

NDN の遺伝的アルゴリズムを用いたコンテンツ配置設計

橋本 紘輝[†] 上山 憲昭^{††}

[†] 立命館大学 大学院 情報理工学研究科
〒 567-8570 大阪府茨木市岩倉町 2-150
^{††} 立命館大学 情報理工学部
〒 567-8570 大阪府茨木市岩倉町 2-150

E-mail: †is0518ek@ed.ritsumei.ac.jp, ††kamiaki@fc.ritsumei.ac.jp

あらまし 近年、デジタルコンテンツや IoT (Internet of Things) 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、ICN (Information-Centric Networking) が注目されている。ICN では IP アドレスではなくコンテンツの名前でデータを要求する。ICN の中でも代表的な NDN (Named-Data-Networking) では、ルータの FIB (Forwarding Information Base) を参照して要求パケットを転送するが、コンテンツ名には地域性が無いため FIB エントリの集約が難しく、FIB サイズの増大が問題となる。一方インターネットでは、ユーザの配信品質を向上させる技術として CDN (Content Delivery Network) が広く利用されている。そこで筆者らは、コンテンツを公開するオリジンサーバからネットワーク上の CDN キャッシュサーバにコンテンツのオリジナルを再配置することで、NDN の FIB サイズを低減することを提案した。しかし、コンテンツのオリジナルの配置位置はネットワークの様々な性能に影響するため、FIB サイズだけでなく他の指標も考慮した配置位置を決定することが重要である。本稿では、遺伝的アルゴリズム (GA: Genetic Algorithm) を用いて、FIB エントリの集約だけでなく、ネットワーク負荷の軽減や他のネットワーク性能の改善を同時に図るオリジナル配置設計法を提案する。そして商用 ISP のバックボーンのトポロジでの数値評価により、提案手法がネットワークに生じる負荷集中を抑制しつつ、FIB エントリサイズを削減できることを示す。また、コンテンツ配置時に発生するコンテンツ移動コストを考慮した GA 配置法を検討する。

キーワード 情報指向ネットワーク, NDN, 転送テーブル, FIB 集約

Design Method of Content Placement Using Genetic Algorithms in NDN

Hiroki HASHIMOTO[†] and Noriaki KAMIYAMA^{††}

[†] Graduate School of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University
2-150, Iwakuracho, Ibaraki, Osaka 525-8570

^{††} College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University
2-150, Iwakuracho, Ibaraki, Osaka 525-8570

E-mail: †is0518ek@ed.ritsumei.ac.jp, ††kamiaki@fc.ritsumei.ac.jp

Abstract In recent years, Information-centric networking (ICN) has attracted wide attention as a new network architecture which can efficiently deliver digital content and Internet of Things (IoT) data. In ICN, we can request data by the name of contents, not by IP address. NDN (Named-Data-Networking), which is one of the most representative ICN, send request packets by referring to router's FIB (forwarding information base). However, it is difficult to aggregate FIB entries because there are no regional characteristics in the delivery placement of content, and FIB size increases. On the other hand, CDN (content delivery network) is widely used as a technology to improve the delivery quality of users on the internet. We proposed to reduce the FIB entry size by relocating the original content from the origin server that publishes the content to CDN cache servers on the network. However, since the location of content placement affects network performance, it is important to determine the delivery placement taking into account not only FIB size but also other network metrics. In this paper, we propose a method that uses a genetic algorithm (GA) to not only aggregate FIB entries, but also reduce network load and improve other network performance. Numerical evaluations on a commercial topologies show that the proposed method can reduce FIB entry size while suppressing load concentration on the network. We also consider GA placement method that takes into account the content movement costs that occur when placing contents.

Key words Information-centric networking (ICN), Named data networking (NDN), Forwarding information base (FIB), FIB aggregation

1. はじめに

現在インターネットで Web コンテンツを取得する際、ユーザは URL を用いて要求し、配信サーバからコンテンツを取得する。このとき、ユーザが配信サーバと通信を確立するには、DNS を用いた名前解決によって配信サーバの IP アドレスを取得する必要がある。しかし、インターネットの普及と拡大による通信の増加と、高速・大容量・同時多接続の 5G 通信の普及に伴う IoT (Internet of Things) サービスの増加によって、DNS の名前解決時に発生する遅延が課題として考えられている。そこで IP アドレスを用いず、DNS による名前解決処理を必要としない次世代のネットワークとして ICN (Information-Centric Networking) [8] が注目されている。ICN ではコンテンツの名称そのもので通信が可能であり、コンテンツ要求者 (subscriber) はコンテンツを提供するサーバ (publisher) に対して要求パケット (Interest) を直接送信することで通信可能となる。ICN の中でも NDN (Named Data Networking) [5] [16] が主流であり、本稿では NDN を想定する。

NDN の通信では IP アドレスを用いた従来の通信法と同様に、各ルータで FIB (Forwarding Information Base) と呼ばれる経路制御表を参照することで NH (Next Hop) のルータに Interest を転送する。そして Interest が publisher に到達すると、転送した経路の逆順にデータパケット (Data) が送信される。FIB では Prefix と NH の組によってエントリが作成されるが、IP ルータの FIB では転送先 IP アドレス、NDN ルータの FIB ではコンテンツ名が Prefix として用いられ、コンテンツ名は、Prefix とコンテンツ ID から構成される。NDN のコンテンツのオリジナルは publisher のホストに存在し、publisher はコンテンツ名の Prefix を隣接ルータに広告する [9]。Prefix 広告を受信する NDN ルータは、ユーザである subscriber から送信された Interest が publisher のホストに転送されるように FIB を構成する。

FIB に全ての Prefix のエントリを作成した場合、FIB に必要なメモリサイズは大幅に増加する。したがって、FIB のメモリコストを削減するためには、FIB エントリの集約が不可欠である。IP 通信の場合、管理団体によって国や地域ごとに一定範囲のアドレスを割り当てるため、IP アドレスには地理的な局所性が存在する。しかし NDN の場合、同じ組織のコンテンツを提供する publisher のホストは同じ地域に存在する傾向にあるが、組織名は地理的な局所性はない。そのため、NDN の FIB における Prefix の集約は困難となる。例えば Web ページをコンテンツと見なした場合、約 10^{11} のコンテンツ名があり、同じ組織の Prefix を 1 つの Prefix に集約した後であっても、約 10^9 のコンテンツ名の Prefix がある [15]。異なる組織間の Prefix 集約は難しく、NDN の各 FIB には約 10^9 エントリが必要である [6] が、IP ネットワークの各 FIB には約 10^5 エントリしか必要ない。ハッシュ表 [15] に基づいたエントリ検索を行う場合、数百万の Prefix に対して数メガバイトのメモリが FIB に必要であるため、SRAM を使用した FIB の実装は困難である。

インターネットにおいて、ウェブコンテンツを効率的に配信できる仕組みとして CDN (content delivery network) が使用されている。CDN ではオリジンサーバからコンテンツのコ

ピーを取得したキャッシュサーバが代わりに配信を行うことで、距離が近いサーバからコンテンツを取得可能なため、遅延時間の低減や、ネットワークトラフィック量の削減が可能である。一方で NDN ルータではコンテンツをキャッシュすることが可能であるため、subscriber の近くから配信される可能性が高いことから、CDN の目的は NDN によって満たされる。

既存研究では FIB サイズ削減のために複数の手法がこれまで提案されているが、本稿では中でもコンテンツ配置制御法に取り組む。本手法において筆者らの先行研究では、似た名前のコンテンツを同じ CDN キャッシュサーバに再配置することで、FIB エントリを効果的に集約することを提案した [12]。また似た名前のコンテンツを人気が高い順に、ネットワークの中心から同じ場所に配置することで、リンク負荷も同時に低減させるコンテンツ配置法を提案した [7]。しかし先行研究では、コンテンツの配置によって生じるノードやリンクの負荷集中を考慮していない。コンテンツのオリジナルの配置場所はネットワークの性能に大きく影響するが、複数のネットワーク性能を考慮してコンテンツを再配置するには、コンテンツのオリジナルの配置設計は組み合わせ最適化問題となり、解の導出に多大な計算時間を要する。

そこで本稿では様々な組み合わせ最適化問題に有効な近似解法として知られる遺伝的アルゴリズム (GA: Genetic Algorithm) [14] をコンテンツオリジナルの配置設計に適用し、FIB サイズとネットワーク品質を考慮した NDN のオリジナル配置法を提案する。そして計算機シミュレーションにより、その有効性を明らかにする。以下 2 節では関連研究について説明し、そして 3 節では GA を用いたコンテンツ配置方式の設計方法と評価指標について詳細を説明する。4 節では負荷集中を考慮した GA のコンテンツ配置結果を示し、その効果について考察する。5 節では移動コストを考慮した結果を示し、その結果を考察する。最後に 6 節で本稿についてまとめ、今後の方針を述べる。

2. 関連研究

2.1 NDN の FIB サイズ削減法

NDN ルータの FIB エントリ数を削減する方法として、これまでに (1) 部分キャッシュ、(2) ルート集約、(3) フラッディング、(4) ブルームフィルタの 4 つのアプローチが検討されている。部分キャッシュでは、すべての prefix ではなく一部の prefix に対して FIB エントリが作成される [1] [6]。文献 [1] では DNS を使用し、エントリがルータの FIB に存在しない場合の名前解決法を提案している。到着する interest の prefix のエントリがルータの FIB に存在しない場合、ルータは否定応答を subscriber に返す。そして subscriber は DNS を用いて、要求コンテンツと同じドメインを有しルータの FIB にエントリが存在する prefix を得て、その prefix に対し interest を送信する。また文献 [6] では、ルックアンドキャッシュアプローチを提案している。つまりルータは NRS (name routing system) サーバから取得したルーティング情報をルータの FIB にキャッシュする。本アプローチでは FIB のサイズは縮小されるが、名前検索が必要となる。

2 番目のアプローチであるルート集約では、すべての interest

が NAC (name collector) と呼ばれる同一のルータを通過するように FIB が設定される [13]. NAC がルートノードであるツリートポロジで NAC に向けて interest が送信されるため、ルータで必要な FIB のサイズが削減されるが、interest の転送ホップ長は増加する。

3 番目のアプローチ、すなわちフラッディングでは、FIB 検索を行わずにルータのすべての出力面に interest がブロードキャストされる [2] [4]. 文献 [2] ではルータで interest をブロードキャストし、prefix をキャッシュしている隣接ルータは、要求元ルータにルータ情報を返す。文献 [4] では、人気のないコンテンツアイテムの interest を転送し、FIB を使用せずに人気のあるコンテンツアイテムの interest をブロードキャストすることが提案されている。人気コンテンツのコピーは多くのルータでキャッシュされる可能性が高いため、interest をブロードキャストすることで、要求されたコンテンツを持つルータに interest が高い確率で届く。ただし interest は冗長に転送されるため、ネットワークリンクが高負荷になる可能性がある。

最後に 4 番目のアプローチ、つまりブルームフィルタでは、ルータが各出力フェースで提供されるブルームフィルタを使用し、到着する各 interest を各出力フェースに転送するか否かを判断する [10] [11]. ブルームフィルタを使用することで、ルータは限られた数のメモリアクセスで小さなサイズのメモリを使用して、interest 転送の決定が可能である。ただし interest を誤った出力面に転送する可能性があり、冗長な interest 送信によりネットワーク負荷が増加する。

2.2 コンテンツ配置制御法

文献 [12] では、NDN の FIB サイズ削減法の一つに CDN を活用したコンテンツ配置制御法を提案している。本手法は (1)FIB のエントリ集約と (2) コンテンツ配置に分けられる。(1)FIB の集約には IP ルータで FIB サイズを低減させるために用いる LPM (longest prefix matching) を NDN ルータに用いる。コンテンツ名として扱う URL のピリオドで区切られた文字列をコンポーネントと定義し、URL をコンポーネント単位で逆順に並び替える。同一 TLD (top level domain) や SLD (second level domain) をもち、出力フェースが同じエントリは LPM を用いて集約可能となる。(2)CDN のキャッシュサーバはキャッシュされたコンテンツの Prefix をネットワークに広告すること [2] や、publisher のホストになることが可能である。そこでコンテンツ名の上位パートが同じ複数のコンテンツに対する interest がルータにおいて同一出力フェースに転送されるよう、コンテンツのオリジナルを CDN のキャッシュサーバに配置することで、FIB エントリを効率的に集約することが可能となる。すなわちコンポーネントの上位が同じかつ出力フェースも同じ FIB エントリは集約可能となることから、同一 TLD や SLD をもつコンテンツを同じ CDN キャッシュサーバに配置することで FIB エントリの効果的な集約を図る。

2.3 ネットワーク負荷を考慮したコンテンツ再配置

著者らはこれまでにコンテンツ配置法について FIB サイズだけでなく、ネットワークトラフィックを考慮した配置手法を提案した [7]. 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に影響を与えるため、ノード位置を考慮し、アクセス比率が高いコンテンツをネットワークの中心に配置す

ることで FIB サイズだけでなくネットワーク負荷を同時に実現した。

また配置ノード数を限定し、平均 FIB サイズ、平均リンク負荷、リンク負荷の変動係数、コンテンツ可用性喪失値の 4 つの評価尺度に基づき配置した際の最適な配置ノード数も示した。複数種類のトポロジを用いて、平均次数の異なるトポロジでは最適な配置ノード数が異なる傾向があることを確認した。その結果、同じ上位ドメインをもつコンテンツを同一ノードに配置ノード数を限定して配置することで、FIB サイズとリンク負荷を効果的に低減することを実現した。しかし本方式は発見的にコンテンツオリジナルの配置ノードを決定しており、配置結果の最適性には限界がある。

3. 提案方式

本稿では平均 FIB サイズや平均リンク負荷など、複数の評価尺度を同時に考慮して、GA を用いてコンテンツのオリジナルの配置場所を最適化する方式を提案する。本節では、本提案方式の詳細について述べる。

3.1 コンテンツ配置方式

提案方式では各コンテンツが配置されるネットワーク上のノード位置を遺伝子 g_i とした GA を設計する。TLD が同じコンテンツを同一ノードに配置することで FIB のエントリ集約効果の向上が期待できるため、コンテンツは TLD 単位で再配置する。しかし、要求比率が高いコンテンツを同一ノードに配置すると、そのノードに接続するリンクへの負荷が集中し、またノード障害が発生したときにコンテンツの可用性が低下する。そのため、各コンテンツを要求比率が全コンテンツの中で 1% 以下になるように SLD 単位に配置単位を分割する。

3.2 配置アルゴリズム

ランダムに生成された遺伝子の初期集団から開始し、生成した各遺伝子 g_i について遺伝子の適応度 $A(g_i)$ を計算する。求めた $A(g_i)$ についてその世代における g_i の順位を評価し、GA の操作を行うことで近似解を算出する。以下のアルゴリズム 1 に GA によるコンテンツ配置アルゴリズムを示す。

Algorithm 1 Content placement algorithm using GA

- 1: コンテンツ数 N に対して、ランダムに I 個の初期遺伝子を作成
 - 2: 適応度 $A(g_i)$ である i 位の遺伝子の選択確率 p_i を、 I 個の遺伝子の適応度の和 S に占める $A(g_i)$ の割合で計算
 - 3: 選択確率に基づいて、ルーレット選択法で次世代に残す遺伝子を x 個選択
 - 4: 選択された遺伝子に基づいて一定の確率で二点交叉処理を実行し、 y 個の子孫遺伝子を生成
 - 5: 一定の確率で突然変異を発生させ、遺伝子をランダムに再構成
 - 6: 上記の手順を G 世代繰り返し、最後の世代で最も適応度が高い遺伝子を最適配置として選択
-

3.3 適応度

適応度 $A(g_i)$ を定義する必要があるが、本稿では、平均 FIB サイズ (E_a)、平均リンク負荷 (L_a)、リンク負荷の変動係数 (C_L)、コンテンツ可用性喪失値 (R_c) の 4 つの指標の重みづけ線形和を $A(g_i)$ に用いる。ただし各値から、各世代の遺伝子集合における最小値を引いて、最大値で割ることで 0~1 の範囲の値に

正規化した値を、各々、 E'_a , L'_a , C'_L , R'_c とし、0~1 の値をとる設定パラメタ w_1 , w_2 , w_3 , w_4 をこれら各尺度の重みとし、以下の式で定義する。

$$A(g_i) = w_1(1 - E'_a) + w_2(1 - L'_a) + w_3(1 - C'_L) + w_4(1 - R'_c) \quad (1)$$

3.3.1 リンク負荷

ノードから別ノードのコンテンツを要求するとき、経由するリンク l のフローの集合を F_l 、ノード sd 間のフローを f_{sd} とすると、ネットワークを構成する全リンクの平均リンク負荷 L_a は、次式で得られる。

$$L_a = \frac{\sum_{f_{sd} \in F_l} r_p(s)\epsilon(d)}{n_L} \quad (2)$$

ただし要求元ノード s の人口比率を $r_p(s)$ 、ノード d に配置されたコンテンツに対する合計要求比率を $\epsilon(d)$ 、リンク数を n_L とし、ノード間リンクは双方向とする。

3.3.2 コンテンツ可用性

コンテンツ x の要求比率 P_x 、ノード n に配置したコンテンツ集合 $U_c(n)$ に対し、ノード n での障害発生時、Interest パケットが転送できず、 $R_c(n) = \sum_{x \in U_c(n)} P_x$ の比率の配信要求に対してオリジナルへの到達性が喪失する。コンテンツ可用性喪失値 R_c を単一ノード障害を想定し、以下のように定義する。

$$R_c = \text{MAX } R_c(n) \quad (3)$$

3.3.3 ノード負荷

Interest パケットが publisher 宛に送信されるとき、中継ノードでは複数の処理が行われる。具体的にはコンテンツがノード上に存在するときのコンテンツ返送処理、次の転送先ノードを決定するための FIB 探索とエントリ発見時のパケット転送処理が考えられる。本稿では FIB 探索はドメインごとにハッシュ関数を使用して探索を行う想定であるため、FIB エントリ探索にかかる計算量は $O(1)$ と設定される。経由するノード n のフローの集合を F_n 、ノード sd 間のフローを f_{sd} とすると、あるノード n に発生するノード負荷が $N_{L(n)}$ で求められる。

$$N_{L(n)} = \sum_{f_{sd} \in F_n} r_p(s)\epsilon(d) \quad (4)$$

ただし、ただし要求元ノード s の人口比率を $r_p(s)$ 、ノード d に配置されたコンテンツに対する合計要求比率を $\epsilon(d)$ とする。

3.3.4 コンテンツ移動コスト

オリジナルの配置時に、各オリジナルの元々の位置から配置ノードにコンテンツを移動させる必要があり、ネットワークにトラヒックが発生するため、オリジナルの移動コストを考慮する。配置する全コンテンツを対象とし、コンテンツのオリジナルが配置されているノード s から再配置先のノード d までのホップ数 h の合計を移動コスト M_c としすると以下のように定義できる。

$$M_c = \sum_{u \in U_x} h_{sd} \quad (5)$$

ただしホップ数はダイクストラ法に基づく最短経路で決定するものとする。

4. 性能評価

4.1 評価条件

U_x は TLD として x を持つ URL の集合を示し、 $U_{(d,y)}$ は TLD として d を、SLD として $D(d,y)$ を有する URL の集合を示す。 $P_{(i)}$ と $P_{(d,j)}$ を、 $U_{(x)}$ と $U_{(d,y)}$ に含まれる URL の要求比率の総和と定義する。URL u の Webpage に対する要求比率を p_u とするとき、 $P_{(i)}$ と $P_{(d,j)}$ は次式で得られる。

$$P_{(i)} = \sum_{u \in U_x} p_u \quad (6)$$

$$P_{(d,j)} = \sum_{u \in U_{(d,j)}} p_u \quad (7)$$

各 Webpage の要求比率がパラメタ $\theta = 0.8$ の Zipf 分布に従うことを想定したときの、要求比率の上位 10 個の TLD および上位 10 個の SLD の要求比率 $P_{(i)}$ と $P_{(d,j)}$ を表 1 と表 2 にまとめる。TLD で “com” と “net” を有する URL のコンテンツは、全コンテンツに占める Web ページの要求比率がそれぞれ約 67% と約 15% を占めるため、TLD 単位で 1 つのノードに配置するとノードや周囲のリンクへの負荷集中の発生が予想される。そのため、TLD で “com” を有するコンテンツと “net” を有するコンテンツは SLD 単位に分割してネットワークに再配置する。

表 1 要求比率上位 10 個の TLD

Rank	TLD	$P_{(i)}$	Rank	TLD	$P_{(i)}$
1	com	79.010	6	edu	1.955
2	net	17.938	7	gov	1.873
3	org	5.556	8	co	0.910
4	jp	4.735	9	uk	0.471
5	io	3.348	10	au	0.289

表 2 要求比率上位 10 個の SLD

Rank	SLD	$P_{(d,j)}$	Rank	SLD	$P_{(d,j)}$
1	com/google	11.603	6	com/stackoverflow	2.407
2	com/gstatic	8.089	7	com/highwebmedia	2.053
3	net/openx	7.485	8	io/districtim	1.704
4	com/amazon-adsystem	5.470	9	com/coinmarketcap	1.333
5	net/bidswitch	2.902	10	com/amazon	1.254

CAIDA で公開されている米国のバックボーンネットワークである図 1 に示す Allegiance Telecom のトポロジを利用した [3]。図 1 は合計ノード数は 53 個あり、一部のノードが他ノードと比べて次数が高い Hub&Spoke 型のネットワークである。

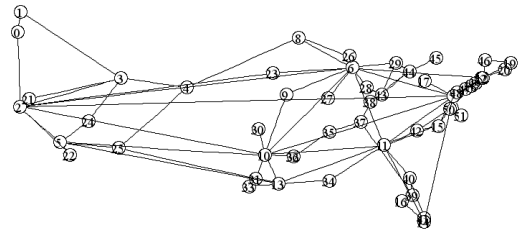


図 1 Allegiance Telecom

適応度における、4 つの各評価尺度の重みを均一に $w = 0.25$ に設定する。ランダムに生成された遺伝子の初期集団から開始し、生成した各遺伝子について評価関数に基づいて遺伝子の適

応度 $A(g_i)$ を計算する。世代数 $G = 10$ 、初期遺伝子数 $I = 250$ 個に設定し、コンテンツ C のノード位置 n を求める。

4.2 性能評価結果

提案方式 (GA based) を、CDN を用いてオリジナルの位置を移動させず元来の publisher のオリジンサーバから配信するオリジナル配置 (Original) と、[12] で筆者らが提案したネットワークの中心から要求度の高いコンテンツをノード数を制限して配置した方式 (Naive greedy) と比較する。図 2 に (a) 平均 FIB サイズ、(b) 平均リンク負荷、(c) リンク負荷の変動係数、(d) コンテンツ可用性喪失率、(e) 最大 FIB サイズ (E_{max})、(f) 最大リンク負荷 (L_{max})、(g) 平均ノード負荷、(h) 最大ノード負荷、(i) 移動コストの 9 つの結果を示す。

提案方式は Original や Naive greedy と比較して、平均リンク負荷、平均ノード負荷、移動コストを除き、すべての評価尺度が低減する結果が得られた。提案方式は、ある単一ノードに配置するコンテンツの合計要求比率が低くなるようオリジナルを配置することで、各ノードから発生するコンテンツ要求をネットワーク全体に分散する。そのため配置場所に制限のある Original や特定ノードにコンテンツをまとめて配置する Naive greedy より特定ノードや特定リンクに発生する負荷が軽減された。

一方で、提案方式の平均リンク負荷と平均ノード負荷は他の 2 つの場合と比較して増加する結果となった。これは負荷分散によってネットワーク全体にコンテンツが分散して配置されたことで、コンテンツ要求時のホップ数が増加したためである。また、ホップ長が増加したことで、Naive greedy と比較して、オリジナルからの移動コストも増加する結果となった。

表 3 に遺伝子の適応度における各評価尺度の重みを変えて実行した場合の結果を示す。W1 は重みを均一に 0.25 に設定した場合、W2 は w_2 の重みを 0.7、その他の重みを 0.1 に設定した時の結果である。低減したい重みを大きく設定することで、他の評価指標への影響を抑えながら、その評価指標を低減可能なことが確認できる。

表 3 Results of four properties with different weights settings

	E_a	L_a	C_L	R_c
W1	243.44	0.0144	1.278	0.103
W2	242.64	0.0134	1.369	0.110
	-0.3%	-6.9%	+7.1%	+6.7%

5. 移動コストを考慮した GA によるコンテンツ配置

適応度の式に新たに移動コストを加え、考慮することで移動コストを抑えながら FIB サイズの低減が期待できる。そこで、新たに適用度式 $A(g_i)$ にコンテンツ移動コストの尺度を加える。前節同様に各世代で各値を最小値を引いて最大値で割ることで 0~1 に正規化した値を、 M'_c とし、0~1 の値をとる設定パラメタ w_5 を尺度の重みとし、以下の式で定義する。

$$A(g_i) = w_1(1 - E'_a) + w_2(1 - L'_a) + w_3(1 - C'_L) + w_4(1 - R'_c) + w_5(1 - M'_c) \quad (8)$$

世代数や初期遺伝子数についても $G = 10$ 、 $I = 250$ 個に設

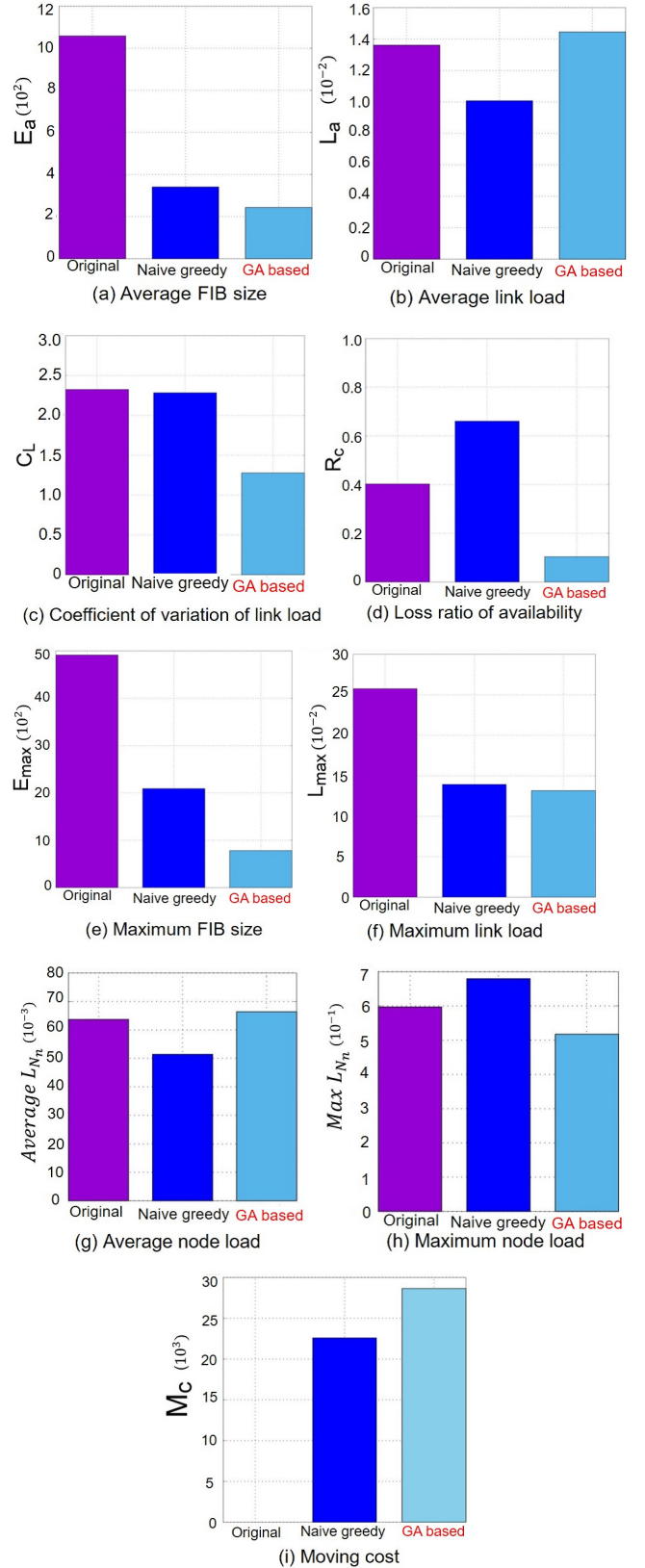


図 2 Comparisons of nine properties among three methods

定し、コンテンツ C のノード位置 n を求める。本方式は FIB サイズと移動コスト低減を目的とするため、5 つの評価尺度の重みについて $w_1 = 0.1$ 、 $w_5 = 0.75$ 、その他の重みを 0.05 に設定した場合 (W3) の結果を示す。

図 3 に (a) 移動コストと (b) 平均 FIB サイズの 3 方式の結

果を示す。提案方式は移動コストを低減しつつ、FIB サイズを大きく低減することが可能である。Original はオリジンサーバから全コンテンツを配信しているため移動コストは発生しないが、FIB サイズの増大が課題である。

W3 の提案方式の移動コストは Naive greedy と比較して約 5% の、わずかな低減となった。図 4 に 2 つの各方式のオリジナル配置における、各オリジナルの移動のホップ数の分布を示す。Hub&Spoke 型のネットワークは次数が高い Hub ノードを複数もつため、どちらの配置方式においても比較的少ないホップ数でオリジナルを再配置可能である。しかし W3 の提案方式では GA を用いて移動コストを抑えてオリジナルを配置している一方で、負荷分散も同時に行うため、一部コンテンツの配置には高い移動コストが発生する。

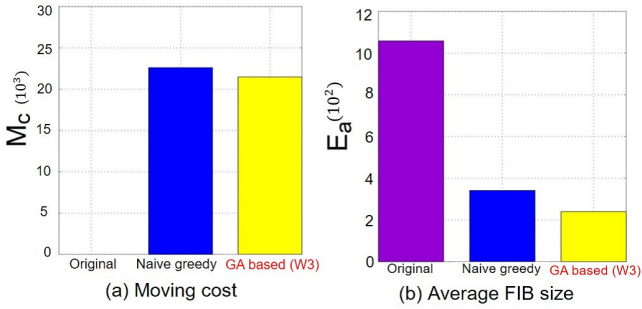


図 3 Moving cost and average FIB size when considering moving cost in proposed method (W3)

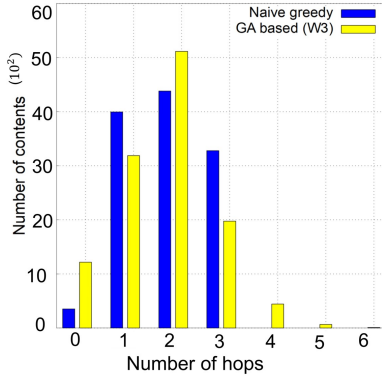


図 4 Distribution of moving hop count of each original in two methods

6. ま と め

本稿では、NDN の FIB サイズ削減とネットワークの負荷集中の低減を目的に、遺伝的アルゴリズムを用いてコンテンツのオリジナルをネットワーク上に再配置する方式を提案した。提案方式はネットワーク全体にコンテンツのオリジナルを配置することで、FIB サイズだけでなく、ネットワークの負荷集中の抑制が可能である。一方で、ネットワーク全体にオリジナルを配置したことで配信ホップ数が増加し、平均リンク負荷や平均ノード負荷が増加する。しかし、特定ノードや特定リンクに発生する負荷が低減できることで、可用性は増加する。また、移

動コストを考慮した配置についても検討し、提案方式が先行研究と比べて FIB サイズと移動コストを同時に低減可能であることを示した。

謝辞 本研究成果は JSPS 科研費 23K21664, 23K21665, 23K28078 の助成を受けたものである。ここに記して謝意を表す。

文 献

- [1] A. Afanasyev, C. Yi, L. Wang, B. Zhang, and L. Zhang, SNAMP: Secure Namespace Mapping to Scale NDN Forwarding, IEEE Global Internet Symposium 2015.
- [2] O. Ascigil, S. Rene, I. Psaras, and G. Pavlou, On-Demand Routing for Scalable Name-Based Forwarding, ACM ICN 2018.
- [3] CAIDA webpage, <http://www.caida.org/data>
- [4] R. Chiocchetti, D. Rossi, and G. Carofiglio, Exploit the Known or Explore the Unknown? Hamlet-Like Doubts in ICN, ACM ICN 2012.
- [5] D. Kondo, T. Ansquer, Y. Tanigawa, H. Tode, Resource Bread-crumbs: Discovering Edge Computing Resources Over Named Data Networking, IEEE Transactions on Network and Service Management, vol.21, no.3, pp.3305-3316, 2024.
- [6] A. Detti, M. Pomposini, N. Blefari-Melazzi, and S. Salsano, Supporting the Web with an information centric network that routes by name, Elsevier Computer Networks, Vol. 56, No. 17, pp. 3705-3722, Nov. 2012.
- [7] 橋本 紘輝, 上山 憲昭, NDN の FIB 集約とネットワーク品質向上を目的としたコンテンツ配置法, 信学会 IN 研究会, IN2022-105, 2023 年 3 月
- [8] H. Asaeda, K. Marsuzono, Y. Hayamizu, H. Hlaing, and A. Ooka, A Survey of Information-Centric Networking: The Quest for Innovation, IEICE Trans. on Commun., Vol.E107-B, No.1, pp.139-153, Jan. 2024.
- [9] A. M. Hoque, S. O. Amin, A. Alyyan, and B. Zhang, NLSR: Named-data Link State Routing Protocol, ACM ICN 2013.
- [10] K. V. Katsaros, X. Vasilakos, T. Okwii, G. Xylomenos, G. Pavlou, and G. C. Polyzos, On the Inter-domain Scalability of Route-by-Name Information-Centric Network Architectures, IFIP Networking 2015.
- [11] A. Rodrigues, P. Steenkiste, and A. Aguiar, Analysis and Improvement of Name-based Packet Forwarding over Flat ID Network Architectures, ACM ICN 2018.
- [12] Y. Sasaki, N. Kamiyama, and Y. Ji., Designing Content Placement of CDN for Improving Aggregation Effect of ICN FIBs, ICOIN 2020.
- [13] T. C. Schmidt, S. Wolke, N. Berg, and M. Wahlisch, Lets Collect Names: How PANINI Limits FIB Tables in Name Based Routing, IFIP Networking 2016.
- [14] S. Safaei, Abolfazl, and T. Haghighat, Replica placement using genetic algorithm, 2012 International Conference on Innovation Management and Technology Research.
- [15] W. So, A. Narayanan, and D. Oran, Named data networking on a router: Fast and DoS-resistant forwarding with hash tables, ACM/IEEE ANCS 2013.
- [16] L. Zhang, D. Estrin, J. Burke, V. Jacobson, J. D. Thornton, D. K. Smetters, B. Zhang, G. Tsudik, k. claffy, D. Krioukov, D. Massey, C. Papadopoulos, T. Abdelzaher, L. Wang, P. Crowley, and E. Yeh, Named Data Networking (NDN) Project, Technical Report NDN-0001, Oct. 2010.