

ICN の FIB サイズとネットワーク負荷低減を目的としたコンテンツ配置制御

Designing Content Placement for Improving Aggregation Effect of ICN FIBs and Reducing Network Load

橋本 紘輝

上山 憲昭

Hiroki Hashimoto

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

デジタルコンテンツや IoT データを効率的に配信できる新しいネットワークアーキテクチャとして、情報指向ネットワーク (ICN: information-centric networking) が大きな注目を集めている。しかし多くの場合、コンテンツの名称は場所に依存しないため、ICN ルータの転送テーブル (FIB: forwarding information base) のエントリ集約は困難である。名前が同一の文字列を含む場合は少数の FIB エントリに集約可能なため、エントリを効果的に集約するには、似たような名称のコンテンツが同一ノードに存在することが望ましい。一方、インターネットでは CDN (content delivery network) が、ユーザの配信品質を向上しネットワーク内のトラフィック量を削減する技術として広く用いられているが、CDN のこれらの目的は ICN により達成される。

そこでこれまでに、CDN を ICN のオリジナル提供プラットフォームとして位置づけ、URL の最初のコンポーネントである TLD (top level domain) と URL の 2 番目のコンポーネントである SLD (second level domain) の各々に対し、該当 Web オブジェクトの個数の降順に同一の CDN のキャッシュサーバに割り当て、Web オブジェクトを再配置することで、ICN ルータの FIB のサイズを効果的に削減することを提案した [1]。

しかしコンテンツ配置はネットワークを流れるトラフィック量や配信フロー長に大きな影響を与えるが、[1] ではリンク負荷の低減は考慮していない。そこで本稿では [1] を拡張し、高人気コンテンツを多く含むドメイン名の URL をネットワークの中心に配置することで、FIB サイズだけでなく平均リンク負荷の低減を同時に考慮する方式を提案する。

2. 提案方式

FIB サイズと平均リンク負荷の低減を目的としたコンテンツ配置アルゴリズムを提案する。[1] では FIB 集約効果を高める為に TLD や SLD が同じオブジェクトを同一のノードに割り当て、負荷の集中を避けるために各ノードに上限値 B を設けることで、割り当てるオブジェクト数の均等化を考えた。本稿ではこれらに加えて、要求比率が高いドメイン名を他のノードに至るホップ長の平均値が小さいノードに優先して割り当てることで、FIB の集約効果だけでなく、ネットワーク負荷を同時に低減させるコンテンツ配置設計を提案する。

使用 URL の合計要求比率の降順で TLD をソートし、 $D_1(x)$ を x 番目にランクされた TLD と定義する。同様に各 TLD に対し、合計要求比率の降順で SLD の組をソートし、 $D_2(s, y)$ を TLD が s で y 番目にランクされた SLD と定義する。 M_1 を異なる TLD の数、 $M_2(s)$ を TLD s を有する異なる SLD の数と定義する。 $U_1(x)$ は TLD として $D_1(x)$ を持つ URL の集合を示し、 $U_2(s, x)$ は TLD として s を、SLD として $D_2(s, x)$ を有する URL の集合を示す。さらに $m_1(x)$ と $m_2(s, x)$ を、 $U_1(x)$ と $U_2(s, x)$ に含まれる URL の数として、 $r_1(x)$ と $r_2(s, x)$ を $U_1(x)$ と $U_2(s, x)$ に含まれる URL の要求比率の総和として定義する。

A_n はノード n に配置できる URL の数を示す。ノード ij 間の最短ホップ長を h_{ij} 、ノード n の人口比を r_n としたとき、 $\sum r_n h_{xn}$ によりノード x から他の全てのノードに至る平均ホップ長 u_x が求められる。 u_x が最小であるノードを n^* とする。

$r_1(x)$ の降順に、 x を選択し、 $m_1(x) \leq A_{n^*}$ の場合にはノード n^* に $U_1(x)$ を割り当て、 $m_1(x) > A_{n^*}$ の場合には $U_1(x)$ を $y = 1, 2, \dots, M_2(D_1(x))$ として $U_2(D_1(x), y)$ に分割し、 $U_2(D_1(x), y)$ を $r_2(D_1(x), y)$ の降順にノード n^* へ割り当てる。割り当て中に A_{n^*} が上限値 B を超える時、再計算を行い、 $m_2(s, y) \leq A_{n^*}$ を満たすノード n^* を選択し、割り当てる。その結果、 s_n がノード n に配置された URL の数であるとき、 $s_n \leq B$ を満たしながら、ネットワーク負荷低減と各ノードの FIB エントリの効果的な集約が期待できる。

3. 性能評価

ネットワークのすべてのノードに CDN のキャッシュサーバが提供されている状態を想定し、1つのノードに配置されたオブジェクトの数の上限である B を $W/N * 1.01 = 1010$ 個とした。ただし W は Web オブジェクトの数 12,010 で、 N はノードの数 12 である。本研究では実測で得られたネットワークポロジとして、Internet2 を利用した。提案方式 (Proposed) と、再配置を行わないオリジナル配置 (Original)、そして [1] で提案した URL に含まれる TLD と SLD の Web オブジェクト数の降順に空き容量が最大のノードに配置した場合 (Previously proposed) の各々に対し、[1] で提案した FIB 集約アルゴリズムを適用する。

コンテンツ要求先ノード s の要求比率を $D(s)$ 、要求元ノード d の人口比率を $p(d)$ としたとき、リンク l を経由するフローの集合を F_l 、ノード sd 間のフローを f_{sd} とすると、 l のリンク負荷は $\sum_{f_{sd} \in F_l} D(s)p(d)$ で求められる。全リンクにおける負荷の合計値をリンク数 M で除した平均リンク負荷を L とする。ただし、ノード間リンクは双方向で考慮するものとし、リンク数 M は 42 である。

図 1(a) に平均リンク負荷 L を比較した結果を示す。提案方式は要求度が高い URL をホップ長の平均値が小さいノードに優先して配置したことで、周辺ノードにおけるリンク負荷を抑えることができ、オリジナル配置と比べて約 2 割、比較方式と比べて約 1.3 割の L を削減できた。

図 1(b) に FIB サイズの平均値 S を示す。提案方式はオリジナル配置と比較すると約 2 割の削減ができたが、Previously proposed と比べると約 4 割増加する結果となった。TLD の com は URL 全体の約 7 割を占めており、com の配置場所は FIB の集約に大きく影響する。提案方式は平均ホップ長が最小のノードに優先して TLD や SLD を割り当てるため、TLD として com を有する SLD は位置が離れた複数のノードに分散して配置されたが、Previously proposed では位置が隣接するノード番号の順に、これらドメインを割り当てたので、結果的に TLD として com を有するドメインが近接した位置に配置された。TLD で単一ノードに割り当てることができず、SLD で分割して配置を行う際は、隣接するノードに同じ TLD をもつ URL が配置されるような割り当て方式が FIB の集約という面では有効であると言える。今後はこの観点を含めて検討を行う予定である。

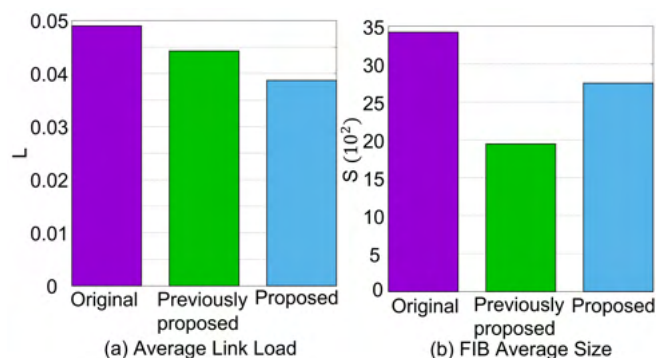


図 1: (a) 平均リンク負荷 (b) 平均 FIB サイズ

謝辞

本研究成果は JSPS 科研費 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] 佐々木優, 上山憲昭, "ICN の FIB 集約のためのコンテンツ配置制御", 信学会 ネットワークシステム (NS) 研究会, NS2019-133, 神戸, 2019 年 11 月。