが大きい場合 ($B = 50$ や $B = 100$) には、ネットワーク全体の平均コンテンツ可用性は大きく改善されるが、キャッシュサイズが小さい場合 ($B = 10$) には、コンテンツ可用性はほとんど改善されないことなどがわかる。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 18K11283 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] R. Nakamura and H. Ohsaki, "Performance analysis of content-centric networking on an arbitrary network topology," *IEICE Transactions on Communications*, vol. E101-B, pp. 24–34, Jan. 2018.