

## 大学の研究・動向

# 高速性、信頼性、柔軟性を兼ね備えた ネットワークの実現に向けて

情報学研究科 通信情報システム専攻 通信システム工学講座 知的通信網分野

教授 大木 英司  
准教授 新熊 亮一  
助教 佐藤 丈博

## 1. はじめに

昨今のIoT (Internet of Things)、ビッグデータ、AI (Artificial Intelligence, 人工知能) 時代において、高度なネットワーク技術の必要性がますます高まっています。大木研究室は、データを収集する役割を担うスマートフォンやIoTデバイス (ドローンや、自動車、ウェアラブルデバイスも含む)、データを蓄積するデータセンター、そしてデータを計算処理し人々に価値をもたらすクラウドや様々なアプリケーションを相互接続するとともに、データが人々にもたらす恩恵を最大化できるような高速性、信頼性、柔軟性を兼ね備えたネットワークの研究開発を行っています。理論から実装まで幅広いアプローチで取り組んでいます。本稿では、当研究室における代表的な研究トピックについて紹介します。

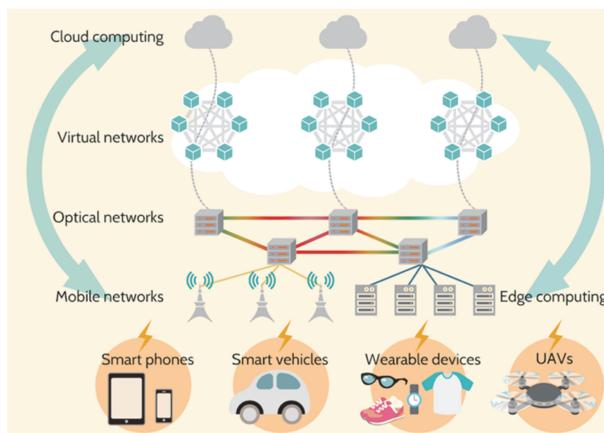


図1 大木研究室のビジョン

## 2. 研究トピック (1) : 光ネットワーク制御技術

光ネットワークでは、光ファイバーケーブル内を流れる波長スペクトル資源を有効に利用してサービスを提供することが求められています。現在主流の波長多重ネットワークでは、実際の伝送容量に関わらず光パスに波長スペクトルを固定的に割り当てます。そのため、異なる伝送容量を要求する光パスが混在した場合、波長スペクトル資源を有効的に利用できません。波長スペクトル資源の利用効率を向上するために、伝送容量、伝送距離、及び、伝送速度に応じて適切な変調方式を選択可能な、弾力性のあるスペクトルを用いる光ネットワーク (EON: Elastic Optical Network) の研究開発が行われています [1]。

EONでは、光パスの要求伝送容量に応じて、適切な数の連続したサブキャリアスロットを割り当てます。割り当てスロット数には柔軟性がありますが、光パスの設定・解除を繰り返し行うことにより、利用可能な波長スペクトル資源が未整列・非連続な状態となる問題があります。これを波長スペクトルの断片化 (フラグメンテーション) と呼びます。フラグメンテーションは、使用可能なスロット (空スロット) が光パスの経路に沿って整列されていない (未整列) 状態、または、空スロットがスペクトル領域において連続していない (非連続) 状態のことを意味します。フラグメンテーションにより、要求

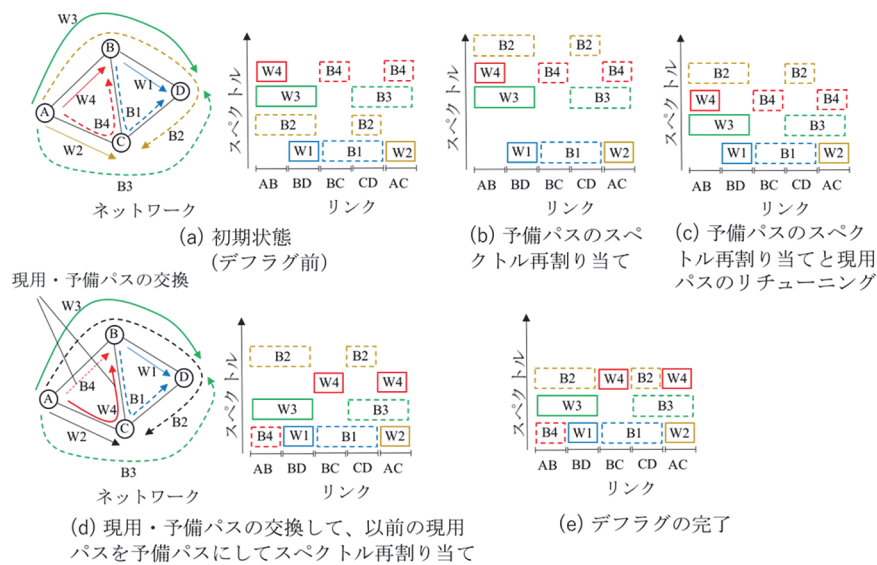


図2 光ネットワークにおけるスペクトルのデフラグメンテーション

される伝送容量の光パスを収容できなくなり、スペクトル資源を有効的に利用できないという問題が生じます。

我々は、波長スペクトルのフラグメンテーションの問題を克服し、波長スペクトル資源を有効利用する光ネットワーク制御の基盤技術の確立を目指しています。光ネットワーク上で運用中の光パスのスペクトルを変更して、フラグメンテーションを改善することをデフラグメンテーション（以下、デフラグ）と呼びます。サービスを瞬断することなく、運用中の光パスのスペクトルを連続的に移動する（リチューニング）技術を用いて、無瞬断でデフラグを進めることができます。しかし、他の光パスのスペクトルがリチューニングの進行を妨げ、無瞬断によるデフラグの性能が低下する問題があります。

我々は、1+1 プロテクションの光パスを設定する EON において、波長スペクトル資源を有効利用するための無瞬断デフラグ方式を開発しました。図2にデフラグ方式の概略を示します。現用パスと予備パスを交換し、現用パスで通信を継続しながら、予備パスのスペクトルおよび経路の不連続的な変更を許容する無瞬断デフラグ方式の基本概念を提案しました [2]。これにより、予備パスに対しては、他の光パスのスペクトルを飛び超えて所望のスペクトルに割り当てることができ、スペクトル変更の制約条件が緩和されます。現在は、このデフラグ方式の概念をさらに発展させ、光パスの経路制御も考慮したデフラグ方式の開発に取り組んでいます [3]。

### 3. 研究トピック (2) : IoT (Internet of Things) に関する研究

元来、携帯電話網やインターネットに代表される通信ネットワークは、通話やメールの送受信、SNS (Social Networking Service) といった人と人との間のコミュニケーションに用いられてきました。しかしながら、昨今、人と人との間に限らず、あらゆる物と物とが通信ネットワークにより相互接続され、情報提供や情報共有を行うという概念である IoT (Internet of Things) が提唱されています [4]。IoT の市場規模は 2015 年で 590 億ドルと報告されており、2020 年には 2500 億ドルに成長すると予想されています。具体的な産業応用領域は運輸、交通、医療、防犯、防災、環境など多岐にわたっており、今後の発展が期待されています。IoT のエンドノードとしては、周囲の状況をセンシングしその情報をデータとして生成するセンサデバイスが大部分を占めています。センサデバイスには、農場センサや、医療センサ、防犯カメラといった特定のアプリケーションに特化したものから、自動車やスマートフォンと

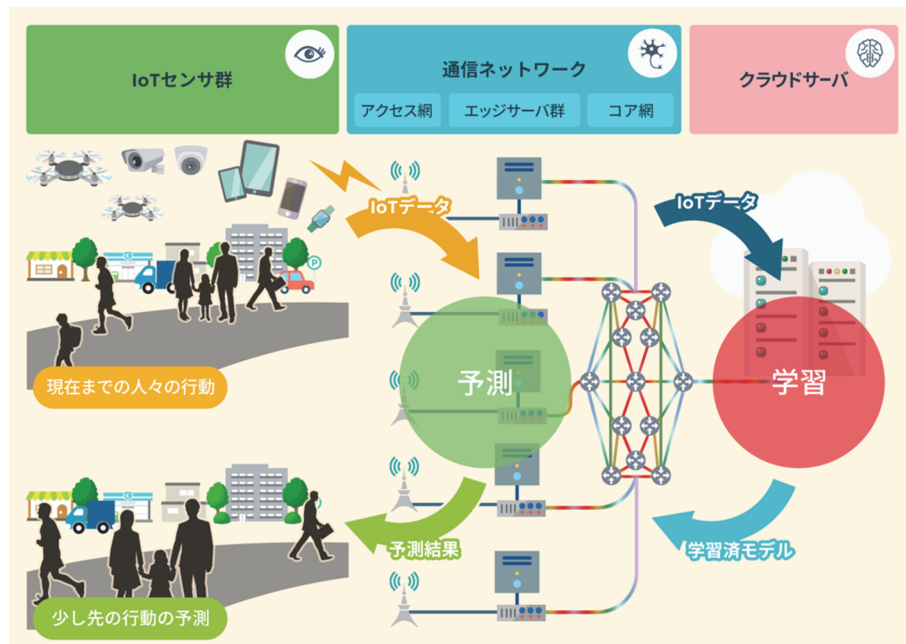


図3 ネットワーク AI システム（データを取得する IoT センサ群、流通させる通信ネットワーク、分析するクラウドサーバで構成される。クラウドサーバでは IoT データを用いて学習が行われ、通信ネットワークのエッジサーバ群が学習済モデルを用いて予測を行う。）

いった複数種のセンサを具備するものまでがあり得ます。センサデバイスによって収集されたデータは、上り通信によりクラウドやエッジといった計算サーバにアップロードされ、整形や分析が行われます。整形や分析後の情報は下り通信により提供されますが、提供先が人である場合と再びマシンやデバイスである場合があります。前者の例として交通状況に関する情報をリアルタイムに配信するサービスがあり、後者の例として交通状況に応じた信号機の自動制御や自動運転車が挙げられます。Gartner の調査によると、IoT のエンドノードは 2017 年に 84 億台に達しており、2020 年までに 204 億台に達すると予想されています。以上のように、主たるエンドノードがセンサデバイスである点やその台数の多さの点で、IoT のトラヒックは人が発生させるトラヒックと大きく異なります。

以上の IoT の潮流に鑑み、当研究室では、IoT に関わる以下の研究に取り組んでいます。

**IoT トラヒックの制御：**上述のような多数の IoT デバイスが接続している基地局に同時に通信要求を送信すると、互いに競合するため、通信ネットワークにおいて輻輳が生じてしまいます。そこで、当研究室は、車載センサーなど移動する IoT デバイスを対象とした通信タイミングの制御方式を提案しました [5]。移動する IoT デバイスを想定すると、通信要求を遅らせることで、そのデバイスが隣接する通信エリアに移動するため、時間的な負荷低減だけでなく空間的な負荷分散も効果として期待できます。本研究では、比較評価の結果から、提案方式により種々の IoT アプリケーションの遅延要求を達成することができることを示しました。

**ネットワーク AI システム：**IoT デバイスにより収集された実空間情報に関するデータから、交通量などを予測しリアルタイムに配信するサービスに対する需要が高まっています。こういった実空間に関する予測情報には、鮮度と正確さが求められますが、リアルタイム性を保証しようとする、両方を達成することは困難です。鮮度を保証しようとする、通信帯域の厳しい制限と計算処理のオーバーヘッドのため、一部のデータしか取得することができないためです。そこで、当研究室は、図 4 に示されるネットワーク AI (Artificial Intelligence) システムを提案しています [6,7,8]。本システムは、IoT デバイス群が収集するデータを「目利き」し、より重要度の高いデータほど通信ネットワークにおいてより高い

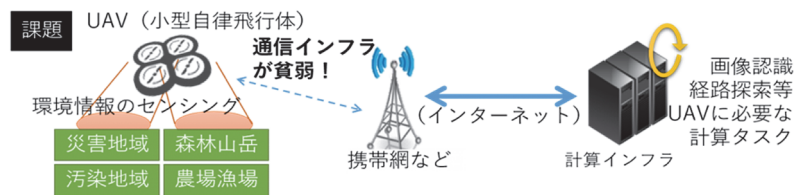


図4 UAVによる環境情報センシングシステム  
(災害地域などでは利用可能な通信・計算リソースが厳しく制限される。)

優先度で転送され、エッジサーバで処理されて予測に用いられます。このシステムにより、取得するデータの量が限られていても、重要度の高いデータを用いて予測を行うことができ、高い精度を達成することができます。本研究では実データセットを用いた評価を行い、その有効性を示しました。

**環境情報センシング：**小型のUAV（Unmanned Aerial Vehicle: 通称ドローン）が災害地域、森林山岳、汚染地域、農場漁場といった人や車両が立ち入るのに困難な地域における様々な問題を解決する手段として注目を集めています。UAVも各種センサを装備させることができることから、移動するIoTデバイスと見なされます。しかしながら、図5に示すように、UAVの計算性能は低く、また、上記のような地域では通信インフラの使用が限定されるため、エッジサーバやクラウドサーバの計算リソースも有効に利用する必要があります。そこで、当研究室は、複数のUAVの移動と環境情報データ取得をスケジューリングし、限られた通信インフラと計算リソースを時間的に高効率に利用することで、例えば、災害発生時の被災者の搜索効率を向上することができるシステムを提案しています[9]。本研究では、計算機シミュレーションにより、ユーザ視点での複数の評価指標を用いて、その有効性を示しました。

#### 4. 研究トピック (3)：ネットワークのソフトウェア化／仮想化

近年、計算機資源やストレージ等のハードウェア仮想化技術に加えて、ネットワーク機器およびネットワーク上で提供される機能の仮想化技術が発展しています。ルータやスイッチ等といったネットワーク機器の制御機能を共通のコントローラに集約し、統合的に制御可能とすることで、論理的なネットワークを柔軟に構成し運用することが可能となります。これをSoftware Defined Networking (SDN) と呼びます。また、ネットワーク上で提供される機能をソフトウェア化し汎用サーバ上で提供することで、迅速なサービス提供や柔軟な性能調整、専用機器の設置コストの削減等が可能となります。これをNetwork Function Virtualization (NFV) と呼びます[10]。我々は、これらのネットワーク仮想化技術に関して、ネットワーク利用効率向上、マルチサービス対応、低消費電力化、高信頼化等を実現する手法を研究しています[11][12]。

一例として、SDN およびNFVを適用したネットワーク環境におけるサービスチェイニングの研究[11]について紹介します。サービスチェイニングとは、ファイアウォール、セキュリティ、動画最適化等の仮想化されたネットワーク機能(VNF:

Virtualized Network Function) をネットワーク上で組み合わせ、ユーザ毎にカスタマイズされたサービスを提供する技術です。図5にサービスチェイニングのイメージを示します。サービスチェイニングを提供するためには、ネットワーク上の計算機資源（汎用サーバ等）へのVNFの

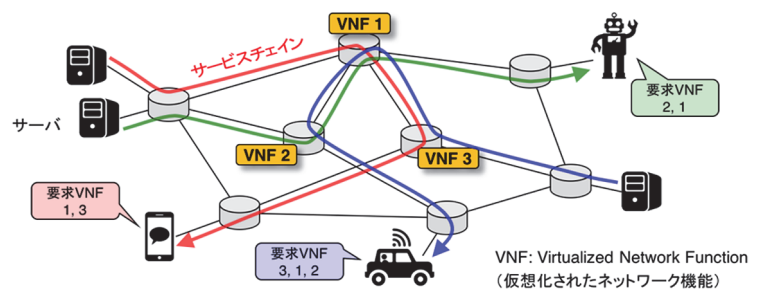


図5 サービスチェイニング



配置、および配置した VNF のうち必要なものを通過するようなデータフローの経路設定を行う必要があります。提供するサービスによって、必要な VNF の種類や伝送容量、遅延時間等の条件が異なります。したがって、これらの条件を満足しながら、計算機資源およびネットワーク資源を効率的に利用できるようなサービスチェーンの設計が求められます。

サービスチェイニングでは基本的に VNF を指定された順番に通過する必要がありますが、ファイアウォール等の一部の VNF は、通過順序を変更してもサービスの性能に大きく影響を与えないとされています。また、サービスチェーンの経路上で折り返しやループの生成を許容することにより、VNF の配置における柔軟性が増し、複数のユーザによる VNF の共有が行われやすくなります。そこで[11]では、VNF の順序制約およびサービスチェーンの経路制約の緩和を行うことにより、計算機資源やネットワーク資源の利用効率を向上させる経路および VNF 配置の計算モデルの検討を行っています。ネットワークの規模やユーザ数の増加に応じて、最適化問題を解くために要する計算時間が爆発的に大きくなるため、実用的時間内で効率的に実行可能解を探索するアルゴリズムを検討しています。本研究により、サービスチェイニングを高い資源利用効率で運用し、トラフィック制御やコンテンツ配信等といったカスタマイズされたサービスを、より多数のユーザへ提供することを目指しています。

## 5. むすび

本稿では、当研究室で取り組んでいる代表的な研究トピックとして、(1) 光ネットワーク制御技術、(2) IoT に関する研究、(3) ネットワークのソフトウェア化 / 仮想化について紹介しました。2020 年の東京オリンピックに向けて実用化が進められている 5G ネットワークでは、通信の高速度や多数同時接続性、超低遅延性等といった特性が要求されています。さらには、自然災害によるネットワーク機器の故障や、増え続けるネットワーク機器の消費電力等といった問題にも対処しなければなりません。このような要求を達成するためには、有線・無線通信における伝送方式、ネットワーク制御、データセンター、デバイス、アプリケーション等、様々な要素技術が高度に連携する必要があります。我々は今後も、5G やその先の通信インフラの発展を見据え、研究に取り組んでいきます。

## 参考文献

- [1] E. Oki and B.C. Chatterjee, "Design and Control in Elastic Optical Networks: Issues, Challenges, and Research Directions," International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC) 2017, Jan. 2017.
- [2] S. Ba, B.C. Chatterjee, and E. Oki, "Defragmentation Scheme Based on Exchanging Primary and Backup Paths in 1+1 Path Protected Elastic Optical Networks," IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 25, no. 3, pp. 1717-1731, Jun. 2017.
- [3] T. Sawa, F. He, T. Sato, B.C. Chatterjee, and E. Oki, "Defragmentation Using Reroutable Backup Paths in Toggled 1+1 Path Protected Elastic Optical Networks," 24th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC 2018), Nov. 2018.
- [4] 新熊亮一, 岩井孝法, 里田浩三, "5G 研究のための IoT トラフィックモデル," 電子情報通信学会和文論文誌 B, vol. J101-B, no. 5, pp. 310-319, May 2018.
- [5] Y. Yamada, R. Shinkuma, T. Iwai, T. Onishi, T. Nobukiyo, K. Satoda, "Temporal Traffic Smoothing for IoT Traffic in Mobile Networks," Elsevier Computer Networks, vol. 146, pp. 115-124, Dec. 2018.
- [6] Y. Yamada, R. Shinkuma, T. Sato, and E. Oki, "Feature-selection based data prioritization in mobile traffic prediction using machine learning," IEEE Global Communications Conference

- 
- (Globecom) 2018, Dec. 2018.
- [7] R. Shinkuma, S. Kato, M. Kanbayashi, Y. Ikeda, R. Kawahara, and T. Hayashi, "System design for predictive road-traffic information delivery using edge-cloud computing," IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC) 2018, Jan. 2018.
  - [8] S. Kato and R. Shinkuma, "Priority Control in Communication Networks for Accuracy-Freshness Tradeoff in Realtime Road-Traffic Information Delivery," IEEE Access, vol. 5, pp. 25226-25235, Oct. 2017.
  - [9] K. Miyano, R. Shinkuma, E. Oki, and T. Sato, "Utility Based Scheduling for Multi-UAV Search System in Disaster Scenarios," IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2018), Oct. 2018.
  - [10] M. Veeraraghavan, T. Sato, M. Buchanan, R. Rahimi, S. Okamoto, and N. Yamanaka, "Network Function Virtualization: A Survey," IEICE Transactions on Communications, vol. E100-B, no. 11, pp. 1978-1991, Nov. 2017.
  - [11] N. Hyodo, T. Sato, R. Shinkuma, and E. Oki, "Virtual Network Function Placement Model for Service Chaining to Relax Visit Order and Routing Constraints," IEEE 7th International Conference on Cloud Networking (CloudNet 2018), Oct. 2018.
  - [12] T. Sato and E. Oki, "Program file placement problem for machine-to-machine service network platform," IEICE Transactions on Communications, vol. E102-B, no. 3, pp. 418-428, Mar. 2019.