

【文章编号】 1004-1540(2010)02-0130-03

时间频率远程校准的数据分析与算法设计

左建生^{1,2}, 张树生¹, 董 莲², 陆福敏²

(1. 中国计量学院 机电工程学院, 浙江 杭州 310018; 2. 上海市计量测试技术研究院, 上海 201203)

【摘要】 依据国家计量技术规范 JJF 1206-2008《频率标准与数字时钟的远程校准规范》的要求, 并在上海计量测试技术研究院时间频率科室现有硬件基础上, 通过校准软件程序的数据分析与算法设计等方法, 实现对频率源的远程校准. 系统建立了比对结果数据库, 并对技术规范中的两种算法进行了比较, 最后给出校准结果, 经验证比对, 远程校准数据可靠.

【关键词】 时间频率; 远程校准; 数据分析; 算法设计

【中图分类号】 TB939

【文献标识码】 A

Time-frequency remote calibration data analysis and algorithm design

ZUO Jian-sheng^{1,2}, ZHANG Shu-sheng¹, DONG Lian², LU Fu-min²

(1. College of Electrical and Mechanical Engineering, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China;

2. Shanghai Institute of Measurement and Testing Technology, Shanghai 201203, China)

Abstract: Based on the JJG 1206-2006 frequency standard and the digital clock, the remote calibration standard and existing hardware in Time and Frequency Departments of Shanghai Institute of Measurement and Testing Technology, the calibration of remote frequency source was realized through the calibration data analysis software program and algorithm design method. The results of a database were established and the two algorithms in calibration standards were compared. Results in the final calibration proved to be reliable.

Key words: time and frequency; remote calibration; data analysis; algorithm

计量校准是国家计量体系中的一项重要工作, 计量校准的结果涉及国计民生的方方面面, 其重要性不言而喻. 时间频率作为一个重要基本物理量在国民经济、国防建设和基础科学研究中起着重要的作用; 然而, 时间频率的计量标准和量值传递, 尤其是高精度频率源在传统的校准过程中

还存在许多重要的问题需要解决, 如氢钟、铯钟等大的设备运行环境的差异, 不易搬运及不能断电运行等因素给校准带来了很大麻烦. 因此, 我们依据上海市计量测试技术研究院现有的硬件条件, 通过软件的数据分析和算法设计等方法, 来实现对频率源的远程校准.

【收稿日期】 2010-02-01

【作者简介】 左建生(1984-), 男, 河南开封人, 硕士研究生. 主要研究方向为检测技术及自动化装置.

1 总体设计思路

目前对高精度的频标,大都是通过 GPS 共视技术来校准的. GPS 共视技术接收到的数据是国际计量局(BIPM)规定下的具有统一格式的数据内容,内容格式为 GGTTS. 软件的算法设计,必须具有自动导入,选择有用的数据,如跟踪相同的卫星,起始时间、仰角的选择;如果为多通道的 GPS 共视接收机,还必须有相同的通道. 最后对满足相同条件下的两参数相减(REFGPS1-REFGPS2),再对所得的结果进行拟合计算得出被测频标的频率偏差,进而算出频率准确度及频率日漂移. 结构框图如图 1.

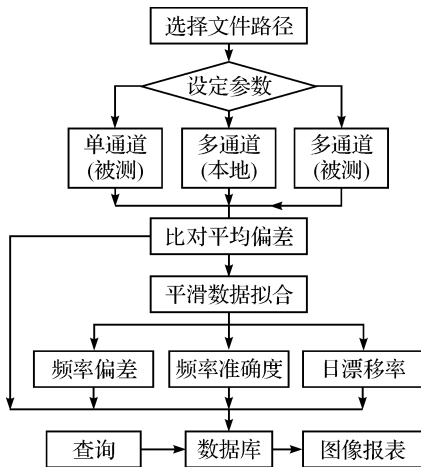


图 1 软件流程图

Figure 1 Software flow chart

1.1 数据文件及软件参数设定

由 GGTTS 数据格式可以知道,在 BIPM 对 GPS 共视法的数据格式做了统一规定,即为 GGTTS GPS DATA FORMAT. 其包含的参数有: PRN, CL, MJD, STTIME, TRKL, ELV, AZTH, REFSV, SRSV, REFGPS, SRGPS, DSG, IOE, MDTR, SMDT, MDIO, SMDI, CK. 其中对我们计算有用的几个参数如下.

REFSV:实际跟踪长度中点处本地秒脉冲与所跟踪的卫星时间的差值,单位 0.1 ns.

REFGPS:实际跟踪长度中点处本地钟与 GPS 时间之差,单位 0.1 ns,其中已经加了有广播星历表和天线坐标采用值计算出的几何时延改正、有电离层模型计算出的时延改正以及地球自

转有关的时延改正.

MDTR:实际跟踪长度中点处对流层引入的传播延时,单位 0.1 ns.

MDIO:实际跟踪长度中点处电离层引入的传播延时.

对计算有用的参数数据,我们必须将共星共视条件下进行提取. 由于 GPS 共视法将两地的对流层,电离层的影响大大降低甚至抵消,所以我们要重点考虑的是 REFGPS. 在相同儒略日(Julian Day)条件下,将所得数据进行作差,得到一天的相对平均频率差值.

1.2 频率偏差两种算法的比较

软件中涉及到日频率漂移率与频率偏差的算法,这两种算法,我们在软件进行了比较.

a) 两点时差法

设被校准源于参考源的平均频率偏差分别为:

$$y_A(\tau) = \frac{f_A(\tau) - f_{A0}}{f_{A0}} \quad (1)$$

$$y_B(\tau) = \frac{f_B(\tau) - f_{B0}}{f_{B0}} \quad (2)$$

$f_A(\tau)$ 和 $f_B(\tau)$ 分别是 τ 内的平均值,取 $f_{A0} = f_{B0} = f_0$ 为源的频率标称值,则有:

$$y_A(\tau) - y_B(\tau) = \frac{f_A(\tau) - f_B(\tau)}{f_0} = y_{AB}(\tau) \quad (3)$$

由于在 GPS 共视接收机中,时差是每 16 min 一个,设 $\tau_0 = 16$ min,则 τ_0 内平均频率差为:

$$y_{ABi}(\tau_0) = \frac{1}{\tau_0}(T_{AB(i+1)} - T_{ABi}) \quad (4)$$

在一天内共有 $(M+1)$ 个 T_{AB} ,可得到 M 个 $y_{AB}(\tau_0)$,其平均值为:

$$\begin{aligned} \bar{y}_{AB}(\tau_0) &= \frac{1}{M \cdot \tau_0}(T_{AB(M+1)} - T_{AB1}) \\ &= \frac{1}{\tau}(T_{AB(M+1)} - T_{AB1}) \end{aligned} \quad (5)$$

其中 $\tau = M \cdot \tau_0$,可取 $\tau = 1d(M=90)$, $2d(M=180)$ 或更长. 这样就可以求出 B 的相对频率偏差.

b) 直线拟合法

M 个 T_{AB} 随时间变化,过其平均点作一拟合直线,平均点的坐标为 (\bar{t}, \bar{T}_{AB}) . 其中 $\bar{t} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M t_i$,

取 $t_i = 1, 2, \dots, M$, 单位为 $\tau_0 = 16 \text{ min}$. $\bar{T}_{AB} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M T_{ABi}$ 直线拟合法就是利用拟合直线的斜率计算平均频率偏差. 斜率:

$$k_{AB} = \frac{\sum_{i=1}^M (T_{ABi} - \bar{T}_{AB})(t_i - \bar{t})}{\sum_{i=1}^M (t_i - \bar{t})^2} \quad (6)$$

所以将 k_{AB} 值的分子和分母都用同一时间单位表示, k_{AB} 值就变成无量纲的值, 用 k 表示, 则 $y_{AB}(\tau) = k$

我们采用上述不同的算法, 用本地数据和计量科学研究所的数据进行计算, 得到两个不同的结果如表 1 所示. 结果表明 b) 算法更接近科学.

对于日频率漂移来说, 当偏差为 10 ns/d 时, 日频率漂移为 1.1574×10^{-13} . 从上面的两个算法计算结果我们可以看出被校准频率标准的日频率偏差, 在数量级上可以得出两个算法都是正确的, 都能满足要求. 但是, 由于接收卫星数据受卫星运行、电离层、对流层以及钟运行环境等影响, 数据有些波动, 如果仅按照 a) 算法中的最后测量值减去第一个测量值的话, 容易造成较大误差.

表 1 计算结果

Table 1 Calculated results

日期	日频率漂移	
	a) 算法 ($\times 10^{-13}$)	b) 算法 ($\times 10^{-13}$)
09-11-22	1.05	0.17
09-11-23	1.54	1.74
09-11-24	0.56	0.24
09-11-25	1.04	0.82
09-11-26	0.45	0.65
09-11-27	1.21	0.21
09-11-28	1.25	0.39
09-11-29	1.79	0.13
09-11-30	1.13	0.45
09-12-1	1.60	0.70
09-12-2	1.24	1.26
09-12-3	1.38	1.48
09-12-4	0.36	0.25
09-12-5	0.13	0.03
09-12-6	0.52	0.71
09-12-7	0.13	0.04
09-12-8	1.34	0.19
09-12-9	1.29	0.39
09-12-10	1.64	0.29

1.3 数据库的构建

由于 GPS 接收机接收下来的数据比较大, 如果存储在文本之中, 会需要很大的硬盘空间. 数据库的设计是采用 LabVIEW 公司提供的免费访问数据库工具包来实现的, 总体包括数据的存储与数据的访问两部分. LabSQL 的开发是在 LabVIEW 中利用 ActiveX 功能, 通过调用 Microsoft ALO 控件, 结合 SOL 语言, 并通过 ODBC 接口函数数据库驱动程序实现对数据库的访问.

2 实例

用 2009 年 11 月 20 到 12 月 20 的数据, 上海市计量测试技术研究院时间频率科室的氢原子频标与中国计量科学研究所进行了校准比对, 并与参考频标给出的校准结果做了比较, 如表 2. 结果符合要求, 软件性能可靠. 图 2 为一个月数据拟合的图表.

表 2 结果比对

Table 2 Result comparison

计量项目	比对标准器	
	氢原子频标校准结果	氢原子频标本地计算结果
平均频率偏差	$1.0 \times 10^{-13} (k=2)$	$0.909 \times 10^{-13} (k=2)$
平均频率偏差 不确定度	$1.1 \times 10^{-14} (k=2)$	$1.05 \times 10^{-14} (k=2)$
输出频率	5 MHz, 10 MHz, 100 MHz	5 MHz, 10 MHz, 100 MHz
频率准确度	$2 \times 10^{-13} (k=2)$	$1.726 \times 10^{-13} (k=2)$
频率漂移率	$9.7 \times 10^{-16} / \text{d}$	$7.528 \times 10^{-16} / \text{d}$
频率漂移率 扩展不确定度	$1.2 \times 10^{-15} / \text{d}$	$1.5 \times 10^{-15} / \text{d}$

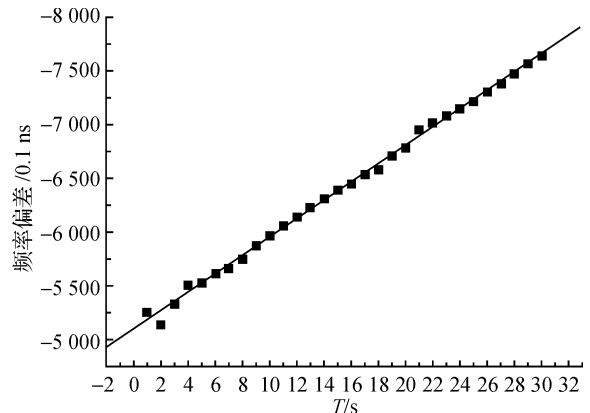


图 2 数据拟合

Figure 2 Data fitting

哈茨木霉 *Tri101* 基因的克隆丰富了哈茨木霉的基因工程资源,从而为进一步构建产木毒素水平高的基因工程菌打下了基础。

【参 考 文 献】

- [1] HARMAN G E. myths and dogmas of biocontrol changes in pserceptions derived from research on *Trichoderma harzimum* T-22[J]. Plant Disease,2000,84(4):377-393.
- [2] BENITEZ T, RINCON A M. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains[J]. Int Microbiol, 2004,7(4): 249-260.
- [3] 石一珺,申屠旭萍. 1株构骨内生真菌菌株的分类鉴定及其代谢产物的生防作用研究[J]. 植物病理学报,2009,4(39): 362-367.
- [4] GALLO A, MUL G. Isolation and characterization of a trichodiene synthase homologous gene in *Trichoderma harzimum* [J]. Physiological and Molecular Plant Pathology, 2004,65(1):11-20.
- [5] MCCORMICK S P, ALEXANDER N J. Disruption of TRI101, the gene encoding trichothecene 3-O-acetyltransferase, from *Fusarium sporotrichioides* [J]. Appl Environ Microbiol, 1999,65(12):5252-5256.
- [6] 李梅,杨谦.多菌灵抗性基因转化哈茨木霉的研究[J]. 农业环境科学学报,2003,22(4):493-495.
- [7] HOHN T M, BEREMAND P D. Isolation and nucleotide sequence of a sesquiterpene cyclase gene from the trichothecene-producing fungus *Fusarium sporotrichioides* [J]. Gene,79(1):131-138.
- [8] BROWN D W, DYER R B. Functional demarcation of the *Fusarium* core trichothecene gene cluster[J]. Fungal Genet Biol, 2004,41(4):454-462.
- [9] ALEXANDER N J, MCCORMICK S P. TRI12, a trichothecene efflux pump from *Fusarium sporotrichioides*: gene isolation and expression in yeast [J]. Mol Gen Genet, 1999,261(6):977-984.
- [10] GARVEY G S, MCCORMICK S P. Structural and functional characterization of the TRI101 trichothecene 3-O-acetyltransferase from *Fusarium sporotrichioides* and *Fusarium graminearum*: kinetic insights to combating *Fusarium* head blight [J]. J Biol Chem, 2008,283(3):1660-1669.
- [11] PEPLow A W, MEEK I B. *Tri16* is required for esterification of position C-8 during trichothecene mycotoxin production by *Fusarium sporotrichioides* [J]. Appl Environ Microbiol, 2003,69(10):5935-5940.
- [12] KIMURA M, TOKAI T. Trichothecene nonproducer *Gibberella* species have both functional and nonfunctional 3-O-acetyltransferase genes[J]. Genetics, 2003,163(2): 677-684.

(上接第132页)

3 结 语

在目前对于大型原子频率源校准比较困难的情况下,我们基于上海市计量测试技术研究院时间频率科室现有的硬件设备,结合国家计量校准规范 JJF 1206-2008《频率标准与数字时钟的远程校准规范》和氢原子频率标准检定规程 JJG 1004-2005《氢原子频率标准》等法规的要求,借助 GPS 共视技术并通过软件设计和编程,实现了对大型频标进行远程校准. 测量给出的校准结果,经验证比对,数据可靠. 试验与验证结果显示,由该数据分析与算法设计支持的软件系统符合国家相关标准和计量技术规范的要求,方便实用,可以实现大型频标的远距离校准. 如何对其他电参数转化为时间频率参数进行校准也是时下的一个计量热点问题,我们将继续探索如何将电压,电流参数转化为频率信号进行校准,以便为推进该领域的科技进步,为国家经济建设做好服务.

【参 考 文 献】

- [1] 孟庆杰. GPS在频率标准远距离传递中的应用研究[C]//2003年全国时间频率学术交流会论文集. 北京:中国宇航学会,2003.
- [2] 胡锦涛. 多通道 GPS 定时接收机的测量数据处理方法和结果比较[J]. 中国科学院上海天文台年刊,2000,21:134-139.
- [3] 高小珣. GPS 共视法远距离时间频率传递技术研究[J]. 计量学报,2008,29(1):80-83.
- [4] 张越,高小珣. GPS 共视法定时参数的研究[J]. 计量学报,2004,25(2):167-170.
- [5] VONDRAK J, CEPEK A. Combined smoothing method and its use in combining earth orientation parameters measured by space techniques [J]. Astronophys, 2000,147: 347-359.
- [6] ALLAN D W, THOMAS C. Technical directives for standardization of GPS time receiver software [J]. Metrologia, 1994,31:69-79.
- [7] ICD-GPS-200RC[S]. U S: Naval Observatory, 2000.
- [8] 张守信. GPS 卫星测量定位理论与应用[M]. 长沙:国防科技大学出版社,1996:31-41.
- [10] 梁志国,孟晓风. 数据采集系统的远程校准问题讨论[J]. 测试技术学报,2009,23(6):526-529.