

物联网导论大作业

一. 蓝牙通信

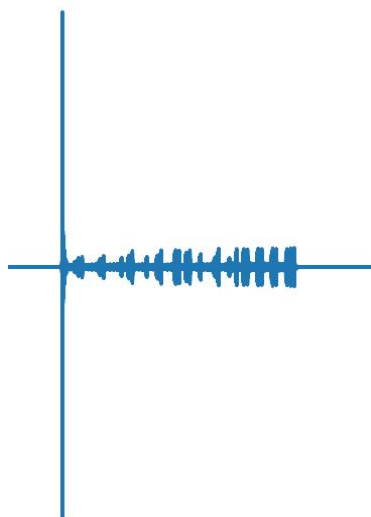
1.1 基本原理

1.1.1 前导码

对于一段录好的音频进行分析时，第一步便是要确定数据包到达的时刻，而通过在每个蓝牙数据包之前增加前导码，我们便将上述问题转换成对一段音频中对前导码数据进行识别和匹配。

区别于前期我们将调制好的零一序列当做前导码，在最终版本中我们使用 chirp 信号作为前导码，其优势大致有以下几点。首先，chirp 信号的频率分布与传送数据的零一信号的频率分布完全错开，且结构不同，可以避免错误识别（如果使用零一序列作为前导码，则数据部分可能出现伪前导码，发生错误匹配）。再者，使用 chirp 信号仅需一个周期即可，可以节省时间。

在具体实现上，我们用一段 chirp 信号滑动地与整个音频数据求相关性，如果相关性大于某个阈值，则在之后的一段数据中取最大值 作为成功匹配的点，具体效果如下图所示。



1.1.2 数据段

根据实验要求，我们通过 BPSK 调制数据，用 0.025 秒 3kHz 的音频代表一个 2 进制 0，用 0.025 秒 5kHz 的音频代表一个 2 进制 1，为了避免声音的互相干扰，在有效的负载之间还会间隔 0.075 秒的空白间隔。

在解调时，我们首先通过上面描述的前导码匹配过程找到数据包开始的地方。然后在每 0.1 秒的区域内将数据分别和 3kHz 的音频或 5kHz 的音频求相关性，按照数值的大小将这一比特的

信息标记为 0 或 1.

1.1.3 中英文混合

因为一般的汉字需要 16bit 的信息进行编码，而一般的 ASCII 码只需要 8 个 bit 的信息进行编码。为了防治传播过程中产生的比特错误导致编码信息不明而产生错误的连锁反应，我们最终确定每个数据包均只能包含使用 8bit 编码的信息或使用 16bit 编码的信息。

为了区分某一数据包内的信息到底是按 8bit 编码还是 16bit 编码，我们对数据包的 payload length 进行了重新的定义。因为如果数据包是按 16bit 编码，则其最多含有 5 个有效字符，因此如果数据包是按 16bit 编码，则 payload length 设为 1-5，否则设为 8* (1-10)，两种不同编码的数据包的 payload length 范围不重叠，因此在接收端可以据此分辨。

1.2 性能分析

根据在 1.1 中所描述的那样，一个完整的声波蓝牙数据包由一个前导码单元和 k 个信号单元组成 ($k \leq 80$)。每一个单元均包括 0.025 秒的声波信号部分和 0.075 秒的空白间隔部分组成，即每个单元总用时 0.1 秒。发送端在发送不同的蓝牙数据包时，中间会间隔 0.5S。而在接收端，接收到数据包之后会从中解调出前导码单元，并根据前导码单元作为切割依次分离出蓝牙信号，其用时为 python 程序运算的耗时，在此忽略。

即为了传输 10 字节的信号，系统需要用 0.1 秒发送前导码单元，用 $80 \times 0.1 = 8$ 秒发送信号单元，同时还要均摊 0.5 的信号间隔。综上，平均来看，该系统发送每比特信息平均用时 0.86 秒，平均一分钟可以传递约 70 字节的信息。

1.3 实验效果

1.3.1 距离对传输性能的影响

距离 cm	丢包率 %	误码率 %
20	0	0
40	0	0
60	0	0
80	0	4
100	0	6

1.3.2 干扰对传输性能的影响

干扰大小	丢包率 %	误码率 %
小	0	2
正常	0	6
大	20	36

注：干扰小的环境为较为安静的家庭环境，正常干扰是人正常说话的声音，干扰大的环境是电视声音开到很大。

1.3.3 遮挡对传输性能的影响

遮挡程度	丢包率 %	误码率 %
A4 纸	0	12
5cm	0	17
10cm	0	24
20cm	10	25

注：上述实验设置发送端与接收端之间的距离为 50cm，障碍均置于中间位置。

1.3.4 实验效果分析

通过实验数据可以看出本次大作业实现的蓝牙通信功能在理想环境下，不同距离（20-100cm）时均能表现出不错的效果。在存在干扰时，效果会有明显的降低，而这可能和我们没有对采集到的声波信号进行滤波处理有关。遮挡对传输的正确率也会有一定的影响，且随着障碍的增加对传输产生的影响也会加大。

而如果对比接收端对于前导码以及数据段不同的接收效果，可以发现在不同的测试环境中，丢包率的数据均明显好于误码率的数据。这一方面可能是因为 chirp 信号在传播以及拟合的效果更好，也有可能是因为误码率实际上是整合了 8 个比特的信息有关，对于上面的猜想，可以设计更加完善的实验验证。

二、声波测距

2.1 基本原理

声波测距采用 beep-beep 算法，通过两个电脑调用麦克风和扬声器实现。具体地，首先两个电脑开始录音，然后再分别间隔一段时间发送一个声波信号，设 t_{A1} 为设备 A 发送的声音到达麦克风的时刻， t_{B1} 为设备 A 发送的声音到达设备 B 麦克风的时刻， t_{B3} 为设备 B 发送的声音到

达自己麦克风的时刻， t_{A3} 是设备 B 发送的声音到达设备 A 麦克风的时刻， $d_{A,A}$ 和 $d_{B,B}$ 分别为设备 A，B 麦克风到自己扬声器的距离。根据算法可以计算设备 A 和 B 之间的距离是：

$$D = \frac{c}{2}((t_{A3} - t_{A1}) - (t_{B3} - t_{B1})) + d_{A,A} + d_{B,B}$$

因此，我们只需要计算出不同 D 下的 $((t_{A3} - t_{A1}) - (t_{B3} - t_{B1}))$ 结果，然后进行线性拟合即可得到相关参数。

实际测试中，由于电脑本身的扬声器在底部，麦克风在上部，麦克风接收自己扬声器的效果非常差，因此调用手机扬声器以替代电脑扬声器（程序仍运行在电脑上）。实验采用 chirp 信号+互相关前导码检测的方式来定位和识别声波信号。

代码实现中，将两个设备区分为 client 端和 server 端，client 端开始录音后，server 端开始录音；一段时间后 server 端播放 chirp 信号；client 端接收到 chirp 信号后，再发送一次 chirp 信号，然后停止录音，检查录音计算 $t_{B3} - t_{B1}$ 并把结果上传到云端服务器；之后 server 端停止录音，计算 $t_{A3} - t_{A1}$ 并向云端服务器获取 $t_{B3} - t_{B1}$ ，从而计算最终的时间差。

2.2 实验效果

2.2.1 距离对传输性能的影响

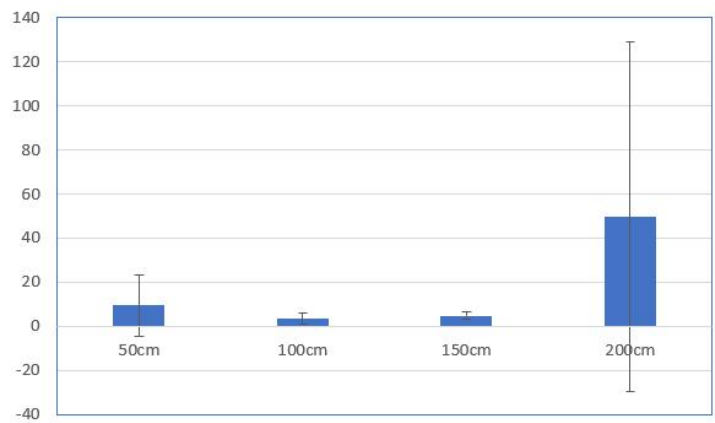
实验分别在 50cm, 100cm, 150cm, 200cm 四个距离分别进行了 8 次测量，测量结果如下：

距离(cm)	测量结果(cm)							
50	48.873	59.671	49.886	91.082	47.52	54.958	49.887	66.452
100	105.33	100.26	97.892	92.820	100.26	95.525	95.525	97.891
150	155.02	155.02	145.22	142.85	142.85	147.58	147.58	155.02
200	199.20	193.56	188.83	219.93	205.39	198.63	400.7	350.8

计算不同距离下测距误差的均值和方差的结果如下表：

距离(cm)	误差均值	误差方差
50	9.500	170.3
100	3.274	5.409
150	4.872	2.807
200	49.58	5494

柱状图为偏差平均值，误差线为标准差，绘制统计直方图如下：



2.2.2 环境噪声的影响

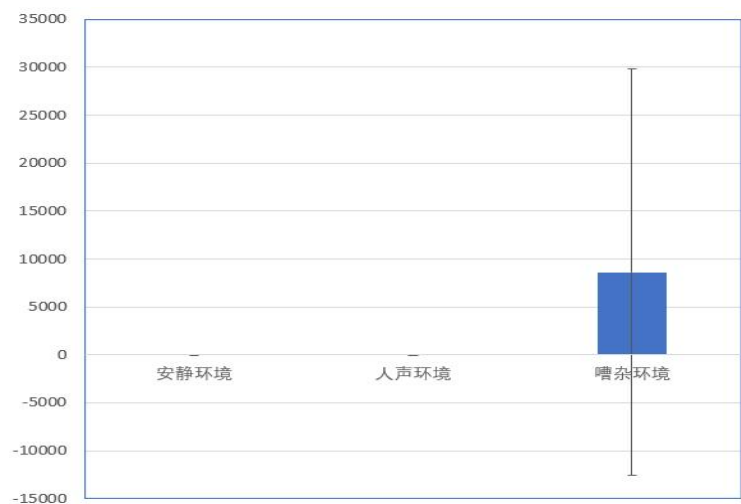
固定两个测距设备为 100cm，设置三种不同强度的环境噪声（安静环境、人声说话环境、大音量音乐嘈杂环境），分别测量 8 次的距离，结果如下：

环境	测量结果(cm)							
安静环境	105.33	100.26	97.892	92.820	100.26	95.525	95.525	97.891
人声环境	111.08	96.200	106.01	96.200	106.01	108.37	98.910	96.200
嘈杂环境	96.200	103.64	88.760	8245.5	60735	91.130	89.100	81.660

计算不同环境下的测距误差的均值和方差的结果如下表：

环境	误差均值	误差方差
安静环境	3.274	5.409
人声环境	5.495	8.501
嘈杂环境	8604	3.94×10^8

柱状图为偏差平均值，误差线为标准差，绘制统计直方图如下：



2.2.3 环境遮挡的影响

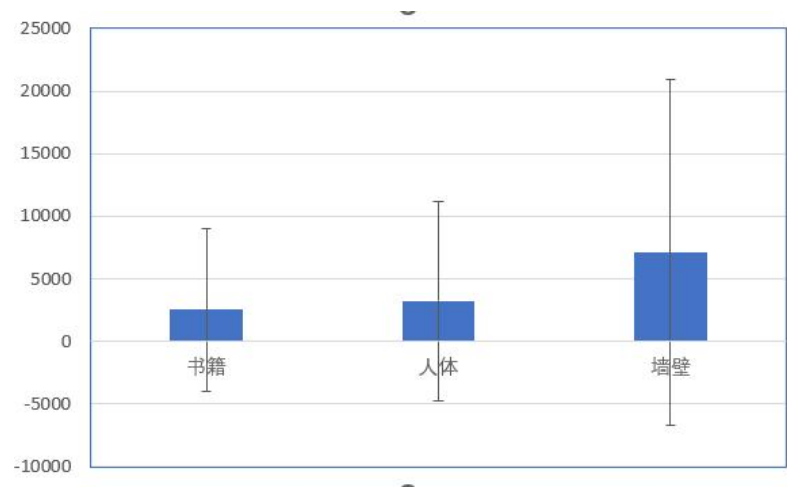
固定两个测距设备之间的距离为 100cm，在锚结点和目标设备间使用不同物体遮挡（书籍、人体、墙壁），分别测量 8 次距离，结果如下：

遮挡物	测量结果(cm)							
书籍	90.790	100.26	-18560	479.56	185.45	689.83	366.99	375.78
人体	629.66	781.52	781.12	319.32	22987	861.27	150.66	312.50
墙壁	48020	6530.1	487.31	981.22	1055.3	4315.2	-3015.8	355.17

计算不同遮挡物下的测距误差的均值和方差的结果如下表：

遮挡物	误差均值	误差方差
书籍	2558.4	3.71×10^7
人体	3252.9	5.51×10^7
墙壁	7120.0	1.65×10^8

柱状图为偏差平均值，误差线为标准差，绘制统计直方图如下：



2.2.4 实验效果分析

分析距离对性能的影响, 实验设备在 100-150cm 范围内的测距误差最小, 几乎没有, 在 50cm 处表现欠佳, 但仍可以接受, 在 200cm 处表现最差, 偶尔会出现偏差较大的结果, 且平均误差较大。近距离处误差较大的原因是存在声波的多路传播, 偶尔会影响 chirp 信号的定位, 远距离处误差较大的原因是存在声波信号的衰减, 也会影响 chirp 信号的定位。

分析环境噪声的影响, 在人声说话的环境下的测距结果和安静环境中几乎一致, 误差很小; 但在大音量嘈杂环境中的测距效果极差, 偶尔会出现偏差非常大的结果。这是因为人声说话音量不太大, 设备从录音中仍然可以识别到 chirp 信号并匹配; 环境噪声过大会使麦克风很难定位

好 chirp 信号，当环境噪声频率接近 chirp 信号频率时，造成的影响更大。

分析环境遮挡的影响，声波测距在环境遮挡下的性能都很差，且随着遮挡物变厚（书籍、人体、墙壁），测量的误差和方差都在增大。声波信号被遮挡物反射或吸收，从而难以到达接收端，因此无法进行有效的测量。可以采用波长更长的波来增强穿透能力。

在测量的过程中，还偶尔存在测距误差一段时间内突然很大的情况，但不进行任何操作过一段时间就会恢复。推测是电脑麦克风录音会偶发的不精准，而由于声速为 340m/s ，录音中 0.01s 的误差就会造成 170cm 左右的偏差。所以，如果采用波速更慢的波来进行测量，稳定性会更强。