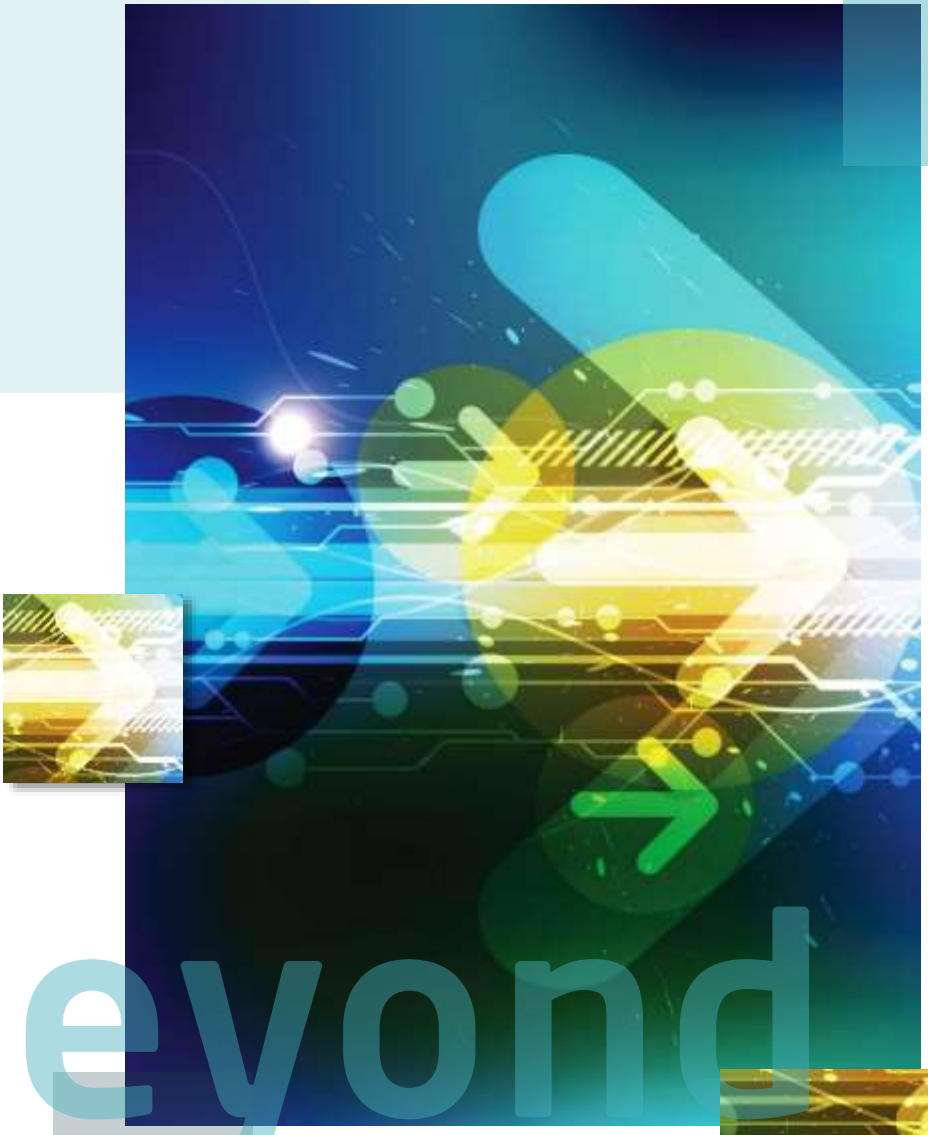
Orchestrating a brighter world

NEC

Beyond 5Gビジョン
ホワイトペーパー



Beyond 5G

© NEC Corporation 2020

© NEC Corporation 2020

概要

本ホワイトペーパーは、2030年前後の将来社会に向けて、通信とそれを取り巻く技術が今後どのように進化するか、それに対してNECがどのような役割を担うかについて現時点の議論をまとめ、広く皆様と共有させていただくものです。

2020年現在、5Gサービスが開始され利活用拡大への期待が高まっています。またCOVID-19の出現は対面から非接触へと生活や社会へ大きな変化を促し、これまで以上に通信技術の果たす役割が深化するきっかけとなりました。そのような中でNECは『誰もが人間性を十分に発揮できる持続可能な社会の実現』に向けた価値創造を掲げています。例えば、実世界と仮想世界とをシームレスに行き来する事で、人と人とが（あるいは人とAIとが）リアルな実在感をもって共感しあうなど、新たなコミュニケーション体験が実現し、物理的制約から解放される事で、いわば超能力を得たように「人間・空間・時間」を超え、生活者の求める多様な価値観に沿う暮らし方が実現する社会の到来を考えています。

このような未来を支える新たなコミュニケーションを実現するため、プライバシーを確保した上で、実世界で起きる様々な事象や生活の営み、それが意味するコンテキストや人々の感情など、今まではデータ化されていなかったあらゆるものからデータを取り出し、生活者の安全性を確保した上で、有機的に活用・流通する枠組みや、リアルタイムに遠隔から実世界を認識・制御する技術を実現します。そのためには、通信の高性能化に留まらず、実世界から発生する巨大なデータをリアルタイムに解析・アーカイブし活用する必要があります。

そこで我々はBeyond 5Gを、5G無線技術の性能が飛躍的に進化した側面に加えて、巨大な様々なデータをリアルタイムに処理し活用する技術・製品群と通信インフラが融合した社会システムが実装された社会像として位置付けます。その上で、このようなBeyond 5G時代の社会を実現するために今後注力すべき技術領域について概説します。

NECは上記技術を核としつつ「顔認証」に代表される世界トップ級の技術、ネットワークから産業向けITソリューションに至る幅広い機器やソフトウエア、システム構築・運用やそのノウハウ提供、ネットワークを軸に人やモノが生み出すデータを産業の枠を越えてつなぐ「NEC Smart Connectivity」などのサービスを通じて、産官学のパートナーやお客様との共創による“オープンな協働”を更に加速します。

こうした新たな取組みを通じて、Beyond 5Gを中心にリデザインされる社会像における『安全・安心・公平・効率』という価値の創出を目指し、次世代の社会システムを模索し続ける事で、SDGsの実現に向けた持続可能な社会の実現に貢献してまいります。

また今後も、皆さま方との議論を継続し、本ホワイトペーパーで記載した2030年頃の社会像について考察を深めながら、ひとりひとりが輝く未来に向けて歩みを進めてまいります。

© NEC Corporation 2020

Index

Beyond 5G ビジョン ホワイトペーパー

概要 3

第1章　2030年前後の将来社会 5

1-1　はじめに 6

1-2　誰もが人間性を十分に発揮できる持続可能な社会へ 7

1-3　「人間・時間・空間」を超える”テレX社会” 8

第2章　Beyond 5Gビジョン 12

2-1　テレコミュニケーションと通信技術の進化 13

2-2　Beyond 5Gのスコープ 14

2-3　Beyond 5Gによる新しいテレコミュニケーション 15

第3章　重点技術領域 17

3-1　Beyond 5Gの2つの側面 19

3-2　技術進化の方向性 19

第4章　まとめ 21

4-1　Beyond 5Gの進化のモデル 22

4-2　NECの貢献 22

［付録］重点技術領域詳細 24

A.　無線通信/光通信技術 25

B.　無線/光センシング 26

C.　ネットワークの運用自動化/最適化 26

D.　分散データ処理基盤 28

E.　セキュリティ、トラスト、プライバシー 30

© NEC Corporation 2020

第 1 章

2030年前後の将来社会

© NEC Corporation 2020

1-1 はじめに

急速に発展するAIやIoTをはじめとしたデジタルテクノロジーを用いて、社会や経済、産業を変革する「デジタルトランスフォーメーション（以下DX）」が加速しています。このDXによる事業プロセスやビジネスモデルの変革には、5G（第5世代移動通信システム）などの通信技術が重要な役割を果たしています。5Gの特徴である超高速・大容量、超低遅延・高信頼、同時多接続、これに加えてローカル5Gの安全性、安定性、柔軟性という特徴を活かしたサービスとユースケースの模索がはじまり、企業や地域の課題解決に向けた多様なソリューションが検討されています。NECはこの5G／ローカル5Gを活用し、通信事業者および広範な領域のパートナーの皆様と共創活動を既に多方面で進めています。ネットワークを軸に人やモノが生み出すデータを産業の枠を越えてつなぐ「NEC Smart Connectivity」サービスを中心に、DXに留まらぬお客様との新たなビジネスモデルの創造、都市の在り方を一新する「スーパーシティ」を支える次世代の都市経営基盤の実現などを推進しています。さて、この先には一体どのような社会が実現されるのでしょうか。

本ホワイトペーパーでは5G時代と、2030年頃と予想されているBeyond 5G時代の発展形態を広く想定し、目指す社会像について現時点での考察を解説していきます。課題先進国として世界に先駆けて日本が直面した人口減少や地方創生などの問題、SDGsのような多くの国家が協力しながら取り組むグローバルな現在の課題が2030年頃にはどのような状態であるのか？　それら現在から延伸する諸課題に対して、ネットワーク事業を核としてNECはどのように取り組むべきでしょうか。

その解を見つけるために、NECはお客様や、新たな社会価値の創出を目指し協働する産学のパートナー、国や自治体等ステークホルダーの皆様との『オープンな共創関係』を深め、一丸となって新たな社会システムのデザインに取り組んでいます。『安全・安心・公平・効率』というNECが掲げる社会価値の創出を通じて実現する、誰もが人間性を十分に発揮できる持続可能な社会へどのように歩みを進めようとしているのか。 Beyond 5G時代において、NECが重要と考える技術基盤や開発要素の紹介と共にお伝えしていきます。

5G

5G（5th Generation）は、1G、2G、3G、4Gに続く国際電気通信連合が定める規定IMT-2020を満足する無線通信システム。国際電気通信連合 無線通信部門では、高速大容量 、低遅延、多数同時接続の3つを定義している。

ローカル5G

携帯通信事業者が展開する5Gサービスとは別に、企業や自治体等が局所的なネットワーク内という条件で構築できる無線通信システム。Wi-Fiでは対応できない大規模な工場内や屋外の通信もカバーでき、通信トラブルの影響を受けにくく、安全性、安定性、柔軟性という特長がある。

Beyond 5G

5Gの次の世代については、現在明確な定義はまだ存在せず、Beyond 5Gや、ポスト5G、6Gなどと呼ばれていますが、本ホワイトペーパーでは便宜的にBeyond 5Gと表記します。

© NEC Corporation 2020

1-2 誰もが人間性を十分に発揮できる持続可能な社会へ

デジタル技術が浸透した世界は、性別・年齢・人種・障がいの有無などの垣根はなくなります。物理的・時間的な距離を超え誰とでも繋がり、様々な価値感を反映した個人に最適化された暮らしや、多様な働き方が当たり前となります。仕事を通じた自己表現、時空間・言語・世代を超えた豊かなコミュニケーションと知恵の共有と共感を実現した「インクルーシブな社会」が到来するのです。そのような社会では、例えば、長期入院を迫られた子供や高齢者が、あたかも家族がそばにいるかのように対話でき社会的孤立が癒されるなど、今以上に多くの方が心理的な充足感をもつ日常が実現します。

インクルーシブな社会

「あらゆる人が孤立したり、排除されたりしないよう援護し、社会の構成員として包み、支え合う」という社会政策の理念を表す。

更には、全地球規模で収集された膨大な社会活動データや、人工衛星・宇宙ステーションより得られた地球観測データと、AIによる、地球温暖化・異常気象・森林破壊・海洋汚染・地殻変動など世界規模での事象認識が、政策や企業の事業活動へ継続的なインプットを行います。また地震・津波・浸水・土砂崩落・林野火災などの災害の予兆を捉え、空飛ぶクルマを始めとして、空や地中、海中へ３次元に広がった交通システムへ対応を促します。想定される被害地域では、3D化(AR/VR)技術により現実空間に浸水エリアを表示したり、分散化されたクラウド型遠隔医療システムが自律的に特定地域にリソースを集中させ救援に備えます。生活者はこのように、通信とその周辺技術が実現するBeyond 5Gによる社会インフラに支えられ、人間が本来持つ創造性をより発揮しやすくなります。これらを実現した、よりレジリエンスで持続可能な社会では、個人の生活と全体最適を両立させながらエネルギーや資源の消費が最小限に抑えられ、政府が表明した2050年までの温室効果ガスの排出実質ゼロを前倒しで達成することでしょう。身の回りの出来事から地球活動まで、ミクロからマクロに至る事象をリアルタイムに多岐に理解する事で、地球と人間の社会活動とのより良い調和を持続的に模索する枠組みが進化し、生活環境や多様な価値観を反映した暮らし方に向けて、都市やインフラがリデザインされます。それは、私たちが生態系の一員として、地球と持続的な関係を築き、生物多様性を維持した共生する世界なのです。

このような「インクルーシブな社会」を支える通信技術と周辺技術はどのようなものでしょうか。次節にて3つの「超える」をキーワードに解説します。

© NEC Corporation 2020

1-3 「人間・空間・時間」を超える”テレX社会”

“誰もが人間性を十分に発揮できる持続可能な社会”を目指す上で、コミュニケーションは社会を変える大きな力を持っていると信じています。過去、テレフォンや、テレビジョンは、”テレ”(遠くの)という接頭語が示す通り、空間の制約を超えて活動するための大きな力になりました。未来には、テレポーテーションや、テレキネシス、テレパシーなど、いわゆる超能力と呼ばれたものも、新しいコミュニケーションの形として実現されているでしょう。これらの”テレ”能力は、空間的な制約だけでなく、理解したり共感したり、感動させたり、物を動かしたりするような知覚/運動能力の制約も超える人間能力の拡張（Human Augmentation）とも言えます。また、未来を描き予測したり、過去に遡って分析、判断したりなど、時間的な制約も超えられます。

2030年前後以降の将来社会をこのように考えると、人間が生来持っている能力や可能性の限界を、Beyond 5 Gによって社会実装された「テレX」なサービスによって超えていく社会とも言えます。例えば、テレワークは単にオフィスワークを離れた場所でオンラインの対話を通じて行うというものでなく、離れていても同じ場所にいる空気感を感じながら、ノンバーバル含めた深いコミュニケーションを通じコワークしたり、触った感覚や匂いなどの五感情報を共有する“テレX“な能力に支えられた働き方として、より多くの人や業種に適応されるでしょう。そして、そのようなサービスがテレ家事、テレレジャー、テレ冒険などあらゆる生活シーンに広がります。このような能力を獲得するのは人間だけではありません。ロボットや車あるいはAIが作り上げた実存しないキャラクターも、このような能力を発揮して人と共存します。

つまりこれらは「人間を超える」「空間を超える」「時間を超える」ことができる未来と考えています（図1-1）。このような社会を実現するための新しいコミュニケーション像こそが、 Beyond 5Gの目標とするものだと考えています。

図1-1:「人間」「空間」「時間」を超える世界

© NEC Corporation 2020

「人間を超える」
人間の能力の限界や可能性が開放された社会

Beyond 5Gによりもたらされる未来、人間の能力の限界や可能性が解放された社会では、どのような生活体験が待っているのでしょうか？

例えば、世界中の人々と友だちになりたいとか、世界中の文献を読みたいと思っていても言語の壁がありました。その壁は今でも一定、払拭されましたが、言語や感覚器官を用いることなく、リアルタイムのmind-to-mindによる対話が実現し、概念／文化翻訳とも融合する事で、母国語や文化的背景などの制約に捉われず、高度にダイバーシティが実現された社会においても相互理解・共感が深まり、集団内の暗黙知含めた知恵が共有されるような社会が実現するかもしれません。

対象は人に留まらず、ペットや動物、ロボットや車ともシームレスな意思疎通が実現され、生活者の求める多様な価値観に沿うワクワクする暮らしが、個々にコーディネイトされた人間中心の社会の実現にひと役買うでしょう。

また、観光やスポーツ／コンサート観戦などオンサイトの活動は3D化(AR/VR)技術やサイバーフィジカルシステムの社会実装、質感や肌触り・味覚・匂いなどの五感を再現したinternet of sensesの出現と、大容量・低遅延・同時多重接続といった5Gの特性が更に進化した通信インフラの恩恵により、空間の制約を超えて瞬時に移動するテレポーテーション能力の獲得に繋がります。例えば、ラグジュラリー・ブランドのスタッフが離島のリゾートに瞬時に移動し、宿泊客は自室でお店と変わらぬ接客を受け、スキンケア用品やシャツ、ジュエリーの質感、肌触りなどを体感しながらショッピングを楽しみます。と同時にテレイグジスタンスにより自身のアバターロボットを通じて別の場所で開催されたバイオリン・コンサートに参加し、演奏で心癒された感覚を、代謝や心拍数や体温などの変化として受信し、よりリラックスした時を過ごすといった贅沢な休日を過ごせるかもしれません。

mind-to-mind通信

人の身体能力や知覚、認知能力をセンサーによって人の動きそのものをサイバー空間から別の場所にいる人に伝えたり、テレパシーのように、言葉や身ぶりによらず人の心を他人に伝えること。

テレイグジスタンス

遠隔地にいるロボットを自分のアバター（分身）として、現地にいるかのように、物を見たり、感じたり、動かしたりする技術。

© NEC Corporation 2020

「空間を超える」
宇宙空間から海上、リアルとバーチャルを越えて

Beyond 5Gの時代では、今までサービスが届いていなかったようなフロンティア領域が大きな舞台になってくるでしょう。それは、宇宙空間や海上を含む地球上の隅々へ広がります。宇宙では、宇宙ステーションや月面基地や火星基地も含まれるかもしれません。そのような世界の更にその先には、都市や地球そのものがテレイグジスタンスされ、火星基地に居住する人々が、サイバーフィジカルシステムを通じて東京やニューヨーク、シドニーなどの都市で過ごすといった、今まで以上にリアル空間と仮想空間との融合や一体化が進み、その社会システムの上に、さまざまなサービスが誕生します。

その世界では遠くにいる人（あるいはAIが作り上げた実在しないキャラクター）とリアルな実在感をもって共感しあうことができるようになるでしょう。そうなれば、人はコミュニケーション・認知の新たな形式を通じて、物理的な制約から解放され、その場にいなくてもよりその場に存在するような感覚で働いたり、学んだり、楽しんだりすることができます。自宅に居ながらにして、職場や学校に存在するような生活体験が得られたり、南極に行った後、火星から地球を見たりと、空間だけでなく、時間的にもエネルギー的にも、格段に効率的な活動ができるようになるのです。物理的な移動の必要性が下がることで、CO_2排出削減にもつながり、その結果として海面上昇、それにともなう居住地の消滅などが防げているかもしれません。

さらには、実在はしないさまざまな仮想世界を作り出し、その中で実世界さながらに活動することで、人は新しい自分の可能性にチャレンジすることもできるようになるでしょう。 進化しつづける未来に向けて、無限のフロンティアを手にする時代の幕開けとなる事を期待しています。

© NEC Corporation 2020

「時間を超える」
未来を知り、過去に遡ることができる世界

全地球規模でリアルタイムに収集された膨大なデータ張り巡らされたネットワーク、AI、XRを始めとした周辺技術の進歩により、今まで以上に正確に未来を予測したり、複雑な課題を解決できるでしょう。常に数十秒先の未来を予測し映すメガネをかければ、不慮の事故を劇的に減らすことができるでしょう。また、気象や海流などのデータ活用が進み、半年後～1年後の農水産物の収穫高と地域ごとのニーズの過不足などを正確に予測し、代替え食品会社や植物工場へ生産オーダーを調整する「未来からの警告」により、食料問題や飢餓問題への解決の糸口が見えてくるかもしれません。

膨大なデータを過去に遡り人々の感情も含めた経験を分析し得られた未来へのシナリオは、政策や企業の意思決定により大きな影響を及ぼすでしょう。

例えば、中世ヨーロッパを風景に留まらず、文化や生活習慣も含めて再現し、あたかもその時代、その場にいるように散歩し会話したり、物に触れたりすることもできるかもしれません。そこで行動した結果は枝分かれした新しい未来となり、それを仮想世界上で体験することもできるでしょう。

また、五感や感情の他者への伝達、mind-to-mindによる共体験などにより世代間の壁が払拭され、年長者から若年層へと知識や技術・ノウハウの継承が分断なく行われると共に、若い世代の感覚をシームレスに年長者へ共有するなど相互に学び合い、世代を超えた生活者同士の繋がりをデザインし、深い共感の醸成を促すのも、新たに獲得したチカラと言えるでしょう。

さてこれまで3つの視点で、NECが考える2030年頃の社会像を述べてきました。そう遠くない未来に、Beyond 5Gとそれを取り巻く技術によって「人間・空間・時間」を超えることができるようになるでしょう。
そのとき世界は“誰もが人間性を十分に発揮する持続可能な社会”にまた一歩、近づくことになるのです。

次章以降において、Beyond 5Gのスコープと想定される重要技術についてさらに詳細に述べていきます。

© NEC Corporation 2020

第 2 章

Beyond 5Gビジョン

© NEC Corporation 2020

2-1テレコミュニケーションと通信技術の進化

1章で述べた2030年頃の将来社会に向けて、新しいテレコミュニケーションを実現していく必要があります。以下では図2-1を用いて、テレコミュニケーションの進化と、それを支える技術の進化について述べていきます。

4G/LTE時代は人によるテレコミュニケーションが中心で、スマートフォンなどを用いて高速データ通信を利用していました。電話による1対1の音声通話から、複数者での同時映像通信が可能となり、さらにSNSにより全世界の人とその日の出来事を共有したり、共感を伝えることができるようになり、人のコミュニケーション範囲を拡大してきました。

5G時代には、人だけではなく今まで通信できなかったモノ（IoT端末）にも通信が広がっています。超高速大容量・超低遅延・同時多接続な通信インフラに支えられて、新たな価値の創造や、暮らしやビジネスをより良く変えていくDXが拡大します。

Beyond 5Gは、1章で述べた新しいテレコミュニケーションを実現していきます。人間・空間・時間を越えていくため、人の外面だけでなく内面や、身の回りから地球全体まで空間中に存在するあらゆるモノをAIによって分析・理解して瞬時にデジタルデータ化し、過去のデータ、リアルタイムなデータ、そして未来の予測データを自由に活用できるようにします。5G時代のIoTと比べてはるかに多くのデジタルデータを生み出すことになり、あたかもカンブリア大爆発の時代に生物が眼を獲得することによって飛躍的に進化したような社会の変化が期待されます。ここでBeyond 5Gは、これまで以上に人々の豊かな生活と社会の実現のためのエッセンシャルインフラとしての役割を担うようになります。

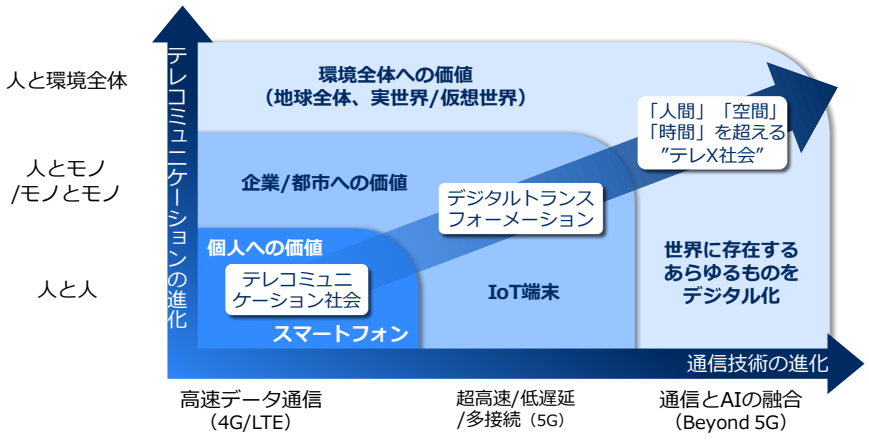


図2-1:テレコミュニケーションと通信技術の進化

4G/LTE

第4世代移動通信システム。LTEとは、Long Term Evolution（ロングタームエボリューション）の略称で、3Gを高速化する通信規格のひとつで4Gに含まれる扱いとなるため、4G/LTEと、並列して表記されることが多い。

エッセンシャルインフラ

社会生活を維持する上で不可欠なインフラのこと。

© NEC Corporation 2020

2-2 Beyond 5Gのスコープ

Beyond 5Gについては、多くの組織・企業・大学等がホワイトペーパーを発行したり、学会で講演を行うなど、さまざまな形で発表しています。例えば、総務省が2020年6月に発表したBeyond 5G推進戦略では、

- 5Gの10倍から100倍の超高速大容量
- 5Gの1/10の超低遅延
- 5Gの10倍の超多数同時接続
- 現在の1/100の超低消費電力
- 超安全・信頼性（セキュリティ、耐障害性）
- 自律性（ゼロタッチオペレーション、最適化）
- 拡張性（衛星やHAPS等による超カバレッジ）

の7項目がBeyond 5Gの特徴として述べられています。このような、5Gの延長線上としての”超”のつく性能向上は、ここまで述べてきた将来社会を実現するうえで必要不可欠です。加えてモバイルネットワーク単体として捉えるのではなく、有線やクラウド、インターネット、放送、プライベートネットワークなどを含めたトータルな基盤として捉え、様々なネットワークをどのようにマネージメントして複雑化される通信への要求条件を満たしていくかという社会インフラ的な視座が必要となっていくと考えます。

一方、大量のデジタルデータを生み出すためには、発生する生のセンシングデータは間断なくかつ膨大であり、それらをAIによる分析・理解するには膨大な帯域と電力が必要になる、データの発生源やデータの処理結果に触れる人が地理的に分散しておりかつ極めてリアルタイムな処理が求められる、といった課題があります。ここで、発生するセンシングデータをデータセンター等に集めて処理をすると、データ転送のために多くのエネルギーが必要なり、また通信遅延のためにリアルタイムな処理が困難になります。そのため、必要な場所で必要なデータを処理する分散処理と、それらをつなぐネットワークとを一体としてダイナミックに最適化し、通信遅延やエネルギー消費といった問題に取り組むことが合理的です。

以上より、本ホワイトペーパーでは、Beyond 5Gのスコープを、5Gの量的拡大だけでなく、分散データ処理まで統合して捉えることとしています。すなわち、**Beyond 5Gを、ネットワークと分散データ処理を融合し、全世界に散らばる通信・計算資源を有機的に活用し、デジタル化と活用、そして実世界とのリアルタイムなインタラクションを実現するための通信システムと定義**します。

ゼロタッチオペレーション
故障や品質劣化等の発生検出からその対処完了までを全自動化すること

© NEC Corporation 2020

2-3 Beyond 5Gによる新しいテレコミュニケーション

前節のように定義したBeyond 5Gは、以下のような新しいコミュニケーションを実現します。

1. 時空間を超えた人と人、人とモノとの超現実感コミュニケーション

あらゆる世界のあらゆる情報をリアルタイムにデジタルデータ化し、ネットワークを介して瞬時に共有することで、人と人、人とモノとが時空間を超えたコミュニケーションを行います。ここでは、音声や映像などの従来のメディア情報を圧倒的な精度で共有するだけでなく、例えば以下のような情報を共有することで、現実感を超えるようなコミュニケーションができるようになります。

- 視覚、聴覚、触覚、などの人間が感じる五感
- 自分や他人の意図や、その場のコンテキスト
- 実世界の3次元イメージや3次元構成・配置などの空間情報
- 機械の制御や人への意思伝達など

コンテキスト

文脈を意味する英単語。ITの分野では、一般的に利用者の意図や状況、判断材料や条件などを指す。

2. デジタルツインとサイバーフィジカルシステムの拡張

5G時代のIoTでは、IoT端末を通して取り出した情報によって現実世界を仮想世界に写し取る“デジタルツイン”が実現されようとしています。これは工場内の製造工程やスタジアム内の選手など、興味の対象とに絞ったデジタルツインです。

一方、Beyond 5Gでは、センシングの多様化や、その分析・理解技術の進歩と共に、建物や風景を含む3次元の空間や、人の内面や思考など、いままでデータ化されていなかったあらゆるものからデータを取り出して活用します。これにより、実世界そのものすべてを、さらには実世界では顕在化していなかった情報すべてを、デジタルツインとして仮想世界に投影します（図2-2）。

デジタルツイン

実世界の情報をIoTなどを活用して、ほぼリアルタイムで仮想世界上に物理世界の情報を全て再現すること。「デジタルの双子」を意味する。

図2-2:デジタルツインの拡張と仮想世界の構築

© NEC Corporation 2020

Beyond 5Gでは、このように拡張したデジタルツインを仮想世界に写し取り、それらを世界中で共有し、それらを通して実世界/仮想世界を最適化し、その結果を再び現実世界に反映させる、といったループ（サイバーフィジカルシステム）が実現されます（図2-3）。仮想空間においては宇宙や空を自由に飛び、世界中を自由に行き来するだけでなく、世界中の人々の想像性やアイディアが発揮され創造された架空の施設や空間、例えば空に浮かぶショッピングモールで新しいショッピング体験を楽しんだり、音楽や映像作品を世界中の人と一緒に楽しんだり、創り出したりする新しい世界が広がります。ここでは、AIが作り出した仮想的な都市の上でアバターとインタラクトするなど、現在我々が見ている世界観とは大きく異なる世界が登場するはずです。

図2-3:仮想世界を介したサイバーフィジカルシステム

サイバーフィジカルシステム

Cyber Physical System (CPS)
IoTでさまざまな情報をクラウドなどのサイバー空間に伝達させたうえで、CPSは、サイバー空間上での分析・解析および現実世界へのフィードバックまで含めた概念。

3.全地球上あらゆる場所でシームレスにつながるカバレッジ

人間やロボットが活動するありとあらゆる空間において、片時も絶えることなく、テレコミュニケーションが利用できるようになります（図2-4）。そのために、都市内におけるミリ波やテラヘルツ波の不感地帯解消だけでなく、LEO（低軌道衛星）やHAPS（High Altitude Platform Station）等による過疎地や海上などの環境での通信手段の確保、さらには、キャリア通信とローカル通信を組み合わせたカバレッジのカスタマイズなど、多様な手段を提供します。また、LEO/HAPSのコストが将来劇的に下がれば、人口密度が低い国や郊外エリアにおいても、モバイル通信の有力な代替となってくるでしょう。

図2-4:あらゆる場所でシームレスにつながるカバレッジの確保

カバレッジ

電波が送受信できる範囲、電波の届く範囲のこと。

ミリ波、テラヘルツ波

ミリ波は波長が30GHz～300GHz（波長1mm～10mm）、テラヘルツ波は、300GHz～3THz（波長100μm～1mm）。超高速無線通信における応用に期待されている。

LEO（低軌道衛星）

従来の静止軌道を活用した衛星通信より低コストで、高速、かつ低遅延な衛星通信サービスを実現するものとして期待されている。

HAPS

成層圏を飛行し続ける無人飛行機を基地局とするもの。地上基地局ではカバーしきれない山岳部や離島、災害などにより地上基地局が被害を受けた場合の対応などが期待されている。

© NEC Corporation 2020

第 3 章

重点技術領域

© NEC Corporation 2020

3-1 Beyond 5Gの2つの側面

本ホワイトペーパーでは、2章で述べた通り、Beyond 5Gを5Gの量的拡大と、分散データ処理との2つの側面で考えます。図3-1ではこれらをシステムアーキテクチャとして模式的に表しています。

5Gの量的拡大としては、5Gネットワークを構成する機器群（User Equipment（UE）、Radio Unit（RU）、Central Unit（CU）/Distributed Unit（DU）など）は、超現実感や拡張したデジタルツインを再現するため、**超高速大容量・超低遅延・同時多接続**といった性能のさらなる向上が必要です。また、拡張したサイバーフィジカルシステムの安全安心を保証するため、超高信頼性やセキュリティも重要です。全地球上で空間を超えるための超広域カバレッジや、超低消費電力化も求められます。

一方、分散データ処理基盤としては、帯域や遅延を自由に制御できるネットワークと組み合わせて、センシング手段の多様化とそれらをリアルタイムに処理するコンピューティング環境が必要です。環境中のあらゆる情報をデジタルデータとして取り出すために、MECを活用したAIのリアルタイム分散処理や、デジタルツインデータの分散管理が重要になってきます。また、実世界から多くのデジタルデータを取り出すための手段として、ミリ波やテラヘルツ波の通信用電波や通信用光ファイバを活用した空間のセンシングや、対象物の測位なども、あわせて重要になってきます。

制御プレーンやオーケストレーションにおいては、ネットワークと分散データ処理を融合し、高度な最適化や自動化を進化させユーザの必要に応じてネットワークの性能や構成を変化できることも求められます。

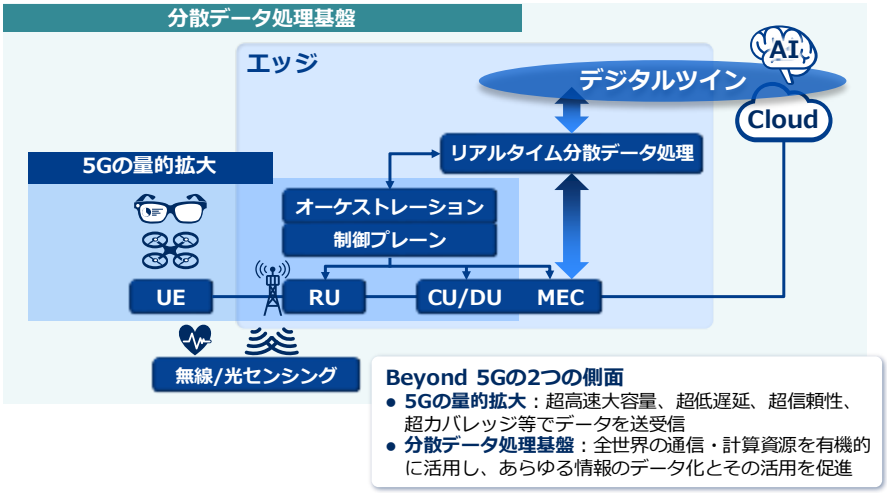


図3-1:Beyond 5Gの2つの側面

システムアーキテクチャ
システムに求められることを効率よく行っていくために必要な機能や相互データの更新を定めた全体最適な視点に基づいた設計のこと。

UE
ユーザーが利用するスマートフォンやWi-Fiルーター等の端末装置・機器。

RU、CU、DU
5Gネットワーク構成機器のうち、無線部分の処理を行う装置。展開方式や用途に応じ適切な数量と種類を組み合わせて用いる。

MEC
マルチアクセスエッジコンピューティング（Multi-access Edge Computing）の略。クラウドで行っていた処理の一部を超低遅延で行うエッジコンピューティングをさまざまな通信規格にアクセス対応するための標準化技術。

センシング
センサーと呼ばれる感知器などを使用して様々な情報を計測して数値化すること。

制御プレーン
コントローラとネットワーク機器の通信経路。

オーケストレーション
システム、アプリケーション、サービスの設定/運用管理の自動化のこと。

© NEC Corporation 2020

3-2 技術進化の方向性

技術トレンドとしては、前節で述べた2つの側面が完全に独立して進化するのではなく、お互いに補い合う、いわば”共進化”の関係となっていくと考えられます。図3-2に示す通り、実世界のデジタル化などのサービス／アプリケーションのための基盤技術は、高速大容量や低遅延などの高い通信性能を必要とし、無線通信技術の進化を促すと共に、その限界を補うために自らのアルゴリズムも最適化していきます。同様に、無線通信技術も、高速大容量化など求められる要件に従って進化していくと共に、その進化によって新しいデジタル化技術やサービスアプリケーションを可能としていきます。NECでは、前者を”AI for NW”、後者を”NW for AI”とし、その両方の強みを活かした研究開発を推進していきます。本節ではこれらの技術内容について簡単にご紹介します。

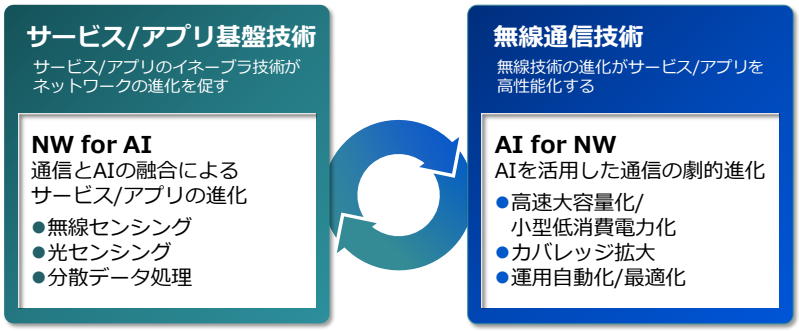


図3-2:技術の共進化

本ホワイトペーパーで考えるBeyond 5Gに向けた技術進化を図3-3に示します。横軸は、図2-1の横軸と同様のテレコミュニケーションの進化、縦軸を本章で議論している無線通信の進化の側面から分散データ処理への広がりとしています。これらの技術の詳細については付録に記載しており、本節ではその概要についてご紹介します。

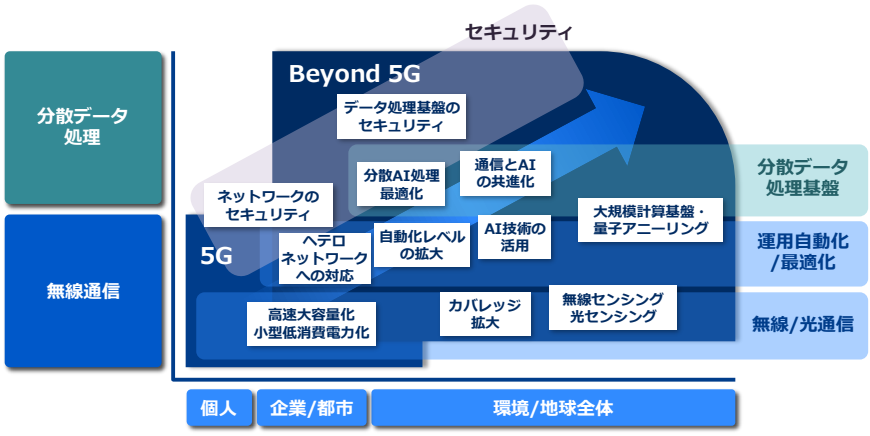


図3-3:Beyond 5Gの重点技術領域

© NEC Corporation 2020

① **無線通信/光通信**

- 高速大容量化/小型低消費電力化：性能向上への継続的な要求に対して、ミリ波やテラヘルツ波の活用のためのアンテナやアンプなどの通信デバイスの高周波化技術、広帯域な信号処理のためのデジタル信号処理技術、それらへのAIの活用などの技術が進化していきます。
- カバレッジ拡大：全地球をくまなくカバーするため、ミリ波やテラヘルツ波による効率的なカバレッジ拡大や、低軌道衛星やHAPS等など新しい無線通信手段の導入、キャリア通信とローカル通信を組み合わせたカバレッジのカスタマイズなど、さまざまな手段の組み合わせが求められます。
- 無線/光センシング：空間全体のデジタル化のためには、カメラのような従来のセンサデバイスだけでなく、通信用の電波や光ファイバを活用したセンシングが期待されます。また、通信電波の向きを調整するビームフォーミングや、室内/屋外の移動体の追跡のために、高精度な測位技術が求められます。

② **運用自動化/最適化**

- ヘテロジニアスなネットワークへの対応：Beyond 5Gは、モバイルネットワークの進化系だけでなく、固定系や、アドホックネットワーク、衛星やHAPSなどさまざまなネットワークを組み合わせた極めて複合的で複雑なネットワークとなり、高度な運用管理が必要になります。また、運用管理の対象も、下記の分散データ処理もあわせた統合的な運用管理が求められます。
- 運用管理自動化レベルの向上：極めて複合的で複雑なネットワークにおいては、段階的に着実に自動化レベルを上げていくことが求められます。最終的には、人間による操作が不要となる完全な自動化も目指していくべきです。
- AI技術の活用と進化：上記のような最適化・自動化のためには、さまざまなAIの開発は必要不可欠です。また、未知事象にも対応できる完全自動化のためには、環境変化に進化適応するAIも今後必要になってきます。

③ **分散データ処理基盤**

- 分散AI処理の最適化：大規模なデータの移動と処理が求められる分散AI処理では、性能を常に最大化する必要があり、分散処理配置や計算資源・通信資源の最適化をリアルタイムかつダイナミックに行います。
- 通信とAIアルゴリズムの共進化：上記の考え方をさらに進めると、AIと通信は処理や資源の最適化だけでなく、それぞれの処理アルゴリズムそのものも共進化していきます。
- 大規模計算基盤：大規模に分散した処理のためには、エッジAIへの専用プロセッサの導入が求められます。さらには、量子アニーリングによる大規模な最適化問題への対処など、新しい計算パラダイムも期待されます。

④ **セキュリティ**

- 通信インフラのセキュリティ：システムのオープン化、相互接続やヘテロジニアス化、そして地政学的要因の影響拡大などに対し、通信インフラとしての信頼性を強固に維持する必要があります。
- データ処理基盤のセキュリティ：DXにともなうさまざまな懸念に対処するため、デジタルツインとして扱うデータに対して、プラットフォームによる信頼性の担保や、リスクの可視化、リスクへの自動対処などが求められます。

ヘテロジニアスなネットワーク

異なるアクセス技術を利用して端末に接続する「異種混合ネットワーク」。

end-to-end

通信・ネットワーク分野において、通信を行う二者を結ぶ経路全体、もしくはその両端のこと。

量子アニーリング

従来コンピュータの性能限界を超えると言われている量子コンピューティングの中でも、組合せ最適化問題に特化した次世代コンピュータ技術。

© NEC Corporation 2020

第 4 章

まとめ

© NEC Corporation 2020

4-1 Beyond 5Gの進化のモデル

これからの時代の社会では、産業構造の変化やユーザーニーズの多様化に呼応して、情報通信の進化が一段と加速し、プレーヤーの入れ替わりや各プレーヤーの役割も進化していくでしょう。あらゆる業種における従来までの業務内容や仕事の進め方、働き方全般について、新常態へと変化していくことが求められます。

Beyond 5Gは生活や社会のあらゆるシーンを支える最新の情報通信技術として浸透し、DXのプラットフォームとして人々と社会を支える重要な役割を果たすようになり、実世界と仮想世界の人、モノ、コトのインタラクションのシームレス化に貢献していきます。人々は快適なライフスタイル、ワークスタイルの実現のためにこれまで以上に通信技術を利活用するようになります。その際のネットワークの敷設、運用やサービス提供に関しては、現在よりも選択肢が格段に拡がって自由度が増し、エリアに関しても都市部や繁華街に留まらず地方や過疎地などにおいてもサービスが必要な場所にネットワークが展開されるようになるでしょう。企業、団体等による自営や閉域のネットワークの敷設/運用/利用が一般化し、これと併せて配置され偏在する分散データ処理基盤を効率良く用いることにより、1章で述べた将来社会の実現が期待されます。またローカル5Gのような個別要件や用途に応じたソリューションとの一体型提供、地域課題解決のための幅広いコミュニティユーザーによるマルチユースなど、情報通信は新たな時代に向けてこれまでにない発展と進化のシナリオを経ていくことになるでしょう。

4-2 NECの貢献

複雑化するサービスやソリューションの提供に応えていくためには、技術的な観点からの性能や要件の担保が必要なことに加えて、ネットワークとアプリケーションやサービスが一体となりシステム全体が最適化を図りながら発展・進化させていくことが求められます。そこでNECは、5Gからの性能増強や量的拡大だけでなく、分散データ処理基盤を融合したイノベーションを起こしていきます。実世界のありとあらゆる状況・状態を情報としてデジタルデータ化するために必要な、そして実世界に存在するあらゆるものを仮想世界側からも最適に操るために必要な、巨大な通信性能と計算性能を共に満たす通信インフラを実現し、誰もが人間性を十分に発揮できる持続可能な社会の実現を目指していきます。

© NEC Corporation 2020

そのためには、従来までのような単一の組織・企業・大学による取組みのみでなく、複数のステークホルダーがそれぞれの立場や業種の枠を越えて緊密に連携し新しく適切な役割を分担することが、持続可能な社会を支える重要な鍵のひとつとなるでしょう。

NECはネットワーク・ITからデータ・サービスまでの幅広い領域において世界トップクラスの技術をバランスよく保有する数少ない企業です。情報通信技術という従来までの枠を超え、Beyond 5Gの実現に不可欠と考えられる5Gの量的拡大と分散データ処理に関し、研究開発の段階から一体的・統合的にアプローチしていきます。

また、NECが保有する技術アセットに加えてシステム構築や運用のノウハウも最大限に活用し、お客様・パートナーの皆さまとの協働による研究開発や事業開発のオープンな取組みを進めます。

Beyond 5G時代における“できたらすごいを社会に創る”こと、この実現に向けて皆さまと一緒に取り組んでまいります。最先端技術を社会へ実装し、すべての人に価値を体感してもらう、そのためにNECは挑戦し続けます。

© NEC Corporation 2020

［付録］

重点技術領域詳細

© NEC Corporation 2020

A.無線通信/光通信技術

高速大容量化/小型低消費電力化

拡大し続ける通信需要に対応するため、5G以降も高速大容量化は継続して求められます。総務省Beyond 5G推進戦略では、5Gの10倍から100倍の超高速・大容量、1/100の超低消費電力が求められています。

そのためには、まずはミリ波帯やTHz波帯の高周波数帯の活用が必要であり、新しいアンテナ技術、パワーアンプ技術、ビームフォーミング技術や伝搬モデルの構築などが必要になります。デバイス技術としては、高速大容量化だけでなく、小型低消費電力化も大きな要件です。

また、大容量化のためには、非線形歪補償や、等価器の最適化、分散MIMOなどに対応したデジタル信号処理技術の高速化/広帯域化も強く求められます。従来のような回路設計による高速化への対応だけではなく、AIを活用した最適化や信号処理技術など抜本的に新しい技術も求められるようになります。さらには、無線通信の高速化や光通信へのMIMO採用など、無線技術と光技術が接近しつつあり、デジタル信号処理技術は両方共通のコア技術としても活用が期待されます。

これらの、デジタル信号処理技術は、モバイル無線通信だけでなく、固定無線通信、自由空間光通信、モバイルFH/BH（Front-haul/Back-haul）、光海底通信などさまざまな領域に適用され、通信網全体を高速化していくためのキー技術となります。

通信機器へのコモディティーハードウエアの活用が進み、さまざまな処理は汎用CPUで行われるようになっていく一方、アンテナの多素子化によるビームフォーミングの高度化などの大規模演算もますます増えてくるため、スーパーコンピューターに用いられてきたベクトルプロセッサやGPUの活用も有望です。

カバレッジ拡大

地球上のさまざまな場所で高速通信を実現するためには、人口密集地域を中心に比較的低周波数帯（Sub6）の無線技術を使って広くカバーするだけでなく、さまざまなカバレッジ拡大技術が必要になります。

都市内においては、ミリ波/THz波の直進性の強さや減衰の大きさによるカバレッジ不足、通信の不安定性に対処するため、またアンテナ数の増加による投資コスト・リスクの増大に対処するため、高度な基地局の置局設計や無線通信制御が必要です。

ビームフォーミング

アンテナからの電波を特定の方向に指向性を高めることで、通信距離を伸ばしたり感度を向上させる技術。

等価器

電気信号の全体的な周波数特性を加工・調節する回路。イコライザーとも呼ばれる。

自由空間光通信

光ファイバの敷設ができない場所で自由空間を伝播させる技術。

モバイルFH/BH

携帯電話回線で、街頭などにある無線基地局と、最寄りの拠点施設を繋ぐ固定回線網を「モバイルバックホール」といい、基地局とアンテナ部が離れている場合、両者をつなぐ回線を「フロントホール」（fronthaul）と呼ぶ。

光海底通信

海底に敷設した光ファイバーを使った通信。近年はデジタル化が進み需要が増加傾向にあり、大手の参画も相次いでいる。

アンテナの多素子化

特定の方向に対して電力を高く、その他の方向には電力が低いビームを形成して、信号品質やデータ伝送速度を向上する。5Gの大容量・高速・高品質などの要求条件を実現するための重要な技術。

ベクトルプロセッサ

一般的なデスクトップPCサイズのマシンでも扱えるようになり、注目度が上がっている。

GPU

Graphics Processing Unit。3Dグラフィックスなどの画像描写を得意とする計算処理を行うプロセッサー。

© NEC Corporation 2020

また、郊外から過疎地、海上、空中まで幅広く、かつ経済的にカバレッジを広げるためには、低軌道衛星やHAPS等の広域通信、そしてプライベートに敷設されたネットワークとの連携によって通信手段を確保していく必要があります。地上側では、衛星等から直接電波を受けるだけでなく、アドホック通信を組み合わせてカバレッジを広げていきます。

さらには、ローカル5Gのように土地利用者や地域の独特なニーズに合わせた通信インフラの構築など、キャリア通信とローカル通信を組み合わせたカバレッジのカスタマイズなども考えられます。

B.無線/光センシング

実世界をくまなくデジタル化するためには、高精度かつ膨大なセンシングが必要です。大量のカメラが我々の行動範囲をくまなくカバーして必要なデジタルデータ化を行ったり、大量の無線デバイスをばらまいてあらゆるもののセンシングを行ったりするために、無線通信の高速大容量化と多接続化は引き続き拡大していきます。加えて、無線や光の通信技術を活用したセンシングにも大きく期待できます。

無線センシング

ミリ波やTHz波などの非常に直進性の強い通信用の電波を活用して空間のセンシングを行うことは、アンテナ数の増大やビームの細分化・精緻制御ともあわせて、追加の設備導入が不要なセンシング手段として有望です。このような技術を活用することで、GPSの届かない屋内での測位を行ったり、空間内の物体の位置や動きを把握したりなど、デジタルツインを構築する上での様々な情報を得られます。

光センシング

光通信の技術においても、通信用に用いられている光ファイバに加わる微小な振動を検出してその周りの状況をセンシングすることができます。さらには、光通信用の送受信デバイスを活用したコヒーレント光センサによる空間のセンシングでは、遠くの物体までの距離を測定するだけでなくドップラー効果を用いた速度の測定も可能です。

コヒーレント光センサ

光ファイバセンサシステムなどで使用する光源の特性を表す。「干渉性」、「可干渉性」の意味。

ドップラー効果

音波や電磁波などの発生源が移動したり、観測者が移動することで生じる相対的な速度の変化から観測される周波数が変化する現象のこと。

C. ネットワークの運用自動化/最適化

ヘテロジニアスなネットワークへの対応

Beyond 5Gは、モバイルネットワークの進化系だけでなく、さまざまなネットワークを組み合わせた極めて複合的で複雑なネットワークとなります。

© NEC Corporation 2020

例えば、

- ミリ波/THz波の超高密度小型基地局群
- O-RANなどオープンシステムにおける複雑なマルチベンダシステム
- ローカル5Gなどのプライベートなネットワーク
- 低軌道衛星/HAPSやアドホック通信などの超広域向けのシステム

など、ますます複雑化・ヘテロジニアス化していきます。そのようなシステムにおいて、各サービスやアプリケーションの要求に応じてend-to-endで高度な統合運用管理及び性能最適化が求められます。さまざまな種類やさまざまな管理者のネットワークを一つのネットワークとして統合的に最適化したり、さらにここからスライシングして多種の異なるネットワークを切り出してそれぞれ別の目標で最適化したりなどの操作が、簡単にできるようにならなければなりません。

そして、このような最適化によって達成されるべき価値は、ネットワークそのものの性能に関するものや、それを利用するユーザに関するもの、それを提供する運用者に関するものなど、さまざまなものが想定されます。例えば、

- スループットや遅延、接続性などend-to-end性能指標の達成
- ミッションクリティカルなアプリケーションに特化した最適化
- 資源利用の効率化や低消費電力化
- 障害停止時間や障害影響範囲の最少化
- 未知の攻撃に対する被害の最少化
- 需要変動の不確定性に対応可能なシステム設計最適化/投資リスク最少化
- 受付制御や動的プライシングによる収益最大化

などです。そしてこれらの最適化目標は、膨大な数のミリ波/THz波の高密度小型基地局の無線制御に対応したり、それぞれの部分で異なる特性を持つヘテロネットワーク全体でend-to-endでの目標達成が必要であったりします。そのため、このような複雑で大規模な運用管理のためには、下記に述べるAI技術の活用も含めて、さまざまな研究開発が今後も必要です。

運用管理自動化レベルの向上

ネットワークの運用管理においては、通信キャリアに対しては複雑化していくシステムを少人数で安定的に運用するにあたって必要な高度なインテリジェンスを提供したり、企業や自治体等のローカルユーザに対してはそのユーザが求めるシステムをターンキーで設計/構築/提供したり、高度な自動化やクラウドセンターからの運用による現場無人化を実現したりなど、ユーザのニーズに応じて最適な形態で運用管理を提供する必要があります。そして、自動化レベルを向上させ、できる限り無人で、あるいは専門家の関与を減らした運用が望まれます。

O-RAN（O-RAN Alliance）

無線アクセスネットワーク（RAN）のオープン化とインテリジェント化を推進するために発足した業界団体。

マルチベンダシステム

複数の企業の製品を、メーカー的統一性にこだわらずに組み合わせ、効率のよい柔軟なシステム構築すること。

スループット

コンピュータやネットワーク機器が単位時間あたりに処理できるデータ量のこと。

ミッションクリティカル

銀行のオンラインシステムや交通機関など、障害が起きたときに大きな社会的影響を及ぼすため停止しないことが求められる基幹業務の情報システムのこと。

© NEC Corporation 2020

TM-Forumでは以下のような6段階の自動化が議論されており、現状でもLevel 2-3ぐらいまでの自動化は達成できています。

- Level 0 - manual management
- Level 1 - assisted management
- Level 2 - partial autonomous network
- Level 3 - conditional autonomous network
- Level 4 - high autonomous network
- Level 5 - full autonomous network

しかしながら、Beyond 5Gでは上記のようにネットワークが極めて複合的で複雑になっていき、もはや人間では手に負えなくなっているかもしれません。そうなれば、段階的に着実に自動化レベルを上げていくだけでなく、人間の経験と勘から学ぶ必要のない、人間の関与を排除した完全な自動化が求められるでしょう。完全な自動化を目指すにあたっては、今後5～10年の中長期的なネットワーク進化を考えたとき、あらゆる不確実性、例えば、COVID-19のように人々の行動変容によって人口動態や通信行動が大きく変容し、大規模災害によって事前想定ができない規模でネットワークに障害が発生する可能性にも幅広く対応していく必要があります。

TM-Forum

TM（Tele-Management）Forumオペレーション分野の業界標準を検討し、相互接続性の推進を目指すグローバルな業界団体。

AI技術の活用と進化

以上のような運用自動化/最適化の進化に対して、AI技術の活用が大きく期待されています。ただし、以上のような最適化/自動化の対象範囲や目標が拡大していき、より高い自動化レベルが求められる中では、ただ一つの”万能AI”が全ての問題を解けると期待することは困難です。目的の特性に応じて、ニューラルネットワーク（DNN/CNN/RNN/等）や強化学習/深層強化学習、ベイズ理論、遺伝的アルゴリズム/進化適応、グラフィカルモデル/マルコフモデルなどのさまざまな数学的ツールを自由自在に組み合わせた研究開発の柔軟性が求められます。長期的には、組み合わせ最適化問題への量子アニーリングの活用など、非連続なイノベーションも期待できるかもしれません。

また、上記のような完全な自動化を目指す場合、AI技術を活用するだけでは困難です。完全自動化とはすなわち、人の想定を超えた未知事象への対応の自動化が必要であり、既存データを学習させたAIや、特定の状況で強化したAIでは対応が困難です。将来は生物の進化になぞらえた環境変化に進化適応するAIも必要になってくるかもしれません。

DNN/CNN/RNN

ディープラーニング（深層学習）の代表的な手法。それぞれが特定の分野に適しており、組み合わせて使用することもある。

強化学習/深層強化学習

システム自身が試行錯誤しながら、最適なシステム制御を実現する機械学習手法。これにディープラーニングを応用したものを深層強化学習という。

ベイズ理論

未来の出来事の確率はその事象の過去の発生頻度を求めることで計算できると説いた理論。

遺伝的アルゴリズム/進化適応

進化論的な考え方に基づいてデータを操作し、最適解探索や学習、推論を行う手法。

グラフィカルモデル

確率変数間の依存関係をグラフ表現したもの。

マルコフモデル

不規則に変化するシステムに対して用いられる確率モデル。未来の状態は現在の状態にのみ依存し、その前に発生した事象には依存しないとする。

D.分散データ処理基盤

分散データ処理基盤、あるいはそこで実行されるさまざまな認識AIやロボティクスなどは、一見Beyond 5Gのネットワークそのものとは独立な技術領域とも捉えられますが、2章で述べたように、超現実感のコミュニケーション

© NEC Corporation 2020

やデジタルツインの拡張のために、通信とAIの融合を進化させていく必要があります。

分散AI処理のリアルタイム最適化

分散データ処理基盤においては、アプリケーションやサービスのニーズに応じて、またネットワークや計算資源の状況に応じて、処理内容や処理レベル、処理される場所、割り当てる計算リソースやネットワークリソースを都度最適に制御する必要があります。そのためには、例えば計算リソースとネットワークリースその空き状況に応じて処理を行う場所を最適化するだけでなく、要求する遅延条件をネットワーク遅延と計算処理遅延に最適に賦課したり、また変動する電波環境や空きリソース先読みして確率的にリスクに備えたりなど、あらゆる要件や可能性を考慮した最適化が必要です。

通信とAIアルゴリズムの共進化

さらには、上記のような処理リソースの最適化だけでなく、アルゴリズムレベルでの最適化も今後は重要な考え方となります。通信環境の分散性やダイナミックな状況にあわせて最大の性能が出せるようにAIアルゴリズムが進化し、同時にAIアルゴリズムの性能を最大化するためにネットワークのさまざまな制御が進化する、ということが同時に行われます。

例えば、画像処理を含む認識では、その計算量の大きさから、認識精度やフレームレート、通信帯域や処理遅延などに大きなトレードオフの関係があります。そのため、AIアルゴリズムの処理とネットワークでの分散処理の両方を適切に設計する、すなわち、ネットワークの状況に応じてAIアルゴリズムのダイナミックに最適化したり、AIアルゴリズムの性能を最大化するためにネットワークの制御を調整したりということを、両方同時に最適化する必要があります。また、AIアルゴリズムには一般的に学習フェーズと推論フェーズがあり、それぞれデータの発生や処理のパターンが大きく異なるので、どのように学習と推論のメカニズムを広域分散処理として組むのか、ということと、どのようにそれを収容する通信インフラを最適化するのかということには大きな相関があります。AIアルゴリズムの性能（精度や処理時間）が通信インフラの能力や構成と密接にかかわるとき、処理リソースの最適化だけを考えるのではなく、通信インフラ最適化とAIアルゴリズムの共進化が研究開発の一つの方向性です。

また、別の側面から通信とAIアルゴリズムの関係を考えたとき、不確実性/不確定性という問題もあります。AIアルゴリズムには時間精度と認識精度の間にトレードオフの関係があり、通信側には例えば無線区間の遅延に予測不可能な変動があるなど、これらかリアルタイムに影響を及ぼしながら動作し

© NEC Corporation 2020

ている分散システムであることを考慮しなければなりません。このような、不確実性や不確定性に対応できなければ、1-2章で述べたような世界は非常に不安定で危険なものになってしまうかもしれません。システムに無限の性能と、アルゴリズムに無限の精度を求めることができない以上、何らかの形でこのような問題に対処できるブレイクスルーが求められます。

大規模計算基盤

AI処理が求める大規模な計算を行う基盤としては、エッジでの処理の高速化、およびクラウドでの処理の高速化の両面があります。従来エッジにおいてはコストや消費電力の制約から高性能なCPU/GPUを用いることは困難でしたが、近年では安価で高性能なAI処理のためのエンジンが入手可能となり、今後もその性能は向上していきます。また、クラウドにおいても、量子アニーリングによる大規模な最適化問題の処理など、新しい計算パラダイムも期待されます。さらには、このようなエッジやクラウドの高性能化にあわせて、上記で述べた分散AI処理の最適化もより高度にデータや処理基盤の特性に応じた対応が必要となってきます。

E.セキュリティ、トラスト、プライバシー

本ホワイトペーパーではBeyond 5Gのスコープを通信インフラと分散データ処理基盤に分けて述べており、セキュリティについてもそれぞれ考える必要があります。

通信インフラのセキュリティ

通信インフラにおけるセキュリティとしては、外からの攻撃に対して通信インフラの安定性を保ったり（DDoS等攻撃の対処）、データの改ざんや漏洩を防いだり、なりすましや不正利用を防いだりなど、多様な観点での考慮が必要です。ここではさらに、今後のネットワークシステムのオープン化、さまざまなシステムの相互接続やヘテロジニアスなネットワーク構成、さらには地政学的要因の影響拡大などの環境変化について着目すると、通信インフラとしての信頼性をどのように管理するかということが一つの大きな課題です。通信インフラとしては、キャリアネットワークやローカルネットワーク、衛星やアドホックネットワークなど、ヘテロジニアスにさまざまな機器で構成された通信インフラなど、多種多様な機器で構成されています。これらの機器は通常のサーバ機器のようにセキュリティ対策をきちんと施すことができる機器もあれば、小型の基地局やゲートウエイのように処理能力的に完全なセキュリティ対策を施すのが容易ではない機器もあります。さらにこれらのネットワークは、その管理ドメインごとに異なるポリシで管理さ

アドホックネットワーク
無線でネットワークに接続した端末だけで構成され、アクセスポイントや専用基地局を利用しないネットワーク。基地局の介在なしに直接接続することができるため、災害時の通信などへの活用が期待されている。

© NEC Corporation 2020

れていたり、セキュリティレベルもさまざまだったりします。一方、通信自体はend-to-endで行われ、一般的にユーザとしてはどのような機器を通ったり、どのような管理ドメインを通ったりするのかは、知ることや制御することができなかったりするため、ネットワークのどこか一か所でもセキュリティに脆弱な箇所があれば通信のセキュリティは損なわれます。

そこで、ユーザとしてはその通信のend-to-endの経路全体において、また各管理ドメインの管理者としては管理するネットワーク全体において、ネットワークを構成する全ての機器や搭載されたさまざまなソフトウエアが真正なものであるのか、日々のアップデートにおいてセキュリティリスクの高いものが紛れ込んでいないのか、ということを管理する必要があります。そのため、ハードウエアやソフトウエアの改竄検知としてはサーバだけでなく小型の機器まで含めてスケーラブルに対応できる技術や、その検知結果を異なる管理ドメインの間でも安全に登録・参照できるスケーラブルなブロックチェーン技術などが今後重要な技術になってくるでしょう。

データ処理基盤のセキュリティ

データ処理基盤はデジタルツインを直接扱う基盤であり、デジタルツインが実世界のソフトコピーであって、さらにこれが実世界にフィードバックして影響を与えるものであるため、データ処理基盤におけるセキュリティやトラスト、プライバシーの担保は強く求められます。そこで、このようなDXにともなう懸念に対しプラットフォームとして信頼性を担保する技術や、リスクの可視化やリスクへの自動対処をする技術が重要になってくると考えます。また、セキュリティやプライバシーを確保したまま、データの利活用を促進するために、データを暗号化したまま検索したり特徴を計算したりできる秘匿計算の技術なども重要になってくると考えます。

© NEC Corporation 2020

※本冊子に掲載されている商品・サービス等の名称は、各社の商標または登録商標です。

発行：NEC　ネットワークサービスビジネスユニット

https://jpn.nec.com/nsp/5g/beyond5g/

2020年11月

© NEC Corporation 2020