

平成 30 年 6 月 14 日現在

機関番号：34416

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26280034

研究課題名(和文) コンテンツ指向ネットワークの実現に向けた次世代ネットワーク制御の研究

研究課題名(英文) Next Generation Network Traffic Control for Content Centric Networking

研究代表者

山本 幹 (Yamamoto, Miki)

関西大学・システム理工学部・教授

研究者番号：30210561

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、「どこから」コンテンツを得るかには関心がなく、「どの」コンテンツを得るかという点のみに関心があるというコンテンツ指向ネットワークへネットワークアーキテクチャが大きく変化する際に、トラフィック制御がどのような形で進化していくべきかという重要な研究課題を取り扱った。具体的には、これまでの送信駆動型トラフィック制御から脱却し、コンテンツ指向アーキテクチャに基づく全く新しい受信駆動型新世代トラフィック制御として、(1)エンド側とネットワーク側の機能が連携した新しい輻輳制御、(2)キャッシュと連携したトラフィック制御、(3)経路制御と組み合わせた面的対応を実現するトラフィック制御、の開発を行った。

研究成果の概要(英文)：The objective of this research is development of new traffic controls for newly proposed networking architecture of content-centric networking. In content-centric networking, users do not care about from where contents are obtained and only care about what contents are obtained. Content-centric networking has quite different communication style of receiver-oriented, whereas the current Internet has sender-oriented one. Traffic control also completely changes its style from sender-oriented to receiver-oriented. Our research develops the following new traffic controls, (1) new congestion control cooperating with end-hosts and network routers, (2) traffic control cooperating with network caches, and (3) traffic controls cooperating with data forwarding.

研究分野：情報通信工学

キーワード：コンテンツ指向 ネットワーク制御 輻輳制御 トラフィックエンジニアリング キャッシュ制御

## 1. 研究開始当初の背景

YouTube 等のビデオコンテンツがネットワーク ( 以下 NW ) 全体のトラフィックの 50% を占め、またその内 30% 程度は重複トラフィックであることが報告されている。トラフィックの量的増大ならびにその冗長性はインターネットにおける技術課題である。サーバを IP アドレスにより指定する現在のコンテンツ取得は、「どこ」からコンテンツを取得するかを指定している点でロケーションオリエンテッドな手法である。このロケーションオリエンテッドな NW 上で、最短経路選択を用いた場合には、トラフィックの時間的ならびに空間的変動による一時的かつ局所的な負荷集中に対し、ユーザとサーバ間の固定の経路上で、TCP による流入トラフィックの調整という形でしか対応できていない。このような状況では、いわば「点」に対する対応を行っているのみで、負荷集中していない箇所の NW 資源は有効に利用できておらず、NW 全体での効率的資源運用といった「面」的対応は実現できない。

一方、これまでのロケーションオリエンテッドな NW アーキテクチャから脱却し、ユーザは「どこ」からコンテンツを得るかには関心がなく「どの」コンテンツを取得するかという点だけに関心があるというコンテンツオリエンテッドなアーキテクチャに移行する、コンテンツ指向 NW ( 以下 CON ) が注目を集めている。CON は、従来 NW の外で提供していたコンテンツ発見のメカニズムを NW 自身が具備し、NW でしか知り得ない情報としての最近隣サーバからのコンテンツ転送などにより、「面」的な効率的コンテンツ転送を実現するものである。このように従来に比べ、幅広いユーザへコンテンツ発信の可能性を提供する CON であるが故に、その本格的運用には従来のトラフィック変動以上にさらに大きな時間的、空間的変動に対応する輻輳制御技術の確立が求められる。

## 2. 研究の目的

コンテンツ取得がネットワーク使用の主たる用途である現状に対応し、コンテンツ指向ネットワークの研究が全世界レベルで展開されている。本研究では、「どこから」コンテンツを得るかには関心がなく、「どの」コンテンツを得るかという観点にのみ関心があるという CON へと NW アーキテクチャが大きく変化する際に、トラフィック制御がどのような形で進化していくべきかという重要な研究課題を取り扱う。具体的には、これまでのロケーション指向アーキテクチャで実現されていた送信駆動型のトラフィック制御から脱却し、コンテンツをどこから得てもよくそれが「どの」コンテンツであるかのみ関心があるコンテンツ指向アーキテクチャに基づく、まったく新しい受信駆動型新世代トラフィック制御を開発する。

具体的には、以下の項目を扱った。

### (1) CON における受信型輻輳制御のエンド側

ならびに NW 側で必要な機能の検討

(2) エンド側およびネットワーク側機能を組み合わせた新しい輻輳制御の開発

(3) キャッシュと連携したトラフィック制御

(4) 経路制御と組み合わせた面的対応を実現するトラフィック制御

## 3. 研究の方法

(1) CON における受信型輻輳制御のエンド側ならびに NW 側で必要な機能の検討

CON では、コンテンツ要求の転送経路上に、コンテンツパケットの転送方向を示す逆方向ポインタが形成されるため、両者の経路が逆方向ながら必ず一致する。従来のインターネットにはないこの特徴から、エンド端末間での輻輳制御に加えて、中継ルータでのシェイピングやロス通知等の手法を適切に併用し高度に連携することで、送信元が頻繁に変動することによる不安定性を解消し、技術的ブレイクスルーをもたらし得るのではとの着想に基づき、本研究を開始している。CON における輻輳制御では、コンテンツ指向の基本的理念からエンドノード間のセッションという概念がなく、コンテンツ要求に対するレスポンスとしてのデータパケットの対が制御単位となる。このため、データパケット送信ノードが単一である必要はなく、複数のサーバ、もしくは NW 内のキャッシュが送信ノードとなり得ることから、複数の送信ノードに対応した輻輳制御が重要となる。従来の送信ノードが主体的に輻輳制御を司る手法から脱却し、データパケットを受け取る受信ノードが主体的に制御する、受信型輻輳制御を実現するうえで、NW 側およびエンド側で必要な機能について、検討を進める。

(2) エンド側およびネットワーク側機能を組み合わせた新しい輻輳制御の開発

上記で検討した NW 側で必要な機能、エンド側で必要な機能が連携し、複数送信ノードからコンテンツを取得するという、全く新しいコンテンツ配信形態での、受信型輻輳制御を開発する。この形態では、コンテンツ取得経路が NW 内の様々なところを経由し、それぞれ経路が不均質な輻輳状態にあることが一般的である。このような不均質な輻輳状況に、柔軟に対応し、それぞれの経路に応じた制御を実現するために、NW 機能とエンド機能を適切に連携させることを目指す。

(3) キャッシュと連携したトラフィック制御

CON では、コンテンツ名を指定したコンテンツ要求に対して、データパケットが返送される。インターネットでは、パケットの宛先が IP アドレスであり、他の IP アドレス宛に送出不可能なことから、たとえペイロード部が同一であっても NW 内で再利用はできない。CON では、データパケットの宛先はコンテンツ名であり、同一コンテンツに対する他の要求に対しても再利用が可能となる。このことから、転送データパケットを NW 内のルータに積極的に一次蓄積し、再利用するキャッシュの運用が検討されている。本研究

では、キャッシュを効率的に運用することで、キャッシュヒットにより NW 内のコンテンツトラフィック量を削減できることから、積極的なキャッシュ運用に対して検討を行う。具体的には、キャッシュ性能の決定因子であるキャッシュ判断法などのキャッシュ制御手法に対し、状況に適応した有効な手法の開発を行う。

(4) 経路制御と組み合わせた面的対応を実現するトラフィック制御

トラフィック制御では、NW 内の輻輳に対応し経路を変更することで、輻輳制御による NW 流入トラフィックの調整というパスでの対応に加え、経路制御による面的対応が期待できる。本研究では、計測 RTT により輻輳状況を把握し、これを用いてルータが経路制御を行う新しい手法を開発する。また、キャッシュと経路制御を積極的に連携させる新しい手法の開発を行う。

#### 4. 研究成果

(1) CON における受信型輻輳制御のエンド側ならびに NW 側で必要な機能の検討

CON においては、FIB(Forwarding Information Base)にコンテンツ名をエントリーとする経路表が作成される。ルータにおいて、複数サーバからの広告情報が異なるインタフェースに到着した場合、同一コンテンツ名に対し複数の経路が FIB に登録される。このため、コンテンツ要求の到着時に、状況に応じて適切に出力インタフェースを選択することで、複数サーバから適宜コンテンツを取得することが可能となる。複数経路からコンテンツを受信する場合には、従来のエンドエンド輻輳制御において用いられた、RTT に基づくタイムアウトによる輻輳検知は適用不可能である。このため、NW からの通知による輻輳の把握が必要であり、この点で NW 内のルータが積極的に輻輳制御に関与することが必要であることを明らかにした。

ルータが積極的に輻輳制御に関与する際、a. エンドホストと連携しながら各経路の輻輳状況にあわせてレート調整するアプローチ、b. 各ルータが自律的にローカルに輻輳制御を実現するアプローチ、が可能であることを検討し、この方向に沿った研究を推進した。

(2) エンド側およびネットワーク側機能を組み合わせた新しい輻輳制御の開発

(1)での検討を踏まえ、a. エンドホストと強く連携する輻輳制御と、b. ローカルに連携する輻輳制御、の2つのアプローチで新しい輻輳制御の開発を試みた。

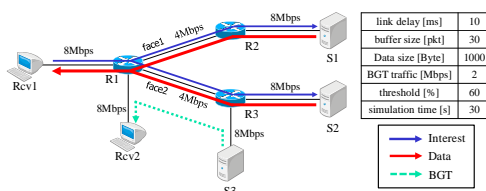


図1 CON 輻輳制御の評価モデル

a. エンドホストと強く連携した輻輳制御

輻輳発生時に NW からの通知としての NAK を、受信ノードへとルータが送出するものとする。複数サーバからコンテンツを受信している状況では、受信ノードが NAK を受け取った際に、複数サーバへのどの経路の輻輳状況を示すものか判断がつかない。輻輳とは、本来輻輳が発生した地点に強く関連付けられる事象であり、コンテンツ指向の NW アーキテクチャではこれを NAK などでエンドホストが把握することは困難である。これに対し、NW 内のルータは、どの方向から NAK が到着したか判断可能であることから、本研究ではルータが積極的に輻輳制御に関与する、CON に適した新しい輻輳制御手法を提案した。

具体的には、各ルータが FIB に記載されているインタフェース方向への送出確率 (weight) を管理し、NAK 到着時にその到着インタフェースへの weight を適切に減少する手法を提案した。なお、受信型輻輳制御では、受信ノードからのコンテンツ要求送出レートを制御することで、NW に流入するトラフィック量を輻輳状況にあわせて適切に制御することが可能である。NAK が転送される際に、輻輳経路においては送出レートが半減されるよう、そして他の経路については送出レートが変化しないよう、適切に weight ならびに送出レートの変更が必要である。NAK に分岐ルータにおける weight 情報を載せることでこれを実現した。

図1に示す評価モデルを用いて評価を行った結果、図2に示すようにルータ R1 でのインタフェース 1,2 に対するコンテンツ要求 (Interest) とデータ到着レートが NAK 到着により変更された。図1の状況では、Face 1 に 4Mbps、Face 2 に 2Mbps のデータ到着レートとなることが望ましく、本提案方式はこの状況に各レートが適切に制御されている。

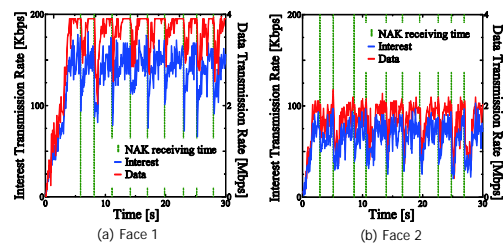


図2 ルータ R1 での時間推移

b. ローカルに連携する輻輳制御

エンドホスト、ならびに各ルータが、ローカルに自律的に連携するアプローチを検討した。具体的には、輻輳発生時に連続して発生する NAK パケットによる過度なコンテンツ要求の送信レートを抑制するために、一回の輻輳において一度だけレートを減少させるホップバイホップでの輻輳制御方式を提案した。既存の輻輳制御方式では、各ルータは、輻輳の発生を検知した時、受信ノード方向に NAK を送信する。NAK を受信したルー

夕は、コンテンツ要求の送信レートを減少させることで、輻輳を軽減する。しかし、この方式では、輻輳発生時に、連続して送信される NAK を受信したルータは、過度にコンテンツ要求の送信レートを減少させる問題があった。提案方式では、ルータおよび受信ノードが NAK を受信すると、受信後に送信したコンテンツ要求に対応するデータパケットが NAK を受信するまで、コンテンツ要求の送信レートを変更しないという機構を導入する。提案方式では、1 回の輻輳で連続的に複数発生する NAK に対し、最初の NAK のみにより送信レートを減少することで、過度なコンテンツ要求の送信レートの減少を抑制できることを明らかにした。

### (3) キャッシュと連携したトラフィック制御

CON では、転送パケットを一時的に蓄積し、再利用に供するためのキャッシュをルータに具備することが一般的である。本研究では、このキャッシュと連携したトラフィック制御として、キャッシュ性能を大きく左右するコンテンツ要求の Forwarding 制御としての誘導技術と、キャッシュするコンテンツを適切に決定するキャッシュ制御技術を扱った。また、CON がセッションという概念を持たない新しいアーキテクチャであることから、その利用シーンの一つとして着目されている災害時 NW への適用を念頭に、キャッシュと連携したトラフィック制御技術を開発した。

#### 3-1 Off-Path キャッシュに適したキャッシュ判断法

キャッシュの利用形態として、コンテンツ要求がサーバに向かう途中の経路(On-Path)上で該当するキャッシュコンテンツに遭遇した際に、このキャッシュからダウンロードが開始される形態が一般的である。On-Path 上にない Off-Path キャッシュを効率的運用することで、CON のさらなる効率的運用の可能性が残されている。Off-Path キャッシュへのコンテンツ要求の誘導技術として、コンテンツダウンロード方向を示すポイントをルータに用意し、コンテンツ要求がこのポイントをもつルータを通る際に、ポイントを用いて Off-Path 方向へ転送する Breadcrumbs が提案されている。本研究では、この Breadcrumbs をコンテンツ要求 Forwarding 技術に用いた際の、キャッシュ判断法、すなわちコンテンツダウンロード時にそのコンテンツをキャッシュに格納するかどうかを判断する手法について検討を行った。

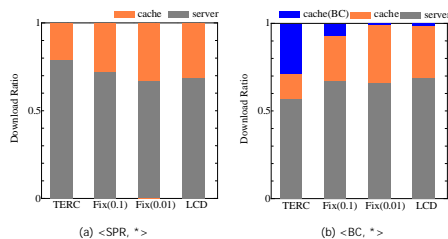


図3 コンテンツ取得先の割合

図3に、コンテンツ Forwarding にサーバへの最短経路すなわち on-path を用いた場合 (SPR と表記) ならびに Breadcrumbs (BC と表記) における、キャッシュ判断法別のコンテンツ取得割合を示す。BC では、コンテンツダウンロードで通過する全ルータにキャッシュする TERC (Transparent En-Route Cache) が優れており、SPR では人気の高いコンテンツを保持しやすい他の手法が優れている。BC では、人気の低いコンテンツもキャッシュできる TERC を用いることで、NW 内にキャッシュされるコンテンツの種類が増え、これらを BC による誘導で効率的に運用できることから、一般的にはキャッシュ性能が高くないと言われてきた TERC が BC には適合することを明らかにしている。

また、無線マルチホップ NW において BC を適用した場合の性能を評価し、単なる On-Path キャッシュのみを運用する場合に比べ、BC による Off-Path キャッシュへの誘導が効果的に動作することを示した。ダウンロードはゲートウェイノード(以下 GW)からエッジ方向に行われることから、BC はこの方向に形成されやすい。BC にヒットしやすい人気コンテンツについては、この誘導により NW エッジ部分に位置するコンテンツからのダウンロードが多くなる。この誘導効果により、GW 付近の NW コア部の人気コンテンツトラフィックは相対的に減少する。この効果により、人気が低いコンテンツの GW からのダウンロードが促進されることが明らかとなった。すなわち、BC を適用することで、人気コンテンツのみならず低人気コンテンツのスループットも改善でき、NW 全体としてのコンテンツ流通が大きく改善されることを明らかにした。BC を用いた場合には、BC trail と呼ばれるポイント列の最後にキャッシュコンテンツがあればコンテンツ取得が可能である。BC trail のエッジは NW エッジ部に位置する可能性が高く、ここではキャッシュ置換の頻度が相対的に低く、安定してコンテンツがキャッシュされる。この点に着目し、BC に適したキャッシュ判断法として、受信ノードのみがキャッシュする新しい手法を提案した。この手法により、TERC に比べ最大スループットが約 10% 程度改善されることを明らかにしている。

#### 3-2 複数受信ノードからの同時ダウンロード高速化を実現するキャッシュ制御

複数受信ノードによる同一コンテンツの同時ダウンロードの高速化を実現するキャッシュ制御を考案した。提案方式は、可用帯域が異なる複数の受信ユーザが同一コンテンツを同時にダウンロードする環境を想定する。通常時はキャッシュの置き換えポリシーとして LRU (キャッシュヒットしてからの時間が最も長いデータを置き換える) を適用する。ルータが複数受信ノードによる同一コンテンツの同時ダウンロードを検出したら、キャッシュ置き換えポリシーを、可用帯域の大き

な受信ノードによりダウンロードされたデータパケットを優先的にキャッシュするように変更する。これにより、可用帯域の小さな受信ノードからのコンテンツ要求がキャッシュヒットしやすくすることで、ダウンロード完了時間を短縮するものである。計算機シミュレーションによる性能評価の結果、可用帯域の大きな受信ノードにおいてダウンロード完了までにかかる時間を約 19.9%短縮できることを示した。

### 3-3 災害時 CON のキャッシュ制御

災害時には、通信設備や通信リンク故障の影響で、セッションという概念を保持できないことから、CON が適している。災害時 CON においては、このような NW トポロジの時間的な変化に対し、柔軟に対応する必要がある。本研究では、コンテンツ要求およびデータの送信において、エンドエンドで再送制御を行うのではなく、ホップバイホップで受信確認を段階的に行う手法を提案した。キャッシュでの一時的蓄積時に、受信確認を前段に送ることで、再送制御を極力ローカルに行うものである。このようなホップバイホップでの転送とキャッシュとの連携により、災害時 CON におけるトラヒックがおおよそ 95%削減されることを性能評価により明らかにした。

(4) 経路制御と組み合わせた面的対応を実現するトラヒック制御

輻輳に対処する手法として、経路制御により輻輳地点を回避する新しい方式を提案した。具体的には、コンテンツ要求を転送してからそれに対するデータが到着する遅延時間を、各ルータが自身のインタフェースごとに計測し、この計測 RTT を用いて経路制御を行う手法を開発した。同一コンテンツに対し FIB に複数インタフェースが登録されている場合、確率的にコンテンツ要求を各インタフェースに送出することとし、この送出確率を計測 RTT により逐次計算する。図 4 に示すように、RTT 計測による確率的判断を行うホップ数 (コンテンツ要求を発送してから、RTT 計測による制御を行うホップ数)  $k$  を増加させるとともに、輻輳部分を回避した経路制御が実現され、コンテンツ取得遅延が大幅に改善されることを示した。

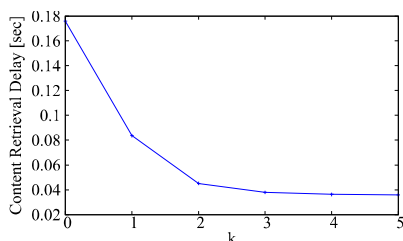


図 4 コンテンツ取得遅延特性

### (5) 研究分野の啓蒙活動

研究代表者が、電子情報通信学会などでコンテンツ指向ネットワークに関する招待論文 1 編、招待講演を 4 件行い、本研究分野の啓蒙活動を積極的に行った。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 4 件)

Takahiko Kato, Kyohei Sasano, Masaki Bandai, Miki Yamamoto, In-Network Caching for Simultaneous Download from Multiple Receivers in Content-Centric Networking, IPSJ Journal, 査読有, Vol.58, No.2, pp. 164-173, 2017, DOI: 10.2197/ipsjjip.25.164

Yusaku Hayamizu, Tomohiko Yagyu, Miki Yamamoto, Energy Efficient Information Retrieval for Content Centric Networks in Disaster Environment, IEICE Trans. on Communications, 査読有, Vol.E99-B, No.12, pp.2509-2519, 2016

DOI: 10.1587/transcom.2016CNP0003

Miki Yamamoto, [Invited Paper] A Survey of Caching Networks in Content Oriented Networks, IEICE Trans. on Communications, 査読有, Vol.E99-B, No.5, pp.961-973, 2016

DOI: 10.1587/transcom.2015AMI0001

Shigeyuki Yamashita, Daiki Imachi, Miki Yamamoto, Takashi Miyamura, Shohei Kamamura, Koji Sasayama, A New Content-Oriented Traffic Engineering for Content Distribution: CAR(Content Aware Routing), IEICE Trans. on Communications, 査読有, Vol.E98-B, No.4, pp.575-584, 2015

DOI: 10.1587/transcom.E98.B.575

〔学会発表〕(計 30 件)

Yusaku Hayamizu, Akira Shibuya, Miki Yamamoto, Effective New Cache Decision Policy for Breadcrumbs in Content Centric Networking, IEEE Int. Workshop on Communications Quality and Reliability (CQR 2017), 2017

Takahiko Kato, Masaki Bandai, Congestion Control Avoiding Excessive Rate Reduction in Named Data Network, IEEE Int. Workshop on Future Internet Architecture for Developing Regions (FI4D) in IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC '17), 2017

加藤 堯彦, 萬代 雅希, コンテンツ指向ネットワークにおけるホップバイホップのウィンドウベースによる輻輳制御方式, 電子情報通信学会総合大会, 2017

加藤 堯彦, 萬代 雅希, 明示的なレート通知とホップバイホップのウィンドウ制御を用いた NDN のための輻輳制御方式, 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会, 2017

速水祐作, 平田孝志, 山本幹, コンテンツ配置を考慮したコンテンツ指向ルーチングの性能評価, 電子情報通信学会コミュニケーションオリティ研究会 CQ 基礎ワークショップ, 2017

Akira Shibuya, Yusaku Hayamizu, Miki Yamamoto, Cache Decision Policy for

Breadcrumbs in CCN, IEEE Globecom 2016 Workshops, 2016

Keisuke Koyama, Kento Ikkaku, Miki Yamamoto, In-Network Guidance Activated with Overhearing for Mobile Wireless Multi-hop Networks, IPSJ International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networks(ICMU 2016), 2016

Junpei Miyoshi, Satoshi Kawachi, Masaki Bandai, Miki Yamamoto, Multi-Source Congestion Control for Content Centric Networks, ACM Conference on Information-Centric Networking (ACM ICN 2016), Poster, 2016

Takaya Mori, Kouji Hirata, Miki Yamamoto, Content-Oriented Probabilistic Routing with Measured RTT, IEEE Communications Quality and Reliability Workshop (IEEE CQR 2016), 2016

山本 幹, [特別招待講演] In-Network キャッシュの研究動向, 電子情報通信学会通信方式研究会, 2016

速水祐作, 永田晃, 山本 幹, ICN における In-Network Processing のための複数機能ルーティング手法の一検討, 電子情報通信学会第7回情報指向ネットワーク研究会, 2016

渋谷彰寿, 速水祐作, 山本 幹, CCN におけるインネットワーク誘導とキャッシュ判断法の統合効果の検討, 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会, 2016

小山慶佑, 一角健人, 山本 幹, 無線マルチホップネットワークにおける移動環境に適したインネットワーク誘導方式, 電子情報通信学会第7回情報指向ネットワーク研究会, 2016

奥村尚久, 平田孝志, 山本 幹, 分散的情報共有によるコンテンツキャッシング手法, 電子情報通信学会総合大会, 2016

速水祐作, 柳生智彦, 山本 幹, DTN 環境でのコンテンツ指向ネットワークにおけるキャッシュ判断法の性能評価, 電子情報通信学会総合大会, 2016

加藤 堯彦, 萬代 雅希, コンテンツ指向ネットワークにおけるルータでのレート制御に適用した輻輳制御方式, 電子情報通信学会総合大会, 2016

岡本 祐太郎, 萬代 雅希, コンテンツ指向型車間ネットワークにおける移動情報を利用したデータ取得方式, 電子情報通信学会総合大会, 2016

笹野 恭平, 萬代 雅希, 山本 幹, コンテンツ指向ネットワークにおける同時ダウンロードを考慮したキャッシュ手法, 電子情報通信学会総合大会, 2016

速水祐作, 平田孝志, 山本 幹, コンテンツ配置を考慮したコンテンツ指向トラヒックエンジニアリングの検討, 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会, 2016

Yuki Otsuji, Yusaku Hayamizu, Miki Yamamoto, Random Order Content Request in

Content-Oriented Networking, 11th International Symposium in Science and Technology(ISST 2016), 2016

⑲ Kyohei Sasano, Masaki Bandai, Miki Yamamoto, A Cache Management Method for Simultaneous Downloading from Multiple Receivers for Content Centric Networking, Int. Workshop on Telecomm. Networking, Applications and Systems(TeNAS '16), 2016

⑳ Yusaku Hayamizu, Tomohiko Yagyu, Miki Yamamoto, Energy and Bandwidth Efficient Content Retrieval for Content Centric Networks in DTN Environment, IEEE Globecom2015 Workshop ICNS(Information Centric Network Solutions for Real- World Applications), 2015

㉑ Miki Yamamoto, Performance of In-Network Guide in Cache Networks, The 10th International Symposium in Science and Technology (ISST 2015), 2015

㉒ Yusaku Hayamizu, Miki Yamamoto, Receiver-driven Congestion Control for Content Oriented Application with Multiple Sources, IEEE CQR Workshop 2015, 2015

㉓ 山本 幹, コンテンツ指向ネットワークの研究動向, 日本学術振興会 光ネットワークシステム技術第171委員会, 第56回研究会(招待講演), 2015

㉔ 山本 幹, [チュートリアル講演] コンテンツ指向を実現する ICN, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 2015

㉕ 山本 幹, [招待講演] モバイル環境におけるコンテンツ指向ネットワーク, 電子情報通信学会モバイルネットワークとアプリケーション研究会, 2015

㉖ 森貴也, 中嶋秀幸, 山本 幹, CCN におけるインネットワークキャッシュ誘導方式の検討, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 2015

㉗ 一角健人, 山本 幹, [奨励講演]無線マルチホップキャッシュネットワークにおける Breadcrumbs に対応したキャッシュ判断法, 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会, 2015

㉘ 河内智史, 三好淳平, 萬代雅希, 山本 幹, コンテンツ指向ネットワークにおける複数送信ノードに対応した輻輳制御の検討, 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会, 2015

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

山本 幹 (YAMAMOTO, Miki)

関西大学・システム理工学部・教授

研究者番号: 30210561

### (2)研究分担者

萬代 雅希 (BANDAI, Masaki)

上智大学・理工学部・准教授

研究者番号: 90377713