

导航技术的发展与展望

赵学青, 马小军, 郭志平, 吕瑛

(内蒙古第一机械集团有限公司, 包头市民主路, 014032)

摘要: 简单地介绍了导航技术的发展过程, 重点介绍了卫星导航系统、惯性导航系统和组合导航系统, 特别是 INS-GPS 组合导航系统是未来的一个主要发展方向。

关键字: 惯性导航; 卫星导航; 组合导航;

0 引言

导航技术是涉及自动控制、计算机、微电子学、光学、力学以及数学等多学科的高技术, 是一个国家基础服务体系的重要基石。也是武器精确制导的核心技术, 实现飞行器特别是航天器飞行任务的关键技术, 这对于提高航空器、航天器以及武器装备的机动性、反应速度和远程精确打击能力具有重要意义, 在海、陆、空、天等现代高技术武器及武器平台中得到广泛的应用。

导航技术的发展具有三个特点, 第一, 由于材料、微电子、计算机等学科和技术的发展, 促进了新型惯性器件的发展, 从而惯性导航系统的体积越来越小, 精度越来越高、成本越来越低; 第二, 卫星导航技术也得到了极大的发展, 可以认为, 卫星导航给导航技术带来了一次极大的革命; 第三、卫星导航、惯性导航以及其他技术之间相互组合, 促进了导航技术的进一步发展。

1 导航系统简介

1.1 卫星导航

世界上现有卫星导航系统有美国的 GPS、俄罗斯的 GLONASS 以及欧洲 GALILEO 卫星系统和中国的北斗卫星导航。

1.1.1 GPS 卫星导航

GPS 是美国为军事目的建立的, 用于解决海上、空中和陆地运载工具的导航和定位问题, 系统由 24 颗导航卫星 (21 颗工作卫星和 3 颗备用卫星) 组成。GPS 采用码分多址 (CDMA), 定位精度通常 15m 左右, 主要应用于单点导航定位与相对测地定位, 具有全天候、定位迅速、精度高、可连续提供三维位置 (纬度、经度和高度)、三维速度和时间信息等一系列优点, 是实现全球导航定位的高新技术。通常 GPS 接收机接收到四颗卫星的信号就能够确定移动载体的方位, 是当前导航定位技术应用最广泛的系统。1992 年 GPS 正式向全世界开放, 1994 年在中国市场开始得到应用。GPS 以精确位置与定时信息, 已成为世界范围各种民用、科研和商业活动的一种基础技术之一。

GPS 系统提供需授权的 P 码 (可加密为 Y 码) 精密定位服务 (PPS) 和 C/A 码标准定位服务 (SPS)。目前, P 码提供的运动目标在空间的位置精度可达 5m, 测速精度优于 0.1m/s, 计时精度可达 20ns。GPS 已成为美军实施远程精确打击的“法宝”, 在多次军事冲突中发挥了重要作用。为了增强 GPS 的稳定性和抗干扰性, 美军近年来对 GPS 进行了一系列的改进: 改变军用接收机对 C/A 码的依赖直接获取 P (Y) 码; 发射新型 GPS 卫星, 将军用和民用码分离, 增加新的民用频率, 播发新的军用 M 码并加大其发射功率; 利用战场上空的无人机创造伪 GPS 星座, 增强抗干扰性等。

1.1.2 GLONASS 卫星导航

GLONASS 是前苏联研制并为俄罗斯继续发展的全球卫星导航系统, 其组成和功能与美国的 GPS 相类似, 可用于陆、海、空等各类用户的定位、测速及精密定时等。目前已完成了 24 颗工作卫星加一颗备用卫星空间星座布局, 每时刻各地的用户可见 5~8 颗卫星。卫星识别采用频分多址 (FDMA), 24 颗卫星各占一个频率。

1.1.3 GALILEO 卫星导航

欧洲为了满足本地区导航定位的需求,计划开发针对 GPS 和 GLONASS 的广域星基增强系统(EGNOS),包括地面设施和空间卫星,以提高 GPS 和 GLONASS 系统的精度、完备性和可用性。同时,为了打破目前世界美、俄全球定位系统在这一领域的垄断,欧洲决定启动伽利略计划,建立自主的民用全球定位系统(GALILEO)。EGNOS 是欧洲 GALILEO 计划的第一阶段,也是 GALILEO 计划的基础。GALILEO 系统将建成全球性的定位和导航系统,它由星座部分、有效载荷、地面监控系统以及区域控制部分组成。GALILEO 系统将成为独立性、全球性、欧洲人控制的,以卫星为基础的民用导航和定位系统。

1.1.4 北斗卫星导航

北斗卫星导航系统(BeiDou (COMPASS) Navigation Satellite System)是中国正在实施的自主研发、独立运行的全球卫星导航系统。北斗卫星导航系统由空间端、地面端和用户端三部分组成。空间端包括 5 颗静止轨道卫星和 30 颗非静止轨道卫星。地面端包括主控站、注入站和监测站等若干个地面站。用户端由北斗用户终端以及与美国 GPS、俄罗斯“格洛纳斯”(GLONASS)、欧洲“伽利略”(GALILEO)等其他卫星导航系统兼容的终端组成。

北斗卫星导航网建设分三步走。第一阶段试验阶段,2003 年以前发射 3 颗卫星,主要以验证北斗系统的原理及可行性为目标。该阶段已经圆满完成;第二阶段:2004 年到 2012 年间形成区域定位能力,将发射 14 颗北斗卫星,形成中国和亚太周边国家提供导航能力。该阶段已发射 8 颗北斗卫星,已经初步覆盖我国部分地区并为特定用户提供试验服务;第三阶段:2013 年到 2020 年期间卫星发射总数将达到 35 颗左右,覆盖全球的北斗卫星导航系统将全面建成。

第一阶段试验阶段,共发射 3 颗卫星,即“二加一”(2 颗同步轨道静止卫星和 1 颗带倾角度的卫星)组成一个试验小网。和 GPS 最大不同的是我们使用同步卫星导航,大大加强局部地区在轨导航能力,既经济又快速准确。经用户使用验证达到研制要求取得完全成功。当 2020 年最后北斗完成组网,将使用 5 颗正式同步静止轨道卫星、30 颗正式非同步轨道卫星。

第二阶段发射全记录:第一颗(2007 年 4 月 14 日);第二颗(2009 年 4 月 15 日);第一三颗(2010 年 1 月 17 日);第四颗(2010 年 6 月 2 日);第五颗(2010 年 8 月 1 日);第六颗(2010 年 11 月 1 日);第七颗(2010 年 12 月 18 日);第八颗(2011 年 4 月 10 日)。

1.2 惯性导航

惯性导航系统是随着惯性传感器的发展而发展起来的一门导航技术,它完全自主、不受干扰、输出信息量大、输出信息实时性强等优点使其在军用航行载体和民用相关领域获得了广泛应用。惯导系统(INS)主要是由惯性测量装置(加速度计和陀螺仪)、计算机和稳定平台(捷联式为“数学”平台)组成。由陀螺和加速度计测量运动载体相对于惯性空间的角速度和线加速度,通过计算机夹杂导航解算,从而获得运动载体相对某一基准的导航参数。INS 具有在高速率下捕捉数据的能力,且精度很高,但是如果时间较长,精度则降低。为提高绝对精度,就需要增加别的传感器作为辅助。

惯性导航系统目前已经发展出挠性惯性导航、光纤惯性导航、激光惯性导航、微固态惯性仪表等多种方式。陀螺仪由传统的绕线陀螺发展到静电陀螺、激光陀螺、光纤陀螺、微机械陀螺等。激光陀螺测量动态范围宽,线性度好,性能稳定,具有良好的温度稳定性和重复性,在高精度的应用领域中一直占据着主导地位。由于科技进步,成本较低的光纤陀螺(FOG)和微机械陀螺(MEMS)精度越来越高,是未来陀螺技术发展的方向。

我国的惯性导航技术近年来已经取得了长足进步,液浮陀螺平台惯性导航系统、动力调谐陀螺四轴平台系统已相继应用于长征系列运载火箭。其他各类小型化捷联惯导、光纤陀螺惯导、激光陀螺惯导以及匹配 GPS 修正的惯导装置等也已经大量应用于战术制导武器、飞机、舰艇、运载火箭、宇宙飞船等。如漂移率 $0.01^{\circ} \sim 0.02^{\circ}/h$ 的新型激光陀螺捷联系统在战机上试飞,漂移率 $0.05^{\circ}/h$ 以下的光纤陀螺、捷联惯导在潜、舰上的应用,以及小型化挠性捷联惯导在各类导弹制导武器上的应用,都极大的改善了装备的性能。

2 导航技术

卫星导航技术是指利用卫星导航定位系统提供位置、速度及时间等信息来完成对各种目标的定位、导航、监测和管理。它综合了传统天文导航定位和地面无线电导航定位的优点,相当于设置在太空的一个无线电导航台,可在任何时间、任何地点为用户确定其所在的地理经纬度和海拔高度。

惯性导航系统(INS)是一种不依赖于外部信息、也不向外部辐射能量的自主式导航系统。其工作环境不仅包括空中、地面,还可以在水下。惯性导航的基本工作原理是以牛顿力学定律为基础,通过测量载体在惯性参考系的加速度,将它对时间进行积分,且把它变换到导航坐标系中,就能够得到在导航坐标系中的速度、偏航角和位置等信息。但惯性导航有固定的漂移率,这样会造成物体运动的误差,因此射程远的武器通常会采用指令、GPS 等对惯导进行定时修正,以获取持续准确的位置参数。

组合导航是近代导航理论和技术发展的结果。每种单一导航系统都有各自的独特性能和局限性。把几种不同的单一系统组合在一起,就能利用多种信息源,互相补充,构成一种有多余度和导航准确度更高的多功能系统。大多数组合导航系统以惯性导航系统为主,其原因主要是由于惯性导航能够提供比较多的导航参数。还能够提供全姿态信息参数,这是其他导航系统所不能比拟的。此外,它不受外界干扰,隐蔽性好,这也是其独特的优点。惯导系统定位误差随时间积累的不足可以由其他导航系统补充。

组合导航就是采用两种或两种以上的导航设备组合起来的导航系统。作为常用导航手段的惯性导航、多普勒导航、卫星定位导航等单一设备,已不能满足现代条件下的使用要求。因此,目前世界各国广泛采用多设备组合、冗余设计、多功能的组合导航系统。组合后的导航系统中,各分系统互为补充,信息综合利用,从而扩大了使用范围,提高了导航精度。组合导航系统具有较强的容错能力和冗余导航能力,增加了导航系统的可靠性。此外,组合导航系统还可以降低对导航系统的精度要求,缩减成本。微型计算机的发展与广泛应用,为组合导航奠定了物质基础,而新的数字滤波技术如卡尔曼滤波理论与技术,则提供了有力的处理工具。

组合导航的方式很多,如:全球定位系统/惯性导航系统(GPS/INS),全球定位系统/多普勒导航系统(GPS/DNS),以惯导为主、GPS 和地形辅助参考导航(TRN)为辅的组合导航系统(INS/GPS/TRN),组合卫星定位系统(GPS/GLONASS),卫星导航/天文导航(GPS/CNS)等等。我国应结合现有技术水平,逐渐淡化对 GPS 导航的依赖,研制出适合国情的组合导航系统。GPS 与 MINS 的组合构成组合系统,可以充分利用各自的优点:高精度信息作为外部量测输入,在运动过程中不断修正 MINS,以控制 MINS 误差随时间的积累,而 MINS 则可提供短时间内高频高精度的定位结果,并输出丰富的导航信息。

3 建议

导航技术在国家各行各业广阔的需求背景下,其地位将日益突出。发展高精度、低成本、抗干扰能力强的导航系统是未来导航系统发展的趋势。鉴于目前我国导航技术还存在一定差距,我国应在充分利用 GPS 等成熟导航技术的前提下,加大对北斗导航系统的完善,研制出高效的自主导航系统,冲破技术垄断,建立一个独立自主、安全可靠的导航系统为国家更好的服务。

参考文献:

- [1] 杨艳娟,卞鸿巍,田蔚风,金志华,一种新的 INS/GPS 组合导航技术[J],第 12 卷第 2 期,2004.4
- [2] 刘建业等,《导航系统理论与应用》,西北工业大学出版社.
- [3] 刘晖,《GLONASS 系统研究》,北京航空航天大学.