

6G - サイバーフィジカル ワールドの架け橋

目次

2022年2月

目次

はじめに.....	3
2030年のサイバーフィジカルワールド.....	5
6G: 将来のネットワークプラットフォーム.....	10
6Gの技術要素.....	13
結論.....	22
参考文献.....	23
著者.....	24

はじめに

2022年2月

はじめに

5G はグローバルに拡大を続けており、そのネットワークは社会を変革する新しい通信機能とサービスを提供しています。今やその発展は新たな段階を迎え、eMBB (enhanced Mobile Broadband)、URLLC (Ultra-Reliable Low Latency Communication)、mMTC (massive Machine Type Communication) をさらに進化させた、「5G Advanced」が登場しつつあります。

しかし、この社会変革が進むにつれ、5G では対応しきれない課題が生じてくるに違いありません。2030 年を迎える頃には、5G が社会で 10 年間利用されたことになり、5G の展開からさまざまなことを学び、新たなニーズやサービスが登場していることでしょう。5G が持つ柔軟性では対応できない、新たな機能への拡張が必要になることが予想されます[1]。そこでは社会のニーズに応えるため、またより高度な技術ツールにより促進されたさらなる進化が求められ、新たな機能への拡張こそが、6G 時代の到来に向けて取り組まなければならないことです。

これからのネットワークは、生活、社会、産業のあらゆる部分で機能する基本要素として、人間のみならず、インテリジェントなマシンの通信ニーズをも満たすものとなるでしょう。このような局面を前にして、産業界と研究機関は共通のビジョンに向かって協力しなければなりません。

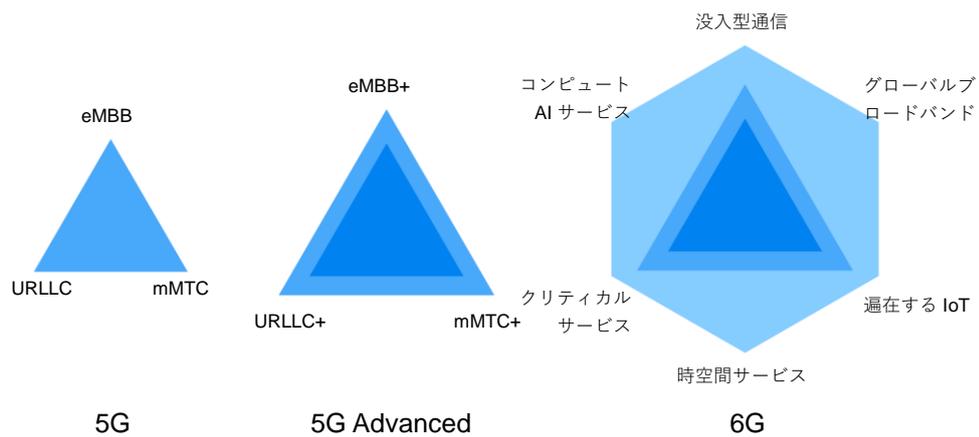
6G 時代に向けて、四つの主な推進要因と、それに伴う課題が明らかになってきました。それらは、社会の中核を成すシステムとしての信頼性、モバイル技術の効率性に基づく持続可能性、人々の生活をシンプル化し改善する自動化とデジタル化の推進、いつでもどこでも何とでも通信したいという欲求に応える無限のつながりです。

このような将来の課題に応えるには、6G は 5G の技術的限界を超えて、クリティカルなサービス、没入型通信、遍在する IoT の実現へと移行しなければなりません。さらに、コンピュータサービスを統合し、空間データやタイミングデータなどの通信以外の機能を提供する、これまでとは全く異なる新しい能力を開拓しなければなりません。

本ホワイトペーパーでは、将来のネットワークが何を提供できるか、そのためにどのような技術を開発すべきかに焦点を当てた考察に基づき、6G がもたらす 2030 年の世界のビジョンについてまとめました。

はじめに

2022年2月



2030年の サイバーフィジカル ワールド

2030年の社会は、より一層高度化した技術により変貌を遂げていると予想されます。ネットワークは通信と情報の基盤として機能し、いつでもどこでも通信することが可能になるでしょう。

無線接続が社会の基盤に統合されることで、データサービスやコンピュートプラットフォーム機能に加え、ネットワークを通じて提供されるデータだけでなく、ネットワーク接続そのものの信頼性がさらに重要になります。クリティカルなサービスの提供や、配信された情報の完全性の確保において、ネットワークは社会が完全に信頼できるものでなくてはなりません。また産業のみならず個人も、完全なプライバシーを保ちつつ、検証されたIDが信頼できるものでなくてはなりません。

持続可能性は最重要事項であり、社会のすべての分野が、SDGs (United Nations Sustainable Development Goals) に取り組まなくてはなりません[2]。無線ネットワークは、この目標を達成する上ですでに重要な役割を果たしていますが、資源の利用効率向上や、新しい生活スタイルの支援において、肯定的な変化をもたらすツールとして、さらなる貢献を果たす可能性が大いにあります。

AI (Artificial Intelligence) の活用により、人間の関与や管理の必要性を減らすことで、多くのプロセスを最適化、簡略化し、業務を改善することができます。結果として、社会の効率をより向上し、人々の生活をシンプルにできるAIの利用が劇的に増加することが予想されます。これを実現するためには、システム全体でAIをサポートできるよう、ネットワークには膨大なデータを活用するデータ駆動型アーキテクチャーを採用し、また最高レベルのセキュリティと説明可能性を備えるように設計する必要があります。

2030年のサイバーフィジカルワールド

2022年2月

今日、超低遅延性と超高速のデータ速度を必要とする仮想現実、拡張現実、複合現実、繊細な操作の遠隔制御といった、動作要件の厳しいアプリケーションが大幅に増加しています。2030年に向かってこの傾向は続き、ネットワークが提供すべき性能要件はさらに高まると予想されます。

信頼性	クリティカルな情報に依存する産業や社会のための、信頼できる通信とコンピューティング
持続可能な世界	持続可能な開発の一部であり、かつそれを実現する要素としての通信とネットワーク
アプリケーションの要件	極度の接続性能を必要とする拡張サービスや新サービス
生活の単純化	システム全体でAIを大量に活用し、最適な支援と効率化を実現

6G パラダイムシフト

将来の課題に対応するためには、以下のとおり幾つかのネットワークの基本的なパラダイムシフトが必要となります。

安全な通信から信頼できるプラットフォームへ	省エネから持続可能な変革へ	人手による運用から自己学習ネットワークへ	物理世界とデジタル世界からサイバーフィジカル連続体へ
データ管理からデータオーナーシップへ	地上系2Dからグローバル3D接続へ	定型サービスから柔軟なユーザー中心型サービスへ	データリンクから通信を超えたサービスへ

- 安全な通信から信頼できるプラットフォームへ - データの保護から、想定するシナリオにおけるエンドツーエンドでの確実なサービス提供へとスコープを拡大
- データ管理からデータオーナーシップへ - 第三者に対する個人情報とクリティカルなデジタル資産の管理とプライバシー確保
- 省エネから持続可能な変革へ - 効果的なデジタル化によって、CO2排出量の削減を可能にし、様々な産業界を含めて資源効率に優れた社会の実現に寄与するネットワーク

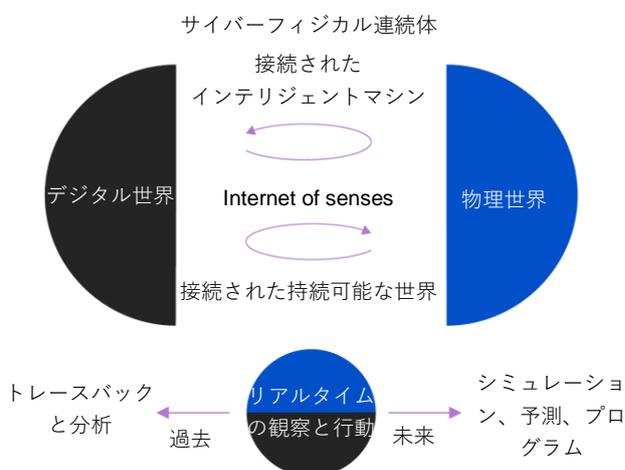
2030年のサイバーフィジカルワールド

2022年2月

- 地上系 2D からグローバル 3D 接続へ - 完全なデジタルインクルージョンを目指し、僻地、海、空などあらゆる場所からの無制限な接続を実現
- 人手による運用から自己学習ネットワークへ - 目標を達成する方法をシステムに指示する形態から、ネットワーク全体でインテリジェンスとデータを活用し、自ら与えられた目標を達成する形態に移行
- 定型サービスから柔軟なユーザー中心型サービスへ - サービスやインタフェースをあらかじめ定義するのではなく、ユーザーのニーズに適応し、アプリケーションが影響を与えることができる柔軟なネットワーク
- 物理世界とデジタル世界からサイバーフィジカル連続体へ - 人間とマシンをつなぐだけでなく、現実と完全に融合し、シームレスなインタラクションと没入体験を可能にするネットワークプラットフォーム
- データリンクから通信を超えたサービスへ - ネットワークの役割を拡大し、汎用性の高い情報プラットフォームとして、幅広い用途にサービスを提供

テクノロジーによる社会の変革

6G はサイバーフィジカル連続体の中で、ネットワーク接続された感覚、行動、経験からなる物理世界と、物理世界のプログラム可能なデジタル表現の間の移動を実現します。ネットワークはインテリジェンス、無制限の接続性、物理世界とデジタル世界の完全な同期を提供します。物理世界に埋め込まれた膨大な数のセンサーがデータを送信し、デジタル表現をリアルタイムに更新します。現実世界のアクチュエーターが、デジタル世界のインテリジェントエージェントから送られたコマンドを実行します。イベントをトレースバックして分析、観察し、リアルタイムで行動できるようになると同時に、未来の行動をシミュレートし、予測し、プログラムすることが可能になるでしょう。アバター同士が交流する VR/AR の世界であるメタバースと違って、サイバーフィジカル連続体は現実と密接にリンクしています。ここではデジタル表現された物理オブジェクトにデジタルオブジェクトが投影され、双方が融合した現実としてシームレスに共存し、現実世界を拡張します。



2030年のサイバーフィジカルワールド

2022年2月

上記の信頼性、持続可能な世界、アプリケーションの要件、生活の単純化といった四つのドライバーが新しい応用分野をもたらすことで、将来のネットワークに新たな機能が求められるようになります。同時に、既存のアプリケーションの発展に対応し、残されたデジタル機能不足を解消することも重要です。デジタル化されプログラム可能な世界は、正確な位置と時間の情報を伴う都市全体のインタラクティブな4Dマップを実現します。これに多数の人間やインテリジェントなマシンが同時にアクセスして修正することで、詳細な活動計画を立てることができるようになります。このようなサイバーフィジカルサービスプラットフォームが公共交通機関、廃棄物処理、水利・暖房管理システムなどの大規模な制御可能システムに指令を下すことで、より高いレベルの資源効率、優れた制御、レジリエンスの向上を達成できるでしょう。

オンラインでの継続的な分析によるデジタル表現は、身体機能を計測する小型ノードや投薬、身体的支援を行うデバイスが実現する精密医療を支えることでしょう。このように人々の生活にテクノロジーが高度に統合されると、可用性、セキュリティ、データプライバシーを含む信頼性の重要性が高まります。また保守が不要で、効率的な分散処理と管理を採用した、ローカルボディネットワークで安全に通信できて、どこにでも安全に組み込むことができる、新しいタイプのデバイスが必要になります。

さらに未来の都市では、地上と空中を自律走行する乗り物が行き交う交通を管理するために、リアルタイムの4Dマップが求められます。センサー機能を搭載した基地局や車載センサーからの正確な計測値と環境データを集約し、それを軌跡情報とともに共有するネットワークセンサーファブリックによって、安全で環境に優しく効率的な輸送を実現できるでしょう。

自動化された社会では、人々の福祉を向上し、生活を簡素化するため、AIによる支援を受けることができます。たとえば協働AIパートナーは、職場だけでなく家庭でも自律的に行動し、人間の行動に合わせて、より安全かつ効率的に、肉体労働などの多くの困難な仕事をこなすことができるでしょう。高い信頼性を備えたこのようなサイバーフィジカルシステムは、優れた信頼性とレジリエンス、正確な測位とセンシング、低遅延通信、AIの信頼性とインテグレーションを必要とする人間やインテリジェントなマシンの集団とスムーズにやり取りできます。個人のレベルでは、好みに沿った形で周囲の接続された世界とのインタラクションを管理し、それに適応させることにより、インテリジェントなIDと嗜好処理が人々の日常生活を支援します。

持続可能な世界を構築するためには、ネットワークが世界規模のデジタルインクルージョンを確保しつつ、社会全体で多大な努力が必要となります。これにはさまざまな要素が含まれます。たとえば、地球上のあらゆる場所でスマートオートメーションサービスをサポートすること、森林や海洋の状態を監視するグローバル規模のセンサーの接続、資源効率の高いコネクティッド農業、すべての人々に開かれたデジタルなパーソナル医療や、学校や病院などの優れたサービスへのアクセスなどがあります。自律型サプライチェーンは、商品のライフサイクルをエンドツーエンドでグローバルに追跡することで、完全な循環資源経済を加速します。デジタル資源追跡により、廃棄物を削減し、リサイクルを自動化できます。全体として、これにはエネルギー効率、材料効率、コスト効率に優れた真のグローバルカバレッジ、

2030年のサイバーフィジカルワールド

2022年2月

組み込み型の自律型デバイスやセンサー、高可用性と安全性を備えたネットワークプラットフォームが必要となります。

没入型通信は、インターアクションの障害となる距離をなくして完全なテレプレゼンス体験を実現できます。人間同様の感覚フィードバックが可能なXR（Extended Reality）技術[3]には、高いデータレートと大容量、正確な測位とセンシングによる空間マッピング、エッジクラウド処理によるエンドツーエンドの低遅延性が必要とされます。その一例が、公共交通機関における複合現実の広範囲での利用です。乗客ごとに個別の仮想体験を提供し、仮想環境で用事を済ませたり、XRによるガイダンスを受けたり、物理世界にゲームをオーバーレイさせたりできるでしょう。さらに進化すると、感覚とホログラムが物理世界とデジタル世界を行き来する、完全な複合現実になづくでしょう。完全な身体的インタラクションを実現する没入型パーソナルデバイスは、遠隔地の体験や行動にアクセスし、没入的な知覚を実現することで、人々のコミュニケーションニーズをよりよくサポートするはずです。その重要性は、特に新型コロナウイルス感染症の世界的大流行で明らかになりました。同時にそれは、アクセスやアイデンティティを厳密に管理するまったく新しいコミュニケーションモードをもたらします。

6G:

将来のネットワーク プラットフォーム

高まる期待に応えるため、産業界と学术界には明確な目標が設定されました。6Gは、どこでも利用可能なインテリジェント通信機能を通じて、効率的で人に優しい持続可能な社会に貢献するものでなくてはなりません。

必要とされる能力

新しいサービスや進化したサービスなど、さまざまなサービスのプラットフォームとして機能する将来の無線アクセスネットワークの能力は、現在のネットワークに比べてさまざまな面で強化・拡張されなくてはなりません。これには実現可能なデータ通信速度、遅延、システム容量などの従来の能力だけでなく、数値化できない性質を持つ新たな能力も含まれます。ここで注意すべきは、将来の無線ネットワークの能力は、現在想定されているユースケースだけでなく、まだ想定されていない将来のサービスを可能にするものでなければならないということです。

従来の能力について言えば、将来のネットワークは、関連するシナリオすべてにおいて、これまでよりもさらに大きな最高データ通信速度と小さい最低遅延を達成できなければなりません。特定のシナリオ下では、毎秒数百ギガビットとエンドツーエンドでミリ秒以下の遅延が必要となる可能性もあります。そして同様に、あるいはさらに重要なのは、期待通りの低遅延と低ジッタレートで高速接続を提供できる能力です。

6G: 将来のネットワークプラットフォーム

2022年2月

将来の無線アクセスネットワークは、急激に増加するトラフィック需要に、優れたコスト効率で対応できなくてはなりません。基本的な無線アクセス技術の周波数利用効率の向上はその一旦を担う要素であり、新たな周波数帯への対応も当然そうした要素の一つです。しかしそれ以上に重要なのは、非常に高密度なネットワークをコスト効率よく展開できることです。

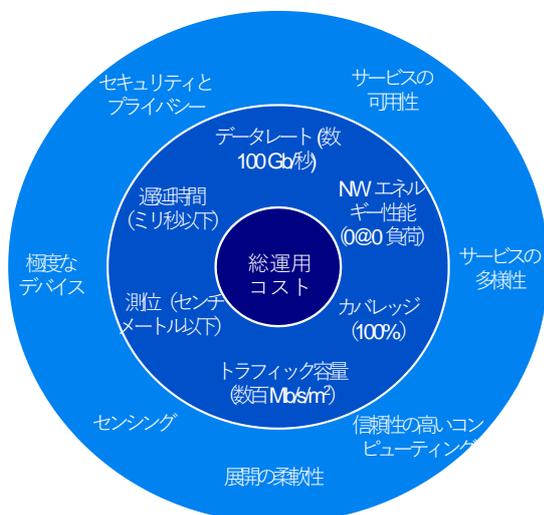
無線通信は、社会のいたるところに組み込まれて飛躍的に増えるデバイスに対応しつつ、遠隔地のデジタル格差を解消するために、グローバルなフルカバレッジに向けて拡大を続けていく必要があります。そのために重要なことは、ユーザーと通信事業者双方の全体的なコストが、持続可能なレベルにとどまるようにすることです。

5Gの開発においては高いエネルギー効率が重要な要件でしたが、将来の無線アクセスソリューションにおいてはそれがさらに重要になると考えられます[4]。ここで重要なのは、予測されるトラフィックの大幅な増加に伴ってエネルギーの使用量が増えないようにすることです。トラフィックの急増がエネルギーの急増となってはなりません。またノードが処理するトラフィックがないとき、エネルギーはほとんど使われないうにすべきです。

無線ネットワークが社会を構成するより一層不可欠な要素となるにつれ、レジリエンスとセキュリティがきわめて重要になります。自然災害や局地的な騒乱、社会の崩壊によってインフラの一部が使えなくなってもサービスを提供できること、また意図的な悪意ある攻撃に対して強固な耐性を持つことが求められます。

信頼性の面では、新しいコンフィデンシャルコンピューティング技術を活用し、サービスの可用性を向上させ、エンドツーエンドで保証されたセキュリティ ID とプロトコルを強化したネットワークであることが必要です。

これらのネットワークには、信頼性の高いコンピューティングと AI の統合、分散アプリケーションとネットワーク機能の迅速な開発と展開を可能とするインフラ、性能保証しつつネットワーク全体に提供される、データおよびコンピュートアクセラレーションサービスなどの機能が必要となります。



6G: 将来のネットワークプラットフォーム

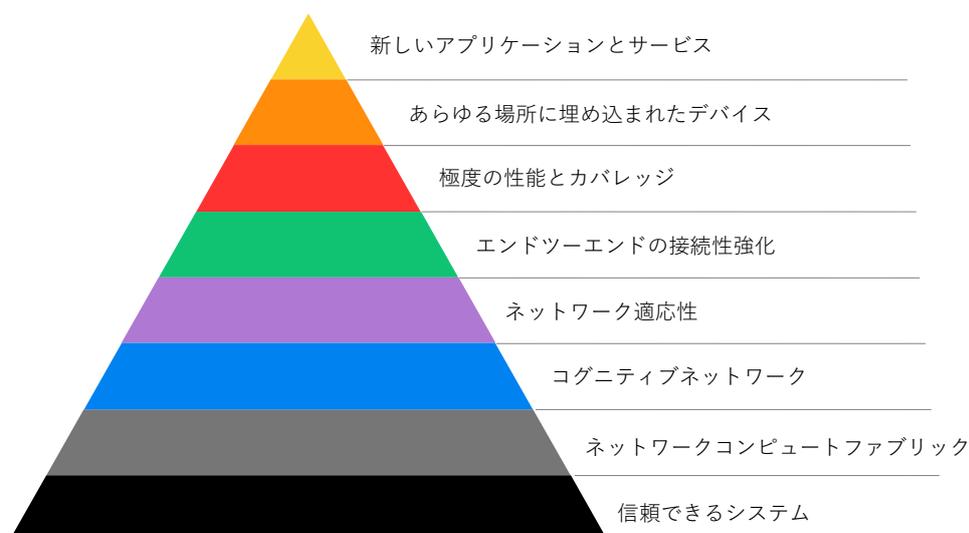
2022年2月

最後に、社会の全般的なデジタル化と自動化を推進するには、ネットワークに高精度で測位する能力と周囲を詳細にセンシングする能力が必要となります。センシングは、環境が電波の伝搬に及ぼす影響の分析に基づく新しい機能です。たとえばマイクロ波リンクは降雨の影響を受けますが、これは天気予報に役立つ情報となります。またセンシングのための無線信号を能動的に発信することで、通信ネットワークがレーダー的な機能を提供できるようになります。セルラーシステムをセンシングに活用することで、専用のセンシングシステムよりも広いカバレッジを提供する、コスト効率に優れたセンシングシステムを実現できます。センシングは、たとえば環境をモデル化したり、交通量を検知したり、工場内の立ち入り禁止区域に人が入ったらアラームを鳴らしたりすることに利用できます。将来のネットワークは、通信とセンシングの両方に無線リソースを効率的に利用する必要があります。また、結果を配信するためのスケーラブルなメカニズム、AIによる結果の解釈、情報のプライバシーを守るセキュリティのメカニズムも必要となります。

6G の基盤

2030年の6Gネットワークに向けて、見込みがある技術を幅広く検討しなければなりません。こうした潜在的な6Gの要素技術の探究は、今後数年間における大きな研究テーマとなるでしょう。

6Gの要素技術とは要するに、サイバーフィジカルワールドをつなぐ遍在するインテリジェント通信というビジョンを裏打ちするのに必要なすべての機能を備えたシームレスで単一のシステムを構成するものです。将来のネットワークは、信頼できるシステム基盤と認知機能を内蔵した効率のよいコンピュータファブリックにより、未来のアプリケーションとサービスに制約の無い接続性を提供します。これにより6Gは、イノベーションに必要な幅広いプラットフォームとして、社会の情報バックボーンとなります。



6G の技術要素

ネットワーク適応性

ネットワークの適応性を高めることによって、多くの重要な効率化を図ることができます。これは導入コスト、消費電力、ネットワークの開発と拡張、管理と運用に関連します。

動的ネットワーク展開

動的ネットワークの展開を確実に行うメカニズムは、将来の大容量でレジリエンスのあるネットワークをコスト効率高く展開する鍵となります。これにより通信事業者は、新たな事業機会やユースケースに対してより機敏に対応できるようになります。従来の通信事業者が配備したネットワークのノードを、補完的なアドホックネットワーク、一時的ネットワーク、ユーザー所有のネットワーク、モバイルネットワーク、非地上系のネットワークのノードとシームレスに統合することが重要な課題です。

マルチホップ通信の実現は、IAB (Integrated Access Backhauling) によって 5G ですでに部分的に導入されていますが、このような動的ネットワークの展開を可能にする重要な構成要素となります。これはさらに進化し、低コストと高い柔軟性を備えたシームレスなマルチホップ無線接続を確実に実現することが期待されます。これによりデバイスへの無線アクセスリンクとネットワークノード間の無線バックホールリンクの違いも部分的に解消され、無線接続に対する統一されたフレームワークが形成されます。

将来のすべての導入シナリオに共通して、要求の厳しい 6G ユースケースや、分散型 RAN (Radio Access Network) と集中型/クラウド RAN の混在などの新しい導入オプションをサポートするために、柔軟性、拡張性、信頼性に優れた伝送ネットワークが必要です。この実現には、ソフトウェア定義、ヘテロジニアスネットワーク上でのマルチサービスの抽象化/仮想化、伝送ネットワークの柔軟性と管理性を維持するための閉ループ自動制御を可能にする、AI を活用したプログラマビリティが必要となります。

デバイスとネットワークのプログラマビリティ

旧世代のセルラーネットワークは、ネットワーク構成によって決まる明確に規定されたデバイス挙動に依存していました。ここでの大きな制約は、新しい機能をレガシーデバイスに適用できないことで、開発の速度が制限されることです。

6G の技術要素

2022 年 2 月

ハードコードされたデバイスの動作を、たとえば様々な API (Application Programming Interface) で定義するなど、よりプログラマブルな環境に置くことで、デバイスの動作をよりプログラマブルにすれば、デバイスの寿命を延ばし、より高度なネットワーク機能をサポートできるようになります。こうしてネットワークとデバイスの両方を根本的に変更して、新しい機能(事業者による AI モデルのデバイスとネットワーク双方へのダウンロード、ネットワーク性能全体の最適化、特定のバーティカルユースケースを対象としたデバイス動作のカスタマイズなど)を有効にできるため、結果的にネットワークのプログラマビリティが高まります。また、機能開発の迅速化と市場投入時間の短縮、バグ修正の迅速化、DevOps タイプの運用促進につながる可能性があります。

ネットワークの単純化と RAN/CN を通した最適化

ネットワークが社会にとってより不可欠なものになることが想定される中、より高い可用性と耐障害性が求められています。しかし長年の間にネットワークは複雑化し、機能もより豊富になってきました。多種多様な機能をサポートし、場合によっては同様の(または同一の)問題に対応する複数のネットワークコンポーネントが生まれています。将来はノード中心型が減少し、RAN と CN (Core Network) の両方で共通のプラットフォーム上での展開が増えるでしょう。これにより、RAN がアイドル状態のデバイスのデータストアの役割を CN に依存するといった、機能重複する根拠の一部がなくなります。その結果、今日の RAN と CN の機能分離の背景にあるアーキテクチャーの前提条件を再確認することが重要になります。

最適な RAN 及び CN の機能とインタフェースのセットを選択する際には、最適な性能、ユースケース、展開の汎用性をサポートすると同時に、開発やネットワーク運用の労力を管理可能なレベルに抑える賢明な選択が求められます。システムの複雑性を最小限に抑え、アジャイルな開発と堅牢で耐障害性を備えたネットワークを確保しつつネットワークとエコシステムのオープン性を維持するには、マルチベンダーインタフェースのセットを慎重に選択する必要があります。

エンドツーエンドの接続性強化

将来のアプリケーションでは、優れた接続性を活かし、必要な帯域幅、挙動、耐障害性その他の要件を満たす必要があります。ネットワーク機能をエンドツーエンドでサポートし、アプリケーションとインターネット技術の進化に対応できなくてはなりません。これは、例えばアプリケーションとネットワークの協働、耐障害性メカニズム、エンドツーエンドの伝送プロトコルの進化、遅延への対応方法などに関わる課題です。

ネットワーク協働

アプリケーションとネットワークが協働することで、最適なネットワークサービスが提供できます。通信の保護に対するニーズが高まっていることから、あらゆる協働において利益を得る両当事者が明示的に合意する必要があります。

6G の技術要素

2022 年 2 月

耐障害性

ネットワークの耐障害性についてはさまざまな観点から対処する必要があります。接続性とエンドツーエンドの通信の両方で耐障害性を必要とするアプリケーションをサポートすることが求められます。また耐障害性があり、商用レベルの監視に耐えるインターネットインフラが利用可能でなくてはなりません。分散アーキテクチャーは、すべての情報（およびすべてのリスク）が少数の機器間で一元管理されないことを保証します。

進化したプロトコル

ウェブと伝送プロトコルの最近の急速な進化により、インターネットプロトコルスタックの変更が容易になりました（たとえば OS のカーネルに影響を与えずに伝送プロトコルを更新できるようになりました）。同時に、将来の通信においては、より多くのマルチアクセス技術やより厳しい要件を伴うアプリケーションが導入されると予想されています。今は、モバイルネットワークにおけるマルチパス通信、耐障害性、輻輳制御をより効率的に処理できるソリューションを構築する好機です。

予測可能な遅延

経験的に、より厳しい遅延要件を持つ（初期の）ユースケースの多くには、許容できる最大遅延が設定されます。遅延が予測可能となれば追加のユースケースを試験する機会が生まれ、また分散型の展開モデルと集中型の展開モデルの両方がサポートされます。

極度の性能とカバレッジ

将来の無線アクセスソリューションでは、将来の需要に応じたサービスを許容可能なコストで実現するために、さまざまな機能面と関連シナリオにおいて、真に極度の性能を提供できなければなりません。これには例えば、必要に応じた極度のデータ速度と遅延性能、多数のユーザーにサービスを提供できる極度のシステム容量、真にグローバルな無線アクセスカバレッジなどが含まれます。コスト効率高く極度のシステム容量を高密度に展開する鍵は、パケットフロントホール、そしてリレーおよびメッシュネットワークなどの新しい無線伝送技術、自由空間光通信、アクセスとバックホールの統合強化を導入することです。

スペクトル

スペクトルは無線接続に不可欠なリソースであり、今後も必要であることは明らかです。さらなる広帯域スペクトルへのアクセスおよび既存の帯域の効率的な利用は非常に重要であり、ライセンス帯域とアンライセンス帯域の両方が重要です。

低い周波数帯（約 6GHz まで）は現在 4G および 5G で使用されており、6G 時代においても、特に 6G サービスのための広域カバレッジを提供するために引き続き重要となります。新たな 6GHz 以下の周波数帯の割当てはほとんど期待されないため、6G の無線アクセス技術において、前の世代で使用されて

6G の技術要素

2022 年 2 月

いる低周波数帯を共用できることが不可欠です。24GHz～52GHz のミリ波帯は 5G により開拓され、まもなく 100GHz まで拡張される可能性が高く、必然的に 6G でも使われるでしょう。

7GHz～24GHz の範囲は現在、セルラー通信以外の目的に使用されていますが、高度な共用メカニズムを展開することで 6G に活用できます。100GHz 以上では、比較的大きな帯域を使える可能性がありますが、非常に困難な伝搬条件を考えると、高密度のネットワーク展開条件で極端なトラフィック容量やデータレートを必要とする非常に特殊なシナリオが主な対象と考えられます。

非地上系アクセス

従来の地上波アクセスを非地上系（NT：Non-Terrestrial）アクセスコンポーネントも含むように拡張することは、将来の無線接続において真のグローバルカバレッジを実現する手段です。そのような補間的な NT アクセスコンポーネントは、たとえばドローン、HAPS（High Altitude Platform Station）、および／または低軌道（LEO：Low Earth Orbit）衛星などの異なる手段によって提供される可能性があります。地上波ネットワークの拡張として、これらのモバイル NT ノードは無線アクセスソリューション全体の一部として統合され、どのような場所でもシームレスなカバレッジを提供することになるでしょう。

マルチ接続と分散 MIMO

無線接続における堅牢性と性能を強化し、より一貫した品質を保証するために、マルチポイント接続が将来一般的になることが予想されています。現在すでにマルチ無線、デュアルコネクティビティ、マルチポイント伝送などの技術が 5G で利用可能になっていますが、今後さらに拡大することが予想されます。この拡張には、例えば物理層での大規模なマルチ接続が考えられ、この場合デバイスは、(分散 MIMO として知られる)緊密に調整された多数のネットワーク送信点へ同時に物理リンクを設定することになります。もう一つの可能性として、マルチ RAT（Radio Access Technology）接続があります。マルチ RAT 接続では、一つのデバイスが異なる無線アクセス技術を使用してネットワークに同時接続することで、堅牢性を向上させたり、より最適な方法でさまざまな同時サービスを提供します。

あらゆる場所に埋め込まれたデバイス

将来のサービスでは、あらゆる場所であらゆるものに接続する必要があります。6G ネットワークにより、何兆もの埋め込み可能なデバイスをサポートでき、信頼性の高い接続をいつでも利用できるようになります。

ゼロエネルギーデバイス

今日の大規模マシンタイプ通信では、毎秒最大数百キロビットのデータレートで、遠隔でのメーター読み取りなどのアプリケーションに対応しています。電池の寿命は最長で 10 年に達しますが、電池の交換や充電の必要性は、これらのデバイス利用の制約になっています。デバイスのエネルギーを周囲の光、振動、温度差、場合によっては電波から得るエネルギーハーベスティングにより、電池交換や充電を必要としないデバイスが実現される可能性があります。しかし供給可能なエネルギー量は一般的に非常に少ないため、極度にエネルギー効率の高い通信プロトコルを開発する必要があります。利用可能なエネ

6Gの技術要素

2022年2月

ルギー量が非常に少ないため、送信できる情報量は少なく、多くの場合、1時間に数バイト程度しか送信できません。しかしアセット追跡などの用途には十分対応できます。無線ベースの技術では直接見えないアイテムとの通信が容易になり、バーコードの光学読み取りなどの現在のソリューションよりも魅力的な選択肢です。

没入型インタラクションデバイス

将来的には、スマートグローブやスキンセンサーなどのオンボディデバイスの助けを借りて、ユーザーがデジタル世界と自然にやりとりできる、より没入的な体験が実現されます。ユーザーは仮想オブジェクトを操作することになりますが、仮想オブジェクトは、仮想ドリンクに仮想の氷を落とす場合のように、正確な位置決めを必要とすることがよくあります。ユーザーがあらゆる感覚で仮想オブジェクトの更新をリアルタイムに体験できるためには、ミリ秒以下の待ち時間が必要になります。脳・コンピュータインタフェース（BCI：Brain-Computer Interface）デバイスは、ネットワークでレンダリングされた仮想オブジェクトに適應するユーザーの意図を捕捉し、安全に共有することによって、体験をさらに改善できます。ネットワークはまた、このようなオブジェクトと、聴覚や触覚その他の視覚以外の感覚刺激との同期を支援します。さらに、脆弱なユーザーを不適切なコンテンツや接触から保護するためのユーザーIDの検証など、信頼性の面にも配慮する必要があります。

コグニティブネットワーク

将来のネットワークを実現し、コストと複雑さを急増させることなく多数の汎用性のあるサービスを運用するためには、ネットワークインテリジェンスのレベルを上げなければなりません。その結果実現されるコグニティブネットワークにより、エネルギー効率の改善、性能の最適化、サービス可用性の保証が可能になります。これには二つの方法が考えられます。一つは、従来のアルゴリズムでは実現が困難なAIおよび機械学習（ML：Machine Learning）による最適化、もう一つはAIによる機械推論（MR：Machine Reasoning）で、運用システムを進化させ今日のシステム管理タスクの大部分を自動的に処理することです。

インテントベースの運用

人間は、インテントの形で運用目標を指定することによって、システムの動作を制御できるようになります。このインテントベースで自動化された運用には、ヒューマンマシンインタフェースにおける高度な抽象化と、そのような目標を解釈し推論するシステムの能力が必要です。抽象的な知識を理解し、MR技術を用いて既存の知識とデータセットから結論を導き出す必要があります。知識と経験は、人間と分析アルゴリズムの両方から収集され、共通の知識ベースに保存されます。コグニティブネットワークがこれらのさまざまな要素を使うことで、異なる状況を理解し、適切な是正措置を特定し、特定した措置をネットワークで実施するための最善な行動手順を計画します。

6G の技術要素

2022 年 2 月

自律システム

このようなアプローチは、システムがますます自律的になることも示しています。コグニティブシステムは、常に以前の行動を観察・学習し、その環境に適応するネイティブ機能を必要とします。運用とサービス性能から得られた知見は、短周期またはほぼリアルタイムでフィードバックされ、構成、プロセス、ソフトウェアの更新に利用されます。ネットワークロジック内でアルゴリズムが継続的に改善され、物理的な場所と論理的な機能にまたがって分散した処理判断が行えるようになります。この継続的な最適化により、現在のシステムよりもはるかに動的なシステムになります。地理的に分散したネットワーク全体で、インテリジェンスをさまざまな形態で利用できるようになります。

説明可能で信頼される AI

自律システムは、人間に信頼されて初めて成功できます。これにはいくつかの側面があります。第一に、システムはその動作と、なぜ現在の状態になったのかを説明できなくてはなりません。第二に、インテリジェントなシステムは、さまざまな妨害や攻撃に対しても技術的に堅牢であり、社会環境に配慮し、正しい原則と価値観を尊重して倫理的に動作し、適用されるすべての法制度[5]を遵守できなくてはなりません。そして第三に、必要に応じて人間が関与できるシステムでなければなりません。

データ駆動型アーキテクチャー

インテリジェンスとは、事実またはデータに基づいて意思決定を行うことであり、より多くのデータが利用可能になれば、より良い意思決定ができます。データ駆動型のアーキテクチャーは、意思決定を行う AI アルゴリズムの基盤だと言えます。このような基盤は、通信事業者内部のネットワークと外部のデータソースからのデータを、その利用者に適した形式で移動、格納、処理、視覚化、公開するデータパイプラインをサポートします。

ネットワークコンピュートファブリック

6G はあらゆる物理的なモノをコンピューティングの領域にもたらしめます。コネクタとしてだけでなく、シンプルな端末から複雑で性能重視のロボット制御システム、拡張現実アプリケーションに至るまで、物理システムのコントローラーとして機能し、ネットワークコンピュートファブリック内で通信と絡み合ったコンピューティングを提供し、高い効率と信頼性を実現します[6]。

通信事業者は、仮想化が進むネットワークにコンピューティングとストレージを統合して、アプリケーションに最大の性能、信頼性、低ジッタ、ミリ秒の遅延を提供することで、資産を活用できます。ネットワークコンピュートファブリックはこのように、アプリケーションのホスティング、シームレスなタスクの移植性、コンピューティングの抽象化を備え、広範でグローバルに相互接続された柔軟で堅牢なプラットフォームを、多様な顧客セグメントと産業に提供し、接続性を超えたツールとサービスを実現します。

6G の技術要素

2022 年 2 月

エコシステムイネーブラー

このようなシステムは、一つのグローバルに連携したエコシステムの中で、幅広い関係者が協力しなければ実現できません。ネットワークやクラウド事業者、アプリケーション開発者、サービスプロバイダー、デバイスや機器のベンダーはすべて、それぞれ果たすべき役割を持っています。プレーヤー間のインタラクションの多くはソフトウェアで行われます。販売、配送、課金業務をサポートする自動契約交渉と成約を特長とする、ブローカー抜きのマーケットプレイス技術がエコシステムの拡大を助けます。エコシステムのパートナーシップは、様々な関係者からのサービスを統合するという技術的課題にも対応します。効率的なパートナー関係の構築は、相互運用性を確保する標準、またはパートナー関係の処理を自動化する技術によって促進できます。エコシステムにおける適切なレベルの整合性は、イノベーションだけでなくスケーラビリティを支える上でも重要です。

高信頼コンピューティング

新進のユースケースでは、低遅延、高スループット、高信頼性、スケーラビリティなどの厳しいリアルタイム特性の組み合わせが必要になります。6G プラットフォームは、こうしたエンドツーエンドの性能要件を満たすために必要なコンピューティング機能により、確定的で信頼性の高い接続ソリューションを補完するものとなるでしょう。ネットワークは、ネットワークコンピュートファブリックを通じて、統一されたインタフェースを提供します。これにより、クリティカルなアプリケーションタスクのための信頼性の高いリアルタイム特性を備えた統合コンピューティングスタックへ、分散型アプリケーションを容易に展開できます。たとえば開発者は、エネルギー効率に優れたハードウェアアクセラレーション技術や、リアルタイム運用に最適化された OS とプラットフォームコンポーネントから構成されたネットワーク内コンピューティングサービスにアクセスできるようになります。

統合され融通性の高いコンピューティング

物理世界と連動するために開発されたアプリケーションは、展開の柔軟性を高める必要があります。たとえばミッションクリティカルなプロセスの閉ループ制御や大量データのインテリジェントな集積などを、センサーやアクチュエーターといったデータソースやデータ利用に近い場所に配置する、高度に分散された設計はアプリケーションにメリットがあります。さらにデバイス、ネットワークコンピュート、中央クラウド間で処理を巧みに分割することで、電力が限られた非常に軽量のデバイス上で、よりリッチなアプリケーションを実現できます。これはコンピューティングにいくつかの新しい課題をもたらします。ユーザーの移動や障害発生時にアプリケーションの要件を満たすためには、ソフトウェアを組み合わせて、配置し、実行する新しい方法が必要です。

たとえば動的な計算処理のオフロード、つまりデバイスのアプリケーションから分離したアプリケーションタスクをネットワークに組み込まれたコンピューティング機能に移行するためには、軽量でポータブルなランタイム技術に基づく統合された実行環境、安全なタスク実行のためのハードウェア強制分離、開発者に優しいエクスポージャーとインタフェースが有用です。結果的に中央クラウドからネットワークエッジとデバイスに至るファブリック全体で、アプリケーションをシームレスに展開できます。これにより 6G は、真のイノベーションプラットフォームとなるでしょう。

6G の技術要素

2022 年 2 月

信頼できるシステム

攻撃や予期しない障害に耐え、それを検出し、対応し、復旧する能力は、信頼できるシステムを設計する上で不可欠です。信頼できるシステムは、コンフィデンシャルコンピューティングソリューション、セキュリティで保護された ID とプロトコル、サービスの可用性、セキュリティの保証と防御の四つの重要な要素から構成されます。

AI は、将来の技術進化やセキュリティに大きな影響を与え、これら四つの分野すべてで役立つことが期待されています。同時に AI コンポーネントの信頼性も重要です。

コンフィデンシャルコンピューティング

今日のシステムでは、転送中のデータは強力に保護されていますが、処理中や保存中のデータの保護は不十分です。処理中や保存中のデータを保護するために、コンフィデンシャルコンピューティングは強力な仕組みになりつつあります。クラウドコンピューティングでは、クラウド事業者が改ざんできないよう、ペイロードの処理をハードウェアベースで分離します。また遠隔クラウドユーザーは、ペイロードを保存する隔離された環境を検証可能で、検証と証明の手順はコンピューティングハードウェア自体が実行するため、ハードウェアを所有するクラウド事業者によるバイパスを防げます。RoT (Root-of-Trust) メカニズムの一部が、これらのコンフィデンシャルコンピューティング機能の基盤となっています。

コンフィデンシャルコンピューティングには、ネットワークスライスのセキュリティを強化できる可能性もあります。転送中のデータの保護メカニズムとコンフィデンシャルコンピューティング技術を組み合わせることで、各々のネットワークスライスを暗号的に分離し、処理中または保存中のデータを保護できます。セキュリティ保護された ID とプロトコルの実現は、インフラ、接続、デバイス、エッジ、ネットワークスライス機能に対する信頼できる ID の確立に依存します。これは物理コンポーネント、ソフトウェア機能、インタフェースごとに確立された ID の RoT メカニズムによって実現されます。最終的には、配備されたすべてのソフトウェアにプライバシーを提供し、不正アクセスからデータを保護するシステムを構築するのが目標です。

サービスの可用性

サービスの高い可用性は、ネットワーク全体の信頼性と耐障害性の向上に細心の注意を払うことで実現できます。無線リンクは、可用性の要件を満たす上で重要な要素です。無線の耐障害性は、適切な容量のプロビジョニング、カバレッジの冗長性、接続の多様化とメディアアクセス制御の適用で改善できます。RAN、伝送系、コア全体にわたるクリティカルなサービスへのリソースのプロビジョニングは、企業向けシナリオその他の重要な制御機能においてリアルタイムに近い期限を満たすために、さまざまなグレードのサービスとサービス保証を実現するように設計できます。

可用性のもう一つの側面として、通信システムのすべての部分からのデータを分析し集約することによる、自動回復メカニズムの構築があります。性能の見える化を向上させる分散型・階層的アプローチにおいては、リアルタイムで要件を満たしていることを検証するための中間的な分析を行えるよう設計す

6G の技術要素

2022 年 2 月

る必要があります。さらに、AI はサービス可用性をエンドツーエンドで検証するために、データ駆動型の観測機能を統合する役割を果たします。また AI に基づくリアルタイム分析は、トラフィック負荷や無線環境の動的な変化に対するネットワークの耐障害性を向上させる機能を提供します。これはさまざまなネットワークスライスのニーズに関わる性能の信頼性をさらに保証するものとなります。

セキュリティ保証

今日、セキュリティ保証と認証は大きく注目されています。たとえば 2019 年に採択された EU サイバーセキュリティ法は、サイバーセキュリティ認証における EU の枠組みを確立し、欧州におけるデジタル製品やサービスのサイバーセキュリティを強化しています。現在の最新のセキュリティ保証スキーム（GSMA NESAS など）は、製品の特定のバージョンにセキュリティ保証を提供するための優れたツールです。しかし、いくつかの分野はさらに発展させる必要があります。仮想化とクラウドコンピューティング、継続的インテグレーションと継続的デリバリープロセス、AI の強化に目を向ける必要があります。ここで考慮すべき重要な点は、セキュリティという言葉には、今日のセキュリティ保証スキームが着目している製品セキュリティよりもはるかに広い側面があるということです。将来的には、運用中のネットワークを含め、システムのあらゆる側面により深く配慮するよう、スキームを修正する必要があります。セキュリティ保証スキームを作成する際には、すべての利害関係者に受け入れられる明確な要件とプロセスを確立することが重要です。これはグローバル標準と整合を取って実現されることが望ましいでしょう。

結論

2022年2月

結論

2030年を展望すると、5Gによってトランスフォーメーションが始まり、イネーブラ技術の進歩によって増大する社会の期待が加速し、人々の生活を向上させる新しいサービスやユースケースが発展し、将来の通信と革新的なテクノロジーへのニーズが高まっています。

6G時代に必要となる能力の目標を策定するための開発と、2030年のネットワークプラットフォームの一部となり得る有望な技術要素の広範な研究が進んでいます。このトランスフォーメーションの鍵となる要素は、卓越した無線アクセス性能、ネットワークの適応性、グローバルかつ広範な展開です。6Gは単なる接続性を超え、インテリジェンス、コンピュート、空間データを処理する信頼できるプラットフォームとなり、イノベーションを促し、社会の情報バックボーンとして機能するものでなくてはなりません。

今は、2030年のニーズに応える機能強化を目的として、ネットワークプラットフォームにおける6G技術の先端的な研究に取り組むのに適切な時期です。Hexa-Xプロジェクト[7]やNext G Alliance[8]のような研究協力を通じて、すでにサイバーフィジカルワールドと無限の接続性を実現するための技術高度化とシステム設計が進められています。将来のネットワークへの取り組みは、当然ながら5G Advancedで進化し続けている5Gをベースに行われるべきであり、学术界や他産業のパートナーと連携し、将来的には地域的な取り組みを超えてグローバルに歩調を合わせた方向を目指すべきでしょう。

参考文献

2022年2月

参考文献

1. Five network trends towards the 6G era, <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/ericsson-technology-review/articles/technology-trends-2021>
2. UN Sustainability Development Goals <http://www.undp.org/content/undp/en/home/sustainable-development-goals.html>
3. Internet of Senses report <http://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/consumerlab/reports/10-hot-consumer-trends-2030>
4. Exponential Roadmap exponentialroadmap.org/
5. Trustworthy AI ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/ethics-guidelines-trustworthy-ai
6. The network compute fabric, Ericsson Technology Review <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/ericsson-technology-review/articles/network-compute-fabric>
7. Hexa-X project hexa-x.eu
8. Next G Alliance nextgalliance.org

著者

2022年2月

著者



グスタフ・ヴィクストロム (Gustav Wikström) は、エリクソンリサーチのネットワーク部門リサーチリーダーとして次世代ネットワーク研究を推進。物理学の博士研究員として研究に取り組み、2011年にエリクソン入社、WLAN、4G、5Gの標準化、コンセプト開発、性能評価を担当。現在は6Gのビジョン、ユースケース、サービスに注力。



パトリック・パーション (Patrik Persson) は2007年以来エリクソンリサーチ所属、現在6Gプログラムのマネージャー・ディレクター。6Gのビジョンとコンセプトの研究活動推進に注力する前は、高度アンテナシステムのコンセプト開発、3GPP RAN標準化(4Gおよび5G)、LTEの独自進化など、さまざまな分野に従事。スウェーデン・ストックホルムの王立工科大学(KTH)で電気工学博士号(2002年)と大学講師資格(2011年)を取得。

著者

2022年2月



ステファン・パークヴァル (Stefan Parkvall) は 1999 年エリクソンに入社、現在 6G および将来の無線アクセスに取り組むシニアエキスパート。HSPA、LTE、NR 無線アクセス開発のキーパーソンの 1 人、長年にわたり 3GPP の標準化に深く関与。IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) のフェローであり、『4G – LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband』や『5G NR – The Next Generation Wireless Access』などの書籍の共著者。移动通信分野で 1,500 件を超える特許を取得、スウェーデン・ストックホルムの KTH で電気工学博士号を取得。



グンナー・ミルド (Gunnar Mildh) は、エリクソンリサーチ無線ネットワークアーキテクチャーのシニアエキスパート。2000 年にスウェーデン・ストックホルムの KTH で電気工学修士号取得、その後エリクソンリサーチで GSM/EDGE、HSPA、LTE、5G NR の標準化とコンセプト開発を担当。

著者

2022年2月



エリック・ダールマン (Erik Dahlman) は 1993 年エリクソン入社、現在エリクソンリサーチ無線アクセス技術のシニアエキスパート。初期の 3G から 4G LTE、そして主に 5G NR における無線アクセス技術の開発に従事。現在は 5G の進化と、Beyond 5G 無線アクセス技術に注力。書籍『3G Evolution – HSPA and LTE for Mobile Broadband』、『4G – LTE and LTE-Advanced for mobile broadband』、『4G – LTE-Advanced Pro and the Road to 5G』、最近では『5G NR – the Next Generation Wireless Access Technology』の共著者。スウェーデン・ストックホルムの KTH で電気通信博士号を取得。



ビピン・バラクリシュナン (Bipin Balakrishnan) はエリクソンリサーチ主任研究員、未来のデバイス技術に注力。スウェーデン・ストックホルムの KTH で電気工学修士号取得。2008 年に卒業後、モバイルデバイスのシステムアーキテクチャーとコンセプト開発に従事。また、モバイルデバイスの標準化団体である MIPI アライアンスのリーダー。2019 年にエリクソン入社。

著者

2022年2月



ピーター・オーレン (Peter Öhlén) はエリクソンリサーチのネットワーク部門主席研究員で、伝送ネットワーク、無線、クラウドなど、さまざまなテクノロジー分野にわたるサービスとネットワークの自動化に注力。効率的なフレームワーク、関連データのエクスポージャー、スマートアルゴリズムの適用による完全な自動化の実現が目標。現時点で有効な解決策がない問題に AI を適用するタイミングと方法を理解することが重要だと認識。2005年エリクソン入社、固定無線ネットワークに関わるさまざまな技術分野の研究に従事。スウェーデン・ストックホルムの KTH で光工学の博士号取得。



エルマー・トロヤー (Elmar Trojer) は、エリクソンリサーチのネットワーク部門リサーチリーダーで、現在 5G および 6G 無線ネットワーク用のスプリット RAN アーキテクチャーとフロントホールトランスポートソリューションの研究に注力。電気工学博士号と MBA を持ち、固定アクセス、スモールセル、4G および 5G バックホール、フロントホール、LLS (Lower-Layer Split) の研究経験。

著者

2022年2月



ヨーラン・ルネ (GöranRune) は、2014年以來エリクソンリサーチでシステムおよびネットワークアーキテクチャーの主席研究員。リンショーピン大学技術研究所から1986年応用物理学および電気工学の修士号取得、1989年固体物理学の上級修士号取得。1989年エリクソン入社以来、コアネットワークと無線ネットワークのアーキテクチャーシステム設計、GSM、PDC、WCDMA、HSPA、LTE、5G コアネットワークなど、ほとんどのデジタルセルラー標準のコンセプト開発と標準化に従事。



ヤリ・アルコ (Jari Arkko) は、エリクソンリサーチのインターネットアーキテクチャーのシニアエキスパート。ソフトウェア開発、ルーター、セキュリティ、モバイルネットワーク、インターネット技術の研究に従事。IETF (Internet Engineering Task Force) の議長も経験。

著者

2022年2月



ゾルタン・トゥラーニ (Zoltán Turányi) は、クラウド研究領域における制御アーキテクチャーのエキスパート。現在の興味は、クラウドネイティブで使いやすいモバイルアーキテクチャー、FaaS (Function as a Service)、クラウド実行環境。コンピュータ科学の理学修士号取得後、1996年エリクソン入社。過去には、IP QoS とモビリティ、モバイルコアネットワークアーキテクチャー、SDN (Software-Defined Networking) などに注力。



ディナンド・ローランド (Dinand Roeland) は、エリクソンリサーチの主席研究員。現在は、自律的なコグニティブネットワークの実現を目指し、エンドツーエンドネットワークアーキテクチャーに AI 技術を導入する研究に従事。エリクソン入社以来、製品開発、コンセプト開発、プロトタイピング、標準化など、さまざまな技術分野でリーダーシップを発揮。コンピュータアーキテクチャーとインテリジェントシステム分野で、オランダフローニンゲン大学から優秀な成績で理学修士号を取得。

著者

2022年2月



ベンクト・サーリン (Bengt Sahlin) は、フィンランドのエリクソンリサーチ NomadicLab のセキュリティグループリーダー。2000年エリクソン入社、当初はモバイルシステムのセキュリティと製品のセキュリティ分野に従事。標準化で3GPP、ETSI、GSMA、IETF参加。2010年から2013年まで、3GPPセキュリティワーキンググループ (TSG SA WG3) の議長。



ヴォルフガング・ヨーン (Wolfgang John) は、エリクソンリサーチのネットワークコンピュータコンバージェンスの主席研究員。現在、通信とITのアプリケーションにおけるエッジと分散クラウドコンピューティングのコンセプトの研究に注力。スウェーデンチャルマーズ大学でコンピュータエンジニアリング博士号取得。2011年エリクソン入社以来、ネットワーク管理、ソフトウェア定義ネットワーク、ネットワーク機能の仮想化に関する研究にも従事、推進。

著者

2022年2月



ヨアキム・ハレーン (Joacim Halen) はエリクソンリサーチの分散クラウドソフトウェア設計のエキスパート。スウェーデン KTH で工学物理学修士号取得、1997 年エリクソン入社。ソフトウェアアーキテクチャーや、あらゆる種類とレベルのシステムのプロトタイプ開発に従事。過去 10 年間はクラウド技術に注力。



ホーカン・ビョルケグレン (Håkan Björkegren) は、1995 年からスウェーデンエリクソンリサーチに勤務している主席研究員、無線システムのエアインタフェースと無線プロトコルの設計に注力。スウェーデンレオ工科大学で信号処理研究で博士号取得。現在、6G 用のさまざまなエアインタフェースのコンセプト設計と評価に従事。