

# 研究報告書

## 「適応的に再構成する通信ネットワーク」

研究期間：2020年4月～2022年3月  
研究者番号：50247  
研究者：中山 悠

### 1. 研究のねらい

モバイル端末等の送受信する通信トラフィックは爆発的な増大を続け、その時空間的な変動も顕著になっている。このトラフィック変動に対し、従来の通信ネットワークでは、設備効率悪化やサービス品質低下などが問題になる。また Beyond 5G に向けた研究開発が本格化し、カバレッジの拡大などが大きな課題とされている。そこで本研究では、適応的に再構成するネットワークを検討する。その中でも特に、デバイス間通信を促進するメカニズム、モバイルネットワークの水中への拡張、ネットワークエッジにおける DDoS 攻撃の抑制、新たな通信チャネルとしての光カメラ通信などについて研究し、提案コンセプトの拡張・実証を目指す。

### 2. 研究成果

#### (1) 概要

本研究は、「適応的に再構成する通信ネットワーク」と題して、5G 以降に向けたモバイルネットワークを中心に検討を進めてきた。特に、高周波数化により多数のスマートセル基地局 (RU; Radio Unit) を高密配置する必要が生じる一方で、従来の C-RAN (Centralized Radio Access Network) 構成では広範囲の高密カバーは高コスト化し困難である、という課題に着目することで、トラフィック需要の時空間変動に応じて適応的に再構成するネットワークを提案してきた。具体的な取り組みとして、(A) デバイス間通信、(B) 水中ネットワーク、(C) DDoS 攻撃抑制、(D) 光カメラ通信についての検討を進めた。モバイル/IoT ネットワークをオンデマンドかつ安全に構成するための技術について多面的なアプローチで取り組み、各テーマについて実機検証などにより有効性を示した。

#### (2) 詳細

##### テーマ A: デバイス間通信

ユーザ端末間でのデバイス間通信によりキャリアをまたいだ通信エリアの拡大、さらに通信ビジネスのオープン化を目指す取り組みとして、通信データ量を取引する市場を考案し、IEEE Communications Magazine に採録された。また、移動するユーザ間での接続の安定性向上に向けて、適切な接続先ホスト選択手法を開発し、IEEE Internet of Things Journal に採録された。

##### テーマ B: 水中ネットワーク

モバイルネットワークの水上／水中への拡張に向けた検討を行った。深層学習を用いて各種符号化や信号処理を一括で行う手法について、水中音響通信への適用について検討し、

IEEE GLOBECOM 等に採録された。さらに、水中ドローンの位置などに応じて水上ノードを適切に再配置させ動的に接続する水上フロントホールのコンセプトを提案した。これらの技術については、北海道支笏湖において地元自治体や大学、漁協などの協力を得て水中伝送実験を行い、音響信号の疎通に成功した(図1)。



図1 支笏湖での水上传送実験の様子

**テーマ C: DDoS 攻撃抑制**

急増する DDoS 攻撃に対してネットワークエッジでの検出と緩和を行うため、レイヤ 2 スイッチなどのノードのキューイング機能を活用する周期的キューイング法を開発した。理論解析とシミュレーションにより性能評価を行い、MCQ 法の有効性と、検出に要する平均時間等の性能を示し、代表的な国際会議である IEEE CCNC 2021 および ICC 2021 で発表した。さらに、北陸 StarBED 研究センターにおいて実機検証を実施し(図2)、実機により提案手法を実行可能なことを検証済である。

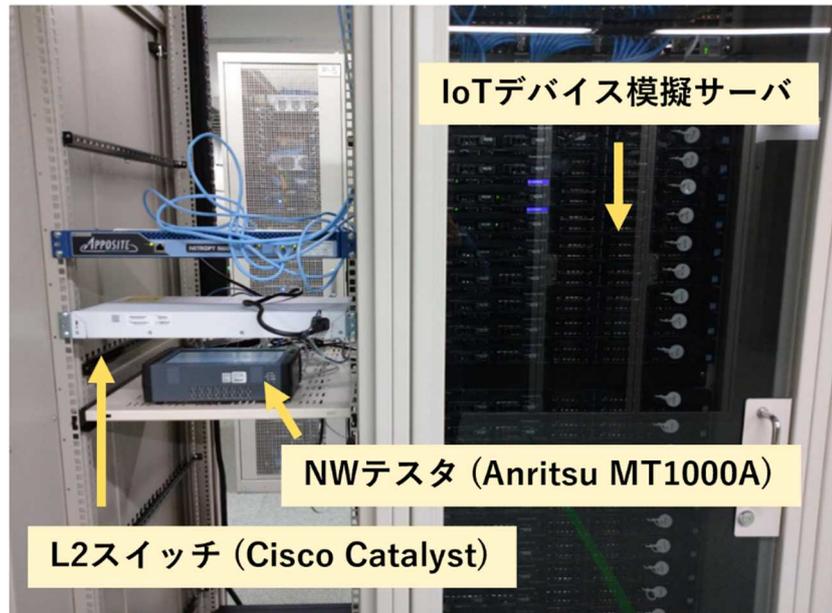


図2 北陸 StarBED 研究センターでの実機検証

#### テーマD: 光カメラ通信

LED 等の光源から光信号として送出されたデータを、カメラの撮影画像から検出して復調する光カメラ通信(OCC: Optical Camera Communication)についての基礎検討を進めた。OCCには、CSMA/CA のような同一チャネル干渉回避機構が不要なため光源追加とともにスループットを増加可能な特長がある。ドローンに光源を搭載し被災地のモニタリングに用いるユースケース、また複数光源間の干渉回避などの検討を進め、GLOBECOM 等の国際会議で発表した。さらに OCC の不透過性を公開鍵交換・デバイス認証に利用するセキュリティ技術も考案し、CCNC 2022 で発表した(図 3)。



図 3 光チャネルによるデバイス認証

### 3. 今後の展開

まず学術的な観点での今後の展開を述べる。増え続けるデバイス間でのオンデマンドな通信を促進するメカニズムの検討は非常に重要なテーマであり、今後も新たな手法を取り入れながら大規模な実証をも目指して取り組んでいく。水中ネットワークおよび光カメラ通信については、今後重要となる未開拓な技術であり、先駆的な検討を進めていきたい。

産業面では、本テーマは Beyond 5G や IoT を支えるネットワークの基盤技術となるものであり、産業活用に向けて企業との連携なども進めていく。特に水中ネットワークなどの実験については、単独での実施が難しい面もあり、連携を進めることがポイントになると考えられる。最後に、社会文化的には、スマートホームやスマートシティをはじめネットワークサービスがインフラの一部として必須化していく中で、それを支える基盤となる技術として波及効果が大きい。また、水中ネットワーク技術により、水中環境のモニタリングなどが容易となり、環境保全などに対する貢献も期待される。

#### 4. 自己評価

##### ・研究目的の達成状況

いずれのテーマについても、トップ論文誌や国際会議への採録など、定量的には十分な成果をあげ、研究目的を達成できたと考えている。定性的にも、本加速フェーズに新たに水中ネットワークや光カメラ通信に取り組み、先駆的な成果を得た。水中実験については、関係各所との調整の上で自治体とも協力した実験体制の構築にも成功し、非常に良かったと考えている。

##### ・研究の進め方(研究実施体制及び研究費執行状況)

各テーマについて、関連するACT-I内外の研究者と協力して実験を行うなどすることができ、効率的に研究を進め、共著論文の発表などに繋げることができた。また研究費に関しても計画的に執行し、研究遂行にあたり非常に有効的に活用できた。

・研究成果の科学技術及び学術・産業・社会・文化への波及効果(今後の見込みも重視してください。)

本研究成果は5G以降のモバイルネットワークの基盤となり得るものであり、各種産業の発展を支える技術として波及効果は大きいと考えられる。さらに、今後の通信ビジネスにおける公平性やオープン性を高め、新たな市場やビジネスの開発に繋げられる可能性がある。

##### ・研究課題の独創性・挑戦性

本研究課題は、従来のモバイルネットワークの課題をまったく新しい方法で解決する取り組みであり、共有経済システムなど、他にない挑戦的なメカニズムについて検討した。また、水中ネットワークや光カメラ通信については、今後有望と期待される一方で、まだ取り組んでいる者が少なく、挑戦的かつ先駆的な検討を進めることができた。

#### 5. 主な研究成果リスト

##### (1)論文(原著論文)発表

- |   |
|---|
| 1. Yu Nakayama, Ryoma Yasunaga, Kazuki Maruta, "Banket: Bandwidth Market for Building Sharing Economy in Mobile Networks", IEEE Communications Magazine, vol. 59, no. 1, pp. 110--116, 2021. (IF: 11.052)                     |
| 2. Yu Nakayama, Kazuki Maruta, "Age of Information based Host Selection for Mobile User Provided Networks", IEEE Internet of Things Journal, vol. 8, no. 2, pp. 672--683, 2021. (IF: 9.515)                                   |
| 3. Yu Nakayama, "Horizontal Integrated Framework for Mobile Crowdsensing", IEEE Access, vol. 9, pp. 127630--127643, 2021. (IF: 3.367)   |
| 4. Yu Nakayama, Ryo Yaegashi, Anh Hoang Ngoc Nguyen, Yuko Hara-Azumi, "Real-time Reconfiguration of Time-Aware Shaper for ULL Transmission in Dynamic Conditions", IEEE Access, vol. 9, pp. 115246--115255, 2021. (IF: 3.367) |
| 5. Yu Nakayama, Daisuke Hisano, Kazuki Maruta, "Adaptive C-RAN Architecture with Moving Nodes Towards Beyond 5G Era", IEEE Network, vol. 34, no. 4, pp. 249--255, 2020.   |

(2)特許出願

研究期間累積件数:0

(3)その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

1. Yukito Onodera, Hiroki Takano, Daisuke Hisano, Yu Nakayama, "Avoiding Inter-Light Sources Interference in Optical Camera Communication", IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM), Madrid, Spain, Dec. 2021.
2. Tianwen Li, Yukito Onodera, Daisuke Hisano, Yu Nakayama, "Multi-Channel Authentication for Secure D2D using Optical Camera Communication", IEEE 19th Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), Las Vegas, USA, Jan. 2022.
3. Yukito Onodera, Hiroki Takano, Daisuke Hisano, Yu Nakayama, "Adaptive N+1 Color Shift Keying for Optical Camera Communication", IEEE 94th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall), Virtual, Sep. 2021.
4. Yu Nakayama, Kazuki Maruta, "Cell Zooming for Green Mobile Networks with Vehicle-Mounted Radio Units"IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM), Taipei, Taiwan, Dec. 2020.
5. 2019年度 船井研究奨励賞