



视频

第 3 章

位置感知

位置感知主要解决“在哪儿”的问题。随着对卫星定位和导航技术研究的不断深入,人们对基于位置的服务(Location Based Service,LBS)已不再陌生,使用最广泛的 LBS 应用就是基于全球定位系统(Global Positioning System,GPS)的定位和导航服务。近年来,无线通信技术、互联网技术及微电子技术的飞速发展使得智能手机、平板电脑等移动智能终端得到了普及,基于 LBS 的应用也呈现出多样化发展的趋势。

定位技术可以分为室外定位技术和室内定位技术两种。在室外环境下,全球定位系统、北斗定位系统(BDS)等全球导航卫星系统(GNSS)为用户提供精确的位置服务,基本解决了在室外空间中进行准确定位的问题,并在日常生活中得到了广泛的应用。然而,在占人类日常生活时间 80% 的室内环境中,受到建筑物的遮挡和多径效应的影响,GNSS 定位精度急剧降低,无法满足室内位置服务需要,因此室内定位主要采用 Wi-Fi、蓝牙、UWB 等技术。

3.1 室外定位技术

3.1.1 GPS 定位

全球定位系统(GPS)是一个中距离圆形轨道卫星导航系统,可以为地球表面绝大部分地区提供准确的定位、测速和高精度的时间标准。GPS 系统由美国国防部研制和维护,可满足位于全球任何地方或近地空间的用户连续精确地确定三维位置、三维运动和时间的需要。该系统包括太空中的 24 颗 GPS 卫星,地面上的 1 个主控站、4 个注入站和 6 个监测站及作为用户端的 GPS 接收机。对于 GPS 接收机,最少只需接收到 3 颗卫星的信号就能迅速确定用户端在地球上所处的经度、纬度等位置信息以及海拔,所能接收到的卫星数越多,解算出来的位置就越精确。

导航卫星发射测距信号和导航电文,导航电文中含有卫星的位置信息。用户接收机在某一时刻同时接收 3 颗以上卫星信号,测量出用户接收机至 3 颗卫星的距离,通过星历解算

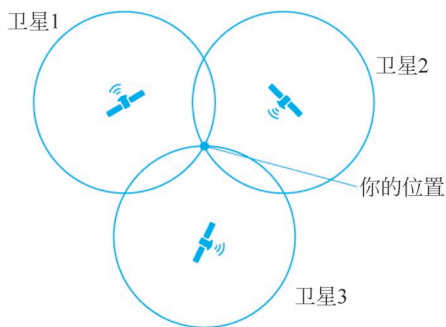


图 3-1 卫星导航的“三球交汇”原理

出的卫星的空间坐标,利用距离交汇法就解算出用户接收机的位置,如图 3-1 所示。目前,国际上四大全球卫星导航系统,美国的 GPS、我国的北斗系统、俄罗斯的 GLONASS 和欧洲的 Galileo 的定位原理是相同的,都是采用这种“三球交汇”的几何原理实现定位。

GPS 信号分为民用的标准定位服务(Standard Positioning Service,SPS)和军规的精确定位服务(Precise Positioning Service,PPS)两类。SPS 无须

任何授权即可任意使用,美国因为担心敌对国家或组织利用 GPS 对美国发动攻击,故在民用信号中人为地加入选择性误差[即 SA(Selective Availability 选择可用性)政策]以降低其精确度,使其最终定位精确度约为 100m,而军规的精度在 10m 以内。2000 年以后,美国政府决定取消对民用信号的干扰,因此现在民用 GPS 也可以达到 10m 左右的定位精度。

GPS 是最成功的卫星定位系统,被誉为人类定位技术的一个里程碑,系统具有以下特点:

(1) 全球、全天候连续不断的导航定位能力。GPS 系统能为全球任何地点或近地空间的各类用户提供连续的、全天候的导航定位能力,用户终端不用发射任何信号,因而能满足多用户使用需求。

(2) 实时导航、定位精度高、观测时间短。利用 GPS 定位时,在 1s 内可以取得几次位置数据,这种近乎实时的导航能力对于高动态用户具有很大的意义,同时能为用户提供连续的三维位置、三维速度和精确的时间信息。利用 C/A 码的实时定位精度可达 20~50m,速度精度为 0.1m/s,利用特殊处理可达 0.005m/s,相对定位精度可达毫米级。

(3) 测站无需通视。GPS 测量只要求测站上空开阔,不要求测站之间互相通视。由于无需点间通视,点位位置根据需要可疏可密,这就使得选点工作变得非常灵活。

(4) 可提供全球统一的三维地心坐标。GPS 测量可同时精确测定测站平面位置和大地高程,GPS 定位是在全球统一的 WGS-84 坐标系统中计算的,因此全球不同地点的测量成果是相互关联的。

(5) 仪器操作简便。随着 GPS 接收机的不断改进,GPS 测量的自动化程度越来越高。

(6) 抗干扰能力强、保密性好。GPS 采用扩频技术和伪码技术,用户只需接收 GPS 信号,自身不会发射信号,从而不会受到外界其他信号源的干扰。

(7) 功能多、应用广泛。GPS 是军、民两用系统,其应用范围十分广泛,例如,汽车导航和交通管理、巡线车辆管理、道路工程、个人定位以及导航仪等。

GPS 系统主要由空间部分、地面监控部分和用户部分组成,如图 3-2 所示。

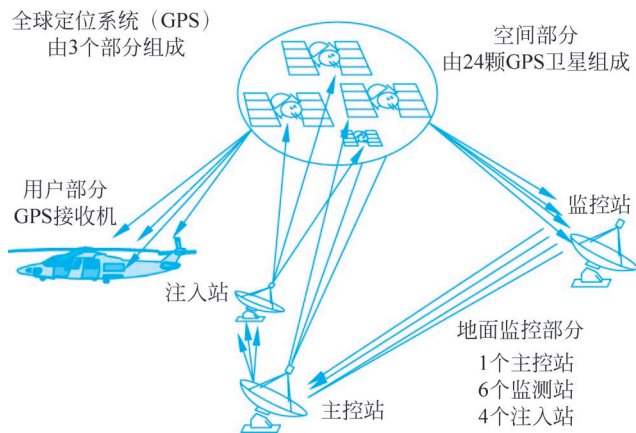


图 3-2 GPS 系统组成

空间部分即 GPS 卫星星座,由 24 颗卫星组成,其中 21 颗为工作卫星,3 颗为备用卫星。24 颗卫星均匀分布在 6 个轨道平面上,即每个轨道面上有 4 颗卫星。卫星轨道面相对于地球赤道面的轨道倾角为 55° ,各轨道平面的升交点的赤经相差 60° ,一个轨道平面上的卫星比西边相邻轨道平面上的相应卫星升交角距超前 30° 。这种布局的目的是保证在全球

任何地点、任何时刻至少可以观测到 4 颗卫星。2011 年后,美国空军成功扩展 GPS 卫星星座,先后调整多颗卫星的位置,并增加发射了几颗卫星。目前,GPS 星座中有 32 颗卫星,其中 27 颗在同一时间内使用,其余的作为备用卫星。增加的卫星通过提供冗余测量改善了 GPS 接收机计算的精度。随着卫星数量的增加,星座的排列也变得不均匀。实验证明,相对于均匀系统,这种排列不仅提高了精度,还在多颗卫星故障时提高了系统的可靠性和可用性。通过扩展星座,在地球上任何地点的可见地平线上通常能看到 9 颗卫星,确保相比于定位所需的最低 4 颗卫星,有相当的冗余。

由 GPS 系统的工作原理可知,星载时钟的精确度越高,其定位精度也越高。早期试验型卫星采用由约翰斯·霍普金斯大学研制的石英振荡器,相对频率稳定度为 $10^{-11}/s$ 。误差为 14m。1974 年以后,GPS 卫星采用铷原子钟,相对频率稳定度达到 $10^{-12}/s$,误差为 8m。1977 年,BOKCK II 型卫星采用了马斯频率和时间系统公司研制的铯原子钟后相对稳定频率达到 $10^{-13}/s$,误差则降为 2.9m。1981 年,休斯公司研制的相对稳定频率为 $10^{-14}/s$ 的氢原子钟使 BLOCK IIR 型卫星误差仅为 1m。

地面监控部分主要由 1 个主控站(Master Control Station,MCS)、4 个注入站(Ground Antenna Station)和 6 个监测站(Monitor Station)组成。主控站位于美国科罗拉多州的谢里佛尔空军基地,是整个地面监控系统的管理中心和技术中心。另外还有一个位于马里兰州盖茨堡的备用主控站,可在发生紧急情况时启用。注入站目前有 4 个,分别位于南太平洋马绍尔群岛的夸贾林环礁、大西洋上英国属地阿森松岛、英属印度洋领地的迪戈加西亚岛和位于美国本土科罗拉多州的科罗拉多斯普林斯。注入站的作用是把主控站计算得到的卫星星历、导航电文等信息注入相应的卫星。注入站同时也是监测站,另外还有位于夏威夷和卡纳维拉尔角的 2 处监测站,故监测站目前有 6 个。监测站的主要作用是采集 GPS 卫星数据和当地的环境数据,然后发送给主控站。

用户部分即用户设备,主要为各种形态的 GPS 接收机,如手持式、车载式、机载式等,用户设备的主要作用是从 GPS 卫星收到信号并利用传来的信息计算用户的三维位置及时间。

3.1.2 GLONASS 定位

GLONASS(Global Navigation Satellite System)是俄罗斯研制的卫星导航系统,该系统最早开发于苏联时期,后由俄罗斯继续该计划。

与 GPS 系统类似,GLONASS 由空间卫星系统(即空间部分)、地面监测与控制子系统(即地面控制部分)、用户设备(即用户部分)3 个基本部分组成。

空间卫星系统由 24 颗卫星组成,原理和方案与 GPS 类似,如图 3-3 所示。24 颗卫星分布在 3 个轨道平面上,这 3 个轨道平面两两相隔 120° ,同平面内的卫星之间相隔 45° 。每颗卫星都在 19 100km 高、 64.8° 倾角的轨道上运行,轨道周期为 11 小时 15 分钟。

地面监测与控制子系统全部都在俄罗斯领土境内,系统控制中心和中央同步处理器位于莫斯科,遥测遥控站位于圣彼得堡、捷尔诺波尔、埃尼谢斯克和共青城。

用户设备能接收卫星发射的导航信号,并测量其伪距和伪距变化率,同时从卫星信号中提取并处理导航电文。接收机处理器对上述数据进行处理并计算出用户所在的位置、速度和时间信息。

GLONASS 系统提供军用和民用两种服务,GLONASS 系统绝对定位精度水平方向为 16m,垂直方向为 25m。GLONASS 技术可为全球海陆空以及近地空间的各種軍、民用戶全

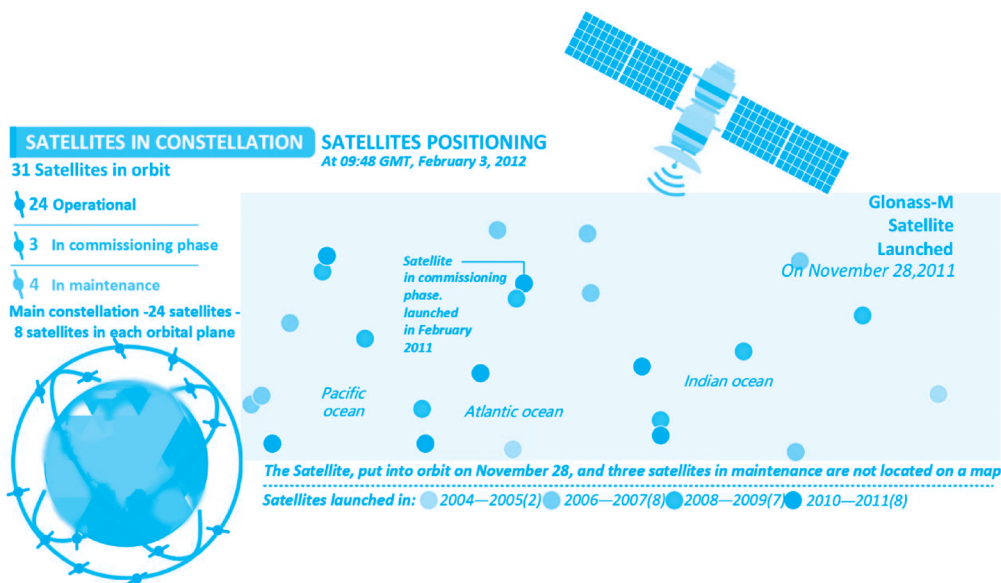


图 3-3 GLONASS 系统卫星分布

全天候、连续地提供高精度的三维位置、三维速度和时间信息。GLONASS 在定位、测速及定时精度上则优于施加选择可用性(SA)之后的 GPS。

3.1.3 北斗定位

北斗卫星导航系统(Beidou Navigation Satellite System, BDS)是中国自行研制的全球卫星导航系统,也是继 GPS、GLONASS 之后的第三个成熟的卫星导航系统。北斗卫星导航系统和美国 GPS、俄罗斯 GLONASS、欧盟 GALILEO 是联合国卫星导航委员会已认定的供应商。全球范围内已经有 100 多个国家与北斗卫星导航系统签下了合作协议。随着全球组网的成功,北斗卫星导航系统未来的国际应用空间将会不断扩展。

和其他导航系统类似,北斗卫星导航系统由空间段、地面段和用户段 3 部分组成,可在全球范围内全天候、全天时为各类用户提供高精度、高可靠定位、导航、授时服务,并且具备短报文通信能力,已经具备区域导航、定位和授时能力,定位精度为分米、厘米级别,测速精度 0.2m/s,授时精度 10ns。

空间段由若干地球静止轨道卫星、倾斜地球同步轨道卫星和中圆地球轨道卫星组成,如图 3-4 所示^①。“北斗二号”包括 14 颗组网卫星和 6 颗备份卫星,“北斗三号”包括 30 颗组网卫星和 5 颗试验卫星。北斗系统采用混合的异构星座部署,“北斗三号”系统由 24 颗中圆地球轨道卫星、3 颗地球静止轨道卫星和 3 颗倾斜地球同步轨道卫星共 30 颗卫星组成。北斗独创的混合星座设计,既能实现全球覆盖、全球服务,又可为亚太大部分地区用户提供更高性能的定位导航授时服务。亚太大部分地区,每时可见 12~16 颗卫星,全球其他地区每时可见 4~6 颗卫星,卫星可见性和几何构型较好。

地面段包括主控站、时间同步/注入站和监测站等若干地面站,以及星间链路运行管理设施。主控站用于系统运行管理与控制等。主控站从监测站接收数据并进行处理,生成卫星导航电文和差分完好性信息,而后交由注入站执行信息的发送。同时,主控站还负责管

^① 实际发射的卫星数比计划的多。

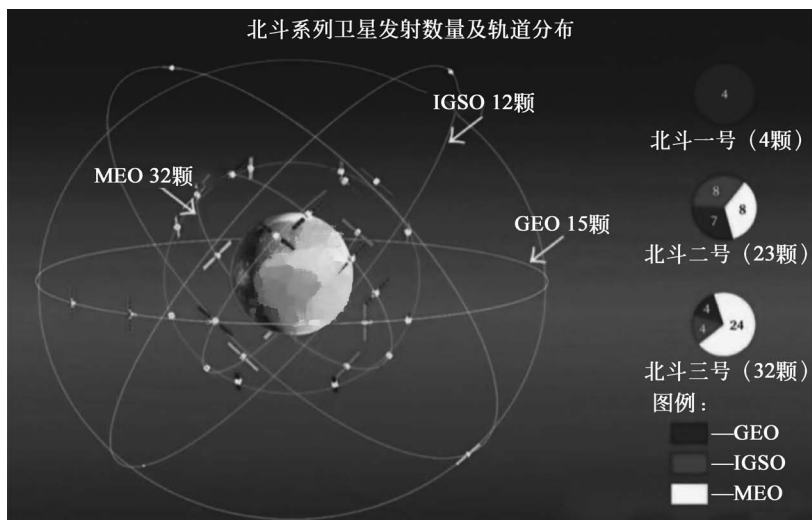


图 3-4 北斗卫星导航系统星座

理、协调整个地面控制系统的工作。注入站用于向卫星发送信号,对卫星进行控制管理,在接受主控站的调度后,将卫星导航电文和差分完好性信息发送给卫星。监测站用于接收卫星的信号,并发送给主控站,实现对卫星的跟踪、监测,为卫星轨道确定和时间同步提供观测资料。

用户段即用户的终端,既可以是专用于北斗卫星导航系统的信号接收机,也可以是同时兼容其他卫星导航系统的接收机。接收机需要捕获并跟踪卫星的信号,即可测量出接收天线至卫星的伪距离和距离的变化率,解调出卫星轨道参数等数据。接收机中的微处理计算机根据这些数据按一定的方式进行定位计算,最终得到用户的经纬度、高度、速度、时间等信息。北斗卫星导航系统采用卫星无线电测定(RDSS)与卫星无线电导航(RNSS)集成体制,既能像其他导航系统一样为用户提供卫星无线电导航服务,又具备位置报告及短报文通信功能。

卫星信号接收机有各种类型,有用于航天、航空、航海的机载导航型接收机,也有用于测定定位的测量型接收机,还有普通大众使用的车载、手持型接收机。接收设备也可嵌入其他设备中构成组合型导航定位设备,如导航手机、导航相机等。

北斗系统增强系统包括地基增强系统与星基增强系统。北斗地基增强系统是北斗卫星导航系统的重要组成部分,按照“统一规划、统一标准、共建共享”的原则,整合国内地基增强资源,建立以北斗为主、兼容其他卫星导航系统的高精度卫星导航服务体系。利用北斗/GNSS高精度接收机,通过地面基准站网,利用卫星、移动通信、数字广播等播发手段,在服务区域内提供1~2m、分米级和厘米级实时高精度导航定位服务。北斗星基增强系统是北斗卫星导航系统的重要组成部分,通过地球静止轨道卫星搭载卫星导航增强信号转发器,可以向用户播发星历误差、卫星钟差、电离层延迟等多种修正信息,实现对于原有卫星导航系统定位精度的改进。按照国际民航标准,开展北斗星基增强系统设计、试验与建设。已完成系统实施方案论证,固化了系统下一代双频多星座(DFMC)SBAS标准中的技术状态,进一步巩固了BDSBAS作为星基增强服务供应商的地位。

北斗系统具有以下特点:一是北斗系统在空间段采用3种轨道卫星组成的混合星座,与其他卫星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；二是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；三是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。

3.1.4 基站定位

随着移动通信技术的发展，人们在全球范围内建立了大量的通信基站，利用通信基站作为无线定位基站成为移动通信网络提供 LBS 业务的新途径，使得移动通信终端也具备了定位功能，并进一步降低了移动定位的成本，增强了移动通信功能的实用性。

移动通信基站定位从定位计算的原理上大致可以分为 3 种类型，即基于三角关系和运算的定位技术、基于场景分析的定位技术和基于邻近关系的定位技术。

1. 基于三角关系和运算的定位技术

基于三角关系和运算的定位根据测量得出的数据，利用几何三角关系计算被测物体的位置，它是最主要也是应用最为广泛的一种定位技术。基于三角关系和运算的定位技术可以细分为基于距离测量的定位技术和基于角度测量的定位技术。

1) 基于距离测量的定位技术

基于距离测量的定位首先需要测量参考点与被测对象之间的距离，然后利用三角定位原理计算被测物体的位置。距离测量的方法包括直接通过物理移动来测量参考点与被测物体之间的距离、测量参考点与被测物体之间的无线电波传播时间，以及测量无线电波能量从参考点到被测物体之间的衰减。

2) 基于角度测量的定位技术

基于角度测量的定位技术与基于距离测量的定位技术在原理上是相似的，两者主要的不同在于前者测量的被测对象与参考点的角度，而后者测量的是距离。一般来说，如果要计算被测物体的平面位置，则需要测量两个角度和一个距离。

2. 基于场景分析的定位技术

基于场景分析的定位技术对定位的特定环境进行抽象和形式化，用一些具体的、量化的参数描述定位环境中的各个位置，并用一个数据库把这些信息集成在一起。观察者根据待定位物体所在位置的特征查询数据库，并根据特定的匹配规则确定物体的位置。由此可以看出，这种定位技术的核心是位置特征数据库和匹配规则，它本质上是一种模式识别方法。

3. 基于邻近关系的定位技术

基于邻近关系的定位技术基于邻近关系进行定位，即根据待定位物体与一个或多个已知位置的邻近关系来定位。在基站定位中，常用的定位方法包括场强定位、蜂窝小区定位、到达角定位等。

1) 场强定位法

这种方法主要是利用移动目标靠近或远离基站时所带来的信号衰减变化来估计移动目标的方位。如果移动目标发出的信号功率已知，那么在另一点测量信号功率时，就可以利用一定的传播模型估计出移动目标与该点的距离。

场强定位法的理论依据是无线信号的大尺度传播模型。在大尺度传播模型中，如果基站采用全向天线，则基站信号功率的衰减为信号传播距离的函数。因此，根据基站发射功率和移动目标接收功率，便可计算出信号的传播距离，移动目标则位于以基站为圆心，两者

距离为半径的圆上。对不在同一直线上的3个基站进行测量,由此确定的3个圆的交点即为移动目标的位置。

2) 蜂窝小区定位

获取移动目标当前所在小区的ID从而得到其位置信息,是最简单的一种定位方法,也是当今无线网络中广泛采用的定位技术。另外,它也能基于位置的计费和信息需求提供服务。由于小区是任何无线蜂窝系统的固有特性,因此只需对当前系统作很少改动就可适用这种技术。蜂窝小区定位技术可以发展为基于网络或基于移动目标的实现方式。前者由网络获取移动目标所处于小区的ID,无须对移动目标作任何改动,但只能在移动目标处于激活态下才能进行定位。后者需要在每个小区广播本小区基站的地理坐标,移动目标根据所在小区的广播信息,获知自己的位置信息。

3) 到达角定位

信号到达角(Angle Of Arrival, AOA)定位技术最初由军方和政府机构共同研发,后来被运用到模拟无线通信中。由于数字移动通信具有信号短和信道共享的特点,因此该技术很难成功用于数字系统。该技术的一般版本称为“小缝隙方向寻找”。它需要在每个蜂窝小区的基站放置4~12组天线阵列,这些天线阵列共同工作,由此确定移动设备发送信号相对基站的角度。当有不少于两个基站都发现了该信号源的角度时,分别从这些基站的角度引出射线,这些射线的交点就是移动目标的位置。信号到达角定位技术是由两个或更多基站通过测量接收信号的到达角来估计移动用户的位置。接收机通过天线阵列测出电波的入射角,从而构成一根从接收机到发射机的径向连线,即方位线。基站利用接收机天线阵列测出接收到的移动终端发射电波的入射角(信号的方向),构成从接收机(基站)到移动终端的径向连线,即方位线。两根连线的交点即为移动终端的位置。两个基站的到达角测量就能确定目标移动终端的位置。利用两个或两个以上接收机提供的到达角测量值,按到达角定位算法确定多条方位线的交点,即为待定位移动终端的估计位置。

4) 到达时间定位

信号到达时间(Time Of Arrival, TOA)定位技术与场强定位技术的定位原理相类似,也是首先获得移动目标到3个基站的距离,根据由此确定的3个圆的交点确定移动目标的位置。不同之处在于TOA技术中测量的是移动目标上行信号到达基站的传播时间。由于电波的传播速率是已知的,将传播时间与速率相乘即可直接计算出移动目标与基站的间距。为了精确地测量信号的传播时间,TOA技术要求移动目标和基站的时间精确同步。信号到达时间定位方法是通过测量移动终端发出的定位信号(上行链路信号)到达多个基站的传播时间来确定移动终端的位置,该方法至少需要3个基站。发射的信号在自由空间中的传播速度为光速,当一个基站检测到一个信号时可以确定其绝对的到达时间。如果同时知道移动终端发射信号的时间,则这两个信号的时间差可以用来估计信号从移动终端到基站经历的时间。经过3次(二维空间)或4次(三维空间)测量即可确定目标的位置。

5) 数据库定位

相关数据库定位(DCM)技术是一种通用技术,可以用于任何无线蜂窝网络中。它一般不能支持现有的移动目标,其最终性能在很大程度上取决于匹配算法的优劣和位置服务器的计算和存储能力,建立信号指纹数据库并对其进行持续的扩充和维护,是提高定位系统性能必不可少的开销。相关数据库定位技术的基本原理是:建立一个位置信息相关数据库,存储定位系统覆盖范围内每个位置所观察到无线信号的特征信息;当需要定位时,移动

目标测量周围环境的无线信号信息并把测量结果发送到位置服务器；位置服务器将测量结果与数据库中内容进行比较匹配，与测量结果一致的信号特征信息所对应的位置区域就是移动目标当前的位置。针对不同的通信系统，信号特征信息（或称信号指纹）可以包含信号强度、信号延时和信道脉冲响应，以及其他任何移动目标可观测的与位置相关的无线信号信息（如 GPS 卫星信号）。

3.2 室内定位技术

3.2.1 Wi-Fi 定位技术

基于 IEEE 802.11 标准的 WLAN，通常称为 Wi-Fi，WLAN 工作在不同的频段上，其中工业、科学和医学（Industrial Science and Medical, ISM）频段（2.4GHz 和 5GHz）正是需要关注的 Wi-Fi 定位的频段。如今，大部分的移动设备包括智能手机、智能手表以及笔记本电脑都基本内嵌了 Wi-Fi 模块，使得 Wi-Fi 广泛应用于室内定位和导航。Wi-Fi 定位系统通常包含移动终端（智能手机、智能手表等）、多个访问节点组成的无线局域网、定位服务器以及定位管理系统，如图 3-5 所示。

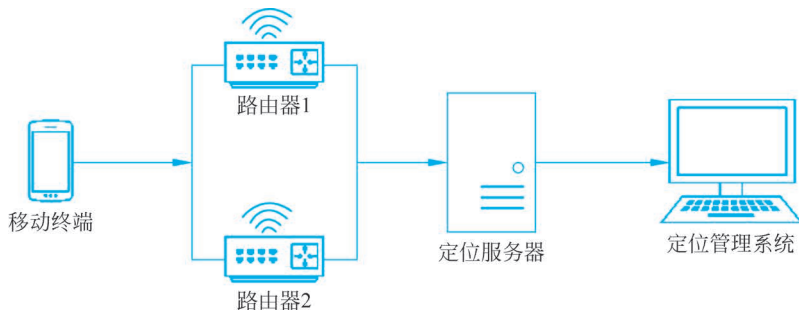


图 3-5 Wi-Fi 定位系统的组成

在室内具有无线局域网覆盖的地方，当室内的人员或者物品携带的移动终端向外连续发射信号时，访问节点就会接收到移动终端发送来的信号，然后将信号传输给定位服务器，定位服务器分析接收到的信息给出移动终端的位置信息，最后由定位管理系统对数据进行实时分析处理，通过界面显示给监控人员提供移动终端的实时位置或者移动轨迹。

在室内定位中，Wi-Fi 技术得到了广泛的运用。一方面，Wi-Fi 普及率高，方便部署，普通的智能手机就可以作为一个简单的 Wi-Fi 模块；另一方面，Wi-Fi 信号捕获方式简便，利用手机就可以获取到 Wi-Fi 对象信息，与此同时还可以获得到该 Wi-Fi 对象的 RSSI 信息，方便采集，基于 Wi-Fi 的室内定位方案通常不需要额外的基础设施。基于上述优势，基于 Wi-Fi 的室内定位技术成为主流的室内定位解决方案。

3.2.2 蓝牙定位技术

蓝牙是无线个人局域网协议的一种，是 2.4GHz 频段的典型射频信号，其设备和信号的特点包括安全、低成本、低功耗和小尺寸等，可以满足 5~10m 范围内的设备间通信这一最初的设计目标。随着其优势的逐渐显现，大部分电子设备均支持这一协议，关于将其应用于定位的研究也越来越多。

在早期的协议版本中，并不支持直接获取接收信号强度指标（Received Signal Strength Indicator, RSSI）等特征量，基于蓝牙信号的定位系统采用了 CoO（Cell of Origin）方法，即

按可接收到信号的基站位置进行定位。得益于蓝牙的短距特性,该系统的定位精度号称可达到 10~20m,也即基站设备可以覆盖的被搜索范围。

随着协议的发展,RSSI 可方便地获取并上报这一与距离高度相关的观测量,引起了广泛的关注和研究。有的系统直接利用其距离测量再结合多边交汇等原理进行定位,有一些则直接应用了指纹方法,还有一些将神经网络、机器学习相关技术应用其中。在基本定位功能实现的基础上,也有研究致力于优化这些设备的布设密度等。现行商业化较成功的信标(beacon)系统实际是在蓝牙协议之上,封装了一套针对定位应用的上层协议,例如,苹果公司定义的 iBeacon 协议和开源的 Eddystone 等,其将设备信息等封装于广播包中,但本质上仍然多是基于本地评估的 RSSI 进行定位。尽管针对蓝牙 RSSI 定位的问题,许多研究人员进行了特别的、创新性的探索,例如,除了用于距离测量之外,也有一些研究将 RSSI 的特征用于角度测量。但由于多径、遮挡以及信号吸收等各方面电磁信号传播过程的影响,信号强度在实际使用中仍然面临着不稳定这一问题。这是因为接收端评估的信号强度值为所有传播过程总的表现形态,基于 RSSI 的系统实际上很难获得与环境直接相关的本质特征量,以致几乎无法在实际环境中达到稳定的高精度性能,例如,一些同样使用 RSSI 来定位的 Wi-Fi 系统也面临着同样的难题。对于这种问题,通常需要采用更复杂的手段或基于特别的协议,例如,在 Wi-Fi 领域出现了 FTM 协议,以及利用 CSI 等更接近于信号传播本质的观测量用于定位方面的研究。近年来也出现了一些关于基于时间测量的研究,但其在精度方面比 RSSI 而言没有显著提升。究其原因,由于蓝牙不像 UWB 等信号那样拥有极高带宽而存在分辨率的优势,因此很难用于实时的精确时间测量。尽管时间测量的方法同样也会受环境影响,但其影响在一定程度上是可分析的,例如,遮挡导致时间测量通常只是变长,多径效应导致的角度观测可能变为多个,等等。率先成熟地将商业蓝牙设备用于高精度室内定位的是芬兰 Quuppa 公司的系统,该系统采用了精心设计的天线阵列,可兼容手机等设备。由于设计和安装等各方面的原因,尽管其定位精度高,但系统建设成本也高,同时也很难公开查证其工作原理。

蓝牙定位可以分为终端侧定位法和网络侧定位法。终端侧定位可以在移动终端上实时看到自己的位置信息,即移动终端可以自行处理自身的位置信息并实时更新具体位置,其主要应用于室内人员的导航。网络侧定位与其他的几种定位技术相似,需要定位服务器对标签的位置信息进行分析处理,然后才能获得标签的具体位置信息,网络侧定位更适合对室内的人员或物品进行定位。无论是终端侧定位还是网络侧定位,采用的都是基于 RSSI 定位法的定位技术,这种方法在室内环境中会受到很大影响,因此定位精度较差。

蓝牙 5.1 标准的提出,使得蓝牙定位技术获得了更多的定位方法,其包含了全新的测向

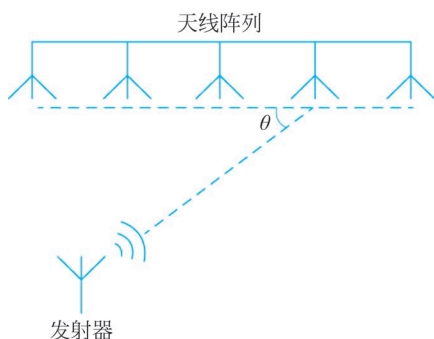


图 3-6 基于信号到达角法的蓝牙测向原理

功能,这个功能可以通过检测标签发射的蓝牙信号相对于基站的方向角进行定位,这极大地提高了室内定位的精度,可提供更好的室内位置服务。基于蓝牙 5.1 标准的室内定位技术包括两种定位方法:一种是信号到达角(AOA)法,另一种是信号出发角(AOD)法。基于信号到达角法的蓝牙测向原理如图 3-6 所示,通过一个单天线的发射器向外发射信号,接收端装置天线阵列,由于信号到达天线阵列上的每个天线存在时延,从而导致产生相位差,

根据相位差计算出信号到天线阵列的方向。

3.2.3 超宽带定位技术

超宽带(Ultra Wide Band, UWB)技术是一种较短距离的无线通信技术,与传统的通信技术不同,传统的通信技术需要使用载波来传输数据,而超宽带技术使用的是纳秒或纳秒级以下的超窄脉冲来传输数据。利用它的特性,超宽带技术也可以应用于室内定位,但与其他室内定位技术不同,超宽带技术并不是基于 RSSI 方法进行定位计算,而是利用无线信号的飞行时间(TOF)来计算。超宽带定位技术有两种定位方法。一种是基于飞行时间(TOF)的方法。基于 TOF 的 UWB 定位系统如图 3-7 所示,系统由多个定位基站和电子标签组成,电子标签和每个基站都会进行至少 3 次的信息交互,通过多次信息交互,各个基站都会获得与电子标签相对应的距离信息,然后根据各个基站所测得的距离,以基站为中心画圆,从而得到各个圆相互的交点,则交点就是电子标签的位置。

另一种是基于到达时间差(TDOA)的方法。基于 TDOA 的 UWB 定位系统如图 3-8 所示,系统同样由多个定位基站和电子标签组成,TDOA 方法分为无线同步和有线同步,为了降低系统的建设成本,一般采用无线同步的形式,基站 1 与其他几个基站必须保持同步,电子标签在基站的覆盖范围内不断发送其位置信息数据包,由于电子标签到达各个基站的距离不同,使得到达的时间也不同,根据标签到达各个基站的时间差画出双曲线,同理可以得到交点处即为标签的位置。

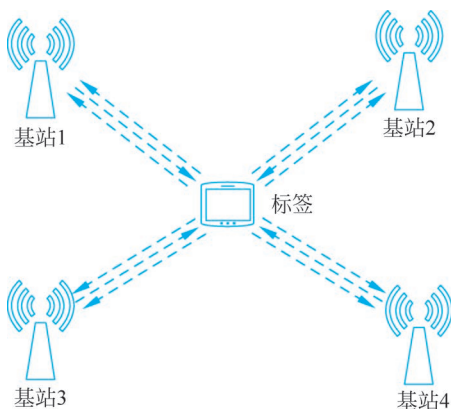


图 3-7 基于 TOF 的 UWB 定位系统

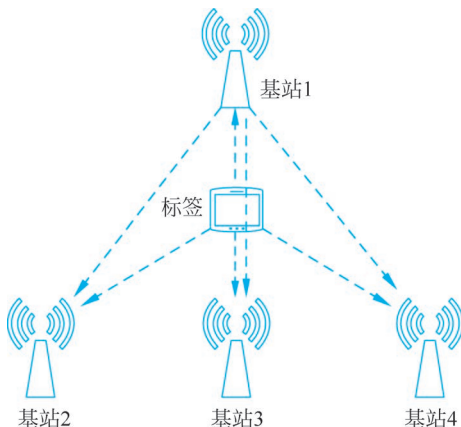


图 3-8 基于 TDOA 的 UWB 定位系统

3.2.4 RFID 定位技术

随着 RFID 技术的飞速发展,许多场景都部署了 RFID 系统对贴有标签的物品进行自动识别。系统可以通过部署的天线能否读取到标签来进行粗粒度定位。然而高精度的位置信息则可为上层提供更丰富的服务,例如,通过精准的定位我们可以找到丢失的钥匙、可以为顾客身旁的商品自动结账、可以随时清点特定货物架上的存货等。

RFID 用于人员、物品的追踪定位,有其特有的优势。RFID 标签本身的成本很低,有源 RFID 标签的成本通常为几十元,无源 RFID 的成本,更是只需要几元钱甚至更低,且标签的体积很小,常见的 RFID 标签,都被制作成一张薄片的形式; RFID 系统的通信效率很高,一个 RFID 读写器,可以在 1 秒的时间内完成上百个标签的读写。因而,对于 RFID 定位系统具有很好的应用前景,特别适用于需要简单地标记对象,但不需要进行大量数据通信的

场合,可以充分发挥其单个节点成本低、读取速度快的优点。

无源 RFID 定位系统可采用无线定位系统中常用的定位算法,大体可归纳为几何定位算法和场景分析算法两类。几何定位算法可简单归纳为距离定位和角度定位;场景分析算法又称为模式匹配算法,是目前比较有效的定位算法。

1) 几何定位算法

几何定位算法需要用到读写器接收到电子标签的信号强度信息(即 RSSI)或者相位信息。根据对数距离路径损耗模型,建立信号传播距离与信号能量的对应关系,以此反映在室内信道传播过程中信号强度随传播距离的变化情况。相位信息是信号的角频率与信号往返时间的乘积。因此可以通过信号相位信息与信号角频率的比值估计信号的往返时间,再与信号的传播速度相乘即可估计信号的传播距离。基于信号强度信息或者相位信息可以进行距离定位或者角度定位。

二维空间定位至少需要测量 3 个读写器与待定位标签之间的距离,三维空间定位则至少需要测量 4 个读写器的相应距离。在距离定位算法中,通过测量每个读写器与待定位标签之间的距离 d ,以读写器为中心,以距离 d 为半径画圆,通过圆相交确定待定位标签的位置。由于在实际测量中很难保证待定位标签与每个读写器之间距离的精确性,因此待定位标签一般会位于多个圆相交的区域内。

角度定位是利用旋转天线或者天线阵列的方式,通过计算待定位目标与读写器之间的方向角度,并利用不同天线方向射线的交点确定待定位目标位置的方法。方向角的获得可通过旋转天线的方式实现,即将天线在监控区域内不断改变方向,将获得信号能量最大的方向定为信号的方向角。另外,基于阵列天线测角的方法也是比较常见的。

2) 场景分析算法

无源 RFID 系统是窄带系统,直接提取视距路径信息是非常困难的,因此,提取出的信号测量信息存在偏移误差,直接应用于定位运算会造成很大误差。在场景分析算法中,信号的测量信息并不直接用于估计距离信息或者角度信息,而根据模式匹配的思想,通过对比待定位目标的测量信息与已知位置的参考节点的测量信息的接近程度,筛选出与待定位目标比较接近的几个参考节点,并利用这几个参考节点的坐标位置估计出待定位目标坐标位置。场景分析算法一般通过匹配信号的能量信息选择参考节点,其具体算法概括来说包括概率方法 k 近邻(k -nearest-neighbor, k NN)方法、神经网络方法、支持向量机、最小 M 顶点多边形方法等。