

4.2 高精度定位系统

4.2.1 全球导航卫星系统

1. 全球导航卫星系统种类

全球导航卫星系统 (GNSS) 是人类历史上的重大技术突破, 给航海、航空以及日常生活各方面带来了巨大变革。该系统是由多颗覆盖全球的卫星组成的卫星系统, 可保证地球上任何一点在任何时候都能观测到四颗卫星, 以能获得观测点的经纬度、高度, 为全球导航、定位、定时等功能提供三维位置和三维速度等信息。

目前, 全球有三大卫星定位系统: 美国 GPS 卫星定位导航系统、俄罗斯 GLONASS 卫星导航系统、欧盟伽利略卫星导航系统。

使用最为广泛的是美国 GPS 卫星定位导航系统。20 世纪 70 年代初, 美国国防部设计开发了 GPS 系统并于 1993 年建成。

GPS 定位卫星的星座如图 4-10 所示, 24 颗卫星均匀分布在 6 个轨道面上, 轨道倾角为 55° , 每一轨道面相距 60° , 即轨道的高度为 60° 。各轨道平面上, 卫星间的仰角相隔 90° , 其中一个轨道平面上的卫星比西部相邻轨道平面上相应的卫星提前 30° 。

1994 年, 美国开始向其他国家提供免费定位服务, 但考虑国家安全因素, 只向其他国家民用领域提供低速、低精度卫星信号。如果美国出于某种原因关闭服务终端, 这会影响到其他国家的应用。出于国家安全考虑, 世界上强大的国家都开发了自己的卫星定位系统。20 世纪后期, 我国开始探索适合中国国情的卫星导航系统发展道路, 逐步形成了“三步走”发展战略: 2000 年底, 建成北斗一号系统, 向中国提供服务; 2012 年底, 建成北斗二号系统, 向亚太地区提供服务; 计划在 2020 年前后, 建成北斗全球系统, 向全球提供服务; 2035 年前还



GPS 定位原理及其在智能网联汽车上的应用



图 4-10 GPS 定位卫星星座

将建设完善更加泛在、融合、智能的综合时空体系。从定位原理和功能上,以上全球导航卫星系统基本一致,只是在技术细节上有一些差异。

2. GPS 卫星定位导航系统组成

GPS 卫星定位导航系统由地面控制部分、空间部分和用户设备部分三部分组成。

(1) 地面控制部分 地面控制部分由主控站、地面天线、监测站和通信辅助系统组成,如图 4-11 所示。

1) 主控站。主控站是导航卫星地面站的核心,主要功能是采集各监测站的数据,计算卫星星历表和包括信号异常处理的校正量,管理和协调地面监测系统各部分的工作,采集各监测站的数据。将导航信息编译发送到注入站,将卫星星历表注入卫星,监测卫星状态,并向卫星发送控制命令。



图 4-11 GPS 地面监控部分

2) 地面天线。地面天线是接收卫星信号的时钟系统信号接收部分的一个子部分,卫星信号分为 L1 和 L2,频率分别为 1575.42MHz 和 1228MHz。L1 是一个开放的民用信号,信号是圆极化的。信号强度约为 166 DBM,是一个相对较弱的信号。按照不同的放置方式又分为内置天线和外置天线,从供电方面又分有源天线和无源天线,汽车车载的 GPS 天线多为内置圆形天线,也有线性天线。

3) 监测站。监测站是在导航卫星系统中监测和采集数据的卫星信号接收站。根据任务的不同,可分为时间同步定轨站和完整性监测站。它的主要功能是对导航卫星信号进行跟踪监测,接收导航卫星信息,测量监测站相对导航卫星的伪距、载波相位和多普勒观测数据。经过预处理后,送入主控站,作为卫星定轨、时间同步、广域差分 and 完好性监测的依据。为了实现高精度、强实时性,要求监测站在全球范围内尽可能均匀分布,实现导航卫星的全弧跟踪。GPS 卫星定位导航系统共有 5 个监测站,其中 4 个与主控站(Main Control Station, MCS)和地面天线站重叠。每个监测站使用双频 GPS 信号接收器,对每个可见卫星每 6s 进行一次伪距测量和积分多普勒观察,收集气象、环境、地理信息等要素资料。

4) 通信辅助系统。卫星通信是指在卫星上安装具有一定功率的转发器,对地面发射的信号进行适当的处理,并传送到另一地点,实现两个或两个以上地点之间的通信。车辆定位信息通信主要基于地理信息系统,地理信息系统是专业的空间数据管理系统,其技术可以应用于勘探、测绘和路线规划。

(2) 空间部分 GPS 的空间部分由 24 颗工作卫星组成一个 GPS 卫星组,其中 21 颗是

导航卫星, 3 颗是活动卫星。24 颗卫星以 55° 的轨道倾角绕地球运行。卫星的运行周期约为 12 个小时。每个工作卫星发射导航和定位信号, 用户可以使用这些信号来实现导航。

(3) 用户设备部分 用户设备部分包括卫星导航接收器和卫星天线。它的主要功能是根据一定的卫星截止角捕获被测卫星, 并跟踪这些卫星的运行情况。当接收机捕获被跟踪的卫星信号时, 可以测量接收天线对卫星伪距和距离的变化率, 并解调卫星轨道参数等数据, 基于这些数据, 接收器中的微处理器可以根据定位解算方法进行定位计算, 并计算用户地理位置的纬度、经度、高度、速度、时间等信息。

3. 北斗卫星定位导航系统组成

北斗卫星定位导航系统 (BDS) 是中国自行研制的全球卫星定位导航系统, 北斗卫星定位导航系统 (简称北斗系统) 服务区为中国及周边国家, 已广泛应用于船舶运输、公路运输、铁路运输、海上作业、渔业生产、水文预报、森林防火、环境监测等行业, 以及军事、公安、海关等有特殊指挥调度要求的单位。北斗卫星定位导航系统覆盖范围为东经 $70^\circ \sim 140^\circ$, 北纬 $5^\circ \sim 55^\circ$, 在地球赤道面上配备了两颗地球同步卫星, 赤道角约为 60° 。

与其他卫星定位导航系统相比, 北斗系统有以下特点: 首先, 系统空间段采用三种轨道卫星组成的混合星座, 与其他卫星定位导航系统相比, 高轨卫星更多, 抗遮挡能力强, 尤其低纬度地区性能特点更为明显; 第二, 北斗系统提供多个频点的导航信号, 能够通过多频信号组合使用等方式提高服务精度; 第三, 北斗系统创新融合了导航与通信能力, 具有实时导航、快速定位、精确授时、位置报告和短报文通信服务五大功能。北斗系统用户终端系统最多可容纳 54 万/小时的用户, 具有双向消息通信功能, 用户可一次发送 40 ~ 60 个汉字的短消息信息。北斗系统具有精确的定时功能, 可以为用户提供 20 ~ 100ns 的时间同步精度。

北斗系统与 GPS 类似, 也由空间段、地面段和用户段三部分组成, 具体构成为:

(1) 空间段 北斗系统空间段由 35 颗卫星组成, 其中地球静止轨道卫星 5 颗、中地轨道卫星 27 颗、倾斜同步轨道卫星 3 颗。五颗地球静止轨道卫星的固定位置为东经 58.75° 、 80° 、 110.5° 、 140° 和 160° 。中地轨道卫星运行在三个轨道面上, 轨道面均匀分布 120° 。

(2) 地面段 北斗系统地面段由主控站、注入站和监测站组成。主控站用于系统运行管理和控制, 接收来自监测站的数据, 并对其进行处理, 生成卫星导航信息和差分完整性信息, 然后将信息传送到注入站进行发送。注入站用于向卫星发送信号、控制和管理卫星, 在接收到主站调度后, 向卫星发送卫星导航信息和差分完整性信息。监测站用于接收卫星信号并将其发送到主控站进行卫星监测, 以确定卫星轨道, 并为时间同步提供观测。

(3) 用户段 用户段包括北斗用户终端和与其他卫星导航系统兼容的终端。接收器需

要捕捉和跟踪卫星的信号,并根据数据以一定的方式进行定位计算,最终获得用户的纬度、经度、海拔、速度、时间等信息。北斗系统可以为全世界各种用户提供全天候、高精度、高可靠性的定位、导航和定时服务,具有短消息通信能力,最初提供了区域导航、定位和定时功能,定位精度为10m,测速精度为0.2m/s,定时精度为10ns。

4. 全球导航卫星系统定位原理

全球导航卫星系统定位原理是利用卫星作为参考点,即在卫星位置已知的前提下,用户接收卫星信号并计算到卫星的距离,在地面上进行三角交叉测量,从而计算接收器的位置。定位方法是测量未知点与已知位置卫星之间的瞬时距离,主要有虚拟距离观测和载波相位观测两种测量方法。

由于载波相位观测的精度远高于虚拟距离观测,因此载波相位观测主要用于高精度测量。无论是虚拟距离观测还是采用码观测的载波相位观测,观测的都是卫星到接收器的距离。

计算过程依据三球交叉定位的原理,如图4-12所示。只要同时观测三颗卫星,获得三个空间距离,并根据每颗卫星的广播星历计算出每颗卫星的空间位置,就可以将接收器所在位置计算出来。

5. 卫星定位与惯性导航的融合

全球导航卫星系统是应用最广泛的定位系统,它使用方便,成本低,定位精度可达到5m。然而,全球导航卫星系统的应用也面临着易受干扰、动态环境可靠性差、数据输出频率低、高层建筑卫星信号闭塞等问题。如果将卫星定位导航和惯性导航系统结合起来,两个导航系统可以相互补充,形成一个有机的整体。

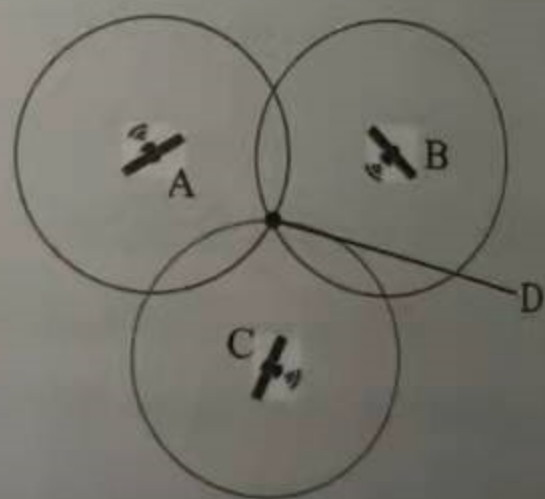


图4-12 三球交叉定位的原理