

EtherCAT时钟

EtherCAT时钟

- 一、分布时钟的概述
- 二、传输延时和时钟初始偏移量的测量
- 三、时钟同步

分布时钟 (DC , Distributed Clock) 可以使所有EtherCAT设备使用相同的系统时间, 从而控制各设备任务的同步运行。从站设备可以根据同步的系统时间产生同步信号, 用于中断控制或触发数字量输入输出。支持分布时钟的从站称为DC从站。分布时钟具有以下功能:

- 实现从站之间的时钟同步
- 为主站提供同步时钟
- 产生相同的输出信号SYNC
- 为输入事情产生精确的时间标记
- 产生同步中断
- 同步更新数字量输出
- 同步采样数字量输入

一、分布时钟的概述

分布时钟机制使所有的从站都同步于一个参考时钟, 参考时钟最好选取主站连接的第一个具有分布时钟功能的从站作为参考时钟, 以这个参考时钟来同步其他设备和主站的时钟。为了实现精确的时钟同步控制, 就要测量和计算数据传输延时和本地时钟漂移, 并补偿本地时钟。

- a、系统时间

系统时间是分布时钟使用的系统计时。系统时间从2000年1月1日零点开始, 使用64为二进制变量表示, 单位为纳秒(ns), 最大可以计时500年。也可以使用32位二进制变量表示, 32为时间值最大可以表示4.2s, 通常用于通信和时间标记。

- b、参考时钟和从时钟

EtherCAT协议规定主站连接的第一个具有分布时钟功能的从站作为参考时钟, 其他从站的时钟称为从时钟。参考时钟被用于同步其他从设备的从时钟和主时。参考时钟体系EtherCAT系统时间。

- c、主站时钟

EtherCAT主站也具有计时功能, 称为主站时钟。主站时钟可以再分布时钟系统中作为从时钟被同步。在初始化阶段, 主站可以按照系统时间的格式发送主站时间给参考时钟从站, 使分布时钟使用系统时间计时。

- d、本地时钟、其初始偏移和时钟漂移

每一个DC从站都有本地时钟, 本地时钟独立运行, 使用本地时钟信号计时。系统启动时, 各从站的本地时钟和参考时钟之间有一定的差值, 称为时钟初始偏移量。在运行过程中, 由于参考时钟和DC从站使用各自的时钟源等原因, 他们的计时周期存在一定的漂移, 这将导致时钟运行不同步, 本地时钟产生漂移。因此对时钟初始漂移和时钟漂移都进行补偿。

- e、本地系统时间

每个DC从站的本地时钟经过补偿和同步之后都产生一个本地系统时间，分布式时钟同步机制就是使各个从站的本地系统时间保持一致。参考时钟也是相应从站的本地系统时钟。

• f、传输延时

数据帧在从站之间传输时会产生一定的延迟，其中包括设备内部和物理连接延迟。所在同步时钟时，应该考虑参考时钟与各个从时钟的传输延时。

- 以上时间量的定义如下表,n代表的是第n个从站：

符号	描述
tsys_ref	参考时钟时间，作为系统时间
tlocal(n)	各从站本地时钟的时间，独立运行
tsys_local(n)	各从站本地系统时间，同步后应该等于tsys_ref
Toffset(n)	从时钟和参考时钟之前的初始偏移量
Tdelay(n)	参考时钟到各从时钟之间的传输延时

二、传输延时和时钟初始偏移量的测量

分布时钟初始化，首先测量参考时钟到所有其他从时钟之间的传输延时，将其写入各从站；并计算得到从时钟与参考时钟之间的偏移量，将其写入从站时钟。测试原理如图4.8，横坐标为参考时钟tsys_ref，纵坐标为某一个从时钟的本地时间tlocal(n)，假设tlocal(n)>tsys_ref，它们的关系又下式确定：

$$tlocal(n) = tsys_ref + Toffset(n) \tag{2-1}$$

传输延时和时钟初始偏移量的测量和计算步骤如下：

- 主站发送一个广播写命令数据帧，数据帧到达每个从站后每个从站设备分别保存每个端口接收到以太网帧前导符的第一位（SOF,start of Fream）的时刻。根据图4.8，数据帧到达参考时钟时tsys_ref为T1时刻，到达从站n时从时钟本地时钟rlocal(n)的时刻为T2(n)，可以建立一下关系：

$$T2(n) - T1 = Toffset(n) + Tdelay(n) \tag{2-2}$$

式（2-2)整理后成为：

$$Toffset(n) = T2(n) - T1 - Tdelay(n) \tag{2-3}$$

- 数据帧经过多有的从站后返回时，到达从站n时本地时钟tlocal(n)的时刻为T3(n),到达参考时钟从站tsys_ref的时刻为T4；



图 4.8 传输延时和时钟偏移量测量原理

- 假设线缆延时均匀，并且所有从站设备的处理和转发延时都一样，根据图4.8中的几何关系，从站n到参考时钟的传输延时可以由下式计算：

$$Tdelay(n) = [(T4-T1) - (T3'(n)-T2'(n))]/2 = [(T4-T1)-(T3(n)-T2(n))]/2 \tag{2-4}$$

主站读取从站保存的时间值，使用公式（2-4）计算各个从站的传输延时 $T_{delay}(n)$ ，并写入到各个从站中；为了得到准确的传输延时，主站可以多次测量，然后求平均值；在初始化后的运行中也可以随时测量传输延时，以补偿环境变化对传输延时的影响。

- 主站由公式（2-3）计算出初始偏移量 $T_{offset}(n)$ ，并写入各个从站。初始偏移量只用于对从时钟的粗略同步且只需要测量一次。

三、时钟同步

每个设备的本地时钟时自由运行的，会与参考时钟产生漂移。为了使所有设备都以相同的绝对系统时间运行，主站计算参考时钟与每个从站设备时钟之间的偏移量 $T_{offset}(n)$ ，并写入从站，就可以计算出从时钟的本地系统时间。利用 $T_{offset}(n)$ 可以再不改变自由运行的本地时钟的情况下实现时钟同步。每个DC从站使用自己的本地时间 $t_{local}(n)$ 和本地偏移量 $T_{offset}(n)$ 通过公式（2-5）计算它的本地系统时间副本。这个时间用来产生同步信号和锁存信号时间标记，供从站微处理器使用。

$$tsys_local(n) = t_{local}(n) - T_{offset}(n) \quad (2-5)$$

在测得传输延时和时钟初始偏移量之后，主站开始同步各从站的时钟。主站使用ARMW或FRMW命令发送数据报文，从参考时钟从站读取它的当前系统时间 $tsys_ref$ 并写入从时钟的从站设备中。每个从时钟从站的时间控制环在数据帧的SOF到达时锁存本地时钟时刻 $t_{local}(n)$ ，根据公式（2-5）计算得到本地系统时间 $tsys_local(n)$ 。根据接收到的参考时钟时间 $tsys_ref$ ，并利用本地保存的传输延时 $T_{delay}(n)$ ，计算得到本地时钟漂移量 Δt ：

$$\Delta t = tsys_local(n) - T_{delay}(n) - tsys_ref = t_{local}(n) - T_{offset}(n) - T_{delay}(n) - tsys_ref \quad (2-6)$$

如果 Δt 是正数，表示本地时钟运行比参考时钟快，必须减慢运行。如果 Δt 是负数，表示本地时钟运行比参考时钟慢，必须加快运行。时间控制环路调整本地时钟的运行速度。