

ICN 普及のためのナッシュ交渉解を用いた ISP 間の調整金設定法

Adjusting Payments Among ISPs Using Nash Bargaining Solution for ICN Dissemination

伊藤 柊基¹

上山 憲昭²

Masaki Ito

Noriaki Kamiyama

立命館大学 大学院情報理工学研究科¹

Graduate School of Information Science and Engineering, Ritsumeikan 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

現在のネットワークの環境では、IP アドレスを用いて、サーバがクライアントへ、ルータといったネットワーク機器を用いてパケットを転送することが一般的である。これは、通信に際して、コンテンツ名と IP アドレスを変換する名前解決のためのオーバーヘッドが発生する。また、昨今、インターネットではテキストや画像のやりとりだけでなく、動画や音声のような大容量のリッチコンテンツとよばれるものが主流になっており、YouTube や Netflix などに代表される動画事業者からの配信といったように、大容量、低遅延のコンテンツ配信の需要が大きく増加している。以上からトラフィックの急激な増加が予想されるため、効率的なコンテンツ配信として、各ルータにおいてコンテンツをキャッシュし、コンテンツ名を主体とした通信である、情報指向ネットワーク (ICN: information-centric networking) が検討されている。

ICN では、コンテンツ要求元が interest を送出したとき、各経路上ルータはコンテンツ名で転送する。この時、要求コンテンツがルータ内でキャッシュされている場合には interest を転送せずに、コンテンツを直接配信する。これにより、名前解決のためのオーバーヘッドを回避し、よりユーザに近い位置からの効率的なコンテンツ配信が可能となり、遅延時間やネットワーク負荷の軽減が期待できる。ISP (Internet Service Provider) は、インターネット全体への接続性を確保するため、トランジット ISP と接続を行ない、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 の経営判断に基づくため、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。

これまでの研究では、階層的な AS (autonomous system) 間のトポロジ構造を対象に、ICN 普及時の各階層の AS の収益を分析し [1][2][3]、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。そこで本稿では階層型 AS トポロジを想定し、新たに一定割合の AS が ICN を導入したときの収益の変化を解析的に導出し、適切な調整金のシステムを検討する。

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 で選択されると想定する。 q_m は、パラメタ 1 の Zipf 分布に従うとし、各コンテンツは q_m の降順で割り当て、 q_1 が最も人気度の高いコンテンツ、 q_M が最も人気度の低いコンテンツの要求比率とする。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。また、各 AS は自身の各収容ユーザから定額 P の料金を徴収すると想定し、 P に収容ユーザ数を乗じた A を月間アクセス費

として受け取ることができるとする。

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、トランジットサービスを提供し、下位レイヤ AS が customer として対価を支払い、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 provider-to-customer (p2c) リンクと呼び、下位 AS から見たときには customer-to-provider (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。一方、トランジット費の支払いが行われないピアリング接続を p2p とし、これは、同階層の AS が接続する際に用いられることが多い。

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]。図 1 に、本稿で想定する AS 間トポロジモデルを示す。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。各 L_k AS は、各 L_{k+1} AS との間にそれぞれ、均一な確率 g_k^{pc}/N_{k+1} でリンクが存在するとする。また、同様に、確率 $g_k^{cp}/(N_k - 1)$ で、各 L_k AS 間に p2p リンクが存在するとする。

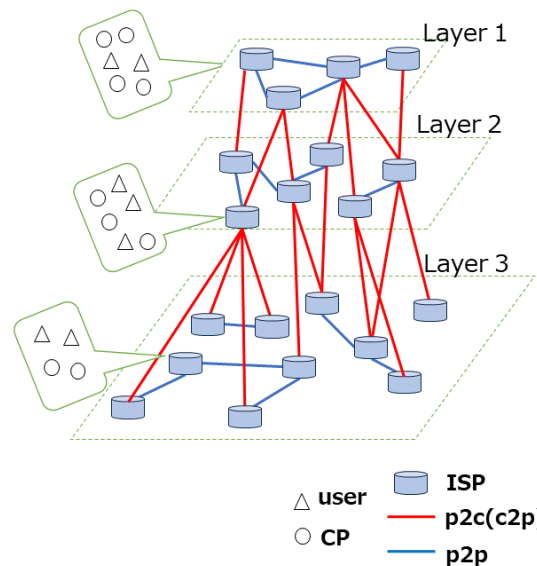


図 1: AS topology model

各レイヤ k の AS に収容される contents provider (CP) とユーザ (user) 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、AS 間ルーティング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。

また、各 L_k AS のキャッシュ容量を $B_k < B_{k+1}$ となるよう設定する。ICN 導入 AS はコンテンツのキャッシュ可否を自由

に判断できる。provider AS から c2p リンクを通ったコンテンツをキャッシュすることで、次回以降、provider AS に Interest を転送することなく、自身のキャッシュからコンテンツを配信することができ、トラフィック量、つまりはトランジット費を削減することが可能となる。そのため provider AS から受信したコンテンツはキャッシュする。一方で、customer AS から p2c リンクを通ったコンテンツ、p2p リンクからのコンテンツは、トランジット費やキャッシュ資源の面で利点がないためキャッシュしない。

3. AS 間の調整金の導出

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][3] 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、各 L_k AS のトランジット費 T_k の変化を導出する。また、ICN 導入でユーザにより近い位置からコンテンツを配信することによって、配信遅延時間の低減が期待できる。配信遅延時間が減少することで、ユーザの満足度が上がり、ユーザの支払い許容額の増加が予想される。本稿では配信遅延時間を經由ホップ数で考え、ユーザの配信遅延に対する感応度を S で定義し、配信遅延時間が 1 ホップ減少するごとにユーザからの収益が $S\%$ 上昇するとする。 L_k AS 収容ユーザからコンテンツまでの經由ホップ数が n である確率 $H_{k,n}$ を用いて求めたユーザからの収益期待値 E_n をもとに、各 L_k AS のユーザからのアクセス費 A_k の変化を導出する。

T_k は一方の利益が一方の損失となるゼロサムゲームであるが、 A_k は市場への新たな資金の流入であるため、AS 間の協力、つまり ICN の導入でより大きな収益を ISP は得ることができる。そこで協力して得た成果をどのように分配するかを考えるために、両者の効用を最大化する合意案を求めることができるナッシュ交渉解を利用し、AS 間の調整金を導出する。ICN 導入前後の L_k AS の収益変化量を ΔR_k 、全 L_j AS から全 L_k AS へ受け渡す金額の合計を調整金 $x_{k,j}$ ($k < j$) とし、ナッシュ交渉解によって、効用 $\Delta R_k + x_{k,j}$ と $\Delta R_j - x_{k,j}$ の積を最大化する $x_{k,j}$ を求める。

4. 結果

ICN が未導入の状態から、すべての L_1 AS が ICN を導入したときの各 L_k AS 収益の変化量 ΔR_n を導出した。すなわち L_1 AS のみの ICN 普及率 P_1 を 0 から 1 へ変化させ、その前後の各レイヤの AS の収益変化量を評価する。図 2 は、感応度 S を変化させたときの ΔR_n を表したものである。 ΔR_n の符号から、 S が十分小さいとき、従来通り、ICN を導入することで、リンク間を流れるトラフィック量が減少し、 L_1 AS の収益は減少、 L_2 , L_3 AS の収益は増加する。反対に S が大きいとき、すべてのレイヤで、ホップ数の減少によって A が大きく増加し、ICN 導入で、 L_1 AS の収益も増加することになる。この結果から、 $\Delta R_1 < 0$ である S の値では、ICN 普及のためには、インセンティブが必要であるといえる。一方でレイヤ 1 の収益が正の値であるとき、レイヤ 1 の ISP は自然に ICN を導入することになるため、インセンティブは必要でないといえる。

次に、 $\Delta R_1 < 0$ であり、ユーザからの収益の変化が大きくなる $S=9$ に設定し、 P_1 のみを 0 から 1 まで変化させたときの、 $x_{k,j}$ を導出した。図 3 は、 P_2 , P_3 がそれぞれ、0 のとき、0.5 のとき、1 のとき、つまり、新たに ICN 導入するときの他 ISP の ICN 普及率と $x_{1,2}$ の関係を示したものである。 P_1 の増加によって、必要な調整金額も増加する。また、 P_2 , P_3 が大きくなると、 $x_{1,2}$ の値は小さくなる。 $x_{1,3}$ でも同様の結果が得られた。調整金について、他 ISP で ICN がすでに導入されているほど、レイヤ 1 の受け取る調整金が小さくなるが、これは、すでに下位レイヤでキャッシュされているコンテンツが多なり、レイヤ 1 の ICN 導入の恩恵を下位レイヤが受けにくくなったためであると考えられる。

5. まとめ

効率的なコンテンツ配信として、コンテンツ名を主体とした通信である ICN が検討されている。本稿では AS 間のトポロジを 3 階層でモデル化し、ICN の普及時において、ICN を導入したときの各 ISP の収益に与える影響を分析するため、トランジット費とユーザからのアクセス費の 2 点について導出した。また、ナッシュ交渉解を用いたときの ISP 間での調整金を導出した。ユーザからのアクセス費は、配信遅延時間低減により上昇するものとし、その感応度により、各レイヤの収益は変化した。今回のモデルでは、レイヤ 1,2 の収容ユーザの比率が大きいため、レイヤ 1,2 の収益が増加しやすい構造であったと考える。

今後は、現実的な状況により近くするために、レイヤごとに ICN 普及の方法を変更し同様に数値評価を行う。さらには実際のトポロジを対象として、同様のインセンティブメカニズムが実現可能かも評価していきたい。

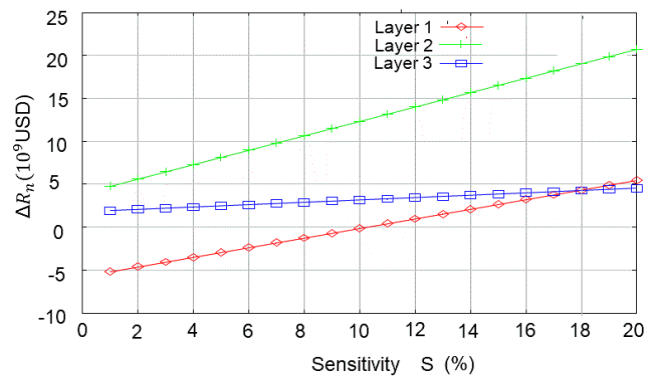


図 2: 各レイヤの ISP の収益変化

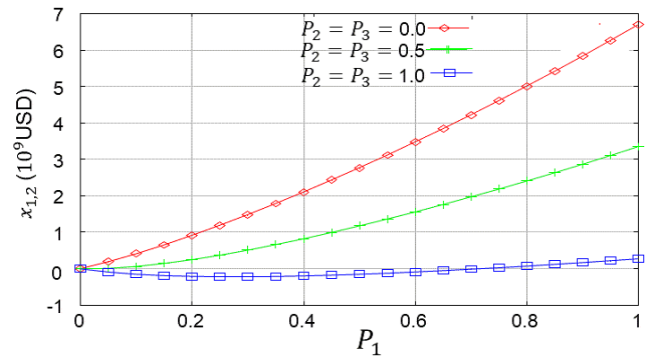


図 3: レイヤ 1,2 間の調整金

謝辞

本研究成果は JSPS 科研費 21H03436 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。

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] 辻香菜, 上山憲昭, ICN の普及程度が ISP の利益に与える影響の分析”, 信学会 2020 ソ大会, B-11-9
- [3] 伊藤 柁基, 上山 憲昭, ICN 導入が他 ISP の利益に与える影響の分析, 信学会 2023 年総合大会, B-6-22