

ネットワーク誘導を利用した新世代コンテンツ配信

山本 幹 戸出英樹 太田 能 柳生智彦

新世代ネットワークにおける主たるアプリケーションとなるコンテンツ配信に対し、コンテンツはどこから得られても問題ないという Space Decoupling の概念を実現することを目的に、ネットワーク誘導技術によりキャッシュコンテンツを効率的に取得する技術に対し研究開発を行った。本稿では、コンテンツ発見とコンテンツ転送の双方の観点から、本研究で得られた研究開発成果について説明する。

1 まえがき

インターネットは、当初はポイントツーポイント型の通信をサポートするものとして開発されたという歴史をもつ。ところが、現在ではコンテンツ配信サービスを実現する基盤プラットフォームとしての役割が大きくなっている。そのコンテンツ配信サービスは、CDN や P2P など、どこからコンテンツを得るかという点をユーザに隠蔽する形で、その姿を変え発展してきた。しかし、コンテンツ流通を支えるネットワークは、IP アドレスでコンテンツ取得先を指定するというロケーションオリエンテッドな基本設計を保ち続けている。ユーザは本来コンテンツそのものを要求しており、そのコンテンツがどこに存在しているのかというロケーション情報には興味がない。このようなコンテンツオリエンテッドな観点に基づき、コンテンツサーバとユーザとの間のロケーションに基づく強いつながりを緩和する Space Decoupling の概念を、ネットワークの効率的運用を考慮しながら実現することを目的とし、我々はネットワーク誘導を用いたキャッシュネットワークの研究を展開した。

本研究は、コンテンツ要求に対しネットワーク内のルータが自身の管理する情報に基づき自律的にコンテンツ存在方向へ誘導するネットワーク誘導技術である Breadcrumbs¹⁾ をベース技術としている(図1)。

Breadcrumbs では、コンテンツがダウンロードされる際に、各ルータにおいてコンテンツのダウンロード方向を示すポイントである Breadcrumb (以後、このポイント情報を BC と表記)を残す。その後、ネットワーク内に送出されたコンテンツ要求が、通常の IP フォワーディングによりコンテンツサーバへと転送される途中で、該当する BC をもつルータに遭遇すると、以後 BC に沿ってホップバイホップでコンテンツ要求が転送される。BC を用いたネットワーク誘導により、ユーザからコンテンツサーバまでの経路以外のルータキャッシュに保存されているコンテンツにヒットする可能性があることから、Breadcrumbs はキャッシュネットワークにおけるコンテンツ発見を柔軟に行う優れた方式である。

本稿では、コンテンツ配信におけるコンテンツ発見とコンテンツ転送の2つのフェーズに対し、ネットワーク誘導技術を用いた新しいコンテンツ配信技術の研究開発について紹介する。**2**では、ネットワーク誘導において前提となるコンテンツ ID とロケーション ID のマッピングを対象に、負荷分散機能を導入した効率的ロケーション ID 選択技術について述べる。**3**では、ネットワーク誘導を複数もたせてこれを自律分散的に制御することで、ネットワーク誘導による効率的コンテンツ発見を実現する手法を紹介する。**4**では、コンテンツを含むネットワークリソースの動的発見にネットワーク誘導技術を用い、ネットワークリソースの発見・取得・利用のためのプラットフォームを紹介する。**2**から**4**の研究内容をプロトタイプ上にて実装し、有効性、実現性に関し JGN-X 上で検証した内容について、**5**で紹介する。

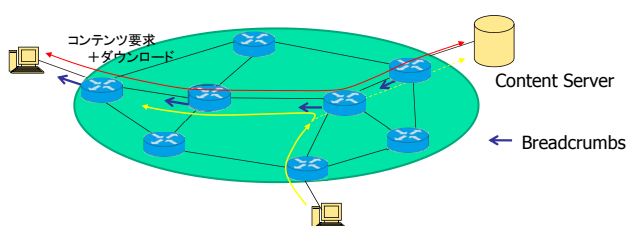


図1 ネットワーク誘導技術 Breadcrumbs の概要

2 負荷分散コンテンツ・ロケーションマッピング制御技術

本節では、神戸大学で実施した、コンテンツ ID からサーバロケーションならびにキャッシュロケーションをマッピングして網内誘導を行う MSCR (Mapping Server with Cache-location Resolution) に関する研究について紹介する。

MSCR はコンテンツ ID からのコンテンツサーバのロケーションを解決する機能を提供する。この解決要求を行ったユーザ端末は、コンテンツを取得し、その結果として、そのユーザ端末にいたる経路上にそのコンテンツがキャッシュされていることが予想される。MSCR は、そのユーザ端末のロケーションを予想キャッシュロケーション (PCL: Prospective Cache Location) として保存しておき、サーバロケーションに加えてこの PCL も併せて、以降のコンテンツ要求に回答することで、コンテンツ要求を積極的にコンテンツキャッシュに誘導する。これにより、キャッシュされたコンテンツが発見される可能性が高まり、バックボートトラフィックやコンテンツサーバの負荷が削減されると期待できる。

2.1 コンテンツ取得フロー

図2に MSCR によるコンテンツ取得フローを示す。コンテンツ取得にあたりユーザ端末は MSCR サーバにコンテンツロケーション解決を要求する (①)。MSCR サーバは、コンテンツ ID/ロケーション解決要求を受けると、コンテンツサーバのロケーションに加え、過去の解決要求履歴から (複数の) PCL をコンテンツ要求端末に回答する (②)。これを受け取ったコンテンツ要求端末は、コンテンツ要求を送信する (③)。このコンテンツ要求は、PCL 方向及びサーバロケーション方向に転送される (③)。その途中のキャッシュにおいて所望のコンテンツが発見された場合は、そこからコンテンツ要求端末に向かってコンテンツが転送される (④)。どの PCL の方面においても

コンテンツが発見されなかった場合は、コンテンツ要求はコンテンツサーバに転送される。

2.2 検討概要

本研究では MSCR についての検討を行った。文献[2]では、MSCR 方式の提案及びいくつかの PCL をどれだけの期間保存するのか、どの PCL をいくつコンテンツ要求端末に回答するのか、といった観点からのシミュレーションによる性能評価を行った。文献[3]では、MSCR はコンテンツ ID/ロケーション解決履歴からコンテンツの人気度が推定できることに着目し、人気が高いコンテンツのキャッシュが過剰に生成されること、及び人気のないコンテンツが不必要にキャッシュされることを抑制する機能を付与した MSCR/CS (MSCR with Cache Suppression) の提案と性能評価を行った。文献[4]では、人気が低いコンテンツほどその PCL は無効となっている可能性が高いことに着目し、コンテンツ人気度に応じて PCL 保存数を可変とすることで無効なキャッシュロケーションを保持することを減らし、コンテンツ要求が所望コンテンツを発見するまでのホップ数を削減することをねらった VPCL (Variable PCL) の提案と、シミュレーションによる性能評価を行った。

2.3 可変 PCL 保存方式

PCL 数を一定数保存する CPCL (Constant PCL) 方式とコンテンツ人気度推定結果に基づいて可変とする VPCL 方式をシミュレーション実験により比較した結果を示す。

シミュレーションにおいては、Tier-1、Tier-2、Tier-3 からなる総ルータ数 1,020 の 3 階層トポロジを用い、Tier-1 ネットワークをコアネットワークとみなすこととする。キャッシュはアクセスルータのみあり、その容量は 5 コンテンツとした。CPCL 方式では各コンテンツに対して一律に 6 つの PCL を保存し、VPCL 方式では推定コンテンツ要求率が最も高いコンテンツに対して 6 つの PCL を保存し、その他のコンテンツは推定コンテンツ要求率に比例して保存 PCL 数を減らすものとした。両方式ともコンテンツ要求端末からのホップ数が近いと推定される PCL を 4 つ回答するものとした。

表1にシミュレーション結果を示す。ここで、IP は従来の IP に基づいてコンテンツサーバのみからコンテンツ取得する方式を表す。LC (Local Cache) はユーザ端末が接続されているアクセスルータのローカルキャッシュまたはコンテンツサーバからコンテンツを取得する方式を表す。評価指標はサーバ取得率、相対コアトラフィック率、平均クエリホップ数である。サー

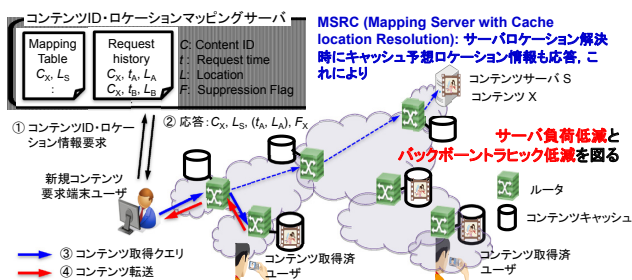


図2 MSCRによるコンテンツ取得フロー

表1 MSCR方式性能評価

方式	サーバ取得率 (%)	相対コアトラヒック率 (%)	平均クエリホップ数
IP	100	100	11.2
LC	99.8	99.9	11.2
MSCR-CPCL	46.2	92.2	26.9
MSCR-VPCL	41.8	91.6	17.7

サーバ取得率とは、サーバからコンテンツが取得された割合を百分率で表したもので、この値が小さいほどサーバ負荷が低減されたといえる。相対コアトラヒック率とは、IP方式においてコアネットワークに流れるトラヒック量に対する相対的なトラヒック量を百分率で表したもので、この値が小さいほどコアトラヒック量を削減できたといえる。平均クエリホップ数はコンテンツ取得までにコンテンツ要求が転送されたホップ数の平均値であり、この値が小さいほどコンテンツを早く発見できたといえる(以降、コンテンツ要求メッセージ自体を指す用語として適宜“クエリ”を使用する)。シミュレーション結果から、MSCRは、IP方式、LC方式に比べてサーバ負荷、相対コアトラヒック率とも削減できていることが分かる。一方、MSCR方式は、コンテンツ要求をキャッシュに誘導するがゆえに平均クエリホップ数は大きくなる。低人気コンテンツはそのキャッシュが他のコンテンツによって置き換えられ、無効となっている可能性が高く、PCLを一定数保存するCPCL方式は、VPCL方式に比べ、こうして無効となっているPCLが応答されるものに含まれ、クエリホップ数が多くなったり、キャッシュから発見できなかつたりする可能性が高くなる。このため、VPCL方式は、平均クエリホップ数を抑えつつ、サーバ取得率も低減できていると考えられる。

3 分散コンテンツ配信制御技術

本節では、関西大学において実施したMultiple Breadcrumbs^[5]の研究開発について紹介する。オリジナルのBreadcrumbsでは、コンテンツが転送された最新の方向をBCとして保存するに対し、Multiple Breadcrumbsではある程度古いBCも利用することで、コンテンツ発見の可能性を高めることをねらっている。関西大学ではネットワーク誘導技術に関連した研究として、本稿で紹介する方式以外に、Breadcrumbsの実用性評価^{[6][7]}、及び時間軸方向のコンテンツ配信スケジューリング技術としてのStorage Aware Routing^[8]を提案している。

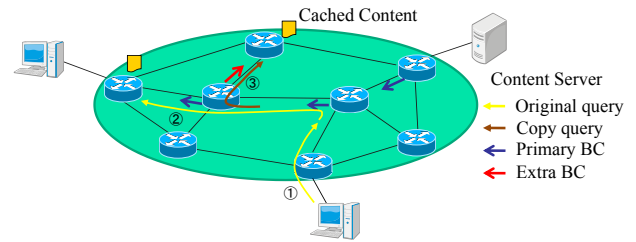


図3 Multiple Breadcrumbsの基本動作

3.1 Multiple Breadcrumbs

Breadcrumbs方式においては、各ルータが保持するコンテンツの誘導情報として常に最新の誘導情報(BC)のみを記録し、それ以前のはすべて破棄している。最新のコンテンツダウンロード方向のみを用いるのは、その方向にコンテンツがキャッシュされている可能性が高いことが1つの理由である。しかし、この破棄される誘導情報の中には、利用可能なキャッシュ、しかも最新の誘導情報よりも短いホップ数でキャッシュに到達可能な誘導情報が含まれている可能性がある。そこで最新の誘導情報のみならず、過去の誘導情報も複合して使用する方式として、Multiple Breadcrumbs方式を検討した。

Multiple Breadcrumbs方式を具体的に検討するにあたり、オリジナルのBreadcrumbs方式の動作は踏襲することを前提に、従来のBreadcrumbsで用いていた誘導情報、すなわち最新の誘導情報をPrimary BCと呼び、これより古い誘導情報をExtra BCと呼び区別する。最新誘導情報の方向においてはコンテンツを取得できる可能性が高いと考えられることから必ず誘導を行う。古い情報であるExtra BCの方向には、必ず誘導を行うのではなく確率に応じてクエリを複製し送信する。

図3にMultiple Breadcrumbsの基本動作を示す。図中の①はユーザAのコンテンツ要求がBreadcrumbsを持つルータに遭遇するまでの流れを、②はPrimary BCに誘導されたオリジナルクエリの流れを、③はExtra BCに誘導された複製クエリの流れをそれぞれ示す。ユーザAから送出されたコンテンツ要求は、BCを持つルータに到着すると、①に示すようにBCの方向へと誘導される。複数のBCを持つルータにおいては、Primary BCに対しては確率1で誘導を行うことで、通常のBreadcrumbsと同様の動作を行う(②)。また、Extra BCに対しては、それぞれに対して確率 p ($0 \leq p \leq 1$)でコンテンツ要求の誘導を行うことでキャッシュ探索を行う。

3.2 Multiple Breadcrumbs によるコンテンツ発見

Multiple Breadcrumbs により、キャッシュの存在する可能性のある複数方向へとコンテンツ要求を誘導し、コンテンツを複数発見できる可能性がある。複数発見されたコンテンツの中から、適切なダウンロード先を選ぶことで、コンテンツ転送における性能改善が期待される。発見した複数のコンテンツの中から、ダウンロード時に最も高いスループットが得られるものを選択する、Throughput Sensitive 選択手法を提案した。

図4に Throughput Sensitive 選択方式の具体例を示す。Multiple Breadcrumbs により発見された複数コンテンツそれぞれから、赤いラインで示す①及び②の経路で制御パケットが返送された場合を示している。各リンク上の数字は、アクティブフロー数を示す。経路①では経路上の最大アクティブフロー数が4であり、経路②では5である。各リンクの帯域が等しい場合には、経路①のスループットの方が高いためこの経路が選択される。

Brite により生成させたルータ数 1,000 の BA (Barabási-Albert) トポロジを用い、ユーザ数を 5,000、サーバ数を 50 とし、これらを 1,000 個からランダムに選択したルータに接続したモデルを対象に、Throughput Sensitive 選択手法の性能評価を行った。コンテンツ数は 10,000 とし、ユーザからのコンテンツ要求は Zipf 則に従うものとした。なお、Extra BC に対する誘導確率は $p=1$ とした。図5 a, b に、それ

ぞれ人気コンテンツ及び不人気コンテンツのスループット改善比特性を示す。スループット改善比とは、通常 of Breadcrumbs で得られるスループットに比べ、Multiple Breadcrumbs において Throughput Sensitive 選択手法を適用した際のスループットがどれほど改善されているかを比であらわしたものである。人気コンテンツについては、複数コンテンツを発見できることから、スループット比が改善されていることはある程度自明である。ところが、複数コンテンツをあまり発見できないはずの、不人気コンテンツのスループットも同程度改善されているという非常に興味深い結果を得た。詳細は文献[5]をご覧ください、人気コンテンツがスループットの高い経路を選択し重負荷リンクを避けることで、サーバからしかコンテンツを取得できない不人気コンテンツの取得経路上のリンク負荷が軽くなることにより、人気コンテンツのみならず不人気コンテンツのスループットも向上することが分かった。このように、Multiple Breadcrumbs により、ネットワーク内の効率的な資源運用が可能となる。

4 コンテンツを含むリソースの動的発見・利用技術

本節では、大阪府立大学において実施した研究内容を3つに大別して説明する。

4.1 高度化された In-network 誘導情報配布方式の研究開発

BC 情報の配布を適応的に規制する Breadcrumbs-Scoping フレームワークを確立した。明示的な BC-Trail の削除処理や経路ループの防止機構などを組み込んだ Breadcrumb+ (BC+) 方式^[9]や、キャッシュ周りに積極的に自コンテンツへの誘導情報を配布する Active Breadcrumbs (ABC) 方式^[10]をはじめとする筆者らの先行提案方式は、全てのコンテンツに対して、あらゆる中継ノードで一律に誘導情報を作成、利用していた。これに対し本研究では、更なる性能向上を目指し、任意の指標に基づく制約条件の下で誘導情報を作成する対象の範囲を限定する Breadcrumbs-Scoping フレームワーク (BC-Scoping framework) を新たに提案した^[11]。本研究では、具体的な指標として「ネットワークドメイン」、「コンテンツの人気度」の2種類を利用した場合に対応して、具体的な提案方式 BC-Scoping (D)、BC-Scoping (P) をそれぞれ設計し、定量的に評価した。2階層ネットワークモデルにおける性能評価の結果、前者に関して、同一ドメインからの取得率を既存の IP 方式に比べて約5倍増加させた

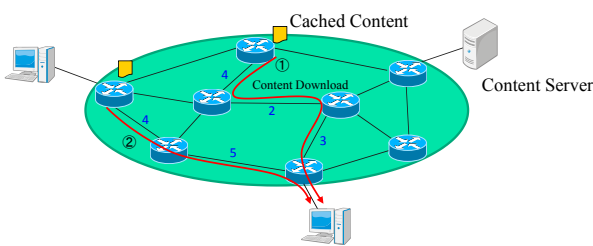


図4 Throughput Sensitive 選択手法の概要

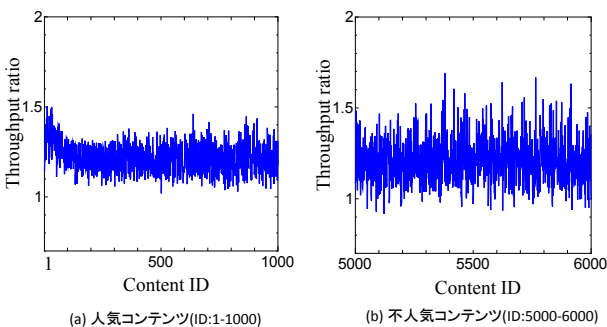


図5 Multiple Breadcrumbs のスループット改善比特性

(図6)。また、上位ドメインのパケット量に注目すると、IP方式と比較してBC-Scoping (D)を適用しないBC+、ABC方式ではそれぞれ28%、36%程度が削減されているが、BC-Scoping (D)を適用した場合はともに45%程度が削減された(図7)。以上のことから、BC-Scoping方式によって局所的なコンテンツ取得が促進され、ネットワーク中のトラフィックが削減できていることが分かる。さらに、下位ドメイン内でのコンテンツ取得を促進した結果、下位ドメインを運営しているISPの観点からは、トランジット接続を介して転送されるトラフィック量が減少するため、上位

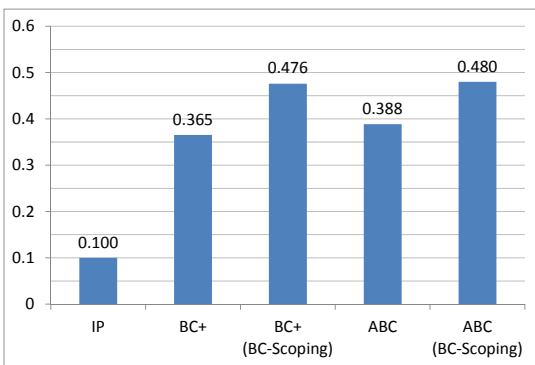


図6 同ドメインからのコンテンツ取得率の比較

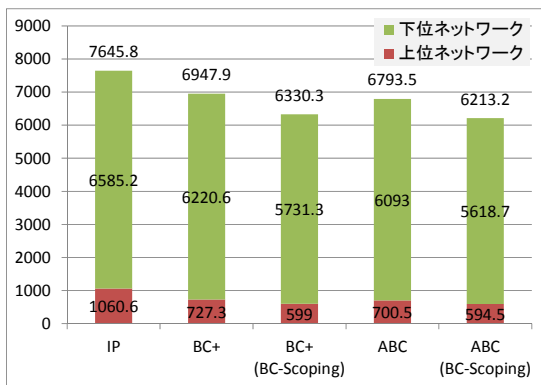


図7 ネットワーク中を流れるパケット総量の比較

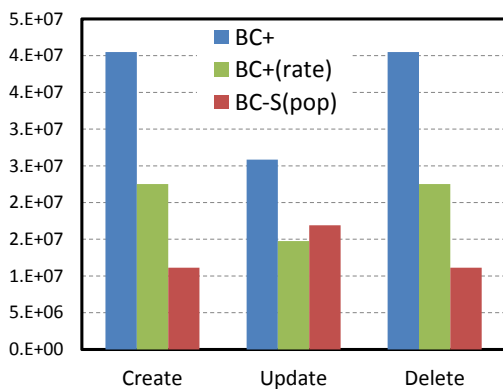


図8 BC操作回数

ドメインへ支払わなければならないトランジット料金の低減が期待できる。

一方、後者では各ルータにおけるBCテーブルの操作回数を従来のBC方式と比較して1/3に削減した(図8)。ただし、図8中のBC+(Rate)方式は、BC Trail及びキャッシュの作成をBC-Scoping (P)方式と同じ割合だけ確率的に間引いた方式である。また、テーブルルックアップコストについて、BC+方式における1回のテーブルルックアップ処理に対してBC-Scoping (P)は0.186回、BC+(Rate)方式は1.324回という結果が得られており、提案方式では1/5の削減効果となった。

次に、ABC/BC+方式を高度化し、従来の1次元的な誘導情報の探索及び配布範囲を2次元的に拡大し、線から面への探索・配布範囲の一般化により、クエリをより積極的に誘導情報に接触させてキャッシュへ誘導するGeneralized ABC方式を提案した。Generalized ABC方式の一部であるクエリのUser-side Flooding方式のソフトウェア実装を行った上でプロトタイプを用いた基礎実験を行った。具体的には、サーバ計算機内に仮想マシンを相互接続する形で3×6格子網及びJapan Photonic Network (25ノード)を構築して実験を行った結果、更なるホップ数削減効果を確認した^[12]。さらに、NECと連携して、提案手法である、BC+、ABC、BC-Scoping on Domainについての広域プロトタイプ実証実験を行った。

4.2 一般的なリソース全般を効率的に発見・取得することが可能な技術の開発

計算機資源やメモリ資源など、一般的な資源の発見・取得プラットフォームとして、Breadcrumbsの手法を応用したResource Breadcrumbsを開発した^[13]。Resource Breadcrumbsフレームワークの概要を図9に示す。具体的には、各サプライヤが自身への誘導情報を周辺に配布する基本方式である(Spread)RBCに加えて、サプライヤからの返信経路に沿ってRBC

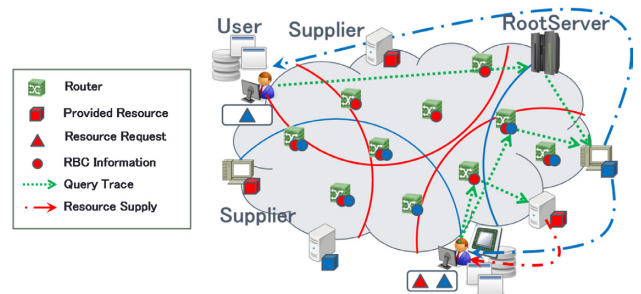


図9 RBC概要図

エントリを登録する En-Route RBC を提案し、前者により、通常のサーバ・クライアント型の資源取得と比較して、1/3 以下のリクエスト経由ホップ数(図 10)、約 1/2 のサプライヤ・ユーザ間ホップ数を達成した(図 11)。また、後者により、単純な RBC 方式と比べて 1 ホップ以上少ない配布範囲で同等の性能を獲得した。さらに、同一 request 内で利用される資源のサプライヤ同士の距離がより近接するように利用資源の選択を行う Selection of Proximal Supplier (SPS) を提案し、サプライヤ間距離を最大約 50%削減した。

4.3 CDN アプローチと BC 関連方式との定量的な比較評価

既存のコンテンツ流通網である CDN をモデル化した上で、各種 BC 関連方式との性能を定量的に比較した。比較評価のために、CDN として最も広く利用されている Akamai^[4] に注目し、DNS リダイレクションメカニズムを単純化した CDN モデルを構築した。網内の総キャッシュストレージ容量を統一した環境下で比較評価を行った結果、特に、ネットワーク負荷バランスの観点から BC 関連方式の CDN に対する優位性が明らかとなり、想定環境下では、BC 関連方式

において各ユーザに求められる処理能力は CDN サロゲート(データセンター)の 1/2,500 程度であることが算出された。

この点について、数値結果に基づく具体的な考察は以下の通りである。図 12 a は CDN 方式について、各サロゲートにおけるアップロード接続数の累積分布関数を示している。網内に設置された合計 5 台の各サロゲートが 1,100 本あたりで同時に立ち上がっている。これは、DNS リダイレクション技術を利用したサロゲート間の負荷分散の効果である。一方で、BC 関連方式では、アップロード接続数の上限は 5 に設定されているが、上限に達することはほぼない(図 12 b)。BC+, BC-S (pop)、ABC、ABC + BC-S (pop) の各方式における平均値はそれぞれ、0.47、0.44、0.47、0.44 である。また、本シミュレーションにおいては、各接続は 5 Mbps の速度としているため、サロゲートにかかる負荷は、帯域の観点からは高々 6 Gbps、ワークロードの観点からは平均 1120.83、高々 1,200 コネクションとなっている。これに対し、BC 関連方式では、ワークロードの観点から平均 0.44 - 0.47、高々 5 コネクションである。平均で考えれば、本シミュレーション内で各ユーザに求

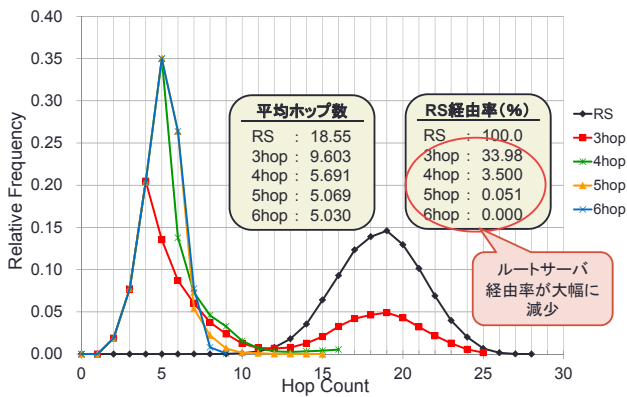
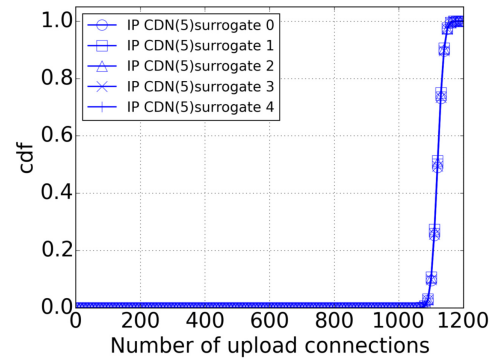


図 10 コンテンツ要求のためのクエリが資源に到達するまでのホップ数分布



(a) 各サロゲート (CDN)

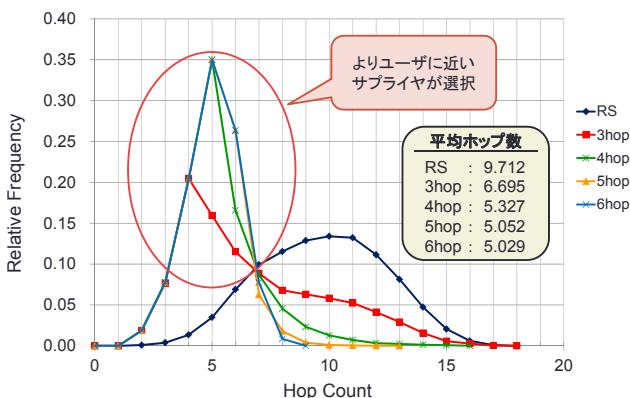
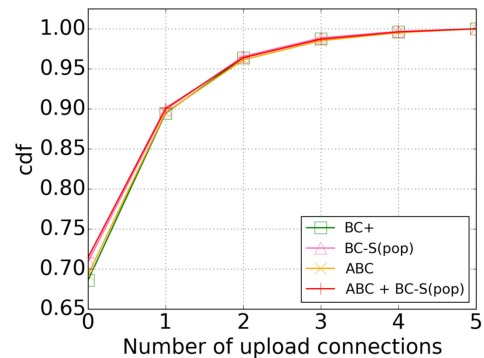


図 11 サプライヤとユーザ間における資源提供時のホップ数分布



(b) 各ユーザ (BC 関連方式)

図 12 アップロード接続数の CDF

められる処理能力はサロゲート（データセンター）の1/2,500程度となる。

また、CDNとBC+方式が共存し、共に機能した場合の相乗効果について評価した。CDNとBC+方式の併用により、サロゲート使用率が最大1/4程度にまで軽減されることが明らかとなった。

以上の結果を通じて、Breadcrumbs方式の高度化、さらに、一般化された資源の発見・取得技術の確立が達成された。今後は、更なる提案方式の改良に加えて、現状のCDNやデータセンターなどとの連携を考慮に入れた方式拡張、ビッグデータ解析などの実用事例に焦点を当てた方式拡張などを進める予定である。

5 ネットワーク仮想化テストベッドでの実証実験

本節では、NECで実施したプロトタイプ実装と実証実験について述べる。具体的には、ネットワーク誘導技術であるBreadcrumbs及び、その拡張方式であるBC+、Active BC、BC Scoping、Hop-aware BC、MSCR、異種NW間誘導を実装したコンテンツ配信プラットフォームを開発し、JGN-Xのネットワーク仮想化テストベッド上にて実証実験を行った。本実証実験の目的は、シミュレーションにより有効性が確認された拡張方式を併用した場合における有効性を検証することである。

図13に、仮想化基盤上に生成したスライス構成を示す。大手町、白山、仙台、北陸、名古屋、大阪、福岡の各VNODE上に、ルータ用VMとユーザ・コンテンツサーバ用VMを各1台配置し、計14のVMを図のように接続した。ユーザ・コンテンツサーバ用VMでは、LXCを用いてリソースを分割し、1台のVM上にコンテンツサーバ1台とユーザ4台を動作させた。

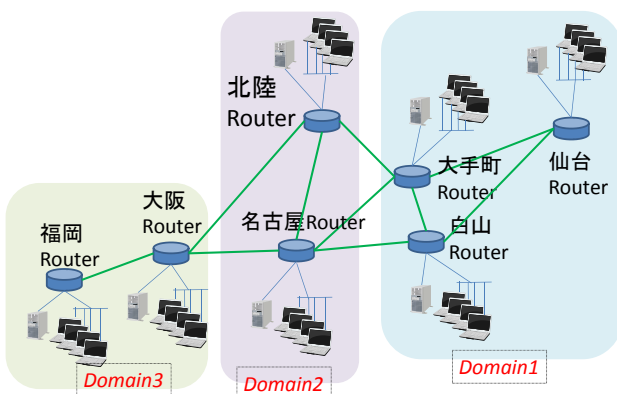


図13 実証実験トポロジ

各地点のコンテンツサーバにはそれぞれ1,000個のコンテンツを配置した。コンテンツの人気度が偏らないよう人気度順で各コンテンツサーバにラウンドロビンで配置している。人気度分布は、Zipf Mandelbrot分布 ($s=0.8, q=3$) を用いた。各ユーザは、1秒に1回、人気度に応じた確率でコンテンツ要求を行う。それを1,800秒間継続した。図に記載されたDomainは、BC Scope使用時に利用されるものである。評価に使用したパラメータを、表2に示す。複数の拡張方式を組み合わせ使用した場合の性能評価を実施した。組み合わせのパターンは、表3に示すIP～ALLまでの10種類である。各方式で3回の実験を行い、結果の平均を取った。

図14に、各パターンにおけるキャッシュヒット率を示す。最短経路上のキャッシュのみを利用するcacheの16.5%に比べ、Breadcrumbsによる誘導を行った場合(BC)は38.9%と12.4ポイント向上した。さらに、MSCR及びABCを利用することで41.7%までヒット率を上昇できることが確認できた。しかし、BC Scopeを利用した場合、32.1～33%とBC単独の場合に比べてキャッシュヒット率が低下した。これは、評価したトポロジが小規模であり、BC Scopeが想定する階層的なネットワーク構造と異なることが原因である。BC Scopeは、後述のホップ数やネットワーク負荷の点で優れており、トレードオフの関係がある。どの指標を優先するかは、ネットワーク運用者のポリシーに依存するため、一概に決めることは適当とは言えない。

クエリの平均ホップ数は、BC ScopeとABCを組み合わせた場合が3.0ホップと最も短く、BCのみの場合の3.18ホップに比べて5%短い結果となった。

表2 評価パラメータ

ルータキャッシュサイズ	50コンテンツ
ユーザキャッシュサイズ	50コンテンツ
Breadcrumbs Tf	45秒
Breadcrumbs Tqf	30秒
コンテンツサイズ	1Kbyte
ABC Lifetime	60秒
PCL Lifetime	60秒
リンク帯域	50Mbps

表3 評価方式の組み合わせ

	cache	BC	ABC	BC Scope	MSCR
IP	×	×	×	×	×
cache	○	×	×	×	×
BC	○	○	×	×	×
ABC	○	○	○	×	×
BCScope	○	○	×	○	×
MSCR	○	○	×	×	○
ABC+BCScope	○	○	○	○	×
ABC+MSCR	○	○	○	×	○
BCScope+MSCR	○	○	×	○	○
ALL	○	○	○	○	○

これは、ABCで近傍のキャッシュ保持ノードへ誘導される効果と、BC Scopeで遠くへの誘導を防止する効果の相乗効果によるものである。さらに全拡張方式を利用したALLも、3.13ホップとBCのみの場合に比べて良い結果となっている。コンテンツ応答(ダウンロード)の平均ホップ数は、IP(3.5)、Cache(3.13)、BC(3.05)に比べ、拡張方式を利用することで3ホップ以下に抑えられ、より近くからコンテンツが取得できていることが確認できた。実験のトポロジが小さいこともあり、各方式の組み合わせ間でホップ数の差には大きな違いは見られなかった。

図15に、ユーザの平均コンテンツ取得時間を示す。ユーザの平均コンテンツ取得時間は、BCのみを利用した場合、クエリの誘導によって取得時間が長くなる傾向がある。また、MSCRを利用した場合も、キャッシュミスが多くなり取得時間が長くなる。取得時間の点では、ABC+BC Scopeが446msと最も早く、BC単独(498ms)に比べ10%短縮された。

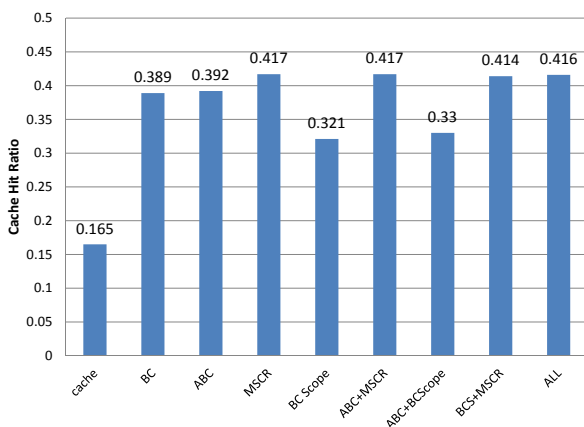


図14 キャッシュヒット率

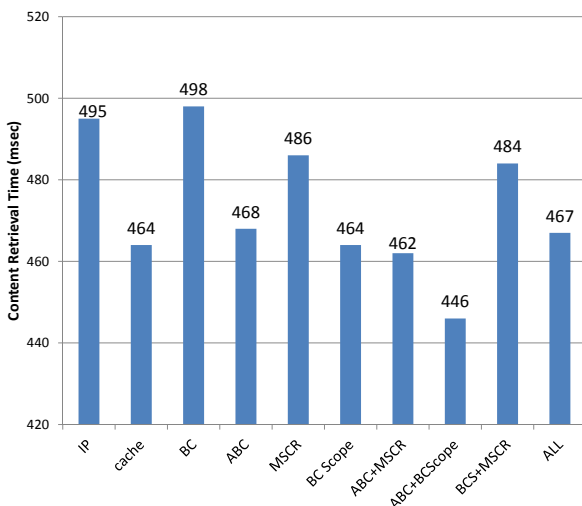


図15 コンテンツ取得時間

図16に、全ルータが受信したメッセージの合計バイト数を示す。トラフィックの大部分は、コンテンツ応答(contents_reply)である。拡張方式の利用によってコンテンツのダウンロードホップ数が減少し、コンテンツ応答の送受信バイト数も減少している。クエリ(contents_request)も、ホップ数によって多少の差が生じている。また、ABCを利用するパターンでは、隣接ノードにABCを配布するabc_set_requestや、キャッシュが消えた場合にABCも削除するabc_delete_requestといったABC制御メッセージが追加されている。今回の実験ではコンテンツサイズを1kbyteとしたが、コンテンツサイズが大きくなればcontents_replyメッセージの差もそれに比例して大きくなる。一方で、ABC制御メッセージやクエリはコンテンツサイズと無関係であるため、コンテンツサイズの増加により、IP、Cache、BCのネットワーク負荷も増加し、拡張方式を利用するパターンよりも合計として多くなる。よって、拡張方式はネットワーク負荷の削減の観点からも有効であるといえる。また、ABCの制御負荷に関しても、ABCの配布パラメータを適切な値に調整することで削減が可能であると考えられる。

本実証実験によって、ABC、MSCR、BC Scopeを併用することで、キャッシュヒット率向上、取得時間の短縮、ネットワーク制御負荷に対して効果があることを実機環境で確認することができた。

6 まとめ

新世代ネットワークにおいて、主たるアプリケーションとなると予想されるコンテンツ配信に対し、ネットワーク資源の効率的運用という観点を取り入れた形で、Space Decouplingを実現することを目的に、コンテンツ発見とコンテンツ転送の双方に

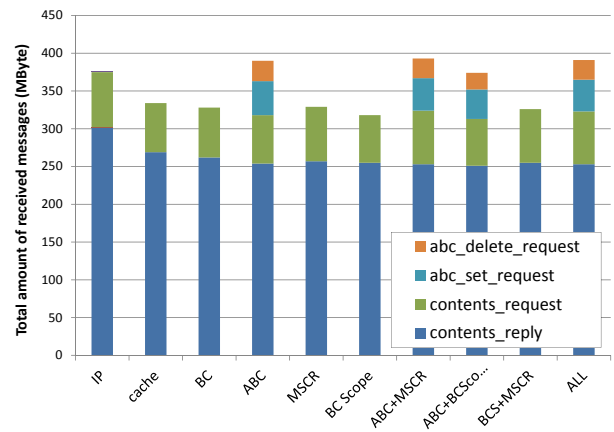


図16 全ルータの受信メッセージバイト数 (Mbyte)

対し研究開発に取り組んだ。ネットワーク誘導技術 Breadcrumbs をベースに、ネットワークが能動的にコンテンツ配信に関与することで、ユーザにとってはコンテンツ取得スループットが改善され、ネットワークにとってはキャッシュ運用を効率的に行うことでネットワーク内トラフィックが削減できる、という双方にとって効用のあるコンテンツ配信が実現できる。現在全世界で研究開発が進められ、日本においても電子情報通信学会情報指向ネットワーク時限研究専門委員会などその活動が活性化しつつある、コンテンツ指向ネットワークの研究分野において、本研究で得られた Space Decoupling を実現するキャッシュネットワークの効率的運用技術に関する知見が広く展開されることが期待される。

謝辞

本研究は、国立研究開発法人情報通信研究機構 (NICT) の委託研究「新世代ネットワークを支えるネットワーク仮想化基盤技術の研究開発」による。ここに記して謝意を表す。

【参考文献】

- 1 E. J. Rosensweig and J. Kurose, "Breadcrumbs: efficient, best-effort content location in cache networks," Proc. of IEEE INFOCOM 2009, pp. 2631–2635, Rio de Janeiro, Brazil, June 2009.
- 2 H. Kawabata, K. Hashimoto, T. Inamoto, Y. Takaki, C. Ohta, and H. Tamaki, "Content/location mapping with cache-location resolution for in-network guidance," Proc. of the Fourth International Conference on Advances in Future Internet, Roma, Italia, pp.1–6, Aug. 2012.
- 3 H. Kawabata, T. Onizuka, Y. Takaki, C. Ohta, and H. Tamaki, "A study on cache suppression control according to content popularity for in-network guidance," Proc. of ACM the 9th International Conference on Emerging Networking Experiments and Technologies (CoNEXT2013), Student Workshop, pp.39–41, Santa Barbara, USA, Dec. 2013.
- 4 鬼塚貴希, 片岡尚美, 高木由美, 太田能, 玉置久, "インネットワーク誘導のためのコンテンツ人気度推定に基づく Content ID/Cache Location 情報管理に関する研究," 信学技報, ネットワークシステム研究会, Vol.114, No.477, NS2014-239, pp.361–366, March 2015.
- 5 中嶋秀幸, 山本幹, "複数 Breadcrumbs におけるダウンロード先選択手法の検討," 信学技報, Vol.114, No.206, NS2014-93, pp.85–90, Sept. 2014.
- 6 T. Tsutsui, H. Urabayashi, M. Yamamoto, E. Rosensweig, and J. Kurose, "Performance Evaluation of Partial Deployment of Breadcrumbs in Contents Oriented Networks," in Proc. Fifth International Workshop on The Network of The Future (Future Net V), IEEE ICC 2012, pp.7386–7390, Ottawa, Canada, June 2012.
- 7 K. Ikkaku, Y. Sakaguchi, and M. Yamamoto, "In-Network Guide Performance in Wireless Multi-Hop Cache Networks," in Proc. The 16th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS 2014), Hsinchu, Taiwan, Sept. 2014.
- 8 S. Yamashita, T. Yagyu, and M. Yamamoto, "Time Dimensional Traffic Engineering with Storage Aware Routing," IEICE Trans. on Commun., Vol.E97-B, No.12, pp.2641–2649, December 2014.
- 9 柿田将幸, 谷川陽祐, 戸出英樹, "Breadcrumbs+: コンテンツ流通網におけるインネットワーク誘導のための改良型 Breadcrumbs 方式," 電子情報通信学会論文誌 スマートな社会を支えるインターネットアーキテクチャ特集号, Vol.J94-B, No.10, pp.1283–1292, Oct. 2011.
- 10 M. Kakida, Y. Tanigawa, and H. Tode, "Active breadcrumbs: adaptive distribution of in-network guidance information for content-oriented networks," IEICE Trans. Commun., Vol.E96-B, No.7, pp.1670–1679, July 2013.
- 11 M. Kakida, Y. Tanigawa, and H. Tode, "Constraint-based distribution method of in-network guidance information in content-oriented network," Proc. of Sixth International Conference on Advances in Future Internet (IARIA AFIN 2014), pp.39–47, Lisbon, Portugal, Nov. 2014.
- 12 C. Michard, Y. Tanigawa, and H. Tode, "User-side flooding for query distribution in Breadcrumbs-based content-oriented network and its experimental evaluation," Proc. of APSITT 2015, 3 pages, Colombo, Sri Lanka, Aug. 2015 (Accepted).
- 13 H. Tode, K. Nishii, and Y. Tanigawa, "A participating fine-granular cloud computing platform with in-network guidance," Proc. of IEEE ICC 2014, SAC-CC-03, 6pages, Sydney, Australia, June 2014.
- 14 J. Dille, B. Maggs, J. Parikh, H. Prokop, R. Sitaraman, and B. Weihl, "Globally distributed content delivery," IEEE Internet Computing, Vol.6, No.5, pp.50–58, 2002.



山本 幹 (やまもと みき)

関西大学システム理工学部教授
博士(工学)
コンテンツ配信、輻輳制御、データセンタ



戸出英樹 (とで ひでき)

大阪府立大学大学院工学研究科教授
博士(工学)
光ネットワーク、情報指向網、コンテンツ配信・
取得技術、無線アクセス/センサ網



太田 能 (おたのちから)

神戸大学大学院システム情報学研究科教授
博士(工学)
アドホックネットワーク、無線アクセス網、
コンテンツ配信



柳生智彦 (やぎゅう ともひこ)

NEC クラウドシステム研究所主任研究員
博士(システムズマネジメント)
経路制御、アドホックネットワーク、コンテ
ンツ指向ネットワーク