

卫星定位系统简介

李洪斌 杨先



随着科学技术的不断进步和发展,当今社会已进入电子信息时代。快速、准确的卫星定位在军事、国民经济等诸多领域中广泛应用。目前能够实现全球卫星定位服务的,有美国的全球定位系统(Global Positioning System,简称GPS)和俄罗斯的“格洛纳斯”(GLONASS)全球导航系统(GLONASS为全球卫星导航系统的缩写),中国也有自己的区域性卫星定位系统“北斗一号”。卫星定位服务现已成为全球公认的八大无线产业之一。本文首先以GPS和“北斗一号”为例介绍卫星定位的基本原理,然后详细介绍各种已有和正在建设的卫星定位系统。

一、卫星定位的基本原理

GPS定位原理 简单地讲, GPS卫星定位系统的基本原理是:卫星连续向地面发射相应的电波信号,用户通过接收机接收到这些信号后,由置于其内的相应软件计算出接收机的经纬度、海拔高度以及运动速度等,从而达到定位和导航的目的。

GPS卫星同时发射导航电文和测距信号。导航电文中含有卫星的位置信息,即卫星(S_i)在太空中任意时刻精确的三维坐标;而测距信号则让用户(C)测量出其与卫星的距离 $S_i C$ 。从几何的角度讲,卫星要确定待测点的位置,只需知道3个卫星的坐标,并测量出该点与参考点的距离,就可算出待测点的坐标,也就是求解一个含有3个未知数、3个方程的方程组。但是GPS卫星的轨道高度约20000千米,且运动速度非常快,要同步确定这3颗卫星间的距离,还必须要有个统一的时间基准,因此又引入了1个时间参数,这时的3个方程、4个未知数当然无法求解,所以用户必须知道至少与4颗卫星的距离才能定位。GPS系统在设计的时候就合理分布卫星运行轨道,所以全球用户在任意时刻都可以至少接收到4颗卫星发送的信息而进行实时定位。

如果用户同时知道4颗卫星的坐标并测定了与它们的距离,将待测点与卫星间连线(即在数学上采用空间距离后方交会的方法,见图1),就可建立一个有4个方程、4个未知数的方程组,求解后就得到待测点的位置。由于GPS系统的时间达到了纳

秒(10^{-9} 秒)级精度,故其定位可精确到米。GLONASS系统原理与之相似。

需要明确的是,上面讲述的只是卫星定位最基本的计算原理。卫星在轨道上运动还要受到地球、太阳、月亮以及其他天体的很多摄动力的影响,故其运动轨迹并不是一个严格的椭圆,有时其运动会偏离预定轨道数百米甚至上千米;此外,电磁波的传播速度也会受到大气层的严重影响,也就是说电磁波在大气层中的传播速度不是固定不变的。因此在定位计算时不可避免地要出现误差,所以还必须建立相应的模型对误差进行修正,才能进一步提高定位精度。目前,国际上每年都要召开GPS大会,对这些问题进行讨论和研究。

“北斗一号”定位原理 我国的“北斗一号”系统共有3颗卫星,其中工作卫星2颗、备用卫星1颗,且都是地球的同步卫星——即卫星相对地面是静止不动的。其定位过程为:用户通过卫星中转,向地面中心站发送定位请求,地面中心站对用户发送来的信息进行处理,对其进行定位后将定位信息通过卫星再发送给用户;或者由地面中心站主动进行指定用户的定位,定位后不将定位信息发送给用户,而是由中心站保存。这个过程与GPS系统是不同的。简单地看,GPS的终端设备只有接收功能,故又称为终端接收机,而“北斗一号”的终端设备却必须要具有发射和接收两项功能,这在一定程度上影响了

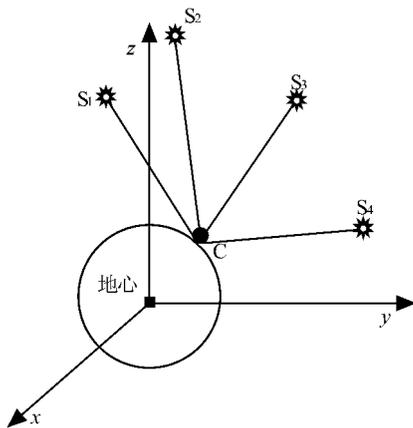


图1 GPS定位原理示意图

用户的隐蔽性。

“北斗一号”虽然有 3 颗卫星,但只有 2 颗工作卫星,所以事实上属于两星定位系统。其定位的基本原理是:由于所用卫星(S_i)为地球同步卫星,所以卫星的坐标是固定已知的;与 GPS 测距原理相同,“北斗一号”通过测量用户(C)发送的电磁信号来确定两颗卫星与用户间的距离。分别以两颗卫星球心与用户间的距离为半径作两个球面,用户必然位于这两个球面相交的弧线上。当然,这只能知道用户处于这条弧线上,而不能确定具体在弧线的哪个点上。地面中心站配有一个电子高程地图,这个地图是以地心为球心、以地心至地表高度为半径的非均匀球面。这时求解弧线与地表交点(该点是唯一的,这不理解),就可以得到用户的位置了(见图 2)。

二、美国全球卫星定位系统

GPS 发展历程 二战后,美国为了解决海军舰艇的定位导航问题,自 1957 年前苏联发射第一颗卫星开始,就有了利用卫星进行定位的设想,随后即研制了子午仪卫星导航系统(Transit)——系统的卫星轨道都经过地球的南北极上空,故而得名。该系统于 1958 年开始研制,1964 年正式投入使用。此后,子午仪卫星导航系统得到了较为广泛的应用,与传统的导航方式相比显示出巨大的优越性。然而该系统卫星数目较少(6 颗)、运行高度较低(平均 1000 千米)、在地面观测到卫星的时间间隔较长(平均约 1.5 小时)、进行一次导航所花费的时间也较长,因而无法提供连续的实时三维导航,在实际应用时存在较大的缺陷。而且定位时只有经纬度、没有高程,定位精度较低,无法满足军事需要。

子午仪卫星系统标志着卫星导航时代的到来。此后,为满足军事部门和民用部门对连续实时和三维导航的迫切要求。上世纪 70 年代,美国开始研制全球卫星定位系统。实施计划共分三个阶段。第一阶段为方案论证和初步设计阶段;1973~1979 年,共发射了 4 颗试验卫星,用于研制地面接收机,并建立地面跟踪网等相应设施。第二阶段为全面研制和试验阶段;1979~1984 年又陆续发射了 7 颗试验卫星,研制了各种用途的接收机;实验表明,GPS 的定位精度远远超过当初的设计标准。第三阶段为实用组网阶段;1989 年第一颗工作卫星发射成功,系统进入工程建设阶段;到 1993 年底可以提供全球卫星定位服务的 GPS 网(共 24 颗卫星)已经建成。在

GPS 研制和实施的整个过程中,约花费 200 亿美元。

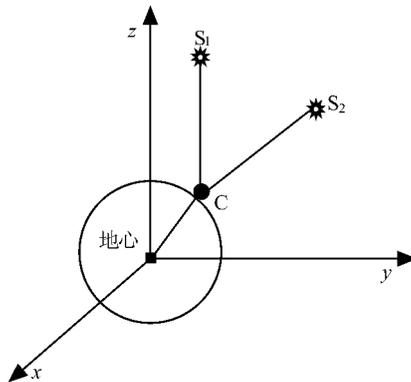


图 2 “北斗一号”定位原理示意图

GPS 系统的组成 GPS 由以下三个独立的部分组成。空间部分:21 颗工作卫星、3 颗备用卫星分布在 6 个轨道平面上,每个轨道平面平均分布 4 颗卫星,用于向全球发射导航电文和测距信号。地面支撑系统:1 个主控站、3 个注入站、5 个监测站,其主要工作是监视卫星的运动、确定 GPS 时间系统、向每颗卫星发送与导航相关的数据等。用户设备部分:主要由接收机硬件和处理软件组成;用户通过接收机接收卫星发射的信号,信号经相应软件处理后,用户可获得位置、速度、海拔高度等信息,实现导航和定位。

目前 GPS 卫星提供 P 码(精码)和 C/A 码(粗码)两种定位服务。P 码为军方服务,定位精度可达 3 米;C/A 码对全社会开放,定位精度为 14 米。出于军事领域和自身安全的考虑,美国先后实施了 SA (Selective Availability, 选择可用性)和 AS (Anti-Spoofing, 反电子欺骗)政策。SA 政策是在 C/A 码中人为引入误差,使定位精度下降到 100 米;AS 政策则是对 P 码加密,使普通用户就算收到 P 码信号也无法进行定位。GPS 的 C/A 码对全世界免费开放,因此各类接收机、测量设备便大量出现,并广泛应用于各行各业,彻底改变了传统的定位导航方式。

三、俄罗斯 GLONASS 卫星定位系统

前苏联为和美国进行抗衡军事,在上世纪 60 年代后期开始研究新一代弹道导弹的精确制导问题,最终确认需要一个能提供精确导航和定位的卫星导航系统。经过不懈努力,终于在 70 年代颁布法令,开始建立“格洛纳斯”(GLONASS)系统。因此,可以说俄罗斯的全球卫星定位系统的研究基本上是与美国 GPS 同时开始的。其设计与美国 GPS 相似,

也是由 24 颗卫星组成, 同样分为军民两个通道进行卫星定位服务。GLONASS 的第一颗卫星于 1982 年发射入轨, 完整的卫星导航系统原计划于 1991 年建成。

前苏联解体后, 俄罗斯继承了该系统, 但由于技术不足和资金缺乏, 工程一直进展不大, 一度只有 8 颗在轨卫星可用, 不能自己独立组网, 因此不能提供实际的导航定位服务。2001 年 8 月, GLONASS 系统重新获得政府的财政支持。2001 年 12 月, 俄罗斯成功发射了 3 颗设计精度更高的新一代补网卫星, 新型卫星的平均寿命增长到 7 年, 以期进一步优化该系统。

截至 2002 年底, 其轨实用卫星仅有 11 颗。第二代卫星虽然性能可靠, 但造价昂贵, 约为第一代卫星成本的 2 倍。如果要继续进行补网发射则需要更多的资金, 而且随着卫星发射数量逐步增加, 系统维护等费用每年也会不断增加。目前每年的维护费就需要大约 3900 万美元, 就俄罗斯目前的经济状况而言, 实在难以应付, 所以其正寻求国外合作伙伴。

四、中国双星定位系统(“北斗一号”)

其实我国早在上世纪 60 年代末就已经开展卫星导航方面的研究, 但由于多种原因而中断。70 年代末期, 再次对适合国情的卫星导航定位系统展开讨论, 先后提出过单星、双星、三星和三~五星的区域性系统方案, 以及多星全球导航系统的设想, 并考虑到导航定位与通信联络等方面综合运用问题, 但是最终都没能实现。

“北斗一号”导航系统的方案于 1983 年提出, 其突出特点是构成系统的空间卫星数目少、用户终端设备简单、一切复杂计算处理系统都集中在地面中心站处理。“北斗一号”卫星定位系统是利用地球同步卫星为用户提供快速定位、简短数字报文通信和授时服务的一种全天候、区域性的卫星定位系统, 由 3 颗卫星和 1 个地面控制中心站组成。

“北斗一号”前两颗卫星分别于 2000 年 10 月和 12 月进入轨道, 2003 年 5 月第三颗“北斗一号”备用卫星进入太空与前两颗“北斗一号”工作卫星一起组成了完整的卫星导航定位系统, 至今状态良好、工作稳定; 使我国继美国和俄罗斯之后, 世界上第三个建立完善卫星导航系统的国家。该系统还具有很大的发展空间, 可通过不断增添卫星来逐步建成准全球及真正的全球卫星定位系统。该系统的建立对我国

的国防和国民经济建设起到了积极作用, 目前主要用于军事和科研。

五、三个系统的比较

表 1 列出三个系统的一些数据。从中可以看出 GPS 和 GLONASS 系统在硬件和定位服务方面基本相同, 没有太大的差异, 而中国的“北斗一号”因为采用地球同步卫星, 所以只能提供区域性的服务, 有待进一步的发展。

表 1 三个系统的比较

	美国 GPS	俄罗斯 GLONASS	中国“北斗一号”
卫星个数	24 颗	24 颗	3 颗
卫星高度	20000 千米	20000 千米	36000 千米
卫星周期	约 12 小时	约 12 小时	24 小时
定位精度	15 米(民用且限美国本土)	30~100 米	约 30 米
速度精度	0.1 米/秒	0.15 米/秒	0.15 米/秒
应用范围	全球	全球	中国

六、计划实施的其他卫星定位系统

目前美国的 GPS 在全球卫星定位和导航服务领域处于垄断地位。出于自身安全的需要, 其向美国本土以外的其他地区提供定位服务时采取 SA 政策, 导致定位误差在 100 米以上, 引起其他国家的强烈不满, 美国因此受到强烈谴责。为了更好地占领卫星定位服务市场以获得更大的经济利益, 美国政府在 2000 年 5 月撤消了该项决议, 为全球民用市场提供更高的定位精度。但这并不排除其在非常时期(如战争时期)重新启动 SA 政策甚至关闭民用通道。由于美国并不打算取消 AS 政策, 欧盟、日本、印度等具有较强实力的国家和地区也正积极筹备自己的卫星定位系统。

欧盟的“伽利略”卫星导航系统(Galileo) 欧洲航天局早于上世纪 80 年代就提议要通过国际合作建立一套以民用为主要目的的全球卫星导航系统, 进入 90 年代后, 欧盟和欧洲航天局又对此问题进行了长达 5 年的可行性论证。1999 年, 提出了欧洲版的 GPS——“伽利略”全球卫星导航系统。“伽利略”计划的出台经历了一个不断争论的过程。欧盟内部存在两种意见, 以法国为代表的国家强调打造欧洲独立 GPS 的重要性; 而英、德等国却认为, 既然已有美国免费的 GPS, 就没有必要花巨资再造一个同样的系统。最终, 由于意识到卫星导航服务潜在的巨大军事和商业利益, 欧盟和欧洲航天局于 2000

年初决定建造“伽利略”卫星导航系统。当年6月,在世界无线电通信大会上,欧盟经过不懈努力攻克美国设置的障碍,最终获得实施“伽利略”计划所需的无线电频率资源,为其顺利实施创造了必要的条件。

2001年,美国在阿富汗战争中的迅速胜利令世界各国震惊,GPS的巨大作用不容忽视,这也促进了欧盟“伽利略”计划的开展。同年11月,欧洲航天局拨款5.5亿欧元用于技术开发,并在次年3月的欧洲首脑峰会上获得一致支持。在随后的欧盟运输部长会议上,各国部长仅用不到30分钟的时间,就一致同意划拨4.5亿欧元研究经费,使该计划进入实质操作阶段。欧盟运输部长还以全票通过决议,决定在5年内打造一个可与美国GPS抗衡的欧洲卫星定位系统,打破美国对全球空间定位的技术垄断。2005年12月,“伽利略”计划的第一颗卫星升空,整个系统预计耗资34亿欧元,将于2008年投入使用。

“伽利略”系统比美国GPS晚了近20年,这使它能够根据实际使用经验在设计阶段就对新系统做出大量改进。它由30颗(27颗工作卫星、3颗备用卫星)轨道卫星组成,比美国的GPS和俄罗斯的“格洛纳斯”都多出6颗,精度也大大提高。美国GPS的最大精度为3米而且仅限于军用,而“伽利略”可为民间用户提供误差不超过1米的精确定位服务。有人曾打了这样一个比喻说,利用GPS只能寻找到街道,而“伽利略”则可以找到家门口。此外“伽利略”的用户可根据需要进行更多的精度选择。

为了今后的长期发展,“伽利略”计划同时也在全球范围内寻找合作伙伴,目前已有中国、印度、以色列、摩洛哥、沙特阿拉伯和乌克兰6个国家和欧盟签订了合作协议。中国是第一个参与该计划的非欧盟国家,将向其投入2亿欧元,在卫星导航技术、工业制造、服务等多方面开展合作研究。

日本和印度卫星定位系统 印度目前正在开展可与美国GPS和俄罗斯GLONASS对接的卫星定位系统计划,将在2007年投入使用;日本也在研制可与美国GPS连用、定位精度达10厘米、由3颗卫星组成的“准天顶卫星系统”,计划2008年投入使用。

七、全球定位系统的应用

GPS最初的设计是用于飞机、舰艇、导弹等的导航和军事情报信息收集等,只服务于美国军方。但是后来发现,GPS定位精度很高,可以用在大地

和工程测量等对精度要求高的领域,及车辆跟踪定位等精度要求低的一般领域。自从GPS对民间开放后,各种各样的定位产品和服务便应运而生,GPS已经涉及社会生产、日常生活的方方面面。

测量 目前,GPS技术已广泛用于地面测量、地籍测量、资源勘查、地壳运动等领域,并可在实时处理两个观测点所得数据的基础上,使定位精度达到厘米级。与传统的手工测量手段相比,GPS技术具有仪器体积小、便于携带、测量精度高、操作简便、数据处理及时等优势。可以说,GPS技术给测绘界带来了一场革命。

交通运输 随着汽车工业的发展,城市的交通堵塞也越来越严重。如果在城市中建立数字化交通电台,实时发播城市交通信息,机动车通过车载型GPS设备进行精确定位,结合相应的软件(如电子地图等)自动匹配最优路径,可实现车辆的自主导航。

单个GPS接收机所提供的定位信息,如果与一个发射装置连接起来,实时向控制中心发送自己所处位置、速度等信息,控制中心就可以对车辆进行跟踪和调度管理,从而达到合理分布车辆,以最优方式响应用户需求的目的。在降低能源消耗、节省运行成本的同时,还能使车辆具备防盗功能。目前,一些西方国家在这方面已有相当成熟的技术和经验,我国东部的一些大城市也开始出现这种服务。

农业 一些发达国家还把GPS技术引入农业生产,即“精细农业耕作”。其原理是利用GPS对农田进行信息定位,获取包括产量监测、土样采集等重要数据,然后用电脑分析处理这些数据,得出农田的管理优化方案;再把产量和土壤状态信息装入带有GPS设备的喷施器中,从而精确地给农田施肥、喷药。对农田实施精准耕作,可降低农业生产成本、提高产量、有效避免资源浪费、大大减少因施肥除虫对环境造成的污染。

消遣娱乐 随着GPS接收机的小型化以及价格的降低,GPS已逐渐走进日常生活。通过GPS,人们可以在陌生的地方迅速地找到目的地,配合地图选择最优路径;野营、探险者携带GPS接收机,可快捷地到达集合野营地点。

(李洪斌,广东省武警广州指挥学院训练部数理教研室 510440;杨先,云南省大理州下关第三中学 671000)