

蓝牙AOA高精度 定位技术白皮书





联合编写单位及作者

■ 蓝牙 AOA 定位平台商

 蓝色创源（北京）科技有限公司 (BlueIoT) —— 裘有斌 陈广香


■ 蓝牙芯片商

 挪威北欧半导体有限公司 (NORDIC) —— 吴迪

 泰凌微电子（上海）有限公司 (TELINK) —— 金海鹏


■ 蓝牙标签制造商

 深圳云里物里科技股份有限公司 (MINEW) —— 龙招喜

 苏州寻息电子科技有限公司 (SEEKOY) —— 余彦培

■ 应用产业单位代表

 中兴通讯股份有限公司 (ZTE) —— 符志宏 陈诗军

 京东物流 (JD) —— 陈亚迷

前言

近年来，定位技术发展如火如荼，特别随着物联网与人工智能的快速发展，市场对定位技术的需求与期望也水涨船高，基于位置的服务（LBS）逐渐渗透到人类生产生活的方方面面，位置物联网（IoT）在工业智能、自动驾驶等众多领域中的价值也越发凸显。而室内作为占据人类 70%~90%的时间，也成为工业界、学术界等挖掘位置数据价值的重要空间环境，通过探求高精度、高可靠性的室内定位技术，以期实现在电磁环境和地理环境复杂的室内环境中，获取更加精准的位置信息。与此同时，室内定位技术在产业端和消费端的落地应用也随之热潮兴起。

针对蓝牙室内定位优化出的蓝牙 5.1 协议，利用 AOA/AOD 技术极大地提升了室内定位技术的可用性，同时兼具高精度、高并发、低功耗、低成本、高兼容性等特性，为其解决物联网精确定位与导航问题奠定了基础，这使得历经 20 余年发展的“古老”技术焕发出了更加蓬勃的生机与活力。

基于上述原因，本白皮书针对蓝牙 AOA 定位技术开展了专题研究，以期能够更加深入了解蓝牙 AOA 技术的特性优势、应用能力、发展状态和趋势前景等，共同推动蓝牙 AOA 定位技术的应用发展。

目录

1	蓝牙技术的由来及其发展历程概述	4
2	蓝牙 AOA 定位技术原理及优劣势分析	5
2.1	蓝牙 AOA 定位技术原理	5
2.2	蓝牙 AOA 定位系统架构	8
2.3	蓝牙 AOA 定位技术挑战	10
2.4	与其他定位技术对比	11
2.4.1	定位测量方法比较	11
2.4.2	定位技术比较	14
2.4.3	蓝牙 AOA 定位技术优势	15
3	蓝牙 AOA 定位产业发展现状	16
3.1	市场规模	16
3.1.1	蓝牙 AOA 生态基础成熟，设备出货量持续增长	16
3.1.2	蓝牙 AOA 与 UWB 竞合同步，强势抢占室内定位市场份额	17
3.2	产业链构成及竞争格局	18
3.2.1	上游——芯片 IP、协议栈提供商	18
3.2.2	上游——蓝牙芯片厂商	19
3.2.3	中游——蓝牙 AOA 定位平台厂商	21
3.2.4	中游——蓝牙标签厂商	22
4	蓝牙 AOA 定位技术应用现状	23
4.1	智能楼宇	24
4.2	智能工业	25
4.3	智慧城市	26
5	蓝牙 AOA 定位技术赋能典型行业应用场景	28
5.1	智慧商超	28
5.2	医疗养老	28
5.3	大型场馆	30
5.4	交通枢纽	31
5.5	智能制造	31
5.6	仓储物流	32
5.7	公检法司	32
6	蓝牙 AOA 定位技术在新型基础设施中的应用	34
6.1	5G+蓝牙 AOA 两网合一的新基建	34
6.2	智慧灯杆+蓝牙 AOA 位置服务新基建	34
6.3	基于蓝牙 AOA 的场内 V2X 位置服务新基建	35
7	蓝牙 AOA 高精度定位技术发展趋势探讨	36
7.1	庞大的蓝牙生态，为其借势发展打下了坚实的基础	36
7.2	优良的技术特性，是其持续稳步成长的重要内因	37
7.3	多元的应用场景，为其落地应用提供了绝佳的舞台	38
7.4	蓝牙 AOA 高精度定位技术商用落地面临的挑战	39

1 蓝牙技术的由来及其发展历程概述

1995 年，在瑞典爱立信的主导下，芬兰的诺基亚、日本东芝和美国的 IBM 英特尔计划成立一个行业协会，共同开发一种短距离无线连接技术。在给这项技术命名时，由于两个主导企业——爱立信和诺基亚都是来自北欧国家，而在他们历史中，蓝牙王有“实现统一、加强联系”的含义，所以他们最终决定以“蓝牙 (Bluetooth)”为这项技术命名，这个行业组织也因此叫做蓝牙技术联盟组织 (Bluetooth Special Interest Group, 简称: SIG)。自此蓝牙技术历经了 1.1、1.2、2.0、2.1、3.0、4.0、4.1、4.2、5.0、5.1、5.2 等多个版本的更新，五个重要阶段的技术变迁。同时蓝牙的每一次技术变革均为该技术的拓展应用提供了较大动能，可以说蓝牙技术不仅有前途，且前途一片光明。细数蓝牙技术革新历程，可以说其中有三次技术变革较为重大：分别为低功耗蓝牙（蓝牙 4.0）、蓝牙 Mesh，蓝牙 5。其中蓝牙 5 解决了蓝牙技术速度相对较慢、抗干扰能力较差这两个问题，拓展了蓝牙的适用性。而随着室内定位需求凸显，针对室内定位优化出的蓝牙 5.1 协议，利用 AOA、AOD 技术则将极大地提升室内定位技术的可用性。

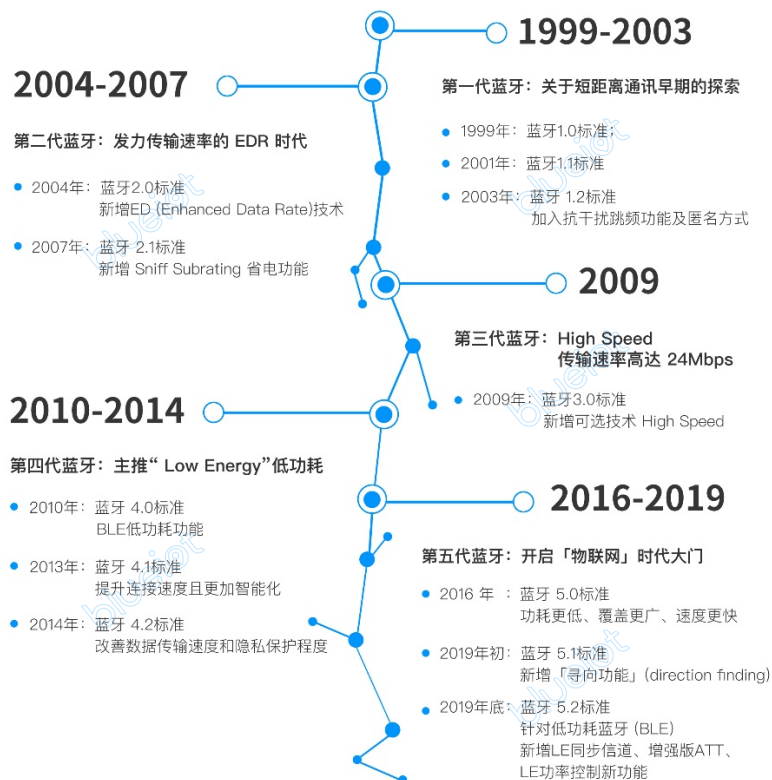


图 1-1 蓝牙技术发展历程

2 蓝牙 AOA 定位技术原理及优劣势分析

2.1 蓝牙 AOA 定位技术原理

2019 年初，蓝牙技术联盟宣布蓝牙 5.1 引入了新的“寻向”功能，这个功能可检测蓝牙信号的方向，将大幅提高蓝牙定位的精确度，提供更好的位置服务，结束了以往通过 RSSI 信号强度的方式做低精度指纹定位的历史，为蓝牙技术解决物联网精确定位与导航问题奠定了基础。

依据被定位终端的上下行模式的不同，蓝牙高精度定位可以分为两种技术原理，分别是：AoA 到达角度法（Angle of Arrival）和 AoD 出发角度法（Angle of Departure）。其技术原理如下所示：

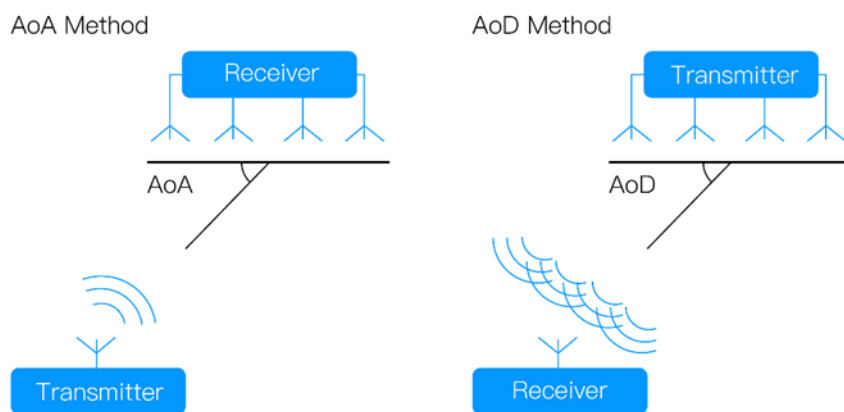


图 2-1 蓝牙寻向 AOA/AOD 方法

到达角度法（AOA）是利用单一天线发射寻向讯号，而接收端的装置内建天线阵列，当信号通过时，会因阵列中接收到的不同距离，产生相位差异，进而计算出相对的信号方向；出发角度法（AOD）则与前者相反，由已经固定位置具备天线阵列的设备来发送信号，传给单一天线终端，终端可以透过接收的信号计算出来波方向，进而定位。

表 1 AOA 方法及 AOD 方法发射端和接收端的对比

类型	发射端	接收端
AOA	定位终端，单天线，处理简单	定位基站，IQ 采样，处理复杂
AOD	定位基站，天线阵列，处理简单	定位终端，IQ 采样，处理复杂

无论是 AOA 还是 AOD，其角度检测的基本原理是通过天线阵列获取信号在不同阵元上的相位差，然后通过信号角度估计算法获得来波方向信息。蓝牙 5.1 标准协议为了更好地支持 AOA/AOD，专门制定了信号 IQ 采样及 CTE (Const Tone Extension) 的相关技术要求。下面将详细介绍基于 CTE 的来波方向检测原理。

1) 信号的相位差及 IQ 采样

以两天线为例，如图 2-2 所示，当定频信号从发射端发出时，电磁波会到达天线 1 和天线 2，由于天线 1 和天线 2 的空间位置不同，信号到达两个天线的波程不一样，进而相位也会产生差异。不同的来波方向会产生不同的相位差异。射频芯片可以通过对每个天线上的信号进行 IQ 采样获得相位信息，对比 2 个天线上的相位信息可以获得相位差。

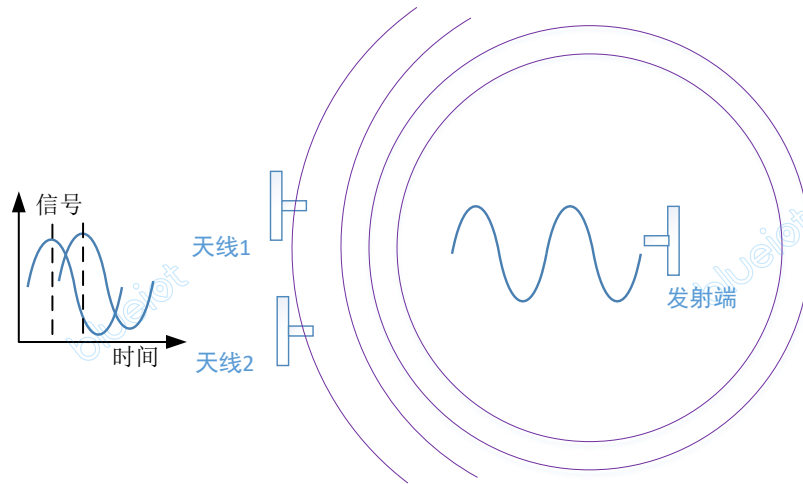


图 2-2 信号的相位差及 IQ 采样

2) 基于相位差的来波方向检测

当两个天线足够近时（小于半波长），可消除相位差的整周期模糊，能够唯一确定来波的方向。如图 2-3 所示，其中 λ 为发送信号波长、 $\Delta\phi$ 为天线 1 和 2 接收到同一信号的相位差， θ 为待求的信号到达角度 (AoA)， d 为两个天线间的距离，由图示关系可得：

$$\theta = \arcsin\left(\frac{\lambda\Delta\phi}{2\pi d}\right)$$

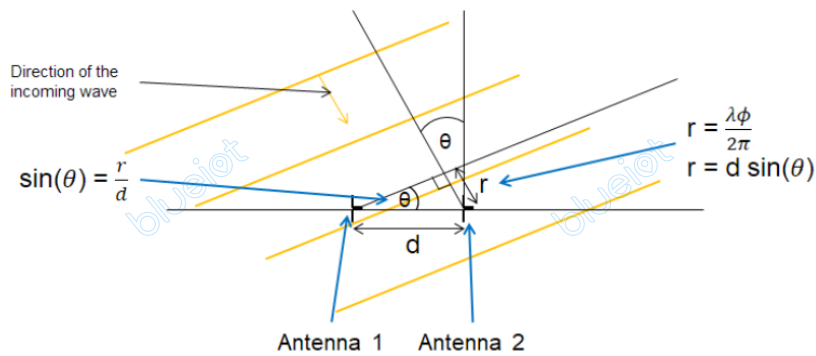


图 2-3 基于相位差的来波方向检测原理

3) CTE 标准规范

蓝牙信号是调制信号，其调制特性本身就会带来相位的变化，不利于直接采样计算相位差，故蓝牙 5.1 规范规定了 CTE 标准，目的是使得相位差检测更加方便。

CTE 是定频（250kHz）无调制的信号，可非常方便地用于相位差检测。它的时长 16us 到 160us，无 CRC 校验，支持广播模式和连接模式两种类型。如图 2-4 所示，CTE 信号是附加在 CRC 校验之后的信号，不影响原来的数据内容。是否具有 CTE，在 PDU 的 header 中可以指定，包含对 CTE 类型的设定(AOA,AOD 1us,AOD 2us) 以及 CTE 的时长设定。

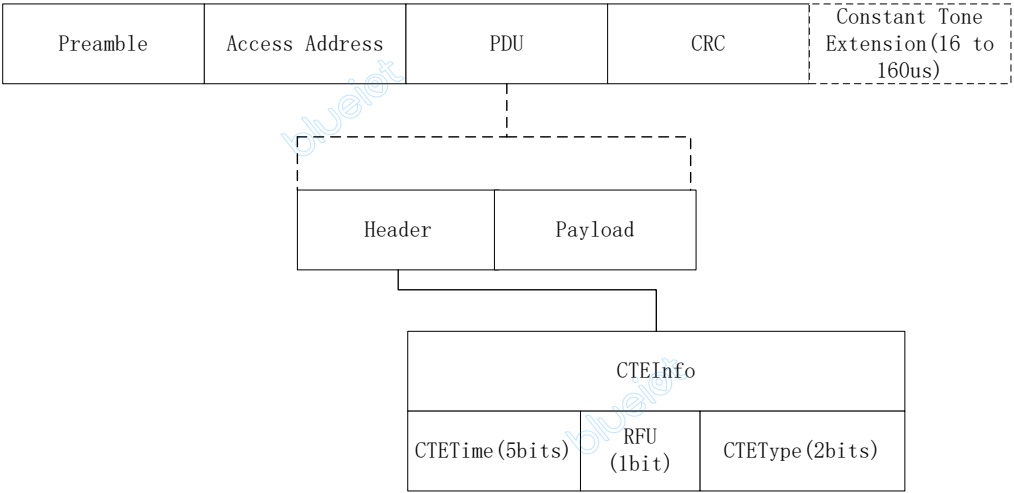


图 2-4 CTE 数据格式

蓝牙 5.1 协议规定了 CTE 的切换/采样时隙，如图 2-5 所示。CTE 的处理过程可以分为初始的 4us 的守卫时间（用于和前面的信号分开，保证不干扰），8us 的参考时间（对第一个天线进行 8 个 IQ 采样）以及后续一系列的采样和切换时间片。天线切换仅在 Switch slot 完成，采样仅在 Sample slot 完成。天

线的切换模式可以通过 HCI 命令设置。

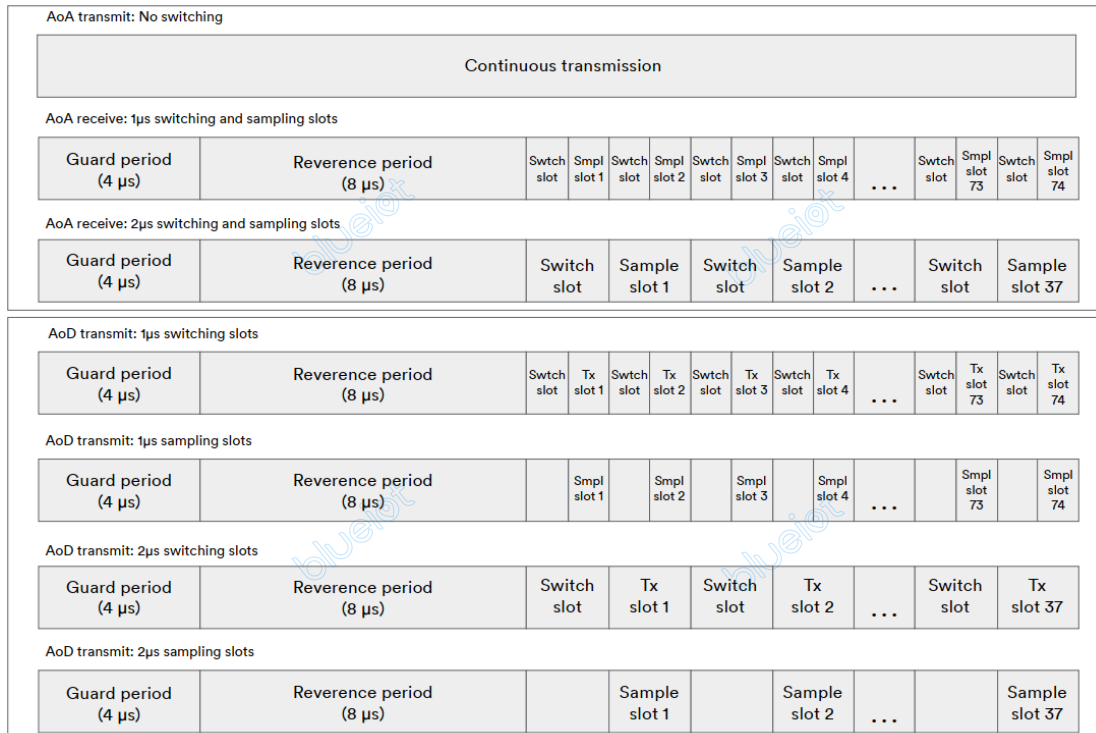


图 2-5 CTE 的切换时隙

4) 天线阵列角度估计方法

实际应用中，一般常用线阵、矩形阵、圆阵等不同的天线阵列进行信号检测。线阵是一维的，所有天线位于一条直线上，可以获取方位角。矩形阵和圆阵可以获取二维角度(方位角和俯仰角)。天线阵列波达方向处理方法已有大量的研究，常用的有多重信号分类(MUSIC)算法、最大似然算法、ESPRIT 算法、压缩感知算法等。

基于 CTE 的方式要求定位终端支持 BLE 5.1,对于大量存量的 BLE 4.2 的设备，也可以通过类 CTE 方式，发送特殊的广播包来实现高精度定位。

2.2 蓝牙 AOA 定位系统架构

获取信号的波达方向后，据此可以进行定位解算，下面阐述基础定位原理。

单基站定位：如果被定位终端的高度变化较小，可以采用固定高度的单基站二维定位方法，如图 2-6 所示。通过 AOA 角度估计可以获得从基站出发的一根射线，该射线和定位终端的高度平面相交便可获得平面坐标。从图中可以看出，单基站的定位覆盖是以基站为中心的锥形区域，距离基站越远，相同角度误差带来

的平面坐标的变化越大，位置误差也就越大，越靠近基站定位精度越好。可以通过适当提高终端到基站的高度差 H ，来提高高精度定位区域的覆盖范围。

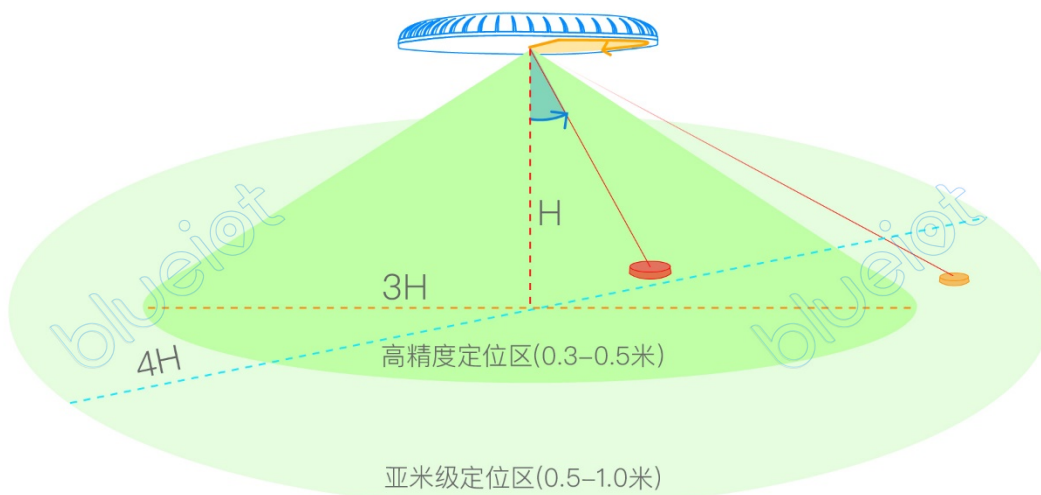


图 2-6 单基站定位

多基站定位：在单基站二维定位的基础上，进行各定位基站的大规模组网，多基站航向角联合解算，实现更大范围的高精度定位的全覆盖。

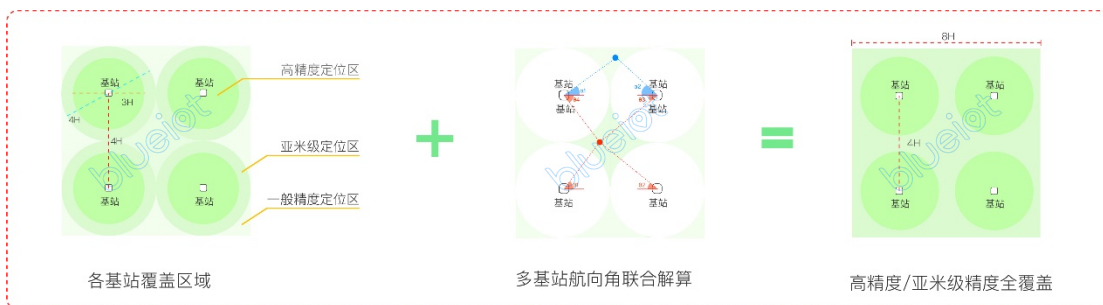


图 2-7 多基站定位

定位系统架构：常见的定位系统架构如图 2-8 所示。分为定位感知、定位计算、定位应用三个部分。定位感知包含蓝牙定位终端和定位基站，按定位要求的不同，可以分为多片区空间的二维部署，走廊型空间的一维部署和房间型空间的零位部署。定位基站通过有线网络同定位引擎进行交互。定位引擎对各定位基站接收到的信号进行角度估计、定位解算（AOA 方式），或者控制定位基站进行位置播发（AOD 方式）。定位应用从定位引擎获取数据，结合具体业务，构建行业解决方案。

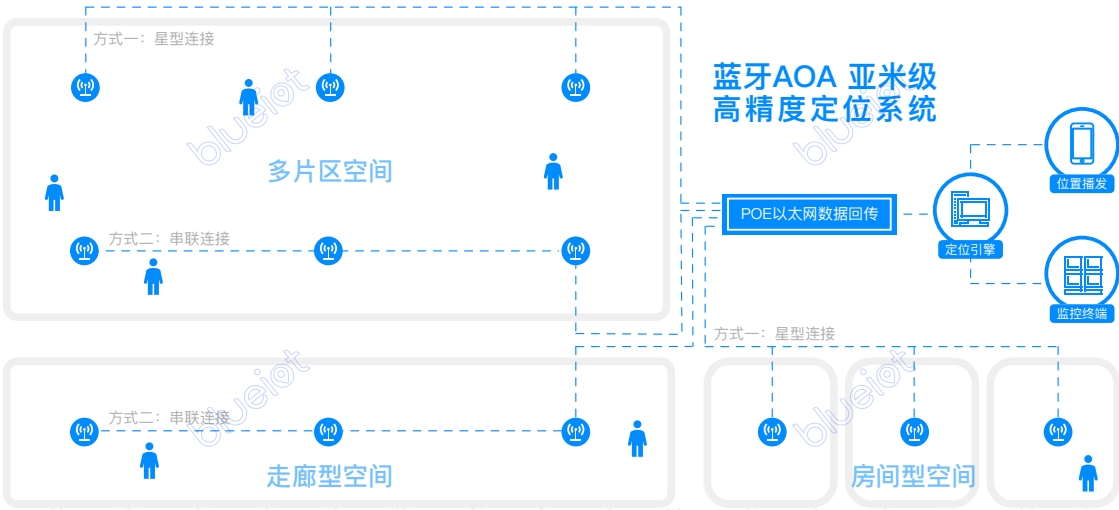


图 2-8 定位系统架构

2.3 蓝牙 AOA 定位技术挑战

蓝牙 AOA 定位技术若要稳定可靠地在应用场景中实现高精度定位，仍面临以下几个方面的挑战：

（1）信号反射干扰

实际环境中，有很多金属、玻璃等光滑的反射面，AOA 基站除了可以接收到直达波之外，还会接收到反射波，如图 2-9 所示。由于直达波和反射波是同频的相干信号，AOA 基站接收的是它们信号叠加，很容易判断成来自另外一个错误方向的信号。

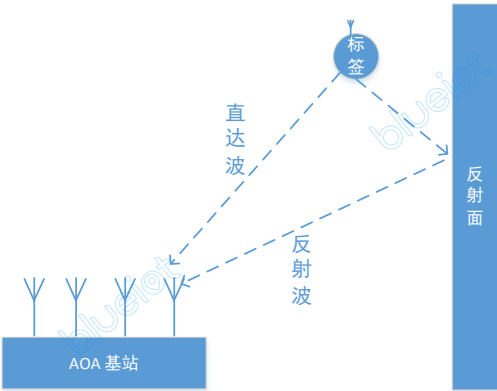


图 2-9 信号反射示意

（2）天线阵列误差

一方面，为了节省成本，商用的天线阵列常用的是采用射频开关切换的方

式，切换过程本身会带来一些测量误差；另一方面，存在阵元的互耦、相位中心误差、取向误差等，所以用于测向的天线阵列设计是一项较为复杂的任务。

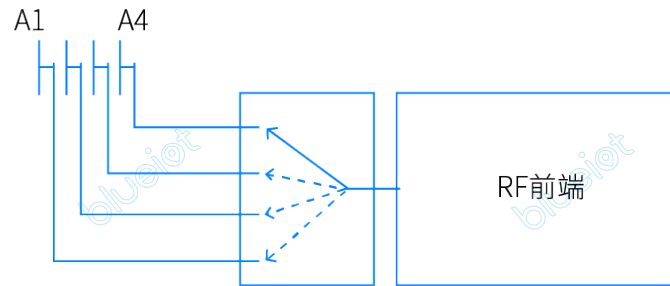


图 2-10 天线阵列结构

（3）复杂楼层/区域环境

实际使用中，存在各种复杂的定位环境，如中空楼层情况下需要准确定位到楼层，多房间情况下需要准确地判断在哪个房间，被物理建筑隔开的各个区域间要顺畅地定位切换，都给高精度定位带来了不少挑战。

（4）天线方向性扰动

各移动端设备随着放置位置的不同会呈现不同的天线方向性进而影响角度检测结果，需要能够适应不同的设备摆放状态。

以上四点挑战的克服，需要在微波射频以及算法部分做较多的工作，考验 AOA 定位解算平台提供商的技术实力。

2.4 与其他定位技术对比

从定位测量方法和定位信号源的角度同主流的基于无线定位的定位技术进行比较。重点比较蓝牙 AOA、UWB 和普通蓝牙。

2.4.1 定位测量方法比较

目前常用的无线定位测量方法包括 TOA、TODA、RSSI 和 AOA。下面介绍除 AOA 以外的方法。

2.4.1.1 TOA

TOA (Time of Arrival) 又称 TOF (Time of Flight)，一般又分为双向测

距和基于时钟同步的 TOA 测距。常用的双向测距法不需要定位标签和定位基站之间严格时钟同步，只需要未知点（即定位标签）向参考点（即定位基站）发送信号，定位基站也向定位标签发送信号，如图 2-11 所示：

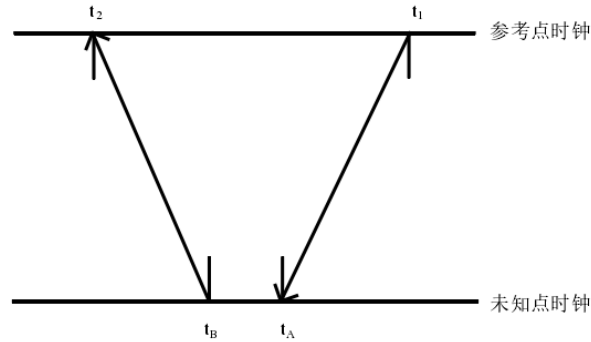


图 2-11 TOA 定位原理（双向测距）

参考点于 t_1 时刻（参考点本地时钟的 t_1 ）向未知点发送信号，未知点于 t_A 时刻（未知点本地时钟的 t_A ）接收到该信号；未知点于 t_B 时刻（未知点本地时钟的 t_B ）向该参考点发送信号，参考点于 t_2 时刻（参考点本地时钟的 t_2 ）接收到该信号。

上述时间差再乘以电磁波在空气中的传播速度 C ，即可得到该未知点和该参考点之间的距离，如下所示：

$$D = \frac{t_2 - t_1 - (t_B - t_A)}{2} \times C$$

同理，确定该未知点与其他参考点之间的距离，根据至少三个距离即可确定该未知点的位置。例如当获取到标签到至少 3 个基站的间距时，即可根据三点定位方法实现定位，如下图 2-12：

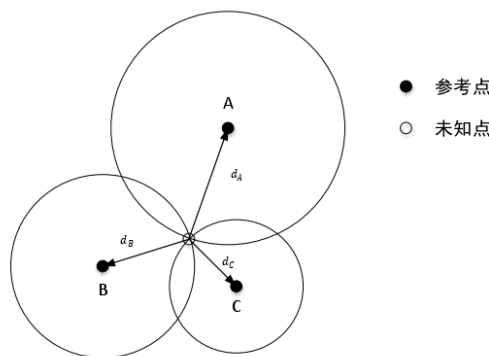


图 2-12 TOA 定位原理（基于时钟同步）

2.4.1.2 TDOA

基于时间到达差(TDOA, Time Deference of Arrival)的定位法要求参考点之间的时钟严格同步,而对参考点与未知点之间则没有时钟严格同步的要求,这就能相对简化定位系统,降低定位系统成本。

TDOA 定位法的定位过程:预先将所有参考点之间时钟同步,未知点发出信号,不同参考点在不同时刻接收到该信号,选取某参考点接收到信号的时刻作为基准,其他参考点收到信号的时刻减去该基准得到定位信号到达时间差,该到达时间差即为 TDOA 值。根据未知点与两个参考点之间的 TDOA 值可以建立一条双曲线,实现二维定位需要至少三个参考点建立一组双曲线方程求解得到未知点的位置估计,如图 2-13 所示:

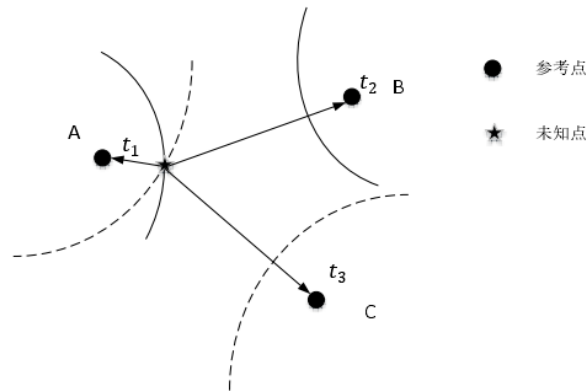


图 2-13 TDOA 定位原理

2.4.1.3 RSSI 指纹法

指纹定位采集的标准量是射频信号,但指纹定位法也可采用声音信号、光信号或其他无线信号实现。指纹定位通常包括两个阶段:第一阶段,离线校准阶段,通过实际采集或计算分析建立指纹地图。具体地,选择室内场景中的多个位置点采集多个基站发出的信号的强度并加入到指纹数据库中。第二阶段,定位阶段,通过将实际实时接收到的信号于指纹数据库中的信号特征参数进行对比找到最好的匹配参数,其对应的位置坐标即认为是待测目标的位置坐标。

2.4.1.4 方法对比

以上四种定位方法各具优劣,其对照如下表所示:

表 2 四种定位方法比较

定位方法	交互特征	终端功耗	基站设备复杂度	并发容量	是否需要同步	定位精度	环境适应性
ToF	双向	高	中	中	否	高	较好
TDoA	上行/下行	低	中	高	是	高	较好
AoA	上行	低	高	高	否	高	较好
RSSI	上行/下行	低	低	高	否	差	差

2.4.2 定位技术比较

根据前面介绍的定位方法，衍生出了多种室内定位技术，下面将对主流的室内定位技术进行简要介绍。

2.4.2.1 超宽带定位

超宽带定位系统通常包括 UWB 基站、定位标签。超宽带技术通过发送纳秒级及其以下的超窄脉冲来传输数据，可以获得 GHz 级的数据带宽，发射功率较低，无载波。因为其高带宽，理论上可基于 TOA 或 TDOA 方法实现厘米级的定位。但 UWB 系统当前较高的系统建设成本一定程度影响了其普及推广。

2.4.2.2 WLAN 定位

基于 IEEE802.11b 标准的无线局域网已在人们的生活场所大量部署，使用 WLAN 信号定位的优势在于不需要部署额外设备，定位成本低，信号覆盖范围大，适用性强，利于普及推广。

基于 RSSI 的指纹定位法是目前主流的 WLAN 定位方法，定位精度取决于基准点的密度，从 5m 到 10m 不等。同时基于 TOA 测距的定位方法由于多径效应和时钟分辨率低定位效果较差，而基于 RSSI 测距的定位方法由于信号衰减与距离的关系在不同环境和设备条件下都有改变，定位结果也不理想。

2.4.2.3 普通蓝牙定位

与 wifi 定位原理相同，普通的蓝牙定位分为测距交汇法和指纹匹配法。由于绝大多数智能手机终端都自带蓝牙模块，方便大范围普及和场地设备部署。最

常见的蓝牙定位技术是基于蓝牙 4.0 的低功耗蓝牙技术，即 iBeacon 技术，定位精度在 5m~10m 范围，取决于蓝牙信标的部署密度。iBeacon 技术尚未大规模工程应用，其原因在于需要高密度部署蓝牙信标，使得系统成本偏高。

2.4.3 蓝牙 AOA 定位技术优势

基于以上介绍，重点比较蓝牙 AOA 同普通蓝牙，以及高精度定位领域主流的 UWB 定位的技术特点，如下表所示。

表 3 蓝牙 AOA 定位、普通蓝牙、UWB 对比

比较项目	蓝牙 AOA	蓝牙 RSSI (上行: 网关收)	蓝牙 RSSI (下行: Beacon 发)	UWB
协议	基站 BT5.1 标签 BT4.2 以上	基站 BT4.2 以上 标签 BT4.2 以上	基站 BT4.2 以上 标签 BT4.2 以上	基站 UWB 标签 UWB
典型精度	0.3~0.5 m	5~10 m	5~10 m	0.1~0.3 m
刷新率	高	高	低	中等
兼容性	手机、手环、手表、Beacon 等各类标签	手机、手环、手表 Beacon 等各类标签	需额外带 LoRa 等 回传信道特殊标签	UWB 特殊标签
标签功耗	低	低	高	中
基站成本	一般	一般	低	高
标签成本	低	低	高	高
下行播发服务	有	无	有	无
物联网网关能力	有	无	无	无

综上所述，蓝牙 AOA 定位的综合优势较为突出，具体如下表：

表 4 蓝牙 AOA 定位综合优势

1	高精度	0.3-0.5 米高精度定位，与 UWB 同一个精度级别
2	高并发	正向单基站 1HZ 下 500 标签，反向播发容量无限
3	低功耗	低功耗蓝牙标签电池最高续航超过 5 年
4	低成本	系统成本远低于 UWB，标签成本最低几十元
5	小尺寸	蓝牙标签形态各异，最小尺寸小于 1 元硬币
6	大生态	兼容每年数十亿的各类蓝牙终端，提供手机精确 LBS 位置服务

3 蓝牙 AOA 定位产业发展现状

3.1 市场规模

3.1.1 蓝牙 AOA 生态基础成熟，设备出货量持续增长

蓝牙技术向着新型信息产业以及传统产业的渗透，这也为蓝牙技术开拓新市场、寻求新的增值机会。特别是随着蓝牙 5.0、蓝牙 5.1 的出现和蓝牙 mesh 技术的成熟，大大降低了设备之间的长距离、多设备通讯门槛的基础上，实现了蓝牙技术亚米级别的定位精度，这些都为蓝牙技术在未来的 IoT 领域的应用带来了更大的想象空间。

根据 2020 年 3 月蓝牙技术联盟发布的《蓝牙市场最新资讯 2020》所述，蓝牙技术不仅在无线音频和互联设备领域取得了更新的进展，而且在智能楼宇、智能工业、智能家居和智慧城市等新兴市场的应用也正在快速增长。据该报告数据显示，在过去 5 年中蓝牙设备出货量持续增长，预计在未来 5 年内保持 8% 的年复合增长率，至 2024 年蓝牙设备的总出货量将达到 62 亿台。

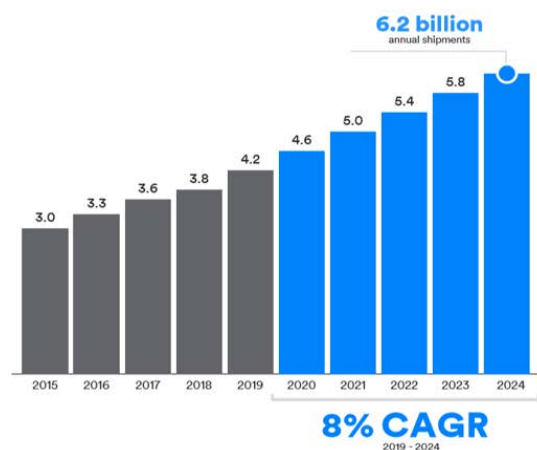


图 3-1 蓝牙设备总出货量

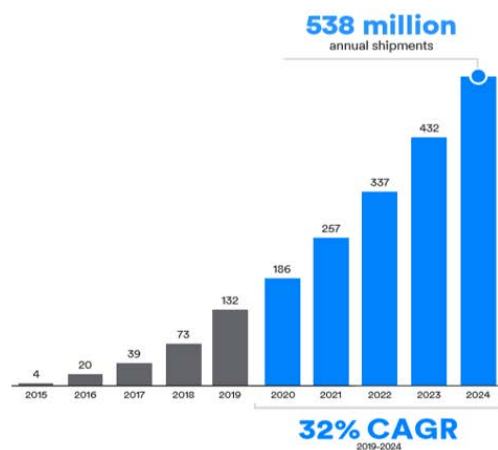


图 3-2 基于位置服务的蓝牙设备总出货量

数据来源：《蓝牙市场最新资讯 2020》

而基于位置服务的蓝牙设备出货量则实现了更加快速的增长，预计未来 5 年内将保持 32% 的年复合增长率，至 2024 年蓝牙设备的总出货量将达到 5.38 亿台。其中，定位服务已经持续两年成为蓝牙解决方案增长最快的领域，对定位服务的持续需求推动了采用蓝牙技术的导航、资产追踪等相关解决方案的激增。据

《蓝牙市场最新资讯 2019》数据显示，蓝牙位置服务设备年出货量将由 2018 年的 720 万增长到 2023 年的 4.31 亿，年复合增长率达到了 43%。其中蓝牙标签（Tag）的出货量将达到 3 亿，将有 17 亿台智能手机将采用蓝牙位置服务。

3.1.2 蓝牙 AOA 与 UWB 竞合同步，强势抢占室内定位市场份额

室内定位技术作为物联网感知网络的底层基础，在近年来更加受到市场重视。据 Market&Markets 的调查数据显示，未来几年，室内定位的全球市场将以 42.0% 的年复合成长率增长，市场规模预计从 2017 年的 71 亿 1000 万美元扩大到 2022 年的 409 亿 9000 万美元。特别是以苹果为代表的手机企业将高精度定位系统引入手机生态系统后，原本 ToB 的商业模式将快速向 ToC 市场渗透，这必将引起新一轮市场的快速增长。

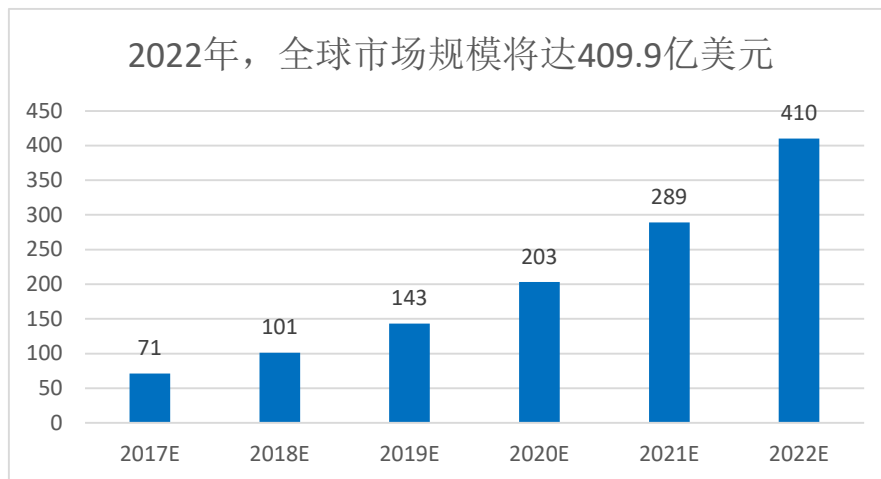


图 3-3 全球室内定位技术市场空间

预计 2018~2022 年期间，室内定位技术将广泛渗透进入智能制造、智能建设、养老医疗、公共安全、物流运输等行业应用，逐渐成为追踪和定位服务的主流技术。而目前在室内定位常用的技术有 RFID、红外线、蓝牙 Beacon、Zigbee，Wi-Fi、UWB 及 AOA-BLE 等，其中在高精度定位领域，UWB 和最新蓝牙 BLE 5.1 所支持的 AOA/AOD 技术则优势明显，两种技术都有强势抢占室内定位市场份额的趋势。

蓝牙定位与 UWB 定位技术对比如下表所示：

表 5 蓝牙定位与 UWB 定位技术比较

	UWB	蓝牙 AOA
协议	基站 UWB 标签 UWB	基站 BT5.1 标签 BT4.2 以上
典型精度	0.1~0.3m	0.3~0.5m
刷新率	中等	高
兼容性	UWB 特殊标签	手机、手环、手表、Beacon 等各类标签
标签功耗	高	低
基站成本	高	一般
标签成本	高	低

从目前来看，UWB 定位系统在室内定位市场中占据一定的市场份额，而蓝牙 AOA 定位技术由于在 2020 年前供应商只有北欧的 QUUPPA 一家，目前占据室内定位市场份额相对较少，但基于蓝牙技术前期的发展基础以及目前手机等智能终端已经将蓝牙作为标配，将会对蓝牙 AOA 定位技术带来间接的正面影响，随着国产 AOA 定位平台商陆续涌现，蓝牙 AOA 定位规模有望实现非常快速的的增长。因此，随着人们对于更加友好型的城市环境以及对工业制造业更高效率及安全性的需求增加，UWB 定位技术和蓝牙 AOA 定位技术作为高精度室内定位未来主流的发展方向，它们之间的竞争势必会逐渐趋于白热化。同时两者之间也会基于自身特点优势互补，在成本越低、兼容性越好、精度越高要求下，更好地面对复杂环境。

3.2 产业链构成及竞争格局

伴随蓝牙 5.1 规范的推出以及行业内企业的关注，目前基于蓝牙 5.1 规范的高精度定位正在形成围绕上游芯片 IP 设计、协议栈提供商、芯片原厂，中游定位平台商、中游蓝牙标签厂商等为主要环节的产业链。

3.2.1 上游——芯片 IP、协议栈提供商

目前，能够提供蓝牙 5.1 的 IP 的主要包括 CEVA 和 Synopsys。

(1) CEVA

其中 CEVA 可提供 RivieraWaves 蓝牙 5.1IP，这款 IP 支持通过到达角(AoA)和出发角(AoD)进行测向的功能，从而实现蓝牙的高精度定位服务。另外，CEVA 同时提供蓝牙双模和低能耗蓝牙两种版本。

CEVA 的 RivieraWaves 蓝牙 IP 平台为低能耗蓝牙和蓝牙双模连接提供了相对全面的解决方案。每个平台均由一个硬件基带控制器和一个功能丰富的软件协议栈组成。平台有灵活的无线接口，可以集成 Riviera Waves RF 或其他合作伙伴的 RF IP，从而实现代工厂和工艺节点的选择。RivieraWaves 蓝牙 IP 平台支持所有蓝牙 5.1 功能，包括 LE 2Mbps 数据速率、长距离和 LE 广告扩展和 AoA/AoD。

（2）Synopsys

Synopsys 用于蓝牙、Thread 和 ZigBee 的 Design Ware IP，可实现安全和并行的无线连接，并针对可穿戴和智能物联设备做了优化，具有低功耗和长电池寿命特点。其解决方案由紧凑型 PHY 和高性能控制器组成，符合蓝牙标准，目前可以支持蓝牙 5.1 和 Mesh 网络，并兼容 Thread 和 ZigBee 规范。

3.2.2 上游——蓝牙芯片厂商

虽然在蓝牙 5.1 新规范的发布之前已经有多家芯片厂商对外发布支持 AoA/AoD 特性芯片，但是芯片产品尚未成熟，也未能进行大规模商用。而从去年蓝牙 5.1 新规范的发布，意味着蓝牙未来高精度定位及位置服务上将释放更多的蓝海市场。而蓝牙高精度定位市场的爆发，目前最需要的或许正是一块产品成熟，能够大规模商用的芯片。目前在蓝牙定位芯片市场中，已经推出 BLE5.1 芯片（带 AOA 功能）的包括 Nordic、DIALOG、泰凌微电子等企业或品牌。

（1）挪威北欧半导体（Nordic）

Nordic 半导体成立于 1983 年，总部位于挪威的特隆克姆，是全球领先的低功耗无晶圆半导体公司，也是蓝牙联盟 SIG 的董事会成员之一，公司主要的产品除了行业领先的 Bluetooth LE 解决方案之外，还推出了 Zigbee 3.0，ANT+，Thread 以及蜂窝网产品。产品主要的市场包括，可穿戴，智能家居，智慧出行以及 HID，医疗等，产品的主要优势在于行业领先的低功耗性能以及完整的开发环境与例程，能够助力客户在短时间开发出性价比具有优势的产品。

Nordic 半导体对于蓝牙 5.1 支持的芯片主要包含 nRF52811，nRF52833 以及 nRF5340，蓝牙 5.1 的开发支持环境为 nRF Connect SDK。

（2）DIALOG 半导体

Dialog 半导体公司的 SmartBond DA1469x 系列蓝牙控制器结合了蓝牙 5.1

标准的 AoA 和 AoD 寻向定位特性。该器件系列还包含一个传感器节点控制器(SNC)，可自主运行并独立处理来自与其接口相连的传感器的数据。此外，DA1469x 系列还具有内置电源管理单元，仅在需要时启动芯片上的处理内核，同时取消了对独立 PMIC 的需求。

关于 DA1469x 芯片的另一点值得注意的是，设计人员可以通过应用程序编程接口(API)获得 AoA 和 AoD 功能。这有助于设计人员无需掌握如何处理原始 AoA/AoD 数据的具体知识。

(3) 泰凌微电子

泰凌微电子（上海）有限公司成立于 2010 年，是一家致力于研发高性能低功耗无线物联网系统级芯片的半导体设计公司。公司总部位于上海张江高科技园区，除亚太地区的多个子公司外，在北美、欧洲也设有子公司或办事处。公司主要研发和销售的芯片包括传统蓝牙，蓝牙低功耗，Zigbee，6LoWPAN/Thread，苹果 HomeKit，和 2.4GHz 私有协议等低功耗无线芯片，涉及的行业领域有智能照明，智能家居，可穿戴类设备，无线外设（HID），新零售，无线玩具，无线音频和耳机，工业控制，智慧城市等物联网和消费类电子相关产品。

蓝牙 5.1 的核心标准中已添加了寻向功能，将明显增强蓝牙定位服务的精度和性能。并且在未来蓝牙的更高级别标准中将进一步强化定位相关的功能。泰凌微电子紧跟蓝牙最新标准，为业界提供符合蓝牙最新标准的物联网连接芯片，泰凌已有两代芯片产品已支持 AoA/AoD 功能。

(4) 昂瑞微

昂瑞微创办于 2012 年 7 月，是中国领先的射频前端芯片和射频 SoC 芯片的供应商，每年芯片的出货量达 7 亿颗。公司专注于射频/模拟集成电路和 SoC 系统集成电路的开发，以及应用解决方案的研发和推广，在 CMOS、GaAs、SiGe、SOI、GaN 等射频工艺都有深厚的技术积累。

昂瑞微新一代蓝牙芯片 HS6621C，是一款全面兼容 BT5.1 协议的蓝牙低功耗芯片。该芯片完全支持 2Mbps 的高速模式以及长距离 Long Range 模式。产品支持 AoA/AoD 的蓝牙寻向/定位功能以及蓝牙 Mesh 组网协议。

3.2.3 中游——蓝牙 AOA 定位平台厂商

定位平台商往往是利用 BLE 芯片，设计射频硬件、设计定位解算算法，通过定位引擎，实现精准定位数据。代表性的企业有全球首家 AOA 定位平台商 Quuppa，和国产第一家量产 AOA 定位平台商蓝色创源 (BlueIOT)。

(1) Quuppa

Quuppa 于 2012 年 9 月由工程师和科学家团队成立于芬兰，他们最初在诺基亚研究中心发明了高精度室内定位 (HAIP)，Quuppa 团队将其创新商业化，并创建了完整的产品平台——Quuppa 智能定位系，非常适合广泛的行业和用例。

采用到达角 (AOA) 算法和标准的蓝牙低功耗 (BLE) 技术打造智能实时定位系统 (RTLS)，其系统主要特点可追踪标签和智能手机，同时开放了 BLE 标签生态系统和开发 API。目前销售的产品包括硬件、软件以及完整的定位系统。其中用于中小型室内定位追踪 LD-6L，如医院、办公室、零售商店和购物中心。用于更高的精度和更大距离空间定位追踪 LD-7L，如体育场馆，体育场馆，机场，物流枢纽和任何其他大空间追踪使用。

(2) 蓝色创源 (BlueIOT)

蓝色创源 (北京) 科技有限公司，全球第二家量产的蓝牙 AOA 定位平台商，5GAIA 产业方阵成员，Bluetooth SIG 成员，5G+蓝牙高低精度定位的推动者和倡导者。提供的 BlueIOT 国产 AOA 定位平台实现了大范围、高精度的定位机制、算法和系统，实现上行定位支持所有蓝牙 4.2 以上终端，包括并不限于蓝牙手机、手表、耳机、标签、工卡、手持机等；实现下行定位，支持实现无限容量的类 GPS 播发服务。同时开放生态系统，开放接入合作伙伴标签硬件。系统在高精度覆盖区域内实现 0.3-0.5 米精度定位效果，在中等精度覆盖区域实现 0.5-1.0 米精度。

蓝色创源的 BlueIOT 系统已经在国内多个重量级项目中落地，覆盖商超、物流、展会、交通枢纽、工业、司法等各类场景，提供相较于 UWB 同级别精度、更低功耗、更低成本的新一代定位技术方案。

BlueIOT 不仅提供高精度定位服务能力，同时还是一个蓝牙物联网网关，可无缝接入各类蓝牙物联网传感器数据。具备定位网络和传感网络综合服务能力。

3.2.4 中游——蓝牙标签厂商

国内外有大量的蓝牙标签厂商，面向消费级的以各种 beacon 为主，面向行业应用的有各种结合被定位对象特点的不同形态的标签，诸如资产标签、车载标签、工牌标签等等。国内以深圳云里物里科技和苏州寻息电子最具代表性，各类标签通过一行代码加入蓝牙 AOA 定位协议可以实现高精度定位。

(1) ELA

ELA 成立于 2000 年，总部位于法国南部的蒙彼利埃，专业从事工业无线传感器和信标开发，在低功耗蓝牙技术方面具有较为深厚的技术积累。

ELA 拥有 Blue LITE ID、Blue SLIM ID、Blue WATCH ID、Blue COIN ID、Blue PUCK ID 等十余款产品，用于人员及物品定位管理等。

(2) 深圳云里物里科技 (MINEW)

深圳云里物里科技股份有限公司(股票代码：872374)成立于 2007 年，位于中国深圳，是全球领先专业提供物联网 (IoT) 解决方案的供应商，也是一家集产品研发、生产于一体的国家级高新技术企业，十余年深耕物联网，专注于蓝牙领域的持续研发创新，八年蓝牙定位硬件研发生产经验，一直以来为无数客户提供优质专业的硬件设备和技术支持，并获得最佳硬件质量奖等几十个奖项，是中国顶级的物联网技术应用企业。

深圳云里物里科技拥有 E5 定位型 iBeacon、E7 旋钮型 iBeacon、i3 超强待机型 iBeacon、C7 卡片式 iBeacon、i6 超薄标签型 iBeacon 等多款物产品。

(3) 苏州寻息电子 (SEEKOY)

苏州寻息电子科技有限公司是一家物联网领域的高新技术企业，公司由多名专业领域的博士后、博士领衔，以行业领先的室内定位技术为核心，面向工业、医疗、养老、公检法司、电力等诸多行业提供广泛的物联网硬件设备及解决方案。

苏州寻息电子拥有 S1U、S3U、M0U、M1U、T1U 等多款蓝牙 iBeacon 产品，用于人员及物品定位管理+手机定位导航+基于位置的智慧营销。

4 蓝牙 AOA 定位技术应用现状

蓝牙社区持续致力于满足不断增长的无线互联需求，随着蓝牙技术的更新迭代，其已经从最初的音频传输扩展到了低功耗数据传输，至今蓝牙已经能够满足对室内位置服务和可靠的大规模设备网络的市场需求。



图 4-1 蓝牙能够满足市场需求的解决方案类型

图片来源：《蓝牙市场最新资讯 2020》

可以看到，而蓝牙寻向功能的推出，对于实现功能强大、低成本的室内定位和位置服务起到了很大的促进作用。目前基于蓝牙位置服务衍生出的解决方案主要体现在两个方面：一是接近类解决方案，其通过借助借助蓝牙来确定两台设备的相对位置，目前已经能够确定两台设备是否临近以及大约相距多远。这类解决方案包括物品追踪解决方案（如，个人财物标签）、地标信息解决方案（如，接近营销）；另一个是定位系统，其借助蓝牙来确定设备的物理位置，目前在确定设备位置时能够达到“亚米”级精度。这类定位系统解决方案包括实时定位系统（如，资产追踪）和室内定位系统（如，实时定位导航）。

本技术白皮书着重于定位系统解决方案的阐述，包括实时定位系统(RTLS)、室内定位系统（IPS）在智能楼宇、智能工业、智慧城市涉及到的众多不同行业领域中的应用。从目前蓝牙定位技术在智能楼宇、智能工业、智慧城市等细分场景中下，蓝牙相关设备产品的出货量在全球有千万量级，未来的发展潜力不可小觑，预计会呈现几何级增长。下面就相关领域的蓝牙技术的应用情况分别进行阐述：

4.1 智能楼宇

传统的楼宇智能化核心在于智能设备的集中控制，包括暖通空调、照明系统和安防系统，伴随 AI 技术和 IoT 技术及蓝牙技术的不断创新，通过实现大规模设备网络和精确定位服务，进一步扩展了智能楼宇的定义，在提升用户体验以及优化空间利用效率及智能化等多个方面都带来了更多可能。

从近年来的发展现状及趋势来看，智能楼宇对大型互联照明网络和精确的室内定位服务的需求不断增长，蓝牙无线连接网络与定位已经成为智能楼宇的主流技术。随着蓝牙网状网产品合格证书的数量每六个月翻一番，越来越多的蓝牙产品正在解决智能楼宇市场的各种用例。

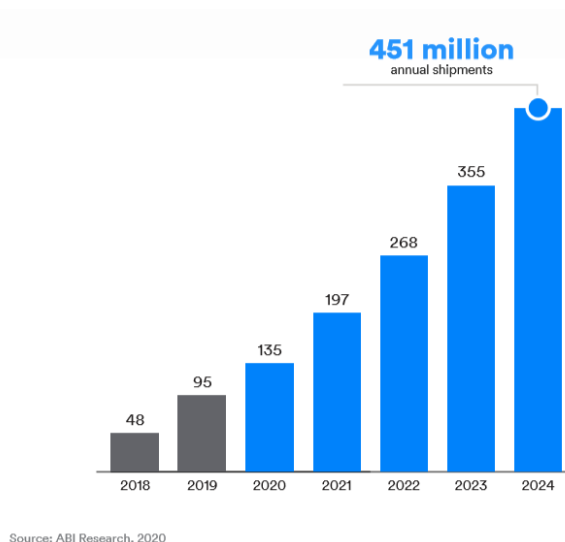


图 4-2 智能楼宇领域蓝牙智能设备发货量

数据来源：《蓝牙市场最新资讯 2020》

目前蓝牙 AOA 定位技术的创新应用为各种智能楼宇带来了全新的位置服务功能，从导航、资产管理到空间利用，蓝牙有助于提高运营效率，并改善住户体验。例如利用低功耗蓝牙 AOA 定位技术，以较低的功耗精准的定位建筑范围内的目标人或物，为各种智能楼宇带来了全新的位置服务功能，从导航、资产管理到空间利用，大幅提高运营效率，并改善住户体验。尤其重要的是，蓝牙作为手机等智能终端的标配，为蓝牙 AOA 定位技术在楼宇人员定位中的大范围应用提供了可能。

毋庸置疑，蓝牙位置服务在智能楼宇中的应用，势必会给制造业、零售业及医疗保健等行业领域带来众多的益处。例如，制造工厂利用蓝牙 AOA 定位技术对

员工和设备等进行精确定位，进而提高作业效率及保障安全；零售商使用蓝牙 AOA 定位技术来实现个性化促销和导航服务，从而提供更佳购物体验，提升销量，并降低运营成本；医疗保健机构可使用蓝牙 AOA 定位技术来监控患者，跟踪资产，并提升紧急服务能力，从而应对成本压力，提供更好的患者护理服务，并提高运营效率。

4.2 智能工业

蓝牙正在引领工业和信息的融合，为工业物联网革命铺平道路，助力制造商提升生产效率以及保障人员设备的安全性。可以说，蓝牙技术已经成为工业互联网不可或缺的一部分，特别是蓝牙 AOA 定位技术提高的位置精度和鲁棒性为智能工业解决方案提供了更多支持。

从近年来的发展现状及趋势来看，蓝牙技术正在加速渗透到智能工业领域的各类工作场景中，同时智能工业行业领域的蓝牙设备出货量也实现了持续的增长。

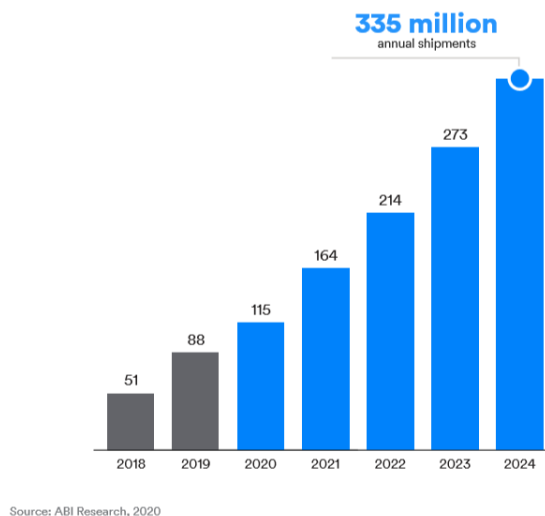


图 4-3 智能工业领域蓝牙设备出货量

数据来源：《蓝牙市场最新资讯 2020》

目前蓝牙技术的创新给智能工业/商业带来的升级优化作用主要体现在蓝牙传感器网络加强运行状态监控、蓝牙精确位置服务于物流与供应链管理、蓝牙定位技术保障危险作业场景中人员的安全三个方面，其中后两项则充分利用了蓝牙定位技术，特别是为蓝牙 AOA 定位技术提供巨大应用空间。

蓝牙精确位置服务于物流与供应链管理。制造企业的物流与供应链管理涉及到一系列环节，囊括的管理范围包括人、车、物、料、工具等众多对象，只有实

现制造企业整体供应链中人、车、物、料的无缝追踪、智能调配与高效协同，才能真正帮助制造企业提高整体的运营效率。而基于蓝牙 AOA 定位技术打造的实时定位系统（RTLS）解决方案，相比 UWB 等高精度定位技术而言，在成本上具有较大的优势，特别是定位标签的价格优势，使得企业更加容易接受蓝牙 AOA 定位技术来精确管理数量庞大的人、车、物等对象，满足企业在物流与供应链管理中的精准位置服务需求。例如，在有着多层货架的工厂仓库，相关人员可以利用基于 AoA、AoD 方法的蓝牙寻向功能，通过搭设蓝牙链路来快速确定货架上的货物种类、数量以及准确的位置，使物流仓储实现全方位的资产、人员、物体、设备追踪。

根据《蓝牙市场最新资讯 2019 年》数据显示，近年来，蓝牙资产跟踪标签以 34% 的复合年增长率增长，通过在商业和工业环境中跟踪和管理关键资产，通过实时定位系统（RTLS）解决方案帮助提高智能行业用例的运营效率。到 2024 年，Bluetooth® 资产跟踪标签的年发货量将增长 4.2 倍。

蓝牙 AOA 定位技术保障危险作业场景中人员的安全。目前企业对于作业人员的安全越发关注，特别是在能源化工、钢铁冶金、隧道工程等高危行业，近几年，国家相关部门对高危行业安全管理政策陆续出台，如“煤矿安全避险六大系统”、“综合管廊运维标准”、“十三五司法信息化建设”、“化工行业智能化二道门建设要求”、“公路隧道施工安全管理系统暂行管理规定”等。而据《蓝牙市场最新资讯 2020》数据显示，在接受调研的 60% 的企业中，目前在工作场所测试或部署人员安全管理解决方案。而美国职业安全与健康管理局（OSHA）也在将资源集中在工作场所人员安全上，通过人员跟踪、访问控制、电子围栏等功能，避免人员误入危险区域，最大程度保障员工安全。

可以说，制造业正在引领对资产跟踪标签的需求，在制造工厂使用蓝牙技术来提高员工和设备健康与安全。截至 2020 年，已经有 6600 万个左右的蓝牙资产跟踪标签出货，这些设施正处在恶劣的环境和关键资产的围栏内，以确保设备和人员在日常运营中不受伤害。

4.3 智慧城市

蓝牙连接着未来智慧城市，提升访客体验，改善市民生活质量，并打造更商

业友好型的环境。从近年来的发展现状及趋势来看，蓝牙技术正不断地在城市建模、循环城市、微型交通、智能空间等多个方面发挥作用。蓝牙定位服务和大规模设备网络在促进人们与城市之间的互动与融合、打造智慧城市空间的同时，也实现了蓝牙设备在智慧城市领域出货量的连年增长。据《SIG 蓝牙市场最新资讯 2020》数据显示，2020 年在智慧城市领域的蓝牙设备出货量会达到 7400 万个，到 2024 年预计会达到 2.34 亿个。

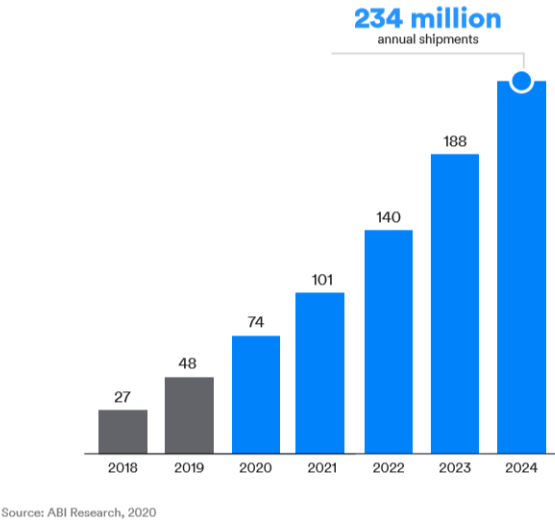


图 4-4 蓝牙设备在智慧城市领域的出货量

数据来源：《蓝牙市场最新资讯 2020》

据《SIG 蓝牙市场最新资讯 2020》数据显示，通过在机场、火车站、地铁站、体育场、医院养老院、中小学幼儿园、零售商场、旅游中心、游乐场、会展中心、展览馆、博物馆、停车场中提供蓝牙定位服务，并能够将用户手中数量庞大的智能终端，例如手机/PAD 等，应用到智慧城市相关定位应用中，来改变人们与智慧城市互动方式。与此同时，在智慧城市的相关细分场景中，可以借助蓝牙定位技术，来提高城市的资源利用率，降低城市运营成本。据《蓝牙市场最新资讯 2020》数据显示，预计到 2024 年，用于智能城市运营方面的蓝牙位置服务信标市场总量将达到 102 亿美元，且这一市场规模仍有被低估的可能。

与此同时，蓝牙定位技术与智慧路灯、自动驾驶等应用场景进行结合，也属于智慧城市场景的应用范畴，本报告将该内容在“蓝牙 AOA 定位技术在新型基础设施中的应用”章节中进行详细阐述。

5 蓝牙 AOA 定位技术赋能典型行业应用场景

5.1 智慧商超

我国有数千个大型商超/购物广场，最大的商超/购物广场面积达 121.5 万平方米，日消费者超 20 万人。商超作为最重要的室内商业环境之一，蓝牙 AOA 定位技术将为其智慧化转型提供重要支撑，定位技术在商超中发挥的重要作用主要体现在以下方面：

提升消费者购物体验。通过蓝牙 AOA 定位技术，为广大手机用户提供精准的商场定位、导航等服务：首先，用户在商场购物时，还可以借助室内导航在大型商超中快速找到出口、电梯等，家长用来跟踪小孩的位置避免小孩在超市中走丢等；当客户完成购物走向地下停车场后，可解决用户及车辆位置无法定位的痛点，帮助客户快速找到车辆；

优化经营活动。对于商超经营者来说，为其提供了位置大数据时空商业分析工具，来优化其经营活动。在为消费者提供精准的商场定位、导航、导购服务的同时，为商场提供客流动线，停留时长、到访频次等 BI 分析核心信息，动态模拟商场的业态规划和布局调整后带来的人流及销售收入的变化等。

资产防盗。以往在商场中防止扒窃方面主要采取的是 RFID 解决方案，而基于蓝牙的 RTLS 解决方案则为商场中资产的跟踪和保护提供了新的、经济、且有效的方法。除了传统的商店出口安装射频感应器以及安装视频监控外，可以通过布设实时定位系统(RTLS)，并给商品配置定位标签，进行实时定位，并设置电子围栏，一旦物品脱离安全范围即刻发出警报。同时这一功能除了防止入店行窃，还能改善客户服务提供了可能性，它会自动向员工发出信号，表明客户可能有兴趣购买商品。另外在商超中一旦购物车超出停靠范围，车轮可自动上锁，防止盗窃，同时也利于商超工作人员根据位置数据去收集购物车。

5.2 医疗养老

医疗及养老行业作为能够体现一个社会对尊重生命及人文关怀水平的重要行业，近年来也正经历着快速的变革，技术创新步伐也在加快，除了不断研发创

新治疗/护理方法之外，也在积极寻找改善医疗养老机构日常运营方式的创新方法，从而使得员工能够更加高效和安全地保障患者/被护理人。蓝牙 AOA 定位技术受到了医疗养老的欢迎，主要发挥以下方面的作用：

医护人员移动护理查房管理。通过为医护人员佩戴定位微标签，实现对医护人员查房等业务的实时管理，自动记录医护人员的查房路线、查房时间、查房次数，也可与预设的任务计划进行比对。另外，通过将定位系统与医院现有系统进行对接，根据为每个病人佩戴的定位标签的位置信息，系统实时推送病人的基础信息及病人病历、护理病历及 LIS、PACS、心电系统等患者的检验检查报告单等相关病情信息到 PAD 等手持的终端上，方便医护人员查看，实现使用手持终端进行查房看病功能。

医护人员手部卫生合规管理。尽管医院每天都会进行常规消毒，但每天仍然有成千上万人死于医疗机构中发生的感染，由于医护人员手部卫生较差导致的交叉感染则是重要原因之一。而针对这个问题，在医院中实时定位系统，用于检查确保医生和护士接触不同的患者之前始终洗手，减少感染转移，从而避免身体状况本已虚弱的患者被二次交叉感染的可能。

救生物资高速部署利用及物资追踪管理。对拥有从病床到专业医疗设备等成百上千项重要资产的医院，通过对资产的实时定位及动态管理，不仅减少了寻找设备的时间，而且还能够以更少的库存提供相同水平的服务来节省成本。而在胸痛中心、卒中中心等场景下，紧急救援争分夺秒，提高操作效率对于紧急救援车、呼吸机、麻醉机、心跳机等救生资产来说则更为重要，实时定位可以实现对救生物资更加高速有效地进行部署利用。另外，通过实时定位系统对物资的追踪管理，帮助医院更加有效地对资产进行库存管理，有效节省时间。

特殊人群定位追踪与及时护理。通过为精神病人、突发病患者、新生儿等佩戴具有测量体温、心率等临床基础生命体征的定位标签，并将其显示到系统软件平台上，便于医护人员进行及时观察、分析；对不同体征数据设置相应的报警阈值，将实时监测的数据值与阈值进行对比，一旦高于或低于预设阈值立即发出报警信号，同时在病人佩戴的定位腕带上设置按键报警功能，一旦系统提示风险或者病人自主呼叫报警时，都能使得医护人员及时发现及时处理。另外，基于实时位置监护，可以进行实时人员统计及电子点名等，一旦病人擅自离开或进入某

一非法区域时，系统将报警，便于进行及时处理，系统同时会记录每个被定位病人的历史行动轨迹，便于查询统计。

新生儿身份识别与防盗。婴儿的住院安全一直受到家长及医院的关注，由于新出生的婴儿样子都非常相似，孩子报错的问题也屡屡出现。通过给新生儿佩戴脚腕型定位标签，对婴儿进行实时定位监控。该标签可记录婴儿的相关身份信息，家长可通过监控室确认是否出现报错的可能。同时，该标签上自带体温计，实时对婴儿的体温进行考查，一旦体温不正常，系统会自动报警，医务人员能在最短时间内对婴儿进行治疗。同时设置腕带标签拆卸报警、婴儿位置移动报警、与摄像头联动实时监控等功能，实现婴儿防盗。

导航导诊。为就医患者提供导航导诊服务，从患者进入医院定位信号覆盖区域开始，即可按照实时位置数据，为患者的挂号、就诊、拿药等提供详细的路径指引。

5.3 大型场馆

对于博物馆、会展中心、体育场等大型展览活动场所，动辄就会聚集成千上万的观众，展览中涉及众多贵重文物或展品等，对于场馆的安防管理提出了较高要求；另外观众对参展体验的要求也在不断提高。基于上述原因，蓝牙 AOA 定位技术可以在博物展览领域发挥重要作用：

安保人员管理与智能调度。采用室内定位技术实时定位安保人员位置，进行人员自动考勤、区域统计与电子点名、智能巡查等工作状态管理，并可存储历史轨迹与回放。同时将定位系统与场馆内视频监控、火灾报警、入侵报警等系统进行集成应用，实现场馆内的安防联动，高效智能调度安保人员，大幅提升对突发事件的应急处理能力。

智能导航导览。在大型展览馆及博物馆中为参观者提供智能导航及导览服务，帮助参观者找到自己想要参观或欣赏的展品，同时可实时定位参观者的位置，系统可根据参观者的停留时间，提供语音导览服务。

大数据客流统计分析。基于游客或参观者的定位数据，生成热力图、分析游客或参观者喜好等，为场馆服务提升提供数据支撑。

5.4 交通枢纽

机场、火车站、地铁站等交通枢纽，随着城市的发展也越建越大，越建越复杂，因此“找路难”成了很多人面对的难题。例如在北上广深等一线城市中，处于线路交汇的地铁枢纽通常具有多个出入口，每天的人流量极其庞大，但是市民手机里常用的 GPS 在室外开阔地带虽表现良好，但室内定位依然存在信号问题，而蓝牙寻向技术的存在就可为消费者解决这“最后一公里”的室内定位问题。其通过蓝牙 AOA 定位技术提供的精确定位与导航，更准确地找到进出地铁站路线等。机场、高铁站、地铁站等交通枢纽，通过为用户提供导航和线路规划，科学引导分流车辆、人群，保障运营安全、提升运营效率。

5.5 智能制造

高精度的位置数据作为智能工厂数据流的重要组成，是智慧工厂业务流中时间、空间、状态三大数据指标之一，空间位置数据的精确性、实时性以及覆盖完整性，是智能工厂前端感知质量的重要评价维度。基于室内定位技术的高精度定位管理系统，从不同类型制造企业管理的难点痛点出发，借助室内定位技术，实现对工厂内的人、车、物、料等的精确定位、无缝追踪、智能调配与高效协同，大幅提升工厂的精益生产及精细化管理水平。目前汽车装配、电子制造、家电制造等众多行业均在积极引进室内定位技术实现厂区内的管理。蓝牙 AOA 定位技术在智能制造中发挥的重要作用主要体现在三个方面：

人员高效管理。基于对人员的实时定位数据，进行人员考勤、工时统计、到岗/离岗等工作状态的管理等。

物资物料定位追踪，生产过程追溯。无论在离散制造或大规模流水作业场景中，在产品生产制造过程中通常都需要经历接收订单、确认产品 ID、生产组装、测试、厂内仓储、厂外物流等环节最终交付市场，涉及众多物资物料。通过采用室内定位技术，实现对每个产品生产流转过程的全程追溯及作业过程的高度透明化，包括任何一次作业的记录，人员、车辆、工具等的任意时刻的位置等，规范作业流程的同时，大幅提高作业效率。

适配工具查找与防错。对于大型制造企业及重要设施，如汽车制造装配厂和

航空航天装配设施，通过实时定位系统可以大幅改善传统纸质单据的落后弊端，装配人员通过配备的移动设备，执行这些设备显示的工作任务，并通过在设备上安装独有的 ID 位置标签，快速获取显示位置的工具，最终实现在正确的时间、正确的地点、针对特定的部件，获取正确的操作工具，执行正确的操作程序等。

5.6 仓储物流

经济全球化步伐加快、物流活动日益庞杂的背景下，仓储物流作为货物流通过程的中枢环节，越发成为决定企业发展及产业链竞争力的关键。制造业、电商、第三方物流等各类型物流在港口码头、仓库的作业场景，通过将室内定位技术与 RFID、二维码等结合，使得周转过程中的每一个元素都可以被感知和被追踪，结合不断优化的大数据分析平台进行分析，使企业的物流能力进一步优化和提高。蓝牙 AOA 定位技术在仓储物流中发挥的重要作用主要体现在以下方面：

高效人员管理。基于对人员的实时定位数据，进行人员考勤、工时统计、到岗/离岗等工作状态的管理等。

车辆设备智能调度与安全管理。针对存储量大、流转量大、占地面积较大的物流仓库、港口码头等，通过定位技术实现对叉车/拖车的统筹管理。通过实现智能调配及合理路径规划防止走错位等情况，以此提高叉车/拖车利用效率；通过设置安全距离及电子围栏，最大程度防止人车碰撞事故发生。

货物实时动态有序管理。通过定位技术对仓储物流众多数量及品种的物资进行实时动态有序管理，实现物资的入库、出库、移动、盘点、查找等流程的智能化管理水平及物资流转速度，最大程度避免入库验收时间长、在库盘点乱且数量不准、出库拣货时间长且经常拣错货，以及货物损坏、丢失或过期等索赔问题。

载具管理与自动化。对承载货物的可移动货架、托盘、料箱等载具进行定位，通过对载具的有效管理，间接实现对其承载货物的有序化管理。另外，面对 AGV 等自动化设备应用越来越广泛的今天，可通过定位技术实现 AGV 与载具的高效协作，实现自动化取货等功能，进一步释放自动化设备的价值。

5.7 公检法司

公检法司行政系统作为体现国家社会治安及公平正义的代表，包括智慧监狱

监所、戒毒所、办案中心、法院检察院等众多场景，涉及到的人员众多，迫切需要借助室内定位技术提升信息化智慧化水平，解决警力紧张、工作压力大且无法全局监控的难点。例如，将定位技术应用在监狱监所中，可以支持全天候点名；对犯人进行 24 小时位置监控、轨迹跟踪；防拆定位手环可实时监测在押人员的生命体征；同时具有电子围栏和视频联动功能，在关键出入口及周界布置禁入边界，在押人员靠近或非法进入即主动告警，降低监管执法的风险使监管工作智能化，提升立体防控能力，快速响应突发事件。另外，可为狱警佩戴定位标签，犯人提审会见等过程中无人看守的不规范问题；对外来人员及车辆等进行定位，解决来访人员或车辆出入违禁区域无法快速有效监管、历史轨迹无法追溯的问题。

6 蓝牙 AOA 定位技术在新型基础设施中的应用

6.1 5G+蓝牙 AOA 两网合一的新基建

随着 5G 时代的到来，我们正加速走向万物互联的时代，越来越多的智能移动设备和应用也将会出现，而蓝牙技术作为大多数智能移动设备的标配，并与 5G 技术完美融合，在智能家居、增强现实、移动支付、看护跟踪、地质勘探、室内导航等方面为用户提供更好的体验。

由于 5G 室内大量远端设备的布设，天然为蓝牙 AOA 定位的数据回传提供了数据通道和供电网络，且蓝牙和 5G 室内基站布设密度接近 1: 1，提供了合并安装、合并回传的绝佳条件。无论是前装类的蓝牙+5G 合并安装，还是后装类的蓝牙接入已有 5G 网，都能够实现部署成本的大幅降低，也能够实现一网两用，即“一张 5G 数据网”+“一张高精度室内定位网”。另外，在“5G+蓝牙”的基础上，后续还可以集成更多智能硬件（ZigBee、BLE、摄像头等），为客户提供一整套室内信息化解决方案。

在“5G+蓝牙”实现一网两用、完美融合之外，蓝牙 AOA 精确定位技术还可以赋能 5G 应用，让 5G 应用贯穿空间信息，通过蓝牙技术提供的精确空间位置数据，驱动智能制造、智慧仓储、智慧城市等领域的 5G 技术落地应用，实现蓝牙 AOA 手机的无缝定位接入。例如在智慧工厂中的应用，可以实现以 5G 通讯为纽带，结合 Mes 系统、定位系统、AR 系统、设备的操作系统等，实现对人员、设备、物料的全流程连接，为生产制造和管理提供丰富有效的应用。

6.2 智慧灯杆+蓝牙 AOA 位置服务新基建

智慧灯杆作为将通信技术与传统城市公共基础设施融合的典范，集“综合、共享、智慧、和谐”四大特点于一体，被认为是最有发展前景的新型公共基础设施，在全球多个国家受到广泛关注并已经开始落地建设。在“新基建”政策大力支持下，会呈现出加速发展的态势，而蓝牙在智慧路灯的建设中也将占据一席之地。

蓝牙技术不仅能够实现路灯智能化升级组网，还可将蓝牙定位技术与智慧路

灯结合，让路灯不只拥有智慧照明、安全警示、环境感测等功能，导入蓝牙精准定位技术，除了可以透过相对应 APP 了解使用者所在位置外，还可以搭配微型定位标签，来反向定位追踪指定的人与车辆，并推播即时讯息，真正使智慧路灯成为具备路间数据的关键载体，特别是在高架桥、辅路、隧道以及其他因建筑遮挡比较严重的地点，弥补 GPS 定位不适用的问题。

另外，蓝牙+智慧路灯/灯杆的结合，毫无疑问将很大程度上促进自动驾驶的发展。车辆在行驶过程中，由于 GPS 定位技术的抗遮挡能力以及定位精度上的缺陷，已经成为制约自动驾驶的“软肋”之一。通过在智慧灯杆上搭载蓝牙定位设备，以类似于 GPS/GNSS 定位的拓扑结构，实现广播式发射、分布式解算，并且与 GPS/GNSS 定位无盲区切换、无缝连接。

6.3 基于蓝牙 AOA 的场内 V2X 位置服务新基建

当前社会经济发展迅速，城市汽车数量快速增长，室外停车场难以满足停车需求，城市建筑为满足停车需要修剪大量室内停车场。现代室内停车场正逐渐向大型化、多楼层方向发展，由于室内停车场设计多样、建筑结构复杂、地形陌生等因素，用户可能由于地形不熟找不到停车位或者停车后取车时忘记自己停车的具体位置或忘记取车的路线，导致用户在室内停车场浪费大量时间，也给用户带来了很大的不便。目前，用户在室内停车场面临停车难寻车位难得问题。利用蓝牙定位技术为室内停车场导航系统提供实时定位，并开发手机 APP，在 APP 程序中结合蓝牙定位功能为用户提供室内停车场的导航，为用户规划停车场内行驶路线提供停车信息，帮助用户快捷方便地寻找停车位或寻车。

另外，以蓝牙 AOA 高精度位置服务赋能 V2X 为基础，并借助停车场智能化改造，进一步实现 V2N(车对云端)、V2I(车对基础设施)、V2V(车对车)等技术以及车辆现有的感知设备，实现了地下室内停车场景下的自动代客泊车，为自动驾驶室内“前端一公里”打基础。

7 蓝牙 AOA 高精度定位技术发展趋势探讨

7.1 庞大的蓝牙生态，为其借势发展打下了坚实的基础

全球性的技术联盟组织生态。成立于 1998 年的非营利性行业组织——蓝牙技术联盟（简称 SIG），致力于开发简单、灵活、可靠且安全的无线通信解决方案，打造无线互联世界。该联盟在蓝牙技术的规格标准制定及资格认证、品牌推广等方面也发挥了重要作用：首先，在规格标准制定方面，通过促进成员公司的协作，不断扩展蓝牙技术的功能，从而建立全球通用及新的蓝牙标准。其次，在资格认证方面，通过世界一流的成员产品认证计划（该计划包括蓝牙技术的采用和商标许可协议），提升蓝牙设备之间的互通性。再次，在品牌推广方面，通过提升市场对蓝牙技术的认知度、理解度和使用度，推动蓝牙品牌的成长。近年来该技术联盟蓝牙成员社区持续保持高速增长，根据《蓝牙市场最新资讯 2020》数据显示，截至 2020 年 3 月已经有近 36000 成员公司，分布在全球各个地区，实现蓝牙技术在全球范围内的部署应用。

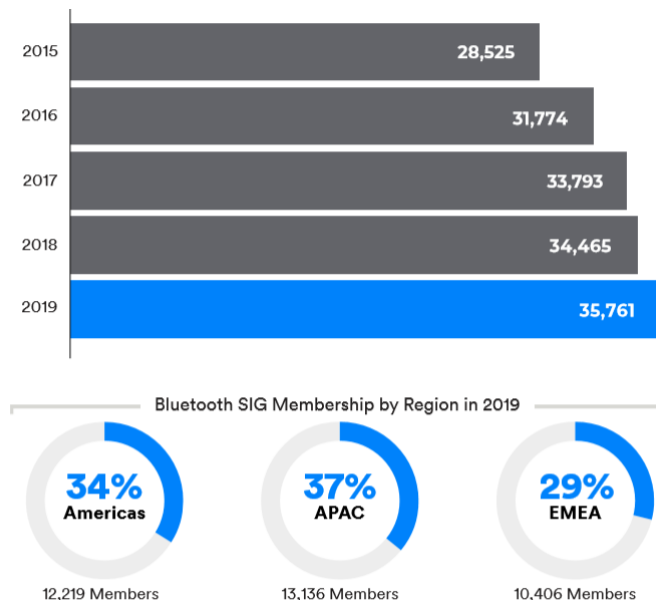


图 6-1 蓝牙技术联盟成员总数

数据来源：《蓝牙市场最新资讯 2020》

体量巨大的应用生态支持。不可忽视的是，蓝牙技术经过多年发展，愈发能够满足不断增长的无线创新需求，自 1998 年蓝牙技术推出以来，蓝牙设备出货量持续增长且毫无放缓迹象，截至目前，全球范围内蓝牙设备年出货量 40 余亿

台，并仍然保持着 8% 的年复合增长率。从音频传输到数据传输，到如今的精准定位服务，蓝牙技术无论是在手机、平板等消费领域，还是工厂、医院、商场等工商业领域都有非常多的应用。可以说，在终端设备市场能够达到如此巨大体量应用的技术仍然稀少，尤其是蓝牙已成手机中的标配，这毫无疑问会成为间接助推蓝牙 AOA 定位技术持续发展与大规模应用的强大势能。与此同时，由于蓝牙技术的高普及度，一旦 AOA 定位技术成熟，会极大缩短其规模化应用的时间周期，这对于快速摊薄蓝牙技术的应用成本将起到至关重要的作用。

7.2 优良的技术特性，是其持续稳步成长的重要内因

蓝牙作为一种开放性的、短距离无线通信技术标准规范，它可以用来在一定距离范围内取代多种线缆连接方案，穿透墙壁等障碍，通过统一的短距离无线链路，在各种数字设备之间实现灵活、安全、低成本、低功耗的通信。其自身良好的技术特性，是其多年来能够保持稳步成长的重要内因：

全球统一开发的技术标准规范。蓝牙技术在制定规范之初，就建立了统一的目标，向全球公开发布，工作频段为全球统一开放的 2.45GHz，全球大多数国家 ISM 频段的范围是 2.4-2.4835GHz，蓝牙这种全球通用的工作频段，适用于全球范围内用户无界限的使用，解决了蜂窝式移动设备的“国界”障碍。

适用设备多且可大规模组网。蓝牙体积小、功率低，其应用范围已经不局限于计算机外设，几乎可以被集成到任何数字设备之中，特别是那些对数据传输速率要求不高的移动设备和便携设备，而蓝牙技术除了适用设备众多之外，还可以无需借助外部线缆，即可实现设备和电信联网进行通信，方便快捷地在设备与设备之间建立起临时对等连接；另外，兼容 4 及 5 系列蓝牙协议的 Mesh 组网技术，可以将蓝牙设备作为信号中继站，利用低功耗蓝牙广播的方式进行信息收发，可以实现多对多设备通信，从而实现大面积覆盖。

定位精度高。蓝牙 AoA 提升精度以后可以做到亚米级，相比于基于蓝牙 RSSI 以及其他米级以上定位精度技术上了一个台阶，在用户体验上也上了一个台阶。

安全性和抗干扰能力强。蓝牙采用了跳频 (FrequencyHopping) 方式来扩展频谱，抵抗来自其他设备的干扰，在噪音环境下也能工作。同时提供认证和加密功能，以保证链路级的安全。

距离通信具有较大弹性。经典蓝牙技术通信的主要工作距离范围为 10 米，可根据需要通过增加射频功率将通信范围拓展至 100 米，而低功耗蓝牙 BLE 更是能将传输扩展至 300 米。

技术方案的低功耗性。蓝牙设备在通信连接状态下有激活（Active）模式、呼吸（Sniff）模式、保持（Hold）模式、休眠（Park）等多种模式，其中激活模式为正常的工作状态，另外三种模式则为节能所规定的低功耗模式。低功耗蓝牙运行和待机功耗极低，使用一颗纽扣电池便能连续工作数月甚至数年之久。蓝牙技术的低功耗优势，对于蓝牙 AOA 高精度定位方案来说，这也是其区别于其他技术，比较显著的一项优点。物联网的应用的落地系统的功耗也是非常重要的一个方面，功耗更低的方案更容易为用户所采纳。

7.3 多元的应用场景，为其落地应用提供了绝佳的舞台

蓝牙结合了速率、功耗、组网、成本、进入互联网简易程度等多方面的内在优势，不仅满足了大众休闲娱乐等方面的个性化需求，同样也适配于在工业智能、智能楼宇、智慧城市等众多行业领域的工作场景，并呈现出加速渗透、与业务流程更深度融合的发展趋势。而蓝牙 5.1 标准的推出，将蓝牙技术的定位精度提升至亚米级，助推了蓝牙技术在物联网近距离无线连接领域发挥出更大的价值。毋庸置疑，蓝牙技术无论在传统消费电子领域还是工业商业的应用中均扮演者愈发重要的角色。

另外，随着中国经济发展进入新常态，在资源和环境约束不断强化的背景下，创新驱动产业结构转型升级越发关键。而物联网作为国家重点培育的战略性新兴产业，国家颁布了一系列政策力促其发展，例如 2018 年 12 月 19 日至 21 日，中央经济工作会议重新定义了基础设施建设，将工业互联网、物联网纳入“新型基础设施建设”范围，随后“加强新一代信息基础设施建设”被列入 2019 年政府工作报告。而蓝牙等近距离无线通讯技术作为物联网应用中的“毛细血管”，势必也会出现非常可观的爆发性需求。

7.4 蓝牙 AOA 高精度定位技术商用落地面临的挑战

对于初出茅庐的蓝牙 AOA 技术，要实现商业化落地应用，仍面临着以下三方面的挑战：

7.4.1 市场对蓝牙 AOA 定位技术的认知不够，行业应用价值亟待挖掘

毋庸置疑，蓝牙 5.1 核心标准于 2019 年 1 月公布至今，刚刚一年多时间，蓝牙 AOA 定位技术目前正处于快速发展的早期阶段，纵观全球市场，基于蓝牙 AOA 定位技术的解决方案供应商仍然较少，市场对该项技术缺乏足够的认知，尚未在众多行业领域中得到广泛地落地应用，因此蓝牙 AOA 定位技术的真正价值仍待深度挖掘。

从目前市场来看，基于蓝牙 AOA 定位技术的解决方案供应商中，2012 年从诺基亚研究中心独立出来的 Quuppa 属于较早进入该领域的企业。同时国内产业界对蓝牙 AOA 定位技术的理解与重视程度也在快速加强，并且已经有“蓝色创源”等个别国内科技企业开始积极布局该领域。相信伴随技术落地应用，会吸引更多企业加入，推动产业链完善的同时，推动蓝牙 AOA 定位技术的行业应用。

7.4.2 缺乏统一的标准规范体系，影响蓝牙 AOA 定位产业整体发展

目前在全球范围内，并没有针对蓝牙 AOA 定位技术制定系统性标准规范体系，不利于产业生态的形成，影响了行业的整体发展。尤其是各家蓝牙发射帧稍有差别。

目前蓝牙 AOA 定位产业界相关企业对于统一标准具体高度一致的认同，积极推动蓝牙 AOA 定位技术标准的制定。与此同时，蓝牙技术联盟作为全球统一的非营利性技术联盟，在推动联盟成员企业在规格标准制定方面也正在发挥积极的作用。蓝牙 AOA 定位技术完整标准的制定，毋庸置疑，对于大规模应用生态的形成至关重要。

不过蓝牙相对于 UWB 更具有统一标准的环境土壤和可能，是因为蓝牙 AOA 帧结果简单，容易形成普适应用，从技术上更容易，从需求侧来说也更有动力形成标准规范。

7.4.3 基础设施建设必不可少，大范围覆盖尚需时日

蓝牙 AOA 定位技术作为基于外置信源的室内定位技术的一种，技术实现需要依赖于外置信源，因此前期的基站布设等基础设施建设则成为必需，若要形成定位信号的大范围覆盖尚需时日。

但另人充满期待的是，蓝牙作为智能手机的标配，蓝牙 AOA 定位技术天然受到了国内电信运营商的格外关注。与此同时在国家“新基建”政策的大力推动下，也为蓝牙定位基站与 5G 基站同时布设提供了绝佳的机遇，尤其是在蓝牙 AOA 定位技术方案成本较低的前提下，更加助力了其更快更大范围的落地应用。