

少数キャッシュ構成の Anycast CDN の有効性評価

正井 楓人[†] 上山 憲昭[†]

[†] 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: [†]is0635es@ed.ritsumei.ac.jp, ^{††}kamiaki@fc.ritsumei.ac.jp

あらまし CDN (Content Delivery Network) では、キャッシュサーバを地理的に分散配置することでユーザからサーバまでの地理的な距離を短縮し、配信遅延時間を低減する。そのため、CDN の性能において適切なサーバ選択は重要となる。Anycast CDN では、サーバ選択を BGP (Border Gateway Protocol) のルーティングポリシーに依存するため、不適切なサーバ選択が発生する。また、Anycast を構成するサーバ数を増やすと、適切なサーバが選択される確率が低下する課題がある。そこで筆者らの先行研究では、遺伝的アルゴリズムを用いて少数のサーバで構成された複数のサーバセットを構築する手法を提案した。しかし本手法が、実際のインターネットにおいてどのような性能を発揮するかは未評価である。そこで本稿では、本手法の効果を RTT (Round Trip Time) を用いて実測評価する。評価方法を提案し、計測した RTT を用いて、多数のサーバで構成された単一サーバセットを持つ既存手法と比較評価し、本方式の有効性を明らかにする。

キーワード CDN, Anycast, 遺伝的アルゴリズム, RTT

Evaluating Effectiveness of Limiting Cache Server Sets in Anycast CDN

Futo MASAI[†] and Noriaki KAMIYAMA[†]

[†] College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

2-150 Iwakura-cho, Ibaraki, Osaka, 567-8570 Japan

E-mail: [†]is0635es@ed.ritsumei.ac.jp, ^{††}kamiaki@fc.ritsumei.ac.jp

Abstract Content Delivery Networks (CDNs) reduces transmission delay by geographically distributing cache servers to reduce the distance between clients and servers. Therefore, optimal server selection is important for CDN performance. Anycast CDNs rely on BGP routing policies for server selection, which may result in suboptimal choices. Moreover, increasing the number of cache servers configuring anycast reduces the probability of appropriate server selection. Regarding this issue, we proposed a method of constructing multiple cache server set composed of a small number of cache servers using genetic algorithms. However, the performance of this method in the Internet environment remains unevaluated. This paper evaluates this method using Round Trip Time (RTT) measurements. We propose a method for measuring and evaluating RTT for an Anycast CDN that is not deployed on the Internet. Furthermore, using the measured RTT, we compare and evaluate it with an existing method with a single server set composed of many servers to clarify the superiority of this method.

Key words CDN, Anycast, Genetic Algorithms, RTT

1. はじめに

CDN (Content Delivery Network) は、Cache server (CS) を地理的に分散配置し、要求ユーザから地理的に近い CS からコンテンツを配信することで、配信遅延時間の短縮や負荷分散を実現し、高速かつ安定的なコンテンツ配信を可能にする。したがって、配信サーバの選択は性能に大きな影響を及ぼすことから、配信要求に対して適切な配信サーバを選択することが重要とな

る。Anycast CDN は、複数の CS に対して同一の IP アドレスを割り当て、BGP (Border Gateway Protocol) に従いユーザからのリクエストを地理的に最も近いと推定される CS にルーティングする。BGP は自律システム (AS) 間のルーティングプロトコルであり、Anycast CDN のサーバ選択は BGP のルーティングポリシーに大きく依存する [4]。そのため Anycast CDN では必ずしも最適な CS に誘導されるとは限らず、約 20% のユーザが最適ではない CS に誘導されるという報告もある [3]。また

Anycast を構成する CS 数を増やすだけでは性能が改善されないことも報告されている [6].

Microsoft の Anycast CDN では、国ごとに異なる法規制に対応するため、それぞれに固有の Anycast アドレスが割り当てられたリングと呼ばれる CS セットを複数保持する [2]. ユーザの要求に対して、アプリケーションの規制要件を満たし、かつ最も多くの CS を含むリングに常に誘導される。しかし本方式では、コンテンツの人気に偏りがあるにも関わらず、それを考慮せずに CS セットを選択するため、キャッシュ効率の低下が懸念される。

これらの課題に対して筆者らは、CS を内包した AS で構成したリングを特定の地域からの需要に偏っているコンテンツに対して遺伝的アルゴリズムを用いて最適化することで、空間的局所性を考慮して少数 CS からリングを構成する手法を提案した [1]. しかし性能評価が、各コンテンツを適切なリングに割り当てた際の需要カバー率のみに留まっており、どの程度、遅延低減効果が達成されるかは未評価である。

そのため本稿では、遺伝的アルゴリズムを用いて構成した、少数 CS 構成による複数のリングを持つ Anycast CDN が、どの程度、配信遅延を低減できるかを、インターネット上の実測 RTT を用いて評価する。Anycast CDN では不適切なサーバ選択が発生するため、コンテンツの需要国ごとに最適な CS 選択が行われたときの RTT と、不適切な CS 選択時の RTT をそれぞれ計測し、各々が発生する確率で重みづけする。これらの計測結果を用いてコンテンツごとの配信遅延時間及びコンテンツの平均配信遅延時間を計算することで、本手法を用いた Anycast CDN の性能を評価する。さらに、多数の CS で構成された単一のリングを持つ従来型の Anycast CDN と比較し、遺伝的アルゴリズムを用いた手法の有効性を検証する。

2. 関連研究

2.1 Anycast 配信の非効率性

Anycast 配信の課題として、その非効率性が指摘されている。Calder らは、Anycast-based CDN (anycast CDN) は、CS 選択を BGP に依存することで DNS-based CDN と比較して容易な運用を可能とするが、配信 CS 選択を正確に制御することができない課題を指摘している [3]. これにより、最適なサーバへのルーティングと比較して 20% のリクエストで遅延時間が 25ms 以上、増加し、測定値の 10% 未満は 100ms 以上、遅延時間が増加することを報告している [3]. また、ユーザから地理的に最も近いサーバと実際にルーティングされたサーバとの距離の差の測定において、55% のユーザで 0km と地理的に最も近いサーバにルーティングされ、75% で 400km 以内、90% で 1,375km 以内のサーバにルーティングされることが報告されている [3]. これから、10% から 15% のユーザが遠方の CS にルーティングされることが Anycast の性能低下の原因の一つとして結論づけている [3].

BGP による最適でない経路選択の影響を軽減するため、大規模な Anycast を展開する事業者は何百もの CS を配置する [7]. Anycast 配信では、最適なサーバが選択されないとき、多くの場

合で次に最適なサーバが選択される [3]. しかし Anycast において、CS 数の増加は必ずしも性能の向上につながるわけではない。Schmidt らの研究では [5], DNS ルートサーバにおいて、配信拠点数の多いルートサーバが、最適な拠点にルーティングされなかったときの遅延時間の増加という点で優れていることを示している。一方で、配信拠点数の多いルートサーバでは、配信拠点数が少ないルートサーバと比べて最適な拠点にルーティングされる確率が低下することも示されている。また、戦略的に配置された 8 個の配信拠点を持つ C ルートサーバは、18 倍の配信拠点を持つ L ルートサーバと、ほとんど同等の RTT を示すことが指摘されている [5]. また Li らは、各 DNS ルートサーバにおける配信距離を測定し、F ルートサーバでは測定期間中に 77 の配信拠点が追加されたにも関わらず、配信距離に変化はなかったことを報告している [6].

2.2 Anycast の性能評価

Anycast の性能は、サービスの可用性や応答速度などユーザーエクスペリエンスに直接影響を与える。そのため、Anycast サービスを提供者は自らのサービスの性能を把握し、必要に応じて改善を図ることが重要となる。

Anycast の性能評価に関する研究は数多く存在し、これまで様々な指標が用いられてきた。代表的な指標としては、ユーザとサーバ間の通信における遅延時間や、ユーザとサーバ間の地理的な距離などが挙げられる。Evang らは、多数の Anycast の性能を評価した文献調査の結果から、Anycast の品質において、遅延時間、ユーザとサーバの地理的な距離、およびトラフィックバランスの 3 つが重要であるとしている [7]. そして、これら 3 つの品質を定量化することで、Anycast の評価と調整として利用可能な、Average Latency, Threshold Latency, Weighted Geographical Balance の 3 つの指標を提案している。Evang らは、これらの指標を用いて BGP チューニングが Anycast のパフォーマンスに与える効果を評価し、3 つの指標と BGP チューニングを活用することで、Anycast サービス提供者がネットワークを最適化できると結論づけている。

3. 遺伝的アルゴリズムを用いたリング構成法

Anycast 配信では CS 数の増加に伴い CS 選択の適応度が低下する課題がある。これを解決するため、[1] で筆者らは遺伝的アルゴリズム (GA) を用いてコンテンツ人気の地域性を考慮した少数 CS によるリング構成方法を提案した。本節では、本方式の概要を述べる。

3.1 GA を用いたリング構成方法

遺伝的アルゴリズムは生物の進化過程にヒントを得た、最適化アルゴリズムである。[1] で筆者らは、効率的に複数のリングを生成する手法として、GA を用いて、地理的に分散した AS を組み合わせた複数のリング構成法を提案している。各 AS は CS を内包しており、リングは地理的に分散した CS 群で構成される。具体的には、複数の AS から構成されたリングの集合を遺伝子とし、各遺伝子に対して平均需要カバー率を適応度として計算する。需要カバー率は、各コンテンツに対して需要上位 5 ヶ国における需要割合を基に算出される。ここでの需要割

表 1: Defining Variables

M	コンテンツ数
$T_{m,i}$	コンテンツ m の国 i における需要割合
$B_{m,i}$	コンテンツ m の需要の上位 i 個の国の集合
$r_{m,i}$	コンテンツ m の需要が i 番目の国
$R_m(g)$	遺伝子 g における, コンテンツ m が割り当てられたリングの国集合

合は, コンテンツが適切なリングに割り当てられたとき, コンテンツの需要上位 5 ヶ国の中で自国に AS が存在する国について, 需要上位 5 ヶ国での需要割合の和が 1 となるように正規化した需要割合を合計したものである. ここで, 需要カバー率および適応度の計算に用いた変数の定義を表 1 に示す.

このとき, 遺伝子 g におけるコンテンツ m の需要カバー率 $C_m(g)$ と, 遺伝子 g の適応度 $A(g)$ を次式で定義する.

$$C_m(g) = \frac{\sum_{i \in (R_m(g) \cap B_{m,k})} T_{m,i}}{\sum_{j=1}^5 T_{m,r_{m,j}}}, A(g) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M C_m(g) \quad (1)$$

面積が広い国において, 1 カ所のサーバで全てのユーザをカバーすることは現実的でないため, 面積上位 6 ヶ国は 8 つのエリアに分割し, エリアごとに需要カバー率を計算する.

本方式は, 各コンテンツの需要上位 5 つの国名と, 各国の需要が既知であることを前提としている. GA によるリング構成アルゴリズムを, Algorithm1 に示す. 本アルゴリズムでは, 需要上位 5 ヶ国で需要比率が 90% 以上となるコンテンツを対象としている. 各コンテンツの需要上位 5 つの国々に対し, CS を配置したリングを構成することで大部分のユーザに効率的なコンテンツ配信を実現する.

Algorithm 1 Ring Construction Algorithm using GA

- 1: Randomly generate l initial genes for given N and k
- 2: Compute selection probability $p_i = a \times b^{(i-1)}$ based on fitness ranks, where $0 < a, b < 1$
- 3: Select x genes for the next generation via probabilistic tournament selection
- 4: Perform uniform crossover to generate y offspring genes
- 5: Apply mutations with a certain probability
- 6: Repeat for G generations and select the fittest gene as the optimal ring

3.2 コンテンツのリング割り当て方法

GA では遺伝子を平均需要カバー率を適応度として評価する. 平均需要カバー率は, 各コンテンツが最適なリングに割り当てられたときの需要カバー率の平均をとった値であり, 各コンテンツを最適なリングに割り当てる必要がある. コンテンツの最適なリングへの割り当ては需要カバー率を用いる. GA で構成された全てのリングに対して需要カバー率を計算し, 最も需要カバー率が高かったリングを配信リングとする. また, どのリングに割り当てても需要カバー率が 0 となる場合は例外として, コンテンツの需要上位国と構築されたリングに存在するすべての国との間で地理的距離を計算し, 地理的に最も近い国が

属するリングを選択する.

4. Anycast CDN の配信遅延の測定分析法

本稿では, 遺伝的アルゴリズム (GA) を用いて構成された複数のリングを持つ Anycast CDN を RTT を用いて性能評価する. 加えて, 従来型の Anycast CDN との比較を行う. しかし, これら二つの Anycast CDN は実際のインターネット上には展開されていないため, 直接的に RTT を計測することはできない. そのため, 実際のインターネット上に展開されていない Anycast CDN について RTT を用いた性能評価方法について提案する.

4.1 概要

Anycast 配信では不適切なサーバ選択が発生するため, 適切なサーバ選択における RTT のみならず不適切なサーバ選択における RTT の計測も必要となる. 本稿では, コンテンツの需要上位 5 ヶ国それぞれに適切な配信サーバと不適切な配信サーバを決定し, RTT の測定を行う. 計測した RTT は各々が生じる確率で重みづけして足し合わせることで, Anycast 配信における不適切なサーバ選択を考慮した RTT を算出する. この方法を用いることで, [1] で筆者らが提案した方法で GA を用いて構築された少数 CS で構成された複数のリングを持つ Anycast CDN について, 多数の CS で構成された単一のリングを持つ従来型の Anycast CDN と性能を比較することで, 本方式の有効性を検証する.

4.2 RTT の測定方法

本稿では, 遺伝的アルゴリズムを用いてリングを構成する手法について, RTT を用いて評価することを目指している. RTT の測定は, ヨーロッパ, 中東, 中央アジアにおける地域インターネットレジストリである RIPE NCC が提供するインターネット測定プラットフォームである RIPE Atlas を用いて行う [8]. RIPE Atlas は, 世界中に Probe と呼ばれる多数の測定ポイントを有しており, 広範囲なネットワーク環境における RTT 測定が可能である. Probe をユーザとみなし, コンテンツの需要上位国にある Probe からルーティングされると想定される AS に向けて Ping コマンドを実行することで RTT を測定する.

Probe は, 国の面積が上位 6 ヶ国であるときはその国の中から 50 個の Probe が, それ以外の国では 20 個の Probe がランダムで選択され, 各 Probe から 3 回の ping コマンドが実行されるように設定する. このとき, 国内にある Probe 数が 50 (または, 20) に満たないときは, その国にある最大数の Probe で測定する. また, RIPE Atlas では, 宛先に IP アドレスが必要とされるため, 測定の実行には AS の IP アドレスを取得する必要がある. そのため, RIPE NCC が提供する Data API の Announced Prefixes を使用して [8], AS 番号から AS のプレフィックスを取得した. インターネットにはセキュリティ上の理由などから, ICMP パケットをブロックするサーバが多数存在する. そのため, 取得した IP アドレスに対して ping コマンドを実行し, 応答があった IP アドレスの中から 3 つを AS の IP アドレスとした.

4.3 配信 AS の決定方法

RTT の測定にあたって, コンテンツが配信される AS を選択する必要がある. 本稿では, リング内の AS から最適な AS が

選択されることを想定して、RTT の計測を行う。ここでいう最適な AS は、アルゴリズム 2 に沿って決定する。

Algorithm 2 Optimal AS Selection Algorithm

```

1: Search for an AS in the ring that belongs to the same country as the
   demand country.
2: if an AS in the same country exists then
3:   if only one AS exists then
4:     Select that AS as the optimal AS.
5:   else
6:     Measure the RTT for multiple ASes.
7:     Select the AS with the minimum RTT.
8:   end if
9: else
10:  Calculate the distance to all ASes in the ring.
11:  Select the AS with the minimum distance.
12: end if

```

2 点間の地理的距離 d は次式で計算する。ただし、 r は地球の半径、 ϕ_1, ϕ_2 は 2 点の緯度、 λ_1, λ_2 は 2 点の経度を示す。

$$d = 2r \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\phi_2 - \phi_1}{2} \right) + \cos(\phi_1) \cos(\phi_2) \sin^2 \left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \right)} \right) \quad (2)$$

4.4 不適切な CS 選択の考慮

Anycast CDN では、不適切な CS が選択される可能性があり、これを考慮して Anycast CDN の遅延性能を評価する必要がある。本稿において不適切な CS の選択は、コンテンツ需要国と同じ国に属する AS がリング内に複数存在するときのみ発生すると仮定する。また、不適切な選択によって選ばれる AS は、コンテンツ需要国と同じ国に属する複数の ASの中から RTT が最大となる AS に誘導されるとする。Anycast では不適切なルーティングが発生しても、多くは次に最適なサーバが選択されることが多い[3]。そのため、不適切なサーバ選択においてリング内の同じ国の AS が選択されると仮定する。

本来、リング内の全ての AS がルーティング先の候補となるため、リング内の全ての AS を対象に不適切な AS 選択を考慮する必要がある。しかしこの場合、コンテンツが割り当てられたリングの全 AS に対して計測を行う必要があり、特に既存手法では必要な計測数が膨大となる。一方、本手法では計測数が抑えられる反面、不適切なサーバ選択は国内のみに限定されるため、遅延時間に大きな影響与える遠方の AS が選択されない。そのため、リングにコンテンツ需要国と同じ国に属する AS が複数存在するとき RTT が最大となる AS を選択することで、遠方の AS が選択されることを考慮する。

4.5 コンテンツの遅延時間計算

計測した RTT データを用いてコンテンツの遅延時間およびコンテンツの平均遅延時間を算出し、その値を性能評価に用いる。本稿では、コンテンツの需要上位 5 ヶ国で需要比率が 90% を超えるコンテンツの国別の需要比率データを使用している。各コンテンツに対して、需要上位 i 番目の国から最適な AS ま

での RTT と不適切な AS までの RTT を取得し、それぞれが発生する確率を掛け合わせて合計する。これは、需要上位 i 番目の国における遅延時間となる。さらに、需要比率の多い国の影響を高めるため、需要上位 5 ヶ国の需要比率の合計が 1 になるように正規化した値で重みづけを行う。コンテンツの需要上位 5 ヶ国の重みづけされた遅延時間を合計することでコンテンツの遅延時間を計算する。

また、コンテンツの平均遅延時間は各コンテンツの遅延時間の平均と定義する。つまり、コンテンツ m の需要 i 番目の国を $r_{m,i}$ 、また $r_{m,i}$ から最適な AS までの RTT を $O_{m,i}$ 、不適切な AS までの RTT を $S_{m,i}$ 、コンテンツ m における $r_{m,i}$ の需要割合を $T_{m,r_{m,i}}$ 、不適切な AS が選択される確率を p とするとき、コンテンツ m の遅延時間 L_m を次式で定義する。

$$L_m = \frac{\sum_{i=1}^5 \left((1-p)O_{m,i} + pS_{m,i} \right) T_{m,r_{m,i}}}{\sum_{j=1}^5 T_{m,r_{m,j}}} \quad (3)$$

また、コンテンツ数を M としたとき、リング集合 R におけるコンテンツの平均遅延時間 $C(R)$ を次式で定義する。

$$C(R) = \sum_{m=1}^M L_m \quad (4)$$

5. 性能評価

5.1 評価条件

GA を用いて構成するリングの AS 数を各 5, 10, 15 とした、全体で 20 のリングからなる 3 種類の Anycast CDN を構築する。GA でリングを構成するにあたって、コンテンツの需要上位 5 ヶ国の国名と、各国の需要割合、及びリングを構成する AS のデータが必要となる。コンテンツとして、Similar web のサイト [10] から、2024 年の 6 月から 8 月における全世界の人気 Web サイトランキングにて、需要上位 5 カ国で需要比率が 9 割以上を占める 261 個の Web ページの国ごとの需要比率のデータを取得した。また、リングを構成する AS は、CAIDA の公開データセット [9] から、AS ランキングに基づき上位 300 個の AS トポロジと、コンテンツ需要上位国に属する AS が最低一つは含まれるように、追加で 50 個の AS 情報を収集した。GA のパラメータを、世代数 $G = 100,000$ 、初期遺伝子数 $l = 300$ 、突然変異率 $m = 0.1$ と設定する。

5.2 比較方式

本稿では、GA を用いて少数の CS から構成された複数のリングからなる Anycast CDN と、既存手法の多数の CS で構成された単一のリングを持つ Anycast CDN を比較する。GA では、リングの AS 数を各 5, 10, 15 とした、20 のリングからなる 3 種類の Anycast CDN を構成する。構成 AS 数は、戦略的に配置された 8 個の配信拠点を持つ C ルートサーバのパフォーマンスが良好であったため [5]、AS 数は 10 とそれに ± 5 した 5, 10, 15 と設定した。また、リング数については、[1] らの需要カバレッジによる性能評価から、リング数 20 において良好な性能を示し

ていたことによる。既存手法は、GA で構成したリング集合を 1 つのリングに結合したものと定義する。そのため、GA の設定ごとに異なる既存手法のリングが作成される。なお、GA で選択される AS は重複する可能性があるため、既存手法の構成 AS 数は GA のリング数と構成 AS 数の積よりも小さくなることがある。

本稿で構築した Anycast CDN について、GA を用いた手法とそれと対応する既存手法のリング数 (N) と構成 AS 数 (k) の一覧を表 2 に示す。

表 2: Setting value sets of N and k

	N	k	N	k	N	k
GA Method	20	5	20	10	20	15
Existing Method	1	84	1	154	1	198

5.3 最適な AS 選択における性能評価

本稿で構築した Anycast CDN について、GA を用いた手法とそれと既存手法の、リング数 (N) と構成 AS 数 (k) について、表 2 に示す 3 つの場合を評価する。以後、これら 3 つの各設定を、 $s1$, $s2$, $s3$ と表記する。

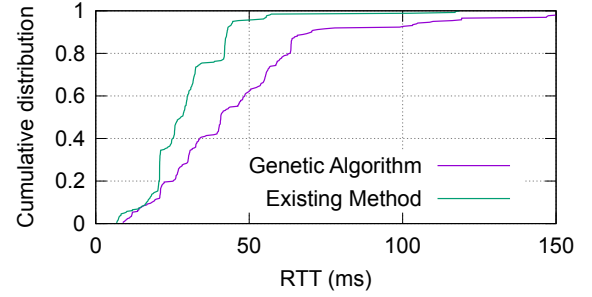
表 3: RTTs in Optimal Selection

	$s1$	$s2$	$s3$
GA Method	46.95 ms	45.94 ms	39.86 ms
Existing Method	29.70 ms	28.47 ms	24.74 ms

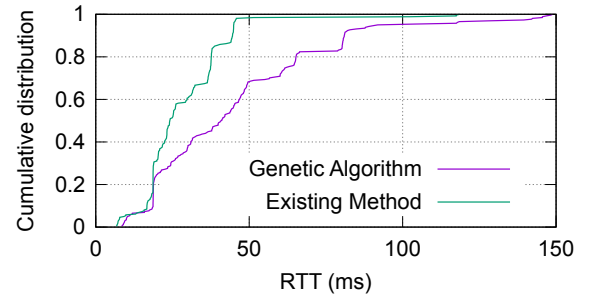
GA を用いた手法とそれと対応する既存手法との比較では、すべてにおいて既存手法の RTT が小さく、優れている。また、GA 内、既存手法内の比較においても、構成 AS 数の増加とともに RTT は低減し、構成 AS 数が最大の $s3$ の組が優れた性能を示している。 $s1$ と $s2$ の比較において、GA と既存手法ともに RTT の低減は限定的である。一方で、 $s2$ と $s3$ では、GA と既存手法ともに大幅に RTT が減少している。この違いは最適な AS の選択において、リング内に需要国と同じ国の AS が複数存在するとき RTT が最小の AS を選択していることによる。リングの構成 AS 数が多い $s3$ では、リングに同じ国の AS が複数存在している確率が高いため、大幅に RTT が減少していると考えられる。

次に各コンテンツの RTT の累積分布を図 1 に示す。既存手法においては条件に関係なく、ほとんど全てのコンテンツの RTT が 50ms 以下と、非常に優れた性能を示している。一方で、GA を用いた手法で 50ms を下回ったのは、 $s1$ で 62%、 $s2$ で 68%、 $s3$ で 72% と、既存手法と比較すると性能は劣る。しかし、 $s2$ と $s3$ の 2 つについては、100ms を超えるコンテンツが 5% 未満に抑えられており、GA を用いて構築した Anycast CDN の有効性が確認できる。また、 $s1$ については、構成 AS 数の少なさもあり、他の 2 つの条件と比較すると性能は劣る。ただ、90 パーセンタイルにあたるコンテンツの RTT は、 $s1$ で 70ms、 $s2$ で 80ms、 $s3$ で 74ms と、 $s1$ が最も優れた性能を示した。このこと

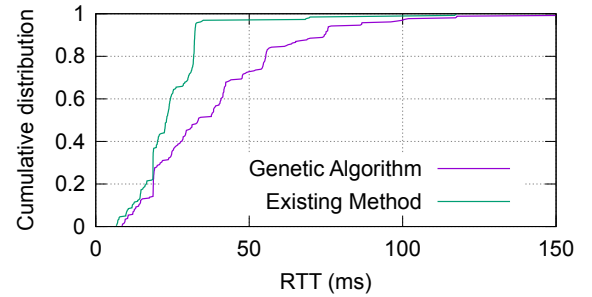
から、構成 AS 数が少ない場合においても、ほとんどのコンテンツで良好な性能を発揮することが分かる。また、構成 AS 数を増やすことは、遅延増大への抑制効果が強いことが分かる。



(a) $s1$



(b) $s2$



(c) $s3$

図 1: Cumulative distribution of RTT

5.4 不適切な AS 選択を考慮した性能評価

まず、不適切な AS が選択される確率を $p = 1.0$ に設定したときの、GA を用いた手法と既存手法を比較する。表 4 は、3 種類の Anycast CDN とそれと対応する既存手法において不適切な AS が選択されるときに平均コンテンツ遅延時間の一覧である。

表 4: RTTs in suboptimal selection

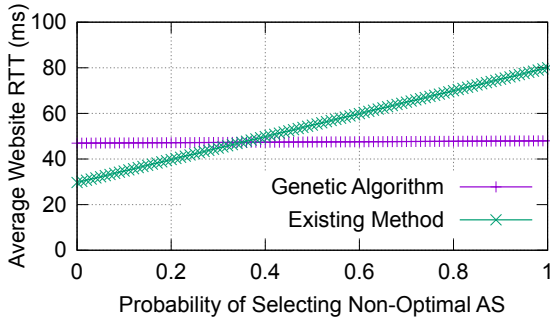
	$s1$	$s2$	$s3$
GA Method	47.97 ms	55.83 ms	63.77 ms
Existing Method	80.03 ms	96.27 ms	109.62 ms

表 3 と 4 を比較すると、全てにおいて RTT が増大していて、構成 AS 数が多いほどその影響が大きい。構成 AS 数が多いほど、良い性能の AS が含まれる確率も上がるが、逆に悪い性能の

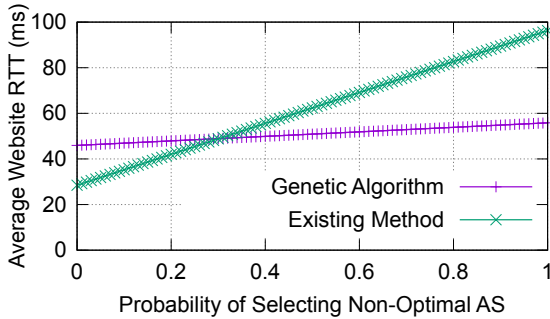
ASが含まれる確率も上がる。

次に、不適切な AS が選択される確率 p を 0.01 ずつ変化させたときの、平均コンテンツ遅延時間の変化を図 2 に示す。

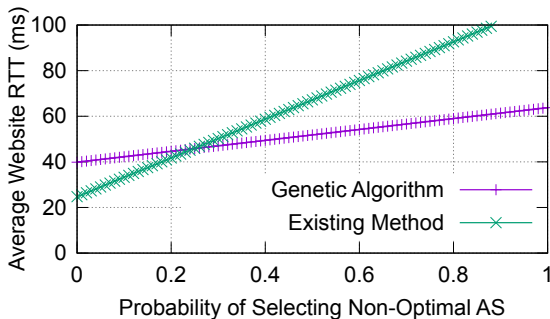
図 2a の $s1$ のグラフでは、 $p = 0.35$ 以降で GA が優位となる。これは、他の 2 つと比べて最も GA を用いたリング構成法が有効となる p の値が大きい。 $s1$ における既存手法のサーバ数は 84 と、他 2 つと比べて少なく、不適切な AS 選択による影響が小さいことが影響している。図 2b の $s2$ のグラフは、 $p = 0.31$ 以降で GA が優位となり、全体的に $s1$ と似た傾向にある。図 2a と比較すると、既存手法において不適切な AS 選択による影響が大きい。図 2c の $s3$ のグラフは、 $p = 0.25$ 以降で GA が優位となる。他の 2 つのグラフとは傾向が異なり、GA を用いた手法も不適切な AS 選択による影響がある。しかし、既存手法における不適切な AS 選択による影響が深刻になるため、結果として早い段階で GA が優位となる。



(a) $s1$



(b) $s2$



(c) $s3$

図 2: Average access latency of webpages against p , ratio of non-optimally selecting AS

6. ま と め

Anycast 配信では CS 数の増加に伴い CS 選択の適性度が低下することから、筆者らは以前、遺伝的アルゴリズム (GA) を用いてコンテンツ人気の地域性を考慮した少数 CS によるリング構成方法を提案した。しかし本手法の実際のインターネット上での性能は未評価であり、その有効性は明らかとなっていない。そのため本稿では、GA を用いて構築した少数 CS で構成された複数のリングを持つ Anycast CDN の性能を実測評価し、既存の多数の CS で構成された単一のリングを持つ Anycast CDN と比較することで、その有効性を評価した。

適切なサーバ選択が必ず行われる場合は、構成 AS 数が多いほどより良い性能を示し、GA を用いた手法よりも既存手法の方が優れた性能を示した。しかし、GA を用いた手法においても、条件によっては RTT 100ms を超えるコンテンツを 5% 未満に抑えることができており、Anycast CDN として有効性を確認できた。不適切なサーバ選択を考慮した場合では、構成 AS 数が多いほど RTT の増大による影響が大きくなった。GA を用いた手法では、不適切なサーバ選択による影響は限定的で、不適切なサーバを選択する確率 p が増加しても性能は安定していた。また、 p が 0.3 を超えるあたりで GA を用いた手法が既存手法より優れた性能を示すことが確認できた。

今後は、不適切な CS 選択を国内に限定しない場合の性能評価を行う予定である。

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] Chihiro Kato and Noriaki Kamiyama, Designing Server Sets for Anycast CDN Using Genetic Algorithm, IEEE ICC 2024
- [2] Homas Koch, Ethan Katz-Bassett, John Heidemann, Matt Calder, Calvin Ardi, and Ke Li., Anycast in Context: A Tale of Two Systems, ACM SIGCOMM 2021
- [3] Matt Calder, Ashley Flavel, Ethan Katz-Bassett, Ratul Mahajan, and Jitendra Padhye, Analyzing the Performance of an Anycast CDN, ACM IMC 2015
- [4] Rekhter, Yakov and Tony Li., A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4). RFC 4271 (1994): 1-104
- [5] R. d. O. Schmidt, J. Heidemann, and J. H. Kuipers., Anycast latency: How many sites are enough?, PAM 2017
- [6] Zhihao Li, Dave Levin, Neil Spring, and Bobby Bhattacharjee, Internet anycast: performance, problems, & potential, ACM SIGCOMM 2018
- [7] Jan Marius Evang, Alojz Gomola and Tarik Cicic, Anycast Metrics and Performance Tuning, SoftCOM 2024
- [8] RIPE NCC web page, <https://www.ripe.net>
- [9] CAIDA web page, <http://www.caida.org/data>
- [10] Similar web web page, <https://www.similarweb.com>
- [11] <https://texwiki.texjp.org/>