

doi: 10.7690/bgzd.2014.11.017

基于 NTP 的航天测控网络对时系统

白宁, 黄维, 石宇

(中国人民解放军 63819 部队, 四川 宜宾 644000)

摘要: 为了保证航天系统内时间的准确性和一致性, 设计一种基于网络时间协议(network time protocol, NTP)的航天测控网络对时系统。针对各系统设备对时间的精确性和可靠性要求, 在分析 NTP 基本原理和工作模式的基础上, 建立了航天测控网络上的 NTP 对时系统架构, 根据具体应用编程实现了 NTP 网络对时系统, 并对该系统是否满足航天测控网络对时间精度的要求进行验证。实践结果证明: 该系统能把全网中的用户设备时间偏差精度控制在 1 ms 以内, 实现高精度的对时。

关键词: NTP 协议; 时间同步; 航天测控网

中图分类号: TJ86 **文献标志码:** A

Network Time Synchronization System for Space Tracking and Control Based on NTP

Bai Ning, Huang Wei, Shi Yu

(No. 63819 Unit of PLA, Yibin 644000, China)

Abstract: To ensure the accuracy and consistency of time system within space tracking and control network, design a space tracking and control network time synchronization system based on network time protocol (NTP). According to time accuracy and reliability requirement of system equipment, based on analyzing NTP basic theory and work mode, establish NTP network time synchronization system for space tracking and control. Then, realize NTP time synchronization system by application programming. Verify whether the system meet the time accuracy requirement of space tracking and control network or not. The result indicates that the system controls the time deviation precision in 1 ms and realizes high precision time synchronization.

Keywords: NTP protocol; time synchronization; space tracking and control network

0 引言

随着我国航天技术的快速发展, 在系统内已经形成了多种业务种类、多种网络拓扑结构的航天网络设备体系。例如卫星发射和测控系统需要依靠高可靠性和高精度的计算机来控制关键节点工作。这类应用对系统内部各设备的时钟统一性和精确度要求很高, 必须对用户设备进行时间同步, 以保持航天器与测控系统各用户设备时间和频率的高度一致。网络时间协议(network time protocol, NTP)^[1]采用主动对时方法, 克服了网络竞争机制对系统校时精度的影响, 能实现系统时钟的一致和精确; 因此, 采用 NTP 协议实现网络对时系统, 可以有效解决这一问题。笔者对 NTP 基本原理、工作模式等进行研究, 建立了在航天测控网络上的 NTP 对时系统构架, 设计并编程实现了 NTP 网络对时系统。

1 NTP 的基本概念

1.1 NTP 协议

NTP 协议是美国 Delaware 大学的 Mills 教授在 1985 年提出的, 可以实现时间服务器或精确的时钟源(如石英钟、GPS 等)同计算机的时钟同步。NTP

协议适用于在拥塞的网络环境下提供精确和健壮的对时服务, 把计算机的时间同步到标准时钟源上, 可实现在局域网上误差小于 1 ms, 广域网上几十毫秒的高精度时间校准, 同时其加密认证的模式可防止恶意的协议攻击, 具有广泛的应用前景。

1.2 NTP 基本原理

NTP 协议主要以客户端/服务器方式进行对时, 而且适用于性能差异大的客户端及服务器, 每次对时共需 2 个数据包。假设客户端发送对时请求的本地时间为 T_1 , 服务器端接收对时请求的服务器时间为 T_2 , 服务器端返回对时请求的服务器时间为 T_3 , 客户端收到返回请求的本地时间为 T_4 , θ 为客户端和服务器端的时间偏差, T_1 到 T_2 的路径延迟为 δ_1 , T_3 到 T_4 的路径延迟为 δ_2 , 总路径延迟是 δ 。时钟偏差和网络延迟的计算过程如图 1 所示。

根据上述过程时间关系可得:

$$\begin{cases} T_2 = T_1 + \theta + \delta_1 \\ T_4 = T_3 - \theta + \delta_2 \\ \delta = \delta_1 + \delta_2 \end{cases} \quad (1)$$

在小型局域网内, 认为网络上行延迟 δ_1 和下行

收稿日期: 2014-05-30; 修回日期: 2014-07-07

作者简介: 白宁(1984—), 男, 重庆人, 硕士, 助理工程师, 从事计算机软件、通信网络设计开发研究。

延迟 δ_2 是相等的, 即 $\delta_1 = \delta_2 = \frac{\delta}{2}$, 以上方程式解^[2]为:

$$\begin{cases} \theta = \frac{(T_2 - T_1) - (T_4 - T_3)}{2} \\ \delta_1 = \delta_2 = \frac{(T_2 - T_1) + (T_4 - T_3)}{2} \end{cases} \quad (2)$$

可以得出, θ 和 δ 的值只与 $(T_2 - T_1)$ 、 $(T_4 - T_3)$ 的差值有关, 而与 T_2 、 T_3 之间差值无关, 即计算结果与服务器处理请求所需的时间无关。

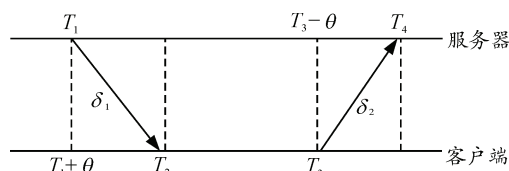


图 1 NTP 协议传输模型

1.3 NTP 的工作模式

NTP 协议支持 3 种定时工作方式。

1) 广播模式: 此模式适合高速局域网^[3]。局域网中的服务器以一定的时间间隔向用户设备广播时间信息, 客户端不需计算时间偏差和网络延迟, 直接用接收到的时间信息调整自己的时钟, 忽略各种误差。但是这种模式的精度不高, 适合那些对时间精度要求不高的场合下采用。

2) 主从模式: 指同级时间服务器可从相邻时间服务器获取时钟, 作为备份需要时, 可提供时间信息给相邻的时间服务器。此方式适用于冗余配置的时间服务器组, 可提供完备的定时信息给下级用户。

3) 客户/服务器模式: 用户向上级时间服务器提出定时请求, 根据交换的数据包计算其间的的时间偏差和网络延迟, 利用 NTP 算法从中选择最准确的时间偏差并调整本地的时钟。此方式适用于时间服务器接收上级标准时钟源的信息, 并提供给下级的用户设备。

结合系统特点, 选定客户/服务器模式。因为系统中各子系统网络结构相似, 实现 1 个子系统的服务, 就可以相同方式实现所有子系统的时间同步。

2 NTP 在航天测控网络中的系统架构

目前, 航天测控网络的主要设备使用直接连接时钟源的方式来实现时间同步, 如以铷原子钟为高精度时钟源, IRIG-B 为串行时间同步码(该码可以实现高精度定时, 具有标准化接口等特点)。这样每台设备都需配置 PCI 时钟卡来解 B(DC) 码, 造成系统成本高且增加了系统的复杂性。而未配置 PCI 时钟卡的设备时钟大多靠人工手动来调整, 鉴于人工手动调整引起的误差以及各个设备内部时钟的性能差异等因素, 会造成整个网络中设备时间的不统一。

由于航天测控网络为星型拓扑结构, 网络中分布着多个相对独立又相互联系的子系统, 雷达设备、遥测设备、计算机系统、通信系统以及继电保护等系统都需要时钟同步。建立 1 个定时系统后, 时间服务器功能独立且处在网络内, 可保证时间服务器单方向与高精度时钟源同步, 并把各个用户设备的时钟统一到标准时间中协调工作。

在工程实践中, 从航天测控网络的实际情况出发, 搭建二级时间服务器。采用了 GPS 授时模块和高精度铷原子钟作为一级时间服务器, 用于给 NTP 服务器的二级时间服务器提供授时。另外, 各个不同功能的用户设备对时间同步精度要求各不同, 有些用户设备采用客户/服务器模式定时, 有些则采用广播模式定时。整个时间同步网络结构如图 2 所示。

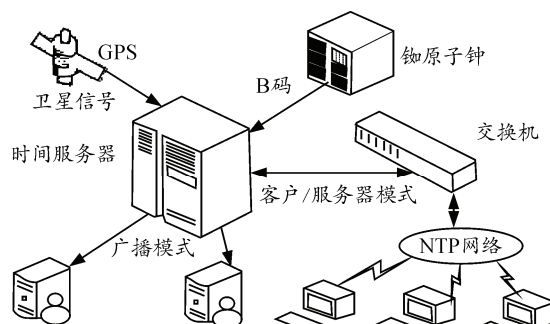


图 2 时间同步网络系统结构

为了获得高精度稳定性好的时间, GPS 授时模块和铷钟相结合使用^[4], 既克服因 GPS 失锁、周跳等现象而存在短期稳定性较差而长期稳定性较好的特点, 又利用铷钟短期稳定性较好而长期稳定性较差的特点; 因此, 笔者采用 GPS 卫星接收机的秒脉冲信号来校正铷钟的频率信号, 校正后的频率信号作为时间同步系统的时钟信号。

3 网络定时系统的设计实现

笔者以 Visual C++6.0 为开发平台, 运用 Winsock 网络编程技术, 实现了 NTP 报文的收发功能。

3.1 服务器软件设计

服务器软件设计流程如图 3 所示。服务器运行后, 通过对串口接收数据, 自动判断上级时钟源的类型, 计算出 UTC 时间; 根据工作模式的设置可以定时向客户端广播时间报文, 或接收客户端的时间同步请求, 调用本地时钟查询函数来添加请求报文的到达时间戳 T_2 , 将上述报文保存在表中, 接收下一个时间同步请求; 如果此时没有新的请求, 则再次调用系统时间并添加返回给客户端的时间戳 T_3 , 并将同时将时间报文送回客户端。

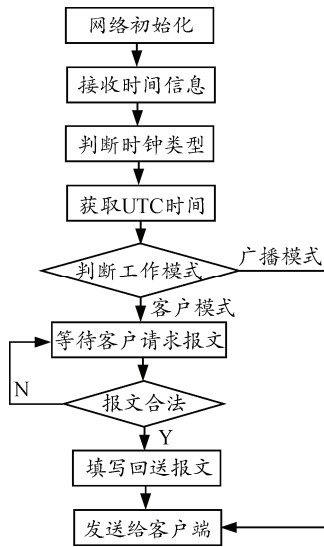


图 3 NTP 服务器软件流程

3.2 客户端软件实现

客户端软件主要功能有：定时向 NTP 时间服务器发送时间同步请求并接收时间服务器返回的带有时间戳的 NTP 报文，计算时间偏差、网络延迟和调整本地系统时间；能够通过广播方式接收报文并直接调整本地系统时间；提供对时请求函数接口为其他应用程序调用。

程序启动后，首先调用 `WSAStartup` 函数加载版本正确的 Winsock 库，初始化 Winsock DLL。然后进程调用 `socket` 函数创建 1 个数据报套接字；首次和时间服务器通信，使用 `bind` 函数绑定本地套接字与服务器的接收端口，使用 `recvfrom` 函数和 `sendto` 函数进行报文收发；当 `recvfrom` 函数接收到 NTP 报文时，取当前时间戳 T_4 并转换为系统时间格式，利用接收报文提供的 3 个时间戳 (T_1, T_2, T_3)，按照 NTP 原理公式计算该报文的时间偏差 θ 和网络延迟 δ ；最后调用 NTP 算法模块，筛选多组计算结果，以最精确时间偏差 θ 来调整本地时钟。客户端软件流程如图 4。

在自动同步方式下，因为网络传输的不对称性，1 个同步请求过程需要对时间服务器进行 8 次 NTP 报文交换，计算每次获取的 4 个时间戳 (T_1, T_2, T_3, T_4) 求出 8 组网络延迟和时间偏差 $[\delta, \theta]$ ，客户端利用数据过滤算法，比较这 8 组 $[\delta, \theta]$ ，找出最小网络延迟 δ 对应的本地时间偏差 θ ，作为本次调整时钟的偏差值。如果时间偏差较大则采用非线性调整，即用计算出的时间偏差值直接调整系统时间；否则，采用线性调整把时间偏差值分成多个微小的偏移量来调整系统时间，效果要优于一次性调整^[5]。因此在软件设计前需要对网络状态和时延数据进行大量的统

计分析，以此设置时间偏差阈值。图 5 给出了本地计算机与时间服务器的时间同步结果。

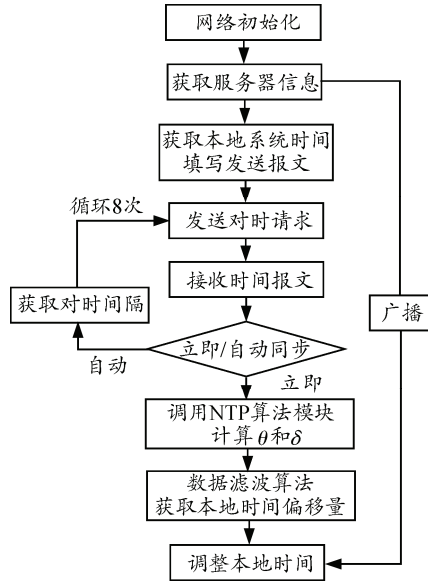


图 4 NTP 客户端软件流程

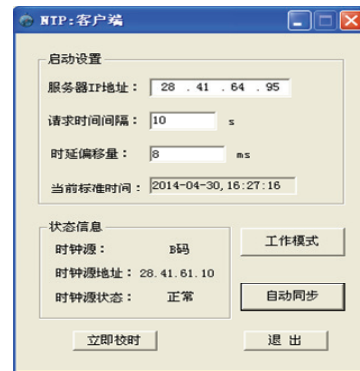


图 5 客户端软件界面

4 结束语

实践结果证明：该系统能把全网中的设备时间偏差精度控制在 1 ms 以内，实现了高精度对时，确保了航天测控网络系统内时间的准确性和一致性。

参考文献：

- [1] Mills D L. Network Time Protocol (version 3) specification, implementation and analysis[M]. DARPA Network Working Group Report RFC 1305, University of Delaware, 1992: 1-106.
- [2] 陈敏. 基于 NTP 协议的网络时间同步系统研究与实现 [D]. 湖北: 华中科技大学, 2005.
- [3] 费振豪. 基于 NTP 的地铁综合监控系统时钟同步技术的研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2004.
- [4] 邢晓辰, 蔡远文, 程龙, 等. 基于故障树的目标航天器在轨故障定位 [J]. 兵工自动化, 2013, 32(10): 71-75.
- [5] 薛芳侠, 闫了了, 谢虹, 等. 分布式实时仿真系统高精度时间同步技术研究 [J]. 计算机应用, 2006, 13(4): 28-30.