

# 1 确定性网络先进工控平台融合测试床

## 1.1 引言/导读

当前全球经济社会发展正面临全新挑战与机遇，一方面，上一轮科技革命的传统动能规律性减弱趋势明显，导致经济增长的内生动力不足。另一方面，以互联网、大数据、人工智能为代表的新一代信息技术创新发展日新月异，加速向实体经济领域渗透融合，深刻改变各行业的发展理念、生产工具与生产方式，带来生产力的又一次飞跃。在新一代信息技术与制造技术深度融合的背景下，在工业数字化、网络化、智能化转型需求的带动下，以泛在互联、全面感知、智能优化、安全稳固为特征的工业互联网应运而生、蓄势兴起，正在全球范围内不断颠覆传统制造模式、生产组织方式和产业形态，推动传统产业加快转型升级、新兴产业加速发展壮大。

## 1.2 关键词

确定性网络、工业控制、可编程技术、异构PLC、工业装备

## 1.3 测试床项目承接主体

### 1.3.1 发起公司和主要联系人联系方式

华为技术有限公司 邓海洋 18926415929

杭州电子科技大学 陈佰平 13588451979

## 1.4 测试床项目目标

装备是制造业竞争的核心，是工业互联网赋能的重点。在各国政府和企业的推动下，装备网络化开始形成，例如装备在通用电气的Predix、西门子的MindSphere、施耐德电气的EcoStructure、ABB的Ability等平台的接入。我国在

《智能制造2025》的指引下，通过推出《国务院关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》，《国务院关于深化制造业与互联网融合发展的指导意见》，《国务院关于深化“互联网+先进制造业”发展工业互联网的指导意见》，《工业互联网创新发展行动计划（2021-2023）》系列政策，也不断支持和推动中国企业，建成了航天科工航天云网、海尔COSMOPlat、三一集团树根互联等工业互联网平台。在这一浪潮下，很多工厂的装备网络化已经初具规模，正向着协作化、集群化、定制化发展。

传统控制和开发方式是一个装备对应控制器，而多工序是通过固定步骤和流水线形式完成自动化生产。与此相比，未来控制系统的需求是统一开发平台对多个控制器进行开发控制多个装备，并会融入运动、视觉、智能算法等多种技术协同。这一趋势对现有技术提出了如下挑战：1) 异构控制系统对多装备的协同控制及其开发平台缺乏；2) 异构控制系统之间的可靠网络通信及其管理平台缺乏；3) 工业非结构化实时数据库缺乏。

本测试床以为解决现有挑战提供一个可行方案为目的，通过短期和长期两个阶段进行项目验证。短期方面，将以不同行业的2-3个典型应用为例测试研制的测试床；长期方面，将在1-2个未来工厂进行推广应用。

## 1.5 测试床方案架构

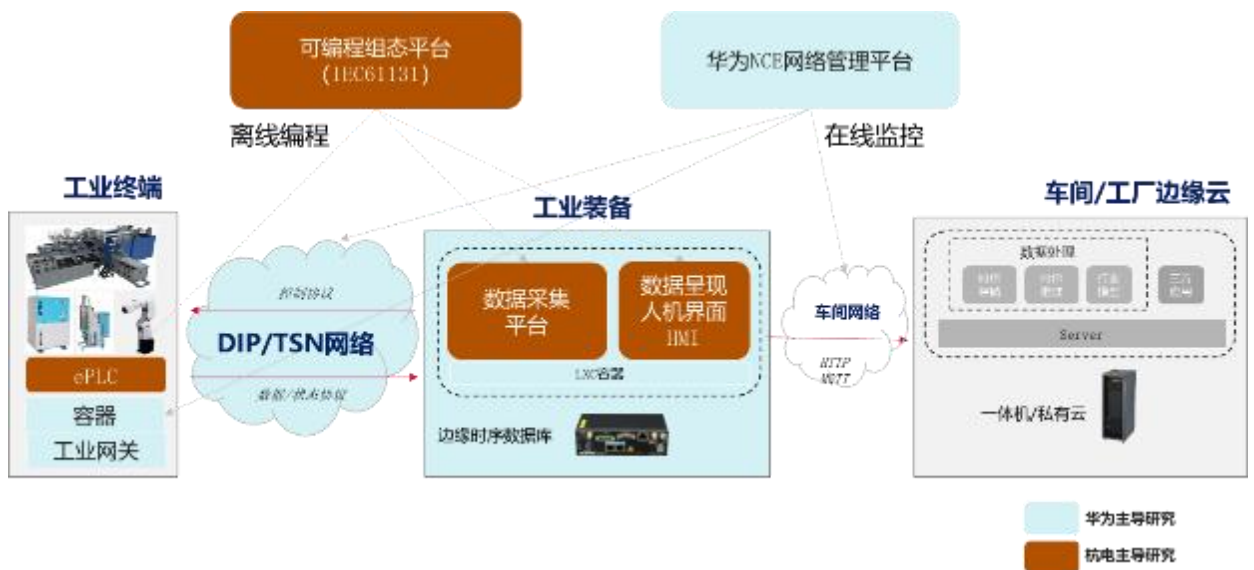
### 1.5.1 测试床应用场景

测试床以注塑成型行业为例，开展应用推广。注塑机及其辅机群一起生产塑料制品，用于航空航天、医疗、汽配、家电等行业。由于产品的丰富性，以及设备群的复杂性，其高速高精度控制一直是难点。本测试床，包括异构体可编程控制器运行时软件、可编程组态平台、确定性网络以及网络管理平台。运行时软件将运行在多台高性能服务器中成为可编程控制器。整个硬件系统将采用多台异构可编程控制器和远端IO，通过确定性网络连接。硬件系统将统一控制注塑机、工业机器人、AGV小车、上料机、模温机、冷水机、包装机、换模装置等装备群。最终形成，PLC群控制装备群，实时数据库存储定制化数据，而存储的数据可以用于数据分析和PLC控制优化。确定性网络以及普通车间网络通过网络管理

平台进行管理。

## 1.5.2 测试床架构

总体架构如图所示，主要包括异构体可编程控制器运行时软件、可编程组态平台、确定性网络以及网络管理平台。运行时软件将运行在多台高性能服务器中成为可编程控制器。整个硬件系统将采用多台异构可编程控制器和远端IO，通过确定性网络连接。



图：测试床整体架构

## 1.6 测试床方案

### 1.6.1 确定性网络及网络管理平台

Master NCE-Campus 是华为面向园区网络的新一代自动驾驶网络管理控制系统，是业界首个集管理、控制和分析功能于一体的网络自动化与智能化平台，提供园区网络的全生命周期自动化、基于大数据的故障智能闭环能力，帮助企业降低 OPEX 运维成本，加速企业云化与数字化转型，让网络管理更自动、网络运维更智能。

iMaster NCE-Campus基于云计算与分布式的架构设计，采用服务化的模块设

计、支持分布式部署。从整体架构上分为基础服务、管理、控制和分析四个组件：



图：确定性网络及网络管理平台架构图

基于华为NCE-Campus完成基于确定性网络的流量自动编排下发，网络指标可视化，网络故障智能闭环。

## 1.6.2 可编程控制系统运行时软件

### 1) 适用于异构PLC的实时内核研究适配

针对X86和Cortex-A架构平台，采用双内核机制的Linux 内核的强实时扩展。由于Linux 内核本身的实现方式和复杂度，使得Linux 本身不能使用于强实时应用。在双内核技术下，存在一个支持强实时的微内核，它与Linux 内核共同运行于硬件平台上，实时内核的优先级高于Linux 内核，它负责处理系统的实时任务，而Linux 则负责处理非实时任务，只有当实时内核不再有实时任务需要处理的时候，Linux内核才能得到运行的机会，由此组成双内核以弥补Linux实时性差的缺陷。

对于Cortex-M平台，性能较弱，采用固定线程数微内核操作系统，兼顾实时和非实时任务。

### 2) 控制系统任务调度

从控制系统应用层面，以时间粒度为单位设置多个不同时间周期(0.5ms、1ms、

10ms、100ms等)的实时任务和非实时任务,通过时间触发机制,采用抢占式调度策略,时间周期短的优先级高。设置空闲线程,在控制系统“有空”的时候运行非实时数据采集和分析任务,例如非确定性故障智能诊断。该设计方法合理利用了CPU资源,在不干扰原有控制功能的基础上,为新添加的软故障诊断功能提供了诊断数据,提高了控制系统的可靠性。

通过在任务间设置通信信号量,控制器不同实时任务间以信号量为标志进行数据传输,实现变量共享。与信号量对应,任务之间设置消息邮箱,通过消息邮箱实现任务与任务之间传递数据。当需要传递多组数据时,通过消息队列方式,在每个任务周期的间隙实现数据的发送与接收。

### 3) 运行监控

为提高系统可靠性,在控制系统的进程执行时,通过设置‘监控进程’监控‘控制进程’中每个任务的执行情况,当发现‘控制进程’中某个任务出现挂起时,通过消息机制触发‘控制进程’对任务进行干预或修复。当‘控制进程’出现异常时,‘监控进程’可通过告警触发、重启‘控制进程’等手段进行干预,防止系统处于奔溃状态。

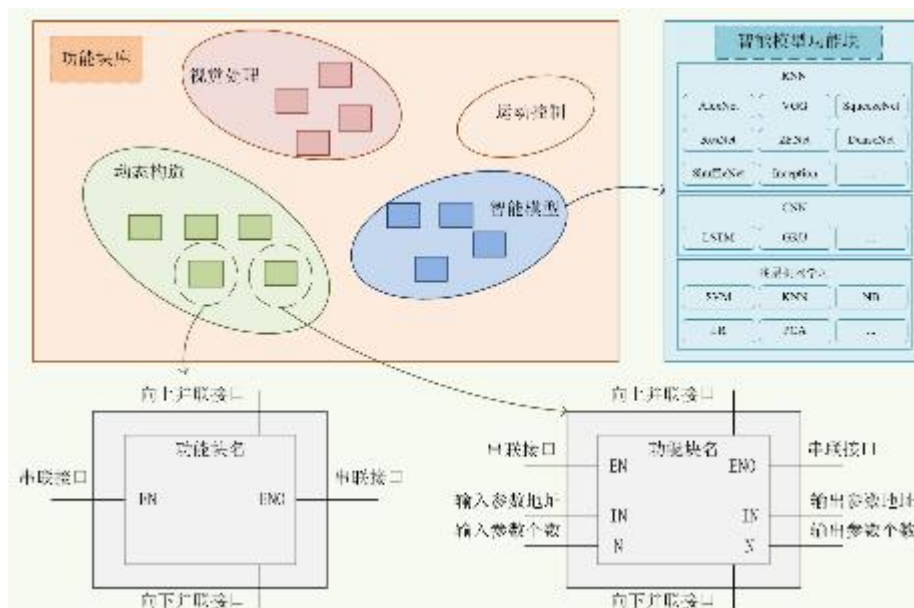
## 1.6.3 支持异构体的可编程组态平台

本测试床可编程组态平台将支持异构体可编程控制器和IEDB数据块定制编程,将包括功能块封装、混合编译和双线调试三个内容。

### 1) 功能块封装

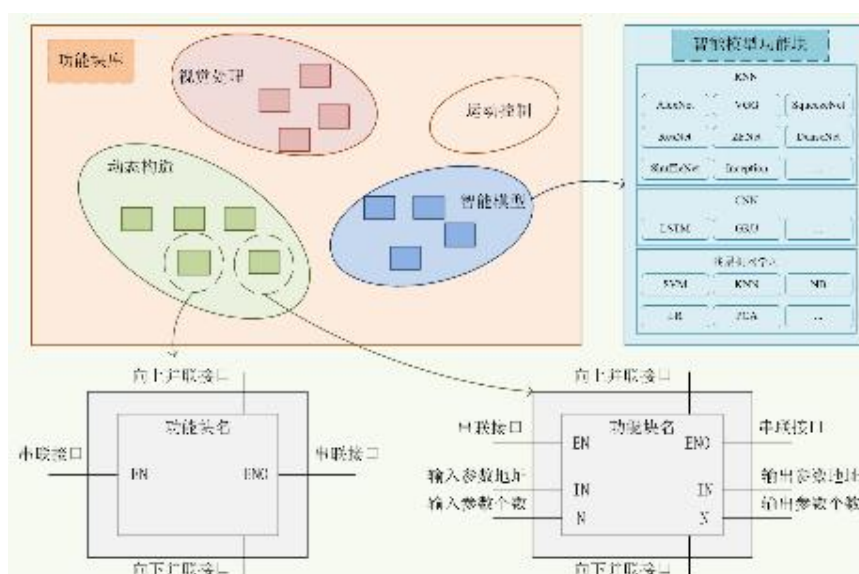
为了满足工业互联网复杂定制化的需求,研究功能块的平台无关性描述和封装方法。项目拟将多年可编程控制器领域成功经验运用到测试床程序的开发中,拟通过通用的XML语言描述,实现跨平台的功能块封装,构建功能块库。如图所示,平台将按照应用类别和行业实现功能块库的动态封装方法。用户可以自行动态增加定制化功能块,同时依据项目组内成员经验开发可高效复用的公共功能块。公共功能块主要包括复杂处理逻辑功能块,运动控制功能块,视觉处理功能块,智能推理功能块等。





**复杂处理逻辑功能块：**针对智能生产设备高通量、实时性要求设计流式数据分析模型，构造复杂处理逻辑功能块。数据流由现场设备采集输送到测试床进行解耦分析、萃取与事件生成。控制系统通过汇总和处理一段时间内生产的数据后发送到云端中心进行处理。云端通过并发方式向各控制系统发送指令，控制系统根据各自定制化控制逻辑功能块执行指令。

**运动控制算法功能块：**针对网络化协同制造中设备分布式控制需求设计实时控制算法功能块。项目将在PLCopen组织规定的常规运动控制功能块外，还支持特殊行业的定制化运动控制功能块。



图：功能块封装和动态构造

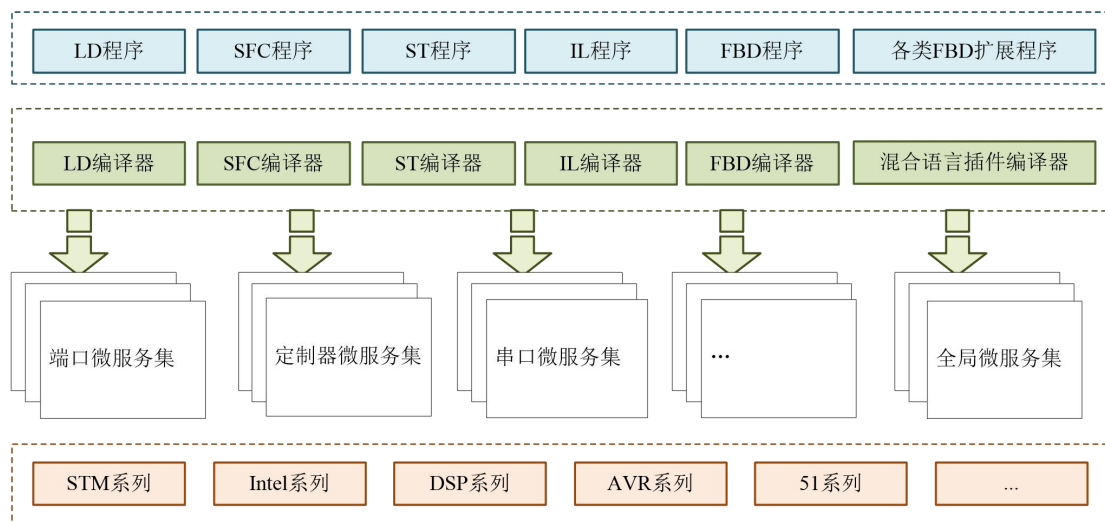
**视觉处理功能块：**项目拟在已有的常用视觉处理功能块基础上，依据项目执行的进程，按行业增量式设计特定视觉处理功能块。

**智能推理功能块：**项目将支持主流的SVM，PCA等浅层机器学习功能块，常用卷积网络和循环神经网络功能块。针对智能模型的高性能要求，研究如何有效利用项目的多核异构计算架构在有限计算资源条件下完成QoS保障的智能计算。

## 2) 混合编译技术

测试床中的硬件是异构的包括高性能服务器和传统可编程控制器，为支持符合IEC61131-3标准进行开发，需要研究混合编译技术包括编译器开发和跨平台部署两部分。

### a) 基于微服务的交叉编译器开发



图：基于微服务的交叉编译方法

基于微服务的交叉编译方法如上图所示。首先，基于硬件的指令框架通过实现微服务动态注入方法，自动形成各硬件平台的服务集合包括各类端口微服务集、定制器微服务集合、串口微服务集合、外部中断微服务集合、I2C微服务集合、SPI微服务集合、全局微服务集合等，从而支持包括STM系列，Intel系列，DSP系列，AVR系列等的低中高芯片。针对混合语言开发，研制混合语言编译器将对应程序通过功能块的转换并基于微服务集，编译成目标芯片二进制代码供平台部署到定向PLC。

### b) 跨平台自动部署技术

面对可能涉及到大量PLC的程序更新且每个PLC类型和功能又不尽相同给

编译带来的困难，拟开发定制化的运行时部署方法。拟通过实现边缘信息源记录机制和标准化轮询信息描述，通过在PLC中研发轮询服务，响应编译服务请求并返回所接入控制器的信息。在获取所有的信息后，平台端的编译服务系统，通过线程池机制和消息队列等形式实现并行的定制化编译，为每台PLC生成定制化程序实现运行时部署。

线程池包括一个任务队列和一组线程。边缘请求信息放置在任务队列中进行顺序处理。通过研发轮询服务，响应高并发的边缘服务请求并返回分布式应用程序。通过云端建立的云编译服务系统，实现高并发的实时定制化部署。部署流程如下：侦听线程侦听特定端口，接收边缘信息源的请求，然后将其放入任务队列；检查线程定期检查任务队列，如果任务队列不为空，则调用处理线程；处理线程将根据边缘请求信息动态编译生成分布式应用，并使用唯一标识符作为保存应用程序的路径。最后发送线程将应用根据路径发送到边缘。

#### 1.6.4 双线调试技术

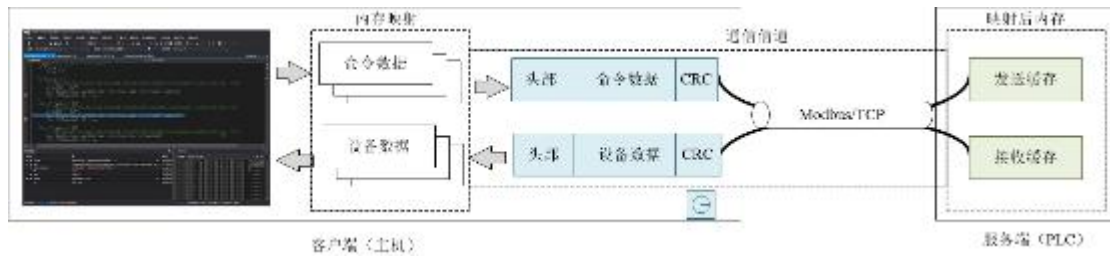
为实现异构PLC调试，拟设计一个基于数据驱动内存映射调试模型，其主要功能是将PLC在现场与数据源的通信过程，通过一系列的内存交换映射到开发主机上，使开发主机能够和数据源进行通信。它包含以下三个内容：

##### 1) 异构PLC内存映射

首先，在开发环境上建立异构 PLC 代码运行时环境线程（Runtime Environment Thread, RET）、在 PLC 上创建调试代理任务（Debugging Daemon Task, DDT）；然后选定 PLC 与被调试智能设备通信所用的协议数据缓冲区作为内存映射区域  $M$ ，在开发主机上内存映射  $M'$ ，由 RET 和 DDT 之间建立网络连接并保持两者间数据同步，即开发主机上运行的代码修改  $M'$  内容会同步引起 PLC 上  $M$  区域内对应位置的数据改变；反之亦然。不失一般性，RET 和 DDT 之间的数据同步通过 Modbus TCP 实现。在开始调试后，在开发主机的 IDE 环境下运行通信协议代码，代码产生的协议命令被写入  $M'$  区域的发送缓冲区，RET 进一步将其封装为 Modbus TCP 协议报文后传输到 DDT，DDT 解开封装并写入到 PLC 的发送缓冲区；反之，PLC 接收到智能设备的应答数据存储在  $M$  区并被同步到传输到  $M'$  的接收缓冲区，通信协议代码继而获得了智能设备的应答数据。在 IDE 调试环境下，开发者可以对协议命令的组装、校验和计算、应答数据的解析、智



能设备的数据等协议开发所关注的细节，使用断点、单步、变量和内存查看等方式进行调试和分析，排除问题。



图：内存映射模型和调试通道

## 2) 异构PLC数据同步方法

在DDT的设计中，拟为其分配了2块数据区域用于配置和驱动调试。第一块区域是协议数据交换缓冲区（Protocol Data Exchange Buffer, PDEB），包含发送缓冲区和接收缓冲区，用于DDT和RET的内存映射；第二个区域是调试触发位数据（Protocol Data Exchange Trigger Bits, PDET B），每一位代表一个同步事件或是配置。DDT主要完成3个任务：一是与RTE内存映射区域的数据同步；二是协议数据交换缓冲区到PLC硬件驱动之间的数据交互；三是设置PDET B，协调开发主机和数据源之间的通信。特别地，在任务二中，异构PLC硬件驱动处于协议通信的底层，完成与数据源数据发送、接收的物理过程。异构PLC的协议处理程序和驱动之间，以内存共享方式交换数据。以RS232串口通信为例，发送缓冲区数据就绪后，设置发送数据就绪标记位通知驱动将数据发送出去；反之，驱动接收到数据后会放置到接收缓冲区并设置接收数据就绪的标志，以便上层协议处理程序获知并处理接收到的数据。在对通信协议程序进行调试时，发送缓冲区、接收缓冲区的数据和标记位由开发主机读写，而在非调试状态下，则由PLC通信协议程序代码进行读写。在任务三中，设计通信协议调试控制位的设计分成2个部分。第一部分是对组成的PLC通信协议程序功能块的执行条件进行控制。第二部分是与开发主机及PLC的通信过程同步控制，使通信过程的调试能有序进行。

## 3) 调试方法

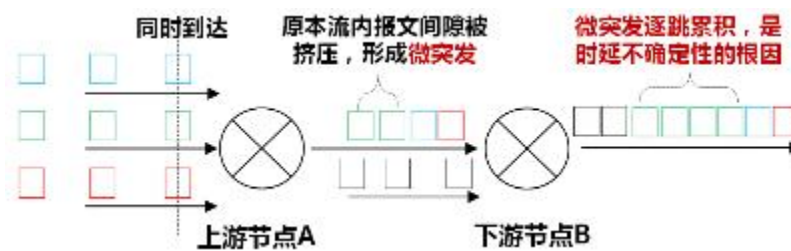
开发平台上仿真及调试。在开发平台上编译、启动调试工程，在IDE下对功能块代码进行单步运行、变量查看、数据断点等调试，定位并解决代码中存在的Bug。该调试过程可以重复，直至所有Bug都修复。仿真调试完成的功能块代码，

在PLC开发平台上保存为XML标准格式文件，并添加到功能块库中。该调试过程解决功能块代码正确性问题。

PLC上执行及调试。工程师选择嵌入式CPU为目标平台，重新编译工程、下载到PLC上执行；通过算法提取工程中功能块调用关系图，得到功能块网络，然后启动数据监视，通过与Monitor Task的通信即时获取和分析功能块间接口间的数据交互。该调试过程完成在PLC上执行功能块及功能块网络的数据传递正确性的调试和验证。

## 1.7 方案重点技术

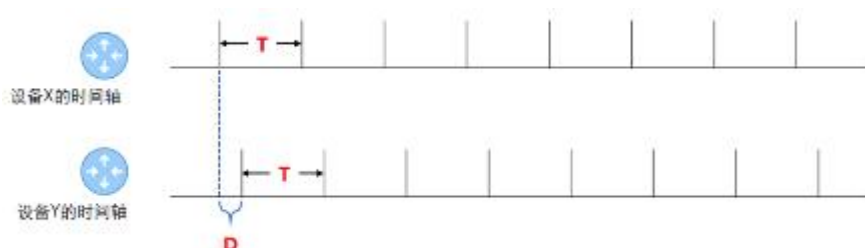
### 1.7.1 确定性网络



图：确定性IP技术特点

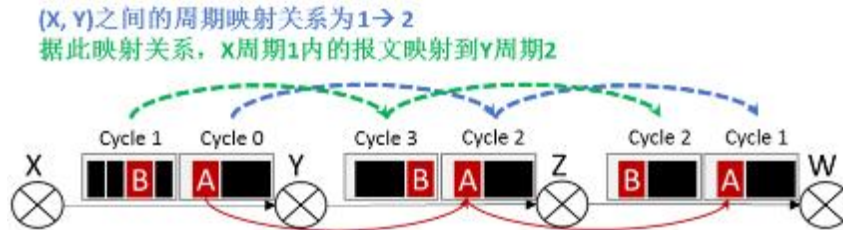
确定性IP的目标就是在现有IP转发机制的基础上提供确定性的时延及抖动保证。确定性IP的主要使能技术为LDN（Large-scale Deterministic Network，大规模确定性网络）。通过引入周期调度机制来严格避免微突发的存在，从而保证了确定性时延和无拥塞丢包。LDN技术的异步调度、支持长距链路、核心节点无逐流状态等特点使其适用于大规模网络可部署。

LDN首先要求全网设备频率同步，所谓的频率同步即各设备将自己的时间轴划分为等长的周期，不同设备的周期可以从不同的时间开始在不同的时间结束。并且任意两个设备的周期边缘之差 $D$ 保持不变。



图：全网设备频率同步

任意两个邻居设备之间都维持着一个稳定的周期映射关系。该周期映射关系约束了两跳设备之间的数据包转发行为，数据包需要且只能在规定的周期内发送，从而保证了单跳数据传输的时延确定性。从源节点到目标节点经过逐跳的周期约束转发，保证了端到端的时延确定性。基于确定性的时延上界，选择一个满足业务需求的确定性服务管道。



图：周期映射关系

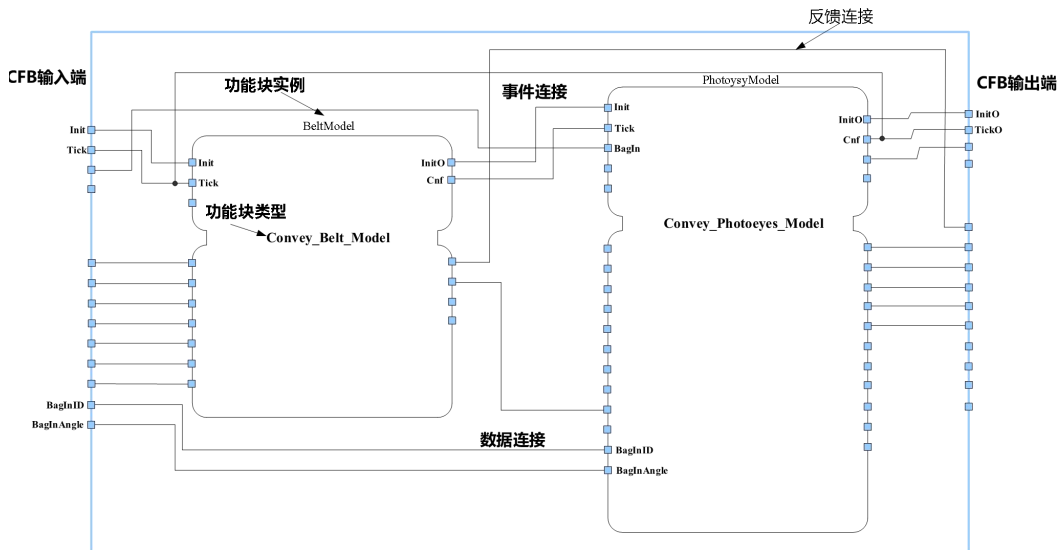
设备之间的周期映射关系可以通过控制面配置的方式，也可以通过自适应分布式学习的方式得到。构造出的周期映射关系可以分布存储在转发设备上，也可以集中存储在少量控制设备上。后续用户数据报文只需要携带周期相关信息，通过查表转发或者其它方式即可实现确定性转发。

### 1.7.2 支持异构体和 IEDB 可编程的开发模式

开发模式中主要包括功能块重构、全解编译、内嵌组态三大重点技术

#### 1) 功能块重构技术

多个基础功能块可以组合、封装成复合功能块。如图 11: 6x 所示，两个基础功能块连接组成一个复合功能块。在进行功能块复合时，需要对连接关系进行处理，主要包括：1) 事件连接：输入事件→输入事件 CEI2I，输出事件→输入事件 CEO2I，输出事件→输出事件 CEO2O；2) 变量连接：输入变量→输入变量 CVI2I，输出变量→输入变量 CVI2I，输出变量→输出变量 CVI2I。



图：6 复合功能块复合功能块示意图

简单功能块的变量传递和事件传递等执行顺序相关的信息保存在复合功能块的执行语义中。复合功能块被执行时，首先要初始化其网络中所有功能块实例的初始状态；首先，接口中输入事件被提取执行，同时与输入事件相关联的输入变量被更新；然后，所有网络中的功能块实例按照设置的顺序执行。例如，BeltModel 在 PhotoeyeModel 执行前执行。每个实例的执行涉及到三步：功能块里的输入事件被提取执行，同时与输入事件相关联的输入变量被更新，例如，其中有涉及到一条反馈连接 PhotoeyeModel.Cnf → BeltModel.TICK；每个功能块实例被执行，执行时基于对应的执行语义（基础或者复合）；最后，复合功能块接口的输出被更新。由于仅对功能块接口进行 XML 描述，可以有效防止导出的功能块源代码的流失，保护知识产权。

## 2) 全解编译技术

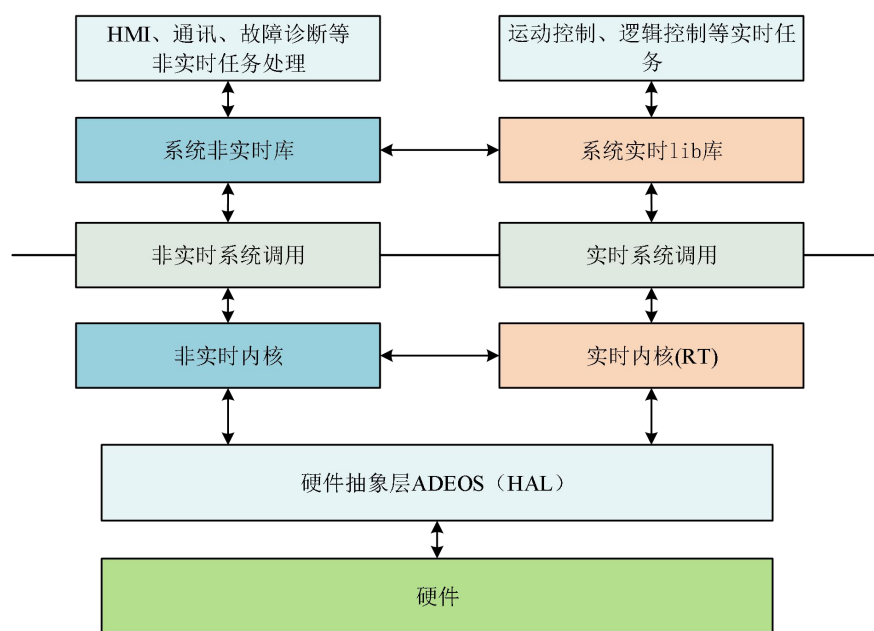
图形程序的编译是平台编译部分的难点，直接对其图形程序进行编译是相当困难的。本项目考虑图形语言与IL语言之间的紧密联系，先对图形程序的结构进行解析，判断每个元素的连接情况，建立各个图形构件间的串并联关系，形成AOV图；在AOV图转化为IL指令的过程中，根据AOV图中的顶点和弧生成对应的IL指令，每个顶点对应一条指令；根据目标控制的芯片类型，编译IL指令文件生成目标代码，并在编译过程中反向解析IL指令和图程序的关系，给出图形程序的编译错误提示。

### 3) 图内嵌组态技术

为在图形程序中嵌入高级语言编写的算法，项目采用XML技术对算法程序接口进行描述，使其具有与图形程序相同的模型表达方式；然后为算法模块生成图形控件，并嵌入到平台的工具箱中，能以图形拖拉方式进行组态编程；算法程序模块以函数形式存放在文件中，在编译时和由梯形图程序生成的机器指令代码一起编译成可执行文件；在运行时由目标控制器执行引擎调用算法模块，从而实现混合编程、一同编译和同步执行的目的。

#### 1.7.3 基于 CPU 隔离的实时内核技术

针对X86+Linux平台，研究基于硬件抽象层Adeos (Adaptive Domain Environment for Operating System)的内核环境，构建普通Linux和实时内核的双操作系统平台（如[错误!未找到引用源。](#)所示），并在双操作系统之间共享硬件资源。在同一硬件平台上加载具有多个优先级域，并通过CPU隔离，将任务运行于不同的CPU。控制系统基于Adeos，使实时内核与linux内核并存，并将标准Linux内核程序挂接到实时内核的空闲进程，与实时内核其他任务一同参与调度。实时内核与普通linux相结合，使控制系统软件平台既能提供工业级RTOS的硬实时性能，又能利用linux操作系统网络、GUI等操作系统服务。



图：实时内核技术架构



### 1.7.4 方案自主研发性、创新性及先进性

测试床采用高性能服务器和传统PLC相结合异构体作为硬件系统，通过DIP/TSN构建控制网络，通过定制可编程控制系统运行时软件、可编程组态平台实现测试床应用开发。测试床具备硬件系统、网络管理和数据库三大方面的创新。

硬件系统方面，测试床采用高性能服务器和传统PLC相结合异构体作为硬件系统。将首次实现以可编程组态平台的开发方式，对此类异构体进行编程开发。通过开发平台的支持，异构体PLC将创新地实现对装备群进行结合逻辑、运动和图像智能控制和定制化高质量高速数据采集。

网络管理方面，异构体PLC将首次采用DIP/TSN构建控制网络，创新地实现了实时控制和高速数据采集的并行处理。

测试床将在汽车制造行业，汽车生产车间，实现DIP网络改造； 同时也在高端注塑，注塑成型领域对包括注塑机、工业机器人、模温机、上料机、冷水机等装备群进行应用； 为行业提供了可参考的智能制造改造案例及经验。

### 1.7.5 方案安全风险控制

方案中的控制网络通过专用网络构建测试床不具备外部攻击的风险。针对本方案中推广应用阶段，开方数据库给第三方应用，需要独立定制数据安全机制。

## 1.8 测试床实施部署

### 1.8.1 测试床实施规划

序号	阶段名称	时间	主要工作内容
1	可行性研究阶段	2021. 12-2022. 2+1	(1) 沟通交流，行业调研； (2) 深度对接，达成初步意向； (3) 与行业客户明确战略合作框架，确定价值场景范围(可签署战略合作框架协议)。

2	设计阶段	2022. 2+1-2022. 3+3	(1) 需求对接, 联合创新, 积极探索示范试点项目; (2) 完善平台设计及设备选型;
3	开发部署阶段	2022. 3+3-2022. 10+4	在主要实验室完成设备内场测试联调及对接。
4	运行验收阶段	2022. 10+4-2022. 11+4	根据汽车制造、注塑场景需求, 实现平台相关功能及运行稳定性
5	宣传推广阶段	2022. 12+5-2022. 12+5	(1) 尝试输出白皮书, 引导行业水平参考架构设计; (2) 建设标准体系, 扩大产业可复制空间; (3) 营造生态体系, 构筑商业粘性; (4) 打造产业样板间, 进一步构筑商业粘性。

### 1.8.2 测试床实施的技术支撑及保障措施

主要围绕杭电-华为-行业客户三大块合作模式开展相关工作, 依托华为资源牵头成立开放合作实验室, 联合杭电来为整体方案的部署实施提供技术支撑, 并和行业客户开展相关的生态建设。华为以在网络侧的技术能力与杭电在工业领域的技术能力结合, 在研究内容满足部署的情况下, 通过行业客户提供的应用场景去进行试点应用和落地, 并最终为AII联盟提供案例反馈, 形成完整闭环机制。

### 1.8.3 测试床实施的自主可控性

华为提供全自主研究网络管理平台及网络设备, 杭电充分利用现有自研平台架构, 在瞄准注塑场景需求的前提下, 双方合作进行需求研发, 推动端到端解决方案形成技术成果及相关软件注册权。

## 1.9 测试床预期成果

### 1.9.1 测试床的预期可量化实施结果

完成自主可控的确定性网络设备（交换机、工业网关等）的研发，样机及软件著作权和发明专利。完成基于确定性网络和可编程技术PLC融合的测试床建设，并在多个垂直行业场景落地应用。

### 1.9.2 测试床的商业价值、经济效益

结合装备制造业部分中大型企业厂区装备群协作控制和工业数据分析的需求；联合合作伙伴（华为提供确定性组网、杭电提供可编程技术）；结合建立的注塑成型行业样板，将为企业提供装备群控制系统和工业装备实时数据库产品，后期让企业对接华为及华为分公司，建立华为和企业客户之间新业务合作商业机制，进一步尝试探索基于测试床，开发大数据分析、装备故障诊断、控制优化可视化等新产品和新业务模式。

### 1.9.3 测试床的社会价值

该测试床方案，华为作为ICT(信息与通信)基础设施和智能终端提供商，提供和硬件、网络和数据库测试实验环境，杭电提供和可编程控制技术和开发平台，两家合作共同建立工业装备先进工控平台，对接注塑成型行业的具体应用落地场景，通过IT和OT技术融合带来的这种灵活性为整个制造行业智能化转型奠定了基础，推进了新兴IT和OT融合技术与注塑成型行业结合的创新应用落地，创造了可持续发展的良性生态环境，同时，也为未来制造业智能化转型积累了相关宝贵经验。

### 1.9.4 测试床初步推广应用案例

测试床以注塑成型行业为例，开展应用推广。注塑机及其辅机群一起生产塑料制品，用于航空航天、医疗、汽配、家电等行业。由于产品的丰富性，以及设

备群的复杂性，其高速高精度控制一直是难点。本测试床，包括异构体可编程控制器运行时软件、可编程组态平台、确定性网络以及网络管理平台。运行时软件将运行在多台高性能服务器中成为可编程控制器。整个硬件系统将采用多台异构可编程控制器和远端IO，通过确定性网络连接。硬件系统将统一控制注塑机、工业机器人、AGV小车、上料机、模温机、冷水机、包装机、换模装置等装备群。最终形成，PLC群控制装备群，实时数据库存储定制化数据，而存储的数据可以用于数据分析和PLC控制优化。确定性网络以及普通车间网络通过网络管理平台进行管理。



图：注塑成型行业测试床

## 1.10 测试床成果验证

### 1.10.1 测试床成果验证计划

测试床成果验证计划主要包括PLC群控制装备群、实时数据库定制化数据存储、网络确定性三个部分。

运行时软件将运行在多台高性能服务器中成为可编程控制器。整个硬件系统将采用多台异构可编程控制器和远端IO，通过确定性网络连接。硬件系统将统一控制注塑机、工业机器人、AGV小车、上料机、模温机、冷水机、包装机、换模装置等装备群。最终形成，PLC群控制装备群，实时数据库存储定制化数据，而存储的数据可以用于数据分析和PLC控制优化。确定性网络以及普通车间网络

通过网络管理平台进行管理。

### 1.10.2 测试床成果验证方案

测试床成果验证计划主要包括PLC群控制装备群业务验证、确定性网络性能两方面。

### 1.10.3 PLC 群控制装备群测试

主要测试PLC群对装备群的控制效果，E2E业务执行无异常，验证工作如下：

测试项目：PLC 群控制装备群测试
测试目的：验证 PLC 群基于确定性网络进行装备群控制的业务可行性
预置条件： <ul style="list-style-type: none"><li>a) PLC群对装备群的控制编排完成。</li><li>b) 确定性网络完成网络流量编排及部署。</li><li>c) 装备群存在明确控制时延要求</li></ul>
测试步骤： <ul style="list-style-type: none"><li>a) 工业平台下发PLC群控制命令。</li><li>b) 装备群按照PLC群下发的控制命令进行相应的生产业务执行</li></ul>
预期结果： <ul style="list-style-type: none"><li>a) 工业平台PLC群控制命令下发顺畅，无阻塞及下发失败情况。</li><li>b) 装备群按照PLC群的控制意图进行生产业务执行，无执行失败或告警。</li></ul>
测试结果：
结论：

### 1.10.4 确定性网络性能

主要测试PLC群对装备群的控制时，确定性网络指标数据：

测试项目：确定性网络性能
测试目的：控制业务生效时，网络在不同背景流下的时延、抖动、丢包指标
预置条件： <ul style="list-style-type: none"><li>a) PLC群对装备群的控制编排完成。</li><li>b) 确定性网络完成网络流量编排及部署。</li></ul>



c) 网络中部署测试仪
<p>测试步骤:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) 装备群按照PLC群下发的控制命令进行相应的生产业务执行</li> <li>b) 仅业务执行情况下, 通过测试仪打PLC控制命令模拟流, 并统计时延、抖动、丢包指标</li> <li>c) 灌入网络带宽50%背景流, 通过测试仪打PLC控制命令模拟流, 并统计时延、抖动、丢包指标, 同时统计非确定性流量相应指标</li> <li>d) 灌入超出网络带宽背景流, 通过测试仪打PLC控制命令模拟流, 并统计时延、抖动、丢包指标</li> </ul>
<p>预期结果:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) 工业平台PLC群控制命令下发顺畅, 无阻塞及下发失败情况。</li> <li>b) 网络时延根据组网情况计算, 忽略链路传输时延, 每跳设备转发时延&lt;50us, 端到端抖动&lt;30us, 业务流量无丢包</li> <li>c) 网络时延根据组网情况计算, 忽略链路传输时延, 每跳设备转发时延&lt;50us, 端到端抖动&lt;30us, 业务流量无丢包; 非确定性流量时延存在超出确定性流量情况, 抖动约1000us</li> <li>d) 网络时延根据组网情况计算, 忽略链路传输时延, 每跳设备转发时延&lt;50us, 端到端抖动&lt;30us, 业务流量无丢包; 非确定性流量存在丢包, 时延超出50%负载情况</li> </ul>
测试结果:
结论:

## 1.11 测试床成果交付

### 1.11.1 测试床成果交付件

序号	名称	类别
1	基于确定性网络及工业装备群协同可编程控制测试床	系统平台
2	完成自主可控的确定性网络设备(交换机、工业网)	产品样机及计算机软

	关等)的研发, 样机及软件著作权和发明专利。	件注册权登记证书和 专利
3	基于确定性网络的网络管理平台	计算机软件注册权登 记证书
4	基于确定性网络的工业装备群协同可编程控制测试床—设计方案及部署说明	技术方案, 成果性输出 文档

### 1.11.2 测试床可复制性

该测试床可为工厂装备群智能化改造提供有力支撑, 可将该解决方案打造成注塑成型行业智能化改造的样板, 为行业内相关场景的适配提供参考依据, 适用于离散制造行业具备多装备控制的场景。

### 1.11.3 测试床开放性

该测试床基于通用硬件和软件构建和升级, 本身已经广泛应用, 具备良好的开放及兼容能力, 可以与企业的软件系统进行平滑对接, 可以拓展到相关场景开放环境中。

## 1.12 其他信息

### 1.12.1 测试床使用者

欢迎第三公司参与本测试床建设

### 1.12.2 测试床知识产权说明

由参与方各自负责模块自行协商

### 1.12.3 测试床运营及访问使用

建设初期，华为和杭电牵头相关设备厂家负责整体系统集成及平台的部署及运营。建设后期行业客户可基于平台进行业务访问及简单的操作及维护，相关技术难点及故障维护可通过维保服务由华为及杭电进行跟进支撑及解决。

### 1.12.4 测试床资金

资金来自发起单位自筹

序号	预算科目名称	合计（万元）	备注
	(1)	(2)	(3)
1	一、成本费用支出	145.6	
2	1、差旅费	5.6	
3	2、办公费	0	
4	(1) 耗材配件	0	
5	(2) 技术资料费	0	
6	(3) 文印费	0	
7	3、低值易耗品	0	
8	4、通信费	0	
9	5、车辆租赁费	0	
10	6、技术服务费	90	
11	7、设备租赁费	50	
12	二、资本化支出	90	
	合计235	235.6	

### 1.12.5 测试床时间轴

序号	措施	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
1	沟通交流，行业调研	■	■										
2	深度对接，达成初步意向	■	■										
3	确定价值场景范围		■	■									
4	需求对接，联合创新，积极探索示范试点项目			■	■	■	■	■	■				
5	输出白皮书，引导行业水平参考架构设计								■	■			
6	建设标准体系，扩大产业可复制空间								■	■	■	■	■
7	营造生态体系，构筑商业粘性								■	■	■	■	■
8	打造产业样板间，进一步构筑商业粘性								■	■	■	■	■