

ICN 導入が他 ISP の利益に与える影響の分析

Analysis of Impact of Introducing ICN on Profit of Other ISPs

伊藤 柁基

上山 憲昭

Masaki Ito

Noriaki Kamiyama

立命館大学 情報理工学部

College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

1. はじめに

効率的にコンテンツ配信するネットワークとして情報指向ネットワーク (ICN: information-centric networking) が検討されている。ISP (Internet Service Provider) は隣接 ISP とのトラフィック量に応じてトランジット費をやり取りしているが、ICN の導入に伴い ISP 間の交流トラフィックが変化するため、ICN 導入が各 ISP の利益に影響を与える。また ICN の導入は各 ISP の判断に基づくため、ICN の普及可能性を明らかにするには、ICN 導入による各 ISP の利益への影響を分析する必要がある。筆者らはこれまでに、階層的な AS (autonomous system) 間のトポロジ構造を対象に、ICN のが各 ISP の利益に与える影響を分析し [1][2]、ICN 導入の恩恵が大きいレイヤ 1 の ISP に ICN 導入を促すにはインセンティブが必要であることを明らかにしたが、インセンティブの付与法は未解決である。インセンティブを付与するには、収益が増加する ISP から増加収益の一部を徴収して基金を作り、収益が減少する ISP に基金から補助金を付与することが有効である。そのためには各 AS の ICN 導入が他の AS の利益に与える影響を明らかにする必要がある。そこで本稿では階層型 AS トポロジを想定したときの、各 AS の ICN 導入が他 AS の利益に与える影響を解析的に導出する。

2. 想定条件

M 個のコンテンツが全 AS 上で提供され、各コンテンツのサイズは均一とし、各配信要求において各コンテンツ m が一定の確率 q_m で選択される。また $Q(m)$ を q_m の累積分布とする。ISP はトランジット契約をした customer ISP に対して、月間にトランジットリンク上に流れたデータ転送レートに応じた料金を課金する。月間のトランジット費 T は、トランジットリンク上の両方向のデータ転送レートの合計値に基づき算出する sum model を想定する。

二つの AS が接続するときの形態は、転送データ量に応じたトランジット費を徴収するトランジット接続と、両者料金支払いのないピアリング接続に分類される。主に上位レイヤ AS が provider として、下位レイヤ AS が customer としてトランジット接続をする。上位 AS から見たときの両者を接続するリンクを p2c リンクと呼び、下位 AS から見たときには c2p リンクと呼ぶ。つまり、同一のトランジット接続リンクが、一方にとって p2c リンク、他方にとって c2p リンクとなる。p2c の方向を downhill、c2p の方向を uphill とする。また自身から p2c リンクのみを経由して到達できる全ての AS の集合をその AS の customer cone (CC) と呼ぶ。

CAIDA の Web サイトで公開されている AS 間のトポロジに関する二つのデータ、as_rel file、as2attr file を用いて、AS トポロジを 3 階層のツリー型トポロジでモデル化する [1]。各レイヤ k の AS (L_k AS) の数を N_k と定義し、各 L_k AS の、 L_{k+1} AS に対する平均 p2c リンク数、 L_{k-1} AS に対する平均 c2p リンク数を、 g_k^{pc} 、 g_k^{cp} と定義する。 L_k AS のキャッシュ上限を σ_k 、各レイヤ k の AS に収容 contents provider (CP) とユーザの比率を W_k とする。その他 AS 間トポロジ、CP やユーザの収容パターン、コンテンツのキャッシュ判断などのすべてのポリシーは [1] で定義したものを想定する。

L_k AS が ICN を導入している確率を P_k としたときの、配信フローが uphill 方向に通る確率 $F_{u,k}$ と、downhill 方向に通る確率 $F_{d,k}$ を用いて、[1][2] で提案した部分的に ICN を導入した場合の AS 間接続リンク上に発生するトラフィック量をもとに検討を進める。

3. ICN 導入が他の AS に与える影響の導出

L_j AS j が新たに ICN を導入したとき、 L_i AS i の利益が被る影響を考える。一部の配信フローが i に流れなくなるが、この減少割合を確率的に求めることで、ある AS が ICN を導入したときの、トラフィック量削減による各 AS のトランジット費の利益への平均的な影響を導出する。

まず downhill 方向の配信フローについて、AS j が新たに ICN を導入したときに AS i が影響を受けるのは、「AS j が AS i の CC」、「AS i の CC であるユーザが AS j の CC」、「配信経路上で (ICN 普及によって) すでにキャッシュされていない」、「要求コンテンツが AS j でキャッシュされている」、の 4 つの条件を全て満たす場合である。それぞれの確率を $R1_{i,j}$ 、 $R2_{i,j}$ 、 $R3_{i,j}$ 、 $R4_j$ とすると次式で得られる。

$$R1_{i,j} = \frac{\sum_{n=0}^{N_{j-1}P1_{i,j-1}} (N_i - g_{i+1}^{cp} - n)}{\sum_{n=0}^{N_{j-1}P1_{i,j-1}} (N_i - n)} \quad (1)$$

$$R2_{i,j} = \frac{N_i}{N_j} \quad (2)$$

$$R3_{i,j} = \sum_{r=j}^K \frac{W_r}{\sum_{n=j}^K W_n} \sum_{n=i+1}^{j-1} (1 - P_n) \left[\prod_{n=j+1}^r (1 - P_n) \right] + \sum_{m=j+1}^r \prod_{n=j+1}^{m-1} (1 - P_n) P_m \{1 - Q(\sigma_m)\} \quad (3)$$

$$R4_j = Q(\sigma_j) \quad (4)$$

各々は独立なので、 $F_{d,i,j} = P1_{i,j}P2_{i,j}P3_{i,j}P4_j$ となる。同様に考えて、uphill 方向の場合も導出できる。

4. 性能評価

図 1 に、 $P_{all} = P_1 = P_2 = P_3$ とし、 L_j AS j が ICN 導入したときの L_1 AS と L_2 AS のトランジット費 $T_{1,j}$ 、 $T_{2,j}$ の変化量 $\Delta T_1, \Delta T_2$ P_{all} に対してプロットする。いずれのレイヤの AS j の ICN 導入においても、AS i がレイヤ 1 の場合 (図 1(a))、AS i の利益は減少し、AS j がレイヤ 2 や 3 の場合は AS i の収益は増加する。レイヤ 1 の AS j の ICN 導入時、トランジット費の変化量が最も大きく、他 AS へ与える影響が大きい。また ICN が普及するにつれ、配信経路上ですでに他の AS にキャッシュされているコンテンツが増える結果、新たな ICN 導入が、他の AS へ与える影響は小さくなる。

5. まとめ

本稿では AS の ICN 導入が、その他の AS の利益に与える影響を解析的に分析した。AS の収益に影響を与える要因としては、他に ICN 導入によるユーザの遅延低減によるエンゲージメントの向上が考えられる。そこで今後は、ユーザのエンゲージメントに与える影響も考慮して、インセンティブ付与法を検討する。

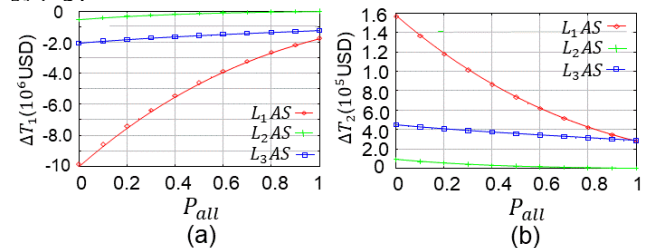


図 1: Average change of monthly profit of each AS

謝辞 本研究成果は、KDDI 財団研究助成寄付金 190051 の助成を受けたものであるここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] N. Kamiyama, "Analyzing impact of introducing CCN on profit of ISPs," IEEE Trans. Netw. Service Manag., vol. 12, no. 2, pp. 176-187, Jun. 2015.
- [2] 辻香葉, 上山憲昭, "ICN の普及程度が ISP の利益に与える影響の分析" 電子情報通信学会通信 2020 ソサイエティ大会, B-11-9, オンライン, 2020 年 9 月.