

优化的网络时间协议算法及其在变电站自动化中的应用

易 娜¹, 贺 鹏¹, 易亚文², 赵 斌¹

(1. 三峡大学电气信息学院, 湖北省宜昌市 443002)

(2. 中国长江电力股份有限公司三峡水力发电厂, 湖北省宜昌市 443133)

摘要: 以经济有效的方式, 在变电站自动化系统中实现时间同步对电力系统稳定运行和故障分析十分重要。提出了一种优化的网络时间协议算法, 介绍了该算法在变电站自动化系统中的实现。该算法在网络时间协议的基础上以纯软件的方式实现网络对时, 简化了系统硬件结构, 达到站控层同步时间精度要求。

关键词: 时间同步; 网络时间协议; 变电站自动化; IEC 61850

中图分类号: TM764; TP393

0 引言

在 IEC 61850 提出的站内时间同步模型中, 除了少数几台时间装置是直接从来高精度时钟源获取时间, 其他大量站内装置和站控层节点机则是通过网络对时的方式获取时间, 例如采用网络时间协议(NTP)或简单网络时间协议(SNTP)^[1]。文献[2]指出 NTP 的实现不仅依靠软件完成, 而且还要依靠本地时钟电路(可变频率振荡器(VFO)及其接口部分)实现。然而, 在通用计算机系统范畴之外新增硬件模块, 不仅增加了系统成本, 而且使系统更加复杂, 增加了安全隐患。本文将结合 IEC 61850 标准, 基于 NTP, 用纯软件方式实现变电站自动化系统时间同步。

1 优化 NTP 算法

NTP 是用于互联网中时间同步的标准互联网协议, 其精度可以达到 1 ms~50 ms。优化 NTP 算法以 NTP 模型为基础, 采用与 NTP3 相兼容的数据报格式与标准 NTP 服务器通信, 引入统计学的方法对本地时钟的振荡频率准确度进行估算和校正。算法模型如图 1 所示。

1) 计算相位差

算法采用 NTP 中客户/服务器的时间相位计算模式^[3], 在通信模块中, 采用一个结构体填充数据报文以读取计算机系统时间, 通过在客户机与时间服务器之间周期性地传输这种包含时间信息的数据报文来获取有用的时间戳信息, 计算延迟和本地时钟相位差, 提供给系统^[4]。假设网络延时对称, 由式(1)得出相位差:

$$x = \frac{(t_1 - t_2) + (t_4 - t_3)}{2} \quad (1)$$

式中: t_1 为客户机发送同步请求报文时的客户端时间; t_2 为服务器接收到同步请求的服务器端时间; t_3 为服务器返回时间同步消息的服务器端时间; t_4 为客户机接收到同步信息的客户端时间。

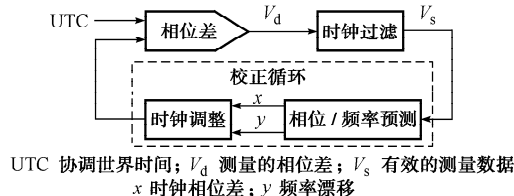


图 1 算法模型

Fig. 1 Algorithm model

2) 时钟过滤

为了降低网络延迟抖动和操作系统硬件噪声带来的测量误差, 每一个调整周期结束后都要重新计算 3 个统计量, 即分别由下面 3 个公式求得时间间隔很小的一组相位差的平均值 $\bar{x}$ 、该组相位差的标准差 σ 、相位差的预测值与测量值间的偏移量 Δx_i :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (|x_i| - \bar{x})^2}{n}} \quad (3)$$

$$\Delta x_i = ||x_i| - \bar{x}| \quad (4)$$

根据 3σ 规则^[5], 如果 $\Delta x_i > 3\sigma$, 则表明测量值偏离平均值过大, 即受网络延迟因素影响较大, 不能真实地反映客户机与服务器之间的相位差, 因此按丢弃处理。如果所有数据经上述处理后得到的标准差仍未达到要求, 则对过滤后的数据再进行一次上述处理, 直至 $\Delta x_i \leq 3\sigma$ 。

3) 校正循环

校正循环包括相位/频率预测和时钟调整 2 部分。计算机启动后,每隔 5 min 向时间服务器发送一组时间请求,持续 3 h,本地时钟保持自由运行。将得到的时钟偏差值记录在数据库中,并进行线性回归分析,得到时间偏差的斜率即为这 3 h 内时钟频率偏差的一个估值。在此后的若干周期内,用下式与之前的频率偏差进行线性平均:

$$y_k = \frac{y_{k-1} + G y_k}{1 + G} \quad (5)$$

式中: $G \approx \tau_0 / T_{n\omega}$ 。

$T_{n\omega}$ 由自由振荡晶体二维阿仑方差曲线的斜率(从 -0.5 到 0)增加时的校正周期 τ 的值决定。

由式(6)对相位偏差进行预测:

$$\hat{x}_{k+1} = x_k + \hat{y}_k \Delta t \quad (6)$$

式中: x_k 为 t_k 时刻相位偏差的测量值; $\hat{y}_k$ 为 t_k 时刻频率偏差的预测值; $\Delta t = t_{k+1} - t_k$ 。

客户机启动时通常会有较大的时间偏差,适合直接使用 API 函数 SetSystemTime 一次同步到位。当系统进入稳定运行后,时钟会按照各自的频率运行,逐渐产生偏差。此时对相位差的调整并不是一次调整到标准值,而是采用分阶段逐步调整的方法。时钟调整由 2 个循环组成:外循环每隔校正周期 τ 时间对模型的参数进行修改,内循环每隔微量调整间隔 T_k 时间对时钟进行微调。由于网络 and 时钟本身会使调整过程中产生 0.5 ms 左右的频率波动,因此第 k 个校正周期中每次微量调整间隔为:

$$T_k = \frac{0.0005}{\bar{y}_k} \quad (7)$$

如果时间偏差的预测值远大于期望的精度,则 τ 取值过大,振荡器的稳定度不足以维持该精度的要求,要通过减少 τ 值来满足精度要求;如果时间偏差的预测值达到所需精度水平,则没有必要增加校正的次数;如果预测值远小于测量值,则校正周期值明显偏小,晶振的稳定度能维持该精度,应增加 τ 的值来减少系统开销。

2 同步算法应用

2.1 应用背景

根据 IEC 61850 的描述,变电站自动化系统中对时系统普遍采用直接接线对时和网络对时相结合的方式^[6]。图 2 为三峡某变电站对时系统结构。系统在物理和功能上均采用分层分布式结构,整体上分为站控层和间隔层 2 层,站控层与间隔层之间通过通信网络相连。

变电站自动化系统对时间精确度的要求随装置和节点机的功能不同而有所不同^[7]。站控层是整个变电站监视、测量、控制和管理的智能化中心,站控

层节点机的时间精度要求在 100 ms 级。因此,采用基于 NTP 的本优化算法,并将系统配置成客户/服务器模式。各节点机依据 NTP 定义的 123 端口周期性地向时间服务器发送时间同步请求,NTP 服务器根据请求作出响应。各节点机周期性地接收时间消息,完成计算钟差、校正本地钟的工作。

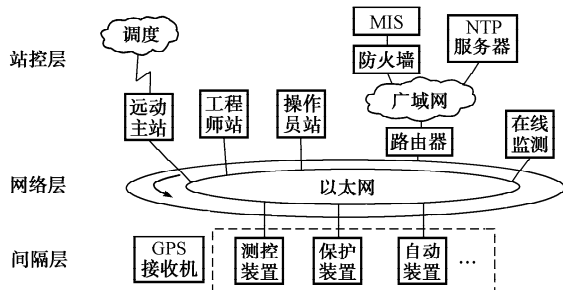


图 2 变电站自动化网络结构

Fig. 2 Structure of substation automation

间隔层装置的时间精度大多要求在 100 μ s 以内,采用直接接线到全球定位系统(GPS)接收机的方式获取时间。由于间隔层装置众多,GPS 接收机装置往往连接扩展箱来扩展接点,或者允许一副接点连接若干台装置。

2.2 算法实现

算法开发平台是 Windows XP+VC6.0+SP6。采用美国微软公司的时间服务器(time.windows.com)作为 NTP 时间服务器,获取协调世界时间(UTC)。整个软件以后台程序方式运行。

系统提供自动同步和手动同步 2 种同步方式供操作人员选择。在自动同步方式下,用户根据自己的需要输入调整间隔时间,选中操作界面上“每隔几分钟后启动校正系统时间”复选框,系统会根据设置的时间间隔与 NTP 服务器自动同步。在手动同步方式下,用户每点击操作界面上“优化算法”按钮一次,系统就可以与 NTP 服务器手动同步一次。

实现手动同步的程序如图 3 所示。

自动同步的过程与此类似。算法设置定时器来判断是否所有线程的 sntp 对象均已从 NTP 服务器得到时间。定时器启动后,生成 MAXGROUP 个线程,同时向 NTP 服务器发送时间同步请求报文,只要有一个线程的 sntp 对象从 NTP 服务器获取时间失败,则释放所有 sntp 对象,结束本次同步请求操作。当所有线程的 sntp 对象均已从 NTP 服务器得到时间,就分别计算各自的本机与 NTP 服务器时钟差 offset,并选择最小的 offset 值作为调整量。如果 offset 在预测范围内,则进入时钟更新过程,如果偏离预测值太多,则丢弃这个值。

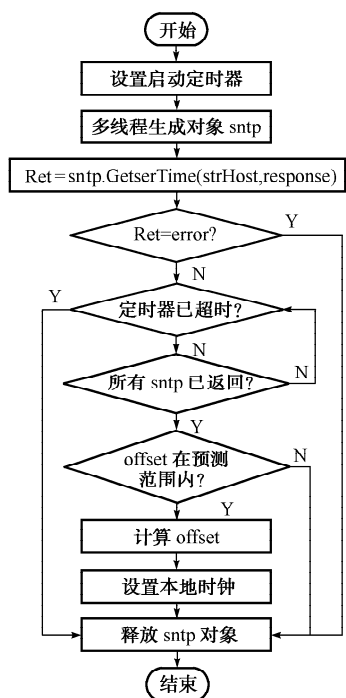


图3 手动方式程序流程

Fig. 3 Flow chart of manual manner program

3 结果分析

为了真实反映算法的同步精度和稳定度,本文连续采集 24 h 的数据,每组数据的时间间隔是 1 h,每 1 min 采集一次数据,得到在 24 h 内客户端和 NTP 服务器之间的时间偏差。客户端的时间偏差大部分在 10 ms 之内,其间有 3 次时间偏差在 10 ms~15 ms 之间。这一时间段相对较长,可以较真实地反映算法的同步精度和稳定度。这组数据活动区间相对稳定,没有太大的时间偏差。由此可见,算法的稳定性和精度均比较理想,时间偏差在 15 ms 以内,达到了应用环境对时间同步精度小于 100 ms 的要求。

本文对算法的测试是以广域网中的时间服务器

为时间标准,如果在局域网区域内实现内部时钟同步,必将进一步提高时间精度。

参考文献

- [1] IEC 61850 Communication network and systems in substation, 2003.
- [2] Network time protocol (Version 3) specification, implementation and analysis. 1992.
- [3] 贺鹏,吴海涛. 分布式系统的时间同步算法研究及应用. 计算机应用, 2001, 21(12): 22-24.
HE Peng, WU Haitao. Study and application of time synchronization algorithm in distributed system. Computer Application, 2001, 21(12): 22-24.
- [4] 殷志良,刘万顺,杨奇逊,等. 基于 IEEE 1588 实现变电站过程总线采样值同步新技术. 电力系统自动化, 2005, 29(13): 60-63.
YIN Zhiliang, LIU Wanshun, YANG Qixun, et al. A new IEEE 1588 based technology for realizing the sampled values synchronization on the substation process bus. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(13): 60-63.
- [5] 盛骤. 概率论与数理统计. 北京: 高等教育出版社, 1989.
SHENG Zhou. Probability theory and mathematical statistics. Beijing: Higher Education Press, 1989.
- [6] 黄小耘. NTP 在电力自动化设备时钟同步中的应用探讨. 电力系统自动化, 2005, 29(15): 93-95.
HUANG Xiaoyun. Discussion on the application of NTP in the time synchronization of power automation devices. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(15): 93-95.
- [7] 高志远,刘长虹,刘瑞平. 厂站自动化系统中应用网络时间同步技术探讨. 电力自动化设备, 2006, 26(7): 84-89.
GAO Zhiyuan, LIU Changhong, LIU Ruiping. Discussion on application of network-based timing technology in power plant and substation automation systems. Electric Power Automation Equipment, 2006, 26(7): 84-89.

易娜(1980—),女,助教,硕士研究生,研究方向为变电站自动化和时间同步技术. E-mail: sunlight@ctgu.edu.cn

贺鹏(1965—),男,教授,硕士生导师,主要从事分布式控制系统的算法及应用研究。

易亚文(1979—),男,工程师,从事电力系统继电保护及自动化工作。

An Optimized Time Synchronization Algorithm Based on the NTP and Its Application in SAS

YI Na¹, HE Peng¹, YI Yawen², ZHAO Bin¹

(1. China Three Gorges University, Yichang 443002, China)

(2. Three Gorges Hydropower Plant, China Yangtze Power Co Ltd, Yichang 443133, China)

Abstract: In a substation automation system (SAS), it is vital for stability and fault analysis of the electric power system with time synchronization at lower operating cost. An optimized algorithm of network time protocol (NTP) is put forward and then implemented in the SAS. It simplifies the structure of the hardware system and satisfies the requirement of the time accuracy of the control layer in a sheer software way.

Key words: time synchronization; network time protocol (NTP); substation automation system (SAS); IEC 61850