次世代サイバーインフラの研究開発

東京大学大学院工学系研究科　教授
次世代サイバーインフラ連携研究機構　機構長

中尾彰宏

© 2024 Akihiro NAKAO, All Rights Reserved.

中尾彰宏

- 東京大学　総長特任補佐
- 東京大学次世代サイバーインフラ連携研究機構　機構長
- 東京大学大学院工学系研究科　教授
- 電子情報通信学会　通信ソサエティ会長
- XGモバイル推進フォーラム（XGMF)共同代表

「情報通信・情報科学」の学術に基づき
「未来社会を支える次世代サイバーインフラの創成」
に取り組んでいます

研究分野

1. 5Gから6G へのサイバーインフラの基盤・応用研究
2. ソフトウェア・機械学習・AIを用いる柔軟なインフラ
3. 次世代サイバーインフラを利活用する地域創生

東京大学理学部物理学科卒
東京大学大学院工学系研究科情報工学専攻修士修了
Princeton University, Computer Science, Ph.D.

© 2024 Akihiro NAKAO, All Rights Reserved.

サイバーインフラとは？

- サイバーとは、コンピュータやそのネットワークに関するという意味
- 情報科学と情報通信の学理の融合に支えられている
- サイバー世界を支える、基盤となる技術をサイバーインフラという

社会経済活動や生命の維持のために情報通信を基礎とする
次世代のサイバー世界を支えるインフラ「次世代サイバーインフラ」が重要である

未来社会を根底から支える「人類のライフライン（生命線）の研究開発」
を情報通信と情報科学の学術を駆使して実施しています

超臨場感通信

国土の通信カバー率100%へ

安全・安心な地域社会

AIによる堅牢ライフライン

© 2024 Akihiro NAKAO, All Rights Reserved.

情報通信の進化

G=Generation(世代)

出典：総務省資料（許諾済み）

© 2024 Akihiro NAKAO, All Rights Reserved.

エリクソンMassive MIMO技術

Massive MIMOは都市部での通信の混雑の緩和に大きく貢献
日本での普及展開は大きく遅れている

2023/6/4 エリクソン本社訪問
（CTO始め無線トップ技術者とワークショップ開催）

最新版5G Massive MIMO RU

4nm ASICを用いた64 MIMO PCB
ASICは低消費電力・低重量化に貢献
（裏側は撮影禁止でした）

様々な5G/LTE RU装置
Massive MIMO

同時多数接続・輻輳（通信の混雑）の緩和

4G

5G

5Gでは、4Gの直交周波数多重・時分割多重に加え、空間多重による更なる周波数利用効率向上を目指して
Massive MIMOという技術を開発・導入（半導体による効率的な実装が必要）
多数のアンテナ素子を協調動作させて任意の方向にビームを形成することでカバレージ拡大・同時多数接続を実現

https://www.mitsubishielectric.com/news/2016/pdf/0121.pdf

© 2024 Akihiro NAKAO, All Rights Reserved.

構成部品では日本企業が世界トップシェアを確保している

電子部品の概要と世界シェア

対象項目	対象品目	概要	世界シェア		
			1	2	3
スマートフォン関連	チップ積層セラミックコンデンサ（MLCC）（出荷数量ベース）	電子回路の中で電圧を制御する部品	村田製作所 約40%	Samsung EM（韓） 約20%	太陽誘電 10~15%
	表面波（SAW）フィルタ（出荷数量ベース）	無線信号の中から必要な周波数だけを取り出すフィルタ	村田製作所 50%以上	Qualcomm（米） 30~35%	
	セラミック発振子（出荷数量ベース）	デジタル回路のクロック信号源等に使用	村田製作所 75%		
	無線LANモジュール（出荷数量ベース）	携帯端末等につける無線LANモジュール	村田製作所 50~60%	USI（中）	TDK
	Bluetoothモジュール（出荷数量ベース）	携帯端末等に付けるモジュール	村田製作所 50%	アルプスアルパイン	
	インダクタ（出荷数量ベース）	高周波回路全般で使用	TDK 25~30%	村田製作所	太陽誘電
	カメラ・アクチュエーター（出荷数量ベース）	カメラのオートフォーカスや手振れ補正用に使用	アルプスアルパイン 70~80%	ミネベアミツミ	TDK
	CMOSイメージセンサ（出荷数量ベース）	スマートフォンのカメラ等で使用	SONY 50%	Samsung（韓） 24%	OmniVision (米) 14%
無線通信デバイス関連	通信用計測機器（LTE）	正常に通信が行われているか計測する機器	アンリツ	Keysight Technologies (米)	Rohde & Schwarz (欧)
半導体・基板構成部品関連	フォトレジスト（出荷数量ベース）	半導体製造工程の1つであるリソグラフィープロセスに用いられる材料	JSR 27%	東京応化工業 24%	信越化学 17%

出典：B5G推進コンソーシアム総会資料より

© 2024 Akihiro NAKAO, All Rights Reserved.

5Gから６Gへ： 低遅延・省電力・拡張カバレージ・ソフトウェア化に注目

大容量・低遅延・多数接続、 低消費電力拡張カバレージ、自律性（ＡＩ）堅牢性の7つがBeyond5G/6Gで目指す特徴の目標

重要な方向性

- APN (All Photonics Network)の低遅延・省電力
- NTN (Non-Terrestrial Network)による拡張性
- OpenRAN・仮想化による相互接続性
- AIによる障害検知・低電力化・トラフィック制御
- Sub6,ミリ波に加えセンチ波 (サブテラ波)
  を全て利用し大容量と接続性の両立
- ローカル5G/6Gによる自営網の発展
- ソフトウェア化(Software Defined Radio)

APN（低消費電力・大容量/高品質・低遅延）

出典：NTT

6G New Radio
(6-24,90-300GHz)

出典：NOKIA

NTN (LEO, GEO, HAPS)

出典：NICT

OpenRAN (異ベンダー相互接続)

出典：NTTドコモ

我々を取り巻く情勢の変化

WRC23にて新周波数利用の提案
- 3GPPでは6Gの仕様化着手(23年12月)
- NTN(LEO, HAPS)の開発競争が激化
- 遅れている5G（特にミリ波）の展開を加速と同時に6G/APNの開発を推進する必要
- 標準化を睨んだ国際連携・協調の必要性

© 2024 Akihiro NAKAO, All Rights Reserved.

楽天モバイルと東京大学　低軌道衛星を利用した IoT 超カバレージの共同研究を開始

2021/11/29報道発表

既存の携帯端末を衛星に直接接続

楽天モバイル（図・写真の再利用許諾済み）

米国AST Space Mobileの衛星を利用

BlueWalker 3テスト衛星は、2022年9月10日土曜日、東部夏時間午後9時20分にフロリダ州ケープカナベラルから無事に打ち上げ完了。打ち上げから1時間以内に技術者がBlueWalker 3と通信を確立し、軌道に乗ったことを確認

https://www.businesswire.com/news/home/20220913006326/en/AST-SpaceMobile-Confirms-Successful-Launch-of-BlueWalker-3-Into-Orbit

© 2024 Akihiro NAKAO, All Rights Reserved.

Mobile World Congress (MWC) 2024

- モバイル通信の最先端技術の国際展示会@バルセロナ（2700社の展示、２０５カ国から１０万人以上が参加）
- 通信とAIの融合を象徴。無線基地局の低消費電力化が重点テーマとして取り上げられる
  - NVIDIA主導の「AI RAN Alliance」の設立(日本からはSoftbankがFounding Member)
  - SKテレコム（韓国）主導のAI-LLMを共同で開発する合弁会社の設立（日本からはソフトバンクが参画
  - O-RANの動向：NTTドコモとNECによるオープンRAN合弁会社「OREX SAI」の設立
    Ericssonによる OpenRAN仕様準拠の無線機（RU）の展開や統合デモの実施
    MavenirのOpenBeamの新ラインナップの展開等、RAN界隈でも大きな動きを見せる

Global Telco AI Alliance
(SKテレコムブースより)

AI-RAN ALLIANCE
(ソフトバンク社プレスリリースより)

Huawei、NOKIA、Ericssonの出展ブースの模様

© 2024 Akihiro NAKAO, All Rights Reserved.

情報通信で注目すべき半導体の利活用

- AIの通信への適用が加速
  - 障害予測・障害検知（かなり進んでいる）
  - 高度信号処理（チャネル推定など）
  - セル間協調（Inter-Cell Coordination, D-MIMO)
  - AI-Native Air-Interface （30%向上）
  - 通信とセンシングの融合（JCAS)
- 低消費電力化
  - 通信量などに応じて柔軟に基地局機能オンオフする技術
    - 時分割多重での通信のない微小時間の増幅機オフ（MicroSleep)
    - 無線通信リソースブロックを再配置して増幅機オフ (Deep Sleep)

AI-Native Air-Interface （30%効率向上）

Micro Sleep機能

出典：楽天 O-RAN RIC 2024

Joint Sensing And Communication (JSAC)

出典：Peter Vetter, NOKIA, 国際カンファレンス2024

© 2024 Akihiro NAKAO, All Rights Reserved.

半導体を「繋ぐ」通信技術が重要

RAN: Radio Access Networks

- AI半導体エッジのAIを活用するための通信関連技術の進化が必要
  特に、エッジAIコンピューティングが重要
- エッジAIを(1) RANの進化 (2)収集したデータからの低遅延AI推論の両方に活用
- キャリアはRANへの継続投資をサステーナブルにすることが目的

© 2024 Akihiro NAKAO, All Rights Reserved.

AI-RAN Alliance

© 2024 Akihiro NAKAO, All Rights Reserved.

Founding Members

aws

arm

DEEPSIG

ERICSSON

Microsoft

NOKIA

Northeastern University

NVIDIA

SAMSUNG

SoftBank

T-Mobile

UTokyo

https://ai-ran.org/

© 2024 Akihiro NAKAO, All Rights Reserved.

消費者向けCPU半導体に大きな変革が起こりつつある

- NPU（ニューラル・プロセッシング・ユニット）がSoC（システム・オン・チップ）に統合
- ローカルでのAI機能の実装が急速に進展（ローカルAI)
- 低遅延のAI推論ローカルでのリアルタイムAI処理が可能
- Qualcommが市場に参入し、Snapdragon Xシリーズなどを展開
- Apple Mシリーズが高性能なAI処理を可能にし、エコシステムを強化
- IntelやAMDとの競争が激化し、次世代デバイスの性能向上が期待される
- ４社が消費者向けCPU半導体において激戦を展開
- AIを活用した新しいユーザーエクスペリエンスの提供が進む

属性	Intel	AMD	Apple M	Qualcomm
代表的なシリーズ	Core i/Ultra シリーズ	Ryzen 7k/8k/9k/AI 300	M1/M2/M3 シリーズ	Snapdragon X シリーズ
アーキテクチャ	Alder/Raptor/Meteor Lake	Zen 4/5/6	ARM	ARM
CPUコア数	最大24コア	最大16/12コア	最大12コア	最大8コア
GPU	Intel Iris Xe/Arc	RDNA 3/3.5	Apple GPU	Adreno
NPU/AIアクセラレーター	Intel NPU	XDNA	Apple Neural Engine	AI Engine
製造プロセス	7nm/Intel 4	5nm/4nm	5nm	4nm
最大クロック周波数	最大5.8 GHz	最大5.7/5.1 GHz	最大3.8 GHz	約3.0 GHz
AIパフォーマンス (TOPS)	最大10 TOPS	最大50 TOPS	約15 TOPS	最大30 TOPS
主な用途	ゲーミングPC/ノートPC	ゲーミングPC/ノートPC	ノートPC/クリエイティブ	スマートフォン/タブレット

© 2024 Akihiro NAKAO, All Rights Reserved.

AI半導体を「繋ぐ」通信技術の発展が重要

- ローカルAIの長所
  - 高速化: SoCにおけるNPUにより応答速度が向上
  - ネットワーク遅延の排除: ローカル実行により即時応答が可能
  - データプライバシーの強化: データがローカルで処理されるためプライバシー保護が向上
  - オフライン動作: インターネット接続不要で利用可能
- ローカルAIの短所
  - 高い初期投資: 高性能ハードウェアの導入に高額な費用が必要
  - 運用コストの増加: 電力やメンテナンスのコストがかかる
  - 大規模モデルの制約: 大規模モデルのリソース消費が多く、ローカルでの実行には限界がある
  - 更新と管理の手間: モデルの更新やメンテナンスが必要で、管理の負担が増加

クラウドAI/エッジAI/ローカルAIにおけるAI推論エンジンの遅延・消費電力・コストのバランスが望まれる

© 2024 Akihiro NAKAO, All Rights Reserved.

大規模言語モデル（LLM）とAI/ML統合のネットワーク応用の可能性

- **自動化されたネットワーク管理**
  - ネットワークデバイスの設定、リアルタイムでのログ解析や問題の検出、障害の診断とトラブルシューティングを自動化
- **強化されたセキュリティ**
  - トラフィックの異常検出、インシデントの初期対応、脆弱性の特定とパッチ提案を自動化
- **パフォーマンスの最適化**
  - トラフィックフローの最適化、リソースの効率的な配分、ハードウェア故障の予測と予知保全を実施
- **ポリシーおよびコンプライアンス管理**
  - ネットワークポリシーの自動実施、コンプライアンスの監視と詳細なレポート生成
- **知識管理とドキュメンテーション**
  - ネットワークドキュメントの自動生成・更新、意思決定や問題解決のための情報提供

(参考例）標準化の加速に向けたLLMの活用

- 3GPP、ITU、ETSIへの貢献には慎重な理解が必要
- 貢献内容の不一致は実装の遅れにつながる
- LLMを活用して、貢献内容を要約・チェックし、明瞭なドキュメントを作成
- 擬似コードの生成やモデルチェックもLLMにより可能

Akihiro Nakao, “Convergence of AI and Telecommunications Technologies” ICCCN 2024,
Panel#1 When Networking meets AI: Applying LLM enabled AI Native approach for intent based future edge networks (July 29, 2024)
http://www.icccn.org/index.html

ローカル５Ｇ　（誰でも専用の5Gを整備可能！）

- 地域や産業の個別のニーズに応じて、**地域の企業や自治体等の様々な主体**が**柔軟に構築可能**。
- 通信事業者の**エリア展開がすぐに進まない地域**でも**５Ｇシステムを構築・利用可能**。
- 他の場所の**通信障害や災害、ネットワークの輻輳などの影響を受けにくい**。

スタジアム運営者が導入
eスタジアム

医療機関が導入
遠隔診療

CATVで導入
４Ｋ・８Ｋ動画

ゼネコンが建設現場で導入
建機遠隔制御

事業主が工場へ導入
スマートファクトリ

自治体による
テレワーク環境の整備

自治体等が導入
河川等の監視

農家が農業を高度化する
自動農場管理

NS/IN研究ワークショップ「ニューノーマルから始まるBeyond5G」総務省総合基盤局鈴木信也電波部長（2021/3/4）

© 2024 Akihiro NAKAO, All Rights Reserved.

東京大学工学部 FACULTY OF ENGINEERING THE UNIVERSITY OF TOKYO
東京大学大学院 工学系研究科 SCHOOL OF ENGINEERING THE UNIVERSITY OF TOKYO

ローカル5Gを配備することが可能な一体型小型5G基地局

東京大学、NECグループ、ローカル5Gを活用した
移動・自律運用可能な通信ソリューションの実証機を開発

■特徴
- ローカル5Gの基地局・5Gコア・MECを一体化
- ソフトウェアベース、迅速に機能アップデートが可能
- 省スペース・低消費電力
  - 出力　　：1 W × 4 Port
  - サイズ　：（幅）130×（高さ）189×（奥行）357mm
  - 重量　　：約6.2 kg
  - 消費電力：約90W　AC100V
- 準同期方式に対応(TDD1/2/3)

商用化

現在NECグループより販売中

2024 Interop にて
Best of Show Award グランプリ受賞！

HYPERNOVA

Interop BEST OF SHOW AWARD 2024 Grand Prize

- ローカル５G爆発的普及の救世主！
- オールインワン・コアー体型　ローカル５Gシステム
- デュアルユースにも適用可能

https://www.t.u-tokyo.ac.jp/press/pr2023-03-31-001
https://f2ff.jp/2024/interop/award/winner/?_ga=2.150817460.364030637.1718167308-839236177.1717590680

© 2024 Akihiro NAKAO, All Rights Reserved.

https://www.t.u-tokyo.ac.jp/press/pr2023-03-24-001

プレスリリース

研究 2023

2023.03.24

超小型ソフトウェア無線ボードの開発
―ソフトウェア拡張により進化するプログラマブル基地局の開発を加速―

発表のポイント

◆次世代通信規格の開発に対応する“超小型”ソフトウェア無線（SDR）ボードの開発に成功しました。
◆M.2の規格のインターフェース、超小型（縦80mm 横22mm 厚み 約5mm（基板厚0.8mm））に対応し、5Gや次世代の通信プロトコルをプログラム可能なボードを開発しました。
◆SDRを活用した5G/B5G通信機器による実証において有用性の確認、検証を通じ、社会的課題の解決、潜在ニーズの探索や価値創出を加速します。

超小型ソフトウェア無線：SDR

■特徴
超小型： M.2の規格に対応。縦80mm 横22mm　厚み 約5mm（基板厚0.8mm)
▷ソフトウェアによる動作周波数変更や機能追加等のカスタマイズが可能
▷5G基地局として動作を確認：汎用シングルボードコンピュータ（SBC）との組み合わせにより、5G基地局(Sub6)や端末として動作可能
▷複数枚を連携動作させて広帯域プロトコルの実装が可能

NICT（国立研究開発法人情報通信研究機構）Beyond 5G研究開発促進事業委託研究
研究開発課題名：継続的進化を可能とするB5G IoT SoC及びIoTソリューション構築プラットホームの研究開発（採択番号：00801）の支援により実施されました。

© 2024 Akihiro NAKAO, All Rights Reserved.

東京大学工学部 FACULTY OF ENGINEERING THE UNIVERSITY OF TOKYO
東京大学大学院 工学系研究科 SCHOOL OF ENGINEERING THE UNIVERSITY OF TOKYO

https://www.t.u-tokyo.ac.jp/press/pr2023-04-25-001

プレスリリース

研究 2023

2023.04.25

小型・低コスト・低消費電力・柔軟性・迅速展開性を備える ローカル5Gシステムを開発 ―超小型ソフトウェア無線(SDR)ボード搭載―

発表のポイント

◆小型（幅）173.2 ×（高さ）66 ×（奥行）274.2mm（A4判書籍の約3/4のサイズ）で屋外にも迅速に設置可能な低消費電力（約75W）のコアー体型、ローカル5Gシステムを開発しました。

◆先般開発を発表した超小型ソフトウェア無線（SDR）ボードを市販の汎用シングルボードコンピュータに組み込み5G機能を実装することでコスト低廉化とソフトウェアによる機能追加の柔軟性を実現しています。

◆実証により本システムの有用性の確認・検証を行い、社会的課題の解決、産業振興の可能性の探究、未来社会における価値創出などを加速します。

■特徴

- 電波周波数4.7-4.9 GHz（Sub6）の内100MHz幅
- 出力1chあたり最大1W（2ch合計 最大2W）
- MIMO（注6）拡張方式　2T2R（2 layers）
- 準同期TDD（注7）方式　1、2、3を全てサポート
- IP67防水・EMIシールドにより屋外設置可能
- MEC（Multi-access Edge Computing）対応
- 電源AC100V（定格120W）
- バックホール　Ethernet 1GbE x 2ポート（PoE対応予定）

NICT（国立研究開発法人情報通信研究機構）Beyond 5G研究開発促進事業委託研究
研究開発課題名：継続的進化を可能とするB5G IoT SoC及びIoTソリューション構築プラットホームの研究開発（採択番号：00801）の支援により実施されました。

© 2024 Akihiro NAKAO, All Rights Reserved.

情報通信システムへの適用から考える半導体戦略

- 半導体チップ：トランジスタ・電気回路を半導体ウェハ上に多数形成した集積回路

  - 汎用プロセッサ（Instruction Set Processor (ISP), インテルアーキテクチャなど）
  - ネットワークプロセッサ　通信機能に最適化された汎用プロセッサ
  - FPGA
  - FPGAと汎用プロセッサ融合・通信融合・ベクトルプロセッサ融合されてきている
  - SoC　（ハードウェアとソフトウェアで構成される）１つの統合されたシステムを組み込んだチップ
  - ASIC　（特定用途向けIC）　TPU テンソル処理ユニット、GPU グラフィックス処理ユニット

- 重要な観点

  低消費電力を実現しつつ、柔軟性（製造後にプログラム改変可能）かつ高性能を実現する

  相反・矛盾する目的を含むため、広く技術のスペクトラムをカバーする必要がある。

- 戦略として重要なもの（私見）
  - システム設計技術（機能の回路設計とシステム実装）
  - 設計・製造サイクルの迅速化　（アジャイル開発）
  - 半導体製造技術（無線機能実現）
  - 民主化/オープン化（誰もが参入できるようにする；参入障壁の除去）
  - 国際連携

B5Gチップ開発の民主化：SDR からASICへの螺旋型進化開発・産学連携への期待

SDR Card Solution

MPU, DSP, FPGA

大学研究室等でのローカル6G機能開発

- 基地局
- 端末

「螺旋進化型SoC/ASIC開発」

SoC n

SoC 2

SoC 1

企業での開発

機能をそのままSoC実装可能

Local 6Gに向けた半導体/チップ産学連携