

建立我国卫星定位连续运行站网的若干思考

刘经南¹ 刘 晖²

(1 武汉大学校长办公室, 武汉市珞珈山, 430072)

(2 武汉大学 GPS 工程研究中心, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

摘要: 回顾了全球卫星导航系统(GNSS)卫星定位连续运行站网(CORS)技术的发展历史, 描述了这一技术当前发展的动态和特点, 指出了中国当前发展这一技术中存在的几个问题。在此基础上, 提出了在中国发展这一技术的若干建议和思路及建立区域参考站网、专业应用网和国家参考站网三种网络层次的概念, 阐述了它们的关系, 并建议以此思路来建立中国各层次卫星定位连续运行站网的建设运行规范。

关键词: 卫星定位; 连续运行参考站网; 区域参考站网; 专业应用连续运行网; 国家参考站网

中图法分类号: P228

20 世纪 90 年代初, 在考察 GPS 全球精密定位方法、精度和应用潜力的全球会战基础上, 发展了一种基准站的定位方法和数据处理技术, 其核心思想是在一个多台仪器同步的观测会战中, 固定其中几台仪器, 在会战期间不搬迁测站, 其余若干台仪器可在观测期间流动设站观测。其中基准站卫星跟踪数据可用来改进卫星轨道, 然后用改进后的卫星轨道对其他流动设站进行精密的、静态的网定位, 其定位精度可大大提高, 甚至可满足地壳运动监测的要求。在这一方法的启发下, 国际大地测量协会(IAG)的一些专家联名建议成立国际 GPS 地球动力学服务局(IGS), 作为永久基准站, 长年、连续地提供 GPS 观测数据, 提供事后卫星精密星历。1994 年这一组织的成立大大地推动了 GPS 精密定位技术的发展及其在地球动力学监测、大气环境变化监测方面的应用。目前全球已有 250 余个 IGS 永久基准站, 它们作为主要基础设施之一不仅起着维持地球参考框架的作用, 而且还提供卫星精密星历、卫星精密钟差、IGS 基准站坐标及站运动速率、地球自转参数、全球电离层、对流层参数等多项服务, 以满足全球不同国家、不同机构、不同区域与精密定位和测时有关的业务需求。

在全球 IGS 站网技术的启发下, 许多国家也纷纷建立长年连续跟踪的 GPS 卫星数据的基准站, 以满足本国 GPS 大地测量定位技术的需要、区域

地壳运动监测的需要及区域大气水汽含量快速预报的需要等。我国的不同行业和地区也布设了若干这样的基准站网系统, 以满足某些行业的需求。不同的国家对这种由多个长年连续卫星跟踪站网构成的系统有不同的称呼, 美国称其为连续运行参考站系统(CORS)。本文也沿用这一名称来阐明这一系统近年来的发展动态和技术特点, 并对中国建立这一系统提出了若干建议和思考。

1 当前不同国家和地区 CORS 的服务内容和特点

1.1 IGS 的组织、服务与产品

IGS 的基准站遍布世界各国, 其 250 个测站隶属于不同国家的 100 多个科研机构、大学或政府组织。在 IAG 的协调下, 成立了由各国设站机构和政府部门组成的协调委员会, 其中又组成了董事局。董事局是 IGS 的授权管理机构, 管理若干数据中心和分析中心, 负责提供服务与产品发布, 并负责组织国际合作研究与攻关项目。其服务内容与产品包括以下方面。

1) GPS 卫星星历服务, 产品包括预报、快速和最终三类精密星历, 精度分别是 25cm、5cm 和优于 5cm; 延时分别是 0h、17h 和 13d。GLONASS 卫星只提供最终星历, 精度大约为 30cm。

2) GPS 卫星和 CORS 测站接收机钟差服务, 产品包括预报、快速和最终三类钟差, 精度分别是 5ns、0.2ns 和 0.1ns; 延时分别是 0h、17h 和 13d。

3) CORS 测站坐标和站运动速率服务, 产品包括测站水平、垂直位置和水平、垂直运动速率, 其水平和垂直位置精度分别是 3mm 和 6mm, 相应的年运动速率精度是 2mm/a 和 3mm/a。

4) 地球自转参数服务, 产品包括快速和最终极移、日长变化等。

5) 大气参数服务, 产品包括最终对流层参数, 精度为天顶延迟 4mm, 发布延时为 4 周。进一步还将提供电离层格网电子密度分布参数。

1.2 美国 CORS 的组织、服务与产品

美国的 CORS 是由美国商业部所属大气海洋局下的大地测量局 (NGS) 组织的一个协调合作运行网络, 目前由 368 个基准站组成。这些测站分属 60 多个组织机构, 主要有联邦政府部门 (如美国海岸警备队、大气海洋局、宇航局、工程兵团等)、州政府部门 (大多为各州的运输局或测绘局)、科研机构 (包括大学和研究所)、地方政府 (主要是某些城市控制网的连续运行站)、私人机构和商业团体 (包括公司和协会团体), 以及少量外国机构。

美国的 CORS 分为国家级 CORS 站和合作级 CORS 站, 后者的技术要求和连续运行的时间略为放宽。如国家级 CORS 站要求 360 天 24 小时连续观测, 合作级 CORS 站只要求每天 8 小时连续观测, 每周连续观测 5 天。凡愿意免费提供上述工作和数据并满足一定技术标准的 GPS 连续基准站都可申请加入合作级 CORS 或国家级 CORS。

美国的 CORS 主要目标是维持美国的国家空间参考框架 (NSRS), 它目前的服务包括测站坐标和观测数据的下载和发布、用户在线卫星定位数据的接收和精密定位计算及回复。用户目前可通过 CORS 连接到美国海岸警备队或工程兵团, 获取实时差分服务, 但 CORS 本身目前不提供实时差分和实时精密动态定位服务。

1.3 欧洲的永久性连续运行网的组织与服务

欧洲的永久性连续运行网 (EPN, EUREF permanent network) 是在欧洲各国和某些组织 (学术团体、大学) 建立的永久性卫星基准站网的基础上, 由 IAG 的欧洲分委员会 (EUREF) 负责建立的一个合作性地区连续运行站网系统, 并由 EUREF 中的技术工作组 (TWG) 负责管理这个连续运行网, 包含一个区域数据中心和若干地区数据

中心。目前有 122 个永久基准站, 其中 42 个属 IGS 基准站, 其工作流程是各国或各组织的若干永久性基准站构成一个子网, 各子网有自己的运行中心, 若干运行中心又构成一个地区数据中心, 各地区数据中心的数据汇总到欧洲区域中心, 再由区域中心将产品数据反馈至 IGS 数据中心、地区数据中心以及各类用户。

EPN 目前的主要任务是维持欧洲区域空间参考框架, 主要服务是每周提供一个全网测站坐标解算结果及对其相关精度存在问题的分析, 同时提供一个周解的时间序列分析。此外, 还提供各测站的原始观测值, 以满足欧洲地区不同组织的精密定位要求。

欧洲的德国、英国、瑞士等国家的 CORS 除了作为国家的空间参考框架外, 同时还基于一些差分技术和 RTK 技术, 提供事后精密定位服务和实时精密定位服务。

2 基于 CORS 发展起来的几项最新 GNSS 卫星定位技术

GNSS (当前主要是基于 GPS) 卫星定位连续运行站网的发展和建设, 提供大量的内容丰富的精密数据资源。利用这些数据, 人们大大地推进了几项新的 GPS 定位、定时和地球动力学服务技术的发展和运用。主要有以下内容。

1) 广域差分技术 (WADGPS)

通过卫星或其他实时、近实时远程通讯技术, 流动 GNSS 卫星定位用户可从 CORS 的控制中心或数据分析中心获取预报的精密星历和卫星钟差以及电离层延迟参数。用户用一台低价位单频 GNSS 接收机或者双频接收机的粗码伪距或精码伪距, 采用常规的伪距观测值单点定位技术, 即可在一个广阔的区域乃至全球任意位置进行单机单历元定位, 可以实现亚 m 级到 3m 的定位精度。这一技术将满足城市交通导航、物流管理和中小比例尺地理系统更新、遥感信息处理的要求。

2) 精密单点定位技术 (PPP)

类似于 WADGPS 技术, 通过实时或准实时通讯手段, 用户从 CORS 的控制中心或数据分析中心获取预报的或事后的精密星历和精密卫星钟差, 利用单台双频 GNSS 卫星接收机的双频伪距观测值和双频相位观测值, 采用简单的单点定位观测方程, 可以同时解算出用户接收机的三维位置和接收机钟差, 在全球任意地点实现单站的、实时的或事后的精密动态或静态定位, 其实时动态

定位精度可达 0.3 ~ 1.5m, 事后动态定位精度可达 0.1 ~ 0.5m, 实时的测时精度可达 5 ~ 10ns, 事后的测时精度可达 1 ~ 5ns, 事后静态定位精度可达 1 ~ 3cm, 可用在任意地区的精密大地控制测量、大中比例尺地图修测与数据更新、精密的时间传递和同步。

3) 多基准站(网络)实时动态定位技术(Network-RTK)

常规 RTK 技术的特点是, 一个基准站配备多个流动站, 以实现实时动态双频双差相位差分定位技术, 但是这一技术的定位精度严重受到流动站至基准站距离的限制。若要实现 cm 级的实时动态定位精度, 流动站至基准站的距离很难超过 15 ~ 20km, 而且其定位的可靠性也受到多种环境因素的制约。这些弱点使得它不能作为一种地理信息化的基础设施而一直被作为单纯的技术使用。针对单基准站 RTK 技术的弱点, 近几年来发展了多基准站的 RTK 技术。即多个基准站构成一个网络, 同时确定这个网络所覆盖区域实时的电离层改正、对流层改正和区域内每个待定点的相位观测值误差改正, 通过实时的数据传输将这些改正数据传给动态用户接收机, 动态用户利用双频双差相位方法实现实时的 cm 级精度动态定位。为满足实时 cm 级的定位精度, 目前基准站之间的距离还不能太大, 为保证工程的可靠性, 一般要求在 80km 以内, 而试验性的站间距离可达 150km 左右。这种多基准站实时动态定位技术又称网络 RTK。显然, 这种多基准站的作用完全可由 CORS 系统的基准站来实现。网络 RTK 明显地改善了常规单基准站 RTK 技术的弱点, 在多个基准站覆盖的区域内及其周边, 流动站定位精度与其离单个基准站的距离相关性不大。区域定位精度均匀, 定位的可靠性、可用性大大加强。由于网络 RTK 能够实现一个区域内的高精度实时动态定位和导航, 同时基准站本身的坐标构成区域性高精度参考坐标框架, 因此, 这一方法可以作为区域地理空间信息的基础设施。

4) 精密单站或多站时间同步技术

由于 CORS 系统都能计算出以 GPS 时间为时间尺度基准、以 CORS 系统多个基准站或单个基准站为相对时间参考起算基准的精密相对卫星钟差, 因此, 利用单台或多台卫星定位接收机, 无论是采用单机单星时间传递算法还是多机多星时间同步算法, 都可以获得 1ns 级或 10ns 级的时间传递或时间同步精度。这一技术可以广泛运用于通信网络的时间同步、网络的延时监测分析、电力

网络的相位同步、线缆或光缆通信和电力网络的故障分析等。

3 中国发展 CORS 系统的思考

3.1 目前中国建设 CORS 存在的问题

笔者曾在文献[4]中阐述了中国发展 CORS 系统的必要性和紧迫性。近几年来, 随着国家信息化程度的提高, 计算机网络和通信技术的飞速发展, 电子政务、电子商务、数字城市、数字省区和数字地球的工程化和现实化, 以及多种实时地理空间数据采集的需要, 这种紧迫性和必要性越来越突出。几年来, 国内不同行业为满足不同目的也陆续建立了一些专业性的卫星定位连续运行网络, 其中著名的有中国地震局牵头建立的中国地壳运动监测网络, 交通部建立的沿海差分网系统, 信息产业部建立的电离层监测网络, 国家测绘局建立的连续运行参考框架网络, 部队建立的连续跟踪站网络, 上海地区以监测气象参数为主的观测网络和深圳市城市连续运行参考站网等。

目前, 为满足多种国民经济建设信息化的需要, 一大批城市、省区和行业正在筹划建立这样的连续运行网络系统。这些根据不同目的建设的连续运行网站系统都是十分必要的, 将对我国经济建设和科技进步起到重要的作用。但另一方面, 也存在一系列新的值得探索的问题。首先, 网站建设的行业特性明显, 目标的单一化带来了网站技术服务性能的单一化, 极不利于系统的技术集成和潜力的发挥。其次, 不同单位行业建设的网站系统均独立运行, 尚未建立统一的协调机制, 数据资源共享的问题不能解决, 阻碍了系统功能的最大利用。此外, 建设运行的技术标准化也是一个亟需统一认识和要解决的问题。我们的技术标准应既是满足行业需求的, 又是可以升级为满足区域和国家需求的, 同时还是可以与国际标准接轨的。

3.2 中国发展 CORS 的几种模式

纵观这一领域的世界发展动态, 卫星定位连续运行站网拟建有两种不同的模式: ①国土面积大的国家, 像美国、加拿大等, 先有行业的、区域的、功能目标较为单一的连续运行站网, 再有国家意义上的连续跟踪站网。如美国先有满足航空的 FAA、WASS 监测网, 满足军队建设的工程兵团网, 满足河流海岸防护的海岸警备网, 还有科研院所满足地壳运动监测的区域网等, 然后才有在此基础上建设的全国 CORS 网。②国土面积小的国

家,以英、德、荷兰、芬兰和日本等国为例,都是由国家负责测量或国土地理管理的行政部门或行业协会负责建设统一的网络。中国实际上是一个国土面积相当大的国家,从目前的建网趋势来说,有满足行业需要和区域建设需要的网络,但还没有代表国家这一空间信息基础设施的网络。因此,中国国家级的连续运行参考站网的建设可以参照美国、加拿大的模式,在区域和部门的连续运行网基础上构建相应的网站系统。依据建设管理形式、任务要求和应用范围,连续运行站网可分为区域连续运行参考站网、专业应用连续运行站网和国家连续运行参考站网3个层次。

1) 区域参考站网

区域参考站网是由省、区、市、地区政府组织协调建立的连续运行参考站网,主要用于构成高精度连续运行的区域坐标参考框架,提供不同等级精度的位置服务和相关信息服务,以满足区域经济建设和人民生活生活信息化的需求。根据这一特点,它应该提供的服务有如下几点。①位置服务,包括实时 cm 级、dm 级和 m 级精度位置服务;快速 cm 级、dm 级和 m 级精度位置服务;事后 mm 级、cm 级、dm 级精度位置服务。②卫星轨道服务,根据区域网的目的和能力,这一功能是可选的。③时间服务功能也是可选的;如果选择,应满足 10ns 级精度的服务。④气象服务,对于区域参考站网也是可选的,但是随着人们对气象服务要求的提高,这些服务应该有越来越重要的作用。⑤源数据服务即基准站提供的与卫星跟踪数据相关的站气象数据等。

为提供实时 cm 级以上精度的定位服务,网络 RTK 将是区域参考站网主要采用的核心技术。

2) 专业应用连续运行网站

专业应用连续运行网站是由测绘、地震、气象、交通、海洋、水利等部门和机构根据专业需求建立的连续运行站网,主要用于专业信息和参数的服务,以满足行业 and 部门工程建设和科学研究的需要,因此,上述区域网提供的 5 种服务应全都是可选的。专业应用连续运行网络的服务有实时的,如交通差分服务、时间同步服务、气象服务等,也有事后的,如坐标框架服务、地壳运动参数服务等。

3) 国家连续运行参考站网

显然,区域参考站网为地区建设和社会需求服务,专业应用连续运行网为行业 and 部门服务,但是在国家层面上,必须建立基于全球卫星导航系统的现代参考框架网,作为国家的信息基础设施,

服务于国家基础地理空间信息获取和更新的需要。因此,国家连续运行参考站网应该是用于维持和更新国家地心坐标参考框架的参考站网,它是国家经济建设、国防建设的基础设施,用于开展全国范围内的高精度定位、导航工程建设和科学研究服务。

国家网应完全包括地面位置、卫星轨道、时间传递与同步、气象参数、源数据 5 种服务。原则上,这 5 种服务可分为实时、快速和事后 3 种服务类型,其中 cm 级精度的实时服务基于目前的技术还有困难,只能作为待定项。随着高速宽带网建设和实时大容量通信技术的成熟,同时随着网络 RTK 技术中基准站之间可容许距离的增加,或同时随着 PPP 技术的进一步完善,特别是精密卫星钟差和预报精密星历精度的进一步提高,在国家范围内实现实时 cm 级精度定位服务也是可能的,而且这一任务也是需要解决的问题。

3.3 国家连续运行参考网与区域参考网和专业应用网之间的关系

1) 国家网显然应该是区域参考网和专业应用网的坐标参考框架和基准。这样,无论何种应用,全国的数据在坐标系统上才是一致的、协调的、可以共享的。

2) 国家连续运行参考框架网的服务整体上是更为综合的、多功能的、大范围的、高精度的,而区域网的服务是局部的、高精度的,服务类型是根据地区发展需求可选的、可升级的,专业应用网的服务可以是综合的,也可能是单一的。

3) 在专业应用网和区域参考站网建设的基础上,国家参考站网无须单独投资,作为一项单独的国家工程来加以建设,完全可以在制订出国家参考站网技术标准、服务类型、产品类型的基础上,由不同的专业应用网和区域参考站网升级改造而成,即这些站网既是区域的连续运行站或专业的连续运行站,又是国家的连续运行参考站。也就是说,区域参考站网和专业应用网中的某些测站,只要满足国家参考站网的技术要求,就可以申请并通过某种权威机构的认证,成为国家连续运行参考站。某一个专业或区域的数据分析中心通过授权与认证可作为国家连续运行参考站网的数据中心,而这一数据中心负责发布、维持国家的坐标参考框架及其相关的数据,代表国家负责与国际 IGS 和 IERS 等机构协调各种国际和区域合作事务。

因此,国家连续运行参考站网是一个合作性质的、代表国家参考框架的网络。要构建这样一

个合作机构和可以认证国家参考站网的组织, 我们认为必须依照测绘法, 由国务院测绘行政主管部门负责牵头, 并会同国务院其他部门、军队测绘主管部门构筑这一合作组织, 合作组织成员由所有准备申请和组成国家连续运行参考站网的单位组成协会, 在协会中再组成常务理事会或董事会, 董事会授权认证机构。认证机构根据已经和准备通过的国家相关标准予以认证, 相关的国家标准同样由牵头单位会同有关部门和军队进行协商确认, 并报国家负责技术监督的主管部门批准实行。由于国家连续运行参考站网并没有利用国家专项经费建设, 所以合作机构的日常运转经费可由牵头单位负责承担。合作机构和其常设董事会的负责人可由各成员中有一定学术地位和项目组织能力的知名专家轮流担任。合作机构和其董事会的职责主要是: 确定国家连续运行参考站网的规划; 确定不同时期的服务内容、产品类型及其发布方式; 负责与国际 IGS 和其他国家同类网之间的合作; 拟定和组织为改进和更新国家连续运行参考站网的攻关项目。

致谢: 参加本文讨论的还有张燕平、张江齐、武军邴、姜卫平等同志, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- 1 刘经南. 连续运行参考框架网络——21 世纪国家空间信息重要基础设施. 见: 大地测量学论文集. 北京: 测

- 绘出版社, 1999
- 2 刘经南, 陈俊勇, 张燕平, 等. 广域差分 GPS 原理和方法. 北京: 测绘出版社, 1999
- 3 Gotfried em. Geodata and Information System — a German Perspective. Proc. United Nations Cartographic Conference for the Americas, 2001. 3~4
- 4 Silvestrin P. Earth Observation Application of Navigation Satellites. EOA Bulletin 102, 2000. 102~104
- 5 Ministry of Agriculture, Fisheries and Food Flood and Coastal Defence with Emergencies Division, MAFF Annual Report 1998—1999, London, 1998-1999
- 6 Martin S. Geodetic Real-time Differential Correction Network-Data Communication, Service Installation and Results. Proc. ION GPS-99, 1999
- 7 Johnsen K P. Water Vapor Over Europe Obtained from Remote Sensors and Compared with a Hydrostatic NWP Model. Physics and Chemistry of the Earth, 2002, 27, 371~375
- 8 Dodson A H. National Network of Continuously Operating GPS Receivers for the UK, Geodesy Beyond the Year 2000; The Challenges of the First Decade. International Association of Geodesy Symposia, 2000, 121, 367~372

第一作者简介: 刘经南, 教授, 博士生导师, 中国工程院院士。现主要从事空间大地测量和地球动力学研究。代表成果: 国家高精度 GPS 数据处理理论与方案; GPS 卫星定位处理综合软件; WADGPS 数据处理软件; 青藏高原地壳运动与形变的 GPS 研究, 等。
E-mail: jnliu@whu.edu.cn

Thought on Establishing a Continuous Operational Reference Station Network in China

LIU Jingnan¹ LIU Hui²

(1 Presidential Secretariate, Wuhan University, Luojia Hill Wuhan, China, 430072)

(2 Research Center of GPS, Wuhan University, 129 Luoyu Road Wuhan, China 430079)

Abstract: This paper reviews the development of CORS (continuous operational reference station) technique of GNSS (global navigation satellite system), describes the developing trend and characteristics of this technique, and points out several problems that currently exists in the development of this technique in China.

Key words: satellite positioning; continuous operational reference station; regional reference station network; special applications network; national reference station network

About the first author: LIU Jingnan, professor, Ph.D supervisor, member of the Chinese Academy of Engineering. His major research orientations include space geodesy and geodynamics. His typical achievements are the theory and scheme of high precision GPS data processing in China; the comprehensive software of GPS satellite positioning processing; the software of WADGPS data processing; the crustal movement and deformation of Qinghai-Tibet Plateau using GPS, etc.
E-mail: jnliu@whu.edu.cn