

用 GPS 实现分布式控制系统的时间同步

贺 鹏

(三峡大学 现代教育技术中心, 湖北 宜昌 443002)

摘要: 描述了时间同步的基本概念, 介绍了一种授时型 GPS 接收机的时间输出特征, 讨论了用 GPS 实现分布式控制系统时间同步的基本原理, 并对同步结果进行了分析。

关键词: 时间同步; 全球定位系统; 分布式控制系统

中图分类号: TP277 TP393.09 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-7081(2001)01-0044-04

时间同步是计算机应用系统的一个最基本的要求, 集中式系统的时间无二义性, 而分布式控制系统本身却没有标准的时间统一系统或共同的时间基准^[1], 所以必须建立基于分布式控制系统的时间服务系统或时间服务器, 以实现系统的时间统一。

1 基本概念

首先分析简化的计时模型^[2]。设自然增长的物理时间为 t , 任意计时系统的时间输出为 $T(t)$, 则用于该系统时间输出的模型可描述为

$$T(t) = T_0 + (1 + \beta)t \quad (1)$$

式中, T_0 为该系统相对物理时间 t 开始计时运行的起始值; $(1 + \beta)$ 为该系统相对物理时间 t 的增长系数, 可表示为

$$\frac{dT(t)}{dt} = 1 + \beta \quad (2)$$

很显然, 如果

$$\frac{dT(t)}{dt} = 1$$

即 $\beta = 0$, 则表明该计时系统和自然增长的物理时间完全同步, 这是一种理想状态。而在任何条件下总存在 $\beta \neq 0$, 即该计时系统与物理时间 t 之间总存在一个增长偏差系数, 通常用该计时装置的最大漂移速率来描述, 它与计时装置的物理性质有关。

如果对任一计时系统总存在一个最大的 β , 使得

$$1 - |\beta| \leq \frac{dT(t)}{dt} \leq 1 + |\beta|$$

成立, 且在规定的时间内与物理时间的最大钟差 $2\Delta t\beta$ (正负漂移) 不超过给定的 δ , 那么就认为该计时系统与物理时间同步。为保持这种同步关系, 势必定期刷新该计时系统的时钟频率, 或定期进行同步或校准。其刷新周期为

$$\epsilon = \Delta t \leq \frac{\delta}{2\beta}$$

作为特例, 当用世界协调时 UTC 记录物理时间 t 时, 所有计时系统均可与 UTC 同步。使用卫星将标准的 UTC 时间信号传递到各应用系统是实现在高精密度时间同步最理想的手段。在我国实用化程度

收稿日期: 2000-12-01.

作者简介: 贺 鹏(1965—), 男, 副教授。

较高的是美国的全球导航定位系统 GPS, 它本身是一个精确定位系统, 但同时也能传递高精密度时间信息, 其民用 C/A 码的时间比对精度为 $0.1 \mu\text{s}$, 比 UTC 的同步精度优于 $1 \mu\text{s}$. 我国的双星系统演示试验授时准确度达 20 ns , 其成果的应用有待于我国导航卫星系统的完全建立^[3]. 本文结合以前的工作^[4], 介绍一种利用 GPS 接收机输出的时间信息同步 DCS 的各主机计时系统, 以实现应用系统时间同步的基本原理和技术.

2 GPS 时间输出特征

GPS 接收机分定位型和授时型, 实际应用的分布式控制系统均使用授时型 GPS 接收机作为系统的时间服务器, 实现应用系统与 UTC 的时间同步. 以国家授时中心研制开发的 GPS 2000 型为例, 说明 GPS 接收机的时间输出特征.

如图 1 所示, GPS 2000 型接收机输出两种时间信号: 一是同步脉冲信号, 包括间隔为 1 s 的脉冲信号 1 pps , 以及间隔为 1 m 和 1 h 的 1 ppm 和 1 pph ; 二是时间码信号, 通过 RS232C 接口和 RS422 接口输出与 1 pps 脉冲前沿对应的国际标准时间和日期, 即 1 pps 的时间标记. 同步脉冲信号和时间码信号比 UTC 的同步精度均优于 $1 \mu\text{s}$. 另外, 还有频率和 IRIG-B 码输出.

1 pps 、 1 ppm 和 1 pph 均输出与 UTC 的同步误差不得超过 $1 \mu\text{s}$ 的同步脉冲信号, 该信号为正脉冲、TTL 电平, 其输出阻抗为 50Ω . 其中, 1 pps 脉冲宽度为 100 ms , 另两种脉冲信号宽度为 1000 ms .

三路 RS232C 接口均采用 DB 9 针型插座, 异步单工方式, 只对 TXD 和 GND 进行了定义, 其他悬空. 一路接口传输 GPS 数据流, 另两路接口传输时频码数据.

GPS 数据流接口每帧 10 位, ASCII 码, 无校验, 数据速率 4800 bps . 按 6 条语句格式可从 GPS 数据流中读取包括时、分、秒和日、月、年在内的定时、定位及卫星状态信息.

时频码数据接口每帧 10 位/11 位可选, 数据位为 BCD 码, 字符位为 ASCII 码, 数据速率 $4800 \text{ bps}/9600 \text{ bps}$ 可选. 数据格式为

$$\langle B \rangle \text{ HHMMSSYYM}_2\text{M}_2\text{DD} \langle F \rangle \text{ FFF}_1\text{F}_1\text{F}_2\text{F}_2 \langle C \rangle \text{ HHM}_1\text{M}_1\text{SS} \langle \text{CR} \rangle$$

式中, $\langle B \rangle$ 、 $\langle F \rangle$ 、 $\langle C \rangle$ 和 $\langle \text{CR} \rangle$ 为 ASCII 码, 其他为 BCD 码. 以 $\langle B \rangle$ 开始的第一部分表示的内容为时、分、秒和年、月、日信息. 时间码信息还可以用 IRIG-B 码格式输出.

3 时间同步原理

用 GPS 实现分布式控制系统时间同步的方法并不是唯一的, 本文讨论一种两级同步方法. 其基本原理是: 将 GPS 2000 型接收机输出的时间码信号用作系统级的时间同步, 而同步脉冲信号用作装置级的时钟同步. 系统级时间同步是指用时间码周期性地设置 DCS 中各服务器节点的系统时间, 然后通过服务器将初同步后的时间广播到其他主机节点, 达到统一系统时间的目的. 因此, 可依据系统对任务或事件实时性要求的程度, 在整点、整分甚至整秒时刻通过串行接口为系统提供标准的时间码信号. 同样, 根据采样对装置时钟分辨率的要求, 可分别采用 1 pps 、 1 ppm 或 1 pph 同步脉冲信号对装置级时钟进行同步.

假设 DCS 中的服务器和同步装置均具有 10^{-7} 级漂移率的计时器, 系统级的应用和装置级的应用对时间的分辨率要求分别为 1 ms 和 $1 \mu\text{s}$, 那么根据上式, 可计算刷新周期分别为 $\epsilon_1 \leq 5 \times 10^3 \text{ s}$, $\epsilon_2 \leq 5 \text{ s}$,

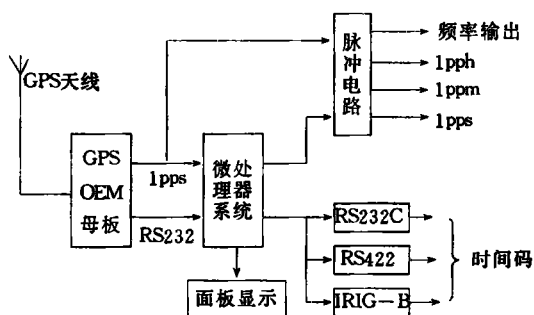


图1 GPS 接收机时间输出示意图

即取 ϵ_1 为 1h(3600s) 和 ϵ_2 为 1s, 完全可以满足周期同步的要求。

图 2 给出了按整点(每 1h)为系统提供标准时间码, 用 1pps 脉冲信号同步装置时钟, 以实现整个应用系统时间同步的两级同步原理示意图。

系统级时间同步的基本方法是: (1) 整点时刻与 UTC 1pps 脉冲前沿对应的的时间码信号到, 启动服务器时间同步处理后台进程; (2) 后台进程接收时间码, 将其转换为以 s 为单位的长整型数, 设置服务器系统时钟, 用紧缩传递方法将长整型数转换为 ASCII 流, 通过 Socket 向其他主机节点广播; (3) 其他主机接收 ASCII 流, 将其还原为长整型数, 设置本机系统时间。

装置级的时钟同步要求比系统级的同步要求要高。记录和检测装置的计数器频率各有不同, 导致相互之间存在较大的计时误差。若采用 1pps 脉冲对所有的装置时钟进行同步, 则能很好地消除这种误差。

假如同步装置以 8051 为控制芯片, 那么可用 GPS 的 1pps 脉冲去同步 8051 定时计数器, 计数器 1s 接收 1 次 1pps 脉冲, 产生 1 次中断。依据记录和检测装置的具体应用, 对中断服务程序进行编程, 通过精确计算指令周期, 可使用 8051 的并口输出用于记录和检测各种信号。不难计算, 用 1s 1 次的 1pps 脉冲去同步所有的同步装置, 其装置级的时钟同步误差完全可以控制在 μs 级。因此, 可以很好地实现对分辨率要求在 μs 级事件的记录和检测。

4 分析与结论

按上述同步原理, 可对系统级的时间同步误差进行估计。设 Δt_1 、 Δt_2 和 Δt_3 分别表示由上述同步方法每一步带来的延迟误差, Δt_4 表示各主机系统时钟计时的误差, 则总的误差为

$$\Delta T = \sqrt{\Delta t_1^2 + \Delta t_2^2 + \Delta t_3^2 + \Delta t_4^2}$$

其中, 因第(1)步和第(3)步过程较简单, 其延迟不会超过 100 μs 。第(2)步过程较复杂, 包括编解码延迟、数据类型转换延迟和数据传输延迟等, 与服务器性能和网络性能有关; 若运行于服务器的后台进程按 100 条语句测算(最多不超过 100 条语句), 并考虑到该进程按最高优先级运行, 则 Δt_2 不会超过 200 μs 。另外, 各主机的硬件系统计时误差与内部计数器频率有关, 对于应用较多的频率为 5 MHz 的计数器, 其 1h 累积误差可达 720 μs 。于是 $\Delta T = 760.53 \mu\text{s} < 1 \text{ms}$ 。可见, 1h 内系统级的时间同步误差可控制在 1ms 以内。

依据简化的计时模型, 举例计算了应用系统相对于 UTC 同步误差控制在 ms 级和 μs 级的两个典型同步周期, 即 1h 和 1s, 然后利用 GPS 2000 型接收机实现了 DCS 系统和装置两级同步。该技术已成功地应用于葛洲坝某电厂。ms 级的时间同步误差完全可以满足一般高级应用程序的要求。并且, 对于上位机, 整点同步还起到了预同步的作用。而装置级 1s 1 次的 1pps 时钟秒同步, 通过软件编程, 可实现对分辨率要求在 μs 级的各类事件的记录和检测。通过两级同步, 可使整个 DCS 的时间都统一到 GPS 提供的高精度标准时间。

参考文献:

- [1] 旷海蓉, 董钦奕. 时间服务的设计[J]. 计算机科学, 1998(6): 99~102.
- [2] Linkwitz K, Hangleiter U. High precision navigation[M]. New York: Academic Press, 1992.
- [3] 张秀忠, 贺 鹏. 卫星时间服务试验与展望. 陕西天文台台刊, 1992, 15(2): 200~207.

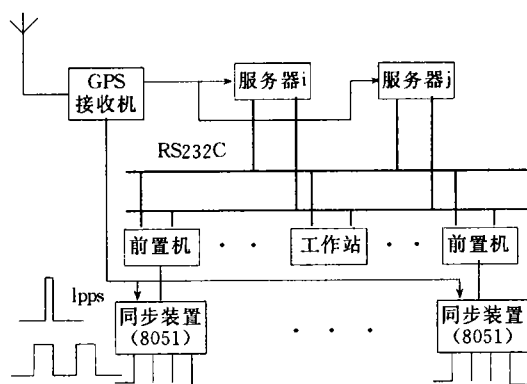


图2 分布式控制系统时间同步原理

[4] 贺 鹏,曾维鲁. 分布式数据采集与监控系统的时间同步及其软件编程. 计算机工程, 2000(7):66~68.

[责任编辑 王迎春]

Implementation of Time Synchronization of DCS with GPS

He Peng

(Center of Education Technology, Three Gorges Univ., Yichang 443002)

Abstract The basic concept of time synchronization is described. The feature of time export of the GPS receiver for time service is introduced. The fundamental principle of realization of time synchronization in DCS with GPS is discussed. And the result of time synchronization is analyzed.

Keywords time synchronization; global positioning system (GPS); distributed control system (DCS)

关 键 词

关键词是科技论文的文献检索标识,是表达文献主题概念的自然语言词汇。科技论文的关键词是从其题名、层次标题和正文中选出来的,能反映论文主题概念的词或词组。

关键词包括两类词:

1、叙词(正式主题词),指收入《汉语主题词表》(叙词表)中可用于标引文献主题概念的即经过规范化的词或词组。

2、直接从文章的题名、摘要、层次标题或文章其他内容中抽出来的,能反映该文主题概念的自然语言(词或词组),即汉语主题词表中的上位词、下位词、替代词等非正式主题词和词表中找不到的自由词。