

ホワイト・ペーパー

エッジのシャープ化:LFエッジ分類とフレームワークの概要



目次

1. エグゼクティブサマリー3
2. はじめに3
   1. Edge Continuum4の紹介

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 2.2Cloud Native Principlesのエッジへの拡張 | 7 |  |
| 2.3サービスプロバイダエッジに関する考慮事項 | 8 |  |
| 2.3.1サービスプロバイダエッジにおけるアーキテクチャのトレンド | 9 |  |
| 2.3.2サービスプロバイダでのエッジアプリケーションの導入 | 稜線 | 10 |

* + 1. サービスプロバイダエッジ11におけるバックエンドアプリケーションモビリティワークロードの設計戦略
    2. [サービスプロバイダーエッジ12でのユーザデバイスモビリティの設計方針](#_TOC_250025)
    3. [ユーザにサービスを提供するための最適なエッジ位置の特定13](#_TOC_250024)
  1. [ユーザーエッジ14に関する考慮事項](#_TOC_250023)
     1. [分散デバイスの保護と管理15](#_TOC_250022)
     2. [レガシー・アプリケーションと最新アプリケーションの両方に対応16](#_TOC_250021)
     3. [IoTユースケースにおけるプロトコルフラグメンテーションへの対処16](#_TOC_250020)
     4. [レーテンシー-重要なアプリケーション16](#_TOC_250019)
     5. [IT環境とOT環境における関心事の分離17](#_TOC_250018)
  2. [エッジ展開パターン17](#_TOC_250017)
  3. [エッジAI18の動向](#_TOC_250016)
  4. [エッジコンピューティングの使用例19](#_TOC_250015)
     1. [産業用IoT(IIoT)19](#_TOC_250014)
     2. [コンピュータビジョン20](#_TOC_250013)
     3. [拡張現実(AR)21](#_TOC_250012)
     4. [小売22](#_TOC_250011)
     5. [ゲーム23](#_TOC_250010)
     6. [自動運転24](#_TOC_250009)
     7. [Edge Continuum25の概要](#_TOC_250008)

1. [LFエッジプロジェクトポートフォリオ26](#_TOC_250007)
   1. [LFエッジプロジェクトの概要26](#_TOC_250006)
      1. [ステージ3:インパクトプロジェクト26](#_TOC_250005)
      2. [ステージ2:成長プロジェクト27](#_TOC_250004)
      3. [ステージ1:大規模プロジェクト27](#_TOC_250003)
   2. [Edge Continuumを横断するプロジェクトの焦点28](#_TOC_250002)
   3. [LFEプロジェクトの詳細29](#_TOC_250001)
2. [概要30](#_TOC_250000)
3. エグゼクティブサマリー

さまざまな垂直市場の企業が、クラウドコンピューティングをネットワークのエッジまで拡張することで可能になる、新たなビジネスチャンスを積極的に模索しています。エッジコンピューティングの概念は、コンシューマとエンタープライズの両方のセグメントにおいて、新しいタイプのお客様に新しいタイプのサービスを提供することによって、新しい収益機会を生み出すことを約束します。

エッジコンピューティングの技術面とビジネス面の両方にとビジネス面の両方に関心のある読者を対象に、Linux Foundation(LF)とその下部組織であるLF Edge(LFE)がホストする一連のオープンソースソフトウェアプロジェクトを紹介します。LF Edgeの分類法とフレームワークを概説し、企業が

これらのプロジェクトに参加して利益を得ることで、エッジコンピューティングアプリケーションの開発、導入、および収益化を促進します。また

Linux Foundation(LF)とその下部組織であるLF Edge(LFE)がホストするオープンソースのソフトウェアプロジェクト。

この文書には、各プロジェクトに関連するオンラインリソースへの参照が含まれており、開発者はオープンソースソフトウェア自体だけでなく、豊富な技術情報にアクセスできます。

1. はじめに

エッジコンピューティングは、コンピューティングとストレージがネットワークのエッジに配置され、データが生成されて消費される場所、および物理的な世界でアクションが実行される場所に対して、必要かつ実行可能な限り近い場所に配置される新しいパラダイムを表します。これらのコンピューティングリソースの最適な配置は、一元化のメリットと分散化のメリットの間の固有のトレードオフによって決まります。

このホワイトペーパーでは、LF Edgeの分類法とエッジコンピューティングの主要な概念を紹介し、通信、産業、エンタープライズ、およびコンシューマ市場における新たなユースケースに焦点を当てます。

また、Linux Foundation(LF)とその子会社であるLF Edge(LFE)アンブレラ組織がホストする8つのオープンソースエッジプロジェクトの詳細も提供している。LFは2000年に設立された非営利の技術コンソーシアムで、Linuxな採用を促進するために年に設立された非営利の技術コンソーシアムです。LFとそのプロジェクトには、40カ国以上から1,500人以上の企業メンバーが参加している。LFはまた、200以上のオープンソースプロジェクトをサポートする30,000以上の個人貢献者から利益を得ている。

2019年に設立されたLF Edgeの使命は、ハードウェア、シリコン、クラウド、オペレーティングシステムに依存しない、オープンで相互運用可能なエッジコンピューティングのフレームワークを確立することです。

* 1. Edge Continuumの紹介

Linux FoundationのOpen Glossary of Edge Computingで定義されているように、エッジコンピューティングとは、アプリケーションとサービスのパフォーマンス、セキュリティ、運用コスト、および信頼性を向上させるために、ネットワークの論理的に極端な部分にコンピューティング機能を提供することです。エッジコンピューティングは、デバイスとそれを提供するクラウドリソース間の距離を短縮し、ネットワークホップの数を減らすことによって、今日のインターネットの遅延と帯域幅の制約を緩和し、新しいクラスのアプリケーションを先導します。具体的に言うと、これは、現在の中央集中型データセンターと、ますます多くのノードが現場に配置されるようになっの間の経路に沿って、ラストマイルネットワークのサービスプロバイダー側とユーザ側の両方に、新しいリソースとソフトウェアスタックを分散することを意味します。

本質的に、エッジコンピューティングは、ネットワークによって相互接続された複数のアプリケーションコンポーネントを含む分散クラウドコンピューティングである。(1)クラウドバックエンドを備えたスマートフォンアプリケーション、(2)クラウドに直接接続するサーモスタットや音声制御システムなどのコンシューマデバイス、(3)スマートフォンとクラウドに接続されたスマートウォッチまたはセンサー、(4)エッジゲートウェイに接続され、IIoT

社内システムやクラウド。また、LTEや5Gのネットワーク機能の多くがエッジに分散されるようになり、専用のプライベートネットワーク、固定無線アクセス、SD-WAN、ネットワークスライシングなど、新しいビジネスモデルやユースケースが可能になり、多くの企業や垂直産業のニーズに応えています。

一元化されたデータセンターからデバイスまで、インターネットを構成する一連の物理インフラストラクチャを通じてエッジコンピューティングを視覚化するのに役立ちます。この連続体に沿った重要なポイントにサービスを配置することで、開発者はアプリケーションの遅延要件をよりよく満たすことができます。これまで、クラウドプロバイダとコンテンツデリバリネットワーク(CDN)は、一部のサービス(データをキャッシュする機能など)を一元化されたデータセンターから、サービス対象のデバイスに近い分散したPoint of Presence(POP;ポイントオブプレゼンス)に移動することで、エンドツーエンドの全体的な遅延を短縮してきました。これにより、ストリーミングビデオやリッチなWebコンテンツなどの従来のアプリケーションのパフォーマンスを向上させることができる「クラウドエッジ」または「インターネットエッジ」が作成されましたが、多くの新しいアプリケーション、特に遅延、帯域幅、自律性、セキュリティ、およびプライバシーのためにエッジの連続体に沿ってより高度なリソースの分散を必要とするアプリケーションに対応するには不十分でした。

このホワイトペーパーでは、ラストマイルネットワークにまたがる2つの主要なエッジ層、「サービスプロバイダーエッジ」と「ユーザーエッジ」に焦点を当て、それぞれをさらにサブカテゴリに分類します。図1は、個々の分散デバイスから一元化されたデータセンターに至るまでのエッジコンピューティングの連続体と、各カテゴリの境界を定義する主要な傾向をまとめたものです。これには、アーキテクトがコンピューティングリソースを物理的な世界に近づけるために必要とする、ますます複雑になる設計上のトレードオフも含まれます。



EdgeRegionalエッジへのアクセス

Telcoネットワーク、地域のTelcoおよびEdge Exchange SitesDirectピアリングサイトでのサーバベースのComputeServerベースのコンピューティング

スマートデバイスエッジ

アクセス可能な場所にIoT(ヘッドレス)およびエンドユーザークライアントコンピューティングを含む

拘束されたデバイスエッジ

マイクロコントローラをベースにした、物理的な世界で広く普及している

オン-データセンターエッジの準備

安全な場所でのサーバベースのコンピューティング

サービスプロバイダーエッジ

ユーザーエッジ

一元化されたデータセンター

従来のクラウドデータセンターにおけるサーバベースのコンピューティング

インターネットエッジ

ラストマイル・ネットワークス

ハードウェアとソフトウェアのカスタマイズ、リソースの制約、および導入規模の拡大

通常はユーザー/企業が所有/運用されるが、CPEを介してSPも所有/運用される

通常はサービス・プロバイダ(SP)が所有および運用する共有リソース(XaaS)

ほぼ安全な場所にアクセス可能

安全なデータセンター/モジュラーデータセンター(MDC)の内部

レイテンシが重要なアプリケーション

レイテンシの影響を受けやすいアプリケーション

組み込みソフトウェア

クラウドの増加-ネイティブ開発プラクティス

図1:エッジ連続体の概要

図の右端は、クラウドベースのコンピューティングを表す中央のデータセンターを示しています。これらの設備は、装置上では不可能または適切ではない規模の経済性および柔軟性を提供する。一元化されたクラウドリソースは事実上無制限であるが、デバイスリソースは本質的に制約を受ける。一元化されたクラウドは、構成、追跡、管理など、多数のデバイスの集合的な動作を監視できますが、データセンターの一元化された場所とリソースが共有されるという事実によって制限されます。

一元化されたデータ・センターからデバイスに至るまでの一連の流れの中で、最初の主要なエッジ階層はサービス・プロバイダ(SP)エッジであり、グローバルな固定/モバイル・ネットワーク・インフラストラクチャで提供されるサービスを提供します。パブリッククラウドと同様に、Service Provider Edgeのインフラストラクチャ(コンピューティング、ストレージ、およびネットワーキング)は、多くの場合、サービスとして使用されます。

Service Provider Edgeのソリューションは、パブリックインターネットと、サービスプロバイダーによって運用されるモバイルセルラーシステムを含むプライベートネットワークとの間の違いのために、パブリッククラウドよりも多くのセキュリティとプライバシーを提供することができる。Communications Service Provider(CSP;通信サービスプロバイダー)による既存の1,000,000,000,000ドルの投資を活用します。CSPは、独自のコモディティサーバをネットワークエッジに配置し、近隣のクラウドプロバイダーやベアメタルオペレータとも相互接続します。サービスservice Provider Edgeのインフラストラクチャは、一般にUser Edgeのインフラストラクチャよりも標準化されていますが、どこに導入されているかによって、規制へのコンプライアンスと堅牢性に関する独自の要件があります。

Service Provider Edgeは分散されており、エッジコンピューティングリソースをエンドユーザーにより近い場所に提供します。たとえば、CSPは固定ネットワークとモバイルネットワークをエッジで活用し、多くのエッジアプリケーションのプラットフォームを提供できるため、ワイヤレスプロバイダーがネットワークを5Gにアップグレードする場合など、ネットワークの進化の一部として新しいビジネスモデルと使用例を作成できます。また、固定ネットワークの場合、CSPはCustomer Premise Equipment(CPE;顧客宅内機器)の形で企業の建物や家庭内のネットワークを終端し、これらのリソースをさらに活用してさまざまなエッジサービスを提供できます。

2番目の最上位レベルのエッジ層は、ラストマイルネットワークの反対側にあることによってサービスプロバイダーエッジから区別されるユーザエッジです。場合によっては、レイテンシをさらに短縮するために、物理環境のエンドユーザおよびプロセスに近い、オンプレミスの分散コンピューティングリソースを使用する必要があります。

User Edgeにコンピューティングを配置するもう1つの一般的な理由は、ブロードバンドネットワーク帯域幅を節約し、Service Provider Edgeでコンピューティングとストレージを行うか、一元化されたデータセンターに戻すかにかかわらず、ラストマイルネットワーク全体にデータを不必要にバックホールする必要性を減らすことです。コンピュータを

User Edgeには、使用可能なリソースがアプリケーション・ワークロードのニーズと一致する場合、自律性、セキュリティとプライバシーの向上、および全体的なコストの削減が含まれます。Service Provider Edgeと比較すると、User Edgeは非常に多様なリソースの組み合わせを表します。一般的な規則として、エッジコンピューティングリソースが物理的な世界に近づくほど、リソースはより制約され、専門化されます。

図1に示すように、エッジ層の主な違いは、コンピューティング資産の所有者です。Service Provider Edgeおよびパブリッククラウド内のリソースは通常、エンドユーザーが所有するのではなく、多くのユーザー間で共有されます。対照的に、ユーザー・エッジのリソースは通常、専用であり、顧客が所有し、運用します。User Edge上のリソースのみを使用するアプリケーションは、多くの場合

OPEXではなくCAPEXに基づくビジネスモデルでは、インフラストラクチャとテクノロジーの購入、運用の複雑さ、拡張性は、管理サービスとして提供されるのではなく、ユーザーの責任となります。しかし、サービスプロバイダ(およびクラウドプロバイダ)は、社内のコンピューティングおよびネットワーキングインフラストラクチャをサポートし、さらにはそれを含むマネージドサービスを構築するようになってきており、ユーザーエッジとサービスプロバイダエッジの両方でリソースを結合したアプリケーションを提供できるようになっています。

たとえば、リモート・マイニング・サイト間の接続のためにプライベート・セルラー・ベース・ステーションを運用するプロバイダや、サービス・プロバイダ・エッジからの人工知能(AI)分析と意思決定のサポート、ユーザー・エッジ上のデバイスのサポートを提供する分析会社などがあります。

このドキュメントに記載されているエッジコンピューティングの分類法と関連用語は、さまざまな市場のレンズ(クラウド、テレコム、ケーブル、IT、OT/産業、コンシューマなど)のバランスを取りながら、技術的およびロジスティック上の主なトレードオフに基づいて高度な分類カテゴリーを作成することを念頭に置いて開発されました。これらのトレードオフには、コンピューティングリソースが(コンテナや仮想マシンを通じて)アプリケーションの抽象化をサポートできるかどうか、物理的に安全なデータセンターにあるのかアクセス可能なのか、サービスを提供するプロセス/ユーザーに対してLAN上にあるのかWAN上にあるのかなどが含まれます(使用例がレイテンシが重要な場合と重要な場合があります)。このドキュメントでは、あるエンティティにとっては意味があるものの、別のエンティティにとっては混乱を招く可能性があるエッジの用語を使用せずに、総合的な視点を提供することを目的としています。例えば、「近い」および「遠い」という用語は、電気通信事業者が区別するために一般的に使用される

ユーザ/サブスクライバに近いインフラストラクチャ(遠端)と、より上流のインフラストラクチャ(近端)の間。これは、ユーザーではなくサービス・プロバイダーの視点から相対的な位置が表示されるため、混乱を招く可能性があります。別の例では、「シン」および「シック」という用語は、オンプレミスエッジコンピューティング能力の程度を特徴付けるためにいくつかの円で使用されているが、これらの用語は、データセンターで物理的に保護されているユーザエッジのリソースと、アクセス可能な場所に分散されているリソースとの間を明確にしない。

* 1. Cloud Native Principlesのエッジへの拡張

コンテナ化とKubernetesの導入により,プラットフォームに依存しない,マイクロサービスベースのアーキテクチャをベースとしたネイティブなソフトウェア開発と,ソフトウェア拡張のための継続的インテグレーション/継続的デリバリ(CI/CD)プラクティスを提供するクラウドの数が,急速にている。データセンターでのネイティブ開発がエッジに適用されるのと同じ利点があり、アプリケーションをクラス最高のコンポーネントからオンザフライで構成し、分散した方法でスケールアップおよびスケールアウトし、開発者が革新を続けるにつれて徐々に進化させることができます。

パーフェクトワールド-完美世界-では、ユースケースとコンテキストに応じて分散コンピューティングと集中コンピューティングのと集中コンピューティングの利点をバランスさせるために、必要に応じて、コンテナ化されたワークロードをデバイスからクラウドデータセンターの連続体までの任意の場所にデプロイできるユニバーサルな基盤を持つことになる。しかし、これは一般的には不可能である。

安全で重要なシステムとプロセスを保護しながら、従来の投資に対応します。

Open Glossary of Edge Computingで定義されているように、「エッジ・ネイティブ・アプリケーション」とは、一元化されたデータ・センターで完全に動作させることが非現実的または望ましくないアプリケーションです。エッジネイティブアプリケーションは、クラウドネイティブの原則を活用すると同時に、リソースの制約、セキュリティ、レイテンシ、および自律性などの領域におけるエッジ固有の特性を考慮します。「エッジネイティブ」という用語は、アプリケーションがクラウドを念頭に置いて開発されていないことを意味するのではなく、むしろエッジネイティブアプリケーションは上流のリソースと協調して動作するように設計されていることに注意することが重要である。一元化されたクラウドコンピューティングリソース、リモート管理とオーケストレーション、またはCI/CDの活用を理解しないエッジ最適化アプリケーションは、真に「エッジネイティブ」ではなく、むしろ従来のオンプレミスアプリケーションである。その一例が、原子力発電所内の従来の監視制御およびデータ収集(SCADA)アプリケーションであり、セキュリティ目的でクラウドに接続されていない。結局のところ、開発者は、クラウドの本来の原則を可能な限りエッジの連続体の下にまで拡張すると同時に、レイテンシや安全性といった重要なプロセスといった固有のトレードオフを考慮した基盤を必要としている。

* 1. サービスプロバイダーエッジに関する考慮事項

サービスプロバイダーエッジは、ユーザエッジからラストマイルネットワークの反対側にあるインフラストラクチャで構成されます。これは、Regional EdgeとAccess Edgeという2つのサブカテゴリで構成されています。前者は従来、バックホールネットワークに関連付けられ、後者はフロントおよび中間ホールネットワークに関連付けられていました。

Service Provider Edgeとそのサブカテゴリが相互に、またインターネットの他の部分とどのように関連しているかを理解するには、一元化されたデータセンターとの間でトラフィックがどのようにルーティングされるかを確認します。AmazonのUS WestやUS East地域などの一元化されたデータセンターは、ほとんどの大都市圏から遠く離れた特定の場所に存在します。これらのパブリッククラウドデータセンターは、インターネットバックボーンを介してエッジリソースに接続されています。これらのバックボーンは、世界中に広がっており、地域のInternet Exchange Point(IXP;インターネットエクスチェンジポイント)で終端しています。XPSは主要都市に存在し、アクセスネットワークとインターネットの他の部分との間の主要なブリッジである。多くの理由から、一元化されたデータセンターは、時間の影響を受けやすいワークロードには適していません。これは主に、エッジロケーションからのトラフィックが比較的長い距離を移動し、複数のネットワークホップを通過する必要があり、その両方が遅延とジッタを増加させるためです。しかし、この問題に対処するために、パブリッククラウド事業者が地域キャッシュを作成する傾向が出てきている。

その結果、Regional Edgeのデータ・センターにコンピューティング・リソースを配置してネットワーク・ホップを削減する一方で、User Edgeに配置されたリソースと比較して中程度の拡張性のメリットを維持するプロバイダが増えています。これらのエッジサイトは、電話会社のネットワークオペレータが所有することもありますが、エクイニックスやDigital Realtyなどの企業が所有するMulti-Tenant Colocation(MTCO)的です。これらのMTCO企業は、IXPに隣接して、多くの場合同じ建物内に大規模な地域データセンターを構築し、サーバやその他のIT機器用のスペースを

主要なパブリッククラウド。豊富なデータがこれらの場所を通過します。エクイニックス以外のプロバイダが、地域のデータセンターのコンピューティングリソースをInternet Exchange経由で一元化されたクラウドデータセンターにブリッジする直接ピアリングサイトを構築する傾向が出てきています。たとえば、公衆クラウドとピアリングするTelcoのようなプロバイダです。さらに、CDNのオペレータは、顧客がIXPサイトでカスタムアプリケーションを実行できるように進化しています。一般的に、Regional Edgeデータセンターは、30～100ミリ秒の範囲のレーテンシーに耐えられるエッジワークロードをサポートできます。

また、Service Provider Edge内には、地域のデータセンター間の「ミドル・マイル」と実際のラスト・マイル・ネットワークにまたがるアクセス・エッジもあります。Access Edgeサイトには、セルタワー、ケーブルヘッドエンド、アグリゲーションおよびプレアグリゲーションのハブおよびセントラルオフィスにまたがるフロントおよびミッドホールやxDSL、xPON機器などのネットワークアクセス機器を収容するその他の施設にまたがる、フロントおよびミッドホールのインフラストラクチャが含まれます。

サービスプロバイダとエッジコロケーション企業は、既存の施設を転用し、これらのアクセスサイトの場所またはその近くに小規模から中規模のマイクロデータセンターを配置して、ラストマイルネットワークに「1ホップ」の距離を提供しています。これらのデータセンター設備は、レイテンシが1ミリ秒未満のラストマイルネットワークへの予測可能な接続を必要とするワークロードなど、低レイテンシのワークロードをサポートします。

Regional Edgeと同様に、Access Edgeにも多くの企業がIT機器を導入しており、ネットワーク・アクセス・サイトアクセスサイトの電話会社も含まれていますが、Edge Co-Location企業が運営する新しいビジネスモデルが台頭しています。Access EdgeとRegional Edgeのコンピューティング・リソースを連携させることで、拡張性、コスト、複雑さ、レーテンシーのバランスをとることができます。

* + 1. サービスプロバイダエッジにおけるアーキテクチャのトレンド

多くのウェブスクールな設計原則は、クラウドのようなコンピューティング能力をサービスプロバイダエッジで実装するために適用することができる。ここ数年、Kubernetesのようなオーケストレーション技術は、オンプレミス、ハイブリッド、マルチクラウド環境でのクラウド-ネイティブワークロードの実行を可能にしてきた。Service Provider Edgeにオフロードされたほとんどのアプリケーションは、その設計またはコードに大きな変更を必要とせず、特定のワークロードをService Provider Edgeサイト(低遅延、高帯域幅、または厳密なプライバシー要件を持つサイトなど)にデプロイできる継続的デリバリパイプラインを保持します。さらに、ワークロードは複雑な方法でネットワークと相互作用することがあります。たとえば、人命安全アプリケーションを優先するなどのニーズに基づいて、特定のアプリケーションのQuality of Service(QoS)を優先します。

Netflix、Apple、YouTubeのような主要なコンテンツ所有者は、キャッシュベースの配信モデルを維持することが期待されている。このアプローチは、Augmented Reality(AR)、Virtual Reality(VR)、Massively Multiplayer Gaming(MMPG)などのエッジアクセラレーションを利用する他の分散ワークロードに対しても保持されます。

AkamaiやCloudFlareなどのコンテンツ配信ネットワークは、既存の配信モデルを維持するとともに、ネットワーク内のPOPの数を増やし、サービスプロバイダエッジのネットワークをさらに拡張して、コンテンツキャッシュ機能を強化するとともに、セキュリティや分散ワークロード製品などの他のビジネスラインを拡張する予定です。これらの製品は、ネットワーク内でより遠く、デバイスに近いというメリットがあります。

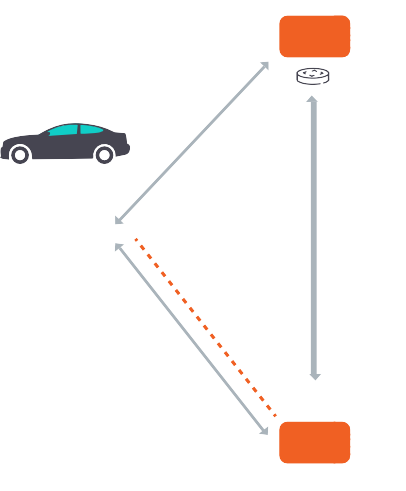
Amazon Web Services(AWS)、Google Cloud Platform(GCP)、Microsoft Windows Azureなどのクラウドプロバイダも、ネットワーク内のPOPの数を増やすとともに、ネットワークをService Provider Edgeまでさらに拡張することが期待されています。各クラウドプロバイダは、次のような独自の方法でを差別化しようとするだろう。AIワークロードに焦点を当てる人もいれば、ユーザーがリソースをプロビジョニングできる領域の数を増やすだけの人もいれば、IoTツールチェーンにエッジ機能を組み込む人もいる。

上記の設計原則によれば、サービスプロバイダーエッジは、遅延や帯域幅などの主要なアプリケーションのニーズに基づいて、QoEを測定し、実施する決定的な方法を確実にする必要があります。ほとんどのインターネットトラフィックは暗号化されているため、これらの保証はトランスポート層に基づく可能性が高く

配信レートを決定する輻輳制御アルゴリズム類似のデザイン

この原則は、グローバルなデータ保護規制に準拠するだけでなく、店舗およびワークロードの地理的なデータ分離ポリシーにも適用されます。

図2は、Service Provider Edgeでの高可用性エッジ・アプリケーションのデプロイメント例を示しています。このデプロイメントは、ピアリング・サイトの複数のサービス・プロバイダー・ネットワークにまたがってれ、同時にパブリック・クラウドのワークロードとも連携することができます。



目的のアプリケーションQoEに基づいて検出された適切なサービスプロバイダーエッジの場所

リージョナルエッジIXダイレクトクラウド

ピアリングサイト

パブリッククラウドサイト

左7

方向変更

エッジアプリケーション

アプリケーション[状態]

エッジアプリケーション

エッジにアクセス

ゾーン2

ダイナミックスケール

エッジにアクセス

ゾーン1

エッジアプリケーション

データパス

**検出パス**

ユーザーエッジ

サービスプロバイダーエッジ

図2.サービスプロバイダーエッジアプリケーションの配置例

* + 1. Service Provider Edgeでの展開

開発者は、顧客の地理的な消費パターンを調べたり、アプリケーションの最適な遅延やQOS要件を判断したりできます。機械学習(ML)アルゴリズムを使用することで、高度なの目的で、これらのパターンが時間とともにどのように変化するかを予測することもできます。オーケストレーションサービス(

Kubernetesのカスタム・スケジューラー)が登場することで、開発者はワークロード要件を指定して配置を自動化できるようになります。

アプリケーションバックエンドの展開は、ネットワークモビリティや特定のデバイス接続に依存しない場合があります。バックエンドサービスの導入は、エッジアプリケーションのモビリティを実現するために、次のようなさまざまな戦略に基づいて行うことができます。

* 静的。これにより、開発者は特定のエッジサイトと各サイトの特定のサービスを選択します。
* 動的。これにより、開発者はオーケストレーションサービスに基準を送信し、オーケストレーションサービスは開発者に代わってワークロードの配置に関するベストエフォート型の決定を行います。この実装の一つは開発者が

要求された計算インスタンスの数、ユーザーの数、および特殊なリソースポリシーに基づいてワークロードの最適な配置を決定するために、システムオペレータまたはクラウドオペレータのオーケストレーションシステムに制御を渡す領域を選択します。

Akrainoプロジェクトでは、次の導入ワークフローに基づいて、エッジアプリケーションのライフサイクル管理の青写真を作成しています。

1. マイクロサービスをコンテナまたは仮想マシン(VM)のセットとしてデプロイして,クラスタを作成する。
2. アプリケーションマニフェストを作成し、QoE、地理的ストア、およびプライバシーポリシーを含むアプリケーションモビリティ戦略を定義します。
3. Edge Applicationを起動し、自動スケーリングを実行して、アプリケーションインスタンスを作成します。
4. このトピックの詳細については、Akraino Edge Stackプロジェクトの開発者セクションを参照してください。
   * 1. サービスプロバイダエッジにおけるバックエンドアプリケーションモビリティワークロードの設計戦略

Service Provider Edgeのワークロードは、要求とリソースの可用性に基づいてインスタンス化および移行する必要があります。例えば、ステートレスアプリケーションのバックエンドは

コンピューティング能力、専門リソース、SLA(Service Level Agreement)の境界に基づいてゾーン間を移動する必要があります。ステートフルなワークロードは、中央のサーバーの状態を同期し、レイヤー7でそれらをエッジアプリケーションにリダイレクトすることができ、使用するオーケストレーションシステムに関係なく、一貫して動作します。オーケストレーションプラットフォームは、リダイレクションプロセスを支援するために、中央サーバーに定期的なQoEヒントを提供することができますが、それらは独立して動作することもできます。

* + 1. サービスプロバイダーエッジでのユーザデバイスモビリティの設計戦略

デバイスモビリティはルート認識に基づいているため、デバイスモビリティの設計原理を説明する前に、モバイルネットワーク間でデータがどのように移動するかを確認することが重要です。ワイヤレスネットワークに接続されたモバイルデバイスは、最も近いタワーに接続し、すべてのアプリケーションデータを最も近いゲートウェイにトンネリングします。このゲートウェイは、さらに地域ゲートウェイにトンネリングされ、インターネット交換を介してパブリッククラウドに転送され、その逆も行われます。Packet Gateway(PGW;パケットゲートウェイ)と呼ばれるリージョナルゲートウェイはアンカーと見なすことができできます。CSPは、ポリシー、課金、および管理のような、一元化された加入者制御を実施するために、このアンカーを利用します。しかし、この方法でのルーティングデータは最適ではなく、エッジアプリケーションが必要とする遅延、帯域幅、およびプライバシーの保証を強制できません。Service Provider Edgeのアプリケーション・バックエンドは、ある地域から別の地域に移動する個々の消費デバイスを追跡するように要求されます。

ローカルブレークアウトを使用すると、サービスプロバイダーはデバイスの近くのエッジサイトにアンカーを配置できます。これらのパケットゲートウェイのControl and User Plane Separation(CUPS;制御およびユーザプレーン分離)は重要なステップであり、各エッジサイトに、軽量でコスト効率に優れたDistributed User Plane Function(UPF;分散ユーザプレーン機能)を導入します。UPFのGPS fのGPS位置を取得すると、最も近いアプリケーションバックエンドの特定に役立ちます。もう1つのアプローチは、デバイスの物理的な位置に基づいて、地理的に同じ場所にあるアンカーにデバイスを接続することです。この場合、ローカルブレークアウトは、これらのアンカーの背後にあるエッジクラウドオーケストレーションスキームとシームレスに動作します。

5G CUPSの最近のトレンドでは、ローカルでのブレークアウトとアンカーの再配布が可能になっており、これは導入されている。ネットワークアプライアンスベンダーは、ネットワーク機能の仮想化、ハードウェアとソフトウェアの分離、仮想マシンまたはコンテナでのネットワーク機能の実行を開始しています。これを仮想ネットワークと呼びます。

関数(VNFs)およびコンテナネットワーク関数(CNF)。ネットワークオペレータは、Kubernetesが提供するような共通のオーケストレーションプレーンを使用して、継続的なデリバリパイプラインによるCNFライフサイクル管理を実現できます。ライフサイクル管理技術はアンカーだけでなく,アクセスエッジでの仮想無線ヘッドにも拡張できる。

コントロールプレーンの分離により、Software Defined Networking(SDN)のようにトンネルをプログラミングして、デバイスから分散エンドポイントにトラフィックをリダイレクトすることもできます。

これらのトンネルは、Packet Data User(PDU;パケットデータユーザ)セッションとしてユーザアプリケーショントラフィックを伝送できます。3GPPなどの組織は、PDUセッション内のエッジアプリケーションIPフローをリダイレクトして、最も近いアンカーにルーティングできるようにするための標準化に取り組んでいます。トランスポート状態としてトンネルIDが埋め込まれたPDUセッションは、現在の状態の同期に問題があるため、既存の3GPPセッション継続性手順は、デバイスが数1000の分散アンカーにわたってPDUセッションを維持することを想定しているため、実行可能ではありません。幸いなことに、コンテナを利用してアンカーされたルーティング構造を変更することができます。

1つのトンネルは、IPを介したGTP-Uカプセル化です。詳細については、このウィキペディアの項目を参照してください。

2Local Breakoutにより、Mobile Network Operator(MNO;モバイルネットワークオペレータ)はインターネットセッションをホームネットワークに分割し

**訪問先のネットワークから直接提供される、データをオーダーする機能を備えた12つのインバウンドローミングサービス利用者。**

Web規模の企業が使用するモビリティ技術ですが、そのためには、コンピューティング(VNF/CNF)の仮想化だけでなく、基盤となるIPルーティングがアプリケーションのIDとデバイスの場所に基づいて行われるようにネットワークを仮想化する必要があります。IDロケータアドレッシングは、カプセル化を使用せずにネットワークオーバーレイを実装する手段であり、アンカーレスデバイスモビリティの実現に役立ちます。

* + 1. ユーザに最適なエッジ位置の特定

最も近いエッジ位置が最適とは限りません。その代わり、クライアントは、地理的に位置する各エッジ・サイトでアプリケーションに対して最後に記録されたQoEに基づいて、アプリケーション・バックエンドに誘導される必要があります。ネットワークは、QoEを改善するためにQoSマッピングを提供することができる。

この設計に基づいて、アプリケーションディスカバリエンジンを複数のCSPに埋め込むことができます。このCSPは、リージョン内のすべてのエッジサイトにわたって、各アプリケーションのアプリケーションバックエンドとQoEの状態を記録し

最適な場所を特定します。このAPIを使用して、コンテンツ配信のレートを調整し、最高のエクスペリエンスを得ることもできます。例えば、NetflixやYouTubeのようなコンテンツサービスは、同じ映画やテレビ番組に対して数十種類の異なるビットレートエンコーディングを維持している。

デバイスの特性、ネットワークの輻輳、その他の要因に基づいて最適な解像度を提供できます。Uniform Resource Identifier(URI;ユニフォームリソース識別子)のランクリストを返す検出エンジンを使用すると、次のような選択基準に基づいて、近くにある最適なサイトを特定できます。

* サイト内のエッジアプリケーションインスタンス-クライアントの場所に基づいて地理的に配置されます。
* 最近のレイヤ4QoE測定値(遅延およびビットレート)に基づくURIランク。

LF Edge Akraino Edge Stackプロジェクトは、このようなApplication Discoveryエンジンを定義しています。Akraino Edge StackプロジェクトのFind Cloudletセクションには、コントロールAPIの実装の詳細と定義が記載されています。

このドキュメントの後半には、個々のCSPが現在、エンタープライズおよびプライバシーを中心としたエッジのユースケースに対応するために使用できる、ユースケースとワークロード属性の包括的なリストがあります。しかし、次世代のアプリケーションを真に解放するためには、開発者は

複数のオペレータネットワークにまたがってアプリケーションを展開できます。この問題を解決する1つの方法は、最後の1マイルでスマートフェデレーションスキームを使用してエッジクラウドリソースをリンクするオペレータを伴う。従来、CSPはグローバルなカバレッジを提供するためにフェデレーションを使用しており、ホームネットワーク内のアンカーにトラフィックを再ルーティングするという準最適なアプローチを採用することがありました。より効率的な戦略は、CSPが、前述のピアリング交換を介して直接、またはラストマイルRadio Access Networks(RAN;無線アクセスネットワーク)を介してフェデレーションすることです。

* 1. ユーザエッジに関する考慮事項

User Edgeは、さまざまなコンピューティングフォームファクタと機能の組み合わせで構成されており、導入が物理的な世界に近づくにつれて、そのユニークさが増していきます。User Edgeの技術的なトレードオフには、さまざまな程度の演算能力(特にシステム・メモリー)と、レガシー・データ・ソースと最新のデータ・ソースの両方とアクチュエータをサポートするための特定のI/O機能の必要性が含まれます。User Edgeのコンピューティングリソースには、信頼性のためのファンレス設計による極端な温度サポート、特殊な認定(例:防爆のためのClass1/Division2)、非常に特殊なフォームファクタ、管理とオーケストレーション(MANO)とセキュリティに対する独自のニーズなど、さまざまなレベルの耐久性も必要です。さらに、コンシューマ向けのデバイスは一般的に12-18数ヶ月の寿命がありますが、エンタープライズおよび産業用のエッジコンピューティング資産は

5~7年以上の長寿命が必要である。これらの固有のトレードオフをすべて考慮すると、User Edgeをさらにいくつかのサブカテゴリに分けると便利です。

ユーザー・エッジ層の右端にあるのは、オンプレミス・データ・センター・エッジ・サブカテゴリーです。これは、物理的に安全な従来のデータ・センターおよびモジュラー・データ・センター(MDC)内にあるサーバ・クラスのインフラストラクチャと見なすことができます。このインフラストラクチャは、オフィスや工場などの建物の内部。これらの資源は

また、特定の企業によって運用され、利用可能なスペース、電力、および冷却の範囲内で適度に拡張可能です。ここでのセキュリティとMANOのためのツールは、集中管理されたクラウドデータセンターで使用されるものと似ていますが、Kubernetesクラスタのように、複数の場所にわたる調整をサポートするためには、ある程度の進化が必要です。

User Edgeの中央には、Smart Device Edgeがあります。これは、物理的に安全なデータセンターの外部に配置されたハードウェアで構成されていますが、クラウドをサポートするための仮想化やコンテナ化をサポートすることができます。これらのリソースは、一般消費者向けのモバイルデバイスやPCから、工場の床、建物の設備室、農場、都市内に分散した風雨に強い囲いなどの厳しい環境でIoTのユースケースに展開される、強化されたヘッドレスのゲートウェイやサーバにまで及びます。これらのデバイスは汎用コンピューティングに対応していますが、コスト、バッテリ持続時間、フォームファクタ、耐久性(熱的および物理的)などのさまざまな理由でパフォーマンスが制約されるため

アップストリームデータセンターのリソースと比較した場合の処理の拡張性。データセンターと同様に、これらのシステムでは、解析を高速化するためのコプロセッシングを特徴とし

極限環境では有益ですSmart Device Edgeのリソースは、スタンドアロン(スマートフォン、工場フロアのIoTゲートウェイなど)で展開して使用することも、接続/自律車両、キオスク、油田、風力タービンなどの分散型自己完結型システムに組み込むこともできる。

User Edge層の最も端にあるのは、Constrained Device Edgeサブカテゴリーです。これは、物理的な世界に広く分散しているマイクロコントローラベースのデバイスに代表されます。これらのデバイスには、機能が固定されたシンプルなセンサーや、ローカライズされた演算をほとんど実行しないアクチュエータから

プログラマブル-ロジックコントローラ(PLC)、リモートcontroller)、RTU(Remote Terminal Unit)、ECU(Engine Control Unit)により、レイテンシ、時間、安全性が重要なアプリケーションに対応この階層のデバイスは、組み込みソフトウェアを活用し、非常に固有の環境とユーザー・エクスペリエンスに準拠するための最も独自のフォーム・ファクタを備えています。

Smart Device Edgeには、IoTユースケース(ゲートウェイ、組み込みPC、ルーター、堅牢なサーバーなど)を対象としたヘッドレスコンピューティングリソースと、ユーザーインターフェイスを持つクライアントデバイス(スマートフォン、タブレット、PC、ゲームコンソール、スマートテレビなど)の両方が含まれます。

ヘッドレス、コンストレインされたスマートデバイスは、IoTソリューションの「モノ」を表し、スマートデバイスは、ローカライズされた汎用コンピューティング能力を提供する。IoTワークロードを対象とするコンピューティングデバイスの範囲は、「IoT Edge」と呼ばれることが多い。

ネットワーキングの分野における一般的な傾向として、IoTのユースケースは、実世界から収集されたデータのアップロードによって制約される傾向があり、一方、エンドユーザクライアントのユースケースは、コンテンツのダウンロードによって制約される傾向がある。その結果、アプリケーション、ストレージ、ネットワーク・トポロジーなどについて、使用例と使用可能なリソースに応じて考慮すべき事項が異なります。

* + 1. 分散デバイスの保護と管理

Constrained Device EdgeおよびSmart Device Edgeのリソースは、通常、現場で簡単にアクセスできる場所にセミセキュアで導入および使用されます。そのため、デバイスがネットワークファイアウォールの背後にあると仮定するのではなく、0信頼セキュリティモデルを採用することが重要です。いずれの場合も、分散コンピューティングリソースには、コストのかかるトラックロールを回避するためのリモートソフトウェア更新機能が必要です。オンプレミスのデータセンターおよびスマートデバイスの場合は、モジュール式のソフトウェア定義アーキテクチャを通じて、時間の経過とともに機能を進化させる必要があります。ただし、データセンター向けに最適化されたMANOおよびセキュリティソリューションは、コンピューティング能力が限られているため、Constrained and Smart Device Edgesには適していません。

設置面積、導入規模、断続的な接続の可能性、および物理的およびネットワークセキュリティの一般的な欠如。また、ソリューションでは、0タッチプロビジョニング(ZTP)などの技術を活用して、現場での安全な導入にITスキルセットを必要としないようにする必要があります。

Smart Device EdgeのIoTおよびクライアント中心のコンピューティングリソースは、コンテナ化および

データ暗号化などのセキュリティ機能に余裕があります。一方、制限されたデバイスは、通常はホストハードウェアに合わせて調整された組み込みソフトウェアイメージを利用するため、追加のセキュリティ対策を実行するためには、そのすぐ上流にあるより高機能なデバイスに依存する必要があります。そのため、Constrained Devices Edgeのデバイス用のMANOツールは、多くの場合、製造元や使用するシリコンによって固有のものになります。一方、スマートデバイスは、MANOツールをより標準化されたプラットフォームに依存しないものにするために必要な抽象化を提供することができる。

x86およびArmベースのハードウェア、またはAndroidなどのモバイルOSを通じて、さまざまなメーカーのスマートフォンでアプリケーションをサポートします。可能な限り、すべての主要なセキュリティ機能(認証、ブート、暗号化など)は

Trusted Platform Module(TPM)やArm TrustZoneなどのハードウェアベースの信頼のルート。ただし、これは高度に制約されたデバイスでは必ずしもオプションではありません。

* + 1. レガシー・アプリケーションと最新アプリケーションの両方に対応

集中管理されたクラウドデータセンターと同様に、多くのUser Edgeコンピューティングリソースは、最新のクラウドネイティブワークロードと並行してレガシーアプリケーションに対応する必要があります。これは、社内のデータセンターでは

Kubernetesのようなソリューションと共にエンタープライズ仮想化ソフトウェアを確立しましたが、現場に配備されたより制約の多いハードウェアでこれらのツールを活用することは現実的ではありません。抽象レイヤには特別な考慮が必要です。

は、リソースに制約のあるハードウェア用に最適化されており、安全なデータセンターの外部に分散されたデバイスに固有のセキュリティニーズを把握します。特定の計算ノード上で仮想化またはコンテナ化されたワークロードを抽象化する機能は、通常、使用可能なメモリによって制限されます。実際の下限は約256MBで、ワークロードとともに抽象化レイヤーをホストするのに十分です。このメモリ制約は

SmartとConstrained Device Edgesの間の主要な境界であり、一般的にクラウドを拡張するための限界であり、ネイティブのソフトウェア開発プラクティスはデータソースに近いものになります。このメモリ容量を下回ると、密結合でソフトウェアを組み込む必要がある

柔軟性を制限し、抽象化されたモジュラー型アプリケーションによって拡張性の範囲を狭めるハードウェアに。

* + 1. IoTユースケースにおけるプロトコルフラグメンテーションへの対処

クラウド、サービスプロバイダ、オンプレミスのデータセンターエッジにまたがる完全完全にIPベースのデータフローと比較すると、制約のあるスマートデバイスを提供するIoTワークロードのリソースは、従来の接続プロトコルと最新の接続プロトコルの多様な組み合わせを理解する必要があります。これらの接続プロトコルは、有線および無線の転送だけでなく、標準形式と独自形式の両方にまたがっています。これは特に、何100ものレガシープロトコルフォーマットを理解する必要があるIIoTの領域に当てはまります。1つの接続標準が支配的になることを期待するのではなく、様々なIoTデータソースを、アップストリームでさらに処理するために望ましいIPベースのフォーマットに正規化できるエッジソフトウェアフレームワークを持つことが重要である。ここでのオープン性は、ユーザが特定のバックエンドサービスにロックされないようにすることで、できます。

* + 1. レーテンシー:重要なアプリケーション

決定論的な応答のために「ハードな」リアルタイム操作を必要とする、安全性とレイテンシが重要なアプリケーションは、ユーザエッジでワークロードを実行するためのもう1つの重要なドライバを構成します。PLC、RTU、ECUなどのリソースは、長年にわたって産業用プロセス制御、機械、航空機、車両、および無人機で使用されており、リアルタイムオペレーティングシステム(RTOS)専用の固定機能ロジックが必要です。機械の制御、車両のブレーキの適用、またはエアバッグの展開などの時間および安全性に関する重要なプロセスは

これは、接続の速度と信頼性に関係なく、最後の1マイルのネットワーク頼ることができないためです。このシナリオは、「ソフト」リアルタイムで動作し、多くの場合、スケーラビリティのためにService Provider Edgeによって配信されるビデオストリーミングなどの遅延に影響されやすいアプリケーションとは対照的です。遅延の影響を受けやすいアプリケーションでは、ネットワークの問題によってユーザーエクスペリエンスが低下する可能性がありますが、致命的となる可能性のある重大な障害は発生しません。

* + 1. IT環境とOT環境における関心事の分離

OT組織はこれまで、アップタイム、安全性、およびセキュリティを確保するために、階層化された産業用制御インフラストラクチャ(PLC、SCADA、DCS、およびMESシステムなど)をより広いネットワークから分離してきました。しかし、産業用IoT(IIoT)の重要な側面は、これらの資産と関連するプロセスをネットワーク化されたインテリジェンスに接続し、新たな成果を生み出すことである。既存のプロセスを中断するリスクのない制御システムからの関心事の分離を作成するために、産業界のオペレータは、ネットワークのセグメント化に依存し、通常は、分析ワークロードを可能にするために環境全体にインストールされた新しいセンサーに加えて、既存の制御システムからのデータを利用する二次的な「オーバーレイネットワーク」をインストールする。

その一方で、例えば、制御機能を提供する仮想化された「ソフトPLC」と、追加の仮想化されたおよび/またはコンテナ化されたデータ管理、セキュリティ、および分析アプリケーションが並行して実行され、より高いエッジ階層と相互作用する一方で、複雑で重要なワークロードを共通のインフラストラクチャに統合する傾向があります。この統合では、これらの複雑で重要なワークロードの間で懸案事項を確実に分離するために、抽象化レイヤーで特別な考慮事項が必要です。

要約すると、開発者はUser Edgeで柔軟なツールを必要としています。これにより、Service Provider Edgeとクラウドの両方と連携することのスケールメリットを活用しながら、過度のリスクから運用を保護しながら、レガシー、安全-クリティカル、レイテンシ-クリティカル、時間-クリティカル、および最新のコンテナ化されたワークロードを同時に実行できるようになります。

* 1. エッジ展開パターン

User Edgeの下のサブカテゴリーは、サービスプロバイダーのEdgeおよびクラウドと、階層化されたコンピューティング連続体の一部として動作しますが、必ずしも連続している必要はありません。物理的な世界に分散している制約のあるスマートデバイス(スマートサーモスタット、スマートフォン、接続された車両など)は、多くの場合、ルータを介してサービスと直接通信し、すべてのオンプレミスデータセンターインフラストラクチャをバイパスします。また、デバイスをオンプレミスで導入して、より高性能なローカルエッジコンピューティングと連携させることもできます。ローカルエッジコンピューティングは、サービスプロバイダーのエッジとクラウドと連携します。この連続体は、地域、機能、フォーム・ファクター、所有権の複雑なマトリックスです。図3は、さまざまなエッジ展開パターンの例を示しています。

すべての処理のためにルータを介してクラウドと直接通信する制約されたデバイス



制約のあるDevicesSmart DevicesOn-プレムサーバ

クラウド(Cloud)

サービスプロバイダーエッジ

ユーザーエッジ

サービスプロバイダが地域のDCからエンドユーザーにビデオコンテンツをストリーミングし、低レイテンシを実現

ドローンから地域のDCにストリーミングされた映像を処理するサービスプロバイダー

サービスを調整するサービスプロバイダ

自動運転のためのVehicle-to-Everything(C-V2X)

プロトコルを標準化し、分析と制御を実行するために使用されるローカルIoTエッジゲートウェイ

On-premエッジサーバがビデオを処理し、クラウドベースのサービスのイベントを

IoTセルラー帯域幅を削減するための分析のためのフィールドに埋め込まれたIoTエッジゲートウェイ

オン-セキュリティ上の懸念からエッジコンピューティング(クラウドなし)

図3.エッジ連続体全体にわたるデプロイメント・パターンの例

この図は、リソースが、ユースケースに応じて、連続した複数のピアと「北、南、東、西」に通信することを考慮していないという意味で単純化されていることに注意してください。

* 1. エッジAIの動向

最先端の人工知能と機械学習(AI/ML)に関しては、集中型クラウドデータセンターのようにリソースが豊富な場所でディープラーニングとモデルトレーニングが行われる傾向が一般的であり、その後、モデルはより多くの場所にプッシュされる

データに対してローカルで推論を実行するために、サービス・プロバイダーとユーザー・エッジで制約されたリソース。エッジ連続体に沿ったモデルの実行位置は

遅延の問題への対応、自律性の確保、ネットワーク帯域幅の消費量の削減、エンドユーザーのプライバシーの向上、データの主権に関する要件への対応など、さまざまな要素があります。

プライバシーおよびデータの主権の問題に対処するために、連合学習モデルやトレーニングモデルをエッジで実行するという新しい傾向があります。

地域的な偏りを考慮する必要がある。Constrained Device Edgeのもう1つの新しいトレンドは、マイクロコントローラベースのリソースにML推論モデルを導入することです。

例として、スマートスピーカーがウェイクワード(「Hey Google」や「Hey Alexa」など)をローカルに認識できるようにするMLモデルがあり、その後の音声対話は、コンピューティング連続体のさらに上のサーバによって電力供給される。これは"Tiny ML"と呼ばれ、利用可能な処理リソースを収容するための専用のツールセットを必要とし、この記事の執筆時点ではLF Edgeの範囲外です。

* 1. エッジコンピューティングの使用例

多くの市場セグメントの企業は、集中型クラウドアーキテクチャの拡張としてローカルコンピューティングをプロビジョニングすることによって可能になる新しいビジネス機会を活用するために、エッジホスト型アプリケーションを導入しています。図4は、エッジコンピューティングおよび関連するイネーブリングテクノロジーからメリットを得る、さまざまなユースケースの例を示しています。



モノのインターネット(IoT)

ウェアラブル・コグニティブ・アシスタンス

360

ビデオ

拡張現実

バーチャルリアリティ

臨場感あふれる体験

医療

ロボット

自動運転

ドローン

使用例

自律デバイス

医療

小売

スマートホーム

産業用



テクノロジーの有効化

ハードウェアアクセラレーション

(例:GPU、FPGA)

アイ

5グラム

クラウド-ネイティブ開発

オンデマンドNFV

図4.エッジ連続体全体にわたるデプロイメント・パターンの例

このセクションでは、主な考慮事項とメリットを強調するために、さまざまな使用例について説明します。

* 産業用IoT
* コンピュータビジョン
* 拡張現実
* 小売
* ゲーム
* 自動運転。
  + 1. 産業用IoT(IIoT)

エッジコンピューティングは、製造業、公益事業、石油/ガス、農業、鉱業などの市場におけるIIoTなユースケースに多くの重要なメリットをもたらします。

エッジコンピューティングを使用すると、産業界のオペレータは、センサー、マシン、およびロボットの近くで時間に関する重要な分析を実行できるため、運用上の意思決定にかかる時間を短縮できます。これにより、彼らのプロセスはより機敏になり、変化に対して敏感になります。効率を最大化し、運用コストを最小化するために、リアルタイム運用に必要な機能は社内でホストされますが、時間的に重要でない機能は、パブリッククラウド、プライベートクラウド、またはハイブリッドクラウドで実行できます。

エッジコンピューティングアーキテクチャにより、価値の高い独自仕様の情報から流出することがなくなります。これにより、送信に伴うセキュリティ上の脅威を最小限に抑えることができます。

ハッキングの危険にさらされている公共のネットワークを通じて、データをクラウドに送ることができる。

地雷や石油掘削装置などのリモート操作は、通常、クラウドへの接続が断続的であり、自律的に機能する必要があります。これらのシナリオでは、オンプレミスコンピューティングによって、高価な広域接続を介してデータを不必要にバックホールすることなく、センサーデータの局所分析に基づいたリアルタイムの運用上の決定が可能になります。長期的なプロセス最適化またはマルチサイト集約に必要なデータをクラウドに送信

特定の場所では、不規則な間隔で使用可能な衛星リンクのみを介して接続できる場合があります。

大量のデータは「壊れやすい」ため、その時点で処理された場合にのみ価値があります。サービスプロバイダーエッジを介した接続のコストは、センサーからのデータをローカルで処理し、データの生のストリームではなく、関連する情報のみをクラウドに送信することに抑えられます。これは、予測メンテナンスのユースケースに使用される高帯域幅の振動データや、農業で使用されるスマートメーターや、低帯域幅の狭帯域IoT(NB-IoT)ネットワークを介してクラウドに接続するユーティリティなどのデバイスにとって重要である。このような場合、AIモデルのトレーニングのために追加のデータをクラウドに定期的に集中させ、その後、推論のためにエッジで操作の近くにプッシュすることができる。

* + 1. コンピュータビジョン

コンピュータビジョン技術は、法執行機関および建物のセキュリティのためのビデオ監視、ならびに産業プロセスの監視に広く使用されている。しかし、最近の高解像度IPカメラでは、大量のデータが生成されます。たとえば、4メガピクセル(MP)カメラのアレイでは、デバイスあたり4Mbpsのデータが生成されます。カメラは、動きが検出されたときにのみ送信することによって帯域幅要件を最小化するように構成することができるが、これは、監視システムのネットワーク接続が常に動きに対処するように準備されなければならない都市の通りや工場の生産ラインのような環境では役に立たない。したがって、クラウド内のビデオを分析するには、連続的で高解像度のストリームを伝送するための広帯域ネットワーク接続が必要です。ネットワーク帯域幅が制限されている場合、解析の精度は圧縮されたビデオの低解像度によって制限されます。

しかし、エッジ計算では、高解像度のビデオデータは、スマートカメラ自体の内部でエッジノードとして処理されるか、または近くのエッジサーバ上で処理されます。ハイエンドのIPカメラには、顔認識などのアルゴリズムを実行するのに十分な処理能力があり、AIやディープラーニング技術に基づく分析を活用します。重要であるとフラグ付けされた選択されたイベントおよび/またはビデオシーケンスのみが、例えば、関心のある個人、特定のナンバープレートを有する車両、または欠陥部品など、クラウドに送信される。これにより、必要なネットワーク帯域幅が大幅に削減されると同時に、高品質で高精度の分析が保証されます。

また、エッジの計算によってレイテンシも削減されます。これは、FA(ファクトリーオートメーション)や顔認識などの重要なビジョンベースの検出シナリオにとって重要です。例えば、連続プロセス制御では、エッジ計算に関連する低レイテンシを利用して、プロセスの逸脱や製造上の欠陥をほぼリアルタイムで検出し、生産ラインを停止したり、制御パラメータを迅速に調整して無駄を最小限に抑えることができます。

測量、荷物配達、監視などの用途で使われるドローンは、ドローン自体の重い電力を必要とするシステムではなく、地上のエッジコンピューティングノード内でナビゲーションのためのオブジェクト認識を実行する低レイテンシのコンピュータビジョンシステムを活用する。これは、電力消費を最小限に抑えながら無人機のコストを削減し、それによってバッテリ寿命と飛行時間の両方を最大にする。

User Edgeでビデオを処理することで、プライバシーに関する懸念も軽減されます。特に、規制上の制約がある監視アプリケーションや、プロセス情報が貴重な知的財産である商用アプリケーションではその傾向が顕著です。

* + 1. 拡張現実(AR)

企業は、ポケモンGOやその後継機のようなアプリケーションを通じて消費者に馴染みのある技術を活用し、業務の効率性を向上させるために、拡張現実(AR)の採用を増やしている。

産業環境では、ARは、常に現場に専門エンジニアを配置することなく、より熟練度の低い作業者をメンテナンス作業に導くことができる。これは、作業者の視野にあらかじめスクリプト化された指示のオーバーレイを使用するか、またはリモートの専門家が現場の作業者の目を通して複雑なタスクを実行することで現場の作業者と対話することで実行できます。同様に、航空宇宙では、ARは技術者に保守と診断を提供する

これにより、翼、胴体、またはエンジンのカウリング内の手の届きにくい場所にある、大きくて複雑で、おそらく旧式のマニュアルを物理的に参照する必要がなくなります。

ARアプリケーションは通常、デバイスのカメラからの出力を分析して、ユーザの体験を補う。アプリケーションは、ユーザの位置およびユーザが見ている方向を認識し、この情報は、カメラビューおよび/または位置決め技術を介して提供される。その後、アプリケーションはリアルタイムでユーザーに情報を提供できますが、ユーザーが移動したらすぐに情報を更新する必要があります。さらに、多くの使用事例では、ユーザの視野内のセンサからの重要なリアルタイムデータ、例えば、オペレータが保守手順を通じて作業している間のタンクの温度及び圧力を更新することが有益である。

エッジコンピューティングは、高いレイテンシと遅いフレームリフレッシュレートに伴うめまいを軽減することで、エンタープライズARの効率を向上させる。

エッジホストシステムでは、予測可能なレイテンシが保証されるため、クラウドホストによる絶え間ない遅延の変化ではなく、一貫したエクスペリエンスがユーザーに提供されます。

実装。コンピューティング能力をユーザーの近くにあるエッジサーバに移行することで、ARアプリケーションは、ゴーグル上の高い処理帯域幅の必要性を排除することができ、ゴーグルは高価で、消費電力が多く、長時間の快適な使用には重すぎます。

別の例では、エッジコンピューティングとARは、試合中にスポーツファンに真に没入的なメディア体験を提供する準備ができている。野球、クリケット、フットボール、サッカーなどのスポーツは、観客がドローンやスパイダーカムなどのユニークでカスタムなカメラアングルからビデオをストリームできるようにする「スマートスタジア」ですでに成功している。「仮想カメラ」は、フィールドオブプレー内からのビューを提示し、観客がプレーヤー自身の視点からアクションを体験する機会を与える。

これらのすべてのユースケースでは、クラウドに法外な量のデータをバックホールする必要性を排除しながら、観客が期待する応答性を保証するためにエッジコンピューティングが必要です。

* + 1. 小売

ブリック・アンド・モルタル型の小売業者の場合、世界の小売売上高の約90%は実店舗で発生するため、ほとんどの小売業者は購入者に近い場所にあるコンピューティング・インフラストラクチャに投資しており、エッジ・コンピューティングは一元化されたクラウド環境の拡張です。店内エッジ環境は、スマートサイネージ、ARベースのミラー、キオスク、高度なセルフチェックアウトなどのローカルデバイスをサポートするエッジアプリケーションを通じて、お客様のデジタルエクスペリエンスに重点を置いています。

小売業者は、買い物客が店内に入ったときに、WiFi、ビーコン、コンピュータ・ビジョン・システムが、店内で接続するために以前にサインアップした顧客を認識し、パーソナライズされたクーポンを提供することができる。ARミラーを装備したスマート試着室では、物理的に試着する必要なく、様々な服を着た買い物客を案内できる。

一方、赤外線ビーコンおよびコンピュータビジョン技術は、店舗内のトラフィックパターンに関する洞察を小売業者に提供するヒートマップを生成することができ、スペースをより適切に構成し、1平方フィートあたりの収益を最適化することができる。

セルフ・チェックアウト・システムにコンピュータ・ビジョン機能を導入し、RFIDおよびPOSシステムと統合することで、お客様がスキャンしたアイテムがバッグの中にあるものと一致することを確認できるため、紛失防止が向上します。視覚アルゴリズムを使うと、顔認識によってタッチレスコマンドの支払いやジェスチャー認識を認証したり、販売時にパーソナライズされたサービスを提供したりできる。

エッジコンピューティングを使用することで、小売業者は機密性の高い顧客情報のセキュリティを向上させることができます。データがデバイスからクラウドに転送されると、セキュリティとコンプライアンスのリスクが増大しますが、エッジコンピューティングアプリケーションはローカルで情報をフィルタリングし、戦略的な運用計画に必要なデータのみをクラウドに転送できます。

エッジコンピューティングは、クラウドベースのサービスの制御と柔軟性をサポートしながら複数のアプリケーションを実行できる、リーンで信頼性の高いITインフラストラクチャを小売業者に提供します。店舗のマイクロデータセンターにおける高い耐障害性は、ITスタッフが現場にいなくても済むように、リモートで管理および調整される最適なソリューションとなっています。小売店のチェーンは、個々の場所の集合ではなく、エコシステム全体として扱うことができます。

ほとんどの大規模小売業者は、顧客、アソシエイト、従業員の利益のために、クラウド(ネイティブアプリケーションとモバイルアプリケーション)の両方に多大な投資を行っています。Edge Continuumでは、両方の環境で同じソフトウェア開発ツールを使用できるだけでなく、データセンター、クラウド、またはその他の場所にアプリケーションを展開するための同じ展開ツールを社内のUser Edgeにも使用できます。小売業者がこの方法でエッジの連続体を活用できず

従来のエンタープライズIT資産として社内での投資を管理し続けると、クラウドチームやモバイルチームがすでに享受している柔軟性、応答性、および動的な属性が失われてしまいます。

* + 1. ゲーム

クラウドが提供するMMPG(Massively Multiplayer Games)は、通常、アバターを制御するプレーヤーを伴い、アバターの動きは、そのアバターを視野に入れているすべてのプレーヤーにできるだけ迅速に伝達される必要がある。待ち時間は、知覚可能な遅延がゲームを効果的にプレイ不能にすることができる程度まで、ユーザ体験全体に大きな影響を与える。ビデオゲームは、キーストロークとコントローラの動きに瞬時に反応するように見えなければならない。つまり、コマンドを実行するには、ネットワークを介してラウンドトリップを完了し

プレイヤーがゲームに反応しているように感じるためのデータセンター最高のマルチプレーヤーエクスペリエンスを実現するには、すべてのプレーヤーでレイテンシを一貫させる必要があります。そうしないと、レイテンシが最も低いプレーヤーは、競合他社よりも速く反応する機会が得られます。

エッジコンピューティングは、レイテンシを大幅に削減し、エッジデータセンターに必要なストレージと処理能力を提供することで、クラウド対応ゲームのエクスペリエンスを向上させます。ゲームの処理センターがネットワークの端、たとえば各メトロエリアで実行されている場合、超低レイテンシによって遅延時間が短縮されます。これにより、ゲームがリモートクラウドデータセンターでホストされている場合よりも、よりインタラクティブで完全に没入的な体験が可能になります。

エッジコンピューティングは、新しいサブスクリプションベースのMMPGビジネスモデルを開始するとともに、エンドユーザーのハードウェアコストを削減することが期待されています。エッジ処理によって高品質のエクスペリエンスが実現されるため、ユーザーのハードウェア自体に必要な処理能力が少なくて済みます。

ゲーム業界は、このハードウェアコストの削減がユーザーの新規契約への投資を促進し、このセグメントの全体的な成長を促進することを望んでいる。

* + 1. 自動運転

エッジコンピューティングは、完全自動運転という究極の目標を実現するための重要な手段となるだろうが、そのビジョンは何年も先に実現されるだろう。しかし、現在では補助運転技術が導入されており、エッジコンピューティングがその実現性の鍵となっています。

車に搭載されるセンサーの数は、モデルイヤーごとに増加し、安全性、性能、効率性、快適性、およびインフォテインメントの新機能が導入されるたびに増加します。自律性とレイテンシが重要なアプリケーションの安全性を考慮なアプリケーションの安全性を考慮して車両自体で処理されますが、標準からの逸脱が発生した場合の警告など、一部の機能では、データをクラウドに移動して分析やフォローアップを行う必要があります。エッジコンピューティングは、クラウドに送信されるデータの量を制限するのに役立ち、データ送信コストを削減し、PII(Personally Identifiable Information)などの機密データの量を最小限に抑えます。

車載用インフォテインメントシステムは,走行制御以外の最も顕著なユーザインタフェイスである。ユーザーが実際に使用している関数やアプリケーション、そして対話の設計を最適化すべき場所を知るために、MLアルゴリズムは、膨大な量の利用可能なデータの中から関連する洞察を発見するための重要なツールとなります。エッジコンピューティングは、クラウドで訓練されたMLモデルを車両自体にもたらし、利用可能な行動およびセンサデータを局所的に使用して、全体的なユーザインタラクションを改善する予測を行うことができる。

効率的なバッテリ監視および予測メンテナンスは、車両の所有者および運転者にとって長期的な顧客の経験にとって重要である。エッジコンピューティングは、データを集約し、関連するバッテリパラメータとセンサー値のリアルタイム評価を実行する機能によって、これらの課題に対処します。適切な情報をクラウド内のバックエンド運用システムに自動的にアップロードできるため、ディーラーやフリートオペレーターが

ユーザーの利便性と、検出された問題の重大性とのバランスがとれた時間と場所で、予防的メンテナンスを自動的にスケジュールする。

エッジコンピューティング技術は、例えば、顔認識のためのカメラ、なりすまし検出のための赤外線カメラ、および運転者のスマートフォンの近接を検出するためのBluetoothセンサを使用するなど、マルチファクタ認証に基づいて、安全で摩擦のない車両への進入を可能にする。

最後に、スマート車両の割合が特定の地域内の重要なしきい値に達すると、スマート交通管理が実現可能になり、沿道のエッジコンピューティングによって可能になる。一例では、道路の交差点に配置されたエッジノードがあり、そのノードに対して大多数の車両が交差点に向かって通信することができる場合、エッジノードは、近くの車両からの位置および速度データを集約し、効率的な交通流のために信号機のタイミングを最適化し、交差点における状況について事前にスマート車両に通知することができる。このようなエッジノードを広範囲に配置することで、Cellular Vehicle-to-Everything(C-V2X)アプリケーションは、個々の交差点だけでなく、クラウドベースのエッジデータの分析と個々の交差点の集中的なオーケストレーションのおかげで、より広い範囲にわたってトラフィックフローを最適化することができる。

* + 1. エッジ連続体の概要

各エッジ層は、拡張性、信頼性、レイテンシ、コスト、セキュリティ、および自律性の間の独自のトレードオフを表します。一般的に、User Edgeでの計算は

有線または無線のローカルエリアネットワーク(LAN)上で、サービスを提供するユーザーおよびプロセスに関連するリソースを操作します。一方、Service Provider EdgeとPublic Cloudは一般に、ユーザーとプロセスに関連する広域ネットワーク上の共有リソース(XaaS)を表します。

多くのアプリケーションでは、User EdgeワークロードはService Provider Edgeワークロードと連携して実行されます。User Edgeのワークロードは、レイテンシの重要性、帯域幅の節約、自律性、安全性、セキュリティ、およびプライバシーに対して最適化され、Service Provide Edgeのワークロードは、拡張性に対して最適化されます。たとえば、AI/MLモデルは、一元化されたクラウドデータセンターまたはService Provider Edgeでトレーニングされ

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 属性(Attribute) | ユーザーエッジ | | | ラストマイル・ネットワークス | サービスプロバイダーエッジ | | 一元化されたクラウドデータセンター |
| 拘束されたデバイスエッジ | スマートデバイスエッジ | オン-データセンターエッジを保護 | エッジにアクセス | リージョナルエッジ |
| ハードウェアクラス | 制約のあるマイクロコントローラベースの組み込みデバイス(例:音声コントロールスピーカー、サーモスタット、照明スイッチ、センサー、アクチュエータ、コントローラ)。使用可能なメモリのMBを少なくします。 | 86ベースのゲートウェイ、組み込み型PC、ハブ、ルータ、サーバ、小規模クラスタを装備256MBを超える使用可能なメモリがありますが、制約があります。必要に応じてアクセラレータ(GPU、FPGA、TPUなど) | 標準サーバとアクセラレータを使用したネットワーキング | アクセラレータ、電話会社の無線インフラストラクチャを備えた標準サーバとネットワーキング | 標準サーバとアクセラレータを使用したネットワーキング | 標準サーバとアクセラレータを使用したネットワーキング |
|  |  | フィールド、外部に配布 | 社内データセンターおよびマイクロデータセンター(MDC)のセキュリティを確保  たとえば、建物または工場内にある。通常  企業によって所有され、運営される。 | サービスプロバイダー(ISP、CSPなど)が所有および運用するCO、RO、サテライトDC。サービスプロバイダーが所有および管理するCPEの場合は、リソースをユーザエッジに配置することもできます。 |  |  |
| 配置場所 | 物理的な世界に広く分散し、個別の製品やシステムに組み込まれている | 安全なデータセンター(工場など)  または分散システム(例:連結車両、風力タービン | サービスプロバイダ(例:  ISP、CSP)。 | CSPが所有および運営する中央集中型のDC、ゾーン、地域主要ネットワークに近いDCで計算 |
|  |  | 公共の街路灯R.O.W.) |  |  |
| グローバルノードフットプリント | 1,000,000,000,000 | 1,000,000,000 | 1,000,000 | 1000人中100人 | 1000人中10人 | 100 |
| 役割/機能 | 限られた機能のアプリケーションに対して修正され、高度な処理をより高いクラスのコンピューティングに依存します。TinyML経由での新しいシンプルなML機能。 | アプリケーションおよびサービス用のハイパーローカル汎用コンピューティング。拡張性に制限のある、動的なソフトウェア定義の構成IoT Compute Edge(ヘッドレスシステム)およびエンドユーザーデバイスを含む | 中程度の拡張性を備えたアプリケーションおよびサービス向けのローカル汎用コンピューティング。特定の企業専用。 | ユーザ/企業にインターネットへのラストマイルアクセスを提供する。高可用性、パブリックおよびプライベート、一般およびスペシャル。幅広い拡張性。IaaS、PaaS、SaaS、SDN(XaaS)の共有リソース。 | 高可用性、パブリックおよびプライベート、一般およびスペシャル。幅広い拡張性。IaaS、PaaS、SaaS、SDN(XaaS)の共有リソース。 | 大規模またはウェブスクール、公共、汎用。パブリッククラウドには、IaaS、PaaS、SaaS、SDN(XaaS)の共有リソースが含まれていた。 |
| ソフトウェアアーキテクチャ | 組み込みソフトウェア/ファームウェア、タイム・クリティカルなアプリケーション向けのリアルタイム・オペレーティング・システム(RTOS) | 機能と用途に応じてベアメタルからコンテナ化/仮想化へLinux、Windows、およびモバイルOS(例:  Android、iOS)。 | 仮想化、コンテナ化、およびクラスタ化されたコンピューティング。LinuxおよびWindows。 | 仮想化、コンテナ化、およびクラスタ化されたコンピューティング。VNF、CNF、マネージドサービス、ネットワーキング。  LinuxおよびWindows。 | 仮想化、コンテナ化、およびクラスタ化されたコンピューティング。VNF、CNF、マネージドサービス、ネットワーキング。  LinuxおよびWindows。 | ベアメタル、VM、クラスタ、コンテナ、すべてのアーキテクチャ、すべてのサービス。LinuxおよびWindows。 |
| セキュリティ、M&amp;O | 専用のOTA M&amp;Oツール。多くの場合、デバイス/メニューごとにカスタマイズされます(ファクトゥレー)。信頼できる  高度なコンピューティングを実現します。 | リソースの制約、独自の機能性、アクセスのしやすさ、フィールドでの技術的な専門知識の制限により、特定のセキュリティおよびM&amp;Oツールを必要とする。多くの場合、ネットワークファイアウォールに依存できません。 | 分散KubernetesクラスタをサポートするためのクラウドデータセンターセキュリティとM&amp;Oツールの進化。目的に合わせて構築されたデータセンターの物理的およびネットワークセキュリティのメリット | 地域に分散したKubernetesクラスタをサポートするためのクラウドデータセンターセキュリティおよびM&amp;Oツールの進化 | 地域に分散したKubernetesクラスタをサポートするためのクラウドデータセンターセキュリティおよびM&amp;Oツールの進化 | 従来のクラウドデータ-センターセキュリティおよびM&amp;Oツール |
| 物理属性 | 各デバイスに特化したフォームファクタ | 特殊なフォームファクタと独自のI/O、産業用の耐久性、規制認定など、ユースケースに基づいた多様な組み合わせ | 汎用サーバクラスのインフラストラクチャで、耐久性と規制に関する考慮事項(MDCなど)がある | 目的に合わせて構築された無線インフラストラクチャ。  汎用サーバおよびネットワーク機器。ローカライズされたリソースの電力、温度、ラグゲディツァ、および規制に関する考慮事項。 | 電源、温度、耐久性、およびローカライズされたリソースの規制に関する考慮事項を備えた汎用サーバおよびネットワーキングインフラストラクチャ | 汎用サーバインフラストラクチャ |

実行するユーザーエッジ。表1に、各エッジの主な属性をまとめます。

表1:エッジ属性の概要

エッジ層間の境界は固定されていません。前述したように、CPEリソースが社内に配置されている場合、サービスプロバイダーエッジをユーザエッジにブレンドして、ユーザに接続性を提供し、管理サービスとして計算することができます。一方、User Edgeは、企業所有のプライベートクラウドデータセンターの場合のように、ラストマイルネットワークの反対側にも拡張できます。エッジの境界は流動的ですが、示唆に富んでいます。特定の技術的およびロジスティック上の制限により、特定のコンテキストに基づいて連続体全体のワークロードを最適に実行する場所が常に決定されます。

さまざまなエッジ層の定義にかかわらず、最終的な目標は、最大限の柔軟性を開発者に提供することです。

現実的な限界次のセクションでは、LF Edgeについて詳しく説明し、この目標を実現するためにLF Edge内の各プロジェクトがどのように機能しているかを説明します。

1. LFエッジプロジェクトポートフォリオ

Linux FoundationのLF Edge(LFE)は、ハードウェア、シリコン、クラウド、オペレーティングシステムに依存しないエッジコンピューティングのための、オープンで相互運用可能なフレームワークを確立するために、2019年にアンブレラ組織として設立されました。このプロジェクトは、構造化されたベンダー中立的なガバナンスを提供し、次のような使命を持っています。

* IoT、テレコム、エンタープライズ、クラウドのエコシステムにおける異業種間のコラボレーションを促進する。
* 組織がエッジコンピューティングの導入と革新のペースを加速できるようにする。
* 要件を包括的に把握して分散する中立的なプラットフォームを提供することで、エンドユーザーに価値を提供する。
* エッジプロジェクト間の調和を促進する。

他のLFアンブレラプロジェクトと同様に、LF Edgeは技術的能力主義であり、PLD(Project Lifecycle Document)プロセスに従うことで従うことで構造化された成長と進歩を促進する技術諮問委員会(TAC)を持っている。すべての新規プロジェクトは、TACがトップレベルプロジェクトのエコシステム、またはエッジエコシステム全体にとって重要であると考えているか、重要である可能性があるプロジェクトであるステージ1「大規模」プロジェクトとして開始されます。第2の「成長段階」は、インパクト段階への到達に関心があり、そのための成長計画を特定したプロジェクトを対象とする。最後に、第3の「インパクト・ステージ」は、成長目標を達成し、開発、保守、長期的なサポートという自己維持サイクルに入っているプロジェクトを対象としている。

* 1. LFエッジプロジェクトの概要

LFEは、次のオープンソースプロジェクトで構成されています。詳細については、オンラインリソースを参照してください。

* + 1. ステージ3:インパクトプロジェクト
* [Akrainoエッジスタックは、エッジコンピューティングシステムおよびアプリケーション向けに最適化された高可用性クラウドサービスをサポートするソフトウェアスタックです。エッジクラウドサービスを迅速に拡張し、エッジでサポートされるアプリケーションと機能を最大限に活用し、常に完全に機能する必要があるシステムの信頼性を確保するための新しいレベルの柔軟性をユーザーに提供します。Akrainoエッジスタックは](https://www.lfedge.org/projects/akraino/)

また、IIoT、Telco5Gコア、Virtual Radio Access Network(vRAN;仮想無線アクセスネットワーク)、Universal Customer Premises Equipment(uCPE)、Software-Defined Wide Area Networking(SD-WAN)、およびエッジメディア処理などのエッジユースケースに対応する、完全に機能するエッジスタックです。アップストリーム/APIを介して、スタック間でAPIを定義および標準化するためのフレームワークを作成します。

ダウンストリームコラボレーション。Akrainoエッジスタックは現在、開発中の特定の設計図を含む複数の設計図ファミリで構成されています。このコミュニティーは、ユーザーやコミュニティー・メンバーがサポートする実際のハードウェア・ラボで設計図をテストし、検証します。

* [EdgeX Foundryは、ベンダーに依存しない緩やかに結合されたマイクロサービスフレームワークであり、成長しつつある第3者サービスのエコシステムを活用したり、独自のイノベーションを組み込んだりする、柔軟でプラグアンドプレイなデプロイメントを可能にする。心臓](https://www.lfedge.org/projects/edgexfoundry/)

は、完全なハードウェアおよびOSに依存しない参照ソフトウェアプラットフォーム内でホストされる相互運用性フレームワークです。リファレンスプラットフォームは

市場を統一し、IoTソリューションの展開を加速するプラグアンドプレイコンポーネントのエコシステム。EdgeX Foundryは、開発者が自分のデバイスやセンサーからデータを取り込んだり、出力されたデータを消費して処理したりすることによって、カスタムIoTソリューションを構築するためのオープンプラットフォームである。

* + 1. ステージ2:成長プロジェクト
* [EVEは、分散エッジコンピューティングノード上で、クラウド(ネイティブおよびレガシーアプリケーション)の開発、オーケストレーション、およびセキュリティを可能にするエッジコンピューティングエンジンです。コンテナ、クラスタ、VM、ユニカーネルをサポートすることで、ハードウェア、アプリケーション、クラウドを選択できる柔軟なIoTエッジデプロイメント基盤を提供する。](https://www.lfedge.org/projects/eve/)
* [Home Edgeは、堅牢で信頼性が高く、インテリジェントなホームエッジコンピューティングのオープンソースフレームワーク、プラットフォーム、およびエコシステムです。相互運用性、柔軟性、拡張性に優れたエッジコンピューティングサービスプラットフォームを提供し](https://www.lfedge.org/projects/homeedge/)

ライブラリとランタイム。

* [State of the Edgeは、フリーで共有可能なエッジコンピューティングの研究と分析を公開することによってイノベーションを加速することを目的とした、エッジコンピューティングに関するオープンリサーチのためのベンダー中立プラットフォームです。このプロジェクトでは、毎年のState of the Edgeレポートを発行し、Open Glossary of Edge Computingを維持し、LF Edge Interactive Landscapeを監督します。](https://www.lfedge.org/projects/stateoftheedge/)
  + 1. ステージ1:大規模プロジェクト
* [Baetyl(発音「Beetle」)は、さまざまなタイプのハードウェア機能とデバイス機能を標準化されたコンテナランタイム環境およびAPIに操作し、効率的な](https://www.lfedge.org/projects/baetyl/)

クラウドとオンプレミスの両方で、リモートコンソールを介したアプリケーション、サービス、およびデータフローの管理

* [Fledgeは、重要な運用、予測メンテナンス、状況把握、および安全に重点を置いた、業界最先端の実績のあるソフトウェアフレームワークです。Fledgeは、2018年初頭から産業用途に展開されている。Fledgeは、IIoT、センサー、マシン、ML/AIツール、プロセス、ワークロード、およびクラウドを、工業生産プロセス(レベル0)、センシングと操作(レベル1)、監視と統合するように設計されています。](https://www.lfedge.org/projects/fledge/)

ISA95によると、監督(レベル2)、製造運用管理(レベル3)、および業務計画ロジスティックス(レベル4)です。

* [Open Horizonは](https://www.lfedge.org/projects/openhorizon/)

コンテナ化されたワークロードおよび関連する機械学習資産。これにより、社内管理者を必要とせずに、分散したウェブスクールのエッジコンピューティングノードおよびデバイスに展開されたアプリケーションを管理できます。

* 1. エッジの連続体に焦点を当てる

エッジの連続体に沿った各プロジェクトの一般的な焦点領域を図5に示しますが、各プロジェクトの範囲は、さまざまなアップストリームおよびダウンストリームの取り組みと統合されるため、スペクトル全体にわたってさらに広がる傾向があります。これには



インパクトプロジェクト

AkrainoエッジスタックEdgeX工場

ステージ3:

ステージ1:大規模プロジェクト

Baetyl、フレッジ、オープン・ホライズン

ステージ2:成長プロジェクト

EVE、ホームエッジ、エッジの状態

## LFエッジフレームワーク



**調査およびレポート**



アプリケーション

インフラストラクチャ



場所

ラストマイル・ネットワークス



アプリケーション中心レベルのアプリケーション中心のメリットとインフラストラクチャ中心のメリットを提供します。



分散デバイスとSystemsBuildings/工場/スマートホーム

AccessAggregation

NetworksHubs/CoS

地域データセンター

一元化されたデータセンター

マイコン-basedEmbeddedSmartphones、PC、堅牢なサーバを安全にオン-premServerベースのコンピューティングをTelcoServerベースのコンピューティングを従来のdevicescomputeIoTのゲートウェイのサーバおよびデータセンターのサーバ、MDCsNetworkおよびEdge Exchange SitesRegional TelcoおよびDirectcloudのデータセンター

準安全なareasPeeringサイトへのアクセス

拘束されたデバイスEdgeSmartデバイスエッジ

オン-データセンターエッジの準備

エッジにアクセス

リージョナルエッジ

サービスプロバイダーエッジ

共有、XaaS

ユーザーエッジ

専用、操作

図5:LF Edgeプロジェクト・フレームワーク

一般的なプロジェクト・フォーカスの観点から見ると、Akrainoは包括的なブループリントを通じてサービス・プロバイダ・エッジの固有のインフラストラクチャ・ニーズに対応し、ユーザー・エッジのさまざまなサブカテゴリーにも対応しています。

Project EVEのミッションは,Androidがスマートフォンに提供しているような,Smart Device EdgeにおけるエンタープライズおよびIIoTエッジコンピューティングユースケースのための,ユニバーサルなオーケストレーション基盤を構築することだ。EVEは、制約のあるIoTエッジコンピューティングリソースにレガシーアプリケーションと最新アプリケーションの両方を収容する必要性に対処すると同時に、データセンターの外部に配備されたデバイスに固有のセキュリティ要件と拡張性要件を満たす。

BaetylとOpen Horizonは、Smart Device Edgeに分散されたリソースへのコンテナ化されたワークロードの配信を可能にすることに焦点を当てていますが、サービスプロバイダーエッジを通じてクラウドに至るフットプリントも持っています。Open Horizonコントローラは

クラウドの中央、サービスプロバイダエッジの地域、またはオンプレミスのデータセンターエッジのローカルに導入できます。

EdgeX FoundryとFledgeは、Smart Device EdgeにおけるIoTユースケースのためのアプリケーションフレームワークとして機能し、ハードウェア、オペレーティングシステム、接続プロトコルにわたる多様な技術の選択に起因するマーケットの分断に対処する。これらのフレームワークは、分析およびその他の付加価値サービスを展開するためのオープンな基盤を提供し、それぞれが、柔軟性、移植性、フットプリント、およびパフォーマンスの間のトレードオフをバランスさせる、わずかに異なるアーキテクチャアプローチをとる。彼らの努力は、Constrained Device Edgeに橋渡しをし、ローカルデータ処理を容易にし、次に、より高いエッジ層との間でデータを中継する。

Home EdgeはSmart Device Edgeを中心に,家庭でのコンシューマユースケースに対応している。

State of the Edgeプロジェクトは、エッジコンピューティングに関する研究を行い、エッジコンピューティングおよび関連トピックに関する無料のレポートを作成することで、エッジコンピューティング全体を網羅しています。このプロジェクトは、Open Glossary of Edge Computingも監督しています。Open Glossary of Edge Computingは、すべてのLF Edgeプロジェクトで用語を統一するためのツールであると同時に、エッジコンピューティングのための業界全体の用語集であることを目指しています。最後に、このプロジェクトはLF Edge Interactive Landscapeを維持しています。LF Edge Interactive Landscapeは、エッジに関連するベンダー、組織、プロジェクト

標準および技術。

LFEは、包括的であると同時に、構造を提供し、調和の向上を促進するという理念の下で、今後さらに多くのプロジェクトを追加する予定である。プロジェクトのミッションに従い、コミュニティは共通のベストプラクティスを開発し、最終的にAPIを統一することを目指している。

適切である。その結果、誰が作成したかにかかわらず、上で実行されているワークロードのニーズをコンテキストに応じて認識できるインフラストラクチャを備えた、エッジコンピューティングのためのオープンエコシステムが実現します。例えば、エンターテインメント・コンテンツを配信するアプリケーションのすぐ隣で稼働する医療アプリケーションに対して、インフラストラクチャがQoSを優先させることができる世界を想像してみてください。

* 1. LFEプロジェクトの詳細

LFEプロジェクトの詳細については、それぞれのWebサイトを参照してください。

* [Akrainoエッジスタック](https://www.lfedge.org/projects/akraino/)
* [Baetyl](https://www.lfedge.org/projects/baetyl/)
* [EdgeX鋳造所](https://www.lfedge.org/projects/edgexfoundry/)
* [イブ](https://www.lfedge.org/projects/eve/)
* [フレッジ](https://www.lfedge.org/projects/fledge/)
* [ホームエッジ](https://www.lfedge.org/projects/homeedge/)
* [オープン・ホライズン](https://www.lfedge.org/projects/openhorizon/)
* [エッジの状態](https://www.lfedge.org/projects/stateoftheedge/)

1. まとめ

エッジコンピューティングの概念は、コンシューマとエンタープライズの両方のセグメントにおいて、新しいタイプのお客様に新しいタイプのサービスを提供することによって、新しい収益機会を生み出すことを約束します。魅力的なユースケースには、産業用IoT、コンピュータビジョン、拡張現実、小売、ゲーム、および運転支援などのアプリケーションが含まれる。

Linux Foundation(LF)とその下部組織であるLF Edge(LFE)は、あらゆる種類の企業が、エッジアプリケーションとサービスを開発、展開、収益化するためのソリューションをめぐって協力できるようにする、一連のオープンソースソフトウェアプロジェクトを開始した。クラウドコンピューティングをネットワークのエッジにまで拡張することビジネスの可能性が高まることを認識し、世界中の業界をリードする組織から数100人の開発者が、オーケストレーション、管理クラウドサービス、フレームワークなどのエッジに最適化されたソリューションを実現するこれらのプロジェクトに参加しています。

このホワイトペーパーでは、エッジコンピューティングに関連するアーキテクチャ、使用例、およびLFEプロジェクトの概要について説明しました。詳細な技術情報は個々のプロジェクトのウェブサイトから入手でき、関心のある開発者はLFEコミュニティに参加することが推奨される。

LFEのWebサイト参加ページでは、LFEへの参加に関する情報が提供され、既存のLFメンバーと非メンバーの両方のプロセスが説明されています。また、Inquiryページへのリンクもあり、そこでは興味のある人が具体的な質問をしたり、追加情報を入手したりできる。