

履歴に基づいたコンテンツ要求予測による 先行キャッシュ配信手法の提案

山本 真由^{1,a)} 重安 哲也^{1,b)}

概要: CCN では、インネットワークキャッシュのヒット率を向上することにより大幅にネットワークトラフィックを軽減することができる。しかしながら、従来の CCN では、キャッシュ容量が有限であるために、一度しか参照されない one-timer のキャッシュが人気コンテンツをキャッシュからオーバフローさせてしまうことでキャッシュヒット率が低下する問題が指摘されていた。そこで、本研究では、one-timer の影響によらずに、効果的なキャッシュヒット率を実現するために、コンテンツの要求予測に基づいて中間ルータにキャッシュを先行配信する手法を提案する。

A proposal for preceding cache delivery according to future forecast of Interest

MAYU YAMAMOTO^{1,a)} SHIGEYASU TETSUYA^{1,b)}

Abstract: CCN can mitigate the network traffic by improving the cache hit ratio. The CCN, however, degrades its performance if the one-timers are requested frequently and the one-timer kicks out popular contents. Hence, in this paper, we propose to preceding cache delivery on CCN, according to the future forecast on contents acquisition request.

1. はじめに

従来のインターネットの通信形態は IP アドレスを用いて通信相手を指定し、「だれ」もしくは「どこ」と通信するかを意識したホスト指向なネットワークであった。しかし、近年の情報通信技術のさらなる発展に伴い、スマートフォンやタブレット型端末の普及率が急増し [1]、多くの人がインターネットを通じて簡単に情報を得ることができるようになった。そのため、ネットワーク上のトラフィック量は爆発的に増加し、さらに、ユーザがコンテンツをリクエストしてからこれを得るまでの時間 (RTT: Round-Trip Time) も増加する傾向にある。このように、従来の通信形態ではコンテンツを取得するために、複数のユーザからのアクセスが単一のサーバに集中するため、輻輳が発生する

ことで、ネットワークに大きな負荷がかかり様々な問題が発生してしまう。

ところで、ユーザはどこからコンテンツを得るかについての興味はなく、要求したコンテンツを迅速に得ることについてののみが今日では重要となっている。そこで、現在、ネットワークの通信形態は「何」を取得するかを意識したコンテンツ指向なネットワークへと変化することが予想されており、その代表的なプロジェクトとして CCN (Content-Centric Network) が注目を集めている [2] [3]。

CCN では、コンテンツ名を識別子として通信が行われる。また、CCN におけるネットワーク上の中継ルータであるコンテンツルータ (CR) では、ユーザから要求されたコンテンツを受信すると、それを自身のバッファにキャッシュし、下流 CR もしくはユーザへと転送する。ネットワーク中の複数の CR がコンテンツをキャッシュすることで、将来他のユーザから同じコンテンツに対するリクエストがあった際に、サーバよりもネットワーク的に近い CR のキャッシュから所望のコンテンツを得ることが可能で

¹ 県立広島大学 経営情報学科
Department of Management Information Systems, Prefectural University of Hiroshima

a) q404040wm@ed.pu-hiroshima.ac.jp

b) sigeyasu@pu-hiroshima.ac.jp

あるため、コンテンツ取得時間を短縮することができる。このように CCN では、将来のリクエストに対してキャッシュを再利用することで、ネットワーク全体のトラフィック量の減少や RTT の短縮が可能であるなど、ネットワーク負荷の大幅な軽減が期待できる [4][5]。

さて、ネットワーク上でやり取りされるコンテンツには、要求頻度が高い人気コンテンツと、要求頻度の低い不人気コンテンツが存在する。CR のキャッシュの多くが高人気なコンテンツで占められていれば、キャッシュヒット率は向上し、ネットワーク負荷の軽減効果は高くなる。しかし、当然のことながら、CR のキャッシュ容量は有限であるため、不人気なコンテンツのキャッシュがバッファの多くを占めるとヒット率は低下し、CCN の導入によるトラフィック量や RTT の大幅な削減は期待できない。よってコンテンツのキャッシュは、人気度を把握した上で適切に配置することが重要となる。

そこで本稿では、コンテンツの要求履歴を元に、コンテンツの人気度の傾向を推定することで、将来要求されると考えられるコンテンツを先に配信し CR に適切にキャッシュさせる手法を提案する。また、同提案方法を用いることで、ネットワークに大きな負荷を与えることなく、キャッシュヒット率が向上することを明らかにする。

2. コンテンツ指向型ネットワーク

CCN では、図 1 のように 2 種類のパケットを用いて通信を実現する。Interest パケットは、ユーザがコンテンツを要求するために用いられるパケットで、Data パケットはユーザから要求されたコンテンツを格納し、ユーザへ送り返すパケットである。

さらに、CCN における中継ルータである CR は、FIB (Forwarding Information Base), PIT (Pending Interest Table), CS (Content Store) の 3 つのデータ構造によって構成される [6]。FIB は Interest パケットの転送先を決定する際に用いられるルーティングテーブルで、コンテンツ名である prefix と、それに対応する Interest パケットの転送先インタフェース (face) の番号が格納されている。Interest パケットは FIB を参照することでプロバイダまでコンテンツ要求を届けることが可能となる。PIT は Interest パケットがどこから到着したかを記録するテーブルで、到着した Interest パケットの prefix と、パケットの転送元 face 番号が格納されている。Data パケットの返送時は PIT を参照することでコンテンツをユーザまで配送する。CS は CR を通過した Data パケットをキャッシュするメモリで、Data パケットの prefix と、それに対応するコンテンツデータが格納されている。

2.1 CCN の動作概要

以下では、CCN におけるコンテンツの要求と取得の基

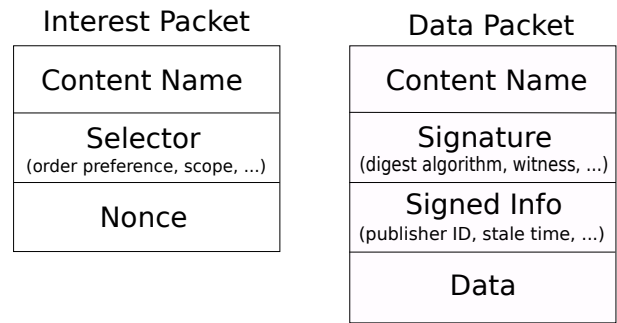


図 1 CCN における Interest パケットと Data パケットのフレームフォーマット

本的な動作について述べる。

CR は Interest パケットを受信すると、自身の CS, PIT, FIB を順にそれぞれ参照する (図 2 参照)。ここで、CS に要求したコンテンツと同じコンテンツデータがキャッシュされている場合、Interest パケットはプロバイダまで転送されずに、CR からデータが返送される。そうでない場合、CR は PIT を参照し、すでに PIT に同じコンテンツ名のエントリがあった場合は face 番号のみ追加し、Interest パケットは次ホップへ転送せず、破棄する。しかし、Interest パケットの prefix が PIT のエントリにない場合、CR は新たに prefix と face 番号を格納する。そして、CR は FIB を参照し、Interest パケットのコンテンツ名と最長一致する prefix を探して転送方向を決定し、face 番号に従って次の CR へ転送される。Interest パケットはこれを繰り返すことでプロバイダまで到達する。

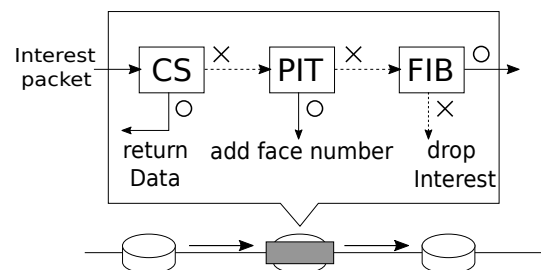


図 2 CCN における Interest パケットの動作例

Interest パケットを受信したプロバイダは、対応するコンテンツを返信するためにユーザに向けて Data パケットを送信する。Data パケットを受信した CR は PIT を参照し、Interest パケットが転送されてきた経路を逆に辿ることで Data パケットを次の CR へと転送し、ユーザまでコンテンツデータを送信する (図 3 参照)。PIT に該当するコンテンツ名の face 番号が複数あった場合は、Data パケットを複製し、送信する。このとき、Data パケットは CS にコンテンツデータを格納し、参照した PIT のエントリは削除する。

もし、他のユーザが同じ prefix を持つ Interest パケットを送信したとしても、途中の CR の CS 内にキャッシュが

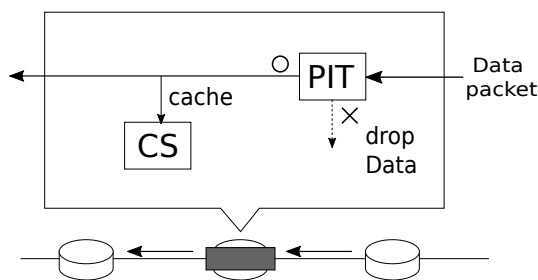


図 3 CCN における Data パケットの動作例

あれば、そこからコンテンツデータを返すことができる。このように、キャッシュがあればプロバイダまで Interest パケットを送信しなくてもコンテンツデータを得ることができる。そのため、ネットワーク内のパケット数を減らすことができ、さらに、コンテンツの取得時間も短縮することが可能なため、ネットワークの負荷を軽減することができる。

3. 提案方式

コンテンツ指向型ネットワークでは、ユーザからのコンテンツ要求とプロバイダから送信されるコンテンツが遭遇するランデブーポイントをネットワークが提供するという、ランデブー型通信が行われており、それを実現したモデルとして Pub/Sub システムがある [7] [8]。Pub/Sub システムでは、Publisher と呼ばれるコンテンツを生成・提供する側と、Subscriber と呼ばれるコンテンツを受信する側があり、両者は非同期的であることが特徴である。つまり、Publisher はネットワーク中にコンテンツを広告するが、誰が Subscriber で、どれぐらいのコンテンツを利用しているか知らないシステムであるといえる。しかし、Pub/Sub システムはコンテンツの人気度によらずコンテンツを提供するため、効率的なコンテンツ提供あるいはネットワークバッファ利用とはいえない。そのため、効率のよいコンテンツ配置にするには、人気度に基づいたコンテンツのうち、どのコンテンツの人気が高いかを把握することが必要となる。また、高人気なコンテンツのキャッシュをネットワーク中に適切に配置する必要がある。

そこで本稿では、Pub/Sub システムを参考に、キャッシュヒット率のさらなる向上と、ネットワークにおけるコンテンツの人気度に基づいた、効率のよいコンテンツ配置を実現するために、ユーザに直接隣接するエッジルータ (ER) が配下のユーザからのコンテンツ要求履歴を記録し、それらの履歴を自身の CS 中のキャッシュ状況と併せてプロバイダへ report パケットとして送信する手法を提案する。

提案方式では、オリジナルコンテンツを保有するプロバイダは全ての ER からの report パケットの情報を統合し、その情報を元にネットワーク全体のコンテンツの暫定人気度を算出する。次に、各 ER ごとの CS の状況とこの暫定

人気度の上位コンテンツリストを比較し、人気度が高いにも関わらず ER 内の CS にキャッシュされていないコンテンツがあれば、そのコンテンツを当該 ER に対して先行配信し、CS にキャッシュする。

3.1 先行配信制御

提案方式におけるコンテンツの送受信は、CCN 同様、Interest パケットと Data パケットの 2 種類のパケットを用いて実施する。以下では、提案方式における通常の CCN と異なる Interest パケットの受信履歴の記録や、report パケットの送信、コンテンツの人気度の算出と先行配信制御について述べる。

3.1.1 Interest パケット受信履歴の記録

既に述べたように、提案方式では ER が配下のユーザからの Interest パケットを受信した際に、要求されたコンテンツ名 (prefix) の頻度を履歴として記録する (図 4 (1) 参照)。ここで、受信した Interest パケットに記載されるコンテンツ名が履歴に登録されていない場合はコンテンツ名と受信回数 1 を記録し、すでに同じコンテンツ名のエントリが存在する場合は、受信回数を 1 つ増加する。

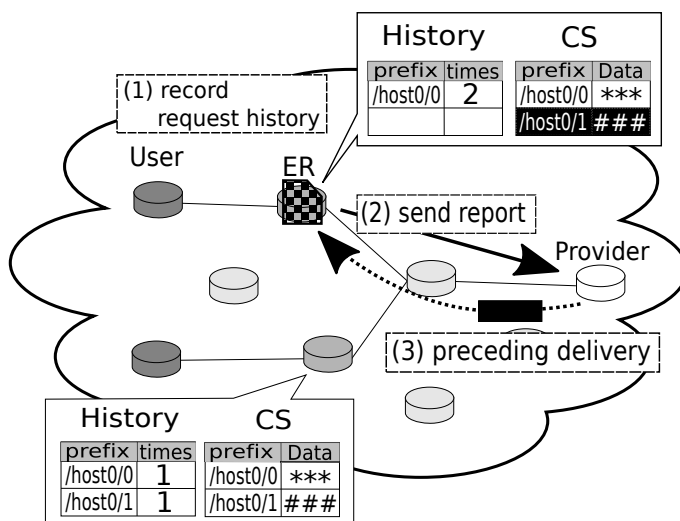


図 4 提案方式における一連の動作例

ここで、提案方式における ER の判別方法を図 5 に示す。同図に示すように、提案方式では Interest パケットに Hop Counter を示すフィールドを追加した (図 6 参照)。同フィールドは、その Interest パケットが CR 間を転送されるたびに値が 1 増加する。ここで、任意の CR が Interest パケットを受信した際にそのパケットに記載されている Hop Counter の値が 1 であった場合、自身の edge flag を True とし、そうでない場合は False とする。edge flag が True の場合、CR は自身が ER であると判断する。

3.1.2 report パケットの送信とコンテンツの人気度の算出

コンテンツ送受信の実施が開始された後、一定時間経

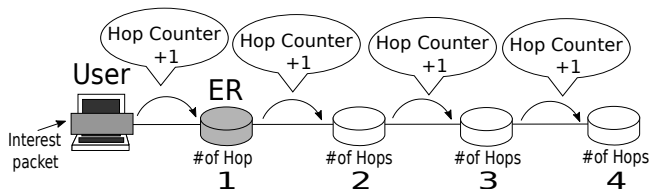


図 5 提案方式における ER の判別方法

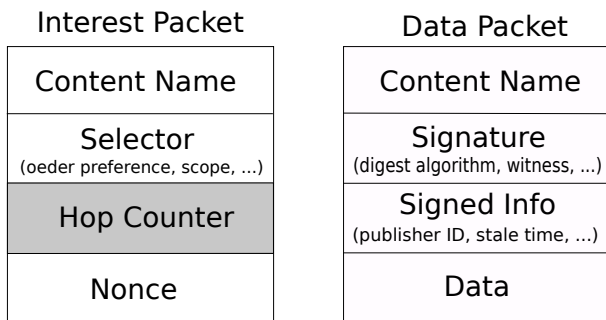


図 6 提案方式における Interest パケットと Data パケットのフレームフォーマット

過すると、ネットワーク全体のコンテンツの人気度を報告するために、ER はプロバイダへ report パケットを送信する (図 4 (2) 参照)。ここで、report パケットは、これを送信した ER における Interest パケットの受信履歴と、CS 内のコンテンツのキャッシュ情報を併せ持つパケットである。report パケットは、ネットワークオペレータにより設定された一定の時間ごとに送信されることとし、毎回、ER の状況に基づいて最新の情報を送信するものとする。ここで、report パケット中の Interest 受信履歴はどのコンテンツの人気度が高いのかを推定するために、また、CS のキャッシュ状況は先行配信コンテンツをどれにするかを決定するための情報としてプロバイダへ送信する。また、report パケットはコンテンツを要求する Interest パケットと同じフレームフォーマットを用いることとした。そのため、本来の Interest パケットと、本提案方式における report パケットをそれぞれ区別するために、Interest パケットは $/host0/Contents_i$ とし、report パケットは $/host0/report/ER_j$ とした。

通常、Interest パケットを受信したプロバイダはそれに対するコンテンツを返すために Data パケットを送信するが、report パケットはどのコンテンツが人気であることを報告するためのパケットであるため、Data パケットは送信しないこととした。

さて、プロバイダは各 ER から report パケットを受信すると、それらの情報を統合し、人気度順リストを作成する (図 7 参照)。このようにすることでネットワーク全体のコンテンツの人気度を把握する。

3.1.3 高人気コンテンツの先行配信

プロバイダは集約した report パケットを元に算出したコンテンツの人気度と、report パケットの送信元 ER ごと

の CS のキャッシュ状況を比較する。このとき、算出したコンテンツの人気順位のうち、上位 K 番目の人気コンテンツの中で各 ER が CS 中に保持していないコンテンツがあれば、その ER に対してそのコンテンツを先行配信する (図 4 (3) 参照)。ここで、パラメータ K は CR のバッファ量をふまえ、ネットワークオペレータが別途決める値とする。高人気コンテンツと CS のキャッシュ状況の比較が終了すると、先行配信パケットは各 ER に送信されるとともに、コンテンツが CS にキャッシュされる。

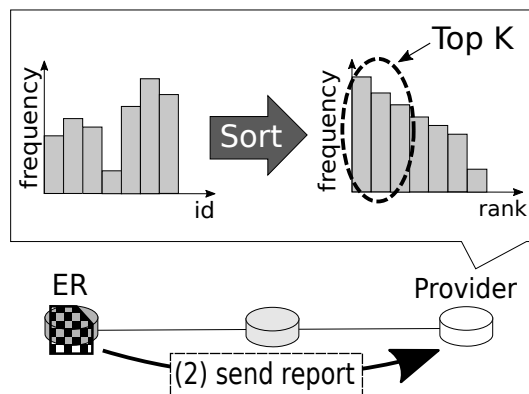


図 7 提案方式におけるプロバイダの report パケット受信後の動作イメージ

4. 性能評価

提案方式の性能評価を行う。性能評価に用いたネットワークトポロジは図 8 に、シミュレーション諸元は表 1 にそれぞれ示す。同図に示すように、ノード 0 をプロバイダ、ノード 4, 5, 6 をユーザとし、report パケットの送信や先行配信パケットの受信を行う ER はノード 2, 3 とした。

ここで、提案方式におけるユーザは、複数のユーザから構成されるユーザ群と定義する。シミュレーション時間は 1,000 秒とし、report パケットはシミュレーション開始 5 秒後から 5 秒毎に送信されるよう設定した。また、先行配信するコンテンツの数 K は、0 から CS の上限のサイズである 20 まで 5 ずつ変化させた。なお、シミュレーションの試行回数は 100 回とした。

表 1 シミュレーション諸元

Parameter	Value
総シミュレーション時間	1,000 sec
総コンテンツ数	1,000
Interest パケット生成間隔	10 pkt/sec
report 送信時間 t	5 sec
CS サイズ	20 contents
ルータ数	7
先行配信するコンテンツ数 K	0, 5, 10, 15, 20
キャッシュ管理手法	FIFO

ここで、シミュレーション時の Interest パケットの発生

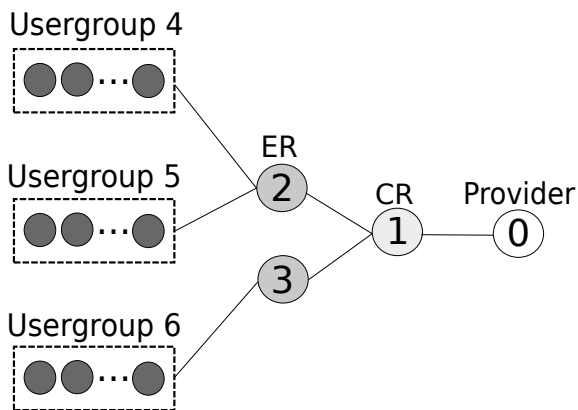


図 8 提案方式におけるネットワークトポロジ

は、式 (1) に示す Zipf の法則によるものとした [9] . 同式中の N は総コンテンツ数, 人気度分布の偏りを示す α は 0.7 とした.

$$f(i; \alpha, N) = \frac{\frac{1}{i^\alpha}}{\sum_{n=1}^N \frac{1}{n^\alpha}} \quad (1)$$

4.1 キャッシュヒット率に対する評価

図 9 にコンテンツ先行配信数を変化させた場合のキャッシュヒット率を示す. 同図より, コンテンツが先行配信されない $K = 0$ と, 先行配信される $K = 5 \sim 20$ の値を比較すると, キャッシュヒット率がわずかであるが向上することが確認できる. ここで, ノード 6 のキャッシュヒット率とノード 4, 5 のキャッシュヒット率には大きな差が生じている. これは, ER 配下のユーザ数が関係していると考えられる. ノード 6 のように ER 配下のユーザ数が 1 つではなく, ノード 4, 5 のように 2 つあるいは複数であれば, 通常の Interest パケット発生数もユーザ数が 1 つの場合と比較して 2 倍以上になる. そのため, ネットワーク内で人気度の高いコンテンツを先行配信しても通常の Interest パケットに対して返送されるコンテンツ数が多くなり, 結果として先行配信パケットが ER の CS からキューアウトさせられる確率が高くなり, 同図のようなキャッシュヒット率の伸び悩みが発生したと考えられる.

4.2 バッファを分けて管理した場合の評価

前節における評価では提案方式を適用することで, 人気度に応じたコンテンツの先行配信を行ったにも関わらず, 大幅なキャッシュヒット率の向上を確認することができなかった. この原因としては, 通常配信時のコンテンツのキャッシュが行われている中で, コンテンツを先行配信で各 ER にキャッシュさせても, それらの先行配信キャッシュが通常の Interest / Contents パケット配信時のキャッシュ追加処理によって同一バッファで管理されている CS からオーバーフローによって, キューアウトされたことが一因として考えられる.

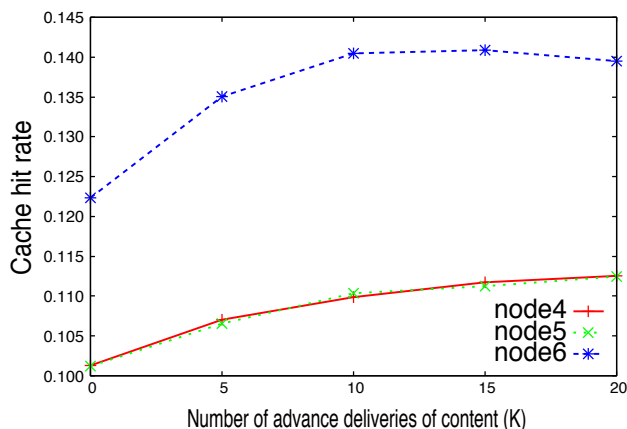


図 9 K に対するキャッシュヒット率の変化

そこで, 以下では ER において先行配信パケットと Data パケットを別々のバッファとして管理することで, 先行配信パケットの不必要なキューアウトを回避する手法を新たに導入する.

4.2.1 キャッシュヒット率に対する評価

図 10 に通常の Data パケットと先行配信パケットを独立したバッファでキャッシュ管理した場合のコンテンツ先行配信数の変化に対するキャッシュヒット率を示す. なお, シミュレーション諸元は表 1 と同様とし, ER における CS のサイズは, $20 - K$ のように, Data パケット用の CS のサイズと先行配信パケット用の CS のサイズを合算して 20 となるよう設定した.

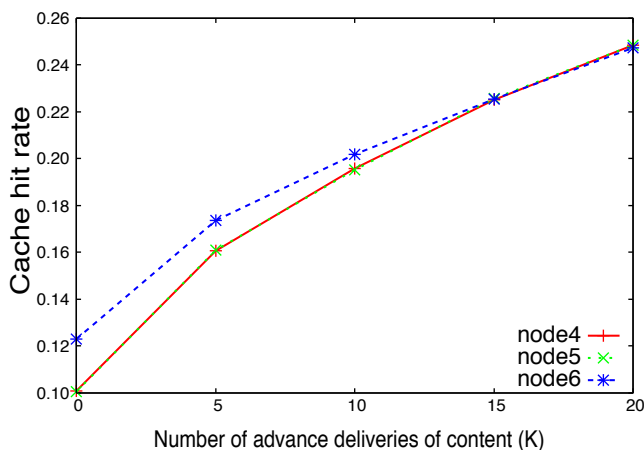


図 10 提案方式におけるキャッシュヒット率の変化

同図より, コンテンツの先行配信を行わない $K = 0$ の値と先行配信を行う $K = 5 \sim 20$ の値を比較するとキャッシュヒット率が大きく向上していることがわかる. さらに, パケットを分けずにキャッシュする場合 (図 9 参照) よりも高いキャッシュヒット率がえられることが確認できる.

4.2.2 性能向上率に対する評価

図 11 に提案方式のキャッシュヒット率をコンテンツの先行配信を行わない $K = 0$ のときのキャッシュヒッ

ト率で正規化したものを示す。同図からノード 4, 5 は 60% ~ 140%, ノード 6 は 40% ~ 100% 向上していることがわかることから、提案方式の有効性が確認できる。

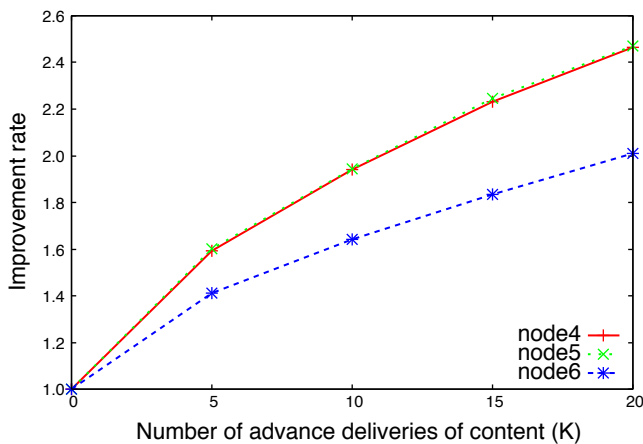


図 11 提案方式における性能向上率

4.2.3 コンテンツの先行配信によるネットワーク負荷に対する評価

本稿における提案方式では、ユーザが要求したコンテンツの履歴を元に、近い将来要求されると考えられるコンテンツを予測して ER に先行配信するが、この手法の導入によりネットワーク内のパケット数は変化する。そこで、コンテンツを先行配信することがネットワークにどの程度の負荷を与えているのかについてシミュレーションによって評価した。なお、シミュレーション諸元は表 1 と同じ値を用いた。

図 12 に ネットワーク内の通常の Interest / Data パケットの数と report / 先行配信パケットの数を、図 13 にそれらを合わせたネットワーク内の総パケット数を示す。いずれも提案方式によって CS を先行配信分とその他のキャッシュで分けて管理した場合の評価である。また両図において破線は、先行配信を行わない既存手法の結果を示している。図 12 より、コンテンツの先行配信を行うことでネットワーク内の Interest / Data パケット数が減少していることがわかる。これは、先行配信パケットのキャッシュが適切に配置され、有効に使われたためパケットを削減できたためだと考えられる。

ところが、図 13 から、提案方式では総パケット数は減少しているが、先行配信パケット数を CS のサイズの最大まで行った $K = 20$ の値と、先行配信を行わない $K = 0$ の値並びに破線の値を比較すると大きな差が見られないことがわかる。これは、report パケットの大きさや送信回数は K がどの値であっても変わらないが、先行配信パケットは K の値が大きくなればなるほど増加するためこのような結果になったと考えられる。しかし、コンテンツの先行配信を行わない場合よりもパケット数は増加していないため、

提案方式はネットワークに負の影響を及ぼしていないといえる。

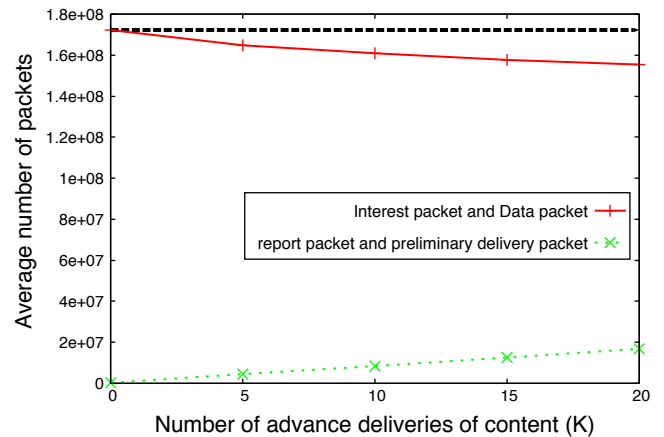


図 12 提案方式におけるネットワーク内のパケット数の変化

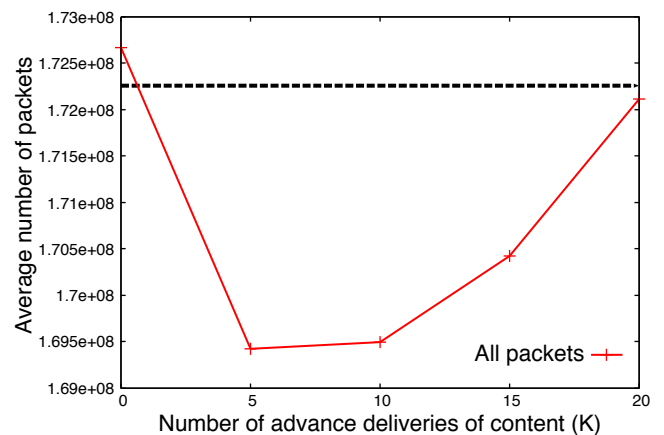


図 13 提案方式におけるネットワーク内の総パケット数の変化

図 14 に提案方式である CS を分けた場合、ユーザがコンテンツを取得するまでのホップ数を示す。同図より、コンテンツの先行配信を行うことでホップ数が減少したことが分かる。これは、コンテンツを人気度に応じて先に配信し、それが配下ユーザに最も近いルータである ER に適切にキャッシュされ、有効に活用できたためホップ数を減らすことができたと考えられる。

以上より、ネットワークに大きな負荷を与えず、キャッシュヒット率を向上させることができたため、提案方式は有効であると言える。

5. おわりに

本稿では、CCN においてキャッシュヒット率を向上するために、ユーザからのコンテンツリクエストに基づいて、それ以降に要求されると考えられるコンテンツを先行して配信する手法を提案した。性能評価の結果、先行配信しない場合と比較すると、先行配信手法の導入によってキャッ

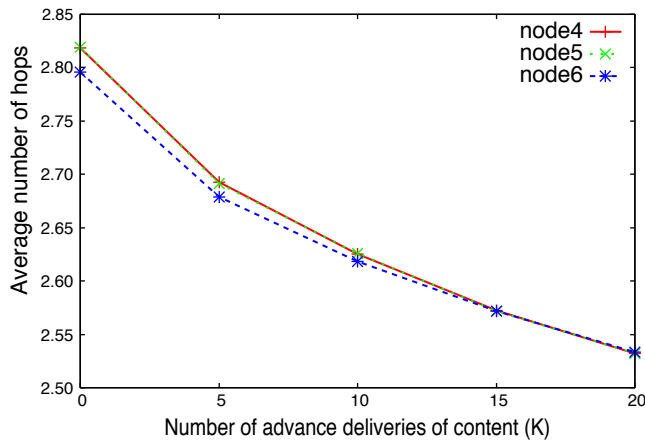


図 14 提案方式におけるユーザがコンテンツを取得するまでのホップ数の変化

シュヒット率は向上するが、その上昇幅はあまり大きくないことが明らかとなった。そこで、ER では Data パケットと先行配信パケットを分けてキャッシュするようにすることで、大きくキャッシュヒット率を向上できることを明らかとした。また、コンテンツの先行配信によるネットワークへの影響は軽微であることも、併せて明らかとした。

今後は、ユーザごとにコンテンツの人気度を変化させた場合、キャッシュヒット率にどのような変化があるか調査していく予定である。

参考文献

- [1] 総務省:情報通信の状況・政策の動向, 総務省(オンライン), 入手先 <<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h29/pdf/29point.pdf>> (参照 2017-12-1)
- [2] 山本幹, “[特別招待講演] コンテンツオリエンテッドネットワークの研究動向,” 電子情報通信学会 信学技報, vol. 114, no.17, pp. 39-44, 2014.
- [3] 中里秀則, “コンテンツ指向ネットワーク,” 映像情報メディア学会誌, Vol. 69, No. 3, pp. 253-255, 2015.
- [4] 河野孝博, 嶋村昌義, 古閑宏幸, “コンテンツ指向型ネットワークにおける要求履歴を用いたキャッシュ効率向上手法の提案,” 電子情報通信学会 信学技報, vol. 113, no.224, pp. 117-122, 2013.
- [5] 上田憲昭, 村田正幸, “CCN におけるコンテンツの分散配置を実現するキャッシュ制御法,” 電子情報通信学会 信学技報, vol. 113, no.472, pp. 197-202, 2014.
- [6] George Xylomenos, Christopher N. Ververidis, Vasilios A. Siris, Nikos Fotiou, Christos Tsilopoulos, Xenofon Vasylakos, Konstantinos V. Katsaros, and George C. Polyzos, “A Survey of Information-Centric Networking Research,” COMMUNICATIONS SURVEYS AND TUTORIALS, VOL. 16, NO. 2, pp. 1024-1049, 2014.
- [7] 山本幹, “コンテンツオリエンテッドネットワーク-モバイルの観点から-,” 研究報告モバイルコンピューティングとユビキタス通信 (MBL), 2011-MBL-60(7), pp. 1-8, 2011.
- [8] Gero Mühl, “Large-Scale Content-Based Publish-Subscribe Systems,” PhD thesis, TU Darmstadt, November 2002.
- [9] 桐谷昌樹, 柳生智彦, “人気度変化に適応する人気度推定キャッシュ制御方式,” 電子情報通信学会 信学技報, vol. 116, no.491, pp. 155-160, 2017.