

# 1. 无线定位概述

位置，位置，位置。——佚名

西方谚语说一个便利店的成功取决于三个因素：位置、位置、还是位置。在中国，军事家用“天时地利人和”将地理信息置于影响战争的三要素之一。位置是人或物体在物理世界中的自然属性，也是生活中人们非常关心的信息，小到“超市在哪里”，大到“拉登在哪里”，都和位置有关。

位置信息有多重要？例子太多了，人们第一个想起的可能是“不教胡马度阴山”的飞将军李广。据《史记》记载，李广死于汉朝与匈奴的决定性战役漠北之战中，但并非死于敌人的弓箭长矛，而是自刎身亡。元狩四年（公元前 119 年），李广任前将军，因迷失道路，未能参战，愤愧自杀。李广的遗言“广结发与匈奴大小七十余战，今幸从大将军出接单于兵，而大将军又徙广部行回远，而又迷失道，岂非天哉！且广年六十余矣，终不能复对刀笔之吏”让王勃感叹“冯唐易老，李广难封”。古往今来许多人分析了“李广难封”的原因，性格、战法、时势等不一而足。我们认为位置信息缺失也是其中一个主要原因。茫茫大漠中行军作战，发现自己以及敌人的位置是赢取战争的先决条件，李广的战法又何尝不受限于当时的定位技术。

定位不一定要通过特殊的定位技术。生活中我们找人、找物、找商场、找饭店都采用了各种朴素的定位方法。通俗来讲，定位就是通过观察测量确定一个物体的位置。这个位置可以是物理世界中的坐标，例如 GPS 提供的以地球为参照系的经纬度坐标；也可以是逻辑位置，例如室内定位中依据建筑内部结构图给出的房间号。采用不同的技术，定位的精度从毫米到千米都有可能，适用于不同的应用场景。

要定位一个物体总少不了对这个物体的观测。“众里寻他千百度，蓦然回首，那人却在灯火阑珊处”，这是以可见光为观测手段的定位；“姑苏城外寒山寺，夜半钟声到客船”，这是以声波为观测手段的定位。无论是可见光还是声波，广义上讲都是无线信号，在此基础上的定位技术都可以归为无线定位。然而以人为主体的眼观耳听毕竟有局限，自上世纪开始，人们开始使用无线电作为信号。最早的应用大都是军事用途，例如雷达定位、卫星定位，依赖于专业人员、专业设备以及保密的技术。

无线定位技术第一次与人们日常生活的亲密接触要归功于 GPS 的普及。GPS 是全球定位系统（Global Positioning System）的简称，已成为目前世界上最常用的卫星导航系统。GPS 计划开始于 1973 年，1989 年正式开始发射 GPS 工作卫星，1994 年第 24 颗工作卫星的发射，标志着 GPS 卫星组网的完成，从此 GPS 正式投入使用，为地球表面绝大部分地区（98%）提供准确的定位。2000 年 5 月 1 日，美国总统克林顿命令取消 GPS 系统在民用上的诸多限制，从此民用 GPS 信号可以达到几米到十几米的精度，大大拓展了 GPS 的可用性。十几年来，GPS 已成为室外定位的龙头老大，从轮船汽车到手机手表，都可以配备上 GPS 定位模块，完成定位和导航的功能。GPS 定位的基本原理很简单，首先测量接收机与多个 GPS 卫星之间的距离，然后通过三点定位方式确定接收机的位置。与 GPS 类似的系统还包括俄罗斯的 GLONASS 全球卫星导航系统、我国的北斗一号区域性卫星导航系统、以及欧盟的伽利略定位系统。我国目前正在建设自主研发的北斗二号全球卫星导航系统，届时将可提供全球范围的信号覆盖。

GPS 是室外定位的龙头老大，但到了室内就力不从心了。由于建筑物对卫星信号的遮蔽，GPS 终端在室内或者建筑物密集的室外很难搜索的卫星信号，同样的道理，森林和地下环境也是 GPS 的软肋。在这种情况下，定位技术由室外扩展到室内的接力棒就交给了以 WiFi 定位为代表的室内定位技术。WiFi 定位的流行完全可以归功于 WiFi 作为无线接入技术的流行。WiFi 网络

基础设施和终端的普及使得 WiFi 定位变得十分方便且成本低廉。主流的 WiFi 定位技术是基于信号指纹的，其过程分为训练和运行两个阶段。在训练阶段，工程师现场勘测室内区域内每个位置的无线信号指纹（通常表示为该位置可侦测到的多个网络接入点的信号强度所构成的向量），这些指纹及其相应的位置最终形成由二元组<指纹，位置>构成的指纹数据库，供下一步查询使用。在运行阶段，用户将其所在位置的指纹作为关键字查询指纹数据库，定位系统根据特定算法将指纹数据库中最匹配的指纹所对应的位置作为用户的定位结果。当然，用户的历史位置和运动信息能进一步提高定位精度。WiFi 定位可以实现房间级别（或米级）的精度，可用于人员、资产的定位和管理，例如医生在哪个病房，打印机在会议室的哪个角落。如果需要更高精度的定位，例如厘米级的精度，单纯凭借 WiFi 指纹就不够了。

随着无线定位技术的普及，“基于位置的服务”（Location Based Service，简称 LBS）正向我们展现出广阔的市场前景。广义上说，位置信息不只是空间信息，应该包括所处的地理位置、处在该地理位置的时间、处在该地理位置的对象（人，或设备）。也就是说，位置信息承载了“时间”、“空间”、“人物”三大关键信息。利用这些信息，我们不仅可以“因地制宜”，提供所在地附近的相关服务，还可以根据时间“见机行事”，提供时效性更佳的服务，更可以“因人而异”，提供个性化的定制服务。什么时候提供什么样的服务取决于用户的位置，到了饭馆周围提供当日特价菜，到了电影院周围提供影讯，到了教学楼提供附近教室课程信息等等，这些信息不仅避免了广告的盲目性，反而给用户贴心的感觉。LBS 广告利用位置信息将线上流量导入到线下商店，成为未来具有竞争优势的广告投放模式，最热门的行业是餐饮类，也包括快消零售类、金融银行类、汽车类、日化类等其他行业。值得注意的是，定位技术也是把双刃剑，位置信息丰富的内涵使得越高精度的定位技术就越让我们置身于更大的安全风险之中。不法分子可以利用我们的位置信息，推测出各种各样关于我们个人的隐私信息。如何在使用 LBS 的同时做好位置隐私保护的工作是 LBS 面临的重要挑战。

无论是 WiFi 还是 GPS，其网络结构都是单跳的，终端设备（GPS 中是接收机、WiFi 中是无线网卡）直接与基站通信（GPS 中是卫星、WiFi 中是接入点），形成以基站为中心的星形网络。随着以传感网、物联网为代表的无线自组织网络技术的发展，定位技术也相应地从基站定位（单跳定位）升级为网络定位（多跳定位）的方式：网络中少量节点（一般称为信标节点或者锚节点）通过手工设置或 GPS 拥有全局位置信息，其余大量节点先获取与邻居节点的相对位置关系，再通过无线网络交换数据相互配合进而获得全局位置。这种定位方式还有合作定位、迭代定位等其它名称，这些名称的共性都强调当被定位的终端不能与信标直接通讯时，需要其它终端的配合确定与信标的相对位置。在无线自组织网络中，位置与无线网络的关系不再是单一的通过无线网络计算位置，位置同样也可以反作用于网络：不仅使感知数据具有地理意义，还能辅助其他网络功能和管理，例如路由、拓扑控制、边界发现等等。

无论是何种定位技术，都离不开以下三个主要环节。

1. **物理测量。**对物理世界的测量手段包括 WiFi、GPS、BlueTooth、ZigBee、UWB、红外、光波、声波、超声波等等，最新的研究工作还使用了广播信号和地磁场；测量结果的表示包括距离、时间、方向、区域、连接关系、信号指纹等。一方面，定位对于物理测量手段并没有什么限制，任何信号都能用来定位，只要这种信号具有位置区分性，即不同位置上信号的观测结果是不同的。比如一般情况下空气成分就不太能作为区分位置的手段，因为很多地方、很大区域内空气成分都是相同的；但是，一旦某个地方的空气中有特殊成分，那么空气成分不失为一种有效的定位手段。另一方面，不同的测量手段各有千秋。超声波、声波等传播速度较慢的信号可以准确测量信号传播时间从而计算出传播距离（厘米级别的精度）；而无线电波传播速度快，只能依赖于信号衰减模型计算传播距离（一般还达不到米级的精度），但是易于获取信号指纹，同时又可用于数据通信。有些无线电波如 UWB 适用于信号到达时间差的计算，也可将定位精度提高到厘

米级别。

2. **位置计算，即估计与信标节点的相对位置。**如果未知位置节点可以直接与信标节点进行物理测量，这就是单跳（single-hop）定位，例如 WiFi 定位、手机基站定位等。单跳定位的计算方法根据测量结果的表示不同而不同，比如测距方法通常使用最小二乘法计算位置、指纹方法通常使用最相似匹配估计位置。如果未知位置节点不能直接与信标节点进行物理测量，这就是多跳（multi-hop）定位，例如传感网和无线自组网络。一般来讲，在多跳定位中，能够与信标节点直接通信的节点率先计算出自身相对于信标节点的位置，待计算完成后将自己标记为信标节点，这样一来自己的位置信息可以用于其他节点的位置计算，使得那些在最开始的时候不能与信标节点直接通信的节点也能够完成位置计算。按照这样的计算方式不断迭代下去，位置信息从信标节点开始，一层一层的逐渐扩散到网络边缘，直到全网节点都完成位置计算。因此，多跳定位除了要考虑单跳定位的所有因素之外，还要考虑网络节点的计算顺序以及信标节点的选取等独有的因素。
3. **数据处理。**对数据的处理贯穿定位的每个环节。例如测量两个无线终端之间的距离，如何应对环境因素带来的随机误差？如何剔除明显的错误数据？这些都需要误差控制技术，从最简单的取平均值到复杂的鲁棒统计学，都是处理误差和发现异常的有效手段。再比如传感网定位中，如果网络中节点间距离信息过少，那么网络中部分节点就不能计算出唯一位置。这个“过少”应该如何量化呢？这就是网络定位中的可定位性问题，需要利用图刚性理论进行分析。如果节点间距离信息过多呢？需要优化算法来计算尽量满足所有观测值的最优解，也需要用统计方法来估算定位计算所能达到的精度。

好的定位方法不单单追求定位精度，而是以满足应用需求、适应环境特点为追求目标。上面所说的无论是物理测量，还是位置计算、数据处理等，都包括多种多样的具体方法，需要因地制宜的进行选取和组合，没有哪一种方法可以在所有环境中胜出其他方法。精度高的方法也很可能在硬件成本或者普及性方面存在天然劣势。

21 世纪以来，随着信息技术向更广泛的互联互通和更全面的智能化方向发展，物理世界与数字世界无缝融合的需求越来越高，使得无线网络的规模不断增大，对网络自组织能力和移动特性的要求不断提高。这种趋势愈演愈烈，在我国称之为“物联网”，美国称之为“Cyber-Physical System”，欧盟称之为“Internet of Things”。在物联网中，物体既是物理世界中的实体，也是数字世界中的对象，而定位成为沟通物理世界和数字世界的桥梁。数目巨大的联网设备、层出不穷的联网终端、多种多样的无线通信技术等等给定位技术带来了全新机遇和挑战，也构成了定位技术发展向前的驱动力。

我们从不把定位看做是单纯的冷冰冰的技术，只用来定位飞机导弹汽车轮船。与之相反，定位是为人们带来方便的技术，是含情脉脉的技术。曾经听说过一个让人印象深刻的故事。在通讯和定位还不发达的时代，两个年轻人偷偷恋爱私定了终身。男人去北京闯荡，而女人几个月后也坐火车辗转到北京，两人约在了火车站前的广场。不幸的是，女人等了好几天也没有等到男人，为了维持生计就在火车站前开了个小卖部，一边卖东西一边等。男人失望地没等到女人，想尽一切办法也联系不上女人，甚至寻到女人老家，可女人在老家也没有什么亲人。六年后，男人出差返京错误地在北京前一站丰台就下了火车，正寻思怎么回去，走到一个小卖部买烟。女人的直觉和多年的守望让她对眼前的客人感到亲切。使用定位技术，不再让错过变成过错，不再让空间上的迷失造成心灵上的迷失。这也是我们心中定位技术不断发展的驱动力之一。