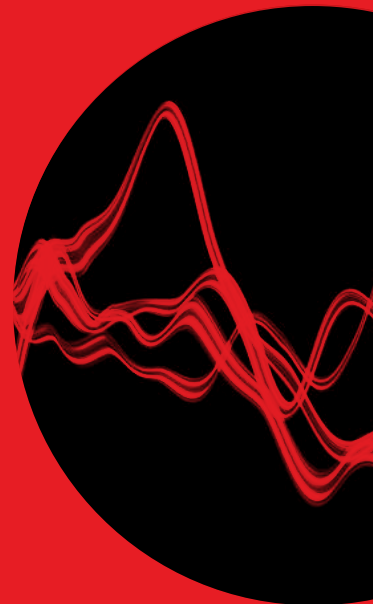


爱立信
技术评论

Review



面向工业物联网
的可编程5G



ERICSSON

打造面向工业物联网 可编程5G系统

我们与运营技术公司ABB紧密合作，开发并对可编程5G系统的原型进行了测试，成功地将其与ABB自动化系统实现了整合。除了展示5G支持工业自动化解决方案的优势外，ABB概念验证还强调了最新3GPP标准对于满足垂直行业对系统集成期望的重要性。

GERGELY SERES, DIRK
SCHULZ, OGNJEN
DOBRIJEVIC, ABDULKADIR
KARAAĞAÇ, HUBERT
PRZYBYSZ, ALA NAZARI,
PETER CHEN, MÁRK LÁSZLÓ
MIKECZ, ÁRON DÉNES
SZABÓ

世界各地的工厂、车间、矿山和港口正在探索5G技术的潜能，思考如何实现最佳的部署方案。鉴于5G在设计上已经考虑到了垂直用例，而工业自动化系统又是其中最具发展前景的一部分，因此这些都在预料之中。

■ 专用5G网络[1]正在成为企业在运营技术（OT）领域中不可或缺的关键工具。就工业4.0[2,3]驱动的制炼厂（包括化工、采矿、制药、食品和饮料等）和制造工厂（如汽车或电子制造）等生产环境的转型而言，不仅需要重新配置自动化系统基础设施，还需要重新配置支持5G网络和持续监测其提供的无线连接服务。

这种灵活性使得通过共享5G基础设施逐渐引入工业应用成为可能。在当今大多数情况下，重新配置和监控专用5G网络仍需要手动完成，通常需要通信服务提供商（CSP）或其他负责运营5G网络的实体参与。在基于工业以太网或现场总线等技术的有线自动化网络中，自动化配置和内部监控是最先进的技术之一，它能够将应用程序的需求转化为网络配置，而不会出现滞后、工作量和质量方面的问题。要想将5G规模化地整合到自动化基础设施，同样也需要无缝地集成。

因此，接下来的工作就是在专用5G网络与现有OT/IT系统之间建立实时连接。预计，专用5G网络将成为OT/IT通信基础设施的组成部分，与现有的有线网络以及即将推出的技术（比如IEEE的时间敏感网络（TSN））实现无缝集成。垂直行业希望依靠他们现有的OT/IT技能就可以实现这一系统集成，而无需获得蜂窝无线通信系统方面的额外技能。

虽然5G技术具有可扩展性、灵活性和极致通用性等优越性能，但伴随而来的是建设和运营网络的复杂方法，而这方面的知识目前OT公司普遍缺乏。所以说，深入了解蜂窝技术成为工业领域采用5G的重大障碍。

为了克服这一挑战，专用网络需要提供面向用户的5G开放接口，这些接口比电信运营商的开放接口更加简单易用，无需深入了解蜂窝系统的内部运作机制。此类接口必须提供足够的抽象级别，使得工厂或设备操作员无需特殊支持（和网络）服务供应商的帮助就可以完成常规操作任务。简而言之，跨CSP和OT企业的组织边界执行网络自动化的能力必然成为工业专用5G网络产品不可或缺的重要组成部分。

确定垂直行业的5G开放要求

在爱立信、ABB等OT/IT和电信行业的广泛参与下，5G互联工业和自动化联盟（5G-ACIA）收集整理了过程自动化、生产IT、物流和仓储垂直行业对于5G开放能力的要求，并以白皮书[4]的形式发布。

图1展示了5G-ACIA白皮书[4]中呈现的5G专网5G开放接口的概念框架。这些接口使工业物联网（IIoT）应用程序能够以多种方式编程5G网络，例如，建立具有自定义服务质量（QoS）的设备到设备和设备到企业网络连接。

5G-ACIA概念建立在九个关键开放要求之上，这些要求位于设备管理领域。

- 1.设备连接管理
- 2.设备连接监控
- 3.设备组通信管理
- 4.设备配置和上线
- 5.设备身份管理
- 6.设备位置信息
- 7.安全性
- 8.时间敏感网络（TSN）集成
- 9.时间敏感通信。

专用5G网络和工业物联网

专用5G网络是专为私人使用而部署的5G系统。专用5G网络可以独立部署，也可以在公共5G网络的支持下部署。无论何种情况，都需要通过标准化的开放服务产品来实现企业定制的5G连接，以满足工业应用的特殊通信需求。

工业物联网（IIoT）是为高级工业自动化而量身定制的物联网应用子集。

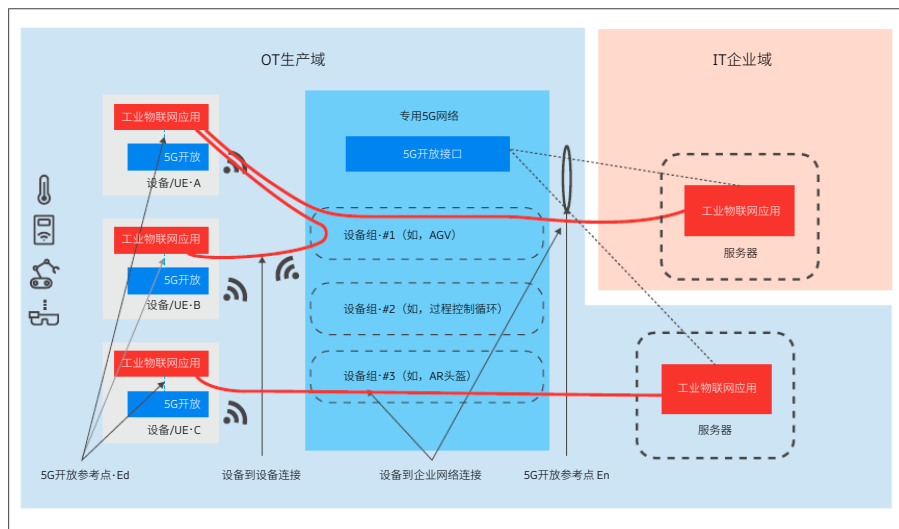


图1 5G开放接口的5G-ACIA概念

为了验证这一概念，我们通过ABB-爱立信联合概念测试，对其中大部分要求进行了研究。

设备连接管理

工业物联网应用程序通常对时间要求极为严格，需要低延迟和可靠性极高的通信。通过5G开放接口，应用程序必须能够为每台设备建立一个或多个连接，并具有定制的QoS，包括保证最低比特率、最小时延和数据包传输可靠性。这些IP或以太网连接必须支持设备与设备或设备与企业之间的网络配置。开放接口还需要隐藏5G网络底层的实现细节，比如QoS流、具有低中断时间的弹性连接，在节点/链路故障或不相交的用户平面路径下的应用。

设备连接监控

出于业务连续性的考虑，工厂或工厂运营商必须能够通过其OT/IT应用程序持续监控5G连接服务。5G开放接口必须能够监控一个设备或一组设备的连接，允许按需、定期或在事件触发基础上检索当前和历史性能指标，如与连接相关的比特率、时延和数据包丢失等。

设备组通信管理

为了提高性能和安全管理，垂直行业希望能够将具有不同用例和流量类型的流量隔离开来。通过5G群组通信，可以实现流量细分，使得设备之间可以进行私密通信，同时也可以访问企业网络中的服务。5G技术为IP虚拟网络（VN）组和5GLAN虚拟局域网（VLAN）提供具有5G局域网（5GLAN）特性的组通信服务。5G开放应用编程接口（API）必须为应用程序提供管理设备组的方法，包括创建组、添加和删除组成员，以及在连接到网络时为设备创建动态VLAN分配。

设备配置和上线

垂直行业希望能够以即插即用的方式将设备快速接入5G网络。5G开放接口必须能够为单个设备和设备组提供设备标识符和凭证，以便将它们接入5G网络中。在上线步骤中，5G网络必须提供一种方法来为设备建立用户平面连接，以便与工业物联网应用程序进行交互，并将新建立的连接通知应用程序。

设备身份管理

根据所采用的技术不同，工业物联网应用程序在应用层和连接层使用大量的标识符。在5G网络中，5G用户设备（UE）的主要唯一标识符是通用公共用户标识符（GPSSI），这意味着该ID必须被5G开放接口所使用，以便实现设备的跨网络访问。工业物联网设备的应用层（如OT/IT）标识符与GPSSI之间的转换必须在应用程序中完成。设备的静态IP地址或设备的媒体访问控制（MAC）地址也可以被用作5G开放接口中的设备标识符。

设备位置信息

移动机器人、自动导引车、便携式装配工具、移动控制面板以及工厂资产管理等用例，需要不同精度级别的IIoT设备定位。工业物联网应用程序可能会通过5G开放接口请求一个或多个设备的位置信息。设备跟踪通过由移动或其他事件触发的设备位置报告来实现。

●● 垂直行业希望能够以即插即用的方式将设备快速接入5G网络 ●●

安全性

IEC62443标准[5]引入了“区域”和“管道”的概念，作为将控制系统中各类子系统分割和隔离的一种方式。区域被定义为将逻辑或物理资产按重要性和可能产生的后果等因素分组，以便确保它们具有相同的安全要求。管道指的是一组专门用于在区域内外进行通信的网络资产，它们具有相同的网络安全特性。使用设备组（5GLAN VLAN或IP VN组）结合安全切片和应用级安全，可以保护工厂区域，实现IEC 62443安全级别SL3和SL4 [5]。

时间敏感网络集成

OT垂直行业认为时间敏感网络是实现OT网络融合的下一代关键技术。在与5G网络结合时，必须使用IEEE802.1Qcc的完整集中式TSN配置模型。这种做法假定一个集中式网络配置（CNC）实体以充当TSN桥的方式配置5G网络中所有的TSN流。5G开放接口必须作为TSN应用功能（AF），并且提供端口和桥接管理信息。这使CNC能够确定网络资源对流的分配，并通过5G开放接口在5G网络中进行配置。

时间敏感通信

5G原生时间敏感通信（TSC）是指5G网络在本地（不结合TSN系统）为5G设备提供的时间敏感通信服务。为了使集中式用户配置等应用程序能够发现TSC流的资源可用性，并请求创建具有QoS的TSC流，TSC CNC提供了5G开放接口。

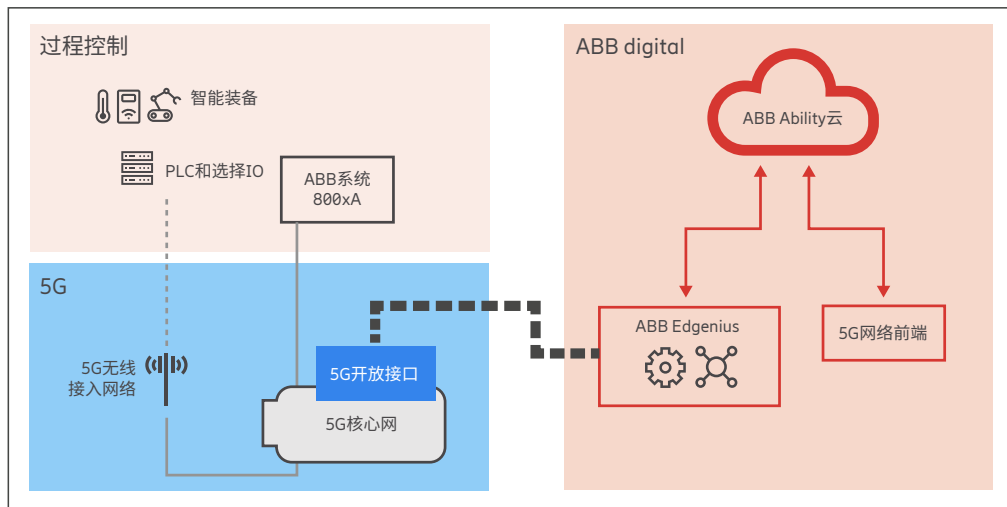


图2 展示了将ABB Ability自动化系统与爱立信原型5G暴露接口集成在一起的演示器的概览。

与ABB合作验证5G-ACIA开放概念

ABB的概念验证将爱立信的预标准原型5G开放接口实施与ABB基于云的数字生态系统（ABB Ability[6]和ABB Ability Edgenius[7]）相集成，以便通过自动化系统实现5G网络编程，从而验证实践中的开放能力。

概念验证为工厂运营商提供了一个便利的环境，可以管理和监控联网工业设备通过5G连接。它还可以根据工业应用的通信需求定制5G网络的行为，并获得有关5G连接和虚拟网络状态以及性能的知识。通过这些能力，网络感知应用程序无需了解或掌握底层网络技术的细节，就可以与外部运行的网络基础设施进行交互。

如图2所示，5G网络前端允许使用Ability云平台 and 现场Edgenius边缘模块，通过Web应用程序控制ABB核心控制设备和智能设备的5G连接。Edgenius模块与开放5G网络管理功能的5G网络可编程接口进行交互，从而提供集中控制5G性能的统一方式（本例中使用ABB Ability）。

通过5G网络前端Web应用，可以无缝配置和上线5G设备，并监测其连接性能，在共享5G基础设施之上创建具有不同QoS属性的设备组。因此，所开发的工具也为配置和监测5G网络提供了一个便捷且可扩展的解决方案，使OT用户（无论是自动化工程师还是工厂操作员）能够轻松完成日常任务。

通过将5G设备管理和监测数据“接近”应用操作和工程数据，这一概念验证允许通过主要基于ABB数字解决方案的工具来管理多个5G设备组。这种方法还可利用ABB数字产品组合中的现有工具，更轻松、更迅速地开发适用于工业无线领域的基础和高级网络管理解决方案。

作为与爱立信的合作成果，ABB还研究了使用开放功能来实现灵活的5G网络编程的可行性。这将涉及允许各种ABB自动化解决方案充分利用5G技术，而不受5G网络实施细节和复杂性的影响。结果展示了OT组织（自动化供应商或工厂运营商）如何利用逻辑云实例来集中管理所有正在发展壮大的5G网络或新增网络。

ABB的概念验证明确表明，完全可能跨越OT自动化系统与专用5G网络之间的边界运行网络自动化，这也成为将5G作为自动化解决方案的一部分使用的先决条件。

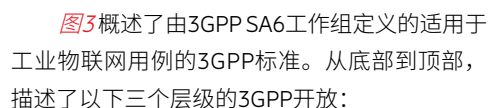
3GPP在支持IIOT方面的关键作用

ABB和爱立信都积极支持诸如基于第三代合作伙伴计划（3GPP）解决方案等标准化技术。最新的3GPP标准技术，如网络开放功能（NEF）、垂直行业的服务使能器架构层（SEAL）和通用API框架（CAPIF），可以通过提供自动化系统和5G网络之间的集成点来解决垂直行业的开放相关需求。

3GPP标准开放的技术掩盖了5G的复杂性，并为垂直行业提供了一个简单、安全、面向用例的5G系统配置接口。开放的接口对于大量工业用例来说非常宝贵，它使得垂直行业能够以简单而直接的方式利用5G技术提供的关键功能和性能。

●● 3GPP标准开放技术为垂直行业提供了一个简单、安全、以用例为导向的配置接口 ●●

3GPP已经在通过API开放移动网络功能方面取得了重大进展。尽管3GPP核心网络能力由NEF开放，但从第16版开始，3GPP就一直在标准化更高层级的API，以满足各种垂直应用的需求，并在第17版中进一步改进，目前正在研究第18版的额外功能。

图3概述了由3GPP SA6工作组定义的适用于工业物联网用例的3GPP标准。从底部到顶部，描述了以下三个层级的3GPP开放：

1. 网络开放层，其旨在开放核心网络能力
2. SEAL，其旨在为垂直行业开放通用服务使能器
3. 垂直应用使能器（VAE）层旨在为特定垂直行业提供使能。

3GPP网络开放功能

基本的3GPP核心网开放层由5G NEF组成，其将5G核心的网络能力开放提供给与3GPP网络集成的外部应用。NEF API[8]的以下子集与工业物联网用例有关：

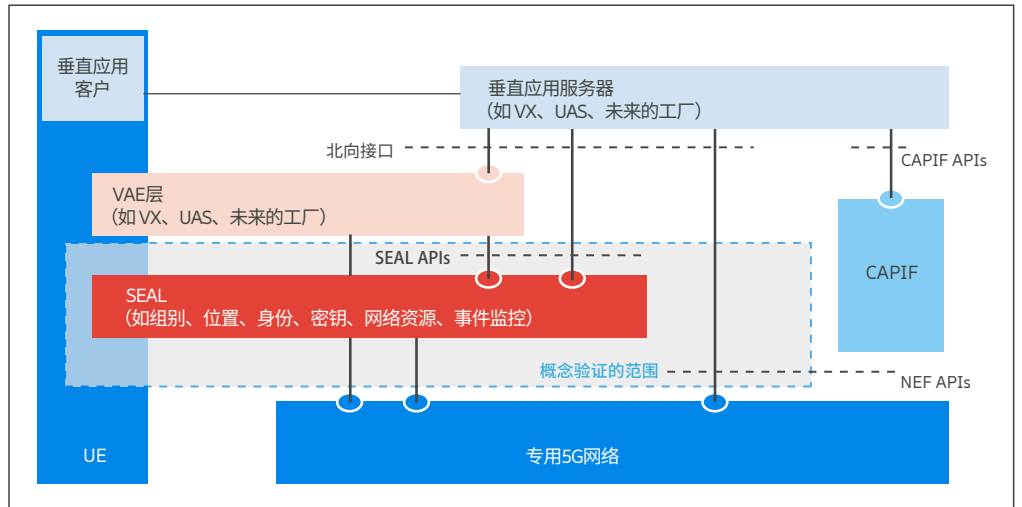


图3 适用于工业物联网用例的3GPP标准概述

- 事件监控（设备位置、可达性、连接状态）
- 具有QoS的AF会话（IP和以太网连接的按需QoS）
- 分析开放
- 5G局域网参数配置（设备组管理）
- 服务参数配置（路由选择参数）
- 时间同步开放
- UE ID检索（AF特定设备ID检索，如GPSI）。

●● SEAL支持应用程序可以从各种垂直领域使用的通用服务 ●●

3GPP服务使能器应用层

由于NEF API以高度细致的方式开放网络功能，因此使用它们的应用程序开发人员必须对底层网络概念有良好的把握。为了简化应用程序的开发和部署，3GPP指定了一个新的简化服务启用器。SEAL[9]由提供不针对任何特定领域的服务提供商组成，也就是说，它们是应用程序可以从各种领域获得的公共服务。SEAL当前定义的API用于组管理、位置管理、身份和密钥管理以及网络资源管理（NRM）。

群组管理允许应用程序创建和管理设备群组，以实现不同的目的，如群组通信和基于位置的群组，而SEAL则确保设备能够获得适当的通知以及加入群组。位置管理可根据需要或变动为应用程序提供来自不同来源（如3GPP和非3GPP（比如全球导航卫星系统））的设备位置信息，并可为特定用例定义感兴趣的位置区域。身份和密钥管理支持应用程序管理安全材料，用于用户和设备身份验证和授权。

行业垂直要求 (5G-ACIA)	3GPP开放能力
设备连接管理	<ul style="list-style-type: none"> • SEAL NRM QoS和TSC API • NEF QoS API • NEF时间同步开放API
设备连接监控	<ul style="list-style-type: none"> • SEAL NRM事件监控和QoS监控API • NEF事件监控API • NEF QoS API • NEF分析API
设备组通信管理	<ul style="list-style-type: none"> • SEAL管理API • NEF 5G LAN参数配置API
设备配置和上线	<ul style="list-style-type: none"> • 由业务支持系统API提供
设备身份管理	<ul style="list-style-type: none"> • 支持GPSI作为设备标识符 • IP/MAC地址可用于识别设备 • SEAL身份和密钥管理API可用作安全框架的一部分
设备位置信息	<ul style="list-style-type: none"> • SEAL位置管理API • NEF事件监控API (UE位置报告)

图4 满足工业物联网用例要求的3GPP公开能力和API摘要

最后，NRM支持特定应用程序的使用，并对使用在设备上的网络资源进行监控：

- 单播和多播连接激活、停用和修改，包括QoS参数
- 单播连接QoS监控，包括数据包时延、丢包率、数据速率和流量
- 事件监控，包括设备移动、通信、连接丢失、位置报告和连接状态
- 时间敏感、确定性设备到设备和设备到企业网络通信。

在即将到来的3GPP第18版中，预计SEAL将伴随着其他服务使能器的发展而不断发展壮大。

3GPP垂直应用使能器层

与SEAL不同，VAE层是为满足特定的垂直应用而定制设计的。这些类型的垂直服务使能器目前被定义为车联网（V2X）通信的汽车应用，以及无人机系统（UAS）的无人机应用。面向未来工厂的VAE还将包括特定于OT垂直领域的未来增强功能。

通过3GPP开放功能满足工业物联网要求

图4展示了5G-ACIA概述如何与3GPP第17版的开放功能和API相匹配，以满足工业物联网的需求。

结论

专用5G网络在工业物联网（IIoT）生态系统中的广泛应用将需要基于标准的开放解决方案，以便能够根据各个生产过程的特定通信需求灵活配置5G系统。通信服务提供商（CSP）拥有绝佳的机会，可以通过向垂直行业展示5G网络强大功能的服务产品，实现工业物联网的商业变现。手动网络配置任务的削减使得CSP的客户支持部门能够增加可以为企客户服务的数量。

基于标准的5G IIoT开放解决方案将使工业企业能够将5G作为系统基础设施的一部分，从而提升生产灵活性，并以有序且安全的方式扩展至大量5G连接设备。这也将为IT/OT平台供应商打开大门，让它们能够开发自己的产品，利用5G的功能，并让系统集成商能够简化运营技术应用与5G系统无线连接的集成过程。

术语和缩略语

3GPP	第三代合作伙伴计划	IIoT	工业物联网	UAS	无人机系统
5G-ACIA	5G互联工业和自动化联盟	LAN	局域网	UE	用户设备
AF	应用功能	NEF	网络开放功能	V2X	车联网
AGV	自动导引车	NRM	网络资源管理	VAE	垂直应用使能器
API	应用编程接口	OT	运营技术	VLAN	虚拟局域网
AR	增强现实	PLC	可编程逻辑控制器	VN	虚拟网络
CAPIF	通用API框架	QoS	服务质量		
CNC	集中式网络配置	SEAL	服务使能器架构层		
CSP	通信服务提供商	TSC	时间敏感通信		
GPSI	通用公共用户标识符	TSN	时间敏感网络		
IO	输入/输出				

延伸阅读

- 爱立信博客，企业如何利用专用5G网络的开放能力，网址：<https://www.ericsson.com/en/blog/2020/7/private-5g-network-capabilities-enterprise>
- 爱立信，网络开放，网址：<https://www.ericsson.com/en/service-orchestration/network-exposure>
- 爱立信博客，5G中的网络可编程性，网址：
<https://www.ericsson.com/en/blog/2019/1/network-programmability---in-5g-an-invisible-goldmine-for-service-providers-and-industry>
- 爱立信，专用网络，网址：<https://www.ericsson.com/en/portfolio/enterprise-wireless-solutions/dedicated-networks>
- 爱立信，工业4.0，网址：<https://www.ericsson.com/en/industry4-0>
- 爱立信，用于制造的5G，网址：<https://www.ericsson.com/en/5g/manufacturing>

参考文献

- 1 爱立信技术评论，通过5G无线连接推动智能制造，2019年2月20日，Sachs, J; Wallstedt, K; Alriksson, F; Eneroth, G，网址：
<https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/ericsson-technology-review/articles/boosting-smart-manufacturing-with-5g-wireless-connectivity>
- 2 Ericsson-Hexagon报告，互联制造——使用专用蜂窝技术的工业4.0转型指南，2020年11月，网址：
<https://www.ericsson.com/en/enterprise/forms/connected-manufacturing>
- 3 德国联邦经济事务和能源部 (BMWi)，Fortschreibung der Anwendungsszenarien der Plattform Industrie 4.0 (工业4.0平台应用场景的延续)，2016年10月，网址：
<https://www.ericsson.com/en/enterprise/forms/connected-manufacturing>
- 4 5G-ACIA白皮书，面向互联行业和自动化应用的5G能力开放，2021年2月，网址：
https://5g-acia.org/wp-content/uploads/WP_039_Network-Exposure-Interface_single-pages.pdf
- 5 IEC，了解IEC 62443，2021年2月，网址：<https://www.iec.ch/blog/understanding-iec-62443>
- 6 IEC 62443-3-3，工业通信网络-网络和系统安全-第3-3部分：系统安全要求和安全级别，网址：
https://webstore.iec.ch/preview/info_iec62443-3-3%7Bed1.0%7Db.pdf
- 7 ABB，ABB Ability，网址：<https://global.abb/topic/ability/en>
- 8 ABB，ABB Ability Edgenius运营数据管理器，网址：<https://new.abb.com/process-automation/edgenius>
- 9 3GPP技术规范23.502，5G系统(5GS)的程序：第2阶段，网址：
<https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3145>
- 10 3GPP技术规范23.434，垂直服务使能器架构层(SEAL)；功能架构和信息流，网址：
<https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3587>



Gergely Seres

◆是云软件和服务业务领域软件技术和应用程序架构的专家和首席架构师，目前从事5G和物联网（IoT）方面的工作。自1998年加入爱立信以来，他先后担任过多个研究、技术和管理职位。他拥有匈牙利布达佩斯技术和经济大学的电气工程博士学位。



Dirk Schulz

◆是ABB Research的高级首席科学家，负责工业自动化系统的通信架构。他自2006年以来一直在ABB工作，担任不同的科学和项目管理职务。他拥有德国曼海姆大学的通信工程博士学位（Dr. rer.-nat）。



Ognjen Dobrijevic

◆是ABB CorporateResearch的首席科学家。他正在研究未来工业通信系统的不同方面，重点关注无线连接和边缘计算。Dobrijevic自2018年起加入ABB，拥有克罗地亚萨格勒布大学的电气工程博士学位。



Abdulkadir Karağaç

◆是ABB Corporate Research的科学家，从事工业自动化系统的通信和互操作解决方案的研究。Karağaç拥有比利时根特大学的计算机科学博士学位，自2020年以来一直在ABB工作。



Hubert Przybysz

◆是业务领域云软件和服务的核心网络专家。他于1990年加入爱立信。他目前的工作重点是工业物联网（IIoT）领域以及5G系统能力的开放。Przybysz拥有波兰华沙科技大学的电信学硕士学位。



Ala Nazari

◆是媒体交付架构和关键物联网5G方面的专家。他于1998年加入爱立信，一直从事3G/4G/5G、宽带接入、传输和媒体交付方面的工作。他还曾担任高级解决方案架构师和参与总监。Nazari拥有瑞典乌普萨拉大学的计算机科学硕士学位。



Áron Dénes Szabó

◆2021年加入爱立信，担任业务领域云计算软件和服务的5G网络开放系统架构师。他的工作重点是5G IIoT的标准化和原型设计。Szabó拥有布达佩斯技术和经济大学的工程物理学硕士学位和电气工程博士学位。

Peter Chen

◆是业务领域云计算软件和服务核心网络开放的系统负责人，专注于网络开放领域的技术战略和演进。



Márk László Mikecz

◆是5G的架构师业务领域云计算和服务的5G网络开放架构师。他于2016年加入爱立信。他目前的工作重点是5G开放接口概念验证。Mikecz拥有匈牙利布达佩斯埃特沃斯-洛朗大学的理学学士学位。



自2006年加入爱立信以来，他一直在核心网的不同领域工作，并在爱立信内部贡献了超过20项专利。他拥有中国大连理工大学的理学学士学位。



ISSN 0014-0171
284 23- 3358 | Uen

© Ericsson AB 2021
Ericsson
SE-164 83 Stockholm, Sweden
Phone: +46 10 719 0000