

协调世界 时的未来



关注最新动态 //
// 了解最新信息

《国际电联新闻》双月刊

您获取数字新闻和洞见的入口

请立即订阅

当今世界的时间

多琳·伯格丹-马丁, 国际电联秘书长

我们生活在地球之上, 时间至关重要。我们的社会长期以来都离不开时间。

时间大概是我们手中最重要的商品之一。不计时, 就无法确定具体的日子或月份、生日或周年纪念日、准确的正午或半夜。即使我们很少反思时间之所以重要的原因, 没有时间我们也确实会迷失方向。计时使我们可以同步行动, 有条不紊。

一个复杂的计时系统网络使我们能够在—一个不断发展变化的世界中管理我们日常生活中的时间。时间无处不在——在电脑、智能手机、电视和所有其他类型的应用程序和系统上, 均有显示。不同的实体, 从科技公司和卫星导航系统到广播机构和天文学家, 皆依赖可靠的计时。

近年来, 一些专家力求修正协调世界时 (UTC), 质疑是否有必要进行“闰秒”调整。在今天的数字世界里, 追求广泛接受的精确计时, 引发了种种问题: 如何调和地球自转的不匀性和原子时间的稳定脉冲, 是否要调和。

在11月和12月世界无线电通信大会 (WRC-23) 召开之前, 本期《国际电联新闻》杂志作者所持的观点, 肯定会影响正在就本议题开展的辩论。

无线电通信是国际电信联盟 (国际电联) 推动可持续的数字化转型和实现人人有意义连接的关键。让我们共同努力, 确保未来的计时工作为全人类服务。



“计时使我们可以同步行动, 有条不紊。”

多琳·伯格丹-马丁

协调世界时的未来

刊首语

3 当今世界的时间

多琳·伯格丹-马丁, 国际电联秘书长

引言

6 计时的未来

国际电联无线电通信局主任
马里奥·马尼维奇

9 未来从现在开始

国际计量局主任马丁·米尔顿

概述

12 时间信号和频率标准发射的进展

国际电联无线电通信部门7A工作组主席Joseph Achkar

15 协调世界时：概述

BIPM时间部主任Patrizia Tavella

19 当今通行时标

ITU-R第7研究组（科学服务）研究组顾问Vadim Nozdrin

数字网络

24 同步和UTC不连续性的影响

ITU-T第15研究组第13/15号课题报告员Stefano Ruffini,
华为高级首席系统工程师Silvana Rodrigues

28 UTC对工业4.0的影响

Elproma联合创始人Tomasz Widomski

ITU News
MAGAZINE

No. 2
2023



封面图片: Adobe Stock (Image element from NASA)

ISSN 1020-4148

itunews.itu.int

每年6期

版权: ©国际电联2023年

主编: Neil MacDonald

编辑助理: Angela Smith

美术编辑: Christine Vanoli

编辑部

电话: +41 22 730 5723/5683

电子邮件: itunews@itu.int

邮政地址:

International Telecommunication Union

Place des Nations

CH-1211 Geneva 20 (Switzerland)

免责声明:

本出版物中所表达的意见为作者意见，与国际电联无关。本出版物中所采用的名称和材料的表述（包括地图）并不代表国际电联对于任何国家、领土、城市或地区的法律地位、或其边境或边界的划定的任何意见。对于任何具体公司或某些产品而非其它类似公司或产品的提及，并不表示国际电联赞同或推荐这些公司或这些产品，而非其它未提及的公司或产品。

除特别注明外，所有图片均来自国际电联。

31 数据中心内的时间同步

Meta生产工程师Oleg Obleukhov和Meta研究科学家Ahmad Byagowi

35 英国国家授时中心计划

英国国家物理实验室（NPL）时间和频率科学负责人Helen Margolis

导航系统

38 北斗卫星导航系统与UTC闰秒

北京卫星导航中心高级工程师蔺玉亭（Yuting Lin）；
中国地理信息工程国家重点实验室研究员杨元喜（Yuanxi Yang）；
中国地理信息工程国家重点实验室工程师孙碧娇（Bijiao Sun）

科学

41 对天文学的实际影响

国际天文联盟时间和频率咨询委员会及（BIPM）代表Dennis McCarthy

44 时间分发：历史视角

巴黎天文台（SYRTE）与IERS地球定向中心天文学家Christian Bizouard

47 电网同步

太平洋西北地区国家实验室（PNNL）首席电气工程师Jeff Dagle

51 UTC：过去、现在和未来

国家计量研究所（PTB）高级科学家Andreas Bauch；德国联邦网络管理局（BNetzA）高级频谱顾问Karsten Buckwitz

54 计时和天文一致性的需要

美国梵蒂冈天文台副台长Paul Gabor 牧师

WRC-23倒计时

57 WRC-23倒计时





Adobe Stock

计时的未来

国际电联无线电通信局主任
马里奥·马尼维奇

无论你怎么计量时间，时间对我们所有的日常活动，对我们社会的有序运作，都至关重要。界定时间一直是世界各地的科学家全神贯注的问题，现在依然是。以地球自转为基础，确定一天的长短，界定时标，用了多年以后，1971年采用了协调世界时（UTC），这标志着时间定义的一次突破。

刚刚半个多世纪过去了，我很高兴向大家介绍本期关于UTC未来使用和应用的《国际电联新闻》杂志。它由国际电信联盟（国际电联）和国际计量局（BIPM）编写，其中既有文章，也有论述，探讨各种记录时间方式的未来。

国际电联主要通过国际电联无线电通信部门（ITU-R）7A工作组（WP）在UTC的定义和传播方面发挥核心作用，该工作组的任务是处理与时间信号和标准频率发射有关的科学服务。



“无论你怎么计量时间，时间对我们所有的日常活动，对我们社会的有序运作，都至关重要。”

马里奥·马尼维奇

7A工作组的范围包括标准频率和时间信号服务的传播、接收和交换及其在全球范围内的协调。7A工作组的基本产品之一是ITU-R TF.460-6建议书，“标准频率和时间信号发射”。这项建议书通过引用载入国际电联《无线电规则》，对UTC给出了正式定义。

通用参考时标

目前，协调世界时用于一系列不同的目的，从公众遵守时间表所需的分钟到最苛刻的应用中所需的同步纳秒，诸如通过全球导航卫星系统导航，如全球定位系统（GPS）、GLONASS以及最近欧洲的伽利略和中国的北斗。

大多数用户群体、国际组织和计时专家都提出需要一个独特的通用参考时标。主要的困难就是使UTC成为一个连续时标，而不是像现在这样的步进原子时标。大家一致认为，不应使用交替时标和系统时间作为计时参考源，实现UTC的实践应适应21世纪用户的需求。

这一变化将带来连续时标的好处，可用于所有现代电子导航和计算机化系统的操作，就不再需要为避免UTC不可预测的一秒步长而使用的专门临时系统时间。

未来是什么样子？

为了满足尽可能多的应用，未来参考时标应当：

- 实现国际化，
- 得到普遍接受，
- 连续不断（至少持续很长一段时间）。

同样重要的是，未来参考时标与地球自转有已知的关系，并且与世界时（UT1）有广为人知和广泛传播的偏离。未来参考时标可以保持传统UTC的优势，同时满足这些要求。取得方式可以是保持2022年度量衡大会所定义的现行UTC，同时放宽UT1和UTC之间的偏离限制。



大多数用户群体、国际组织和计时专家都提出需要一个独特的通用参考时标。”

合适的过渡期

任何参考时标的改变都会引起问题，涉及与过去或先前设定的系统和设备的兼容。考虑到它对关键国家基础设施诸多方面的重要意义，如果就未来参考时标作出决定，就需要采取明确的措施来解决反向兼容问题。

为了让遗留系统有足够的时间适应UTC的变化，一些用户 – 包括天文学家、海上导航、海上移动业务、航空业务和无线电测定业务，以及固定、移动和广播服务 – 要求有一个过渡期来更新他们的系统。就GLONASS而言，从决定到执行至少需要15年。

在任何情况下，过渡期都应该足够长，以允许现有用户设备继续运行，而不影响服务质量。ITU-R TF.460-6建议书将在向连续时标过渡期间更新。

有待在WRC-23上审议的国际电联的研究

即将在阿拉伯联合酋长国迪拜举行的[世界无线电通信大会](#)

(WRC-23)，将审议国际电联无线电通信部门响应早先的第655号决议(WRC-15)对改变时标的影响进行研究的结果。关于该议题的更多信息，载于ITU-R TF. 2511-0报告，“无线电通信系统将传播的时间信号的内容和结构以及当前和潜在的未来参考时标的各个方面，包括其在无线电通信中的影响和应用”。

分享专业知识和观点

我非常感谢BIPM和本期《国际电联新闻》杂志的作者分享其专业知识和观点。他们的知识合在一起，提供了关于计时科学的经典资源和参考，这将丰富和影响正在就时间的未来 – 以及是否废除闰秒 – 开展的辩论。



即将在阿拉伯联合酋长国迪拜举行的WRC-23，将审议国际电联无线电通信部门对改变时标的影响进行研究的结果。”



我非常感谢BIPM和本期《国际电联新闻》杂志的作者分享其专业知识和观点。”

未来从现在开始

国际计量局主任马丁·米尔顿

数千年来，计时协议对人类进步至关重要。随着人类和人类行为的不断发展演变，改进时标的需求变得更加频繁而强烈。

2021年期间，国际计量局（Bureau international des poids et mesure——BIPM）在其用户和利益攸关方中开展了一项关于协调世界时（UTC）间断对当前计时应用的影响的调查。所收集的数据表明，只有真正连续的UTC（精确计量且无需频繁调整）才能满足21世纪用户的需求。

变化总是与我们同在。然而，作为国际时间的监管机构，我们必须深思熟虑，小心行事。因此，当继续推进这个议题时，我们必须尊重一个事实，即对几乎每个人而言，有形的日常天文周期仍然是时间的根基，具有象征意义。

正因为如此，我们必须考虑任何改变UTC的决定将对天文学产生的影响，还要顾及将人与地球自然循环联系在一起的任何社会活动。



“随着人类和人类行为的不断发展演变，改进时标的需求变得更加频繁而强烈。”

马丁·米尔顿

最近有关未来UTC的决定

2022年11月召开的度量衡大会（CGPM）汇集了64个UTC成员国。他们批准了一项关于UTC的使用和未来发展的决议，提议在2035年之前扩大UTC与地球自转角度之间的容差。

鉴于这一决定，BIPM期待着与各行业和组织，当然也与国际电信联盟（国际电联）合作，实现和传播适应现代社会需要的最新时间标准。

转折点

如下图所示，我们确实处于UTC历史的转折点。

在过去的50年里，地球自转时间和原子时之间的差异已经扩大了很多。这种趋势因地球自转放缓而加剧，引发了偶尔闰秒的插入。

然而，最新数据表明，这一趋势发生了逆转，从现在到2035年，我们可能需要在基于UTC的时间应用程序中插入有史以来第一个负闰秒。

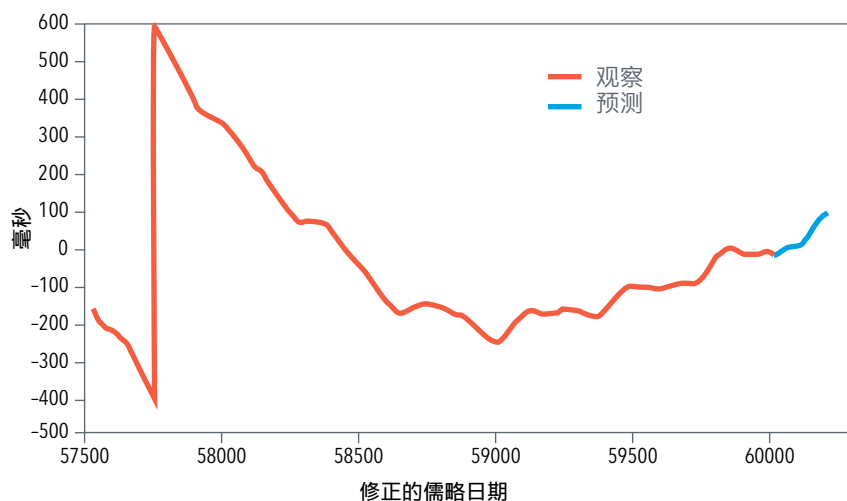
在我写这篇文章的时候，世界各地的太空机构开始讨论是否有必要为月球提供连续时间基准。因此，一个连续的UTC有朝一日可能会成为地球及更远地方的时间基准。



一个连续的UTC有朝一日可能会成为地球及更远地方的时间基准。”



UT1 - UTC



资料来源：地球观测所

闰秒已成历史了吗？

十年前，在2013年出版的《国际电联新闻》杂志上，也出现了关于全球计时的类似问题。

正如时任国际电联无线电通信局主任的弗朗索瓦·朗西在序言中所说：“现代——闰秒已成历史了吗？”

如今，10年已过去，情况很可能就是这样。



2013年出版的《国际电联新闻》杂志：时间的未来

下载自己的副本



Adobe Stock

时间信号和频率标准发射的进展

国际电联无线电通信部门7A工作组主席Joseph Achkar

国际电联无线电通信部门（ITU-R是国际电信联盟的三个部门之一）的7A工作组处理与时间信号和频率标准发射有关的科学服务。

2015年，经过7A工作组15年的讨论，世界无线电通信大会通过了第655号决议（WRC-15），“时间尺度的定义和时间信号通过无线电通信系统的发播”。这个问题首先被提出，因为偶尔将闰秒插入协调世界时（UTC）已经开始给许多导航、工业、金融和电信系统带来严重的操作困难。



“未来参考时标需要在实现国际化、得到普遍接受，且是连续的。”

Joseph Achkar

ITU-R TF.460建议书由国际无线电咨询委员会（CCIR）于1970年发起，最初提出需要按照国际度量衡大会（Conférence générale des poids et mesures-CGPM）1967年定义的秒发播标准频率和时间信号。

这份建议书指出，所有标准频率和时间信号发射应尽可能符合UTC。它还描述了偶尔将闰秒插入UTC的程序。

计时和传播指导

自2016年以来，7A工作组与其他相关组织，也与国际电联电信标准化部门（ITU-T）密切合作，加强了对这一问题的研究，研究结果载于ITU-R TF.2511号报告中。

报告是对第655号决议的回应，旨在向国际电联成员国主管部门和部门成员以及电信公司、互联网提供商、空间机构、航空组织、海事组织、气象组织、大学以及国际电联成员以外的当局通报计时及标准频率和时间信号传播的监管、技术和实践方面的情况。

未来参考时标需要实现国际化、得到普遍接受，且是连续的。具体做法可以是维持UTC，放宽对UTC与UT1（意指基于地球自转的世界时）之间偏移量的限制。

7A工作组的研究已然表明，确定国际参考时标与包括UT1在内的其他时间源的关系，属于国际度量衡局（Bureau international des poids et mesures -BIPM）与时间和频率咨询委员会（CCTF）、国际度量衡委员会（Comité international des poids et mesures -CIPM）和CGPM的职权范围。然而，标准频率和时间信号的发射和传播，包括时标偏移的传播，均属于ITU-R的职权范围。

虽然某些用户群希望看到闰秒尽快结束，但其他用户群却希望首先更新其系统和程序，因此促使他们要求在决策和实施之间留出15年的过渡期。

国际电联研究报告

TF.2511号报告涵盖的议题包括：

- ▶ UTC的背景。
- ▶ UTC的重要性。
- ▶ 组织的作用。
- ▶ 闰秒的影响。
- ▶ 当前和未来的时标。
- ▶ 传播时间信号。

[下载报告](#)

“虽然某些用户群希望看到闰秒尽快结束，但其他用户群却希望首先更新其系统和程序。”

筹备 WRC-23

国际电联无线电通信局主任将向2023年底即将在迪拜举行的世界无线电通信大会（WRC-23）报告7A工作组的研究结论。UTC的当前定义2018年在CGPM第2号决议中获得通过，随后BIPM和国际电联于2020年签署了一份谅解备忘录，概述了相互合作的范围。因此，正如工作小组给主任的一份说明所强调的那样，确立UTC不是一项频谱管理任务。

事实上，CGPM在2022年11月就连续参考时标做出了决定，支持取消闰秒。其余的工作，如国际电联与国际组织的合作和对ITU-R TF.460建议书的更新，均属于ITU-R相关工作组的责任。

作为正在进行的WRC-23筹备工作的一部分，国际电联无线电通信局与BIPM在瑞士日内瓦国际电联总部举行了一次关于第655号决议（WRC-15）的特别会议。特别会议在第二次国际电联WRC-23筹备工作跨区域讲习班期间举行，力求收集区域组织对这一问题的看法，也分享各区域的现状，使所有区域都能够共同前进，更好地满足用户的期望。

所进行的各种研究，还有即将举行的筹备会议（CPM23-2）和7A工作组所做的讨论，将为WRC-23修订第655号决议铺平道路。

目标，归根结底，就是在接近21世纪中期时满足用户的需求。



CGPM在2022年11月就连续参考时标做出了决定。”

度量衡大会的决议

2022年11月作出了关于连续参考时标的决定。

下载

（见第23页第4号决议）

协调世界时：概述

BIPM时间部主任Patrizia Tavella

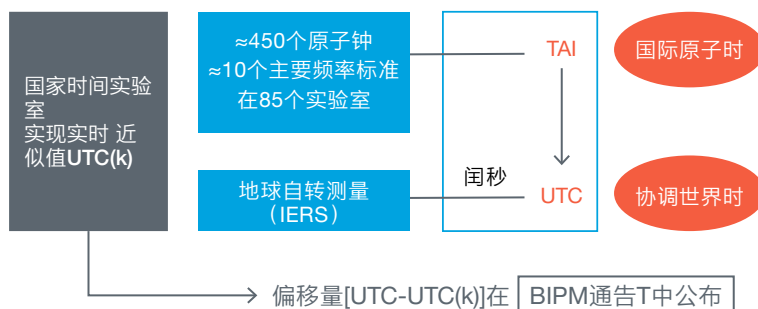
协调世界时（UTC）是由国际计量局（BIPM）计算的全世界参考时标，国际计量局是处理测量科学和测量标准相关事务的国际组织。

UTC基于大约450个原子钟，这些原子钟由全球85个国家时间实验室维护。这些时钟向BIPM提供常规的测量数据，以及UTC当地实时近似值，称为UTC(k)，供全国使用（见图）。



“UTC基于大约450个原子钟，这些原子钟由全球85个国家时间实验室维护。”

Patrizia Tavella



资料来源：BIPM

标度单位秒和参考时标UTC是在度量衡大会（CGPM）的授权下定义和实现的，派代表参加大会的有64个成员国和36个准成员国和经济体。

国际地球自转和基准参考事务中央局（IERS）确定并公布了UTC和以UT1表示的地球自转角度之间的差值。每当这种差值接近0.9秒时，所有时间实验室都会宣布并适用一个新的闰秒。

UTC和UT1-UTC差值由国际电联无线电通信部门（ITU-R——国际电信联盟的三个部门之一）管理的几种时间和频率服务传输。

BIPM如何获得UTC

BIPM首先计算所有指定原子钟的加权平均值，以获得国际原子时（TAI）。计算TAI的算法很复杂，包括对每种时钟的估计、预测和验证。

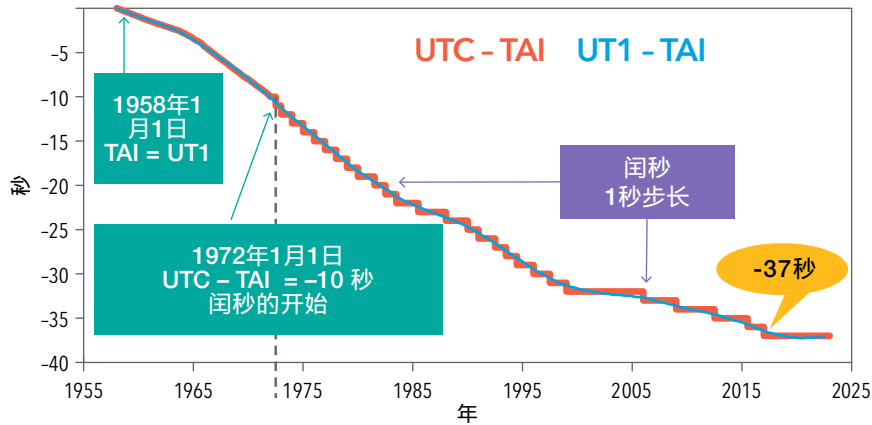
同样，远距离比较时钟的测量要么基于全球导航卫星系统（GNSS），要么基于其他技术，如双向时间和频率的卫星传输，或者通过光纤。这些都需要加以处理，以补偿因电离层、重力场或卫星移动等原因造成的延迟。

最终，UTC是根据需要添加或删除闰秒，并保持与原子秒相同的滴答声，从TAI获得。

UTC与地球不规则自转的对准

20世纪70年代，在原子钟时代之初，大家商定UTC应与地球的不规则自转保持一致，因为UTC允许以0.9秒的容差估计地球自转角度UT1。这在很大程度上是基于天体观测的导航系统所需要的。一开始，UTC以非常小的时间和频率步长进行校正。自1972年起，使用完整的闰秒（见图）。

“从管理复杂系统的角度来看，同一时刻对所有卫星时钟应用闰秒是一种风险。”



资料来源：BIPM

图：自原子时开始以来UTC和UT1相对于国际原子时(TAI)的偏移量。1958年，TAI和UTC设成与UT1一致。

UTC = 协调世界时
UT1 = 世界时1
TAI = 国际原子时

采用闰秒备选方案的技术公司

闰秒的应用遵循如下所示的秒标记序列。插入的闰秒标记为23:59:60，这是大多数现代数字系统都无法预见的时钟时间。

这种差异导致了特别方法的激增，目前正越来越多地用这些特别方法作为闰秒的备选方案。

例如，谷歌在前24小时内“涂抹”了额外的一秒钟，脸书在随后的18小时内“涂抹”了额外的一秒钟，微软在最后的两秒钟内“涂抹”了额外的一秒钟，而阿里巴巴则在以闰秒为中心的24小时间隔内“涂抹”了额外的一秒钟

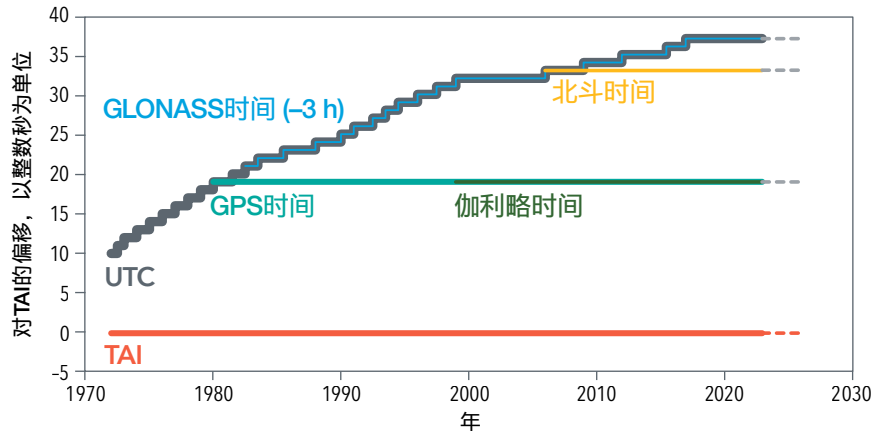
23:59:59
23:59:60
00:00:00

与闰秒相关的风险

从管理复杂系统的角度来看，同一时刻对所有卫星时钟应用闰秒是一种风险。因此，大多数全球导航卫星系统（不包括GLONASS）一开始就选择将其时钟和时标与UTC同步，而不添加任何闰秒。

因此，今天GPS时间比UTC时间快18秒。伽利略时间也是如此，北斗时间领先四秒（见图）。

在适用闰秒之日，这种情况会令用户困惑。这也引起了对发生异常情况风险的关切，而异常情况可能破坏国家重要基础设施的可靠性。



资源来源：BIPM

使UTC与地球自转保持一致

2022年11月召开的度量衡大会第27次会议上，决定维持现有流程，使UTC与地球自转保持一致。然而，该决定设想了一个大于0.9秒的容差限制，相应的调整幅度加大但频次减少，以保证UTC至少在未来100年内的连续性。

BIPM目前正与ITU-R和其他组织合作制定一项新的程序，预计2035年生效。这将包括UT1-UTC偏移的新定容差值，以确保UTC在服务当前和未来计时应用时保持高效和有效。

本图显示了全球导航卫星系统内部时标UTC和TAI之间的偏移量。

“BIPM目前正与ITU-R和其他组织合作制定一项新的程序，预计2035年生效。”



Adobe Stock

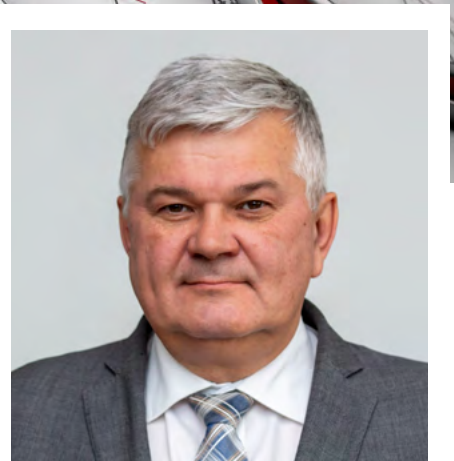
当今通行时标

ITU-R第7研究组（科学服务）研究组顾问Vadim Nozdrin

尽管任何事件均可以用三个空间坐标和一个时间坐标来定义，但时间需要以标准方式定义，并以极高的精度在全球范围内同步。时标本质上是标尺上有序的且有相应编号的点的集合。

时间需要以标准方式定义，并以极高的精度在全球范围内同步。

- UT1** — 世界时1
- ET** — 星历时
- TAI** — 国际原子时
- UTC** — 协调世界时



“时间需要以标准方式定义，并以极高的精度在全球范围内同步。”

Vadim Nozdrin

世界时即UT1是根据对地球自转的观察而确定的。它与地球绕其轴的旋转角度成正比。比例系数的选择，意在使UT1中的24小时接近一天的平均持续时间，并且相位的确定，旨在使零时UT1对应于英国格林威治子午线上的平午夜。

UT1一秒意指平均太阳日的 $1/86\,400$ 。直到1960年，这才相当于国际单位制（SI）中的一秒。

UT1由国际地球自转和基准参考事务中央局（IERS——以前的国际地球自转服务局）计算和维护，在1972年之前是世界公认的参考时标。

然而，天文学家已经证明，一个回归年——被理解为太阳连续两次通过春分点之间的间隔——比一天提供了时间间隔的稳定性更大。换句话说，维持时间，用地球绕太阳的轨道运动比用地球自转更准确。

星历时或ET是用太阳的平均经度值来确定的。它的设定意在使UT1和ET大约在1900年重合。

世界时即UT1是根据对地球自转的观察而确定的。

“世界时即UT1是根据对地球自转的观察而确定的。”



1899年12月31日（或根据BIPM的技术定义，在1900年1月0日ET 12时），确定ET的一秒为回归年的 $1/31\,556\,925.9747$ 。从1960年到1967年，就用这个作为秒的国际单位制的单位。

国际原子时即TAI与前两种时标不同，它基于一个由物理现象决定的时间间隔。国际时间局（Bureau International de l'heure—BIH）通过世界各地国家实验室的原子钟协调这一时间标准。

自1967年以来，原子秒一直是国际单位制的时间单位。它被定义为9 192 637 770个辐射周期的持续时间，对应于铯-133原子基本结构的两个超精细能级之间的跃迁。

经正式商定，TAI在1958年1月1日的起点与UT1重合。从那时起，原子时由国际计量局（Bureau international des poids et mesures -BIPM）的时间科决定，该科收集并处理位于85个国家的大约450个原子钟的时间。

然而，很快就出现了统一不同时标以提高精确度的想法。这导致从1972年开始采用新的协调全球时间标准。

协调世界时（UTC）由以下方程组确定：

$$\text{UTC}(t) - \text{TAI}(t) = n \text{ s}$$

（其中n是一个整数，目前n=34 s）

$$|\text{UTC}(t) - \text{UT1}(t) < 0.9 \text{ s}|$$

但是地球自转速度的变化导致UT1和TAI之间的差异。在这种情况下，IERS可能决定根据时标之间的预测偏差来调节秒。因此，会在月末加上——或者可能减去闰秒。



“经正式商定，TAI在1958年1月1日的起点与UT1重合。”



管理偏差

虽然UTC标准时标是由BIPM计算和分配的，但世界各地的用户都可以获取通过国家实验室（全世界约有85个）确定的本地UTC值（UTC(k)），它们与UTC协调且彼此相互协调。

以UTC(k)为代表的本地实验室通过各种系统在各自的领土内提供参考标准。这些包括在SFTSS（标准频率和时间信号服务）和SFTSSS（标准频率和时间信号-卫星服务）中的广播；通过广播卫星广播；通过固定、无线电导航和气象卫星服务广播；以及通过光纤或同轴电缆在地面网络上广播。

国际电信联盟（国际电联）在建立和全球分配标准频率和精确时间信号方面发挥着关键作用。国际电联无线电通信部门（ITU-R）建议所有标准频率和时间信号发射都符合UTC。

BIPM规定，UTC和UTC(k)之间的最大偏差不得超过 ± 1 毫秒。出于无线电通信的目的，ITU-R建议余量更小，为 ± 100 纳秒。



ITU-R建议所有标准频率和时间信号发射都符合UTC。”



时标

世界时

世界时（UT）是基于地球自转的时标的统称。

对于要求精确计时的应用，即使是百分之几秒的偏差也是不可容忍的，因此必须指定特定形式的UT：

UT0

是从直接天文观测获得的本初子午线的平均太阳时。

UT1

是针对相对于地球旋转轴的微小运动（极性变化）的影响而校正的UT0。UT1直接对应于地球在每日旋转中的角位置，是国际电联为无线电通信目的推荐的形式（ITU-R TF.460建议书）。

UT2

是针对地球自转速率的季节性小波动影响而校正的UT1。

这些术语和涉及的概念的定义可在IERS（法国巴黎）的出版物中找到。

国际原子时

TAI

国际原子时（TAI）参考标度以旋转大地水准面上实现的秒（SI）为基础，由BIPM根据合作机构提供的时钟数据建立。它是一种连续的标度，例如从原点1958年1月1日开始以日、时、分和秒为单位（1971年由CGPM采用）。

协调世界时

UTC

UTC是由BIPM在IERS的帮助下而维持的时标，它是协调传播标准频率和时间信号的基础。尽管它与TAI的速率完全一致，但它们相差整数秒。

UTC标度通过插入或删除秒（正或负闰秒）加以调整，以确保与UT1大体一致。



Adobe Stock

同步和UTC不连续性的影响

ITU-T第15研究组第13/15号课题报告员Stefano Ruffini，华为高级首席系统工程师Silvana Rodrigues

准确的同步是电信网络有效运行的基础。

同步，在今天的5G网络中比以往任何时候都重要，在未来的移动网络中甚至越发重要；在未来的移动网络中，新兴的无线电技术和网络架构支持越来越苛刻的用例，如自动化车辆的时间敏感联网或智能工厂中的控制机器人。



Stefano Ruffini



Silvana Rodrigues

时间同步

电信中的时间同步基准有时涉及连续时标，而不是使用闰秒的时标。

国际电联电信标准化部门（ITU-T-国际电信联盟的三个部门之一）包括一个网络同步和时间分配性能专家组（研究探讨ITU-T第15研究组的第13号课题）。

第13/15号课题中讨论的应用通常需要连续的时标。事实上，相关的性能要求是基于连续的理想基准定时信号（例如，当用ITU-TG.810建议书和G.8260建议书中规定的度量指标表示时）。

同步类型

不同类型的同步适用于电信：

- **频率同步**——重大事件以相同的频率发生。
- **相位同步**——重大事件同一瞬间发生。
- **时间同步**——重大事件发生在同一瞬间，共享同一时标和时期。

频率同步通常遵循协调世界时（UTC），也称为国际参考时标。例如，ITU-T G.810建议书中的一个注释说：

网络同步的基准频率是生成UTC时标的频率。

频率同步的连续时标

对于使用频率同步的应用来说，使用连续时标非常重要，在一些应用中相位跳变会对性能产生负面影响。

时间同步也是如此。事实上，目前在第13/15号课题下讨论的要求主要来自3GPP（第三代合作伙伴计划）规范，其中明确要求使用连续时标。

“准确的同步是电信网络有效运行的基础。”

Stefano Ruffini 和
Silvana Rodrigues

G.810: 同步网络的定义和术语

G.8260: 分组网络中同步的定义和术语

“对于使用频率同步的应用来说，使用连续时标非常重要，在一些应用中相位跳变会对性能产生负面影响。”

一个例子就是规范 [TS 38.401](#)，它规定：

“……不插入闰秒的连续时间可追溯到同步TDD单播区域中所有gNB的公共时间基准。如果TDD单播区域未被隔离，公共时间基准应可追溯到协调世界时（UTC）。”

非同步基站的干扰风险

时分双工（TDD）信号可以根据特定的时隙分配在上行链路或下行链路中传输。这需要UTC可追溯性来协调相邻基站之间的无线电帧开始的传输，从而防止干扰，或者在最坏的情况下，防止服务中断。

如果基站没有正确同步，并且时间同步误差超过某些预定义的限制，则可能发生站到基干扰。（有关下行链路和上行链路交换的示例，见下文两个图。）

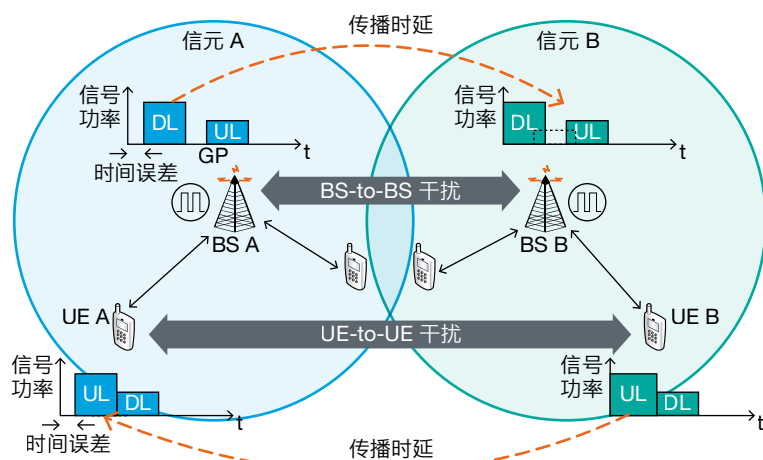
ITU- G.8271建议书附录六（基于TDD的移动通信系统中的时间同步方面）指出：

“鉴于3GPP对连续时标的要求，在这种情况下的实际实现可以利用不受闰秒影响的分布式UTC信息的内容，例如，在基准由GPS信号携带的情况下的GPS时间。”

gNB = 5G (NR) 节点 B。
TDD = 时分双工

“GPS时标已广泛应用于电信应用中，是全球唯一可用的无闰秒时标。”

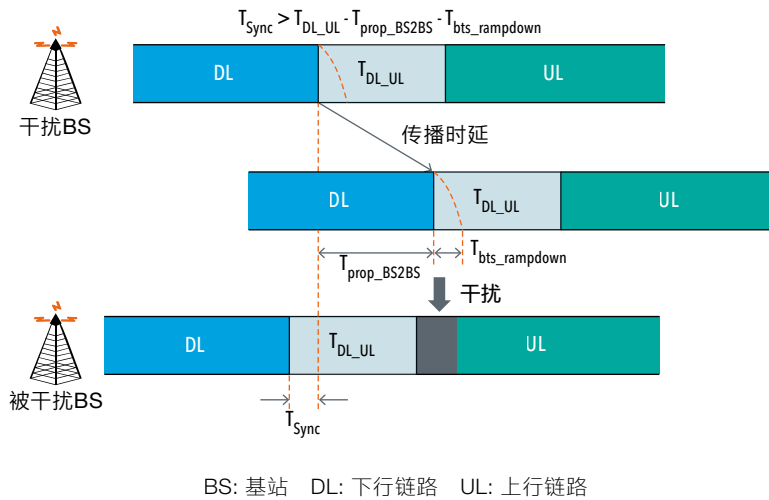
时分复用系统中的干扰模式综述



BS: 基站 DL: 下行链路 GP: 全球定位 UE: 用户设备 UL: 上行链路

资料来源：附录6，图VI.2/G.8271

下行链路到上行链路切换点处的基站到基站干扰



资料来源：附录6，图VI.5/G.8271

无闰秒的GPS时间

GPS时标已广泛用于电信应用中，是全球唯一可用的无闰秒时标。

现行GPS解决方案利用不包括闰秒的时标和信息来避免时钟干扰。例如，精确时间协议（PTP）时标基于国际原子时（TAI）或GPS时间。

对于需要标准“日时”信息的应用（例如，收费、报警的时间戳等），也可能需要恢复UTC时间。这种应用程序必须准备好解决偶然的、突然的“时间跳跃”。

无闰秒的UTC

电信可能会受益于定义连续UTC而没有额外闰秒的措施，或者在足够长的时间内执行定期调整以避免影响正常网络运行的情况。

“电信可能会受益于定义连续UTC而没有额外闰秒的措施。”



Adobe Stock



UTC对工业4.0的影响

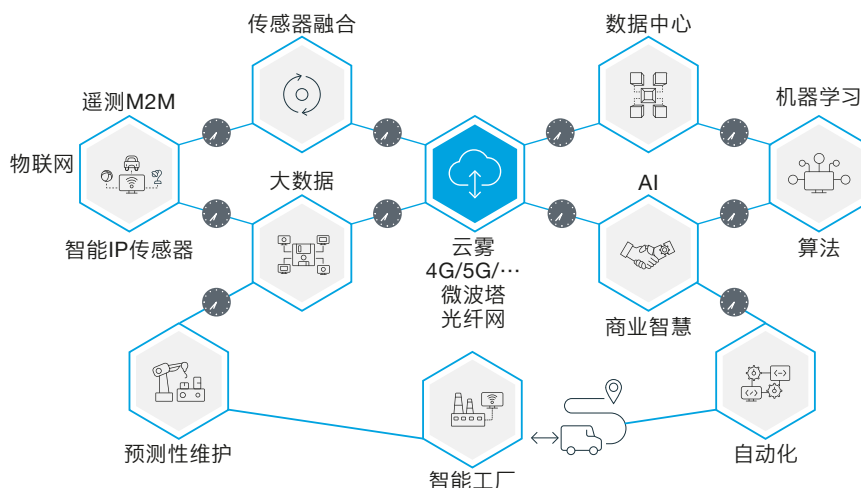
Elproma联合创始人Tomasz Widomski

全球经济依赖全球导航卫星系统（GNSS），该系统为全世界重要的现代基础设施提供协调世界时（UTC）基准。

“全球经济依赖全球导航卫星系统（GNSS），该系统为全世界重要的现代基础设施提供协调世界时（UTC）基准。”

Tomasz Widomski

全球供应链



资料来源：ITFS 2020

这包括分布式智能电网、5G电信网络、交通控制系统和自动驾驶汽车。它支持广播服务、金融市场和智慧城市，以及迁移到云的工业4.0系统。

工业4.0的闰秒挑战

UTC的不连续性要求定期添加闰秒，这影响到所有国家和各经济体的所有部门。这给工业4.0的稳定性和网络安全带来了特殊的问题，工业4.0是依赖于分布式系统架构的现代工业和服务。

闰秒的问题已经存在多年了。但指数级增长的自动化和整个工业4.0系统的密切相互依赖，导致需要紧急暂停未来闰秒。

令情况更加复杂的是缺乏闰秒维修标准，信息技术界和时间计量界之间的对话不畅，GNSS接收器的实施方式多种多样，全球卫星导航系统（如全球定位系统（GPS）、伽利略、全球导航卫星系统（GLONASS）和北斗）以及区域系统（如印度区域导航卫星系统（IRNSS））之间提供服务的方法不同。

中断场景

向UTC添加闰秒所产生的问题可能包括：

1. 布式系统中的**时间差异**，其中数据的有效性由远程传感器和集中管理的本地接收服务器的时间戳之间的差异来确定。这可能导致接受无效数据（错误计算的延迟），并因此导致工业4.0的不当预测性维护。随着时间敏感型联网（TSN）、时间协调计算（TCC）以及未来低延迟联网的日益普及，这种风险将会增加。
2. 基于Windows、Linux或Unix操作系统的物联网（IoT）和IT设备的**固件软件故障**。今天生产的每个传感器或设备都有基于这些系统之一的固件。闰秒引入的意外时间峰值对于操作系统内核的稳定性是危险的。它们扰乱了控制并发管理和低级系统进程的低级事件时序。时序不匹配会导致“内核恐慌”——一种让操作系统无法快速或轻松恢复的计算机错误。

“整个工业4.0系统的密切相互依赖，导致需要紧急暂停未来闰秒。”

在此场景中，UTC闰秒会触发大规模多米诺骨牌效应，导致电力系统停电和电信中断，并扰乱铁路、空中交通管制和工业4.0过程自动化。除非闰秒暂停生效，否则这种故障迟早会发生。

行业风险

如今，我们面临着UTC未来闰秒有史以来第一次必须是负值的可能性。在工业4.0生产的工作环境下，这将是一项危险的实验。

尽管UTC闰秒是主要风险，但它不是工业4.0的唯一风险。自20世纪90年代发布第一台商用GPS接收机以来，已经部署了数亿台商用GNSS接收机并用作UTC基准。然而，由于内部算法的差异，并视它们当前使用的GNSS星座，它们各以不同方式为UTC计算一秒的分数。

UTC同步的准确性还取决于天气条件、天线安装质量、干扰和网络安全，包括GNSS干扰/欺骗。所有这些还面临GNSS内部误差（如2016年1月GPS SVN23 13.5微秒（ μs ）误差）或溢出的风险，如GPS周数每19.7年滚动一次。

其他GNSS星座也同样不完美。

网络安全同步

显然，我们需要改变安全模式，首先要认识到精确的时间同步是工业4.0网络安全的重要组成部分。

一个很好的例子是2020年2月发布的美国总统行政命令EO13905：通过负责任地使用定位、导航和定时服务加强国家复原力。它为新的低地球轨道（LEO）商业卫星星座开辟了道路。关键是，它还促进了计算机网络同步协议，如网络时间协议（NTP）和精密时间协议（PTP）IEEE1588，这两个协议都传播来自国家计量研究所的UTC。

虽然网络时间协议设计本来就为使用UTC，但是精密时间协议可以与任何时标并用，包括相干国际原子时（TAI）当量。

“我们需要改变安全模式，首先要认识到精确的时间同步是工业4.0网络安全的重要组成部分。”

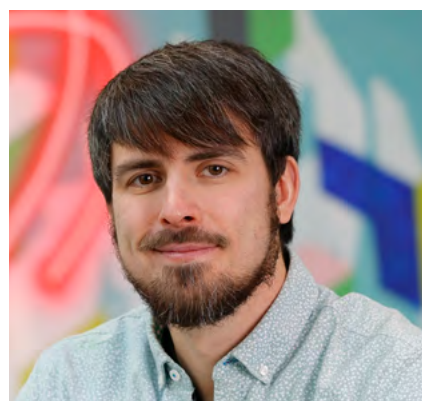
数据中心内的时间同步

Meta生产工程师Oleg Obleukhov和
Meta研究科学家Ahmad Byagowi

时间同步对于数据中心内的几乎每个软件应用程序都极其重要。时间用来把数百万服务器之间的同时事件联系起来，予以安排。

在安全方面，可靠的计时对于缓存过期和失效、短期证书和入侵检测至关重要。时间同步有助于工程师把经常使用协调世界时（UTC）的日志条目联系起来。

随着事务吞吐量的不断增加，即使只有几毫秒的时间差也会导致严重的问题。因此，时间如何到达数据中心并在数据中心内传播至关重要。



Oleg Obleukhov



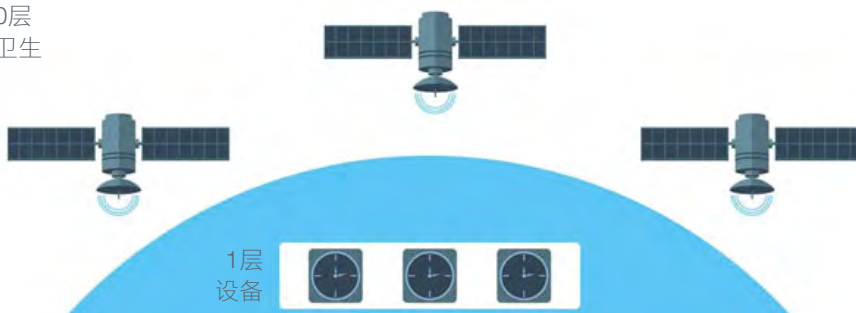
Ahmad Byagowi

全球导航卫星系统

有不同的方式将准确的时间传播到数据中心。在许多情况下，它首先通过称为时间设备的特殊设备接收来自GPS、GLONASS、伽利略和北斗等全球国家卫星系统（GNSS）星座的无线电频率广播。

GNSS卫星和时间设备之间的相互作用

0层
卫星



资料来源：Meta 的Oleg Obleukhov和Ahmad Byagowi

由于地球自转的不规则性，单调递增的国际原子时（TAI）和UTC之间的差异不断波动，最终达到 ± 500 毫秒的极限。此时，国际地球自转和基准参考事务中央局（IERS）发出指令，将闰秒添加到UTC或从UTC中删除。

由于每个星座均执行自己的运行时间和额外的UTC转换步骤，令这种情况变得更加复杂。例如，GPS时间相对于TAI有19秒的固定时差，而GLONASS则基于UTC。

这种复杂性经常发生在时间设备上，并且像其他移动部件一样，偶尔会引起问题。

开源时间设备

在Meta的开放计算项目下，我们启动了一个[时间设备项目](#) workflow，致力于开发开源时间设备。我们希望将行业从专有解决方案中解放出来，提升透明度，并显著降低时间设备的成本。

“时间同步对于数据中心内的几乎每个软件应用程序都极其重要。”

Ahmad Byagowi 和
Oleg Obleukhov



是时候把闰秒留在过去了吗？

[阅读这篇文章。](#)

在实现开源时间设备软件时，我们不得不处理一个复杂的逻辑来处理不同的星座和闰秒指标，以产生TAI。我们发表了一篇深入的文章，详细介绍了我们建造时间设备的方法、动机和流程：

一旦时间设备同步，我们就可以在分组交换网络中传播时间了。

网络时间协议

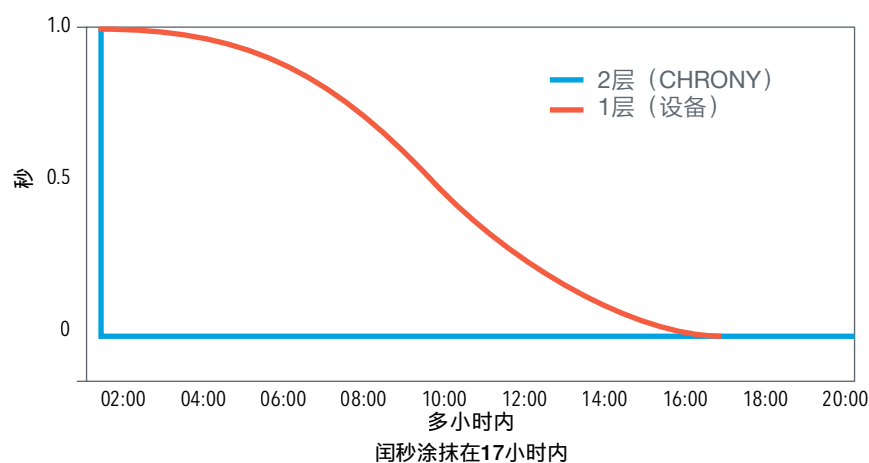
网络时间协议（NTP）是数据中心内最常见的的时间同步类型之一。这是一项非常可靠、经过实战检验的技术。世界上大多数服务器和最终用户设备都依赖NTP来保持时间最新。

在Meta，我们运行最先进的低抖动NTP，不断用极其精确的计时设备予以验证。NTP很可靠，可将同步降低到数百微秒，不确定性窗口小于100毫秒。

这就留下了两种处理闰时事件的方案：步进时钟或涂抹。

众所周知，步进会导致问题，在大多数情况下，使涂抹（一种将时间摊开或“涂抹”在几个小时内以交代闰秒的技术）是首选方案。我们的设备允许我们测量将闰秒涂抹到几纳秒的影响（见图）。

对“真实时间”的偏移



资料来源：Meta 的Oleg Obleukhov和Ahmad Byagowi

建造时间设备的一些组件

OCP
Tioga 通行证



英伟达迈络思
ConnectX-6 Dx 网卡



脸书
时间卡



资料来源：Meta 的Oleg Obleukhov和Ahmad Byagowi

从这些测量中，我们得知，调整的大小可以达到每秒数十微秒，大到足以使软件崩溃，使用单调时钟除外。这给我们的工程团队带来了额外的压力，并经常在基础架构的不同部分引发问题。

整个数字行业均感受到了类似的压力。鉴于诸如此类的挑战，我们并不期待有史以来第一次出现负闰秒。

精密时间协议

尽管网络时间协议对当今大多数用户应用程序而言都不错，但我们发现它越来越难以、甚至不可能用于分布式存储系统，因为在分布式存储系统中，要求苛刻的应用程序需要更严格的保证。

正因为这样，Meta等公司才部署额外的同步解决方案，如精密时间协议——将不确定性窗口降至纳秒。

这种精度水平根本无法安全地涂抹闰秒。因此，精密时间协议通常与TAI一起使用。当需要转换为UTC时，必须为每个客户端单独执行，这意味着把不确定性窗口降低几个数量级。

时候已至

我们支持国际度量衡局（BIPM）到2035年停止使用闰秒的决定。

固定的UTC将缓慢地偏离太阳观测时间，但它会增加关键系统的稳定性。对每个人来说，数千年调整一次闰时或夏令时将是一种更安全、更可持续的方法。



我们支持国际度量衡局（BIPM）到2035年停止使用闰秒的决定。”



英国国家授时中心计划

英国国家物理实验室（NPL）时间和频率科学负责人Helen Margolis

时间有时称为无形的功用。我们依靠越来越精准的定时信号来维持电信、电网、银行和运输等关键服务。

然而，许多组织并没有意识到它们对时间的依赖，也不了解时间从何而来。

过度依赖GNSS

大多数情况下，定时信号来自全球卫星导航系统（GNSS）。但是这些信号很弱，容易受到干扰或欺骗，也易于受到太阳风暴等现象的自然干扰。这一薄弱环节，再加上对关键基础设施依赖GNSS程度的认识不足，就构成了重大风险。



“我们依靠越来越精准的定时信号来维持电信、电网、银行和运输等关键服务。”

Helen Margolis

在英国（UK），2018年Blackett审查（“源自卫星的时间和位置：关键依赖性研究”）中对这一风险进行了阐述，并于2020年将其纳入国家风险登记册。该审查和登记册都明确指出，有必要采取步骤提高对GNSS中断的抵抗力，包括酌情采用备份系统。

UTC（NPL）——备选时间源

英国国家物理实验室作为其国家计量研究所，负责维护UTC（NPL）时标——协调世界时（UTC）在英国的唯一实现，并将其传播给用户。

然而，我们目前的服务要么在可提供的准确性方面有限，要么在地理范围方面有限。MSF无线电时间信号和互联网时间服务相对不精确，而我们为金融业提供的基于光纤的NPLTime®服务范围仅限于英国的部分区域。

为了满足用户越来越高的需求，并减少国家关键基础设施对GNSS的过度依赖，NPL正在引领开展一项计划，以显著增强整个英国的授时基础设施和能力。

国家授时中心计划

此项计划的核心是构建一个更具恢复能力的新时标，一旦全面投入使用，该时标将成为UTC（NPL）的来源。

该时标将由分布于四个地理区域的站址相互连接，组成网状结构。每个站址都将包含几个氢脉泽（电磁波发射器），再加上相关的信号测量、频率控制和分配设备，得以实施几个时标的实现。站址间时间传递链路将使用多种方法来确保恢复能力，从而使所有时标实现与指定为UTC（NPL）的时标实现保持一致。

UTC（NPL）本身将受到操控，在网状结构内的铯喷泉主要标准的辅助下，处于UTC的定义时间和频率偏离量之内。必要时，可以在同一站址或不同站址之间，切换不同的时标实现。目前，正在开发相关软件，用以监测、控制和实现新基础设施自动化运行。

“为了满足用户越来越高的需求，并减少国家关键基础设施对GNSS的过度依赖，NPL正在引领开展一项计划，以显著增强授时基础设施。”



图片说明：NPL建造的铯喷泉

[了解更多。](#)

激励创新

通过位于斯特拉斯克莱德、萨里和克兰菲尔德大学的新创新节点，我们现有的UTC（NPL）时标的时间和频率信号也可供工业和学术用户使用。

通过与“创新英国”（Innovate UK）合作，我们支持研究时间和频率生成、传播和应用，并激励工业供应链的发展。上述三个创新节点采用不同的时间和频率传递方法连接到UTC（NPL），可以作为未来英国分配基础设施的蓝图。

数字化世界的连续时标

当然，新的英国时标是为了按照国际标准处理闰秒。也就是说，它将提供向用户接入节点传播闰秒信息的能力。但并不是所有的时间传播协议都能正确处理闰秒，而且可能出现负闰秒（之前从未经历过）给恢复能力带来了另一种风险。

出于这些原因，英国主要利益攸关方认为，改为无闰秒的连续UTC是实现支持现代数字经济且具有恢复能力的精确时标的最佳途径。

未来愿景

我们的长期目标是创建一个覆盖全国的高精度的时间和频率骨干网。骨干网上的分支将提供一系列不同性能水平的服务，部分通过光纤，部分使用广播技术。

所有这些信号都可以追溯到UTC（NPL）作为英国境内的最高参考点。其目的是提供用户可以信任的具有恢复能力的时间，无论这些用户是何种身份或位于何处。



我们的长期目标是创建一个覆盖全国的高精度的时间和频率骨干网。”



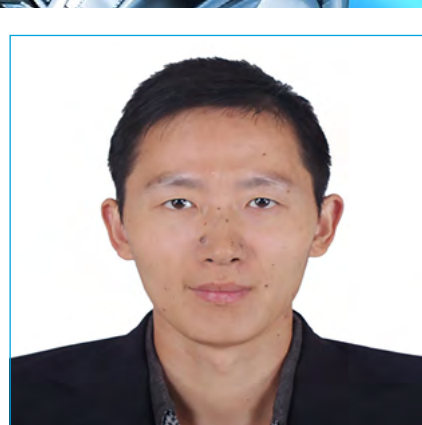
北斗卫星导航系统与UTC闰秒

北京卫星导航中心高级工程师蔺玉亭 (Yuting Lin) ; 中国地理信息工程国家重点实验室研究员杨元喜 (Yuanxi Yang) ; 中国地理信息工程国家重点实验室工程师孙碧娇 (Bijiao Sun)

连续、稳定、准确的授时服务是国民经济和社会发展的基本要求。今天，卫星导航系统支持最广泛应用的授时服务方法，精度最高和覆盖范围最广。

北斗时间系统

北斗全球卫星导航系统 (BDS) 已成为这一计时基础设施的重要组成部分，其第三代BDS-3将于2020年完成最后一次卫星发射。BDS星座现有45颗业务卫星，包括15颗BDS-2卫星和30颗BDS-3卫星，共同为用户提供服务。它们的定时精度优于20纳秒，相当于95%的置信水平。



蔺玉亭



杨元喜



孙碧娇

BDS采用北斗卫星导航系统时间（BDT）作为其参考时间，而BDT使用国际单位制（SI）秒进行连续累积，不设闰秒。

BDT的初始历元是协调世界时（UTC）2006年1月1日的00:00:00。BDT与UTC相关，由中国国内的计时实验室维护，BDT与UTC之间的偏移保持在50纳秒（模1秒）内。BDT和UTC之间的闰秒校正通过导航数据（NAV）消息进行广播。

自1972年以来，UTC已经用正闰秒更新了27次，最近一次更新是在2016年12月31日。目前，UTC与国际原子时（TAI）的时差为37秒。

闰秒对北斗系统的影响

闰秒会影响北斗用户，这些用户采用BDT而不是UTC作为他们的时间基准，无论是用于时间同步、确定轨道测量、数据处理还是其他目的。

虽然空间系统负责接收和转发闰秒参数，但它们自己的系统不受闰秒的影响。

卫星导航系统为电力、通信、金融等关键基础设施提供授时服务。考虑到这些设施对时间连续性的迫切需求，频繁进行闰秒处理将对其安全运行产生不利影响。

今天的地面系统处理闰秒，并通过NAV消息向其用户广播。然而，生成和插入这样的参数会造成负担，并增加操作系统中的计算风险。

BDS接收机接收到卫星信号后的输出时间为UTC时间。这意味着接收机必须考虑闰秒校正参数并校正时间差。

如果闰秒被取消，BDT和UTC之间的时间偏移（或整数秒）将在系统中预设为固定常数。这将简化系统操作和应用，提高系统稳定性，更有利于多个全球卫星导航系统的兼容性和互操作性。

“连续、稳定、准确的授时服务是国民经济和社会发展的基本要求。”

Yuting Lin, Yuanxi Yang
and Bijiao Sun

“虽然空间系统负责接收和转发闰秒参数，但它们自己的系统不受闰秒的影响。”

UTC改革提案

实施此类调整所产生的影响和风险致使要求UTC进行改革和取消闰秒的呼声越来越高。“协调世界时的未来”这一议题早在1999年就已提交国际电信联盟（国际电联）讨论。

当时，中国驻国际电联代表建议深入研究这一问题，待利弊明晰后再作决定。随后，相关国家和组织在2015年的世界无线电通信大会上继续讨论闰秒问题，并决定在2023年之前不对UTC进行更改。

而此时此刻，科技的进步使得UTC改革迫在眉睫。

因此，必须考虑到三个关键点：

1. 未来的UTC应该更加连续、稳定和准确。作为不断发展的经济体和社会的通用时间标准，它应更好地满足用户的需要并适应科学技术的不断发展。
2. 需要一个新的秒长，目的是减少UTC定义的原子秒长和地球自转不均匀造成的物理秒长之间的差异。果真如此，就将不再需要10 000年闰秒。当然，在新的秒长生效之前，应该给用户足够的时间来全面评估和升级他们现有的系统和软件，以避免可能产生的操作风险。
3. UTC与世界时1（或UT 1，基于地球自转）的联系应以某种方式继续保持。UT1仍然在某些领域和行业中广泛应用，例如，天文学、大地测量学和太空探索，不一而足。因此，还必须考虑和解决这些用户的需求。



科技的进步使得UTC改革迫在眉睫。”

对天文学的实际影响

国际天文联盟时间和频率咨询委员会及
(BIPM) 代表Dennis McCarthy

UTC定义如有任何变更，使用当前的协调世界时（UTC）定义来访问UT1（基于地球自转的世界时）的天文应用就会受到影响。

地球在天体参考系统中的旋转角度由角度UT1加以描述。UTC的当前定义确保UT1和UTC之间的差异（即， $UT1-UTC$ ）保持在0.9秒以下，这使得那些不需要高精度的应用可以通过UTC轻松访问UT1。

如果重新定义UTC，当前使用UTC作为UT1的低精度表示的应用可能会被迫改变其策略，更新其基本软件，并让其用户了解这些变化。UTC定义的任何变化也可能引起天文数据的提供方和用户的关切。



“UTC定义如有任何变更，使用当前的UTC定义来访问UT1（基于地球自转的世界时）的天文应用就会受到影响。”

Dennis McCarthy

这些应用包括：

- 指向精确方向的地面望远镜、天线和其他仪器；
- 采用当前UTC定义的天文软件和应用；
- 采用当前UTC定义的历书和网站中的天文数据；以及
- 提供观测或预测值及参数，以描述地球相对于天文参考系统的方位。

地面望远镜、天线和仪器的指向

需要更高精度UT1的天文指向应用现在从互联网、全球定位系统（GPS）或北斗获得UT1-UTC的当前和预测估计值，以满足其需求。

然而，当前的UTC的定义不允许UT1-UTC值相差超过十分之九秒。如果这种情况发生变化，许多现有的软件可能就必须进行修改，以容许UT1-UTC有更多数位。

即便如此，如果望远镜对UT1的当前操作需求用当前的UTC精度就能满足，那么同样的精度需求在UT1-UTC的 ± 1 秒内可能就会得到满足，在这种情况下，软件调整可能是最小的。

这些问题有望在UT1-UTC新定义的实施过程中通过充足的准备时间得到解决。

天文软件和应用

同样，假设UTC基本上等同于UT1的任何现有软件和应用可能需要修改，从而进行校正以纳入UT1-UTC的值。来自互联网以及GPS或北斗的UT1-UTC的当前和预测近似值预计将满足这一需求，但其软件和程序可能需要修改。

同样，这些问题可以用充足的前置时间予以解决。



假设UTC基本上等同于UT1的任何现有软件和应用可能需要修改。”



历书和网站中的天文数据

星历表（行星、彗星或卫星位置的预测表）和天文现象预测，皆用不受地球自转影响的连续时标进行计算。因此，这些计算将不受UTC定义的任何变化的影响。然而，所得到的信息可能依赖于UTC作为参考时间。

UTC的调整是不可预测的，并且仅在实施前几个月才宣布。未来较长时间跨度的天文星历表可能会由于UTC的意外调整而出错。

因此，以UTC表示的星历表将受益于取消助长UT1-UTC中的预测误差的闰秒调整。事实上，发生这种错误的可能性将被消除。

提供UT1-UTC的观测值和预测值

国际地球自转和参考服务（[IERS](#)）由国际天文联盟（[IAU](#)）和国际大地测量学和地球物理学联盟（[IUGG](#)）建立，负责提供UT1-UTC的观测值和预测值。由此，它负责宣布UTC的1秒调整，即“闰秒”。

拟议的UTC定义变化可能允许UT1和UTC之间的时间差大于0.9秒。IERS的职责——目前主要是宣布闰秒，届时将发生变化。然而，拟议的UTC重新定义可能会增加IERS活动的重要性，重新侧重提供UT1-UTC数据，甚至可能是实时提供。

总之，UTC的重新定义必然会对天文学工作产生影响。但是，充足的前置时间将使天文学界能够适应这种影响，而不会中断当前的程序。



拟议的UTC定义变化可能允许UT1和UTC之间的时间差大于0.9秒。”



Adobe Stock



时间分发：历史视角

巴黎天文台 (SYRTE) 与 IERS 地球定向
中心天文学家 Christian Bizouard

根据地球自转分发时间，由参考子午线的平均太阳时 (t) 确定，是一种古老的做法，随着技术及其应用的进步而不断发展。

早在18世纪，时间的分发通过机械钟得以实现，使远距离的移动计时成为可能，特别是在海上实现计时。这便于计算本初子午线相对于格林威治恒星时 (GST) 的旋转。于是，天体在地方子午线上的赤经 (α) 就可以确定地方子午线的经度 [$\alpha - \text{GST}(t)$]，从而使导航和地图更加精确。

在19世纪，时间分发对于铁路时刻表至关重要。由于国际商业和通讯不断发展，1884年采用了格林威治平均太阳时作为世界时 (UT)。然而，人造时钟还不够稳定，无法与地球自转时间同步，必须每隔几天通过天文观测将它们调整到UT。

“早在18世纪，时间的分发通过机械钟得以实现。”

Christian Bizouard

在20世纪初，世界各地的不同无线电服务开始在与UT相关的当地时区进行广播。1912年，巴黎天文台的国际时间局（BIH – Bureau international de l’heure）开始收集数据，以维持UT。

世界时的不规律性

石英钟的发明在20世纪30年代改变了游戏规则，揭示了UT的不规律性，季节性变化约为20毫秒（ms）。行星星历表的比较证实，UT的震荡在几十年内还会进一步增加，达到5秒。

根据古代的日食记录，从长期来看，一天的长度以每日历年1.8毫秒（ms/cy）的速度增加，致使在很长一段时间内记录的UT呈抛物线下降。

到了20世纪50年代，石英振荡器可以与原子谐振器相耦合，以增强计时稳定性。

由此产生的地球自转不稳定的证据致使传统天文时间（UT1）与原子钟确定的更稳定的UT之间出现差异。国际原子时（TAI）于1958年被用于科学目的。13年后，TAI秒成为所有人类活动广泛接受的时间标准。

根据UT1对原子时进行校准

1972年，协调世界时（UTC）成为广泛接受的国际计时基础。UTC和TAI一样稳定，只是有时会偏移一秒以合天文现实，或者保持在UT1的0.9秒之内。

相比之下，自1972年以来，未经调整的TAI已经比UT1快约27秒。

因此，UTC在原子计时的稳定性和地球昼夜的实际情况之间保持着一种持续的折衷。

1987年，BIH的天文活动成为国际地球自转服务（IERS）的一部分，现在是国际地球自转和参考系服务。

引入UTC 1秒偏移的决定需要对照UTC对UT1进行天文监测。现在IERS地球定向中心每六个月（1月1日和7月1日）发布一次公告C，宣布是否在6月30日或12月31日将闰秒添加到UTC。UTC在1972年至2017年期间调整了27闰秒，这种情况的发生与长期的数十年日长变化一样不可预测。



石英钟的发明在20世纪30年代改变了游戏规则。”

闰秒

在过去50年里，UTC增加了27闰秒。

20世纪90年代发生了什么变化？

直到20世纪90年代，天文导航的指向需要都是通过UTC的无线电广播来满足，偶尔还会进行UT1-UTC校正，将其控制在0.1秒内，相当于45米赤道弧的精度。直到今天，巴黎天文台会在必要时在IERS公报D上发布UT1-UTC更新。

但是，20世纪90年代全球卫星导航系统（GNSS）的出现使以前的时间精度过时了。对于1米的实时定位，必须在至少2毫秒内知晓UT1。

GNSS和其他天文大地测量技术是以甚长基线干涉测量法（VLBI）确定的UT1-UTC值为基础的。根据IERS公报A的记录，其日常运行值达到约30微秒（ μs ）的精度，最终值在20-30天后在IERS C 04系列公报B中发布，精度为7微秒（ μs ）。

取消闰秒

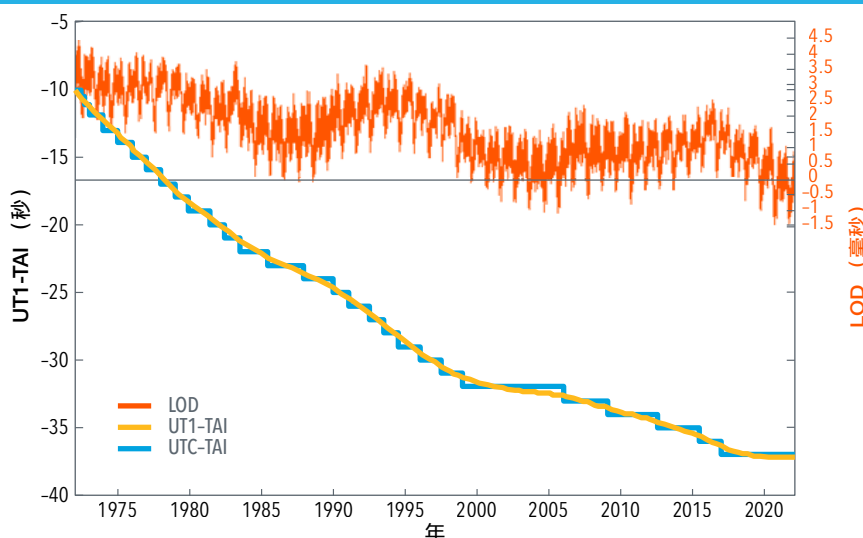
在过去的20年里，UT1与UTC的紧密同步在很大程度上已经变得毫无意义，自2000年以来的诸多讨论都旨在取消闰秒制。

直到21世纪20年代，一天的长度超过86 400秒TAI（见图），所以我们的一天变得越来越短，UT1比UTC平均稍快1秒，闰秒时间表变得越来越难以预测。



我们的一天变得越来越短，UT1比UTC平均稍快1秒，闰秒时间表变得越来越难以预测。”

自1972年以来UT1-TAI和UTC-TAI的差异



LOD = 相对于86 400秒TAI的日长度偏移

当LOD为正时，UT1-TAI减少。当LOD为负时，UT1-TAI增加。

资料来源：Christian Bizouard，巴黎天文台

太平洋西北地区国家实验室电力基础设施运营中心（EIOC）为培训和先进技术测试提供了一个逼真的控制中心环境。



电网同步

太平洋西北地区国家实验室（PNNL）
首席电气工程师Jeff Dagle

运行现代互联电力系统需要极高的精度。多个实体必须始终保持密切协调，管理彼此同步的无数发电机和其他组件。

系统操作员对时间进行跟踪，并在各种高级应用中使用协调世界时（UTC）。即使如此，测量和分配时间的错误也不一定会导致电力系统故障。电网可以在没有公共定时参考的情况下运行。

然而，依赖准确和精确时间的高级应用程序可能会中断，从而引发可靠性问题。本文介绍了如何在电力系统运行中使用精确时间，特别强调了UTC的作用。

“近几十年来，全球卫星导航系统提供的廉价且广泛应用的精确时间使得能够进行先进的测量。”

Jeff Dagle

控制中心应用

通常，控制中心使用当地的主要时区。虽然UTC有时用于自动化数据记录，但很少用于人与人之间的通信，这与跨多个时区的其他实时行业（例如，空中交通管制）不同。因此，在多个组织之间交换信息时，指定时区非常重要。准确的时间对于记录事件和协调行动必不可少。对于需要人工操作的应用，显示器和其他自动化系统可以精确到秒。

发电机调度

无论是发电供应还是客户需求的变化，都会导致系统加速或减速，测量单位是十分之一或百分之一赫兹（Hz）。发电再调度是一个连续的过程，虽然精确测量频率是系统正确运行所必需的，但它不需要参考时间。

平衡发电和负载，始终保持系统频率——此处显示的是60 赫兹电网。



资料来源：PNNL

事件顺序记录

当发生大规模干扰（通常指停电）时，收集事件信息需要足够的精度来分析连锁故障顺序。由于自动保护和控制设备运行迅速，因此必须以毫秒级的精度处理单个事件，以弄清事件顺序并进行根本原因分析。

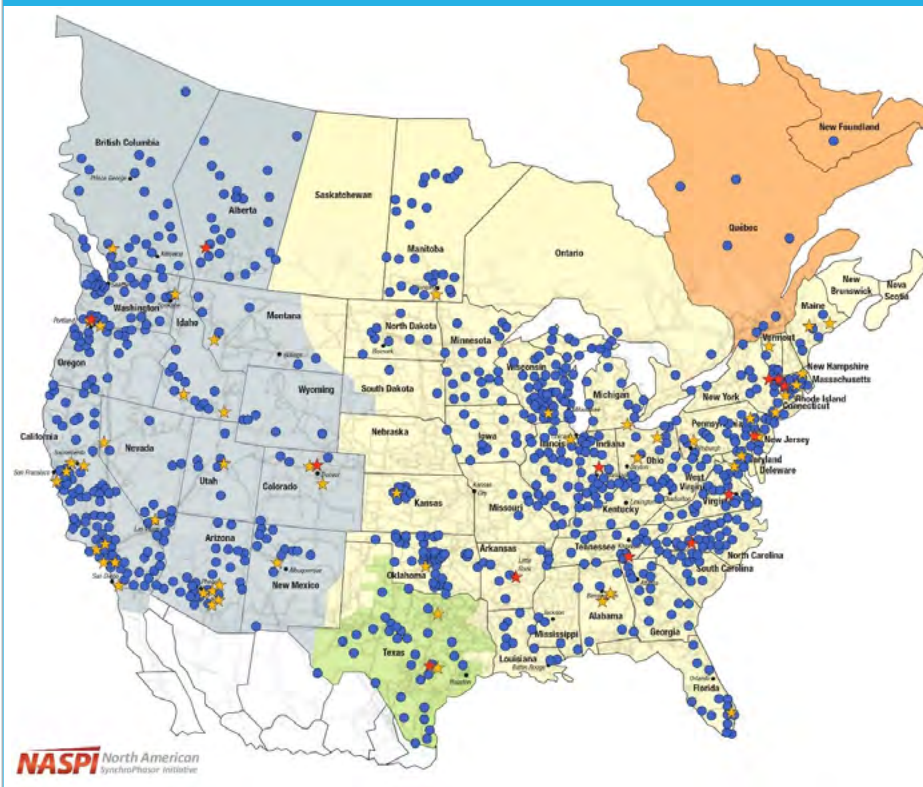
此外，当一个事件跨多个组织时，调查人员会寻找与公共时间参考同步的数据。例如，北美电力可靠性公司（NERC）要求这些记录在UTC的 ± 2 毫秒内。

先进的测量系统

近几十年来，全球卫星导航系统（GNSS）提供的廉价且广泛应用的精确时间使得能够进行先进的测量。需要精度优于10微秒（ μs ）的时间同步源的相量测量单元（PMU）已在全球范围内实施，由于其测量值在不同组织之间共享，因此UTC已被采用作为定时参考。

越来越多的公用事业实体正在为各种离线和实时应用配备先进的测量系统。随着这些系统被部署用于越来越关键的应用，对更加稳健的时间同步的辅助要求变得越来越重要。

北美联网相量测量单元的位置



几乎所有具有时间同步要求的国际工程标准都参考UTC。”

资料日期截至2017年5月

资料来源：北美同步相量计划（NASPI）和PNNL

先进的保护和控制方案

国际电工委员会（IEC）已经规定了变电站自动化的新兴国际标准 IEC 61850，对于特定应用的精度要求可能要求高达1微秒。同样，在该标准中使用UTC是为了便于参考。

其他先进的保护和控制方案依赖先进的时间同步方法。其中的例子包括行波故障定位和保护。在组织之间共享数据或将多个供应商的产品集成到一个公共方案中时，指定UTC最为重要。

闰秒的影响

使用UTC作为时间同步参考远不止电力行业。几乎所有具有时间同步要求的国际工程标准都会参考UTC。在多个组织或位置之间交换数据时，公共时间参考至关重要。

UTC偶尔会加以调整，以保持地球自转同步。在某些情况下，PMU在这种调整期间会遇到闰秒间断，这显然是由于不同供应商的系统之间的实施不一致或由于最终用户的修补不足。

虽然实施闰秒翻转似乎是一个简单的过程，但在事件发生期间总会发现事先没有预料到的问题。

可以通过切换到不同的时间参考来完全避免闰秒，例如切换到国际原子时（TAI）。但是考虑到UTC被广泛接受并得到普及，还没有动力做出这样的改变。

保持使用UTC作为国际标准，同时尽量减少闰秒调整，这可以为电力基础设施行业的发展提供重要价值。

或许改用闰分——从此以后，我们的时钟大约每世纪而不是每两年调整一次，将是一个合理的长期调节办法。



或许改用闰分——从此以后，我们的时钟大约每世纪而不是每两年调整一次，将是一个合理的长期调节办法。”

UTC：过去、现在和未来

国家计量研究所（PTB）高级科学家Andreas Bauch；德国联邦网络管理局（BNetzA）高级频谱顾问Karsten Buckwitz

可靠地获取准确的时间是个长期为人们思考的问题，将来对于世界各地现代基础设施的正常运行也仍然不可或缺。大多数用户、行业和组织以及计时专家都认同需要一个唯一的通用参考时标，度量衡大会（CGPM）于1975年决定并于2018年重申，建议使用协调世界时（UTC）作为国际参考的唯一时标和民用时间的基础。

UTC与其他时标相比具有显著优势：

- 它由国际计量局（BIPM）维护，在CGPM的授权下，许多国家的授时实验室和数百名所涉物理学家及计量学家献策献力。这使其不受任何特定国家、政治权力或商业实体的影响。



Andreas Bauch



Karsten Buckwitz

- 虽然许多国家普遍认为UTC是时间和频率的实用来源，但只有少数国家将UTC加上适当的偏移量指定为法定时间。德国就是一个这样的例子，根据2008年的《单元和时间法》，随着季节的不同，采用UTC加上1个或2个小时的偏移量作为法定时间。
- UTC由每个国家的国家计量机构（NMI）或指定机构（DI）通过实时本地近似值或UTC（k）分发。这些机构在国内负责UTC（k）的实现和分发，在某些情况下负责法定时间的实现和分发。在德国，联邦物理技术研究院（Physikalisch-Technische Bundesanstalt – PTB）通过频率为77.5千赫（kHz）的标准频率广播电台DCF77分发法定时间，但也通过公共电话网和互联网分发法定时间。

国际电联在时间信号分发方面的作用

国际电联无线电通信部门（ITU-R）及其7A工作组在为不间断地向全世界分发授时信号提供技术和规则依据方面发挥着至关重要的作用。在相关国际组织的支持下，新的时间代码的定义和保护标准频率及时间信号服务仍然是7A工作组的重要和持续的任务。

在所有相关方长达十年的讨论中，已达成共识，即不应将其他时标用作授时来源。相反，实现UTC的实践应该适应21世纪的需要。

此前的世界无线电通信大会（WRC）曾尝试更新UTC，2015年的世界无线电通信大会（WRC-15）审议了通过修改UTC或其他方法来实现连续参考时标的可行性。WRC-15的这次讨论是根据上个周期通过第**653**号决议（**WRC-12**）作出的决定进行的。

根据随后的第**655**号决议（**WRC-15**），国际电联无线电通信局主任将向即将举行的WRC-23报告与现行和潜在未来的参考时标的各个方面有关活动的结果，以及无线电通信系统将分发的时间信号的内容和结构。

“大多数用户、行业和组织以及计时专家都认同需要一个唯一的通用参考时标。”

Andreas Bauch 和
Karsten Buckwitz

“实现UTC的实践应该适应21世纪的需要。”

德国观点

一些国家支持7A工作组筹备WRC-23的讨论，例如德国，其筹备小组在2015年至2022年期间就该议题开展了大量工作。德国欢迎最后报告“无线电通信系统发播的时间信号的内容和结构以及现行和潜在在未来的参考时标的各个方面，包括其在无线电通信中的影响和应用”（ITU-R TF.2511），以及给国际电联无线电通信局主任的相关说明。

德国完全支持该报告的结论和建议，这些结论和建议很可能会成为无线电通信局主任向WRC-23报告的基本内容。

更新国际电联的时标决议

包括德国在内的多国政府都呼吁修改第**655**号决议（WRC-15），“时间尺度的定义和时间信号通过无线电通信系统的发播”。这对于最终确定流程和调整UTC以适应未来需要至关重要。

自2012年以来，通过对这一议题的讨论，得出了一些重要结论和经验教训：

- BIPM负责根据2018年举行的第26次CGPM第2号决议来定义和发布参考时标UTC；
- CGPM将根据2022年第27次CGPM第4号决议的规定，确定UT1-UTC数量的时间范围和未来限制；以及
- 定义UTC属性的任务不属于ITU-R内的频谱监管。

继续开展对话，向所有人开放

感兴趣的用户、行业和组织——当然还包括计时专家，将受邀参加7A工作组关于这些问题的重要和必要的对话。这一讨论目前正在进行，依据是国际电联和BIPM之间的谅解备忘录，以及预计会在WRC-23对第**655**号决议进行的更新内容。



感兴趣的用户、行业和组织——当然还包括计时专家，将受邀参加7A工作组关于这些问题的重要和必要的对话。”



计时和天文一致性 的需要

美国梵蒂冈天文台副台长Paul Gabor 牧师

柏拉图的《蒂迈欧篇》第37 d和38 b-d节中，将时间描述为天体的年和日运动：“运动着的永恒影像”。世界各地的无数经典文献一致认为，天文周期是人类社会所感知和生活的时间本身的象征性基础。

日历是这一原则的实际反映。其历史显示出对计时方案的普遍渴望，计时方案象征性地将人类生活与宇宙周期联系在一起，将民用日象征性地与太阳日联系起来。

象征植根于“集体无意识”（用荣格的术语来说）。因此，让我们稍加深入，一窥表象之下，看看计时的变化可能会对社会的象征性基础产生什么影响。



“天文周期是人类社会所感知和生活的时间本身的象征性基础。”

Paul Gabor 牧师

公众理解科学

1985年关于“[公众理解科学](#)”的报告（英国皇家学会，也称为“博德默尔报告”）指出了公众与科学之间存在脱节。为解决这一问题，该报告鼓励（推行）科学传播和教育方案，也鼓励公众参与。

然而，如果说过去28年发生了什么变化，那就是反科学情绪愈发高涨。

教育本身会带来社会变革，这种观点源于还原论人类学，是18世纪启蒙运动的典型代表。秉持“一旦人们理解了理性的理由，那么就会被迫接受专家的观点”，这种态度，就意味着对理性思维开放的唯一途径是同意技术和实用主义的论点。我们的生活有许多非技术层面，而我们的假设是，完全可以对它们进行理性地讨论。

与此同时，共享符号是维系任何人类社会的重要纽带之一。如果“我们”觉得“他们”贬低“我们”的象征，冲突就会随之而来。

我们身为科学家，必须质疑一切。但不幸的是，这使得越来越多的人觉得专家和其他权威人士正在践踏宝贵的传统。

围绕新冠（COVID-19）疫情展开的公开辩论表明，许多人对专家建议持怀疑态度。其中一个原因可能是社会疏离，人们觉得自己并没有参与决策过程，在自己的世界里成为局外人，受到一波又一波快速、不断和不可理解的变化的冲击。

统一标准的敏感性

统一任何一套系统和技术所遵循的标准都是合理和实用的。然而，从另一个角度来看，强制统一是一种与权力、征服和统治联系在一起的象征性姿态。

这就是为什么我们在这方面必须加倍小心。不具有敏感性的变化可能会被视为不尊重，统一标准可能被视为征服。

“日历是人类与宇宙之间的纽带。”

— L. E. Doggett,
“日历”

（载于 P.K. Seidelmann 编，《天文年历的解释性补充》，大学科学图书，1992年，第 575-608 页。）

我们为科学家，必须质疑一切。”

确保天文一致性

天文一致性原则在民用计时中至关重要，其原因远远超出了纯粹的实用范围。虽然像每周7天这样的计时方案可以一直拥有不可思议的永恒气息，但其历史展示了令人惊讶的灵活性——前提是保持基本的象征意义。

象征主义依赖于普遍感知，在与确切事实的关系上有些模糊。因此，只要我们共同将民用时间看作是天文现象的反映，这样的象征意义就可以保持下去。

上一次国际度量衡大会（CGPM 2022）的第4号决议为我们采取这样的做法创造了条件。它不建议将民用计时与地球自转一劳永逸地脱钩。相反，第4号决议提出了一个暂时的妥协方案，包括一个从长远来看保障民用计时方案的天文一致性的流程。

只要我们说明这是暂时性的措施，不“废除”、不“取消”、不“中止”闰秒，便不会令这一特定问题增加公众的不安和疏离感。

毕竟，没人能够假定有一个“终极”解决方案。此外，正如计时的历史告诉我们的那样，偏离天文整体一致性是不会持久的。

现有的妥协

总的来说，1972年的闰秒机制是协调世界时（UTC）定义的基础，它仍然代表了连续时标的实用性和天文一致性的象征意义之间的适当妥协。UTC已经存在了半个世纪，尽管它确实需要不同的时间使用者群体做出一些努力，但50年的实践表明，我们可以处理偶尔出现的1秒中断问题。



50年的实践表明，我们可以处理偶尔出现的1秒中断问题。”



WRC-23倒计时

国际电信联盟（国际电联）成员国2023年11月20日至12月15日，将在阿拉伯联合酋长国迪拜召开下一届世界无线电通信大会（[WRC-23](#)）。

此次会议成果将对塑造全球无线电通信服务未来的技术和监管框架产生重要影响。

此次会议为国际电联成员国提供了更新《[无线电规则](#)》的机会——该规则是管理频谱和相关卫星轨道使用的国际条约。国际电联《无线电规则》使各国能够提供途径获取新技术和服务，如地面无线和卫星系统，同时保障现有服务，确保所有无线电系统可以共存，免受有害干扰。

数字革命为各种新的应用打开了大门，刺激了对世界上有限的无线电频谱的更大需求。在空间服务方面，越来越多的用户也对有限的轨道资源产生了兴趣。

在某些情况下，由于需求增长，必需修改监管框架。

始终适应和前进

《无线电规则》（可追溯至1906年）不断利用技术进步来提高频谱使用效率，并促进频谱接入。

对该规则的修改总是：

- 满足新的和现有服务的需求。
- 确保频谱及时可用以及相应的规定条件。
- 保持了全球统一频带的好处。

搭建舞台

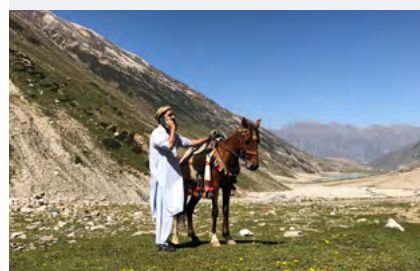
在即将举行的大会上，国际电联的全球成员旨在为引入新技术找到解决方案，为卫星网络提供稳定的监管框架，促进全球无线电通信系统的现代化，并保护现有服务。

3月27日至4月6日在瑞士日内瓦举行最后一次筹备会议（CPM23 -2），其成果将为WRC-23做出这些重大决定奠定基础。

[大会筹备会议报告](#)草案包括国际电联无线电通信部门（ITU-R）在WRC-23之前的重要研究结果，以及解决大会议程上问题的拟议途径。



WRC-23：卫星业务的国际监管
| 扩展阅读



为什么WRC-23对地面服务至关重要
| 扩展阅读



WRC-23：确保高品质的广播服务
| 扩展阅读



WRC-23：科学服务的技术准备
| 扩展阅读

合并频谱提案

区域性筹备工作是国际电联每四年举行一次的更新《无线电规则》会议取得成功的关键因素。

国际电联无线电通信局根据第72号决议（Rev. WRC-19），在两次世界无线电通信大会之间的四年研究期内组织了三次国际电联跨区域讲习班，支持区域性筹备工作和跨区域建立共识。

六个主要的区域性电信组织（RTO）支持全球六个区域的政府、监管机构以及电信服务和设备提供商之间展开讨论，达成共识。

国际电联于2021年底和2022年底举办了两次关于WRC-23筹备工作的跨区域讲习班。在WRC-23之前举行的第三次跨区域讲习班，旨在解决大会上预计会出现的一些最复杂的问题。



《国际电联新闻》杂志：
WRC-23倒计时

[下载副本](#)

区域性电信组织强调的WRC-23讨论的关键议题



阿拉伯国家，阿拉伯国家频谱管理组 | [扩展阅读](#)



非洲，非洲电信联盟 | [扩展阅读](#)



欧洲，欧洲邮电主管部门大会 | [扩展阅读](#)



独立国家联合体，区域通信联合体 | [扩展阅读](#)



美洲，美洲国家电信委员会 | [扩展阅读](#)



亚太，亚太电信组织 | [扩展阅读](#)

与时俱进 // // 随时获悉

注册订阅:

// 世界主要ICT趋势 // ICT 思想领袖的真知灼见 //

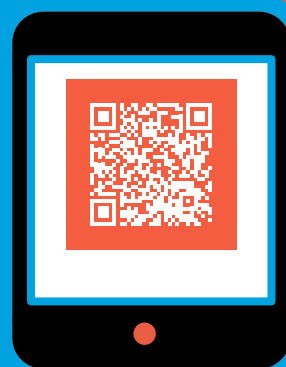
// 新近开展的国际电联重大活动和举措 //



//
每星期二
//



//
定期推出的博客
//



//
每年六期
//



//
收听博客
//



//
接收最新新闻
//

在您喜欢的频道加入
国际电联的在线社区