

局域网环境的网络时间协议性能测试

陈朝福^{1,2*}, 王磊¹

(1. 中国工程物理研究院 应用电子学研究所, 四川 绵阳 621900; 2. 中国工程物理研究院 研究生部, 四川 绵阳 621900)

(* 通信作者电子邮箱 buf265@yahoo.com.cn)

摘要:网络时间协议(NTP)能够实现多节点时间和频率同步,具有简单、经济和高效等特点,但在性能测试方面的相关研究不多,使得在实际系统中是否采用NTP时缺乏参考数据。针对这一问题,开展了局域网环境下的NTP性能测试,分析了系统负载和网络负载对NTP性能的影响。在实际系统中,通过比较IRIG-B时码卡和GetLocalTime Windows API返回的时间,近似获取了计算机基准时钟信号的频率偏差,该误差值与NTP测算的结果基本一致,表明本地一级NTP服务器时间同步和频率同步性能良好。

关键词:网络时间协议;时间同步;频率同步;性能测试;线性拟合

中图分类号: TP393.04 **文献标志码:** A

Network time protocol performance evaluation in LAN environment

CHEN Chao-fu^{1,2*}, WANG Lei¹

(1. Institute of Applied Electronics, China Academy of Engineering Physics, Mianyang Sichuan 621900, China;

2. Graduate School, China Academy of Engineering Physics, Mianyang Sichuan 621900, China)

Abstract: Network Time Protocol (NTP) is a simple, economic and efficient way to accomplish time and frequency synchronization of multiple nodes, while relevant study on the performance evaluation is hard to find in literature, which makes it a question whether to use NTP in application. Concerning this problem, the local network NTP performance and impact of system / network load were measured and analyzed on Windows platform. By comparing time value obtained from IRIG-B time code reader and GetLocalTime Windows API, frequency skew of computer clock signal was approximated. The skew value was close to the value calculated by NTP.

Key words: Network Time Protocol (NTP); time synchronization; frequency synchronization; performance evaluation; linear fit

网络时间协议(Network Time Protocol, NTP)提供高精度的时间校正和频率同步,目前已在许多领域得到了广泛应用。在实际系统中决策是否以NTP作为时间同步手段时,首先关心的是给定应用环境中NTP能够达到何种性能。通常认为,广域网中NTP定时精度为1 ms~50 ms,局域网环境下则可达1 ms^[1-2];使用改进型NTP,在物理层产生和处理时戳标记,减少了协议处理延迟,时间精度可达10 μs量级^[3];赵英等^[4]开发了基于Java的NTP客户端,对服务器运行状态和网络链路状态进行了测量和评估;Wolfgang等^[5]分析和评估了离线情况下环境温度变化对NTP性能的影响。这些文献为评估NTP性能提供了一些依据,但未涉及系统启动特性,以及在系统负载或网络负载环境下NTP性能是否降级等问题。本文集中讨论了局域网环境下的NTP性能问题,并在实际应用中结合IRIG-B时码卡近似获取了计算机时钟频率偏差,进一步验证了NTP性能。测试数据和结论为NTP的实际应用和性能评估提供了参考。

1 计算机时钟模型和NTP原理

普通计算机时钟通过对精度不高的时钟基准信号(通常来自成本低廉的晶体振荡器)进行计数获得。这样的时钟 C 可用初始时间偏差 o ,频率偏差 s 和频率漂移 d 三个参数描述,其与理想时钟 t 的关系可表为:

$$C(t) = (1 + s) \times t + o$$

其中频率偏差 s 是产生时间偏差的主要因素。以频率偏差100 PPM(Parts Per Million)计算,24 h的累积时间偏差将达到8.64 s。频率漂移 d 与元器件老化、工作环境温度变化等因素有关,较短时间内对时间偏差的贡献可以忽略不计。

除了由于频率偏差和漂移给上述时钟模型造成的固有缺陷,操作系统提供的时间相关编程接口(Application Program Interface, API)能够达到的实际精度不高,也对时间敏感应用提出了挑战。例如,Windows平台的GetLocalTime、GetSystemTimeAsFileTime的实际精度仅为10 ms~15 ms^[6]。

NTP进行时间同步的核心为频率偏差的测算。基于网络传输延迟对称的假设,通过NTP数据报文交换和对报文收发时间戳的计算,可以获得对频率偏差的较好估计。假设节点A以节点B作为参考时间源,一次数据报文交换过程如图1所示。

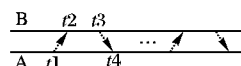


图1 NTP一次数据报文交换过程

当A收到从B返回的数据包时,A得到了四个时间戳 $t1 \sim t4$ (NTP在Windows系统上的实现采用了插值算法来克服系统API精度问题^[7],Johan设计实现的高精度时间供应器也采用了类似的思路^[8]),由此可以计算A与B的网络传

收稿日期:2011-09-20;修回日期:2011-11-15。

作者简介:陈朝福(1983-),男,湖南张家界人,研究实习员,硕士研究生,主要研究方向:时间同步;王磊(1963-),男,重庆万州人,研究员,主要研究方向:多源信息融合、指挥决策。

输延迟 δ 以及 B 相对于 A 的时间偏差计算值 $\theta^{[1]}$:

$$\delta = (t_4 - t_1) - (t_3 - t_2)$$

$$\theta = \frac{(t_2 - t_1) + (t_3 - t_4)}{2}$$

可以推算出 B 相对于 A 的时间偏差真实值 Θ 和时间偏差计算值 θ 、网络传输延迟 δ 满足式(1)^[1]:

$$\theta - \frac{\delta}{2} \leq \Theta \leq \theta + \frac{\delta}{2} \quad (1)$$

即 B 相对于 A 的时间偏差真实值落在以时间偏差计算值为中心、宽度为网络传输延迟的区间内。在局域网环境中,传输延迟并不大(低负载情况下通常小于 1 ms),因此时间偏差的计算结果也比较接近真实值,即 NTP 可以获得较为可靠的同步效果。

2 本地一级 NTP 服务器性能测试

2.1 测试环境和方法

Windows 操作系统自带的 W32Time 服务也支持 NTP,但其实现并没有完全遵循 NTP 标准,甚至无法保证达到 1 s~2 s 同步精度^[9]。因此,测试中选用了 NTP 的官方发布版本,版本号为 4.2.4-p7。测试环境如图 2 所示,NTP 一级服务器运行定制的 Linux 系统,测试计算机 A、B 运行 Windows XP 操作系统。

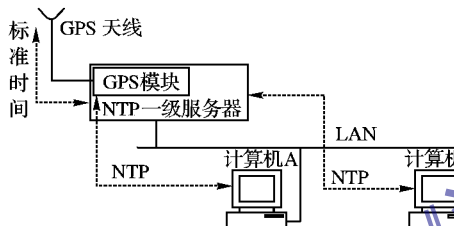


图2 测试节点的网络拓扑结构和 NTP 配置

图 2 中,计算机 A 和计算机 B 通过 NTP 同步到 NTP 一级时间服务器,后者通过 NTP 与 GPS 模块输出的时间(NMEA-0183 时码+秒脉冲同步信号)同步。NTP 以系统服务的方式运行,通过 NTP 软件包中的网络时间协议查询(Network Time Protocol Query, NTPQ)程序查询系统运行状态。在以下各项测试中,通过循环调用 NTPQ(间隔 10 s)并提取输出中的“delay”和“offset”字段并记录和处理。

2.2 启动特性测试

图 3 中显示了计算机 A 首次运行 NTP 时,与参考时间源的时间偏差随时间变化的情况。可以看到在测试开始后的 1 h 内,时间偏差迅速减小,随后基本保持稳定。这是由于首次运行 NTP 需要进行频率偏差的测算,测试结束后在计算机 A 打开 ntp.drift 发现测算出的频率偏差为 -32(即该计算机时钟信号的误差为 -32 PPM,每秒产生的时间偏差为 32 μ s)。

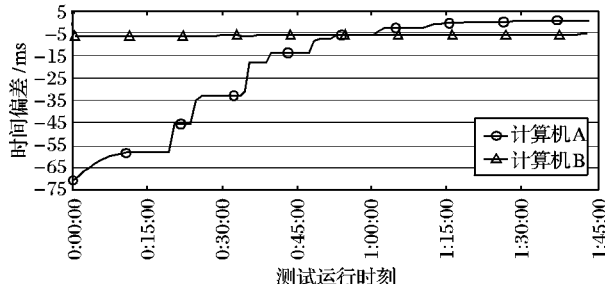


图3 首次运行 NTP 时间偏差曲线

与此相对照的是,计算机 B 之前已长时间运行过 NTP,即

已经过较充分的时钟频率偏差测算,因此测试之初时间偏差就比较小,并且在随后的测试中一直稳定在 -6 ms~-5 ms。

2.3 频率偏差测试

从 NTP 的工作原理和 2.2 节测试可知,NTP 能否稳定工作依赖于对频率偏差的测算是否准确。为了观察错误的频率偏差值对 NTP 运行的影响,本项测试中故意修改了计算机 A 的 ntp.drift 文件,将记录值由 -32 改为 0,而计算机 B 则不作任何改动,随后启动 NTP 运行测试约 45 min。图 4 显示了两个节点测得的时间偏差对比结果。可以看到计算机 A 的时间偏差有很大的波动,而计算机 B 的时间偏差则保持稳定。由此说明,频率偏差测算对 NTP 性能影响重大。由于石英晶体振荡器的频率会随环境温度的变化而产生一定变化,因此在对时间非常敏感的应用中,保持较为稳定的工作环境温度也成为为一个需要考虑的因素。

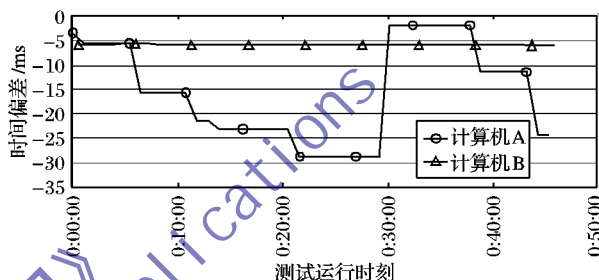


图4 频率偏差测算值对 NTP 性能的影响

2.4 系统负载测试

虽然 NTP 无需占用很多 CPU 资源^[2],但在 CPU 非常繁忙的情况下 NTP 的性能如何依然是本文关心的一个问题。本项测试中,在两个测试节点运行能够大量占用 CPU 时间的程序,测试时间持续 45 min。从图 5 可以看到,计算机 B 的时间偏差测量值和低系统负载环境下的测量值相比变化不大,计算机 A 的时间偏差测量值在 NTP 重启后依然能够呈现出递减的趋势。表 1 显示高系统负载下网络传输延迟略有增加,与低系统负载环境下测量值的均值比为 1.17,这说明高系统负载环境下,或在较差的硬件配置下,NTP 依然可以工作得很好。

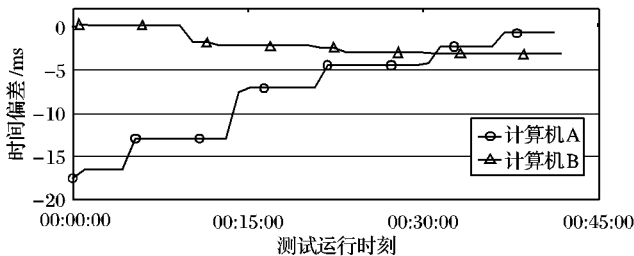


图5 高系统负载下 NTP 节点时间偏差曲线

2.5 网络负载测试

本项测试旨在观察网络负载对 NTP 的性能影响。测试中,在两个测试节点间进行大流量 UDP 数据收发,测试时间持续 15 min。图 6 所示的测试结果和低网络负载环境下的测量值相比变化不大,但是网络传输延迟却显著增加了(见表 2)。根据式(1),时间偏差测量值的误差也增大了,这将影响 NTP 时间同步的可靠性。如果长时间处于这种环境,时间偏差测量的误差必然影响到频率偏差的测算,由此造成 NTP 同步的稳定性下降。

3 结合 IRIG-B 时码卡对比测试

实际应用中,在某系统中部署了 NTP 时间同步系统,使

用本地一级时间服务器,参考时钟为 NMEA-0183 时码 + 秒脉冲同步信号。

为了进一步检验 NTP 的性能,在时间同步网络中的其中一台计算机安装了 IRIG-B 时码卡(提供读取当前时间的 API,标称精度为 0.1 ms),并接收外部输入的 IRIG-B 码信号。在停用或启用 NTP 的情况下,分别采集计算机时间(通过 GetLocalTime 调用读取)和 IRIG-B 时码卡时间并取差值(间隔 100 ms,样本数 64 000),对比情况如图 7 和图 8 所示。

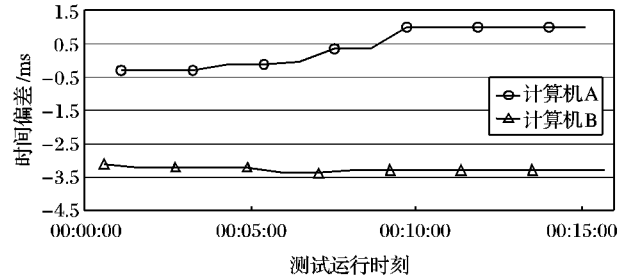


图6 高网络负载下 NTP 节点时间偏差曲线

表1 不同系统负载下计算机 B 到 NTP 服务器网络传输延迟比较

ms

CPU 占用率	网络传输延迟						统计值		
							最大	最小	平均
接近 100%	0.50	0.29	0.48	0.49	0.49	0.48	0.50	0.21	0.401
	0.31	0.49	0.27	0.48	0.21	0.32			
接近 0%	0.35	0.23	0.27	0.31	0.35	0.24	0.51	0.23	0.343
	0.28	0.50	0.27	0.51	0.50	0.31			

表2 不同网络负载下计算机 B 到 NTP 服务器网络传输延迟比较

ms

网络 IO	网络传输延迟						统计值		
							最大	最小	平均
接近 100%	1.29	1.60	1.05	1.23	1.42	1.01	1.75	1.01	1.351
	1.75	1.17	1.34	1.45	1.33	1.57			
接近 0%	0.49	0.50	0.22	0.49	0.48	0.31	0.52	0.20	0.398
	0.49	0.52	0.33	0.25	0.50	0.20			

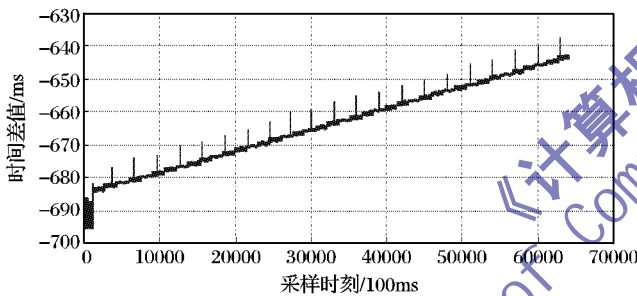


图7 停用 NTP 时 GetLocalTime 与 IRIG-B 时码卡时间差值曲线

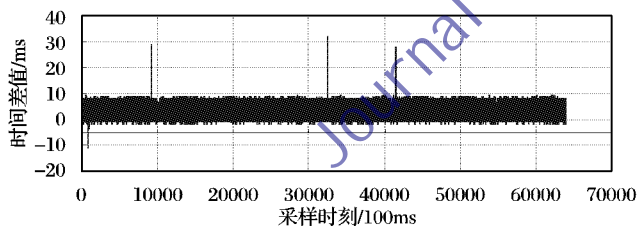


图8 启用 NTP 时 GetLocalTime 与 IRIG-B 时码卡时间差值曲线

图 7 显示了停用 NTP 时,GetLocalTime 与 IRIG-B 时码卡时间差值随时间变化的曲线。以 IRIG-B 时码卡时间为基准,理想情况下(测试计算机无频率偏差)时间差值曲线应接近水平(在某个值附近波动),实际情况中由于频率偏差的存在,时间差值持续减小,通过线性拟合曲线近似满足:

$$y = 0.000662x - 685.40 \quad (2)$$

其中: x 的单位为 100 ms, y 的单位为 ms,物理意义为测试计算机的时钟每 100 ms 比基准时钟快 0.000662 ms,可换算为每秒快 6.62×10^{-6} s,即频率偏差为 6.62 PPM。在测试计算机查看 ntp.drift 文件发现由 NTP 计算出的频率偏差为 7.055 PPM,两者是非常接近的。图 8 中,在启用 NTP 并达到同步状态后,GetLocalTime 与 IRIG-B 时码卡时间差值的平均值为 3.39 ms,99% 以上的时间差值分布在 $[-1, 9]$ ms 内,对比停用 NTP 时的情况,表明 NTP 对计算机时钟频率偏差的校正是有效的。

4 结语

NTP 对计算机时钟的频率偏差计算和校正具有良好的性能,通过校正频率偏差实现连续和稳定的时间同步,因此在将 NTP 投入最终应用之前应进行充分的试运行(如持续运行 NTP 一到两天时间),使 NTP 获得较好的频率偏差测算结果。高系统负载测试表明 NTP 只需要很少的系统资源就可以运行,即使在硬件配置较差的情况下也能运行得很好。而在高网络负载下,网络传输延迟显著增大,则时间同步的误差范围也随之增大,给 NTP 性能的稳定性带来不利影响。

参考文献:

- [1] MILLS D L. Internet time synchronization: The network time protocol [J]. IEEE Transactions on Communications, 1991, 39(10): 1482 - 1493.
- [2] MILLS D L. Network Time Protocol (NTP) general overview [EB/OL]. [2011-07-19]. <http://www.cis.udel.edu/~mills/database/brief/overview/overview.pdf>.
- [3] 胡昌军, 徐一军, 汪建华. 时钟同步技术的发展前景 [J]. 电信网技术, 2010(10): 58 - 61.
- [4] 赵英, 刘冬梅, 郭树印, 等. 基于 NTP 的网络时间服务测量 [J]. 计算机工程与应用, 2006, 42(S1): 99 - 101.
- [5] WOLFGANG K, STEPHAN Z, MARTIN M. Improving system clock precision with NTP offline skew correction [C] // Proceedings of the The Sixth Annual Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop. Corfu: MedHocNet, 2007: 159 - 164.
- [6] RUSSINOVICH M E, SOLOMON D A. Microsoft Windows internals [M]. 4th ed. Washington, DC: Microsoft Press, 2005.
- [7] DANNY M. NTP 4.x for Windows NT [EB/OL]. [2011-07-19]. <http://www.cis.udel.edu/~mills/ntp/html/hints/winnt.html>.
- [8] JOHAN N. Implement a continuously updating, high-resolution time provider for Windows [J/OL]. MSDN Magazine, (2004-03-10) [2011-07-19]. <http://msdn.microsoft.com/en-us/magazine/cc163996.aspx>.
- [9] MICROSOFT. Support boundary to configure the Windows time service for high accuracy environments [EB/OL]. [2011-07-19]. <http://support.microsoft.com/kb/93932>.