

doi: 10.3969/j.issn.1000-8349.2026.02.08

面向 UT1 快速服务的 VGOS 自动化 相关处理

刘龙辉^{1,2}, 何旋^{1,2}, 舒逢春^{1,3}, 甘江英^{1,2}

(1. 中国科学院 上海天文台, 上海 200030; 2. 中国科学院大学 天文与空间科学学院, 北京 100049; 3. 上海市导航定位重点实验室, 上海 200030)

摘要: 甚长基线干涉测量 (very long baseline interferometry, VLBI) 是唯一能直接高精度测量世界时 (universal time, UT1) 的空间大地测量技术。隶属于 VLBI 全球观测系统 (VLBI global observing system, VGOS) 的上海和乌鲁木齐观测站已经建成, 并用于常态化 UT1 测量服务。随着观测次数的增多和 UT1 测量的时效性需求, 数据处理的自动化变得日益迫切。基于相位校正 (phase calibration, Pcal) 信号幅度、条纹质量因子、单通道时延残差这些判据, 来实现 Pcal 信号质量判断、异常通道剔除、相关处理结果检测等自动化流程的方法被提出。通过三次迭代相关处理, 建立了自动化相关处理流水线, 提升了自动化处理能力, 降低了人工操作强度。通过与手动处理对比、在多条基线上求 UT1 的解, 验证了自动化相关处理的正确性和可靠性。目前该流水线已用于日常 UT1 数据处理。

关键词: 甚长基线干涉测量; VLBI 全球观测系统; 世界时; 相关处理; 自动化
中图分类号: P228.6 **文献标识码:** A

1 引言

地球定向参数 (Earth orientation parameters, EOP) 是实现天球参考架与地球参考架之间相互转换的参数, 包括一个世界时 (UT1) 参数、两个章动改正参数、两个极移参数^[1]。甚长基线干涉测量 (VLBI) 能够提供整套的 EOP, 并且是唯一能够直接高精度测量 UT1 的空间大地测量技术, 这主要是由于 VLBI 站固定在地球表面, 可以感知地球在射电天球参考架中的姿态变化^[2,3]。UT1 反映地球的自转角, 其定义为沿天球中间极 (CIP) 赤道测量的天球中间零点 (CIO) 与地球中间零点 (TIO) 之间的角度^[4], VLBI 可直接测量 UT1 与协调世界时 (UTC) 的差值, 即 ΔUT1 。该参数在科学技术的许多方面都很重要, 例如精确的卫星轨道计算、航天器跟踪等, 因此人们一直对准确及时的 UT1 感兴趣。

收稿日期: 2025-06-27; 修回日期: 2025-07-28

资助项目: 基准专项 (JZZX-0102)

通讯作者: 舒逢春, sfc@shao.ac.cn

国际大地测量与天体测量 VLBI 服务 (international VLBI service for geodesy and astrometry, IVS) 自 20 世纪末成立后, 每周会进行 2 次 24 h 的 EOP 测量, 这些观测一般由全球分布的约 10 个 VLBI 观测站参加, UT1 测量精度约 $3\sim 5\ \mu\text{s}$, 但测量结果要在观测结束后 $8\sim 10\ \text{d}$ 才能获得。为了及时获取每日的 UT1 估计值, IVS 组织每天 1 h 的 UT1 观测, 该类观测被称为加强观测, 其精度为 $15\sim 20\ \mu\text{s}$ ^[5]。从观测到提供 UT1 测量结果的用时通常要求小于 24 h, 即 UT1 的快速服务, 因此需要提高 UT1 的处理效率来缩短滞后时间, 而自动化数据处理在此过程中发挥着关键作用。

目前 IVS 正在推进 VLBI 全球观测系统 (VGOS) 的建设, VGOS 各观测站均采用可快速转动的 13 m 小口径天线和 2~14 GHz 超宽带接收机, 可以进一步满足 UT1 测量对精度的需求^[6], 其在观测策略、观测频率、信号极化、观测带宽等方面与 S/X 波段的 VLBI 有较大的不同^[7,8], 目前还未有成熟的自动化处理方案。日本正在推进 VGOS 加强观测数据处理的自动化, 已经初步实现了相关处理环节的自动化, 并尝试把自动化推进到后续的处理步骤^[9]。澳大利亚也正在开展 VGOS 数据处理过程中的多个环节自动化, 如修改相关处理的控制文件、校正频带间和通道间的时延/相位等, 以期能够快速提供可靠的数据^[10,11]。德国为了使 VGOS 的加强观测能够及时生成 UT1, 把实现加强观测的自动化相关处理作为下一步的关键任务, 计划依靠 Ansible 和 SLURM 等成熟的软件工具链来实现自动化操作与管理^[12]。

在 IVS 协调下, 2019 年国际上首次利用美国夏威夷和德国维泽尔 VGOS 观测站开展了 UT1 测量试验, 观测数据也在中国科学院上海天文台 VLBI 中心进行了干涉处理, 验证了其 VGOS 数据处理能力^[13]。2020 年, 首次在上海佘山 13 m 与乌鲁木齐南山 13 m VGOS 站组成的基线上成功获得超宽带干涉条纹。该基线从 2022 年起开展了国内自主 UT1 观测, 上海天马 13 m VGOS 观测站也参加了部分观测。2023 年开始实行常态化观测, 随着观测次数和数据量的不断增加, 数据处理的自动化已成为必然的趋势。本文将介绍国内自主 UT1 的 VGOS 观测概况和 UT1 数据处理流程, 展示相关处理自动化流水线的实现; 通过与手动处理结果进行对比, 验证其可靠性。

2 国内 VGOS 的 UT1 测量

2.1 VGOS 观测站

参加 UT1 测量的有上海佘山 13 m、上海天马 13 m、乌鲁木齐南山 13 m 三个观测站, 佘山 13 m 和天马 13 m 的基线长度约为 6 km, 这两个台站与南山 13 m 的基线长度都约为 3 249 km。

各观测站所使用天线的主要技术参数见表 1, 均装配有频率覆盖 2~14 GHz 的双线极化超宽带接收机, 接收的射频信号在经过上下变频器后, 输出带宽为 512 MHz 的中频信号。中国第二代 VLBI 数据采集系统 (Chinese VLBI data acquisition system 2, CDAS2) 对中频信号进行数字化、格式编码等操作后得到基带信号, 并保存到 Mark6 数据记录设备^[14]。

在 VGOS 观测中, X 极化与 Y 极化的配置相一致。A、B、C、D 四个频带的观测频率设置见图 1, 各频带对应的天空频率范围为 2 936.4~3 320.4 MHz、4 408.4~4 856.4 MHz、6 456.4~6 904.4

表 1 国内 VGOS 天线主要技术参数

指标参数	值
天线口径	13 m
工作频率	2~14 GHz
极化	双线极化
方位转速	12 (°)/s
俯仰速度	6 (°)/s
中频带宽	512 MHz
每个频带通道数	16
数据采集	CDAS2
数据记录	Mark6

MHz、9 528.4~9 976.4 MHz。每个频带均含有 8 个带宽为 32 MHz 的通道, 依次被命名为 abcdefgh, ijklmnop, qrstuvw, yzABCDEF^[15]。

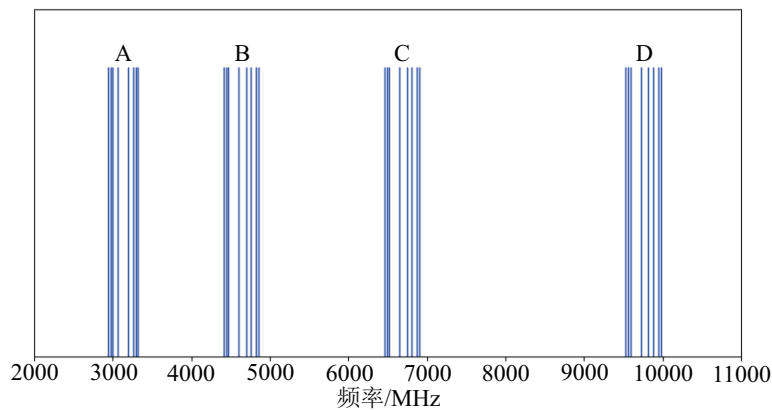


图 1 各频带的频率设置

针对国内 UT1 自主观测, 我们进行了观测策略优化设计, 基于蒙特卡洛方法仿真分析了 UT1 测量精度^[16], 在观测纲要编制中考虑了天线的地平遮挡^[17]。目前每周进行 3 次 VGOS 的 UT1 加强观测, 主要使用佘山 13 m 和南山 13 m, 偶尔使用天马 13 m。在观测结束后, 南山 13 m 的数据将以 $300 \text{ Mb} \cdot \text{s}^{-1}$ 的速率通过网络传输到上海 VLBI 相关处理机进行处理。

2.2 UT1 数据处理流程

上海 VLBI 相关处理机有 420 个 CPU 核和 1.4 PB 的储存空间, 并部署了 DiFX 相关处理软件、HOPS 相关后处理软件和 nuSolve 数据分析软件等国际天文开源软件^[18], 可以支撑测地与天体测量 VLBI 观测数据的处理。UT1 数据处理流程如图 2 所示。首先对硬盘中分布式储存的数据进行回放, 重组生成满足相关处理的数据格式^[19], 相关处理对数据进行时延补偿、条纹旋转、FFT 和小数时延补偿等操作, 得到可见度数据。相关后处理进行相位/时延的校正、条纹拟合, 扣除残余时延、残余时延率并生成大地测量数据库^[20, 21]。最终对生成的大地测量

数据库进行分析,通过对理论时延和观测时延进行最小二乘拟合来解算 UT1 参数^[22],也可以在此基础上进行后续的数据分析。

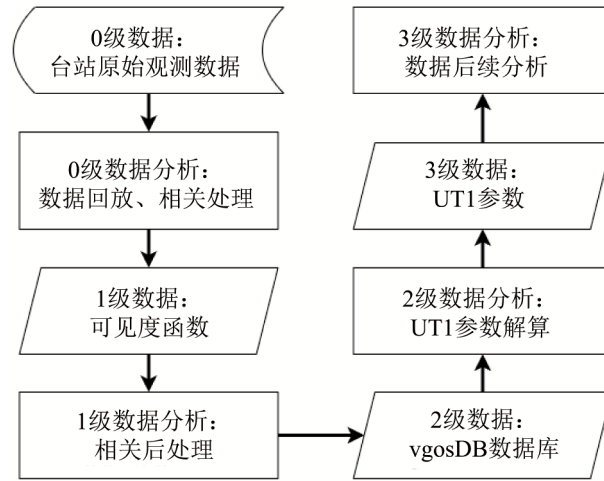


图 2 VGOS 的 UT1 数据处理流程

针对日益增多的 UT1 观测和繁杂的人工操作,需要提高该计算平台处理数据的自动化程度,以降低 UT1 数据处理的人工干预,同时提高 UT1 快速测量结果的时效性。为了明确自动化的必要性和重点,对计算平台上 UT1 数据处理各部分进行用时分析(见表 2),总用时被分为三部分:机器用时指计算机执行指令进行数据传输、数据处理的耗时;人工用时指操作人员进行文件准备、文件修改所需时间;等待用时指两个操作之间的等待间隔,例如数据到齐和数据回放之间等待间隔。机器用时一般通过提升计算机硬件配置和性能来缩减,而人工用时和等待用时则可以通过自动化的流水线来缩减,因此是本文关注的重点。

表 2 UT1 数据处理各部分用时

过程	数据回放	相关处理	相关后处理	参数解算
机器用时	约 8 h	约 2 h	约 1 h	约 1 min
人工用时	约 1 min	约 1 h	约 1 h	约 20 min
等待用时	1~8 h			

3 VGOS 相关处理的自动化

相关处理是 UT1 数据处理的重要一环,人们须修正大量参数和文件以确保该环节正常运行。从表 2 可知,该环节的人工用时在总用时中占比较大,因此有必要实现自动化的流水线。

3.1 自动化流水线

相关处理自动化流水线如图 3 所示, 实线、虚线方框分别代表该模块是使用自编脚本、开源软件实现的。在模板中输入观测信息后, 该流水线将生成本次实验的必要文件, 并进行 3 次相关处理。第 1 次相关处理的结果用来初步搜索条纹, 并检查各通道是否良好、Pcal 信号是否可用, 同时对钟参数进行调整; 第 2 次相关处理的结果用来检验钟参数调整的效果; 第 3 次相关处理的结果用于相关后处理。

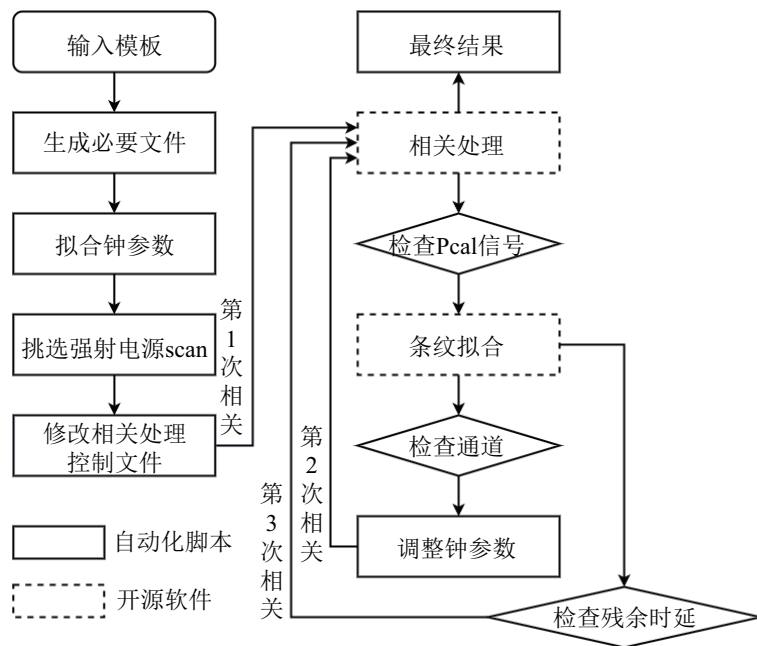


图 3 相关处理的自动化流水线

第 1 次相关处理, 读取格式器钟差来拟合钟参数, 随后根据先验信噪比挑选出若干强射电源观测时间片段 (scan), 1 个 scan 至少包含 2 个观测站同时接收目标射电源信号。在利用钟参数等信息对相关处理的控制文件进行修改后, 对这些强射电源 scan 进行相关处理。

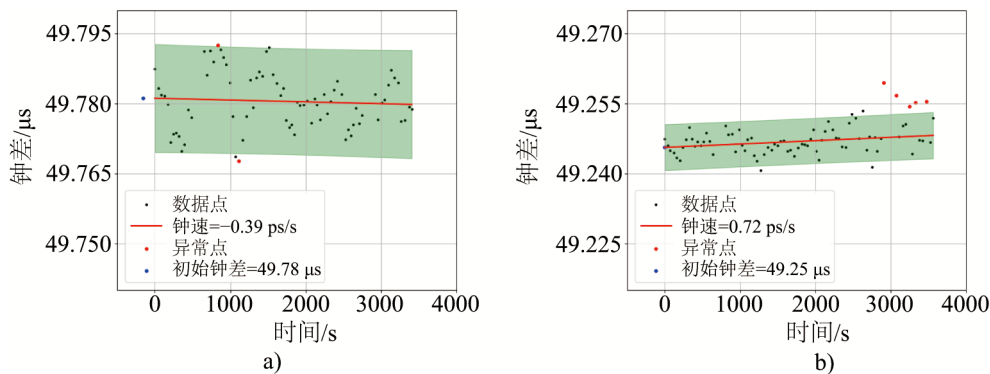
第 2 次相关处理, 针对第 1 次相关处理的结果, 采用 Pcal 信号的幅度判据对其可用性进行分析, 然后进行条纹拟合。采用各通道的条纹质量因子判据来筛选出不良通道, 并利用扣除了不良通道影响的单通道时延残差对钟参数进行调整, 对强射电源 scan 再次进行相关处理。

第 3 次相关处理, 对第 2 次相关处理的结果进行条纹拟合, 并根据强射电源 scan 的单通道时延残差来检测钟参数调整后的相关处理结果。如果满足要求则利用调整后的钟参数对所有 scan 进行相关处理, 输出用于相关后处理的文件。

下面以实验代码为 g24150 的观测来验证相关处理自动化流水线中各模块的有效性。在模板中输入 g24150 的观测信息后, 该流水线将生成 g24150 对应的观测纲要、日志、EOP、相关处理控制等文件, 以提供后续 3 次相关处理所需的必要信息。

3.2 第 1 次相关处理

各观测站氢原子钟的同步误差和稳定性的变化会引起钟差及其变化,从而直接影响观测到的时延,因此在相关前需要估算钟参数以对齐观测站间原始数据的时间戳。采用最小二乘法对日志文件中记录的格式器钟差进行拟合,其结果如图 4 所示,佘山 13 m 和南山 13 m 的钟差分别为 $49.78\ \mu\text{s}$ 、 $49.25\ \mu\text{s}$,钟速分别为 $-0.39\ \text{ps/s}$ 、 $0.72\ \text{ps/s}$;其中浅绿色区域为 95% 的预测区间,红色圆点表示偏离较大的数据点,在拟合过程中已被剔除。同时程序将检测各观测站的钟跳情况,如发生钟跳,则需手动对钟参数进行设置。



注: a) 佘山 13 m 钟参数; b) 南山 13 m 的钟参数。

图 4 佘山 13 m 和南山 13 m 的钟参数

为了提高参考历元的精度,在格式器钟差拟合钟参数的基础上,仍需进行特定量的调整,从而对设备时延(instrumental delay)的影响进行校正^[23]。设备时延受多种因素影响,包括天线光路、接收机、中频线缆、数字后端、时间参考等,因此难以直接测量,一般使用 Pcal 信号时延、条纹拟合得到的单通道时延残差对其进行校正。

由于观测时延的精度和信噪比成正相关,因此可以挑选出若干强射电源来估算设备时延的校正值。把 1 h 分为 3 个时间段(每段 20 min),分别从每段中挑选出信噪比最强的 2 个 scan,用以估算校正值并检验校正的效果。图 5 是从 g24150 挑选出的强射电源 scan,在相关处理控制文件中指定 VGOS 的观测模式并加入拟合的钟参数,对这些强射电源 scan 进行相关处理。

3.3 第 2 次相关处理

为了获取单通道时延残差,需要对第 1 次相关处理的结果进行条纹拟合。条纹拟合前需要对 Pcal 信号的可用性进行评估,VGOS 观测系统的 Pcal 信号是由一系列间隔为 5 MHz 的梳状谱组成,一般在接收机前端注入,用来估计从接收机前端到数据采集系统的时延/相位变化^[24]。

此时在各时间段上已挑选出若干强射电源 scan,从中提取出随通道和时间变化的 Pcal 信号,如果 Pcal 信号幅度在时间维度上的平均值在每个频带半数以上的通道中不小于 10,则把 Pcal 模式设置为多频点校准模式(multitone),在条纹拟合时用 Pcal 信号对每个通道内的时

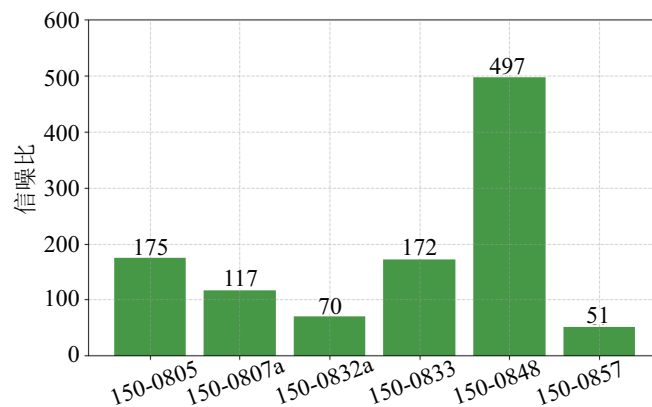


图 5 g24150 的强射电源 scan

延/相位进行校正, 否则把 Pcal 模式设置为人工校准模式 (manual)。

对于 g25410, 我们计算出其 Pcal 信号幅度的平均值在各通道上的分布。如图 6 所示, Pcal 信号在本次观测中状态良好, 因此使用 multitone 模式对第 1 次相关处理的结果进行条纹拟合。

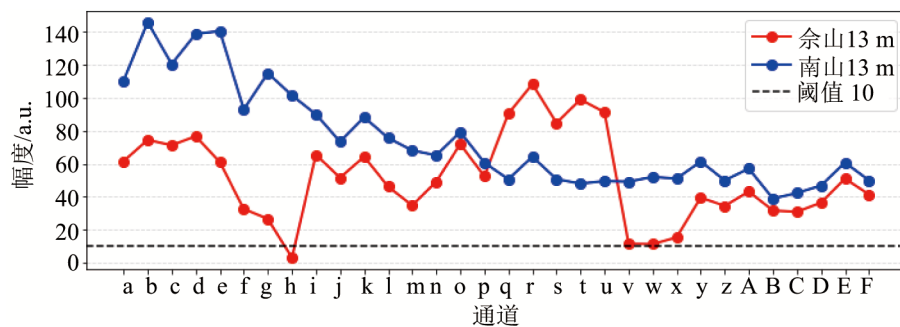


图 6 各观测站 Pcal 信号的平均幅度值分布

部分通道可能无法检出条纹, 使用这些通道将影响条纹拟合得到的单通道时延残差。X 极化和 Y 极化将会产生 XX、YY、XY、YX 四组极化分量, 以每个通道 XX 极化分量的条纹质量因子为判定标准, 筛选出不良的通道。针对余山 13 m-南山 13 m 基线, 强射电源 scan 在不同通道上 XX 极化分量的状态如图 7 所示, 满足条纹质量因子最低阈值要求的通道被标记为绿色, 不满足要求的通道被标记为红色。

g、h、v、w、x 通道在半数以上的强射电源 scan 中被标记为红色, 因此在后续的单通道时延残差估计中均被舍弃。如果每个频带有效通道保留量过半, 则利用剩余通道计算单通道时延残差, 否则直接舍弃本次观测。以单通道时延残差作为设备时延的校正值来调整钟参数, 并利用调整后的钟参数再次针对强射电源 scan 进行相关处理。

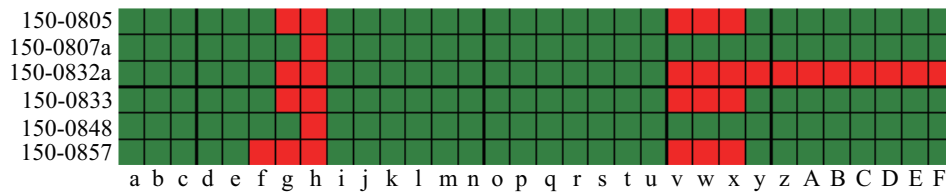


图 7 强射电源 scan 上的通道状态

3.4 第 3 次相关处理

对第 2 次相关处理输出的结果进行条纹拟合, 如果由所有通道 (标记为 all) 估算出的单通道时延残差在各强射电源 scan 的 XX、YY 极化分量上都不大于 10 ns, 并且 A、B、C、D 频带中有任意两个频带的单通道时延残差也满足该要求, 则此次观测的自动化相关处理状态被标记为良好, 随后用调整后的钟参数对所有 scan 进行相关处理, 否则自动相关处理状态被标记为不良并终止流程。

g24150 的强射电源 scan 在钟参数调整前后的单通道时延残差如图 8 所示, 横坐标为频带标记, 纵坐标单通道时延残差, 可见在对钟参数进行调整后, A、B、C、D、all 的单通道时延残差在 XX、YY 极化分量上均满足不大于 10 ns 的要求, 故而本次自动化相关状态被标记良好。

用调整后的钟参数对 g24150 所有的 scan 进行相关处理, 输出最终的相关处理结果。同时为了后续的统计分析, 把本次观测的信息存入记录文件, 表 3 展示了 g24150 在佘山 13 m-南山 13 m 记录文件中的信息, 其中每个参数的含义为: (1) session: 观测代码; (2) pc_mode: 各观测站代码及其对应的 Pcal 模式; (3) masked_chan: 不良通道编号; (4) freqs: 所有通道的观测频率序列; (5) code: 自动化相关处理状态的编码, 1 代表状态良好, 0 代表状态不良, A 代表初始文件缺失, B 代表初始钟差计算失败, C 代表相关失败, D 代表条纹拟合失败。

表 3 g24150 的观测信息

参数名	值
session	'g24150'
pc_mode	{'c': 'multitone', 'u': 'multitone'}
masked_chan	['g', 'h', 'v', 'w', 'x']
freqs	[2936.4, 2968.4, 3000.4, 3064.4...]
code	1

4 结果分析

为了进一步验证该自动化流水线的可靠性, 分别对实验代码为 g24148、g24150、g24166 的 UT1 加强观测采取手动、自动相关处理的模式, 然后进行对比分析。由于大多数 UT1 加强

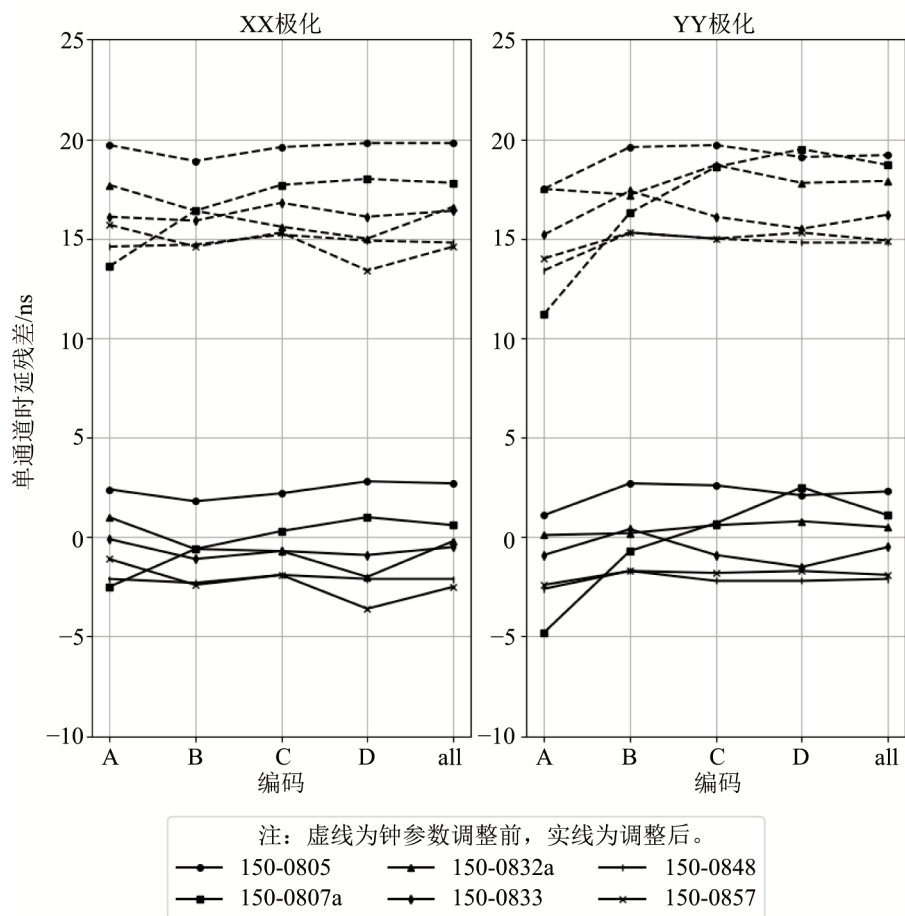


图 8 钟参数调整前后的单通道时延残差

观测在单基线上进行, 因此在这些观测中仅采用佘山 13 m、南山 13 m 的数据, 两者分别被记为 c、u, 形成 cu 基线。

在自动化相关处理流水线输出结果的基础上生成 vgosDB 数据库, 以 VGOS 的群时延作为时延观测量, 结合佘山 13 m 和南山 13 m 的先验坐标、速度以及基线的理论时延对 UT1 参数进行解算。首先基于时延观测量的形式误差加权进行最小二乘法估计, 可以得到时延后残差分布; 基于该分布重新加权进行迭代解算, 得到最终结果 (如表 4 所示)。表 4 第 1 列和第 2 列分别表明了本次观测的实验代码、是否使用了自动化相关处理流水线; 第 3 列为使用到的观测站; 第 4 列是参数解算所用的观测量个数; 第 5 列是拟合后加权残余时延的均方根; 第 6 列是 UT1 解算值和 IERS 20 C04 序列之差, 观测历元的 IERS 值, 由观测历元前后 5 d 的 UT1 序列通过拉格朗日插值获得; 第 7 列是基于时延拟后残差重新加权后估计的 UT1 形式误差; 第 8 列则表明了相关处理所用时间。

从表 4 可以看出, 对于 cu 基线上三次 VGOS 加强观测的解算结果, 自动相关处理模式的

表 4 自动和手动模式下相关处理结果比较

观测	模式	观测站	使用数/记录数	RMS _w /ps	dUT1/ μ s	形式误差/ μ s	相关时间/min
g24148	自动	c、u	79/79	20.2	5.17	9.32	86
	手动		79/79	20.2	-2.93	9.34	约 180
g24150	自动	c、u	75/75	30.4	-14.86	16.25	93
	手动		74/74	30.6	-14.26	15.40	约 180
g24166	自动	c、u	70/72	25.9	-22.14	12.07	91
	手动		71/73	26.2	-22.84	12.17	约 180

可用观测量个数、加权时延残差、UT1 解算值、形式误差，与手动模式下基本吻合。在用时方面，各实验所选强射电源 scan 的总观测时长不同，从而影响了钟参数修正和修正效果检测的用时，因此相关处理用时与 scan 数量之间并不呈正相关。不过可以看出，自动模式在减少人工干预的同时，也显著缩短了相关处理用时，这主要归因于节省了人工操作所需的时间。

在验证了该自动化流水线在单基线上的可靠性后，后续的观测数据处理中考虑加入了天马 13 m。该观测站被记为 t，结合另外两个观测站可形成 ct、cu、tu 三条基线。对实验代码为 g25052、g25059、g25076 的加强观测均采用自动相关处理模式，进一步处理后可得到三条基线的 UT1 解，如表 5 所示。从三次观测相关处理的用时、UT1 解的形式误差上可看出，该流水线在多条基线上仍具有可靠性。

表 5 自动模式下使用三条基线求解 UT1

观测	模式	观测站	使用数/记录数	RMS _w /ps	dUT1/ μ s	形式误差/ μ s	相关时间/min
g25052	自动	c、t、u	253/303	17.8	34.1	4.5	113
g25059	自动	c、t、u	247/284	22.3	-0.3	6.1	144
g25076	自动	c、t、u	183/201	16.9	22.7	5.7	109

5 结 语

针对国内 VGOS 站的 UT1 快速测量服务需求，本研究基于 Pcal 信号幅度、条纹质量因子和单通道时延残差等关键参数，通过 3 次迭代相关处理方法，成功构建了自动化相关处理流水线。该流水线实现了 Pcal 信号质量自动评估、异常通道自动剔除和相关处理结果自动检验等功能。在实际应用中，采用了佘山 13 m 与南山 13 m 天线的加强观测数据，完成了相关处理自动化流水线的测试，并采用与手动模式相同的后处理和数据分析流程来获得 UT1 的解算参数，验证两种模式在解算结果上的差异极小。同时在后续的数据处理中加入了天马 13 m，进一步对该自动化流水线在多基线观测上的可靠性进行了验证。

该自动化流水线可显著降低 UT1 数据处理操作员的工作量，缩短 UT1 获取的滞后时间。目前该流水线已用于中国国内 UT1 加强观测的日常数据处理，后续也可用于中国牵头开展的国际 UT1 联测。

需要指出的是, 为了建立 UT1 全链条数据处理的自动化流水线, 后续须实现数据回放、相关后处理和 UT1 参数解算的自动化。同时进一步完善异常检测与自动处理机制, 增强自动化系统的健壮性和实用性。

参考文献:

- [1] Bizouard C, Lambert S, Gattano C, et al. *Journal of Geodesy*, 2019, 93: 621
- [2] Schartner M, Kern L, Nothnagel A, et al. *Journal of Geodesy*, 2021, 95: 75
- [3] Nothnagel A, Artz T, Behrend D, et al. *Journal of Geodesy*, 2016, 91: 711
- [4] Petit G, Luzum B. *IERS Technical Note*, 2010, 36: 44
- [5] Schuh H, Böhm J. *Sciences of Geodesy - II*. Heidelberg: Springer, 2013: 339
- [6] Petrachenko B, Niell A, Behrend D, et al. *International VLBI Service for Geodesy and Astrometry 2008 Annual Report*. Maryland: NASA, 2009: 13
- [7] Niell A, Barrett J, Burns A, et al. *Radio Science*, 2018, 53: 1269
- [8] Glomsda M, Seitz M, Angermann D. *International VLBI Service for Geodesy and Astrometry 2022 General Meeting Proceedings*. Finland: IVS, 2023: 187
- [9] Hashimoto K. 9th International VLBI Technology Workshop. Massachusetts: MIT Haystack Observatory, 2024: 12
- [10] Böhm S, Böhm J, Gruber J, et al. *Earth, Planets and Space*, 2022, 74: 118
- [11] McCallum L, Lim C, Krásná H, et al. *Journal of Geodesy*, 2022, 96: 67
- [12] Plötz C, Probst W, Wildenauer R, et al. *Proceedings of the 26th European VLBI Group for Geodesy and Astrometry Working Meeting*. Germany: EVGA, 2023: 138
- [13] 黄逸丹, 舒逢春, 何旋, 等. *武汉大学学报 (信息科学版)*, 2023, 48: 75
- [14] Li J, Liu C, Zhang H, et al. *Proceedings of the 24th European VLBI Group for Geodesy and Astrometry Working Meeting*. Canaria, Spain: EVGA, 2019: 12
- [15] Gan J, Shu F, He X, et al. *International VLBI Service for Geodesy and Astrometry 2024 General Meeting Proceedings*. Japan: IVS, 2025: 197
- [16] 钟胜坚, 舒逢春, 李金岭, 等. *武汉大学学报 (信息科学版)*, 2023, 48: 1455
- [17] 吴德, 舒逢春, 李金岭, 等. *测绘学报*, 2022, 51: 2285
- [18] He X, Shu F, Gan J, et al. *International VLBI Service for Geodesy and Astrometry 2021+2022 Biennial Report*. Maryland: NASA, 2023: 141
- [19] 甘江英, 郭绍光, 何旋, 等. *中国空间科学技术*, 2022, 42: 46
- [20] 黄逸丹, 刘磊, 舒逢春, 等. *测绘学报*, 2020, 49: 423
- [21] Cappallo R. *International VLBI Service for Geodesy and Astrometry 2014 General Meeting Proceedings*. Shanghai, China: IVS, 2014: 91
- [22] Haas R, Varenus E, Matsumoto S, et al. *Earth, Planets and Space*, 2021, 73: 78
- [23] 冯浩通, 舒逢春, 何旋. *武汉大学学报 (信息科学版)*, 2021, 46: 1148
- [24] Cappallo R. *International VLBI Service for Geodesy and Astrometry 2016 General Meeting Proceedings*. Johannesburg, South Africa: IVS, 2016: 61

Automated VGOS Data Correlation for UT1 Rapid Service

LIU Longhui^{1,2}, HE Xuan^{1,2}, SHU Fengchun^{1,3}, GAN Jiangying^{1,2}

(1. Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200030, China; 2. School of Astronomy and Space Science, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Shanghai Key Laboratory of Space Navigation and Positioning Techniques, Shanghai 200030, China)

Abstract: Very Long Baseline Interferometry (VLBI) is the only space geodesy technique capable of directly measuring Universal Time (UT1) with high precision. The stations in Shanghai and Urumqi which are part of the VLBI Global Observing system (VGOS) have been built and used for the regular UT1 measurement service. With the growing number of observations and the need for timeliness in UT1 rapid measurements, automated data processing has become increasingly imperative. A method is proposed based on Phase Calibration (Pcal) signal amplitude, fringe quality factor, and single-channel delay residuals to achieve automated Pcal signal quality assessment, abnormal channel removal, and correlation result validation. Through three iterations of correlation processing, an automated correlation pipeline was established, enhancing automation capabilities and reducing manual workload. The validity and reliability of the automated correlation were verified through comparison with manual processing and derivation of UT1 solution from multiple baselines. At present, this pipeline has been used for daily UT1 data processing.

Key words: VLBI; VGOS; UT1; correlation; automation