

## ► Table of Contents

- [1. 概述](#)
- [2. 测向理论](#)
  - [2.1. 到达角\(AoA\)](#)
  - [2.2. 出发角\(AoD\)](#)
  - [2.3. 角度估算](#)
    - [2.3.1. Constant Tone Extension](#)
      - [2.3.1.1. 连接模式](#)
      - [2.3.1.2. 非连接模式](#)
      - [2.3.1.3. Silicon Labs 改进型模式](#)
    - [2.3.2. 解析IQ采样值](#)
  - [2.4. 位置计算](#)
    - [2.4.1. 角度估算](#)
    - [2.4.2. 位置计算](#)
- [3. 实验](#)
  - [3.1. 前提条件](#)
    - [3.1.1. 硬件要求](#)
    - [3.1.2. 软件要求](#)
  - [3.2. 测试环境](#)
  - [3.3. 设置天线阵列板](#)
  - [3.4. 设置标签](#)
  - [3.5. 运行 AoA 主机示例应用程序](#)
    - [3.5.1. 安装并运行 Mosquitto MQTT 代理](#)
    - [3.5.2. 构建和运行 AoA 主机定位器示例应用程序](#)
    - [3.5.3. Building and Running the Host Positioning sample application](#)
  - [3.6. 测试结果](#)
- [参考](#)

---

## 1. 概述

定位技术有着非常广泛的应用，例如在全球范围内普遍使用的GPS。然而，GPS在室内环境下并不能很好地工作，因此需要有一种切实可行的室内定位技术，可以使用追踪系统来追踪单个物体的位置（或方向），或者让设备自行追踪其在室内环境中的位置。这种定位系统可用于追踪仓库中的资产、追踪商场中的人员，或者人们可以使用它来确定自己的方向及位置。有两种传统的方法来计算物体所在的位置：三边测量和三角测量。

三边测量意味着确定物体与多个位置固定的定位器间的距离，并通过找到满足所有距离测量的点来确定位置。距离可以通过接收信号强度(RSSI)测量或飞行时间测量来确定。不过，RSSI测量其精确度并不高，而飞行时间测量则需要高度准确的时间测量。

三角测量意味着确定固定位置定位器看到被测物体的角度（或被测物看到固定位置定位器的角度），然后由各个角度的交点来确定被测物的位置。与使用 RSSI 测量的三边测量相比，这种方法可以提供更准确的位置，同时不依赖于高精度时钟，其成本比飞行时间测量所需的硬件成本更低。然而，它需要一个天线阵列和一种可以确定信号方向（角度）的计算方法。

本文描述了到达角和出发角的测向方法背后的理论基础。并讨论了蓝牙5.1是如何支持测向功能，以及Silicon Labs如何使用蓝牙协议栈和实时定位软件库(RTL lib)提供测向(DF)解决方案，以加快用户产品的开发。同时，我们还讨论了如何在办公环境中搭建演示环境，并进行实际环境下的演示。

## 2. 测向理论

### 2.1. 到达角 (AoA)

复杂的测向理论可以简化为以下基本原理：如果多个接收天线并排放置，单个发射器发射的无线电波将以不同的相位到达不同的天线。从不同天线上所接收到信号的相位差，就可以计算出无线电波的方向。

由于角度是相对于接收器确定的，因此我们也将这种技术称之为到达角。

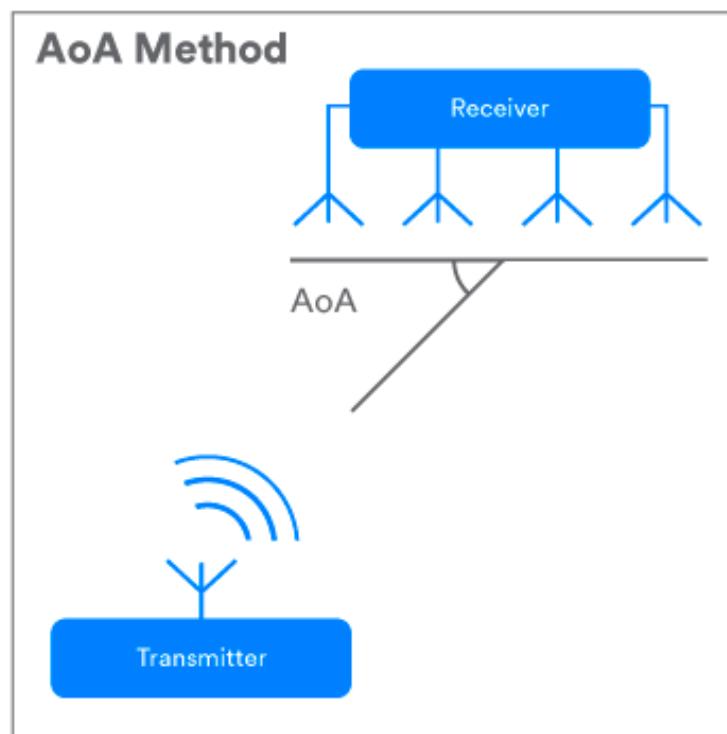


图 2-1 到达角

如果是无线电信号在测量期间不改变频率（即未调制），并且接收天线之间的距离小于波长的一半以确保没有发生相位反转，那么由相位差就可以明确地得出信号的入射角度。

### 2.2. 出发角 (AoD)

上面的设置也可以反过来。如果多个天线以相同的初始相位发射无线电波，那么单个天线可以测量不同入射波的相位差，并计算得出自己相对于发射天线阵列的方向。由于角度是相对于天线发射阵列来确定的，因此这种用例称为出发角。

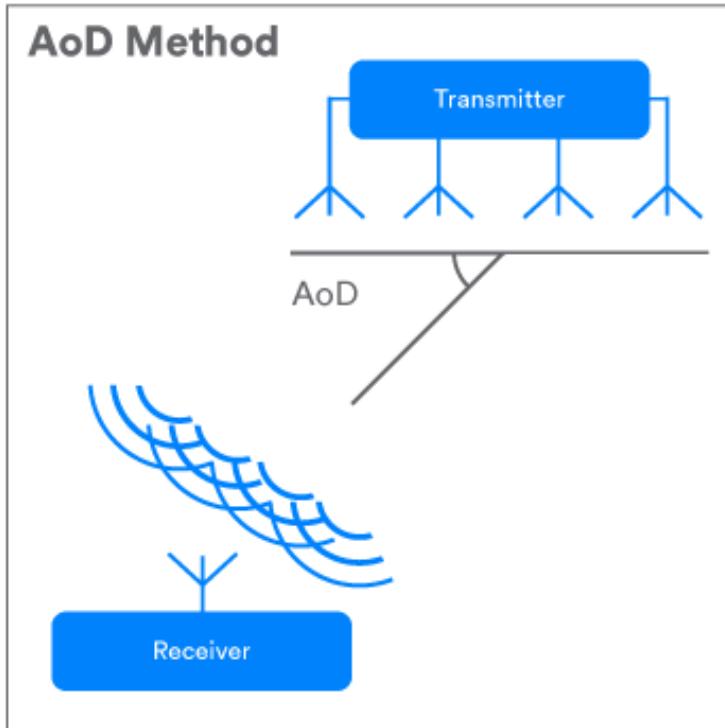


图 2-2 出发角

请注意，在AoD场景下，发射器（信标）必须在每个天线上以相同的频率发射，这是角度计算的先决条件。这也意味着天线不能同时传输，否则它们的信号会相互干扰。为了解决这个问题，发射设备必须在发射天线之间顺序切换，接收端必须知道天线阵列配置和相应的切换顺序。

## 2.3. 角度估算

### 2.3.1. Constant Tone Extension

为了确定输入信号的角度，必须在足够长的时间段内发送具有连续相位、恒定幅度和恒定频率的信号，以便所有接收器天线都能对其进行采样。

蓝牙 5.1 引入了一种新方法来请求和发送CW（连续波）信号。作为普通数据包的扩展，此扩展被称为Constant Tone Extension (CTE)，在请求发送CTE时，它会在普通数据包的CRC之后发送。



图 2-3 带 CTE 的蓝牙测向信号

CTE 既可以通过连接（在接收到 LL\_CTE\_REQ 数据包后的 LL\_CTE\_RSP 数据包中）发送，也可以通过周期性广播（在 AUX\_SYNC\_IND 数据包中）发送。此外，Silicon Labs蓝牙协议栈提供了一种私有的解决方案，其中CTE可以在扩展广播（AUX\_ADV\_IND 数据包）中发送，这使得Direction Finding在所能定位的资产数量方面更具可扩展性。

### 2.3.1.1. 连接模式

基于连接的模式由蓝牙SIG规范所定义。面向连接的测向使用LL\_CTE\_RSP数据包来发送CTE信号，这些数据包通过蓝牙连接发送以作为LL\_CTE\_REQ PDU的响应包。

下图所示是CTE信号的请求过程，它用于请求远端设备链路层发送包含 LL\_CTE\_RSP PDU 和 CTE的数据包。远端设备将回应一个 LL\_CTE\_RSP PDU，该PDU 包括所请求类型的CTE，其长度大于或等于所请求的长度。反之，远端设备的链路层将响应一个 LL\_REJECT\_IND PDU。

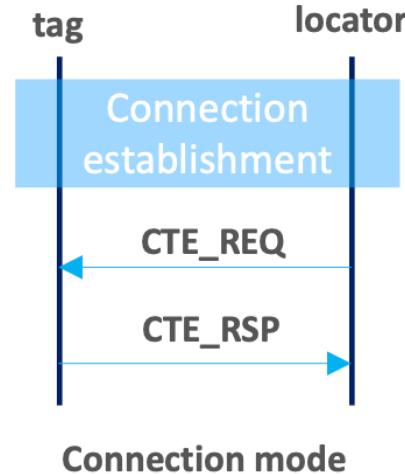


图 2-4 连接模式下CTE信号

通过Network analyzer抓取的网络数据说明了在基于连接的场景中如何发送CTE。

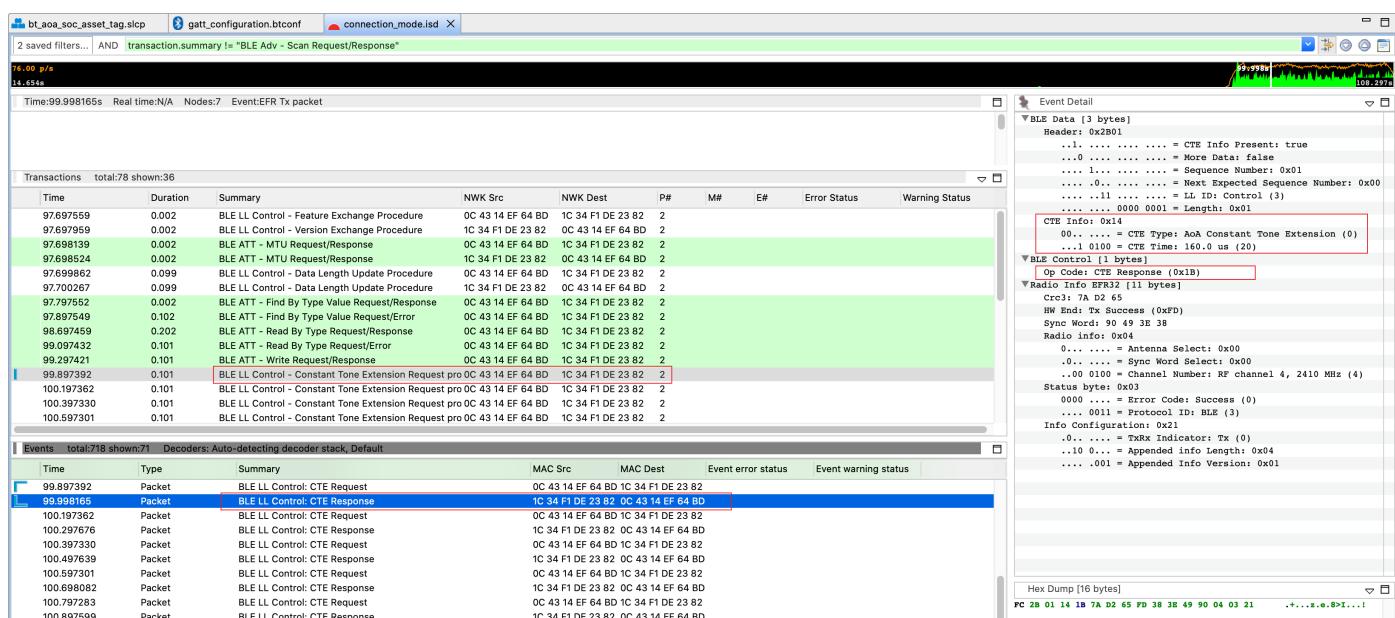


图 2-4 连接模式下CTE请求流程

### 2.3.1.2. 非连接模式

非连接模式下，蓝牙测向技术使用蓝牙周期性广播，并将CTE信号附加在AUX\_SYNC\_IND PDU中。

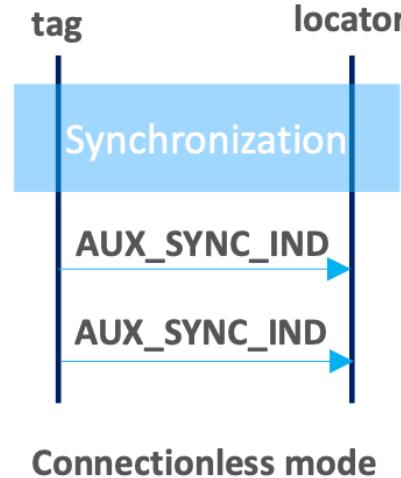


Figure 2-5 非连接模式下CTE信号

通过Network analyzer抓取的网络数据说明了在非连接模式下如何发送CTE。

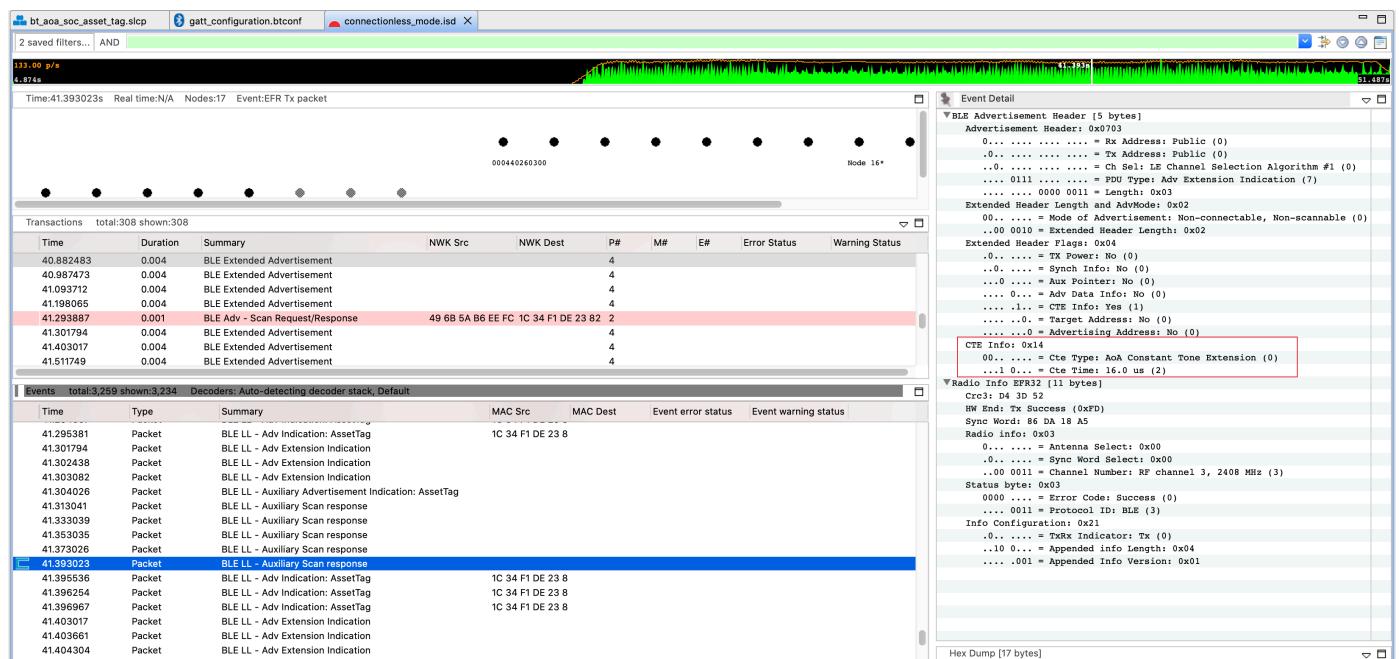


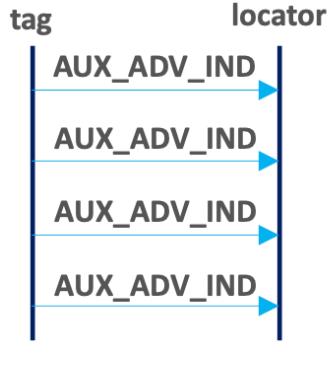
Figure 2-6 非连接模式下CTE信号

### 2.3.1.3. Silicon Labs 改进型模式

Silicon Labs 资产标签示例应用程序在扩展广播中发送 CTE，这是Silicon Labs独有的解决方案，因此采用这种模式的标签只能与支持该模式的Silicon Labs定位器一起使用。

该解决方案的优点是它使用扩展广播，与基于连接和周期性广播的方法相比，它不需要在标签或定位器端存储同步信息或蓝牙连接的信息，可以有效减小系统RAM的消耗。该解决方案的扩展性比其他两个好得多，可以同时支持数

百个标签一起使用。



Silicon Labs enhanced mode

图 2-7 Silicon Labs 改进型模式

通过Network analyzer抓取的网络数据说明了在 Silicon Labs改进型模式下如何发送CTE。

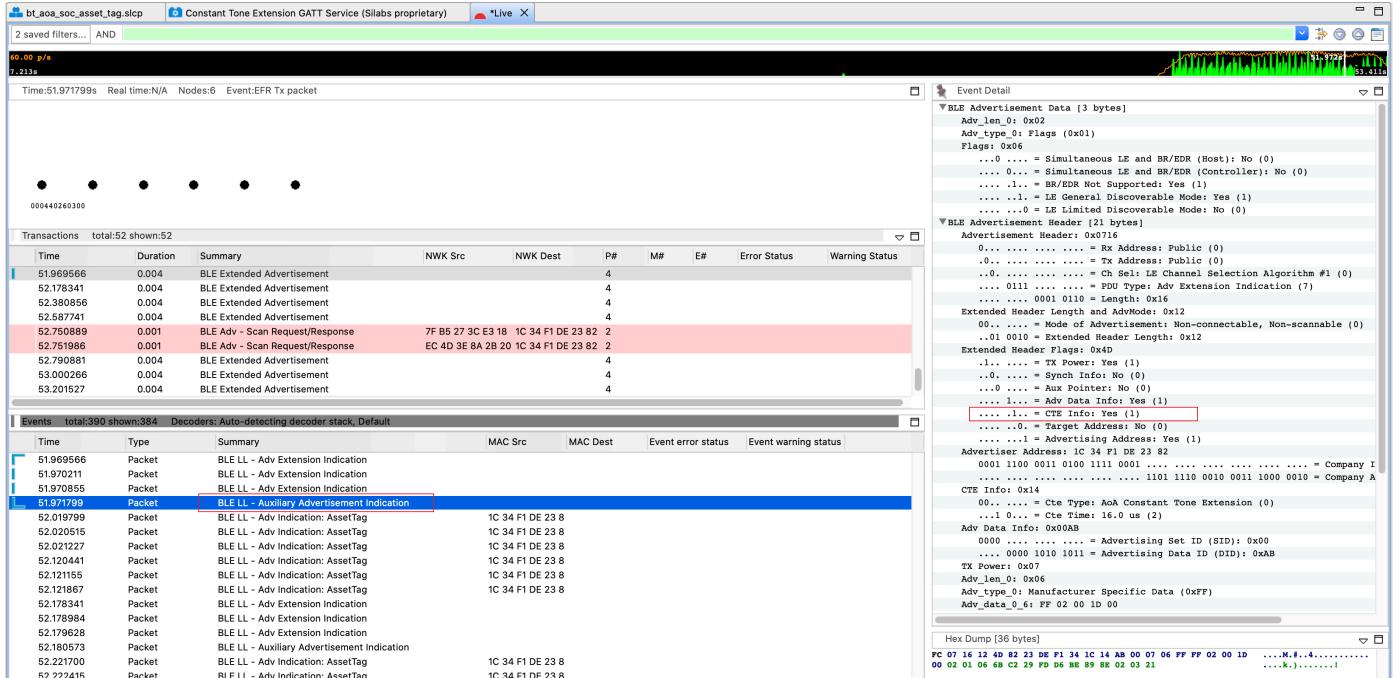


Figure 2-8 Silicon Labs改进型模式CTE信号

## 2.3.2. 解析IQ采样值

虽然CTE是一个简单的连续波，其长度为16 μs到160 μs，但是依据蓝牙核心规范(Vol. 6, Part B, Section 2.5)，它被划分为几个周期。

CTE的前4 μs 称为guard period，接下来的8 μs 称为reference period。在reference period之后，CTE由一系列交替的switch slot和sample slot组成，每个长度为1 μs或2 μs，具体由应用程序指定。

在使用蓝牙定位技术时，CTE发送端和接收端必须支持2-μs 长的switch slot和sample slot，可选择性支持1-μs 长的switch slot和sample slot。采用2-μs 时隙可以在具有更长转换时间的天线之间使用更便宜的RF开关，采用1-μs

时隙则可以对每个天线进行多次采样，这有助于降低噪声的影响以提高精度。

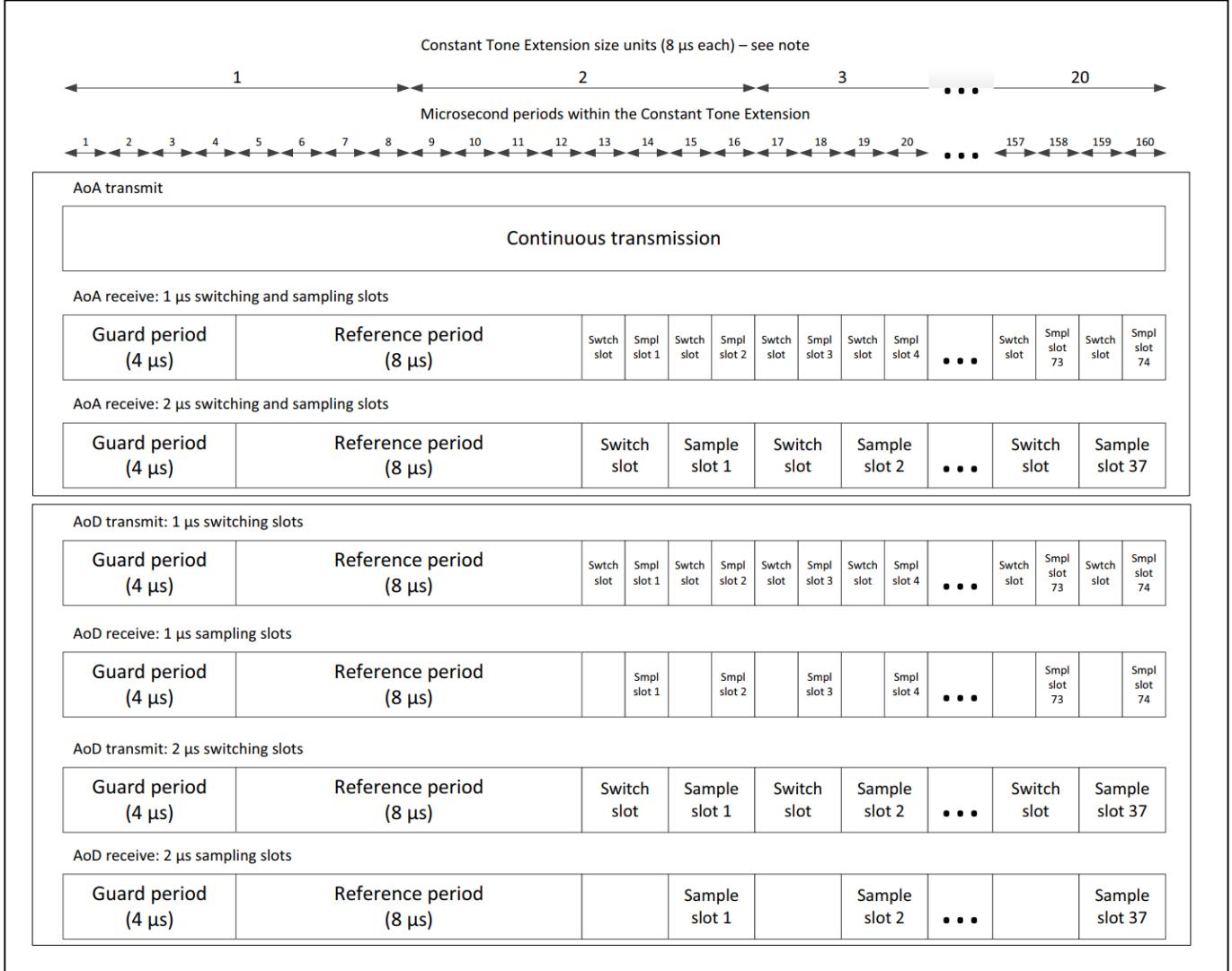


图 2-9 CTE结构

一旦CTE启动，radio就开始以其原始采样率对基带信号的同相(I)和正交(Q)分量进行采样。然后将样本下采样至1个样本/μs的采样率。前4个样本(在guard period中获取)被丢弃，然后8个样本(在reference period中获取)将存储在样本缓冲区中。最后，在switch slot中获取的每个样本都被丢弃，在sample slot中获取的每个样本都将存储在样本缓冲区中。

此时，共计有  $N = 8 + (L - 12) / 2 / S$  个同相(I)和正交(Q)样本存储在缓冲区中，其中 L 是 CTE 的长度，以微秒为单位，S 是以微秒为单位的slot长度。I 和 Q 样本合并到具有  $2N$  个元素的公共 IQ 样本缓冲区中，I 和 Q 样本交替：I(0)、Q(0)、I(1)、Q(1)、I(2)、Q(2)、I(3)、Q(3)、... I(N)、Q(N)。

如果slot为1-us且CTE的长度为160us，则总共将有82个I/Q对，总共164个字节。 $N = 8 + (160-12) / 2 / 1 = 8+74 = 82$

使用Silicon Labs方案，可以非常方便的从回调函数“aoa\_cte\_on\_iq\_report”中获取I/Q采样数据。

```

Silabs IQ samples received.
IQ Sample of the received CTE packet:
  Address 0xc1:0xbd:0x31:0x14:0x2e:0x84
  Address Type: 0
  PHY: 1M PHY
  Channel: 25
  RSSI: -34
  rssi_antenna_id: 0
  cte_type: 0
  slot_durations: 1 us
  packet counter: 2166
  IQ sample, len 164, value: 0xb0 0x10 0xd 0x50 0x51 0xf8 0xfc 0xaf 0x3 0x0 0x51 0x51 0x4 0xb 0xaf 0x1 0x0 0xec 0x12
  0xc1 0xe1 0xcd 0x2e 0xf5 0x2e 0x3 0xbe 0x28 0x6 0xf5 0xeb 0xd0 0x71 0xea 0x4 0x4e 0xf5 0xba 0x9 0xa9 0x6d 0xfb 0x23 0x6f 0x4f
  0xe5 0x3 0x1d 0xe8 0xef 0xe9 0xc7 0x2e 0xd8 0x12 0x2d 0x5 0x2d 0xcc 0xc6 0xd 0x5 0x2d 0xe3 0x27 0x6c 0xb5 0x13 0x42 0xe8 0x57 0x
  f9 0x16 0xb 0x98 0x38 0x27 0x4a 0xe4 0x8 0xc 0xe5 0x35 0xdf 0x31 0x24 0xd7 0x1b 0xd4 0xc 0x2d 0xc1 0xfe 0xd 0x25 0x26 0x9b 0x38
  0xe3 0xb9 0x24 0x3c 0x16 0x54 0x9b 0x29 0xb4 0xa7 0xbf 0x35 0xf3 0xe6 0x1c 0x7 0x2b 0x2d 0xe6 0x37 0xe0 0xdc 0xed 0xd8 0x46 0x22
  0xf2 0x2 0xe1 0x2b 0xb4 0xaa 0x3f 0xd4 0xcb 0x2e 0xb1 0x23 0xc4 0xa5 0x4c 0xa7 0xc1 0xc9 0x17 0xee 0xfe 0x1d 0xdb 0x32 0xc6 0xef
  0x1d 0xd9 0x24 0xe5 0x4a 0xfd 0xd0 0xea 0x47 0xa2

```

图 2-10 IQ 采样值

理想情况下，所有天线应该同时采样，以便于计算它们之间的相位差。然而，单radio的系统无法做到这一点。要实现对多个天线采样，只能采用时间分割的方法，也就是在连续的时间内对多个天线进行逐个连续采样，然后再对相位作补偿。在reference period中的采样，都是在同一天线上进行的，我们可以用它来测量1  $\mu$ s间隔内的实际相移，作为相位补偿值。

考虑到这一点，基带中 CTE 信号的频率为  $f\Delta + f_{offset}$ ，根据蓝牙规范，其中  $f\Delta = 250\text{kHz}$ ,  $f_{offset}$  在 10kHz 左右。因此，具有 1- $\mu$ s 差异的两个连续样本之间的相移约为  $\phi = 2\pi(f\Delta + f_{offset})t \approx 2\pi \cdot 0.25 \cdot 1 = 0.5\pi = 90^\circ$ 。考虑到频率偏移，它可能会在 80°-100° 之间变化。

使用  $\phi = \text{atan}2(-Q, I)$ ，我们可以很容易的从采样所得出的I/Q原始数据计算信号的瞬时相位。以reference period 为例，计算得出两个连续样本之间的相移在 85° 左右。

Index	IQ	I	Q	$\phi = \text{atan}2(-Q, I)$ , In N Phase (°)	Phase	Phase diff
1	-20	-20	33	-2.115660242	-121.22	238.78
2	33	30	25	-0.694738276	-39.81	320.19
3	30	27	-26	0.766532477	43.92	43.92
4	25	-22	-31	2.187987718	125.36	81.44
5	27	-33	19	-2.619189222	-150.07	209.93
6	-26	14	36	-1.199905038	-68.75	291.25
7	-22	37	-10	0.263963724	15.12	15.12
8	-31	-5	-37	1.705117769	97.7	82.58
9	-33	17	46	-1.21679889	-69.72	290.28
10	19	-2	-61	1.603571471	91.88	91.88
11	14	-58	0	3.141592654	180	180
12	36	-53	-5	3.047531419	174.61	174.61
13	37	63	38	-0.542750498	-31.1	328.9
14	-10	-36	-90	1.951302704	111.8	111.8
15	-5	-21	54	-1.941687616	-111.25	248.75

图 2-11 相移

## 2.4. 位置计算

在不知道定位器距离标签的准确距离，或标签是否被限制在某2D平面中移动的情况下，使用单个天线阵列只能提供标签的方向，但不能给出其具体位置。

要确定标签的精确位置，必须使用多个天线阵列。通过使用多个天线阵列，可以使用三角测量来确定标签的位置。标签可以在由测向算法确定的方向上所绘制的线的交点处找到。三角测量也可以使用三边测量来进行补充，将RSSI 测量值添加到AoX系统中可以进一步增强位置计算的精度。

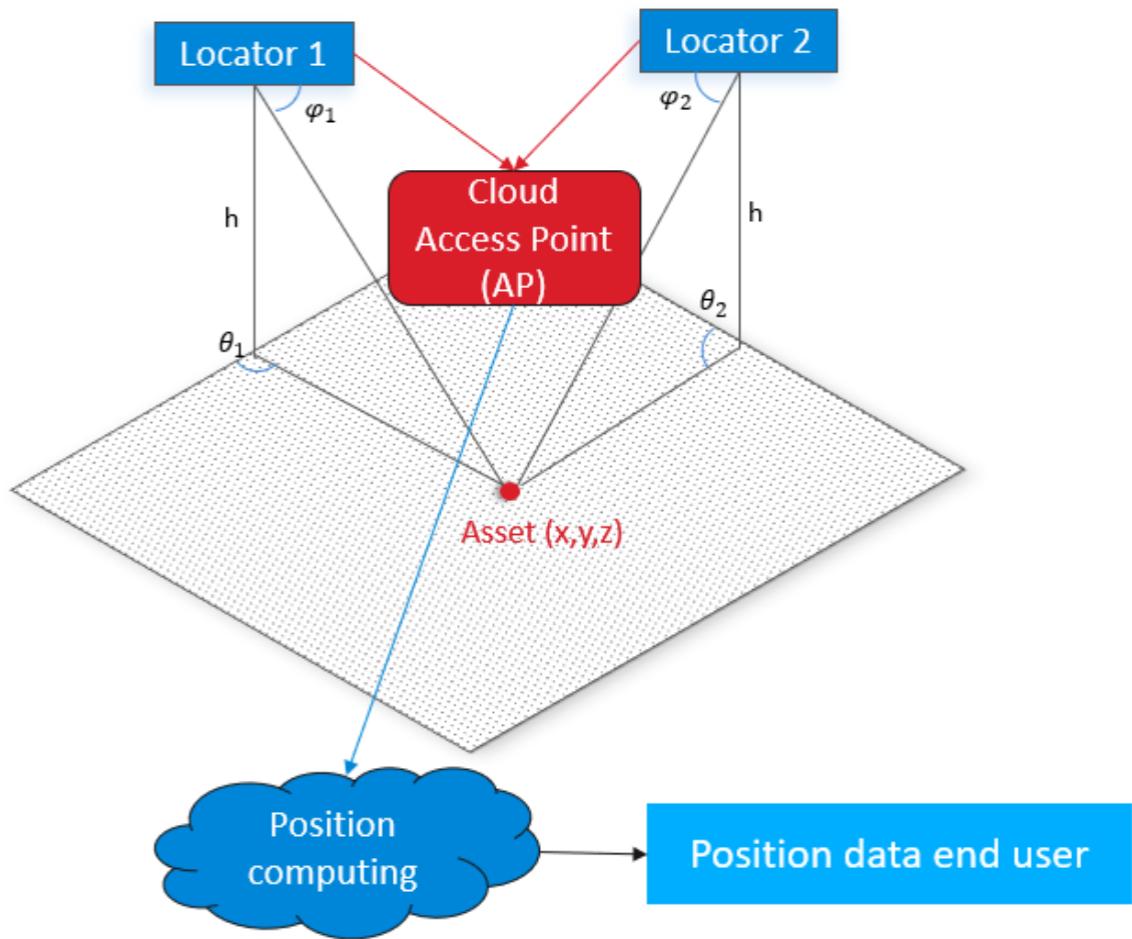


图 2-12 具有多个天线阵列的标签定位

## 2.4.1. 角度估算

从IQ 样本估算到达角 (AoA) 或出发角 (AoD) 并非易事，尤其是在充满各种无线反射信号的真实环境中。为了减轻开发人员的负担并加快产品的开发过程，Silicon Labs提供了一个实时定位库 (RTL lib)，用于处理从蓝牙协议栈所接收的 IQ采样值，实现多路径检测以及方位角和俯仰角计算，并通过API将数据提供给应用程序。

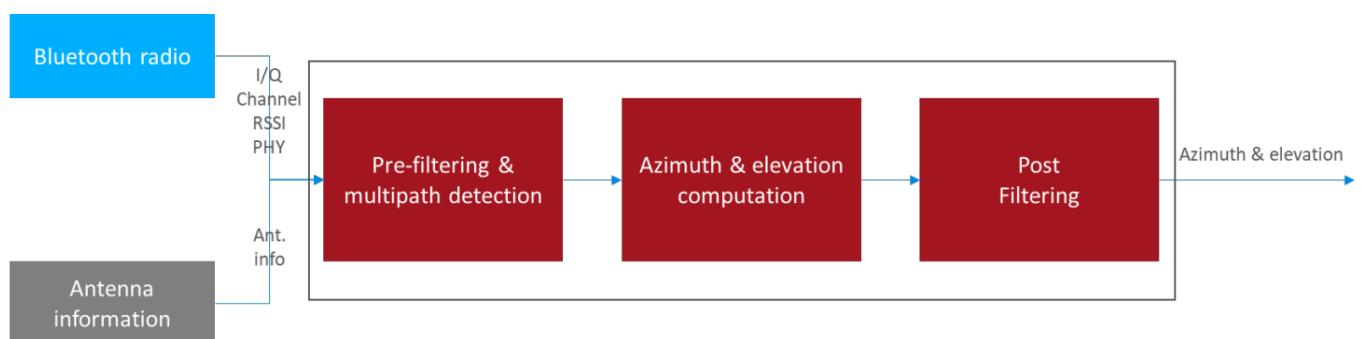


图 2-13 角度估算

## 2.4.2. 位置计算

此外，RTL库还能够使用三角测量，在多定位器场景中估算被跟踪标签的位置。多个定位器从同一标签接收CTE，在已知各个定位器位置的前提下，使用定位器的位置和估算的角度（AoA）作为输入值，即可以估算得出标签所在的位置。

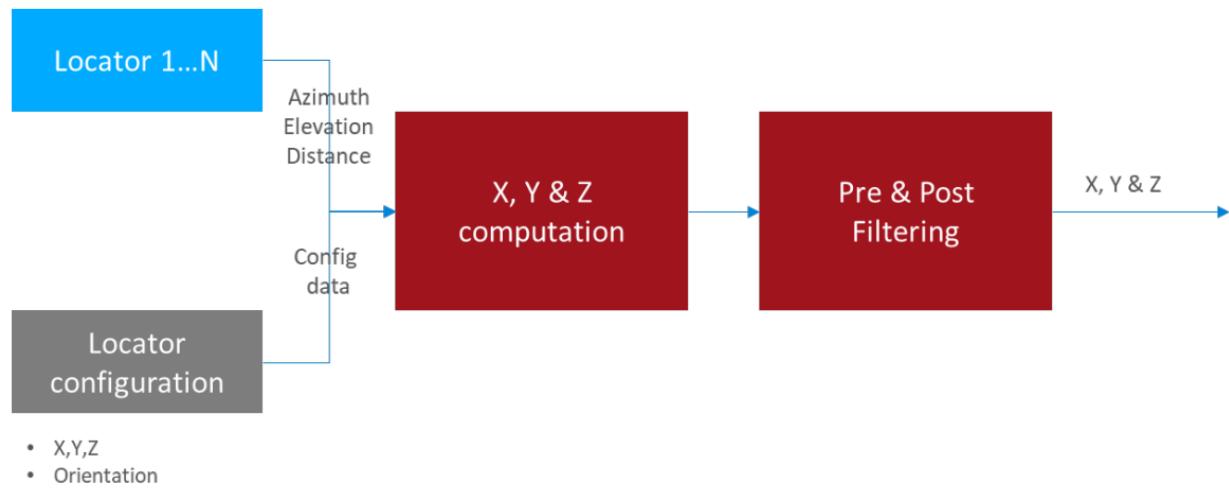
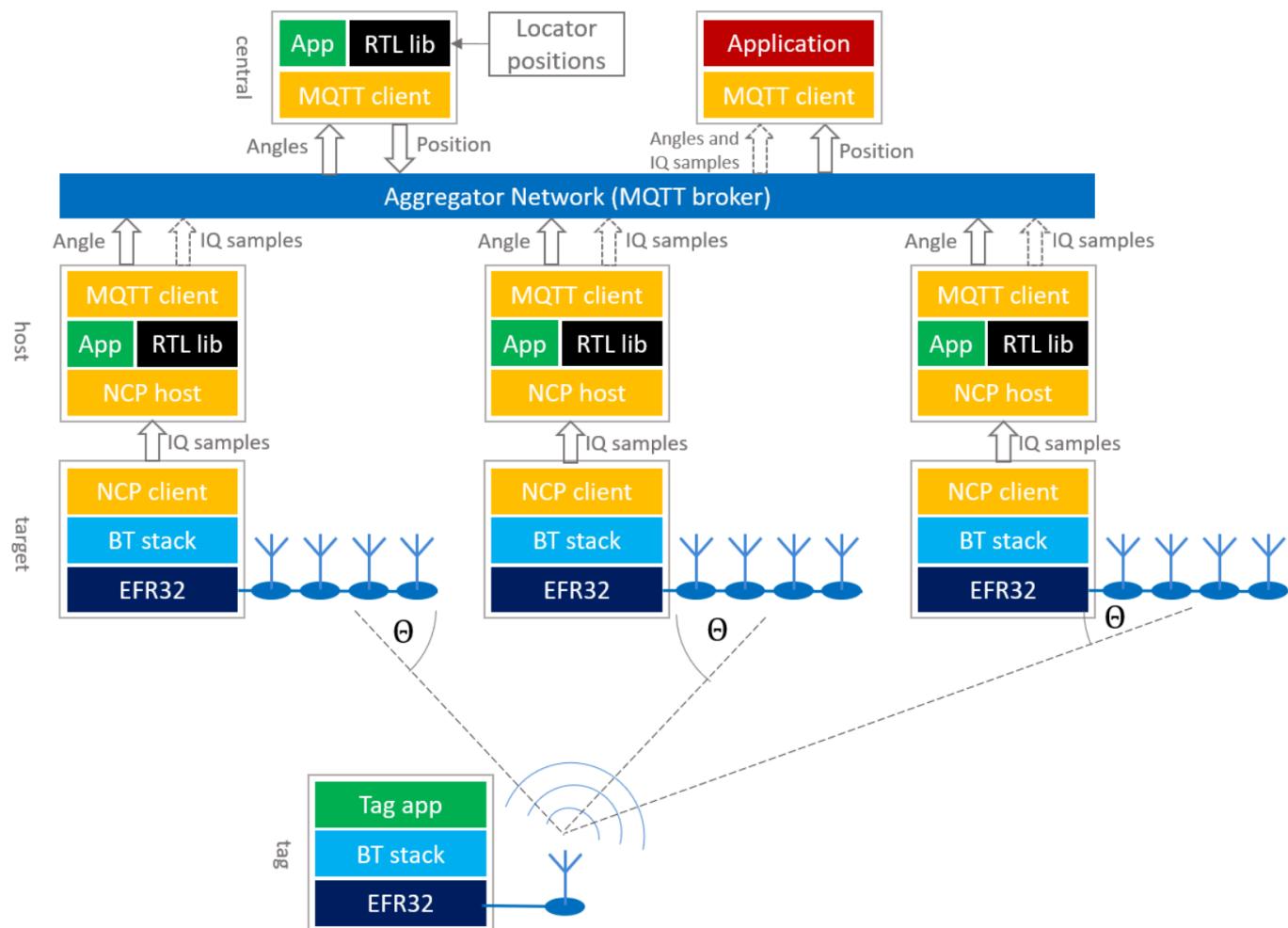


图 2-14 位置计算

使用 Silicon Labs RTL 库的实时定位系统的一般架构如下所示：



**Figure 2-15 定位系统框图**

如架构图所示，Locator工作在网络协处理器(NCP)模式，即协议栈运行在EFR32芯片上，但应用程序运行在主机上用于处理IQ采样。定位器应用程序输出估算的角度数据或将IQ采样数据直接转发到上层。

目前，由于EFR32芯片的计算能力有限，它仅支持NCP模式的定位器，即在撰写本文时，EFR32芯片上暂时无法运算RTL库。

定位器可以通过多种方式连接到中央处理器。Silicon Labs的参考实现使用MQTT从定位器收集角度数据或IQ采样。使用MQTT可以灵活地在分布式网络，或者使用localhost的单个PC上运行主机示例应用程序，来收集各个locator端所计算得出的角度数据或者IQ采样。

使用RTL在中央PC上估算得出位置信息之后，就取决于用户的应用程序如何处理数据，例如，用户可以将位置集成到他们的室内地图和导航系统中。

## 3. 实验

本章节重点介绍如何搭建AoA演示环境。这包括如何创建AoA Asset Tag项目并使用不同的CTE模式。实验中，我们还将展示如何编译主机示例应用程序aoa\_locator，以根据天线阵列所捕获的IQ数据估算角度。以及如何设置Silicon Labs提供的定位主机应用程序来实现标签的定位。

为了简化使用Silicon Labs的RTL库的配置和开发，我们还提供了蓝牙测向工具套件，以通过交互式图形界面配置单个或多个蓝牙定位器，以评估RTL库的性能。AoA Positioning Tool演示应用程序则可以用于演示RTL库的位置估算功能。

### 3.1. 前提条件

#### 3.1.1. 硬件要求

对于本实验，你将需要以下硬件：

- 4个或更多WSTK主开发板
- 4个或更多EFR32BG22天线阵列板（推荐使用双极化天线阵列板BRD4191A）
- 1个Thunderboard BG22(BRD4184A)或1个Thunderboard xG24(BRD2601B)

#### 3.1.2. 软件要求

- Simplicity Studio v5
  - Gecko SDK v4.1.1或更高版本
  - Bluetooth SDK 4.1.1或更高版本

### 3.2. 测试环境

本实验将向你展示我们如何在办公环境中设置AoA演示，演示中将包含1个标签和6个定位器。所有的天线阵列都固定在天花板上，面朝下，这可以确保在测试环境下标签与定位器间更好的直视路径。正如我们在AN1296中推荐的那样，天线之间的距离为3-5m。

- 地点：办公环境，开放空间，测量区有很多桌子、金属架子、隔间
- 定位器距地面高度：2.5m

- 标签离地高度：1.5 m
- 测试范围：50 m<sup>2</sup>

下面是具体的测试环境，及定位器的坐标和方向的拓扑结构图。



图 3-1 办公室环境

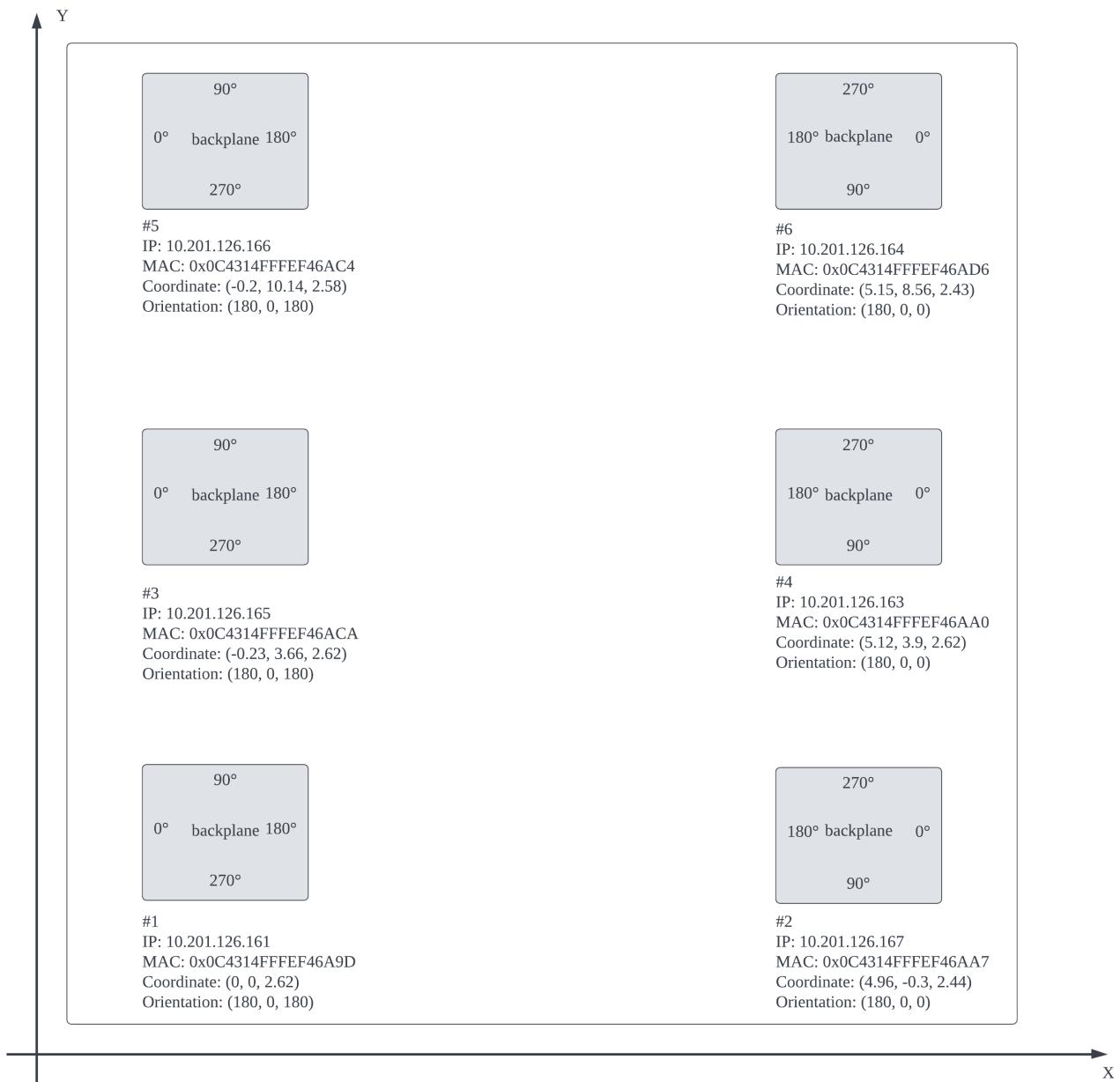
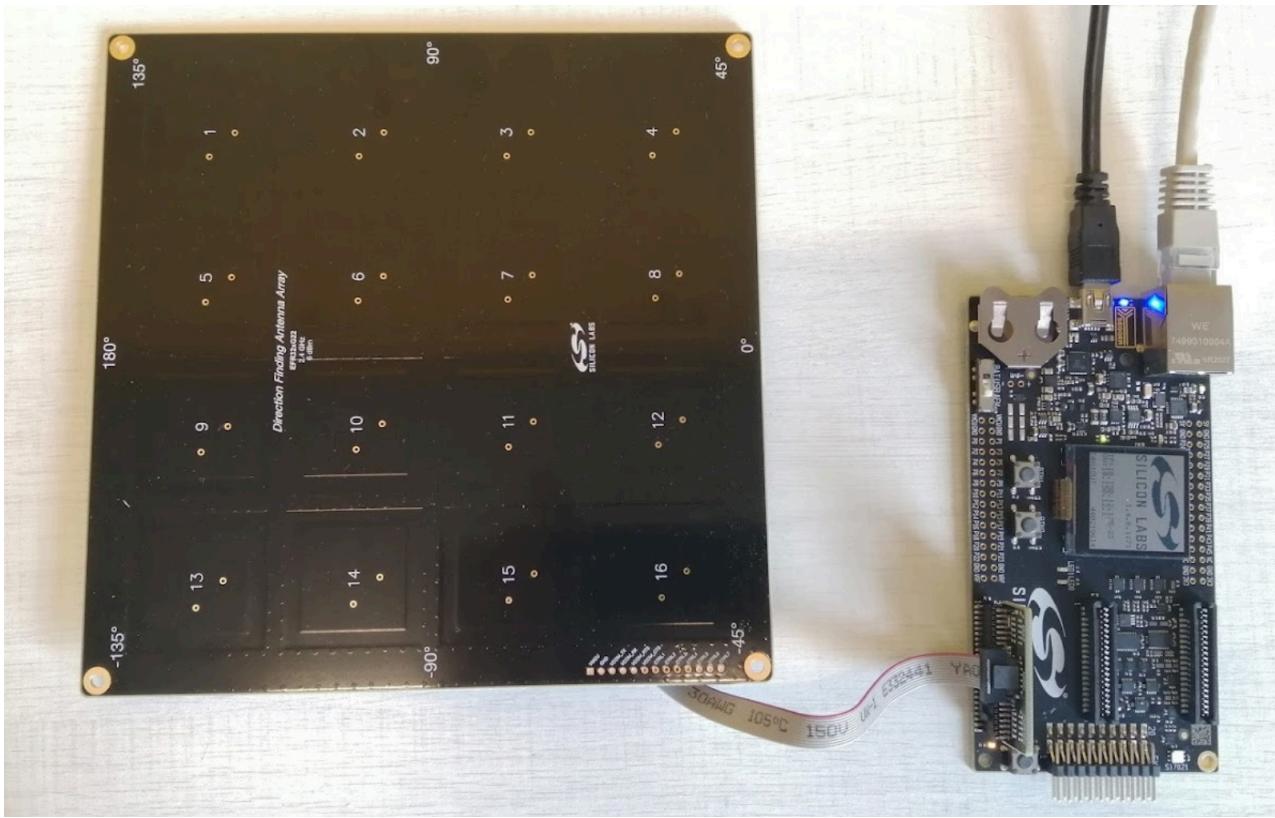


图 3-2 定位器拓扑结构

### 3.3. 设置天线阵列板

要设置演示，首先需要在天线阵列板上烧录正确的软件。

1. 启动 Simplicity Studio 5。
2. 通过 USB 或以太网连接将天线阵列板连接到 PC。



3. 在Simplicity Studio Debug Adapters视图中选择天线阵列板（Direction Finding board），并确保选择 Gecko SDK Suite v4.1.0（或更高版本）作为当前所使用的SDK。

v5\_workspace\_aod - Simplicity Studio™

WSTK Mainboard (IP: 10.201.126.161)

OVERVIEW EXAMPLE PROJECTS & DEMOS DOCUMENTATION COMPATIBLE TOOLS Create New Project

General Information

Connected Via: **Ethernet** Configure

Debug Mode: **External Device (OUT)**

Adapter FW: **1v4p6b1171** Latest

Secure FW: **1.2.12** 1.2.12 | Changelog

Preferred SDK:

Gecko SDK Suite v4.1.0 Manage SDKs

Recommended Quick Start Guides

- [AN1255: Transitioning from the v2.x to the v3.x Bluetooth SDK](#)
- [QSG168: Proprietary Flex SDK v3.x Quick Start Guide](#)
- [QSG169: Bluetooth Quick Start Guide for SDK 3.x and Higher](#)
- [QSG175: Silicon Labs' Direction Finding Solution Quick-Start Guide](#)

All Quick Start Guides

Board

Board

Target Part

yuan.cheng@silabs.com ▾

© 2022 Silicon Labs

图 3-3 设置天线阵列板

4. 选择 Example Projects & Demos 选项卡，过滤蓝牙技术类型，然后找到Bluetooth - NCP AOA Locator 演示示例。

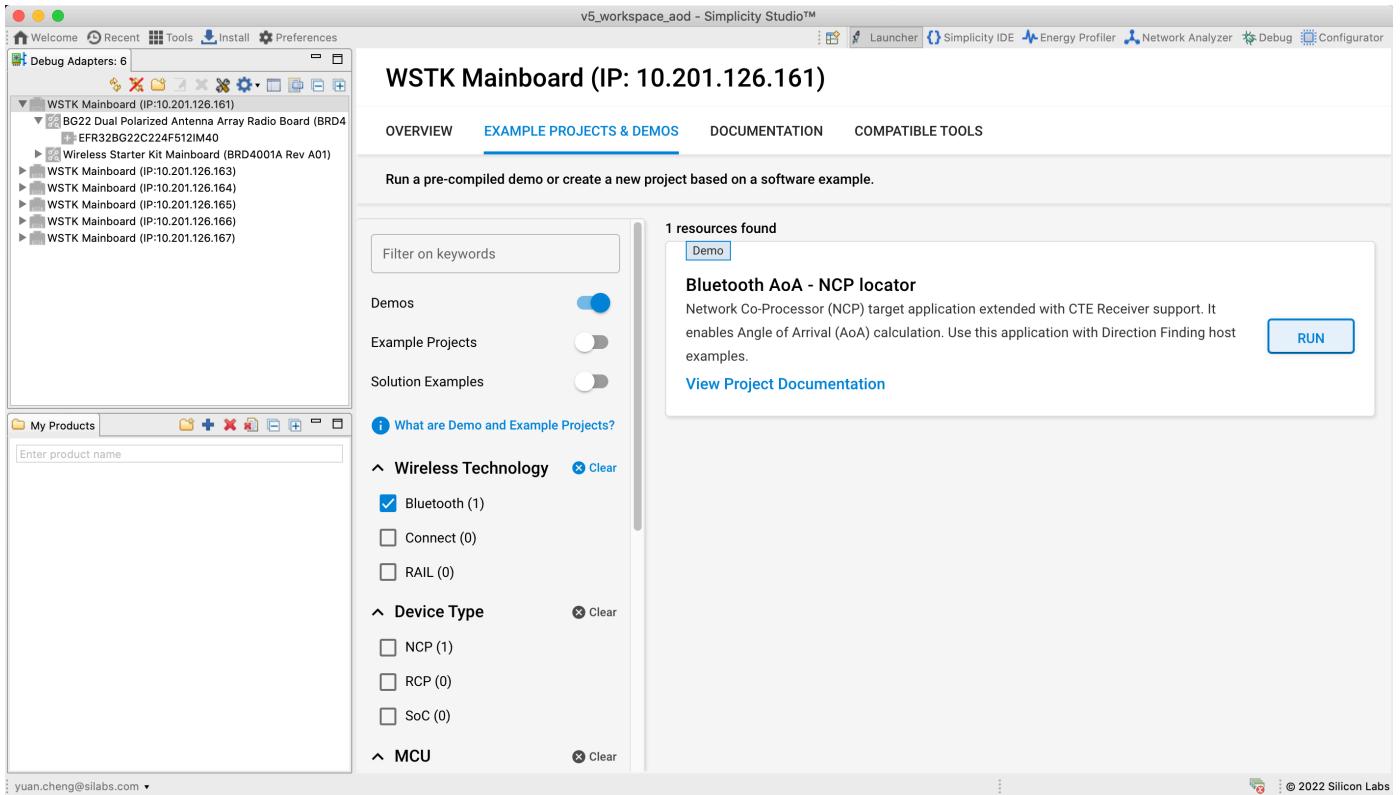


图 3-4 设置天线阵列板

5. 单击 RUN 以下载并在你的板上运行示例程序。（注意：该示例程序已包括了一个引导加载程序，如果你从源代码创建NCP AoA Locator应用程序，则还必须将引导加载程序烧录至设备中）

## 3.4. 设置标签

接下来，在EFR32xG22 或 EFR32xG24 开发板上烧录标签侧软件。请注意，SDK中预编译的演示程序仅适用于 Thunderboard BG22，对于其它板，用户需要自行创建AoA Asset Tag项目，并将其与Bootloader程序一起烧录到设备中。

以下说明适用于 Thunderboard BG22。

1. 将 Thunderboard BG22 连接到 PC。
2. 在 Debug Adapters 视图中选择开发板，并确保选择 Gecko SDK Suite v4.1（或更高版本）作为默认的SDK。
3. 切换到示例项目和演示选项卡，过滤蓝牙技术类型，然后找到蓝牙AoA - SoC Asset Tag演示程序。
4. 如果这是一个新的 Thunderboard BG22，请按下它的重置按钮。在某些板上，出厂默认固件会在 30 秒后将设备置于 EM4 睡眠模式，因此在烧录器烧录演示程序之前需要重新启动设备。
5. 单击RUN 以下载并运行演示程序。

如果你使用的是 EFR32xG24 开发套件，SDK中并没有直接可用的预编译演示程序，你需要创建“Bluetooth AoA - SoC Asset Tag”项目，编译并下载到开发套件中。

在默认情况下，Bluetooth AoA - SoC Asset Tag示例程序支持 Silicon Labs 改进型 CTE 模式。如果你想切换到非连接模式，则应卸载*Constant Tone Extension GATT Service (Silabs Proprietary)*软件组件，然后安装*Constant Tone Extension GATT Service (Connectionless)*组件。

我们推荐使用 Thunderboard BG22 来作为 AoA 系统的评估和开发。此外，Silicon Labs 还提供了另一种 EFR32BG22 标签设计，它是一个可以直接复制粘贴的蓝牙资产标签参考设计。它的大小与 CR2032 钮扣电池差不多，其中包括 BG22 蓝牙 SoC、HFXO 和 LFXO（可选）晶体、PCB 天线和匹配组件以及可选传感器（加速度计和气压计）以及简单的人机交互接口（按钮和 LED）。

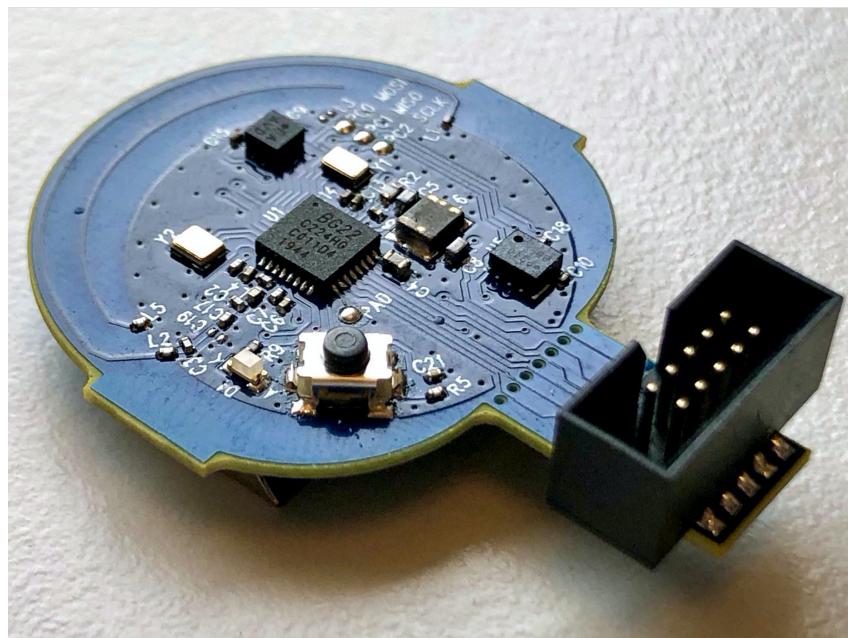


图 3-5 EFR32BG22 标签参考设计

EFR32BG22 标签参考设计的设计文件可以从[Technical Library](#) 下载。

## 3.5. 运行 AoA 主机示例应用程序

### 3.5.1. 安装并运行 Mosquitto MQTT 代理

在编译和运行任何主机示例应用程序之前，必须安装 Mosquitto MQTT 代理。安装完成后，确保 mosquitto 服务正在运行。

### 3.5.2. 构建和运行 AoA 主机定位器示例应用程序

安装好最新的蓝牙 SDK 后，使用命令 `cd $GSDK_DIR/app/bluetooth/example_host/bt_aoa_host_locator` 跳转到 `example_host/bt_aoa_host_locator` 目录，然后使用命令 `make` 编译项目。

项目编译完成后，在 `bt_aoa_host_locator` exe 文件夹内将会生成一个可执行文件。使用以下命令运行应用程序：

```
bt_aoa_host_locator -t <tcp_address> | -u <serial_port> [-b <baud_rate>] [-f] [-l <log_level_filter>] [-m <mqtt_address>[:<port>]] [-c <config>] [-h]
```

`-h` 选项可用于打印帮助消息，以了解所有可用选项。

假设你通过 TCP/IP 连接来访问天线板，请执行以下命令运行应用程序，`<config>` 是 locator 对应的配置文件。

```
./exe/bt_aoa_host_locator -t 10.201.126.68 -c <config>
```

AoA 定位器配置是角度估算的重要步骤，它包含天线类型（模式）的配置选项、CTE 配置、角度估算参数、允许的标签列表和角度掩码等。当使用 Silicon Lab 的双极化天线板（即 BRD4191A）的默认设置时，无需配置即可启动主机应用程序。在任何其他情况下，用户则必须在运行前或运行期间修改配置。

AoA 定位器主机应用程序的整个配置文件或特定配置参数可以通过MQTT即时更新，而无需重建和停止应用程序。

### 3.5.3. Building and Running the Host Positioning sample application

切换到“example\_host/bt\_host\_positioning”目录并使用 `make` 编译项目，在exe文件夹中生成一个可执行文件 `bt_host_positioning`。使用以下命令运行应用程序： `bt_host_positioning -c <config>`

定位配置文件包含了定位程序和单个AoA定位器主机程序所使用的配置，包括天线类型（模式）、CTE 配置、角度估算参数、允许的标签列表和角度掩码，以及多定位器拓扑设置（每个定位器的坐标和方向）等。要了解有关定位配置的更多信息，请参阅[AN1296](#)。

## 3.6. 测试结果

我们在实际场景下进行测试，以评估多定位器系统的定位精度。将标签固定在三脚架上，其高度约为1.5m，我们将它分别移动到如下 3 个不同的位置。



图 3-6 标签的实际位置

下面是AoA定位系统所估算得出的标签位置。

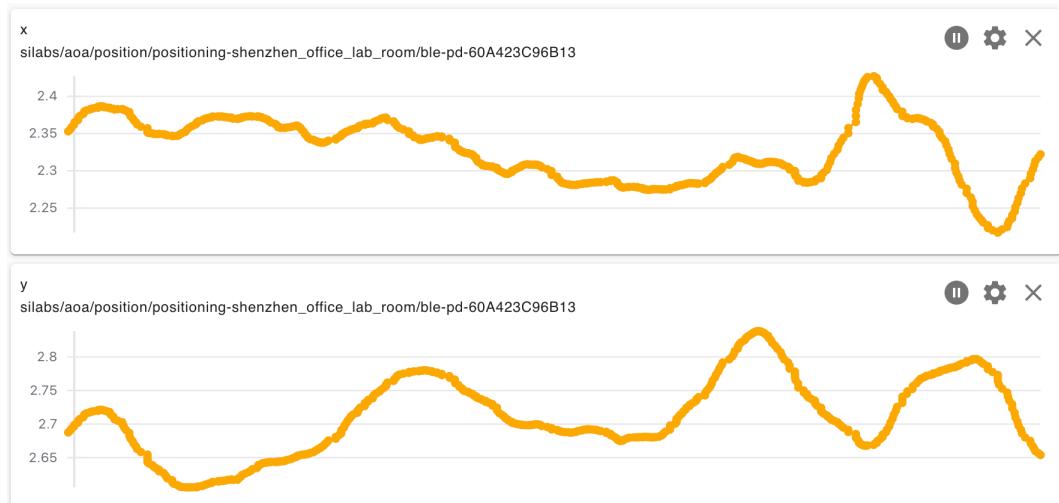


图 3-7 #1标签的估算位置

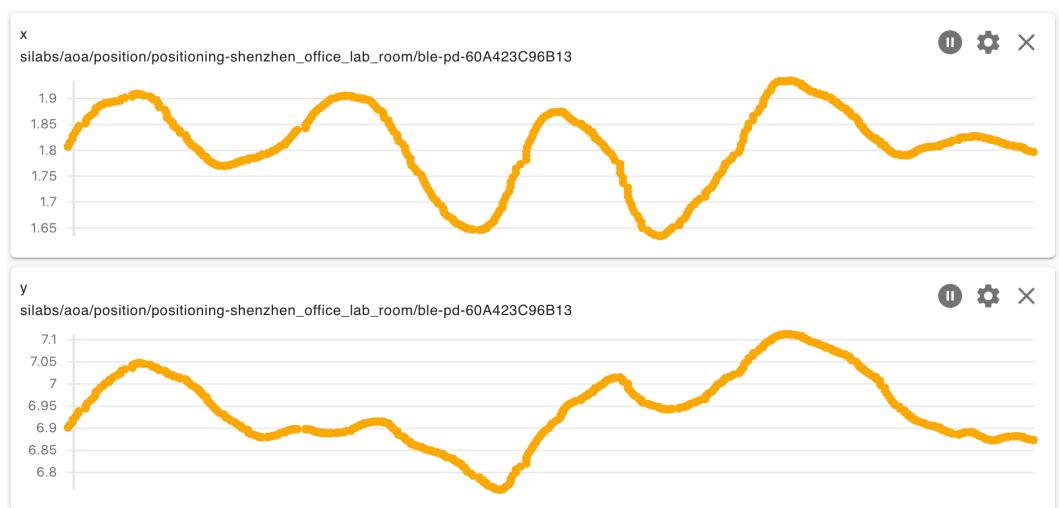


图 3-8 #2标签的估算位置

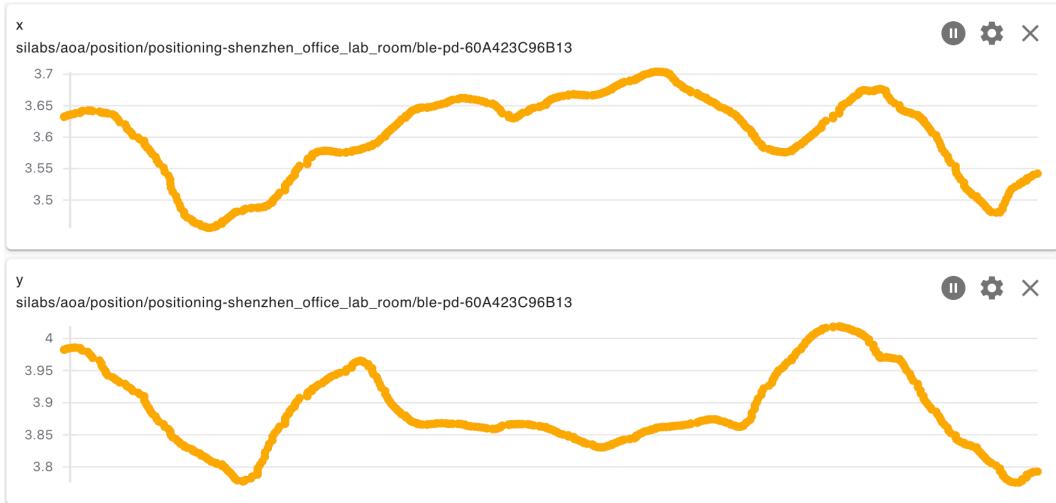


图 3-9 #3标签的估算位置

## 参考

[AN1296: Application Development with Silicon Labs' RTL Library](#)

[AN1297: Custom Direction-Finding Solutions using the Silicon Labs Bluetooth Stack](#)

[QSG175: Silicon Labs Direction Finding Solution Quick-Start Guide](#)

[UG514: Using the Bluetooth® Direction Finding Tool Suite](#)