

## 在 KeyStone 器件实现 IEEE1588 时钟方案

王金鑫

Multicore DSP / FAE

### 摘要

IEEE1588 标准又称为网络测量和控制系统的精确时钟同步协议标准，是 IEEE 标准委员会颁布的为了满足定位服务和无线移动通信系统高精度同步要求的标准。随着 Ethernet 技术的广泛应用，采用 IEEE1588 方式通过以太网实现时钟同步方案在网络上的应用越来越普遍。本文简要介绍 1588 的原理和常见的实现方式，并详细介绍 TI KeyStone 架构上的 1588 实现方案。

### 文档历史

版本	日期	作者	注释
1.1	2013 年 6 月	王金鑫	初始版本
1.2	2013 年 8 月	王金鑫	修改错误，补充内容，格式调整
1.3	2013 年 9 月	王金鑫	根据修改意见修改部分内容

## 目录

<b>1</b>	<b>概述</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>IEEE1588 时钟同步原理</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>1588 芯片实现方案</b> .....	<b>5</b>
3.1	以太网 PHY1588 方案(DP83640).....	5
3.2	KeyStone1 1588 方案.....	6
3.2.1	Annex D & E PTP 报文处理.....	7
3.2.2	Annex F PTP 报文处理.....	8
3.2.3	同步信号的产生.....	8
3.3	KeyStone2 1588 方案.....	8
<b>4</b>	<b>KeyStone1 1588 方案实现</b> .....	<b>10</b>
4.1	Gbe Switch 配置.....	10
4.1.1	CPTS 配置.....	10
4.1.2	CPSW 的配置.....	11
4.2	时间偏差的计算和调整.....	12
4.2.1	CPTS 时钟到系统时钟.....	12
4.2.2	时间调整.....	12
4.3	KeyStone1 1588 方案的说明.....	13
<b>5</b>	<b>小结</b> .....	<b>13</b>
	<b>参考文献</b> .....	<b>14</b>
	<b>图 1: IEEE1588 时钟同步原理</b> .....	<b>4</b>
	<b>图 2: DP83640 高精度时钟同步硬件模块</b> .....	<b>5</b>
	<b>图 3: KeyStone1 IEEE1588 时钟同步方案</b> .....	<b>7</b>
	<b>图 4: KeyStone2 IEEE1588 时钟同步方案</b> .....	<b>9</b>
	<b>图 5: KeyStone1 CPTS 寄存器列表</b> .....	<b>10</b>
	<b>图 6: KeyStone1 CPSW 寄存器列表</b> .....	<b>11</b>

## 1 概述

1588 是 IEEE 规范定义的网络实时同步标准<sup>[1]</sup>。它提供一种通过网络信息交互以获得精准时钟信息的标准。和在广域网上的 NTP 协议比较，1588 最新标准提供高于纳秒级别的时钟精度，可以用来满足要求在一个相对小的空间范围内对时钟同步有严格要求的应用场景，例如基站同步，音视频网桥（AVB），工业控制，产线控制，军事应用等。

KeyStone 架构是 TI 推出的高性能多核架构，该架构目前已演进了两代——KeyStone1 和 KeyStone2。基于 KeyStone 架构，TI 推出多款针对基站和网络应用的多核芯片。

KeyStone1 家族基于 40nm 工艺，包括如下器件型号：

- TCI6616，参见文献[2]
- TCI6618，参见文献[3]
- TCI6614 和 TCI6612，参见文献[4]和[5]
- TMS320C6678、TMS320C6674、TMS320C6672 等，参见文献[6]

KeyStone2 家族基于 28nm 工艺，包括如下器件型号：

- TCI6636K2H，参见文献[7]
- TCI6634K2K，参见文献[8]
- TCI6638K2K，参见文献[9]
- TCI6630K2L (即将发布)，参见文献[10]

本文首先介绍 IEEE1588 的基本原理，然后以常见的基于 PHY 的 IEEE1588 实现方案为参考，介绍 KeyStone 架构上支持 IEEE1588 的硬件功能。同时，本文总结了在 KeyStone1 芯片上实现 IEEE1588 方案需要注意的实现细节，并对 KeyStone2 芯片的 1588 方案做初步介绍。

## 2 IEEE1588 时钟同步原理

IEEE1588 使用精准时间协议 PTP(Precision Timing Protocol)，通过端到端的报文交互获得时钟参考信息，矫正本地时钟频率和相位。1588 协议基于两个假设条件：第一，在时钟源设备和受时钟设备之间，网络报文传输时间是对称的。也就是说一个报文从时钟源设备到受时钟设备的传输时间等于报文从受时钟设备到时钟源设备的传输时间相同；第二，在 PTP 报文交换过程当中，本地时钟的漂移可以忽略不计。

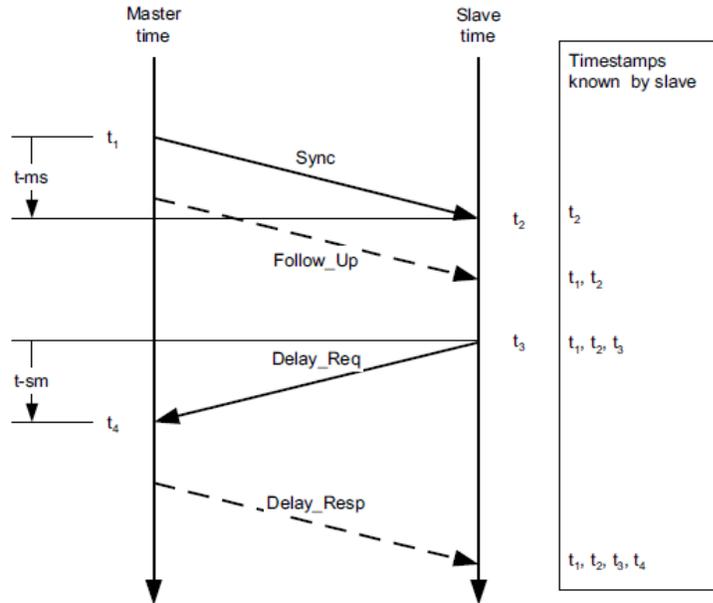


图 1: IEEE1588 时钟同步原理

如图所示，在经过 `sync->delay_request->delay_response` 消息交互以后，受时钟设备获得 4 个时间值。以太网报文在两个设备之间的环路时延可以计算为

$$T_{roundtrip} = (t4 - t1) - (t3 - t2)$$

假设包传输时延是对称的，那么单路时延是

$$T_{tripdelay} = ((t4 - t1) - (t3 - t2))/2$$

从时钟设备的时钟和主时钟的差值是

$$T_{delta} = t2 - (t1 + T_{tripdelay})$$

实际部署时，时钟源发送 `sync` 消息，从设备根据多个 `sync` 消息来计算本地时钟的偏差。当从设备需要同步本地时钟相位的时候，发送 `delay_req` 消息，时钟源发送 `delay_response`，从设备根据获得的 4 个时间值来估计相位的偏差。

对于时钟源设备，如果在发送 `sync` 报文时所带的时间戳就是报文发送时采集的准确时间，这种模式叫做 `single step` 模式。如果发送 `sync` 报文的时候所带的时间戳只是一个近似时间，`sync` 报文发送的准确时间不能在发送 `sync` 报文的时候获得或者实时插入到 `sync` 报文中，时钟源设备需要发一个 `follow up` 消息报文，用来传递 `sync` 报文的准确发送时间，这种模式叫做 `two step` 模式。下面介绍的 PHY 方案支持时钟源 `single step`，TI 的 KeyStone 架构支持时钟源 `two step` 模式。

### 3 1588 芯片实现方案

根据打时间戳的方式不同，常见的 1588 方案分为软件时间戳方案和硬件时间戳方案。软件方案通常是通过软件手段在网络报文的接收中记录 PTP 报文接收或发送时间，处理灵活，可以根据应用场景灵活处理 PTP 协议报文，支持多种封装格式。但是因为软件中断的时间抖动大，软件时间戳方案的精度较差，在对精度要求不高的情况下使用。硬件方案通过特殊硬件解析 PTP 报文，并用硬件记录报文发送或接收时间。硬件方案精度高，但是需要特殊硬件解析 PTP 报文，在特殊场景中，例如 PTP over IPsec，报文经过加密，硬件无法解析 PTP 报文。根据硬件方案获取报文收发时间地点不同，硬件方案又分在 PHY 上集成的 1588 方案和 MII 集成的 1588 方案等。

下面先简单介绍一下 TI 基于 PHY 的硬件解决方案作为参考，然后着重介绍 Keystone 架构上的基于 MII 和 PA 的 1588 方案。

#### 3.1 以太网 PHY1588 方案(DP83640)

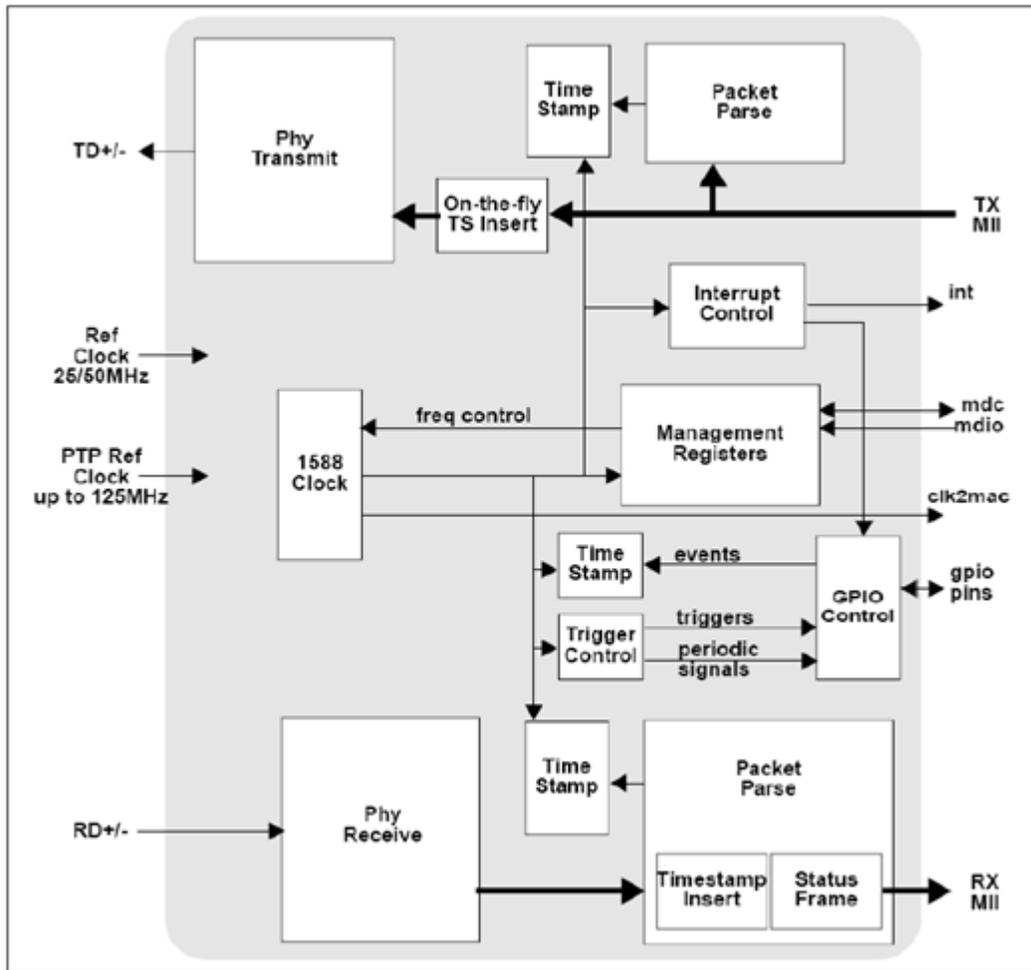


图 2: DP83640 高精度时钟同步硬件模块

DP83640<sup>[11]</sup>是一款百兆网口 PHY，集成了 1588 功能，对外提供校准过的时钟和 PPS 信号，同时还支持同步以太网功能，直接从物理层获得远端时钟。在支持同步以太网的情况下，使用 1588 做相位调整，实验表明最终的时钟偏差精度可以达到纳秒以下。

83640 timestamp 模块维护一个本地的 1588 计数器，包括 32bit 的秒计数和 30bit 的纳秒计数。PTP 报文中要求的 48bit 秒计数中的高 16 位需要软件维护。上层软件在发送一个 1588 报文的时候，时间戳中秒计数的高 16 位由软件设置的，低 32 位设置为 0。

报文解析模块用来匹配解析 PTP 报文。83640 支持 1588 Annex D & E 和 Annex F 格式的报文。当 PTP 报文送至 PHY 时，报文解析硬件检测到这个 PTP 报文的时钟，在报文发出时，把本地的时间戳写到 PTP 报文里面，并修改相关的 CRC 和 CHKSUM 值。83640 支持 1588 single step 模式的时钟源。在报文接收方向，同样有报文解析硬件。在解析到 PTP 报文以后，接收报文的准确时间戳可以插入在报文里，或者通过控制接口上报。

83640 的 1588 时钟模块对外提供频率控制接口，软件通过控制寄存器可以调整输出的时钟频率。1588 时钟模块根据上层软件的配置，对 1588 时钟模块的输入时钟信号微调，然后分频输出。时钟调整是通过调整每个时钟周期的时间来实现的。在每个时钟周期调整的单位是  $2^{-32}$ ns。在正常模式下，这个调整机制用来补偿本地时钟和时钟源的差距。在长期工作以后产生累积同步误差时，软件可以调整寄存器的值，在一定时间内，对频率向上或者向下微调，以补偿相位差距。当在相位补偿以后，恢复正常频率补偿模式。

软件协议栈通过协议处理以后获得本地的时钟与时钟源的绝对时间差值，然后通过寄存器调整本地绝对时间戳。在修改时，软件把绝对时间差值写入寄存器，然后使能修改。这种方法适用初始同步时单次校正本地绝对时间戳。如在正常工作中出现累积相位偏差，应该使用前面介绍的微调方法，避免输出时钟抖动。

应用层通过设置 83640 的 trigger control 模块来控制输出 PPS 或者其他同步信号。应用可以设置在 timestamp 的哪些具体时刻某个 GPIO 管脚可以发生反转。trigger 的输出可以线与并输出到 GPIO 管脚，通过线与可以是输出复杂的周期波形。

83640 方案实现简单，直接输出矫正时钟及相位信号，但是对于复杂传输场景支持困难；而且相比不包含 IEEE1588 功能的 PHY 芯片，83640 的成本要高出许多。

## 3.2 KeyStone1 1588 方案

KeyStone 架构是 TI 推出的高性能多核架构，现在已经有 KeyStone1 和 KeyStone2 两种架构。KeyStone 架构中也包含了对 IEEE1588 功能的支持。

KeyStone1 系列芯片的 1588 方案包括两个硬件部分：记录时间戳，发送同步脉冲。KeyStone1 支持 two step 的时间戳模式，同时也能支持 1588 协议中 Annex D & E 和 Annex F 规定的 PTP 报文解析。

对于记录时间戳，KeyStone1 对于 Annex D & E 和 Annex F 采用不同的硬件来支持。Annex D & E 使用以太网协处理（NetCP）里面的包加速器（PA）来支持；Annex F 报文使用以太网交换机（GE Switch）里面的 CPTS 模块来支持<sup>[12-13]</sup>。

对于同步信号的输出，KeyStone1 里面需要通过 Timer64<sup>[14]</sup>来完成。

软件通过 CPTS 或者 PA 获取到时间戳后，计算需要调整的频率和相位，然后通过配置 Timer64 的周期寄存器来更改 Timer64 的输出周期，调整输出的相位信息；通过 SPI 接口调整外部的 VCXO 的输出频率，矫正本地时钟频率。

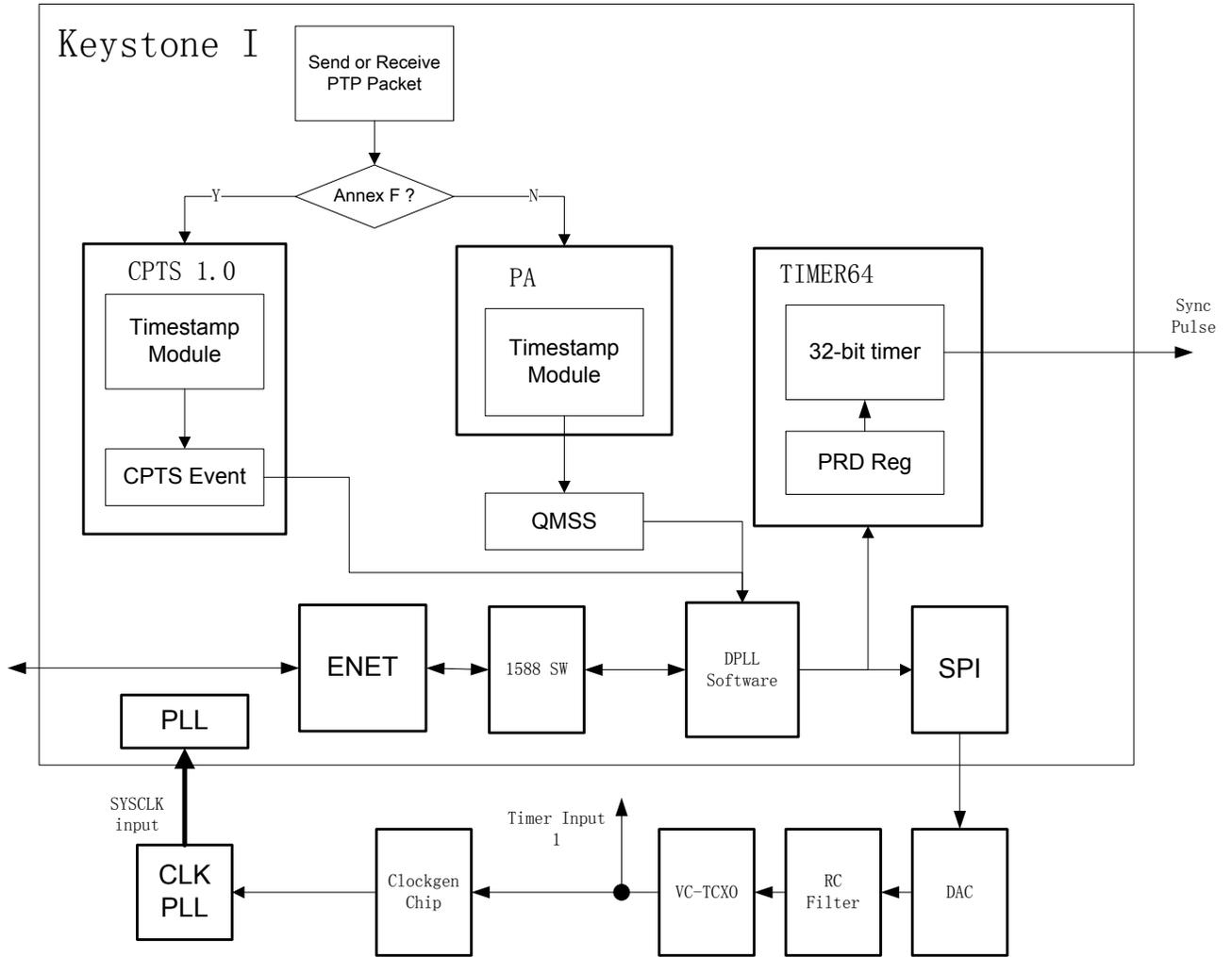


图 3: KeyStone1 IEEE1588 时钟同步方案

### 3.2.1 Annex D & E PTP 报文处理

PA 内部会维护一个 48bit 的计时器，该计时器的频率与 PA 的频率一致（一般是 350MHz）。由于 Annex D & E 报文的承载方式为 IP/UDP 承载（报文模式为 IPv4 和 IPv6），当用户收到或者发送一个 IPv4 或 IPv6 的 PTP 报文时，在 PA 侧会记录一个报文接收（或发送）的时间戳，这个时间戳只有 32bit（为 48bit 中的低 32bit）。这个时间戳保存在用户指定的 QMSS 的某个 Queue 的描述符里面。

用户从 Queue 中提取出该描述符：如果是接收，用户可根据描述符信息解析报文类型，获取报文内容，同时读取 32bit 时间戳并换算成绝对时间。如果是发送，用户只需读取时间戳，转换为 1588 48bit 绝对时间后按照 1588 two step 的规则再做报文发送。

### 3.2.2 Annex F PTP 报文处理

GE Switch 模块上的 CPTS 模块支持对 1588 Annex F（以太网封装）的 PTP 报文解析，支持 VLAN。在 CPSW 逻辑匹配到 PTP 报文时，会触发一个硬件信号给 CPTS 模块用来触发时间戳获取。

CPTS 的时间戳模块维护一个 32bit 的 timer，根据配置，这个 timer 可以工作在二分之一 CPU 主频上。这个 timer 是一个 free run timer。软件通过这个 timer 换算得到 1588 的 32bit 纳秒时钟和 48bit 秒时钟。因为 timer 只有 32bit，所以软件需要处理 timer 反转事件，用来维护秒信息。CPTS 得到时间事件以后，会将 PTP 报文的类型和 Sequence ID 等信息压入 EVENT FIFO 中，并触发中断让用户处理。

### 3.2.3 同步信号的产生

同步信号需要通过 Timer64 来产生。由于 Timer64，PA 以及 CPTS 都是共用 KeyStone 外部的 VCXO，因此从时间源上保证各个计时器之间没有累积误差。这样计算出来的各个绝对时间也是固定不变的。

关于同步信号的时间戳，有两点需要说明：

1. KeyStone 芯片的 1588 功能不维护绝对时间戳，时间信息是从 CPTS timer 或者 PA 的 timer 换算出来。这样也不支持对 1588 报文发送时实时修改，所以在用 KeyStone 芯片做时钟源时，芯片只支持 two step 模式。
2. 输出时钟方案需使用 KeyStone1 芯片上的定时器的输出。因为 CPTS（或 PA）上打时间戳的计数器和定时器使用的时钟虽然是同源，但是相位不同，产生的 PPS 时钟时，需要软件参与校正两个计数器，并对记录相应的相位差。具体实现时，需要首先对 CPTS（或 PA）里面的计数器和选定的 Timer64 计数器相差相位进行计算。软件首先操作 CPTS（或 PA）寄存器，触发一个 CPTS 时间戳记录事件（或者发起一个读取 PA 时间戳寄存器的命令），然后马上读取 timer64 的值。考虑到 cache 问题以及硬件总线上的竞争可能性，软件应在一个循环内多次执行这个操作，保证执行程序加载到 L1 cache 中，两个时钟之间的相位差应该可以通过循环几次获得的值平均得到。

## 3.3 KeyStone2 1588 方案

KeyStone2 架构的 TI 芯片对 1588 的支持做了改进和增强。CPTS 模块支持同步以太网（Annex F）和 1588 Annex D & E 的报文。在 KeyStone2 芯片中，PPS 输出是直接由 CPTS 逻辑驱动的。软件通过设置相关寄存器设置下一个 PPS 输出时 timestamp 的值，当计数器跑到设置的值的时候，硬件触发 PPS 信号输出。

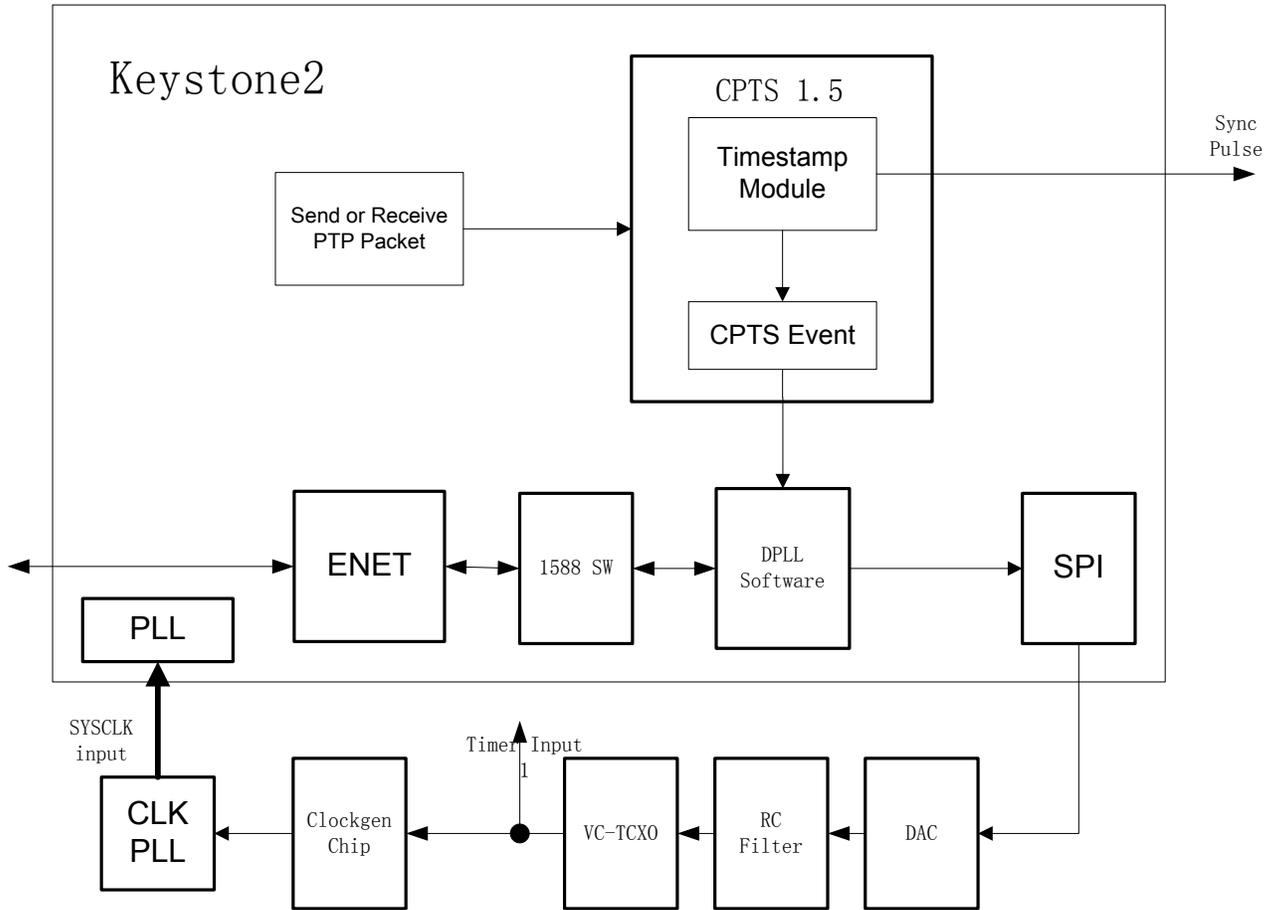


图 4: KeyStone2 IEEE1588 时钟同步方案

相比 KeyStone1 的方案，KeyStone2 的主要优点在于：

1. 方案简单，涉及到的硬件和底层器件更少  
KeyStone1 需要 PA，CPTS，Timer64，QMSS 等外设和加速器来支持整套方案，而 KeyStone2 只需要 CPTS 一个模块就可以支持 Annex D & E 和 Annex F 的 PTP 报文，同时也支持同步信号的输出；
2. 时间戳个数减少，降低了计算复杂度  
KeyStone1 里面需要计算包括 PA 时间戳，CPTS 时间戳以及 Timer64 的时间戳在内的共计 3 个时间戳与 PTP 报文的真实时间的绝对时间相差；KeyStone2 里面只有 CPTS 一个时间戳需要计算；
3. 方案全由硬件逻辑完成，彻底避免了软件干预同时也提高了同步精度  
KeyStone 1 的方案由于记录时间戳的时间源（PA 和 CPTS）与发送同步信号的时间源（Timer64）是不同的，因此在系统运行的时候需要软件计算不同时间源的绝对时间差，这样才能在后面的时间同步中精确调整时间。这里有软件读取并计算时间差的工作，这部分工作不可避免的存在软件误差，虽然可以通过多次计算取平均等统计手段缩小误差，但还是对精度存在一定的影响。KeyStone2 中，记录时间戳和发送同步脉冲都在 CPTS 中，因此无需计算两者的时间差，这样就避免了软件干预，也提高了同步精度。

## 4 KeyStone1 1588 方案实现

前文从原理和方案上描述了 KeyStone 中如何实现 1588 方案，本章节以 KeyStone1 为例，从技术细节方面来阐述 1588 实现方式。

以 Annex F 的 PTP 报文为例，1588 的实现主要分为配置 Gbe Switch<sup>[3]</sup>和计算时间偏差两部分。整体流程如下：当接收（或发送）一个 802.3 的 PTP 报文时，Gbe Switch 会自动侦测到 PTP 报文的接收（或发送）时间，并将该时间戳记录下来；用户根据记录下来的时间戳，配置 Timer64 的时间输出信号，获取当前需要调整的时间偏差。

### 4.1 Gbe Switch 配置

KeyStone1 中的 Gbe Switch 是一个集成了 1588 PTP 报文检测的交换机，其中 CPTS 用来记录时间戳，CPSW 用来侦测 1588 报文。因此 1588 实现方式主要通过配置 CPTS 和配置 CPSW 来实现。

#### 4.1.1 CPTS 配置

CPTS 是 KeyStone1 架构中 Gbe Switch 中的一个模块，请参考文献[12]中的 2.3.5 章节。该章节详细介绍了 CPTS 模块的工作场景和寄存器列表。

**Table 3-105 CPTS Registers**

Offset Address <sup>1</sup>	Acronym	Register Name	Section
00	CPTS_IDVER	Identification and Version Register	<a href="#">Section 3.5.4.1</a>
04	TS_CTL	Time Sync Control Register	<a href="#">Section 3.5.4.2</a>
08	CPTS_RFTCLK_SEL	Reference Clock Select Register	<a href="#">Section 3.5.4.3</a>
0C	TS_PUSH	Time Stamp Event Push Register	<a href="#">Section 3.5.4.4</a>
10h-1Ch	Reserved	Reserved	Reserved
20h	INTSTAT_RAW	Interrupt Status Raw Register	<a href="#">Section 3.5.4.5</a>
24h	INTSTAT_MASKED	Interrupt Status Masked Register	<a href="#">Section 3.5.4.6</a>
28h	INT_ENABLE	Interrupt Enable Register	<a href="#">Section 3.5.4.7</a>
2Ch	Reserved	Reserved	Reserved
30h	EVENT_POP	Event Interrupt Pop Register	<a href="#">Section 3.5.4.8</a>
34h	EVENT_LOW	Lower 32-bits of the event value	<a href="#">Section 3.5.4.9</a>
38h	EVENT_HIGH	Upper 32-bits of the event value	<a href="#">Section 3.5.4.10</a>
3Ch-FCh	Reserved	Reserved	Reserved

1. The actual addresses of these registers are device specific. See your device-specific data manual to verify the register addresses.

**图 5: KeyStone1 CPTS 寄存器列表**

CPTS 配置步骤如下：

1) 复位 CPTS 模块；

CPTS 的复位通过将 TS\_CONTROL 寄存器中的 CPTS\_EN 位域写 0 来实现。

2) 选择 CPTS 时钟源；

CPTS 时钟源在 CPTS\_RFTCLK\_SEL 寄存器中选择，有四种时钟源可以选择：SYSCLK3, SYSCLK4, TIMI0 和 TIMI1。其中 SYSCLK3 是 1/2 CPU 时钟，SYSCLK4 是 1/3 CPU 时钟，TIMI0 和 TIMI1 分别是两个外部时钟输入 pin 脚，原本是作为 Timer64 的输入时钟，这里也可以复用为 CPTS 的时钟源。

3) 使能 CPTS 模块；

CPTS 的使能通过将 TS\_CONTROL 寄存器中的 CPTS\_EN 位域写 1 来实现。当 CPTS 使能后，CPTS 内部的时间计数器就会根据输入时钟的频率开始记数。

#### 4) 使能 CPTS 中断；

CPTS 模块中断使能通过配置 INT\_EABLE 来完成。CPTS 可以产生多种事件的中断，主要有：

- Push 中断：用户手动触发一个 Push 事件，该事件会记录当前 CPTS 的时间戳，并触发中断；
- 计数器翻转中断：当 CPTS 的 32bit 计数器从 0xFFFFFFFF 变为 0x00000000 时会自动触发一个中断；
- 计数器半翻转中断：当 CPTS 的 32bit 计数器从 0x7FFFFFFF 变为 0x80000000 时会自动触发一个中断；
- 以太网 PTP 报文接收中断：当接受 1 个以太网 PTP 报文时触发中断；
- 以太网 PTP 报文发送中断：当发送 1 个以太网 PTP 报文时触发中断；

### 4.1.2 CPSW 的配置

CPSW 是属于 Switch 的组成部分，可以通过配置 CPSW 让 Switch 识别 PTP 报文。CPSW 的报文识别功能也通过配置寄存器的方式来实现。需要说明的是，由于 Switch 对外有两个接口（port1 和 port2），因此对应的寄存器也有两份。其寄存器列表如下图所示：

078h	P1_TS_CTL	Port 1 Time Sync Control Register	<a href="#">Section 3.5.1.19</a>
07Ch	P1_TS_SEQ_LTYPE	Port 1 Time Sync LTYPE (and SEQ_ID_OFFSET)	<a href="#">Section 3.5.1.20</a>
080h	P1_TS_VLAN	Port 1 Time Sync VLAN2 and VLAN2 Register	<a href="#">Section 3.5.1.21</a>
0A8h	P2_TS_CTL	Port 2 Time Sync Control Register	<a href="#">Section 3.5.1.28</a>
0ACh	P2_TS_SEQ_LTYPE	Port 2 Time Sync LTYPE (and SEQ_ID_OFFSET)	<a href="#">Section 3.5.1.29</a>
0B0h	P2_TS_VLAN	Port 2 Time Sync VLAN2 and VLAN2 Register	<a href="#">Section 3.5.1.30</a>

图 6: KeyStone1 CPSW 寄存器列表

配置步骤如下：

#### 1) 配置 LTYPE；

每种以太网报文都有一个类型，CPSW 将根据这个类型配置侦测用户需要的报文。根据以太网报文的定义，IEEE1588 的 PTP 报文的类型为 0x88F7。用户需要将这个类型写入 Pn\_TS\_SEQ\_LTYPE 中（n 表示端口号）。

#### 2) 配置 VLAN ID（如果使能了 VLAN 报文的话）；

用户可以定义需要的 VLAN ID，在 Pn\_TS\_VLAN 寄存器里面配置。

#### 3) 使能 CPSW 检测模块；

CPSW 的使能包括接收和发送的使能，需要用户配置 Pn\_TS\_CTL 里面对应的位域。

## 4.2 时间偏差的计算和调整

Gbe Switch 完成对 PTP 报文的时间戳记录之后，用户需要根据时间戳计算当前需要调整的时间数。由于真实系统时间是基于 Timer64 的时间戳，因此用户在计算 CPTS 的时间戳之后需要换算到真实系统时间。

为了方便说明和计算，在下面的配置中，假定 CPU 时钟为 1GHz，CPTS 采用 1/3 CPU 时钟，Timer64 的定时周期为 1ms。

### 4.2.1 CPTS 时钟到系统时钟

由于 CPTS 的时间戳只有 32bit，因此 CPTS 翻转后时间戳不能代表真实时间，用户需要记录翻转的次数以获得  $T_{cpts}$ 。那么换算关系如下：

$$T_{cpts} = N * (0xFFFFFFFF+1) / (10^9 * 1/3) + TIME\_STAMP\_CPTS$$

其中，N 代表 CPTS 翻转次数，TIME\_STAMP\_CPTS 代表当前 CPTS 的 32bit 时间戳。

Timer64 是以 1ms 为周期进行记数的定时器，其输入时钟为固定的 1/6 CPU 时钟，因此可以算出 Timer64 的计数器范围为 0~166666（Timer64 采用连续记数方式）。因此可以得出如下公式：

$$T_{timer64} = TIME\_STAMP\_TIMER * 6$$

其中 TIME\_STAMP\_TIMER 代表当前 Timer64 的时间戳

当 Timer64 和 CPTS 完成使能，用户可以通过读取两者时间戳的方式获取两者的在 1ms 内的基本时间戳。假设读取之后两者时间戳偏差为  $T_{offset}$ ，由于 Timer64 和 CPTS 同源，因此可以认为此偏差在 CPTS 或 Timer64 复位前保持不变。

$$T_{offset} = \text{mod}(T_{cpts}, 10^6) - T_{time64}$$

### 4.2.2 时间调整

1588 的时间调整包括调频和调相两部分。通常来说，需要先保证频率同步，然后再进行相位调整。

调频的部分不需要 Timer64 的参与，需要比对 PTP 报文中的时间戳差值和 CPTS 记录的时间戳，处理如下：

$$\Delta_{eth} = T_{eth1} - T_{eth0}$$

$$\Delta_{cpts} = T_{cpts1} - T_{cpts0}$$

其中  $T_{eth1}$  和  $T_{eth0}$  分别表示收到的两个 PTP 报文中自带的主时钟时间戳（纳秒级），而  $T_{cpts1}$  和  $T_{cpts0}$  代表这接收这两个 PTP 报文时由 CPTS 得到的时间。考虑到传输对称性，这里可以不考虑传输过程时延的影响。

用户通过比对  $\Delta_{eth}$  和  $\Delta_{cpts}$  来确定当前系统频率与主时钟频率的差别。

当调频过程基本完成，即  $\Delta_{eth} \approx \Delta_{cpts}$  时可以进行相位调整。调相的主要工作是调整 Timer64 的输出脉冲，由于输出脉冲以 1ms 为周期，因此只需计算在 1ms 内的偏差即可。相位调整的主要原理如下：

$$\Delta_{offset} = \text{mod}(T_{eth}, 10^6) - \text{mod}(T_{cpts}, 10^6) + T_{offset} + T_{tripdelay}$$

其中， $T_{eth}$  表示接收到的 PTP 报文的主时钟时间， $T_{cpts}$  表示该 PTP 报文对应的 CPTS 时间， $T_{offset}$  表示 CPTS 和 Timer64 的时间差， $T_{tripdelay}$  表示网络传输时间。

按照计算后，Timer64 的输出周期需要满足如下条件：

$$1ms \rightarrow \dots \rightarrow 1ms \rightarrow (1+\Delta_{offset}) ms \rightarrow 1ms \rightarrow \dots \rightarrow 1ms$$

### 4.3 KeyStone1 1588 方案的说明

KeyStone1 的 1588 方案主要依靠配置 Gbe Switch 和软件换算时间戳两部分来完成。需要强调的是，在软件换算时间的部分，这涉及到具体的 1588 时间戳计算算法。基于应用的需求和精度需求，许多算法往往比这里介绍的更复杂，但是原理上来说都是相同的。这也是 KeyStone 架构使用软件实现 1588 部分的一个优势，用户可以灵活使用软件功能来提高 1588 的同步精度。

## 5 小结

从目前来看，IEEE1588v2 标准已经越来越多的应用在通讯网络中。由于 IEEE1588v2 标准也还在不断的完善中，因此从技术角度出发，熟悉 1588 同步原理，了解并设计不同场景中的 1588 方案，不论是从芯片设计角度或者基站整体解决方案角度来说，都是十分必要的。

本文简要的介绍了 IEEE1588 的原理，并分类分析了 1588 同步功能在 PHY 以及 KeyStone1 和 KeyStone2 芯片上的应用方案。以太网 PHY 实现 1588 同步的精度最高，但是成本相对比较昂贵；德州仪器的 KeyStone 架构上集成了支持 1588 的 Switch，用户可以通过 KeyStone 架构灵活实现 1588 同步功能，也为用户的方案设计提供了更多的选择。

## 参考文献

- [1] *IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems*
- [2] <http://www.ti.com/product/tms320tci6616>
- [3] <http://www.ti.com/product/tms320tci6618>
- [4] <http://www.ti.com/product/tms320tci6614>
- [5] <http://www.ti.com/product/tms320tci6612>
- [6] <http://www.ti.com/product/tms320c6670>
- [7] <http://www.ti.com/product/tci6636k2h>
- [8] <http://www.ti.com/product/tci6634k2k>
- [9] <http://www.ti.com/product/tci6638k2k>
- [10] <http://www.ti.com/product/tci6630k2l>
- [11] *DP83640 Precision PHYTERTM*
- [12] *KeyStone Architecture Gigabit Ethernet (GbE) Switch Subsystem (SPRUGV9B)*
- [13] *Packet Accelerator (PA) for KeyStone Devices User's Guide (SPRUGS4A)*
- [14] *64-Bit Timer (Timer64) for KeyStone Devices User's Guide (SPRUGV5A)*

## 重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权根据 JESD46 最新标准, 对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权根据 JESD48 最新标准中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。仅在 TI 保证的范围内, 且 TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非适用法律做出了硬性规定, 否则没有必要对每种组件的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用 TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何 TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了 TI 组件或服务的组合设备、机器或流程相关的 TI 知识产权中授予的直接或隐含权作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从 TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是 TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于 TI 的产品手册或数据表中 TI 信息的重要部分, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任或义务。复制第三方的信息可能需要服从额外的限制条件。

在转售 TI 组件或服务时, 如果对该组件或服务参数的陈述与 TI 标明的参数相比存在差异或虚假成分, 则会失去相关 TI 组件或服务的所有明示或暗示授权, 且这是不正当的、欺诈性商业行为。TI 对任何此类虚假陈述均不承担任何责任或义务。

客户认可并同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由 TI 提供, 但他们将独力负责满足与其产品及其应用中使用的 TI 产品相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意, 他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识, 可预见故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因在此类安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中, 为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。TI 的目标是利用此类组件帮助客户设计和创立其特有的可满足适用的功能安全性标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此, 此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备) 的授权许可, 除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或“增强型塑料”的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的。购买者认可并同意, 对并非指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用, 其风险由客户单独承担, 并且由客户独力负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的产品, 这些产品主要用于汽车。在任何情况下, 因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要求, TI 不承担任何责任。

	产品		应用
数字音频	<a href="http://www.ti.com.cn/audio">www.ti.com.cn/audio</a>	通信与电信	<a href="http://www.ti.com.cn/telecom">www.ti.com.cn/telecom</a>
放大器和线性器件	<a href="http://www.ti.com.cn/amplifiers">www.ti.com.cn/amplifiers</a>	计算机及周边	<a href="http://www.ti.com.cn/computer">www.ti.com.cn/computer</a>
数据转换器	<a href="http://www.ti.com.cn/dataconverters">www.ti.com.cn/dataconverters</a>	消费电子	<a href="http://www.ti.com.cn/consumer-apps">www.ti.com.cn/consumer-apps</a>
DLP® 产品	<a href="http://www.dlp.com">www.dlp.com</a>	能源	<a href="http://www.ti.com.cn/energy">www.ti.com.cn/energy</a>
DSP - 数字信号处理器	<a href="http://www.ti.com.cn/dsp">www.ti.com.cn/dsp</a>	工业应用	<a href="http://www.ti.com.cn/industrial">www.ti.com.cn/industrial</a>
时钟和计时器	<a href="http://www.ti.com.cn/clockandtimers">www.ti.com.cn/clockandtimers</a>	医疗电子	<a href="http://www.ti.com.cn/medical">www.ti.com.cn/medical</a>
接口	<a href="http://www.ti.com.cn/interface">www.ti.com.cn/interface</a>	安防应用	<a href="http://www.ti.com.cn/security">www.ti.com.cn/security</a>
逻辑	<a href="http://www.ti.com.cn/logic">www.ti.com.cn/logic</a>	汽车电子	<a href="http://www.ti.com.cn/automotive">www.ti.com.cn/automotive</a>
电源管理	<a href="http://www.ti.com.cn/power">www.ti.com.cn/power</a>	视频和影像	<a href="http://www.ti.com.cn/video">www.ti.com.cn/video</a>
微控制器 (MCU)	<a href="http://www.ti.com.cn/microcontrollers">www.ti.com.cn/microcontrollers</a>		
RFID 系统	<a href="http://www.ti.com.cn/rfidsys">www.ti.com.cn/rfidsys</a>		
OMAP应用处理器	<a href="http://www.ti.com.cn/omap">www.ti.com.cn/omap</a>		
无线连通性	<a href="http://www.ti.com.cn/wirelessconnectivity">www.ti.com.cn/wirelessconnectivity</a>	德州仪器在线技术支持社区	<a href="http://www.deyisupport.com">www.deyisupport.com</a>

邮寄地址: 上海市浦东新区世纪大道 1568 号, 中建大厦 32 楼 邮政编码: 200122  
Copyright © 2013 德州仪器 半导体技术 (上海) 有限公司