

# 异地气象卫星地面站的时间 同步方案及误差分析

朱爱军<sup>1</sup> 赵立成<sup>1</sup> 何 成<sup>2</sup>

(1. 国家卫星气象中心, 北京 100081; 2. 和成系统有限公司)

**提 要:** 时间统一是跨区域多个气象卫星地面站顺利完成卫星数据接收任务及全系统业务正常运行和控制的重要要素。时间的标准有世界时、原子时及世界协调时等, 提供时间标准的源有专用时统设备、全球定位系统 (GPS) 授时设备、天文台短波广播接收设备等。系统内的时间差异将使系统不能协调工作, 导致接收任务的部分失败或完全失败。首先介绍了时间标准, 和时间在业务系统中传输的常用方法, 然后介绍一种利用 GPS 授时设备提供时码源, 实现全系统时间统一的解决方案, 最后讨论了采用该方法给系统授时的时间误差分析方法。该方案在气象卫星地面应用系统中成功应用, 并可靠工作。此方案在多雷达组成的探测网, 自动气象站网及其他气象业务网络中也将有广泛的应用前景。

**关键词:** 时间标准 时码源 GPS 授时 解决方案 误差分析

## Solution and Error Analysis for Time Synchronization among Meteorological Satellite Ground Stations at Different Regions

Zhu Aijun<sup>1</sup> Zhao Licheng<sup>1</sup> He Cheng<sup>2</sup>

(1. National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081; 2. Integrated System Ltd)

**Abstract:** Time synchronization is an important factor for operational running of meteorological satellite ground stations. time standards consist of Universal Time (UT), Atomic Time (AT) and Universal Time Coordinated (UTC). Time services could be done by short-wave radio, GPS satellite and other special instruments. Time error could lead the system

running in a disharmony way, and might make the task failure partially or completely. Firstly, time transmission way and time standards used in the operational system is introduced. Secondly, time service by GPS satellite, which can be adopted to achieve the time synchronization, is also introduced. Finally, the error of the above discussed time service is analyzed. The project has been applied to operational ground system of meteorological satellite successfully and will benefit to other applications, such as radar network systems, automatic meteorological network stations and so on.

**Key Words:** time standard time source time service by GPS satellite solution error analysis

## 引言

在气象卫星地面应用系统中, 保证全系统有高精度的统一时间和频率源是全系统能协调一致工作的前提。以气象卫星地面应用系统为例, 系统中有多个地面站, 一个运行控制中心、一个数据处理与应用服务中心等, 且这些系统分布在不同的地区。运行控制中心要控制和调度各接收站及数据处理与应用服务中心进行数据的获取、处理、遥感产品的生成、分发及卫星遥测数据的处理等, 这种庞大的跨区域的系统内必须有一个统一的时间标准才能保证全系统及星地协调

工作。系统内不同设备所采集的信号及作业的时间一致性要求较高, 选择合适的时间统一时码源就显得非常重要。该系统中, 在保证时间精度的前提下, 选择可靠、经济、成熟的解决方案, 包括时间标准、格式、传输方式等, 是系统建设中要首先考虑的问题。为了适应这种要求, 很多厂家开发了各种时码产品用于产生标准的串行时间码向设备发送, 设备对接收到的时间码进行解调, 产生出设备所需的绝对时间和各种控制信号。

传统的时间统一方法是, 根据系统分布的物理位置, 各配备一套高精度的时统设备, 保证本地系统的时间和频率精度 (如图 1 所示)。

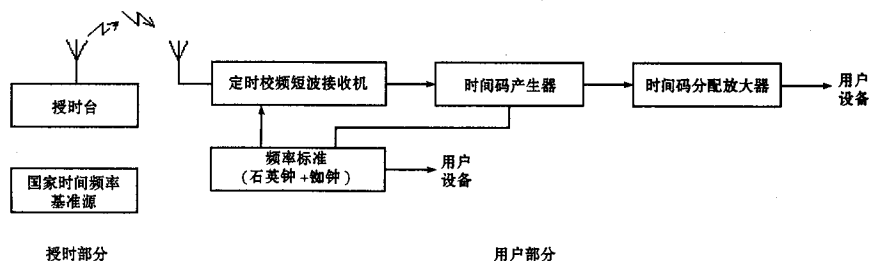


图 1 传统的时间统一系统框图

国家时间频率标准 (如我国的陕西天文台), 通过短波广播, 用户端通过定时校频短波接收机接收授时台发送的标准时间频率信号, 来实现本地时间信号与标准时间信号

的同步。本地的时钟源 (如: 石英晶振或铷钟) 提供标准的频率信号 (一般为 5 MHz), 时间码产生器根据标准频率产生本地时钟, 时间码分配放大器将时间码产生的

标准时间根据接口标准的规定变换为与用户设备接口标准相符的时间码信号并经分路放大后送往用户设备。这种时间统一的缺点是系统复杂, 价格贵, 缺乏机动性, 授时短波接收设备受电波传输及电磁环境的影响较大。

现在的时间统一方法采用卫星授时, 这种授时的特点是适合大范围、跨区域、多用户的授时, 由于卫星到用户的无线电波是直达波, 同时大部分时间在近似真空中传播, 受大气折射等的影响比靠电离层反射实现远距离传播的方法要小。卫星授时精度高。卫星授时利用了全球定位系统 (GPS) 的高精度的星载钟, 第三代 GPS 卫星 (BLOCK II R) 用氢钟代替了以前的铷钟, 有更高的精度。卫星授时一般利用 GPS 卫星接收机及时间服务器, 使分布在国内外的地面接收站实现时间的统一, 满足全系统运行。GPS 授时系统框图见图 3 所示。

每颗 GPS 卫星上有 1 台主用钟和 2~3 台备用钟, 时钟信号可表示如下<sup>[1]</sup>:

$$F = A \sin \left[ (\omega_0 + \phi_0) + \left( \phi_e + \omega_e t + 2\pi \frac{d}{2} t^2 \right) + x(t) \right]$$

其中第一项  $(\omega_0 + \phi_0)$  是理想的时钟相位; 第二项为因果相位误差; 第三项是随机相位误差。在系统设计中, 首先要根据系统精度要求, 确定时间标准, 然后选用时间格式及传输方式, 采用最合理的授时方式。

## 1 时间标准及格式

### 1.1 时间标准

时间同步离不开时间标准, 时间标准主要有以下几种<sup>[2]</sup>: 世界时, 原子时及世界协调时等, 世界协调时是目前采用的时间标

准。世界协调时是以地球自转为基础的时间标准。由于地球自转速度并不均匀, 并非每天都是精确的 86400 原子时, 因而导致了自转时间与世界时之间存在 18 个月有 1 秒的误差。为纠正这种误差, 国际地球自转研究所根据地球自转的实际情况对格林威治时间进行增减闰秒的调整, 与国际度量衡局时间所联合向全世界发布标准时间, 这就是世界协调时 (UTC: Coordinatde Universal Time)。UTC 的表示方式为: 年 (y)、月 (m)、日 (d)、时 (h)、分 (min)、秒 (s), 均用数字表示。1972 年国际上决定采用“世界协调时”来报时, 即以原子时的秒来计时, 而当发现用天象观测来测定的世界时与原子时相差超过 0.9s 时, 便在年中 (6 月 30 日) 或年底 (12 月 31 日) 的最后一秒钟加上一个“闰秒”来协调。

### 1.2 时间信号的格式

目前常用的时间信号格式主要有美国靶场仪器组-B 型格式 (IRIG-B: Inter Range Instrumentation Group) 时间码和网络时间传输协议 (NTP: Network Time Protocol) 两种<sup>[2]</sup>。在传统的气象卫星地面应用系统中, 用的较多的是 IRIG-B。IRIG-B: 由 IRIG 组织于 1965 年开发的, 其版本为 IRIG Standard 200-95, 并分成 A、B、C、D、E、G、H 几种。最为常用的是 IRIG-B, 传输介质可用双绞线和同轴电缆, 精确度为  $10\mu\text{s} \sim 100\mu\text{s}$ 。

IRIG 是美国靶场司令部委员会的下属机构, 称为“中程靶场仪器组”。IRIG 时间标准有两大类: 一类是并行时间码格式, 这类码由于是并行格式, 传输距离较近, 且是二进制, 因此远不如串行格式使用广泛; 另一类是串行时间码, 共有六种格式, 即 A、B、D、E、G、H。它们的主要差别是时间码的帧速率不同。B 码的主要特点是时帧速

率为 1 帧/s; 携带信息量大, 经译码后可获得多种脉冲信号和 BCD 编码的时间信息及控制功能信息, 分辨率高。调制后的 B 码适用于远距离传输。B 码分直流 (DC)、交流两种并能接口标准化, 国际通用。IRIG-B (DC) 时间码帧速率为 1 帧/秒 (s), 将 1 帧 (1s) 分为 10 个字, 每字为 10 位, 每位的周期均为 10ms。每位都以高电平开始, 其持续时间分为 3 种类型: 2ms (如二进制“0”码和索引标志)、5ms (如二进制“1”码) 和 8ms (如参考码元, 即每秒开始的第一字的第一位; 位置标志 P0~P9, 即每个字的第十位)。第一个字传送的是秒信息, 第二个字是分信息, 第三个字是时信息, 第四、五个字是日信息 (从 1 月 1 日开始计算的年积日)。

NTP 是一个跨越广域网或局域网的复杂的同步时间协议, 它通常可获得毫秒级的精度, 让局域网上的若干台设备通过因特网与其他的 NTP 主机同步时钟, 接着再向局域网内其他设备提供时间同步服务。NTP 除了可以估算封包在网络上的往返延迟外, 还可独立地估算计算机时钟的偏差, 达到在网络上实现高精度计算机校时的目的。在网络中提供高精度、高可靠性时间标准的 Internet 协议, 基于 UTP 报文。精确度为: 局域网  $10\mu\text{s} \sim 10\text{ms}$ ; Internet  $100\mu\text{s} \sim 1000\mu\text{s}$ 。

### 1.3 时码源

在气象卫星地面应用系统中, 选取的时码源包括: 高精度的原子钟、晶振及全球定位系统 (GPS; Global Positioning System) 时钟。高精度的原子钟、晶振在系统中已广泛应用, 这里只介绍 GPS 时钟。GPS 是美国从 20 世纪 70 年代开始研制的, 目前使用最为广泛的无线电导航系统, 由 18~24 颗分布于高度为 20200km 的 6 个轨道面的卫

星及地面控制部分组成。卫星发射 F1 (1575.4MHz) 及 F2 (1277.6MHz) 两个频率, 信号采用码分多址, F1 调制民用粗 (CA) 码及军用精 (P) 码, F2 只调制精码, 粗码容易捕获, 定位精度 30m。目前对非授权用户施加有人为干扰 (SA) 技术, 精度下降为 100m。精码另行加保密 (AS) 技术, 定位精度达 1m, 供授权用户使用。粗码帮助精码捕获, 使捕获时间缩短为 2 秒。

全球各地的用户随时可接收 4 颗以上的 GPS 卫星信号, 捕获星上发出的 CA 码, 计算自己的位置。GPS 星上有准确时钟, 可同时用于定时和时间同步。每一颗 GPS 卫星都携带原子钟, 地面控制中心负责测量其误差并发射修正值, 使 GPS 时间同步于 UTC。地面 GPS 接收机接收 GPS 卫星信号, 并解调出时间信号, 作为气象卫星地面接收系统的时码源。该时间信息的准确度为纳秒 (ns) 级。

## 2 系统中授时实现方案

在我国的新一代太阳同步轨道气象卫星风云三号 (FY-3) 地面应用系统中, 有 6 个国内地面站、1 个国外站、运行控制中心、数据处理中心及应用服务中心等。为了接收覆盖范围更大的数据, 7 个地面站分布在不同的地方。在这样一个跨区域的大系统中, 时间的高度统一将是全系统正常工作的前提。当卫星过顶时, 数据实时向下传送。由于每个地面站的接收范围有限, 只有通过多站接力接收, 才能扩大资料的接收范围。各站在执行轨道的接收任务时, 需要精确的时间, 同时, 当数据汇总传到数据处理中心前, 要对数据进行优化拼接, 同时进行去重复处理等, 这就需要在各站接收数据时, 在数据中加入精确的时码标识。地面系统组成

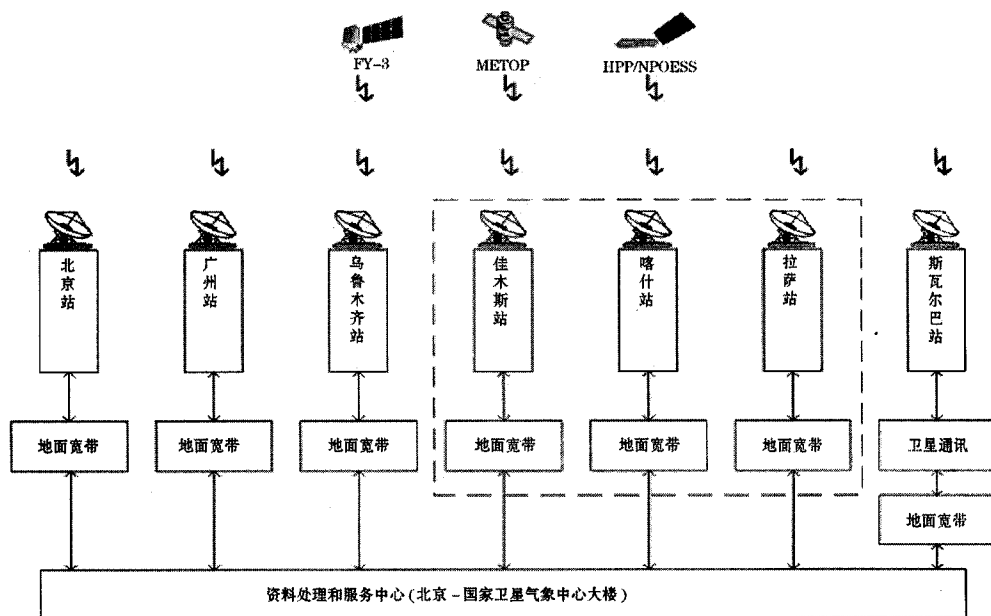


图 2 FY-3 地面应用系统组成框图

框图如图 2 所示。其中虚线框内的站为后期建设内容。

在该系统中，时间同步包括以下内容：各站内的设备间同步、站与站之间的时间同步、站与中心其它系统间的时间同步等。采用 GPS 授时与网络授时相结合的办法对站进行同步授时来解决时间同步的问题。针对每个站采用 GPS 授时，每个站需配备一套高精度的时间服务器，通过它为站内所用设备提供时间基准，不同设备实现资源共享。为确保地面接收站在接收不到 GPS 卫星信号时，系统的授时可以正常进行，采用给时间服务器配备铷钟及晶振等作为 GPS 授时的备份。

在运行控制中心配备一套高精度的时间服务器及铷钟，以便进行全系统内部的网络授时，GPS 授时与铷钟（或晶振）互为备份。采用 GPS 授时系统，可保证全系统时钟统一，计时误差在微秒级至毫秒级。由于各站时钟统一，因而它们记录的数据及信息

具有可比性。

GPS 授时的优点是可以方便地与 UTC 同步，设备价格经济，时间准确度高，缺点是依赖美国 GPS 卫星系统。

由于每个站及中心所处地点不同，为避免远距离传输可能的信号中断，而各系统的工作又有相对的独立性，因此对每个站及中心都配备一套授时系统，以一个地面站为例，站内包括高分辨率图像传输（HRPT）/中分辨率图像传输（MPT）接收设备 3 套，延时图像传输（DPT）接收设备 2 套、站管设备 1 套、传输服务器及其它设备等。授时实现框图如图 3 所示。

由于站内各设备对时间码格式的要求不同，在每个站采用 IRIG-B 时码及 NTP 并存的方式广播时间，通过双绞线或同轴电缆传送 IRIG-B 时码，通过网络时间协议 NTP（属于 TCP/IP 协议）传送网络时间码。

该系统的设计中，采用了美国 Sym-

metricom 公司的 TymServe 2100 网络时间服务器、GPS 接收机、原子钟及晶振等,进行站内授时。采用这种方式进行网络授时,其时间精度小于 10ms。

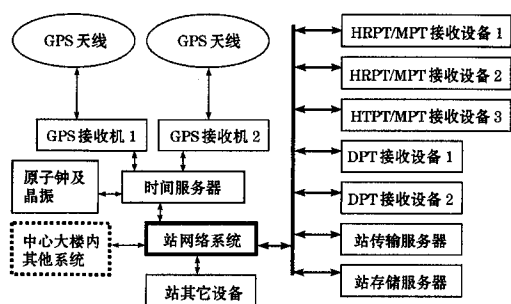


图 3 单站授时系统实现框图

在系统设计中,应满足的主要接口及技术指标如表 1 所示。

表 1 主要接口及技术指标

| 名称            | 状态及参数  |
|---------------|--|
| 时间服务器网络输出口    | 10Mbps/100Mbps 自适应以太网接口                      |
| 时间服务器数据输入口    | RS-232/DB9 DCE                               |
| 时间服务器的支持协议    | TCP/IP、NTPv2 (RFC 1119) & NTPv3 (RFC 1305) 等 |
| 网络时间精度        | 1~10ms, 典型值                                  |
| IRIG-B 时码时间精度 | $<5\mu\text{s}$                              |
| GPS 时间精度      | $<2\mu\text{s}$                              |
| 恒温晶振频率稳定性     | $1\times 10^{-9}/\text{天}$                   |
| 铷原子钟频率稳定性     | $5\times 10^{-11}/\text{月}$                  |

### 3 GPS 授时误差分析

使用 GPS 授时,可能产生的误差主要由以下几方面决定。

#### (1) 星载时钟的误差

由于星载时钟运行的环境差,误差会不断积累。目前解决的办法是地面控制系统对时钟进行修正,对于非授权的用户,修正后的误差通常在 100ns 以上<sup>[1]</sup>。该误差远低于

气象卫星地面应用系统允许的误差(最大允许值通常为 10ms)。

#### (2) 星历误差

由于 GPS 卫星的星历参数是根据地面控制系统测得的 GPS 卫星的轨道外推得到的。而卫星由于多种摄动力的影响,外推轨道和实践轨道是有差别的,由星历计算的卫星位置引入的时间误差一般为 60~120ns<sup>[1]</sup>。该误差远低于气象卫星地面应用系统允许的误差。

#### (3) 相对论效应修正误差

相对论效应是星载时钟和接收机时钟由于所处重力位的不同和运动引起两者之间相对误差的现象。其最大允许值小于 70ns<sup>[1]</sup>。对系统的影响可忽略。

#### (4) 电离层延迟误差

GPS 信号从卫星发射后要经过电离层到达地面,当信号通过电离层时,信号的路径会发生弯曲,传播速度也会发生变化,需要对信号通过电离层的延时进行修正<sup>[1]</sup>。

$$R \approx R_1 + 1.54573\Delta R$$

$$R \approx R_0 + 2.54573\Delta R$$

其中:  $R$  为伪距,  $R_1$ ,  $R_0$  为 GPS 卫星的两个载频上 P 码的伪距,  $\Delta R$  为修正值。修正后的时间误差为 17~33ns,对系统的影响可忽略。

#### (5) 对流层延迟误差

GPS 信号在经过对流层时传播路径和速度都会发生变化,因此和电离层一样,需要对信号通过对流层的延时进行修正。通常采用霍普菲尔德改正模型进行修正<sup>[1]</sup>。修正后的误差约为 3ns 左右,对系统的影响可忽略。

#### (6) 多路径误差

GPS 接收机在工作时,其天线收到直接来自卫星的信号外,还可能收到其他物体反射过来的信号,这种直射波和反射波由于路径不同,使 GPS 信号产生的误差称为多

路径误差,控制较好的多路径误差在 3ns 左右<sup>[1]</sup>,对系统的影响可忽略。

#### (7) 接收机本身产生的误差

接收机本身产生的误差包括:接收机噪声误差,伪距测量的分辨率,坐标误差,时延误差,这些误差的总和小于 50ns<sup>[1]</sup>,对系统的影响可忽略。

#### (8) 地面的传输延时误差

时间信号在地面系统中传输所产生的误差,不同的系统,误差会有差异。该系统的各站内采用了网络传输,其误差小于 10ms<sup>[2]</sup>。

## 4 结 论

气象卫星地面应用系统中,时间统一是

保证全系统协调一致工作的基础,只有时间精度满足要求,才能保证卫星信号的实时捕获,数据的正确处理等。用 GPS 授时,可解决跨区域的系统时间统一。用 GPS 授时,其误差小于 10ms,可满足系统的要求。用 GPS 授时比传统的授时方法更经济,更方便,更适合跨区域的系统授时要求。

## 参考文献

- 1 童宝润. 时间统一系统 [M]. 北京:国防工业出版社, 2003: 140, 169-176.
- 2 何成. 时间码在时间统一系统中的应用 [M]. 北京:和成浏览 (9), 2004, 10-19.