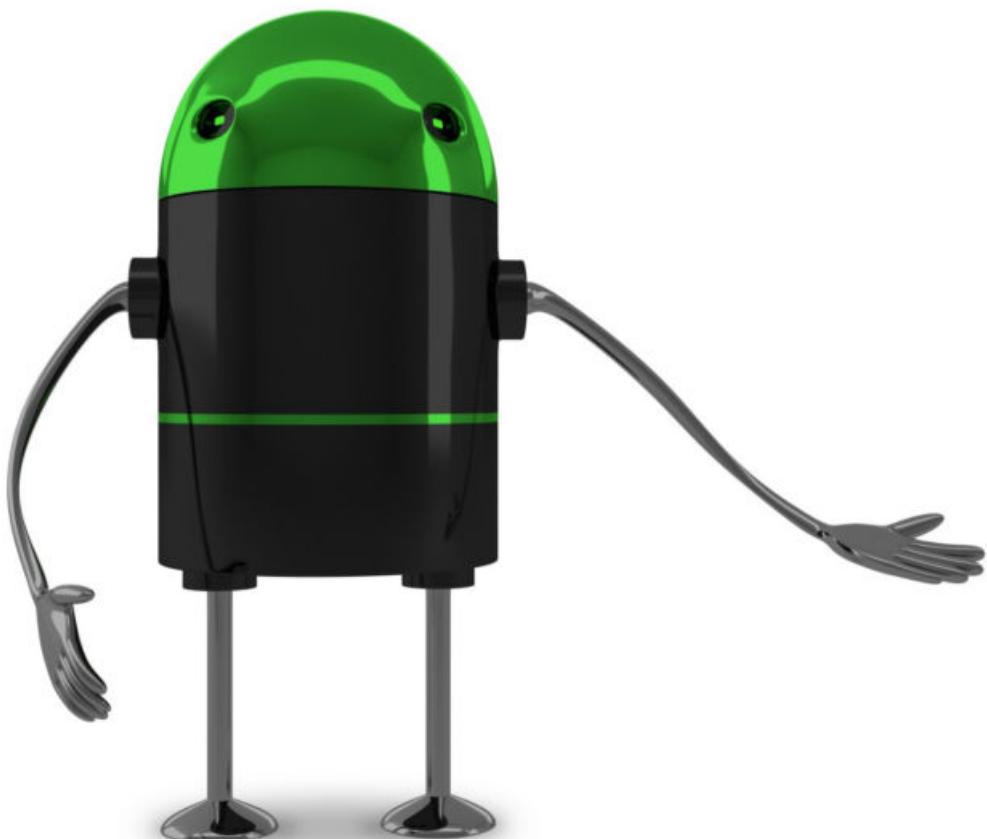


情報通信コース

Information and Communications Engineering Course

<http://educ.titech.ac.jp/ict/>



2021



東京工業大学工学院情報通信系

Tokyo Institute of Technology, School of Engineering
Department of Information and Communications Engineering

目次

| | | |
|-------------------|--------------------------------------|-----|
| 情報通信系の理念と概要 | 1 | |
| 修士課程概要 | 2 | |
| 博士課程 | 4 | |
| 教員一覧 | 6 | |
| 教員ページ | | |
| 一色 剛 | ●高機能プロセッサ設計自動化、高セキュリティVLSI | 14 |
| 植松 友彦 | ●ノンパラメトリックデータに対する情報理論、ネットワーク情報理論 | 16 |
| 尾形わかは | ●暗号、署名、暗号プロトコル | 18 |
| 奥村 学 | ●自然言語処理、テキストマイニング、Webテキスト処理 | 20 |
| 奥村 幸彦 | ●移動通信、無線通信技術、無線通信ネットワーク | 22 |
| 小尾 高史 | ●医用画像・情報処理、医療・社会情報システム | 24 |
| 笠井 健太 | ●符号理論、LDP符号、空間結合符号 | 26 |
| 金子 寛彦 | ●空間認識、立体視、異種感覚情報統合、眼球運動 | 28 |
| 北口 善明 | ●分散システム運用、通信品質計測、IPv6 | 30 |
| 熊澤 逸夫 | ●画像認識、触覚ディスプレイ、生体情報処理モデル、機械学習 | 32 |
| 黒澤 実 | ●電気音響、アクチュエータ、音響測位 | 34 |
| 小池 康晴 | ●計算論的神経科学、ヒューマンインターフェース | 36 |
| 佐々木 広 | ●計算機アーキテクチャ、コンピュータセキュリティ | 38 |
| 佐藤いまり | ●視覚情報工学、コンピュータグラフィックス、画像・光情報処理 | 40 |
| 實松 豊 | ●通信理論、多元接続、物理層セキュリティ | 42 |
| 篠崎 隆宏 | ●音声認識、音声情報処理、機械学習 | 44 |
| 杉野 暢彦 | ●コンパイラ、自動並列化、コード変換・最適化 | 46 |
| 鈴木 賢治 | ●深層・機械学習、AI支援画像診断、医用画像理解、人工知能 | 48 |
| スラヴァキス・コンスタンティノス | ●信号処理、機械学習、データアナリティクス | 50 |
| 高木 茂孝 | ●電子回路、集積回路、回路理論 | 52 |
| 高橋 篤司 | ●EDA、物理設計、次世代リソグラフィ | 54 |
| 田原麻梨江 | ●生体計測工学、農業計測工学、医用工学、波動工学 | 56 |
| 永井 岳大 | ●色彩工学、質感科学、感性工学、視覚心理物理学 | 58 |
| 中谷 桃子 | ●ヒューマンコンピュータインターラクション、サービスデザイン | 60 |
| 中原 啓貴 | ●コンピュータアーキテクチャ、FPGA、AI、多値論理 | 62 |
| 中村健太郎 | ●超音波工学、光計測、光ファイバセンサ | 64 |
| 中本 高道 | ●嗅覚ディスプレイ、感性情報センシング、匂いセンサ、組み込みシステム | 66 |
| 中山 実 | ●視覚情報処理、知覚認知、学習評価、教育工学 | 68 |
| 西尾 理志 | ●無線ネットワーク、機械学習、無線センシング | 70 |
| 長谷川晶一 | ●バーチャルリアリティ、シミュレーション、ヒューマンインターフェース | 72 |
| 原 祐子 | ●IOT、組込みシステム、HW/SW協調設計 | 74 |
| 府川 和彦 | ●無線通信、ディジタル信号処理、適応フィルタ、無線ネットワーク | 76 |
| 船越孝太郎 | ●自然言語処理、対話システム、マン・マシン・インターラクション | 78 |
| ベラール・ダニエル | ●データサイエンス、機械学習、バイオインフォマティクス | 80 |
| ホルム・ペッター | ●ネットワーク科学、計算社会科学、デジタル疫学 | 82 |
| 松本隆太郎 | ●量子情報理論、ネットワーク符号化、情報理論的セキュリティ | 84 |
| 本村 真人 | ●ディープラーニング／アニーリング等のプロセッサ | 86 |
| 山岡 克式 | ●情報通信ネットワーク（インターネット、電話網、新世代ネットワーク） | 88 |
| 山口 雅浩 | ●光工学、画像工学、ホログラフィー、分光画像 | 90 |
| 山田 功 | ●信号処理、逆問題、最適化、機械学習 | 92 |
| 劉 載勲 | ●コンピュータビジョン、DNNプロセッサ | 94 |
| 吉村奈津江 | ●脳情報デコーディング、ブレイン・マシン・インターフェース | 96 |
| 渡辺 義浩 | ●コンピュータビジョン、拡張現実、デジタルアーカイブ、インターラクション | 98 |
| 卒業生紹介 | | 100 |
| 大学院修了後の進路・アクセスマップ | | 102 |

情報通信系

私たちが相互の円滑なコミュニケーションをはかり効率的な社会活動を行う上で、情報通信システムの果たす役割はますます重要になってきています。情報通信システムは私たちの生活を大きく変えるポテンシャルを有しているだけに、その影響する対象も非常に広範なものとなっています。

情報通信系は、情報通信コースおよびライフエンジニアリングコース、エンジニアリングデザインコースから構成されます。これらのコースは、人に優しく持続的な高度情報通信社会をハードウェアとソフトウェアの両面から支える基盤技術と応用技術から成る学問領域に貢献することを目的にしています。具体的には、通信・ネットワーク、信号処理、VLSI（超大規模集積回路）、コンピュータシステム、セキュリティ、メディア情報処理、生体情報処理、感覚情報処理、知的情報処理など情報通信分野の広範な学術・研究分野において、研究および教育に取り組んでいます。

修士課程では、基礎的な理解力と応用発展力を身につけるとともに、情報通信産業全体を俯瞰する視野を養います。また同時に、国際感覚や研究開発等における強い倫理観についても様々な活動を通して体得します。これにより、世界第一級の力量をもつ研究者・技術者、グローバルに活躍できる産業界等の幹部候補を養成することを目的としています。博士課程では、これらの能力や視野をさらに発展させ、豊かな国際社会の実現に向けて科学・技術のフロンティアを開拓・牽引できるリーダーとなる人材を養成することを目的としています。

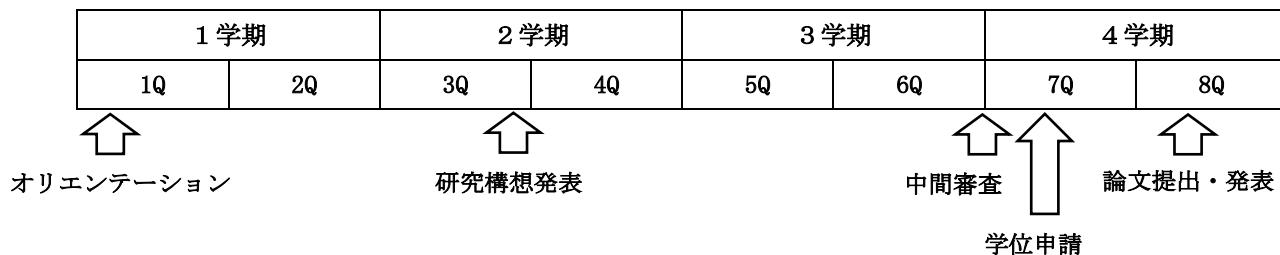


情報通信コース修士課程

(ライフエンジニアリングコースおよびエンジニアリングデザインコースについては各コースのパンフレットを参照してください)

●修土論文研究

修士論文研究では、一連の研究プロセスを体験し、問題設定能力、問題解決力やコミュニケーション力の向上を目指します。標準的な研究の流れは以下のとおりです。ただし、発表、審査などの時期は各自の研究の進捗状況などによって変わるために、具体的な研究スケジュールなどについては指導教員と十分相談してください。



●学修目標

本課程では、次のような能力の修得を学修目標としています。

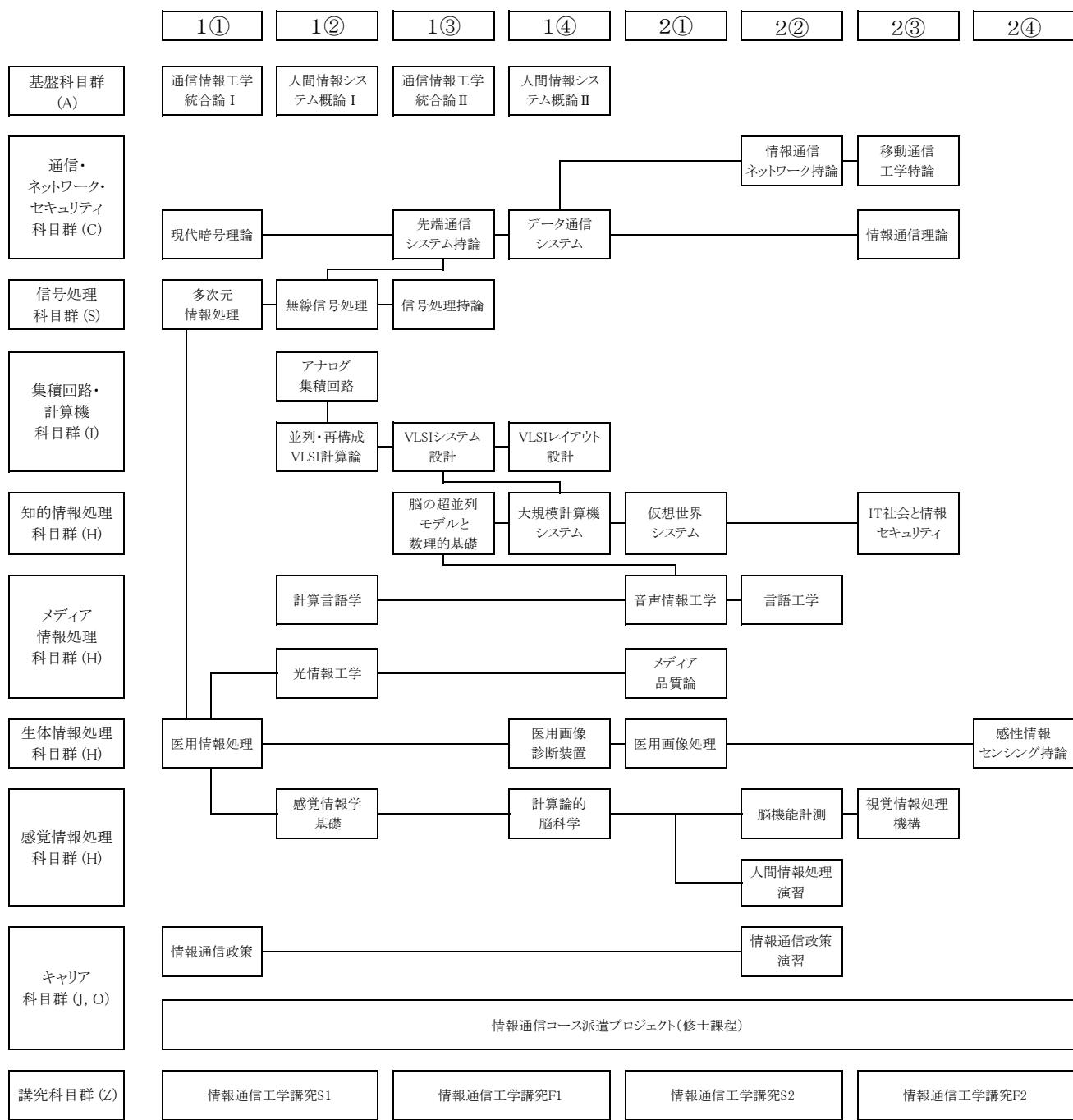
- ・情報通信分野における研究・技術開発に必要な専門的学力
- ・関連分野の専門学力を自ら修得し、実践的問題解決に結びつける力
- ・社会との関係の中で専門知識を活用して、新たな課題解決と創造的提案を行う力
- ・国際的視野をもって研究・開発の潮流を理解し体系化する能力
- ・情報通信分野に関する業務に従事するに必要な能力と学識
- ・日本語及び英語によって科学技術情報を論理的に説明・文書化する能力をもち、議論を展開できる力
- ・強い倫理観を持って研究開発等に携わる姿勢

●修了要件（正確な内容は学修案内を参照してください）

本コースの修士課程を修了するために満たさなければならない要件は、次の通りです。

1. 30単位以上を大学院授業科目（400及び500番台）から修得していること
 2. 本コースで指定された授業科目において、次の要件を満たすこと
 - ・講究科目8単位を修得していること
 - ・情報通信コース標準学修課程の専門科目群から22単位以上を修得していること
 - ・A群から2単位以上、B群から2単位以上を修得していること
 - ・文系教養科目のうち400番台の科目を2単位以上、500番台の科目を1単位以上、キャリア科目を2単位以上、修得していること
 - ・コース標準学修課程以外の専門科目又は研究関連科目から2単位以上を修得していること
 3. 研究構想発表を行い、中間審査を受け、修士論文審査及び最終試験に合格すること
- * A群：情報通信工学統合論I、情報通信工学統合論II
B群：人間情報システム概論I、人間情報システム概論II

●修土科目体系図

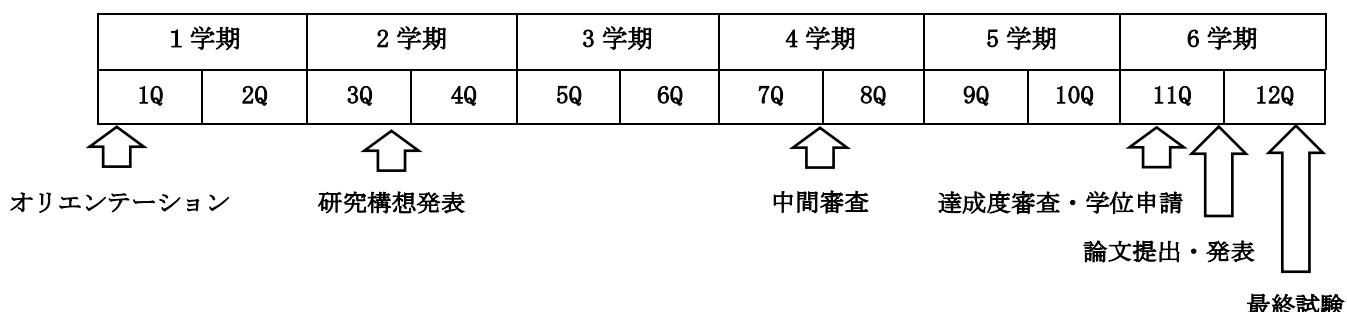


情報通信コース博士課程

(ライフエンジニアリングコースおよびエンジニアリングデザインコースについては各コースのパンフレットを参照してください)

●博士論文研究

博士論文研究では、問題解決力に加えて、問題設定能力を培います。標準的な研究の流れは以下のとおりです。ただし、発表、審査などの時期は各自の研究の進捗状況などによって変わるために、具体的な研究スケジュールなどについては指導教員と十分相談してください。



●学修目標

本課程では、次のような能力の修得を修士課程より高い基準で学修目標としています。

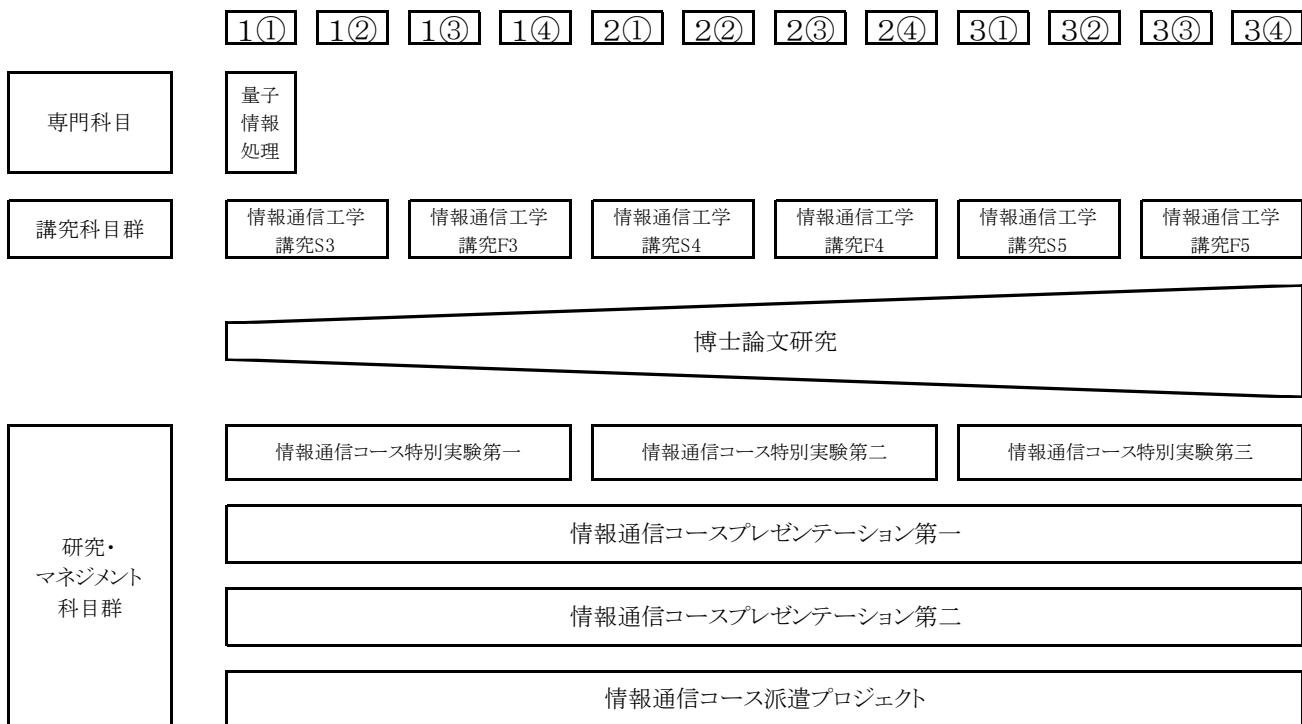
- ・情報通信分野における研究・技術開発に必要な高度な専門的学力
- ・関連分野の専門学力を自ら修得し、新しい領域の開拓および実践的問題解決に結びつける力
- ・社会との関係の中で専門知識を活用して、新たな課題解決と創造的提案を行う力
- ・国際的視野をもって研究・開発の潮流を理解し体系化する能力
- ・情報通信分野に関する高度に専門的な業務に従事するに必要な能力と学識
- ・情報通信分野について、独創的研究によって従来の学術水準に新しい知見を加えるとともに、研究者として自立して研究活動を行う力
- ・日本語及び英語によって科学技術情報を論理的に説明・文書化する能力をもち、リーダーとして研究・開発チームを指揮できる能力
- ・強い倫理観を持って研究開発等に携わる姿勢

●修了要件 (正確な内容は学修案内を参照してください)

本コースの博士後期課程を修了するために満たさなければならない要件は、次の通りです。

1. 24単位以上を大学院授業科目（600番台）から修得していること
2. 本コースで指定された授業科目において、次の要件を満たすこと
 - ・講究科目12単位を修得していること
3. 文系教養科目のうち600番台を2単位以上、キャリア科目を4単位以上、修得していること
4. 中間審査並びに達成度審査を受け、博士論文審査及び最終試験に合格すること

●博士科目体系図



大学院入試

大学院課程入学案内 (<https://educ.titech.ac.jp/ict/admissions/>)

および情報通信系サイト (<https://educ.titech.ac.jp/ict/>) を参考にしてください。

● 修士課程入学試験について

情報通信系情報通信コースおよび情報通信系ライフエンジニアリングコース、情報通信系エンジニアリングデザインコースを志望される方は、東京工業大学工学院情報通信系の募集要項を参照してください。英語については、本学の指定する外部英語テストのスコアをもって評価します。受験される方は早目にTOEICやTOEFLなどを受験してください。

入試に関する問い合わせ先 : inquiry21@ict.e.titech.ac.jp

● 博士後期課程（博士課程）入学試験について

入試は、修士論文や今までの研究実績などについての面接試験を予定しています。4月と10月を入学時とする出願の締切はその約3ヶ月前ですが、入学希望者は受験資格の判定、研究課題の検討のため、出願時期の少なくとも1ヶ月以前に希望する指導教員と相談を始めて下さい。また、外部英語スコアの提出が必要です。入試に関する問い合わせは、希望する指導教員か系主任に行なって下さい。

教員一覧

| 職・教員名 | 研究分野 |
|---------------------------------|---|
| 教授 一色 剛 ISHIKI Tsuyoshi | 高機能プロセッサ設計自動化、高セキュリティ VLSI |
| 教授 植松 友彦 UYEMATSU Tomohiko | 情報理論、符号理論、通信理論 |
| 教授 尾形わかは OGATA Wakaha | 暗号、署名、暗号プロトコル |
| 教授 奥村 学 OKUMURA Manabu | 自然言語処理、テキストマイニング、Web テキスト処理、機械学習 |
| 特定教授 奥村 幸彦 OKUMURA Yukihiko | 移動通信、無線通信技術、無線通信ネットワーク |
| 准教授 小尾 高史 OBI Takashi | 医用画像再構成、医療情報ネットワーク、認証基盤、社会情報システム |
| 准教授 笠井 健太 KASAI Kenta | 符号理論、LDPC 符号、空間結合符号 |
| 教授 金子 寛彦 KANEKO Hirohiko | 視覚情報処理、空間認識、眼球運動、異種感覚統合 |
| 准教授 北口 善明 KITAGUCHI Yoshiaki | 情報通信工学、次世代ネットワーク運用管理技術、ネットワークセキュリティ、システム信頼性評価 |
| 教授 熊澤 逸夫 KUMAZAWA Itsuo | 神経回路モデル、認知科学、画像処理、画像符号化、パターン認識、ユーザインターフェイス |
| 准教授 黒澤 実 KUROSAWA Minoru | メカトロニクス、アクチュエータ工学、センシング工学 |
| 教授 小池 康晴 KOIKE Yasuharu | ヒューマンインターフェース、計算論的神経科学、運動制御・学習モデル |
| 准教授 佐々木 広 SASAKI Hiroshi | 計算機アーキテクチャ、コンピュータセキュリティ、コンピュータシステム、IoT、ワークロード解析 |
| 特定教授 佐藤いまり SATO Imari | 視覚情報工学、画像・光情報処理、反射解析、コンピュータグラフィックス |
| 准教授 實松 豊 JITSUMATSU Yutaka | 無線通信、多元接続方式、物理層セキュリティ、深層学習による MRI 再構成 |
| 准教授 篠崎 隆宏 SHINOZAKI Takahiro | 音声認識、音声理解、教師なし学習、音声情報処理、機械学習 |
| 教授 杉野 暢彦 SUGINO Nobuhiko | GP GPU 向けコンパイラ、自動コード並列化、信号処理システム実現 |
| 教授 鈴木 賢治 SUZUKI Kenji | 機械学習、ディープラーニング、コンピュータ支援診断、医用画像処理、医用画像理解、人工知能 |
| 教授 Konstantinos Slavakis | 信号処理、機械学習、データアナリティクス |
| 教授 高木 茂孝 TAKAGI Shigetaka | 集積回路、回路網理論 |
| 教授 高橋 篤司 TAKAHASHI Atsushi | EDA、物理設計、次世代リソグラフィ |
| 准教授 田原麻梨江 TABARU Marie | 生体計測工学、業計測工学、医用工学、波動工学 |

| 居室 | 電話 メール BOX | e-mail URL | 担当コース |
|--------------|-----------------------|--|---|
| (大) 南3号館 521 | 03-5734-2842 S3-66 | isshiki@ict.e.titech.ac.jp www.vlsi.ict.e.titech.ac.jp | 情報通信系 情報通信コース |
| (大) 南3号館 304 | 03-5734-3243 S3-53 | uematsu@ict.e.titech.ac.jp www.it.ce.titech.ac.jp | 情報通信系 情報通信コース |
| (大) 南3号館 504 | 03-5734-3500 S3-67 | ogata.w.aa@m.titech.ac.jp www.crypt.ict.e.titech.ac.jp | 情報通信系 情報通信コース |
| (す) R2棟 720 | 045-924-5067 R2-7 | oku@pi.titech.ac.jp www.lr.pi.titech.ac.jp | 情報通信系 情報通信コース |
| (大) 南3号館 916 | - | okumuray@nttdocomo.com www.radio.ce.titech.ac.jp | 情報通信系 情報通信コース |
| (す) R2棟 326 | 045-924-5482 R2-60 | obi@isl.titech.ac.jp www-obi.isl.titech.ac.jp | 情報通信系 情報通信コース 情報通信系 ライエンジニアリングコース |
| (大) 南3号館 418 | 03-5734-3902 S3-61 | kenta@comm.ce.titech.ac.jp https://goo.gl/auzAzy | 情報通信系 情報通信コース |
| (す) G2棟 708 | 045-924-5292 G2-3 | kaneko.h.ab@m.titech.ac.jp www.kaneko.ip.titech.ac.jp | 情報通信系 ライエンジニアリングコース 情報通信系 情報通信コース |
| (大) 南3号館 312 | 03-5734-3354 S3-62 | kitaguchi@gsic.titech.ac.jp www.net.ict.e.titech.ac.jp | 情報通信系 情報通信コース |
| (す) R2棟 330 | 045-924-5291 R2-59 | kumazawa@isl.titech.ac.jp kuma2.isl.titech.ac.jp | 情報通信系 情報通信コース |
| (す) G2棟 614 | 045-924-5598 G2-32 | mkur@ip.titech.ac.jp www.kurosawa.ip.titech.ac.jp | 電気電子系 電気電子コース 情報通信系 情報通信コース |
| (す) J3棟 1120 | 045-924-5054 J3-10 | koike@pi.titech.ac.jp www.cns.pi.titech.ac.jp | 情報通信系 ライエンジニアリングコース 情報通信系 情報通信コース |
| (大) 南3号館 519 | - S3-69 | sasaki@ict.e.titech.ac.jp titech-caras.github.io | 情報通信系 情報通信コース |
| 国立情報学研究所 | - G2-12 | imarik@nii.ac.jp research.nii.ac.jp/pbv | 情報通信系 情報通信コース |
| (大) 南3号館 318 | - S3-65 | jitsumatsu@ict.e.titech.ac.jp | 情報通信系 情報通信コース |
| (す) G2棟 804 | 045-924-5582 G2-2 | shinot@ict.e.titech.ac.jp www.ts.ip.titech.ac.jp | 情報通信系 情報通信コース 情報通信系 ライエンジニアリングコース |
| (石) 9号館 108 | 03-5734-3419 I7-5 | sugino@ict.e.titech.ac.jp | 情報通信系 情報通信コース |
| (す) R2棟 523 | 045-924-5028 R2-58 | suzuki.k.di@m.titech.ac.jp aibi.first.iir.titech.ac.jp | 情報通信系 ライエンジニアリングコース 情報通信系 情報通信コース |
| | | kostas.slavakis@gmail.com www.acsu.buffalo.edu/~kslavaki | 情報通信系 ライエンジニアリングコース 情報通信系 情報通信コース |
| (大) 南3号館 416 | 03-5734-3030 S3-51 | takagi@ict.e.titech.ac.jp www.ec.ict.e.titech.ac.jp | 情報通信系 情報通信コース |
| (大) 南3号館 401 | 03-5734-2665 S3-58 | atsushi@ict.e.titech.ac.jp www.eda.ict.e.titech.ac.jp/takahashi | 情報通信系 情報通信コース |
| (す) R2棟 713 | 045-924-5051 R2-25 | tabaru.m.ab@m.titech.ac.jp tbr.pi.titech.ac.jp | 電気電子系 ライエンジニアリングコース 電気電子系 電気電子コース 情報通信系 情報通信コース |

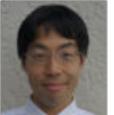
(大) : 大岡山、(石) : 石川台、(す) : すずかけ台

| 職・教員名 | 研究分野 |
|--|--|
| 准教授 永井 岳大 NAGAI Takehiro | 色彩工学、質感科学、視覚心理物理学 |
| 准教授 中谷 桃子 NAKATANI Momoko | ヒューマンコンピュータインタラクション、サービスデザイン、コミュニケーション支援、ウェルビーイング |
| 准教授 中原 啓貴 NAKAHARA Hiroki | コンピューターアーキテクチャ、FPGA、AI、多値論理 |
| 教授 中村健太郎 NAKAMURA Kentaro | 超音波デバイス・超音波計測、光応用計測、光ファイバセンサ |
| 教授 中本 高道 NAKAMOTO Takamichi | ヒューマンインタフェース、嗅覚ディスプレイ、感性情報処理、センサ情報処理、匂いセンシングシステム、バイオセンサ |
| 教授 中山 実 NAKAYAMA Minoru | 知覚認知、言語理解、ヒューマンファクタ、教育システム評価、教育工学 |
| 准教授 西尾 理志 NISHIO Takayuki | 無線ネットワーク、機械学習、無線センシング |
| 准教授 長谷川晶一 HASEGAWA Shoichi | バーチャルリアリティ、ヒューマンインタフェース、動力学シミュレーション、力触覚、エンタテインメント工学 |
| 准教授 原 祐子 HARA Yuko | IoT、組込みシステム、ハードウェア／ソフトウェア協調設計 |
| 教授 府川 和彦 FUKAWA Kazuhiko | 無線通信、信号処理、無線ネットワーク |
| 准教授 船越孝太郎 FUNAKOSHI Kotaro | 自然言語処理、マルチモーダル対話システム、ヒューマン・マシン・インターラクション、機械学習 |
| 特任准教授 Daniel Berrar Daniel Peter Berrar | データサイエンス、機械学習、統計学、バイオインフォマティクス、システムバイオロジー |
| 特任教授 Petter Holme Johan Petter Holme | ネットワーク科学、計算社会科学、デジタル疫学 |
| 准教授 松本隆太郎 MATSUMOTO Ryutaro | 誤り訂正符号、情報理論、量子通信 |
| 教授 本村 真人 MOTOMURA Masato | リコンフィギュラブルハードウェア、知能コンピューティング、ディープラーニングプロセッサ、アニーリングマシン |
| 教授 山岡 克式 YAMAOKA Katsunori | 情報通信ネットワーク（インターネット、電話網、新世代ネットワーク） |
| 教授 山口 雅浩 YAMAGUCHI Masahiro | 光工学、画像工学（マルチスペクトルイメージング、色再現、多原色ディスプレイ、医用画像、3次元画像、ホログラフィ） |
| 教授 山田 功 YAMADA Iсао | 信号処理、機械学習、最適化、逆問題、データサイエンス |
| 准教授 劉 載勳 YU Jaehoon | 機械学習、コンピュータビジョン、ディープラーニングプロセッサ、ハードウェアアクセラレータ |
| 准教授 吉村奈津江 YOSHIMURA Natsue | 脳情報デコーディング、ブレイン・マシン・インターフェース、脳波、核磁気共鳴画像 |
| 准教授 渡辺 義浩 WATANABE Yoshihiro | コンピュータビジョン、拡張現実、デジタルアーカイブ、インターラクション |

| 居室 | 電話 メール BOX | e-mail URL | 担当コース |
|-----------------|------------------------|--|---|
| (す) G2 棟 710 | 045-924-5460 G2-1 | nagai.t.aa@m.titech.ac.jp sites.google.com/view/tokyotechice-nagailab | 情報通信系 ライエンジニアリング コース 情報通信系 情報通信コース |
| (す) G2 棟 809 | 045-924-5452 G2-5 | nakatani.m.ad@m.titech.ac.jp | 情報通信系 エンジニアリング テクノロジコース 情報通信系 情報通信コース |
| (大) 南 3 号館 410 | 03-5734-2919 S3-59 | nakahara@ict.e.titech.ac.jp naklab.wpblog.jp | 情報通信系 情報通信コース |
| (す) R2 棟 718 | 045-924-5090 R2-26 | knakamur@sonic.pi.titech.ac.jp www.nakamura.pi.titech.ac.jp | 電気電子系 ライエンジニアリング コース 電気電子系 電気電子コース 情報通信系 ライエンジニアリング コース |
| (す) R2 棟 516 | 045-924-5017 R2-5 | nakamoto.t.ab@m.titech.ac.jp silvia.mn.ee.titech.ac.jp | 情報通信系 情報通信コース 情報通信系 ライエンジニアリング コース 電気電子系 電気電子コース |
| (大) 西 9 号館 821 | 03-5734-3234 W9-107 | nakayama@ict.e.titech.ac.jp www.nk.ict.e.titech.ac.jp | 情報通信系 情報通信コース システム制御系 システム制御コース |
| (大) 南 3 号館 514 | 03-5734-2627 S3-49 | nishio@ict.e.titech.ac.jp www.imc.cce.i.kyoto-u.ac.jp/~nishio | 情報通信系 情報通信コース |
| (す) R2 棟 624 | 045-924-5049 R2-20 | hase@pi.titech.ac.jp haselab.net | 情報通信系 情報通信コース |
| (大) 南 3 号館 317 | 03-5734-2914 S3-50 | hara@cad.ict.e.titech.ac.jp www.cad.ict.e.titech.ac.jp | 情報通信系 情報通信コース |
| (大) 南 3 号館 918 | 03-5734-3126 S3-52 | fukawa@radio.ict.e.titech.ac.jp www.radio.ce.titech.ac.jp | 情報通信系 情報通信コース |
| (す) R2 棟 529 | 045-924-5294 R2-7 | funakoshi@lr.pi.titech.ac.jp www.lr.pi.titech.ac.jp/~funakoshi | 情報通信系 情報通信コース |
| (大) 南 3 号館 306 | - S3-70 | daniel.berrar@ict.e.titech.ac.jp www.berrar.com | 情報通信系 情報通信コース |
| (す) R2 棟 803 | - R2-16 | holme@cns.pi.titech.ac.jp petterhol.me | 情報通信系 情報通信コース |
| (大) 南 3 号館 311 | 03-5734-3864 S3-54 | ryutaroh@ict.e.titech.ac.jp www.it.ce.titech.ac.jp | 情報通信系 情報通信コース |
| (す) J3 棟 1713 | 045-924-5653 J3-30 | motomura@ict.e.titech.ac.jp www.artic.iir.titech.ac.jp | 情報通信系 情報通信コース |
| (大) 南 3 号館 308 | 03-5734-3763 S3-68 | yamaoka@ict.e.titech.ac.jp www.net.ict.e.titech.ac.jp | 情報通信系 情報通信コース |
| (す) G2 棟 914 | 045-924-5137 G2-28 | yamaguchi.m.aa@m.titech.ac.jp www-oid.ip.titech.ac.jp | 情報通信系 ライエンジニアリング コース 情報通信系 情報通信コース |
| (大) 南 3 号館 502 | 03-5734-2503 S3-60 | isao@sp.ict.e.titech.ac.jp www.sp.ict.e.titech.ac.jp | 情報通信系 情報通信コース |
| (す) J3 棟 1715-1 | 045-924-5658 J3-30 | yu.jaehoon@artic.iir.titech.ac.jp www.artic.iir.titech.ac.jp | 情報通信系 情報通信コース |
| (す) R2 棟 810 | 045-924-5066 R2-16 | yoshimura@pi.titech.ac.jp www.cns.pi.titech.ac.jp | 情報通信系 ライエンジニアリング コース 情報通信系 情報通信コース |
| (す) G2 棟 716 | 045-924-5474 G2-31 | watanabe.y.cl@m.titech.ac.jp www.vision.ict.e.titech.ac.jp | 情報通信系 情報通信コース |

(大) : 大岡山、(す) : すずかけ台

研究グループと研究フィールド

| 人間情報システムG 感覚情報処理F | | 人間情報システムG メディア情報処理F | |
|---|--|---|--|
|  <p>教授 金子寛彦 視覚情報処理、空間認識、眼球運動、異種感覚統合</p> | |  <p>教授 奥村学(未来産業技術研究所) 自然言語処理、テキストマイニング、Webテキスト処理、機械学習</p> | |
|  <p>教授 小池康晴(バイオインタフェース研究ユニット)ヒューマンインターフェース、生体工学、運動制御・学習モデル</p> | |  <p>教授 スラヴァキス・コンスタンティノス 信号処理、機械学習、データアナリティクス</p> | |
|  <p>特任教授 ホルム・ペッター(バイオインタフェース研究ユニット)ネットワーク科学、計算社会科学、デジタル疫学</p> | |  <p>教授 中本高道(未来産業技術研究所) ヒューマンインターフェース、嗅覚ディスプレイ、感性情報処理、センサ情報処理</p> | |
|  <p>特定教授 佐藤いまり 視覚情報工学、画像・光情報処理、反射解析、コンピュータグラフィックス</p> | |  <p>教授 山口雅浩 光工学、画像工学(マルチスペクトルイメージング、色再現、多原色ディスプレイ、医用画像)</p> | |
|  <p>准教授 永井岳大 色彩工学、質感科学、視覚心理物理学</p> | |  <p>准教授 篠崎隆宏 音声認識、音声理解、教師なし学習、音声情報処理、機械学習</p> | |
|  <p>准教授 吉村奈津江(バイオインタフェース研究ユニット)脳活動信号処理、ブレイン・マシン・インターフェース、脳波、核磁気共鳴画像</p> | |  <p>准教授 長谷川晶一(未来産業技術研究所) バーチャルリアリティ、ヒューマンインターフェース、動力学シミュレーション、力触覚</p> | |
| 人間情報システムG 知的情報処理F | | 人間情報システムG 生体情報処理F | |
|  <p>教授 熊澤逸夫(未来産業技術研究所) 神経回路モデル、認知科学、画像処理、画像符号化、パターン認識、ユーザインターフェイス</p> | |  <p>教授 鈴木賢治(WRHI) 機械学習、ディープラーニング、コンピュータ支援診断、医用画像処理、医用画像理解、人工知能</p> | |
|  <p>教授 杉野暢彦(学術国際情報センター) GPGPU向けコンパイラ、自動コード並列化、信号処理システム実現</p> | |  <p>教授 中村健太郎(未来産業技術開発研究所) (電気電子系主担当)超音波デバイス・超音波計測、光応用計測、光ファイバセンサ</p> | |
|  <p>准教授 黒澤実(電気電子系主担当) メカトロニクス、アクチュエータ工学、センシング工学</p> | |  <p>准教授 小尾高史(未来産業技術研究所) 医用画像再構成、医療情報ネットワーク、認証基盤、社会情報システム</p> | |
|  <p>准教授 中谷桃子 ヒューマンコンピュータインターラクション、サービスデザイン、ユーザエクスペリエンス</p> | |  <p>准教授 田原麻梨江(未来産業技術研究所) (電気電子系主担当)生体計測工学、農業計測工学、医用工学、波動工学</p> | |
|  <p>准教授 劉載勲(AIコンピュータービジョン研究ユニット)機械学習、コンピュータビジョン、ディープラーニングプロセッサ</p> | | | |
|  <p>准教授 渡辺義浩 コンピュータビジョン、拡張現実、デジタルアーカイブ、インターラクション</p> | | | |

研究グループと研究フィールド

信号処理G メディア信号処理F

教授 中山実

知覚認知、言語理解、ヒューマンファクタ、
教育システム評価、教育工学

通信・ネットワーク・セキュリティG

通信ネットワークF

信号処理G 逆問題F

教授 山田功

信号処理、機械学習、最適化、逆問題、
データサイエンス

集積回路・計算機G デジタル集積回路F

教授 一色剛

高機能プロセッサ設計自動化、
高セキュリティVLSI

通信・ネットワーク・セキュリティG

通信方式F

教授 府川和彦

無線通信、信号処理、無線ネットワーク

教授 高橋篤司

EDA、物理設計、次世代リソグラフィ

特定教授 奥村幸彦

移動通信、無線通信技術、無線通信ネットワーク

准教授 原祐子

IoT、組込みシステム、
ハードウェア／ソフトウェア協調設計

集積回路・計算機G アナログ集積回路F

教授 高木茂孝

集積回路、回路網理論

情報通信融合G

高度分散情報通信システムF

教授 植松友彦

情報理論、符号理論、通信理論

教授 山岡克式

情報通信ネットワーク（インターネット、電話網、新
世代ネットワーク）

教授 尾形わかは

暗号、署名、暗号プロトコル

准教授 佐々木広

計算機アーキテクチャ、コンピュータセキュリティ、
コンピュータシステム、IoT、ワークロード解析

准教授 笠井健太

符号理論、LDPC符号、空間結合符号

准教授 中原啓貴

コンピュータアーキテクチャ、FPGA、AI、
多値論理

准教授 實松豊

無線通信、多元接続方式、物理層セキュリティ、
深層学習によるMRI再構成

准教授 西尾理志

無線ネットワーク、機械学習、無線センシング

准教授 松本隆太郎

誤り訂正符号、情報理論、量子通信

特任准教授 ベラール・ダニエル

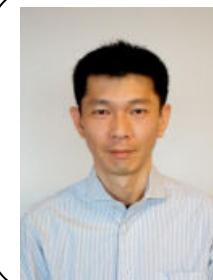
データサイエンス、機械学習、統計学、
バイオインフォマティクス、システムバイオロジー

高機能 VLSI システム設計

教授 一色 剛

研究分野：高機能プロセッサ設計自動化、高セキュリティ VLSI

ホームページ: <http://www.vlsi.ict.e.titech.ac.jp>

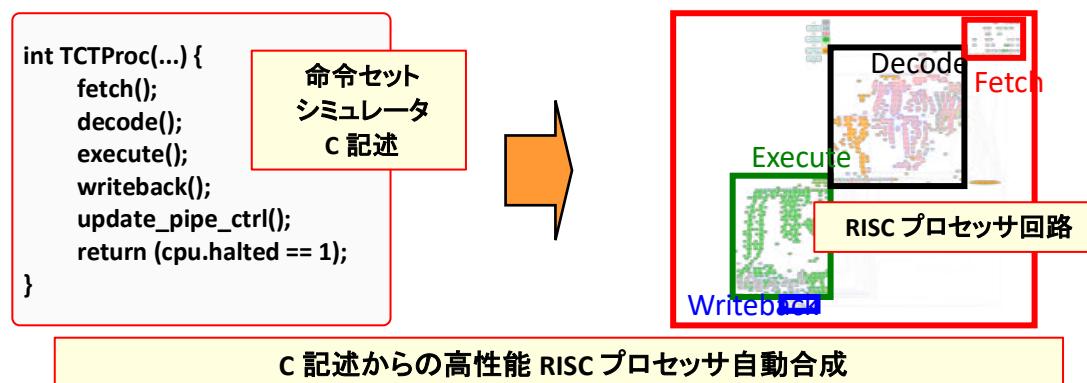


● 研究内容・目的

現在の携帯情報端末や情報機器は非常に複雑で高機能な組込みシステムが搭載されており、そのハードウェアは最先端の VLSI 技術を駆使したシステム・オン・チップ (SoC) によって実現されている。その上で多様なアプリケーションを実行できる柔軟性と、高い処理性能・消費電力効率を達成するために、複数のプロセッサを搭載したマルチコア構成や、アプリケーションに特化した専用プロセッサや専用ハードウェアとの最適な組合せが重要となってきている。

また、あらゆる組込み機器がネットワークに繋がる IoT (Internet-of-Things) の到来によって、IoT デバイスやネットワーク機器のセキュリティ技術の重要性が益々高まっており、ここでもハードウェア・ソフトウェアの協調ソリューションが必須となっている。

本研究室では、このような SoC のシステムレベル設計最適化手法と高セキュリティ SoC アーキテクチャの確立とを目指し、ハードウェア（プロセッサ、高並列演算機構、高速通信機構、キヤッッシュ機構、高速暗号処理回路）とソフトウェア（コンパイラ生成、回路自動生成手法、設計ツール統合化環境、プログラム解析・マルウェア検知手法）の両面からの研究に取り組んでいる。



● 研究テーマ

1. C 記述からの論理回路自動合成技術

組込み機器で必要となる複雑な信号処理を効率的に実現するためには、処理アルゴリズムとハードウェアアーキテクチャの同時最適化が重要であるが、これまでの VLSI 設計技術では、アルゴリズムの記述抽象度でアーキテクチャを直接的に表現することが困難であった。本研究室では、高い抽象度の C 言語データフロー記述方式上で回路構造を定義し、直接的に論理回路を合

成する新しい VLSI 設計方式に取り組んでいる。この新たな設計技術を使って、大規模な高並列画像信号処理システム、高性能プロセッサ、高性能キャッシュメモリ、ネットワーク・オン・チップ等の開発を進めている。

2. アプリケーション特化プロセッサ設計環境

アプリケーション特化プロセッサ（ASIP : Application-Specific Instruction-set Processor）は、汎用プロセッサの柔軟性と専用回路の処理性能・電力効率を両立する可能性を持っており、画像信号処理分野を中心に活用され始めている。本研究室では、ASIP 設計全般において、アルゴリズム（アプリケーション）設計、命令セット設計・拡張、専用演算回路設計、高速シミュレーションモデル生成、専用コンパイラ生成、回路検証環境生成等をすべて網羅した ASIP 統合設計環境の構築に取り組んでいる。また、ASIP の適用アプリとして、画像系（信号処理、画像認識、グラフィックス）のほか、通信系（無線通信制御、ベースバンド、符号化、パケット処理）や暗号系（AES、RSA）への展開を計画している。

3. プログラム解析によるマルウェア検知技術

現在のセキュリティ技術の大きな役割を占めるウイルス検知技術は、バイナリシグネチャ（パターンマッチング）による1次検知、仮想空間動作（サンドボックス）による2次検知などの組合せで構築されているが、近年の爆発的なマルウェア発生状況には十分なソリューションとはなっていない。本研究室では、プロセッサ・コンパイラ生成・シミュレータ生成技術の研究成果をベースに、バイナリデータから直接プログラム構造を解析し、その構造情報を活用した網羅性の高いマルウェア検知技術の構築を目指している。特に、プログラム構造からの動的振舞い予測手法・特徴検知手法のアルゴリズム開発（ソフトウェア）と、バイナリデータのプログラム構造解析処理を高速に行うための専用回路設計（ハードウェア）の両面から取り組んでいる。

●教員からのメッセージ

いざれの研究テーマも国内外の第一線の大学や企業との共同研究を活発に進めており、プロセッサ設計、VLSI 設計、組込みシステム、ソフトウェア全般のいざれかに興味があり、特に実用性が高く広く社会に貢献できる研究を望む学生を歓迎する。

●関連する業績、プロジェクトなど

- 1 . H. Xiao, T. Isshiki, A. U. Khan, D. Li, H. Kunieda, Y. Nakase, S. Kimura, "A Low-Cost and Energy-Efficient Multiprocessor System-on-Chip for UWB MAC Layer", IEICE Trans. Information and Systems, vol.E95-D, no.8, pp.2027-2038 (リコー共同研究)
- 2 . T. Isshiki, D. Li, H. Kunieda, T. Isomura and K. Satou, "Trace-Driven Workload Simulation Method for Multiprocessor System-On-Chips", Design Automation Conference (DAC) (2009) (トヨタ共同研究)
- 3 . J. Ceng, J. Castrillon, W. Sheng, H. Scharwachter, R. Leupers, G. Ascheid, H. Meyr, T. Isshiki, and H. Kunieda, "MAPS: An Integrated Framework for MPSoC Application Parallelization", Design Automation Conference (DAC) (2008) (アーヘン工科大学共同研究)



情報理論に関する研究

教授 植松 友彦

研究分野: ノンパラメトリックデータに対する情報理論、ネットワーク情報理論

ホームページ: <http://www.it.ce.titech.ac.jp/>

● 研究内容

- (1) ノンパラメトリックなデータに対する情報理論の構築
- (2) ネットワーク情報理論の研究
- (3) 相関を有する情報源からの乱数生成

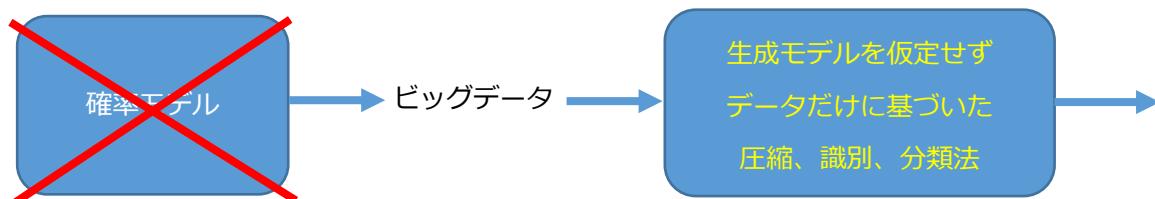
● 研究テーマ

1. ノンパラメトリックなデータに対する情報理論の構築

これまでの情報理論は、データを生成するメカニズムとして確率モデルである情報源や通信路を仮定し、確率過程によってデータが生成・伝達されると考えて理論を構築して来た。しかしながら、ビッグデータの時代になると、収集されたデータの背後に確率モデル（パラメトリックモデル）が必ずしも存在する保証はなく、データ自身に基づいて情報理論を構築する必要がある。

そこで、本研究では、機械学習やビッグデータ解析への応用を目的とし、生成モデルを仮定しないデータの圧縮・識別・分類、ならびに複数のデータ間の相関検出を行う方法を確立する。その結果、データ圧縮やデータ分類の性能限界を明らかにすることで、現在の技術水準が究極の性能に対してどのレベルまで来ているのか、あるいは、より高性能なシステムの設計・開発の指針を示す。

これまでの研究成果としては、ノンパラメトリックデータに関するデータ圧縮について検討を行い、符号化レート（圧縮率）の限界を明らかにすると共に、具体的な固定長符号化ならびに可変長符号化法を提案し、ブロック長を長くしたときに、符号化レートがこの限界に漸近することを明らかにしている。



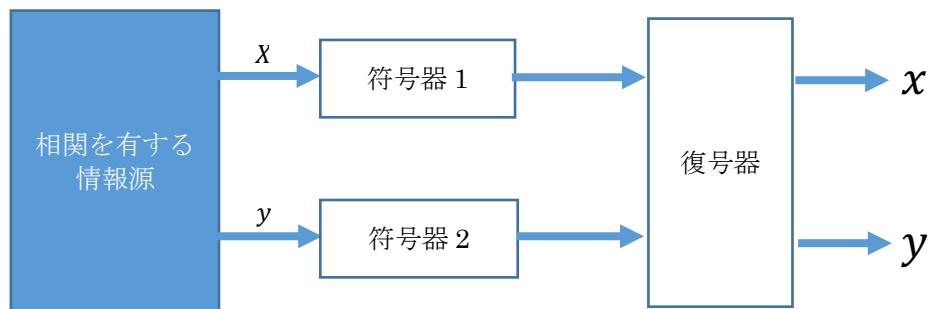
2. ネットワーク情報理論に関する研究

相関を有する 2 つの一般情報源からの出力列をそれぞれ独立に符号化して受信者に送り、受信者は 2 つの符号器の出力から 2 つの情報源の出力列を共に復元する符号化問題を Slepian-

Wolf 符号化問題と呼ぶ。Slepian-Wolf 符号化問題において、復号誤り率 ϵ を許容したとき、2つの符号器の符号化レートが満足すべき領域を ϵ 達成可能領域と呼ぶ。1998 年に Han は ϵ 達成可能領域を情報スペクトルによって表現することに成功した。これに対して我々は、 ϵ 達成可能領域をスムース最大エントロピーに類似した情報量を用いて記述し、この ϵ 達成可能領域の内界と外界がスムース最大エントロピーを用いて記述できることを示した。尚、任意に小さい復号誤り率を考えた場合、得られた内界と外界は一致することを明らかにした。

次に、相関を有する 2 つの一般情報源からの出力列をそれぞれ独立に符号化して受信者に送り、受信者は 2 つの符号器の出力から片方の情報源の出力列のみを復元する Wyner-Ahlswede-Korner 符号化問題を検討し、復号誤り率 ϵ を許容したとき、2 つの符号器の符号化レートが満足すべき領域 (ϵ 達成可能領域) がスムース最大エントロピーとスムース最大ダイバージェンスを用いて記述できることを明らかにした。

更に、歪みを許容した固定長符号化において、復号器のみが情報源と相関を有する副情報源からの出力を参照できる場合、すなわち Wyner-Ziv 符号化問題におけるレート歪み関数がスムース最大ダイバージェンスを用いて記述できることを明らかにした。



● 教員からのメッセージ

植松研究室では、使い捨てではない画期的な研究による人類の知的遺産の構築を理念として、情報理論の分野における世界的レベルでの貢献、世界初あるいは世界一の研究成果を目指して研究を行っています。数学的モデルによって情報の本質を明らかにしようとする野心溢れる学生の入門を歓迎します。

● 関連する業績、プロジェクトなど

- 1 . T. Uyematsu and T. Matsuta, "Equivalence among Some Information Measures for Individual Sequences," Proc. SITA 2018, pp.226-231, December 2018.
- 2 . T. Uyematsu and T. Matsuta, "Revisiting the Slepian-Wolf Coding Problem for General Sources: A Direct Approach," Proc. IEEE Inter. Symp. on Inform. Theory, pp. 1336-1340, June-July 2014.
- 3 . T. Uyematsu and T. Matsuta, "Source coding with side information at the decoder revisited," Proc. IEEE Inter. Symp. on Inform. Theory, pp. 1570-1575, June 2015.
- 4 . T. Uyematsu and T. Matsuta, "Revisiting Wyner-Ziv Source Coding Problem Using Smooth Min and Max Renyi Divergence," Proc. SITA 2015, pp. 49-54, November 2015.

暗号理論とその応用

教授 尾形 わかは

研究分野：暗号、署名、暗号プロトコル

ホームページ: <http://www.crypt.ict.e.titech.ac.jp/>



● 研究内容・目的

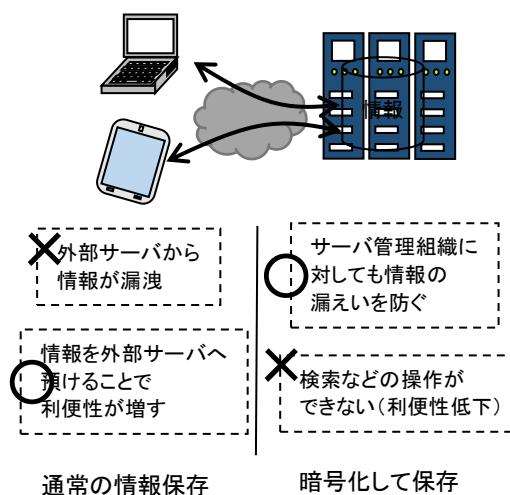
情報化社会においては、情報を秘匿するための暗号、通信相手を確認するためのエンティティ認証、伝送される情報の完全性を保証するためのメッセージ認証が不可欠であり、すでにインターネットや携帯電話において情報やユーザの安全性を守るために、暗号技術が広く利用されています。また近年では、ブロックチェーン技術を用いた暗号資産など、単に情報を暗号化したり、相手を認証するためだけでなく、様々な機能の実現に暗号技術が応用されています。当研究室では、より高い安全性と利便性を持ったサービスを実現するためには、どのように暗号技術が利用可能であるのか、また、どのような弊害が起こり得るのか、それを解明する研究を行っています。

● 主な研究テーマ

1. セキュアな委託計算

近年では、多くの個人や企業が大量の情報を外部サーバに預けて保管し、またその情報の処理（検索や加工など）も外部の計算資源を利用して行なうことが主流となりつつあります。ただ、組織における機密情報や、個人のプライバシー情報を外部に保存する場合は、外部サーバ管理者への漏えいリスクも考慮する必要があります。このような漏えいリスクは、情報の暗号化によって軽減することが可能ですが、一般に、暗号化された情報は、情報の検索や加工などの処理が不可能となり、利便性が大幅に低下します。

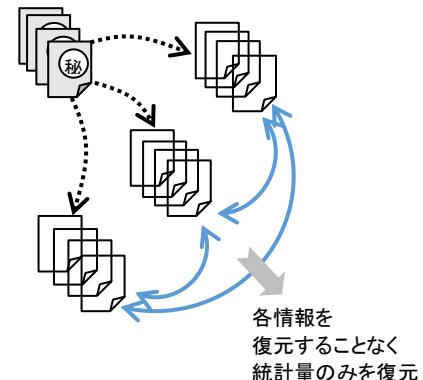
このような問題を解決する技術として、検索用インデックスを検索可能な状態で暗号化する検索可能暗号方式や、暗号化したままデータ処理が可能な準同型暗号などがあります。当研究室では、類似度の高い文書を検索する方式の安全性解析[2]や、完全準同型暗号を利用したプライバシー保護型データマイニングの研究などを行っています。また、暗号化した情報へのアクセスパターン解析による情報漏洩を防ぐための技術であるOblivious RAM方式に関する研究も行っています。



2. 秘密分散法の応用

情報の紛失に備えるための一般的な方法としては、情報のバックアップがありますが、バックアップ数を増やすほど情報漏えいのリスクは増大します。秘密分散法とは、情報の紛失と漏えいを同時に防ぐことのできる暗号技術です。典型的な秘密分散共有法である「しきい値法」では、秘密情報から生成される複数の「シェア」は次の2つの性質を満たします。(a)あらかじめ定められた数（しきい値）のシェアからは元の秘密情報を復元できる、(b)しきい値未満のシェアからは元の秘密情報について何もわからない。このように生成したシェアを別々のサーバに保管することで、サーバに対するサイバー攻撃や災害の際にも、情報漏洩や情報紛失を防ぐことができます。

秘密分散法は、情報を安全に保存するだけでなく、分散された複数の情報の操作（統計処理など）ができるという利点も持っており、完全準同型暗号と同様に、プライバシーを保護したデータマイニングサービスなどへ応用可能です。尾形研究室では、決定木による分類を行う効率的な方式の構築[3]などを行っています。



3. 高機能暗号・高機能署名の研究

上で紹介した暗号技術以外にも、様々な付加的な機能の付いた公開鍵暗号やデジタル署名があります。当研究室では、秘密鍵の部分情報が漏えいしても高い安全性を保つことのできるIDベース暗号（メールアドレス等を公開鍵の代わりに用いることのできる暗号方式）[1]や、多数の署名を集約することで署名長を節約できる署名方式[4]などの研究を行っています。

● 教員からのメッセージ

安全な暗号方式を設計するには、必要な機能と攻撃者のモデル化、それらに基づいた厳密な証明が欠かせません。これらの暗号理論研究で得た能力は、暗号研究者だけでなく様々な分野の研究者や技術者になった時に役立つと思います。

● 関連する業績、プロジェクトなど：

- [1] T. Tomita, W. Ogata, K. Kurosawa, R. Kuwayama, “CCA-Secure Leakage-Resilient Identity-Based Encryption without q-type Assumptions,” IEICE Trans. on Fundamentals, Vol. E103-A, No. 10, pp. 1157–1166 (2020. 10)
- [2] W. Ogata, T. Otemori, “Security analysis of secure kNN and ranked keyword search over encrypted data.” Int. J. Inf. Secure., vol. 19, issue 4, pp. 419–425 (2020. 8)
- [3] Ichikawa, W. Ogata, K. Hamada, R. Kikuchi, “Efficient Secure Multi-Party Protocols for Decision Tree Classification,” Proc. of ACISP 2019: Information Security and Privacy, LNCS vol. 1547, pp. 362–380 (2019. 7)
- [4] K. Hashimoto, W. Ogata, “Unrestricted and Compact Certificateless Aggregate Signature Scheme,” Inf. Sci., Vol. 487, pp. 97–114 (2019. 6)



ことばを計算機で処理する技術と その応用システムの開発

教授 奥村 学

研究分野：自然言語処理、テキストマイニング、Web テキスト処理

ホームページ: <http://www.lr.pi.titech.ac.jp/>

● 研究内容・目的

奥村研究室では、ことばを計算機で処理する技術に関する研究と、その技術を用いた応用システムの開発を行なう。ことばの理解というテーマでは、これまで研究が難しいとされている、意味、文脈理解を中心に行なっていきたい。それと同時に、世の中で役に立ちそうなシステムの開発も行なっていきたい。

● 研究テーマ

1. 人間の言語理解のモデルを目指して（頑健な自然言語の意味、文脈解析）

これまでの研究成果により、自然言語の解析技術のうち、形態素、構文解析がある程度の精度で、分野を限らないテキストに対して実行できるようになってきている。だが、その先の解析技術である意味、文脈解析はその水準に達しているとは言えない。そこで、テキスト中の単語の語義の決定、照応/省略の解消、テキストの構造の決定などの意味/文脈解析の問題について個別に研究し、頑健な意味、文脈解析技術の構築を目指す。

2. 機械学習、統計的手法に基づいた自然言語処理

言語処理の手法としては、現在 WWW 上などに大量の言語データ（コーパス）が蓄積されるようになってきたことから、それらのコーパスを情報源として、統計的手法あるいは機械学習手法を利用することで、言語処理用知識を得て、その知識を利用する立場を採って、言語処理手法を開発している。たとえば、今後高度な言語処理を行なうためには、我々人間が持っている常識的知識を計算機も利用して言語処理を行なう必要がある。この常識的知識をコーパスから自動獲得する研究を行なっている。

3. ソーシャルメディアを対象としたテキストマイニング

インターネットの普及とともに、Web 上で多くの人々情報発信するようになっている。このため、発信された人々の情報を収集し、それを利用したいという要求が高まっている。そこで、現在非常に注目を集めている、ソーシャルメディア上のテキストから社会の動向、意見や、書いているユーザがどのような人間なのかを分析する手法の研究開発を行なっている（図は、blogWatcher の出力イメージ）。

4. テキスト情報の提示技術

近年電子化されたテキストが世の中に満ち溢れしており、大量のテキストから必要なテキストを検索する技術と同時に、テキスト集合から人間が情報を効率的に入手できるよう、「わかりやすく」テキスト集合からの情報を提示する技術が求められている。テキストの要約、マルチメディア（音声、アニメーションなど）を用いたテキストの提示など、「わかりやすい」テキスト情報の提示技術を探求する。

● 教員からのメッセージ

2000年4月に精密工学研究所（現在の未来産業技術研究所）に着任して、18年が経ちました。研究室は、現在は高村大也教授と共同で運営しており、助教1名、博士課程の学生さん16名、修士課程の学生さん23名という、にぎやかな状態が定常になりました。「ことば」の処理に興味がある、意欲のある学生さんが来て下さることを期待しています。各自がやりたいこと（夢）を目指して、楽しく一緒に研究しましょう。

● 関連する業績、プロジェクトなど

1. IBM Faculty Award 受賞, 2015.
2. ソーシャルメディアを対象としたテキストマイニング, 電子情報通信学会 Fundamentals Review 誌, <http://www.ieice.org/ess/Fundam-Review.html>, Vol. 6, No. 4, 2013.
3. 自然言語処理の基礎, 奥村 学, コロナ社, 2010.



次世代移動通信システムの研究

特定教授 奥村 幸彦

研究分野：移動通信、無線通信技術、無線通信ネットワーク

ホームページ: <http://www.radio.ce.titech.ac.jp/>

● 研究内容・目的

2020年からのサービス開始を目指して研究開発が進められている第5世代移動通信システム(5G)では、スマートフォンやタブレット端末の普及によるモバイルデータトラヒックの急増や、IoT(Internet of Things)の普及に伴うトラヒックの質的な変化に対応するため、現行の第4世代移動通信システム(4G)に対して、通信容量の大幅な向上、データ通信の超高速化と、低遅延化、接続可能デバイス数の大幅な増加、端末及びネットワーク双方の低消費電力化と低成本化といった各種要求条件を満足する必要がある。加えて、様々な産業分野のニーズから生み出される新たなサービスやアプリケーションを柔軟に収容できるシステムを構築する必要があり、5Gの更なる進化とともに、新たな無線通信技術を段階的に導入できる次世代移動通信システムの継続的な研究が必要である。当研究室では、下記のテーマを中心に研究を行っている。

- 次世代移動通信システムの方式検討と性能評価
- 次世代移動通信システムの更なる進化に向けた無線アクセス技術
- 次世代移動通信システムの更なる進化に向けた無線制御やアプリケーション

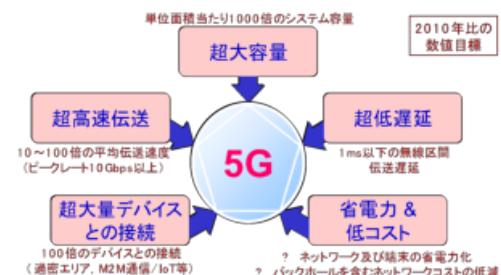
また、上記テーマの研究においてシミュレーション等による検討に加えて、実験装置を用いた検証も行っており、企業の最先端の研究開発環境における研究も可能である。

● 研究テーマ

1. 次世代移動通信システムの方式検討と性能評価

5Gでは、2010年比で約1,000倍になると言われている通信トラヒックの収容、よりリッチなコンテンツを扱えるように基地局あたりの最大スループットを4Gの1 Gbpsクラスに対して10 Gbpsクラスまで向上、1 ms以下の無線伝送遅延を提供等が求められている。さらに、100倍近い数の端末の同時接続を可能としつつ、ネットワーク全体の消費電力や設備・運用コストを十分に抑える必要がある。

現在、これらの多岐にわたるシステム性能要求条件を満足する5G無線アクセス方式・インターフェイスの検討とその国際標準規格化が進められている。本研究では、タイムリーにシミュレーションによる性能評価を通して5G無線アクセス方式の検討を行う。



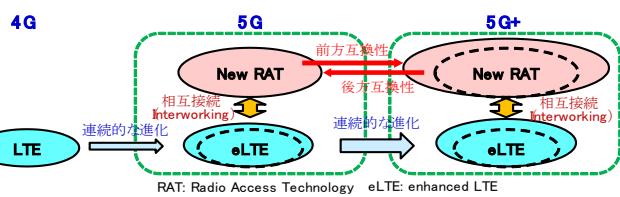
2. 次世代移動通信システムの更なる進化に向けた無線アクセス技術

5Gでは上記のシステム性能要求を達成するため、(i)周波数あたりの伝送効率(周波数利用効率)の向上、(ii)より高い周波数帯を採用することによる周波数帯域幅の拡大、(iii)より多くの基地局の高密度配置による面的システム容量の拡大等により無線アクセスの性能向上が図られる。ところで、周波数が高くなると電波伝搬損失が大きくなり、電波が遠くまで飛ばなくなることが知られている。それを解決するため、超多数素子のアンテナを用いて鋭い指向性ビームを生成し電波伝搬損失を補償するMassive MIMOの検討が進められている。また、Massive MIMOは周波数利用効率の向上や、基地局間の干渉を抑えることで高密度化にも貢献できる。本研究では、5G及びその更なる進化版(5G+, ...)の導入を目指し、Massive MIMOを中心とする無線アクセス技術について、試作装置を用いた屋内・屋外伝送実験による検証も含めて詳細な検討を行う。



3. 次世代移動通信システムの更なる進化に向けた無線制御やアプリケーション

5Gは、4Gのサービスエリアに追加する形でエリア展開され、5Gの周波数帯も複数になることが予想されるため、端末は複数の4G/5Gの周波数帯、次世代Wi-Fi等を含む複数の無線アクセスネットワークに同時に接続しつつ、ユーザのニーズに合わせて適切なものを選択する必要がある。本研究では、これらの無線制御技術について検討を行う。また、5G及びその進化版におけるアプリケーションやサービスについても、シミュレーション検討または実験検証を行う。



● 教員からのメッセージ

当研究室では、机上の理論検討やシミュレーションによる方式検討に加えて、より実践的な研究活動を体験してもらうため、企業における最先端の研究施設に滞在する形でも研究が行えます。企業の研究者との深い技術議論や意見交換の場を提供し、企業・研究機関等へ就職後に即戦力として活躍できる人材の育成を目指しています。企業の研究者とともに次世代移動通信システム・技術の創出に貢献したいと考えている学生の方を募集しております。

● 関連する業績、プロジェクトなど

1. ドコモの5Gに向けた取組み —2020年での5Gサービス実現に向けて—
https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/corporate/technology/rd/technical_journal/bn/vol23_4/vol23_4_003jp.pdf
2. ドコモと国内外の主要ベンダが継続実施中の「5G実験」の一部を担う研究活動(2014年度～2022年度予定)
3. 総務省・電波資源拡大のための研究開発「5G研究開発プロジェクト」と連動する研究活動(2015年度～2018年度)
4. 5Gモバイル推進フォーラムの「5Gシステム総合実証試験」と連動する研究活動(2017年度～2019年度)

医療・社会の情報化を支える 画像・情報処理技術

准教授 小尾 高史

研究分野：医用画像・情報処理、医療・社会情報システム

ホームページ: <http://www-obi.isl.titech.ac.jp/>



● 研究内容・目的

社会で問題となっているさまざまな課題の解決を目指し、利用者が医療機関や公共機関が有する情報などを安全に利用できるインフラの構築や、医療情報・社会情報を有効に利用可能とするシステムの研究を行っています。また、人の生体活動を調べるために必要となる新たな生体計測、画像化技術、特に生体機能解明や診療に必要となる画像処理技術の研究を行っています。

● 研究テーマ

1. 医療情報・社会情報流通基盤の安全性確保に関する研究

医療情報などの様々な情報の安全な流通を可能とするためには、本人確認やアクセスコントロールを行うと共に、これらデバイスの有する機能の標準化による情報システム間の相互運用性確保が極めて重要になります。本研究室では、多機能 IC チップの認証デバイスとしての性能を十分生かしつつ、安全な情報流通を保証するために必要となるフレームワークの確立を目指した研究を行っています。具体的なテーマとしては、マイナンバー制度のように、国民が直接的かつ積極的に自己のさまざまな情報を活用可能となる公共システムに関する研究、医療分野向けの情報システムに関する研究、さらには医療用ネットワーク基盤の開発などがあります。

特に、公的 IC カードの代表例である個人番号カードに必要となる機能の検討や、カードに搭載される機能を利用して、ネットワークサービスの安全性確保や医療分野・金融分野における新しいサービスの創設についての研究開発など、国民生活に直接関係する様々な技術の開発を実施しています。また、OpenFlow と呼ばれるネットワークフロー制御技術を医療分野で活用する技術の開発を行っており、この技術を応用して、医療機関同士を安全に接続するネットワーク基盤を構築する方法や具体的なサービスモデルに関する研究開発も行っています。

Don't leave home without my number card

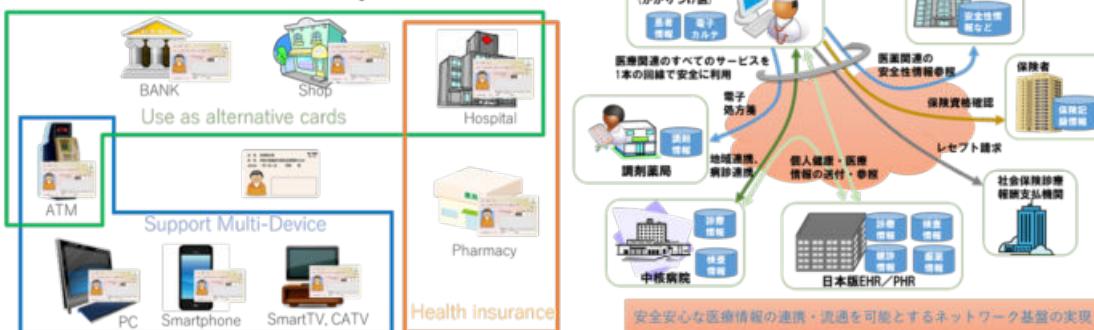


図1 個人番号カードの多目的利用の検討（左）と医療用ネットワーク基盤の検討（右）

2. 医用画像処理・情報処理に関する研究

Positron Emission Tomography (PET) や X 線 CT などは、体外で収集したデータから人体内部の情報を画像化する代表的装置であり、診断における重要な位置を占めています。本研究室では、疾病の早期発見や高精度な画像診断を可能にすることを目的として、体内の構造や機能を画像として正確に収集する手法の開発を行っています。特に、観測系の特性を正確に記述して統計的な画像再構成をおこなう手法を開発し、様々な対象へ適用しています。

また、他の医用画像関連の研究としては、マクロ病理画像解析の研究を行っています。がん等の治療方針の決定に必要となる病理診断では、摘出された臓器目視で観察し、微妙な色合いや質感等から病変部の位置や広がり、転移の有無等についてあらかじめ特定します。一般にはその後、ホルマリン等により固定処理を施たうえで、病変部を切り出し、作成した病理標本を顕微鏡で観察することで診断を行います。一方、臓器全体の色合いや質感のみから病変部・重症度の特定がある程度可能とも言われており、それを客観的に確認するための新たな撮像装置の開発、画像処理手法の開発を行っています。

その他、糖尿病予備軍の患者に対して行動変容を促すことで症状改善につながることを明らかにするために必要となる医療データ解析手法の開発や、個々の患者に対してどのような行動変容を促すべきかをAIで予測するための研究開発を行っています。

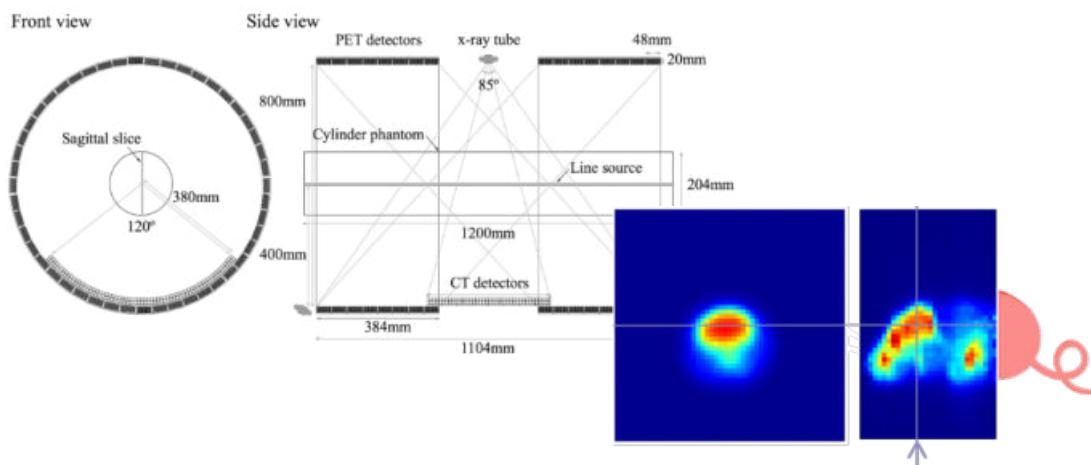


図2 OpenPET-X 線 CT 同時撮影装置の概略（左）とマウスの機能画像推定結果（右）

● 教員からのメッセージ

今後、医療分野や公共分野など身近なところで実際に使われる技術に興味のある人、こんなことができたらいいなとか、自分だったらこうしたいなと思っている人、世の中で困っていることを解決してみたいと思っている人を歓迎します。また、小尾研究室は、本学の科学技術創成研究院社会情報流通基盤研究センターに関連する研究室やセンターに関わる多くの民間企業などと共同で研究開発を進めていますので、幅広い研究テーマも自由に選択することができます。

● 関連する業績、プロジェクトなど

- 1 . T. Obi. Toward Realization of National Mobile ID in Japan, Government ID World 2018, <http://www.governmentidworld.com/proceedings>, Sep. 2018.
- 2 . I. Ismet, T. Obi, E. Yoshida, T. Yamaya. Monte Carlo simulation of sensitivity and NECR of an entire-body PET scanner, Radiological Physics and Technology, Springer, Vol. 7, No. 2, pp. 203-210, Jul. 2014.



誤り訂正符号の基礎と応用

准教授 笠井健太

研究分野：符号理論、LDPC 符号、空間結合符号

ホームページ: <https://goo.gl/auzAzy>

● 研究内容・目的

符号理論の目的は、通信路符号化定理などの情報理論が与える情報通信に関する主要な結果を現実的な方法によって実現することです。符号理論は情報通信産業に直接貢献する誤り訂正技術を扱っているので、シンプルで抽象的な問題だけではなく、現実の情報通信産業が直面している複雑な問題に対して実現可能な解決法を与えることが望まれています。一方で、符号理論は情報通信に関する多くの応用問題の基礎をなすために、他の通信工学の分野に比べてより厳密な証明が求められます。符号理論は、工学的重要性と理論体系の美しさによって多くの研究者の魅了し、多くの他分野に影響力のある学問分野を形成しています。**本研究室では推論に基づく誤り訂正技術を使って、情報通信システムの問題解決に取り組んでいます。**

● 研究テーマ

噴水符号: インターネットのパケット通信に適した誤り訂正

インターネットでは、情報はパケットと呼ばれる単位にまとめられて送られます。ネットワーク機器の性能の不足などで、パケットはしばしば消失してしまうことがあります。この時にどのような問題を考えられるでしょうか。例えば、1ギガバイトのファイルをパケットに分割してサーバから数百万人のユーザに送りたい状況を考えてみましょう。1番目から順にパケットを単純に送るような方法では、1つでもパケットが消失してしまうだけで、サーバに再送要求をしなければならず、サーバでは数百万人分の再送要求を受け付けることになり、現実的ではありません。従来のブロック誤り訂正符号では、ある決められた符号化率で符号化するために、上記の問題を解決することができませんでした。

ファイルを非常に小さい符号化率でファイルをパケット列に符号化しブロードキャストする事によってこの問題を解決することができます。この符号化法は、パケットを水滴に例え、噴水(fountain)符号と呼ばれています。受信者は、無限に送られてくるパケット列の中から数パーセントだけ余分に任意のパケットを受信することで、サーバに再送を要求することなしにファイルを完全に受信することができます。**本研究室で開発された乗法繰り返し多元 LDPC 符号を用いた噴水符号は、小さなサイズのファイルに対して世界で最もオーバヘッドの少ない噴水符号を実現しています。**



噴水符号を用いると、サーバでは再送要求に応える必要がなく、多くのユーザそれぞれに対して最適な誤り訂正を実現することができます。

受信者はサーバから送信される任意のパケットをファイルサイズより数パーセント多く受信することにより、ファイルを手に入れることができます。

量子誤り訂正符号

量子コンピュータおよび量子通信を実現することにより、従来のコンピュータや通信の枠組みでは実現が困難だと考えられている複雑な計算や安全な通信が実現できます。量子状態は劣化したりノイズの影響で変化することがあるので、量子コンピュータや量子通信を安定的に運用するためには、効率的に復号可能な量子誤り訂正符号が必要となります。本研究室では、**現在世界で最も誤り復号性能が優れた量子誤り訂正符号を開発することに成功しています。**



空間結合符号

事後確率を最大にするシンボルを推定することにより、シンボル復号誤り率を最小にすることができます。しかしこの最大事後確率復号法は、理論上理想的な復号法なのですが、計算量が大きく実現することができません。空間結合符号はこの最大事後確率復号と同じ復号性能を、確率推論に基づく低計算量の復号法により実現することができます。**本研究室では、この空間結合符号を通信の様々な問題に適用し理論限界に迫る結果を引き出すことに成功しています。**



空間結合符号は次のようなドミノ倒しの話に例えられます。解くべき難しい問題を1列に並べ、隣の問題が解けると次の問題が簡単に解けるよう隣同士を結合します。そして、端に簡単に解ける問題を用意しておくことで、ドミノ倒しの様に端から順にすべての問題が解けてしまうという寸法です。

● 教員からのメッセージ

学生の得意分野や性格に応じて指導方針を考えています。研究室までお越しください。

● 関連する業績、プロジェクトなど

論文

- T. Nozaki, K. Kasai and K. Sakaniwa, “Analytical Solution of Covariance Evolution for Irregular LDPC Codes,” IEEE Trans. on Information Theory, 2012.
- K. Kasai, D. Declercq and K. Sakaniwa, “Fountain Coding via Multiplicatively Repeated Non-Binary LDPC Codes,” IEEE Trans. on Communications, 2012.
- K. Kasai, M. Hagiwara, H. Imai and K. Sakaniwa, “Quantum Error Correction beyond the Bounded Distance Decoding Limit,” IEEE Trans. on Information Theory, 2012.
- K. Kasai, D. Declercq, C. Poulliat and K. Sakaniwa, “Multiplicatively Repeated Non-Binary LDPC Codes,” IEEE Trans. on Information Theory, 2011.

講演（招待）

- K. Kasai, “The Many Applications of Spatially-Coupled Codes,” IEEE Information Theory Workshop, Paraty, Brazil, Oct. 16–20, 2011.

受賞

- エリクソン・ヤングサイエンティストアワード 2010

人間の視覚情報処理メカニズムの理解と応用

教授 金子 寛彦

研究分野：空間認識、立体視、異種感覚情報統合、眼球運動

ホームページ: <http://www.kaneko.ip.titech.ac.jp/>



●研究内容・目的

人間が外界を「見る」ための情報処理過程は、左右眼の網膜に写った二枚の二次元画像から始まる。その最初の情報が二次元であるにもかかわらず、見ている対象は生き生きとした三次元空間に感じられる。飛んでくるボールをラケットで打ち返すことや、針の穴に糸を通すような作業ができるところからわかるように、三次元知覚のための情報処理は素早く精密である。

本研究室では、視覚系を中心とした人間の知覚認知メカニズムの解明を目指している。具体的には、空間認識、視覚と前庭感覚や体性感覚との統合、眼球運動などの情報処理過程に関する研究を行っている。その中で、心理物理的手法により計測される知覚や認識の様相を表すデータと、眼球運動や身体の運動・行動などの生体計測データを用いる。これらのデータを用いて、知覚情報処理特性を定量化し、知覚情報処理メカニズムのモデル化を進める。また得られた知見に基づき、立体表示やバーチャルリアリティ(VR)システム、ヒューマンインターフェース、あるいは、車のインテリアや道路のデザインなどに関する応用的な研究も行っている。

●研究テーマ

1. 両眼視差による空間認識機構

三次元空間にある対象を両眼で観察したとき、左右に約6cm離れた両眼の網膜像はわずかに異なる(図1)。両眼視差とはこの左右像の違いのことであり、人間はこの情報から三次元形状を認識できる。一般に水平方向のずれ(水平視差)の効果が検討されるが、垂直方向のずれ(垂直視差)も空間認識において重要であることが明らかにされており、本研究室でも垂直視差処理の特性とメカニズムを実験的に研究している(図2)。この研究により、水平視差が対象の空間形状の情報となるのに対し、垂直視差は観察者自身の眼や頭部の位置の情報となり、それらの位置の変化による水平視差の変化を補正する働きをしていることがわかつってきた。(文献1,2)

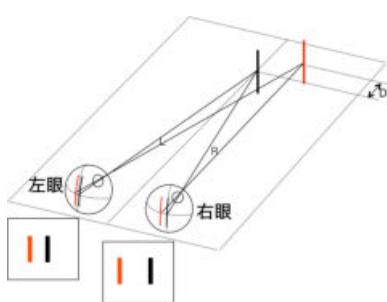


図1. 対象の空間的位置と両眼像。

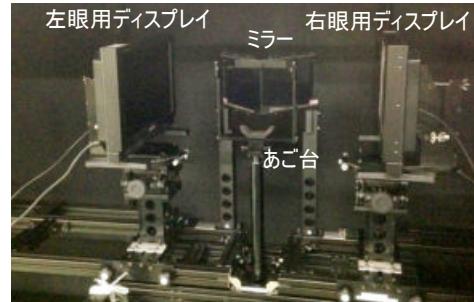


図2. 両眼視差を制御する実験装置（ステレオスコープ）。

2. 視覚情報と前庭・体性感覚情報の統合機構

人間は、視覚情報に加えて、耳の奥にある三半規管と耳石器官による前庭感覚情報や、体表面や内部にあるセンサーによる体性感覚情報を用いて、自己の運動感覚の生成、姿勢や眼球運動の制御などを行っている。本研究室では、ヘッドマウントディスプレイ(HMD)や回転台(図3)などを用いて、視覚情報と前庭・体性感覚情報を独立にコントロールして実験を行い、異種感覚情報統合過程についての検討を行っている。そして人間の感覚系は、それぞれの感覚情報の特性を生かして統合し、外界や自分自身の位置や動きの知覚を生成していることが明らかになってきた。このような研究から得られる知見は、宇宙空間などの特殊環境における知覚や、身体運動時の対象運動の知覚の予測などにも役立つ。(文献3,4)



図3. HMD と回転台.

3. 眼球運動計測に基づいた心理状態の推定

人の視線が向く方向と注意が向く方向は完全には一致しない(図4)。視線計測については多くの手法が開発され、精度の高い機器が実用化されているが、注意位置を計測する機器は、現段階では実用化されていない。注意位置の推定が可能になれば、視線計測より精度よく人の心理状態を推定することが可能となる。本研究室では、意識的には制御できない微小眼球運動や瞳孔変動に基づき注意位置を推定する手法の研究を行っている。この手法は、注意に基づいた情報入力機器の開発にもつながる。(文献5,6)



図4. 視線位置と注意位置.

●教員からのメッセージ

「我々が見ている世界は、単なる脳内の電気信号によってできた幻想である。」「いや、見えるからこそ物理世界があるのであって、人間がいなくなれば物理世界もなくなるのだ。」こんな議論がなんだか解らないけど面白そうだと思った人は、視覚や脳に関する文献を一度読んでみると運命の出会いがあるかもしれない。

視覚や脳の分野はまだまだ未知な部分が多いため、既存の知識や方法論が通用せず、進むべき方向を自分で見つけなければならない点が難しい。しかし、研究を始めて間もない人でも、世界中の誰も知らないことが初めて解ったり、誰も見たことがないものを初めて見たりといった、ゾクゾクするような経験ができる可能性がある分野もある。未知なことが好きな人、その解明に果敢にチャレンジする気持ちを持つ人、自分が感じることや見えることを不思議で面白いと思う人、身の回りのものを見たときに合わせてもっと便利で使いやすくしたいと思っている人を歓迎する。

●関連する業績

1. Kei Kanari and Hirohiko Kaneko, "The effect of spatial structure defined by binocular disparity with uniform luminance on lightness", *Perception*, 49(1), 3-20 (2020).
2. 金子寛彦, “空間知覚の基礎”, 視覚心理入門 -基礎から応用視覚まで- (分担), オーム社 (2009).
3. Takuma Miwa, Rumi Hisakata and Hirohiko Kaneko, "Effect of the gravity direction in the environment and visual polarity and body direction on the perception of object motion", *Vision Research*, 164, 12-23 (2019).
4. 村瀬健二, 武田雄策, 原利宏, 金子寛彦, “自動車運転時の周辺対象認知における頭部と眼球運動”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 23(3), 207-216 (2018).
5. Yumiko Muto, Hideka Miyoshi and Hirohiko Kaneko, "Eye-gaze information input based on pupillary response to visual stimulus with luminance modulation", *PLoS ONE*, 15(1), e0226991 (2020).
6. Xiaofei Hu, Rumi Hisakata and Hirohiko Kaneko, "Effect of spatial frequency and attention on pupillary response", *J. Optical Society of America A*, 36(10), 1699-1708 (2019).

ネットワーク運用技術の研究

准教授 北口 善明

研究分野：分散システム運用、通信品質計測、IPv6

ホームページ: <https://www.net.ict.e.titech.ac.jp/> (山岡研究室と合同)



● 研究目的・内容

インターネットに代表される情報通信ネットワークは、今日の我々にとって必要不可欠な存在となっています。現代社会を支える基盤技術である情報通信ネットワークにおいて、安定的な運用やサービス品質保証を実現するために必要な技術を確立することを目的としています。

● 研究テーマ

1. ユーザ視点でのネットワーク状態計測手法の研究

キャンパスネットワークやイベントネットワークなどの運用においてネットワークを提供する場合、ユーザから「つながらない」というクレームを受ける時があります。「つながらない」状況の問題点を突き止めるには、ユーザ側からのネットワーク観測が有効となります。ユーザからは得てして「つながらない」という漠然とした情報しか得られないことが多いです。そこで、ネットワーク障害などを定量的に解決するために、我々はエンドユーザが利用している実環境からの状態観測情報をネットワーク運用者に的確に伝える手法の確立を目指しており、ユーザ視点によるネットワーク状態計測手法を提案し研究を行っています。

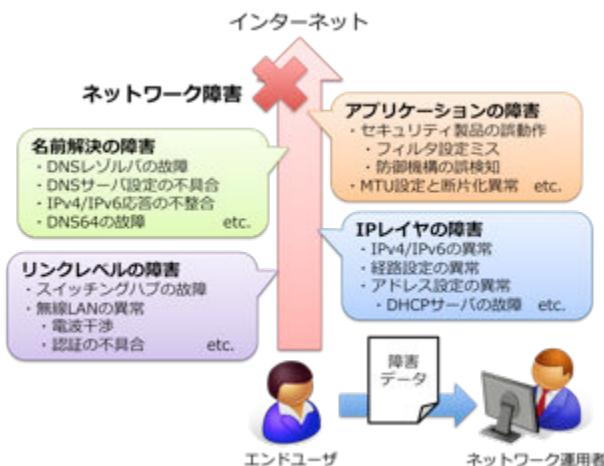


図 1 ユーザ視点によるネットワーク状態計測手法

2. IPv6 時代におけるネットワーク運用の研究

IPv6 (Internet Protocol version 6) は、1995 年に策定された次世代のインターネットプロトコルです。現行のプロトコル (IPv4) が持つ IP アドレス数の限界を回避するために登場しましたが、互換性がないことからネットワークを二重運用するデュアルスタック化が必要となり、運用コスト増加が原因で利用が進んでいませんでした。ただし、拡大し続けるインターネットを支えるためには IPv6 への移行が必須となっており、導入に伴う課題を明らかにして解決することが求められています。我々は、実際のネットワーク環境を用いて、IPv6 導入に伴う課題の評

価を進めています。特に、プロトコルや実装における脆弱性評価および動作不良に関しては、標準化団体や機器ベンダと連携して取り組み、次世代インターネットの発展に貢献します。

3. インターカラウド環境を活用した広域分散システムの評価手法

多くの大学や研究機関では、自組織のコンピュータ資源によるオンサイトシステムを有しています。さらにクラウドコンピューティングの登場により多くのクラウドサービスを活用したシステム構築が行われています。システムの地理的な分散が可能となる広域分散システムでは、拠点障害に対する耐性を高める効果がありますが、通信遅延の影響を受けるため単組織で構成する場合と比較してネットワークに対する考慮が必要となります。

そこで、広域分散システムの有用性と課題解消のために、広域分散システムの評価手法に関する研究を進めています。



図 2 広域分散システム評価ネットワーク

4. その他の研究テーマ

- ・IoTデバイスにおけるセキュリティゲートウェイとその同期運用機構に関する研究
- ・インターネットにおける通信品質計測手法と評価手法の研究
- ・IPv6普及度評価のための計測・評価手法の研究
- ・次世代キャンパスネットワークの運用技術に関する研究

● 教員からのメッセージ

情報通信ネットワークに関する研究は、ネットワーク運用と密接に関係します。そのため、実際のネットワーク運用に関わりながら研究を進める方針としています。

● 関連する業績、プロジェクトなど

論文 :

- [1] Yong Jin, Masahiko Tomoishi, Satoshi Matsuura and Yoshiaki Kitaguchi: A Secure In-Depth File System Concealed by GPS-based Mounting Authentication for Mobile Device, The IEICE Transactions on Communications, Vol.EB101-D, No.11, pp.2612-2621, November 2018.
- [2] 北口 善明, 近堂 徹, 鈴田 伊知郎, 小林 貴之, 前野 譲二: クライアントOSのIPv6実装検証から見たネットワーク運用における課題の考察, 情報処理学会デジタルプラクティス, Vol.9, No.4, pp.902-922, October 2018.

プロジェクト :

- ・ITRC RICC 分科会 Distcloud プロジェクト (<https://www.ricc.itrc.net/>)
- ・WIDE プロジェクト SINDAN WG (<https://www.sindan-net.com/>)
- ・iNonius プロジェクト (<https://inonius.net/>)

画像処理・ニューラルネット・ 人と機械のインタラクション

教授 熊澤 逸夫

研究分野：画像認識、触覚ディスプレイ、生体情報処理モデル、機械学習



● 研究内容・目的

工場の自動化、自動車の自動運転、ドローンの無人飛行、ロボットの高機能化、監視カメラによる人物特定や行動分析等、画像認識の用途が広がっている。当研究室では画像センサの新原理、画質改善、画像表現の数学的手法、3次元形状計測、特徴抽出、文字認識、リモートセンシング画像や監視カメラ映像の分析と識別、製品検査等、広範に画像処理、画像認識の研究を行っている。またスマートフォンやウェアラブル端末の操作性を改善するために、多様なセンサとディスプレイを組み合わせて人と機械のインタラクションを分かりやすく効率良く行えるようにする方法を研究している。そのために視覚と聴覚以外に触覚も活用することを試み、触覚に情報を提示する手段を開発している。ここで人の感覚特性や運動特性を加味するために、生体情報処理モデルを構築して利用している。さらに生体の神経回路を模擬したニューラルネットの学習手法を開発し、これを画像処理、触覚ディスプレイ、人と機械のインタラクション、そして画像認識に応用している。

● 研究テーマ

1. マルチスペクトル画像センサの新原理の開発

マルチスペクトルセンサを初め、光の到達時間の差に基づく3次元センサ等、画像センサは人の視覚能力を超えて、センシングの対象を広げている。3原色のみならずより細かく波長帯を区別して非可視域も含めて画像を計測できるマルチスペクトル画像センサは、リモートセンシングや食品、工業製品の不良検査、植物工場における作物の生育状態の診断等、応用範囲が広いが現状の技術では大きく重く高コストとなるため身近に利用することが難しかった。本課題では小型の無人機（ドローン）に搭載して一般農家が日常的に農作物の監視に利用できるように画期的に小型軽量、低コスト化したマルチスペクトルセンサを開発することを目指している。提案している新原理の特徴はクロストークを許容することによる光学系の簡略化とクロストーク除去に用いる高度な数理的手法にある。

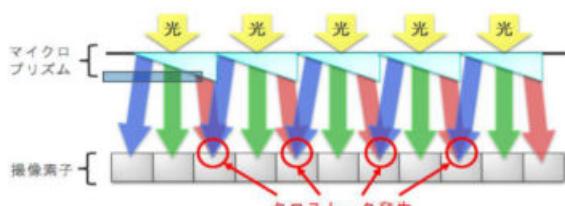


図1 マルチスペクトル画像計測の原理



図2 多視点画像の計測

2. 画像復元の数理的研究

画像復元は、デジタルカメラ画像の修正、衛星画像のノイズ除去、MRI 画像復元、超解像画像処理、JPEG 最適復号、インペインティング、画像圧縮等、幅広く応用されている。当研究室では、画像復元の性能を向上させるために重要な 1. 正則化関数の設計と 2. 最適化問題の効率的な解法について数理的側面から研究を行っており、画素関係性を無向グラフで表現した場合の正則化関数 [業績 1] や、確率的最適化技術の画像復元への応用 [業績 2]などを提案している。

3. 画像認識の研究とその応用

当研究室では、画像認識の新アルゴリズムと機械学習を組み合わせて高性能な画像認識手法を開発して、自動運転や人物の行動分析、工場の検査工程の自動化、リモートセンシング画像の分析、手指の運動を 3 次元的に認識してジェスチャー入力を実現する等の目的に応用している。

4. 3 次元物体計測と認識の研究

3 次元の物体を認識するためには、同じ物体でも視点によって見え方が異なることに対応しなければならない。図 2 には当研究室で構築した多視点画像計測システムを示す。図中の黒い立方体フレームの中央部に置かれた対象を多数の異なる視点から撮影し、登録した多視点画像と与えられた画像を照合することによって、物体を 3 次元的に認識する。

5. 触覚への情報提示手段の研究

視覚と聴覚に加えて触覚にも情報を提示してスマートフォンやゲームのユーザーインターフェイス (UI) やユーザーエクスペリエンス (UX) を向上する方法を研究している。図 3 には当研究室で開発した触覚情報提示装置の一例を示す。



図 3

6. 多様なセンサと多様な情報提示手段を組み合わせた人と機械のインタラクション方式に関する研究

画像センサ、圧力センサ、タッチセンサ、加速度センサ、ジャイロセンサ等の多様なセンサと視覚、聴覚、触覚への情報提示を組み合わせて人と機械のインタラクションを分かりやすく実現する方法を研究している。図 4 にスマートフォンに実装した多様なセンサと触覚ディスプレイの開発例を示す。



図 4

● 教員からのメッセージ

研究に興味を持ち、遊び感覚で楽しく取り組めるようにすることが大切です。当研究室ではそのような意欲のある方が楽しく研究に取り組める場を提供します。

● 関連する業績、プロジェクトなど

1. S. Ono, I. Yamada, and I. Kumazawa, "Total generalized variation for graph signals," IEEE ICASSP), Brisbane, Australia, Apr. 2015.
2. S. Ono, M. Yamagishi, T. Miyata, and I. Kumazawa, "Image restoration using a stochastic variant of the alternating direction method of multipliers," IEEE ICASSP, Shanghai, China, Mar. 2016.
3. Itsuo Kumazawa and Ryo Koizumi: "An actuated stage for a tablet computer: generation of tactile feedback and communication using the motion of the whole tablet", Proceedings of the 20th IEEE VR 2013, RD-006, pp.173-174(ベストデモ賞)

応用音響システム

准教授 黒澤 実

研究分野：電気音響、アクチュエータ、音響測位

ホームページ: <http://www.kurosawa.ip.titech.ac.jp>



● 研究内容・目的

電気音響技術の応用となるシステムやデバイスに関する研究を行っている。オーディオシステムの研究は、これまでに顧みられなかった再生音のあり方に関する視点で、音楽では欠かせない和声の再現性に注目している。音響放射力アクチュエータは独自の技術分野確立を目指している。音響測位では独自のデジタル信号処理技術により実時間速度位置計測を実現している。

● 研究テーマ

1. 高品位オーディオシステム

進歩した電子回路技術の恩恵を受け、音響信号のデジタルフォーマットは飛躍的に進化を遂げ、広い周波数帯域と高い分解能を実現するに至った。しかし、電気音響機器により再生される音は、現実の音とはひどくかけ離れており、技術進歩の恩恵には浴していない。

高級音響機器や映画館における電気音響機器から再生される音に限らず、館内放送の音、車内放送のアナウンス、テレビの音声など、様々な電気音響機器に共通の問題が存在していると考えられる。特に高解像度画像と共に用いられるシステムにおいては、これまでに無い高臨場感が求められており、電気的に再生される音の質は大きな問題となっている。

例えば、抵抗器では電流雑音が知られており、抵抗器の中を流れる電流には揺らぎが存在する。この揺らぎが信号に及ぼす影響は未だ検討されたことが無かつた。我々はオーディオシステムから、音楽の持つ豊かな和声が再生されることを目指して研究を進めている。

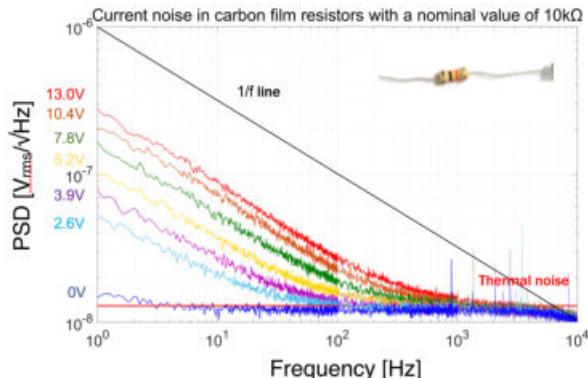


図1 炭素皮膜抵抗器の電流雑音: 印加電圧 2.6–13V

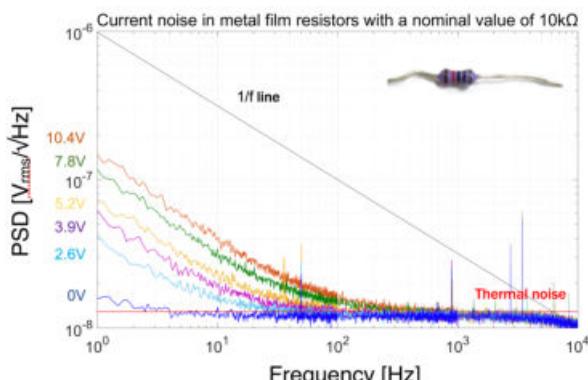


図2 金属皮膜抵抗器の電流雑音: 印加電圧 2.6–10.4V

2. 音響放射力アクチュエータ

音響放射面から水中に超音波が放射される際に、非線形作用による音響放射圧が生ずる。音響放射圧を駆動力源とする、新しい水中での自走型アクチュエータに関する研究開発を進めている。音響放射力アクチュエータは、水中で20cm/sの速度で移動でき、センチメートル～ミリメートルの素子寸法が実現可能である。

現在は、推力発生メカニズムの定量的解析と様々な形態でのアクチュエータ実現に関して研究を行っている。水中を自在に移動できる水中ロボットの実現や、血管内での医療応用をめざした研究開発を進めている。

3. エコーロケーションシステム～高分解能速度・測位システム～

超音波を対象物に放射し、反射波を信号処理することで対象物の位置や動きといった空間情報を取得できる。受波信号の高速な信号処理を実現するため、1ビット $\Delta\Sigma$ 変調信号を用いた簡便な相互相関処理方法を開発している。1ビット信号処理回路をFPGAに実装し、実時間で対象物体の3次元的な位置と速度ベクトルを検知するシステムについて研究を進めている。

●教員からのメッセージ

自分の手を動かして何かを作り上げる喜びと、成功したときの感動を大切に。そのために自ら考え学ぶ努力を。そして世の中に役に立つ技術とは何かを考え実践しよう。研究においてはたくさんの失敗を経験することが大事である。そしてその失敗の原因が何であったのかを突き詰めて、原因と結果の因果関係を明らかにできる能力と表現力を培ってほしい。

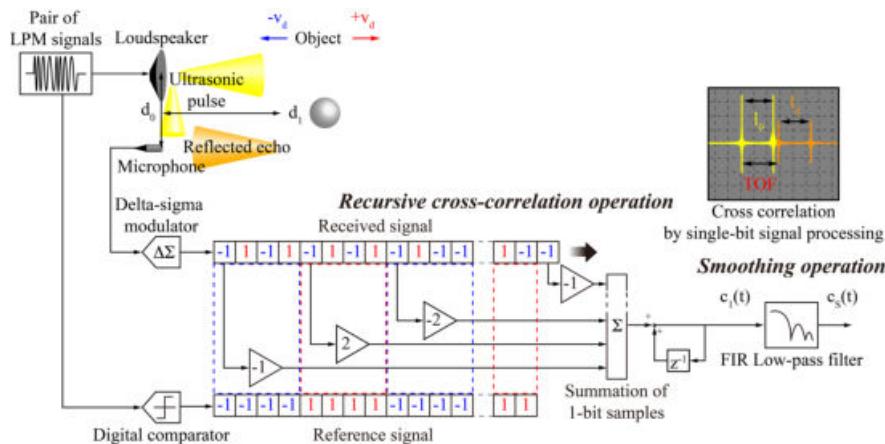


図4 エコーロケーションシステムと1bit演算による相互相間信号処理



脳の運動機能の解明とその応用

教授 小池 康晴

研究分野：計算論的神経科学、ヒューマンインターフェース

ホームページ: <http://www.cns.pi.titech.ac.jp>

● 研究内容・目的

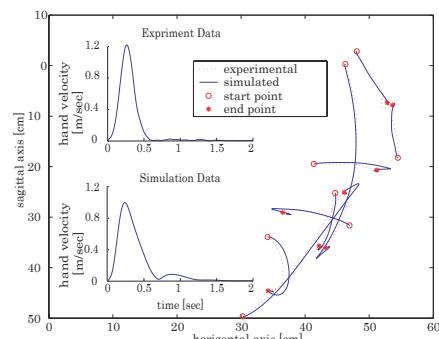
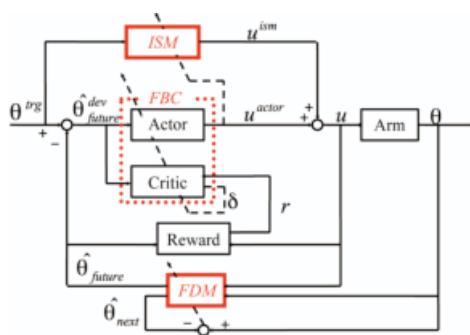
人間は、生まれた時から、自律的に環境との相互作用によって知識を獲得している。手足が自由に動かせるようになり、道具を使いはじめ、言葉を喋るようになる。このようなことが行なえるのは、脳の中に何かが獲得されたためである。このような人間の脳の機能を知り、コンピューターを使ってその機能を再現することを目標にしている。この時、脳の中で行なわれている方法を真似て機能を再現することに重点を置いている。

具体的には、筋骨格系のモデルをつくり、筋肉の活動と腕の運動の関係から、脳では、どのように腕を制御しているのかを明らかにすることなどである。

● 研究テーマ

1. 筋骨格系モデルの構築とその応用

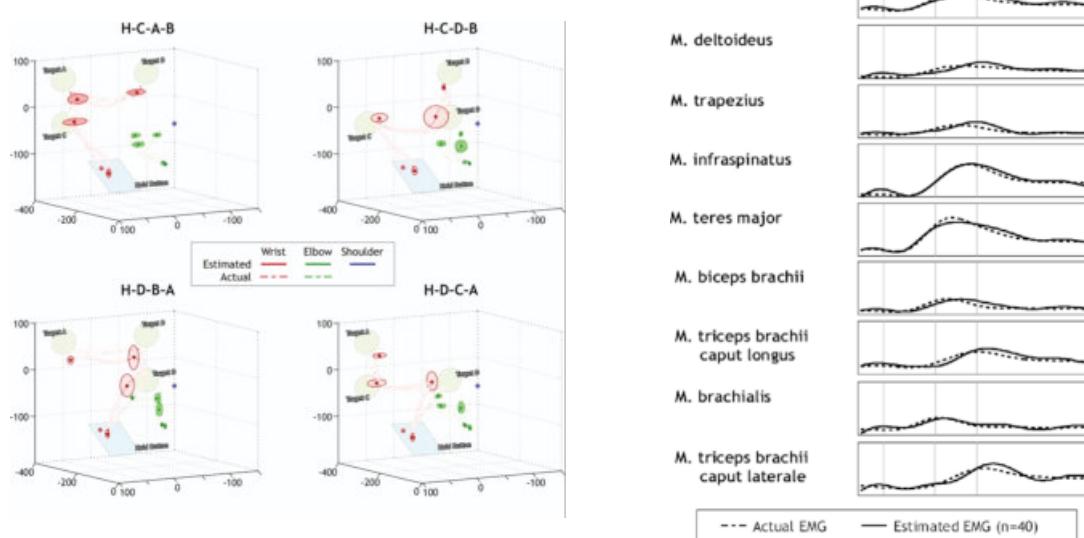
随意運動における脳の各領域の機能や役割を解明することは、人間の行っている巧みな操作を実現する上で重要である。この研究では、腕の制御に関する小脳と大脳基底核の関連モデルを計算機上に作成し、脳で行われている軌道計画や運動指令の生成がどのように行われているかをシミュレーションと行動実験により明らかにすることを目的としている。



2. 脳の運動機能解明（ブレイン・マシン・インターフェース）

人間の脳活動を解析するためには、その活動から対応する運動が再現できるほど、精密なモデル化が必要である。Brain-Machine interfaceは、脳の神経活動によって、思っただけでロボットを動かす技術であるが、本研究では、脳の神経活動から筋肉の活動を推定し、推定された筋肉の活動から運動を再現している。このような方法により、運動だけでなく、力の情報も再現するこ

とが可能となる。



3. ヒューマンインターフェースの開発

現在使うことができるヒューマンインターフェースとしては、マウス、ジョイスティックなどがある。これらは、人間の動作を計測し、その操作量を基にカーソルの動きなどに変換する。操作を行なう前から動きを検出することはできないが、動きの基になる筋肉の活動は前もって計測することができる。この信号から動きが推定できれば、遅れのないインターフェースを作成できる可能性がある。



● 教員からのメッセージ

運動制御や視覚情報処理など、脳の機能に関して計算論的神経科学に基づく研究を行っています。基礎研究からヒューマンインターフェースへの応用まで、吉村准教授と共同で研究室を運営しています。

● 関連する業績、プロジェクトなど

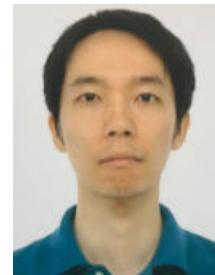
1. 脳科学研究戦略推進プログラム
2. CREST「共生社会に向けた人間調和型情報技術の構築」知覚中心ヒューマンインターフェースの開発
3. 新学術領域研究「行動適応を担う脳神経回路の機能シフト機構」

次世代コンピュータシステムの 計算機アーキテクチャ

准教授 佐々木 広

研究分野：計算機アーキテクチャ、コンピュータセキュリティ

ホームページ：<http://titech-caras.github.io>



●研究内容・目的

より良いコンピュータシステムの実現に貢献することを目的として、その基盤技術である計算機アーキテクチャ、オペレーティングシステム、コンパイラなどに関する研究を行なっています。特に、次世代コンピュータシステムのセキュリティおよび信頼性向上の研究、年々複雑化する様々なアプリケーションの特性や振舞いを理解する研究、高信頼・省エネルギーなプロセッサアーキテクチャの研究に力を入れています。とはいえて取り組むことができるテーマはこの限りではありません。コンピュータシステムの応用ではなく基礎的なテーマ、その本質を理解することや普遍的な価値を創造することに興味があり、その範疇にある研究ならば何でも意欲的に取り組みたいと思っています。

●研究テーマ

1. IoT システムに適したハードウェアベースなセキュリティ技術

多くの主要なプログラムは C や C++ などメモリ安全でないプログラミング言語で記述されており、(図 1 に示すバッファオーバーフローのような脆弱性のあるプログラムでも安全に実行できる) メモリ安全なシステムを実現することは喫緊の課題となっています。我々はクラスや構造体などオブジェクトの内部までメモリ安全性を提供する現実的なハードウェア・ソフトウェア協調手法を確立しました。本手法は低オーバーヘッドでかつシステムへの変更が少ないため、ハイエンドなプロセッサから IoT デバイスまで幅広いシステムへの適用が可能です。本研究成果は計算機アーキテクチャ分野のトップ国際会議である MICRO で発表し[1]、IEEE Micro Top Picks Honorable Mention に選ばれました。



SEGFAULT!

図 1: スタックオーバーフロー

2. プログラム内における命令間の依存関係の解析

プログラムの『実行』をプログラムソーシャルネットワークと呼ぶ簡潔なグラフとして表現する手法を提案し、そのグラフの特徴解析を行ないました。提案したグラフは命令という静的な情報をノード、メモリ・レジスタを介した命令同士の実行時コミュニケーションという動的な情報をエッジとして定義されます。様々なプログラムの実行をこのグラフとして表現し解析(図 2)

を行なったところ、驚くことにはほぼ全てのグラフがべき乗則に従うことを発見しました。これはつまり、プログラム内における極少数の命令が多数の命令によって消費されるデータを導出する、ということを意味します。したがって、これら極少数の命令を対象とした最適化によって少ないハードウェアの投資で大きな効果が期待できます。この発見をワークロード解析における主要国際会議である IISWC'17 で発表しました[2]。現在、この解析に基づいた新たな信頼性向上手法の研究を米国パーデュー大学と共同で行なっています（下記 3. を参照のこと）。

Program Social Network Analysis

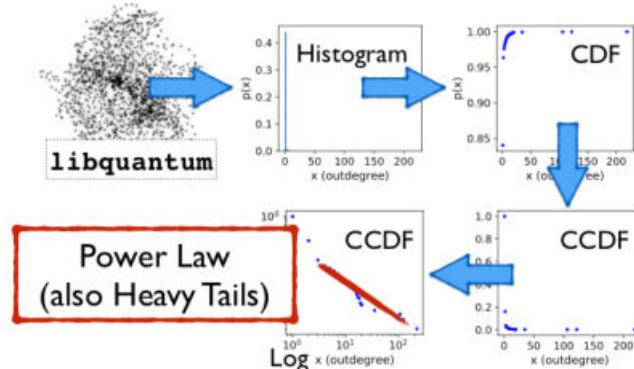


図 2：プログラムソーシャルネットワーク解析

3. IoT システムの信頼性を向上する『重要命令』の冗長実行

LSI の微細化に伴うソフトエラー（メモリの保持している値や論理回路の出力が反転してしまう現象）によってプロセッサの信頼性が低下する問題が年々深刻になっています。デバイスの数が爆発的に増え、様々な環境での運用が想定される IoT システムではこの問題が特に顕著になります。ソフトエラーへの代表的な対策技術としてプログラムの冗長実行（命令を複数回実行しその結果が全て一致することを確認する技術）がありますが、性能やメモリのオーバーヘッドが大きい（高コスト）という問題があります。IoT システムでは信頼性に割くことができるコストが限られているため、低コストで高い信頼性を実現することが求められます。そこで本研究プロジェクトでは 2. で紹介した研究で得られた知見を活用することでこの問題を解決します。具体的には、多数の命令が消費するデータを導出する、極少数の命令のみを冗長実行するというものです。このアイデアによってオーバーヘッドを抑えた上で大幅な信頼性の向上が期待できます。

●教員からのメッセージ

2020 年 4 月に着任して研究室を立ち上げたばかりです。コンピュータシステムの基盤技術（いわゆる低レイヤ）に興味のある方は是非一度話を聞きに来てください（新しい研究室の立ち上げに関わることがきるのもなかなか得難い経験だと思います）。みなさんと一緒に魅力的な研究室に育っていくことを楽しみにしています。

●関連する業績、プロジェクトなど

1. Hiroshi Sasaki, Miguel A. Arroyo, M. Tarek Ibn Ziad, Koustubha Bhat, Kanad Sinha, Simha Sethumadhavan, "Practical Byte-Granular Memory Blacklisting using Califorms," MICRO 2019.

IEEE Micro Top Picks Honorable Mention

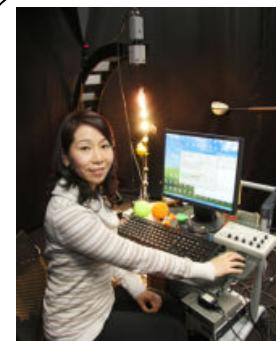
2. Hiroshi Sasaki, Fang-Hsiang Su, Teruo Tanimoto, Simha Sethumadhavan, "Why Do Programs Have Heavy Tails?," IISWC 2017.

Physics-Based コンピュータビジョン技術に基づく 実世界モデルの構築と視覚特性の解明

佐藤 いまり 研究室

専門分野：視覚情報工学、コンピュータグラフィックス、
画像・光情報処理

<http://research.nii.ac.jp/pbv/>

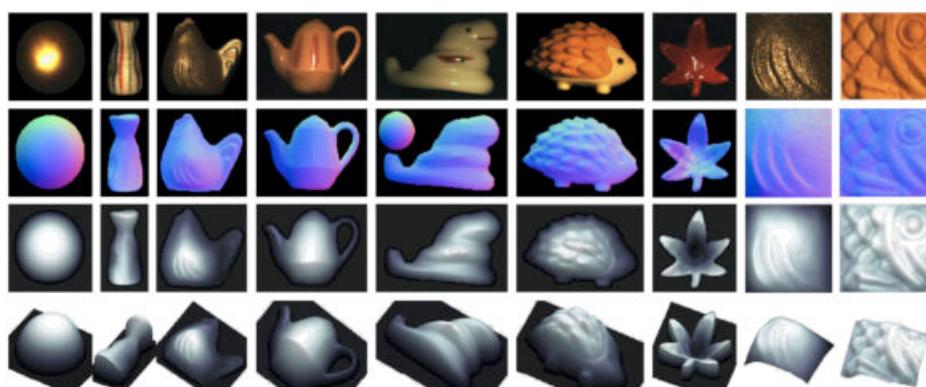


● 研究目的

私たちは、ある物体を見ただけで、その物体の材質（金属、ガラス、布などで出来ているといったこと）を推測することができ、その物体の手触りや柔らかさといった付加的な情報も想像することができます。観察される明るさには、対象となる物体に関する情報（材質や形状など）やシーンの照明環境の影響が複雑に絡み合っているにも関わらず、私たちは、光情報のみに基づいて対象となる物体の材質や形状を容易に読み解くことができます。人間にとって容易な作業であっても、同じような解析をコンピュータにやらせることは困難です。このような機能が、私たちの脳内のどのような情報処理によって実現されているかについては詳細が分かっていません。本研究室では、照明方向や観察方向を変えて撮影した画像を通じ、被写体となった対象世界がどうなっているのかを理解することを通して、人間の視覚情報処理のメカニズムを解明することを目的としています。

● 研究テーマ

コンピュータグラフィックス(CG)技術により実現される写実的な表現は、映画やテレビにおける仮想物体の実写への重ね込みなど、写実性が要求されるアプリケーションにおいて大きな効果を示しています。デジタル博物館などの応用では、文化財などの実物体が持つ複雑な形状や艶などの微妙な質感をモデル化し、その物体の見えを現実感高くCGにより生成するための技術にも注目が集まっています。CGにより現実感の高い映像コンテンツを生成するためには、その入力としてシーンの物体（形状や反射特性）に関する精密なモデルを必要とします。このような背景のもと、本研究室では、実在シーンの観測に基づき実在物体のモデルを自動構築する技術の開発を進めています。具体的には、照明方向や観察方向を変えた時に観察される物体表面の点の明るさの変化に基づき実在物体の反射特性（色艶、質感）や形状をモデル化する手法の開発を進めています。さらに、生成された画像の効果的な提示方法についても研究を進めています。



1. 実在光源環境モデル化の研究 :

複雑な実世界の光源環境をモデル化し画像生成に用いる技術や視覚情報解析に用いる研究を進めています。また、実光源環境に基づき正確な陰影とともに仮想物体を実画像に重ね込む手法、動的に変化する実光源環境下における合成画像の実時間生成手法、光源推定に基づく絵画の陰影解析など、複合現実感への技術応用も積極的に進めています。

2. 物体のモデル化の研究 :

照明方向を変えて観察される画像から対象物体の反射特性（色艶、質感など）や形状をモデル化する手法の開発を進めています。反射特性のモデル化に関する研究では、反射特性を効率良くモデル化するための技術を開発しています。またRGB色による表現を超え、分光情報を計測・再現する技術の開発にも取り組んでいます。

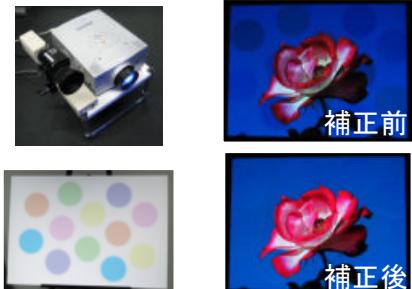
3. 日常空間のスクリーン化の研究

日常空間のモデルを獲得し、模様突きの壁など、日常空間のある場所にプロジェクタ投影を行うための光学補正技術を開発しています。



● 教員からのメッセージ

実世界は複雑だからこそ面白い！画像を通して実世界の事象を解明することは、驚きと発見があります。本研究室は、視覚心理の研究者、海外からの博士研究員やインターンシップの学生など、様々なメンバーにより構成されています。充実した光学実験設備も整っています。画像を通して実世界を知る楽しみを一緒に味わいましょう。



● 参考文献・図書

1. F. Lu, Y. Matsushita, I. Sato, T. Okabe, Y. Sato, "From Intensity Profile to Surface Normal: Photometric Stereo for Unknown Light Sources and Isotropic BRDF" *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence* (TPAMI), 2105.
2. Y. Fu, A. Lam, I. Sato, T. Okabe, and Y. Sato. Separating Reflective and Fluorescent Components using High Frequency Illumination in the Spectral Domain, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence* (TPAMI), 2105.
3. C. Zhang and I. Sato, "Separating Reflective and Fluorescent Components of An Image," *Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2011)* June 2011 [Best student paper honorable mention award].
4. H. Shuai, I. Sato, T. Okabe, and Y. Sato, "Fast spectral reflectance recovery using DLP projector," *Proceedings of Asian Conference on Computer Vision*, November 2010 [Best student paper award].

移動体通信及びこれに係わる 情報理論の研究

准教授 實松豊

研究分野：通信理論，多元接続，物理層セキュリティ



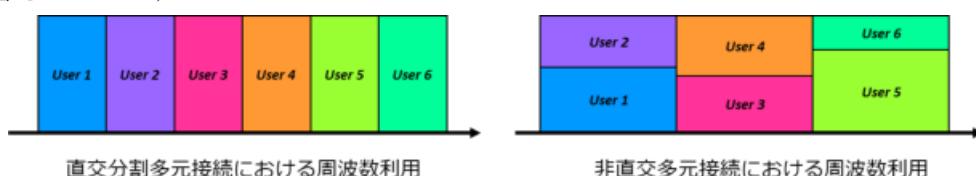
●研究内容・目的

私の大きな研究目標は、移動体通信の多元接続において理論限界に近い伝送効率を得るために新しい変調方式と符号化・復号化法を構築することです。通信路の状態を推定することや同期の確立・保持にも問題意識を持っています。また、暗号方式と異なり変調方式のレベルでセキュリティ機能を持たせる物理層セキュリティも重要な要素技術と考えています。

●研究テーマ

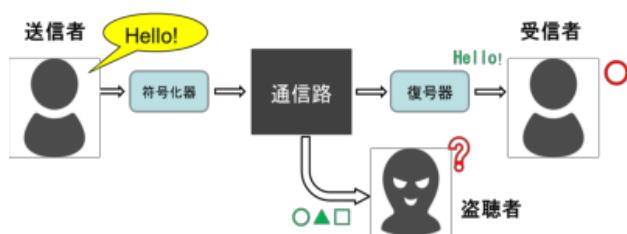
1. 多元接続

1つの無線通信路を使って複数のユーザーが同時に情報伝送を行うのが多元接続です。ユーザー間の干渉を許さない直交分割方式よりも、干渉を許容する非直交多元接続(Non-Orthogonal Multiple Access, NOMA)の方がより多くの情報を伝送できます。ただし発生する干渉を復号時に除去する必要があり、計算コストが増大する問題を解決しなくてはなりません。私は、誤り訂正符号の一種であるスペース重ね合わせ符号を応用した NOMA 方式を研究しています。先行研究では、スペース重ね合わせ符号は圧縮センシングに基づく復号法が有望視され、その性能解析がなされていましたが、近年は深層学習を利用すると復号の計算コストが低減し、また復号誤り率も低減できることが示されています。私の研究室では、深層学習を使って NOMA の復号性能を改善させています。



2. 物理層セキュリティ

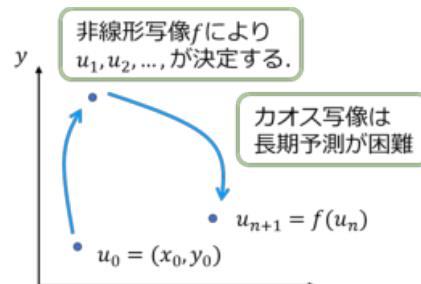
通信路の特性を利用して、通信路上のセキュリティを確保することを物理層セキュリティと呼びます。例えば LPWA (Low Power Wide Area) 機器は簡単に無線通信を導入できて便利ですが、送信電波が第三者にさらされていることから、情報セキュリティ上の問題があります。物理層セキュリティはそのような問題を解決する方策のひとつです。實松研究室ではもっとも基本的な盗聴通信路モデルを解析し



ています。正規の受信者には情報が復号できるのに盗聴者には情報が復号できなくなるような符号化を行います。わずかに漏れる情報量の確率分布を解析し、セキュリティ機能の理論保証を与えること目指しています。

3. 力学系に基づく乱数生成

通信の様々な場面で、乱数はとても有用です。私は乱数を生成する数理モデルとして非線形の漸化式によって記述される離散力学系を使っています。これにより、長期予測の困難なカオス乱数を生成することができます。



4. 有本 Blahut アルゴリズム

情報理論の分野では、有本 Blahut アルゴリズムという有名なアルゴリズムがあります。通信路容量は、通信路への入力シンボルと出力シンボルの間の相互情報量の入力分布に関する最大値で与えられますが、特殊な例を除き最適な入力分布は解析的には解けません。この最適分布を反復法で求めるのが有本 Blahut アルゴリズムです。私は、解くべき最適化問題（確率分布を変数とする関数）の構造を研究しています。最近、正復号確率指数という量を求める有本 Blahut タイプの新しいアルゴリズムを提案しました。現在は、これをマルチユーザに拡張することに取り組んでいます。

●教員からのメッセージ

九州大学から 2021 年 4 月に着任します。これまでの研究をさらに発展させ、通信工学の分野に貢献したいというやる気に満ちています。上記の研究テーマをはじめとして、無線通信全般に興味のある学生を募集します。学生指導では、皆さんの興味・希望に沿うようなテーマ設定をします。

●関連する業績、プロジェクトなど

- Yutaka Jitsumatsu and Yasutada Oohama “A New Iterative Algorithm for Computing the Correct Decoding Probability Exponent of Discrete Memoryless Channels,” IEEE Transactions on Information Theory, vol.66, no.3, pp.1585–1606, 2019
 - Yutaka Jitsumatsu, Ukyo Michiwaki, and Yasutada Oohama, “Conditional Information Leakage Given Eavesdropper’s Received Signals in Wiretap Channels,” IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, vol. E104.A, no.1, pp. 295–304, 2021
 - Yutaka Jitsumatsu, “Invariant Set of Two-Dimensional Dynamics of Golden Ratio Encoders,” Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol.12, no.1, pp.75-87, 2021.
- 受賞: MACOM2013 Best Paper Award (Yutaka Jitsumatsu and Tohru Kohda and Kazuyuki Aihara, “Delay-Doppler Space Division-based Multiple-Access Solves Multiple-Target Detection,” 6th Int. Workshop on Multiple Access Commun. (MACOM2013))

音声認識理解とその応用

准教授 篠崎 隆宏

研究分野：音声認識理解、音声情報処理、機械学習

ホームページ: <http://www.ts.ip.titech.ac.jp>



● 研究目的・内容

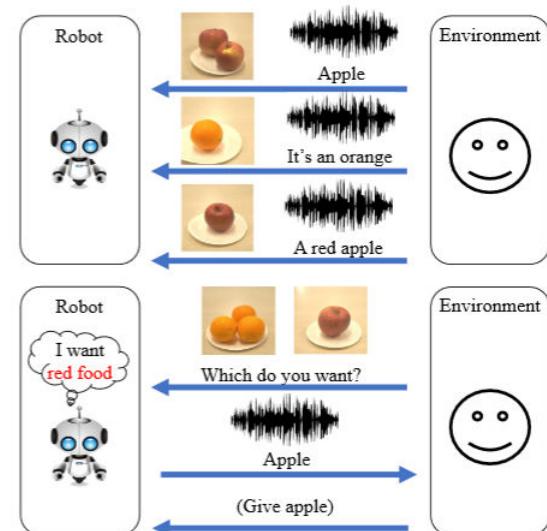
工学の立場から人間の音声認識・理解・学習機能を解明し、コンピュータ上に実現することを目的としています。さらに、それらの機能を備えたシステムの応用をはかります。

我々が音声を認識理解する能力は生まれながらのものではなく、学習により後天的に獲得したものです。音声認識システムや音声合成システムでも同様で、音声を認識・合成するたには音響的・言語的知識をコンピュータ上に取り込み音声モデルとして蓄える必要があります。音声モデルの性能を高めることで認識性能や合成音声の品質が向上しますが、それに加えてどのように学習を行うかがとても重要になります。人間は新しい状況に遭遇しても適応的に対処し、そこで必要となる音声言語表現を観察や対話を通して学習したり新たに発明したりする柔軟な能力を備えています。今後人工知能を備えたロボットが人間社会の一員となり多様に変化する状況下で人間と意思疎通を行うためには、人間に匹敵する高度な学習能力が必要と考えられます。また言語の意味を理解するためには、音声のみならず環境世界についての知識も同時にモデル化する必要があります。そのためには、現在のラベル付き音声データを用いる教師あり学習では限界があります。そこで、教師なし学習や強化学習に基づいた自律的かつマルチモーダルな学習技術について研究を行っています。

● 研究テーマ

1. 自動音声言語獲得

人間の子供は周囲の人が話す音声を観察して音声単語の発声を模倣し、対話を通して意味を学んでいきます。そこでは雑音環境下で連続的に耳に入ってくる音信号から単語など発話を構成する単位を同定し、単語と世界の対応付けを行い、発声器官を複雑に制御して発話音声を生成するプロセスが必要になります。同様の機能を備えたシステムは、原理的には音声合成器と感覚センサー（マイクやカメラなど）を備えたシステムに強



化學習を適用することで実現できるはずです。当研究室では教師なし単語学習アルゴリズムや教師なし音声画像グラウンディングアルゴリズム、深層強化学習アルゴリズム等を組み合わせると

ともに、システムに適当な内部欲求を持たせることで、そのような学習能力を備えたシステムが実現できることを初めて原理実証しました[1, 2]。

2. 物理音声合成システム

現在普及しつつある音声合成システムは、合成される音声が人の発声に近くなることを目標にしたものです。深層学習の発展により、専門家でもシステムが合成しているのか人間が喋っているのか簡単には区別がつかないほど性能が向上しました。

それに対して物理音声合成は、人の発声器官の物理的

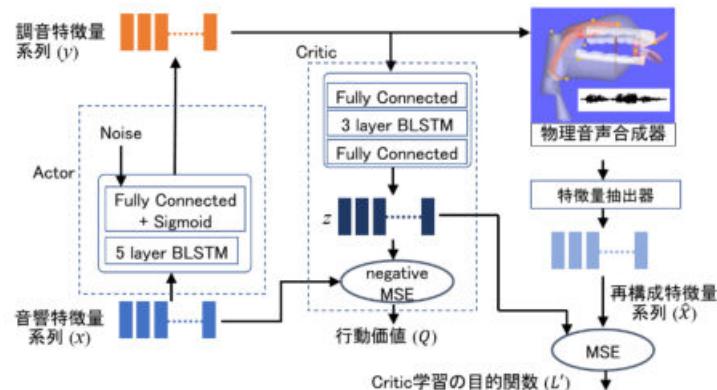


図 2 Hybrid Auto-encoder based Physical Speech Synthesis system.

なモデルを制御して音声発話を合成しようとするものです。出力音声のみならず音声生成プロセスまでを模倣するため、現状では難しいタスクです。しかし物理音声合成には、音声言語獲得ロボットに身体性を与えられる、骨格情報から過去の人物の声色の音声を復元できる、言語学習者に調音方法の教示ができるなどの独自の利点があります。当研究室では、深層ニューラルネットと物理音声合成器からハイブリッドオートエンコーダーを構成し自己教師あり学習により制御則を自動学習する手法を提案しました。これにより、任意の音声に対して即座に物理音声合成器を駆動してそれを模倣することができるようになりました[3]。

3. 音声情報処理の応用

当研究室で開発した高性能日本語話し言葉音声認識システム(Kaldi CSJ レシピ)は、国内外の多くの企業や大学で使用されています。システムの最適化に大規模な進化計算を用いているのが特徴です。また音声情報処理の応用として言語学習者の音声発話能力を自動評価するシステムや、機械の動作音を監視し異常を自動検出する仕組みなどにも取り組んでいます。

● 教員からのメッセージ

コンピュータを用いて「新しく面白そうなこと」に挑戦したい学生を歓迎します。企業や海外の研究機関との協力も積極的に行ってています。

● 関連する業績、プロジェクトなど

1. S. Gao, W. Hou, T. Tanaka, T. Shinozaki, "Spoken Language Acquisition Based on Reinforcement Learning and Word Unit Segmentation," Proc. ICASSP2020, pp.6144-6148, 2020.
2. M. Zhang, T. Tanaka, W. Hou, S. Gao, T. Shinozaki, "Sound-Image Grounding Based Focusing Mechanism for Efficient Automatic Spoken Language Acquisition," Proc. Interspeech, pp. 1436-1440, 2020.
3. H. Shibata, M. Zhang, T. Shinozaki, "Unsupervised Acoustic-To-Articulatory Inversion Neural Network Learning Based on Deterministic Policy Gradient," IEEE Spoken Language Technology, 2021.

新しいコンパイラ技術の創成

教授 杉野 暢彦

研究分野：コンパイラ、自動並列化、コード変換・最適化



● 研究内容・目的

汎用高性能プロセッサ及び埋込プロセッサ用の高効率・高性能コンパイラの開発をめざしている。プロセッサは年々複雑化し、それを利用したアプリケーションも大規模化・多様化してきている、現在のシステム開発においてはハードウェアだけでなく、ソフトウェアによりハードウェアリソースを如何に活用できるかが、システムの性能を大きく左右する重要な課題となっている。コンパイラを代表とする自動コード生成、自動並列化、コード最適化技術はその中でも鍵として注目されている。

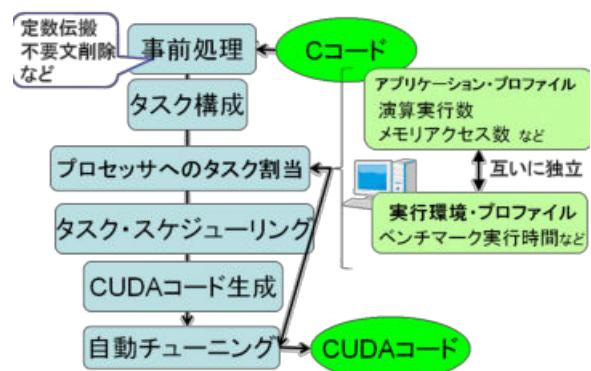
● 研究テーマ

1. GPGPU 向けコンパイラ

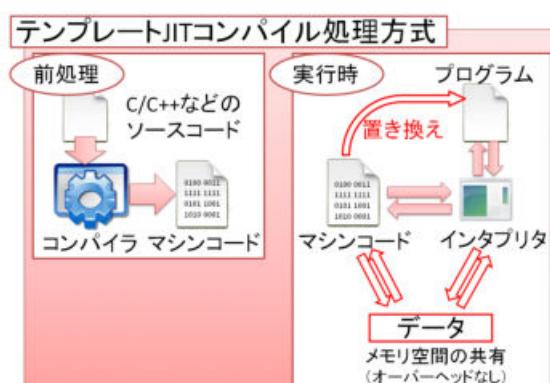
GPGPU 向けにアプリケーションを開発するためには、アーキテクチャと CUDA を始めとする専用言語の知識が必要になる上に、プログラマは性能を引き出すために様々に試行錯誤を繰り返すことになり、あまり容易ではありません。そこで、C 言語から CUDA へとコードを再構成するコンパイラを提案しています。提案コンパイラでは、入力コードをタスクに分割した後、各タスクの性質に応じて CPU/GPU への割り当てを行い、更に GPU アーキテクチャに合わせたチューニングを行い、実行効率を向上できます。また、自動中チューニングにおいて、消費エネルギーの低減を目指すことも可能です。

2. 動的言語向け自動並列化 JIT コンパイル

携帯機器などのアプリケーションは python などの動的言語スクリプトで書かれることが多く、通常、それらは仮想マシン上において、インタプリタ及び処理の高速化を指向した JIT (Just-In-Time) コンパイル方式の処理系により、逐次実行的に実装されています。しかしながら、この実装では「並列化」という概念が欠けており、携帯機器でも CPU がマルチコア化している現在



GGGPU 向けソース (C) -to- ソース (CUDA) コンパイラ

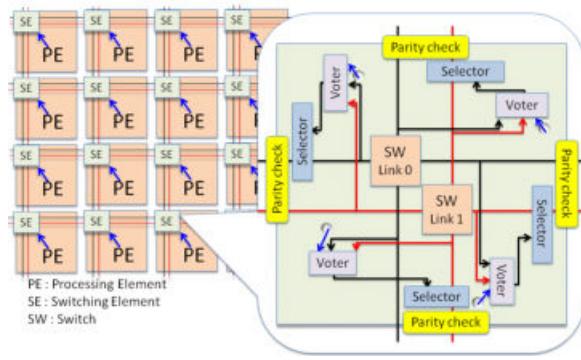


動的言語処理系の自動並列化 JIT コンパイル方式

では、並列処理により処理速度を向上させることも図示されています。そこで、動的言語処理系に「自動並列化」の概念を導入して、その1つの実装方法を提案しています。例題プログラムによる検証実験では、並列化による性能向上を確認しています。

3. 動的再構成可能プロセッサを用いた技術

動的再構成可能プロセッサは、並列処理やパイプライン処理による高い演算能力を持つだけではなく、動的に回路構成情報であるコンテキストを変更できることにより、様々なアプリケーションに柔軟に対応可能であり、現在注目されている技術の1つです。この動的再構成可能プロセッサと汎用プロセッサを組み合わせて利用する場合に、効率的な処理を可能とするためには、与えられたプログラムのどの部分をコンテキストとして実現するか、また、実行中のどのタイミングでコンテキストを書き換えるか、など様々な要素を考慮する必要があります。今後の研究成果が期待されています。一方、動的再構成可能ユニットを改良して、ビット誤りや故障に強い高信頼なシステムの設計に応用できる技術についても提案している。



高信頼性システム向けの動的再構成可能ユニット

●教員からのメッセージ

コンパイラ関連の研究では、プロセッサアーキテクチャに直接関係する最適化や自動並列化などの部分については、まだまだ手探りの部分もあります。実際にプログラミングすることも必要になりますが、何よりもブレークスルーを産む原動力は熱意と根気、それに多方面からものを捉えられる頭の柔らかさ、残された難しい問題に挑戦する元気のあるバラエティに富んだ学生の皆さんを歓迎します。また、教員は TAIST-Tokyo Techにも参加しており、海外の学生や研究者と積極的に交流したい学生も歓迎します。

●関連する業績、プロジェクトなど

- 湯本厚史, 杉野暢彦, “プロファイルに基づく GPGPU のためのソースコード変換コンパイラ,” ETNET2012 (情報処理学会 SLDM, EMB, 電子情報通信学会 CPSY, DC) (2012年3月)
- R. Ikeda, et al. “An Automatic Parallelization Scheme Used in JIT Compilation for Dynamic Language Applications,” Proceedings of ICICTES 2012, (2012年3月)
- K. Umehara, et al. “A Dynamically Reconfigurable Processor for Highly Reliable Systems,” Proceedings of ICICTES 2013, (2013年1月)



画像を学ぶ計算知能と診断支援

教授 鈴木 賢治

研究分野：深層・機械学習，AI 支援画像診断，医用画像理解，人工知能

ホームページ: <http://aibi.first.iir.titech.ac.jp/>

● 研究内容・目的

学会・産業界ともに、深層学習（Deep Learning）が革新的な技術として世界的な話題となっています。深層学習は膨大な情報（Big Data）を学習でき、これを中心とした人工知能（AI）が、第4次産業革命をもたらすとも言われています。我々は、画像を直接学習する機械学習“認知的機械学習”的研究を20年以上に渡って続けています。これは、ニューラルネットで構成され、視覚のモデルに近い構造と機能を持ちます。最近になって、同様の機械学習が深層学習と呼ばれ盛んに研究・応用され始めています。人の物体認識には、対象物の記述による「認識・理解」と、記述なしで対象物を直感的に認める「知覚・認知」があります。30年以上研究されてきた特徴量に基づく機械学習は前者（“大人のAI”）を、認知的機械学習を含めた深層学習は後者（“幼児のAI”）を担い、両者が一体となってヒトの視覚が実現できると考えています。後者の研究は今始まったばかりで、視覚分野のAI研究の今後30年のフロンティアとなりましょう。

一方、日本は、人口の4分の一が65歳を越える超高齢化社会に突入しました。それに伴い、医療や医療技術への関心と需要は年々高まっています。日本人の死因の7割は病死です。中でも、悪性腫瘍（がん）は30年に渡って死因の一位を独走しています。WHO（世界保健機構）によれば、世界のがん患者数は次の20年で50%以上増加すると予測されています。このことから、病気による死亡者数を減らす技術の研究開発は、医学的だけでなく、社会的にも、世界的にも大変重要な課題といえます。産業界では、国内外の大企業が、医療を成長戦略分野と位置づけ、大変力を入れています。欧米、アジア諸国では、大変な数の医療AIのベンチャー企業が生まれています。また、囲碁の世界チャンピオンを打ち負かしたAIを開発したGoogle DeepMindは、医療を次のターゲットに選びました。このように、医療分野は、今後最も大きく伸びる分野の一つと考えられています。

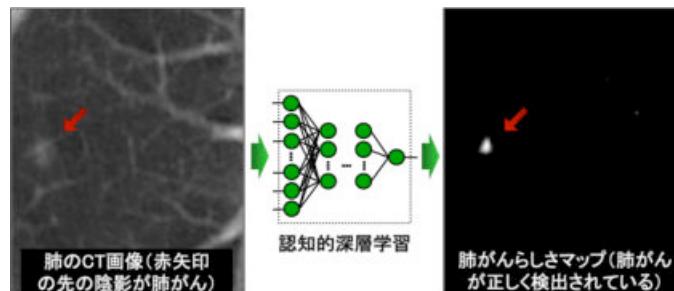
● 研究テーマ

1. 認知的機械学習：脳を含むヒトの視覚機能を実現する深層学習の研究

人が何気なく無意識のうちに（“幼児のAI”）、あるいは、熟練の専門家が長年の経験により行う（“大人のAI”）視覚による認知・認識・判断を人工的に実現する機械学習モデルを開発します。我々が長年に渡って開発してきた画像を直接学ぶ認知的機械学習を発展させ、知覚・認知（すなわち、必ずしも記述ができない非記号的知識）から高次の理解・判断（すなわち、記述・説明ができる記号的知識）までを一貫して取り扱える深層学習モデルを構築します。これにより、視覚分野のAI研究を革新的に発展させられると期待されます。

2。AI ドクター：お手本画像を学ぶ計算知能によるコンピュータ支援診断システム

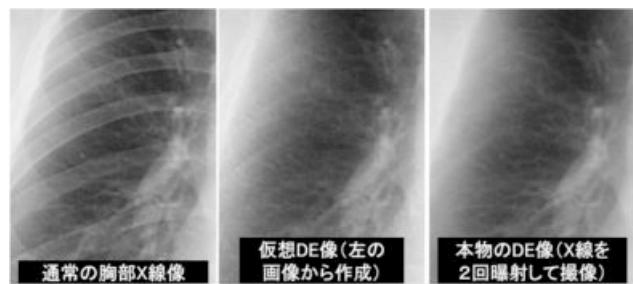
たとえ長年の訓練を受けた熟練の医師でも、医用画像から全ての病変を正確に検出・診断することは難しいです。例えば、胸部 X 線像では、最大 30% の肺がんが見落とされていると言われています。このような、病変の見落としを減らすため、我々は、AI



支援画像診断システムを開発しています。AI 支援画像診断システムが本当に役立つためには、医師が見落とし易い病変を検出する性能を持つ必要があります。我々は、医師が実際に見落とした、あるいは、見落とし易い病変を含む画像を、認知的深層学習に学習させることにより、医師の見落とし易い陰影に強い AI 支援画像診断システムを開発します。

3。仮想 AI イメージング：深層学習による物理現象の仮想的獲得に基づく画像生成法

画像を学習する深層学習を応用すれば、物理現象により実現された技術を、仮想的にソフトウェアで実現できます。例えば我々は、X 線を 2 回曝射することにより、骨成分と軟組織成分を分離した画像を作る、デュアルエネルギーイメージング(DE) を、仮想的に実現する手法の開発



に世界で初めて成功しました。その原理は、骨と軟組織が重畳している通常の X 線画像を入力画像、DE 装置により得られた軟組織画像を教師画像とし、独自の深層学習を学習します。学習後は、通常の装置で撮影された X 線画像 1 枚から、軟組織画像を得ることができます。この技術は、米国会社にライセンス供与、実用化され、米国 FDA の認可を受け（世界最初の FDA 認可を受けた深層学習製品）、世界中の病院で使われています。同様の原理を用いれば、様々な物理現象をコンピュータ内に仮想的に獲得できます。例えば、低線量と高線量で撮像した X 線像を、我々の深層学習で学習すれば、低線量の X 線像から、仮想的な高線量 X 線像を作成でき、X 線被曝を大幅に低減できます。

● 教員からのメッセージ

本研究室は、今までにない新しい AI を開発し、それを応用した医療 AI システムを社会実装する国家プロジェクトを率いています。国内外の一線の病院と連携し、研究成果を一流の国際ジャーナルに発表するだけでなく、それらを国内外の主要企業やベンチャー企業と共に実用化し、臨床に役立つ医療 AI を作ることを目標としています。我々の革新的な研究により、これまで不可能と信じられてきたことを可能に、見えなかったものを見るようにし、学界や産業界に残る研究開発を行うこと、そして、私達の社会、生活や人生を豊なものに大きく変えることを目指します。

● 関連する業績、プロジェクトなど

1. Tajbakhsh N and Suzuki K: Comparing two classes of end-to-end learning machines for lung nodule detection and classification: MTANNs vs. CNNs. *Pattern Recognition* 63: 476–486, 2017
2. Suzuki K, Abe H, MacMahon H, and Doi K: Image-processing technique for suppressing ribs in chest radiographs by means of massive training artificial neural network (MTANN). *IEEE Trans Medical Imaging* 25: 406–416, 2006.

信号処理・機械学習・データ解析 のアルゴリズムの開発と応用



教授 スラヴァキス コンスタンティノス (SLAVAKIS, Konstantinos)

研究分野：信号処理、機械学習、データアナリティクス

ホームページ: <http://www.acsu.buffalo.edu/~kslavaki/index.html>

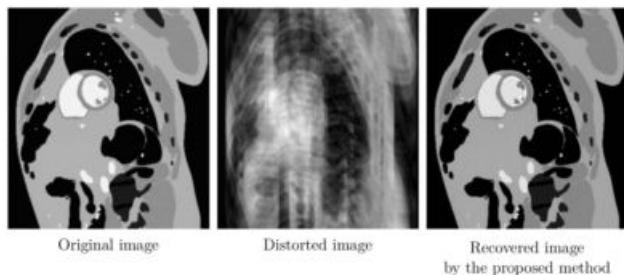
● 研究内容・目的

信号やデータの背景に潜む幾何学的構造を抽出し、これを最大限活用することによって、これまでの信号処理、機械学習、データ解析を凌駕する柔軟なフレームワークの構築を目指している。広い領域への応用を視野に入れているが、現在、特に医用イメージング、脳ネットワーク、適応信号処理、確率近似と強化学習への応用に注力し、研究を進めている。

● 研究テーマ

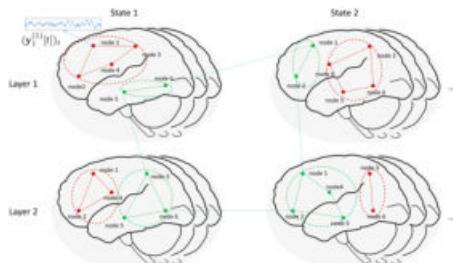
1. 医用イメージングと高次元データ回帰分析法

雑音重畳とサブサンプリングによる歪みを受けたデータから画像診断に利用できる医用画像の復元問題を考える（右図）。時間変動を伴う核磁気共鳴画像 [(dynamic) magnetic resonance (MR) image] を高次元空間の多様体（非線形の超曲面）上の点としてモデル化することによって導かれた非凸最小化問題を解くことによって、高解像度な dynamic-MR 画像復元が実現される[1, 2]。人工合成データと実計測データによる性能比較実験の結果、最先端の回帰分析法と比べ、提案法が最小の復元誤差性能を達成することを確認している[1, 2]。なお、非凸型逆問題と機械学習における次元削減問題も本研究に関連深い研究課題であり、検討を進めている。



2. 脳ネットワークの時系列分析法

機能的核磁気共鳴画像 (fMRI) と脳波 [ElectroEncephaloGram (EEG)] によって計測された脳ネット



トワークデータを分析するためのアルゴリズムを構築する。多層 (multilayer) 脳ネットワークのノードで計測された信号時系列 (左図) から特徴量を抽出し、これをリーマン多様体 (Riemann manifold) 上の点に写像することにより、多様体の豊かな幾何学的性質を活かしたクラスタリング分析と分類学習のフレームワークを構築し

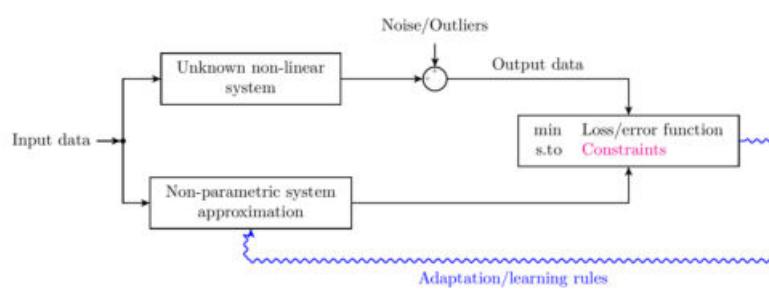
ている[3, 4]。人工合成データと実計測データによる性能比較実験の結果、最先端の信号処理・学習アルゴリズムと比べ、提案法が優れた性能を示すことを確認している[3, 4]。特に、分類学習に対しては、提案フレームワークは深層学習方法より小さな最小分類誤りを達成している[5]。さらに、提案フレームワークを、ソーシャルネットワーク、無線通信ネットワーク、電力網ネットワークなど脳ネットワーク以外のネットワークに応用する研究も進めている。

3. 非線形システム同定と確率近似法

雑音と異常値 (outliers) がある計測ストリーミングデータから確率近似方法で非線形システムを推定する（右図）。ノンパラメトリック近似理論を利用することにより、雑音、異常値、動的データにロバスト

で計算効率の優れたシステム推定法を実現している[6, 7]。提案フレームワーク

の応用対象は大変広いが、これまで、特に（非線形）適応信号処理、オンライン学習と時系列分析の推定と回帰法[6, 7]への応用に注力している。さらに最近注目を集めている強化学習法との関係を明らかにする研究も進めている。



●教員からのメッセージ

本研究室では、信号処理、機械学習とデータアナリティクスの先端研究だけではなく、学部で学んだ知識を磨き、さらに進化させることができる。プロジェクトについては日本語でも指導教員と一対一のディスカッションが可能であり、英語によるテクニカルな論文の書き方や発表の仕方についても実践的に学べるチャンスが多い研究室である。

●関連する業績、プロジェクトなど

- [1] G. Shetty, K. Slavakis, U. Nakarmi, G. Scutari, and L. Ying, “Kernel bi-linear modeling for reconstructing data on manifolds: The dynamic-MRI case,” In *Proc. of the European Signal Processing Conference (EUSIPCO) 2020*, Amsterdam: The Netherlands, January 2021.
- [2] G. Shetty, K. Slavakis, A. Bose, U. Nakarmi, G. Scutari, and L. Ying, “Bi-linear modeling of data manifolds for dynamic-MRI recovery,” *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 39, no. 3, pp. 688-702, March 2020. DOI: 10.1109/TMI.2019.2934125
- [3] C. Ye, K. Slavakis, J. Nakuci, S. F. Muldoon, and J. Medaglia, “Fast sequential clustering in Riemannian manifolds for dynamic and time-series-annotated multilayer networks,” *IEEE Open Journal of Signal Processing*, 2021. DOI: 10.1109/OJSP.2021.3051453
- [4] C. Ye, K. Slavakis, P. V. Patil, J. Nakuci, S. F. Muldoon, and J. Medaglia, “Network clustering via kernel-ARMA modeling and the Grassmannian: The brain-network case,” *Signal Processing*, 2021. DOI: 10.1016/j.sigpro.2020.107834
- [5] C. Ye, K. Slavakis, J. Nakuci, S. F. Muldoon, and J. Medaglia, “Online classification of dynamic multilayer-network time series in Riemannian manifolds,” To be presented at the *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, Toronto: Ontario: Canada, June 6-11, 2021. DOI: 10.36227/techrxiv.13123241
- [6] K. Slavakis and M. Yukawa, “Outlier-robust kernel hierarchical-optimization RLS on a budget with affine constraints,” To be presented at the *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, Toronto: Ontario: Canada, June 6-11, 2021. DOI: 10.36227/techrxiv.13110893
- [7] K. Slavakis, “The stochastic Fejér-monotone hybrid steepest descent method and the hierarchical RLS,” *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 67, no. 11, pp. 2868-2883, June 2019. DOI: 10.1109/TSP.2019.2907257



高機能アナログ信号処理回路の構成

教授 高木 茂孝

研究分野：電子回路、集積回路、回路理論

ホームページ: <http://www.ec.ce.titech.ac.jp/~takagi/>

● 研究内容・目的

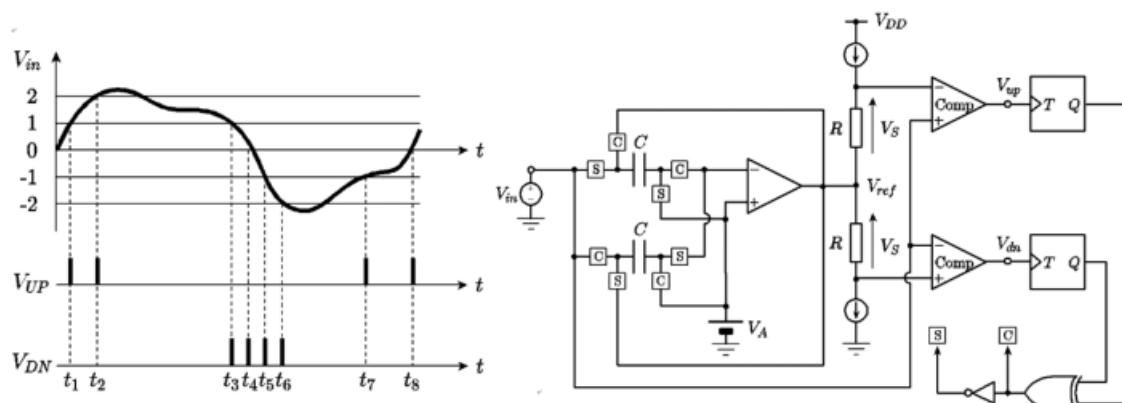
- (1) アナログ回路ブロックの高性能化に関する研究
- (2) 新しい信号処理回路の開発に関する研究
- (3) 低電源電圧で動作するアナログ回路の構成に関する研究

● 研究テーマ

1. レベルクロッシングアナログ-ディジタル変換回路

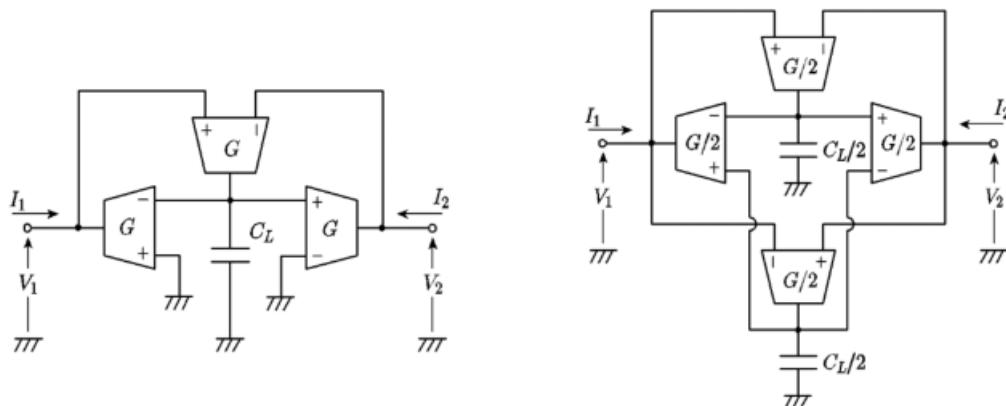
振動を検知する防犯用センサなどが出力する信号は通常は振幅の変化は微少で、振動が発生したときだけ振幅が大きく変化する信号です。一方で、センサは長寿命であることが望まれますので、消費電力の低減が重要な課題です。このような背景の下、センサの出力信号に大きな変化があったときだけ、信号処理することで消費電力を低減する手法があります。下の左図に示すように、センサからの信号 V_{in} が値「1」を上回った時刻 t_1 で V_{up} 信号を出力し、さらに値「2」を上回った時刻 t_2 で再び V_{up} 信号を出力し、次に値「1」を下回った時刻 t_3 では V_{dn} 信号を出力し、ある値を上回ったか、下回ったかということと、その時刻を送信すれば、もとの信号を再現することができます。一般にこれらの情報はデジタル信号として伝えます。このように信号処理をする回路をレベルクロッシングアナログ-ディジタル変換回路と呼びます。この回路は、信号に大きな変化があったときだけ動作するので、消費電力を大幅に低減できる可能性があります。

我々の研究室では、従来よりも低消費電力で動作する右図のレベルクロッシングアナログ-ディジタル変換回路を提案しました。ただ、この回路は信号が変化しないときも電力を消費するため、信号が大きく変化したときだけ電力を消費するように改良が求められます。



2. 高性能能動インダクタ回路の構成

インダクタはスパイラル形状にして集積回路上に実現されています。しかし、一般にインダクタは大面積を占め、実用となるのは約 1GHz 以上の周波数の信号に対してです。しかも、損失も大きく、理想的な特性とはがたいぶ異なります。高性能インダクタが 1GHz 以上の高い周波数帯域で使用できれば、受信機に欠かすことのできない低雑音増幅回路や発振回路、フィルタなどの特性改善が期待できます。下の左図はインダクタと等価な働きをする回路です。我々の研究室では、左図の回路の冗長な部分を排除し、回路的な工夫により右図の回路を導出しました。両図の台形は電圧制御電流源を表し、 G が伝達コンダクタンスです。伝達コンダクタンスが半分になりますと、消費電力も半分になりますので、提案回路は従来回路と比べて消費電力が約 33% 削減できます。この回路を 1GHz 以上の信号を処理する回路への応用が今後の課題です。



● 教員からのメッセージ

人が認識する光や音などはアナログ信号であり、自然界と信号処理システムとのインターフェースとしてアナログ回路は不可欠です。また、同一の信号処理をアナログ回路とデジタル回路で行うと、物理現象を利用したアナログ回路のほうが遙かに高速です。さらに、デジタル回路を高速に動作させると、信号波形が崩れ、1 か 0 の判別は至難の業です。この判別を精度良く行うのはアナログ回路技術です。アナログ回路技術は、システム LSI を支える基盤技術であり、我々の研究室では、特にアナログ信号処理回路の高機能化や高性能化を目的に研究を行っています。

● 関連する業績、プロジェクトなど

論文等：石川・佐藤・高木、‘寄生容量の影響を低減したトランジistor & ホールド型レベルクロッシング A-D 変換器の構成’、電気学会研究会資料 ECT-15-019, pp.71-75, 2015.

佐藤・高木・藤井、‘アクティブインダクタの対称構成による低消費電力化’、電気学会論文誌 C, Vol.129, No.8, pp.1534-1540, 2009.

著書：MOS アナログ電子回路、昭晃堂 (1998), ディジタル集積回路入門、昭晃堂 (2000), 線形回路理論、昭晃堂 (2004), アナログ電子回路、培風館 (2008), アナログ電子回路入門、理工学社 (2012)など

受賞：電子情報通信学会論文賞 (1995, 2000), IP アワード開発奨励賞 (2000), 電気学会電子情報・システム部門特別貢献賞 (2012), 電気学会フェロー (2013), 電気学会電子・情報・システム部門誌優秀論文賞 (2014)など

集積回路設計自動化

教授 高橋 篤司

研究分野：EDA、物理設計、次世代リソグラフィ

ホームページ: <http://www.eda.ict.e.titech.ac.jp>



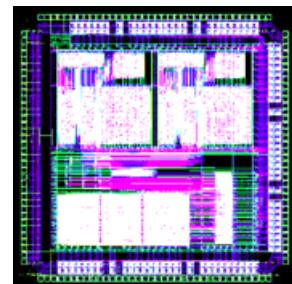
● 研究内容・目的

- (1) デジタル集積回路システムのナノテクノロジ時代に対応する設計方法論の確立
- (2) 不確実性の増大に対応する高性能集積回路の実現
- (3) 最先端テクノロジの要求に応え人手設計を凌駕する性能を持つEDAアルゴリズムの開発

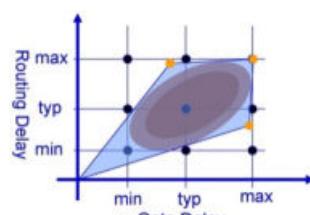
● 研究テーマ

1. 一般同期方式に基づく可変レイテンシ回路

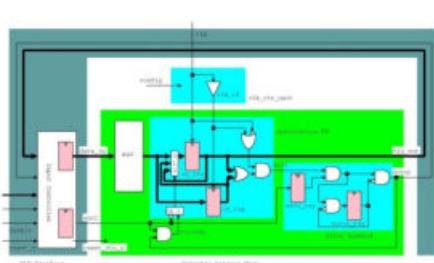
集積回路の多くは、大域的なクロック信号が集積回路全体に同時に分配され、回路動作レベルでは各回路演算が1クロック周期内で完了するなど、演算レイテンシを一定に保つことを前提とする固定レイテンシ完全同期方式に基づき設計され実現されている。このような設計方法は、集積回路を効率よく設計するための手段として、特に意識されることなく広く一般に用いられてきた。しかし、回路素子の微細化、回路の高速化により、クロック信号の集積回路全体への同時分配が困難になっただけではなく、遅延ばらつきの回路動作に与える影響が大きくなっている。回路動作の正当性は想定されるすべての状況において保証されなければならない。しかし、最悪状況の平均的状況からの逸脱が大きい状況では、クロック信号を集積回路全体へ同時に分配し演算レイテンシを一定に保つことは、性能の向上の妨げとなっている。当研究室では、クロック信号を集積回路の各部分に適切なタイミングで分配するとともに演算レイテンシを状況に応じて変更する高性能な可変レイテンシ一般同期回路の実現を目指している。【論文3】



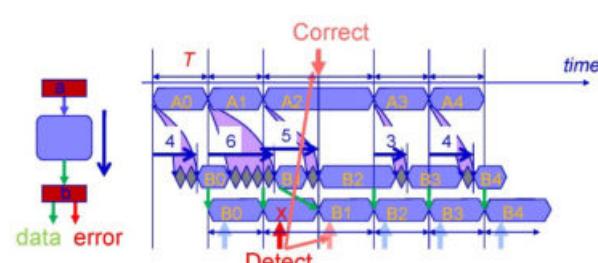
集積回路



遅延分布



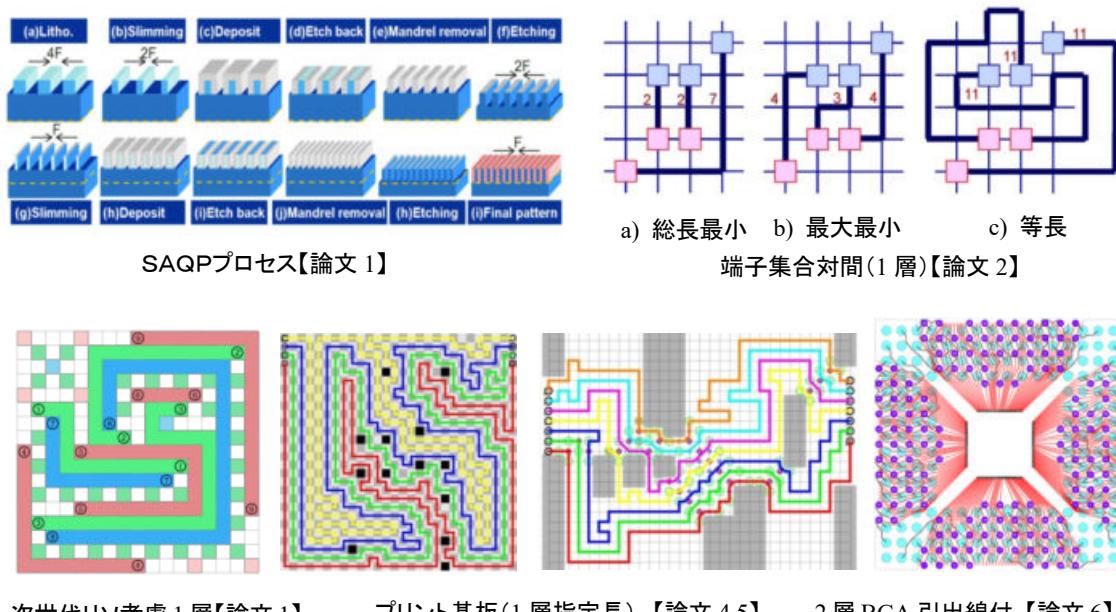
エラー検出回復方式



タイミングチャート(可変レイテンシ)

2. 次世代高性能集積回路システムのための配線アルゴリズム開発

配線設計の自動化は配線資源に余裕がある状況や人手設計がほぼ不可能な大規模な問題では、大いに進展し、自動配線は必要不可欠な技術として広く一般に用いられている。しかし、自動配線の性能は、人手設計が可能な状況では人手に及ばない。また、集積回路の3次元化や次世代の製造プロセスなど、新たな製造技術の登場などにともない様々な要求仕様への対応が求められている。当研究室では、次世代リソグラフィ技術、プリント基板設計、パッケージ設計などで求められる製造容易化、最短、等長、指定長など様々な要求仕様を満たす配線を生成するための配線アルゴリズムの開発を、配置設計との連携や全体の設計フローの構築を含めて進めている。



● 教員からのメッセージ

目的を達成するための手段は多様で正解はありません。目的を達成するための手段を目的と見誤らないように、過去や現在の常識にとらわれずに、新たな常識を次々に創造していきましょう。

● 関連する業績、プロジェクトなど

論文：

1. Kodama, et al. "Self-Aligned Double and Quadruple Patterning Aware Grid Routing Method." *IEEE Trans. Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems (TCAD)*, Vol.34, No.5, pp.753-765, 2015.
2. Nakatani, Takahashi. "A Length Matching Routing Algorithm for Set-Pair Routing Problem." *IEICE Trans. Fundamentals*, Vol.E98-A, No.12, pp.2565-2571, 2015.
3. Kohira, Takahashi. "2-SAT based Linear Time Optimum Two-Domain Clock Skew Scheduling in General-Synchronous Framework." *IEICE Trans. Fundamentals*, Vol.E97-A, No.12, pp.2459-2466, 2014.
4. Shinoda, Kohira, Takahashi. "Single-Layer Trunk Routing Using Minimal 45-Degree Lines." *IEICE Trans. Fundamentals*, Vol.E94-A, No.12, pp.2510-2518, 2011.
5. Kohira, Takahashi. "CAFE router: A Fast Connectivity Aware Multiple Nets Routing Algorithm for Routing Grid with Obstacles." *IEICE Trans. Fundamentals*, Vol.E93-A, No.12, pp.2380-2388, 2010.
6. Tomioka, et al. "MILP-based Efficient Routing Method with Restricted Route Structure for 2-Layer Ball Grid Array Packages." *IEICE Trans. Fundamentals*, Vol.E92-A, No.12, pp.2998-3006, 2009.

著書：情報基礎数学 オーム社 (2014), 情報とアルゴリズム 森北出版(2005)

高度医療画像診断、農作物の高精度管理、社会インフラの安全 ・安心に貢献する波動応用計測

准教授 田原 麻梨江

研究分野：生体計測工学、農業計測工学、医用工学、波動工学

ホームページ: <http://tbr.first.iir.titech.ac.jp/>



● 研究内容・目的

近年、病気の早期発見、健康長寿、安全・安心などの関心が高まっています。本研究室では、図1のコンセプトのもと、「硬い」「柔らかい」といった弾性特性をキーワードにした計測システムの確立と、それを医療、農業分野、社会インフラへ応用することを目的としています。

波動理論や生体工学などの基礎知識を深めながら、計測用デバイスの製作、計測システムの構築、数値解析や画像処理などの計測技術について学びます。また、青果工場へフィールド調査に行ったり、医師や農業従事者・企業との連携を推進しています。

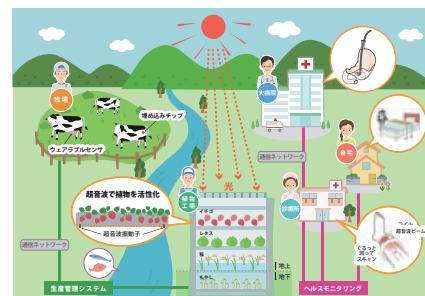


図1：研究コンセプト

● 研究テーマ

■ 生体リアルタイムモニタと医療診断

QOL (Quality of Life) の向上や健康寿命を延ばすことへの関心が高まっています。そのため、日頃のトレーニングを効率よく行うための動きセンサや、健康状態をリアルタイムで監視して異常を早期に発見するためのセンサが普及し始めています。筋肉の動きのモニタに関しては、筋電位センサが広く用いられています。

一方、筋肉の形態を画像化することができ、硬さや血流情報などの高機能な情報がセンシングできる超音波センサへの期待も高まっています。従来は医療診断のみで使われていた超音波センサですが、最近、体に貼り付けられるウェアラブルなセンサが開発されており、その用途が模索されています。本研究室では、ウェアラブル超音波センサを用いて筋肉状態をモニタリングして無線で情報を伝送するリアルタイムモニタシステムの実現を目指して、筋肉の動きや硬さ検出法について基礎研究を行っています(図2)。

生体組織の硬さ（しこり）は病変化の指標でもあります。これまでには、医師が触診で硬さを診断し、組織を切り出して病気の良悪性を判断してきました。近年、医師の技量に左右されずに硬

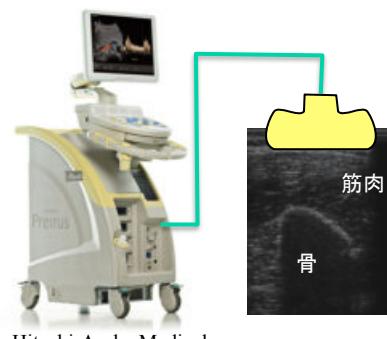


図2：超音波診断装置
と筋肉断層像

さを判定するための診断方法（エラストグラフィ）が開発され臨床応用され始めています。本研究室では体表の組織を観察できる光干渉断層像（図3）や高い周波数の超音波画像との比較などから、疾患の早期発見へ向けた研究を行っています。

■青果物の完熟度・糖度の自動判定

農家や青果物工場における高精度管理のため、果物の収穫時期や完熟度・糖度を測定し、自動判定するシステムの需要が高まっています。特に、食品に関しては果物に触れずに測定したいというニーズがありますが、広く普及している一般的な計測器は接触式です。

そこで、果物に触れずに柔らかさを測定する方法を考案しました（図4）。音波を果物に照射すると、ごくわずかに果物が振動します。この振動を検出して特徴を解析すると柔らかさの情報が得られます。四季折々、単価の高い果物を中心に柔らかさと完熟度や糖度の関係について調べています。

■戸挟み検出システム

最近、ベビーカー・鞄・紐が電車の扉に挟まれ、引きずられる戸挟み事故が社会的な問題になっています。現在の戸挟み検出法では薄い鞄やベビーカーの車輪を検出することが困難です。また、検出感度を上げようすると戸先ゴムを硬くしなければならず、挟まったものが抜けずにかえって危険となるといった問題があります。

戸挟み事故の撲滅のため、戸先ゴム内の音響特性から柔らかさと感度を両立したセンサを提案しています（図5）。まず、ゴム内部に音を伝搬させます。ゴムに圧力が加わると内部の音響特性が変化します。音響特性の信号解析からゴムへの圧力を検出することができます。ベビーカーの車輪などを瞬時に検出するシステムについて検討しています。

●教員からのメッセージ

「医療や農業に関心がある」、「社会インフラに関心がある」という方、一緒に研究をしましょう。音波を利用すると、外からは見ることのできない生体の内部の情報を非侵襲的に見ることができたり、果物に触らずに熟し度合いを知ることが可能になります。Every failure is a stepping stone to success! 失敗することを恐れずに、興味のあることにどんどんチャレンジしましょう。

●関連する業績、プロジェクトなど

- ・山口 他, “光干渉断層法による皮下近傍の弾性計測”, 第3回次世代がん治療推進専門家養成ブランシンポジウム, 2015.

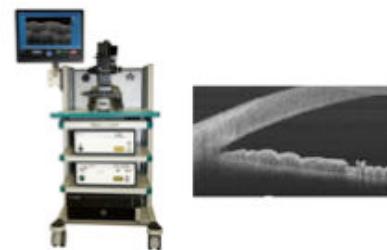


図3：光干渉断層像と網膜の断層像
(santec)

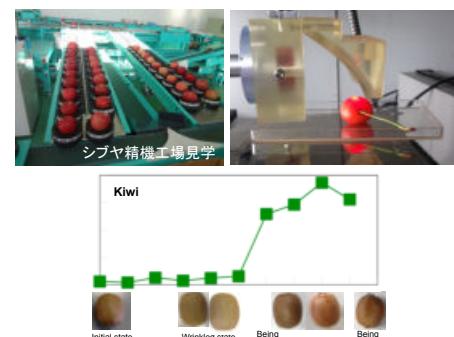


図4：選果の様子、実験様子、柔らかさの経時変化

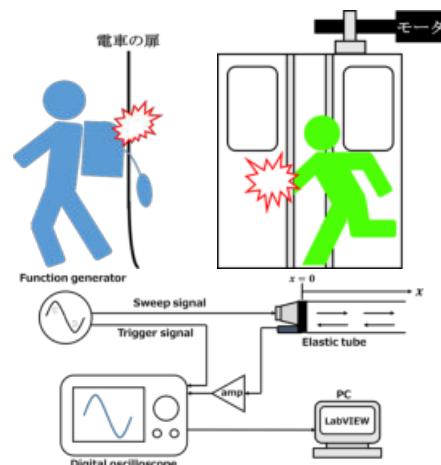


図5：戸挟みおよび検出システム



脳に学ぶ画像処理の科学と技術

准教授 永井 岳大

研究分野：色彩工学、質感科学、感性工学、視覚心理物理学

ホームページ: <https://sites.google.com/view/tokyotech-ice-nagailab/>

● 研究目的・内容

人間の脳は、目に入った光から生存に必要な情報をうまく取り出す優れた情報処理の仕組みを持っています。一方、機械学習・人工知能の分野では画像物体認識や画像処理技術が著しく発展していますが、その特性は脳による視覚情報処理特性と必ずしも合致しません。

そこで本研究室では「人間ならでは」の情報処理に焦点を当てて、主として心理物理学的手法を最大限に活用し、色や質感など様々な視覚情報を処理する人間の脳の仕組みを解明することを目的として研究を行っています。これらの研究活動から明らかになった脳の仕組みは、画像処理技術へと応用できるのみならず、「人に見せる」技術の根源的な知見をもたらします。例えば、色覚異常の方々に優しい色表現であるカラーユニバーサルデザインやヒトの評価と一致する画像評価技術などは、人間の情報処理の仕組みを学ばないことには成立しません。

● 研究テーマ

1. 色彩の科学

色は脳が光から作り出す感覚であり、人間にとて最も基本的な視覚情報の一つです。その知覚特性については昔から精力的に研究が続けられ、色覚の理論も体系化されてきました。しかし、例えばカメラのホワイトバランスの結果が実世界で人間の見る色とは正確には対応しないことからわかるように、色を見る仕組みは基本的な部分以外はまだまだ未知であるといつても過言ではありません。そこで、脳・神経系の色情報処理の仕組みを様々な情報処理レベルで検討しています。例えば、色を単に見分ける場合と色によって形を判断する場合では脳内の異なる色表現が関わること、脳は自然シーンが持つ統計的法則に適合した色情報処理を持つことなどが、明らかになってきました。このような色を見る仕組みは、普段我々はほとんど意識しないにも関わらず、色情報を利用する視覚デバイスの根源原理として極めて重要です。このような、ある意味で「見過ごされている問題」を解決していくことを目指しています。



図1 ハイライトは色知覚に強く影響する

2. 質感と感性の科学

目に入射する視覚像は、照明光、物体の反射特性、物体形状の複雑な相互作用により生み出されます。その視覚像から感じられる質感とは、光沢感や透明感など物体の反射特性に対応する感覚と考えられます。視覚像は複雑な光学プロセスによって生じるにも関わらず、人間はそこからいともたやすく質感を知覚します。この際、脳が視覚像生成に関わる光学プロセスをすべて考慮に入れて計算しているとは考えにくいため、脳は何らかの経験則に基づいて計算を簡素化する戦略を持っている可能性が指摘されています。そこで、この脳の戦略を明らかにすることを目的とした研究を行なっています。例えば、光沢感や透明感の知覚には思った以上にシンプルな画像情報が寄与している可能性も示されてきています。また、一目惚れのように、一瞬で質感を捉えたり、好みなどの感性が生起する際にも、シンプルな画像特徴が大きな枠割を担っていることが分かってきています。

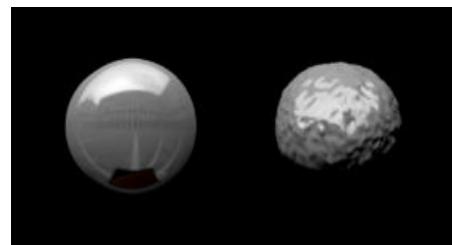


図2 光沢感に寄与する様々な
画像手がかりが存在する

3. 人間の視覚特性に基づいた視覚情報操作技術

上述したような視覚特性に関する基礎研究の知見を積み重ねることで、人間に視覚情報を提示するデバイスの設計指針へつながっていきます。そこで、それらのデバイスや画像処理技術に人間の視覚特性を組み込むことにより、その原理の発展を目指しています。例えば、色覚異常の人々の色の見え方に関する未知の特性を見出すことにより、カラーユニバーサルデザインの新たな設計原理を提案できます。同様に、シンプルな経験則によって人間が質感を知覚していることがわかれば、単純な画像情報操作だけで所望の質感を再現できる画像処理技術や新しい視覚デバイスの活用法の提案ができるようになります。また、顔の魅力を捉える視覚の仕組みをメイクアップ技術に応用することもできます。

●教員からのメッセージ

「当たり前」を疑うことから画期的な知見や技術が生まれます。皆さんのが当たり前だと思いこんでいる視覚世界の常識を疑うことから、様々な画像処理技術の根本を覆していきましょう。

●関連する業績、プロジェクトなど

1. H. Kiyokawa, T. Tashiro, Y. Yamauchi, & T. Nagai: Spatial Frequency Effective for Increasing Perceived Glossiness by Contrast Enhancement. *Frontiers in Psychology*, 12:625135, 2021.
2. T. Sato, T. Nagai, & I. Kuriki: Hue selectivity of collinear facilitation. *Journal of the Optical Society of America A*, 37(4), A154-A162, 2020.
3. H. Kiyokawa, T. Tashiro, Y. Yamauchi, & T. Nagai: Luminance edge is a cue for glossiness perception based on low-luminance specular components. *Journal of Vision*, 19(12):5, 1-22, 2019.
4. T. Nagai, Y. Hosaka, T. Sato, & I. Kuriki: Relative contributions of low- and high-luminance components to material perception. *Journal of Vision*, 18(13):6, 1-19, 2018.
5. T. Nagai, S. Kaneko, Y. Kawashima, & Y. Yamauchi: Do specular highlights and the daylight locus act as cues for estimating illumination color from a single object? *Optical Review*, 24(1), 47-61, 2017.

こころを動かすサービスの創造

准教授 中谷 桃子

研究分野：ヒューマンコンピュータインタラクション、
サービスデザイン、コミュニケーション支援



● 研究目的・内容

複雑な社会課題を解決するためには、生活者を含む多様な関係者とともに本質的なニーズを探索し、解決方策を導出することが不可欠です。本研究室では、「人」を中心に据え、人のこころを動かすサービスの在り方や、人の可能性を最大限に引き出すためのテクノロジー・方法論について研究します。デザイン思考や人間中心設計の考え方をベースとし、人々の主観的幸福感や持続的な社会実現につながる情報通信技術やその社会実装に関する研究を推進します。

● 研究テーマ

1. 生活者の主観的幸福感（Well-being）の実現に向けた支援技術の研究

生活者の Well-being 向上を目的とし、超高齢化社会や核家族化を背景に増加している社会課題の解決に取り組みます。特に、COVID-19 の世界的流行を背景に増加している社会的孤立は、注力するテーマのひとつです。高齢者や乳幼児を育てる親の孤立は、鬱などの問題と密接につながっており、解決すべき重要な社会課題のひとつです。問題解決には、例えばオンライン上でつながりの機会を作るだけでも一定の効果がありますが、一人ひとりにとって心地よいつながりを実現し、またそれを多くの人に提供していくためには、既存の技術だけでは不十分です。つながりの質を高めるためには、既存の枠に捉われないより高度な情報通信技術が求められるでしょう。また、そもそも人が幸福感を感じるつながりとはどのようなものなのか、という「人のこころ」に迫る問いを検討することも必要です。さらに、それらを社会で拡げていくための仕組みについても考える必要があります。本研究室では、このような一見すると捉えどころのない社会課題に対し、その課題に直面する当事者や関係者と関わりながら、その問い合わせを具体化していきます。本質的に解決すべき課題・必要とされる支援とは何か、という課題探究に時間をかけ、その解決策を模索します。その過程においては、課題の当事者や関係者といった「人」を中心とし、一人ひとりの Well-being に寄与する技術の在り方や社会の仕組みについての研究を展開していきます。

2. 持続的な社会を実現するための仕組み構築に関する研究

情報通信技術を用いて社会の課題を解決するには、その技術がどのような人にどのような環境/場面で利用され、どのようなニーズに応えるものなのか、という利用する「人」の視点が重要です。また、それをサービスとして仕立て、利用者に届けるまでには、多様な主体との連携も不可欠です。つまり、技術の社会実装を進め、複雑な課題を解決するためには、一人の担当者、単一の技術だけでは解決できません。本研究室ではそうした「多様な人」の「多様な視点」を重視

し、その可能性を最大限に活かすことに力点を置きます。多様な人同士がそれぞれの視点・専門性を活かしたコラボレーションを行い、課題解決・サービス創造を行うための仕組みや方法論について研究を行います。特に、共創の仕組みとして有望な「リビングラボ」に着目し、企業や行政などとも連携を行いながら研究を推進します。リビングラボとは、サービスをデザインするプロセスに、その利用者である生活者を長期に渡り巻き込み、実生活に近い場（リビング）でサービスや商品をともに創り上げる方法論です。例えば図に示すのは、民間企業が運営するリビングラボの実践の様子です。子育て中の親子向けのサービスを創造するために、企業のエンジニアやサービスデザイナなどのさまざまな関係者に加え、その利用者となる子育て中の親子が参加しています。それぞれの参加者がお互いを尊重し、持ち味を活かした対話を重ねることで、人のこころに寄り添ったサービスや、こころを動かすサービスの実現につながります。本研究室では、こうした実践を通して具体的な課題解決・サービス創造に取り組むとともに、そのプロセスや仕組み自体を研究対象とします。現場実践を通して、持続的な社会の実現に役立つ共創の在り方を見出し、知見の体系化やツールの開発につなげていきます。



図 リビングラボ「ともに育むサービスラボ」の様子（NTTテクノクロス株式会社運営）。
左図：多様な参加者が輪になり自己紹介している様子。会話内容をセンシングし輪の中心に自動可視化されるツールの受容性も同時に検証中。
右図：コニカミノルタ社開発中のロボット試作品を親子に見せ、その様子を評価している様子。

● 教員からのメッセージ

本研究室は、分野横断の境界領域を研究対象とします。技術を利用する「人」にも興味がある方、多様なバックグラウンドの方々とのコラボレーションを通して新たな領域を開拓していくことに興味がある方、研究を通して実社会に貢献していきたいとお考えの方を募集しております。

● 関連する業績、プロジェクトなど

- 論文: 中谷, 中根, 赤坂, 石井, 渡辺: リビングラボにおける対話の場がもたらす価値-「ともに育むサービスラボ」を事例として, ヒューマンインターフェース学会論文誌, Vol. 21, No. 4, pp. 391-404, (2019).
- リビングラボ「ともに育むサービスラボ」 <https://ictdesign.biz/work/hagulab/>
- 国際会議: M. Nakatani, T. Ohno, A. Nakane, A. Komatsubara, S. Hashimoto, "How to Motivate People to Use Internet at Home: Understanding the Psychology of Non-active users", Proceedings of APCHI'12, pp.259-268 (2012).

リコンフィギュラブル コンピューティングとその応用

准教授 中原 啓貴

研究分野：コンピュータアーキテクチャ, FPGA, AI, 多値論理
ホームページ: <http://naklab.wpblog.jp/>



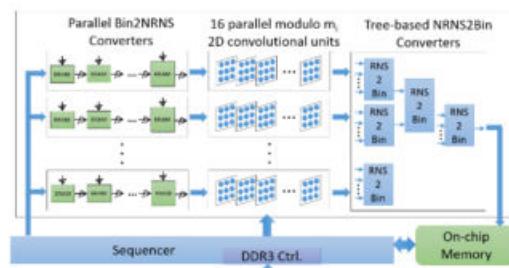
● 研究内容・目的

リコンフィギュラブルコンピューティングとは「後からでも回路の書き換えが可能なロジック・デバイスを用いた計算手法」であり、商用的にも FPGA (Field Programmable Gate Array) が成功を収めています。FPGA は再プログラム可能な柔軟性に加え、近年のテクノロジーの進化により高集積化、高性能化、低消費電力化、低コスト化が進み、様々な電子機器で使用されるようになりました。本研究室では主に FPGA を使い、ネットワーク向けの低消費電力検索エンジン・電波望遠鏡向けの高性能信号処理装置・脳などの生体器官に基づく AI 情報処理装置等の応用事例の研究開発を通じ、多値論理や剰余数系等の理論も応用しながら、ムーアの法則が終焉する時代以降のコンピューティングを提案することを目的としています。

● 研究テーマ

1. 脳などの生体器官に基づく AI 情報処理

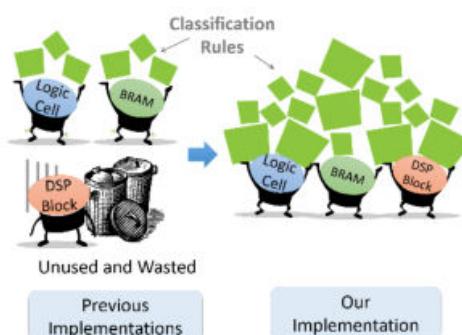
Web 普及によるビッグデータとコンピュータの進歩により、ディープニューラルネットワークによる情報処理が研究されています。人の目を実現する AI の研究開発をしています。例えば、剰余数系(RNS: Residue Number System)という数学的なモデルを応用した高性能なハードウェアの改良に取組んでいます。



RNS を応用したディープニューラル
ネットワーク用アクセラレータ

2. ネットワーク用パターンマッチング・アーキテクチャ

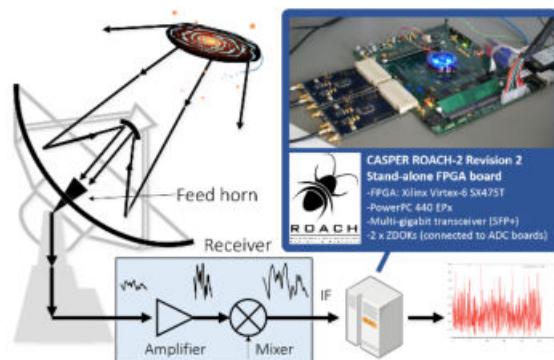
ネットワークのデータ（パケット）転送用機器を開発しています。高速パケット転送はもちろん必須ですが、産業用途ですので低コストであり、低消費電力なハードウェアが必要となります。これらの機器はパターンマッチングという動作を行っています。本研究室では、用途や要求に応じた様々なパターンマッチング用アーキテクチャの研究開発を行い、ウイルス検出・パケット分類器・IP アドレス検索エンジンへ実用化を目指しています。



加算器を用いた検索エンジンの概要

3. 電波望遠鏡用信号処理システム

電波望遠鏡は宇宙から受信した電波を高速フーリエ変換(FFT)することで目視できない天文現象を解析します。しかし、多輝線・高赤方偏位天体・宇宙磁場等の観測を行うには広帯域周波数領域の解析が必要です。狭帯域用にチューニングされた既存の FFT 回路では、入力信号に対し、2乗のオーダで増加するハードウェア量が問題となります。本研究では FFT の基底拡張と LUT カスケードを用いた回転因子計算回路により、広帯域用 FFT 回路を研究開発しています。また、剩余数系を応用した FPGA 用に特化した広帯域・高分解能な FFT 回路の設計法を研究しています。提案設計法を Matlab·Simulink のライブラリに移植し、電波望遠鏡用信号処理システムの国際共同開発コミュニティ CASPER (Collaboration for Astronomy Signal Processing and Electronics Research) に公開し、世界中の電波望遠鏡で使用してもらう計画です。



電波望遠鏡用信号処理装置の概要



国立野辺山天文台 45m 電波望遠鏡

● 教員からのメッセージ

1960 年代にインテル社のムーアが提唱した「ムーアの法則」の終焉が近づいており、LSI を微細化するビジネスモデルの見通しは暗く、日本の半導体業界も元気がない状況です。しかし、この状況は次の時代へ繋げるための研究開発をするチャンスでもあります。私と一緒に次世代コンピュータを作り上げましょう。皆さんと一緒に研究できることを楽しみにしています。

● 関連する業績、プロジェクトなど

1. Hiroki Nakahara, Zhiqiang Que, Wayne Luk, "High-Throughput Convolutional Neural Network on an FPGA by Customized JPEG Compression," FCCM, 2020, pp.1-9.
2. Hiroki Nakahara, Haruyoshi Yonekawa, Tomoya Fujii, Shimpei Sato, "A Lightweight YOLOv2: A Binarized CNN with A Parallel Support Vector Regression for an FPGA," FPGA, 2018, pp. 31-40.
3. Hiroki Nakahara, Tsutomu Sasao, Mumeniro Matsuura, and Hisashi Iwamoto, "LUT Cascades Based on Edge-Valued Multi-Valued Decision Diagrams: Application to Packet Classification," IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems (JETCAS), pp. 73-86.

超音波と光による ライフエンジニアリング

教授 中村健太郎

研究分野：超音波工学、光計測、光ファイバセンサ

ホームページ: <http://www.nakamura.pi.titech.ac.jp/>



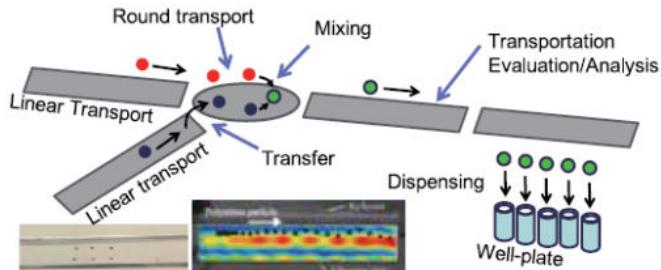
● 研究内容・目的

光波や弾性波などを用いることで、他の方法では実現し得ない特徴を有するデバイスや計測手法の研究を行っている。広い範囲に分布した量を瞬時に測定する手法やセンサ、そのようなセンサを組み込んだ構造体の開発を行う。また、アクチュエータと融合し、自ら動いて最適な測定を行えるセンサの実現をめざす。これらの技術を医用、健康、安心安全などのライフエンジニアリング分野に役立てることがミッションである。

● 研究テーマ

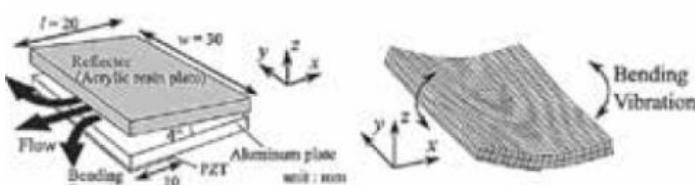
1. 液滴の非接触搬送システム

次世代新薬開発や新規材料研究では、何物にも触れずに微小な液滴を搬送、混合、評価する技術が求められている。これに対して、超音波音場の音圧の節に微小物体が浮上する現象に着目し、音場を制御することで液滴の非接触搬送、混合、滴下、分析などをを行うことを検討している。直径 1mm 程度の液滴の搬送や混合、滴下が可能になっている。さらに高度な操作や分析の実現をめざしている。



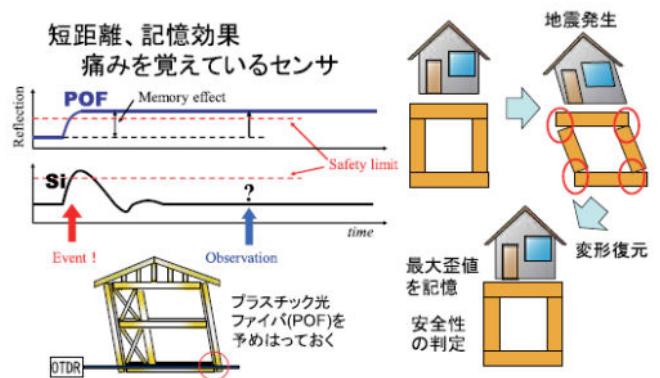
2. 超音波アクチュエータ

超音波振動により摩擦駆動する超音波モータの大幅な性能改善、寿命改善をめざした研究を行っている。摩擦駆動面に潤滑油を導入し、超音波振動による圧力変動で潤滑剤の動作モードを切り替えることでモータ効率を改善する。また、非接触浮上式ステージや多自由度モータなどの新しい機構を研究テーマとしている。一方、超音波音場の非線形現象を活用したポンプを開発している。超薄型形状で、ファンや弁を用いることなく気体や液体を移送することができる。大規模な数値計算による動作シミュレーションも行っている。



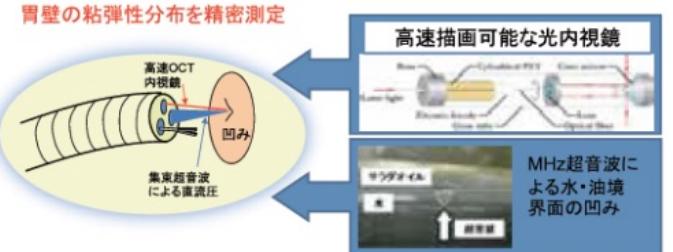
3. 記憶機能をもった光ファイバセンサ

建物やトンネルなどに光ファイバを張り巡らし、光ファイバのどこにどれだけの歪や温度変化が加わったのかを知る技術が光ファイバセンサである。従来のガラスファイバでは大きな歪で断線してしまう上、常に測定を行い記録する必要があった。当研究室では、プラスチック光ファイバ(POF)の塑性変形特性を使うことで、ファイバ自体が歪を記憶する光ファイバセンサを研究している。こうすると後から測定しても、それまでに加わった最大歪がわかる。また、POFのブリルアン散乱の観測に世界に先駆けて成功し、より高度な歪測定が可能になりつつある。



4. 光・超音波技術の医用応用

光と超音波を用いた内視鏡など、医用応用の基礎研究を行っている。光の干渉の性質を利用した光トモグラフィを内視鏡に利用するため光ファイバの振動を用いた小型スキャナを開発した。また、生体組織に伝搬させた弾性波動の伝搬速度を光学的手法で測定することで、生体組織の硬さも測定できる内視鏡の実現をめざしている。



●教員からのメッセージ

本研究室の研究テーマには実際に「動くもの」を扱います。すなわち、試作や実験が中心です。今までに世の中に無かった新しい「からくり」(デバイスやシステム)を創り出す喜びを味わってもらいたいと考えています。そのためには、自分の「目で見て」「手で触って」「考える」ことが重要です。真にオリジナルなアイディアによる研究のコアの部分に高価な装置は必要ないものです。必要ないというより、そもそも無いのです。自作の実験セットは全てが自分の手の中になります。一人ずつ独立したテーマで研究に励んでいますが、企業等との共同研究として行っているものと独自テーマとがあります。また、最近は留学生の割合も増え、学生同士はもちろん、海外や企業からの研究員との議論、国際会議発表などを通して得られるものも多いと思います。

●関連する業績、プロジェクトなど

1. “音のなんでも小辞典” 日本音響学会編（分担），講談社ブルーバックス，1996，東京。
2. “図解雑学・音のしくみ” ナツメ社，1999，東京。
3. “音響学入門” 音響入門シリーズ（分担），コロナ社，2011，東京。

ヒューマン嗅覚インターフェース

教授 中本 高道

研究分野 :

嗅覚ディスプレイ、感性情報センシング、匂いセンサ、組み込みシステム

ホームページ: <http://silvia.mn.ee.titech.ac.jp>



● 研究内容・目的

中本研究室では、感性情報のセンシング、情報処理、感性情報を再現するヒューマンインターフェースを目指し、その中でも嗅覚に注目して研究を行っています。視覚情報の場合ビデオカメラでキャプチャしてテレビ画面で情報再現を行うように、匂いセンサや嗅覚ディスプレイで嗅覚情報のセンシング、記録、再現を実現することを目指します。また、香る料理ゲーム等の嗅覚を利用したマルチメディアコンテンツも研究し、その実演も多く行います。さらに匂いバイオセンサやセンサ情報処理システム・アルゴリズムの研究も行っています。

● 研究テーマ

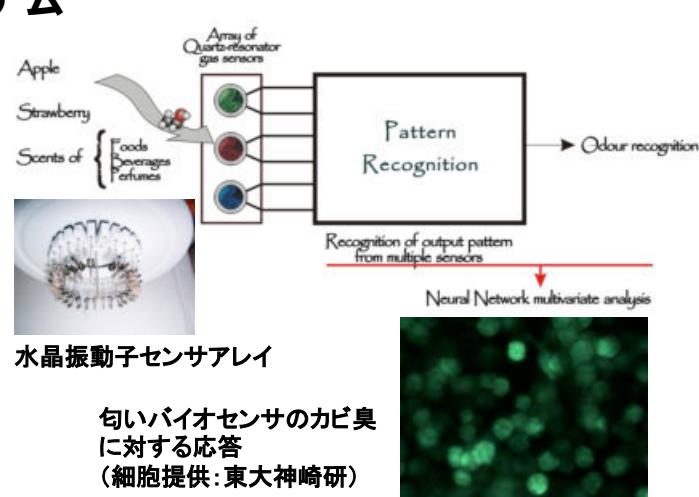
嗅覚ディスプレイ

多成分の香りを任意の比率で調合させることにより多様な香りを提示可能。ゲーム、デジタルサイネージ用のコンテンツを作成し、国内だけでなく海外でもリサーチデモを行う。嗅覚VRはバーチャルリアリティ分野でも注目されている。テレビ・新聞取材も多い。

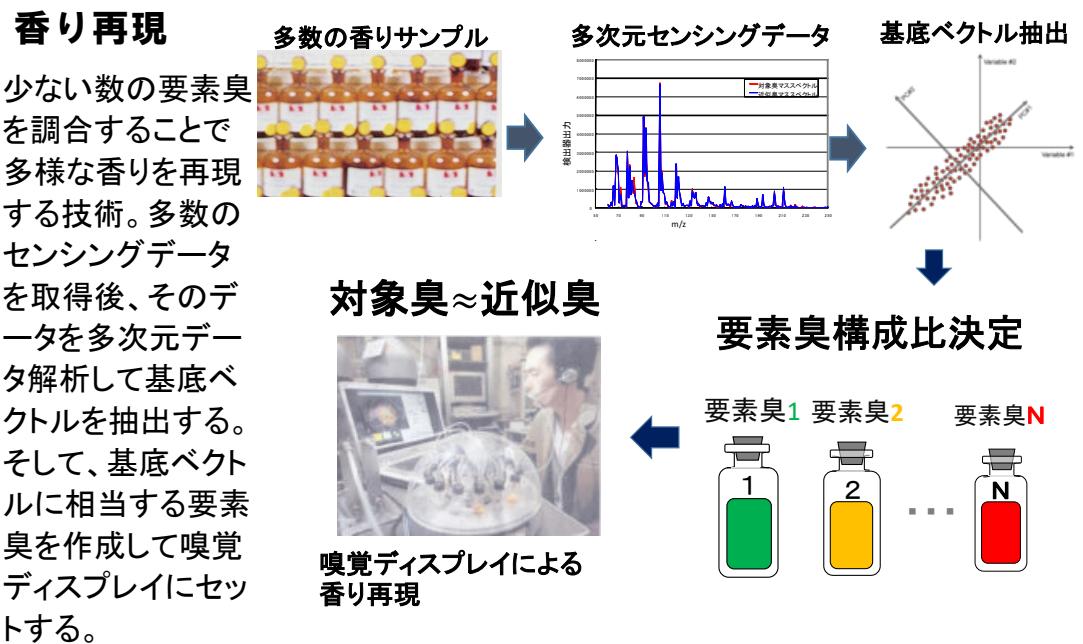


匂いセンシングシステム

多数のセンサの応答パターンをパターン認識することにより、匂いの種類を識別する。センサ素子としては水晶振動子センサを多く用いるが、近年は嗅覚受容体を発現させた細胞をセンサ素子として用いる研究も行っている。嗅覚受容体を用いることにより、生物に近い性能を持つセンサを実現できる可能性がある。



匂いバイオセンサのカビ臭に対する応答
(細胞提供:東大神崎研)



多次元データ解析により計算した要素臭構成比にもとづき嗅覚ディスプレイで香りを調合することにより、様々な香りを近似的に作成することが可能になる。

● 教員からのメッセージ

この分野は境界領域で、情報エレクトロニクスだけでなく、生物、化学、環境計測、機械、制御、医学、歯学、芸術等の分野と関連があります。これらの情報・電気以外の分野の他大学や企業との共同研究も多いです。幅広くやってみたい人は、ぜひ当研究室にきてください。当研究室ではモノづくりをする機会が多く、計測や組み込みシステム、FPGAの知識、さらに感性情報処理、ヒューマンインターフェースの素養が身につきます。また、パターン認識や機械学習に関連する研究テーマもあります。さらに、国内外の学会発表の機会も豊富にありますが、国内だけでなく海外での research demo やテレビ取材など自分の研究を実演を通じてアピールする機会があります。海外との交流も多く、たくさんの留学生も研究に参加しています。

● 関連する業績、プロジェクトなど

1. 都甲、中本、においと味を可視化する、フレグラントジャーナル社、2017.
2. T.Nakamoto, Ed., Essentials of machine olfaction and taste, Wiley, 2016.
3. T.Nakamoto, Ed., Human olfactory displays and interfaces, IGI-Global, 2013.
4. 中本、新版 電気・電子計測入門、実教出版、2012.
5. T.Nakamoto et al., Cooking up an interactive olfactory game display, IEEE CG & Applications, Jan./Feb., 2008, 75-78.
6. 中本編著、嗅覚ディスプレイ、フレグラントジャーナル社、2008.

受賞

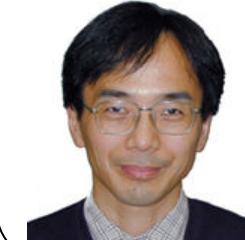
- 2018, Honorable Mention, IEEE Virtual Reality, 2018.
- 2011, Honorable Mention, ICAT(International Conference on Artificial Reality and Teleexistence)
- 2011, Best papers at ISOEN (International Symposium on Olfaction and Electronic Noses)
- 2010, におい・かおり環境協会技術賞
- 2009, 電気学会学術振興賞

人間情報処理、教育工学

教授 中山 実

研究分野：視覚情報処理、知覚認知、学習評価、教育工学

ホームページ: <http://www.nk.ict.e.titech.ac.jp>



● 研究内容・目的

教育やコミュニケーションにおけるヒューマンファクタ、学習理解・認知特性を調べ、学習効果などを最大化するための方法検討や、それに必要なシステムの構築を目指す。

- (1) 眼球運動、瞳孔応答、脳波など生体情報による学習理解、作業行動の評価
- (2) 視覚情報の特徴とその知覚、認知過程の分析
- (3) e-Learningなどの教育・コミュニケーションシステムにおける活動分析と評価

● 研究テーマ

1. 眼球運動や瞳孔による行動分析評価

眼球運動や瞳孔は、表示画像の物理的特徴だけでなく、観察者の興味、理解、心的負荷などの心理的要因によって変化する。図1は、画像特徴による注視可能性を示した顕著性マップである。これらについて以下のようないくつかの研究を行ってきた。

- ・ 眼球運動による文章理解、回答選択における確信度評価：眼球運動の特徴量から、文章や表現内容の理解度を予測、回答選択肢間の眼球運動パターンから回答確信度の推定した事例を図2に示す。
- ・ 注視対象物の大きさ推定：眼球運動、瞳孔の注視における調節機能に着目し、ユーザ支援の方法を検討。
- ・ 瞳孔応答によるユーザビリティ評価：瞳孔による心的負荷評価によって、インターフェース評価の実施。
- ・ 瞳孔応答による診断：疲労度評価、眼疾患検出の検討。

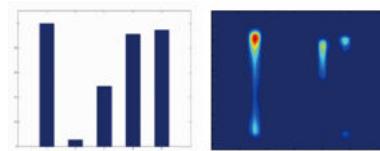


図1. 画像(a)の特徴に基づく顕著性マップ(b)

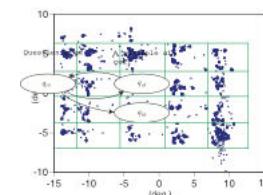


図2. 選択回答での視線位置分布と注視パターン

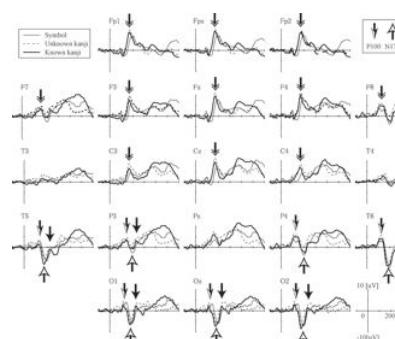


図3. 文字種によるERP波形の違い

2. 人間の情報処理過程の分析

知覚される情報の違いをどのように識別しているのかについて、実験的に検討してきた。

- ・ 漢字とシンボルの知覚過程：文字の知覚過程を脳波である事象関連電位(ERP)で比較し、頭皮電極の文字間での時系列的な変化の違いから検討した。さらに、ERP波形から知覚文字種の推定可能性を検討。
- ・ 快画像と不快画像の比較：ERPによる知覚過程比較から情意的反応評価への応用を検討。
- ・ 高速逐次提示における見落しと画像特徴との関係：漢字を連続的に提示した場合に、標的とした漢字の見落しが、画像間の輝度差や類似度の変化に関係していることを示した。

3. e-Learningにおける学習活動評価

オンライン学習と対面授業を組み合わせたブレンディッド学習、オンラインだけのフルオンライン学習などにおける学習活動と学習成果との関係を分析している。

- ・ 学習者特性との関係：学習者の特性(性格、情報リテラシー能力など)と学習成果との関係分析。
- ・ ノート記録分析による学習活動の評価：教員や教材が提示する情報をどの程度ノート記録に再現されているかを、単語の共起情報を用いて比較して、グラフ表現したものが図4である。評価や学習成果の予測に適用。
- ・ ソーシャルメディア利用の効果：オンライン学習に掲示板などのソーシャルメディアを用いた効果を検討。

他テーマ

眼球運動などの生体情報に関する信号処理やその応用：

- ・ 眼球運動に関する予測モデルの検討：眼球運動の予測、あるいは眼球運動データを用いた行動予測の検討
- ・ 脳波データの信号処理に関する検討
- ・ 画像特徴量に基づく画質評価と主観評価の関係分析

教育学習支援システムの開発と評価：個別の学習課題に関するシステム試作など
教育、学習情報の分析

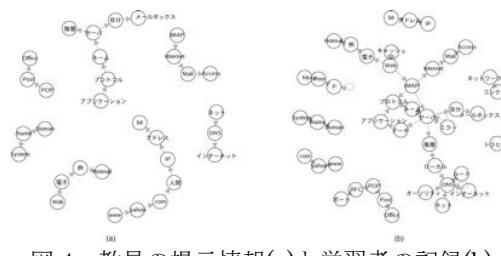


図4. 教員の提示情報(a)と学習者の記録(b)

●教員からのメッセージ

学習や認知を含めた人間の情報処理は、情報特徴への適応によって獲得されると考えると、研究対象も広がります。上記のテーマ以外でも、研究室の資源で取り組める研究については、希望に応じて積極的に実施したいと考えています。例えば、聴覚刺激や学習指導方法などに関する研究に取り組んだ学生もいます。

●関連する業績、プロジェクトなど

- 1 . M.Nakayama, Y.Hayashi, Prediction of recall accuracy in contextual understanding tasks using features of oculo-motors, Universal Access in the Information Society, 13(1), 175-190, 2014.
- 2 . M.Nakayama, M.Katsukura, Development of a system usability assessment procedure using oculo-motors for input operation, Universal Access in the Information Society, 10(1), 51-68, 2011.
- 3 . M.Nakayama, M.Fujimoto, Features of Oculo-motors and their chronological changes in response to varying sizes of visual stimuli, Multimedia Tools and Applications, 74(8), 2841-2859, 2015.
- 4 . M.Nakayama, H.Abe, Performance of Single-trial Classifications of Viewed Characters using EEG Waveforms, IJ.Cognitive Biometrics, 1(1), 10-25, 2012.
- 5 . M.Nakayama, K.Mutsuura, H.Yamamoto, Impact of learner's characteristics and learning behaviour on learning performance during a fully online course, EJEL, 12(4), 394-408, 2014.

情報を収集・伝送・処理する 無線通信ネットワーク

准教授 西尾 理志

研究分野：無線ネットワーク、機械学習、無線センシング

ホームページ：<http://www.imc.cce.i.kyoto-u.ac.jp/~nishio/>



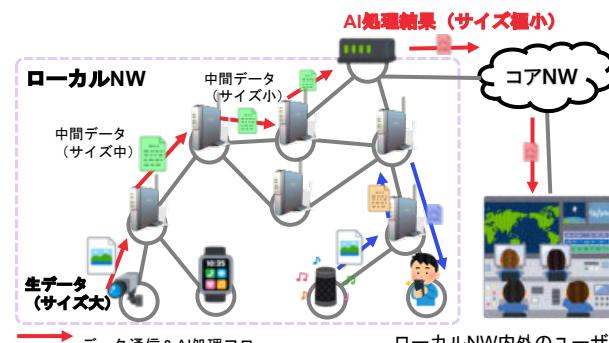
● 研究内容・目的

遠隔医療や自動運転など多様なアプリケーションが実現される Internet of Things (IoT) 時代において、通信ネットワーク、特に無線ネットワークは従来通りの情報の伝送だけでなく、センサと協力して情報を収集し、その情報をネットワーク内で処理することが不可欠です。本研究室では、センシング・コンピューティング・ネットワーキングが融合した新たな**情報基盤**の実現を目指し、無線通信を使ったセンシングやネットワーク上での分散協調的な機械学習など様々な分野横断的研究を行っています。

● 研究テーマ

1. 無線ネットワークでの機械学習

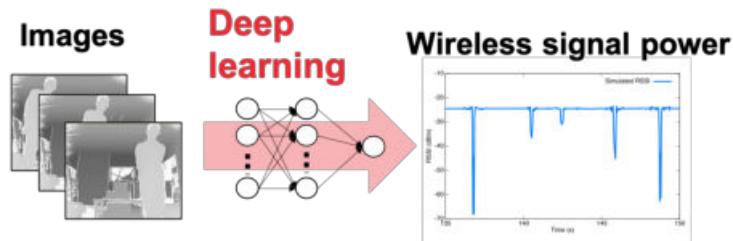
スマートフォンやセンサなど無線ネットワーク上の端末が互いに協力し、各々のもつデータや計算能力を活用して機械学習の訓練や推論を分散的に行う技術の研究です。現在の機械学習は高機能なクラウドサーバで実行することを前提としていますが、学習・推論時に大量のデータがネットワークを行き来することになります。本研究は、ネットワークで接続された様々な端末が協力して学習や推論することで、すべての機械学習処理をローカル NW 内で完結させるというものです。トラヒック削減はもとより、データがローカルで消費されるので、データ漏えいリスクを低減でき、遅延も削減できると一石三鳥です。この**データの地産地消**を実現するための学習および推論技術を研究開発します。



2. コンピュータビジョンを用いた無線通信の予測と制御

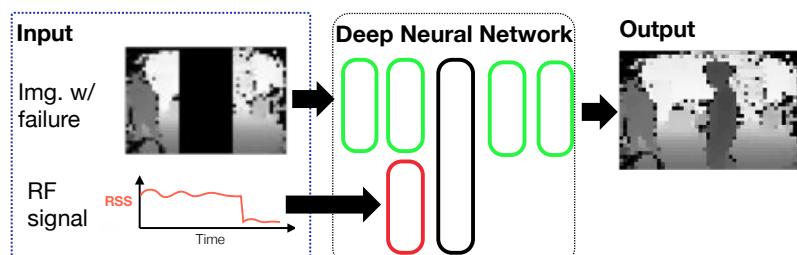
カメラ映像から、その空間での無線通信の品質の良し悪しを予測し、通信品質を改善するための制御を行う技術の研究です。電波伝搬は空間の状態、例えば、送受信局の位置関係、壁や天井、家具などの距離などに強く影響を受けます。特に第5世代移動通信システム(5G)やその次の Beyond 5G で活用が始まったミリ波通信では、ビルや街路樹、歩行者による遮蔽さえ、信号電力が大きく減衰します。

本研究では、空間情報がカメラ映像から把握できることに着目し、画像や点群などビジョンデータから数百ミリ秒～数秒先の無線通信品質を予測し通信制御により品質低下を回避する技術を実現し、高信頼な無線ネットワークを実現します。



3. 無線通信信号を用いた環境センシング

Wi-Fi やミリ波通信の信号から、部屋にいる人の人数や行動を推定したり、映像を復元したりする次世代のセンシング技術を研究します。コンピュータビジョン技術の発展により、カメラ映像から様々なことがセンシングできるようになりましたが、プライバシーの問題や、照明や障害物がある状況ではセンシングに失敗する場合があります。そこで、Wi-Fi やミリ波通信などの無線通信信号から環境の情報を抽出する試みがあります。2.で述べたように電波伝搬は空間の影響を受ける、すなわち、電波を解析することで空間に関する情報が得られる可能性があります。本研究では、**画像のような空間情報を無線通信信号から抽出する**新たなセンシング技術を実現します。



● 教員からのメッセージ

本研究室は 2020 年 10 月に発足したばかりで、一緒に研究室を立ち上げ、楽しく研究してくれる仲間を募集しています。最近は機械学習との融合領域に力をいれており、無線通信と機械学習に興味がある学生は是非気軽に話を聞きにきてください。

● 関連する業績、プロジェクトなど

1. T. Nishio, et al., "Proactive Received Power Prediction Using Machine Learning and Depth Images for mmWave Networks," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 37, no. 11, pp. 2413-2427, Nov. 2019.
2. T. Nishio and R. Yonetani, "Client Selection for Federated Learning with Heterogeneous Resources in Mobile Edge," Proc. IEEE ICC 2019.
3. T. Nishio, Y. Koda, J. Park, M. Bennis, and K. Doppler, "When Wireless Communications Meet Computer Vision in Beyond 5G," arXiv:2010.06188.



体験を作り出す技術とその応用

准教授 長谷川 晶一

研究分野：バーチャルリアリティ、シミュレーション、ヒューマンインタフェース

ホームページ: <http://haselab.net/>

● 研究内容・目的

バーチャルリアリティや拡張現実は、体験を作り出し、拡張します。体験は、一人称視点で本人だけが感じる主観的な直接的な経験であり、人の知識の基本です。文章、図画、映像等のメディアを通して得た知識や他者の体験の伝聞とは異なります。体験を作り出すためには、体験内容（＝バーチャル世界）と、体験のためのヒューマンインタフェースが必要です。応用としては、感覚や存在感の伝達、人間同士の対話に近い自然な情報伝達といったコミュニケーションと、愛着や情動をひきだすことや、ゲーム、スポーツ、音楽等の体験など、楽しみを作り出すことに注目しています。

● 研究テーマ

1. 基盤技術1：シミュレーションとモデリング

バーチャルリアリティ世界の中身のデータを用意するのがモデリング、データを時間とともに変化させるのがシミュレーションです。体験に必要な物体の属性を、シミュレーションや提示に都合よい形式でデータ化し、データを法則に従って変化させます。これにより体験者の行動が変化に反映され、体験者はバーチャル世界を自分の体験とすることができます。物理法則のように解明済みの法則だけでなく、バーチャル世界に登場する動物や人の運動や行動のように法則が解明されていない対象についても、法則を探りながらシミュレーション手法を研究します。

2. 基盤技術2：ヒューマンインタフェース

感覚提示と運動計測によりバーチャル世界を主観的に体験できるようにするのがヒューマンインターフェースです。体験に必要な情報の授受をいかに最小限の装置で賄うかが腕の見せどころになり、提示内容と感覚特性を注意深く考えた設計が求められます。作業ロボット等とは要求が異なるため、機構や回路にも独自に工夫できる点が多くあります。また、拡張現実では、生活の中で使用するため、邪魔にならず自然に利用できるかどうかも重要になります。



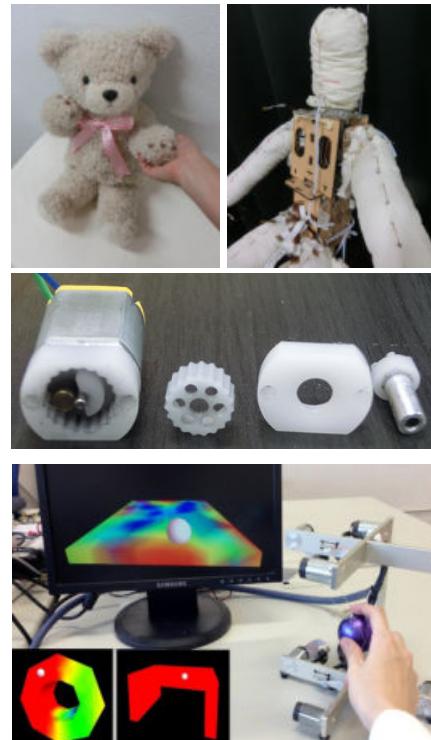
3. キャラクタモーション

従来のゲーム等のキャラクタの動きは、役者の演技やアニメーター作った動きの再生によるもので、状況に応じて多

様に動くことは困難でした。そこで、人の感覚運動系や行動をシミュレーションすることで、利用者の動きに応じた動作をその場で作り出すことを研究しています。視線や動作での自然な対話や発話のタイミングなど会話の非言語部分を作り出し、ゲームなどのエンタテインメントに加え、コミュニケーションのためのエージェントやロボットへの応用も目指しています。

4. ぬいぐるみロボット

柔らかい触り心地は、愛着や安心感を引き出します。そこで、人との触れ合いを含むコミュニケーションロボットの機構として、触感が良く多自由度の動きや力制御が可能なぬいぐるみロボットを研究しています。糸を通しモータで引くことで様々な動きが実現できています。今後は負荷による変形を考慮した制御や、悪印象を与えない静謐なアクチュエータのといった要素技術と、対話やテレプレゼンスへの応用を研究したいと考えています。



5. 力触覚インタラクション

バーチャル世界の物体操作は意外に難しいのですが、原因の一つは触感が手に加わらないことです。力触覚インターフェースは大型複雑化しやすく、力触覚の解明と提示計測の工夫の両面からの研究が必要です。力触覚が関わる体験は他にもあるので、体験を作り出す技術により感覚特性と体験での役割を研究し、新たな応用も探りたいと考えています。

●教員からのメッセージ

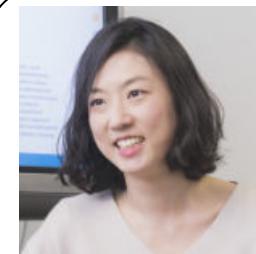
体験を作り出すバーチャルリアリティは、人の主観に直接働きかける面白い研究対象です。日々の生活を構成する体験について深く考え、体験を作る技術を研究したい方を歓迎します。

人間と実世界をコンピュータで扱うため、3次元世界と力学を扱う数学、リアルタイム性を持つ高度なプログラミングをはじめ、機構や回路の設計、心理学生理学等の人間についての知識、時には芸術文化社会についての知識が必要になることもあります。私を含め、最初から全てに通じた人はいませんので、研究を進めながら必要に応じて共に学びましょう。数学やプログラミング、機構や回路の設計などといったシステム作りの基本技術は習得に時間がかかるのでどれかに通じていることが望ましいです。

研究テーマは研究を進めながら考えていきます。テーマを持っている場合はぜひ話してください。最先端の研究状況や社会のニーズなども考えながらテーマを深めていきたいと思います。また、システム作りの体験として、IVRC(国際バーチャルリアリティコンテスト)への参加を推奨しています。

●関連する業績、プロジェクトなど

1. 物理エンジン Springhead, <http://springhead.info>
2. 多様な身体動作が可能な芯まで柔らかいぬいぐるみロボット, 日本VR学会論文誌
3. Haptic Rendering based on Finite Element Simulation of Vibration, Haptics Symposium



次世代 IoT 組込みシステム設計

准教授 原 祐子

研究分野 : IoT、組込みシステム、HW/SW 協調設計

ホームページ: <http://www.cad.ict.e.titech.ac.jp/>

● 研究内容・目的

- (1) IoT を加速するエッジコンピューティング向けアーキテクチャ
- (2) 次世代 IoT ニューラルネットワークアーキテクチャ
- (3) 新たなコンピューティングパラダイム：生物から学んだアルゴリズム

● 研究テーマ

1. IoT を加速するエッジコンピューティング向けアーキテクチャ

エッジデバイス（クラウドの外にあり、我々の生活により身近なデバイス）上でデータを効率良く管理・処理することで、モノのインターネット（Internet-of-Things; IoT）技術の高度化・普及を更に加速し、我々の生活をより安全・豊かにすることができます。これまでのコンピュータアーキテクチャは、多様化するアプリケーションを網羅できるように多機能化し、機能や複雑さ（製造コスト）が膨れあがってきています。本研究室では、新たな IoT 技術を牽引するエッジコンピューティング向けのアーキテクチャが持つべき機能を再考し複雑さを抑えられる設計手法に取り組み、超小型・省エネで画期的なアーキテクチャの研究・開発を行っています（図 1、図 2）。コンピュータアーキテクチャ（ハードウェア設計）と、そのメリットを最大化するソフトウェア開発の両面からアプローチしています（論文[2][3]等）。ヘルスケアや個人情報の暗号化などの応用を目指しています。

2. 次世代 IoT ニューラルネットワークアーキテクチャ

近年は、様々な方法でソフトウェア（アプリケーション）を処理する方法（アーキテクチャ）があり、それらを活用した多面的なアプローチで、ニューラルネットワーク向けアーキテクチャ・ソフトウェア開発に取り組んでいます。近年活発に研究・開発されている省エネメモリは、メモリでありながら行列の積和演算を効率的に処理できるという特徴を持っています。本研究室

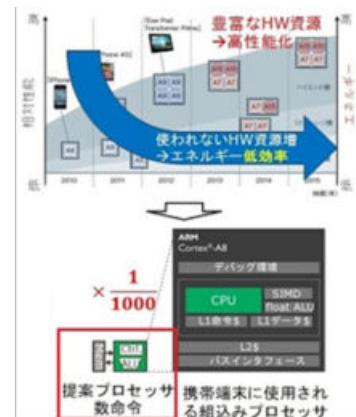


図1：近年の組込みプロセッサの傾向(上)と本研究室で開発している超小型プロセッサ(下)

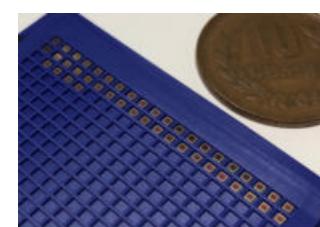


図2：65nm CMOS
プロセスの試作チップ

では、その特徴を応用し、超省エネメモリベースのニューラルネットワークアーキテクチャを開発しています（図3）。複数台の安価なマイコン（Arduino等）を用いた並列分散型ニューラルネットワーク

アーキテクチャを実現することで、製造コストを劇的に抑えられます。これにより、より多様なシステムを人工知能（AI）化し、様々な社会問題を解決することを目指しています（図4）。その他、FPGA（再構成可能デバイス）、ドローン、スマートフォン等も用い、ハードウェアだけでなく、ソフトウェア（アプリケーション）の研究・開発も行っています（論文[1]等）。

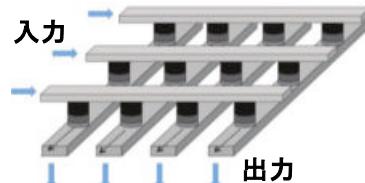


図3：クロスバー構造メモリを応用したニューラルネットワーク



図4：小型マイコンArduinoを用いた並列分散ニューラルネットワーク

3. 新たなコンピューティングパラダイム：生物から学んだアルゴリズム

IoTには、時々刻々と変わる状況の中で最適な解を得ようとする問題が多種存在します。例えば、5Gネットワークのパケットルーティング、オンラインショッピングの配達ルート探索等です。本研究室では、計算資源やメモリが限られるIoTエッジデバイス上でこれらの問題を効率的に解くために、単細胞生物アメーバの生存アルゴリズムを応用した充足可能性問題（SAT問題）のソルバをFPGAで実現し、IoTエッジ機器へ組み込む研究を行っています。これまでリアルタイムなロボット制御等を実現しており、さらにより多くのアプリケーションへの応用展開を目指した研究・開発を行っています（論文[4][5]等）。

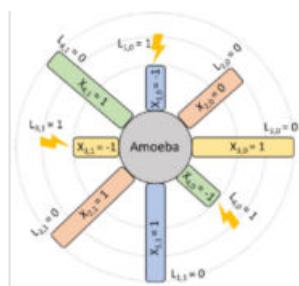


図5：最適化問題を解くSATモデル（4変数の場合）

●教員からのメッセージ

IoTの発展により、新たなアプリケーション（新たな問題）が日々創出されていますが、それらの多くは我々の身の回りに既にある解法を違った視点で応用することで、解決することができます。本研究室は、国内外の産学官研究機関との共同研究や意見交換を重視し、積極的に活動しています。柔軟な視点と斬新な発想で、一緒に新たな道を切り開いていきましょう。

●関連する業績、プロジェクトなど

- [1] P. Achararit et al., "APNAS: Accuracy-and-Performance-Aware Neural Architecture Search Considering Neural Hardware Accelerators," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 165319–165334, Sept. 2020.
- [2] M. Yang and Y. Hara-Azumi, "Implementation of Lightweight eHealth Applications on a Low-Power Embedded Processor," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 121724–121732, Jul. 2020.
- [3] K. Saso and Y. Hara-Azumi, "Revisiting Simple and Energy-Efficient Embedded Processor Designs Towards the Edge Computing," *IEEE Embedded Systems Letters*, vol. 12, Issue 2, pp. 45–49, Jun. 2020.
- [4] Y. Nakayama et al., "Real-Time Routing for Wireless Relay Fronthaul with Vehicle-Mounted Radio Units," *IEEE Vehicular Technology Conference Spring*, May 2020.
- [5] A. H. N. Nguyen, M. Aono, and Y. Hara-Azumi, "FPGA-based Hardware/Software Co-design of a Bio-inspired SAT Solver," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 49053–49065, Mar. 2020.

受賞： 情報処理学会山下記念研究賞（2011），情報処理学会優秀学生賞（2008, 2012, 2013）



高速・高信頼無線伝送技術の研究

教授 府川 和彦

研究分野：無線通信、ディジタル信号処理、適応フィルタ、無線ネットワーク

ホームページ: <http://www.radio.ce.titech.ac.jp>

● 研究内容・目的

図1に示す大容量・低遅延・多接続を可能とする次世代の自律分散・無線通信ネットワークを実現するため、以下の項目を主に研究している。

- (1) 無線通信用変復調技術：PSK, QAM, DS-CDMA, OFDMなどの変復調技術
- (2) 適応信号処理技術：統計的信号処理に基づく信号検出とチャネル推定
- (3) 適応干渉キャンセル技術：MIMO, 時空間処理による干渉キャンセル技術
- (4) 無線ネットワーク：機械学習に基づく無線ネットワーク技術
- (5) ソフトウェア無線信号処理：FPGAによる信号処理系の構築

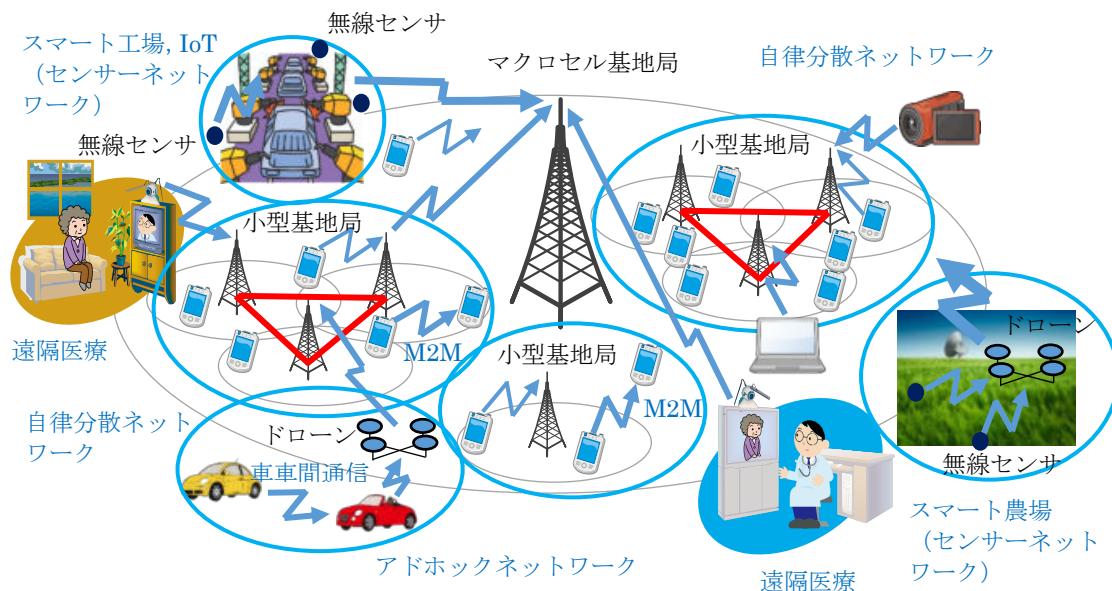


図1 大容量・低遅延・多接続の自律分散・無線通信ネットワーク

● 研究テーマ

1. 機械学習を用いた干渉制御技術

小型基地局(BS)の稠密な配置は、隣接するセルのカバーエリアが重なり合うため、セル間干渉を増大させシステム容量を低下させる。この干渉を抑圧するため、図2に示すようにBSの送信ビームの指向性と送信電力を制御する。システム容量を最大化するよう制御すると、膨大な演

算量が必要となるため、学習過程後の演算量削減効果を期待して機械学習による制御を検討している。なお、図3には用いたDeep Neural Networkの構成例を示す。

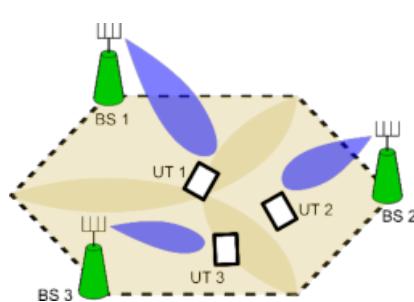


図2. BSにおける送信ビームと送信電力制御

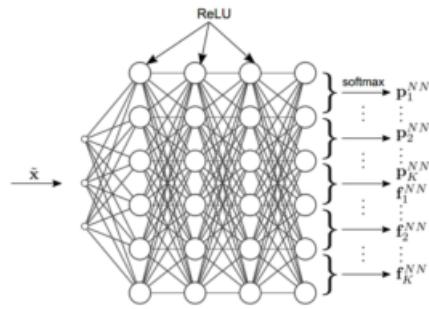


図3. Deep Neural Networkの構成例

2. 物理層における秘密無線通信

無線信号の盗聴を妨げるため、複数の送信信号の位相をランダムに設定し、正規受信者のみ正しく希望信号を受信できるように送信信号の振幅を制御する。この振幅は正規受信の拘束条件下で総送信電力が最小になるよう制御することにより、盗聴者にはランダムな信号しか受信できず、かつ従来技術よりも送信電力を低く抑えられる。

3. グリーンICTの検討

送信電力を抑えて無線通信の低消費電力化を図るため、OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) 方式の定振幅化技術を検討している。OFDMは広く無線通信に用いられているものの、振幅変動が大きく送信増幅器が膨大な電力を消費するという問題がある。この問題を解決するため、OFDMを二つの定振幅信号に分解し異なるタイミングで送信する方式を提案した。

● 教員からのメッセージ

当研究室ではこれから、積極的に機械学習の手法を取り入れ、高度な自律分散・無線ネットワークの実現へ向けて研究を進めていきます。研究分野は無線通信の物理層からネットワークまで幅広く、研究手法は理論解析、アルゴリズム検討、FPGA 実装など様々です。

● 関連する業績、プロジェクトなど

1. 論文 :

H. Ye and K. Fukawa, "Semi-blind interference cancellation with multiple receive antennas for MIMO heterogeneous networks," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E101-B, no. 5, pp. 1299-1310, May 2018.

A. I. Canbolat and K. Fukawa, "Joint interference suppression and multiuser detection schemes for multi-cell wireless relay communications: A three-cell case," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 66, no. 4, pp. 1399-1410, Apr. 2018.

M. A. Wijaya, K. FUKAWA, H. Suzuki, "Neural network based transmit power control and interference cancellation for MIMO small cell networks," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E99-B, No.5, pp.1157-1168, May 2016.

2. 受賞 : 電子情報通信学会論文賞 (1995, 2007, 2009, 2012), European Wireless Technology Conf. Best Paper Award (2009), 電子情報通信学会業績賞(2009)

3. 総務省プロジェクト : ミリ波関連(2007-2016), セルラー高速伝送関連(2009-2012)

企業との共同研究 : MIMO マルチユーザ検出に関するもの 6 件, その他 18 件

人のようにことばを使い、 人と協調できるシステムの研究

准教授 船越 孝太郎

研究分野：自然言語処理、対話システム、マン・マシン・インタラクション

ホームページ: <http://www lr.pi.titech.ac.jp/~funakoshi/>



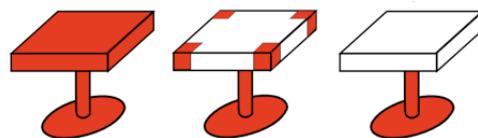
● 研究内容・目的

自然言語つまり「ことば」を使って人々の生活を助け、豊かにする技術・システムの開発を行いながら、人間そのものに関する科学的理験を深めることを目的とします。人が発したことばの意味内容だけでなく、個々のことばの使用を含めた人の振る舞いが持つ様々な意味を、非言語情報も含めて理解し、人と円滑にコミュニケーションできるロボットやコンピュータの実現を目指します。

● 研究テーマ

1. 自然言語処理：自然言語の処理・自然の言語処理

データとしての自然言語の機械による処理だけでなく、自然（つまり人）による言語処理の特性・メカニズムを解明し、機械が人と適切な言語コミュニケーションを行うためのモデル・手法を構築します。やや人工的な例ですが、人間が右の図を見せられて「角の赤い机」と言われれば、真ん中の机のことだと誰でもすぐにわかります。悩むことなどありません。

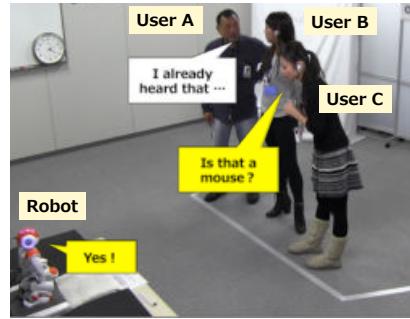


しかし、純粋に論理的に意味理解をするように作った機械に先程の表現を与えると、左端の机と真ん中の机のどちらを指しているのか分からぬと言わってしまいます。全体が赤い机は角だつて赤いですから、機械は間違っていません。しかしながら、そのような機械では、人と円滑にコミュニケーションできないことも明らかです。人の思考方法や言語使用の特性の理解にもとづく自然言語の理解・生成・獲得・使用的モデルを研究し、機械学習・統計処理技術と接続します。

2. マルチモーダル対話システム

自然言語処理の研究は新聞・書籍・ブログ・SNSなどに書かれた言語データを対象とする事が多いですが、人が最もことばを使う場面は、周囲の人との会話（対話）です。

そのようなことばは音声で伝えられることで音量や音質のような聴覚情報を伴うだけでなく、表情・身振りのような視覚情報、位置関係としての空間情報、間のとり方や話速といった時間情報など、多彩な情報を多様なメディア（モダリティ）を通じて伴い、コミュニケーションを複雑で豊かなものにしています。また、TCP/IP 通信のような1対1での順番通りのコミュニケーションではなく、複数人が同時並行で情報をやり取りし合います。このような多様な情報を統合的に理解し、駆使することのできる対話システムの実現に向けた技術を研究します。



3. ヒューマン・マシン・インターラクション

対話システムを含め、機械が人に使い易くあり、好まれる存在であるためには、情報処理技術の性能向上だけでなく、情報提示を中心とした機械の振る舞い・人とのインタラクションを適切にデザインし、質を高める必要があります。有効な情報提示・インタラクション技法を開発し、参加者実験による比較評価を行います。ここでも人間の認知特性を理解し、そのエッセンスを見極めることにより、人間そっくりの複雑なやり方でなくとも、機械実装に適したシンプルなアプローチで、協調的なシステムを実現できる方法を探ります。

● 教員からのメッセージ

(株) ホンダ・リサーチ・インスティチュート・ジャパン(HRI-JP)にて10年間企業研究者として勤めた後、HRI-JPと京都大学の共同研究講座での特定准教授の職を経て、2020年4月から未来産業技術研究所に着任しました。研究室は、奥村学教授と共同で運営しています。言語・対話を中心に、人間を理解するという認知科学的な視点と、人の役に立つ技術を作るという工学的な視点と、両方に興味のある方を歓迎します。

● 関連する業績、プロジェクトなど

1. Kotaro Funakoshi, Mikio Nakano, Takenobu Tokunaga, Ryu Iida. “A Unified Probabilistic Approach to Referring Expressions”, Proc. the SIGDIAL 2012 Conference, 2012.
2. Takaaki Sugiyama, Kotaro Funakoshi, Mikio Nakano, Kazunori Komatani. “Estimating Response Obligation in Multi-Party Human-Robot Dialogues”, Proc. 15th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, 2015
3. 船越孝太郎・島崎秀昭・熊田孝恒・辻野広司. “協調的知能研究のためのパーソナルパートナーエージェントの検討”, FIT2018 第17回情報科学技術フォーラム論文集, vol. 2, 2018
4. 中野幹夫・駒谷和範・船越孝太郎・中野有紀子. “対話システム”, コロナ社, 2015.



Data Science

Specially Appointed Associate Professor Berrar Daniel
Research: Data science, machine learning, bioinformatics
Homepage: <http://www.berrar.com>

● Research Purpose and Content

Data science is a relatively young discipline that focuses on intelligent data analysis and knowledge extraction from data. Data science is inherently interdisciplinary, drawing on theories and methods from statistics, mathematics, and computer science, particularly machine learning, artificial intelligence, data warehousing, and high performance computing. The scope of data science is similar to that of the closely related fields of data mining and knowledge discovery from databases. Data science is concerned with the analysis of extremely complex, noisy, and heterogeneous data, particularly big data, which cannot be readily analyzed with standard desktop computers anymore. Indeed, data science as an independent discipline is closely linked to the emergence of big data. My research focuses on the development, evaluation, and application of machine learning and statistical methods for the analysis of such data, specifically in the context of the life sciences.

● Research Themes

1. Bioinformatics

Modern biotechnologies are becoming more and more sophisticated. At the same time, the costs of generating life science data are plummeting, so that even relatively small laboratories can now generate data at a massive scale. Today, the challenge is no longer the generation of such data, but their processing, integration, and intelligent analysis. A key problem is the fact that life science data are often extremely noisy and incomplete. Machine learning and statistical techniques play a pivotal role for the intelligent data analysis in the life sciences [5]. In an ongoing research project with the Parasitology and Epidemiology Group, Aberystwyth University, UK, we are using RNA sequencing and methylated DNA immunoprecipitation to investigate the pathogenic blood fluke *Schistosoma mansoni*. This parasite causes schistosomiasis, a neglected tropical affecting millions of people worldwide. Our research will give new systems-level insights into the complex interplay of the gene regulatory networks and methylation machinery of this parasite and might ultimately lead to the discovery of novel drug targets.

2. Knowledge extraction from life science data

Knowledge extraction refers to the creation of knowledge from structured data (e.g., data organized in databases), unstructured data (e.g., natural language text), and semi-structured data (e.g., unstructured data annotated with meta-data). Knowledge extraction presents considerable challenges in terms of data management, as it is necessary to organize and store data from diverse sources, including pre-processed data and meta-data. In a joint research project with the Children's Memorial Research Center, USA, we used text mining and statistical techniques for knowledge extraction from full-text scientific articles [4]. We were interested in the invasiveness of glioblastoma, which is a type of aggressive brain cancer. To elucidate the effect of sphingosine-1-phosphate (S1P, a signaling sphingolipid) on the malignancy of glioblastoma, we used DNA microarrays to investigate gene expression as a response to S1P administration *in vitro*. We identified a set of candidate genes that were significantly differently expressed as a unique response to S1P. To elucidate the interplay between these

genes, we then used text mining and extracted gene-gene interaction patterns from approximately 120,000 full-text scientific articles on cancer research. We developed a data warehouse to integrate the wet lab experimental data with the text mining results. Then, we devised a new algorithm to construct gene-gene interaction networks from the extracted interaction patterns and the gene expression data. Thereby, we could identify a novel pathway linking S1P to the invasive phenotype of glioblastoma.

3. Machine learning for sports data analysis

Soccer is a fast-growing multibillion dollar industry that nowadays employs methods from data science to improve the performance of players, equipment, marketing, scouting, etc. In a joint research project with the Sport and Exercise Science Department, University of Evry-Val d'Essonne, France, we created a database of over 200,000 international soccer matches and are currently investigating to which extent the outcome of future soccer matches can be predicted. This project involves data integration and fusion, feature engineering, and predictive modeling.

4. Performance evaluation of machine learning algorithms

Evaluating the performance and robustness of predictive models is a crucial element of machine learning. A major focus of my research is the analysis and development of performance metrics and performance visualization tools, specifically for the statistical comparison of classifiers [1,2].

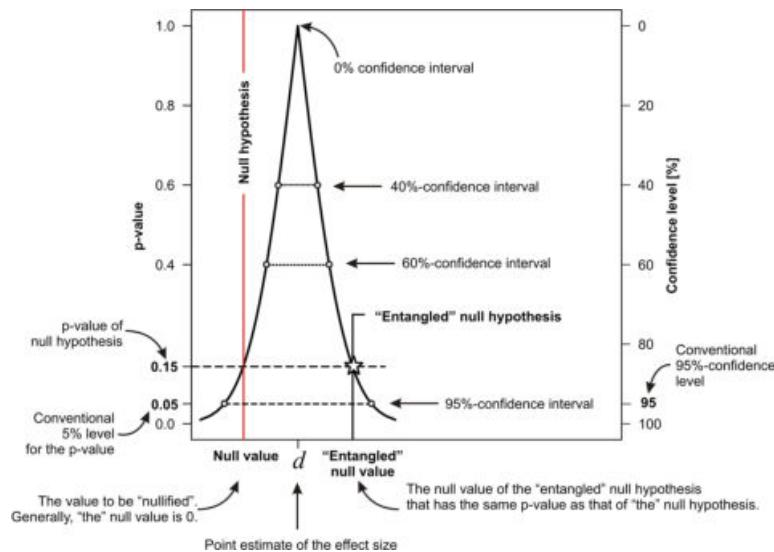


Figure 3: Confidence curve [1].

● Message to students

My laboratory is actively collaborating with overseas research institutes. All students with a keen interest in data science (and some programming skills) are welcome to join.

● Selected publications

- [1] Berrar D. (2016) Confidence curves: an alternative to null hypothesis significance testing for the comparison of classifiers. *Machine Learning* doi:10.1007/s10994-016-5612-6.
- [2] Oentaryo R., Lim E.P., Finegold M., Lo D., Zhu F., Phua C., Cheu E.Y., Yap G.E., Sim K., Nguyen M.N., Perera K., Neupane B., Faisal M., Aung Z., Woon W.L., Chen W., Patel D., and Berrar D. (2014) Detecting click fraud in online advertising: a data mining approach. *Journal of Machine Learning Research* 15:99–140.
- [3] Berrar D. and Flach P. (2012) Caveats and pitfalls of ROC analysis in clinical microarray research (and how to avoid them). *Briefings in Bioinformatics* 13(1):83–97.
- [4] Natarajan J., Berrar D., Dubitzky W., Hack K., Zhang Y., Van Brocklyn J.R., and Bremer E. (2006) Text mining of full-text journal articles combined with gene expression analysis reveals a relationship between sphingosine-1-phosphate and invasiveness of a glioblastoma cell line. *BMC Bioinformatics* 7:373.
- [5] Berrar D., Dubitzky W., Granzow M. (eds.) A Practical Approach to Microarray Data Analysis, Springer, Dordrecht/Heidelberg/London, 384 pages, 2002.

Network science



Specially Appointed Professor Petter Holme

Research: Network science, computational social science, digital epidemiology

Homepage: <http://petterhol.me>

● Research Purpose and Content

To understand how a large, complex system works as a whole, you need to zoom out and look from a distance. The society itself is just such a complex system built by people and organizations with different abilities, interests and objectives. Our bodies are another example. Genes code proteins, proteins build cells, cells build tissues, tissues build organs—that seems fairly simple and hierarchical—if it wasn’t that the proteins interact with each other, so do cells, etc. and to understand such lateral connections, we need to find the right level of modeling (or the right distance to look at the elephant). The bigger datasets we can gather, the more important it will be to simplify the right amount. Representing a system as a network is one way of consistently discarding some details, to simplify and zoom out, while still being able to see how the whole system hangs together. Network science can be theoretical—to develop methods for the data analysis outlined above or simulating such networked systems. It can also be applied, using existing network methods to answer domain specific questions.

● Research Themes

1. Network epidemiology

I am interested in how infectious diseases spread in populations. These processes are all affected by the structure of the underlying contact patterns. As a simple example, any types of networks between people have heavy-tailed distributions of the number of neighbors of people (the degree). This is known to speed up disease spreading, but it also makes it easier to stop an epidemic outbreak (provided one identify the high-degree people and vaccinate them, or otherwise lower their ability to spread the disease). Structures both in the wiring of the networks and the time of contacts affects spreading phenomena. This project thus overlaps with the previous in some ways, but it is more about adding knowledge to a rich existing theory than creating a new. In summary, my research is about relating the contact structure and spreading dynamics, and how to exploit these insights to mitigate or facilitate spreading.

2. Interaction between diseases and behavior

Infectious diseases are a constant threat to public health. Globally they cause around 20% of deaths, while developed countries like Japan are susceptible to outbreaks of new pathogens (like recently SARS or MERS in neighboring countries). To understand infectious disease dynamics with the ultimate goal to create effective interventions for mitigating infectious outbreaks is thus extremely valuable for

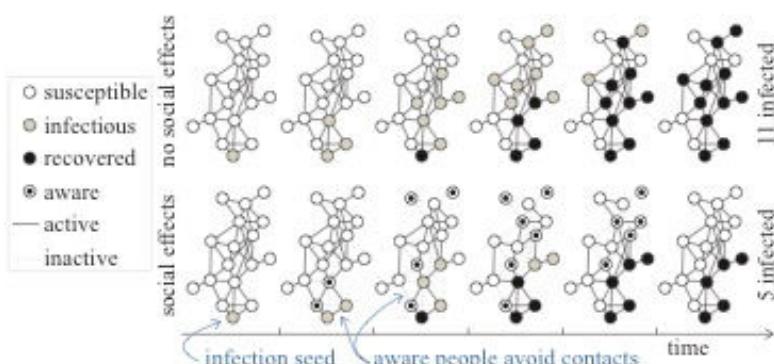


Figure 1. How social effects can change predictions in epidemic modeling.

the society. This is also a question where theoretical science is making continuous contributions to medical science—several concepts, and policies public health practitioners use, come from the type of research we propose.

There is an increasing amount of evidence that social influence impacts people's health decisions, such as vaccination or condom use. Such peer influence thus spreads behavior as a social contagion similar to the infectious contagion. This forms a feedback loop between epidemic and behavioral spreading (Fig. 1). In response to perceived risks and social influence, people may take preventative measures such getting vaccinated. These behavioral responses will, in turn, modify the infection spreading and cannot be ignored in a comprehensive theory of epidemic spreading. Our key question is thus: How does social spreading of behavior influence epidemic spreading?

3. Urban science

The study of the structure of cities and the movement of people within them is another research topic combining modern data-science approaches and theory. My current research has focused on how traveling patterns are influenced by the spatial structure of the city: how they can be predicted and used to understand the functional organization of a city. For the future, I am interested in temporal patterns of activity in cities, basically to understand how the shape of cities affect the timing of peoples' movements. A first step would be to make a time-resolved version of our "inness" metric, proposed in Ref. [1] (that captures the propensity of moving towards the center and then outwards when travelling between peripheral locations in a city).

4. Group dynamics in crime

Crime is a universal social phenomenon. In almost every modern nation and many old civilizations, there has been a legal system and a notion of crime. It is also a very well documented social phenomenon. Indeed, almost all countries have a police authority whose purpose is not only to find and apprehend criminals but also to document crimes in many aspects—the time, location, type and data about the suspects age, gender and identity are almost universally recorded. This information is usually reported as averages or trends, and occasionally regression analysis, but still rarely analyzed with the modern tools of computational social science. Our project will use new tools and new data to advance the understanding of why, when and where crime is committed.

As a starting point, this work uses a large dataset—unique for academic research—from the Swedish police. It covers all crimes committed in Sweden over 20 years, involving 1.2 million suspects, recording anonymized id-numbers of the suspects, time, location and type of the crimes. We will focus on questions about criminal careers and collaborations:

- Can we see knowledge transfer between criminals who committed crimes together (co-offenders)?
- When a group of co-offenders before do it again, how and why do they recruit new members?
- Are there any statistical laws in the data?
- Can we predict and categorize criminal careers?

● Message to students

My laboratory is actively collaborating with overseas research institutes. All students with a keen interest in network science (and some programming skills) are welcome to contact me.

● Selected publications

- [1] M Lee, H Barbosa, H Youn, P Holme, G Ghoshal, Morphology of travel routes and the organization of cities, *Nature Communications* 8, 2229 (2017).
- [2] P Holme, Three faces of node importance in network epidemiology, *Phys. Rev. E* 96, 062305 (2017).
- [3] LEC Rocha, N Masuda, P Holme, Sampling of temporal networks: Methods and biases, *Phys. Rev. E* 96, 052302 (2017).
- [4] P Holme, N Litvak, Cost-efficient vaccination protocols for network epidemiology, *PLOS Comp. Biol.* 13, e1005696 (2017).



情報通信の基礎研究

准教授 松本 隆太郎

研究分野：量子情報理論、ネットワーク符号化、情報理論的セキュリティ

ホームページ: <http://www.rmatsumoto.org/research.html>

● 研究内容・目的

より高い効率を有する量子暗号プロトコルの構成

- (1) ネットワーク符号化によるコンピュータネットワークの高速化
- (2) ネットワーク符号化による通信デバイスの省電力化

● 研究テーマ

1. 暗号の情報理論的な安全性

インターネットなどで現在よく使われている RSAなどの暗号方式は、大きな整数の素因数分解などのいくつかの計算問題を短い時間で解く方法が知られていないことに安全性の根拠を置いている。このような安全性を計算量的安全性と呼ぶが、もし素因数分解などを高速に解く方法が発見されれば計算量的安全性にもとづく暗号方式は使用できなくなってしまう。一方、秘密にしたい情報と悪意を持つ第三者が持つ情報が統計的に独立であれば、悪意を持つ第三者がいかに強力な計算機を持っているとしても秘密にしたい情報を当てずっぽうに推測するよりも正確に知ることはできない。秘密にしたい情報の統計的独立性を保証することによって得られる安全性を情報理論的安全性と呼び、本研究室では情報理論的安全性を保証できる以下のような暗号方式の研究を行っている。

1-1. 量子暗号（量子鍵配達（QKD）プロトコル）

量子暗号の中の代表的な方式である量子鍵配達（QKD）プロトコルは、情報理論的に安全な暗号方式でもある。QKDプロトコルの目的は Alice と Bob と呼ばれる正規ユーザーの間で Eve と呼ばれる盗聴者に知られないように乱数列を共有することである。共有乱数列は Alice から Bob に秘密裏に情報を伝えるために用いることができる。乱数列を共有するために、Alice は Bob に单一光子の偏光などの量子力学の性質が強く現れる物理媒体を送る。もし Eve がこの物理媒体を測定すると、量子力学の原理により測定された物理媒体の状態が変化してしまう。Alice と Bob は送受信状態の変化から Eve が得た情報量を推定し、送受信情報を適切に短くすることによって Eve が得た情報と統計的に独立な乱数列を生成する。送受信状態の変化の仕方を推定することを通信路推定と呼ぶ。本研究室では、通信路推定に従来は捨てられていたデータを用いるとより正確に通信路推定が可能になるため共有できる乱数の量が増加することを明らかにし（文献[1]）、提案した通信路推定法に合わせて物理媒体の送信方法を変えるとさらに共有できる乱数が増加する

ことを示した（文献[2]）。

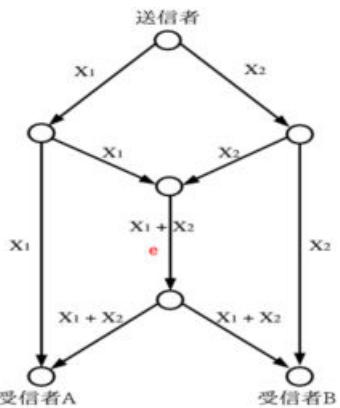
1-2. 雜音を用いた乱数の共有

前述の量子鍵配達プロトコルの実現には今のところ高価なデバイスを用意する必要がある。情報理論的に安全な鍵共有を比較的安価に実現するために自然界に存在する雑音を利用した鍵共有法が Maurer によって提案されている。Maurer の方法では前述の Alice, Bob, Eve が共通の雑音源（天体や無線 LAN などなんでもよい）から信号を受信しているときに、Eve が盗聴することができる公開通信路を用いて Alice と Bob が対話をすることによって Eve に知られていない乱数を共有する。実際に受信する雑音は電波などの連続量であるが、Maurer の方法は雑音が離散的なデジタル情報である場合に対してしか検討が行われていなかった。そこで本研究室では文献[3]において雑音源が連続量であるときに Eve に知られずに共有できる乱数の量を評価し、また連続的な雑音源を量子化したのちに従来の Maurer の方法を用いる場合にくらべて、より多くの乱数を共有できる方式を開発した。

2. ネットワーク符号化

従来のコンピュータネットワークでは情報の中継ノードでは、隣接したノードから受け取る情報を別のノードにそのまま転送することしか許されていなかった。しかし、中継ノードにおいて複数の隣接ノードから受け取った情報を加工してから転送することを許すと、通信速度や消費電力が向上することが近年明らかにされた。

例えば、右図のように、送信者が受信者 A と受信者 B に同一のデータを送信したいとする。中継ノードが受信情報をそのまま転送しなければいけない場合は、情報 X_1 と X_2 の両方を受信者 A と B に届けることはできない。しかしながら、リンク e に送出する情報を X_1 と X_2 の和（正確には排他的論理和）とすることにより、送信者 A は X_1 と $X_1 + X_2$ を受け取り、それから送信情報である X_1 と X_2 を復元することができる。このように中継ノードに複数の隣接ノードからの情報を加工して転送することを許す方式をネットワーク符号化と呼ぶ。



● 教員からのメッセージ

粘り強く取り組める論理的思考が好きな学生をお待ちしています。

● 関連する業績、プロジェクトなど

論文：

- [1] S. Watanabe, R. Matsumoto, and T. Uyematsu, "Tomography increases key rates of quantum-key-distribution protocols," *Physical Review A*, vol. 78, no. 4, p. 042316, October 2008.
- [2] R. Matsumoto and S. Watanabe, "Narrow basis angle doubles secret key in the BB84 protocol," *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*, to be published, April 2010.
- [3] M. Naito, S. Watanabe, R. Matsumoto, T. Uyematsu, "Secret key agreement by soft-decision of signals in Gaussian Maurer's model," *IEICE Transactions on Fundamentals*, vol.E92-A, no.2, pp.525-534, February 2009.

受賞：電子情報通信学会論文賞（2001, 2008, 2011, 2014）、電子情報通信学会喜安善市賞（2008, 2014）、丹羽保次郎記念論文賞（2003）

AI コンピューティング アーキテクチャの研究

教授 本村 真人

研究分野：ディープラーニング/アニーリング等のプロセッサ

ホームページ: <http://www.artic.iir.titech.ac.jp>



● 研究目的・内容

深層ニューラルネット(DNN)技術の勃興とともに、人工知能(AI)コンピューティングの分野が大きく進展しています。従来型のコンピューティングが「手続き型」であるのに対し、AI コンピューティングの分野は「構造型」であることを大きな特徴としています。その違いをアーキテクチャ(=処理方式)の革新に活かすことで、これまでよりも大幅にエネルギー効率や処理速度が高いコンピューティングシステムの実現が可能となります(図 1)。このような観点から世界中でアーキテクチャ変革の大規模競争が始まっています。我々はその中で独創的なアイデアで革新的なアーキテクチャを産み出す研究を続けています。

この領域の研究にはソフトウェアとハードウェアの間の接点を最適化する発想が重要です。この観点から、我々は「システムアウェアなハードウェア」というキーワードを標榜し、AI コンピューティング分野を広くカバーする共通アーキテクチャプラットフォームの確立を目指して研究しています(図 2)。

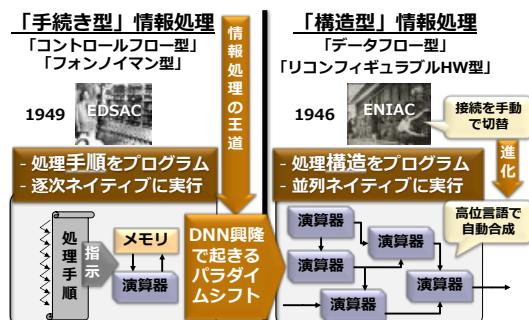


図 1. AI コンピューティング時代の
情報処理パラダイムの変革

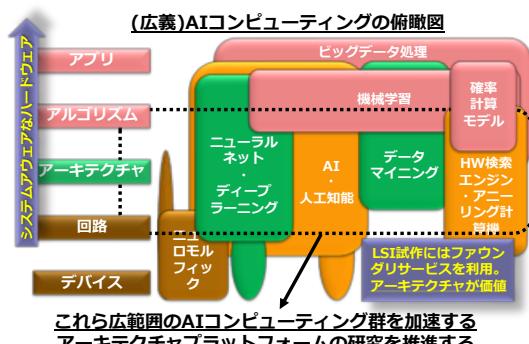


図 2. 研究コンセプト

● 研究テーマ

1. DNN アクセラレータの研究

DNN を支える深層学習(ディープラーニング)の世界では、量子化、枝刈、強化学習、転移学習、人間の脳に学んだ新しい学習手法など、日進月歩でアルゴリズムの進化が続いている。その応用範囲も、データセンター内のビッグデータ処理だけには留まらず、車やスマートフォンなどの身の回りのリアルな機器のスマート化へと急速に広がりを見せており、DNN 処理の低電力化・高速化するアクセラレータの研究が求められています。

我々は、バイナリ DNN アルゴリズム(DNN の重み係数や活性化値を 2 値で表現)に一早く注目して LSI アーキテクチャの研究を進め、2017 年に世界初のバイナリ DNN 推論エンジン LSI を発表し、大きな注目を集めました(図 3)。またバイナリから対数量子化(2 のべき乗表現の重み係数/ニューロン値の指数を量子化)までカバーする 3 次元積層リコンフィギュラブル型 DNN 処理エンジンを 2018 年に世

界で初めて発表し、いくつもの賞を受賞しました(図 4)。現在は、これらの成果をベースにして更に学習アルゴリズムとアーキテクチャの協創に踏み込んだ DNN アクセラレータの研究を続けています。

2. アニーリングマシンの研究

スマート化が進む社会においては、様々な制約が存在する中で、溢れ出るデータを活かして常に最適な判断や制御を続けていくことが求められます(交通、社会インフラ、農業、等)。このような問題は、数学的な枠組みとしては「組合せ最適化問題」として知られており、物理的な「エネルギー最小化原理」を活かしたアニーリング処理の考え方で解くことができる事が知られています。いわゆる量子アニーリングマシンもその一つのアプローチですが、我々は DNN の学習プロセスとアニーリングによる求解プロセスの類似性に着目し、両者に共通に適用できる構造型のアーキテクチャプラットフォームとその LSI 実証の研究を進めています。

3. 動的再構成ハードウェア技術の研究

構造型の情報処理を支える基本技術が、「柔らかいハードウェア」を実現するための動的再構成技術です。この技術のパイオニアとして AI コンピューティング分野への応用展開と技術革新を進めています。

● 教員からのメッセージ

2018 年度まで北海道大学 大学院情報科学研究科でこの分野の活動を続けてきました。2019 年度からは科学技術創成研究院(すずかけ台)に「AI コンピューティング」研究ユニット(ArtIC)を新設し、同研究ユニットを共同運営する劉載勲准教授とともに、日本の中核研究拠点となることを目指して活動を広げています。新しい「構造」を考えることが好きな人、「設計」が好きな人、ソフトとハードの両方をわかりたい人、情報処理の変革に自ら携わりたい人など、何かを創り出すことへの情熱を持った学生の皆さんを歓迎します。国家プロジェクトへの参画、企業共同研究、海外研究機関との協力等も積極的に行っており、一線級の国際会議で研究成果を発表する機会を提供できます。

● 関連する業績、プロジェクトなど

1. 研究活動全般の紹介(ArtIC ホームページ/研究活動)

<http://www.artic.iir.titech.ac.jp/wp/research/>

2. 東工大ニュース: 組合せ最適化問題を高速に解く新しいアニーリングマシンを開発 (2020/02/18)
<https://www.titech.ac.jp/news/2020/046309.html>

3. NEDO セミナー講演: 「AI コンピューティングがアーキテクチャにもたらすもの」 (2018/10/31)
<https://www.nedo.go.jp/content/100885737.pdf>

受賞 92 年 IEEE JSSC Best Paper Award、99 年 IPSJ 年間最優秀論文、11 年 IEICE 業績賞、18 年 ISSCC Silkroad Award(指導学生)、19 年 JSPS 育志賞(指導学生)、等

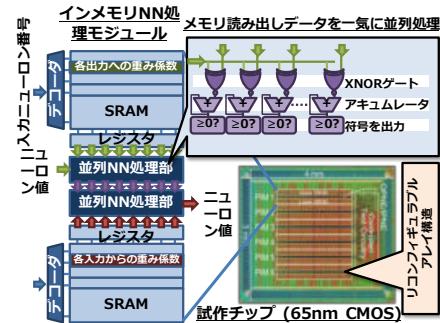


図 3. バイナリ DNN 推論チップ
(2017 年)

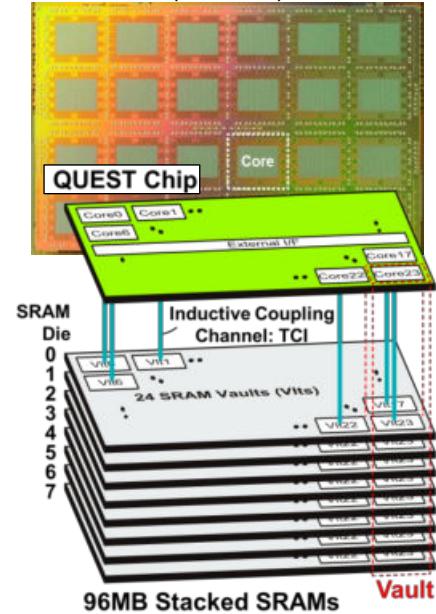


図 4.3 次元積層・対数量子化
DNN チップ(2018 年)



情報通信ネットワークの制御技術

教授 山岡 克式 (やまおか かつのり)

研究分野：情報通信ネットワーク

(インターネット、電話網、新世代ネットワーク)

ホームページ: <http://www.net.ict.e.titech.ac.jp>

● 研究内容・目的

- 様々な通信の混在する環境で通信品質を維持向上させる網制御方式に関する研究
 - コンテンツの効率的なユーザへの配送を実現する制御アルゴリズムに関する研究
 - リアルタイムストリームの通信品質向上を目的としたプロトコル中継処理に関する研究
- など、電話網やインターネット、次世代新世代ネットワークなど情報通信ネットワーク一般を対象として、ネットワーク制御技術、および通信用マルチメディア処理技術を、理論と実装の両面から研究しています。

現在から近未来にわたる様々な段階で通信網に生じるであろう問題の解決を目指して研究を行うとともに、それを通じて、社会で活躍していくうえで必要な様々な能力を学生に身につけさせるのが、山岡研究室の目的です。

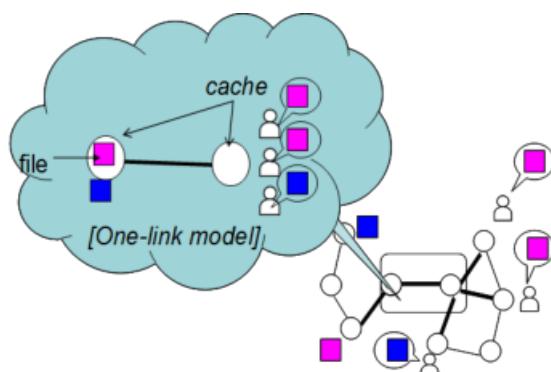
● 研究テーマ

1. ホップ・バイ・ホップファイル配送システムにおける効率的なコンテンツ配送アルゴリズムの研究

キャッシュ技術を用いて負荷分散を行う方式として、ユーザ要求によりファイルをユーザに配送する際に、その配送経路上のノードのキャッシュにファイルの複製を保存する方式が。P2P では Freenet や Winny 等、また、Web サーバプロキシシステムや CDN では、トランスペアレントプロキシシステム、昨今では CCN など、多く実装、研究されている。この方式を用いたファイル配送システムを、本研究ではホップ・バイ・ホップファイル配送システムと定義する。

このシステムにおいて、ユーザの満足度を向上するためには、ファイル型のコンテンツは全データの取得が完了して初めて実行処理が可能なため、ユーザがリクエストを送信してから、全データを受信するまでの時間であるサービス時間の平均値を小さくする必要がある。また、リクエストが到達するノードの上りリンクはボトルネックリンクとなる。本研究では、ボトルネックとなる One-link に着目し、サービス時間の平均値を低減することを目的とする。

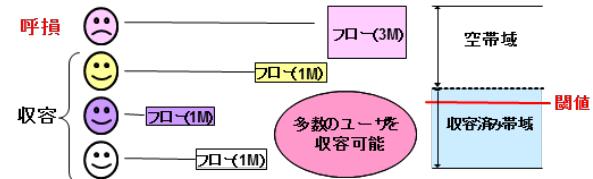
本研究では、リクエスト数／ファイル長が降順にファイルを送信した場合に、次のリクエスト



到着までの間の局所最適解を得るという定理を発見し、正しいことを証明し、これをもとに、ホップ・バイ・ホップファイル配達システム特有の性質を考慮したスケジューリング方式を提案し、最適解に極めて近い性能を出すことに成功した。

2. ユーザ間対等に基づく全ユーザ満足度向上を目標とした多元トラヒック受付制御方式に関する研究

受付制御方式は、従来、資源の帯域利用



効率向上が主目的となっていたが、帯域が通信の価値をそのまま表すとは限らない。昨今では、従来方式を用いると、個々のユーザに対して大きな不満を生じさせる問題が生じる。本研究では、このユーザ満足度に着目し、網が現在おかれている状況を考慮しながら、全ユーザ満足度の向上を目的とした新しい受付制御方式を提案する。

本研究では基礎検討として、異なる要求帯域（広帯域フローと狭帯域フロー二種類に限定）に対し、収容時に同じ満足度を得る（対等）と仮定し、この考え方の基、全ユーザ満足度を向上させるために、網内へのトータルで呼損となる確率（トータル呼損率）を最小にする新しい受付制御方式を提案した。この受付制御方式では、新規フロー到着時に、その時点での収容済み帯域が、制御パラメータである閾値より大きい場合、到着フローが広帯域フローの場合に呼損として取り扱うことで、トータル呼損を低減するため、適切な閾値設定が必要となる。

そこで、待ち行列理論 M1M2/M1M2/S/S 即時システムによるモデル化から理論式を立式し、数値計算により最適な閾値を導出し、その最適閾値を利用することにより、提案手法を用いない場合のトータル呼損率 (r_{non}) より大幅な減少、かつトータル呼損の最小化を実現した。

● 教員からのメッセージ

学生の自主性を重んじる指導方針で、研究活動を通じて、物事の本質を見抜く洞察力と論理的思考力、計画性、コミュニケーション能力、さらにはマネジメント能力を、学生に身につけさせます。決して楽な研究室ではないと思いますが、力を付けたい学生さんをお待ちしています。

当研究室を志望する学生は、必ず事前に研究室見学に来ることを、強くお勧めします。

● 関連する業績、プロジェクトなど

論文：“Local Optimal File Delivery Scheduling in a Hop by Hop File Delivery System on a One Link Model”，Hiromi Tsurumi, Takamichi Miyata, Katsunori Yamaoka, Yoshinori Sakai, IEICE Transactions on Communications, Vol.E92-B, No.1, pp.34-45 (2009)

“Single-Fiber Access/Metro WDM Ring Architecture for Asymmetric Traffic Applications in Next Generation Networks”，Mitsumasa Okada, Katsunori Yamaoka, Yoshinori Sakai, IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology, Vol. 27. No.9. pp. 1181-1196 (2009)

“Optimal Threshold Configuration Methods for Flow Admission Control with Cooperative Users”，Sumiko Miyata, Katsunori Yamaoka, Hirotugu Kinoshita, IEICE Transactions on Communications, Vol. E97-B, No. 12, pp. 2706-2719 (2014) など査読付き論文約 50 件

著書：デジタル情報流通システム，東京電機大学出版会（2005）

受賞：情報ネットワーク研究賞(2020), 情報ネットワーク研究賞(2016), 電子情報通信学会論文賞(2014), 情報ネットワーク研究賞(2011), IEEE CQR2009 Best Paper Award(2009), 国際コミュニケーション基金優秀研究賞(2007), 東工大挑戦的研究賞(2006), など



光技術と画像処理の融合

Optical Imaging & Display Group

教授 山口 雅浩

研究分野：光工学、画像工学、ホログラフィー、分光画像

ホームページ: <http://www-oid.ip.titech.ac.jp>



● 研究内容・目的

光と画像処理技術を融合した新しい情報システムの実現を目指して、マルチスペクトルイメージング、色再現、多原色ディスプレイ、医用画像、3次元画像、ホログラフィーなどの研究を行っています。また、医療など世の中に貢献する応用技術の研究も積極的に行ってています。

「ライフエンジニアリングコース」と「情報通信コース」を担当しています。

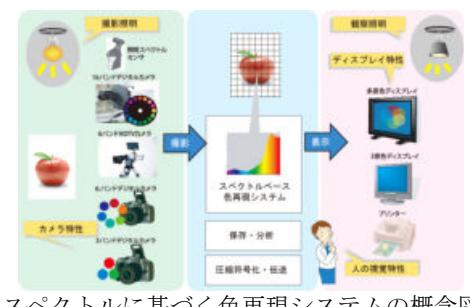
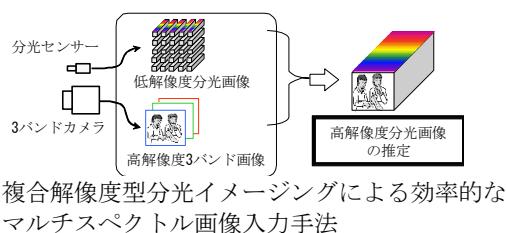
● 研究テーマ

1. 実物の色や質感をアリティ一高く再現する： 分光イメージングとディスプレイ

従来の映像システムでは、ディスプレイ上に表示される映像は、実物とは異なる色になってしまいます。本研究では、実物の色や質感を忠実に、アリティ一高く再現する映像システムを実現することを目的として、RGB 3原色だけではなく、「マルチスペクトル」「多原色」に基づく映像技術の開発を行っています。

【研究テーマの例】

- ◆ 効率的なマルチスペクトル画像（分光画像）入力技術の開発
- ◆ 高質感映像ディスプレイの視覚的評価
- ◆ 分光画像解析の応用技術

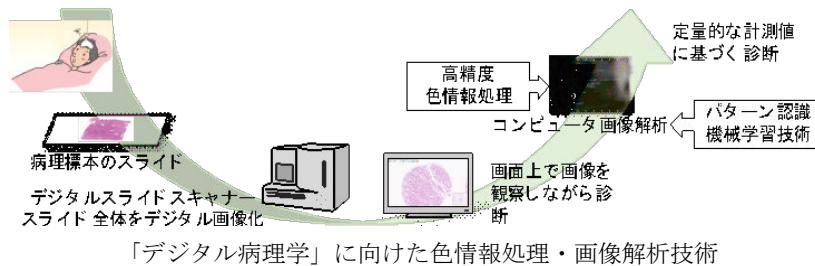


2. 「定量的病理診断」のための画像解析技術

病理診断は、病変部の組織を顕微鏡で観察して良性／悪性の判定や悪性度等を判定するもので、がん等の治療方針を決めるにあたって重要な役割を果たします。本研究では、「デジタルスライド」技術に基づいて得られるデジタル病理画像に対してパターン解析・画像認識技術を適用し、「定量的」「高精度」な病理診断の実現を目指しています。

【研究テーマの例】

- ◆ 細胞や組織構造などの画像パターン認識技術
- ◆ 画像解析による診断に有用な指標の算出
- ◆ 画像解析・認識における色や画質のばらつきの補正



3. ホログラフィーによる立体像表示技術

ホログラフィーは、光の干渉と回折の現象を利用して光を波動として記録・再生する技術で、高精度な計測や光学デバイス、セキュリティ印刷、ホログラム光学素子などに利用されています。波動として光を再現することで、あたかもそこに実物体があるかのように立体像を表示することができます。本研究室では、デジタルの三次元画像データからリアルタイムの高い立体像のディスプレイを行う技術の研究を行っています。またホログラム光学素子をヒューマンインターフェースの高度化に応用する試みも進めています。

【研究テーマの例】

- ◆ 光線と波面の相互変換に基づく高品質ホログラム計算技術
- ◆ 超高密度ライトフィールド入力・処理・表示技術
- ◆ 「立体像に触る」ユーザインタフェース
- ◆ ホログラム光学素子を用いた「透明カメラ」



計算機合成ホログラム



「立体像に触る」ユーザインタフェース



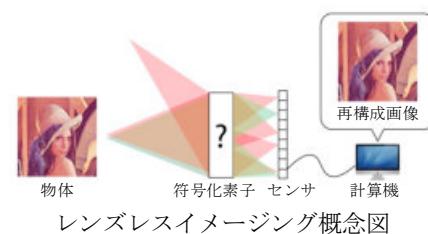
多視点画像入力システム

4. コンピュテーショナルイメージングによるレンズレスカメラ・プロジェクター技術

コンピュテーショナルイメージングはレンズの結像作用を計算に置き換えるイメージング技術で、カメラ・プロジェクターにおけるサイズ・視野・被写界深度などの物理的性能限界の打破に応用することができます。本研究では、この技術に基づくレンズレスカメラ・プロジェクターの開発を行っています。

【研究テーマの例】

- ◆ レンズレスイメージングのための光学系・信号処理系の最適設計



● 教員からのメッセージ

実際にシステムを作り上げて目に見える形にすることを目指しています。インパクトのあるデモンストレーションによって新たな技術を社会にアピールしましょう。

質問等は電子メール：yamaguchi.m.aa@m.titech.ac.jp にお願いします。

● 関連する業績、プロジェクトなど

1. M. Yamaguchi, "Full-Parallax Holographic Light-Field 3-D Displays and Interactive 3-D Touch," Proceedings of the IEEE, Vol. 105, 5, pp. 947-959, (2017).
2. CIE 223:2017, "Multispectral Image Formats," International Commission on Illumination, 2017. See <http://www.multispectral.org>

信号処理・逆問題・機械学習・最適化のアルゴリズムの創造と応用

教授 山田 功

研究分野：信号処理，逆問題，最適化，機械学習

ホームページ: <http://www.sp.ict.e.titech.ac.jp/>



● 研究内容・目的

- (1) 信号処理などデータサイエンスの横断的問題を解決する普遍的アルゴリズムの創造と体系化
- (2) 不動点理論や計算機代数に基づく信号処理・機械学習・最適化の革新的アルゴリズム開発
- (3) 信号処理・最適化アルゴリズムの画像・音響・通信・物理探査分野等の逆問題への応用

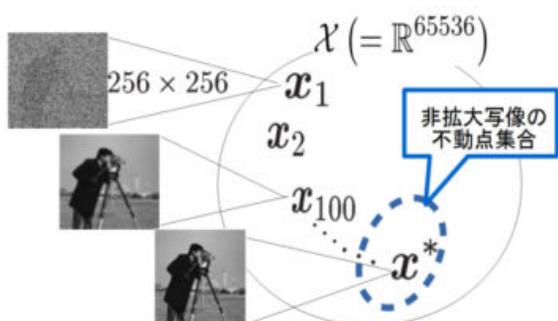
● 研究テーマ

1. 信号処理の諸問題を解決する普遍的アルゴリズムの創造と体系化

今日のデータサイエンスを下支えしている信号処理技術は、ガウスの「最小二乗推定」やフーリエの「直交関数展開」の戦略を踏襲しており、「(線形代数で学んだ)部分空間を用いた情報表現」と「直交射影定理(ヒルベルト空間に拡張されたピタゴラスの定理)」を共通の土台としています。私たちは「部分空間で表現できない情報の精密表現を可能にする数理」と「最適化の数理」の非自明な融合が生む相乗効果こそが信号処理に飛躍的進化をもたらすことを確信し、斬新な発想で革新的融合を具現化する普遍的アルゴリズムの開発に挑戦しています。研究成果の多くは既に広く応用され、大きなインパクトを与え、新時代の信号処理を牽引しています(以下、特徴的な研究例を紹介します)。

2. 不動点集合上の凸最適化問題の革新的アルゴリズムの開発と応用に関する研究

凸解析学の目覚ましい進化のおかげで、「表現の困難さ故に、信号処理や機械学習や逆問題の分野で効果的に活用できていなかった重要な情報」の多くが、実は「非拡大写像の不動点集合」として統一表現できることができました。本研究室で誕生した「ハイブリッド最急降下法」は「不動点理論の数理」と「凸最適化の数理」の融合の賜物であり、世界で初めて「非拡大写像の不動点集合上の凸最適化問題」の解決に成功したアルゴリズムです(図1)。ハイブリッド最急降下法は、長年人類が解決不能と信じてきた「階層構造を持つ凸最適化問題」の強力な解法に直結しているため、工学と数学の垣根を超えた無限の応用が可能です。例えば、「単層型凸最適化応用の金字塔として広く利用してきたサポート・ベクターネットワークに潜む弱点を克服する線形識別器」がハイブリッド最急降下法の応用によって初めて実現されるなど、既に信号処理・機械学習・逆問題の諸分野に大きな進化をもたらし始めています。更に本研究室では、このアイディアを大胆に拡張することにより、「適応射影劣勾配法」を開発し、「凸関数列の漸近的最小化問題」の解決にも成功しています。適応射影劣勾配法はオンライン機械学習問題、無線通信システム等に広く応用され、極めて優れた性能が実証されています(2015には信号処理分野のトップジャーナル IEEE Signal Process. Magazine の最優秀論文賞[1件/年]を日本人で初めて受賞しています)。



$$x_{n+1} = T(x_n) - \lambda_n \nabla \theta(T(x_n)) \text{ (ハイブリッド最急降下法)}$$

図1.非拡大写像の無限個の不動点から最適な選択を実現

3. 代数的位相アンラップとその応用に関する研究

複素数の位相(偏角ともよばれる)には 2π の整数倍の任意性がありますが、リモートセンシングや医用画像処理では、2次元平面上の各点に位相値を対応付ける連続関数(位相曲面)が必要となるため、「mod 2π の任意性」を解消しなければなりませんが、最小変動量を持つ位相曲面の決定問題(2次元位相アンラップ問題)にはヒューリスティックな解法しか利用できませんでした。われわれは「位相曲面推定問題」を「ベクトル場推定問題」に帰着し、2次元スプライン関数で表現された最適なベクトル場に「代数的位相アンラップ(1998年に本研究室で誕生)」を応用し、2次元位相アンラップ問題の理想的解決に成功しました。この解法には代数・解析・幾何・最適化に跨る数理が駆使されています(図2)。

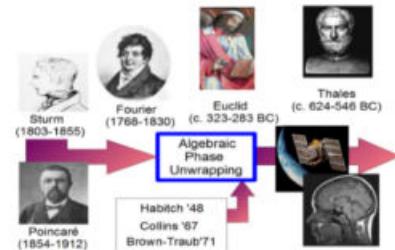


図2. 難波不落の逆問題は、代数的位相アンラップとボアンカレの補題の融合によって解決されました。

● 教員からのメッセージ

「工学は数学の楽園である」はレオナルド・ダ・ヴィンチ(1452-1519)の言ですが、現代の信号処理・機械学習・最適化・逆問題はまさしく最先端数理の楽園です。皆さんも自由な発想で普遍的価値の創造に挑戦しましょう。

● 関連する業績、プロジェクトなど

1. I. Yamada, "The hybrid steepest descent method for the variational inequality problem over the intersection of fixed point sets of nonexpansive mappings," In: D. Butnariu et al. eds., *Inherently Parallel Alg. in Feasibility and Optimization and Their Applications*, pp. 473–504. Elsevier, 2001.
2. I. Yamada, M. Yamagishi, "Hierarchical convex optimization by the hybrid steepest descent method with proximal splitting operators—Enhancements of SVM and Lasso," In: H.H.Bauschke et al. eds., *Splitting Algorithm, Modern Operator Theory and Applications*, pp.413-489, Springer, 2019.
3. M. Yamagishi, I. Yamada, "Nonexpansiveness of Linearized Augmented Lagrangian operator for hierarchical convex optimization," *Inverse Problems*, 33(4), 044003 (35pp), 2017.
4. P. L. Combettes, I. Yamada, "Compositions and convex combinations of averaged nonexpansive operators," *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 425 (1), pp.55-70, 2015.
5. S. Gandy, B. Recht, I. Yamada, "Tensor completion and low-n-rank tensor recovery via convex optimization," *Inverse Problems*, 27(2), 025010 (19pp), 2011.
6. S. Theodoridis, K. Slavakis, I. Yamada, "Adaptive learning in a world of projections: a unifying framework for linear and nonlinear classification and regression tasks," *IEEE Signal Processing Magazine*, 21(1), pp.97-123, 2011.
7. D. Kitahara, I. Yamada, "Algebraic phase unwrapping based on two-dimensional spline smoothing over triangles," *IEEE Trans. Signal Process.*, 64(8), pp.2103-2118, 2016.
8. H. Kuroda, M. Yamagishi, I. Yamada, "Exploiting sparsity in tight-dimensional spaces for piecewise continuous signal recovery," *IEEE Trans. Signal Process.*, 66(24), pp.6363-6376, 2018.
9. T. Mizoguchi, I. Yamada, "Hypercomplex tensor completion via convex optimization," *IEEE Trans. Signal Process.*, 67(15), pp.4078-4092, 2019.
10. J. Abe, M. Yamagishi, I. Yamada, "Linearly involved generalized Moreau enhanced models and their proximal splitting algorithm under overall convexity condition," *Inverse Problems*, (36pp), 2020.
11. K. Uchida, I. Yamada, "An ℓ_1 -penalized adaptive normalized quasi-Newton algorithm for sparsity-aware generalized eigen-subspace tracking," *Journal of the Franklin Institute*, (25pp), 2020.
12. Y. Nakayama, M. Yamagishi, I. Yamada, "A hierarchical convex optimization for multiclass SVM achieving maximum pairwise margins with least empirical hinge-loss," arXiv2004.08180, 2020.
13. R. Akema, M. Yamagishi, I. Yamada, "Approximate simultaneous diagonalization of matrices via structured low-rank approximation," *IEICE Transactions on Fundamentals*, E104-A (4), 2021.
14. K. Kume, I. Yamada, "A global Cayley parametrization of Stiefel manifold for direct utilization of optimization mechanism over vector spaces," *Proceedings of IEEE ICASSP 2021*, June 2021.

著書：工学のための関数解析(2009)/受賞：ドコモ・モバイルサイエンス賞[基礎科学部門](2005)，電子情報通信学会[論文賞(5回)・業績賞(2009)・フェロー(2015)]，IEEE Signal Process. Magazine Best Paper Award (2015)，IEEE Fellow (2015)，文科大臣表彰科学技術賞[研究部門] (2016)等/その他：IEICE Trans. Fundamentals 編集委員長(2013-2015)，IEEE Trans. Signal Process., Numerical Functional Analysis & Optimization 等，工学と数学の両分野で国際学術誌の Editorial Board を歴任。

AI コンピューティング アーキテクチャの研究

准教授 刘 載勲

研究分野：コンピュータビジョン・DNN プロセッサ

ホームページ：<http://www.artic.iir.titech.ac.jp>



● 研究目的・内容

深層ニューラルネット(DNN)技術の勃興とともに、人工知能(AI)コンピューティングの分野が大きく進展しています。従来型のコンピューティングが「手続き型」であるのに対し、AI コンピューティングの分野は「構造型」であることを大きな特徴としています。その違いをアーキテクチャ(=処理方式)の革新に活かすことで、これまでよりも大幅にエネルギー効率や処理速度が高いコンピューティングシステムの実現が可能となります(図 1)。このような観点から世界中でアーキテクチャ変革の大規模競争が始まっています。

劉研究室では、その流れを先導するために本村研究室と一体となって、科学技術創成研究院 AI コンピューティング研究ユニットを構成しています。アルゴリズム、アーキテクチャ、回路の協調性に注目した機械学習のためのソフトウェア・ハードウェア協調システムの実現を目指します。

● 研究テーマ

1. DNN アクセラレータの研究

DNN は高い学習能力と推論精度のため、多くの分野における応用が期待されていますが、その代償として多くの計算量を要求します。そのため、現在実用化されている DNN はクラウドサーバーがその処理を担う場合がほとんどと言えます。DNN の膨大な計算量は結果としてネットワーク環境の安定性が保証できないドローンやロボット、車などの自立型の組込みシステムにおいてその実用化を妨げる大きな原因となっています。

我々は、組込みシステムにおける処理時間、消費電力、計算資源の制約下で DNN の実用化を達成するべく、量子化、枝刈り、蒸留などの様々な近似コンピューティングを用いた DNN の効率的な実装アルゴリズムについて研究を行うと同時に、それに基づく低電力かつ高速な DNN 処理を支援するハードウェアアーキテクチャの研究を行います。アルゴリズムとハードウェアの設計段階からシステム全体の効率的な構成を考えることによって既存研究では実現できなかった DNN に対する高い処理性能と低電力化の実現を目指します。

2. DNN の知見を活かした既存機械学習の性能向上と実用化の研究

現在 DNN を支える深層学習はその学習対象をニューラルネットワークとする場合がほとんどです。しかし、深層学習そのものは非線形変換の繰り返しによって機械学習の表現力を向上させるための学習概

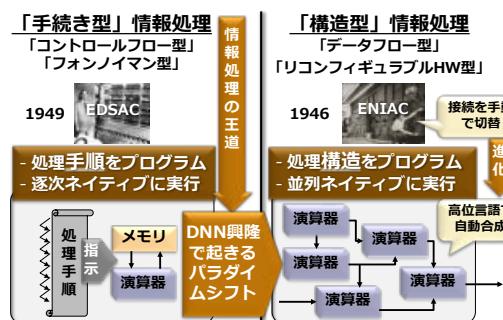


図 1. AI コンピューティング時代の
情報処理パラダイムの変革

念であり、その応用先をニューラルネットワークに限ったものではありません。機械学習にはニューラルネットワーク以外にも、サポートベクターマシン(SVM)、ランダムフォーレスト(RF)、ブースティング決定木(BDT)など様々な手法が存在し、少ない計算量で高い表現力を実現することが可能です。これらの機械学習手法が持つ主な問題は、その表現能力を活かすために必要な学習能力の不在と言えます。

我々はDNNのテクニックの中で小規模ネットワークの学習能力不足を補う蒸留と呼ばれる手法をSVM、RF、BDTなどの非ニューラルネットワークの機械学習に適用することで、DNNでは実現が困難な低計算量化を実現します。また今までの研究で蓄積した既存機械学習手法のFPGA実装方式の知見を活用(図2、3)し、機械学習アクセラレータにおける新たなブレークスルーを目指します。

3. ニューロモルフィックコンピューティングによる学習・推論の研究

人間の脳は情報を処理するニューロンとニューロン間を接続するシナプスで構成されています。各ニューロン間ではデジタルの2値信号に似た電気的スパイクの有無を用いて情報伝達が行われ、伝達されたスパイクが各ニューロンの膜電位の変化と発火を引き起こすことで情報処理が行われます。DNNで代表される人工ニューラルネットワークは人間の脳を模倣していると言われますが、実数値の積和演算を用いる点や信号の時間的ズレを用いない点で生体脳とは大きく異なり、エネルギー効率の面で人間の脳に比べて大きく劣ります。我々は生体脳の特徴をより正確に再現したニューロモルフィックコンピューティングに基づく新たな学習・推論アルゴリズムの研究とその実装方式の研究に取り組みます。

● 教員からのメッセージ

2019年度9月まで大阪大学 情報科学研究科にて主にコンピュータビジョンを対象に機械学習とパターン認識、そしてそのためシステムアーキテクチャ設計の研究を行ってきました。2019年度10月から科学技術創成研究院(すずかけ台)のAIコンピューティング研究ユニットに参加し、日本の中核研究拠点を作ることを目指して活動しています。本村研究室と劉研究室に配属される学生の指導はAIコンピューティング研究ユニットとして、本村研究室と劉研究室の区別なく、一体となって行います。AIコンピューティング研究ユニットのHPを参照してください。

● 関連する業績、プロジェクトなど

1. 基盤(B) 近似コンピューティングを活用した深層ニューラルネットワークアクセラレータの開発
2. 8件の特許出願(<https://www.j-platpat.ipit.go.jp/>で「劉 載勲」「ユ ジェフン」を検索)

受賞 18年 T-SLDM Best Paper Award、16年 SISA Student Best Paper Award (指導学生)、15年 IEEE 関西支部学生研究奨励賞、14年 画像電子学会優秀論文賞、13年 ITC-CSCC Best Paper Award、12年 スマートインフォメディアシステム研究会若手研究優秀賞

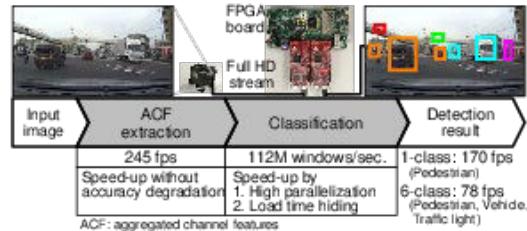


図2. BDTによる物体検出 HW



図3. BDTによる歩行者検出 HW デモ

脳活動情報の解読による脳機能解明とシステム開発

准教授 吉村 奈津江

研究分野：脳情報デコーディング、ブレイン・マシン・インターフェース

ホームページ: <http://www.cns.pi.titech.ac.jp/>



● 研究内容・目的

近年、脳波や機能的核磁気共鳴画像法(fMRI)など、脳を傷つけることのない非侵襲的な脳活動信号計測技術が大きく進歩しています(図1)。それに伴い、脳機能を調べるために動物ではなく人間の脳を直接計測することができるようになり、更にコンピューターの処理能力向上に伴い、大量の脳活動データから脳情報を解読できるようになりました。吉村研究室では、これらの非侵襲的脳活動計測手法と機械学習や深層学習などの信号処理技術を用いて運動や言語、感情などに関する脳活動情報を解読することでそれらにまつわる脳機能を解明し、解読した情報を元に人に役立つシステムの開発を目指しています。



図1. 脳波実験（左）とfMRI実験（右）の様子

● 研究テーマ

1. ブレイン・マシン・インターフェース

ブレイン・マシン・インターフェース(BMI)またはブレイン・コンピュータ・インターフェース(BCI)とは、手足を使わず頭で考えるだけで機械やコンピューターを動かすことができるシステムのことです。この研究は、事故や疾患など手足の運動が困難となった方を対象としたりハリテーションや生活に役立つシステムはもちろんのこと、一般のユーザーに対しても便利なシステムとして近年注目されています。これまで様々な BMI/BCI が発表されている中で、吉村研究室では現在、主に“運動”、“言語”、“感情”的3つを対象にし、人間の意思を読み取ろうとしています。例えば運動に関する BMI/BCI では、一般に運動しようという意思を読み取る手法が多く発表されているのに対して、本研究室では、運動の際に脳から筋肉に伝えられた電気信号(筋電信号)を直接再現することを試みています。



図2. 手首のロボットスーツを実測（左）および推定（右）した筋電信号で動かした例

これが実現すれば、筋電信号を使って体の動きをアシストするような既存のロボットスーツに BMI/BCI を適用できるという利点があります(図 2)。

また、言語に関する情報は運動よりも様々な脳活動が関連するために解読が難しいですが、聞いた音声やその後思い出した音声を脳波から音声データとして復元する可能性も示しています。これは、その人にどのように聞こえているか、どのような音を考えているか、を再現できる BCI として利用できる可能性があります。

2. 脳情報解読による脳機能解明

人間の脳内における脳活動に伴う電気信号を捉える脳波は時間分解能が高く、脳活動に伴う血流の変化を捉える fMRI は空間分解能が高い、という特徴があります。それぞれの特色を活かし、これまで解読できなかったような詳細な情報の解読を運動や言語を対象として試みています。これらの手法は脳全体の信号を計測できるため、どのように脳内の領域が相互に関連しながら活動しているのかをネットワーク解析を用いて調べることができます。機械学習や深層学習は計算による結果ですが、これまでの研究で生理学的な妥当性も示唆される知見も得られています(図 3)。また近年の仮想現実(VR)技術の発展に伴い、現実世界では実現できない環境を構築し、脳波との同時計測でそのような環境に適応する際の脳内の変化も見られるようになっています(図 4)。これらの技術や知見は、脳機能解明にもつながるだけでなく、BMI の制御アルゴリズムに組み込むことで、より精度の高い BMI 構築が期待できます。

● 教員からのメッセージ

脳の情報を非侵襲的にどこまで解読できるかに挑戦し、そしてその成果を人に役立つシステムとして形にしていくことにやりがいを感じる学生さんが来てくれることを期待しています。研究内容が近い小池研究室と共に研究室を運営している他、国内外のラボとの共同研究も多いため、自ら進んで積極的に学ぶ姿勢を身につけて欲しいと思っています。脳研究は歴史が浅く現在急速に発展している領域で、世界中で日々新たな発見がされています。共に学び、発見していきましょう。

● 関連する業績、プロジェクトなど

1. Akashi W. et al., Vowel sound synthesis from electroencephalography during listening and recalling, *Advanced Intelligent Systems*, 2000164, pp. 1-9, (2021).
2. Yoshimura N., et al., Decoding finger movement in humans using synergy of EEG cortical current signals, *Scientific Reports*, 7:11382, pp. 1-11 (2017).
3. Yoshimura N., et al., Reconstruction of flexor and extensor muscle activities from electro- encephalography cortical currents, *Neuroimage*, 59, pp. 1324-1337 (2012).

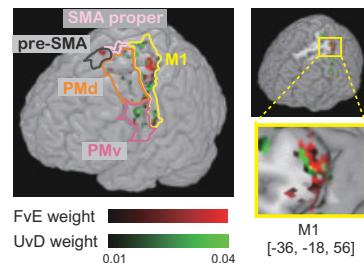


図 3. 筋肉運動に寄与度の高い領域(赤)と運動方向に寄与度の高い領域(緑)

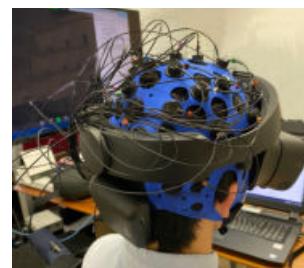
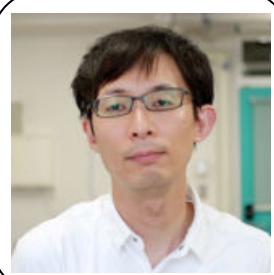


図 4. 脳波と VR ヘッドマウントディスプレイとの同時計測



実世界の把握・保存・拡張

准教授 渡辺 義浩

研究分野：コンピュータビジョン、拡張現実、デジタルアーカイブ、インタラクション

ホームページ：<http://www.vision.ict.e.titech.ac.jp/>

● 研究目的・内容

人間とコンピュータ、現実と仮想、現在と過去。本来ならば共存しないはずのものをテクノロジーでつなぎ、新しい実世界を再構築する。さらに先進的なテクノロジーが実世界に溶け込むグランドデザインを明らかにする。この構想の下、我々は「ビジョン（視覚）」と「スピード（速度）」を軸に、応用・原理・デバイスの設計を同時並行的に行い、最適なシステムを生み出す実践的な研究を行っています。

具体的には、実世界を瞬時に把握するビジョン技術、実世界と非現実を融合してリアリティを拡張する技術、実世界を完全に保存するアーカイブ技術の3つのテーマを進めています。

● 研究テーマ

1. 知的情報処理と計測技術を融合する高速実世界センシング

秒間1,000回の速度で実世界情報を捉えるビジョン技術の実現に取り組みます。具体的には、運動・変形する物体の形状・運動・質感を人間の眼を超えるスピードと精度で捉える技術の実現を目指します。本技術は、ロボティクス、自動車、ユーザインターフェース、検査、エンターテイメントの各種分野を劇的に変える力があると期待できます。デバイス技術を駆使することで1枚の画像にいかに情報を埋め込めるか。計測技術と情報技術の融合によっていかに瞬時に情報を復元できるか。これらの構想のもと、対象がダイナミックに変化するハードな実環境で真に動作する高速実世界センシングを構築します。

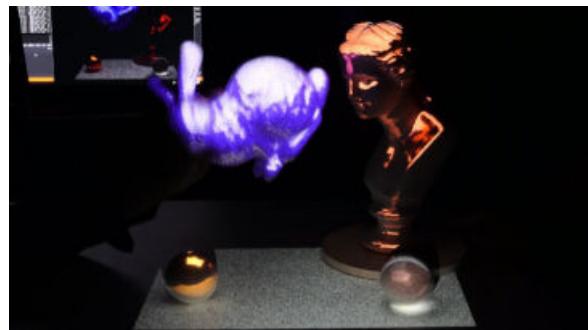


高速3次元センシング

2. 超高速プロジェクタの進化と実世界拡張

現実とはなにで、非現実との境界はどこにあるのでしょうか。現実と非現実を眼の前で融合し、新しくて自然なリアリティを作り出すことはできるのでしょうか。本テーマは、この問い合わせの答えを見つけるための研究です。そのための鍵は光です。視覚による認識が、光/モノ/ダイナミクス

/知覚の4者の相互作用からなると考えたとき、その根源たる光を操作すれば、人間が見る実世界を大きく変化させることができると考えられます。この構想の下、光を人間の知覚限界を超えた領域で操り、実世界を拡張する研究に取り組みます。具体的には、高速なビジョン技術によって実世界を捉え、そこに調和する非現実を高速プロジェクタによって再現する技術の実現にチャレンジします。



ダイナミックプロジェクションマッピング

3. 実世界のダイナミックデジタルアーカイブ

大規模な天災被害を背景として、失われるリスクが再評価され、デジタルアーカイブが重要視されています。現在求められているのは、実世界の全てを、将来に再生可能なレベルで電子化するパラダイムへのシフトです。そのためには、超高速なデジタルアーカイブ技術を日常生活に実装することが必要です。本テーマでは、高速実世界センシングをベースに、動いているものをそのまま止めずに電子化するというシンプルかつ強力な「ダイナミックデジタルアーカイブ」の実現に着手します。具体的には、数十年以上を要すると見積もられている世界中の膨大な数の美術品、工芸品、書籍のデジタルアーカイブの作業を短縮するとともに、生き物を含む運動体もアーカイブの対象として広げることにチャレンジします。



高速書籍電子化システム

●教員からのメッセージ

今まで見たことのないテクノロジーを、シンプルなアイデアと、パワフルなハード・ソフトで実現し、世界を驚かせる研究をぜひ一緒にやりましょう。

●関連する業績、プロジェクトなど

1. Satoshi Tabata, Michika Maruyama, Yoshihiro Watanabe, Masatoshi Ishikawa: Pixelwise Phase Unwrapping Based on Ordered Periods Phase Shift, Sensors, Vol.19, No.2, Article No.377, 2019.
2. Gaku Narita, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: Dynamic Projection Mapping onto Deforming Non-Rigid Surface Using Deformable Dot Cluster Marker, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol.23, No.3, pp.1235-1248, 2017.
3. Takashi Nomoto, Ryo Koishihara, and Yoshihiro Watanabe. Realistic Dynamic Projection Mapping Using Real-Time Ray Tracing, SIGGRAPH Emerging Technologies, 2020.

卒業生紹介（教員旧所属専攻修了生を含む）

永沢 横子 NAGASAWA, Makiko

就職先 NHK

2012 年度 修士課程修了



修士課程では、研究、留学、課外活動と充実した学生生活を送ることができました。幅広い分野にわたる講義や国際学会を含めた学会での研究発表などを通して、専門分野とその周辺領域の知識の習得に加えて、問題を設定してその解決に取り組むプロセスの経験や自分の考えをアウトプットする訓練を積むことができたと思います。また私は

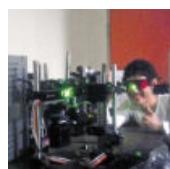
修士 1 年の冬から 1 年間、大学の制度を利用してオーストラリアのメルボルン大学へ交換留学に行きました。修士課程で留学することで、自分の軸を持った上で海外の文化に触れることができ、学問の面でもそれ以外の面でも、多面的な視野で物事を見られるようになったと感じています。他にも課外活動として、Robogals Tokyo という学生団体に所属していました。他の専攻・学年の学生や地域・企業の方とのつながりができ、様々な刺激が得られる機会となりました。大学院生活を楽しみ、その中で成長していくたいという方にとって、それを実現できる環境が整っていると思います。

涌波 光喜 WAKUNAMI, Kouki

就職先 独立行政法人

情報通信研究機構

2012 年度 博士課程修了



私の 5 年間の研究生生活は“楽しかった”の一言につきます。スターウォーズに出てくるような立体像表示技術を自分の手で実現したいと思い、電子ホログラフィーを研究するために本専攻の山口教授の門を叩きました。入学後は先生のご指導のもと、スムーズに研究をスタートさせることができ、それからは結果を出しては国内外の学会で発表した

り学術雑誌への論文を執筆したりと忙しくも非常に充実した 5 年間でした。博士課程在学時には米国の大学に留学することもでき、またこれまでの研究成果が評価され、日本光学会より奨励賞を頂くことも出来ました。現在も外部の研究所で引き続き電子ホログラフィーの実現に向けた研究を取り組んでいます。研究に対する熱意があれば、本専攻にはそれを強力にサポートしてくださる著名な先生方が揃っています。すずかけ台から世界へ自分の研究を発信する環境も整っています。最先端の研究に没頭したい、次世代の技術を自分の手で創り出したいという方はぜひ本専攻への入学を考えてみて下さい。

郭 新華 GUO, Xinhua

就職先 Wuhan University of Technology, China

2014 年度卒 博士課程修了



My research topic was acoustic imaging, which was quite different with my study in master period. In the beginning, it was a little tough. Prof. Nakamura gave me a lot of advice and I began to learn by myself. With the help of Prof. Nakamura and the labmates, everything was on the right track soon. I spent three years in this lab and the days were busy and meaningful.

I learnt a lot on how to do research on the lab's research seminar and got very well with my labmates, they helped me a lot. Also, I got the chance to present my research in domestic and international conferences and received my PHD degree smoothly. Besides study, we also had wonderful lab activities, such as sports, camp and lab travel, which helped us to know each other more and gave us a lot of fun.

As an international student, I feel so lucky to be able to study in Nakamura-Tabaru Lab and will lead the students here in my current career following Prof. Nakamura's spirit: caring for students, being responsible for their study and letting students grow by themselves.

博多屋 涼 HAKATAYA, Ryo

就職先 株式会社野村総合研究所

2015 年度卒 修士課程修了



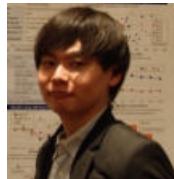
私は学部時代から 3 年間、雑音が混在する音声から聴きたい音声のみを取り出す「音源分離」の研究を行いました。音声の研究を選んだのは「音楽」や「声優」が好きだからという安直な理由だったため、勉強と発見の日々でした。学生とはいえ年齢的には既に社会人ですから、自分の研究は自分の手で進めなければいけません。計画を立て、

実験し、考察を行い、修正する。この PDCA サイクルを繰り返す中で、先生方の温かいご指導もあり少しづつですが自らの成長を感じました。

ところで、大学院生の本分はもちろん研究です。この 3 年間、成果を出すため自らの研究に全力を注ぎました。しかし同時に、私は修了まで塾講師のアルバイトを続けました。また、趣味のライブ鑑賞にも月に 3、4 回は足を運びました。これらの活動で得た経験も私にとっては研究生活で得たものと同じくらい大切です。繰り返しますが大学院生は既に社会人としての一歩を踏み出しています。限られた時間をどのように使うのか。自らの責任でよく考え、悔いのない大学院生活を過ごしてください。

森谷 崇史 MORIYA, Takafumi

就職先 日本電信電話株式会社
(NTT研究所)
2015年度 修士課程修了



私はスマートフォンの音声検索システムやテレビのリアルタイムにおける字幕放送をみて、「どのように機械が人の話す言葉を理解し、検索・字幕化しているのだろう?」と思ったのが研究をしたいと思うようになるきっかけでした。私が所属した篠崎研究室ではこれらの技術の主要要素である音声認識において、雑音下で目標となる音声のみを

抽出する音源分離、入力音声がどんな文字かを推測する音響モデル、単語の並びを推測する言語モデルについての研究を行っています。私自身は高精度な認識処理を実現するために音響モデルのパラメタを人手によらず自動で最適化を行うための研究をしていました。この研究に関して修士課程では5度の発表を行いましたが、なかでも国際会議に参加したことは様々な面で今後研究者として何が必要かを考えさせられ非常に良い経験となりました。他大学から来て音声工学の知識がなかった私がここまで成果を出したのも自分の熱意に終始応えていただいた先生、共同研究者の皆様及び研究室メンバーの強力なサポートがあったからこそだと強く感じています。

山田 健斗 YAMADA, Kento

就職先 シスコシステムズ合同会社
(Cisco Systems G.K.)
2015年度 修士課程修了



私は大学院から東京工業大学へ進学したのですが、東工大の学びの環境と学生の意識の高さには驚かされました。在籍した通信情報工学専攻の植松・松本研究室では自分主体で研究を進めていく文化があり、研究のテーマを設定し研究活動を行うことで自分で考える力を身につけることができます。私は量子暗号を研究対象として設定したので

ですが、量子力学と情報理論の両方の基礎知識が必要とされこの分野の研究はハードなものでした。しかし先生方の熱心なご指導のおかげで一定の成果を上げることができ、私の大学院での研究活動は充実したものとなりました。学内での活動以外にもインターンシップなどにも参加し、授業で学んだことを実際にアウトプットできる環境に身を置くことで自分の知識・技術のレベルを向上させることを意識し活動できました。私がこのように行動できたのも、東工大の友人達に負けられないという良質な対抗意識の賜物であると感じています。自分の好きな分野を学び、知識・技術を磨いていきたいという意欲のある方は東工大の大学院で充実した生活を送ってもらいたいと思います。

佐宗 馨 SASO, Kaoru

就職先 ソニー
2018年度 修士課程修了



私は計算機を実現する命令セットアーキテクチャへの興味から、原研究室にて Internet of Things (IoT)社会に適応できる小型で省エネルギーな計算機の研究を行いました。研究に取り組む以前はものを作るための技術に目が向かがちでしたが、どのようなものが求められているか、またそれをいかにアピールするかという観点も同じくらい重要なことだと日々感じ、これを研究活動の中で考えるよう意識し

てきました。3年間にわたり先生方に熱心にご指導いただき、系の構想発表会で優秀賞を頂き、2度の国際会議で成果を発表することができ貴重な経験を積むことができました。

研究活動以外にも研究室に所属する多くの外国人学生や交換留学生との交流を通じて国際的な感覚を養い、また趣味の同人ゲーム制作では研究で得た知識を基に描画技術を高めつつ今までにないジャンルにも挑戦することで、より多くの人が楽しめるゲームを制作でき販売にまでこぎつけました。

大学院では研究活動はもちろん自分自身の興味のあることに力を注ぐことのできる環境が整っているため、様々な経験を積み充実した生活を送ってください。

黒田 大貴 KURODA, Hiroki

就職先 立命館大学
2018年度 博士課程修了



私は、学部4年の卒業研究から修士・博士課程を通じて、山田研究室で信号処理の問題を研究していました。信号処理は観測された多様なデータから数理を駆使して価値の高い情報を抽出するための総合科学であり、データサイエンスと情報通信工学の共通基盤となっています。数学が好きな人はそれを存分に活かして工学の広い分野に貢献できる大きなやりがいのある研究分野です。私はこれまで学

んだ知識を深化させて世界の誰もが気づいてこなかったアイディアに結実させることを目標に研究に取り組んでいました。容易でない目標に頭を悩ませてばかりでしたが、世界の第一線で活躍する研究者から直接薰陶を受けて研究に取り組める環境に大きく助けられ、国際学会・論文誌での発表など世界的なレベルで研究成果を発信することができ、手島記念研究賞(博士論文賞)をいただくこともできました。大学での生活は研究に限らずじっくり考えることができる貴重な機会だと思いますので、ぜひ悔いのないように過ごしてほしいです。

● 大学院修了後の進路

多くの修士課程修了者が電気電子関係または情報通信関連企業へ進んでいます。それ以外にも、機械・自動車関連、化学・材料関連から金融・コンサルティングまで幅広い分野において卒業生が活躍しています。また博士後期課程修了者は、国内外の大学や民間の研究機関などにおいて活発な活動を展開しています。

修士課程修了者の進路：

IBM、アクセンチュア、アドバンテスト、アマゾンウェブサービスジャパン、伊藤忠テクノソリューションズ、NEC、NHK、NTTコミュニケーションズ、NTTデータ、NTTドコモ、NTT研究所、NTT東日本、オリンパス、キオクシア（旧東芝メモリ）、キヤノン、Google、ぐるなび、KDDI、スクウェア・エニックス、セコム、総務省、ソシオネクスト、JAXA、JR東日本、シャープ、セイコーホームズ、ソニー、ソフトバンク、大日本印刷、デンソー、東芝、トヨタ自動車、日本生命、日本経済新聞、任天堂、日本ヒューレットパッカード、野村総合研究所、博報堂、ファナック、Huawei、パナソニック、バンダイナムコエンターテインメント、日立製作所、富士通、本田技研、マイクロソリューションズ、三井住友銀行、三菱商事、三菱電機、村田製作所、ヤフー、楽天、リクルート、リコー

● キャンパスへのアクセス



2021年度版 第1版
情報通信コースパンフレット
東京工業大学工学院情報通信系 発行
2021年4月1日

