

News & Highlights

欢迎了解多星座全球导航卫星系统

Peter Weiss

Senior Technology Writer

随着2020年6月一颗卫星的成功发射（图1），中国完成了过去20年一直开展的全球导航卫星系统（GNSS），即北斗卫星导航系统（以下简称“北斗”系统）的研制[1]。在“北斗”系统全面运行期间，欧盟的全球导航卫星系统——“伽利略”系统在过去10年快速发展。到2020年年底，“伽利略”系统已有22颗运行卫星（图2）。与此同时，俄罗斯的全球导航卫星系统——“格洛纳斯”系统进行了升级。“格洛纳斯”系统在2002年



图1. 经过过去20多年的大规模扩张，全球导航卫星系统星座规模增加了大约4倍，其导航定位能力和服务也得到了改善。卫星数量和性能的飞跃，大多要归功于中国和欧盟自21世纪初以来数百亿美元的投资和伟大的航天器设计、建造和发射计划以及广泛的航空航天基础设施建设。2020年6月23日，中国第55颗北斗导航卫星在西昌卫星发射中心成功发射，此次发射将北斗导航卫星射入距地球上空约36 000 km的地球静止轨道。北斗导航卫星的成功发射使该系统的运行卫星数量增加到45颗，其中的30颗组成了全面运行的卫星导航星座。来源：China Satellite Navigation Office（公开）。

缩减到只有7颗卫星，这些卫星在过去8年中实现了全面运行[2]。在20多年之后，如今，在大部分情况下，只有美国全球定位系统（GPS）的24~31颗卫星为用户提供全球的位置和时间信号，这些系统的更新和升级极大地提高了导航卫星对地球的区域覆盖精度（几乎达到了每平方米级）。

由4个全球导航卫星系统[3]组成的多星座为全球数十亿人、机器和计算机网络提供位置和时间信号，导航卫星的数量增加了300%以上，目前达到了约125颗，预计还会有更多的卫星。Bradford Parkinson说：“因此，以前某一个用户在开放领空下只能接收来自大约8颗GPS卫星的传播信号，而现在则可以获得大约30颗卫星的混合传输信号，在某些地方甚至超过了50颗。”作为美国空军上校，Bradford Parkinson在20世纪70年代担任了GPS开发和测试的首席设计师和负责人，并在说服美国军方资助该系统全面部署的过程中发挥了关键作用[4,5]。

通常情况下，全球导航卫星系统接收机同时接入的卫星信号越多，位置测量的精度就越高。然而，当采集的传输次数超过8~10次时，每采集一次信号，精度提高得就越少。总的来说，可用卫星数量增多能够增加位置测量精度。由于有更多的卫星可供选择，接收机就可以选择性能最佳、几何分布最好的航天器，从而获得更精确的读数。加拿大卡尔加里大学地理信息工程学教授Yang Gao说：“全球导航卫星系统多星座带来了更多的

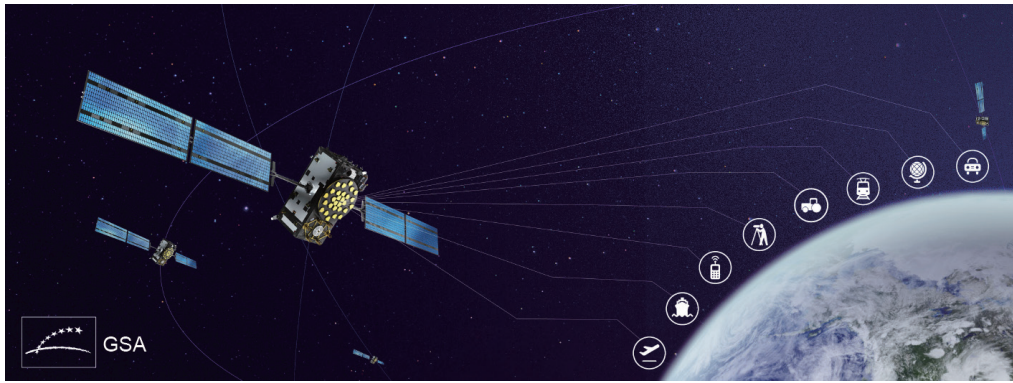


图2. 图中描绘了欧盟“伽利略”导航卫星星座中的一个太阳能动力航天器。该航天器在中地轨道上以略超过23 200 km的高度绕地球一圈。该航天器的主天线（在飞行器的前部中心镶嵌金块的圆盘）不断地向地球广播时间和定位无线电信号，为全球数十亿人、智能手机和其他设备以及航空、测量、农业、运输等一系列行业的网络提供数据。“伽利略”系统即将完成任务，将在2021—2022年再次发射，从而实现30颗卫星的全面运行，其中包括6颗备用卫星。GSA: European GNSS Agency。来源：©GSA，经许可。

卫星和更多的信号，它们可提高测量精度，但这还不是最重要的改变。最重要的改变是用户端能够利用更多的测量结果提高数据的可靠度。”

虽然在有多颗卫星的情况下，一辆大型半挂卡车可能会短时降低附近汽车星基定位的完备性，但卫星数量的增加仍然可以提高全球导航卫星系统的整体性能。更多的卫星能够让路过的卡车在关键时刻留下足够的信号，从而实现精确的定位。美国加利福尼亚州斯坦福大学航空航天工程学教授Parkinson（现为名誉教授）为卫星导航事业做出了很多开创性的贡献，他指出，需要避免一些情况的发生才能解决信号接收或精度的问题，如全球导航卫星系统欺骗或干扰[6]。可用卫星数量增加（特别是当它们在不同的全球导航卫星系统中工作时），极大地减少了位置测量受阻或在不知情的情况下接收错误位置的概率。

Parkinson说：“你可以把其他星座看作是潜在的‘黑天鹅’（black swan）杀手。”Parkinson所说的是一个广泛使用的比喻，即极不可能发生的故障。但这种故障会发生在系统上，因为即使这些系统在设计 and 建造时已经过了全面且系统地故障安全操作，其也会不可避免地遭遇这些故障[7]。例如，在借助多星座的卫星多样性和高可用性保护系统位置和定时解决方案的完整性的各种方法中，有一种方法叫做接收机自主完整性监测技术[8]。在这一技术中，如果有6颗以上的卫星可用，那么用户的全范围全球导航卫星系统接收机就可以通过实时交叉比较，从可用信号中计算位置解，并剔除因为数据缺陷而产生的异常解，以此应对干扰和卫星或全球导航卫星系统故障的发生。

除了航天器的数量，建造和运行4个全球导航卫星系统时的功能和性能标准共享也增强了互用性[9]。此外，各种最新的技术进步，如“伽利略”和“北斗”卫星使用的空间级、高度稳定的被动型氢原子钟，也有助于提高授时的一致性和准确性[10,11]。负责管理“伽利略”系统项目的欧洲全球卫星导航系统管理局（GSA）主管、航空航天工程师Guerric Pont表示，这些性能的完善既巩固了互用性的基础，也有助于实现单个和多个全球导航卫星系统的新功能或扩展功能。例如，无论是“北斗”系统还是“伽利略”系统，其速度都得到了提升，可精确地确定船舶碰撞或其他事故产生的求救信号的来源，从而在全球范围内提供更好的卫星辅助搜索和救援服务。2020年11月下旬，在旺代单人环球帆船赛比赛期间，印度洋上的巨浪将一艘装有广播求救信号信标的法国赛艇劈成了两半。Pont说，警报传到了三个“伽利略”航天器上，这些航天器几乎都配备了用于检测和处理此类警报的电子设备和天线。他说：“从发射信号，检测信号，再到第一次定位，大约只用了两分钟。三分钟后，通知就传到了救援中心。”这两个系统还可以发送简短的回传信号，确认收到求救信号并提醒发送者：救援人员已经接到通知，正在赶来[12,13]。

“北斗”和“伽利略”系统采用的其他先进技术也提高了系统的定位性能。Pont指出，“伽利略”系统的地面站网络仍在不断扩大，每80 min向其卫星传输一次新的测量数据以测量其在太空中的精确位置。航天器位置的准确性对于为用户提供可靠的三维位置坐标及依赖这些精确位置和时间辅助性全球导航卫星系统服务至关重要。相比之下，几十年来，GPS依赖于精密的轨道

预测模型，卫星空间位置的更新往往要等待数小时之久[5,14]。

“北斗”系统的工程师选择了不同的策略，设计了一套卫星间测距和通信信号系统。通过星座航天器上的电子转向天线，系统可以向卫星阵列的一个成员传送高度精确的观测位置，然后提供一个参考，星座本身可根据该精确测量的数据更新卫星阵列中其他成员的空间位置。这种独有的、可调整的测量和通信系统，被称为“星间链路”[15]，其可以提供一系列独有的通信服务。例如，可利用“星间链路”在区域范围内和全球范围内，通过星座子集在特定的发送者和接收者之间传输信息[13]。

多星座还采用了新的无线电频率，并利用更丰富、更多样的频率来扩大服务范围和优化卫星导航技术。作为几十年来唯一的全球导航卫星系统，GPS最初只在一个频率（1575.42 MHz，简称为L1）上公开广播位置和授时数据，主要用于民用；而补充的第二个频率（1227.60 MHz，简称为L2），则只有美国军方才能使用[14]。然而，Pont指出，“伽利略”系统最初的设计需要11个信号组件。一份关于“北斗”系统的白皮书显示，该系统至少使用了5个独立的民用频率[16]。Parkinson说，GPS和“格洛纳斯”系统也纷纷效仿，最新的GPS卫星除了原有的信号频率外，还使用了多个频率来广播10个信号[17]。

由于能够在两个不同的频率上接收位置数据，那些配备了双频全球导航卫星系统接收机的智能手机用户可以明显感受到精度的提高。这种能力可以减少因信号穿越电离层的延迟而产生的位置误差，也可以减少表面（如摩天大楼林立的城市峡谷墙壁）信号反射的误差[18]。负责欧洲全球卫星导航系统管理局空间数据应用和市场开发的航天工程师Fiametta Diani说，通过设计，利用双频发射显示位置的测距信号在“伽利略”系统中几乎是通用的。这表明，制造商将星座和双频功能设计在了智能手机全球导航卫星系统的接收芯片中。Diani说：“这不仅增加了一个多全球导航卫星系统解决方案，还增强了卫星可用性，并提高了手机定位的精确性。例如，在城市中，你将知道应该在道路的哪一侧等待你的出租车或Uber，而这在以前是无法做到的。”

除了让人们更方便地找到自己的乘车地点外，频率的扩大还能提升更多的服务，如“伽利略”系统基于返回链路的搜索和救援服务。这是一项即将推出的

导航数据认证功能，旨在应对欺骗干扰以及提供快速且定位极其精确的高精度服务。“北斗”系统也同样规划了一项服务，即广播修正，旨在提供快速且高精度定位。

Gao说，全球导航卫星系统工作频率的不断增加也对未来与第五代（5G）移动无线网络相关的技术产生了影响，如自动驾驶、智慧城市以及人口密集的交互式物联网等[19,20]。他还指出，多星座对于提供准确、稳定、无处不在的时间信号至关重要，是解决这些技术的核心（绝对定位）。这些技术很可能通过同时利用三个或更多的全球导航卫星系统频率的快速位置收敛算法来实现，同时还会涉及来自车辆和其他装置上的相对位置传感器的辅助信号，并可能涉及来自低地球轨道卫星的数据。当Gao和他的同事思考这种卫星、传感器和网络能力的强力组合可以应用于哪些实际任务和问题时，他说：“我们只受限于自己的想象力。”

References

- [1] China launches last BDS satellite to complete global navigation constellation [Internet]. Beijing: China Xinhua News; 2020 Jun 23 [cited 2021 Jan 31]. Available from: http://www.xinhuanet.com/english/2020-06/23/c_139161359.htm.
- [2] GLONASS history [Internet]. Korolev: Information and Analysis Center for Positioning, Navigation and Timing; [cited 2021 Jan 31]. Available from: <https://www.glonass-iac.ru/en/guide/>.
- [3] Paziewski J, Crespi M. High-precision multi-constellation GNSS: methods, selected applications and challenges. *Meas Sci Technol* 2020;31:010101.
- [4] Parkinson BW, Powers ST. Part 1: the origins of GPS and the pioneers who launched the system [Internet]. Santa Ana: GPS World; 2010 May 1 [cited 2021 Jan 31]. Available from: <https://www.gpsworld.com/origins-gps-part-1/>.
- [5] Weiss P. The Global Positioning System (GPS): creating satellite beacons in space, engineers transformed daily life on Earth. *Engineering* 2021;7(3):290–303.
- [6] Expert opinions: challenges faced by multi-constellation GNSS receiver designers [Internet]. Santa Ana: GPS World; 2018 Feb 8 [cited 2021 Jan 31]. Available from: <https://www.gpsworld.com/expert-opinions-challenges-faced-by-multi-constellation-gnss-receiver-designers/>.
- [7] Aven T. Implications of black swans to the foundations and practice of risk assessment and management. *Reliab Eng Syst Saf* 2015;134:83–91.
- [8] Parkinson B. Assured PNT for our future: PTA [Internet]. Santa Ana: GPS World; 2014 Sep 1 [cited 2021 Feb 3]. Available from: <http://digital.gpsworld.com/September2014#&pageSet=39>.
- [9] International committee on global navigation satellite systems (ICG) [Internet]. Vienna: United Nations Office for Outer Space Affairs; [cited 2021 Feb 1]. Available from: <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/icg/icg.html>.
- [10] Wang W, Wang Y, Yu C, Xu F, Dou X. Spaceborne atomic clock performance review of BDS-3 MEO satellites. *Measurement* 2021. In press.
- [11] Jadászliwer B, Camparo J. Past, present, and future of atomic clocks for GNSS. *GPS Solut* 2021;25:27.
- [12] Directorate-General for Defence Industry and Space. EU Space investments to the rescue [Internet]. Brussels: European Commission; 2020 Dec 2 [cited 2021 Feb 1]. Available from: https://ec.europa.eu/defence-industry-space/eu-space-investments-rescue-2020-12-02_en.
- [13] Li G, Guo S, Lv J, Zhao K, He Z. Introduction to global short message communication service of BeiDou-3 navigation satellite system. *Adv Space Res* 2021;67:1701–8.
- [14] Parkinson BW, Powers ST. The origins of GPS: fighting to survive, part 2 [Internet]. Santa Ana: GPS World; 2020 Jun 1 [cited 2021 Feb 1]. Available from: <https://www.gpsworld.com/origins-gps-part-2-fighting-survive/>.
- [15] BeiDou completes inter-satellite link testing; only GNSS with this

- accuracyimproving feature [Internet]. Red Bank: Inside GNSS Media & Research; 2020 Jun 18 [cited 2021 Jan 31]. Available from: <https://insidegnss.com/BeiDou-completes-inter-satellite-link-testing-only-gnss-with-this-accuracy-improving-feature/>.
- [16] Development of the BeiDou navigation satellite system (version 4.0). Report. Beijing: China Satellite Navigation Office; 2019 Dec.
- [17] New civil signals [Internet]. Washington, DC: GPS; [cited 2021 Jan 31]. Available from: <https://www.gps.gov/systems/gps/modernization/civilsignals/#L1C>.
- [18] Market understands value of dual frequency [Internet]. Prague: European Global Navigation Satellite System Agency (GSA); 2020 Jan 28 [cited 2021 Feb 1]. Available from: <https://www.gsa.europa.eu/newsroom/news/market-understands-value-dual-frequency>.
- [19] Carlson EK. What will 5G bring? *Engineering* 2020;6(7):725–7.
- [20] Carlson EK. New standards release sets stage for 5G future. *Engineering* 2021;7 (3):273–4.