

# 利用者のコミュニティ情報を利用した オーバレイネットワークのための動的トポロジ再構成手法

小笠 智康<sup>†</sup> 高橋 洋介<sup>†</sup> 杉山 浩平<sup>†</sup> 大崎 博之<sup>†</sup> 今瀬 真<sup>†</sup>  
八木 毅<sup>††</sup> 村山 純一<sup>††</sup>

<sup>†</sup> 大阪大学 大学院情報科学研究科

〒 565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-5

<sup>††</sup> 日本電信電話株式会社 NTT 情報流通プラットフォーム研究所

〒 180-8585 東京都武蔵野市緑町 3-9-11

E-mail: <sup>†</sup>{t-ogasa,yosuke-t,k-sugi,oosaki,imase}@ist.osaka-u.ac.jp, <sup>††</sup>{yagi.takeshi,murayama,junichi}@lab.ntt.co.jp

あらまし オーバレイネットワークでは、さまざまに変化する利用者のトラフィック要求に応じて、適切にネットワークのトポロジを再構成することが重要である。これまで、オーバレイネットワークにおける通信コストとトポロジ再構成コストのトレードオフを考慮した、効率的なトポロジ再構成手法 CBP (Cluster-Based Policy) が提案されている。しかし、CBP は、利用者からのトラフィック要求がすべて既知であることを前提としている。そこで本稿では、オーバレイネットワーク利用者によって形成されるソーシャルネットワークのコミュニティ情報を利用することにより、利用者のトラフィック要求が未知であっても適用が可能な、オーバレイネットワークのためのトポロジ再構成手法 ACBP (Approximate Cluster-Based Policy) を提案する。さらに本稿では、シミュレーション実験により、提案する ACBP の有効性を評価する。その結果、提案する ACBP のコストは、利用者のトラフィック要求を必要としないにもかかわらず、CBP のコストの約 112 % 以下に抑えられることを示す。

キーワード オーバレイネットワーク、トポロジ再構成、ソーシャルネットワーク、コミュニティ

## Dynamic Topology Reconfiguration Method for Overlay Networks using Users' Community Information

Tomoyasu OGASA<sup>†</sup>, Yousuke TAKAHASHI<sup>†</sup>, Kouhei SUGIYAMA<sup>†</sup>, Hiroyuki OHSAKI<sup>†</sup>,  
Makoto IMASE<sup>†</sup>, Takeshi YAGI<sup>††</sup>, and Junichi MURAYAMA<sup>††</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

1-5 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, Japan

<sup>††</sup> NTT Information Sharing Platform Laboratories, NTT Corporation

3-9-11 Midoricho, Musashino, Tokyo 180-8585, Japan

E-mail: <sup>†</sup>{t-ogasa,yosuke-t,k-sugi,oosaki,imase}@ist.osaka-u.ac.jp, <sup>††</sup>{yagi.takeshi,murayama,junichi}@lab.ntt.co.jp

**Abstract** In an overlay network, it is important to reconfigure its network topology appropriately according to change of traffic requirements from users. An efficient dynamic topology reconfiguration method called CBP (Cluster-Based Policy), which optimizes the trade-off between communication cost and topology reconfigure cost, has been proposed. However, CBP assumes that all traffic requirements from users are known in advance. In this paper, we propose a dynamic topology reconfiguration method called ACBP (Approximate Cluster-Based Policy), which does not require detailed information on users' traffic requirements. By utilizing community information of a social network formed by overlay network users, ACBP performs efficient dynamic topology reconfiguration even when users' traffic requirements are unknown. In this paper, we also evaluate the effectiveness of our ACBP through simulations. Consequently, we show that even when users' traffic requirements are unknown, the overall cost of ACBP is approximately 112 % of the overall cost of CBP.

**Key words** Overlay Network, Topology Reconfiguration, Social Network, Community

## 1 はじめに

近年、インターネットのルーティングを上位層で柔軟に制御することができる、オーバーレイネットワークへの注目が高まっている [1-3]。オーバーレイネットワークにより、下位層のネットワークを変更することなく、マルチキャストや QoS のような通信サービスを実現することが可能となる。

オーバーレイネットワークでは、さまざまに変化する利用者のトラフィック要求に応じて、適切にネットワークのトポロジを再構成することが重要である。利用者のトラフィック要求に応じてトポロジを動的に再構成することで、ネットワーク帯域を利用するためのコスト (通信コスト) を低く抑えることが可能となる。しかし、オーバーレイネットワークのトポロジを頻繁に再構成すると、トポロジの再構成のためのコスト (トポロジ再構成コスト) が増加し、結果として、オーバーレイネットワーク運用に要するコスト (通信コストとトポロジ再構成コストの和) が増大してしまう。このため、通信コストとトポロジ再構成コストのトレードオフを考慮した、効率的なトポロジの再構成が重要となる。

これまで、ネットワークサービスとしてオーバーレイネットワークを提供するという、サービスオーバーレイネットワーク [4, 5] において、通信コストとトポロジ再構成コストのトレードオフを考慮した、効率的なトポロジ再構成手法 CBP (Cluster-Based Policy) が提案されている [6]。CBP は、ヒューリスティックなアルゴリズムであり、コスト (通信コストとトポロジ再構成コストの和) を小さく抑えるようにオーバーレイネットワークのトポロジを再構成する。

しかし、CBP は、利用者からのトラフィック要求がすべて既知であることを前提としている。つまり、CBP は、すべてのトラフィックパターン (オーバーレイノード間のすべての通信量) およびそれらのトラフィックパターンの状態遷移確率がすべて既知であることを前提にしている。しかし一般には、利用者からのトラフィック要求を事前に知ることは容易ではなく、現実のネットワークに CBP をそのまま適用することは困難である。

そこで本稿では、オーバーレイネットワーク利用者によって形成されるソーシャルネットワークのコミュニティ情報を利用することにより、利用者のトラフィック要求が未知であっても適用が可能な、オーバーレイネットワークのための動的トポロジ再構成手法 ACBP (Approximate Cluster-Based Policy) を提案する。ACBP は、利用者のソーシャルネットワークのコミュニティ情報を利用することにより、オーバーレイノード間のトラフィック要求を推定する。推定したトラフィック要求に対して、CBP を実行することにより、オーバーレイネットワークのトポロジ候補を事前に計算する。利用者からの実際のトラフィック要求が変化する度に、トポロジ候補から適切なトポロジを選択し、オーバーレイネットワークのトポロジ再構成を行う。

ACBP の基本的なアイデアは、同じコミュニティに属する利用者間には、異なるコミュニティに属する利用者間よりも、より多くの通信が発生するという性質がある [7] ことを利用するというものである。従来手法である CBP は、利用者からのト

ラフィック要求のパターンがすべて既知であることを前提とするが、これらのパターンをまずクラスタに分類する。同じクラスタに属する、類似したトラフィックパターンに対しては、共通のオーバーレイトポロジを用いることにより、トポロジの再構成頻度を小さく抑えている。つまり、CBP では、詳細な利用者のトラフィック要求を入力しているが、実際には (クラスタごとに分類された) 粒度の荒いトラフィック要求の情報しか利用していない。ACBP では、利用者のコミュニティ情報という抽象度の高い情報から、粒度の荒いトラフィック要求を推定し、オーバーレイネットワークのトポロジ再構成に利用する。

本稿では、シミュレーション実験により、提案する ACBP の有効性を評価する。具体的には、さまざまなパラメータ条件下における、既存手法である CBP および提案手法である ACBP のコスト (通信コストとトポロジ再構成コストの和) を比較する。これにより、提案する ACBP のコストは、利用者のトラフィック要求を必要としないにもかかわらず、CBP のコストの約 112 % 以下に抑えられることを示す。これにより、ACBP を用いれば、現実的なコストでオーバーレイネットワークのトポロジ再構成が可能であることを示す。

本稿の構成は以下の通りである。まず、2 章において、オーバーレイネットワークのトポロジ構成手法に関する従来研究を紹介する。3 章では、提案するオーバーレイネットワークのための動的トポロジ再構成手法 ACBP の概要と、そのアルゴリズムを説明する。4 章では、シミュレーション実験により、さまざまなネットワーク環境における ACBP と CBP の性能を比較し、ACBP の有効性を定量的に示す。最後に、5 章において、本稿のまとめと今後の課題を述べる。

## 2 関連研究

オーバーレイネットワークのトポロジ構成手法に関して、これまで数多くの研究が行われている [6, 8-10]。

文献 [8] では、高速焼きなまし法を利用した、高速なトポロジ再構成手法を提案している。この手法では、ヒューリスティックにより、ネットワークの規模が大きくなるにつれ、トポロジ構成に要する計算時間が増大するという問題を解決している。また文献 [9] では、オーバーレイトポロジがオーバーレイネットワークに与える影響を調査している。その結果、文献 [9] の著者らが提案する AC (Adjacent Connection) および TKMST (Topology-aware-K-Minimum-Spanning Tree) が、障害回復・ホップ数・ルーティングのオーバーヘッドという点において優れていることを示している。しかし、これらの研究では、オーバーレイネットワークにおける通信コストのみを評価しており、オーバーレイネットワークのトポロジ再構成に要するコストは考慮されていない。利用者のトラフィック要求は時間とともに変化すると考えられるため、効率的なオーバーレイネットワークのトポロジ再構成を行うためには、オーバーレイネットワークのトポロジ再構成コストをも考慮した制御が必要である。

文献 [6] では、通信コストとトポロジ再構成コストのトレードオフを考慮した、オーバーレイネットワークのトポロジ再構成手法 CBP (Cluster-Based Policy) が提案されている。CBP は、利

ユーザーからのトラフィック要求のパターンがすべて既知であることを前提とし、これらのパターンをクラスタに分類する。同じクラスタに属する、類似したトラフィックパターンに対しては、共通のオーバーレイトポロジを用いることにより、トポロジの再構成頻度を小さく抑えている。これにより、通信コストとトポロジ再構成コストのトレードオフを考慮した、効率的なオーバーレイネットワークのトポロジ再構成を実現している。しかし一般には、利用者からのトラフィック要求を事前に知ることは容易ではなく、現実のネットワークに CBP をそのまま適用することは困難である。

### 3 コミュニティ情報を利用した動的トポロジ再構成手法

#### 3.1 概要

既存手法である CBP [6] は、利用者からのトラフィック要求がすべて既知であることを前提とし、そのような条件下で効率的なオーバーレイネットワークのトポロジ再構成を実現する。しかし一般には、利用者からのトラフィック要求を事前に知ることは容易ではなく、現実のネットワークに CBP をそのまま適用することは困難である。

そこで本稿では、オーバーレイネットワーク利用者によって形成されるソーシャルネットワークのコミュニティ情報を利用することにより、利用者のトラフィック要求が未知であっても適用が可能な、オーバーレイネットワークのための動的トポロジ再構成手法 ACBP (Approximate Cluster-Based Policy) を提案する。

ACBP は、利用者のソーシャルネットワークのコミュニティ情報を利用することにより、オーバーレイノード間のトラフィック要求を推定する。推定したトラフィック要求に対して、CBP を実行することにより、オーバーレイネットワークのトポロジ候補を事前に計算する。利用者からの実際のトラフィック要求が変化する度に、トポロジ候補から適切なトポロジを選択し、オーバーレイネットワークのトポロジ再構成を行う。

ACBP は、以下のような手順でオーバーレイネットワークのトポロジ再構成を行う。なお、ステップ (2) および (3) は、既存手法である CBP のアルゴリズム [6] をそのまま用いる。

#### (1) 利用者のトラフィック要求の推定

オーバーレイネットワーク利用者によって形成されるソーシャルネットワークのコミュニティ情報を利用することにより、利用者のトラフィック要求を推定する。

#### (2) 推定したトラフィック要求のクラスタリング

推定された複数のトラフィック要求を、それぞれのトラフィックパターンの類似度によってクラスタに分類する。

#### (3) クラスタごとに適切なトポロジ候補の決定

それぞれのクラスタに対して、ヒューリスティックなアルゴリズムにより、通信コストが最小となるオーバーレイトポロジ (トポロジ再構成の候補) を計算する。ここまでの処理はオフラインで行われる。

#### (4) トラフィック要求の変化に応じたトポロジの再構成

利用者からのトラフィック要求が変化する度に、ステップ (3) で求められたトポロジ候補の中から、通信コストが最小となる

トポロジ候補を選択する。現在のトポロジと、選択されたトポロジ候補が異なっていれば、トポロジの再構成を行う。

以上のような制御により、利用者のトラフィック要求が未知な状況であっても、通信コストだけでなく、トポロジ再構成コストも考慮した効率的なトポロジ再構成が可能となる。

#### 3.2 アルゴリズム

以下、各ステップの擬似コードを示すことにより、ACBP のアルゴリズムを説明する。

##### (1) 利用者のトラフィック要求の推定

オーバーレイネットワーク利用者によって形成されるソーシャルネットワークのコミュニティ情報を利用することにより、利用者のトラフィック要求を推定する (図 1)。

以降のステップでは、既存手法である CBP のアルゴリズム [6] をそのまま用いるため、複数のトラフィック要求  $C_i (1 \leq i \leq N)$  を生成している。

2つのオーバーレイノードに関して、それらの利用者が同じコミュニティに属していれば確率  $\alpha \times \theta$  で、そうでなければ確率  $(1 - \alpha) \times \theta$  でトラフィック要求を発生させている。

```

入力：
N : オーバレイノード数
M : 生成するトラフィックパターン数
θ : ノード間のトラフィック生成確率
r : ノード間の平均トラフィック量
α : コミュニティの粗密を表すパラメータ

出力：
Li (1 ≤ i ≤ M) = {λab} : 推定されたトラフィック行列
(λabはノード a からノード b へのトラフィック要求)

PROCEDURE ESTIMATE-TRAFFIC-REQUIREMENT
M 個のトラフィックパターンを推定する：
for Li, 1 ≤ i ≤ M :
    ノード j, k 間にトラフィックを付与する：
    for 1 ≤ j ≤ N :
        for 1 ≤ k ≤ N :
            if j, k が同一コミュニティのノード；
                j ≠ k ならば確率θαでλjk = r；
            else
                j ≠ k ならば確率θ(1 - α)でλjk = r；

```

図 1 擬似コード (トラフィック要求の推定)

##### (2) 推定したトラフィック要求のクラスタリング

推定された複数のトラフィック要求を、それぞれのトラフィックパターンの類似度によってクラスタに分類する (図 2)。本ステップでは、既存手法である CBP のアルゴリズム [6] をそのまま用いる。

ステップ (1) で推定した複数のトラフィック要求  $C_i (1 \leq i \leq N)$  を、それぞれのトラフィックパターンの類似度によってクラスタ  $S_j (1 \leq j \leq L)$  に分類する。具体的には、図 2 における (A) の繰り返しにより、コストが小さくなるようにクラスタに分類

する。

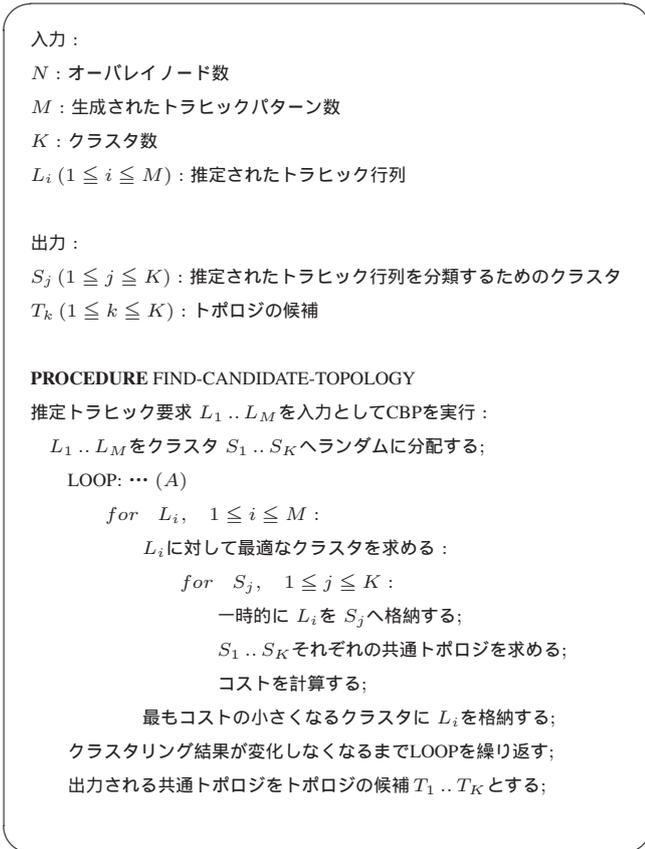


図2 擬似コード (推定したトラフィック要求のクラスタリングおよびトポロジ候補の決定)

### (3) クラスタごとに適切なトポロジ候補の決定

ステップ(2)で得られたそれぞれのクラスタに対して、ヒューリスティックなアルゴリズムにより、通信コストが最小となるオーバレイトポロジ (トポロジ再構成の候補)  $T_i (1 \leq i \leq L)$  を計算する (図2)。

本ステップでは、既存手法であるCBPのアルゴリズム [6] をそのまま用いる。ここまでの処理はオフラインで実行される。

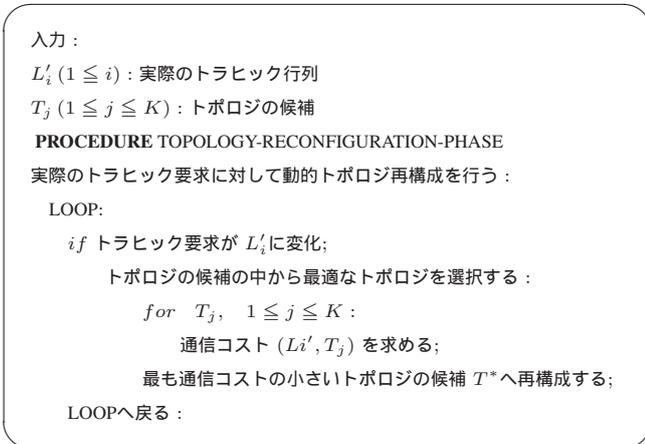


図3 擬似コード (トラフィック要求の変化に応じたトポロジの再構成)

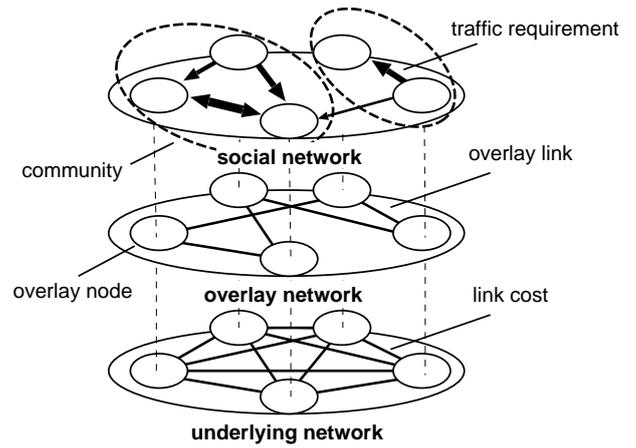


図4: シミュレーションモデル

### (4) トラフィック要求の変化に応じたトポロジの再構成

利用者からのトラフィック要求が変化する度に、ステップ(3)で求められたトポロジ候補  $T_i (1 \leq i \leq L)$  の中から、通信コストが最小となるトポロジ候補を選択する (図3)。現在のトポロジと、選択されたトポロジ候補が異なっていれば、トポロジの再構成を行う。

同じクラスタに分類されたトラフィック要求に対しては、共通のオーバレイトポロジを用いる。これにより、トポロジの再構成頻度を小さく抑え、結果としてトポロジ再構成コストを小さく抑えることが可能となる。

## 4 シミュレーション

以下では、シミュレーション実験により、提案するACBPの有効性を評価する。具体的には、さまざまなパラメータ条件下における、既存手法であるCBPおよび提案手法であるACBPのコスト (通信コストとトポロジ再構成コストの和) を比較する。これにより、ACBPを用いれば、現実的なコストでオーバレイネットワークのトポロジ再構成が可能であることを示す。

### 4.1 シミュレーションモデル

本稿で用いたシミュレーションモデルを図4に示す。以下では、文献 [6] と同様に、下層ネットワークのトポロジはフルメッシュとし、ノード間のリンク帯域を10~15の一様分布で与えた。また、オーバレイネットワーク利用者のソーシャルネットワークは、最大次数が4のランダムネットワークによって生成した。オーバレイネットワークの利用者を、コミュニティに属する利用者数が等しくなるように、4つのコミュニティに分割した。コミュニティ内のトラフィック局所性をモデル化するため、コミュニティ内トラフィック量とコミュニティ間トラフィック量の比が  $\alpha'$  :  $1 - \alpha'$  ( $\alpha \geq 0.5$ ) となるように、利用者間のトラフィック要求をランダムに生成した。なお、その他のパラメータについては、文献 [6] と同じ値を用いている (表1)。

性能指標として、コスト (通信コストおよびトポロジ再構成コストの和) を計測した。通信コストとトポロジ再構成コスト

表1 シミュレーションのパラメータ設定

オーバーレイノード数	$N$	40
生成するトラフィックパターン数	$M$	10
クラスタ数	$K$	10
オーバーレイネットワークの次数制限		4
ノード間の平均トラフィック量	$r$	1
ノード間のトラフィック要求の発生確率	$\theta$	0.15
コミュニティの粗密を表すパラメータ	$\alpha$	0.8
トポロジ再構成コストの重み	$\beta$	10

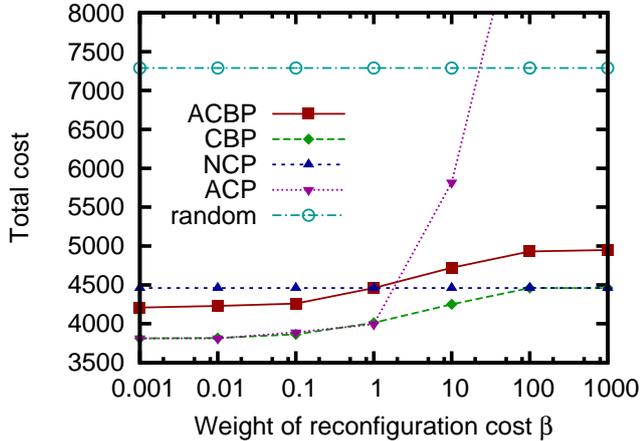


図5: 通信コストに対するトポロジ再構成コストの重み  $\beta$  がコストに与える影響

の重みをパラメータ  $\beta$  で表現し、トポロジ再構成のコストを以下によって求めた [6].

$$(\text{コスト}) = (\text{通信コスト}) + \beta \times (\text{トポロジ再構成コスト})$$

#### 4.2 トポロジ再構成コストの重みを変化させた場合

まず、トポロジ再構成コストの重み  $\beta$  (通信コストに対するトポロジ再構成コストの比) を変化させてシミュレーションを行う。これにより、トポロジ再構成コストの重みが、オーバーレイネットワークのコストに与える影響を調査する。

トポロジ再構成コストの重み  $\beta$  を変化させた時の、CBP および ACBP のコストを図5に示す。図中には、比較のため、トラフィック要求が既知の場合の他の手法 (NCP および ACP) の結果もあわせて示している。NCP (Never-Change Policy) はトポロジ再構成を一度だけ行う手法、ACP (Always-Change Policy) は利用者のトラフィック要求が変化する度に毎回トポロジ再構成を行う手法である。また、トポロジをランダムに決定した場合の結果 (random) もあわせて示している。

この図より、トポロジ再構成コストの重み  $\beta$  の値が増加するにつれ、CBP および ACBP のコストがともに増加していることが分かる。CBP および ACBP は  $\beta$  の値が小さい場合には、トポロジ再構成コストも小さくなるため、トラフィック要求の変化に応じて柔軟にトポロジが再構成される。結果として、通信コストが小さくなり、全体のコストが低く抑えられる。一方、 $\beta$  の値が大きい場合には、トポロジ再構成コストも大きいため、

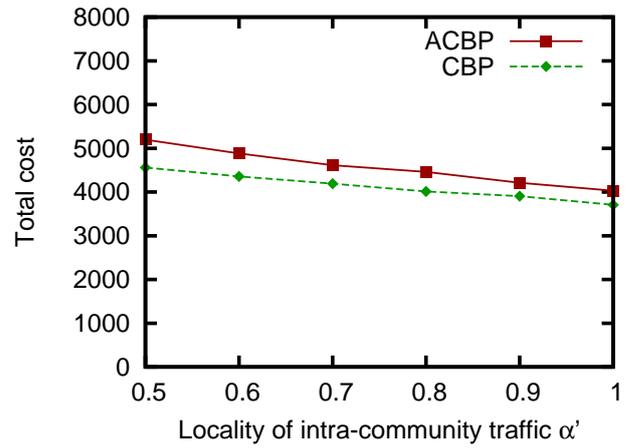


図6: コミュニティ内のトラフィック局所性  $\alpha'$  がコストに与える影響

利用者からのトラフィック要求が変化しても、トポロジ再構成を頻繁には行わない。結果として、通信コストが大きくなり、全体のコストも増加してしまう。

CBP および ACBP のコストを比較すると、トポロジ再構成コストの重み  $\beta$  の値にかかわらず、ACBP のコストは、CBP のコストよりも、たかだか 12% しか増加していないことが分かる。これより、利用者からのトラフィック要求が既知でない状況であっても、利用者のコミュニティ特性を利用することにより、ACBP によって実用的なオーバーレイネットワークのトポロジ再構成が可能であることがわかる。

#### 4.3 コミュニティ内のトラフィック局所性を変化させた場合

次に、コミュニティ内のトラフィック局所性を意味するパラメータ  $\alpha$  を変化させてシミュレーションを行う。これにより、コミュニティ内のトラフィック局所性が、ACBP の有効性にどの程度影響するかを調査する。

コミュニティ内のトラフィック局所性  $\alpha'$  を変化させた時の、CBP および ACBP のコストを図6に示す。ここでは、コミュニティ内のトラフィック局所性を決定するパラメータ  $\alpha'$  を 0.5 ~ 1.0 と変化させている。また、ACBP の制御パラメータ  $\alpha$  の値は、 $\alpha'$  と同じ値に設定している。

この図から、コミュニティ内のトラフィック局所性が高くなる ( $\alpha'$  の値が大きくなる) につれて、提案手法 ACBP および既存手法 CBP のコストの差が減少していることがわかる。以上の結果から、コミュニティ内トラフィックの局所性が高まるにつれて、提案する ACBP がより効率的に動作することがわかる。

#### 4.4 制御パラメータ $\alpha$ を変化させた場合

最後に、ACBP の制御パラメータ  $\alpha$  の値を変化させてシミュレーションを行う。これにより、実際のコミュニティ内のトラフィック局所性 (シミュレーションではパラメータ  $\alpha'$  によって決定) と、ACBP が想定しているコミュニティ内のトラフィック局所性 (制御パラメータ  $\alpha$  によって決定) とのずれが、トポロジ再構成コストに与える影響を調査する。

図7に、シミュレーションにおけるトラフィック局所性を  $\alpha' = 0.8$  と固定し、ACBP の制御パラメータ  $\alpha$  を 0.5 ~ 0.8

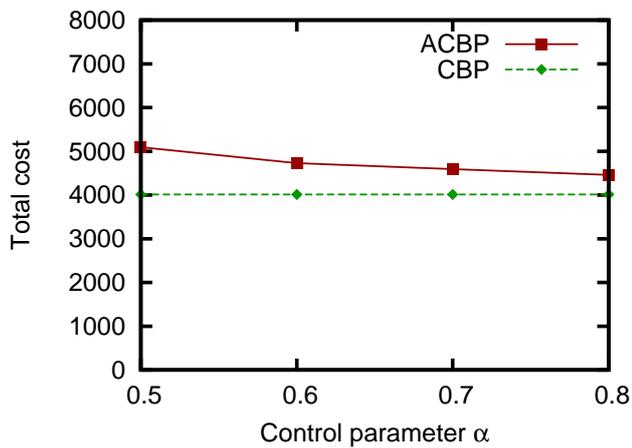


図 7: 制御パラメータ  $\alpha$  がコストに与える影響

と変化させた時のコストを示す。比較のため、すべてのトラヒック要求が既知である場合の、CBP のコストも示している。この図より、制御パラメータ  $\alpha$  の設定によって、ACBP のコストが変化することがわかる。コミュニティ内のトラヒック局所性は、ソーシャルネットワークごとに異なると考えられる。しかし、図 7 から分かるように、ACBP を有効性は、制御パラメータ  $\alpha$  の値にそれほど大きく左右されていないこともわかる。このことから、コミュニティ内のトラヒック局所性をおおよそ知ることができれば、ACBP を適用できると考えられる。

### 5 まとめと今後の課題

本稿では、オーバレイネットワーク利用者によって形成されるソーシャルネットワークのコミュニティ情報を利用することにより、利用者のトラヒック要求が未知であっても適用が可能な、オーバレイネットワークのための動的トポロジ再構成手法 ACBP (Approximate Cluster-Based Policy) を提案した。ACBP は、利用者のソーシャルネットワークのコミュニティ情報を利用することにより、オーバレイノード間のトラヒック要求を推定する。推定したトラヒック要求に対して、既存手法である CBP を実行することにより、オーバレイネットワークのトポロジ候補を事前に計算する。利用者からの実際のトラヒック要求が変化する度に、トポロジ候補から適切なトポロジを選択し、オーバレイネットワークのトポロジ再構成を行う。さらに本稿では、シミュレーション実験により、提案する ACBP の有効性を評価した。具体的には、さまざまなパラメータ条件下における、既存手法である CBP および提案手法である ACBP のコスト (通信コストとトポロジ再構成コストの和) を比較した。その結果、提案する ACBP のコストは、利用者のトラヒック要求を必要としないにもかかわらず、CBP のコストの約 112 % 以下に抑えられることを示した。

今後の課題として、コミュニティ情報を用いたより正確なトラヒック要求推定手法の検討や、さまざまなネットワーク環境下における ACBP の性能評価などが挙げられる。

- [1] D. G. Andersen, H. Balakrishnan, M. F. Kaashoek, and R. Morris, "Resilient overlay networks," *Computer Communication Review*, vol. 32, p. 66, Oct. 2001.
- [2] Z. Li and P. Mohapatra, "QRON: QoS-aware routing in overlay networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 10, pp. 29–40, Jan. 2004.
- [3] M. Kwon and S. Fahmy, "Topology-aware overlay networks for group communication," in *Proceedings of the 12th international workshop on Network and operating systems support for digital audio and video*, pp. 127–136, May 2002.
- [4] Z. Duan, Z.-L. Zhang, and Y. T. Hou, "Service overlay networks: SLAs, QoS, and bandwidth provisioning," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 11, pp. 870–883, Dec. 2003.
- [5] K. Liu, J. Lui, and Z. Zhang, "On service replication strategy for service overlay networks," in *Proceedings of the Network Operations and Management Symposium*, vol. 1, pp. 643–656, Apr. 2004.
- [6] J. Fan and M. H. Ammar, "Dynamic topology configuration in service overlay networks: A study of reconfiguration policies," in *Proceedings of IEEE INFOCOM '06*, pp. 1–12, Apr. 2006.
- [7] A. Chin and M. Chignell, "Identifying active subgroups in online communities," in *Proceedings of the 2007 conference of the center for advanced studies on Collaborative research*, pp. 280–28, Oct. 2007.
- [8] 徐蘇鋼, 小山修宏, 田中良明, "焼きなまし法による光波長ルーティングネットワーク論理トポロジ再構築手法," *電子情報通信学会技術研究報告 (RCS2003-98)*, vol. 103, pp. 45–48, July 2003.
- [9] Z. Li and P. Mohapatra, "Impact of topology on overlay routing service," in *Proceedings of IEEE INFOCOM '04*, pp. 408–418, Mar. 2004.
- [10] K. Lee, L. Zhang, and C.-H. Youn, "An adaptive virtual topology reconfiguration policy in multi-wavelength optical internet," *European transactions on Telecommunications*, vol. 14, pp. 417–422, Sept. 2003.