

# 计算机 I/O 通道虚拟仿真实验

<http://www.ilab-x.com/details/2020?id=7256&isView=true>

## 一、实验介绍

本实验要求学生掌握 I/O 通道的组成及工作原理，了解 I/O 通道层次结构及运行机制，实现 I/O 通道虚拟仿真设计及优化。实验由认知实验、I/O 通道基础实验和 I/O 通道设计与创新实验组成。

## 二、实验目标

- 1) 完成给定架构的 I/O 通道构建，熟悉 I/O 通道层级架构及组成，掌握 I/O 通道子系统构建、配置和管理的基本技能；
- 2) 完成小规模外设简单应用场景的 I/O 通道自主设计和构建，掌握 I/O 通道设计及优化原理；
- 3) 完成大规模外设复杂应用场景的 I/O 通道自主设计和构建，具备针对复杂工程应用，进行 I/O 通道系统分析和总体设计的能力。

## 三、实验原理

### 1. I/O 通道架构及组成

在一台大型计算机系统中可以有多个通道，一个通道可以连接多个设备控制器，而一个设备控制器又可以管理一台或多台 I/O 设备，通道可以在 I/O 设备和内存之间提供一个独立数据和控制的路径，这就是早期大型计算机 I/O 系统的多级层次架构，如图 1 所示。

为了适应 I/O 吞吐量的需求，大部分的现代大型计算机使用通道交换机来扩展通道和控制单元之间的连接，通过交换机，控制单元可以连接到多个通道子系统上，使得所有子系统内的控制单元和 I/O 设备能够被共享，如图 2 所示。

### 2. I/O 通道与 DMA 的异同

与 DMA 方式相比，二者都能在 I/O 设备与主存间建立数据直传通路，提高 CPU 与 I/O 之间的并行处理程度。DMA 直接依靠纯硬件管理输入输出，只能实现高速设备简单的数据传送。而 I/O 通道是通过通道命令与硬件一起完成外设的初始化、中断、数据传送等输入输出管理，能用于高、中、低速设备。一个 DMA 通道只能连接一台设备，而一个通道能连接多台设备。

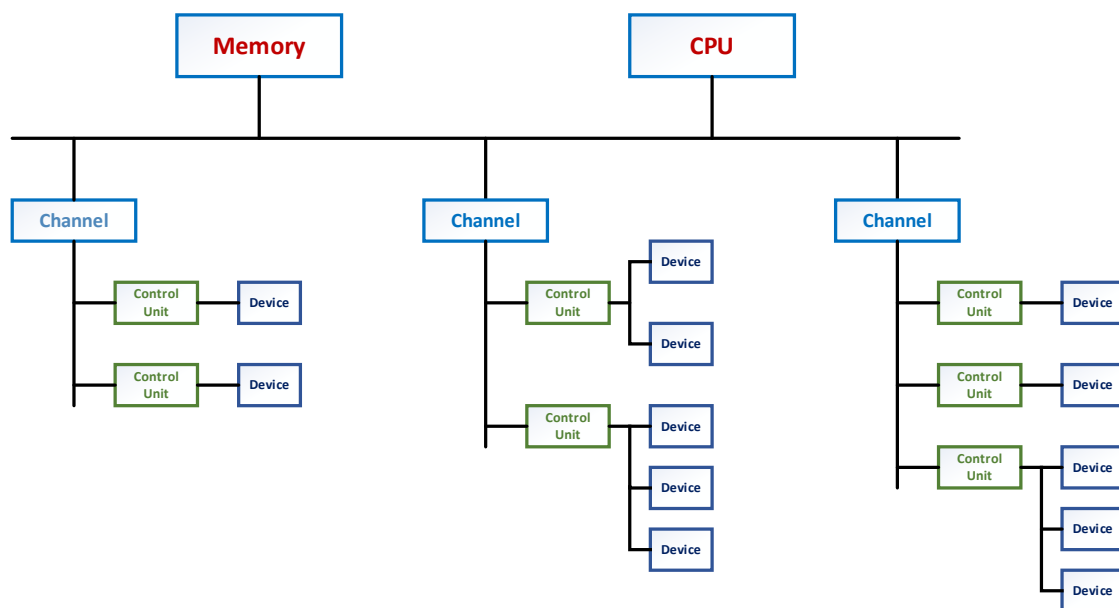


图 1. 早期大型计算机 I/O 系统架构

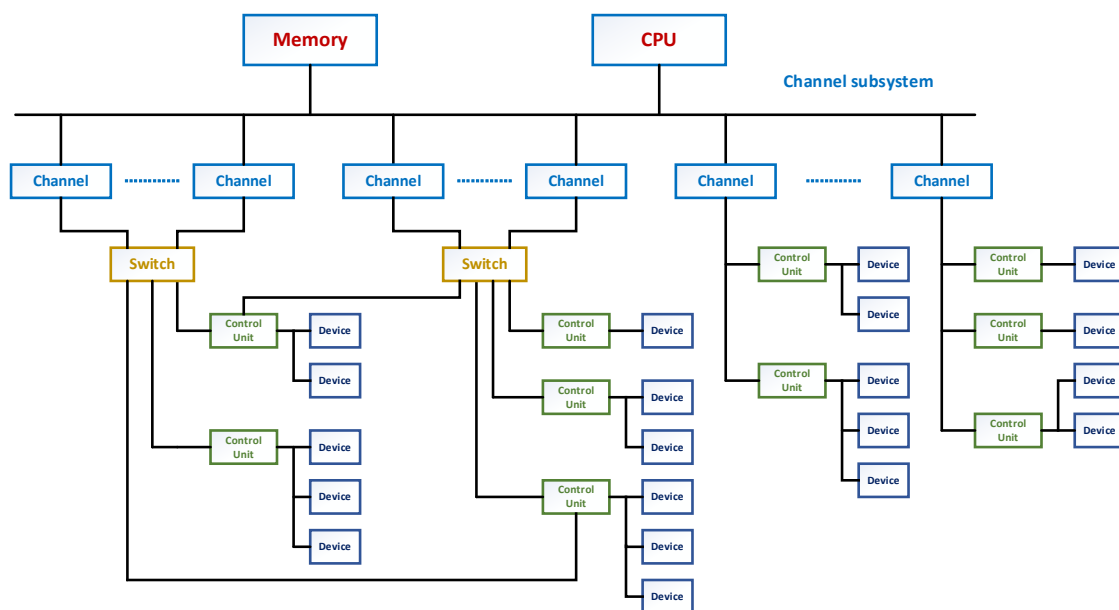


图 2. 现代大型计算机 I/O 系统架构

### 3. 字节多路通道数据交换方式

字节多路通道是一种简单的共享通道，主要为多台低速或中速的外设服务。这些设备一般以字节为宽度进行输入/输出，而且相邻的两次传送之间有较长时间的等待。字节多路通道以字节交叉的方式分时轮流地服务于多台 I/O 设备，通道每连接一台外设，只传送一个字节，然后再与另一台设备连接，再传送一个字节，如图 3 所示。

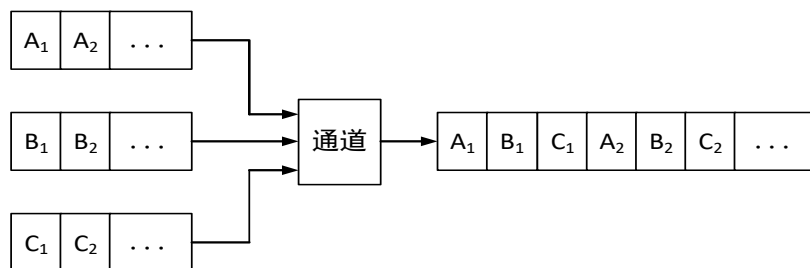


图 3. 字节多路通道传送方式

#### 4. 选择通道数据交换方式

选择通道主要用于连接高速外设，如磁盘、磁带等，信息以成组方式高速传送。在物理上它也可以连接多个设备，但这些设备不能同时工作，在一段时间内通道只能选择一台设备进行数据传送，此时该设备可以独占整个通道，当该设备的数据传送工作全部完成后，选择通道才能转去为另一个外设服务，如图 4 所示。

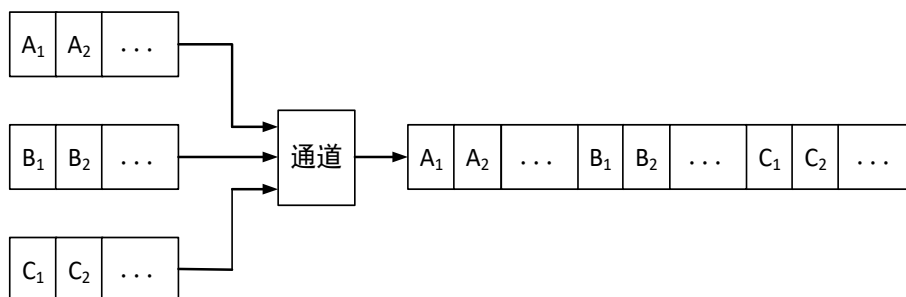


图 4. 选择通道传送方式

#### 5. 数组多路通道数据交换方式

数组多路通道可以看成是字节多路通道与选择通道相结合的产物。与选择通道一样，它也适用于高速设备，但方式不同。它不像选择通道那样一次就把所选设备的数据全部传送完，而是在独占通道传送固定长度的数据块之后，就重新选择其他设备。因此，它是以数据块为单位分时轮流地为多台高速设备提供服务。

#### 6. I/O 通道设计及优化

为使通道所接外设满负荷工作时仍不丢失信息，应使通道的实际最大流量不能超过通道的极限流量。字节多路通道的实际流量是该通道上所有设备的数据传输速率之和。而选择通道和数组多路通道的实际流量等于连接在这个通道上的所有设备中传输速率最大的那一个。如果在 I/O 系统中有多个通道，各个通道是并行工作的，则 I/O 系统的极限流量是各通道或各子通道工作时的极限流量之和。

## 四、实验方法

- 1) 通过阅读大型计算机设备说明文档，学习大型计算机部件相关知识。
- 2) 登录该软件，选择设备认知实验，通过鼠标点击的方式，将理论知识与 3D 模型相互融合，学以致用。
- 3) 通过鼠标拖拽的方法可以观察设备不同角度的形状。
- 4) 通过滑动鼠标滚轮的方式可以放大缩小 3D 模型。
- 5) 通过阅读 I/O 通道基础实验说明书，提前了解 I/O 配置的相关知识以及所要配置的通道模型。
- 6) 在 I/O 通道基础实验中，根据软件给出的实验交互操作，完成 I/O 通道各层级部件软硬件的定义、配置和管理，了解 I/O 通道组织及构成，掌握 I/O 通道工作原理。
- 7) 在 I/O 通道设计与创新实验中，设计适合给定需求的字节多路通道、选择通道、数组多路通道，通过探究和试错，掌握通道、交换机及控制单元的不同设置对构建 I/O 架构的影响，深入理解三种 I/O 通道类型数据交换原理、过程及优化方法。
- 8) 在完成通道设计后，软件给出 I/O 通道可达性及设备可达速率的综合评价，依此进行 I/O 通道设计优化，从而掌握 I/O 通道设计的方法。

## 五、实验步骤

### 步骤 1：观察认知计算机系统 I/O 通道部件

步骤 1 的任务是通过拖拽的方式观察处理器单元、PCIe 输入输出模块等各个实际的部件，通过部件间的位置关系加深理解 I/O 通道连接方式。

### 步骤 2：配置处理器

步骤 2 的任务是学习处理器作用，理解处理器各个属性的意义以及约束关系，学会对处理器进行逻辑分区的划分，根据图 5 基础实验 I/O 通道架构，配置处理器属性。

步骤 2 的操作顺序如下：

- 1) 配置处理器，设置处理器 ID、类型、模式、配置方式；
- 2) 选择通道子系统个数；
- 3) 添加并管理逻辑分区，配置逻辑分区名称、数量、用法；
- 4) 设置逻辑分区的操作系统，填写操作系统 ID、类型；
- 5) 重复 3)、4) 按照要求完成相应数量的逻辑分区划分。

### 步骤 3：构建通道子系统

步骤 3 的任务是学习通道添加方式，理解各种通道的作用和适用情况，根据

图 5 基础实验 I/O 通道架构，完成通道子系统的搭建。

步骤 3 的操作顺序如下：

- 1) 添加逻辑通道子系统的通道，配置其通道路径 ID、物理通道 ID、通道类型、运行模式；
- 2) 关联对应的逻辑分区，使得逻辑分区和通道完成连接；
- 3) 利用自动判别系统，观察通道是否连接成功。当属性配置合理时，对应的通道会有连线产生。重复 1) 修正属性，直到完全正确；
- 4) 重复 1)、2)、3) 按照要求完成相应数量的通道配置。

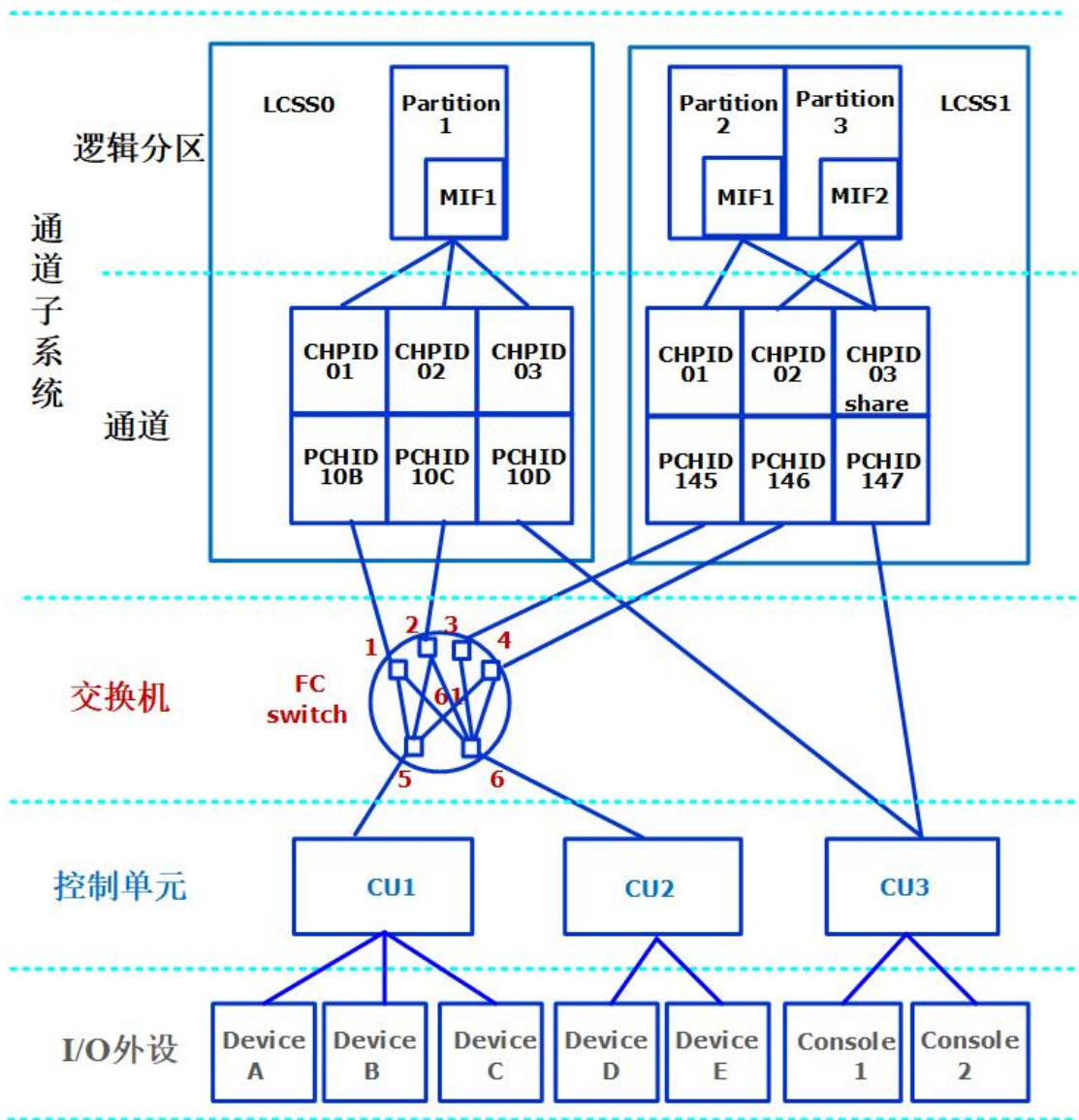


图 5. 基础实验 I/O 通道架构

**步骤 4：构建通道交换机数据交换通路**

步骤 4 的任务是学习通道交换机工作原理，通过对通道交换机端口的分配和端口映射矩阵的理解分析，掌握通道交换机基本使用方法，并根据图 5 基础实验

I/O 通道架构，完成通道交换机内部外部数据通路的构建。

步骤 4 的操作顺序如下：

- 1) 选择“外接设备”中的通道交换机，并将其拖拽至工作区部分；
- 2) 配置通道交换机 ID、类型、地址、使用的端口范围；
- 3) 设计通道交换机端口映射矩阵，使得通道交换机能够达到目标要求；
- 4) 将逻辑通道子系统的通道接入通道交换机；
- 5) 利用自动判别系统，观察通道是否连接成功，重复 2)、3)、4)修正属性，直到完全正确。

### **步骤 5： 构建控制单元和通道交换机之间的数据通路**

步骤 5 的任务是学习控制单元的约束关系，理解各个属性的作用，熟悉不同控制单元和不同 I/O 外设的对应关系，根据图 5 基础实验 I/O 通道架构，构建控制单元和通道交换机之间的数据通路。

步骤 5 的操作顺序如下：

- 1) 选择“外接设备”中的控制单元，并将其拖拽至工作区部分；
- 2) 设置控制单元编号、类型、以及与其相连的通道交换机 ID 和端口；
- 3) 对控制单元的路径进行配置，设置通道路径 ID、通道交换机链路地址和连接外设的逻辑地址；
- 4) 将控制单元的接口接入通道交换机；
- 5) 利用自动判别系统，观察通道是否连接成功，重复 2)、3)、4)修正属性，直到完全正确。

### **步骤 6： 构建 I/O 外设和控制单元之间的数据通路**

步骤 6 的任务是学习 I/O 外设添加方法，理解设备各项属性的意义，根据图 5 基础实验 I/O 通道架构，完成 I/O 外设的添加和配置，构建 I/O 外设和控制单元之间的数据通路。

步骤 6 的操作顺序如下：

- 1) 选择“外接设备”中的 I/O 外设，并将其拖拽至工作区部分；
- 2) 配置其设备编号、设备数量、设备类型；
- 3) 选择与其相连接的控制单元，将设备接入控制单元；
- 4) 利用自动判别系统，观察通道是否连接成功，重复 2)、3)修正属性，直到完全正确。

### **步骤 7： 计算机系统内部通道构建**

步骤 7 要求在步骤 2、3 的基础上，理解处理器、逻辑通道子系统和通道之间的关系，清楚计算机系统内部各个部件的属性配置以及约束关系，从而能够正确搭建计算机系统内部通道。以综合设计提高实验为配置要求，进行调试，实现一个能够正确流动的数据通道。

步骤 7 的操作顺序如下:

- 1) 对计算机系统做出合适的通道子系统划分, 配置符合题目要求的逻辑分区划分;
- 2) 配置足够多的通道, 并根据每条通道将要管理的设备类型设计各个通道的属性;
- 3) 连接计算机系统内部通路;
- 4) 利用自动判别系统, 观察通道是否连接成功, 重复 1)、2)、3) 修正属性, 直到完全正确。

### **步骤 8: 计算机系统外部通道构建**

步骤 8 要求在步骤 4、5、6 的基础上, 理解通道交换机的功能和端口矩阵工作方式, 清楚控制单元和 I/O 外设的对应关系, 按照综合设计提高实验题目的要求, 结合步骤 7、8 实现一个学生自主设计的 I/O 通道。

步骤 8 的操作顺序如下:

- 1) 根据自己设计的 I/O 通道, 选择合适的通道交换机, 并配置各项属性, 设计通道交换机端口映射矩阵;
- 2) 根据设备的种类, 选择对应的控制单元, 通过对控制单元属性的配置, 完成设备到通道交换机之间的连接作用;
- 3) 按照题目要求, 在“外围部件”中找到正确的设备, 并进行合理的配置;
- 4) 将计算机外围部件进行连接;
- 5) 通过通道交换机将计算机系统内、外部通道连接起来;
- 6) 利用自动判别系统, 观察通道是否连接成功, 重复前 5 步修正属性, 直到完全正确。

### **步骤 9: 检查通道可达性**

步骤 9 检查步骤 7、8 所构建的 I/O 通道系统能否正常工作, 通过通路点亮的方式, 提示学生各个通道是否配置成功。

步骤 9 的操作顺序如下:

- 1) 完成计算机系统 I/O 通道设计后, 点击“验证”按钮;
- 2) 系统在检验通道可达性时, 会自动点亮每条可达通路, 此时观察是否有通路未被点亮, 如果存在未被点亮的通路, 则重复步骤 7、8 修正属性, 直到该通路被点亮;
- 3) 点击提交, 完成综合设计提高实验。

### **步骤 10: 设计高负载 I/O 通道系统**

步骤 10 要求在步骤 7、8、9 能够自主实现的基础上, 按照综合设计创新实验题目的要求, 设计出一个不仅能够上线连通的 I/O 通道, 还要满足对设备控制分配要求、设备传输速率要求的高负载 I/O 通道。

步骤 10 的操作顺序如下:

- 1) 按照题目要求, 对计算机系统做出合适的通道子系统划分和逻辑分区划分;
- 2) 考虑设备数量和设备自身速率, 配置足够数量的通道, 并根据每条通道将要管理的设备类型设计各个通道的属性;
- 3) 选择合适的通道交换机, 并配置各项属性及端口映射矩阵;
- 4) 根据设备的种类, 题目对设备性能的要求, 选择合适的控制单元并对控制单元属性进行配置;
- 5) 寻找正确的 I/O 外设, 并思考如何进行分配, 能够达到要求, 然后进行合理的配置;
- 6) 将计算机各个部件间的通道连接起来, 并用自动判别系统, 观察通道是否连接成功, 重复前 5 步修正属性, 直到完全正确;

### **步骤 11: 测试高负载 I/O 通道系统**

步骤 11 检查步骤 10 所构建的 I/O 通道。检查其能否完全被点亮, 检查设备实际传输速率是否满足要求, 检查设备响应时间是否达到要求。

步骤 11 的操作顺序如下:

- 1) 完成计算机系统 I/O 通道设计后, 点击“验证”按钮;
- 2) 系统在检验通道可达性时, 会自动点亮每条可达通路, 此时观察是否有通路未被点亮, 如果存在未被点亮的通路, 则重复步骤 10 修正属性, 直到该通路被点亮;
- 3) 系统会给出极端情况下每个设备的实际传输速率, 验证是否达到了题目要求, 如果没有达到要求, 则重新设计 I/O 通路, 并重复步骤 10, 直到设备传输速率达到要求;
- 4) 根据构建的 I/O 通路, 分析每种数据交换方式的优缺点, 验证各自的适用情况;
- 5) 点击提交, 完成综合设计创新实验

### **步骤 12: 知识测试, 结束实验**

步骤 12 要求学生在进行完 I/O 通道设计实验后完成, 将操作和理论进行再次印证, 加强学生对基础知识的掌握。系统会自动将答题分数、实验分数进行汇总, 同时还要求学生填写实验收获或者建议反馈, 从而对系统进行不断优化改进。

实验过程中学生可参照图 6-图 8 所示认知实验、I/O 通道基础实验、I/O 通道设计与创新实验的详细交互步骤流程。



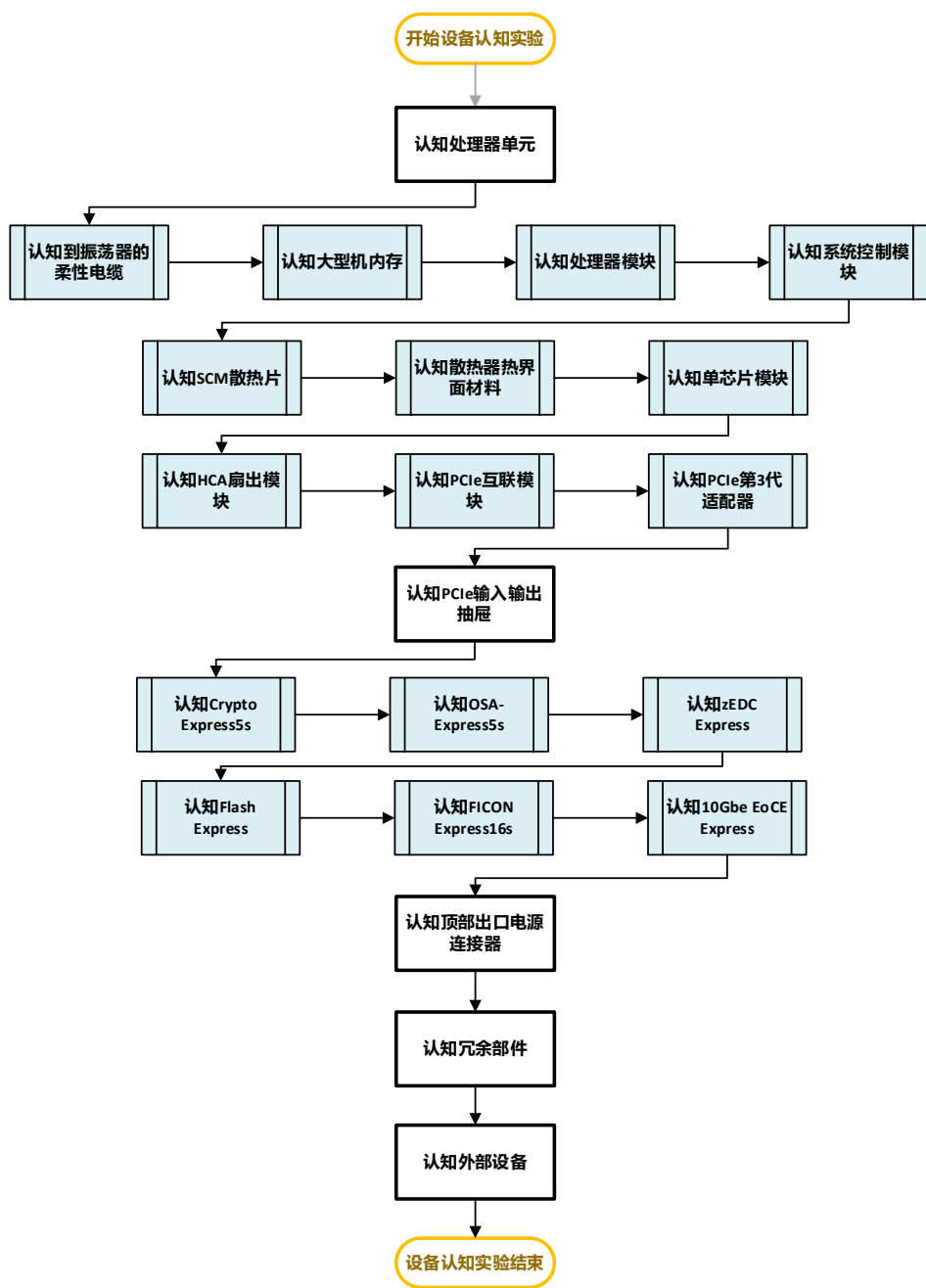


图 6. 认知实验交互步骤流程图

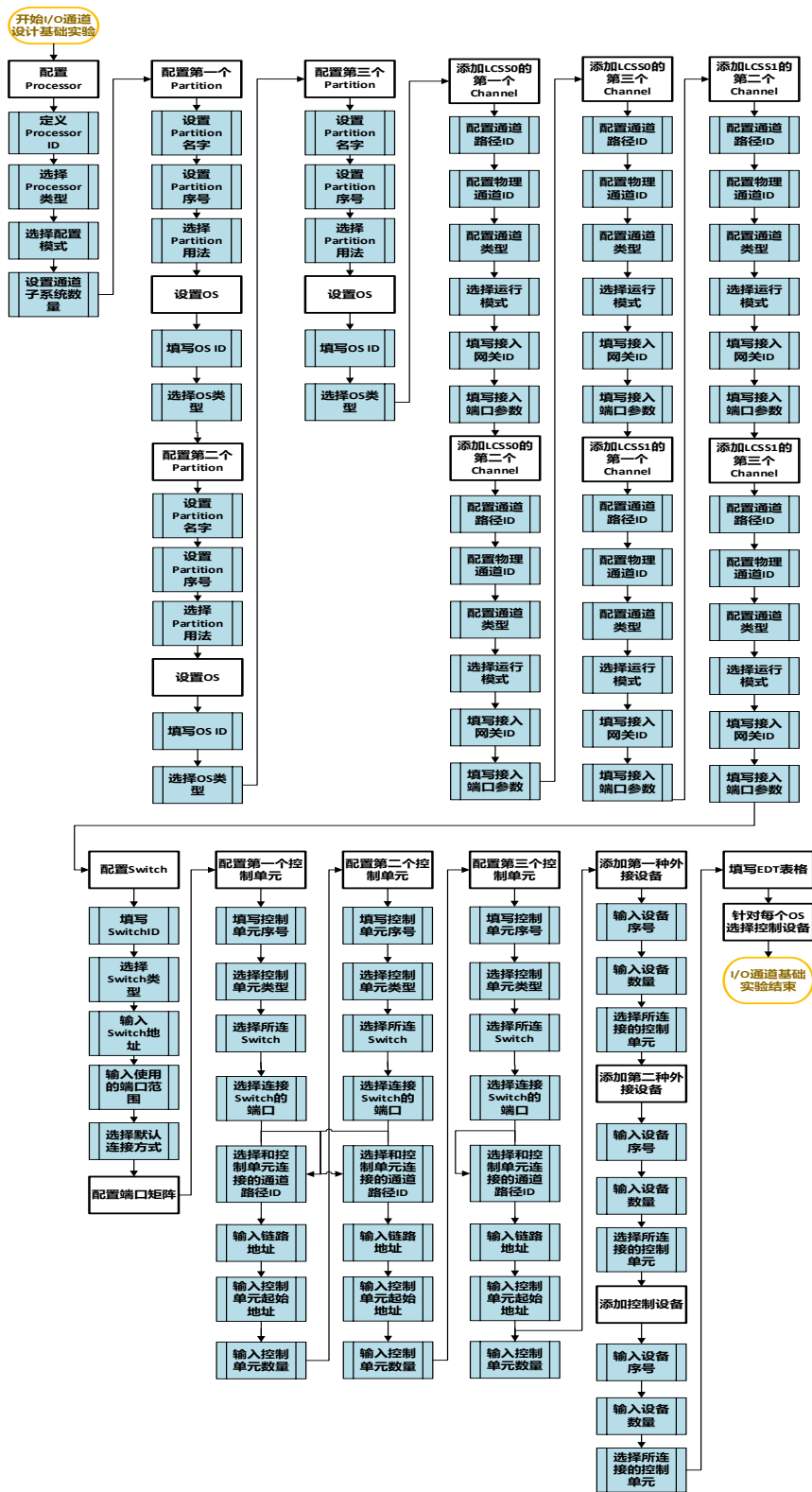


图 7. I/O 通道基础实验详细交互步骤流程图

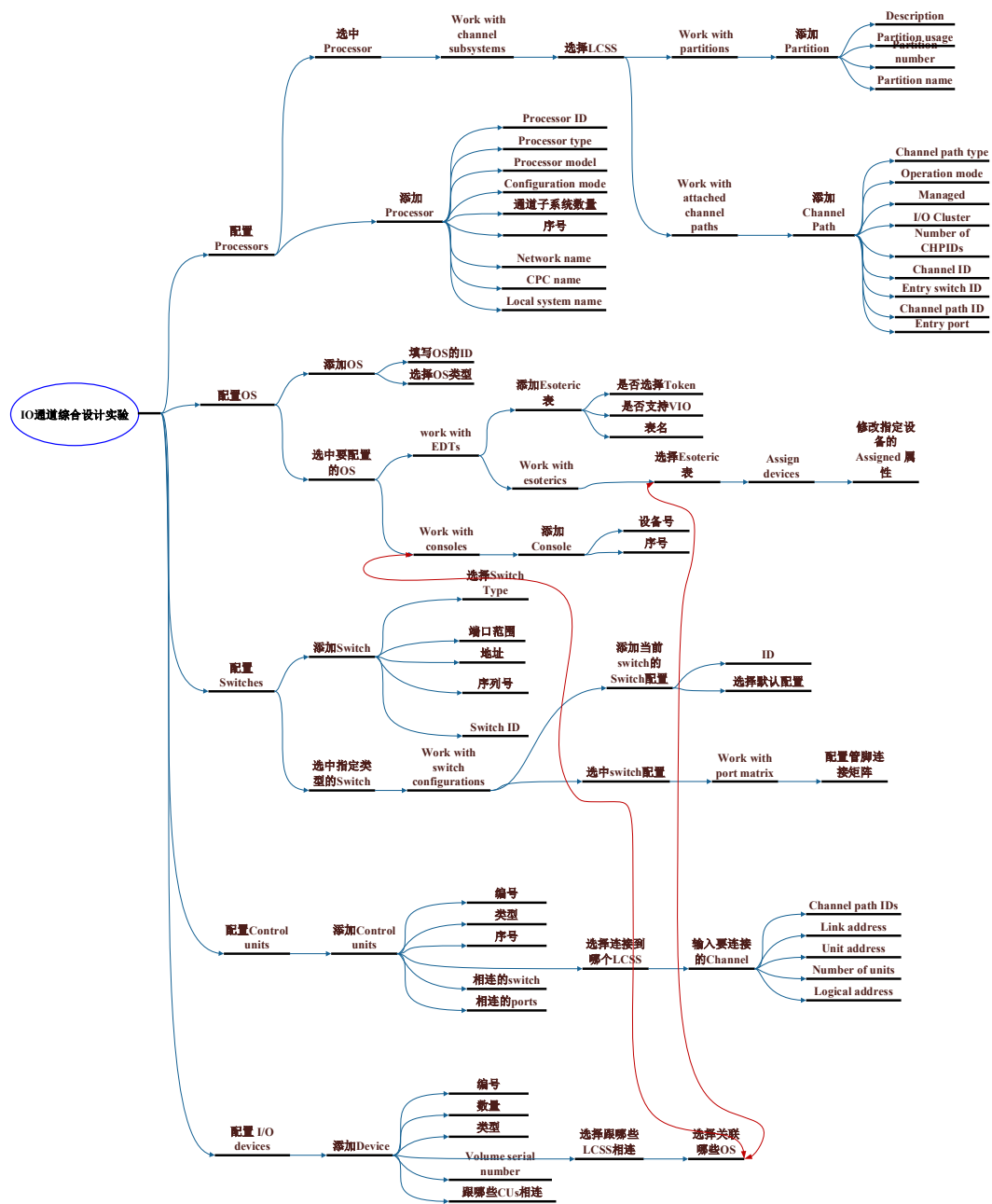


图 8. I/O 通道设计与创新实验需要的交互过程