

NDNのAS間トラフィック削減のためのミラー動的配置法

Dynamic Mirror Placement for Reducing Inter-AS Traffic in NDN

曹 栩珩, 上山 憲昭

立命館大学大学院 情報理工学研究科

July 13, 2023

目次

NDN の AS 間トラフィック削減のためのミラー動的配置法

X. CAO

研究背景

研究目的

提案手法

評価

まとめ

1 研究背景

2 研究目的

3 提案手法

4 評価

5 まとめ

背景：ネット負荷

NDN の AS 間ト
ラフィック削減の
ためのミラー動的
配置法

X. CAO

研究背景

研究目的

提案手法

評価

まとめ



- SNSやストリーミング配信の普及により、インターネット上のコンテンツが急増
- これらのコンテンツへのアクセスも上昇
- それに伴い、インターネットやパブリッシャへの負荷が急激に増加

背景：CDN

NDN の AS 間トラフィック削減のためのミラー動的配置法

X. CAO

研究背景

研究目的

提案手法

評価

まとめ

- 従来では、コンテンツデリバリネットワーク (CDN) で、以下の点を緩和
 - 複数遠隔地におけるコンテンツ配置による要求のオーバーヘッドが大
 - コンテンツ配信の品質が低下
 - 配信コストが高騰



背景：CDNの問題点

NDN の AS 間トラフィック削減のためのミラー動的配置法

X. CAO

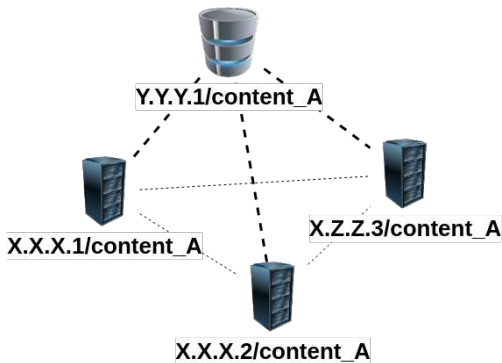
研究背景

研究目的

提案手法

評価

まとめ



- TCP/IP はホスト間通信のために設計
- → 複数ホストに配置される同一コンテンツの識別子も相違
- CDN内部のサーバー間通信はオーバーレイネットワークで成立
- 以上の原因で、CDNの構築及び利用コストが高止まり

背景：情報指向ネットワーク

NDN の AS 間トラフィック削減のためのミラー動的配置法

X. CAO

研究背景

研究目的

提案手法

評価

まとめ

■ 情報指向ネットワーク (ICN) は前述の問題を解消

- I コンテンツ指向のネットワーク需要にとって、コンテンツが正しく届くことが重要
- II → 配信元は瑣末
- III → ネットワーク内のストレージを利用すれば、コンテンツ配信の配信効率が向上可能

■ Named Data Networking(NDN) は ICN の実現形態の一種

- I コンテンツ識別子は直接コンテンツ名を使用
- II 木型のルーティングテーブルによるスケーラビリティ
- III ルーティングすると同時にネットワーク上のストレージに保存されるキャッシュを検索

背景：NDNにおけるルーティング

NDN の AS 間ト
ラフィック削減の
ためのミラー動的
配置法

X. CAO

研究背景

研究目的

提案手法

評価

まとめ

- NDNのルーターはコンテンツ名に基づき，FIB と呼ばれる転送テーブルから転送先を検索
- 同時に自身のストレージの中に，要求コンテンツがキャッシュされているかどうかをチェック
- 存在したら，データをルーティングパスに沿って返送
- 無しの場合は FIB から見つけたネクストホップへ転送



背景：NDNの課題

NDN の AS 間トラフィック削減のためのミラー動的配置法

X. CAO

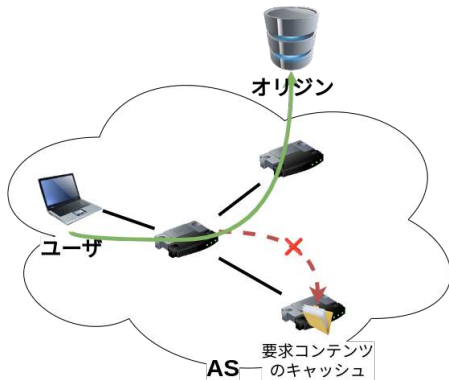
研究背景

研究目的

提案手法

評価

まとめ



- しかし、NDNにおけるルーティングは転送経路外に存在するキャッシュを発見不能
 - 近くに要求コンテンツがキャッシュされていても、そのノードは転送経路上のノードでない限り、利用不可
 - → キャッシュ性能の低下により、AS 外部へ要求パケットを転送することが多発
 - → AS 間トラフィックのコストが高いため、コストが高騰

研究目的

NDN の AS 間トラフィック削減のためのミラー動的配置法

X. CAO

研究背景

研究目的

提案手法

評価

まとめ

- AS 外へ転送される要求パケットが過多
- それによりコストが高騰
 - AS 内部で大半の要求を完結
 - → AS 間トラフィックを抑制

- NDNのキャッシュへの誘導能力の欠如
 - スケーラビリティを損なわずに、キャッシュへの誘導
 - →キャッシュの利用率を向上

アプローチ

NDN の AS 間トラフィック削減のためのミラー動的配置法

X. CAO

研究背景

研究目的

提案手法

評価

まとめ

- AS 外へ転送される要求パッケージが過多
- それによりコストが高騰
 - AS 内部で高い人気を持つ AS 外部のコンテンツを検知
 - AS 内部から配信できるミラーを設置
- NDNのキャッシュへの誘導能力の欠如
 - NDN ルーターは FIB の情報に基づき，転送先を決定
 - →動的に FIB の情報をキャッシュの位置に合わせて更新

提案手法：AS外のコンテンツの探知

NDN の AS 間トラフィック削減のためのミラー動的配置法

X. CAO

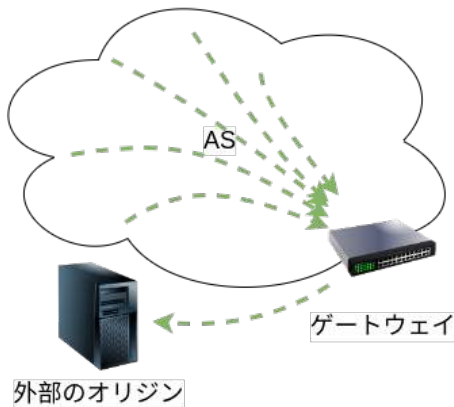
研究背景

研究目的

提案手法

評価

まとめ



- AS 内部から発生した要求が内部のノードで満たされない時，必ず AS のゲートウェイを経由
- ゲートウェイで要求コンテンツごとに Interest パケットの到着数を計測
- → 内部に需要のある外部の人気コンテンツを把握
- → 上位 $K\%$ のコンテンツをミラー化

提案手法：ミラー

NDN の AS 間トラフィック削減のためのミラー動的配置法

X. CAO

研究背景

研究目的

提案手法

評価

まとめ

- AS 間のトラフィックに着目
- → AS 内部の要求を内部で完結
- CDN のコンセプトを参考
- → AS 内にオリジナルのコピー（ミラー）を作成し，キャッシュに配置
- → パブリッシャの代わりに AS 内のノードからコンテンツを配信

- ミラーを一般のキャッシュとして扱おうと，置換されたりする可能性が存在
- → ミラー化したキャッシュをキャッシュ内に長時間保存し続けられるように，通常の置換ポリシーの削除対象から除外
- AS 内部の性能を向上するため，ミラーの配置先も最適化が必要

提案手法：ミラー配置の選択法

NDN の AS 間トラフィック削減のためのミラー動的配置法

X. CAO

研究背景

研究目的

提案手法

評価

まとめ

- ミラー配置の最適化もトラフィックに着目
- → AS 内のトラフィックを抑制
- 郵便ポスト最適配置問題を拡張
- → 目標は最寄りのミラーへの平均ホップ長を最小化すること
- ゲートウェイが高いスペックを有する且つ, AS のトポロジを所持していると考えられるため, ミラーの選択はゲートウェイで実行

Algorithm ミラー選択法

- 1: 入力: n ミラー数, G トポロジ
- 2: G から n 個の候補 C を選択
- 3: 最寄りの C への平均ホップ長 H を計算
- 4: C の隣接ノード x から, C を置換すれば H が減る C_n を探索
- 5: C_n が存在すれば x を C_n に置換し, ステップ3から再開
- 6: 該当しない場合, C を出力

提案手法：ミラー配置の要請法

NDN の AS 間トラフィック削減のためのミラー動的配置法

X. CAO

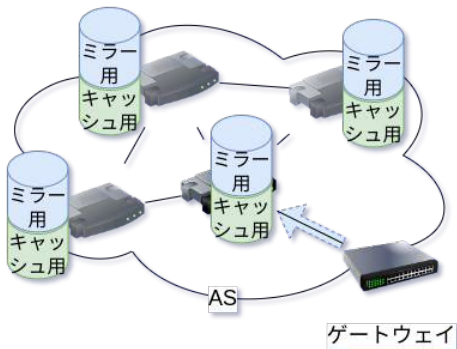
研究背景

研究目的

提案手法

評価

まとめ



- 配置位置を決めたら，配置先となるノードへミラー化するために必要な情報が記載されている要請パケットを送信

提案手法：ミラー配置の要請法

NDN の AS 間トラフィック削減のためのミラー動的配置法

X. CAO

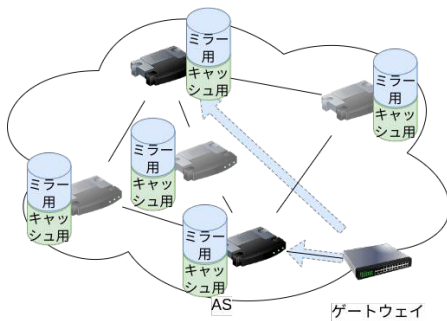
研究背景

研究目的

提案手法

評価

まとめ



- 配置位置を決めたら，配置先となるノードへミラー化するために必要な情報が記載されている要請パケットを送信
- 要請パケットを受領したノードは該当コンテンツの人気度により協調
 - ミラーの置換
 - 要請パケットの転送

提案手法：ミラー配置の要請法

NDN の AS 間トラフィック削減のためのミラー動的配置法

X. CAO

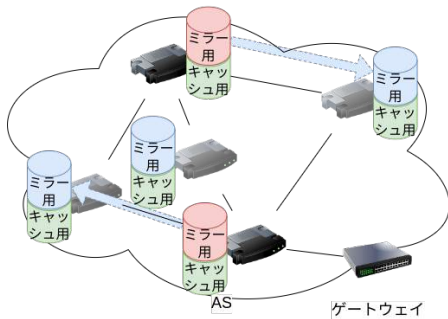
研究背景

研究目的

提案手法

評価

まとめ



- 配置位置を決めたら，配置先となるノードへミラー化するために必要な情報が記載されている要請パケットを送信
- 要請パケットを受領したノードは該当コンテンツの人気度により協調
 - ミラーの置換
 - 要請パケットの転送

提案手法：誘導

NDN の AS 間トラフィック削減のためのミラー動的配置法

X. CAO

研究背景

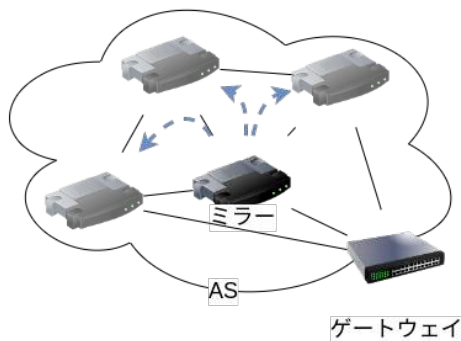
研究目的

提案手法

評価

まとめ

- ミラーが長時間キャッシュの中に保持されていても，Interest パケットの転送経路上に位置していない限り，利用不可
- →ミラーからミラーの情報を保存するパケットを全ノードへブロードキャスト
- 受領したノードは一時的に FIB の情報を更新



提案手法：FIB更新後

NDN の AS 間トラフィック削減のためのミラー動的配置法

X. CAO

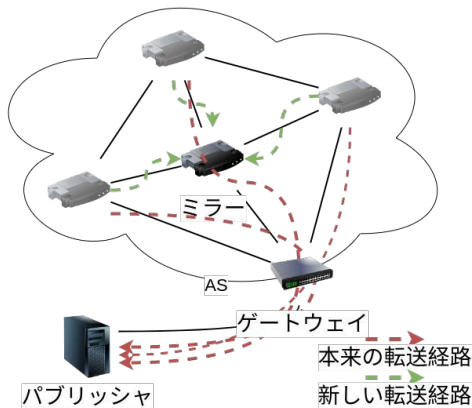
研究背景

研究目的

提案手法

評価

まとめ



- FIB を更新することにより，Interest パケットの転送経路が変更され，内部で完結
- ミラーがずっと高い人気を保持することが不可能であるため，ミラーに有効期限を付与
 - 新たな FIB にも有効期限を付与
 - →元の情報の記録が必要
- ミラーが置換される時もブロードキャストで全域の FIB を更新

評価：シミュレーションの設定

NDN の AS 間トラフィック削減のためのミラー動的配置法

X. CAO

研究背景

研究目的

提案手法

評価

まとめ

Parameter	Value
Topology	At Home Network
Zipf parameter	0.8
Simulation Time	200,000 requests
Number of gateways	3
Ratio of mirrored contents, K	0.1
Number of contents	10,000
Cache size at each node ¹	100
Mirror Building Cycle	per 50,000 requests

¹全ての各ルータのキャッシュ容量の一部(固定値) をミラーの収容メモリとして使用

評価：シミュレーションで用いる各種のポリシー

NDN の AS 間トラフィック削減のためのミラー動的配置法

X. CAO

研究背景

研究目的

提案手法

評価

まとめ

キャッシュ挿入ポリシー

- LCE: 経路全ノードにキャッシュ
- PROB: 配信ノードからの距離の逆数に比例する確率で各経路ノードにキャッシュ
- UNIPROB: 一定の確率 (10%) で各経路ノードにキャッシュ

キャッシュ置換ポリシー

- FIFO: 先にキャッシュしたコンテンツから削除
- LRU: 最後に要求された時刻が最も古いコンテンツを削除

評価：ミラー配置アルゴリズムの有効性

NDN の AS 間トラフィック削減のためのミラー動的配置法

X. CAO

研究背景

研究目的

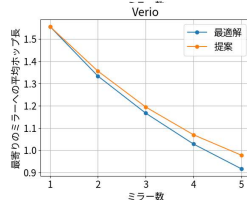
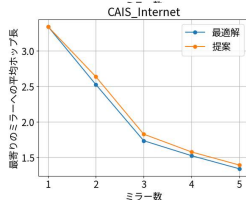
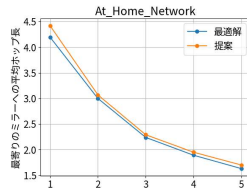
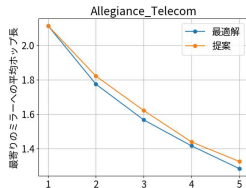
提案手法

評価

まとめ

- 横軸はミラーの数 a
- 縦軸は最寄りのミラーへの平均ホップ長
- 青線は総当たり法で得た最適解
- 橙線は本研究のアルゴリズムを1000回実行した結果の平均値

a 一個のミラー化されるコンテンツに対して用意するミラーノードの数



評価：人気変動しない場合のキャッシュヒット率

NDN の AS 間トラフィック削減のためのミラー動的配置法

X. CAO

研究背景

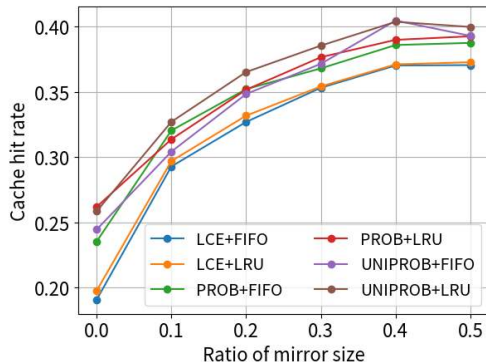
研究目的

提案手法

評価

まとめ

- 横軸が 0.0 のところは従来方式
- ミラーサイズはトポロジ内各ノードがそれぞれストレージ容量の何割がミラーに振り分けられるかを意味
- ヒット率はミラーサイズが大きいいほど増加



評価：人気変動しない場合のAS間トラフィック

NDN の AS 間トラフィック削減のためのミラー動的配置法

X. CAO

研究背景

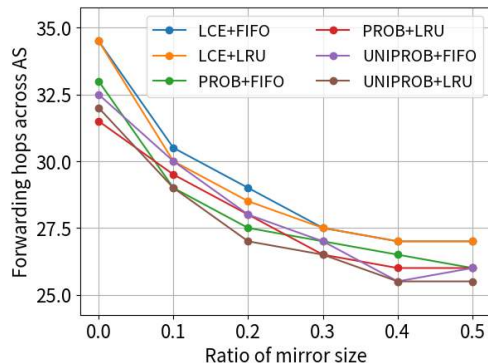
研究目的

提案手法

評価

まとめ

- AS 間ホップ長は Interest パケットが AS の外部で何ホップ転送されたかを意味
- AS 間ホップ長はミラーサイズが大きいほど良くなる傾向
- 通常のキャッシュとして使える容量が減ったことが、0.4を超えたあたりから変化が見られないことの要因

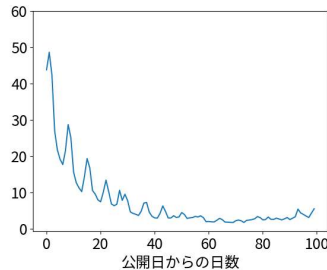
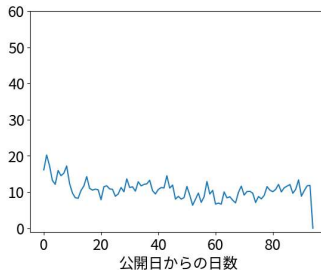
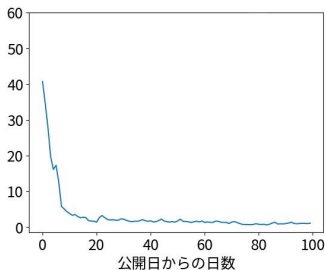


評価：人気度の時間変化があるコンテンツの生成

NDN の AS 間トラフィック削減のためのミラー動的配置法

X. CAO

- Google APから映画の検索回数時系列データを取得
- 三種類の人気度変化パターンへ総括



評価：人気度の時間変化があるコンテンツの生成

NDN の AS 間トラフィック削減のためのミラー動的配置法

X. CAO

研究背景

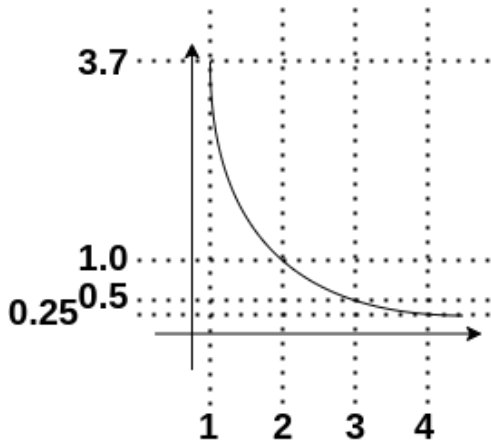
研究目的

提案手法

評価

まとめ

- コンテンツ生成する時，ランダムに人気度パターンを一つ選択
- 乱数で，実際の数値を調整



評価：人気度の時間変化があるコンテンツの生成

NDN の AS 間トラフィック削減のためのミラー動的配置法

X. CAO

研究背景

研究目的

提案手法

評価

まとめ

- コンテンツ生成する時，ランダムに人気度パターンを一つ選択
- 乱数で，実際の数値を調整
- コンテンツのライフタイム(タイムスロットの個数) を決定



評価：人気度の時間変化があるコンテンツの生成

NDN の AS 間トラフィック削減のためのミラー動的配置法

X. CAO

研究背景

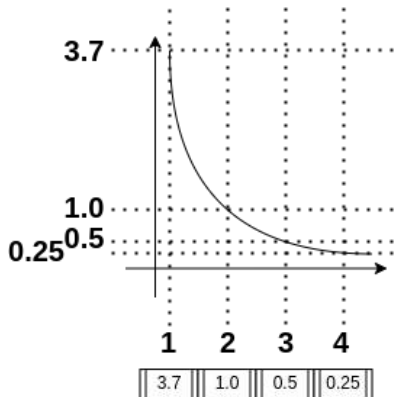
研究目的

提案手法

評価

まとめ

- コンテンツ生成する時，ランダムに人気度パターンを一つ選択
- 乱数で，実際の数値を調整
- コンテンツのライフタイム(タイムスロットの個数)を決定
- 人気度変化の数値を人気度重みとして各タイムスロットに代入



コンテンツの人気度の計算

NDN の AS 間トラフィック削減のためのミラー動的配置法

X. CAO

研究背景

研究目的

提案手法

評価

まとめ

- 複数コンテンツの該当タイムスロットの人気度重みで，人気ランキングを決定

コンテンツ1				3.7	1.0	0.5	0.25
コンテンツ2		1.1		1.2	1.0		
コンテンツ3		4	2	1.5	0.9		
コンテンツ4	1.5	1.1	1.3	1.3	0.9	1.0	

コンテンツの人気度の計算

NDN の AS 間トラフィック削減のためのミラー動的配置法

X. CAO

研究背景

研究目的

提案手法

評価

まとめ

- 複数コンテンツの該当タイムスロットの人気度重みで，人気ランキングを決定
- その後，このランキングに基づき，Zipfパラメタで，各コンテンツの要求レートを計算
- 得た値は該当タイムスロットで各コンテンツの要求確率

コンテンツ1				3.7	1.0	0.5	0.25
コンテンツ2			1.1	1.2	1.0		
コンテンツ3		4	2	1.5	0.9		
コンテンツ4	1.5	1.1	1.3	1.3	0.9	1.0	

コンテンツ1	3.7
コンテンツ3	1.5
コンテンツ4	1.3
コンテンツ2	1.2

相対ミラー生成周期に対するキャッシュヒット率

NDN の AS 間トラフィック削減のためのミラー動的配置法

X. CAO

研究背景

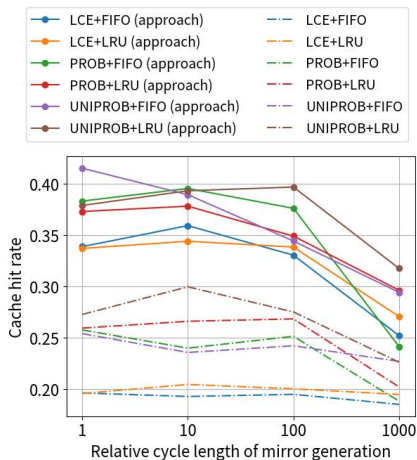
研究目的

提案手法

評価

まとめ

- 横軸ではミラー生成周期がコンテンツ生成周期の何倍かを示す数値
- 提案手法が従来手法よりキャッシュヒット率が優れる



ミラー数に対するAS間平均ホップ長

NDN の AS 間トラフィック削減のためのミラー動的配置法

X. CAO

研究背景

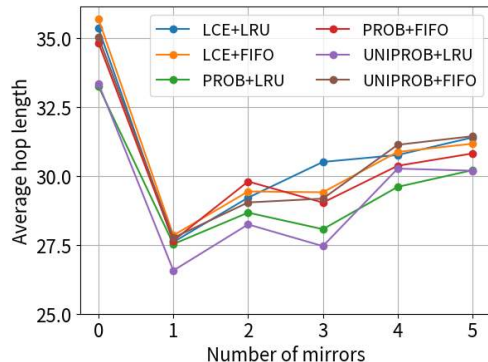
研究目的

提案手法

評価

まとめ

- 横軸の数値は一個のコンテンツに対して何個のミラーをたてるかを示す値
- 提案手法が AS 間平均ホップ長を削減可能
- ミラーの数が増えるほど、結果が悪くなる原因として、ミラーの多様性の低下が挙げられる



ミラーサイズ比に対するキャッシュヒット率

NDN の AS 間トラフィック削減のためのミラー動的配置法

X. CAO

研究背景

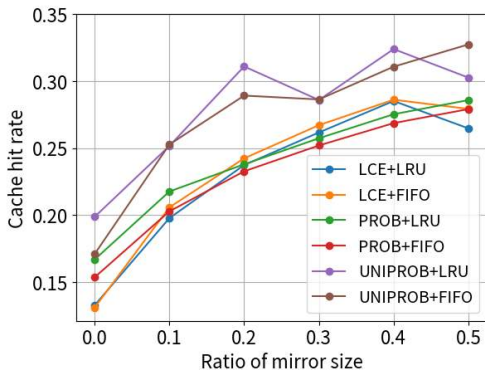
研究目的

提案手法

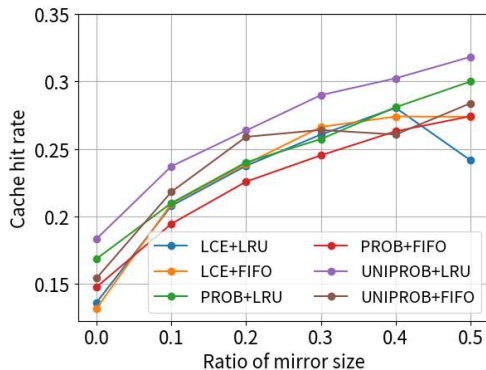
評価

まとめ

Ladder型 : At Home Network



H&S型 : Verio



ミラー数に対するキャッシュヒット率

NDN の AS 間トラフィック削減のためのミラー動的配置法

X. CAO

研究背景

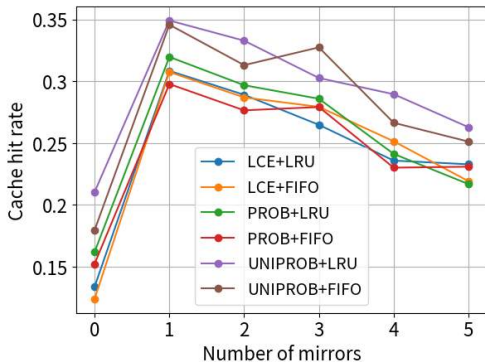
研究目的

提案手法

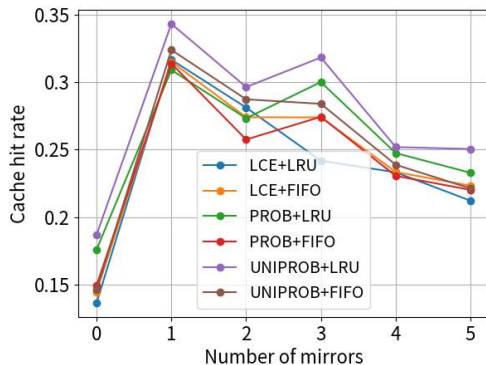
評価

まとめ

Ladder型 : At Home Network



H&S型 : Verio



今後の取り組み

NDN の AS 間トラフィック削減のためのミラー動的配置法

X. CAO

- 動的なミラー構築
- 柔軟なミラーライフタイム管理
- 提案手法のオーバーヘッドの評価

研究背景

研究目的

提案手法

評価

まとめ

まとめ

NDN の AS 間トラフィック削減のためのミラー動的配置法

X. CAO

研究背景

研究目的

提案手法

評価

まとめ

- 動的なミラー構築
- 柔軟なミラーライフタイム管理
- 提案手法のオーバーヘッドの評価
- AS 間トラフィックに着目したミラー配置法を提案
- ミラーの利用効率を向上する誘導法を提案
- 計算機シミュレーションによる評価で提案方式の有効性を確認