

时钟与计算机网络中的时钟同步

冯 积 社

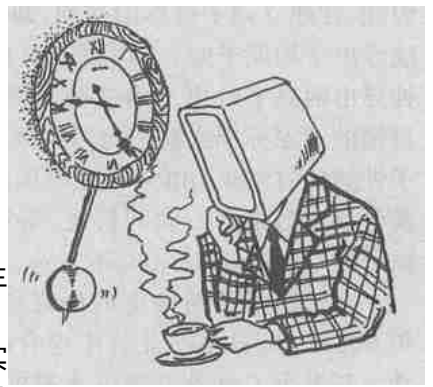
(西安交通大学软件学院 陕西西安 710049)

计算机中的时钟

几乎所有的计算机中都会有专用线路用于计时,人们也常用“时钟”(clock)来称呼它;其实,应该称为“计时器”(timer)。计算机中的计时器是一个经过精密加工的石英晶体,这种石英晶体在有电压的作用时,会以非常好的固定频率发生振荡,相应地对每一个石英晶体赋予两个记录器:一个称为计数器,另一个称为复位计数器。晶体每发生一次振荡计数器就会减少一个单位,当计数器上的数值变为零时,系统就会相应地产生一个中断,并通过复位计数器将计数器的值恢复到初始值,这样就可以设计出每秒产生60次中断(或想要的次数的中断)的频率的“计时器”,并把每一次的中断称为一个时钟脉冲。

当第一次启动计算机系统时,系统通常会要求用户输入日期和时间,然后将其转换成数字信息并保存到计算机的内存(CMOS RAM)中,大多数计算机都有一个专为CMOS RAM提供电源的电池,通常被称为CMOS电池,这样以后每次启动计算机系统时,就再不需要用户输入日期和时间了。在每一个时钟脉冲里,中断服务程序都会向内存中的时间计数器上增加1,这样通过软件控制的时钟会保持计算机中日期和时间与实际的日期和时间的一致性。但细心的电脑用户会发现,时间长了,自己电脑的时钟会发生偏差,常常会同自己当时定时用的手表或钟表的时间不一致,这到底是什么原因造成的呢?要回答这个问题,等读完了下面的内容后就会明白。

对于单独使用的计算机,它的时钟稍有偏差是无关紧要的,因为本机上所有的程序都使用本机的时钟,它们在系统内部保持了一致性。但对于多个计算机组成的大型计算机系统来说,因为每一台计算机均有自己的时钟,情形就发生了变化。虽然石英晶体的振荡频率通常是相当稳定的,但不能保证不同的计算机上的石英晶体的振荡频率完全一致,因为它的频率是受许多因素,如晶体的切割方式、加载的电压、纯度等的影响。实际上通过对大型系统中的多台计算机进行监控发现,它们的每一个晶体的振荡频率都是不一致的,这样反映到由软件控制



的时钟都会产生差异。

在一些如实时系统的计算机

中,准确可靠的时钟是非常重要的,而且还要求计算机的时钟必须与外界的钟表时间一致。这样就产生两个问题:如何使计算机的时钟与外界的钟表保持一致,如何使同一大型计算机系统中所有的计算机的时钟同步。

秒的定义

为了回答上面的问题,我们先介绍“秒”这个国际单位是如何定义的。从17世纪发明了机械钟表以来,时间的度量是采用天文学上的相关概念:把两次连续的太阳升到地平面最高点处之间的时间称为一个太阳日,因为一天有24小时,每一小时有3600秒,一天就有86400秒,这样就定义1/86400的太阳日为一个太阳秒。

在20世纪40年代,当人们确认地球的自转速度不是一个恒定的常数,而是由于受到潮汐和空气等因素的影响,是一个逐渐在变慢的变数。人们通过研究古生物珊瑚的生长特征后认为在30亿年前,一年为400天,这说明一天的时间在逐渐延长,另一方面,虽然一天的时间总的趋势是在延长,但由于受地球内部不规则因素的影响,一天的时间也会偶尔变短。因此为了比较准确的定义一个太阳秒,天文学家们只好通过将一段时期的天数进行计算平均数后再用86400去除,这样就得到了“平均太阳秒”,这种计时系统被称为平均太阳时。

科学家在研究中发现,原子从一种能量状态到另一种能量状态所发射出的电磁波频率异常稳定,据此发明了原子钟,将铯原子(Cs^{133})超精细能级跃迁辐射的9192631770个周期所持续的时间定义为1秒,从1958年1月1日的零时零分零秒开始。但由于世界上每台原子钟建立的原子时标不相同,因为它们的起始点由使用者任意选取,而即使选择了同一起始点,由于各台原子钟的准确度和稳定度存在

差异, 长期累计之后所显示的时刻也会明显不同。为此, 在建立原子时标的初期, 即用多台钟平均的办法导出平均原子时, 平均原子时自然比由单台原子钟导出的原子时更准确一些。国际计量局 BIPM 会员国的国家标准实验室每月都要向总部报送自己原子钟的计时结果, BIPM 根据各国实验室的维持能力及研发实力乘以不同的权重, 平均所得被称为国际原子时(International Atomic Time, 简称为 TAI)。

对于原子钟精确度的研究还在不断进行, 2003 年 6 月 9 日, 日本产业技术综合研究所宣布该所成功地开发出了世界上最高水平的原子钟, 这种原子钟的误差在 2000 万年内还不到 1 秒。这种原子钟将承担监视国际标准时刻精度的任务。已有的原子钟是以铯原子吸收的电磁波频率为基础来决定的, 利用加热的铯原子来测定频率的传统原子钟, 由于具有热量的原子会运动, 测定时就会产生误差。而新开发的原子钟, 是利用激光把铯原子冷却到接近绝对零度, 使其运动缓慢, 从而能够进行精确的测定。

尽管国际原子时 TAI 是非常准确的, 但现在又有新的问题, 86400 个 TAI 秒(一天)比一个太阳日(一天)少 3 毫秒, 由此会引起许多麻烦。为此, 采用原子频率偏调的办法, 到 1972 年 7 月 1 日改用闰秒(leap second)的办法来调整太阳秒和国际原子时的差异。当两个计时系统的时间差异的绝对值在半年或一年之内将超过 1 秒时, 国际地球自转组织(International Earth Rotation Service)便会发布闰秒通告。在 12 月 31 日或 6 月 30 日的最后一分钟做闰秒调整, 增加一秒为正闰秒, 减少一秒为负闰秒。这样就可以使得基于 TAI 的计时系统保持与地球上人们对太阳运动的感觉(本质是地球的自转)与传统生活习惯相一致, 从而避免了生活、工作上的混乱, 这样处理的计时系统称为世界调整时间(简称为 UTC), 这就是现在世界通用的阳历, 在西方国家被称为格里历(Gregorian calendar)。

1 秒对于计算机来说都是非常敏感的, 为了保持时间上与 UTC 的一致与准确, 操作系统就必须要通过专门的软件来接收闰秒的通告而进行闰秒操作。通常用 VB 编写的专用程序来进行电脑时钟与 UTC 的对时。

为了让世界上人们得到 UTC 提供的准确时间, 国际时间标准组织(NIST)通过短波无线台 WWV 在每一个 UTC 秒开始时播放一个短脉冲(无线电波), WWV 自身的误差范围为 ± 1 毫秒, 但由于受到空气

波动的影响, 这种无线电波会发生一定的误差, 最终实际达 ± 10 毫秒。现在国际上有好几个地球卫星也在提供 UTC 服务, 其中 Geostationary Environment Operational Satellite 提供的 UTC 的误差在 ± 0.5 毫秒范围内。为了利用无线电波或卫星提供的 UTC 得到更准确的时间, 就必须考虑信号发射地和接收地之间能影响到信号传送延迟等复杂因素, 这样就涉及到有关的专业知识, 为此, 国际上有专门提供此类服务的商业组织。

计算机网络中时钟的同步

如果有一台计算机上装有 WWV 接收器, 我们就必须提供算法来使快的时钟变慢、慢的时钟变快, 从而使一个大型系统中的时钟保持同步。有关这方面的算法有 Cristian, Drummond and Babaoglu 等。

如果在一个大型系统中有多台计算机上都装有 WWV 或其他提供 UTC 服务的接收器, 那么由于这些接收器接收到的 UTC 本身存在差异, 那么如何让整个系统中的每一台计算机的时钟保持同步呢? 要解决这个问题就需要网络授时系统。网络授时系统的实现方案是建立若干授时网站, 为用户提供通用的授时软件, 并且提供与时间服务器的链接。只要用户电脑定时通过授时软件访问这些时间服务器就能保证时间同步。由于通用的网络时间协议 NTP 的存在, 在网上传递的时间信息具有统一的标准格式, 合格的授时软件应该可以和世界上任何一个授时网站上的时间服务器连接, 并完成时间的传递。网络授时系统的框图见图 1。美国国家标准技术研究院(NIST)从 90 年代初开始, 进行 Internet 网上时间发播服务, 至今已经设置了 7, 8 个时间服务专用网站, 德国 PTB 也开通专用授时网站, 在网上发播标准时

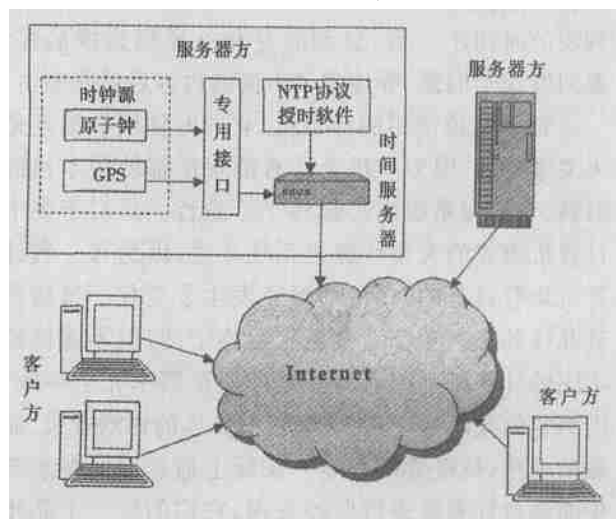


图 1 Internet 授时系统

地球是怎样称量的

韩吉辰

(天津市红桥区地方志办公室 天津 300134)



我们人类居住的地球,是个非常巨大的球体。第一个测量出地球质量的人是谁?他就是英国科学家亨利·卡文迪许(1731~1810)。1798年,他通过巧妙实验,间接测量出地球巨大的质量数值,被人们誉为“第一个称地球的人”。

几乎无法攻克的难题

1731年10月10日,亨利·卡文迪许诞生于英国的一个贵族家庭中,这个家族地位非常显赫,家财豪富。但是他从小却十分喜爱读书,富于幻想,求知欲强。青少年时期打下的牢固基础,对他一生中在科学上取得的成就有很大的作用。

卡文迪许生活的年代,正是自然科学飞速发展的时期,同时也面临着许多“难题”。其中“称出地球质量”就是最著名的一个。当时地球的半径经过测量和计算已经知道约6400千米;地球的表面积通过测量和计算,已经知道是 5.1×10^{14} 米²;地球的体积通过计算也知道为 1.08×10^{21} 米³,都是极其巨大的数字。那么,人们非常想知道:地球的质量是多少呢?

当时很多科学家都试图找到“称地球”的方法。有人提出使用计算方法:现在,地球体积已经知道了,再设法求出它的平均密度,然后利用质量=密度×体积的公式,就可以求出地球质量。这种利用物理学密度公式计算的方法,有一些道理。后来地球大气的质量,就是利用此法测量计算的。大气的密度随高度下降,大气质量的90%集中在离地表15千米高度以内,经过仔细测量计算,可以知道:地球大气的质量约为 5.3×10^{21} 克(约占地球总质量的百万分之一)。

可是这种利用物理学密度公式计算的方法,却

无法计算出地球实体的质量数值。原来地球的物理结构

非常复杂,构成地球各部分的密度不同、差别很大,况且地球中心的密度根本无法知道。所以有“权威”断言:人类永远不会知道地球的质量!

“万有引力定律”带来希望

首先向权威挑战的,是年轻的科学家牛顿。1687年他发现了万有引力定律:“任何两个物体都是互相吸引的,引力大小与这两个物体质量的乘积成正比,与它们中心距离的平方成反比。”用物理公式表示为: $F = G \cdot Mm/r^2$ 。牛顿高兴地发现,利用这个万有引力定律公式可以求出地球质量来!你看:公式中 M 表示地球的质量数值, m 表示地面一个已知物体的质量数值, r 表示它们中心的距离(就是地球半径的数值),万有引力 F 的大小就是物体 m 受到的重力数值。这样可以计算出地球质量 M 的数值啊!

但是细心的读者发现,利用这个“万有引力定律”公式还有一个条件:必须得到“万有引力系数” G 的数值。也就是说,必须在地面直接测量出两个物体之间的引力数值。

牛顿精心设计了几个实验,企图在地面测量两个物体之间的引力,可惜都失败了,经过粗略推算,牛顿发现一般物体之间的引力极其微小,以至根本测不出来。失望之余,已经成为新权威的牛顿,也当众宣布:在地面想利用测量引力,利用这个万有引力定律来计算地球质量的努力,将是徒劳的!

1750年,法国科学家布格尔兴师动众到南美洲

间。目前世界上的授时网站已有100多个。

GPS系统

全球卫星定位系统(GPS)是目前具魅力的网络系统,24颗“Navstar”卫星构成了GPS系统的重要组成部分,卫星每12小时环绕地球一周,其队形能确保地球上的任何一点每时每刻都可与至少4颗卫星

保持无线电联络。第一颗卫星于1978年发射升空,到1993年24颗卫星全部到位。GPS的接收装置必须知道卫星的准确位置,卫星也必须保持可靠且精度极高的时间。在这里,精确度是由每颗卫星携带的4个原子钟来保证的,原子钟在GPS中有着极其重要的地位。