

少数キャッシュ構成のAnycast CDN の有効性評価

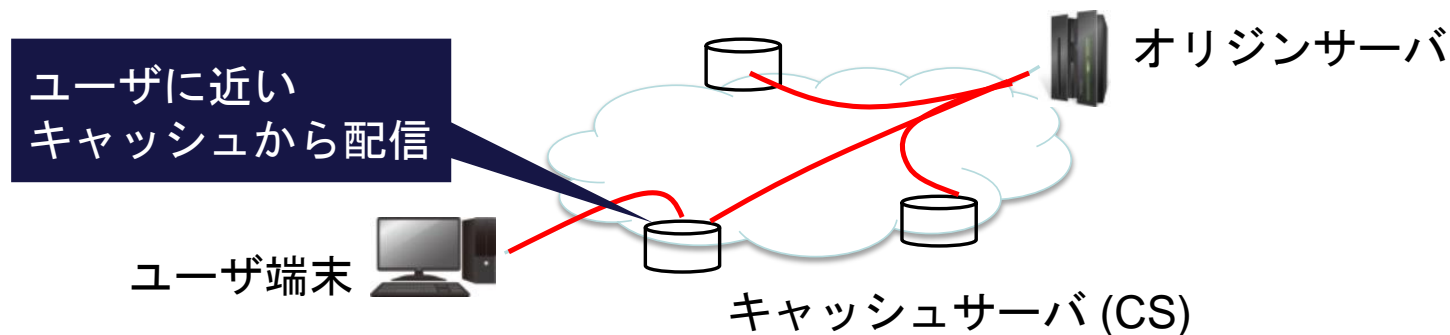
NS研究会
2025年3月6日

立命館大学 情報理工学部
正井 楓人 上山 憲昭

CDN

■ CDN (Content Delivery Network)

- キャッシュサーバ(CS)を地理的に分散配置することで、高速かつ安定的なコンテンツ配信を実現



- ユーザからサーバまでの地理的な距離を短縮
- CDNの性能において、適切なサーバ選択が重要

■ サーバ選択方式

- DNS-based CDN
- Anycast-based CDN

Anycast CDN

■ Anycast

- 複数のキャッシュサーバ(CS)に同一のAnycast IPアドレスを割り当てる
- BGP (Border Gateway Protocol)を用いて地理的に最も近いと推定されるサーバにルーティング

■ Microsoft CDN

- **リング**: 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
- 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 を含むリングを常に選択**
- 本研究ではMicrosoft CDNの仕組みを応用

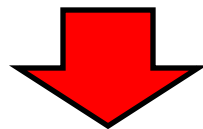
課題

- 不適切なサーバへのルーティング
 - サーバ選択を正確に制御ができない
 - 約20%のユーザが不適切なCSにルーティングされる
 - 大規模なAnycast事業者は、不適切なサーバ選択による影響を軽減するため多数のサーバを設置
- Anycastを構成するサーバ数が増加すると、適切なサーバにルーティングされる確率が低下
 - 構成サーバ数に18倍の違いがある、CルートサーバとLルートサーバは同等のRTT
- コンテンツ人気の地域性を十分に考慮できていない

先行研究

■ 着目した課題

- Anycastを構成するサーバ数が増加すると、適切なサーバにルーティングされる確率が低下
- コンテンツ人気の地域性を十分に考慮できていない

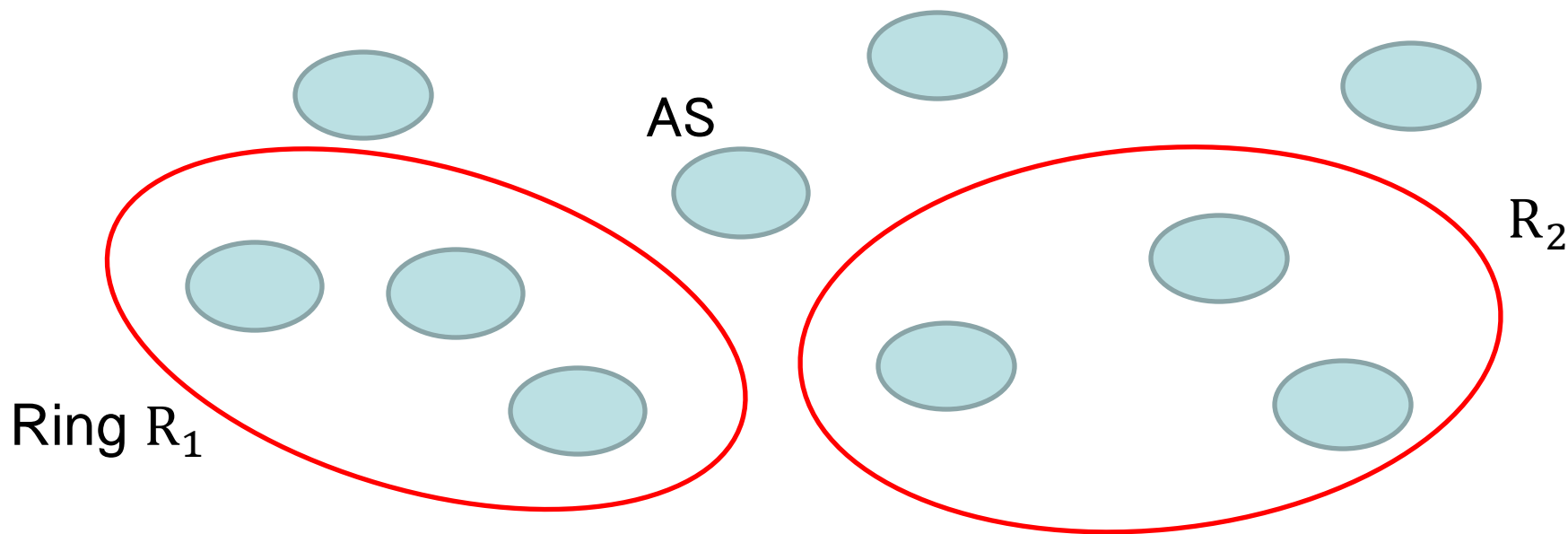


- コンテンツの人気の空間的局所性を考慮した、**少数CS**で構成された**複数のリング**を持つAnycast CDNが有効的
- **遺伝的アルゴリズム**を用いたリング構成アルゴリズムを提案

遺伝的アルゴリズム

■ 遺伝的アルゴリズム (GA)

- 生物の進化過程にヒントを得た、最適化アルゴリズム
- 効率的に複数のリングを生成する手法として使用
- 地理的に分散したASを組み合わせた複数のリングを構成



遺伝的アルゴリズムを用いたリング構成

■ GAを用いたリング構成法

- 各遺伝子: 複数のAS から構成されたリングの集合
- 初期遺伝子集合をランダムに生成
- 各遺伝子の適応度: 各コンテンツの需要上位5カ国の需要の中で遺伝子のCS配置でカバーされる割合の平均値(平均需要力カバー率)
- トーナメント方式で適応度の高い遺伝子をランダムに選択

■ コンテンツのリング割り当て

- 需要力カバー率が最大となるリングを選択
- どのリングでもトラフィックがカバーできない場合
 - 各リングに対し、各国から構成CSとの最短距離を需要比率で重みづけた総和が最小となるリングを選択

研究の概要

■ 背景

- 先行研究では、GAを用いて構成したAnycast CDNの性能を需要カバー率で評価
- 実際のインターネットにおける性能は未評価

■ 本研究の目的

- GAを用いて構成したAnycast CDNの性能をラウンドトリップタイム(RTT)を用いて実測評価する

■ アプローチ

- 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を測定し、評価する方法について提案
- 遺伝的アルゴリズムを用いた手法と既存手法を比較
- 最適なサーバ選択が行われる場合と、不適切なサーバ選択を考慮した場合の性能を評価

RTTの測定とコンテンツ遅延時間の計算

■ RTTの測定方法

- インターネット測定プラットフォームのRIPE Atlas を使用
- コンテンツ需要国にあるProbe(測定器)から、コンテンツが配信されるリング内のASまでのRTTを測定

■ コンテンツの遅延時間 L_m の計算

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

■ 変数

$r_{m,i}$	コンテンツ m の需要 i 番目の国	$T_{m,r_{m,j}}$	コンテンツ m における $r_{m,i}$ の需要割合
$O_{m,i}$	$r_{m,i}$ から最適なAS までのRTT	p	不適切なAS が選択される確率
$S_{m,i}$	$r_{m,i}$ から不適切なAS までのRTT		

最適なASの選択

■ 選択の流れ

■ 需要国の国内にリングのASの有無を確認

■ ある場合:

国内にあるリング内の全てのASに対してRTTを測定し、RTTが最良のASを最適なASとする

■ ない場合:

リング内のASとの距離を計算し、最も近いASを最適なASとする

・コンテンツXの需要

	需要国
1位	日本
2位	アメリカ
3位	中国

・Xが割り当てられたリング

ASN	10	20	30	40	50
国	アメリカ	カナダ	アメリカ	日本	ブラジル

1. 日本のユーザはASN40が選択される
2. アメリカのユーザは、ASN10と30を比較してRTTが良いほうを選択される
3. 中国のユーザは地理的に近い日本のASN40が選択される

不適切なASの選択

- リング内に需要国と同じ国に属するASが複数存在するときのみ発生
 - 複数存在しないときは、 $O_{m,i} = S_{m,i}$ となる
 - 計測数を削減
- 同じ国のASからRTTが最大のASを不適切なASとして選択
 - RTTが最大のASを選択することで、遅延時間に大きな影響を与える遠方のASが選択されることを考慮

・コンテンツXの需要

	需要国
1位	日本
2位	アメリカ
3位	中国

・Xが割り当てられたリング

ASN	10	20	30	40	50
国	アメリカ	カナダ	アメリカ	日本	ブラジル

アメリカのみ不適切なAS選択が発生

比較方式

■ 比較方式

- GAを用いた手法と既存手法を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で比較
- GAを用いた手法
 - 少数CSで構成された複数のリングを持つAnycast CDN
- 既存手法
 - 多数のCSで構成された単一のリングを持つAnycast CDN
 - GAで構成したリング集合を一つのリングに結合することで構成

■ 本研究で構成したAnycast CDN

- 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

	s1		s2		s3	
	<i>N</i>	<i>k</i>	<i>N</i>	<i>k</i>	<i>N</i>	<i>k</i>
GA Method	20	5	20	10	20	15
Existing Method	1	84	1	154	1	198

最適なサーバ選択における性能評価 (1)

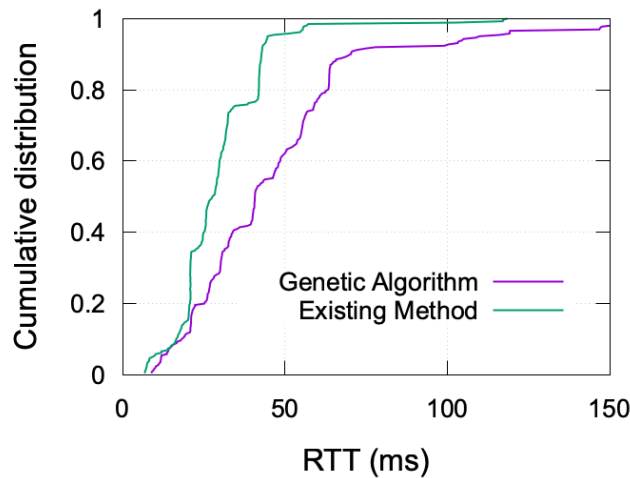
■ コンテンツの平均遅延時間

	<i>s1</i>	<i>s2</i>	<i>s3</i>
GA Method	46.95 ms	45.94 ms	39.86 ms
Existing Method	29.70 ms	28.47 ms	24.74 ms

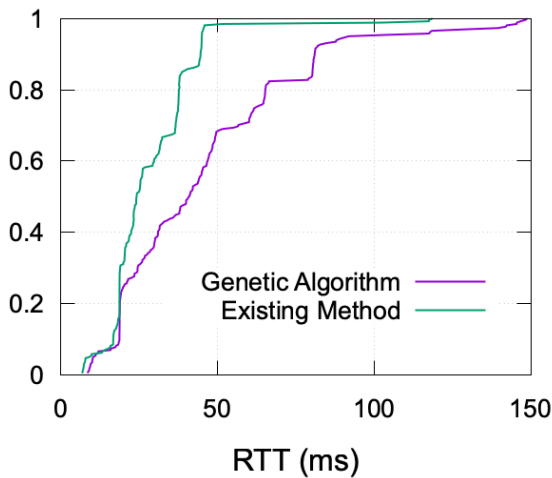
- 全体的にリングを構成するASが多いほど優れた性能を示す
 - より性能の優れたASがリング内に含まれる可能性が増えるため
- *s1*と*s2*を比較すると遅延低減効果は限定的
 - 少数CS構成のリングでも優れた性能を提供できる

最適なサーバ選択における性能評価 (2)

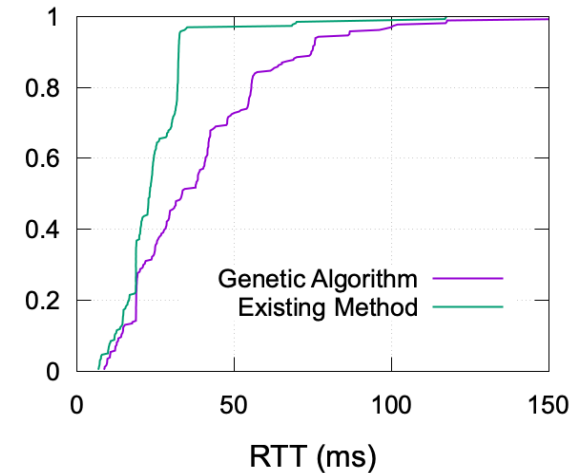
■ コンテンツの遅延時間の累積分布



s1



s2



s3

- GAと既存手法では、50msを超えるコンテンツ数に違い
- GAのs2とs3では、100ms を超えるコンテンツが5% 未満
→GA を用いて構築したAnycast CDN も十分な性能を発揮
- 90パーセンタイルにあたるコンテンツのRTTはs1が最良

不適切な選択における性能評価

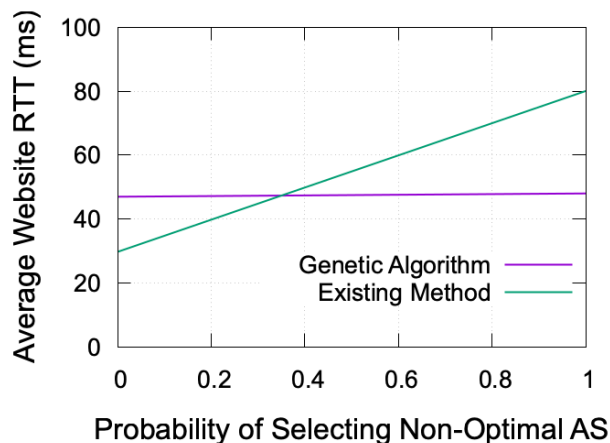
■ 不適切なサーバ選択時のコンテンツの平均遅延時間

	<i>s1</i>	<i>s2</i>	<i>s3</i>
GA Method	47.97 ms	55.83 ms	63.77 ms
Existing Method	80.03 ms	96.27 ms	109.62 ms

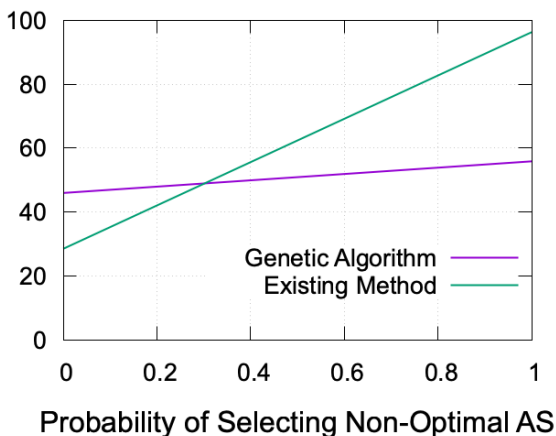
- 最適な選択時と比較して、すべての条件でRTTが増大
- リングを構成するASが多いほど、不適切なサーバ選択の影響が大きい
 - 性能の悪いASがリングに含まれる可能性が上がるため
 - *s1*のGAは、リング内に同じ国のASが含まれていることが少ないため、そもそも不適切な選択自体が発生しにくい

不適切な選択を考慮した性能評価

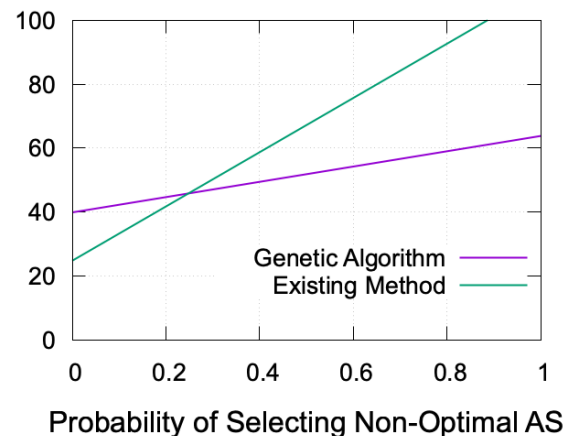
■ 不適切なASが選択される確率(p)を変化させたとき



s1



s2



s3

- GAは変化が小さく、既存手法は右肩上がり
 - 構成AS数が多いため、s3のGAは右肩上がりになる
- それぞれ、 $p = 0.35, 0.31, 0.25$ のときにGAが逆転する
 - 約55%のユーザが最も近いCSにルーティング

まとめ

- GAで構築した少数CS構成のリングを複数持つ、Anycast CDNについて、RTTで実測分析
- 最適なAS選択が行われる場合は、既存手法が優れた性能を示す
- 不適切なサーバを選択する確率が増加すると、GAを用いた手法が優れたパフォーマンスを示す
- GAを用いた手法の有効性を確認
- 今後について
 - 不適切なサーバ選択がリング内のすべてのASで発生する場合について
 - 距離を用いての評価

参考文献

- [Kato24] Chihiro Kato and Noriaki Kamiyama, Designing Server Sets for Anycast CDN Using Genetic Algorithm, IEEE ICC 2024
- 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
- Matt Calder, Ashley Flavel, Ethan Katz-Bassett, Ratul Mahajan, and Jitendra Padhye, Analyzing the Performance of an Anycast CDN, ACM IMC 2015
- Rekhter, Yakov and Tony Li., A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4). RFC 4271 (1994): 1-104
- R. d. O. Schmidt, J. Heidemann, and J. H. Kuipers., Anycast latency: How many sites are enough?, PAM 2017
- Zhihao Li, Dave Levin, Neil Spring, and Bobby Bhattacharjee, Internet anycast: performance, problems, & potential, ACM SIGCOMM 2018
- Jan Marius Evang, Alojz Gomola and Tarik Cicic, Anycast Metrics and Performance Tuning, SoftCOM 2024