

# 2024年度共同利用研究報告書

2024年12月23日

所属・職名 九州大学システム情報科学研究院・准教授

實松 豊

|          |   | 整理番号            | 2024a030 |     |
|----------|---|-----------------|----------|-----|
| 1.研究計画題目 | 情報通信の技術革新のための基礎数理   |                 |          |     |
| 2.新規・継続  | 継続  |                 |          |     |
| 3.種別     | 一般研究  |                 |          |     |
| 4.種目     | 研究集会（I）   |                 |          |     |
| 5.開催方法   | ハイブリッド開催  |                 |          |     |
| 6.研究代表者  | 氏名  | 實松 豊            |          |     |
|          | 所属<br>部局名   | 九州大学システム情報科学研究院 | 職名       | 准教授 |
| 7.研究実施期間 | 2024年09月25日(水曜日)～2024年09月27日(金曜日)                                   |                 |          |     |
| 8.キーワード  | 次世代移動体通信、光通信、Joint Sensing and Communications (JSAC)、深層学習、情報理論、符号理論 |                 |          |     |
| 9.参加者人数  | 70人   |                 |          |     |

## 10.本研究で得られた成果の概要

2024年9月25日から27日の日程で、JR博多シティにて研究集会を開催した。情報通信技術革新のための基礎数理をテーマに15名の講演者が講演を行った。ほとんどの講演は英語で行われた。国内外の研究者が集い Beyond 5G や6G、IoT 通信などの課題解決に向けた新しい数学的アプローチを議論した。対面とオンラインのハイブリッド形式で実施され、70名以上が参加した。

研究集会では、以下のような多岐にわたる講演が行われた。  
齋藤翔太准教授は「Guessing問題」と「有歪み情報源符号化」の関係を解説した。  
松本正名誉教授は無線通信における意思決定の研究を紹介した。  
博士課程のLei Jiang氏はアレイアンテナを利用した到来方向推定の最新の研究成果を発表した。  
Christos Masouros教授はISAC（センシングと通信の統合）について講演した。  
村田英一教授は端末連携技術について実証実験を交えた発表を行った。  
Brian Kurkoski 教授は低消費電力端末の信号処理を議論した。  
山本博資名誉教授は最新のデータ圧縮技術「ANS符号」について詳しく解説した。  
代表者はISACにおける遅延・ドップラー推定の研究を紹介した。  
ソフトバンクの藤井輝也氏は、非地上系ネットワーク（LEO、HAPS、ドローン通信）に関する研究を紹介し、6Gの将来展望を示した。

本研究は、2022年度の集会（II）共2022c003の継続課題である。2022年の集会で得られた成果が土台となり、代表者の科学研究費補助金基盤研究(B)「高速移動に伴う二重選択性通信路を介した通信及びセンシングの基礎理論構築」が開始された。それ以降、大橋正良名誉教授、牟田教授と共同研究が継続している。

2024 年 12 月 22 日

2024 年度九州大学マス・フォア・インダストリ研究所共同利用研究集会（I）

## 情報通信の技術革新のための基礎数理

(Mathematics for Innovation in Information and Communication Technology)

### 成果報告書

#### 組織委員

實松 豊（九州大学大学院システム情報科学研究所） 代表者

大橋 正良（（株）国際電気通信基礎技術研究所（ATR））

長谷川 晃朗（（株）国際電気通信基礎技術研究所（ATR））

篠原 克寿（一橋大学）

森 慎太郎（福岡大学）

#### ウェブサイト

（日）<https://joint.imi.kyushu-u.ac.jp/post-14984/>

（英）<https://joint.imi.kyushu-u.ac.jp/post-15347/>

実施期間 2024 年 9 月 25 日～2024 年 9 月 27 日（金）

#### 概要

Beyond5G や 6G といった次世代移動体通信あるいは IoT 機器向けの LPWA など様々な無線通信、情報通信ネットワークにおける課題を解決するためには、技術的課題の工学的解決に加えて、従来の方法の限界を突破する新しい数学の進展が必要である。本研究集会では、国内外の研究者を集めた講演会を開催した。様々な分野、また産業界とアカデミアの研究者間の交流を目指した。産業界から藤井輝也氏（ソフトバンク、フェロー）の講演と海外の著名な研究者

として IEEE Communication Society の Designated Lecturer である Christos Masouros 教授 (University College London) の講演を企画した。Masouros 教授はオンラインでの講演となったが、国際交流の促進を意図して 2 名の海外からの講演をプログラムに組み込んだ。会議の終了後も、Hamdi Joudeh 教授は、齋藤翔太准教授および研究代表者と交流を持ち続けており、Boris Karanov 研究院 (現在カールスルーエ工科大ポスドク) は、Brian Kurkoski 北陸先端大学教授と交流をしている。講演者の一人である松本正北陸先端大学名誉教授と代表者は本研究集会の前は個人的つながりが無かったが、会議終業後は研究打ち合わせを数回重ねており新しい共同研究が生まれた。本研究集会開催前には無かった研究の交流が複数生まれたことが、研究集会の最大の成果であったと言える。

各講演について簡単に解説する。

研究会初日：齋藤翔太准教授は、情報理論的観点から Guessing(推測)の問題と有歪み情報源符号化の関係を論じた。Guessing は仮説検定のような統計の問題であり、事前分布  $p(x)$  に従い発生する確率変数  $X$  に対し、Guess(推測値)をオラクルに問合せ正解かどうか回答が得られる。有歪み情報源符号化とは、歪みを許すデータ圧縮のことであり、画像ファイルや動画ファイルは品質を犠牲にすることで、圧縮率を高くすることが出来る。両者が本質的に同じ問題であることが示された。また、損失関数の選択方法や Soft Guessing という確率分布を推定値とする話題が議論された。有歪みデータ圧縮は、通信路符号化法と深い関連があることが情報理論分野ではよく知られている。松本正名誉教授は、無線通信における意思決定(decision making)の問題に対する松本教授の最新の研究成果を発表した。松本先生は工学の幅広い分野に精通されており、分散多端子検定など情報理論の中でも最新の結果を駆使した議論が展開された。東京工業大学博士課程学生 3 年生の Lei Jiang 君はアレイアンテナを用いた到来角推定とドップラー周波数を同時に行う研究について紹介した。彼がこの研究集会で講演した内容は、彼の博士論文の研究成果にも大きく寄与している。1 日目の最後は、Christos Masouros 教授は、近年注目を集めている Integrated Sensing and Communications(ISAC)に関連した講演を行った。ISAC とは、センシング (レーダ) と無線通信を 1 つの変調信号を用いて同時に行うことを指す。Masouros 教授は Springer 社から ISAC の教科書(Fan Liu, Yonia C. Elder 教授との共著)を出版しており最新の研究成果を分かりやすく講演した。

2 日目：村田英一教授は、端末連携について講演された。端末連携とは、Beyond5G, 6G など次世代移動体通信における実用化を目指した試みであり、高周波数帯域(28GHz など)が搭載されたスマートフォンなど端末同士が連携し、受信の利得を大幅に向上させる技術である。連

携された端末同士は、協調して動作する MIMO アンテナのように動く。村田教授は屋外で電波を飛ばして実証実験お行った結果を報告された。村松純（N T T コミュニケーション科学研究所）は、CoCoNuTS (Codes based on Constrained Numbers Theoretically-achieving the Shannon Limits)と呼ばれる 制約付きの乱数生成器に基づく一連の研究成果を紹介された。SumProduct アルゴリズムを応用した制約付き疑似乱数の生成法を紹介したのち、この乱数生成器を用いた通信路符号と、有歪み情報源符号化（有歪みデータ圧縮）を紹介した。實松豊准教授は、ISAC における遅延・ドップラー推定法を解説した。最初に古典的レーダの変調信号とそれに基づく遅延・ドップラーの検出方法を紹介したのち、次世代移動体通信用の OTFS 信号を使った遅延・ドップラー検出法を紹介した。Brian Kurkouski 教授は、移動体通信における受信器の信号処理と誤り訂正符号の復号の問題を議論した。低消費電力や計算リソースの限られる移動端末では、連続値の量子化が重要になる。深層学習を用いたこれらの問題の解決に対する研究成果を講演した。二日目の最終の講演は、山本博資東京大学名誉教授によるものである。山本教授は情報理論研究の分野で世界的に著名である。山本教授は、情報源符号化（無歪みデータ圧縮）に関してごく最近解説記事を執筆されている（電子情報通信学会和文論文誌A「ANS の符号化・復号アルゴリズムと平均符号長の評価」2024 年 11 月(早期公開 2024 年 7 月 11 日))。これを英訳したものが arXiv:2408.07322 で公開されている。ANS 符号は比較的新しいデータ圧縮手法であるが、大手 IT 企業がデータセンターにおけるデータ圧縮法として採用するなど注目を集めているが、情報理論的解析は山本教授と岩田賢一岩手大学教授の一連の研究以前はなされていなかった。発表では、この解説記事に基づき講演された。また、もう一種類の符号化方法 AIFV 符号についても解説された。

3 日目：大橋正良福岡大学名誉教授（現 ATR 研究員）は、Gabor-Division Spread-Spectrum (GDSS)に関する講演を行った。GDSS は、T. Kohda と Y. Jitsumatsu により提案された通信方式であり強力なドップラー効果による周波数のずれに強い通信手法である。大橋教授は、2019 年に総務省 SCOPE の支援を受けて、GSSS 信号のレーダ応用を研究した実績がある。本研究集会では、GDSS を概説し最新の数値シミュレーションの結果を報告した。牟田修教授は、室内無線 LAN の基地局と WIFI 端末間の通信におけるチャネル情報(received signal strength: RSS)から、部屋にいる人物の位置を特定する研究を紹介した。竹内圭吾准教授は、圧縮センシングにおける Approximate Message Passing (AMP)アルゴリズムとこれを発展させたアルゴリズムである OAMP/VAMP の性能解析を紹介した。竹内准教授は、AMP アルゴリズムの分野で世界一流の研究者である。Hamdi Joudeh 准教授（アイントホーフエン工科大学）は、Joint Communication and Sensing (JCAS)の情報理論的解析手法を駆使して、研究成

果を得ている。JCAS では、送信器から受信器への一方向通信に加えて、送信器は反射波からチャンネル情報を得るという同時最適化の問題を考える。1つの送信信号で、データ送信とチャンネル推定を同時に行うので、両者はトレードオフの関係にある。本講演では JCAS 問題を一から概説し、既存の研究成果が紹介され、最後に Joudeh 准教授らの得た理論結果が紹介された。Boris Karanov はアイントホーフエン工科大学のポスドク（2024年10月からカールスルーエ工科大学のポスドク）である。光通信の信号処理を研究しており、Karnov 氏の研究成果が紹介された。3日目の最後の講演は、ソフトバンクフェローである藤井輝也氏による講演である。6G では、非地上系ネットワーク、すなわち、低軌道衛星(Low Earth Orbit: LEO)、HAPS(成層圏通信プラットフォーム)、ドローンの通信、また海中通信も、インターネットにシームレスに接続できるようにすることが目標として掲げられている。ソフトバンクにおける取組が幅広く紹介された。

全体として、理論から応用まで、また大学と企業からの講演者が多く集まった。現地とオンラインのハイブリッド開催であったが、オンラインを含めて70名を超える参加者があった。海外交流を含め、新しい人と人との交流が芽生えたこと、また従来の研究交流が促進されたことが最大の成果である。



開催日: 2024/09/25~2024/09/27

## 情報通信の技術革新のための基礎数理 | 2024a030

カテゴリ: イベント

タグ: 一般研究 研究集会I

### 開催概要

- 開催方法: Zoomミーティングによるハイブリッド開催
- 開催場所: JR博多シティ10階会議室
- 主要言語: 英語
- 共催: 九州大学マス・フォア・インダストリ研究所、科学研究費補助金 基盤研究(B)「高速移動に伴う二重選択性通信路を介した通信及びセンシングの基
- 協賛: IEEE福岡支部
- 種別・種目: 一般研究-研究集会(I)
- 研究計画題目: 情報通信の技術革新のための基礎数理
- 研究代表者: 宍松 豊 (九州大学・システム情報科学研究院・准教授)
- 研究実施期間: 2024年9月25日(水)~2024年9月27日(金)
- 公開期間: 2024年9月25日(水)~2024年9月27日(金)
- 研究計画詳細: [https://joint1.imi.kyushu-u.ac.jp/research\\_chooses/view/2024a030](https://joint1.imi.kyushu-u.ac.jp/research_chooses/view/2024a030)

### プログラム

#### Wednesday 25th, September, 2024

13:00

Opening

13:10 – 14:10

Shota Saito (Gunma University) [E]

Two Problems Under Logarithmic Loss: Soft Guessing and Lossy Source Coding

14:25 – 15:25

Tad Matsumoto (IMT-Atlantique, JAIST and University of Oulu (Emeritus)) [E]

Decision making via End-to-End Lossy Distributed Wireless Cooperative Networks

– A Distributed Hypothesis Testing based Formulation –

[Coffee break]

16:10 – 16:40

Lei Jiang (Tokyo Institute of Technology) [E]

2D smoothing based recursive subspace and factor graph framework for high mobility geolocation and tracking;

– With a duality consideration to joint Delay-Doppler estimation –

16:55 – 17:55

Christos Masouros (University College London) [E]

Integrated Sensing and Communications for Sustainable and Multifunctional Networks

## Thursday 26th, September, 2024

---

### 9:30-10:30

Hidekazu Murata (Yamaguchi University) [J]

端末連携によって実現する新たな無線通信システム

### 10:45 – 11:25

Jun Muramatsu (NTT Corporation) [E]

Coding Theorems Based on Constrained-Random-Number Generators

[Lunch break]

### 13:00 – 14:00

Yutaka Jitsumatsu (Kyushu University) [E]

Delay-Doppler Estimation for Joint Sensing and Communications

### 14:15 – 15:15

Brian Kurkoski (JAIST) [E]

Designing communication receivers using machine learning techniques

### 15:30 – 16:30

Hirosuke Yamamoto (The University of Tokyo) [E]

Lossless data compression coding schemes to replace Huffman and arithmetic coding

## Friday 27th, September, 2024

---

### 9:30 – 10:00

Masayoshi Ohashi (ATR) [J]

Detection performance evaluation of Gabor-Division Spread Spectrum signals

### 10:00 – 10:30

Osamu Muta (Kyushu University) [E]

Experimental Evaluations of Device-Free Localization Using Channel State Information in WLAN Systems

### 10:45 – 11:25

Keigo Takeuchi (Toyohashi University of Technology) [E]

Comprehensive Comparison of Message-Passing Algorithms for Compressed Sensing

[Lunch break]

### 13:30 – 14:30

Hamdi Joudeh (Eindhoven University of Technology) [E]

Some information-theoretic aspects of joint communication and sensing

### 14:45 – 15:15

Boris Karanov (Eindhoven University of Technology) [E]

Low-complexity machine learning for optimal  
communication receivers

**15:30 – 16:30**

Teruya Fujii (SoftBank Corp.) [J]

端末連携によって実現する新たな無線通信システム  
—地上セルと上空セルの同一周波数共用—

懇親会について

現地参加者向けの懇親会を以下の要領で開催予定です。

研究集会「情報・計算・暗号の融合による新しい数理基盤の創出」(<https://joint.imi.kyushu-u.ac.jp/post-14912/>)との合同開催です。

懇親会参加ご希望の方は9/11(水)までに懇親会参加登録ページよりお申込み下さい。

なお9/11(水)までに参加ご希望の方の数が会場のキャパシティを超える場合には、  
参加募集を早期に終了する可能性があります。予めご承知おき下さい。

日時:9/26(木) 18:00～2時間程度

会場:炙り炉端 山尾 博多駅前 (JR博多駅 徒歩5分)

<https://tabelog.com/fukuoka/A4001/A400101/40036193/>

参加費: 5,000円程度を予定

懇親会参加登録サイトはこちら( <https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSeI5pVShUA4iXGhudj5LUCDMY43AXObWJe3KOzWjloB39Y8pQ/viewfor>

**ポスター**