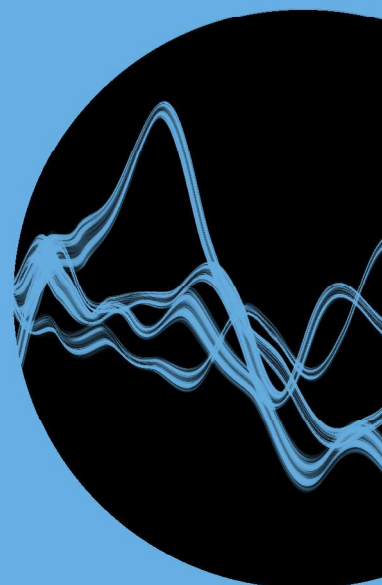


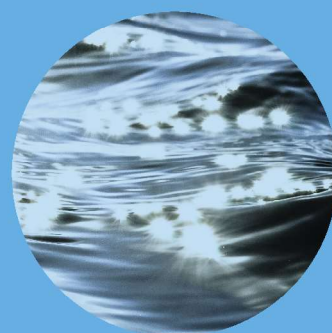
CHARTING THE FUTURE OF INNOVATION I #5 2022

ERICSSON
TECHNOLOGY

Review



5Gネットワークにおける
ホログラフィック通信



ERICSSON

5Gネットワーク上の ホログラフィック通信

最近の調査によると、かつてはSFの領域であったホログラフィック通信は現在、消費者と企業ユーザーの両方から最も求められる5Gアプリケーションの一つになっています。

ALI EL ESSAILI, SARA THORSON, ALVIN JUDE, JÖRG CHRISTIAN EWERT, NATALYA TYUDINA, HÉCTOR CALTENCO, LUKASZ LITWIC, BO BURMAN

ホログラフィック通信とは、ホログラムと同様の視覚効果を提供するXRヘッドセットに、遠隔地の人物の立体画像または3D動画として空間に固定した3D表現を、リアルタイムでキャプチャー、エンコード、転送、レンダリングすることを指します。

■ 過去数年にわたってスマートフォンやタブレットを使ったビデオ通話を経験した多くのユーザーは、5Gを介した3DホログラフィックAR通話などの没入型通信サービスを使ってデジタルな方法で他人と会う機会を望んでいると報告しています[1]。フラット画面の動画と比べ、ホログラフィック通信は、非言語コミュニケーションの微妙さを伝え、存在感と臨場感を高め、人間同士の交流の質を高めることができます。50%を超えるスマートフォンユーザー[2]は、この技術が数年以内に利用

可能になると予想しています。

より本格的なデジタル通信を切望しているのは消費者だけではありません。最近の研究で、リモートワークの主な障壁が社会的インタラクションのニーズにあることがわかっています[3]。今後10年間でオフィス外の労働時間が増えると予想されていることから、多くのオフィスワーカーがより没入性の高いデジタルなインタラクションを必要とするようになるでしょう。

ARグラスと空間オーディオを使ったホログラフィック通話から始めるとして、世界中のオフィスワーカーは、デジタルな物体に触感を加えるハプティックテクノロジーの出現に期待しています[3]。彼らの半数以上が、リモート作業時にオフィスに多感覚のデジタルワークステーションがあればいいと述べています。同様に、自らをアーリーアダプターと

定義する14の主要都市の15～69歳の7,115人を対象とした最近のオンライン調査では、回答者の80%が、2030年までに遠隔地の同僚と交流するためのテレプレゼンス設備が登場すると予想しています。

今後数年間でホログラフィック通信のユースケースが実現される可能性は高いといえるでしょう。すでにホログラムによる家族イベントへの参加、リモートによる医師との面談、オフィスでのリモートプレゼンス、工場における専門家の支援、没入型マーケティングなど、多くの消費者分野と企業分野でホログラフィック通信が予想されています。私たちの調査は、エコシステムがこうした新しい体験を手頃な価格帯とQoE（Quality of Experience）で提供できるようになれば、個人消費者と企業の両方がそれを熱心に活用する可能性があることを示しています。

ホログラフィック通信を日常に組み込めるかどうかは、三つの重要な要素に依存しています。第一に行動の変化を牽引する欲求（人的要因）が必要です。第二に適切なARデバイスが利用可能でなくてはなりません。第三に、モバイルネットワークにホログラフィック通信パイプラインをサポートする機能が必要となります。

人的要因

ユーザーは、ホログラフィック通信も含む、人と人を結ぶあらゆる種類の通信技術の主たる受益者です。したがってユーザーの感じ方と、ユーザーの視点から見た利益、ユーザー体験を向上させる方法についての意見を理解することが不可欠です。

ホログラフィック通信の二つの主要なユーザーグループである企業と消費者では、優先順位が異なります。企業は、ホログラフィック通信が既存のツールよりも生産性目標をより良く満たせるのであれば、それを導入するでしょう。生産性目標とは、特定の使用状況における有効性、効率、満足度と定義できます[4]。

一方の消費者は快楽、感情、経験の観点から、楽しむという目標を最も満たす通信オプションを選択する傾向があります[5]。感情は

人々がホログラフィック通信に抱く感情は興奮

意思決定を導く重要な指針であることが知られています[6]。したがって開発プロセス全体を通じて人々の感じ方を理解することが重要です。これはユーザーの調査を通じて達成できます。

このトピックに関する社内調査で、ホログラフィック通信について人々が感じる重要な感情は興奮（excitement）であることがわかりました。人々は同じ部屋の中で、自分が知っている人のホログラム版を見ることに、そしてこの技術の未来に興奮しています。このインタラクションの新奇性に伴ってこうした反応が予想されますが、目新しさ（またはハロー効果）が薄まってくるにつれて、消費者には使いやすさ、有用性、親しみやすさなどの要素を優先する傾向があります[7]。

XR通信のQoEメトリックがすでにくつかり存在しますが[8]、他のいくつかのツールも利用できます。早い段階で最良のソリューションを確実に構築するために、デザイン思考[9]を使うことができます。一方で聞き取り調査などの定性的な方法は、初期のプロトタイプで実施すれば、人々の感じ方についてより深い洞察をもたらせるでしょう。倫理面、同意、アクセス性など、人間を中心とするその他のトピックについても検討し、定期的に観察する必要があります。人間とコンピューターのインタラクション、人間工学、心理

ホログラフィック通信

ホログラフィック通信の分野は、(1) アバター、(2) プロ品質によるユーザーのデジタル表現、(3) 消費者に優しいユーザーのデジタル表現の三つのパラダイムに分かれます。最先端のアバターテクノロジーはAIを使い、ユーザーの写実的な表現を生成します。プロ品質のデジタル表現は、複数のカメラとリアルタイムのスタジオレコーディングを使って作成されます。消費者に優しいデジタル表現は、消費者グレードの携帯電話やタブレット上のAI対応の3Dキャプチャー設定を使って生成されます。この記事では三番目のパラダイムにフォーカスしています。

	使用事例	典型的な使用(h)	解像度	電池寿命	可動性
企業	小売ショッピング	1-4	+++	++	+++
	物流(ピッキング)	4-8	+	+++	+
	強化教育	4-8	+++	+++	+
	リモートサポート	1-2	+++	++	+++
消費者	ARゲーム	1-2	+++	++	+++
	ARナビゲーション	1-4	+	++	+++
	ARイベント(スタジアム)	1-2	+++	++	+++
企業/消費者	ホログラフィック通信	1-4	+++	+	+++

図1 ARグラスのユースケースと要件の重要度のランク付け (+~+++)

学、ユーザー体験の専門家を設計プロセスに早期に関与させることで、最終製品が想定ユーザーの期待に沿っているかをチェックできるはずです。

ホログラフィック通信の開発では、人的要因を優先することが欠かせません。これを容易にする方法の一つは、E2E (End-to-End) のパイプラインを、端末間ではなく、人と人の間をつなぐものと考えことです。

ARグラスとその他のデバイス

初期のARグラスはケーブルで接続され、その後Wi-Fiが導入されましたが、ほとんどの場合、その移動性は家庭やオフィス内に制限されていました。しかしARグラス市場は過去5年間で、重

量、視野、解像度、電池寿命、可搬性などのすべての重要なパラメーターについて、大きな技術的進化を遂げています。

USB-Cを介して4Gおよび5G対応のスマートフォンに接続する軽量のARグラスの第一世代は、2年前に発売されました。次世代型には、今日のスマートウォッチと同様のセルラー接続が組み込まれると予想されています。図1に、次世代のARグラスから最大の恩恵を受けるであろう企業及び消費者ユースケースの一部を示しています。

ARデバイスには、SLAM (Simultaneous Localization And Mapping) をサポートするタイプとしないタイプの二種類があります。SLAMは、一つまたは複数のフロントカメラを使って周囲のマップを作成・更新します。これによりデバイス

用語と略語

AI – Artificial Intelligence | AR – Augmented Reality | E2E – End-to-End | FPS – Frames Per Second | IEC – International Electrotechnical Commission | ISO – International Organization for Standardization | LiDAR – Light Detection and Ranging | MPEG – Moving Picture Experts Group | MS – Millisecond | NR – New Radio | QoE – Quality of Experience | RAN – Radio Access Network | SLAM – Simultaneous Localization and Mapping | ToF – Time of Flight | V3C – Visual Volumetric Video-based Coding | V-PCC – Video-based Point Cloud Compression | XR – Extended Reality

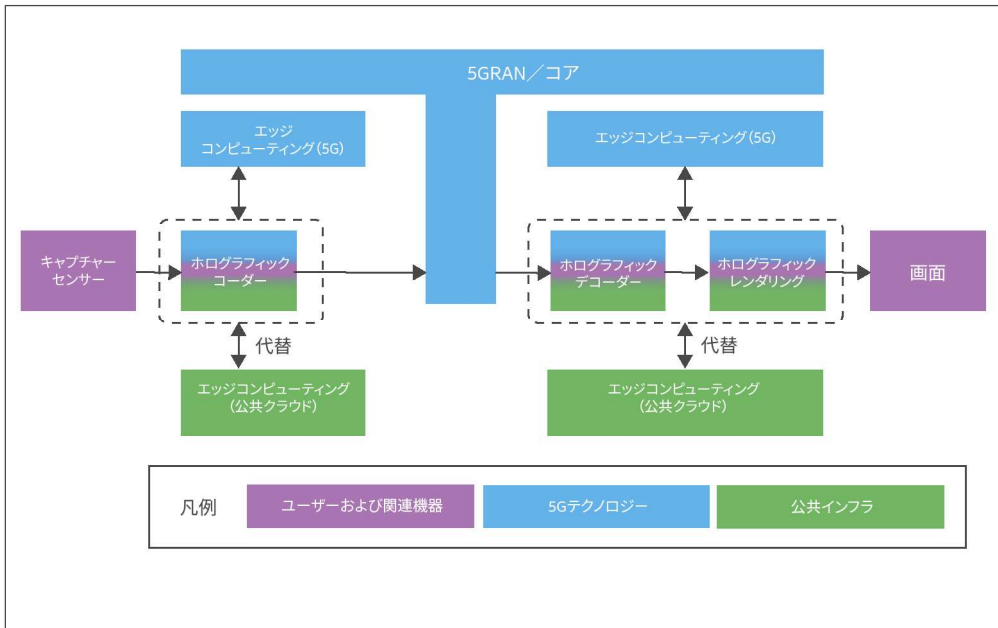


図2 ホログラフィック通信のエンドツーエンドパイプライン

はそれぞれをローカライズし、ホログラムを含む仮想コンテンツを環境内の特定の位置に固定できます。真にホログラフィックな印象は、さまざまな角度からホログラムを見る機能によって作られますが、それを実現できるのがSLAMです。

移動型と静止型両方のホログラフィックディスプレイの継続的な進化、さらにAR対応のコンタクトレンズがホログラフィック通信の発展に貢献することでしょう。AR対応のタブレットと電話機は、ハンズフリー操作が不要なケースで参入障壁を引き下げます。

ホログラフィック通信のパイプライン

ホログラフィック通信をサポートするために提案されたアーキテクチャーを図2に示します。キャプチャーセンサーは人間の顔と体のリアルタイム表現を提供します。ネットワーク上のビットレートを減らすため、エンコード前にフォーマット変換とフィルタリングが適用されます。圧縮されたホログラムは、5Gなどの低遅延で信頼

性の高い伝送ネットワークを介してXRデバイスに送られます。圧縮されたホログラムは、消費者環境でのレンダリングの前にXRデバイス上でデコードおよび処理されます。レンダリングエンジンは、デバイスとレンダリングされたシーンの位置と意味情報を捉えます。こうしてXRデバイスに人間の仮想的な表現が表示されます。ネットワークは、デバイスから重い処理をオフロードする演算プラットフォームとして、ホログラフィックデータのエンコード、デコード、レンダリングを実行できます。

●● メッシュは点群よりも大幅に小さくなり、保管、伝送、レンダリング速度が向上 ●●

キャプチャテクノロジー

ホログラフィックキャプチャーは、オブジェクト、人、環境の測定可能な3D表現を生成するプロセスです。このプロセスは次の四つのステップに分かれています。

1. 取得
2. 深度推定
3. データ融合
4. 後処理

取得ステップでは、視覚センサーを使って対象のボリウムをキャプチャーします。3Dキャプチャーには、複数のビジュアルセンサー技術が使われます。現在最も一般的なメカニズムはLiDARなどのToF (Time-of-Flight) センサーで、光パルスが目的地まで移動して戻るまでにかかる時間で距離を測定します。

深度推定ステップではセンサーストリームを使って深度を計算します。ToFセンサーは深度情報を直接提供しますが、ステレオカメラとマルチカメラシステムは、さまざまな角度から人物をキャプチャーすることで深度を推定します。

データ融合ステップでは、キーポイントを照合し、さまざまなビューから最適な幾何学的変換を計算することで、さまざまな視点からの深度情報や深度マップが、3Dポイントの単一のストリームに融合されます。

後処理ステップでは、冗長なポイント、ノイズ、外れ値を取り除くことで、3Dポイントのストリームのデータサイズを削減します。結果としてもたらされた3D表現は、点群やメッシュなどのさまざまなビジュアルメディア形式で配信できます。

点群とは、キャプチャーされたボリウムを表す点を集めたものです。各点には、位置に関する情報のほか、特定のフレームにおける赤、緑、青のカラーモデルと強度値のオプションが含まれています。メッシュは冗長な点を無視してこれら

の点を三角形で結合し、穴を埋めます。頂点の数を減らすことで、メッシュを整理してさらに減らすことができます。メッシュは解像度により点群よりも大幅に小さくなるので、その保存、伝送、レンダリング速度が高まる可能性があります。

レンダリングと表示

レンダリングとは、計算によって特定の視点からのシーンまたはモデルの画像を生成する処理です。シーンとは、ボリウムとそのコンテンツを記述するコンテナオブジェクトです。ソースとは、レンダリングされるシーンにあるオブジェクトです。

カメラは視点をレンダリングするインスタンスであり、場所、フォーカス、方向、解像度で構成されます。

エンジンは、レンダリングパイプラインに基づいてコンテンツをレンダリングします。レンダリングパイプラインは、カリング、レンダリング、後処理を行います。パイプラインには、それぞれのアプリケーションやプラットフォームに適した機能と性能特性を備えたいくつかの種類があります。汎用レンダリングパイプラインは、さまざまなプラットフォームでグラフィックを処理するように最適化されている一方、忠実度の高いグラフィックパイプラインはハイエンドのプラットフォームに適しています。

レンダリング処理を改善するために、いくつかの手法を利用できます。たとえばQoE向上を伴うレンダリング高速化、エッジのスムージング、シーン内のオブジェクトの品質向上などです。またAIアルゴリズムによって、シーンのオブジェクトを再生成したり、アバターなどの写実的な表現[10]を作成したりできます。写実的な表現にはモデルが含まれています。モデルは視覚的表現またはメッ

●● 深度カメラでキャプチャーしたリアルタイムデータはレンダリングにより多くの計算を必要とする ●●

シュモデルと構成からなります。構成はモデルの骨格またはアクセスポイントです。これらのポイントは、プリロードされたアニメーションを使ってレンダリング処理中にアニメーション化されます。

深度カメラからキャプチャーされたリアルタイムデータは、アバター表現よりもレンダリングに多くの計算を必要とします。まばたきなどの顔の表情の更新を既存のアバターモデル上で行うといった、差分をレンダリングするアバターの場合と比較すると、ホログラムではフレームごとにメッシュのすべての部分のレンダリングが必要となります。

スプリットレンダリングは、レンダリング機能をエッジクラウドにオフロードする方法です。主な目的は、6自由度の位置とシーン内のXRデバイスの向きを追跡し、一定のフィードバックをリアルタイムでエッジに提供することです。3Dシーンのレンダリングはクラウド内で実行します。クラウドはユーザーの位置に基づき、ユーザーの角度からの2D動画をストリーミングでシーンに戻します。この方法なら、エンドユーザーデバイスがハイエンドの特性を備えている必要はありません。ただしこのシナリオで良好なQoEを実現するには、エッジとデバイス間に低遅延の通信が必要です。

準備が整うと、レンダリングされたストリームは、ユーザーにホログラフィック体験を提供する機能を備えたデバイスに送信されます。デバイスにはスマートフォンやタブレットといったハンドヘルド型、ホログラフィックディスプレイ、ARグラス、VRグラスの4種類があります。これらのデバイスを使うことで室内にホログラムを配置し、その周りを移動できるようになります。

メディアフォーマットとコーデック

ホログラフィック通信の配信には、さまざまな画像メディア形式の処理と伝送が必要になります。これらのフォーマットは、従来のビデオ会議で使われている2D動画フォーマットよりも現実的でインタラクティブな人間や環境の視覚的表現を目指していますが、情報負荷の増加が、通信チェーン全体の伝送速度に大きな負荷をかける可能性があります。

たとえば一人の人間を表す点群データは、通常はタイムインスタンス（動画フレーム）あたり10

●● 屋内にホログラムを配置してその周りを移動することが可能に ●●

万~100万ポイント以上で構成されます。このようなデータを一般的なビデオ会議のレートである30fps (frames per second) でストリーミングするには、約300Mbps~3Gbpsの帯域幅が使えなくてはなりません。このような非圧縮ビットレートは現時点では実現できず、現在の実際のビデオ会議システムではメディアコーデックを使い、帯域幅要件を1~6 Mbpsに削減し、圧縮比250:1~1000:1で提供しています。

したがってホログラフィック通信サービスを展開するには、点群などの没入型3D表現に同様の圧縮率を提供する方法が必要です。XRデバイスでの3D画像フォーマットとそのデコード処理に関して、二つのシナリオが考えられます。

一つ目は通常スプリットレンダリングに適用されるもので、3Dフォーマットの処理とデコードをエッジで実行し、XRデバイスは事前にレンダリングされた2D動画をITU-T・ISO/IECのMPEG、H.265やH.266などの従来の2D動画コーデックでデコードします。

二番目のシナリオでは、3Dフォーマットの処理とデコードをXRデバイスで実行するので、デバイス自体に没入型デコーダーの追加サポートが必要です。ISO/IEC MPEG-IのV3C (Visual Volumetric Video-based Coding) とV-PCC (Video-based Point Cloud Compression) で標準化された方法では、3Dから2Dへの投影アルゴリズムを採用し、中間的な2D動画表現を生成します。この表現は、H.265やH.266などの2D動画コーデックの複数のインスタンスでデコードできます。

別の方法は、ISO/IEC MPEG Iジオメトリベースの点群圧縮など、ネイティブの3Dコーデックの採用です。このコーデックでは、圧縮ツールが3D点群表現を直接操作します。この方法はV3C/V-PCCコーデックとは異なり、モバイルハードウェアチップセットにこうしたネイティブ点群コーデックのサポートを追加する必要があります。

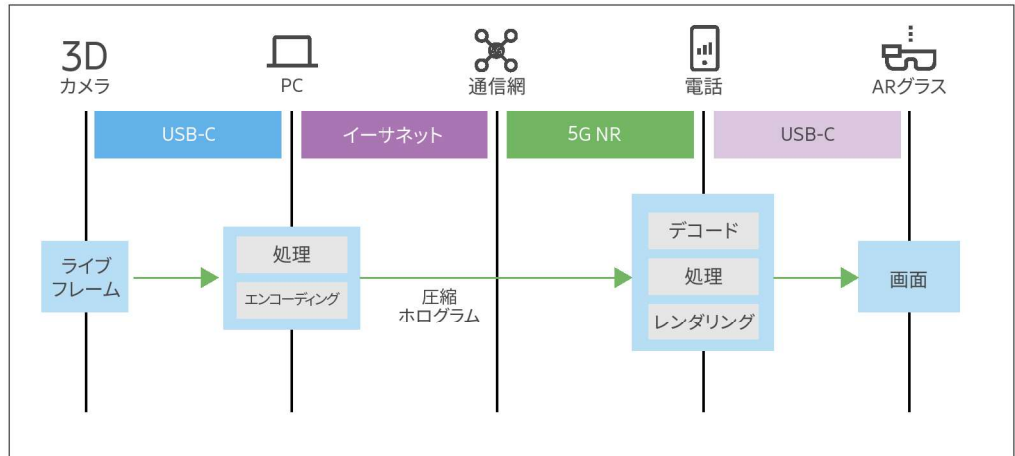


図3 ラボの試験構成

試験結果

既存の5G技術を使って高品質のホログラフィック通信を実現するE2Eパイプラインを構築する可能性を追求するために、実際の5G NR (New Radio) ネットワークで図2に示す方法を試験しました。

3Dフレームは、5Gネットワークにイーサネットに接続されたコンピューターに接続された単一の3Dカメラによってキャプチャーされました。キャプチャーされたストリームは圧縮され、5Gネットワークを介してARグラスが接続された5G携帯電話に送信されました。デコードとレンダリングは携帯電話で実行され、結果がARグラスに表示されました。SLAM機能により、3D表現の周りを歩くことができました。測定の構成を図3に示します。

ホログラフィック通信のQoEに影響する要素には、帯域幅、遅延、品質が含まれます。これら

の三つのうち同時に最適化できるのは二つだけで、常に三つ目が犠牲になるため、まとめてトレードオフトライアングルと呼ばれています。測定時は、品質と帯域幅を変更することを選びました。

品質は、点群内のポイント (10,000ポイント/30fps~100万ポイント/30fps) の数の調整により変更されました。圧縮率は一定に保ち、帯域幅は5Mbps~100Mbpsの間としました。

電話機の総遅延は、デコードとレンダリングの二つの要素で決まります。予想どおり、品質と帯域幅が向上すると、遅延が増加します。携帯電話機の計算が品質限界に達し、約170ms (milliseconds) の遅延が発生していることがはっきりとわかります。初期の実験では、電話機からエッジクラウドへのデコード計算の移動により、遅延を70msに短縮できることが示されています。

図4は、解像度1024x780と30 fpsの四つの品質レベル (Q1~Q4) におけるビットレート、ラウンドトリップ時間、電話機での遅延の結果を示しています。それぞれの平均ポイント数はQ1 (900,000)、Q2 (225,000)、Q3 (100,000)、Q4 (36,000) となりました。

●● ホログラフィック通信のQOEに影響する要素には、帯域幅、遅延、品質が含まれる ●●

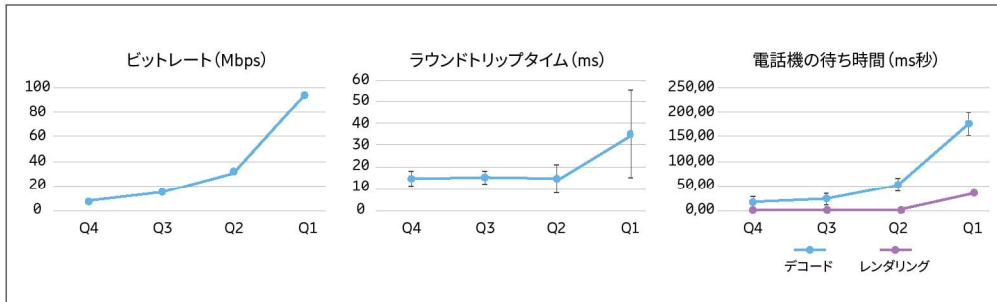


図4 5G NRでの測定結果

結論

私たちの研究によると、消費者と企業の両方が、没入型ARアプリケーションの可能性を理解しており、特にホログラフィック通信は、業務の生産性のみならず、社会的交流と娯楽のあり方も改善すると考えています。軽量のARグラスと強力な3D圧縮アルゴリズムの出現のおかげで、既存の5G技術を使ってARユースケースを展開できるようになっています。

デバイスのサイズ、重量、エネルギー消費の要件を満たしながら、3Dキャプチャされたストリームとそのアプリケーションのレンダリングをあらゆる場所で提供するには、チェーン全体のエッジにコンピューティング機能を備えたアーキテクチャが必要で、この方法によって高性能コンピューティングをネットワークに移行し、モバイルデバイスのエネルギー消費とエンドツーエンドの遅延の両方を削減できます。

XR通信シナリオに点群などの新しいメディア形式を導入すると、通信の当事者間で伝達される情報の魅力、有用性、効率が大幅に向上します。通信を成功させるには、通信形式を両者が共に理解する必要があります。これは通常は標準化によって解決されます。3GPPはリリース18で、より効率的なXRサービスのサポートを提供するために5Gを拡張するという難しいタスクに挑みました。XRのさまざまな側面は他の標準化団体ですでに取り組みされているため、可能な限りそれらを再利用することを目指しています。

関連文献

- » Ericsson Technology Review, XR and 5G: Extended reality at scale with time-critical communication, available at: <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/ericsson-technology-review/articles/xr-and-5g-extended-reality-at-scale-with-time-critical-communication>
- » Ericsson Technology Review, Versatile video coding explained, available at: <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/ericsson-technology-review/articles/versatile-video-coding-explained>
- » Ericsson blog, Welcome to XR immersive experiences, available at: <https://www.ericsson.com/en/blog/2021/11/welcome-to-xr-immersive-experiences>
- » Ericsson, AI in networks, available at: <https://www.ericsson.com/en/ai>

参考文献

1. Ericsson Consumer and Market Insight report, Five ways to a better 5G, available at: <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/consumerlab/reports/five-ways-to-a-better-5g>
2. Ericsson Consumer and Market Insight report, Busting the myths around the value of 5G for consumers, available at: <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/consumerlab/reports/5g-consumer-potential>
3. Ericsson Consumer and Market Insight report, The dematerialized office, available at: <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/industrylab/reports/the-dematerialized-office>
4. International Organization for Standardization, ISO 9241-11: Ergonomics of Human System Interaction, 1998, available at: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-11:ed-1:v1:en>
5. IGI Global, Hedonic, emotional, and experiential perspectives on product quality, in Encyclopedia of human computer interaction, 2006, Hassenzahl, M., available at: <https://www.igi-global.com/chapter/hedonic-emotional-experiential-perspectives-product/13133>
6. Annual review of psychology, Emotion and decision making, 2015, Lerner, J. S; Li, Y; Valdesolo, P; Kassam, K. S., available at: <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010213-115043>
7. British Journal of Psychology, Most advanced, yet acceptable: Typicality and novelty as joint predictors of aesthetic preference in industrial design, 2003, Hekkert, P; Snelders, D; Van Wieringen, P. C., available at: <https://bpspsychub.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1348/000712603762842147>
8. IEEE MultiMedia, Towards a QoE model to evaluate holographic augmented reality devices, 2018, Zhang, L; Dong, H; El Saddik, A., available at: <https://doi.org/10.1109/MMUL.2018.2873843>
9. Interaction Design Foundation, What is Design Thinking?, available at: <https://www.interaction-design.org/literature/topics/design-thinking>
10. Facebook 2020 Research: Photorealistic Avatars & Full Body Tracking, available at: https://www.youtube.com/watch?v=Q-gse_hFKJM



Ali El Essaili

◆2014年にエリクソンに入社し、現在エリクソンリサーチの主任研究員。現在はXRと5Gの没入型メディアアプリケーション実現に取り組む。ドイツのミュンヘン工科大学で電子工学の博士号を取得。

Alvin Jude

◆2014年にエリクソンに入社し、現在はエリクソンリサーチの主任研究員。米国テキサス州ウェイコのベイラー大学でコンピューター科学の修士号を取得。専門は人間とコンピューターのインタラクション。



Lukasz Litwic

◆2007年にエリクソンに入社し、現在エリクソンリサーチのビジュアルテクノロジーチームの研究リーダー。2005年にポーランドのグダニスク工科大学で工学修士号、2015年に英国ギルフォードのサリ大学で電子工学の博士号を取得。

Natalya Tyudina

◆2019年にエリクソンに入社し、現在はデジタルサービス部門の技術開発者。主にXRとIaaS (Infrastructure-as-a-Service)に取り組む。ロシアのロストフ・ナ・ドヌーにあるドン州立工科大学で情報システム技術の修士号を取得。



Jörg Christian Ewert

◆1999年にシステムマネージャーとしてエリクソンに入社。2005年にコアネットワーク製品管理チームに参加。現在はデジタルサービス部門で5G通信サービスを担当。ドイツのハーゲンにあるハーゲン通信大学で経営学を学び、ゲッティンゲン大学で物理学博士号を取得。



Bo Burman

◆1996年にエリクソンに入社。エリクソンリサーチのメディアテクノロジーチームに14年間在籍後、現在はデジタルサービス部門のシニアスペシャリスト。スウェーデンのリンショピング工科大学でコンピューター技術と工学の修士号を取得。



Sara Thorson

◆2019年にエリクソンに入社し、現在は消費者・産業研究所のコンセプト開発責任者。持続可能性を中心にXRと6Gの新しいユースケースに取り組む。スウェーデンのイエーテボリ大学のビジネス・経済・法律大学院で国際マーケティングの修士号を取得。



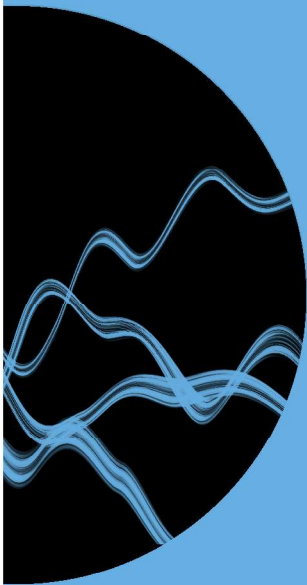
Héctor Caltenco

◆2018年にエリクソンに入社し、現在はエリクソンリサーチのデバイスXRテクノロジー担当主席研究員。ルンド大学非常勤上級講師。デンマークのオールボー大学で医用生体工学の博士号、インテリジェント自律システムの研究で修士号を取得。



Chris Phillips, Du Ho Kang, Esra Akan, Fredrik Alriksson, Jonas Kronander, JohanLundsjö, JoséAraújo, Jose Luis Pradas, Kenneth Wallstedt, Maria Edvardsson, Maria Serra, Martin Ek, Mauricio Aracena, MichaelBjörn, Michael Meyer, Nils-Erik Gustafsson, PeterMarshall による寄稿に感謝します。





ISSN 0014-0171
284 23-3377 | Uen

© Ericsson AB 2022
Ericsson
SE-164 83 Stockholm, Sweden
Phone: +46 10 719 0000