



工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

工业互联网面向应用的确定性 数据总线技术蓝皮书

工业互联网产业联盟（AII）
2025年5月



工业互联网

面向应用的确定性数据总线技术

蓝皮书



工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

工业互联网产业联盟（AII）

2025 年 5 月

编写说明

随着工业互联网技术的发展，制造系统由局部业务的优化，演变为设计-制造-供应“三链”自主智能化，正在重塑全球制造业格局，形成未来制造创新模式。未来智能系统连接设备和应用的类型更丰富，涉及的业务流程和链条更复杂，系统之间的协同协作更普遍。因此需要进行全链条数据、信息和业务的集成融合，实现“网-算-控”一体化，达到整体系统网络资源、计算资源和业务逻辑的全面协同，这决定联通全局业务与网算资源的数据总线的确定性能力需要在整个工厂信息系统中不断延伸，从1-3层向应用层发展。

本蓝皮书《工业互联网 面向应用的确定性数据总线技术蓝皮书》提出面向应用的确定性数据总线架构，研究确定性数据总线支撑技术，为应用服务提供统一数据服务接口、算网协同调度的确定性数据通道和高效分发机制，支撑面向应用的确定性技术体系，赋能新型工业化应用模式。

组织单位：工业互联网产业联盟

编写单位（排名不分先后）：中国科学院沈阳自动化研究所、中国信息通信研究院、中国信息通信研究院西部分院、网络通信与安全紫金山实验室

编写组成员（排名不分先后）：李栋、俞雪婷、张恒升、付韬、朱海龙、张华宇、唐华苹、吕玲

目 录

一、面向应用的确定性数据总线的定位与意义	1
(一) 面向应用的确定性数据总线的定位	1
(二) 面向应用的确定性数据总线的内涵	3
(三) 面向应用的确定性数据总线的作用和意义	4
二、面向应用的确定性数据总线架构与特征	5
(一) 面向应用的确定性数据架构	5
1. 功能架构	5
2. 部署架构	7
(二) 面向应用的确定性数据总线特征	8
1. “网算控”协同的调度支持	8
2. 统一的数据服务接口	8
3. 自顶到底的确定性数据通道	8
4. 用户无感的异构网络兼容能力	9
5. 统一数据空间	9
三、面向应用的确定性数据总线支撑技术	10
(一) 网算编排技术	10
(二) 标准化数据模型和编码	11
(三) 数据分发协议	11
(四) 高速数据通道	14
(五) 底层确定性网络适配技术	14
四、面向应用的确定性数据总线应用场景	16
(一) 面向人工智能大模型的分布式计算场景	16
(二) 边端协同的检测场景	17
(三) 设计与生产工艺协同规划场景	19
(四) 大规模多机器人协作场景	20

五、 总结与展望	22
六、 附录	23
(一) 参考文献列表	23
(二) 术语表	23



工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

一、面向应用的确定性数据总线的定位与意义

（一）面向应用的确定性数据总线的定位

工业互联网 2.0 阶段，网络互联、数据互认、业务协同的发展趋势，需要“网-算-控”一体化的全新技术体系支撑。依据国家工业互联网的战略发展规划，预计到 2035 年，我国工业互联网将进入到 2.0 阶段，实现工业互联网与制造业务的集成融合，形成未来制造的创新模式。这一方面需要在工业互联网 1.0 全面互联的基础上，打通各业务链的数据流，构建统一数字空间，实现业务链全面集成；另一方面需要基于数据驱动的方式替代人工建模、决策，实现制造知识的自动化，形成自主智能。要达到上述目标，在网络层面实现工控网络与互联网的融合互联和数据传输，在信息层面实现端侧、边与云间的数据互认，大数据协同计算；在业务层面支持 OT 侧 3 业务链与 IT 侧 AI 智能的集成和协同优化控制。面对工业互联网 2.0 阶段更加全面的网络互联、数据互认、业务协同的发展趋势，需要“网-算-控”一体化的全新技术体系支撑，达到整体系统网络资源、计算资源和业务逻辑的全面优化，实现面向制造业务全链条集成融合。

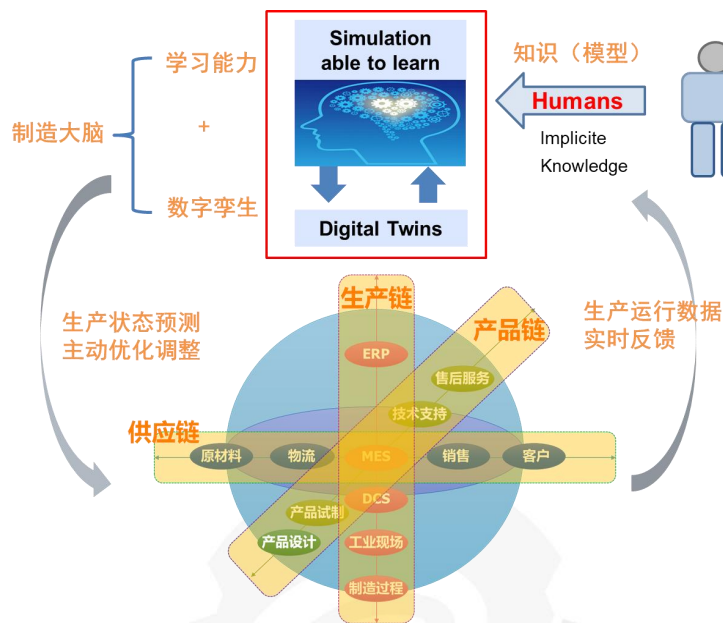


图1 未来制造的创新模式

实现“网-算-控”一体化需要系统的确定性能力从1-3层向应用层延伸。全链条集成融合的应用协同调度与规划，对应用的确定性提出了更高的要求，确定性需要匹配到应用端到端的各个环节。而当前工业互联网的确定性主要是由网络层来进行保障，如TSN、DetNet技术等。但是单一的采用某个层面的确定性保障技术，已难覆盖应用到应用的保障要求。因此，《面向应用的确定性技术》系列蓝皮书提出了面向应用的确定性系统架构和技术体系，将确定性能力从1-3层向应用层延伸，从网络、计算、逻辑控制等多个方面统筹规划，实现“网-算-控”一体化的整体确定性保障。

面向应用的确定性数据总线是面向应用的确定性全新技术体系的重要环节。本蓝皮书面向应用的确定性数据总线支撑“网-算-控”一体化的技术体系，在面向应用的确定性技术架构中的位置如图2所示。作为面向应用的确定性技术体系的重要组成，为应用提供具有确定性保障能力的数据传输通道、标准化数据模型、高效数据分发机制，统一服务接口。通过应用业务与网算资源的协同调配，共

同实现面向应用的确定性保障。

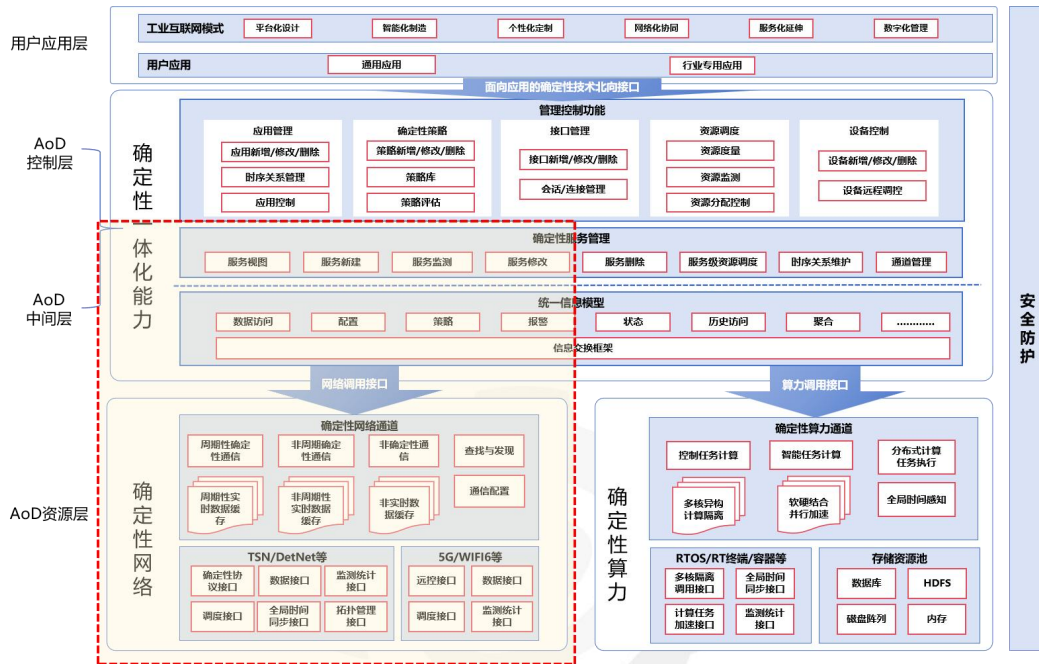


图2 面向应用的确定性技术架构与确定性数据总线定位

(二) 面向应用的确定性数据总线的内涵

面向应用的确定性数据总线以高效数据分发、标准数据模型技术为基础，以支撑应用到应用的整体确定性为核心关键特征，连接网络资源、计算资源和应用业务，支撑全链条系统的互联互通。

高效数据分发和标准数据模型是基础。数据总线主要通过数据分发协议、数据信息的交互，实现数据和信息在各系统间的无缝传递，使得异构系统在数据层面能相互“理解”，从而实现数据与信息互联互通。

支撑应用到应用的整体确定性是关键。为实现对“网-算-控”一体化的整体优化和协同的支撑，数据总线需要在能够提供数据服务的基础上，支持对网络资源和计算资源的协同规划调配，保障数据总线各种数据服务的质量，打破传统总线技术从单一层面提供确定性保障能力的局限，提供应用到应用的整体确定性保障。

全面互联互通是目标。数据总线连接网络资源、计算资源和应

用业务，是“网-算-控”连接的纽带。数据总线以统一的服务接口，承接应用业务的数据注册、数据标识、数据收发等相关服务，为设计-制造-供应全链条应用系统的数据流动和共享提供全面支撑。

（三） 面向应用的确定性数据总线的作用和意义

面向应用的确定性数据总线支撑新模式下工业互联网与制造业的深度融合，形成未来制造的创新模式。随着智能制造的发展，覆盖工厂 OT 网络的大量生产/运行数据、控制数据与 IT 网络中的管理数据、设计/工艺数据交换需求逐步增加，互联主体将从机器、控制系统、信息系统进一步扩展到包含在制品、智能产品、协作企业和用户在内的制造全流程网络互联与数据交互。确定性数据总线将实现面向不同应用之间的数据互联与交互，是打破 OT 与 IT 间界限、实现 OT 与 IT 的充分数据流动和共享的重要手段。实现设计-制造-供应“三链”自主智能化业务提供跨域应用间的数据集成和高效互通，从而使能人工智能在工业中的全周期应用，形成优化闭环，驱动工业智能化，形成未来制造的创新模式。

二、面向应用的确定性数据总线架构与特征

（一）面向应用的确定性数据总线架构

1. 功能架构

面向应用的确定性数据总线架构如图 3 所示。包括数据服务接口、数据模型、Qos 管理和数据分发等 4 个核心功能模块。其中数据服务接口是应用业务与数据总线的交互接口，向应用业务提供统一规范的服务接口调用 API，应用通过数据服务接口 API 的调用，对数据进行收发和对数据节点进行管理。数据模型模块用于规范数据模型格式和编码规则，实现数据总线格式的统一和互认。数据分发模块主要负责执行数据分发、数据节点注册、发现、建立链接等具体操作。在执行对应操作的过程中，数据分发模块会根据接口指定的 Qos 参数，调用 Qos 管理功能模块执行 Qos 保障功能。

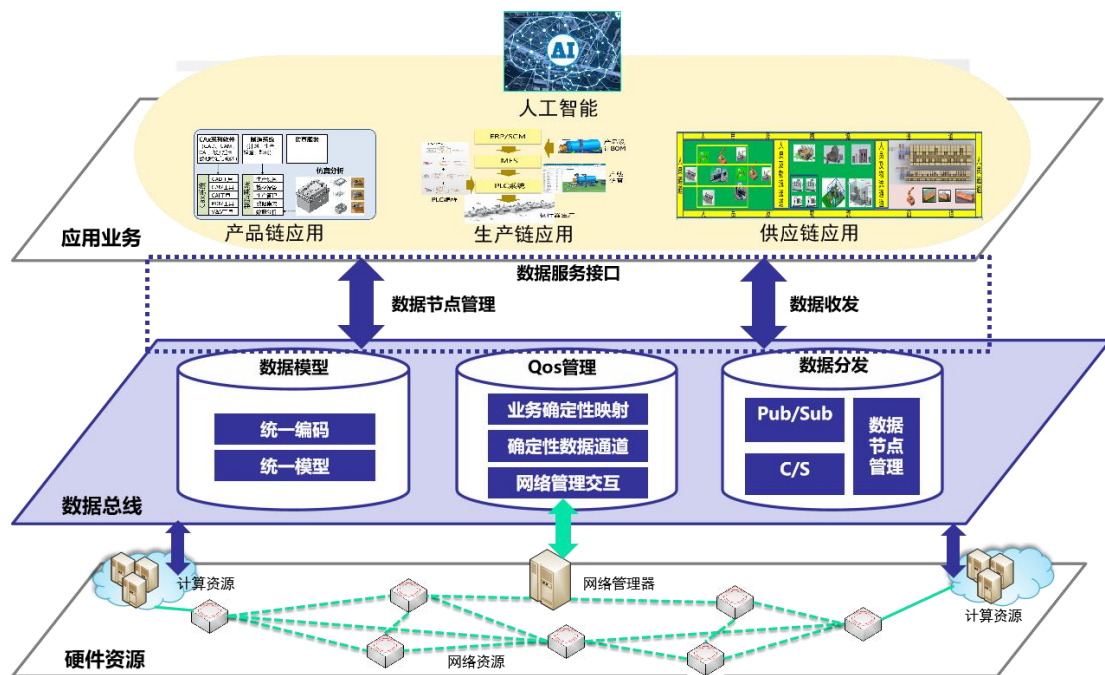


图 3 面向应用的确定性数据总线功能架构

1) 数据服务接口

面向应用层提供的统一数据服务接口，根据操作对象的不同，可以分为面向数据操作的数据收发服务接口和面向数据端点操作的数据端点管理接口。数据服务接口可以分为 pub/sub 模式和 C/S 模式两种数据收发模式。

Pub/Sub 模式为发布/订阅的数据通信模式，数据服务接口提供一套 topic 数据发布/订阅、发布端/订阅端发现、发布端/订阅端注册、建立 topic 连接等接口操作 API。

C/S 模式为服务端和客户端的数据通信模式，数据服务接口提供一套数据读写、服务端/客户端发现、客户端注册、C/S 连接等接口操作 API。

2) 数据分发

数据分发是数据总线实现数据交互的主体功能模块。应用业务通过数据服务接口，调用数据分发功能实现对数据的接收、发送、数据端点的发现、注册、连接等操作。

3) 数据模型

数据模型通过标准规范的数据模型和数据名称、传输格式编码规则，实现数据总线中全局数据的统一。

- 统一数据模型：使用国际/国内主流数据模型标准规范，如 OPC UA 数据通信统一架构等，行业内或相似行业间形成标准的典型设备/应用的数据模型，支撑多系统间数据的互认。
- 统一编码：根据编码标准规范，对数据进行统一格式的编码，实现数据总线中数据的形式统一和内容互认。

4) Qos 管理

Qos 管理为数据总线提供数据“自顶到底”的确定性传输能力，能够根据应用层规定的 Qos 类型和参数，指定所需要的数据传输质量行为，通过数据分发的 QoS 实现这种行为要求，满足客户对通信质量的要求。并将不同类型业务的数据映射到不同的数据通道中，通过数据通道与底层网络资源的协同适配，实现对不同 Qos 需求的数据的底层网络传输保障。在应用业务实际运行中，QoS 管理也支持根据业务需求、资源变化、网络负载等变化，动态调控数据总线的 Qos 行为策略，以维持或优化总线的确定性传输能力。

- 业务确定性映射：根据应用层规定的 Qos 类型和参数，将不同类型业务的数据映射到不同的数据通道中；
- 确定性数据通道：区分多个 QoS 传输通道，为不同类型应用提供不同质量保障的传输能力；
- 网络层适配：向网络层提供数据通道适配接口，能够通过与管理器的交互，完成网络与数据总线的数据通道的适配。

2. 部署架构

从应用部署角度，面向应用的确定性数据总线的示意图如图 4 所示，数据总线以数据总线协议栈的形式实现并安装到终端和算力设备中。数据总线协议栈向应用层提供统一的服务接口，向网络硬件（网卡、模组等）提供数据通道适配接口，通过与网络管理器的交互，完成网络与数据总线的数据通道的适配，提供自顶向下的确定性通道联通。

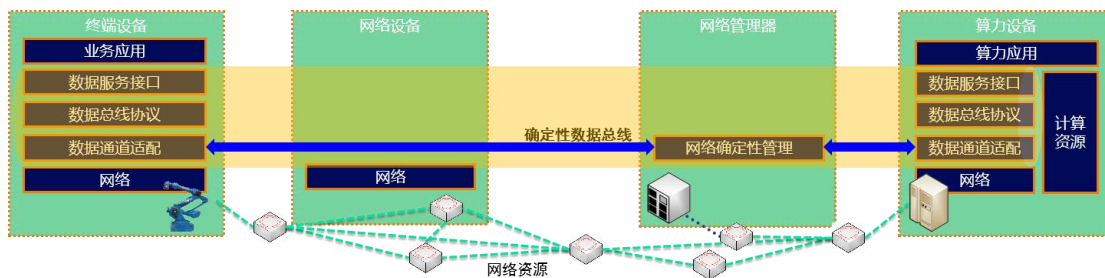


图4 面向应用的确定性数据总线部署示意图

（二） 面向应用的确定性数据总线特征

1. “网算控”协同的调度支持

为实现应用端到端的确定性，需建立“网算控”协同的资源调度机制。面向应用的确定性数据总线能够承接应用业务和算力业务的数据通信需求，支持算网编排器生成的分配方案的执行，为不同类型、不同数据收发需求的业务提供适配的数据分发服务，按照既定策略执行，对应用端到端确定性保障提供支撑。

2. 统一的数据服务接口

面向应用的确定性数据总线是承载在网络和应用之间的软件中间件。数据总线向上层应用提供规范、统一的数据服务接口，允许应用跨操作系统，语言和处理器体系结构交换信息，而底层细节，如数据线格式、注册、发现、连接、可靠性、传输选择、QoS、安全性等都由数据总线自行管理，使应用之间能够更轻松地通信和共享数据，简化应用的开发和移植的难度。

3. 自顶到底的确定性数据通道

面向应用的确定性数据总线本身具有多类型的QoS功能，向上联通应用的数据传输需求，在数据总线层面为应用业务的传输提供QoS保障能力。向下提供多种确定性数据传输通道接口，并通过与底层网络确定性通道的适配，能够与网络协同，形成数据从应用层

到物理层全覆盖的确定性通道。

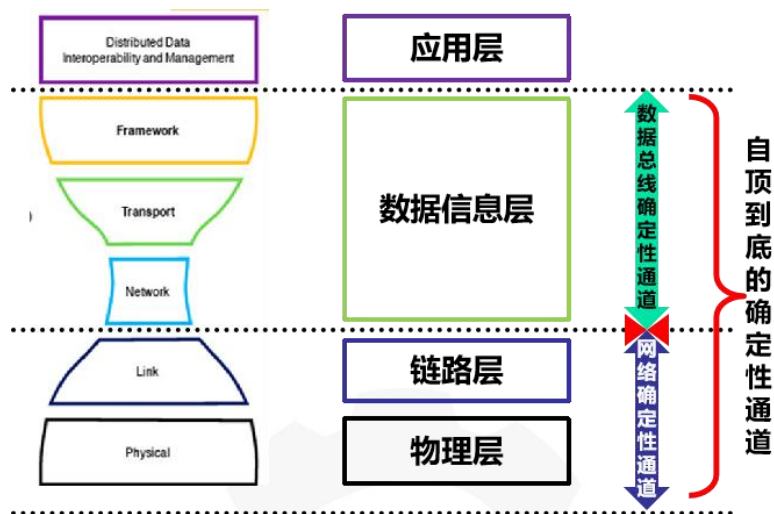


图 5 自顶到底的确定性数据通道示意图

4. 用户无感的异构网络兼容能力

为能够支持多类型网络设备的数据信息互联，数据总线需要能够支持多种类型网络终端设备的数据接入和流量的承载。数据总线提供多种规范的确定性数据通道，并提供与底层网络的适配接口。用户可以通过简单的适配接口的配置，完成与底层网络确定性通道的连接，兼容各类型底层网络，为用户带来底层网络无感的使用体验。

5. 统一数据空间

数据总线以数据为中心进行数据管理，通过规范标准的数据模型和数据命名编码规则，为 IT/OT 的互操作定义标准和可扩展的数据模型，形成统一的数据空间。

三、面向应用的确定性数据总线支撑技术

面向应用的确定性数据总线技术以数据分发和数据模型技术为核心，构建技术体系。同时为支持自上而下的确定性保障能力，向上，通过网算编排技术，获取数据总线承载数据的确定性指标；中间，通过高速数据通道技术，保障数据总线执行范围内的确定性；向下，通过底层确定性网络适配技术，打通网络层确定性通道，实现应用-网络-应用端到端的整体确定性保障能力。

（一）网算编排技术

网算编排技术主要是根据应用业务的逻辑，通过收集全网网算资源，根据全局的资源分配算法制定面向应用的异构资源分配方案。对应用业务所需的网络 and 计算资源、执行时间等进行全局规划调度。网算编排技术决定了面向应用的确定性数据总线的通信需求，是数据总线的前沿性支撑技术。

网算编排整合多区域、多层级的算力资源，同时考虑网络传送延迟确定性指标，实现资源的自动最优分配。其关键技术主要包括：

资源感知与分配技术：通过对计算资源和网络资源的实时监控和分析，实现对资源状态的感知和预测。根据任务需求和资源状态，动态地分配和调整资源，以保证任务的高效处理。

智能调度算法：通过引入先进的调度算法和机器学习技术，实现对计算资源和网络资源的智能感知和动态调整。这种算法能够根据任务需求和系统状态，自动选择最优的资源进行任务处理，从而提高整体系统的性能和效率。

（二） 标准化数据模型和编码

标准化数据模型，实现多异构系统之间对于数据的概念和定义的统一，从而支撑跨系统数据的互认。“三链”广泛互联业务的数据具有数据结构复杂多样、数据信息关联密切的特征。数据总线需要利用目前具有影响力的数据模型规范，对全局数据进行统一表达，并支持可扩展、灵活的关联，构建统一数据空间。

OPC UA 作为广泛适用于工业领域的的数据模型，它定义了一个通用的基础模型，具有统一的、集成的地址空间。允许服务器为客户提供从地址空间访问的对象的类型定义，支持数据以二进制结构、XML 和 JSON 文档等不同格式公开。数据的格式可由 OPC、其它标准组织或供应商定义，可支持数据模型范围的扩展。

数据字典的也是一种典型的数据交互统一标准，比较有影响力的包括 ec10ss、IEC 61360、IEC 61987 等工业现场数据字典，但是不同数据字典之间的数据互识以及各个数据之间的关联关系表达仍然缺少标准化支持。

另外也可以通过语义化技术构建统一语义模型，实现对各类 OT 侧的控制系统、IT 侧的管理系统与设计/工艺系统数据的统一描述，适配当前各类数据字典标准对数据的标签与编码，可以解决各类数据字典间的异构性问题，支持数据字典的统一应用；通过数据语义网技术，实现面向业务流程时空关联、业务关联的数据动态关联，为数据总线的模型统一和数据关系关联提供支持。

（三） 数据分发协议

数据分发协议主要用于实现数据收发、数据管理和数据分发层面的 Qos 保障功能。数据总线的实现需要数据分发协议的支撑。根

据数据分发模式的不同，分发协议可以分为 C/S 模式和 Pub/Sub 模式。

1. C/S 模式数据分发协议

C/S 模式作为传统的数据分发方式，经过长时间的发展，形成多种协议并在各领域得到了广泛应用，占据了重要的地位。目前在数据总线使用最具代表性的包括 OPC UA、QUIC、WebService 类型协议。

OPC UA 是目前工业互联网领域使用最广的协议，它打通了工业互联网通信中的各个层级，可以支持多类型系统在数据总线上的互联。并且 OPC UA 涵盖了 OPC 实时数据访问规范（OPC DA）、OPC 历史数据访问规范（OPC HDA）、OPC 报警事件访问规范（OPC A&E）和 OPC 安全协议（OPC Security）等不同方面，并具有与平台无关，可在任何操作系统上运行、配置和维护更加方便、基于服务的技术等特点。另外 OPC UA 也推出的 Pub/Sub 传输模式，可以作为数据总线的数据分发的基础支撑技术。

QUIC（Quick UDP Internet Connections）由 Google 开发的高性能、高可靠传输层协议，在网络七层架构中构建在 UDP 协议之上。QUIC 通过加密和多路复用来提供高安全性和快速数据传输。它允许通过单个连接传输多个数据流，从而减少延迟并提高数据吞吐量。QUIC 具备传输层所需的拥塞控制和流量控制等功能，可与 2-3 层确定性网络组合使用。QUIC 协议目前在数据中心中广泛使用，提高了数据交换效率。工业设备通常在受限的 IT 网络环境中运行，QUIC 在高延迟和丢包的网路条件下表现出色，适用于工业物联网设备和无线设备的通信，提供可靠和高效的替代方案。在需要实时数据交换的场景中，以提供工业终端跟踪、流量工程和安全功能。QUIC 的

低延迟、多路复用和数据包恢复能力有助于确定性数据总线的可靠通信。

WebService 类型协议是传统 IT 网络的协议，由于使用广泛，能够为数据总线提供更多的系统兼容性支持。

2. Pub/Sub 模式数据分发协议

随着工业互联网连接的范围逐渐扩大，传统以数据传输为核心，收发双方紧耦合的 C/S 模式在并发性能、灵活性和扩展性等方面越来越难以满足需求，具备松耦合特点的 Pub/Sub 模式将成为数据总线的重要数据分发方式，比较有代表性的数据分发协议包括 MQTT、OPC-UA、AMQP、DDS 等。

MQTT 是一个物联网传输协议，设计用于轻量级的发布/订阅式消息传输，具有集中式的 Broker 消息代理，提供简单的服务质量 QoS 保障（三种等级），适用于低带宽、功耗较低的物联网设备提供网络服务。

AMQP 是一个提供统一消息服务的应用层标准协议，为消息中间件提出了一个抽象模型，规定了消息中间件的实体组成，抽象出一套统一的 API，提供客户端应用与消息中间件之间异步、安全、高效地交互。

DDS 面向实时系统的数据分布服务。其特点是以消息为中心，使用无代理的发布/订阅消息模式，支持点对点、点对多、多对多等传输方式，提供多种 QoS 服务质量策略。适用于构建大型分布式具有确定性要求的数据总线系统。

上述数据传输和分发协议都可以为确定性数据总线提供支撑。但是当前这些数据分发协议由于实现在操作系统和应用之间，缺少与底层网络的联通，仍存在实时性方面的不足。

（四） 高速数据通道

为提高数据总线的实时性，需要从应用-应用数据传输过程中的全部环节入手提升实时性。除操作系统的实时处理和调度外，数据从应用层的数据分发协议到网络网卡之间的数据通道也需要高速处理和交换技术的支持。

DPDK 是一种高性能的网络驱动组件，能够为数据面应用程序提供快速的数据包处理解决方案，通过 linux 的 UIO 技术绕过操作系统内核，避免了内核中断爆炸和大量数据拷贝的方法，在用户空间能够直接和硬件进行交互，可以提高数据在操作系统中的处理效率，使用在实时数据通道中，可以提高实时数据的处理时延。

为提高协议栈处理效率，可以使用硬件协议栈处理技术，将软件方式的协议栈处理转移到 FPGA 或网卡的硬件加速方式，提高实时业务数据通道的处理能力。

另外，随着虚拟化部署的兴起，越来越多的应用采用容器化、虚拟机部署的方式。对于同主机内的应用之间的数据总线，可以使用共享文件、进程间通信、内存空间映射的内部总线通信方式，提升数据通道的通信效率。

（五） 底层确定性网络适配技术

目前工业互联网领域的底层网络涵盖了传统工业以太网、商用以太网、TSN、5G、WIA、光网络、工业 PON 等多种类型的网络。数据总线需要能够兼容上述多类型网络系统设备，并支持在其上进行确定性数据传输。底层网络的适配可以采用 2 种类型技术。

- 协议转换技术

对于传统工业以太网等封闭式的系统，其应用层与网络采用强耦合的方式，难以支持数据总线的接入，因此，对于此类型网络设备的适配可以采用协议转换的方式。通过传统以太网设备的应用或者协议转换网关，将封闭系统数据转换为统一数据总线的协议格式，从而实现与数据总线上其他应用的互联互通。但是，由于数据经过了传统以太网协议的处理并加上额外的数据总线协议转换过程，因此效率通常不高。

● 数据总线适配技术

TSN、5G、光网络、工业 PON 等采用了通用技术架构的新型网络通常提供了一套确定性保障机制来支撑不同需求业务的差异化传输。而作为运行在网络之上的数据总线可以使用底层网络的确定性保障能力，通过数据总线的确定性通道与网络确定性通道（策略）的适配和映射，实现数据总线层与底层网络的确定性保障能力打通。确定性通道的适配通常需要数据总线与网络管理器的 Qos 管理进行协同，获取网络 Qos 通道和策略后进行对接。如 OPC UA over TSN，DDS over TSN 方案。目前数据总线适配技术总体还处于研究阶段，还需要进一步凝练，形成共识。

四、面向应用的确定性数据总线应用场景

（一）面向人工智能大模型的分布式计算场景

场景描述与需求：

人工智能大模型是当前最前沿的技术之一，模型规模的扩大可以带来精度的明显提升。当前工业设备的硬件能力明显无法满足超大模型的训练需求，而且单个设备的训练效率不足。除了对模型进行剪裁、压缩，大模型训练过程必然向分布式大力发展，将学习模型训练任务分解成多个子任务，并在多个计算设备上并行训练，以更快速地完成整体计算，并最终实现对整个计算过程的加速，形成以工业云平台为中心，边缘计算和工业终端辐射的分布式体系。

a. 大数据的采集需求：

工业大数据分布式学习利用大量的数据进行预测分析，可以训练出更准确的预测模型，涉及工厂 OT 网络的大量生产/运行数据、控制数据与 IT 网络中的管理数据、设计/工艺数据等大量、异构系统的数据的采集。

b. 数据交换和同步需求：

分布式计算还涉及到设备间的数据交换和同步问题。由于即使在同一服务器内部，多个计算设备（如 GPU）之间的内存不一定共享，因此设备间的数据交换和同步必须通过网络或高速互联实现。这要求分布式系统之间能够高效地通信，以确保训练的准确性和效率。

c. 数据信息模型的统一需求：

为实现分布式训练加速模型训练过程，使企业能够更快地调整和优化生产流程。大模型数据来源主体从机器、控制系统、信息系

统进一步扩展到包含在制品、智能产品、协作企业和用户在内的制造全流程信息集成。需要实现不同系统之间数据信息的统一，支撑分布式模型训练。

d. 多分布式计算应用之间的协同需求：

分布式训练通过将训练任务分散到多个计算节点上进行并行处理，可以充分利用计算资源，提高计算资源的利用率。这有助于企业降低成本，并提高数据处理的效率和速度。需要多分布式计算应用之间的高效协同，包括计算任务的协同和应用之间数据传输的协同。

确定性数据总线的作用：

1、分布式计算需要确定性数据总线适配传输层技术、网络层技术和数据链路层技术，通过面向应用、自顶向下的确定性通道，实现云服务和边缘计算之间的数据流量通道，再根据流量调整网络传输参数，形成符合分布式训练周期的确定性传输保障，支撑大模型分布式计算场景下数据的可靠、实时传输。

2、确定性数据总线通过实现基于统一数据空间的同步机制，确保多个分布式节点之间的数据状态保持一致。这包括数据的一致性校验、冲突解决和数据更新同步等。

3、确定性数据总线能够根据网算调度器的调度，支持分布式计算任务和传输任务的有序执行，确保算网协同的确定性服务要求。

（二） 边端协同的检测场景

场景描述与需求：

在高端制造业中，需要通过视觉检测、噪音检测等手段识别产品质量。这一过程主要发生在边缘计算设备和产线终端设备之间。

a. 传输稳定性需求:

图像信号在传输过程中可能会受到各种干扰,如电磁干扰、信号衰减等。为了确保传输的稳定性,需要采用适当的传输介质(如光纤、同轴电缆等)和传输协议。这些传输介质和协议应能够提供足够的带宽和稳定性,以确保图像信号在传输过程中不会丢失或失真。

b. 图像处理性能需求:

图像处理系统是视觉检测的核心部分,它负责接收图像信号、进行图像处理和分析,并输出检测结果。为了确保确定性,图像处理系统应具备高性能的计算能力和稳定的软件平台。高性能的计算能力可以确保图像处理的实时性和准确性;稳定的软件平台则可以确保系统的稳定性和可靠性。

c. 流程集成优化需求:

视觉检测系统通常是一个复杂的集成系统,包括图像摄取装置、传输设备、图像处理系统等多个组成部分。需要对整个系统进行优化和集成。这包括选择合适的硬件设备、优化系统配置、编写高效稳定的软件程序等。通过系统集成优化,可以确保各个组成部分之间的协同工作,提高整个系统的性能和稳定性。

确定性数据总线的作用:

1、确定性数据总线能够通过适配与底层网络的适配,兼容视频、图像设备使用光网络在内的多种类型底层网络传输介质,在边缘计算设备和工业终端设备应用之间实现工业级实时可靠传输,保障图像和视频传输稳定性。

2、确定性数据总线通过统一的确定性指标和数据通道,实现通用的确定性边缘计算应用之间的确定性传输。结合网算调度器调整

边缘计算任务的执行速度，确保算网协同的确定性服务，为系统的优化和集成提供支撑。

（三）设计与生产工艺协同规划场景

场景描述与需求：

随着产品复杂性呈指数增长，制造业务链条变得越来越长，过程也愈发复杂。其中设计与生产相互独立，复杂设计的生产成本难以控制，成本显著提高。需要打通制造业务各环节壁垒，构建设计生产一体化的新模式，在设计过程中同步考虑可制造性和制造成本，形成设计与制造的闭环优化，实现产品设计与生产的协同。

a. 异构数据集成需求：

设计与生产工艺协同规划场景中包括产品链所需设计、仿真软件和制造设备等多个软硬件系统，各类系统之间数据不通，支撑业务环节的软件模型跨多学科领域、经验知识难以表达，形成大量数据和知识孤岛，严重阻碍设计和生产信息集成。需要解决机械、电气、控制跨域异构数据集成难题，构建统一数据空间，提供数据的唯一标识、标准表达。

b. 跨系统高效数据交互需求：

设计生产一体化需要跨单位之间信息传递和交互的模式，通过基于数据源的需求－设计－制造－试验全过程关联演进技术，随着研制过程推进、数据不断派生、生长和扩展，下游最大限度地继承复用上游的数据。需要提升数据的规范性和有效性，减少数据冗余和数据转化复杂度，提高数据交互和利用效率。

c. 面向上层应用的数据调用需求：

统一数据操作接口，为设计生产协同优化、AI 人工智能规划等高等级应用提供调用接口。

确定性数据总线的作用：

1、确定性数据总线连接异构应用系统，提供统一数据空间，解决设计、仿真、协同之间数据无歧义、无障碍交互问题，实现异构应用系统之间信息的互联互通；

2、通过数据总线 Pub/Sub 的数据分发，提供高效、灵活的数据交互途径。

3、统一的数据服务接口，可以方便 AI 等更高级应用的对于异构系统数据的集成处理，实现对生产现场各环节数据的高效拉通。

（四） 大规模多机器人协作场景

场景描述与需求：

多机器人协作是指多个机器人在完成某个任务时，通过协同工作、信息交换和资源共享，实现更高效、更智能的工作。多机器人协作为实现全局一致的行为，通常需要一个集中的中央控制单元。控制单元采用云计算方式虽然可以满足对计算资源的需求，但是对实时性要求较高的任务由于通信时延不能满足系统需要。因此通常由边缘节点组成的节点网络通过协作实现对机器人系统本地控制、目标识别、轨迹规划以及设备监控等功能。云端进行多 ECN 的管理、调度以及大数据分析实现深度学习成果的网络化共享。

a. 端边云协同需求：

大规模机器人协同系统需要边缘节点与云协作构成分层式结构。对多机器人协作控制系统的任务根据对计算资源和实时性的权衡进行层次化划分，根据不同层次的任务合理的运行在不同的计算资源上。需要机器人之间、边缘控制器和云平台之间进行信息交互和控制应用协同。

b. 应用实时性需求:

多机器人协同对空间定位、识别、轨迹规划的实时性要求高,部分情况的场景需要在 10ms 以内。对边端乃至云端设备应用交互的实时性能要求较高。

c. 信息交互和共享需求:

机器人信息交互与知识共享,建立不同机器人的信息通讯网络,可以实现机器人经验、知识的快速迁移,降低机器人的学习周期和成本。

d. 传输资源需求:

多机器人协同主要以视觉为感知形式,特别是对于一些高精尖行业的应用场景,高分辨率相机是不可或缺的。视觉模块对于系统传输带宽、实时处理能力的要求都是较高的。工业现场产生大量数据的实时处理需求,单个摄像头 1080p 格式视频在 4Mbps 码率下每天产生 330G 的视频数据,需要占用大量带宽。

确定性数据总线的作用:

1、确定性数据总线能够支持网算调度器的统一调度,实现端边云计算任务和传输任务的有序执行,确保多机器之间应用协同的要求。

2、确定性数据总线可以支持 Pub/Sub 模式数据分发。为多机器人、边缘控制器和中心云端平台提供了高并发、灵活扩展的通信交互能力,支持信息交互和共享。

3、确定性数据总线的实时性保障能力,支撑大模型多机器人协作场景下数据的可靠、实时传输。通过适配大带宽的底层网络(如 PON、以太网),可以支持图像、视频等大带宽数据的传输,满足多机器人协同下的视觉感知需求。

五、总结与展望

1. 面向应用的确定性数据总线的创新与发展的大幕刚刚拉开，产业界、学术界对确定性数据总线的认识正在凝聚。在业界达成数据总线接口、数据模型的规范统一将成为未来数据总线发展的关键。考虑到不同行业工业场景差异，确定性数据总线的发展可以采用渐进式的发展策略，采用统一、可拓展的模型体系架构，初期以形成行业内数据模型和接口为主要目标，后期再在特征相似行业 and 不同行业通用系统间进行跨行业拓展延伸。

2. 面向应用的确定性数据总线应用仅处于初级阶段，真正成熟的确定性数据总线应用还需要较长期探索实践。短期来看，全链条协同规划、多机器人协作和 AI 大模型协同计算等几类关键场景有望成为重点应用方向。

3. 多系统的适用性是数字总线是否能够成功推广的核心，工业设备厂商、软件提供商和系统集成商们对数据总线的支持程度，决定了数据总线未来发展前景。目前还需要进一步凝聚行业共识，通过制定标准、产业交流推广，构建良好开放的生态环境，为面向应用的确定性数据总线的推广奠定基础。

六、附录

（一）术语表

序号	术语	英文	解释
1.	网络确定性	Deterministic	网络传输时延、抖动、带宽等性能指标具有明确的极限值
2.	面向应用的确定性	Application-oriented Determinacy, AoD	工业应用执行过程的时延、抖动、带宽等性能指标具有明确的极限值
3.	“网-算-控”一体化	Network-Computing-Control Integration	指通过深度融合网络（通信）、计算（算力）与控制（自动化）三大核心能力，构建高效协同、智能自治的系统，新型技术范式
4.			