

国 际 电 信 联 盟

ITU-R

国际电联无线电通信部门

ITU-R TF.1153-4 建议书
(08/2015)

**采用伪随机噪声码的卫星
双向时间和频率转移
的操作使用**

TF 系列
时间信号和频率标准发射



国际电信联盟

前言

无线电通信部门的职责是确保卫星业务等所有无线电通信业务合理、平等、有效、经济地使用无线电频谱，不受频率范围限制地开展研究并在此基础上通过建议书。

无线电通信部门的规则和政策职能由世界或区域无线电通信大会以及无线电通信全会在研究组的支持下履行。

知识产权政策（IPR）

ITU-R的IPR政策述于ITU-R第1号决议的附件1中所参引的《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC的通用专利政策》。专利持有人用于提交专利声明和许可声明的表格可从<http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>获得，在此处也可获取《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC的通用专利政策实施指南》和ITU-R专利信息数据库。

ITU-R 系列建议书

（也可在线查询 <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>）

系列	标题
BO	卫星传送
BR	用于制作、存档和播出的录制；电视电影
BS	广播业务（声音）
BT	广播业务（电视）
F	固定业务
M	移动、无线电定位、业余和相关卫星业务
P	无线电波传播
RA	射电天文
RS	遥感系统
S	卫星固定业务
SA	空间应用和气象
SF	卫星固定业务和固定业务系统间的频率共用和协调
SM	频谱管理
SNG	卫星新闻采集
TF	时间信号和频率标准发射
V	词汇和相关问题

说明： 该ITU-R建议书的英文版本根据ITU-R第1号决议详述的程序予以批准。

电子出版
2016年，日内瓦

© 国际电联 2016

版权所有。未经国际电联书面许可，不得以任何手段复制本出版物的任何部分。

ITU-R TF.1153-4 建议书

采用伪随机噪声码的卫星双向时间
和频率转移的操作使用

(ITU-R第250/7号课题)

(1995-1997-2003-2010-2015)

范围

时间和频率的双向卫星传输 (TWSTFT) 被视为最确切和精准的远程时钟比较方式, 因而在时间和频率界得到广泛使用, 其中包括电信主管部门附属的机构和组织。鉴于通过TWSTFT比较显示原子钟性能的进展, 发现有必要计算对测量结果适用的修正值, 其精确度要比以往版本认为必要的标准更高。由于地球不是正球体, 普遍认为它最接近椭圆体。一个给定位置有一个经度和两个纬度: 地心纬度和大地纬度。本版在计算萨格奈克修正值时适当顾及到了这一点。

关键词

时间和频率的双向卫星传输, TWSTFT、CDMA、萨格奈克修正值、时标比较

国际电联无线电通信全会,

考虑到

- a) ITU-R第250/7号课题显示了卫星双向时间和频率转移 (TWSTFT) 方法在时间和频率比对工作中表现出了高度的准确性;
- b) 得到广泛认可的做法是将TWSTFT系统用于采用通信卫星的全球网络, 主要用于Ku频段 (10.7-14.5GHz) 以支持但不限于支持得出协调世界时 (UTC);
- c) 其他频段的重要性与日俱增;
- d) 某些TWSTFT电路经反复校准已能使时间转移的系统不确定性达到1 ns以下;
- e) 现有的理论背景知识可以计算出对通过对流层和电离层的传播延迟效应的修正、对Sagnac效应以及其他对等因素的修正;
- f) 目前, 已在由十台以上采用码分多址 (CDMA) 技术的电台参与的网络中进行了TWSTFT;
- g) 需要标准化的领域:
 - 测量程序;
 - 数据处理;
 - 参与的电台和国际计量局 (BIPM) 等相关机构之间的数据和相关信息的交换格式,

建议

- 1 为通过TWSTFT获得准确的时间和频率转移，应遵循附件1简要介绍的测量和数据处理程序；
- 2 参与电台和相关机构间的相关数据交换应遵循附件2简要介绍的数据格式。

附件1

TWSTFT的程序

1 引言

采用对地静止通信卫星的TWSTFT被证明是进行时标和原子频率标准比较的最适用方式，其时间不确定性低于1 ns，而其频率相对不确定性约为一天平均时间的 10^{15} 之一。这就是为什么国际计时机构网络将TWSTFT广泛用于支持国际计量局（BIPM，Bureau International des Poids et Mesures）获得国际原子时（TAI）和协调世界时（UTC）。时间频率咨询委员会（CCTF）的TWSTFT工作组主持开展了这些活动。由于相同的原因，TWSTFT被重点选为或题名为实现全球卫星导航系统地面部分要素同步化的主要途径。可以预见它还将被用于许多其他用途。本建议书是对网络采用的现有习惯做法的扩展，而这些网络又是由支持BIPM的欧美、欧亚和亚太区域内部的机构构成的。不过，它应具有足够的开放性，以适应新的应用与服务。

利用无线电链接在时钟之间转移时间的做法由来已久。然而，无线电链路的信号时延是随距离、电离层、对流层、温度、大地导电率等因素而变化的。为将这些影响消除到1阶，我们采取了双向方案：从两个时钟所在地按计划同时发出时间信号，并在两地接收到来自对方时钟的信号，然后测出其到达时间。在交换测量数据后计算出两个时钟之间的差异。由于信号路径的对等性，延迟被削减到1阶。由于没有完全的对等性，此时结果的准确性取决于残值效应。这些效应当中有的已为人们彻底了解，另外一些仍处于研究当中。在某些情况下，可以利用对这些效应的修正来提高准确性。

2 交换信号简介

正如图1中的图形所示，TWSTFT是以通过对地静止通信卫星时间信号交换为依据的。它是通过收发无线电频率（RF）信号进行的，其中包括由调制解调器在中频（IF）调制的伪随机噪声（PRN）编码2进制相移键控（BPSK）。当地时钟实现了与相位调制的同步，而调制解调器生成每秒一个脉冲（1PPS）的输出，这一与BPSK序列同步的输出被称为1PPSTX。这一信号形成了叫做TS(k)的时标。每个电台都会在发送信号中的BPSK序列中采用一个专用的PRN编码。接收设备生成远端电台的BPSK序列，并从接收信号中重新生成一个叫做1PPSRX的1PPS记号。时间间隔计数器（TIC）对两个1PPS信号之间的差异TI(k)进行测量。两部电台根据预定的时间表，在一特定时段内锁定相应远端电台的编码，组织一次会话，测量信号的到达时间并存储结果。交换数据记录后即可算出两个时钟间的差异。附件1的剩余部分介绍了数据压缩和系统效应处理的详细情况。

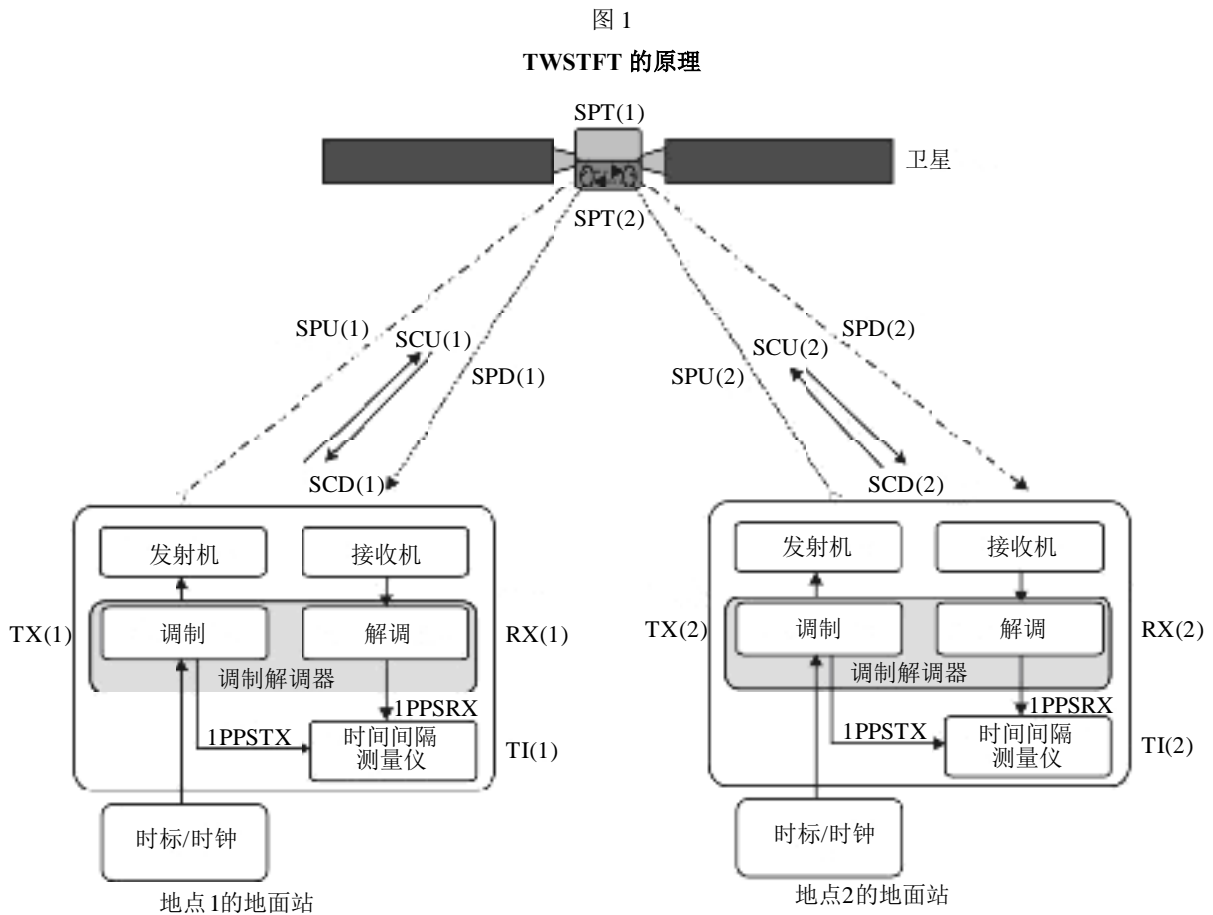


图1介绍了多种信号延迟，并对确定电台1和2的时钟之间时差的方法做了说明。各缩写词的含意如下。

- TS(k): 本地时标，物理地体现为调制解调器生成的1PPSTX信号，k为1时是指电台1，k为2时是指电台2
- TI(k): 时间间隔读数，测量仪门是由与本地发射信号相关的1PPS信号开启的，并由与接收信号相关的1PPS信号关闭；1PPSTX-1PPSRX的缩写词包括
- TX(k): 发射机延迟，包括调制解调器延迟
- RX(k): 接收机延迟，包括调制解调器延迟
- SPU(k): 信号路径上行链路延迟
- SPD(k): 信号路径下行链路延迟
- SPT(k): 经转发器的卫星路径延迟
- SCU(k): 上行链路的Sagnac修正
- SCD(k): 下行链路的Sagnac修正

以TS(1)-TS(2)表示的电台2与电台1在时标上的差异的确定方式如下:

电台1的TIC读数为:

$$TI(1) = TS(1) - TS(2) + TX(2) + SPU(2) + SCU(2) + SPT(2) + SPD(1) + SCD(1) + RX(1)$$

电台2的TIC读数为:

$$TI(2) = TS(2) - TS(1) + TX(1) + SPU(1) + SCU(1) + SPT(1) + SPD(2) + SCD(2) + RX(2)$$

从电台1的表达式减去电台2的表达式可以得出:

$$TI(1) - TI(2) = 2 TS(1) - 2 TS(2) + TX(2) - TX(1) + SPU(2) - SPU(1) + SPT(2) - SPT(1) + SPD(1) - SPD(2) + RX(1) - RX(2) + SCD(1) - SCU(1) - SCD(2) + SCU(2)$$

所谓双向等式给出了时标的差异:

$$\begin{aligned} TS(1) - TS(2) &= 0.5 [TI(1)] && (= \text{电台1的TIC读数}) \\ &- 0.5 [TI(2)] && (= \text{电台2的TIC读数}) \\ &+ 0.5 [SPT(1) - SPT(2)] && (= \text{卫星延迟差异}) \\ &- 0.5 [SCD(1) - SCU(1)] && (= \text{电台1的Sagnac修正}) \\ &+ 0.5 [SCD(2) - SCU(2)] && (= \text{电台2的Sagnac修正}) \\ &+ 0.5 [SPU(1) - SPD(1)] && (= \text{电台1的上/下行差异}) \\ &- 0.5 [SPU(2) - SPD(2)] && (= \text{电台2的上/下行差异}) \\ &+ 0.5 [TX(1) - RX(1)] && (= \text{电台1的发送/接收差异}) \\ &- 0.5 [TX(2) - RX(2)] && (= \text{电台2的发送/接收差异})。 \end{aligned}$$

后七项是对非对等性的修正。除卫星延迟差异SPT之外,原则上可按每个电台的修正进行分类。

以下几节进一步论述了非对等因素。

3 TWSTFT的非对等性和系统不确定性的原因

3.1 卫星设备延迟引起的非对称性

当卫星的接收天线、转发器信道和发射天线为两个信号路径共用时,卫星的信号延迟相等,即 $SPT(1) = SPT(2)$ 。当各电台的接收与发送使用不同频率、转发器或不同点波束时,就不会出现相等的情况,而这种情况常见于国际链路。在这种情况下,应在卫星发射前或采用另一种准确的方式测量 $SPT(1)$ 和 $SPT(2)$,或至少测出被称为 $XPNDR(k)$ 的 $SPT(1)-SPT(2)$ 的差异。

3.2 Sagnac效应的修正

由于在往来于卫星的时间信号传播期间,地球站和卫星都在围绕地球的旋转轴运动,需要对信号的传播时间进行修正。以下这一具有足够准确性的地球参考框架中给出了对自卫星s到地球站k的单向路径的Sagnac修正:

$$SCD(k) = (\Omega / c^2) [Y(k) X(s) - X(k) Y(s)]$$

设:

$$\begin{aligned} X(k): & \text{ 电台的地心x坐标(m)} \\ & = (a \cos[\tan^{-1}\{(1-f) \tan[LA_{geodetic}(k)]\}] + H(k) \cos[LA_{geodetic}(k)]) \cos[LO(k)] \\ X(s): & \text{ 卫星的地心x坐标(m)} \\ & = R \cos[LA(s)] \cos[LO(s)] \\ Y(k): & \text{ 电台的地心y坐标(m)} \\ & = (a \cos[\tan^{-1}\{(1-f) \tan[LA_{geodetic}(k)]\}] + H(k) \cos[LA_{geodetic}(k)]) \sin[LO(k)] \\ Y(s): & \text{ 卫星的地心y坐标(m)} \\ & = R \cos[LA(s)] \sin[LO(s)] \\ c: & \text{ 光速} = 299\,792\,458 \text{ m/s} \\ \Omega: & \text{ 地球旋转速度} = 7.2921 \times 10^{-5} \text{ rad/s} \\ f: & \text{ 地球椭球体扁率} = 1/298.257222 \\ a: & \text{ 地球赤道半径} = 6\,378\,137 \text{ m} \\ R: & \text{ 卫星轨道半径} = 42\,164\,000 \text{ m} \\ LA(k): & \text{ 电台纬度 (rad)} \\ LO(k): & \text{ 电台经度 (rad)} \\ H(k): & \text{ 电台高度 (m)。} \end{aligned}$$

由于地球不是正球体，普遍认为它最接近椭圆体。一个给定位置有一个经度和两个纬度：地心纬度和大地纬度。将大地坐标转换为地心坐标，使用下面的计算公式：

$$LA_{geocentric}(k) = \tan^{-1} \left\{ \frac{(1-f) \sin[\tan^{-1}\{(1-f) \tan[LA_{geodetic}(k)]\}] + \left(\frac{H(k)}{a}\right) \sin[LA_{geodetic}(k)]}{\cos[\tan^{-1}\{(1-f) \tan[LA_{geodetic}(k)]\}] + \left(\frac{H(k)}{a}\right) \cos[LA_{geodetic}(k)]} \right\}$$

由于对地静止轨道卫星 $LA(s) = 0^\circ \text{ N}$ ，所以：

$$SCD(k) = \frac{\Omega}{c^2} R (a \cos[\tan^{-1}\{(1-f) \tan[LA_{geodetic}(k)]\}] + H(k) \cos[LA_{geodetic}(k)]) \sin[LO(k) - LO(s)]$$

参照电台1时钟的电台2时钟测量的总Sagnac修正 $SCT(1,2)$ 为：

$$SCT(1,2) = 0.5 [SCU(1) + SCD(2) - [SCU(2) + SCD(1)]]$$

此外，由于信号的传播方向相反，下行链路Sagnac修正的标志与上行链路Sagnac修正的标志相反： $SCU(k) = -SCD(k)$ ，因此 $SCT(1,2) = -SCD(1) + SCD(2)$ 是有效的。

举例说明位于 43° W (317° E) 的卫星：

$$LA(\text{VSL}) = 51^\circ 59' 8'' \text{ N}, LO(\text{VSL}) = 4^\circ 23' 17'' \text{ E}, LO \text{ 中的差异} = 47^\circ 23' 17'', H(\text{VSL}) = 76.8 \text{ m}, SCD(\text{VSL}) = +99.10 \text{ ns}$$

$LA(\text{USNO}) = 38^\circ 55' 14'' \text{ N}$, $LO(\text{USNO}) = 77^\circ 4' 0'' \text{ W}$, LO 中的差异 = $-34^\circ 4'$, $H(\text{USNO}) = 46.9 \text{ m}$,
 $SCD(\text{USNO}) = -95.22 \text{ ns}$

$SCT(\text{VSL} \rightarrow \text{USNO})$: $-SCD(\text{VSL}) + SCD(\text{USNO}) = -194.32 \text{ ns}$

$SCT(\text{USNO} \rightarrow \text{VSL})$: $-SCD(\text{USNO}) + SCD(\text{VSL}) = +194.32 \text{ ns}$

VSL: 位于荷兰戴尔福特的前NMI Van Swinden实验室

USNO: 美国华盛顿特区美国海军天文台。

对于地面观测者而言，对地静止轨道卫星的位置并非完全固定不动。在一天当中，围绕中心点会出现小幅阶段性运动。根据参与电台的位置，这会定期地引起Sagnac效应的变化，其最大峰到峰振幅为数百个ps。此前这一点大多被忽略，但要想获得极高的准确性，就必须明确这一点。

3.3 地固参考系中卫星运动的通路延时差异

如果卫星相对于地表处于运动当中，而且两个到达的信号没有在同一时间点通过卫星，经过卫星的地球站之间的双向通路就不是对等的。原则上，可以通过两个地球站发射时间的抵偿补偿通往卫星的不同通路的延时SPU(1)和SPU(2)，避免出现这一效应。如果两个地球站的信号在5ms之内到达卫星，延时差异仅处于几十个ps的水平，那么它就呈昼夜模式。

3.4 电离层修正

各地球站上行和下行链路信号的载频不同，而它们体验到的不同电离层时延等于：

$$40.3 \text{ TEC} (1/c) (1/f_d^2 - 1/f_u^2)$$

设：

系数 40.3以 m^3/s^2 为单位

TEC: 信号通路沿线的全电子浓度（单位：electrons/ m^2 ）

c : 光速(m/s)

f_d 和 f_u : 分别为下行链路和上行链路频率(Hz)。

例如：对于 1×10^{18} 电子/ m^2 和 $f_u = 14.5 \text{ GHz}$ 和 $f_d = 12.5 \text{ GHz}$ 的高TEC而言，这一电离层时延等于 $0.859 \text{ ns} - 0.639 \text{ ns} = 0.220 \text{ ns}$ 。因此差异 $0.5[\text{SPU}(k) - \text{SPD}(k)]$ 通常小于 -0.11 ns 。

3.5 对流层修正

对流层的时延取决于仰角、空气的水分含量、空气密度和温度，但高达20GHz的时延则只在极小程度上取决于频率。因此，它对于上/下行传播时延差异的影响为 $< 10 \text{ ps}$ 。

3.6 地球站时延的测量

必须在每个地球站确定发送和接受部分 $[\text{TX}(k) - \text{RX}(k)]$ 的差异，其中包括上行和下行转换器、调制器和解调器(modem)、放大器、天线、布线等。这样做的方式是：

- 将两个地面站共置；或
- 随后在两个地面站各共置第3个（可移动式）地球站；
- 采用卫星模拟器和经校准电缆等校准器。

时间和频率业界广泛采用可移动式地球站进行校准。这里的假设是，无论可移动地球站安装在什么位置，其内部时延保持不变。

最后一种方法最便宜，而且原则上可以频繁使用。这一方法包括对辅助电缆的校准、对发送和接收时延总和的测量、对辅助电缆时延和接收时延总和的测量，从测量结果中计算出接收和发送时延。

还必须确定调制解调器的内部发送和接收时延差异。这可通过以下两种方法实现：

- 共置TWSTFT链路的两个调制解调器，并测量一个调制解调器的发送时延和另一个调制解调器接收时延的总和。
- 测量IF环回中各调制解调器的发送和接收时延的总和，通过振荡器测量1PPSTX和发射机IF输出信号之间相位差的发送时延。从测得的时延总和中减去发送时延即可得出接收时延。

4 TWSTFT测量数据与本地测量结果的结合

为对时标差异进行测量，每个地球站都应尽可能向其他地球站提供带有其修正评估的TI(k)数据。一个选择是结合有关不同相关信号（见下一段）之间经测量的本地补偿的报告，提交一份有关在一具体会话期间收集到的原始1-s数据的报告。日渐流行的另一种选择是生成一个有会话代表性的单一平均数据点，并只对这一数据点进行处理。由于这一选择具有独立性，必须对各实验室定时链出现的时延进行仔细测量和记录。在许多情况下，需加以比较的时标都最终在k实验室形成本地的协调世界时（UTC），因此称为UTC(k)。然而这种方法无疑普遍适用于时标比较，如可用于全球卫星导航系统地面部分不同要素的同步化。我们在整个这份建议书当中都涉及到两个相关地球站各自形成一个UTC(k)时标的情况。

总体而言，测量程序涉及的UTC(k)和物理信号之间出现了抵偿的情况，即代表TS(k)的1PPSTX(k)。UTC(k)-1PPSTX(k)差异被以最简单的形式描述为参考时延REFDELAY(k)。

不同机构形成UTC(k)的方式存在巨大差异。在某些实验室，UTC(k)是一个数学时标。然而，所有实验室都有一个作为这一时标物理代表的（主）时钟(CLOCK(k))。每个实验室都是通过测量或计算确定这一关系[UTC(k) - CLOCK(k)]的。CLOCK(k)可以用作提供给调制解调器的输入1PPSREF(k)。与调制解调器连接相关的布线可能引起一种抵偿[CLOCK(k) - 1PPSREF(k)]。调制解调器生成一个与发送信号相关的1PPSTX，以便于对差异[1PPSREF(k) - 1PPSTX(k)]进行测量。

为从经测量的数量TS(1)和TS(2)（见第2段）计算两个实验室UTC时标之间的差异，可采用以下公式：

$$\begin{aligned}
 \text{UTC}(1) - \text{UTC}(2) = & \quad \text{TS}(1) - \text{TS}(2) \\
 & + \{[\text{UTC}(1) - \text{CLOCK}(1)] \\
 & + [\text{CLOCK}(1) - 1\text{PPSREF}(1)] \\
 & + [1\text{PPSREF}(1) - 1\text{PPSTX}(1)]\} \\
 & - \{[\text{UTC}(2) - \text{CLOCK}(2)] \\
 & + [\text{CLOCK}(2) - 1\text{PPSREF}(2)] \\
 & + [1\text{PPSREF}(2) - 1\text{PPSTX}(2)]\}
 \end{aligned}$$

为简短起见，大括号中的条件被称为REFDELAY(k)。偏离上述程序的方法也有时得到使用，但本建议书没有涉及。

5 技术的性能特性

对于双向时间转移而言，必须考虑到两个层次的地球站性能和运行。第一个层次涉及满足调制解调器的基本要求，以便在预定的时间表、相关的传输频率和功率电平中实现所需的输出相位调制。第二个层次涉及监管机构和卫星运营机构要求提供的地球站性能特性。

达到监管要求本身并不能够保证令人满意的双向运行。只有向调制解调器提供了必要的载噪密度 C/N_0 和载波功率电平 P 之后，才能得到令人满意的结果。运行参数是通过链接预算确定的。我们可以通过这一链接预算确定必要的天线尺寸、要求的发射功率和接收系统所需的噪声温度。根据国际电联卫星通信手册（2002年，日内瓦，第三版）第2章第2.3段和附件2第AN2.1节提供的指导和实例，可以得出这一链路预算。

监管要求通常是负责国家和国际一级电磁频谱管理的行政机构和卫星运营商提出的。规则和条例通常决定着建立地球站的时间和地点、地球站的质量及其所有权和运行。这些规则和条例通常旨在保证该地球站不会对其他地球站和其他邻近卫星产生干扰。相关的问题通常包括天线图和天线增益、品质因素（G/T）、等效全向辐射功率（e.i.r.p.）、极化鉴别标准和操作人员的培训与认证。与地球站相关的许多技术问题都可以通过从制造商那里采购的系统得到保证，因为制造商已使其设备符合具体卫星系统和标准的运行要求。

以下是为提供电气运行标准而确定的参考文件：

无线电通信第4研究组：ITU-R S.524、ITU-R S.580、ITU-R S.725、ITU-R S.726、ITU-R S.728和ITU-R S.729建议书。

主要卫星运营机构国际卫星通信组织：IESS-208、IESS-601和操作要求后附资料3。

美国联邦通信委员会US FCC摘自联邦行政法规第47篇第20-39部分第25-209条规定。

世界的某些区域可能对卫星系统、位置、用户分类和其他标准提出其他要求。

在确定结果的准确性和稳定性时，应遵循国际标准化组织（ISO/IEC 导则98：1995年）“测量不确定度表示指南”以及ITU-R TF.538建议书介绍的运行程序特性描述。

6 网络中的TWSTFT

如果地球站已形成网络而且数据是与相关机构和第3方进行自动处理，显然有必要对于测量程序、数据处理和加盟地球站之间的数据和相关信息的交换格式实行标准化。本建议书是在得到广泛采用的做法的基础上制定的，采用这些做法的网络包括促成UTC的欧美、欧亚以及亚太区域的定时机构。有关TWSTFT的CCTF工作组确保这些网络的协调一致。每个网络通常会指定一名管理人员担任联系人。

6.1 电台的识别和分配的特性、编码和偏移频率

参与工作的每个实验室或机构都是通过最好由BIPM酌情分配的验证串（如LAB）和一个ASCII字符进行识别的。所有台站名义上都在相同的发射频率上运行，并通过一个特有的PRN码（码分多址，CDMA）加以区分。一同分配的还有一个干净的载波偏频，这一频率是网络的所有台站发送干净载波（非调制）信号时所必需的。这种发射是在远端台站调整接收频率的一种操作方法，以检测使用的功率电平，并实现在特定时间对发射站的明确识别。如果一个实验室例行操作多个TWSTFT地面站，每个地面站都应获得一套独特的识别参数，包括台站编码（如LAB01、LAB02等）。

6.2 会话参数

本附件中的“会话”一词，用于两个地球站之间交换TWSTFT信号的连续时间段。会话的特点是具有以下信息：

- 卫星识别：名称、经度、轨道参数、转发器信道、转发器带宽、卫星设备的非对等性（如已知）；
- 地面站名称；
- 链路预算；
- 地面站的TX和RX频率；
- 调制解调器参数：调制解调器类型、TX码和RX码、芯片速率；
- TX滤波器类型和带宽（如试用）；
- 起始日期和时间；
- 会话的准备时间（等于两次会话之间的间歇时间）；
- 会话的延续时间；
- 每个台站的联系人。

数据报告将采集的数据点序列称为“轨道”，因此就有了名义和实际轨道长度等说法。

6.3 本地地面站参数

每个实验室都应以下信息记录在案：

- 天线坐标（IERS地球参考框架的x、y、z）；
- 地面站标识符；
- 发射功率（dBm）或e.i.r.p. (dBW)；
- 接收机的G/T (dB/K)；
- 接收机端的标称C/N₀ (dBHz)；
- 调制解调器：制造商、模式、类型、系列号；
- 天线：制造商、类型、直径、增益；
- 延时校准：日期、方法、结果；
- 可选：会话期间记录的经测量的TX(k) – RX(k)时延、接收功率、接收C/N₀和频率以及天线端的环境参数（温度、湿度、气压、气候条件）；
- 时间间隔测量仪：如果这是生成TWSTFT测量结果的固有组成部分的话，则包括制造商、类型和系列号。

应向网络管理人员报告台站参数和设备的所有变化。

7 台站时延的校准

校准实验室设备的信号时延，是进行准确时间转移的关键。在不进行校准的情况下，人们依然可以根据（未知）时延具有足够稳定性的假设，进行频率转移。TWSTFT链路大多是利用便携式TWSTFT电台校准的，但这屡屡呈现大约1 ns的不确定性。另一可行的方法是利用GPS或便携时钟等独立的时间转移系统，校准TWSTFT链路。人们原则上可以将涉及两个台站的链路校准和对一特定台站个别信号时延的校准区别开来。

为将校准结果（CALR）明确无误地计入TWSTFT数据文件（将在附件2中说明），需要以其类型校准标识符CI和校准结果CALR来描述每次校准的特点。

类型 用于以下列关键词为特点的某一链路的技术的类型：

PORT ES REL	用于相对模式的便携地球站。
PORT ES ABS	用于绝对模式的便携地球站。
PORT SS REL	用于相对模式的便携卫星模拟器。
PORT SS ABS	用于绝对模式的便携卫星模拟器。

独立时间转移系统或其他方式进行的校准，例如：

GPS	全球定位系统。
PORT CLOCK	便携时钟。
CIRCULAR T	报告UTC和本地形成的UTC(k)之间差异的BIPM月报
TRIANGLE CLOSURE	（三角闭合）利用将两个参与的台站与第三个台站相连接的链路的校准结果进行链路校准。

- CAL nnn BRIDGED** 如果我们根据地面或空间设备的变化推断以往的校准值CAL nnn已过时，延续它的方法是采用适用的桥接程序，例如在变化之前和之后，持续地并行运行独立的时间转移链路，然后，确定设备更换引起的时延变化。
- CALR** 以ns计算的校准结果。附件1第8段对它在计算时标差异方面的应用做了说明。
- CI** 负责TWSTFT的CCIF工作组为参与具体校准工作的实验室协调校准识别的分配。由于利用独立时间转移系统（如GPS）进行的校准只能在两家实验室之间进行，必须要为成对的实验室分配校准识别。数据文件（见附件2）中的校准标识符CI被用作文件标题指针，以提供校准类型、校准期间在各站点采集数据的第一天的简化儒略日¹和估算出的校准不确定性。数据文件只应包括目前相关的校准条目。
- 未经校准的链路应该获得“999”的标识，而通报这一数据的数据文件中不应包括有关这一链路的条目（见附件2第3.3段）。
- 如果链路在中断后重新建立，而有关以往校准的知识是通过带有某些不确定性的其他方式（“桥接”）而延续的，那么就需要使用一个新的CI，并利用TYPE说明老的CI和桥接情况。
- ESDVAR(k)** 在可以进行校准的情况下，对于进行校准时存在的地球站时延采用地球站时延变化（ns）。所有地球站和调制解调器的时延变化都必须纳入其中。
- 未经校准的链路应标为“999999”。必须为每个TWSTFT网络确定在进行时延校准时，是否将ESDVAR归零。如果选择第一个选项，应将ESDVAR设为0.000。

8 时钟差异的计算

8.1 引言

目前存在多种类型的用于TWSTFT的调制解调器，而且可以根据调制解调器的使用及其配置情况，以两种不同的方式报告TWSTFT结果。

个体数据的报告：各台站都是在对远端台站得出的测量结果毫不知情的情况下报告各自测量结果的。

综合数据报告：从台站1和2获得的测量结果在报告前得到综合。“结果”显示了两项测量结果的差异。采用这一选择需要在网络和数据用户之间开展具体协调工作。

在数据行当中，以数字表示的S被用于区分不同类型的校准以及报告的不同类型的测量数据。

¹ ITU-R TF.457建议书提供了修正儒略日期（MJD）的定义。

- S 转换S（可以是“0”、“1”、“2”、“5”、“6”或“9”）说明了报告数据的类型，校准结果CALR当中包括了哪些双向等式的条件（第2段）和应采用哪个等式进行时钟差异计算。
- S = 0 校准结果CALR给出了实验室微分地球站时延（发送部分减去接收部分）与校准系统（地球站的共置、卫星模拟器）微分地球站系统时延之间的差异。因此，每个站点都有明确具体的CALR值。
- S = 1 校准结果CALR包括双向等式的所有条件，但本地和远程地球站的时间转移测量TI和参考测量REFDELAY不在此列。利用GPS等独立时间转移系统得出CALR时会出现这种情况。因此，CALR值对每个链路都是明确的，对 $CALR(1,2) = -CALR(2,1)$ 尤其如此。
- S = 2 校准结果CALR包括测距时延。
- S = 5 CALR和REFDELAY通过与S=1相同的方式给出了本地台站的校准结果和参考测量。然而，两项TWSTFT测量的差异是在数据行中报告的。这既实现了以两份文件报告综合数据，又能使自动数据压缩得到数据文件独特格式的支持。
- S = 6 时间转移测量，即CALR和REFDELAY，均为来自本地和远程台站的测量数据，而对它们的报告只通过一个台站的数据文件的一个数据行进行。有关S = 5和S = 6的说明见第8.3款。
- S = 9 对于具体数据报告而言，校准结果CALR要么无法提供，要么已经过时。

以下部分说明了怎样依靠转换S，并根据两个台站报告的数据确定时钟差异的方法。这里参考了附件2做出说明的数据文件的数据行。对地球站和卫星位置的了解使人们能够算出Sagnac修正（3.2款），而对TEC和收发频率的了解使人们能够计算出电离层造成的传播时延（3.4款）。

当S=0、S=1和S=9时，报告的数据可能是在会话期间采集的原始1-s测量数据TI(k)。有关在会话期间采集的被称为TW(k)的数据的二次拟合结果的报告则更为常见。在这种情况下，必须遵循严格和独特的规则算出TW(k)，否则卫星的周期运动会引起时间比较数据的变化，从而造成失真。根据规则，要为名义会话起始日期外加四舍五入至秒的名义轨道长度（名义会话持续时间）给出的时间点算出平均数据点。这一规则假设，TI(k)数据代表相关时戳给出的时间进行的瞬间间隔测量。如果调制解调器输出TI(k)为在间隔dT（如1 s）之间进行的连续时间间隔测量的平均值，那么就需要为名义时间 - dT/2计算出具有代表性的数据点TW(k)。在报告1-s数据时，建议在数据文件标题中报告dT，请见附件2第2款。

以下的两小节讨论了与时标计算相关的公式。

8.2 个体数据

S = 0:

$$\begin{aligned} \text{UTC}(1) - \text{UTC}(2) = & + 0.5 [\text{TW}(1) + \text{ESDVAR}(1)] + \text{REFDELAY}(1) \text{ 数据行实验室1} \\ & - 0.5 [\text{TW}(2) + \text{ESDVAR}(2)] - \text{REFDELAY}(2) \text{ 数据行实验室2} \\ & + [\text{SCD}(2) - \text{SCD}(1)] \text{ 标题行实验室1和实验室2} \\ & + 0.5 [\text{SPU}(1) - \text{SPD}(1)] \text{ 标题行实验室1} \\ & - 0.5 [\text{SPU}(2) - \text{SPD}(2)] \text{ 标题行实验室2} \\ & + 0.5 [\text{CALR}(1) \\ & - \text{CALR}(2)] \text{ 数据行实验室1和实验室2} \\ & + 0.5 \text{XPNDR}(1) \text{ 标题行实验室1。} \end{aligned}$$

S = 1:

$$\begin{aligned} \text{UTC}(1) - \text{UTC}(2) = & + 0.5 [\text{TW}(1) + \text{ESDVAR}(1)] + \text{REFDELAY}(1) \text{ 数据行实验室1} \\ & - 0.5 [\text{TW}(2) + \text{ESDVAR}(2)] - \text{REFDELAY}(2) \text{ 数据行实验室2} \\ & + 0.5 [\text{CALR}(1,2) - \text{CALR}(2,1)] \text{ 数据行实验室1和实验室2。} \end{aligned}$$

S = 2: 确定距卫星的距离:

$$\text{RNG}(k) = 0.5 c [\text{TW}(k) - \text{CALR}(k) - \text{ESDVAR}(k)].$$

这里的*c*应被理解为信号沿卫星到地面站的信号通路传播的速度。

S = 9:

$$\begin{aligned} \text{UTC}(1) - \text{UTC}(2) + K = & + 0.5 [\text{TW}(1) + \text{ESDVAR}(1)] + \text{REFDELAY}(1) \text{ 数据行实验室1} \\ & - 0.5 [\text{TW}(2) + \text{ESDVAR}(2)] - \text{REFDELAY}(2) \text{ 数据行实验室2。} \end{aligned}$$

在不进行校准的情况下，据认为时标差异只带有一个未知的抵偿*K*。

注 1 – 如果TW(k)被TI(k)所取代，上述所有关系都继续有效。

8.3 综合数据

为将本建议书介绍的数据格式更广泛的用于时标比较，以下部分将介绍两个所谓综合数据报告的特例。可行应用出现的条件是，一个运营商负责报告整个台站网络的结果，或者调制解调器技术使人们能够利用互联网或对传输的RF信号的数据进行低速率编码等实时数据交换而在远端站点获得的时间转移结果。我们首先采用了所谓“时钟差异”TW(1,2)，这一差异要么等于0.5 [TW(1) - TW(2)]，要么以个体的TI(k)测量为依据。在后一种情况中，TW(1,2)是一次会话当中记录的单一差异0.5 [TI(1) - TI(2)]的中间值。

如果结成一对的两个台站在其数据文件中报告了其本地测量结果ESDVAR(k)、REFDELAY(k)和CALR(k)，但采用的是调制解调器的TW(1,2)输出而不是二次提供的多站点的TI(k)测量结果，那么以下这一数学结构与S=1案例相同的等式就是有效的。

S = 5:

$$\begin{aligned} \text{UTC}(1) - \text{UTC}(2) = & + 0.5 [\text{TW}(1,2) + \text{ESDVAR}(1)] + \text{REFDELAY}(1) \text{ 数据行实验室1} \\ & - 0.5 [\text{TW}(2,1) + \text{ESDVAR}(2)] - \text{REFDELAY}(2) \text{ 数据行实验室2} \\ & + 0.5 [\text{CALR}(1,2) - \text{CALR}(2,1)] \text{ 数据行实验室1和实验室2.} \end{aligned}$$

如果网络运营商负责整个网络的数据报告工作，S=6的情况可以适用。因此，运营商需对所有参与台站的数量进行计算。

S = 6:

$$\text{UTC}(1) - \text{UTC}(2) = \text{TW}(1,2) + 0.5 \text{ESDVAR}(1,2) + \text{REFDELAY}(1,2) + \text{CALR}(1,2)。$$

在这一特殊情况下，数据仅通过台站1形成的文件报告。这里的TW(1,2)是对上述时钟的补偿，而其它数量则代表台站1减去台站2所得各数量间的差异。因此，ESDVAR(1,2)、REFDELAY(1,2)和CALR(1,2)分别包含综合的本地测量结果。附件2第3.4段在此引证了这一内容。计算时标差异无需台站2形成的文件。

对于综合数据，未校准的结果仅被称为CI = 999，而相应的条目CALR = 999999999。Switch S = 9只保留给有关个体数据的报告。

附件2

对用于数据交换的数据模式的描述

1 引言

数据文件的起始处有一个标题，据认为，其中包含的所有数据在以文件（如2 min，见附件2第2款，或一天，见附件2第3款）报告TWSTFT期间不会发生变化。随后的数据行包括的所有数据预计会发生变化。

以上内容适用于附件1第8.1款描述的个体和综合数据。个体数据有进一步区分为报告的具体1-s数据和对于会话期间采集的1-s数据的二次拟合的结果。

随后报告的规则和标志完全适用于第2段提及的数据格式，并部分适用于附件2第3段提及的数据格式。

LAB: 实验室标识（最好遵循BIPM的规则或由网络管理员分配），最多四个字符

Jjjj: 修正儒略日期

hh: UTC小时

mm: UTC分钟

ss: UTC秒钟

L: 利用ASCII字符（小写或大写）命名的本地实验室

R: 利用ASCII字符（小写或大写）命名的远程实验室

*****: 案文行的起始标志

+: 其后数值的标志，“+”或空白代表正数值，而“-”代表负数值

N: 0到9之间数字字符的占位符

[: 选择标志

n.nnnnnnnnnnnn: 时间间隔数值（12位，相当于1 ps解析度）个体测量值通常在0.250s和0.280s之间。

2 具体的1-s测量结果的报告

数据文件包含一个标题，数据行紧随其后。为了方便实施，在现场说明中增加了标尺，其下内容不构成文件的一部分。

数据文件名称:

Ljjjjhh.mmR

这里的jjjj、hh、mm提供了TWSTFT会话的名义起始日期和时间。

标题:

```

      1           2           3           4           5           6
123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
*
* UTC(LAB) - CLOCK = +n.nnnnnnnnnnnn [jjjj hhmmss]
* CLOCK - 1PPSREF = +n.nnnnnnnnnnnn [jjjj hhmmss]
* 1PPSREF - 1PPSTX = +n.nnnnnnnnnnnn [jjjj hhmmss]
* dT/2           = +n.nnn [s]
```

可通过尽可能多的行数以下列格式报告操作参数:

```
* PARAMETER = Value [units] [jjjj hhmmss]
```

这里的jjjj和hhmmss提供了采集上述数值的日期，对认为必要的行数不设限制。请注意，参数报告的格式和内容都未实行标准化。标题的结束行为:

```
* DATA = [1PPSTX - 1PPSRX] | [1PPSREF - 1PPSRX] | [..],
```

酌情使用。

数据:

```

      1           2           3
123456789012345678901234567890
jjjj hhmmss n.nnnnnnnnnnnn
jjjj hhmmss n.nnnnnnnnnnnn
```

这里的jjjj和hhmmss提供了数据采集日期。

实例:

文件C5483108.25E（在定于UTC 8时25分开始TWSTFT与台站E就MJD 54831进行的会话期间在台站C测得的数据）:

```

* C5483108.25E
* UTC(VSL) - CLOCK = +0.000000000000 54634 074000
* CLOCK - 1PPSREF = +0.000000033938 54642 070500
* 1PPSREF - 1PPSTX = 0.000000674202 54831 082446
* SIGNAL POWER = -51.4 dBm
```

```

* SIGNAL C/N0 = 54.5 dBHz
* RX FREQUENCY = 70.0001691 MHz
* JITTER = 0.000000000329 s
* DATA = 1PPSTX - 1PPSRX
54831 082507 0.26751435044
54831 082508 0.26751434770
54831 082509 0.26751434500
54831 082510 0.26751434210
54831 082511 0.26751433944
54831 082512 0.26751433754
54831 082513 0.26751433476
54831 082514 0.26751433152
54831 082515 0.26751432904
54831 082516 0.26751432635
54831 082517 0.26751432370
54831 082518 0.26751432093
54831 082519 0.26751431805

```

注1 – 实例当中的第一个数据行是刚刚在UTC08:25:07生成的，如果调制解调器未能在会话的头几秒钟锁定接收信号，就可能出现这种情况。

3 报告二次拟合结果的数据格式

附件2第4段中的实例对下述格式做了说明。

3.1 总体说明

本格式的目的在于减少数据交换量，并力求通过一份数据文件报告不同合作台站和卫星链路参与的实验室的会话结果。可以利用一份文件报告超过一天的数据。也可以利用标题和数据行提供的信息，计算时钟差异，但无需了解各参与实验室具体的测量设置。

数据行分两类：

- 第一栏中带有星号的数据行（文件标题，数据行标题）；
- 第一栏中不带星号的数据行（数据行）。

根据格式说明，粗体字符是某些位置上的关键词，斜体字符应分别由实际的数据串或数值取代（实际的数据文件中没有斜体或粗体字符）。括号中的字符串是可选项，而每当数据前必须加一个符号时，就用“+”表示。所有缺失的数据都应由覆盖相关数据域总长度的一系列“9”替代，这也包括为符号和小数点保留的域。

3.2 文件名称

文件名称包括**TW**、实验室名称（多达四个字符的实验室名称**LLLL**）以及第一个数据行给出的修正儒略日（后三位数为文件扩展）：**TWLLLLMM.MMM**（例如TWTUG50.091）。这一规则也适用于一份文件报告超过一天数据的情况。在一座实验室当中有两个或更多地球站运行的情况下，可用一份文件报告数据，因为各数据行可明确指示使用的台站。然而，更为方便的办法是为每个台站提供一份单独的文件报告。在这种情况下并根据网络会计商定的结果，文件名称中的**LLLL**将能够对在用台站，如PTB1和PTB2，或USNO和USNP等进行区分。

注1 – 虽然可在数据行中报告综合数据，但标题只包括参与的本地台站的信息。

XPNDR 微分转发器延时 (ns) (本地台站到远端台站减去远端台站到本地台站)。

SAT-NTX 卫星的名义发射频率 (MHz)。此频率与本地地球站接收频率一致。

SAT-NRX 卫星的名义接收频率 (MHz)。此频率与本地地球站发射频率一致。

BW 卫星运行机构提供的转发器频率带宽。

一条链路需要两行进行描述, 但使用的LINK行可根据需要使用, 不受数量限制。

CAL CAL行提供了校准类型、修正儒略日和校准的综合标准测量不确定性;

CCC 每个数据行包括的校准识别 (数据行标题: CI, 见第3.4款), 指向文件标题的具体CAL行。

TYPE 以附件1第9段提及的关键词做出说明的某链路所用技术的类型。

MJD 校准的修正儒略日。

EST.UNCERT. 校准的综合标准测量不确定性。

可用一行描述校准, 但CAL行可根据需要使用, 不受数量限制。

LOC-MON 需视本地地球站延时监测系统以是或否回答。

MODEM 所用调制解调器的类型和系列号。应对文件有效期内使用的所有调制解调器做出报告。

COMMENTS 自由文本格式的意见行。此行可被用于报告PRN编码的芯片速率和TX信号通路中的过滤器参数。

可根据需要使用数量不受限制的行和栏 (每行可多达78个字符)。

文件标题的最后一行只在第一栏放置星号。

3.4 数据行

数据行的格式见附件2第4款的例1。

EARTH-STAT 以各实验室首字母缩写词 (最多四个字符) 提供的本地 (LOC) 和远端 (REM) 地球站名称和例如TUG01的台站识别号 (两位)。此域为右对齐。

LI 链路识别是文件标题的指针, 提供有关具体卫星链路的信息。

链路识别的分配工作应该由负责双向卫星时间和频率转移的CCTF工作组等开展国际协调。

MJD STTIME	名义起始日期（参照UTC的修正儒略日和时间（小时、分钟、秒钟））。
NTL	名义轨道长度（s）（最后一次抽样的名义时间减去第一次抽样的名义时间）。
TW	单轨数据上的二次拟合结果，它是为名义起始日期加四舍五入至秒（符合附件1第9.2款的TW(k)）的名义轨道长度提供的日期计算得出的。 如果S = 5, S = 6, 即标题为“TW”的栏中包括TW(1,2)的数值。
DRMS	二次拟合残值的均方根（ns）。
SMP	二次拟合使用的样本数量。
ATL	实际轨道长度（s）（二次拟合的最后一次抽样时间减去第一次抽样时间）。
REFDELAY	附件1第4段做出说明的与UTC（LAB）相关的参考时延。 如果S = 6, 标题为“REFDELAY”的栏包括REFDELAY(1,2) = : REFDELAY(1) – REFDELAY(2) 数值。
RSIG	REFDELAY的标准测量不确定性（ns）。
CI	校准识别是文件标题的指针。
S	转换（要么是“0”、“1”、“2”、“5”、“6”，要么是“9”）。
CALR	校准结果（ns）。 如果S = 1、5和6, 以“CALR”为标题的栏包括CALR(1,2)。
ESDVAR	修正的微分地球站时延差异（ns）。 如果S = 6, 标题为“ESDVAR”的栏包括ESDVAR(1,2) = ESDVAR(1) – ESDVAR(2) 数值。
ESIG	ESDVAR的标准测量不确定性（ns）。
TMP	发出报告台站的外部温度（°C）。
HUM	发出报告台站的外部相对湿度（%）。
PRES	发出报告台站所在地的气压（hPa）。

在将综合数据与S = 6一同报告时，后三栏应以“9”填充。

4 实例

实例中包括实际和虚构的数据：

例1: 报告个体数据和二次拟合的数据行

```

0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      1      1      1      1
1      2      3      4      5      6      7      8      9      0      1      2      3

```

```
1234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
```

```

* EARTH-STAT LI MJD STTIME NTL TW DRMS SMP ATL REFDELAY RSIG CI S CALR ESDVAR ESIG TMP HUM PRES
* LOC REM hmmmss s s ns s s ns ns ns ns degC % mbar

```

```
LLLLLn LLLLLn LL MMMM hmmmss nnn +n.nnnnnnnnnnnnn n.nnn nnn nnn +n.nnnnnnnnnnnnn n.nnn CCC i +nnnn.nnn +nnnn.nnn n.nnn +nn nnn nnnn
```

例2和3: 欧洲(2)和美国(3)台站提供的抽样数据文件

2: PTB, MJD 54710的TWSTFT文件, 2008-09-01

```

* TWPTB54.710
* FORMAT 01
* LAB PTB
* REV DATE 2008-08-28
* ES PTB04 LA: N 52 17 49.787 LO: E 10 27 37.966 HT: 143.41 m
* REF-FRAME WGS84
* LINK 10 SAT: INTELSAT 3R NLO: E 317 00 00.000 XPNDR: 0.000 ns
* SAT-NTX: 12574.2500 MHz SAT-NRX: 14072.2500 MHz
* LINK 11 SAT: INTELSAT 3R NLO: E 317 00 00.000 XPNDR: 999999999 ns
* SAT-NTX: 12627.0500 MHz SAT-NRX: 14330.7500 MHz
* CAL 113 TYPE: CIRCULAR T MJD: 54525 EST. UNCERT.: 5.200 ns
* CAL 114 TYPE: CAL 083 BRIDGED MJD: 54502 EST. UNCERT.: 2.000 ns
* CAL 115 TYPE: CAL 103 BRIDGED MJD: 54502 EST. UNCERT.: 1.300 ns
* CAL 116 TYPE: CAL 096 BRIDGED MJD: 54502 EST. UNCERT.: 1.100 ns
* CAL 117 TYPE: CAL 109 BRIDGED MJD: 54502 EST. UNCERT.: 1.100 ns
* CAL 118 TYPE: CIRCULAR T MJD: 54502 EST. UNCERT.: 5.000 ns
* CAL 119 TYPE: CAL 106 BRIDGED MJD: 54502 EST. UNCERT.: 1.200 ns
* CAL 120 TYPE: CAL 107 BRIDGED MJD: 54502 EST. UNCERT.: 1.200 ns

```

```

* LOC-MON      NO
* MODEM        SATRE 037
* COMMENTS
*
* EARTH-STAT  LI  MJD  STTIME NTL          TW          DRMS SMP ATL          REFDELAY          RSIG  CI S          CALR          ESDVAR          ESIG TMP HUM PRES
* LOC          REM          hhmss s          s          ns          s          s          ns          ns          ns          ns          ns degC % mbar
PTB04  PTB04 10 54710 000700 119 0.268701755755 0.375 120 119 0.000001981575 0.009 999 9 999999999 999999999 99999 18 61 1002
PTB04  IT02 10 54710 001300 119 0.266832337354 0.607 120 119 0.000001981520 0.010 116 1 316.100 -0.180 0.100 18 61 1002
PTB04  ROA01 10 54710 001600 119 0.262320415926 0.448 120 119 0.000001981613 0.016 118 1 288.400 -0.180 0.100 17 62 1002
PTB04  OP01 10 54710 001900 119 0.266437968645 0.376 120 119 0.000001981576 0.014 115 1 7316.500 -0.180 0.100 17 62 1002
PTB04  NPL01 10 54710 002200 119 0.266586507349 0.693 120 119 0.000001981630 0.014 999 9 999999999 -0.180 0.100 17 62 1002
PTB04  CH01 10 54710 003700 119 0.267009789103 0.375 120 119 0.000001981722 0.018 117 1 204.550 -0.180 0.100 17 64 1001
PTB04  IPQ01 10 54710 004000 119 0.262213386716 0.529 120 119 0.000001981839 0.012 999 9 999999999 -0.180 0.100 17 64 1001
PTB04  AOS01 10 54710 004300 119 0.270015381981 0.415 120 119 0.000001981716 0.012 999 9 999999999 -0.180 0.100 17 64 1001
PTB04  USNO01 11 54710 004600 119 0.262319009268 0.224 120 119 0.000001981668 0.009 114 1 -218.800 -0.180 0.100 17 65 1002
PTB04  NIST01 11 54710 004900 119 0.268893360924 0.225 120 119 0.000001981639 0.013 113 1 30.100 -0.180 0.100 17 65 1002

```

3: NIST, MJD 54710的TWSTFT文件 (2008-09-01)

```

* TWNIST54.710
* FORMAT      01
* LAB         NIST
* REV DATE    2008-08-22
* ES NIST01 LA: N 39 59 45.000      LO: W 105 15 46.000      HT: +1640.00 m
* REF-FRAME   WGS84
* LINK        11 SAT: INTELSAT 3R      NLO: E 317 00 00.000      XPNDR: 999999999 ns
*             SAT-NTX: 12030.7500 MHz  SAT-NRX: 14375.0500 MHz
* CAL         113 TYPE: CIRCULAR T      MJD: 54525      EST. UNCERT.:      5.200 ns
* CAL         322 TYPE: TRIANGLE CLOSURE MJD: 54584      EST. UNCERT.:      6.000 ns
* CAL         324 TYPE: TRIANGLE CLOSURE MJD: 54584      EST. UNCERT.:      6.000 ns
* CAL         326 TYPE: TRIANGLE CLOSURE MJD: 54584      EST. UNCERT.:      6.000 ns
* CAL         328 TYPE: TRIANGLE CLOSURE MJD: 54584      EST. UNCERT.:      6.000 ns
* CAL         329 TYPE: TRIANGLE CLOSURE MJD: 54584      EST. UNCERT.:      6.000 ns
* CAL         330 TYPE: TRIANGLE CLOSURE MJD: 54584      EST. UNCERT.:      6.000 ns
* CAL         331 TYPE: TRIANGLE CLOSURE MJD: 54584      EST. UNCERT.:      6.000 ns
* LOC-MON     NO
* MODEM       SATRE, S/N 78
*
* EARTH-STAT  LI  MJD  STTIME NTL          TW          DRMS SMP ATL          REFDELAY          RSIG  CI S          CALR          ESDVAR          ESIG TMP HUM PRES
* LOC          REM          hhmss s          s          ns          s          s          ns          ns          ns          ns          ns degC % mbar
NIST01  IPQ01 11 54710 001900 119 +0.267703968380 0.141 120 119 +0.000000860500 99999 999 9 999999999 224.040 0.200 24 44 827
NIST01  AOS01 11 54710 002200 119 +0.270196963882 0.422 120 119 +0.000000860500 99999 322 1 154.480 224.040 99999 24 44 827
NIST01  CH01 11 54710 002800 119 +0.267193679499 0.182 120 119 +0.000000860500 99999 324 1 176.060 224.040 99999 24 44 827
NIST01  OP01 11 54710 003700 119 +0.266627169522 0.105 120 119 +0.000000860500 99999 328 1 7287.687 224.040 99999 24 44 827
NIST01  VSL01 11 54710 004300 119 +0.267708090797 0.227 120 119 +0.000000860500 99999 331 1 273.323 224.040 99999 24 44 827

```

NIST01	PTB04	11	54710	004900	119	+0.268895559344	0.140	120	119	+0.000000860500	99999	113	1	-30.100	224.040	99999	24	44	827
NIST01	IT02	11	54710	005200	119	+0.267025340834	0.233	120	119	+0.000000860500	99999	326	1	285.833	224.040	99999	24	44	827
NIST01	ROA01	11	54710	005500	119	+0.262513121858	0.184	120	119	+0.000000860500	99999	999	9	9999999999	224.040	0.200	24	44	827
NIST01	IPQ01	11	54710	021900	119	+0.267722017937	0.092	120	119	+0.000000860500	99999	999	9	9999999999	224.040	0.200	21	61	828
NIST01	AOS01	11	54710	022200	119	+0.270215057832	0.294	120	119	+0.000000860500	99999	322	1	154.480	224.040	99999	21	61	828
NIST01	CH01	11	54710	022800	119	+0.267211280933	0.226	120	119	+0.000000860500	99999	324	1	176.060	224.040	99999	21	61	828
NIST01	OP01	11	54710	023700	119	+0.266644173922	0.104	120	119	+0.000000860500	99999	328	1	7287.687	224.040	99999	21	61	828
NIST01	VSL01	11	54710	024300	119	+0.267724824316	0.260	120	119	+0.000000860500	99999	331	1	273.323	224.040	99999	21	61	828
NIST01	PTB04	11	54710	024900	119	+0.268912075975	0.209	120	119	+0.000000860500	99999	113	1	-30.100	224.040	99999	21	61	828
NIST01	IT02	11	54710	025200	119	+0.267041591354	0.246	120	119	+0.000000860500	99999	326	1	285.833	224.040	99999	21	61	828
NIST01	ROA01	11	54710	025500	119	+0.262528556357	0.110	120	119	+0.000000860500	99999	999	9	9999999999	224.040	0.200	21	61	828

例4和5： 依据例2和3但报告综合数据（S = 5和S = 6）的抽样数据文件

4： PTB, MJD 54710的修订版TWSTFT文件, 2008-09-014

```
* twptb54.710
* FORMAT      01
* LAB         PTB
* REV DATE    2008-08-28
* ES PTB04 LA: N 52 17 49.787      LO: E 10 27 37.966      HT: 143.41 m
* REF-FRAME   WGS84
* LINK 10 SAT: INTELSAT 3R          NLO: E 317 00 00.000  XPNDR: 0.000 ns
*          SAT-NTX: 12574.2500 MHz  SAT-NRX: 14072.2500 MHz
* LINK 11 SAT: INTELSAT 3R          NLO: E 317 00 00.000  XPNDR: +9999.999 ns
*          SAT-NTX: 12627.0500 MHz  SAT-NRX: 14330.7500 MHz
* CAL 113 TYPE: CIRCULAR T          MJD: 54525  EST. UNCERT.: 5.200 ns
* CAL 114 TYPE: CAL 083 BRIDGED     MJD: 54502  EST. UNCERT.: 2.000 ns
* CAL 115 TYPE: CAL 103 BRIDGED     MJD: 54502  EST. UNCERT.: 1.300 ns
* CAL 116 TYPE: CAL 096 BRIDGED     MJD: 54502  EST. UNCERT.: 1.100 ns
* CAL 117 TYPE: CAL 109 BRIDGED     MJD: 54502  EST. UNCERT.: 1.100 ns
* CAL 118 TYPE: CIRCULAR T          MJD: 54502  EST. UNCERT.: 5.000 ns
* CAL 119 TYPE: CAL 106 BRIDGED     MJD: 54502  EST. UNCERT.: 1.200 ns
* CAL 120 TYPE: CAL 107 BRIDGED     MJD: 54502  EST. UNCERT.: 1.200 ns
* LOC-MON     NO
* MODEM       SATRE 037
* COMMENTS
*
* EARTH-STAT  LI  MJD  STTIME NTL          TW          DRMS SMP ATL          REFDELAY          RSIG  CI S          CALR          ESDVAR          ESIG TMP HUM PRES
* LOC  REM          hhmss s          s          ns          s          s          ns          ns          ns          ns          ns degC  % mbar
PTB04  PTB04 10 54710 000700 119 0.268701755755 0.375 120 119 0.000001981575 0.009 999 9 9999999999 -0.180 0.100 18 61 1002
PTB04  NIST01 11 54710 004900 119 -0.000001099210 0.265 120 119 0.000001981639 0.013 113 5 30.100 -0.180 0.100 17 65 1002
PTB04  NIST01 11 54710 024900 119 -0.000002198420 0.265 120 119 0.000001122251 0.010 113 6 30.100 -224.220 0.100 16 72 1000
```

5: NIST, MJD 54710的修订版TWSTFT文件 (2008-09-01)

```

* TWNIST54.710
* FORMAT      01
* LAB         NIST
* REV DATE    2008-08-22
* ES NIST01 LA: N 39 59 45.000      LO: W 105 15 46.000      HT: +1640.00 m
* REF-FRAME   WGS84
* LINK       11 SAT: INTELSAT 3R      NLO: E 317 00 00.000  XPNDR: 999999999 ns
*           SAT-NTX: 12030.7500 MHz  SAT-NRX: 14375.0500 MHz
* CAL       113 TYPE: CIRCULAR T      MJD: 54525  EST. UNCERT.: 5.200 ns
* CAL       322 TYPE: TRIANGLE CLOSURE MJD: 54584  EST. UNCERT.: 6.000 ns
* CAL       324 TYPE: TRIANGLE CLOSURE MJD: 54584  EST. UNCERT.: 6.000 ns
* CAL       326 TYPE: TRIANGLE CLOSURE MJD: 54584  EST. UNCERT.: 6.000 ns
* CAL       328 TYPE: TRIANGLE CLOSURE MJD: 54584  EST. UNCERT.: 6.000 ns
* CAL       329 TYPE: TRIANGLE CLOSURE MJD: 54584  EST. UNCERT.: 6.000 ns
* CAL       330 TYPE: TRIANGLE CLOSURE MJD: 54584  EST. UNCERT.: 6.000 ns
* CAL       331 TYPE: TRIANGLE CLOSURE MJD: 54584  EST. UNCERT.: 6.000 ns
* LOC-MON     NO
* MODEM       SATRE, S/N 78
*
* EARTH-STAT LI  MJD  STTIME NTL      TW      DRMS SMP ATL      REFDELAY      RSIG  CI S      CALR      ESDVAR      ESIG TMP HUM PRES
* LOC  REM      hhmmss s      s      ns      s      s      ns      ns      ns      ns      ns degC  % mbar
NIST01 PTB04 11 54710 004900 119 +0.0000001099210 0.140 120 119 +0.0000000860500 99999 113 5 -30.100 224.040 99999 24 44 827

```
