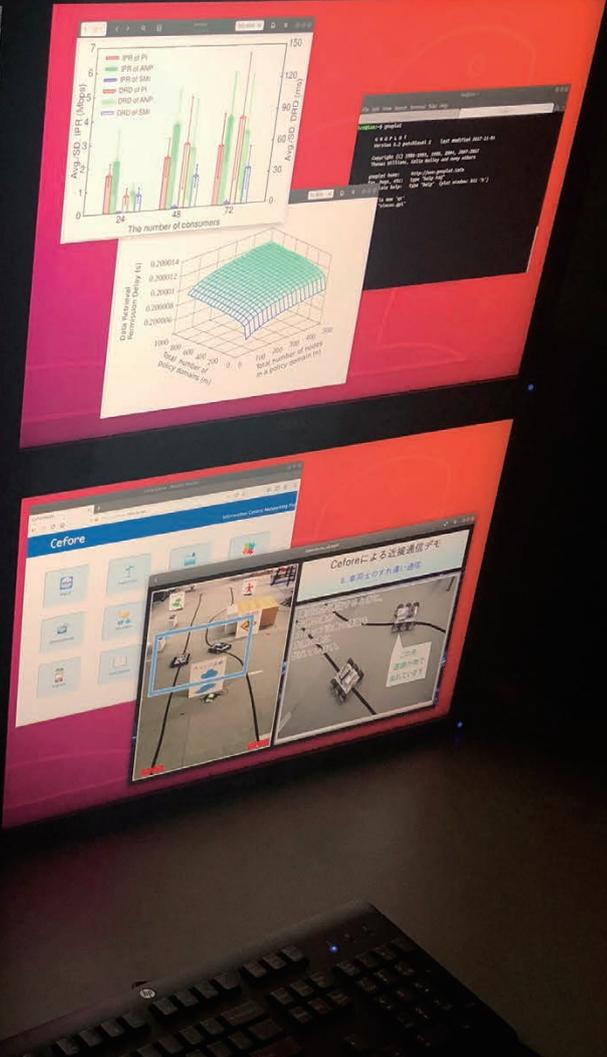
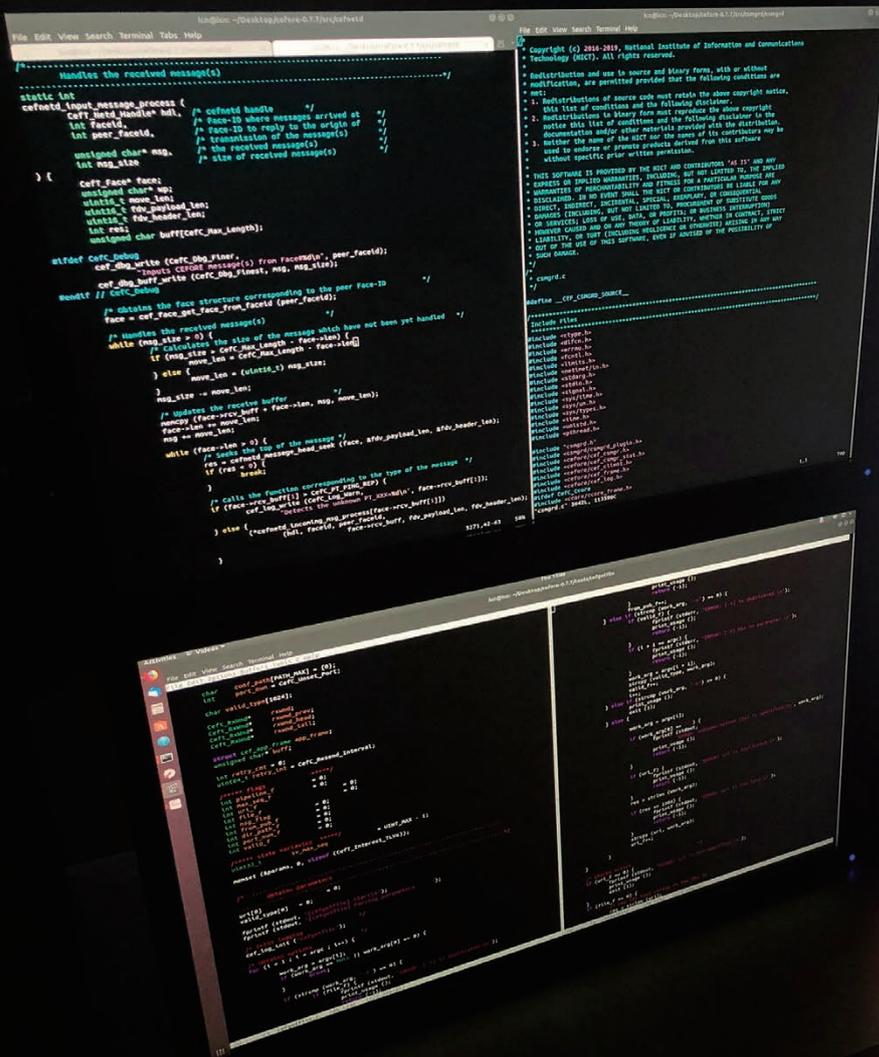


FEATURE

未来を支える革新的ネットワーク技術

Interview

より快適なネットワークサービスの実現に向けて



FEATURE

未来を支える革新的ネットワーク技術

Interview



- 1 より快適なネットワークサービスの実現に向けて**
原井 洋明／朝枝 仁
- 4 情報指向ネットワーク技術の研究開発と応用技術**
IPの制約を解き放つ情報流通基盤技術
松園 和久
- 6 AIによるサービス機能チェーンの資源自動管理**
自然言語処理で用いられる手法を仮想ネットワーク構築に応用
平山 孝弘
- 8 IoT時代を支えるエッジコンピューティングインフラの実現に向けて**
応答性能と省電力の両立
山中 広明
- 10 空間分割多重型光ネットワーク技術**
柔軟・高効率な光ネットワークを目指して
廣田 悠介

TOPICS

- 12 「情報通信研究機構 新技術説明会」を開催**
- 13 NICTのチャレンジャー File 7 大岡 睦**
情報指向ネットワーク技術の実社会への展開に向けて

INFORMATION

- 14 NICTオープンハウス2019 in 沖縄 開催のお知らせ**
- 14 NICT本部展示室(小金井)の紹介**

表紙写真：

左(黒い画面)は、Ceforeソースコード。右(赤い画面)は、情報指向ネットワークを実現するCefore(オープンソース)ホームページと「Cefore搭載の移動ロボットによる近接通信」のデモ映像及びCefore通信パフォーマンス評価のグラフ。

左上写真：

ネットワーク制御自動化を実現するARCA(Autonomic Resource Control Architecture)の開発環境。回帰分析AIエンジンを組み込んだARCAは、動的な計算機資源調整を行い、限られた資源で複数のネットワークサービスの品質要求を満たす。

Interview

より快適なネットワークサービスの
実現に向けて

ネットワークシステム研究所

原井 洋明 (はらい ひろあき) 〈左〉

ネットワークシステム研究所
研究統括

教育研究目的の利用に限られていたインターネットの商用利用が認められてから約30年。今やインターネットは、私たちの生活と仕事に欠かせないものとなっている。

しかし、インターネットのコアとなる技術は、現在も当時とほとんど変わっていない。基本はIP（インターネットプロトコル）による1対1の通信である。ところが現在、情報サービスを取り巻く環境は30年前とは大きく変わっている。膨大な数のモノがネットにつながるIoTに加え、超高精細な4K動画、高速で遅延の少ない5G移動体通信などの登場で、情報量の増大だけでなく求められる通信品質も桁違いに高くなっている。

このような時代に必要なのは、従来の概念を超える全く新しい革新的ネットワーク技術である。こうしたネットワーキング・テクノロジーの最新動向について、ネットワークシステム研究所研究統括 原井洋明とネットワーク基盤研究室上席研究員の朝枝仁に話を聞いた。

——インターネットに求められる技術はどのように変わってきたのでしょうか。

原井 インターネットは、サーバのアドレスを決めてネットワークが作られています。サーバをはじめインターネットの通信デバイスには、全て住所にあたるIPアドレスが割り当てられています。

ところが、インターネットに接続するデバイスが、どんどん増えていき、情報量とトラフィックが膨大なものになってきました。今後加速度的に、ネットにつながるIoT機器等が増え、サービスの種類も更に増えるでしょう。

例えば、2015年には約150億台のデ

バイスがインターネットにつながっていましたが、2020年には2倍の300億台になると予測されています。一方で、日本は少子化で人口が減っています。15歳から64歳の人口は2015年で約7,500万人、2030年には6,700万人まで減少すると言われています。

ネットのトラフィックの増大とは逆に、人的リソースが大幅に減少していくのです。限られたリソースでネットワークサービスを円滑に行うためには、サーバ資源を効率よく有効に使うための方法を探る必要があります。また輻輳や障害発生時の対応を自動化する方法も考えなくてはなりません。

1998年郵政省通信総合研究所（現NICT）入所。2011年ネットワークアーキテクチャ研究室長などを経て、2018年より、総合テストベッド研究開発推進センター長及びネットワークシステム研究所研究統括。ネットワーク構築制御自動化等の研究開発及び情報通信ネットワーク技術の社会実装の推進に従事。博士（工学）。

朝枝 仁 (あさえだひとし) 〈右〉

ネットワークシステム研究所
ネットワーク基盤研究室
上席研究員

日本アイ・ピー・エム株式会社、INRIA（フランス国立情報学自動制御研究所）リサーチ・エンジニア・スペシャリスト、慶應義塾大学大学院特任准教授を経て、2012年にNICT入所。ネットワークプロトコル等の研究開発やIETF標準化活動に従事。2018年から現職。博士（政策・メディア）。

また、従来のように固定したデバイスだけでなく、スマートフォンやIoTデバイスなど、移動性を考慮したデバイスが増えてきます。情報も固定された場所から生じるのではなく、移動しながら情報を生成し交換するようになります。さらには、流れている情報そのものがビッグデータとして活用される、そんな時代になってきているのです。

ですから、デバイスの移動や多種多様なコンテンツの生成の流れに合わせて、ユーザが満足できる品質のサービスを実現できるような、ネットワーク設計とネットワーク技術が求められているのです。例えば4K映像を見ている途中で映像が

より快適なネットワークサービスの実現に向けて

ブツブツと切れたら、ユーザは悪い印象を持ちます。そのような問題を解消するために、これまでは回線を太く、つまり、通信路を高速にする方法がとられてきました。しかし今後は、それだけではだめで、ネットワークの途中でデータを貯めたり、最適な無駄のない経路を自動的に探したりするような新しい技術が必要とされてきているのです。

■革新的ネットワークとは

—— IP（インターネットプロトコル）では対応できないのですか。

朝枝 私たちの目指す革新的ネットワークとは、現在そして将来求められるネットワークサービスを高品質・低遅延で、より効率的かつ省エネで、そして安全に安定して実現するためのものです（図1）。

それを実現するためには、従来の通信の制約にとらわれる必要はありません。

もちろんIPはインターネットの原点であり、これを新しいものに置き換えることが研究の目的ではありません。革新的ネットワークが目指すものは、IPの利用いかんにかかわらず、より使いやすく便利で人々の役に立つネットワーク技術を開発することです。

——革新的ネットワークの要素技術にはどのようなものがありますか。

朝枝 現在取り組んでいる主な研究は2つあります。「ネットワーク構築制御自動化技術」と「情報・コンテンツ指向型ネットワーク技術（ICN/CCN*1）」です。

この大きな2つの柱のほか、周辺を固めてくれる技術として、エッジコンピューティング、光ネットワーク融合技術など

の研究を行っています。

ネットワーク構築制御自動化技術とは、AIを使ってネットワークの制御を行おうというものです。通信量やネットワーク使用状態を見ながら、特定のサービスがリソースを消費していることが分かると、サービスを別の経路に迂回させたり、リソースの移行を自動的に行ったりします。このとき、AIは通信サービスのパターンを見ながらリアルタイムで最適な行動を決定します。

もう1つの情報・コンテンツ指向型ネットワーク技術は、ネットワークから情報やコンテンツを取得するときに、IPアドレスではなく、コンテンツの名前を通信の識別子として利用するものです。

ICN/CCNでは、コンテンツを取得するのに、近くのルータなどに分散保存されているキャッシュを利用します。これにより、遠くにあるかもしれないサーバやクラウドからだけでなく、近くから素早くデータ転送することができるようになります。その結果、遅延が少なくなり、通信品質の低下を回避することができます。

——当初のプロジェクト以外に最近開始された研究開発の取組は何かありますか。

原井 総務省の革新的AIネットワーク統合基盤技術の研究開発があります。一昨年度からKDDI総合研究所と共同研究を行っているネットワーク管理制御の自動化を応用しています。必要なリソースをスムーズに確保することを可能にする技術の研究で、ネットワークにおける輻輳や、デバイスを持った人の動きなどによるトラフィックの変化や増大を予測することで前もってリソースを確保してい

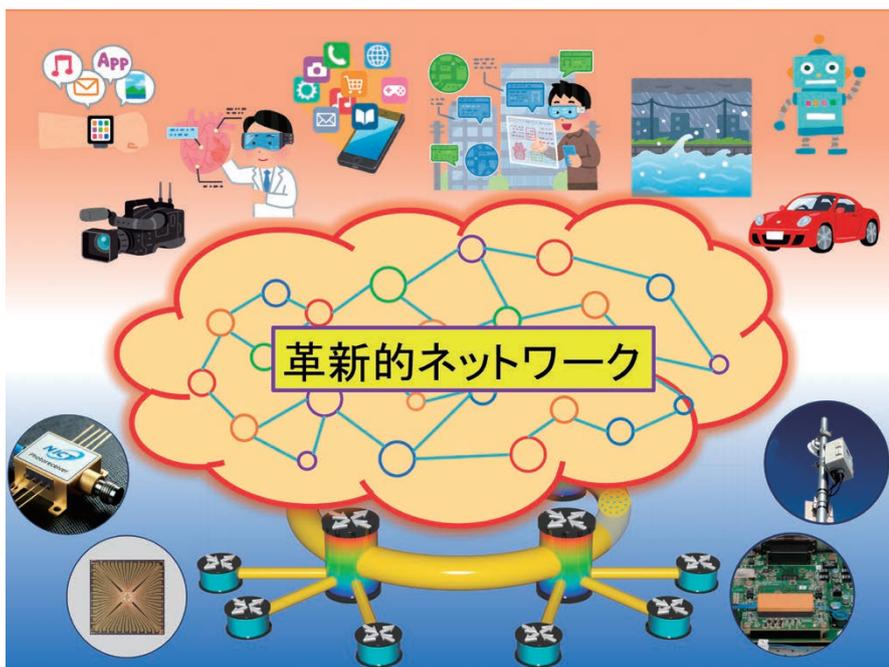


図1 革新的ネットワークは、様々なアプリケーションやサービスと、最新の光ネットワークやデバイスをつなぎ、人々の生活を支えるネットワーク技術です。

く技術です。

また、ネットワーク全体に影響を与えずに、リソース割当てを変更する調停という仕組みも研究しています (p.7の図2参照)。

例えば、ネット上には、多種多様なデータが流れており、何かのきっかけで一部のルータあるいはサーバが混んできます。ユーザがサービスに不満を持つ閾値というものがありますから、そうなる前に兆候を見つけ、10秒以内にどこにリソースを振り分ければ良いか、どこからリソースを持ってくれば良いかを見つける技術を実現したいと考えています。

さらに、リソースを融通するだけではなく、サービスのファンクションを鎖のようにつなげていく、サービス機能チェーンという技術を対象にしています。こういう技術を、リソースの適切な融通にうまく適合させていきたいと考えています。

■標準化とオープンソースへの取組

——標準化、オープンソースの展開、さらには社会実装に向けた取組は。

朝枝 国際標準化団体であるIETF/IRTF*2やITU-T*3などで標準化のための活動を積極的に行っています。また、産学官連携や共同研究などを通じて、標準化団体において定義された仕様の相互運用性の検証なども行う予定です。

オープンソースに関する活動としては、ICN/CCNを実現する通信ソフトウェアCefore (セフォール) を開発し、公開しています。これは、ネットワーク基盤研究室がフルスクラッチ (新規に開発すること) で開発したものであり、研究・商

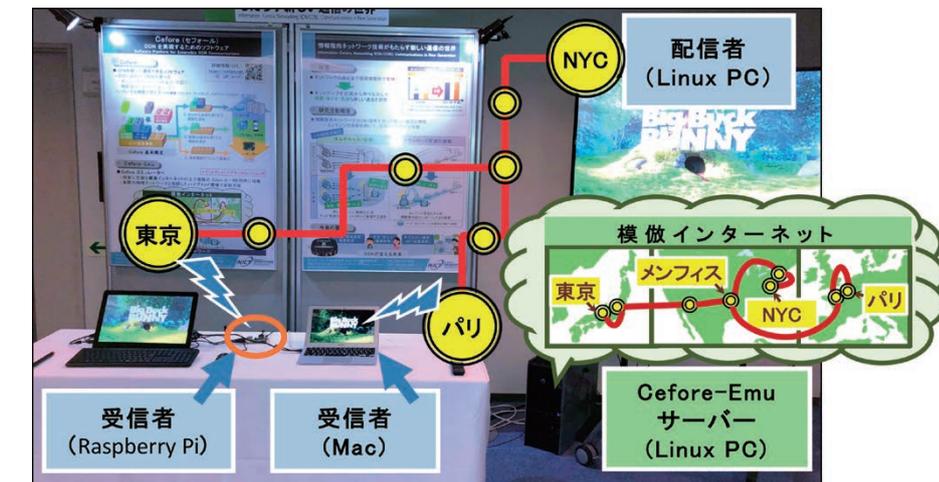


図2 Ceforeを導入したエミュレーター(Cefore-Emu)上に模倣インターネットを構築し、ニューヨークからのライブストリーミングをパリ及び東京のCeforeノードが無線アクセスポイント経由で受信している実験の様子。

用に限らずどなたでもご利用いただけます (図2)。

このような標準化活動やオープンソースの展開は、社会実装を念頭に置いた国立の研究機関ならではの重要なミッションだと考えています。

■将来の展望

——ネットワーク基盤研究室の今後の展望は。

原井 自動化は現在いろんな企業の人達と一緒に研究を進めています。また、Ceforeを組み込んだCCNのエミュレーションなども公開し、実証・検証のために企業の皆様に使っていただけるようになっています。そして、10年くらい先には、ネットワーク制御の完全自動化を目指した基礎技術を確認しようと考えています。

朝枝 私たちの研究では、デバイス、例えば光ファイバやルータの速度的限界を超えることはできません。

物理的境界の中で、通信品質と速度を最大限に引き出し、多様なアプリケーションをストレスなく多くのユーザに提供できるような技術を開発することが私たちの仕事です。

ネットワーク技術と言えば目に見えるアプリとデバイスが目立ちがちなのですが、アプリとデバイスをつなぐために必要なネットワークプロトコルや通信ソフトウェアの重要性にも注目していただきたいと思います。ネットワークを使う全てのサービスは、ネットワークプロトコル無しでは成り立たないのです。

私たちは、ネットワークプロトコルを専門に研究する唯一の国立の研究機関として、長期的視野に立った基礎研究を行い、世界トップレベルの研究成果を出し、国際標準化やプロトタイプ実装を通じて社会に貢献していきたいと考えています。

*1 ICN : Information-Centric Networking / CCN : Content-Centric Networking

*2 IETF : Internet Engineering Task Force / IRTF : Internet Research Task Force

*3 ITU-T : International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector

情報指向ネットワーク技術の研究開発と応用技術

IPの制約を解き放つ情報流通基盤技術



松園 和久

(まつぞのかずひさ)

ネットワークシステム研究所
ネットワーク基盤研究室
研究員

大学院博士課程修了後、INRIA（フランス国立情報学自動制御研究所）ポスドクフェローを経て、2013年NICT入所。以来、情報指向ネットワーク技術の研究開発に従事。博士（政策・メディア）。

これからの時代に必要とされる新しい通信サービスに対応するため、私たちは、従来のIP通信よりも高速で大容量通信を効率的に実現する「情報指向ネットワーク技術（ICN/CCN）」と呼ばれる新たなネットワークアーキテクチャの研究開発を行っています。本稿では、ICN/CCN技術の背景と特徴、私たちが開発しているソフトウェアプラットフォーム「Cefore」とその応用事例を紹介します。

■ ICN/CCN技術

これまでのインターネット通信は、ファイル転送やメール送信などのように、通信相手（PCやネットワーク機器等）の場所を示すIPアドレスを用いた情報伝達を行ってきました。しかし近年では、頻繁に情報共有を行うSNSやスマートフォンを用いた高品質映像の送受信、家

電からロボットまで様々なセンサーがつながるIoTなど、通信サービスの変化は目を見張るものがあります。このような新しい通信サービスにおいて、常にIPアドレスを用いて遠方にあるサーバへアクセスするよりも、受け取りたい情報を保持する最も近い相手を探し、そこから情報を直接取得する方がより効率的で迅速な通信ができます。

情報指向ネットワーク技術（ICN若しくはCCN）と呼ばれる新しい通信方式では、IPアドレスではなく、情報そのものを示す識別子（コンテンツ名など）を用いて通信を行います（図1）。ICNはサーバの場所を調べてアクセスしなければならないこれまでのIP通信の制約を排除すると同時に、ネットワーク内に分散保存（キャッシュ）されている情報を取得することによる応答時間の短縮、さらに同じ情報に対する要求をネットワーク内で集約することで実現する一対多型のマルチキャスト通信や、ネットワーク内の複数経路を利用したモバイル通信などを可能とします。

■ ICN通信を実現するオープンソース・ソフトウェアプラットフォーム Cefore

私たちは、ICNの研究促進と社会展開を見据え、ICN通信を実現するCefore（セフォール）と呼ぶソフトウェアプラットフォームを開発し（図2）、これをオープンソースとして公開しています。

Ceforeの特徴は、ICN基本機能（ICNメッセージ転送をつかさどるcefnetdデーモン）と拡張機能（キャッシュ機能、ビデオ配信のためのトランスポート機能、モバイル通信機能等）が実装分離されて

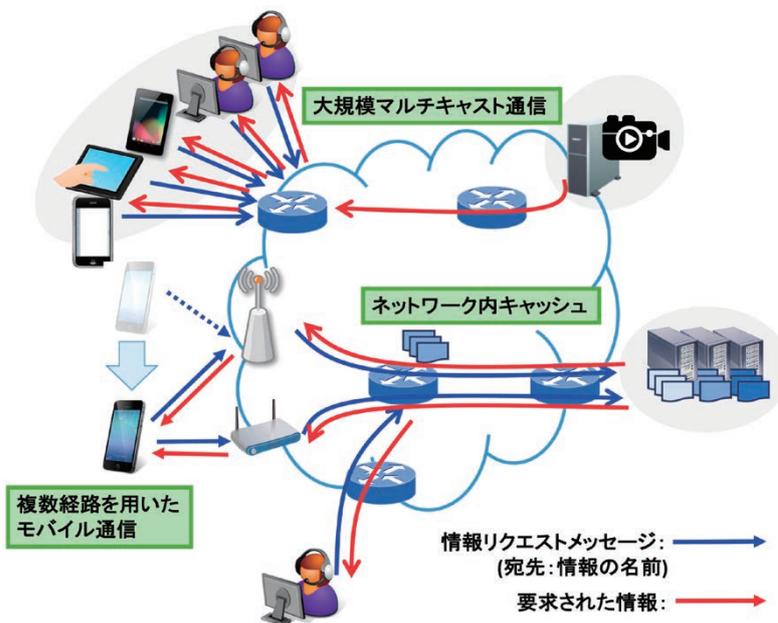


図1 情報指向ネットワーク（ICN/CCN）の概念図

おり、汎用性と機能拡張性に優れている点にあります。ICN通信技術やICNを活用するアプリケーションの開発者は独自に組み込みたい機能をプラグインとして実装し、cefnetdを改変することなくその機能をCeforeに組み込むことができます。また、処理負荷が大きいキャッシュ機能は、ほかの計算機で稼働しているキャッシュ機能と連携することで機能の外出しが可能です。センサー（例えばRaspberry Pi*1）などの計算機資源が乏しい環境では、軽量なcefnetdのみをインストールすることでICN通信が行えます。

■ Ceforeを使った応用例

私たちはCeforeを用いてICN通信の特徴や利点を生かした様々なユースケースの実証に取り組んでいます。例えば、「一対多」大容量・高速マルチキャスト通信が挙げられます。図3は、一般的なHTTPストリーミングとCeforeによるマルチキャスト配信の実験概要を示しています。1本のビデオストリームの帯域は約1 Mbpsであり、ボトルネックリンクの帯域は1.5 Mbpsであるため、マルチキャスト配信可能な場合はデータ損失が発生しない環境となっています。しかし、

HTTPストリーミングではマルチキャストが行えず、ビデオストリームの合計帯域がボトルネックリンクの帯域を超え、映像が頻繁に停止します。その結果、映像コンテンツの実際の再生時間軸と比較して約20秒遅れた再生となっています。一方Ceforeでは、継続的なマルチキャスト配信が可能となるため、データ損失に影響されない実際の再生時間軸にて映像再生が可能です。

ほかには近接通信への応用が挙げられます。NICTオープンハウス2019では、コネクテッドカー*2を想定し、Ceforeを搭載した移動ロボットのデモを行いました（図4右）。移動ロボットと道路を監視して情報を伝えるセンサーは、CeforeがインストールされたRaspberry Piを搭載しています。移動ロボットは、「ccn:/近くの情報」という「情報の名前」を指定した要求メッセージを送信するだけで、サーバを介さずに片側通行やスリップ注意情報のようにすぐに対応が必要な情報を迅速に取得可能です。図4左の例は、手前の移動ロボットは奥に進んでおり、センサーからスリップ注意情報を受信し、速度を落とし安全に運転を行います。また、対向して進んでくる奥の移動ロボットとすれ違う際に、スリップ注意情報伝えると、奥の移動ロボットはセンサーと通信する前から情報を取得し安全に運転できます。

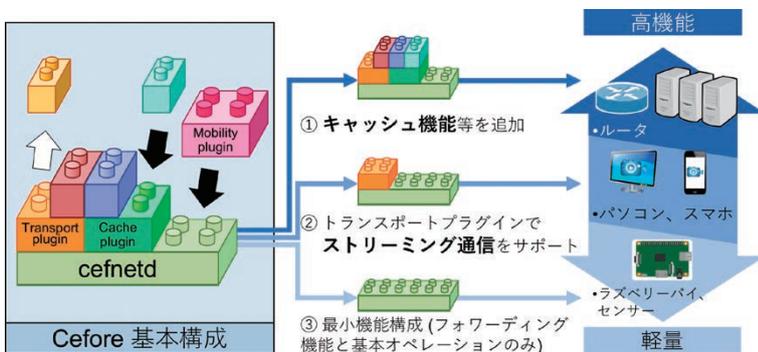


図2 Ceforeソフトウェアの概要図

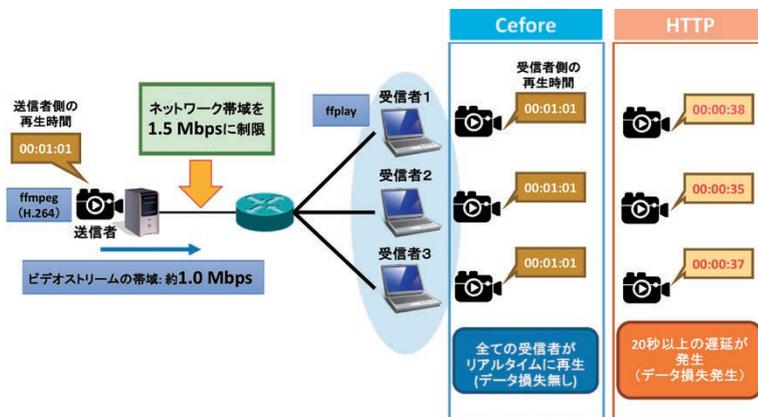


図3 HTTPストリーミングとCeforeストリーミング配信の比較

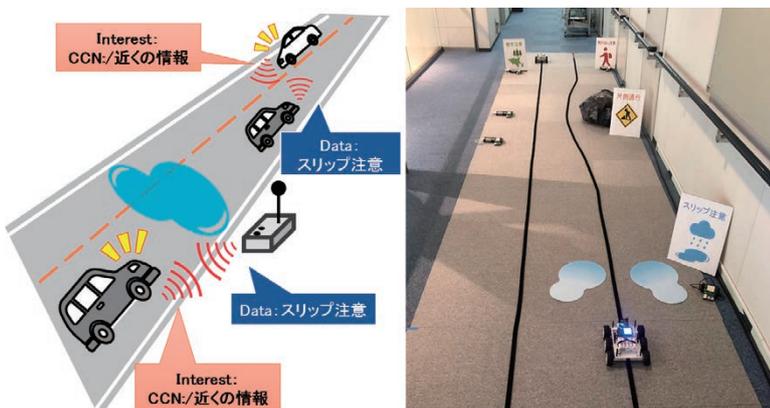


図4 (左) Ceforeによる近接通信の例、(右) NICTオープンハウス2019での移動ロボットを用いた近接通信デモの様子

■ 今後の展望

ICN/CCN通信は、5Gの中心的特徴であるIoTサービスや大容量・高速・超低遅延通信に貢献できます。私たちは、今後もICN技術の応用研究開発、そしてオープンソースの進化や技術普及に必要な国際標準化活動を通して、技術の優位性実証と普及に向けた活動を進めていきます。

*1 IoT機器として広く用いられているカードサイズのシングルボードコンピューター。標準OS「Raspbian GNU/Linux」は、デスクトップ環境や様々なプログラミングツールをサポートしている。
*2 情報通信システムを搭載した自動車。道路に設置された対応機器と自動車とが通信を行う路車間通信や自動車同士が通信を行う車車間通信により、様々な情報のやり取りを行う。

AIによるサービス機能チェーンの資源自動管理

自然言語処理で用いられる手法を仮想ネットワーク構築に応用



平山 孝弘

(ひらやま たかひろ)

ネットワークシステム研究所
ネットワーク基盤研究室
研究員

大学院修了後、2013年NICT入所。光パケットスイッチ、Software Defined Networking (SDN)、ネットワーク機能仮想化技術 (NFV) などに関する研究に従事。博士 (情報科学)。

IoTサービスをはじめ多種多様なサービス品質要求へ柔軟に対応できるネットワークインフラの構築に向けて、ネットワーク機能仮想化技術が目覚ましい発展を遂げています。一方、サービスの多様化に伴いインフラ運用の複雑さが増しています。そこで、インフラ運用にAI技術を活用したネットワーク資源の自動制御を行い、限られた人的資源で円滑なサービスを提供するための研究開発を行っています。

■サービス機能チェーン(SFC^{*1})技術

5Gの導入やIoT機器の普及に伴う、多種多様なサービスの創出が期待されています。例えば、環境センサのような小容量の通信ながら膨大な数のデバイスが通信するサービス、4K/8K映像やVR/ARのための大容量データを通信するサービス、自動運転や遠隔医療のような高信頼性と低遅延が求められるサービスなど、サービスごとに求められる品質 (QoS^{*2}) は多岐にわたり、ネットワークインフラはこれらの品質要求に柔軟に対応することが求められます。

多様なQoS要求に対応するため、SDN^{*3}やNFV^{*4}(ネットワーク機能仮想

化技術) などの研究開発が進んでいます。我々の研究グループでは、NFV技術を応用した、サービス機能チェーン技術に注目しています(図1)。SFC基盤では、末端のサーバからユーザまでの経路上にある複数台のサーバが連携(チェーン)してデータを処理します。データの処理を行うサーバを、状況に応じて切り替えることで、有限な計算資源の有効利用を図りつつ、需要の変化にも追従できる資源制御機構を備えたインフラを実現できます。

一方、SFC基盤におけるQoSの維持には、サービスの種別、時間帯、需要などの状況の変化に合わせて、適した量の資源(CPUなど)を割り当て続けることが肝要です。そこで本研究開発では、SFC基盤の制御にAIを活用し判断に要する時間を短縮することで、QoSを維持することを目指しています。

■サービス機能チェーンにおける自動資源管理機構

我々の開発するSFC基盤では、下記の3段階の資源調停/機能移行(図2)を行い、サービス品質を維持します。今回は、特に③を実現するためのAI活用に

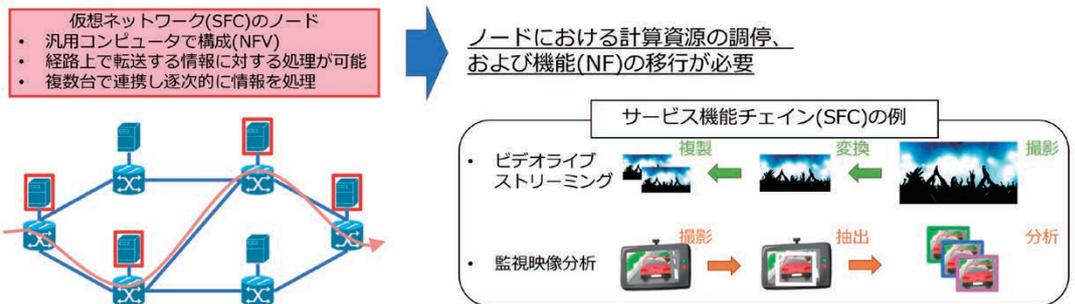


図1 サービス機能チェーンニング及びその例

*1 Service Function Chaining
*2 Quality of Service
*3 Software Defined Networking: ネットワーク機器の転送ルールをソフトウェアにより柔軟に定義できる技術
*4 Network Function Virtualization: ネットワークの機能をソフトウェア化することで、柔軟な実装・改修が可能になる技術

ついて紹介します。

①サーバ内資源調停

あるサービスが要求する資源量が増加した場合、同じサーバ内に共存する他のサービスに割り当てる資源量を減らし対応します。サーバ内で資源量を調整するだけなので素早く対応できますが、対応できる要求量の振れ幅には限りがあります。

②チェーン内機能 (NF^{*5}) 移行

①で資源不足が解消しない場合、同じチェーンを構成する他サーバに機能 (NF) を移行させます。経路 (パス) は維持しつつNFを移行する方式で、選択肢を絞ることで解探索の時間を短縮できます。

③サービス機能チェーンの再構成

①、②の方法で、いつも十分な資源を確保できるとは限りません。その場合、ネットワーク全体からサーバを選び、経路を変更しチェーンを再構成します。ただし、考えられる組

合せは膨大で、解探索には時間がかかります。また、経路の切替えを行う必要もあり、再構成にかかる時間は②に比べると長くなります。

特に③サービス機能チェーンの再構成では、NFを「いつ」「どこへ」移行するかを無数の選択肢の中から素早く判断しなければなりません。そのために、我々の研究グループでは、AIの活用を試みています。

■エンコーダ・デコーダRNNによるチェーンの再構築

図3は、AIを用いてNFを「いつ」「どこへ」移行するかを決定する過程を表しています。このAIは、時刻 $t=t_0$ 時点の、各サーバの利用状況 (資源量)、サービス需要の予測などを基に、時刻 $t=t_1$ 以降の各NFを配置するサーバを決定します。 $t=t_1$ の段階でNF A-1をサーバSRV-2ではなく、SRV-3へ移行すれば、図中赤色の

線のようにA-1の移行頻度が軽減されます。AIにより、数ステップ先のNF移行の要否を見据えて移行先と移行する時期を決定し、QoSの維持を目指します。

AIの学習モデルは、図4の言語翻訳用に考案されたエンコーダ・デコーダ型リカレントニューラルネットワーク (RNN^{*6}) を用いています。RNNは、過去の入力記憶を参照しつつ現在の出力を決定する仕組みであり、過去/現在/未来 (予測) の需要の時系列データを基にNF移行する・しないを判断するのに有効です。GRU^{*7}セルにより、過去の入力情報を記憶しています。エンコーダ・デコーダで1つの入力データを2度読み込み、適切な解を出力します。

図3の問題において、様々な「需要変動データ、サーバ容量」の組合せに対する、最適な「NFの移行時期、移行先」を整数計画法^{*8}で求め、教師データとして教育することで、ランダムな配置決定やDNN^{*9}を代用した場合に比べて、少ない移行回数で、資源不足を抑えられます。この評価は数台程度の小規模なネットワークを対象としています。今後、数十台程度の大規模かつ複雑なネットワークへ適用すべく改良し、NICT総合テストベッドの大規模IoTサービステストベッド (JOSE) 上での実機実証へ向けた準備を進めています。

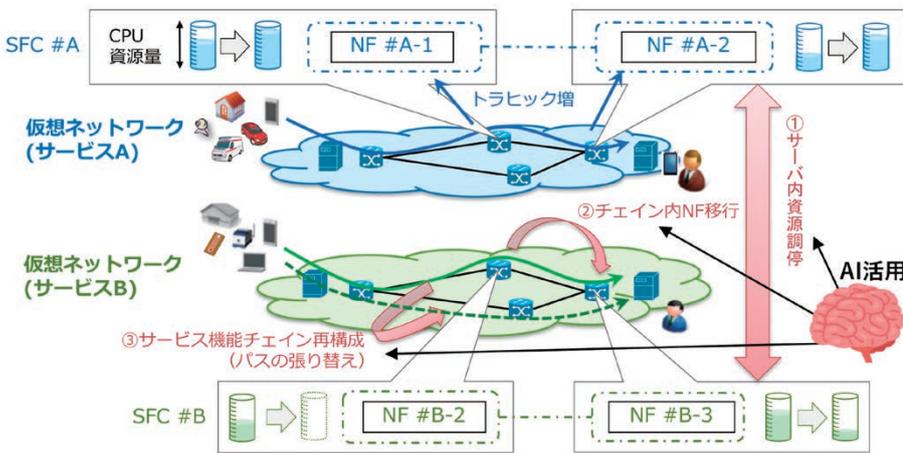


図2 AIを用いたサービス機能チェーン自動資源制御技術

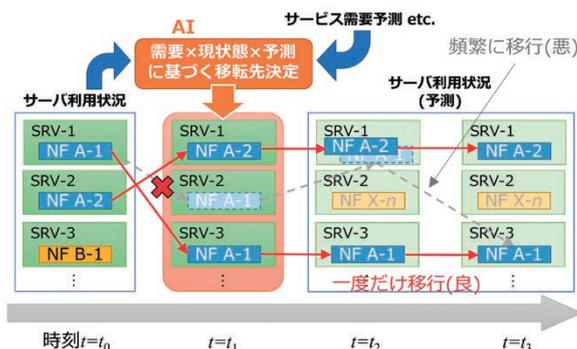


図3 サービス機能移行を自動で計画するAI

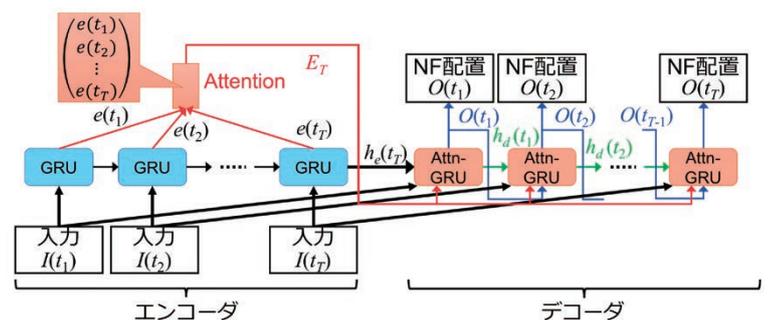


図4 エンコーダ・デコーダRNN

*5 Network Function
 *6 Recurrent Neural Network
 *7 Gated Recurrent Unit
 *8 制約条件 (サーバの容量や移行にかかるコストなど) を満たす範囲で、目的関数 (移行回数・資源不足量) を最小にする、各NFとNFを配置するサーバの組合せを求める手法。
 *9 Deep Neural Network

IoT時代を支えるエッジコンピューティングインフラの実現に向けて

応答性能と省電力の両立



山中 広明

(やまなか ひろあき)

ネットワークシステム研究所
ネットワーク基盤研究室
研究員

大学院修了後、2011年NICT入所。同年4月より現職。ネットワーク仮想化技術、エッジコンピューティング技術の研究に従事。博士（情報科学）。

IoT時代には、カメラセンサ、AR/VRや自動運転等、膨大な通信トラフィック、サーバの低遅延応答を必要とするアプリケーションが期待されています。これらを実現するには、クラウドの大規模データセンタに加え、エンドユーザの近隣に設置したサーバを活用するエッジコンピューティングが有効です。本研究で提案するインフラシステムは、応答性能と省電力を兼ね備え、インフラ資源の経済効率性向上に貢献します。

IoT時代のコンピューティングインフラ

IoT時代には、多くのセンサ（気象センサ、カメラ等）やアクチュエータ（ロボット、家電、自動車等）といった、様々なモノがインターネットに接続されます。モノは処理能力やバッテリー容量が

限られているため、多くの処理はインターネットを經由してサーバ上で実行されます。このため、クラウドのデータセンタに多くのデータが集中して、データセンタやインターネットを構成する広域ネットワークの帯域を圧迫する問題が生じます。また、エンドユーザデバイスから遠く離れたクラウドのサーバとの通信には、数十～数百ミリ秒程度の通信の往復時間が必要になります。この往復時間は、IoTのアプリケーションとして期待されているコネクテッドカー（常時接続機能搭載車）、AR（拡張現実）／VR（仮想現実）等にとって長すぎる遅延です。

そこで、エンドユーザデバイスの近く（ネットワークの端「エッジ」）に設置したサーバ（以下、エッジサーバ）を用いてサービスを行うエッジコンピューティングの実現が期待されています（図1）。具体的には、携帯電話事業者網の無線基地局内や市内電話局舎に設置されたエッジサーバ上で、カメラ画像の解析、AR/VRにおける画像レンダリング（データを基にした画像生成）等を行い、アプリケーションサービスを実現します。エッジサーバを用いれば、数～数十ミリ秒程度の往復時間で通信可能となります。また、近隣のネットワークだけでほとんどの通信が完結するため、データセンタや広域ネットワークの通信トラフィックを削減できます。

エッジコンピューティング実現のための課題と解決手法

エッジコンピューティングでは、エッジサーバの配置をいかに行うかが課題です。エッジサーバを多数配置すると応答

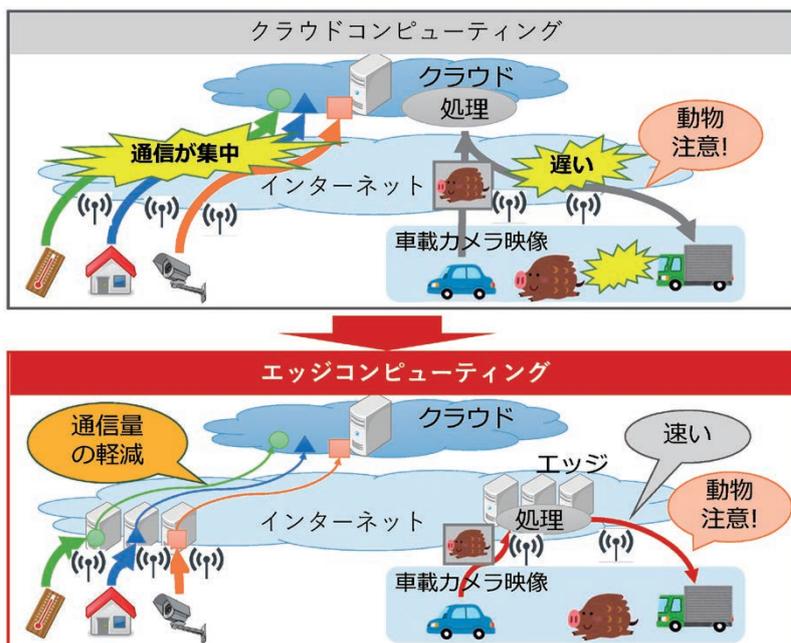


図1 エッジコンピューティングの概要

性能は良くなりますが、インフラ整備コストが膨大になり、消費電力量が多く運用コストが増します。

一般的にインフラ整備コスト削減のためには、サーバ仮想化技術を利用し、エッジサーバ1台上に論理的に独立した複数の仮想サーバを配置します。このとき、複数のアプリケーションサービス運用者間でエッジサーバを共有することで、インフラ整備のコストを削減できます。

通常、エッジコンピューティング向けのインフラシステムでは、エンドユーザデバイスに最も近い位置にあるエッジサーバ上に仮想サーバを配置します。このため、一部の応答性能を重視しないアプリケーションサービスにとっては、仮想サーバとエンドユーザデバイスの往復にかかる通信時間が不必要に短くなります。また、多数存在するエンドユーザデバイスに最も近い各地点に仮想サーバを配置するため、稼働するエッジサーバ数

が過剰になり、消費電力が大きくなるという問題が発生します(図2)。

本研究では、通信時間を適正化して消費電力を削減するため、アプリケーションサービスの許容応答遅延を満たす範囲で、端末に最も近い位置以外の仮想サーバを利用し、起動するエッジサーバを集約することで稼働数を減らし、インフラ全体の消費電力量を削減します。

■仮想リージョンに基づく資源割当管理

本研究では、1つの無線基地局に複数のエッジサーバが配備されるエッジコンピューティング環境を想定し、仮想サーバを配置するエッジサーバを集約可能とするための「仮想リージョン」と呼ばれるモデルを提案しています(図3)。仮想リージョンは、データ解析手法のひとつであるクラスタリングによる無線基地

局のグループとして定義されます。具体的には、アプリケーションサービスの許容応答遅延内で、同一のエッジサーバと通信できる無線基地局が複数存在するとき、これらの無線基地局をグループ化します。1つのグループに属する無線基地局ができるだけ多くなるようにグループ分けして、仮想リージョンを決定します。

その結果、全体の仮想リージョン数は少なくなります。1つの仮想リージョンに多くの無線基地局を含むことで、同一のエッジサーバから多くのエンドユーザデバイスに許容応答遅延内で通信することができます。このため、仮想サーバ及び起動が必要なエッジサーバを全体として少なくでき、消費電力が削減可能となります。

この仮想リージョンを用いた人口10万人規模の都市におけるエッジコンピューティングインフラを想定したシミュレーションでは、既存手法と比較し、最大で60%程度の省電力化の効果が得られることを確認しました(図4)。このとき、仮想リージョンによって、アプリケーションサービスが求める低遅延応答性能は全て満たした状態となります。

■今後の展望

今後は、仮想リージョンに基づく資源管理機能を様々な既存のインフラに対応できるように実装し、多地点、多数のエッジサーバ資源を効率的に管理する実用的なインフラシステムの実現を目指します。



図2 既存研究における仮想サーバ配置

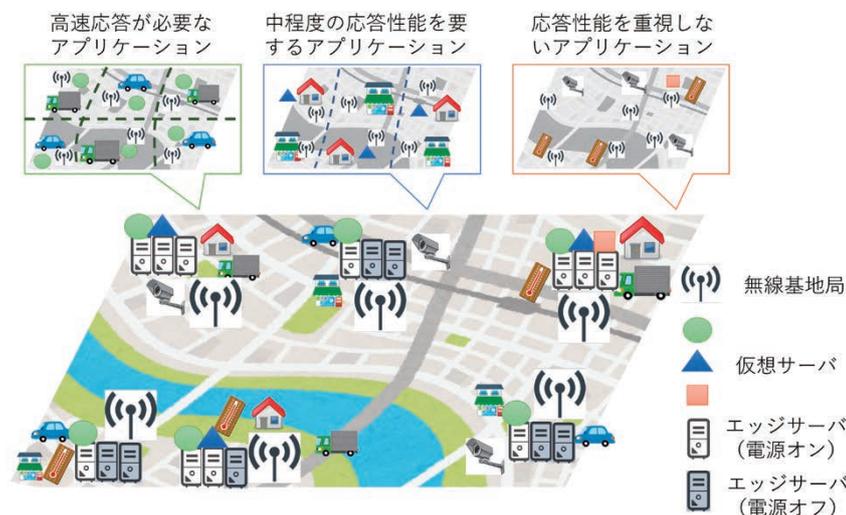


図3 仮想リージョンに基づく仮想サーバ配置

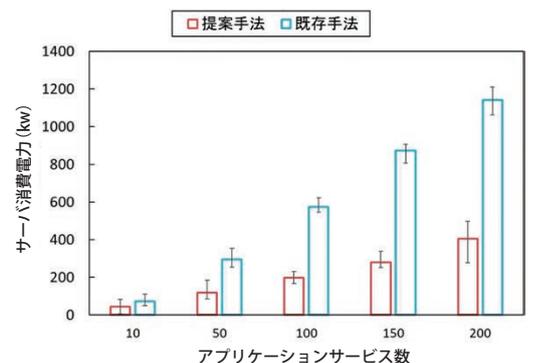
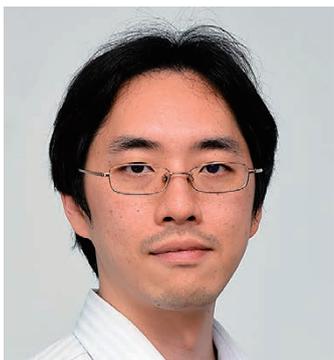


図4 シミュレーションによる消費電力評価

空間分割多重型光ネットワーク技術

柔軟・高効率な光ネットワークを目指して



廣田 悠介

(ひろた ゆうすけ)

ネットワークシステム研究所
ネットワーク基盤研究室
主任研究員

大学院博士課程修了後、2008年大阪
大学大学院助教を経て、2017年NICT
入所。光ネットワークに関する研究に
従事。博士（情報科学）。

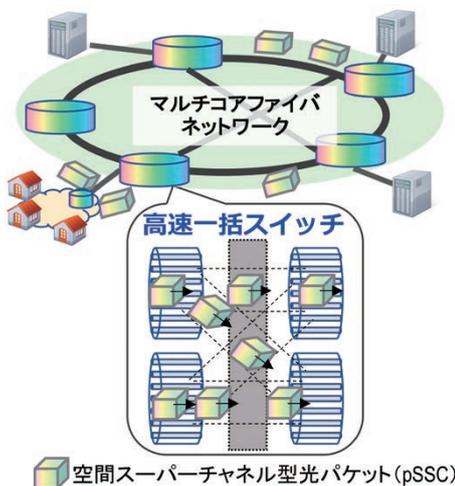


図1 空間分割多重型光ネットワーク

本格的なIoTや超高精細映像伝送などを控え、通信サービスを支える光ネットワークは、これまで求められてきた通信容量増大に加え、信頼性、低コスト・低消費電力、さらには低遅延特性など多岐にわたる要件が求められています。本稿では、将来の光ネットワーク基盤に向けて、高度に発展してきている光デバイス技術とネットワークサービスをつなげる技術として、我々が取り組んでいる空間分割多重技術*1を用いた光ネットワークの一部を紹介します。

■光ファイバネットワーク

普段目にする様々なマンション、高層ビルなどは全てしっかりした基礎工事の上に成り立っています。通信ネットワークも同様で、多種多様なネットワークサービスを実現するためには、土台となるネットワークが頑強かつ高性能であることが必要不可欠です。しかしながら、現在普及している光ファイバネットワークは、帯域の割当てなど様々な点で固定的で局所的な通信需要急増への対応などは困難であり、通信容量にも限界が見えつつあります。そこで、様々な基礎研究、デバイス開発とともに、多種多様なネットワークサービスの要求を満たす革新的な光ネットワーク技術が期待されています。我々は、柔軟性・大容量性・低コスト・低消費電力といった様々な要求条件に対して、光ファイバの空間チャンネルを利活用し、多様なネットワークサービスと物理的な光デバイスをつなぐ空間分割多重技術のひとつである、空間スーパーチャンネル型光ネットワークを提案しています。

■空間分割多重技術とpSSC

1本の光ファイバに複数の信号を多重化する技術のひとつとして空間分割多重技術の研究が盛んに行われています。従来の研究では、個々の波長・空間チャンネルを各通信（光パス・光パケット）が個別に用いる形態を想定し、ネットワークの中継ノードでは、個々の波長・空間チャンネルに毎回分離して交換処理を行い、多重し直して伝送しています。そのため、空間・周波数チャンネルの多重数が増加するに従って多数の光デバイスが必要となり、ノード構成が大規模複雑化するとともにコストの増大が懸念されています。

我々は、この課題に対して光ネットワークの更なる大容量化・低遅延化・低コスト化を実現するべく、空間スーパーチャンネルを用いたタイムスロット型の光パケット（pSSC*2）スイッチングを研究しています（図1）。空間スーパーチャンネルとは、複数の空間チャンネルを1つの通信が同時に利用する形態です。中継ノードでは複数の空間チャンネルを一括スイッチができ、スイッチ構成を簡素化することが可能となります。

■空間スーパーチャンネルを用いた一括スイッチングと衝突回避

光パケットスイッチでは、パケット同士が衝突しないように切り替える技術が重要です。そこで、一括スイッチングを用いたファイバ内衝突回避手法を開発し、その機能を検証しました（図2）。実験用に生成したpSSCが、19コアマルチコアファイバを通して中央の2×2光スイッチノードの入力ポート1に入力さ

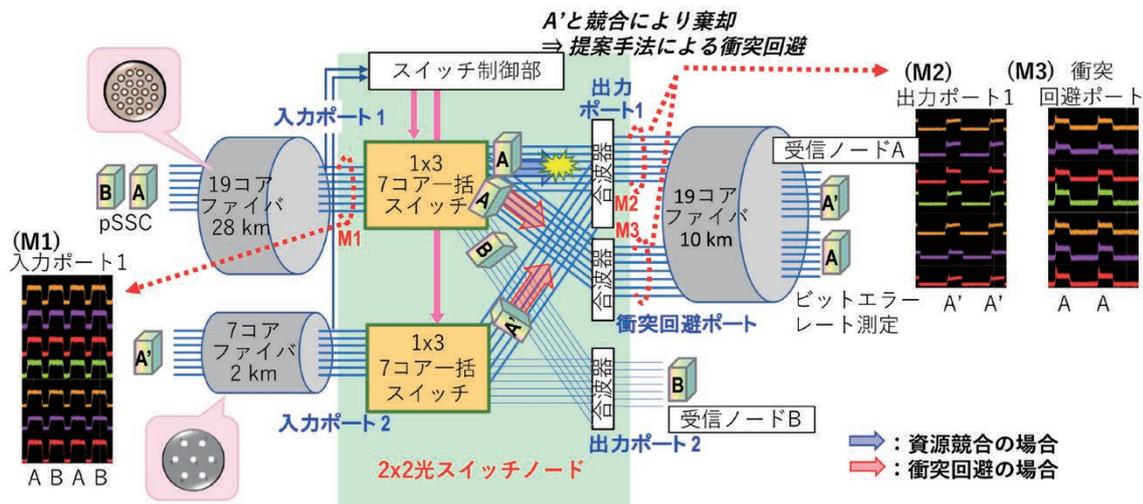


図2 空間スーパーチャネル一括スイッチにおける衝突回避機能実験
50 GHz間隔で64波長多重した光信号を生成、パケット間のガードタイム80ナノ秒で送信。測定点M1, M2, M3で信号を測定し、衝突回避機能の動作を確認。

れると、入力ポート2からの別の信号と競合します。もし同じチャンネルに2つの信号を送信すると、信号が重なり正しく復号ができません。そこで、図2右のように同じファイバの別の空間チャンネルにスイッチすることでこの競合を回避し、信号品質に問題ないこと*3を確認しました。この機能により、バッファリングや迂回経路伝送による遅延を生じさせることなく、通信を継続することが可能となります。

小規模なノード間での伝送の場合、より多くの空間チャンネルのスイッチングを一括に扱うことでスイッチの規模を小さくすることができるというメリットがあります。一方で、多数の空間チャンネルを全て一括して扱うことは、pSSCのパケット長が短くなることから超高速に動作する高価なスイッチデバイスが必要となるなどのデメリットも存在します。さらに、

よりマクロな視点でネットワーク規模の通信を考えると、多数の地点から送信されるデータ間の競合、迂回経路による遅延・スループットの劣化などの問題が発生します。そこで、動画のように大きなデータは空間チャンネルを複数使って伝送し、小さなセンサデータなどは細粒度チャンネルで伝送することで、スイッチ規模と衝突回避性能のトレードオフを調整可能な空間チャンネルスライシングを提案しています(図3)。本提案を評価した結果を図4に示します。空間チャンネルのスライスの仕方によってpSSC棄却率に大きな差が出ることを確認して、最適なスライスの仕方を算出することにも成功しています。このように、物理デバイスの特徴を考慮したネットワークング技術を活用することにより、空間チャンネルの大容量性とスイッチの小規模化を両立しながらネットワーク全体での柔軟性や効

率性を向上させることが期待できます。

■より柔軟な光ネットワークを目指して

環境の変化に柔軟に対応可能な光ネットワークを実現するためには、様々な課題が残されていますが、その中でも輻輳・障害対策は将来の光ネットワークを考えるうえで避けては通れない必須課題であると言えます。光ネットワーク特有の物理的な特性を考慮した輻輳・障害に強いネットワークング技術の研究を進めていく予定です。

*1 光ファイバの複数モードを利用、あるいは、光ファイバ自体に複数のコアを持たせたマルチコアファイバを用いることで、複数の信号を並列伝送することが可能。
*2 Optical Packet Spatial Super Channel
*3 ビットエラーレートが、前方誤り訂正でエラーフリーとみなされる 10^{-3} より十分に小さい。

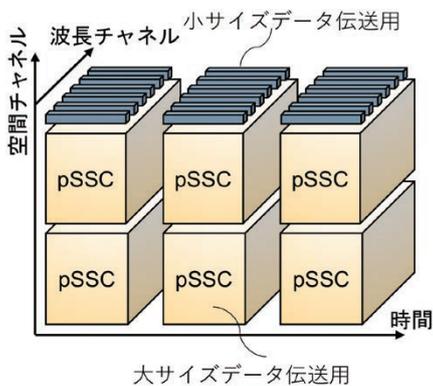


図3 pSSCのイメージ

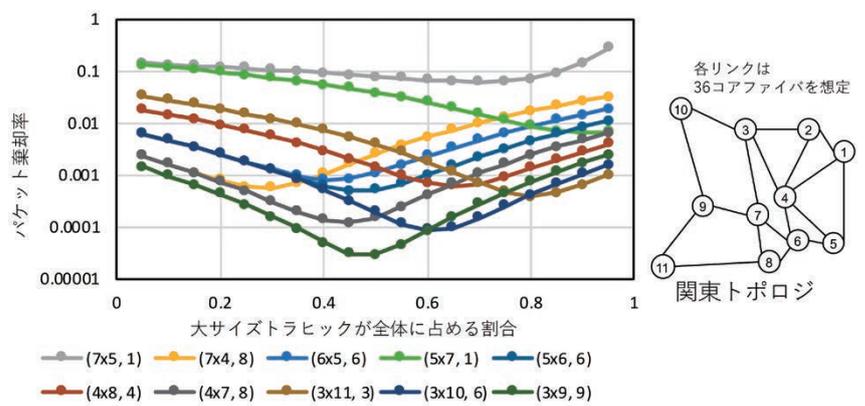


図4 空間チャンネルスライシングのネットワークシミュレーション結果
縦軸はパケット棄却率、横軸は動画像などの大容量データ通信がトラフィック全体に占める割合。凡例の(n1 × n2, n3)は、n1コアをスーパーチャネルとして扱いn2スライス用意し、残りのn3チャンネルを個別空間チャンネルとして交換処理するケースを表す。

「情報通信研究機構 新技術説明会」を開催

7月18日、科学技術振興機構（JST）東京本部別館ホールにおいて、「情報通信研究機構 新技術説明会」をNICTとJSTの共催で開催しました。新技術説明会は、公的研究機関から生まれた研究成果の実用化を目的に、研究者自らが企業関係者に向けて、直接プレゼンする特許の説明会です。今回、3Dディスプレイ技術、ドローンや5Gの関係、暗号技術とAI、光デバイス・量子、バイオの分野から計9件の新技術（表）について、発明者である研究者から、学会発表とは異なり、従来技術・競合技術との比較、新技術の特徴、想定される用途などを説明しました。また、プレゼンの最後には企業への期待を示すことで、連携パートナー募集をアピールするスタイルとしました。

本説明会には、大企業や中小企業の方々を中心に約380名の申込みがあり、当日も多くの来場者でにぎわいました。各発表終了後には、それぞれの発表に興味を持った企業担当者と研究者とで名刺交換が行われ、9件の発表で延べ145社に達しました。

新技術のいくつかは、後日になっても面談希望が寄せられ、試作品の見学や打合せが続いています。また、今回発表した個別の技術に関して複数の大手メディアでも取り上げられ、実現イメージや実用化に向けた取組予定を含めて紹介されま



発表会場での講演の様子（JST東京本部別館ホール、市ヶ谷）

した。今後、この説明会での講演が共同研究等に結び付き、研究成果の社会展開のきっかけとなるなど、産業界との連携の実現を期待しています。

〈連携・ライセンスについてのお問い合わせ先〉

イノベーション推進部門 知財活用推進室

TEL: 042-327-6950 FAX: 042-327-6659

Mail : ippo@ml.nict.go.jp

表 新技術発表一覧

技術	発表タイトル	発表者
(1)	ライトフィールド3Dディスプレイ用ホログラムスクリーンの作製技術	電磁波研究所 電磁波応用総合研究室 主任研究員 涌波 光喜
(2)	テーブルの全周から観察できる裸眼3Dディスプレイ技術	ユニバーサルコミュニケーション研究所 情報利活用基盤総合研究室 主任研究員 吉田 俊介
(3)	ドローン等の移動可能な飛行体を使用した位置推定技術	ワイヤレスネットワーク総合研究センター ワイヤレスシステム研究室 主任研究員 小野 文枝
(4)	5G/LTE技術を活用した安価なスポットサービス提供	ワイヤレスネットワーク総合研究センター ワイヤレスシステム研究室 研究員 伊深 和雄
(5)	暗号技術とAIの融合による秘密計算技術	サイバーセキュリティ研究所 セキュリティ基盤研究室 主任研究員 レチュウ フォン
(6)	ファイルの安全な追加・削除・検索が可能な検索システム	サイバーセキュリティ研究所 セキュリティ基盤研究室 研究員 渡邊 洋平
(7)	自動車などの高温環境下でも安定に動作する光デバイス	ネットワークシステム研究所 ネットワーク基盤研究室 研究員 松本 敦
(8)	量子コンピュータの実用化に貢献する量子ビット間の結合回路	未来ICT研究所 フロンティア創造総合研究室 主任研究員 吉原文樹
(9)	医薬品開発等に役立つ特定分子の生細胞内での機能解析法	未来ICT研究所 フロンティア創造総合研究室 研究マネージャー 小林 昇平

■関連 URL

・JSTによるアーカイブページ https://shingi.jst.go.jp/list/nict/2019_nict.html

情報指向ネットワーク技術の実社会への展開に向けて



大岡 睦

(おおおか かつし)

ネットワークシステム研究所
ネットワーク基盤研究室
研究員
博士 (情報科学)

● 経歴

- 1990年 兵庫県にて誕生
- 2012年 大阪大学基礎工学部情報科学学科中退 (早期卒業)
- 2017年 大阪大学大学院情報科学研究科博士後期課程修了、NICT入所
- 2018年 現職

● 受賞歴等

インターネット技術第163委員会新世代ネットワーク構築のための基盤技術研究分科会 最優秀賞

一問一答

Q 研究者になってよかったことは？

A 学生時代にはなかった広い視野や人脈、また実用的な観点で、実際に社会に役に立つもののために研究ができることです。

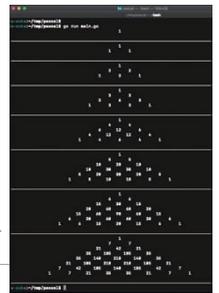
Q 研究者志望の学生さんにひとこと

A 自分の好きなことを続けていくという覚悟が大事だと思います。そのために努力しつつ、ポジティブな姿勢で人を惹きつける、好循環を作りましょう。

Q 休日の過ごし方は？

A 技術書籍を読む、新しいプログラミング技術を試す、友人とネットで話しながらゲームで遊ぶなどです。

go 言語を用いたパスカルのピラミッド



新 たなネットワーク技術として注目を集めている情報指向ネットワーク技術 (ICN/CCN) では、その高機能さゆえに、従来のIPルータとは異なり高性能化と高速性の両立が困難であるとされています。私は大学院在学時に、その課題解決のための研究に取り組んでいましたが、その中で、NICTがICN技術に早い段階から着目し、その研究成果を世界に発信しているだけでなく、CeforeというICN通信プラットフォームの開発・公開を行うなど、社会展開を含めた研究

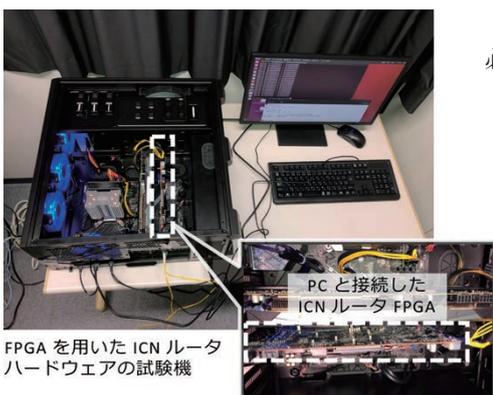
活動を行っている姿勢に惹かれてNICTに入所しました。

入所後は、ICNをセンサーネットワークへ適用する際の効率的な経路制御方式を研究しつつ、Ceforeの発展・公開に寄与しています。例えば、プログラミング言語のPythonを用いてCeforeを使ったアプリケーション開発を容易化するためのライブラリcefpycoを作成して、電子情報通信学会ICN研究会のハンズオンで講師を務めて公開するといった活動を行い、非常に好評を博しています。

現在、高速なハードウェアルータの必要性に鑑みて、実社会のUHD (Ultra-

High Definition: 超高画質) 動画配信サービス等に利用可能な通信速度を実現するルータの研究開発に着手しています。ハードウェアは高速ですが機能の追加・拡張は難しいため、FPGA (Field Programmable Gate Array: プログラマブルハードウェア) を用いてルータを実装しながら、高速性と機能拡張性を両立する技術の研究を進めています。

ICNアプリケーションの開発支援だけでなく、実社会のサービスに適用可能な高速通信技術基盤の研究開発にも取り組み、より良いネットワークの実現を目指していきます。



FPGAを用いたICNルータハードウェアの試験機

C言語版	Python版
<pre> 1 #include <stdio.h> 2 #include <stdlib.h> 3 #include <unistd.h> 4 #include <ccp.h> 5 #include <cefcore/cef_define.h> 6 #include <cefcore/cef_client.h> 7 #include <cefcore/cef_frame.h> 8 #include <cefcore/cef_log.h> 9 10 int main(int argc, char *argv[]) { 11 CefContextHandle hCtx; 12 CefContext_TLVs params; 13 int res; 14 cef_log_init ("cefpyco"); 15 cef_frame_init (&); 16 res = cef_client_init (port_num, conf_path); 17 if (res < 0) return -1; 18 hCtx = cef_client_connect (); 19 if (hCtx < 0) return -1; 20 hConn = (params.h_ & sizeof(CefContext_TLVs)); 21 res = cef_frame_conversion_uri_to_name (CefContext_TLVs, params_i.name); 22 if (res < 0) return -1; // failed to convert URI to name. 23 params_i.name_in = res; 24 params_i.hoplimit = 0; 25 params_i.opt_lifetime = 1; 26 params_i.opt_lifetime = 0x00000000; // 4 seconds * 27 params_i.opt_symbolic_f = CefContext_TLVs; 28 params_i.chunk_num = 1; 29 params_i.chunk_num = 0; 30 cef_client_interest_low (hCtx, hConn); 31 if (hCtx > 0) cef_client_close (hCtx); 32 return 0; 33 } </pre>	<pre> 1 import cefpyco 2 3 with cefpyco.create_handle() as h: 4 h.send_interest("ccn/test", 0) </pre>

33行 → 4行

単純なパケット転送コードの比較 (左: オリジナルのコード、右: cefpycoを用いた場合)



施設 一般公開

**入場
無料**

令和元年

11月23日(土・祝)

10:00▶16:30

(受付は16:00まで)

NICTオープンハウス 2019 in 沖縄

実験・体験コーナー

レーダ鉄塔見学ツアー

対象年齢：小学生以上。お子様は保護者の同伴をお願いいたします。ハイヒール、草履では登れません。

ラジオゾンデ放球実演(琉球大学理学部)

1回目 10:30～、2回目 13:00～、3回目 15:30～

紙コップスピーカー工作 (11:00)・オルゴール工作 (15:00)

※小学生以上 当日受付 先着各10名

宇宙天気予報と地球磁場イメージ観察工作

ひまわり衛星のデータをゲームで体験!

アマチュア無線局の公開運用

(日本アマチュア無線連盟沖縄県支部)

※悪天候の場合、屋外イベントは中止します。



電波学習コーナー

おもしろ電波教室

ラジオ作り 14:00～16:00

(対象：小学4-6年生及び中学生)

※当日受付 先着25名

電波のことをたのしく学んでラジオを作ろう



不法無線局探索車 &
 電波発射源可視化装置の展示
 総務省沖縄総合通信事務所



沖縄電磁波技術センター
 沖縄県国頭郡恩納村字恩納 4484
<http://okinawa.nict.go.jp/>

科学館・博物館の機能も充実 したNICT本部展示室(小金井)

<https://www.nict.go.jp/publicity/hq-exhibition-room.html>

NICT本部展示室は、ショールームとしての業務紹介を中心としつつも、市民や青少年の方々へ科学技術の知識を普及する科学館の機能と、研究開発の歴史を紹介する博物館の機能にも力を入れています。本コーナーでは、歴史と科学教育に関する展示の一端をご紹介します。



写真1) 電子情報通信学会マイルストーン楯と平磯出張所関連の貴重な資料

- ◆電子情報通信学会からマイルストーン（歴史的偉業）に選定された通信省電気試験所平磯出張所（2016年に閉所したNICT平磯太陽観測施設）の資料として、大正時代の直筆研究報告や、昭和初期の短波無線電話実験時に世界各国のアマチュア無線家から寄せられた交信証や受信レポートを展示しています（写真1）。
- ◆来年1月に開局80周年を迎える標準電波（JJY）は、1977年までは、NICT本部の東約2.5kmにあった小金井市内の送信所から、短波で発射されていました。当時の送信機の心臓部であった大きな真空管（終段管）を展示しています（写真2）。

◆1964年の東京オリンピックは、オリンピック史上初のテレビ衛星中継を、現在の鹿島宇宙技術センターが担いました。NHK提供による当時のニュース映像を上映しています。

◆最新の研究成果等をタイムリーにご紹介するための解説ポスター用スペースを、今年度に新たに設けました。このスペースを利用して、太陽物理学の最新研究成果や、小惑星探査機「はやぶさ2」のミッション紹介、2030年までに世界で取り組む17の「持続可能な開発目標」(SDGs)に関連したクイズなど、最近ホットな科学技術一般に関する企画展示も、期間限定で行っています（写真3）。



写真2) 短波標準電波の送信に使用された真空管



写真3) 今年9～10月に展示したSDGsクイズボード（企画・製作：国際協力機構、展示協力：全国科学館連携協議会）

入場無料で開室は平日のみ（9時30分～17時）ですが、オープンハウスなどの公開行事の際には、土曜日でも臨時開室します。英語解説が可能な専任スタッフが常駐して、海外からのお客様にも対応できるほか、東京2020オリンピック・パラリンピック競技大会に向けてインバウンド対策に力を入れている地元・小平市の観光協会のスタンプラリーに加盟し、これまでNICTにご縁の少なかった市民や観光客の方々も気軽に立ち寄れる施設を目指しています。ぜひ一度お越しください。

国立研究開発法人情報通信研究機構 (NICT)
 東京都小金井市貫井北町4-2-1 TEL:042-327-5392