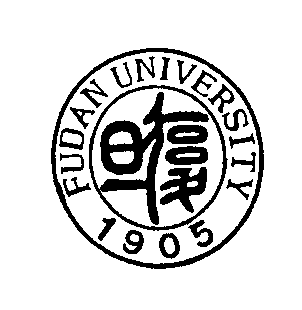
****

**Fudan Switch Simulator Tool**

**需求规格说明书**

目录

[1. 引言 4](#_Toc45206886)

[1.1. 整体描述 4](#_Toc45206887)

[1.2. 项目约束 4](#_Toc45206888)

[2. 信息描述 4](#_Toc45206889)

[2.1. 信息内容表示 4](#_Toc45206890)

[2.2. 数据流/控制流 5](#_Toc45206891)

[2.3. 信息结构 5](#_Toc45206892)

[2.3.1. 以太网帧结构 5](#_Toc45206893)

[2.3.2. 信息的组织/相关性 6](#_Toc45206894)

[3. 功能描述 6](#_Toc45206895)

[3.1. 功能划分 6](#_Toc45206896)

[3.2. 功能描述 6](#_Toc45206897)

[3.2.1. 接受数据帧 6](#_Toc45206898)

[3.2.2. CRC校验 6](#_Toc45206899)

[3.2.3. 残帧检查 6](#_Toc45206900)

[3.2.4. 帧解析 6](#_Toc45206901)

[3.2.5. 过滤非法帧 6](#_Toc45206902)

[3.2.6. 转发数据帧 7](#_Toc45206903)

[3.2.7. 地址学习 7](#_Toc45206904)

[3.2.8. 地址信息维护 7](#_Toc45206905)

[3.2.9. 发送数据帧 7](#_Toc45206906)

[3.3. 软件功能的整体结构 7](#_Toc45206907)

[4. 行为描述 8](#_Toc45206908)

[4.1. 数据结构 8](#_Toc45206909)

[4.2. API 8](#_Toc45206910)

[4.3. 控制模块 8](#_Toc45206911)

[5. 检验标准 12](#_Toc45206912)

[5.1. 功能测试 12](#_Toc45206913)

[5.2. 性能测试 12](#_Toc45206914)

[5.3. 可靠性测试 13](#_Toc45206915)

[5.4. 易用性测试 13](#_Toc45206916)

[5.5. 兼容性测试 13](#_Toc45206917)

[6. 参考书目/文献 13](#_Toc45206918)

# 引言

## 整体描述

本项目的目标是开发一款交换机仿真软件，能模拟交换机的运行，在各种情景下正确地对输入进行响应。本文为软件需求规约，不仅描述了交换机的基本功能需求，如帧转发和地址学习，还描述了许多额外需求，如CRC校验，地址老化等等。

## 项目约束

本项目的开发时间约为20天，开发人员为4人。

# 信息描述

## 信息内容表示

开发本软件系统要解决的问题是如何模拟一台以太网交换机的基本功能。本系统中，可能会用到的专业术语或名词包括：

|  |  |
| --- | --- |
| **术语** | **描述** |
| MAC地址 | MAC地址是一台设备的物理地址，每台设备的MAC地址是该网络中独一无二的。 |
| 冲突域 | 同一个网络上两个设备同时进行传输则会产生冲突，冲突域即是会产生冲突的最小范围。 |
| 以太网 | 一种计算机局域网技术。在本系统中均指交换式以太网，与传统以太网相比，交换式以太网中交换机的各个端口隔离了冲突域，从而保证了各个端口的独立带宽。 |
| 以太网帧 | 数据链路层的协议数据单元。 |
| 以太网交换机 | 一种基于MAC地址识别，能够完成以太网帧封装与转发功能的网络设备。 |
| 端口 | 连接其他网络设备的接口。 |

主要的数据对象有：

1. 数据帧：即交换机所交换转发的以太网帧，由帧头，数据部分，帧尾组成。其中，帧头和帧尾包含一些必要的控制信息；数据部分则包含网络层传下来的数据。其属性包括：帧的发送者的MAC地址、帧的接收者的MAC地址、数据，不同格式的以太网帧还会有帧、数据字段长度、数据协议类型等属性。
2. 交换机：本系统中交换机均为以太网交换机。以太网交换机工作于数据链路层，通过识别MAC地址将接收到的数据帧转发到其目的接收者所对应的端口。其属性包括端口、MAC地址表、转发器、交换机转发方式。
3. 端口：交换机与外界通讯交流的出口。数据帧按照目的MAC地址被推入相应端口的接收/发送队列中等待被取用。以太网交换机的每个端口都直接与主机相连，而交换机能同时连通许多对的端口，因此每一对相互通信的主机都能像独占通信媒体那样，进行无冲突地传输数据，也就是说端口隔离了冲突域。端口的属性包括端口号、接收/发送队列、残帧检测模块。
4. MAC地址表：由交换机保存，是动态表。表中存放MAC地址以及相应的端口。交换机通过MAC地址表实现对以太网数据帧在端口间交换转发的控制。MAC地址表的属性包括供货商号、序列号、端口号、老化时间。

控制对象主要为控制信号transmitCtrl。transmitCtrl有三个取值：存储转发、碎片、直通，不同的取值对应不同的交换机交换方式。

## 数据流/控制流

1. 数据帧输入端口，根据控制信号transmitCtrl的取值有3个不同的流向：transmitCtrl=存储转发，数据帧先后输入接受缓冲队列与残帧检测模块后端口输出完整的帧。transmitCtrl=碎片，数据帧输入残帧检测模块后端口输出完整的帧。transmitCtrl=直通，数据帧直接输出端口。
2. 交换机内部，数据帧输入解析帧模块，输出数据帧与源/目的地址，数据帧与源/目的地址输入过滤帧模块，输出合法的数据帧与源/目的地址，这些数据帧与源/目的地址随后输入转发帧模块，根据DMA返回的端口号输出数据帧发送到对应端口。
3. 交换机内部，数据帧的源/目的地址输入DMA，调用DMA的add接口向MAC地址表中添加表项，调用query接口输出端口号。

## 信息结构

### 以太网帧结构

1. Ethernet V2：



* DA&SA：目的MAC 地址与源 MAC 地址，长度均为6 个字节，分别指明帧的接收者与发送者的MAC 地址。
* Type: 2个字节，表示网络层处理这个包使用的协议的类型。
* DATA：46-1500字节，包含上层协议传递下来的数据、高层协议以及可能存在的填充符。
* FCS：4个字节，为帧校验序列，位于数据段之后，协助接收网卡判断是否发生传输错误。

1. IEEE802.3/LLC



* DA&SA：目的MAC 地址与源 MAC 地址，长度均为6 个字节，分别指明帧的接收者与发送者的MAC 地址。
* Length：2个字节，指明数据域的长度。
* DSAP: 1个字节，目标服务访问点，标识上层协议。
* SSAP: 1个字节，源服务访问点，标识上层协议。
* Control: 1个字节，控制字段，控制提供无连接和面向连接的网络服务。
* DATA：46-1500字节，包含上层协议传递下来的数据、高层协议以及可能存在的填充符。
* FCS：4个字节，为帧校验序列，位于数据段之后，协助接收网卡判断是否发生传输错误。

### 信息的组织/相关性

交换机、端口、数据帧与MAC地址表彼此都是相关的，端口、MAC地址表均为交换机的子项，而交换机的转发方式会影响到控制信号transmitCtrl，从而影响端口对数据帧的处理方式。端口和控制信号transmitCtrl对残帧能起到筛选作用，交换机的过滤帧模块也能过滤掉非法数据帧。输入交换机的数据帧的源/目的地址及其对应端口会影响到MAC地址表的MAC地址属性以及端口号属性。

# 功能描述

## 功能划分

交换机的主要功能包括接收数据帧，CRC校验，残帧检查，帧解析，过滤非法数据帧，转发数据帧，地址学习，地址信息维护，发送数据帧和避免回路。下面将详细描述各个功能。

## 功能描述

### 接受数据帧

交换机具有多个端口，会实时监听网络中的数据帧。当某个端口检测到有数据帧到达时，换机会接收该数据帧，并根据控制信号transmitCtrl执行不同功能：若transmitCtrl=存储转发，则交换机会将数据帧放入接收缓冲区，并执行CRC校验功能；若transmitCtrl=碎片，交换机会执行残帧检查功能；若transmitCtrl=直通，交换机会执行帧解析功能。

交换机应拥有多个端口，同时由于链路层具备冲突检测功能，所以不会出现多个帧同时到达的情况，因此一个端口在同一时刻只接收一个数据帧。另外，接收数据帧要求速度要尽可能快，避免数据帧在端口积压。

### CRC校验

取接收缓冲顶部数据帧，对其进行CRC（循环冗余码校验）检查，对错误帧进行处理，然后执行帧解析功能。

CRC检验速度要尽可能快，以避免该步骤成为交换机的性能瓶颈。

### 残帧检查

检查数据帧的长度是否够64个字节，如果小于64字节，则说明为假帧，丢弃。若不是假帧，则执行帧解析功能。

### 帧解析

交换机对一个数据帧进行解析，获取数据帧的类型，源MAC地址和目的MAC地址。然后执行过滤非法帧操作。

### 过滤非法帧

若数据帧的源MAC地址和目的MAC地址网段相同，则该数据帧非法，丢弃。否则执行转发数据帧功能。

### 转发数据帧

交换机会根据解析出的信息决定转发方式，如果数据帧的目的MAC地址是广播地址或者组播地址，则向除数据帧来的端口外的所有端口转发； 如果数据帧的目的地址是单播地址，但这个地址并不在MAC地址表中，那么也向除数据帧来的端口外的所有的端口转发； 如果数据帧的目的地址在MAC地址表中，那么就根据地址表转发到相应的端口。

转发速度应尽可能快，避免成为性能瓶颈。

### 地址学习

交换机会根据解析出的信息进行地址学习。若数据帧的源MAC地址不在MAC地址表中，则将该源MAC地址及其对应的端口号加入MAC地址表中。

### 地址信息维护

交换机会动态维护MAC地址表的信息，为每一个表项设定一个自动老化时间（如 300s），从一个地址记录加入地址表以后开始计时，如果在老化时间内各端口未收到源地址为该MAC地址的帧，交换机将自动把该MAC地址从地址表中清除。

应设置合理的地址表容量，若容量过大，则会降低查找速度，同时会增加存储负担。若容量过小，会导致需要记录的地址信息超出容量，降低命中率。

老化时间也应该合理地进行设置，若老化时间过少，则起不到地址学习的功能；若老化时间过程，又起不到精简地址表的作用。因此，应该设置一个合理的老化时间。

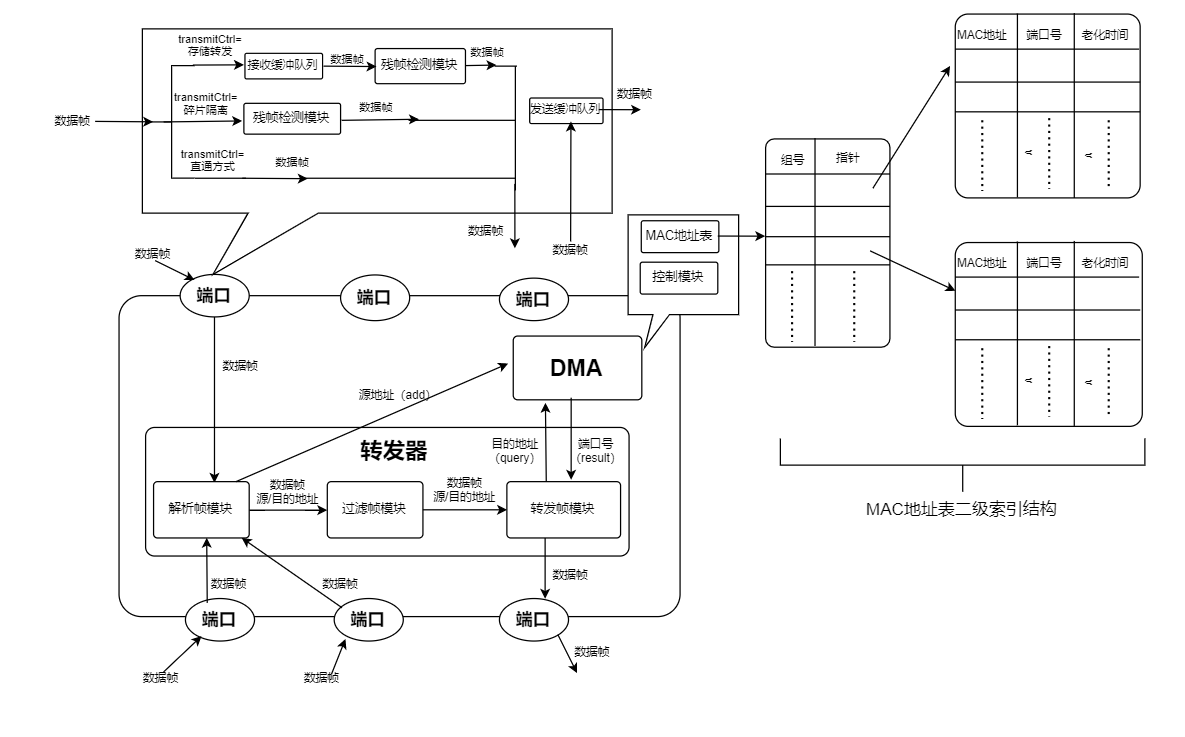
另外，应合理设计地址表的结构，如可以采取多层索引结构加快查询速度。

### 发送数据帧

交换机的端口会实时检查端口的发送缓冲区，若缓冲区不为空，则将取出缓冲区顶部的数据帧，并将其发送出去。当某个转发帧从交换机内部到达端口时，会将其加入发送缓冲区。

一个端口在同一时刻只发送一个数据帧，同时发送速度要尽可能快，避免数据帧在端口积压。

## 软件功能的整体结构



# 行为描述

## 数据结构

1. MAC地址表（多级索引）：由于MAC地址共有6个字节，前三个字节表示供货商，后三个字节表示序列号，因此可以将MAC地址表设计成二级索引表：外层索引是供货商号，内层索引是序列号，每个表项还包含了老化时间。
2. 端口缓存队列：调度算法为FCFS。
3. 端口（数组）：一台交换机的端口号是固定的，因此可以用一个数组记录。
4. 交换机的各个模块（转发器）：解析帧模块，过滤帧模块，转发帧模块都继承自转发器，基本功能是向下一个交换机部件转发信息流，每个模块也定义了其特有的功能。
5. DMA, Direct MAC address table Access：解析帧，过滤帧，转发帧这三个转发器是交换机的核心部分，构成流水线结构。如果让需要访问MAC地址表的转发帧模块和解析帧模块直接对MAC地址表进行操作，那么模块负担太重，成为流水线上的性能瓶颈。因此，在交换机中引入DMA——DMA直接对MAC地址表进行操作，对外提供接口add,query，使MAC地址表对于交换机的其他部分透明。

## API

转发帧模块：

* query(mac):DMA遍历MAC地址表，查询目标地址项是否存在，若存在，返回该MAC地址映射到的端口号, 否则返回空值。

解析帧模块：

* add(mac,n): DMA向MAC地址表中添加表项(MAC,n), 若已有该表项，则将它覆盖，同时将它的老化时间置零。

## 控制模块

端口：

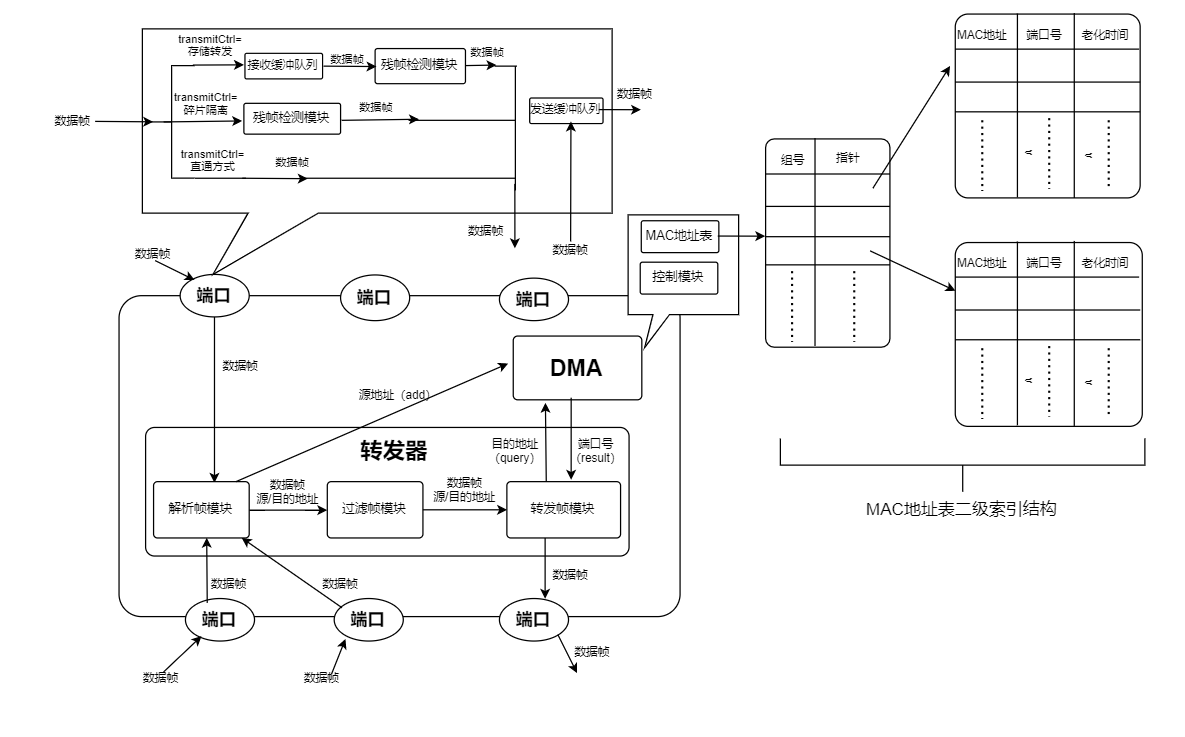
* CRC校验模块：对于残帧、超长帧进行隔离；对数据帧进行CRC（循环冗余码校验）检查，对错误帧进行处理。
* 残帧检查模块：检查帧长是否大于等于64字节，若不满足条件，端口将该数据帧丢弃。

转发器：

* 解析帧模块
  + 输入：数据帧，到来端口
  + 输出：源MAC地址，目的MAC地址，到来端口
  + 操作：按照数据帧格式，解析出帧中的源MAC地址，目的MAC地址
* 转发帧模块
  + 输入：数据帧，目的MAC地址，到来端口
  + 输出：转发端口，目的MAC地址
  + 操作：判断目的MAC地址类型（主机标识段是否为全1），如果是广播地址，则向除接收端口外所有端口转发；如果目的地址如果不是广播地址，则查找MAC地址表，找目的MAC地址对应的端口：
    - 找到了，通过目的MAC地址对应的端口转发
    - 找不到，通过除到来端口外，端口数组中记录的所有端口转发
* 过滤帧模块
  + 输入：数据帧，源MAC地址adr1，目的MAC地址adr2，到来端口
  + 输出：数据帧，源MAC地址adr1，目的MAC地址adr2，到来端口
  + 操作：判断adr1和adr2所处的网段是否相同，若相同，则丢弃该数据帧，否则将数据帧，adr1,adr2，帧的到来端口传递给交换机的转发帧模块。

DMA：

* 控制模块
  + 输入：对外提供的接口被调用，或系统中的定时器经过了设定的时间间隔
  + 操作：对MAC地址表执行相应的操作：
    - add接口被调用，DMA向MAC地址表中添加表项(MAC,n)：DMA的控制器根据MAC地址的前三个字节，在M地址表外层索引中定位到相同项。若不存在，则在外层索引的末尾追加前三个字节，在内层索引中建立后三个字节为键的表项，值为端口号n,老化时间置零；若存在，则再根据MAC地址的后三个字节在内层索引中定位到相同项。若不存在相同项，在内层索引的末尾追加后三个字节为键的表项，值为端口号n,老化时间置零；若存在，说明MAC地址表中已有该表项，将它的老化时间置零。
    - query接口被调用，DMA的控制器根据MAC地址的前三个字节，在MAC地址表的外层索引中定位到相同项。若不存在，则直接返回空值；若存在，则再根据MAC地址的后三个字节在内层索引中定位到相同项。若不存在相同项，返回空值；若存在，返回对应的端口号。
    - 系统中的定时器经过了设定的时间间隔，DMA以深度优先的方式遍历MAC地址表，找到老化时间超过阈值的表项，清除。若某一外层索引对应的所有表项都被删除，那么也将它从外层索引表中删除。



|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **编号** | **场景** | **输入** | **响应** |
| 1 | 存储转发模式下接收数据帧 | 有外部数据帧到达交换机的某个端口A，且内部控制信号transmitCtrl=存储转发 | 端口A将该数据帧放入它的接收缓冲队列 |
| 2 | 直通转发模式下接收数据帧 | 有外部数据帧到达交换机的某个端口A，且内部控制信号transmitCtrl=直通转发 | 端口A将数据帧传递给交换机的解析帧模块 |
| 3 | 碎片隔离模式下接收数据帧 | 有外部数据帧到达交换机的某个端口A，且内部控制信号transmitCtrl=碎片隔离 | 端口A将数据帧传递给它的残帧检查模块 |
| 4 | 数据帧排队等待CRC校验 | 端口A的接收缓冲队列不为空 | 端口A的接收缓冲队列的队首数据帧出队，传递到CRC校验模块 |
| 5 | CRC校验 | 端口A的CRC校验模块接收到输入数据帧 | 端口A的CRC校验模块对数据帧进行CRC（循环冗余码校验）检查，对错误帧进行处理，隔离残帧和超长帧，端口A将处理后的数据帧传递给交换机的解析帧模块 |
| 6 | 残帧检查 | 端口A的残帧检查模块接收到输入数据帧 | 端口A的残帧检查模块检查数据帧的长度是否够64个字节，如果小于64字节，则说明为假帧，丢弃。若不是假帧，端口A将该数据帧传递给交换机的解析帧模块 |
| 7 | 解析数据帧 | 交换机的解析帧模块通过端口A收到一个数据帧 | 交换机的解析帧模块按照数据帧格式，解析出帧中的源MAC地址，目的MAC地址 |
| 8 | 传递解析信息 | 交换机的解析帧模块解析出新的源MAC地址adr1和目的MAC地址adr2 | 数据帧，adr1，adr2，帧的到来端口由交换机的解析帧模块传递到交换机的过滤帧模块 |
| 9 | 向MAC地址表添加表项 | 交换机的解析帧模块解析出来新的源MAC地址adr1和目的MAC地址adr2 | 交换机的解析帧模块通过调用接口add(adr1,A)来更新MAC地址表 |
| 10 | 更新MAC地址表 | 交换机的解析帧模块调用接口add(adr1,A) | DMA向MAC地址表中添加表项(MAC,n)：DMA的控制器根据MAC地址的前三个字节，在M地址表外层索引中定位到相同项。若不存在，则在外层索引的末尾追加前三个字节，在内层索引中建立后三个字节为键的表项，值为端口号n,老化时间置零；若存在，则再根据MAC地址的后三个字节在内层索引中定位到相同项。若不存在相同项，在内层索引的末尾追加后三个字节为键的表项，值为端口号n,老化时间置零；若存在，说明MAC地址表中已有该表项，将它的老化时间置零 |
| 11 | 过滤非法帧 | 交换机的过滤帧模块接收到一个数据帧及其源MAC地址adr1和目的MAC地址adr2 | 交换机的过滤帧模块判断adr1和adr2所处的网段是否相同，若相同，则丢弃该数据帧；否则将数据帧，adr1,adr2，帧的到来端口传递给交换机的转发帧模块 |
| 12 | 转发数据帧 | 交换机的转发帧模块接收到一个数据帧以及其目的MAC地址adr2，到来端口为A | 交换机的转发帧模块判断adr2类型，执行相应的操作:如果是广播地址，则向除端口A外端口数组中记录的所有端口转发；如果目的地址如果不是广播地址，则通过调用接口query(adr2)来找到adr对应的端口号。若返回的端口号不为空，通过目的MAC地址对应的端口转发；否则，通过除端口A外，端口数组中记录的所有端口转发 |
| 13 | 查询MAC地址 | 交换机的转发帧模块调用接口query(adr) | DMA的控制器根据MAC地址的前三个字节，在MAC地址表的外层索引中定位到相同项。若不存在，则直接返回空值；若存在，则再根据MAC地址的后三个字节在内层索引中定位到相同项。若不存在相同项，返回空值；若存在，返回对应的端口号 |
| 14 | 清理MAC地址表 | 系统中的定时器经过了设定的时间间隔 | DMA以深度优先的方式遍历MAC地址表，找到老化时间超过阈值的表项，清除。若某一外层索引对应的所有表项都被删除，那么也将它从外层索引表中删除 |
| 15 | 数据帧排队等待发送 | 端口A的发送缓冲队列不为空 | 端口A的发送缓冲队列的队首数据帧出队，发送到外部网络 |

# 检验标准

描述软件的性能范围，描述所有未来可能会进行的测试及期望响应。

## 功能测试

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **测试内容** | **期望响应** | **测试目的** |
| 构造一组正确的数据帧，通过定义好的接口向交换机传输该组数据帧。 | 根据不同的控制命令，数据帧应能正确流入对应的内部模块。 | 测试交换机接收数据帧的功能。 |
| 构造若干CRC错误帧，把它们混入一组正确的数据帧，然后通过定义好的接口向交换机传输该组数据帧。 | 交换机应能识别出错误帧，将其丢弃。 | 测试交换机CRC校验的功能。 |
| 构造若干长度小于64字节的残帧，把它们混入一组正确的数据帧，然后通过定义好的接口向交换机传输该组数据帧。 | 交换机应能识别出残帧，将其丢弃。 | 测试交换机残帧检查的功能。 |
| 构造一组源MAC地址相同的数据帧，分别设置不同的目的MAC地址，包括把目的MAC地址设为源MAC地址，通过定义好的接口向交换机传输该组数据帧。 | 根据MAC地址表，交换机应能把数据帧转发到目的MAC地址对应的端口，或者除源端口外的所有端口。 | 测试交换机转发数据帧和检测非法目的地址数据帧的功能。 |
| 清空MAC地址表，构造一组MAC源地址和MAC目的地址各不相同的数据帧，通过定义好的接口向交换机逐个传输数据帧。 | 在解析完每个数据帧后，MAC地址表应正确更新。 | 测试交换机地址学习的功能。 |
| 在一次数据帧传输测试后，静置交换机一段时间（自动老化时间）。 | MAC表中的项应逐个被定时删除。 | 测试交换机地址信息维护的功能。 |
| 构造一组MAC目的地址各不相同的数据帧，通过定义好的接口向交换机传输该组数据帧。 | 数据帧应被转发到正确的端口。 | 测试交换机发送数据帧的功能。 |

## 性能测试

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **测试内容** | **期望响应** | **测试目的** |
| 在测试环境运行该交换机仿真软件。 | 软件的启动时间应该不超过10秒，需要能支持至少100个节点的交换网络，按键的响应时间应该不超过3秒，数据帧的最大往返时间应该不超过1秒。运行过程中不应该出现卡顿或卡死的情况，占用内存不应该超过1G。退出软件时应该及时回收用过的内存，避免内存爆炸。 | 测试交换机仿真软件的性能是否达标。 |

## 可靠性测试

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **测试内容** | **期望响应** | **测试目的** |
| 编写一个流量发生器脚本，应满足以下性质：可生成正确和错误、合法和非法的数据帧，可人为指定数据帧的源MAC地址和目的MAC地址，可人为指定数据帧的长度，以及可人为调节数据帧的发送速率。将交换机仿真软件恢复成初始状态，然后连接流量发生器，在测试人员主动调节参数的情况下运行至少1小时，在随机参数的情况下运行至少2小时，以此来模拟交换机的从出厂到长期运作的过程。在测试期间要注意尽量使交换机仿真软件满负荷运行。 | 在整个测试过程中，合法数据包的丢失率不超过0.01%。如果发生丢包等异常，软件能及时处理异常，恢复正常的运作。 | 测试交换机仿真软件在真实环境中长期运行时的可靠性。 |

## 易用性测试

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **测试内容** | **期望响应** | **测试目的** |
| 抽取100名用户志愿者试用本交换机仿真软件，随后对他们进行问卷调查。采用量表形式。调查的内容应当涵盖易理解性、易学性、易操作性、吸引性和依从性五个方面。 | 从数据上看，问卷调查结果呈良性。 | 预测交换机仿真软件投入市场后的用户反馈。 |

## 兼容性测试

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **测试内容** | **期望响应** | **测试目的** |
| 在不同的操作系统平台上运行本交换机仿真软件，包括在同一操作系统的不同版本上运行。同时，开启若干其它大型应用程序，观察软件的运行效果。 | 交换机仿真软件能兼容Windows 8以上和Mac OS 10.8以上的操作系统，而且不会与其它软件产生冲突。 | 测试交换机仿真软件的兼容性。 |

# 参考书目/文献