

遺伝的アルゴリズムを用いたNDNのコンテンツ配置法

Designing Content Placement of NDN Using Genetic Algorithm

橋本 紘輝¹

上山 憲昭²

Hiroki Hashimoto

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

デジタルコンテンツ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) が検討されている。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。

著者らは 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) を該当 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]。また、配置ノード数を限定し、FIB サイズとリンク負荷低減の低減を目的としたコンテンツ配置ノードの設計法を提案した [2]。そして、FIB サイズやリンク負荷の最大値についても効果的であることを確認した [3]。

しかし、文献 [2] の方式ではコンテンツの要求比率の降順にネットワークの中心から順に配置しているため、ネットワークの中心では負荷集中が発生する。負荷集中を改善するようにコンテンツ配置を検討するとき、コンテンツ配置は組み合わせ最適化問題であり、NP 困難である。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) をコンテンツ配置設計に適用し、FIB サイズとネットワーク品質を考慮した最適な配置方式を提案する。

2. 提案方式

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 とした GA を設計し、コンテンツは TLD 単位で再配置する。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が、ノード障害の発生時にコンテンツの可用性を確保できなくなるため、各コンテンツは要求比率が全コンテンツの中で 1% 以下になるように SLD 単位に分割する。

ランダムに生成された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 $A(g)$ を計算する。本提案方式では平均 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 つの指標に基づき各遺伝子を評価する。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、 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、以下の式で遺伝子 g の評価値 $A(g)$ を定義する。

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

以下に GA によるコンテンツ配置アルゴリズムを示す。

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_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_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. 性能評価

本研究では米国内に配信サーバが存在する 12,010 個の Web オブジェクトを対象に、TLD 単位で再配置する。ただし 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、1 つのノードに配置すると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。

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。また、適応度式の各尺度の重みは均等に 0.25 とした場合で評価する。評価には米国の商用ネットワークポロジである Allegiance Telecom を使い、提案方式 (Proposed) を、再配置を行わないオリジナル配置 (Original) と配置ノード数を限定してネットワークの中心から要求比率の高いコンテンツを再配置した発見的手法による配置 (Previous Proposed) [2] とで結果を比較する。

図 1 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値、(e) 最大 FIB サイズ (E_{max})、(f) 最大リンク負荷 (L_{max}) の 6 つの結果を示す。提案方式は平均 FIB サイズ、リンク負荷の変動係数、コンテンツ可用性喪失値、最大 FIB サイズ、最大リンク負荷を低減可能である。

一方で、提案方式の平均リンク負荷の値は Original から約 6%、Previous Proposed から約 44% 増加する結果が得られた。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取得にかかるホップ数が増加したためである。図 1(b) の評価では重みを均等に設定しているが、 L_a の重み w_2 を重視して配置することで L_a は低減可能である。

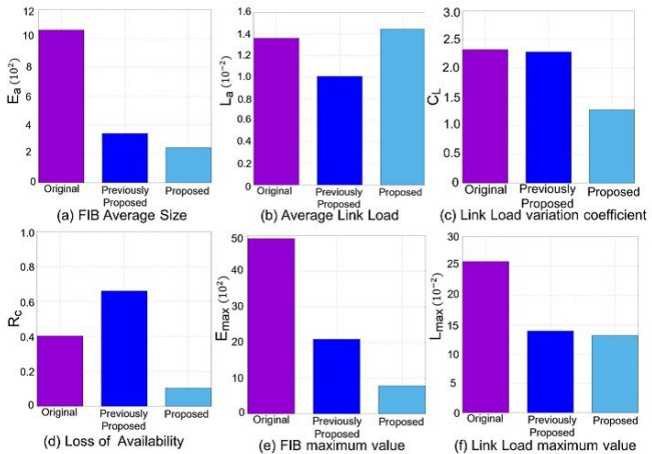


図 1: Numerical comparison of three methods

謝辞

本研究成果は JSPS 科研費 23K21664 と 23K21665 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] Y. Sasaki, et al., Designing Content Placement of CDN for Improving Aggregation Effect of ICN FIBs, ICOIN 2020.
- [2] 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 情報ネットワーク (IN) 研究会, IN2022-105 沖縄, 2023 年 3 月
- [3] 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の評価", 2023 信学会ソ大会, B-6-6, 2023 年 9 月