

ICNにおけるコンテンツ人気度を用いた 最適配置手法の検討

M2015SC012 太田詞大

指導教員: 河野浩之

1 はじめに

現在使用されているインターネットはホスト接続指向ネットワークとなっており、基本的な要件は、ホスト間で確立したネットワークを構築し、データを転送するという単純なものとなっている。近年新しい要求を満たすための clean-state なインターネットアーキテクチャとして Information-Centric Networking(ICN) の研究が盛んとなっている。ICN はネットワーク層で情報に名前を付けることで情報を中心とした通信を行うネットワークとなっており、ネットワーク内キャッシングやマルチキャストメカニズムに有利に働くという特徴がある。

ネットワーク内キャッシングはネットワーク内のルータにキャッシングを行うことで情報配信の効率化、ネットワーク内のトラフィックの減少など ICN における重要な機能の一つであり様々な手法が検討されている。ネットワーク内のどのルータにキャッシングを行うか、どの情報をキャッシングするか、ルータの容量が埋まっているときはどの情報を置換するか等によって大きく影響が出てしまうと考えられている。

本研究では、ネットワーク内キャッシングとしてコンテンツ人気度を用いた最適配置手法を提案する。betweenness centrality を使用することで複数の利用者における中心地を割り出すことで利用頻度の高いコンテンツの最適配置を行う。利用頻度の低いコンテンツは利用者からより近い位置に配置することでホップ数を削減し、利用頻度の高いコンテンツは利用者の中心地に配置することでリソースの冗長性の排除とネットワークトラフィック減少になると考えられる。また、CCN[1] ネットワークシミュレータである ccnSim を使用することで他のキャッシング手法や配置方式との比較を行い性能評価する。

以下、2章では使用するネットワークである ICN 及び先行研究である ProbCache, CLFM を説明する。3章ではコンテンツ人気度に応じた最適配置手法の概要及びアルゴリズムを説明する。4章に提案手法における ccnSim への実装、環境について述べ、提案手法のシミュレーション結果を示し、5章にまとめる。

2 関連研究

本節では本研究における関連研究について説明する。2.1節では本研究で使用するネットワーク技術である ICN について述べ、2.2節、2.3節では本研究に特に関連する先行研究を説明する。また、2.4節では先行研究における課題点を述べる。

2.1 ICN

ICN とは情報指向ネットワークであり、主な特徴として情報自体に名前付けを行うことで情報を中心とした通

信を行う。ICN には様々な研究プロジェクトが存在しているが、本研究では早期から研究されており認知度の高い CCN に基づく。CCN ではコンテンツに階層構造型の自然言語で記述される名前付けが行われる。

CCN 上でルータとなる Content Router(CR) は3つのテーブル FIB・PIT・CS を所持しており、それぞれ次のコンテンツ配信先、コンテンツの通ってきた経路、どのコンテンツがキャッシュされているかが保持されている。キャッシングはオンパスキャッシングとなっており通ってきた CR にキャッシングが行われる。また、コンテンツ自体に証明を持たせることでコンテンツ自身のセキュリティを確保し、どこに移動しても Interest メッセージを送信することで好きな情報を受け取ることができるようにモビリティも確保している。

2.2 ProbCache[3]

Psarasra らはキャッシング方法として ProbCache を提案している。ProbCache では各々のルータで確率的にコンテンツをキャッシュするかを決定する。また、確率はコンテンツ取得者とルータまでのホップ数、コンテンツのオリジナルを所持しているサーバとルータまでのホップ数を利用することでコンテンツ取得者の近くほど高くなる。以上より、ネットワークトラフィックの低減、情報取得の効率化がなされている。

しかし、コンテンツの利用頻度が考慮されていないので他のコンテンツ取得者とのコンテンツ共有の点においては最適なコンテンツ配置ができていない。

2.3 CLFM[2]

同様に Psarasra らは betweenness centrality に基づいたキャッシング手法として Cache less for more(CLFM) を提案している。CLFM では複数のコンテンツ取得者を考慮し中心地となるルータにキャッシングを行うことでネットワークトラフィックの低減を行っている。

しかし、コンテンツの利用頻度が考慮されていないので人気のないコンテンツの共有まで行ってしまふ。人気のないコンテンツは共有する必要がないので中間地点にキャッシュしてしまうとネットワークトラフィックの冗長になってしまう。

2.4 先行研究における課題点

ProbCache においてはキャッシングを利用者の近くに配置することによって再取得のネットワークトラフィック低減・コンテンツ置換の効率化が行われている。しかし、コンテンツの利用頻度を考慮していないので他の情報取得者とのコンテンツキャッシュの共有的利用におけるキャッシュの最適配置となっていない。また、CLFM において

は複数のコンテンツ取得者の中心地の CR にキャッシュすることでネットワークトラフィックの低減が行われている。しかし、コンテンツの利用頻度を考慮した配置ではないので人気のないコンテンツばかりがキャッシュされた時ネットワークトラフィックの冗長になってしまう。

3 コンテンツ人気度用いた最適配置手法概要

本節では、本研究で提案する最適配置手法の概要を説明する。3.1 節ではコンテンツ人気度の利用について述べ、3.2 節ではコンテンツ送信、コンテンツ要求の動作の流れを説明する。3.3 節では動作の流れに出てきたコンテンツ要求メッセージ及びコンテンツ送信メッセージのアルゴリズムを説明する。

3.1 コンテンツ人気度による切り替え

本研究ではコンテンツ人気度としてコンテンツの利用頻度を用いて ProbCache と CLFM を切り替えることによって人気度の高いコンテンツのみを利用者同士の中心地に当たる CR にキャッシングし、人気度の低いコンテンツは利用者との近い距離にキャッシングする最適配置手法を提案する。ProbCache では利用者と CR の距離、コンテンツ配信元と CR の距離を元にキャッシング配置場所を決定している。初期配置として出来るだけ利用者の近くをキャッシング配置場所にする事によって利用者からのコンテンツ要求におけるネットワークトラフィック量が減少される。

CLFM では betweenness centrality を利用することで他の利用者との媒介中心性値を算出することで複数の利用者のコンテンツ要求に対応する CR にキャッシングを配置することができる。キャッシングは基本的に CCN に基づきオンパスキャッシングとする。

コンテンツの人気度としてコンテンツ利用頻度を用いるために CCN における CR が所持しているテーブル FIB, PIT, CS とは別にコンテンツ呼び出し回数をカウントする ContentsCount(CC) テーブルを追加する。CC はキャッシュヒットが起こる毎に対応するコンテンツの利用回数を 1 ずつ追加していく。事前に閾値を定めておくことで CC が閾値まで達したキャッシュに対して再配置が行われる。この再配置では人気度の高いコンテンツを対象としているので媒介中心性値を使用することで複数の利用者間の中心地となる CR にキャッシングされる。

3.2 提案手法シーケンス

提案手法における動作の流れを図 1 に示す。コンテンツのやり取りの基本的な方法は Interest メッセージと Data メッセージによるやり取りとなっている。利用者からコンテンツの要求が行われた際にコンテンツ要求として Interest メッセージを送信し、各コンテンツルータではキャッシュが存在しているかを確認する。キャッシュミス時はオリジナルコンテンツを所有するサーバへ転送する。キャッシュヒット時、もしくはオリジナルコンテンツを所有するサーバが Interest メッセージを受信した時コンテンツを利用者の元に Data メッセージとして配信する。また、キャッシュヒット時において利用者によるコンテンツ利用

回数が閾値を超えた際に、キャッシング判別フラグを切り替えたコンテンツ要求メッセージを転送する

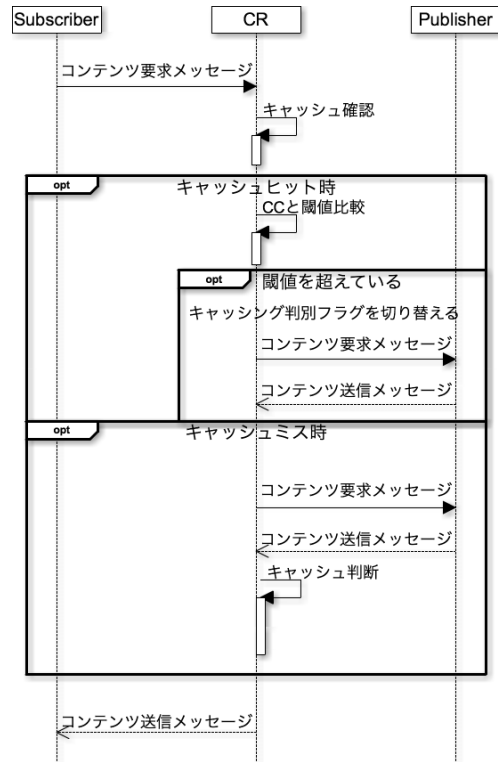


図 1 コンテンツ要求・送信シーケンス

3.3 コンテンツ要求・送信メッセージアルゴリズム

最適配置手法におけるコンテンツ要求メッセージアルゴリズムを以下に示す

オリジナルサーバから送信するコンテンツデータ送信では ProbCache を使用してキャッシングを行うか判断する。しかし、コンテンツ要求メッセージに再配置フラグが記録されていた場合はキャッシング方式を切り替え betweenness centrality を使用して媒介中心性値によってキャッシングを行うか判断する必要がある。

再配置フラグが付いていた場合、もしくは CR においてキャッシュヒットした場合のコンテンツデータ送信メッセージにおけるアルゴリズムを下に示す。オリジナルサーバから送信されたコンテンツは各 CR で動作を行う。

- $C_b(v)$: CR(v) における媒介中心性の値

例を図 2 に示す。client1 がコンテンツ要求を行うと配信元サーバへ要求が送信される。返信としてコンテンツデータが帰ってくる際に CR で ProbCache でキャッシングを行うか決定される。この時 CR3 にのみキャッシングされたと仮定する。閾値を事前に 3 として設定しておき client1 が同じコンテンツを 3 回要求した時、CC の利用頻度が 3 となり再配置が実行される。CR3 における媒介中心性値 $C_b(\text{CR3})$ を記録して配信元サーバへ送信する。通過する CR では媒介中心性値を比較し、より高い媒介中心性値を記録するので CR2 の値が記録される。コンテンツ要求は配信元サーバへ到着した時、記録されている媒介中心性値をコンテンツ送信メッセージに記録し CR3

Algorithm 1: キャッシング再配置におけるコンテンツ要求

```

1  $C_b = 0$ 
2 foreach 要求者からオリジナルサーバまでの CR do
3   if  $C_b < C_b(v)$  then
4      $C_b = C_b(v)$ 
5   end
6   if 要求しているコンテンツのキャッシュが存在する then
7     キャッシュしているコンテンツを要求者へ送信
8     if CCにおける利用回数 == 閾値 then
9        $C_b(v)$  をコンテンツ要求に記録
10      再配置フラグを記録してオリジナルサーバへコンテンツ要求
11    end
12  else
13    次ホップの CR へ転送
14  end
15 end

```

Algorithm 2: キャッシング再配置におけるコンテンツ送信

```

1 最も高い媒介中心性値を記録したコンテンツデータを送信
2  $C_b =$  記録されている媒介中心性の値
3 foreach オリジナルサーバから送信先までの CR do
4   if  $C_b(v) == C_b$  then
5     送信されてきたデータをキャッシング
6   end
7   次ホップの CR へ転送
8 end

```

へ向けて送信を行う。記録されている $C_b(\text{CR2})$ と同じ値のルータにのみキャッシングが行われるので CR2 にキャッシュが置かれコンテンツの最適配置となる。

4 シミュレーション

本節では、提案手法に対するシミュレーションについて示す。4.1 節では環境及び各パラメータを説明する。4.2 節では比較評価基準を述べる。4.3 節ではシミュレーションの結果を示し、先行研究との比較評価を行い考察を記述する。

4.1 シミュレーション環境

CCN ネットワークシミュレータである ccnSim[4] を使用する。ccnSim は OMNET++ フレームワーク下で C++ で作成された ICN/CCN のチャンクレベルシミュレータである。提案したコンテンツ最適配置手法を実装することで、ccnSim を用いたシミュレーションを行い評価する。

本研究では ccnSim のプログラムにおける cache 部分を書き換えることによって提案手法を実装する。主に変更す

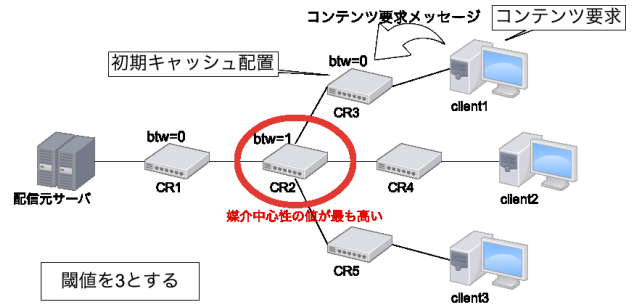


図 2 コンテンツ再配置例

る部分としては src/node/cache 内における提案キャッシング手法の追加、modules/node/cache 内における追加手法におけるパラメータの設定、packets 内における Interest メッセージ及び Data メッセージ部分、そして include 内の変更部分に伴うヘッダファイルとなっている。

評価トポロジとして level-6 のノード数 127 となるバイナリツリートポロジを使用した。CCN ノード数は 127 個となっており、各ノードに 1 台ずつ client が接続されている。しかし、ツリートポロジの末端の葉部分に接続されている client64 台のみが実際に動作する client となっている。

使用したパラメータの値を表 1 に示す。コンテンツの要求に際して元となるコンテンツを所持しているリポジトリの数は 1 としている。cache size は 1000~5000 で変化させている。コンテンツのネットワークトラフィック分

表 1 ccnSim パラメータ

repository 数	1
active client 数	64
各 node client 接続数	1
コンテンツのチャンク数	1
コンテンツ数	100000
cache size	1000~5000

布は Zipf の法則に基づくとする。先行研究では主に指数を 0.8-1.0 の間で使用している。これより本研究では Zipf 分布の指数 を 0.9 として分布している

4.2 評価基準

提案アルゴリズムは最適なキャッシング配置を行うことによる情報配信効率化を目的としている。シミュレーションにおける評価基準を下に示す。

キャッシュヒット率

コンテンツルータにおけるコンテンツ要求に対するキャッシュヒットの割合。キャッシュヒット回数 l 、キャッシュミス回数 m と、 $\frac{l}{l+m}$ でキャッシュヒット率を算出する。

キャッシュヒットホップ数

キャッシュがヒットするまでの平均ホップ数。ホップ数の和を p 、全体のコンテンツ要求回数を q とする

と $\frac{p}{q}$ でキャッシュヒットホップ数を算出する。

メッセージ処理回数

各ルータにおけるメッセージを処理する回数の総和、ネットワーク全体を流れるトラフィックの総量とみることができる。コンテンツ要求メッセージを各ノードで処理した回数を y 、コンテンツ送信メッセージを各ノードで処理した回数を s とすると $y + s$ でネットワークトラフィック量を算出する。

4.3 シミュレーション結果

シミュレーションでは ProbCache, Leave Copy Everywhere(LCE), betweenness centrality(Btw) と提案手法(ProbCache+Btw) を比較し評価する。実行結果におけるキャッシュヒット率, キャッシュヒットホップ数, メッセージ処理回数を図 3, 4, 5 に示す。

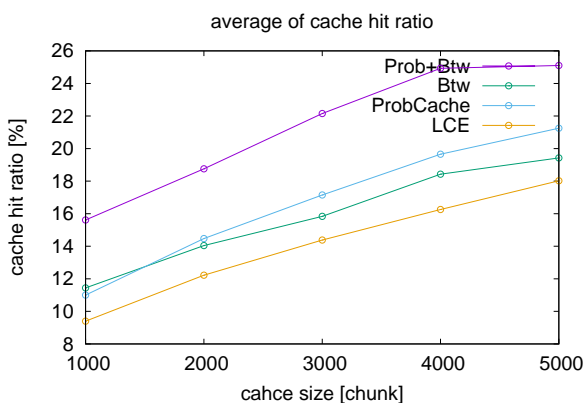


図 3 キャッシュヒット率

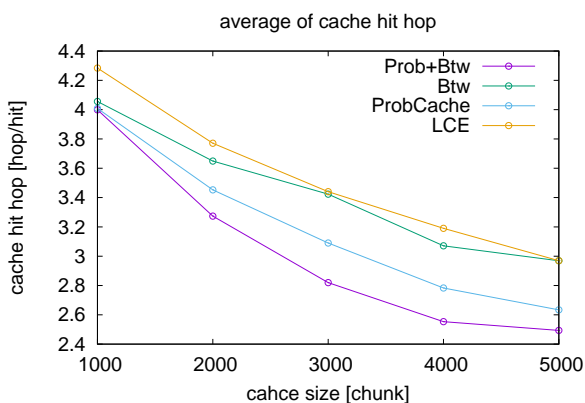


図 4 キャッシュヒットホップ数

それぞれ 10 回シミュレーションを行った平均となっている。提案手法におけるキャッシュヒット率は LCE に対しては最大約 8% の向上, ProbCache・Btw に対しては約 4~6% 向上した。同様にキャッシュヒットホップ数, ネットワークトラフィック量に関して他の手法より性能が向上しているのが確認できた。キャッシュヒット置換選択手法を LRU を使用していることによってより良いキャッ

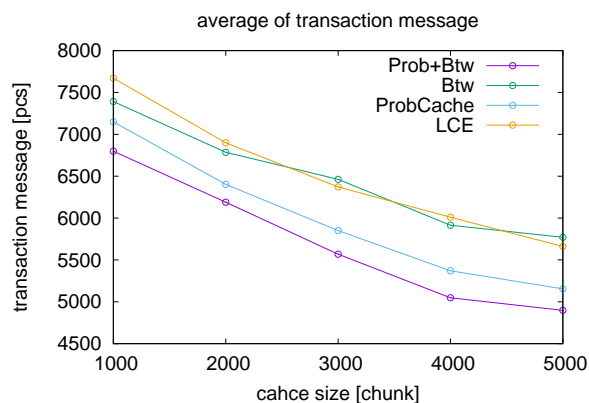


図 5 メッセージ処理回数

シュがたまるのでそれぞれの結果の値が近くなっていると考えられる。

5 まとめ

本研究では, ICN のネットワーク内キャッシングにおいてコンテンツの人気度に応じてキャッシング手法を変化させることで複数利用者間でのコンテンツ共有を可能にするコンテンツ最適配置手法を提案した。また, ccnSim 上に提案手法を実装, シミュレーションを行い, キャッシュヒット率, キャッシュヒットホップ数, ネットワークトラフィック量を計測することで先行研究との比較評価を行った。結果として, LCE に対しては大幅の向上, ProbCache・Btw に対しては少しであるが向上が確認できた。

今後の課題としては, 初期配置方式の工夫及び複数トポロジでの性能調査が必要であると考えられる。また, 置換対象選択の手法によっても大きく影響することが考えられるのでよりより性能を出す組み合わせを探す必要がある。

参考文献

- [1] CCNx project, <http://www.ccnx.org/>.
- [2] Chai, W. K., He, D., Psaras, I. and Pavlou, G.: Cache "Less for More" in Information-centric Networks, *Proceedings of the 11th International IFIP TC 6 Conference on Networking - Volume Part I, IFIP'12*, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, pp. 27-40 (2012).
- [3] Psaras, I., Chai, W. K. and Pavlou, G.: Probabilistic In-network Caching for Information-centric Networks, *Proceedings of the Second Edition of the ICN Workshop on Information-centric Networking, ICN '12*, New York, NY, USA, ACM, pp. 55-60 (2012).
- [4] Rossini, G., Araldo, A., Rossi, D., Chiocchetti, R., Leonardi, E. and Tortelli, M.: Large scale simulation of CCN networks.