时间敏感网络硬件控制逻辑（HCP）

设计方案

（版本1.0）

OpenTSN开源项目组

2021年4月

**当前版本**

|  |  |
| --- | --- |
| 文件标识 | OpenTSN3.0工程使用 |
| 当前版本 | 1.0 |
| 完成日期 |  |

**版本历史**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **版本** | **修订时间** | **修订人** | **修订内容** |
| **1.0** | **2021.4** | **（内部使用）** | **初版编制** |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

目录

[1、概述 4](#_Toc69049330)

[2、总体设计 4](#_Toc69049331)

[2.1. 总体架构 4](#_Toc69049332)

[2.2 帧的处理流程 7](#_Toc69049333)

[2.2.1帧的解封装 7](#_Toc69049334)

[2.2.2帧的封装 8](#_Toc69049335)

[附录1：数据格式定义 8](#_Toc69049336)

[附录2：TSMP消息协议格式 10](#_Toc69049337)

[附录3：内部寄存器定义 12](#_Toc69049338)

[附录4：command/command\_ack命令格式 18](#_Toc69049339)

**1、概述**

OpenTSN2.0开源逻辑既可作为TSN网卡又可作为TSN交换机使用，为了简化其作为TSN交换机使用时的逻辑复杂度以及增强其作为TSN网卡使用时的功能可扩展性，并且考虑到逻辑模块的复用，计划将TSN2.0开源逻辑拆分为时间敏感网络硬件控制逻辑（HCP）、时间敏感网络端处理逻辑(TSE)、时间敏感网络交换处理逻辑(TSS)三个模块进行拆分设计。本文主要详细介绍时间敏感网络硬件控制逻辑的设计。

**2、总体设计**

## 2.1. 总体架构

时间敏感网络硬件控制逻辑的总体架构框图如图2-1。



图2-1 总体架构框图

总体架构图中的信号格式定义如下表2-1。

表2-1 HCP总体架构顶层信号定义

| 信号 | 位宽 | 含义 |
| --- | --- | --- |
| pkt（非报文集中缓存模块的信号） | 9 | 报文体数据，具体格式参考附录A |
| state\_pkt | 8 | 上报状态报文数据 |
| command | 204 | 读、写命令 |
| command\_ack | 204 | 读命令响应 |
| time\_slot | 10 | 时间槽 |
| time\_offset | 49 | 1588同步从时钟架构需要补偿的值 |

下面将整个架构的逻辑模块进行一一介绍。

CRX（Contorl RX）控制接收模块：主要功能是接收网络接口发送的报文，完成报文从外部时钟域到架构内部时钟域的切换，以及完成架构接收时间同步报文的时间信息记录，并在TSNTag中进行记录。模块内部维护一个寄存器，根据此寄存器的值判断是否接收并处理报文。

HFP (Hcp Frame Parse)帧解析模块：主要功能是提取帧的DMAC（TSNTag）中的信息，并构造报文描述符。还需根据报文的以太网类型字段进行选择。

DMUX数据分配器模块：主要功能是将不同类型的报文数据进行分派。将ARP请求帧、PTP帧、NMAC状态上报帧，分派给帧封装模块进行封装处理；将芯片配置帧、ptp封装帧、ARP封装帧分派给帧解封装模块进行解封装处理。

DDM（Decapsulation\_Dispatch\_Module）解封装与分派模块：将接收到的芯片配置帧、PTP封装帧、ARP封装帧分别解封装成NMAC配置帧、PTP帧、ARP响应帧，将NMAC配置帧分派至配置与状态管理模块，其余帧（PTP帧、ARP响应帧）分派至数据选择器模块。

FEM（Frame\_Encapsulation\_Module）帧封装模块：主要功能是将接收到的ARP请求帧、PTP帧、NMAC状态上报帧封装成TSMP协议。

MUX数据选择器模块：主要功能是对封装后的帧和解封装后的帧进行选择，并将选择输出的帧输出到输出模块。

CTX（Contorl TX）控制发送模块：主要功能是从报文缓存区中读取报文并释放pkt\_bufid、计算时间同步报文的透明时钟、完成报文从内部处理时钟域到外部PHY架构的时钟域的切换、将数据报文构造帧前导符和帧开始符后由网络接口传输。读取报文时，需要先将pkt\_bufid映射成地址，并根据此地址往报文集中缓存模块进行报文数据的提取，同时需要将此pkt\_bufid归还给报文集中缓存模块以便后续进入架构的报文使用。

CSM（Configuration and State Manage）配置与状态管理模块：CSM模块主要功能把接收到的NMAC报文进行解析，并完成寄存器的配置或RAM的写操作；内部维护输入输出的端口收发报文的个数计数器；接收上报脉冲信号，构造NMAC上报报文并发送给主机发送模块。

GTS（Global\_Time\_Sync）模块：主功能如下维护一个全局时钟并对全局时钟进行修复：使用一个48位计数器维护一个全局时钟，其中低17位表示多少拍，高31位表示多少毫秒，用于表示全局时间。维护一个清零计数器用于计算透明时钟：隔一段时间清零计数器计到最大值时，在清零计数器清零的同时发送清零脉冲到其他模块（需要计算透明时钟的模块，如各个端口模块，主机接收和主机发送模块），其他模块清零计数器也同时进行清零，在计算透明时钟时使用清零计数器的值，从而实现设备内的时间同步。由于时间槽最大值为2ms，因此报文在架构中的传输延迟最大为4ms，使用125Mhz时钟时，则需要19位的计数器。维护一个上报周期计数器，当内部时钟走过一个周期时给出一个上报的脉冲信号。

TSC（Time\_Slot\_Calculation）模块：根据全局时间和时间槽长度，计算当前注入时刻。

## 2.2 帧的处理流程

硬件控制逻辑的主要处理流程包括帧的封装与解封装。

### 2.2.1帧的解封装

封装帧是TSMP消息协议类型的帧，主要包括芯片配置帧、PTP封装帧、ARP封装帧。以芯片配置帧为例，芯片配置帧经控制接收（CRX）模块进行跨时钟域处理后，在帧解析模块进行解析配置，生成报文描述符，报文分组数据传输至数据分配器模块，数据分配器模块根据分组携带TSMP协议的头部标识，将芯片配置帧分配至解封装与分派模块，在解封装与分派模块中将TSMP协议消息协议解封装成NMAC配置帧，然后分派到配置与状态管理模块，通过配置与状态管理模块对寄存器及表项配置，配置的寄存器及表项再通过command命令的形式对TSN硬件完成配置；而PTP封装帧在解封装之后，需要替换报文体中携带的时间戳，然后将解封装后的ptp报文分派至数据选择器模块，经控制发送模块将PTP报文输出；ARP封装帧在解封装成ARP帧后，同样是经控制发送模块将ARP帧输出。

### 2.2.2帧的封装

主要流程是将接收到的ARP请求帧、PTP帧、NMAC状态上报帧封装成TSMP协议，以NMAC状态上报帧为例，NMAC状态上报帧经配置与状态管理（CSM）模块传输至帧解析（HFP）模块后，在帧解析模块进行解析配置，生成报文描述符，报文分组数据传输至数据分配器模块，数据分配器模块根据分组携带协议类型，将NMAC状态上报帧分配至帧封装模块，在帧封装模块中将NMAC状态上报帧封装成TSMP协议消息协议，然后传输至数据选择器（MUX）模块，经控制发送模块将TSMP封装报文输出。ARP请求帧、PTP帧封装处理流程与NMAC状态上报帧处理流程一致。

**附录1：数据格式定义**

* 内部传输的pkt数据格式

在模块之间传输的报文数据格式为位宽为9bit。

pkt\_data位宽为9位，包含1bit头尾标志、8bit报文数据。头尾标志： 1 表示报文头/尾数据；0标识报文体中间数据。具体如图附1-1所示：



图附1-1 pkt\_data数据格式

* TSNTag格式

在流量发送端的网卡内部需要根据报文七元组（目的mac、type、IP五元组）对时间敏感、带宽预约、尽力转发流量进行分类映射。将分类映射的结果与原报文的DMAC字段进行替换，以此进行TSN网络的交换，直到接收端的网卡内部进行DMAC还原。被替换的DMAC字段被定义成TSNTag。

表附1-1分类映射关键字Key

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 位宽 | 名称 | 描述 |
| 48 | DMAC | 报文目的MAC |
| 16 | ETHTYPE | 报文以太网类型 |
| 8 | protocol | 报文协议类型 |
| 32 | Sip | 报文源ip |
| 32 | Dip | 报文目的ip |
| 16 | Sport | 报文源端口 |
| 16 | Dport | 报文目的端口 |

因同步报文的TSNTag中“seq\_id”、“frag\_id”、“inject\_addr ”、“submit\_addr”信息是无用的，因此可以将时间同步报文的这些字段用来存放架构的接收时间戳信息。而其他非时间同步报文的架构接收时间戳信息是无用的，因此可以延用这些字段的信息。

表附1-2 时间同步报文的TSNtag

| 位宽 | 名称 | 位置 | 描述 |
| --- | --- | --- | --- |
| 3 | Flow type | [47:45] | 流类型。 100：同步报文 （其他报文的格式如下表） |
| 14 | Flow id/IMAC | [44:31] | 静态流量使用flowID，每条静态流分配一个唯一flowID，动态流使用imac地址，imac地址相同的则在交换架构命中同一条表项。 |
| 12 | Reserve | [30:19] | 保留 |
| 19 | Rx\_timestamps | [18:0] | 架构接收到时间同步报文的本地时间信息，用于架构发送报文时计算透明时钟。 |

表附1-3 非时间同步报文的TSNTag

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 位宽 | 名称 | 位置 | 描述 |
| 3 | Flow type | [47:45] | 流类型。000:ST分组 001:ST分组 010: ST分组  011：RC分组 101：NMAC分组 110：BE分组  111：BE分组 |
| 14 | Flow id/IMAC | [44:31] | 静态流量使用flowID，每条静态流分配一个唯一flowID，动态流使用imac地址，imac地址相同的则在交换架构命中同一条表项。 |
| 16 | Seq id | [30:15] | 用于标识每条流中报文的序列号 |
| 1 | Frag flag | [14] | 用于标识分片后的尾。0：分片后的中间报文  1：尾拍 |
| 4 | Frag ID | [13:10] | 用于表示当前分片报文在原报文中的分片序列号 |
| 5 | inject addr | [9:5] | ST流在源端等待发送调度时缓存地址 |
| 5 | submit addr | [4:0] | ST流在终端等待接收调度时缓存地址 |

**附录2：TSMP消息协议格式**

TSMP（时间敏感消息协议）是TSN控制器进行网络拓扑探测、对TSN芯片和HCP进行配置以及对帧进行封装的协议

* TSMP帧设计原则

1. TSMP帧长度不超过128B；
2. PTP帧是TSMP帧的一种子类型；
3. TSNtag是帧映射后的结果，在TSN网络中根据TSNtag对帧进行逻辑处理（包括查表转发，入队，调度优先级，ST流的按时注入、按时提交、输出门控等）；
4. 在TSMP帧头中设计相关字段用来标识不同类型的TSMP帧。

* TSMP帧格式

TSMP帧的格式设计如下图所示。



图附2-1 TSMP帧的格式

图中黄色字段为以太网帧头，蓝色字段为TSMP帧头，白色字段为TSMP帧数据域。TSMP帧以太网头和TSMP帧头中各字段的含义详见下表。

表附2-1 TSMP帧头各字段的含义

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 字段 | 位宽 | 说明 |
| TSNtag | 48 | TSMP帧经映2射所得的结果。 |
| 源mac | 48 | 暂未使用 |
| 长度/类型 | 16 | TSMP帧类型为0xff01（自定义）。 |
| 子类型 | 8 | 用来标识不同类型的TSMP帧，目前包含6种类型：ARP封装帧、Beacon帧、芯片配置帧、HCP配置帧、ICMP封装帧、Probe帧。 |
| 输入端口号 | 8 | 主机发给TSN芯片的帧进入TSN芯片的端口号 |

表附2-1 TSMP帧类型

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 帧类型 | 子类型的值 | 含义 |
| ARP封装帧 | 8’h0 | ARP帧封装到TSMP帧中在网络中进行传输，将ARP帧完整地存放在TSMP数据域 |
| Beacon帧 | 8’h1 | 交换机、网卡上报到控制器的状态帧，将交换机、网卡的状态上报帧完整地存放在TSMP数据域 |
| 芯片配置帧 | 8’h2 | 控制器对交换机、网卡进行配置的帧，控制器将NMAC配置帧封装到TSMP帧中，其中NMAC配置帧完整地存放在TSMP数据域 |
| HCP配置帧 | 8’h3 | 控制器对HCP进行配置的帧；配置信息存放在TSMP数据域。 |
| HCP状态上报帧 | 8’h4 | HCP上报的状态信息存放在TSMP数据域 |
| PTP封装帧 | 8’h5 | 将PTP帧（sync帧、delay\_req帧、delay\_resp帧）封装到TSMP帧中，其中PTP帧完整地存放在TSMP数据域 |

**附录3：内部寄存器定义**

架构内部可配置地址空间主要有两部分，包括：MDID模块号和真实地址空间，其中MDID模块号主要用来区分不同模块，而后20位为各个模块使用的地址空间。地址的第19bit位用于区别地址类型，控制/表项寄存器可读可写，调试和版本寄存器只读，每个模块的地址空间为1024k,其中可读可写和只读寄存器各有512k。具体地址含义如下。

表附3-1 地址格式

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ADDR[26:0] | | |
| MDID[26:20] | ADDR[19] | ADDR[18:0] |
| MDID ：0-127 | 0 | 该模块的控制寄存器,表项等,可读可写 |
| 1 | 只读 |

每个处理模块的MDID号分配如下：、

表附3-2 模块中的MDID和地址

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 处理模块 | CSM | TIS | TSS | QGC | GTS | FLT |
| MDID | 0x0 | 0x1 | 0x2 | 0x3-0xa | 0xb | 0xc |
| 地址 | 0x0-  0xfffff | 0x100000-  0x1fffff | 0x200000-  0x2fffff | 0x300000-  0xafffff | 0xb00000-  0xbfffff | 0xc00000-  0xcfffff |

* CSM模块

地址范围为Addr 0x0-0xffff。

表附3-3 CSM模块寄存器

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Addr | Data | | | |
| [31:24] | [23:16] | [15:8] | [7:0] |
| 0x0 | offset\_l | | | |
| 0x1 | offset\_h | | | |
| 0x2 | time\_slot | | | |
| 0x3 | cfg\_finish | | | |
| 0x4 | port\_type | | | |
| 0x5 | qbv\_or\_ach | | | |
| 0x6 | report\_type | | | |
| 0x7 | report\_en | | | |
| 0x8 | inject\_slot\_period | | | |
| 0x9 | submit\_slot\_period | | | |
| 0xa | report\_period | | | |
| 0xb | offset\_period | | | |
| 0xc | rc\_regulation\_value | | | |
| 0xd | be\_regulation\_value | | | |
| 0xe | unmap\_regulation\_value | | | |
| 0xf  ~  0xfffff | reserve | | | |

表附3-3 寄存器的具体含义

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| name | bit | R/W | description | default |
| offset\_l | 31:17 | R/W | 代表时间偏移的高位值的低15位，表示毫秒 | 0 |
| 16:0 | R/W | 时间偏移的低位，表示拍数 | 0 |
| offset\_h | 31:17 | R/W | 保留位 | 0 |
| 16 | R/W | 代表时间偏移的正负值，1代表正值，如果为0，则代表负值 | 0 |
| 15:0 | R/W | 代表时间偏移的高位值的高16位，表示毫秒 | 0 |
| time\_slot | 31:11 | R/W | 保留 |  |
| 10:0 | R/W | 时间槽大小 | 0 |
| cfg\_finish | 31:1 | R/W | 保留 | 0 |
| 0 | R/W | 配置完成寄存器，  0代表架构正在初始化，不接收任何报文，  1代表初始化完成，可以接收NMAC配置报文  2代表配置完成，可以接收除ST报文的任何报文  3代表可以接收任何报文 | 0 |
| port\_type | 31:8 | R/W | 保留 | 0 |
| 7:0 | R/W | 网络端口类型寄存器，架构共有8个网络端口，寄存器的0-7位分别代表0-7端口的类型，1代表非合作类型，处理标准以太网类型的报文，0代表合作类型，处理TSN报文 | 0 |
| qbv\_or\_ach | 31:2 | R/W | 保留 | 0 |
| 1:0 | R/W | 调度模式选择信号，网络输出逻辑中的调度机制是QBV模式还是QCH模式  0代表QBV模式；1代表QCH模式 | 0 |
| report\_type | 31:16 | R/W | 保留 | 0 |
| 15:0 | R/W | 上报类型，具体参考附录D | 0 |
| report\_en | 31:1 | R/W | 保留 | 0 |
| 0 | R/W | 上报使能信号，配置与状态管理模块是否进行周期性上报  0代表不上报；1代表上报 | 0 |
| inject\_slot\_period | 31:12 | R/W | 保留 | 0 |
| 10:0 | R/W | 注入时间槽周期，架构内部时间槽切换的周期值  配置的值范围：1-1024个 | 0 |
| submit\_slot\_period | 31:12 | R/W | 保留 | 0 |
| 10:0 | R/W | 提交时间槽周期，架构内部时间槽切换的周期值  配置的值范围：1-1024个 | 0 |
| report\_period | 31:12 | R/W | 保留 | 0 |
| 11:0 | R/W | 上报周期，配置与状态管理模块上报的周期值  配置的值范围：1（ms）或1000（ms） | 0 |
| offset\_period | 31:24 | R/W | 保留 | 0 |
| 23:0 | R/W | offset补偿的配置周期 |
| rc\_regulation\_value | 31:9 | R/W | 保留 | 0 |
| 8:0 | R/W | RC流的监管阈值，当BUFID的剩余个数小于该值，开始丢弃RC报文 |
| be\_regulation\_value | 31:9 | R/W | 保留 | 0 |
| 8:0 | R/W | BE流的监管阈值，当BUFID的剩余个数小于该值，开始丢弃BE报文和RC报文 |
| unmap\_regulation\_value | 31:9 | R/W | 保留 | 0 |
| 8:0 | R/W | 非映射流的监管阈值，当BUFID的剩余个数小于该值，开始丢弃非映射报文 |
| reserve | 31:9 | R/W | 保留 | 0 |

* TIS模块

地址范围为Addr 0x100000-0x1fffff。

表附3-4 地址格式

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Addr | Data | | | |
| [31:24] | [23:16] | [15:8] | [7:0] |
| send\_table\_N  0x100000-0x1003ff | ST报文发送时刻表每项内容，N=0、1、…、1023  send\_table\_0表示第0个发送表 | | | |
| 0x100400-0x1fffff | 保留 | | | |

表附3-5 寄存器的具体含义

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| name | bit | R/W | description | default |
| send\_table\_0 | 16 | R/W | 保留 | 0 |
| 15 | R/W | 表项有效位，0代表无效，1代表有效 | 0 |
| 14:5 | R/W | ST流在一个应用周期内的注入时间槽 | 0 |
| 4:0 | R/W | TSNTag中的“send addr” | 0 |
| …… |  |  |  |  |
| send\_table\_1023 | 16 | R/W | 保留 | 0 |
| 15 | R/W | 表项有效位，0代表无效，1代表有效 | 0 |
| 14:5 | R/W | ST流在一个应用周期内的注入时间槽 | 0 |
| 4:0 | R/W | TSNTag中的“send addr” | 0 |
| 0x100400-0x1fffff |  |  | 保留 |  |

* TSS模块

地址范围为Addr 0x200000-0x2fffff。

表附3-6 地址格式

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Addr | Data | | | |
| [31:24] | [23:16] | [15:8] | [7:0] |
| submit\_table\_N  0x200000-0x2003ff | ST报文提交时刻表每项内容，N=0、1、…、1023  submit\_table\_0表示第0个提交表 | | | |
| 0x200400-0x2fffff | 保留 | | | |

表附3-7 寄存器的具体含义

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| name | bit | R/W | description | default |
| submit\_table\_0 | 31:16 | R/W | 保留 | 0 |
| 15 | R/W | 表项有效位，0代表无效，1代表有效 | 0 |
| 14:5 | R/W | ST流的提交时间槽 | 0 |
| 4:0 | R/W | TSNTag中的“send addr” | 0 |
| …… |  |  |  |  |
| submit \_table\_1023 | 31:16 | R/W | 保留 | 0 |
| 15 | R/W | 表项有效位，0代表无效，1代表有效 | 0 |
| 14:5 | R/W | 当前Slot | 0 |
| 4:0 | R/W | TSNTag中的“send addr” | 0 |

* QGC模块

地址范围为Addr 0x300000-0xafffff，其中0x300000-0x3fffff表示第一个端口的门控表，以此类推，共有8个端口门控。

表附3-8 地址格式

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Addr | Data | | | |
| [31:24] | [23:16] | [15:8] | [7:0] |
| port0\_gate\_table\_N  0x300000-0x3003ff | 0号端口的门控表，N=0、1、…、1023，输出门控  port0\_gate\_table\_0表示0号端口的第一个时刻的门控状态 | | | |
| port1\_gate\_table\_N  0x400000-0x4003ff | 1号端口的门控表，N=0、1、…、1023 | | | |
| port2\_gate\_table\_N  0x500000-0x5003ff | 2号端口的门控表，N=0、1、…、1023 | | | |
| port3\_gate\_table\_N  0x600000-0x6003ff | 3号端口的门控表，N=0、1、…、1023 | | | |
| port4\_gate\_table\_N  0x700000-0x7003ff | 4号端口的门控表，N=0、1、…、1023 | | | |
| port5\_gate\_table\_N  0x800000-0x8003ff | 5号端口的门控表，N=0、1、…、1023 | | | |
| port6\_gate\_table\_N  0x900000-0x9003ff | 6号端口的门控表，N=0、1、…、1023 | | | |
| port7\_gate\_table\_N  0xa00000-0xa003ff | 7号端口的门控表，N=0、1、…、1023 | | | |

表附3-9 寄存器的具体含义

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| name | bit | R/W | description | default |
| port0\_gate\_table\_0 | 31:8 | R/W | 保留 | 0 |
| 7:0 | R/W | 0-7位分别代表0-7共8个队列的门控状态，0代表该队列的门控关闭，1代表开启 | 0 |
| …… |  |  |  |  |
| port7\_gate\_table\_1023 | 31:8 | R/W | 保留 | 0 |
| 7:0 | R/W | 0-7位分别代表0-7共8个队列的门控状态，0代表该队列的门控关闭，1代表开启 | 0 |

* FLT模块

地址范围为Addr 0xc00000-0xcfffff。

表附3-10 地址格式

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Addr | Data | | | |
| [31:24] | [23:16] | [15:8] | [7:0] |
| 0xc00000-0xc03fff | forward\_table\_N，表示转发表，N=0,1,2，…16384，  forward\_table\_0表示第0个转发表 | | | |
| 0xc04000-0xcfffff | 保留 | | | |

表附3-11 寄存器的具体含义

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| name | bit | R/W | description | default |
| forward\_table\_0 | 31:16 | R/W | 保留 | 0 |
| 8:0 | R/W | 转发表的内容，使用bitmap的形式，0-8位分别代表向0-8号端口，每位的值0代表不向该端口转发，1代表向该端口转发 | 0 |
| …… |  |  |  |  |
| forward\_table\_16384 | 31:16 | R/W | 保留 | 0 |
| 8:0 | R/W | 转发表的内容，使用bitmap的形式，0-8位分别代表向0-8号端口，每位的值为0代表不向该端口转发，1代表向该端口转发 | 0 |
| 0xc04000-0xcfffff |  |  | 保留 |  |

**附录4：command/command\_ack命令格式**

表附4-1 command/command\_ack命令格式

| 位置 | 位宽 | 名称 | 说明 |
| --- | --- | --- | --- |
| [203:180] | 8 | node\_id | 该字段用来标识对哪个节点进行读写。每个TSE或TSS都有一个唯一的节点ID。该字段在TSN网卡+TSN交换机模式下使用到。 |
| [179:172] | 8 | dest\_module\_id | 该字段用来标识对一个节点内的哪个模块进行控制。TSE或TSS内部每个子模块都有一个唯一的模块ID |
| [171:168] | 4 | type | 4’b0001:寄存器或表项的写命令;  4’b0010:寄存器或表项的读命令；  4’b0110:寄存器或表项的读响应。 |
| [167:152] | 16 | addr | 寄存器或表项的读/写地址 |
| [151:0] | 152 | data | 寄存器或表项的读/写数据；其中五元组映射表的表项位宽最大，为152bit |