

# 干货 | IWR1642EVM呼吸心跳原始数据采集与仿真分析（含MATLAB代码和数据）

原创 调皮哥 调皮连续波 2022-05-06 19:01 发表于北京

收录于合集

#毫米波雷达 42 #雷达 87 #雷达开源资料库 38 #雷达数据集 10

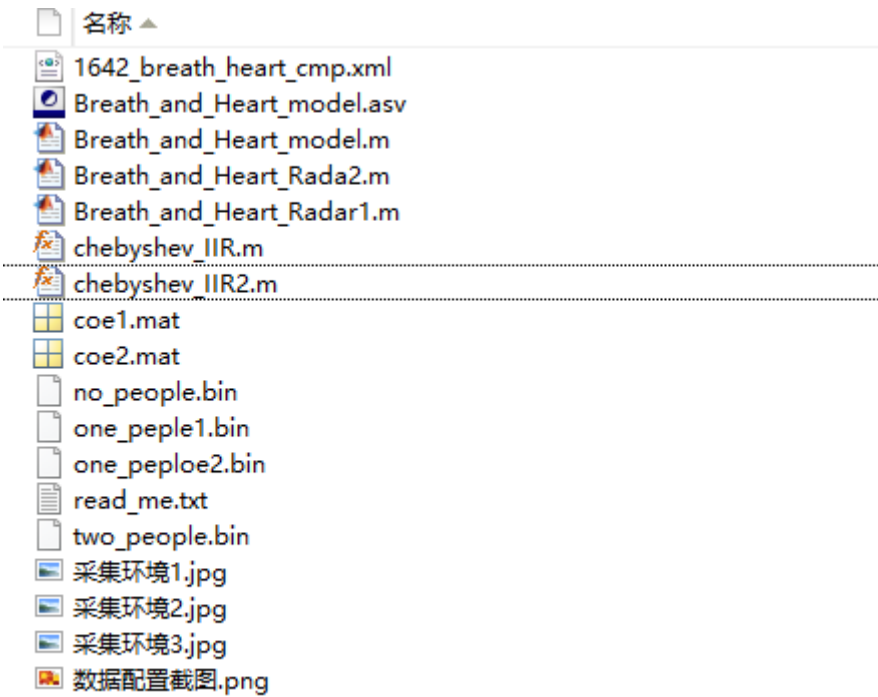
#MATLAB与雷达信号处理 20

本文编辑：@[调皮连续波](#)，持续关注[调皮哥](#)，获得更多学习内容和建议！

## 1. 引言

毫米波雷达实现人体生命体征检测到目前为止已经被众多研究人员研究了很长时间了，然而虽然被研究的时间很久，但仍旧有新入门的雷达初学者不断加入进来，共同学习。尽管，很多高级的算法都已经用在了毫米波雷达检测人体呼吸和心跳上，但初学者还是需要从最简单的处理算法开始，逐步去研究高级的算法，因此针对初学者难以快速入门等问题，调皮哥特地写出了这篇文章，开源了毫米波雷达呼吸心跳检测的基础方法和代码，希望能够帮助到大家。

本文从毫米波雷达呼吸心跳检测原理出发，实验内容主要有呼吸心跳信号建模以及利用IWR1642采集原始数据进行单人呼吸心跳的检测与分析等，并在文章末尾给出了相应的MATLAB代码、呼吸心跳的原始数据（无人、单人以及多人），以及采集环境和雷达配置环境等资料，具体如下图所示。



同时，由于雷达板卡太过于昂贵，因此原始数据可以提供给那些对毫米波雷达感兴趣的同学，让他们无需具备雷达板卡也能够进行呼吸和心跳的实验，可以说这样的开源数据是对诸多读者十分友好的。好了，那就让我们开始今天的学习吧。

2.毫米波雷达呼吸和心跳检测原理

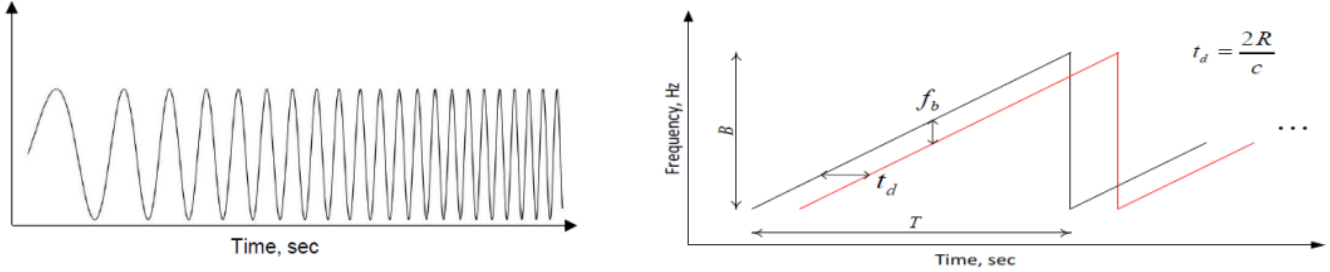
毫米波雷达检测呼吸和心跳的检测原理其实是非常简单的，下面细细道来。首先需要知道普通成年人的呼吸、心跳的位移、频率参数，具体如下表所示：

		面向检测	背向检测
体征信号	频率	幅度	幅度
呼吸频率（成年人）	0.1~0.5Hz	~1-12mm	~0.1-0.5mm
心跳频率（成年人）	0.8~2.0Hz	~0.1-0.5mm	~0.01-0.2mm

这些数据是由医学研究得来的，雷达研究人员只需要在这个数据的范围内使用即可。简单说来，毫米波实现人体呼吸和心跳检测的原理是通过探测由于人体胸腔或心脏微小起伏所引起的在特定的距离门上的FMCW信号的相位变化，意思就是说先检测到某个距离（距离门），然后在对这个距离（距离门）内的目标的FMCW信号的相位变化做检测，即可得到人体呼吸和心跳的变化特征。用一个简单的公式表示即为：

$$\Delta\phi_b = \frac{4\pi}{\lambda} \Delta R$$

其中,  $\Delta\phi_b$  是相位变化,  $\Delta R$  为心脏或者胸腔引起的微小位移变化。上述公式在之前的FMCW雷达基本原理文章中推导过, 不过为了能够使读者便于理解, 下面一起来推导一遍。



根据上图, 假设雷达的发射信号模型可以表示为如下公式:

$$s(t) = e^{j(2\pi f_c t + \pi \frac{B}{T} t^2)}$$

这个公式就是复数形式(复信号)的发射信号模型,  $f_c$  为发射信号载波,  $B$  为发射信号带宽,  $T$  为发射信号扫频时间  $B/T$  即为调频斜率。这些内容其实在之前分享的文章中早就已经论述过, 希望读者不要忘记了这些最基本的FMCW原理。那么雷达回波信号可以表示为如下公式:

$$r(t) = e^{j(2\pi f_c (t-t_d) + \pi \frac{B}{T} (t-t_d)^2)}$$

其中,  $t_d$  是回波信号的延迟时间。那么根据FMCW的原理, 发射信号和接收信号做混频得到了中频信号可以表示为如下公式:

$$s(t) \cdot r(t) \approx e^{j(4\pi \frac{BR}{cT} t + \frac{4\pi}{\lambda} R)} = e^{j(f_b t + \phi_b)}$$

其中  $R$  是目标到雷达的距离,  $f_b$  中频信号载频,  $\Delta\phi_b$  为初相。通过相位的变化去计算心跳、呼吸的频率, 将发射信号以及混频后的中频信号写为了复数形式, 目的就是为了主要关注其相位的变化。

对于单个人体目标, 心跳信号  $b(t)$  可看作一个同时具有频率  $f_b$  和相位  $\phi_b$  的正弦信号, 具体可以表示如下:

$$b(t) = e^{j(4\pi \frac{BR}{cT} t + \frac{4\pi}{\lambda} R)} = e^{j(f_b t + \phi_b)}$$

$$f_b = 4\pi \frac{BR}{cT}$$

$$\phi_b = 4\pi \frac{R}{\lambda}$$

为了测量目标的微小位移，需要得到目标的距离门里的相位变化  $\Delta\phi_b$ ，即表示为：

$$\Delta\phi_b = \frac{4\pi}{\lambda} \Delta R$$

目标的位移变化能够引起FMCW信号的相位变化，那么这个相位变化能够有多大的数量值呢？假如雷达的波长  $\lambda = 4mm$ ，微小位移距离为  $\Delta R = 1mm$  时，相位的变化  $\Delta\phi_b = \pi$ 。

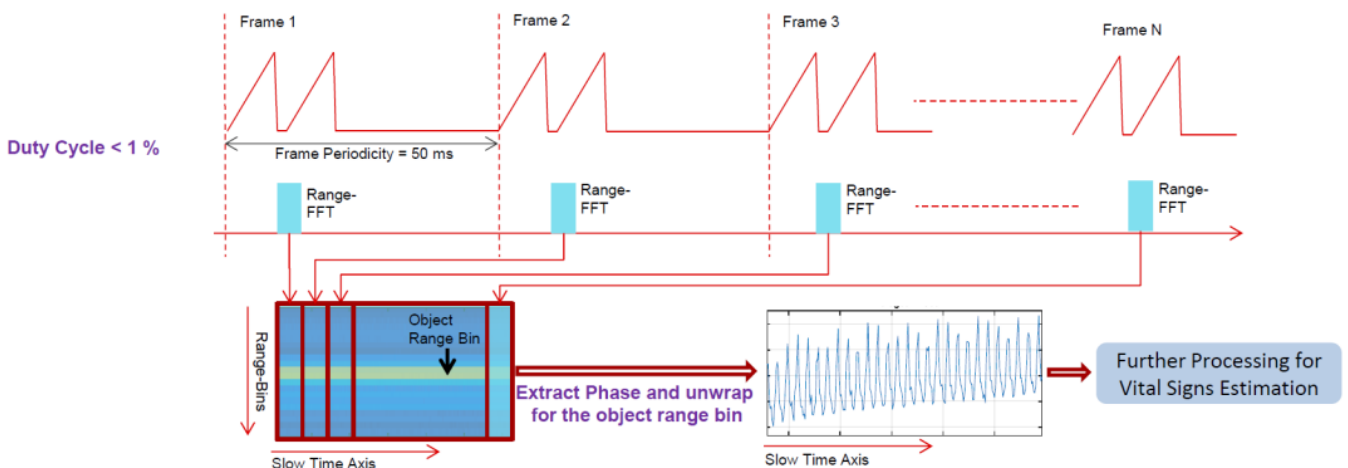
通过目标距离门里对信号  $b(t)$  做FFT，可得到其目标相位。假设目标距离维  $m$ ，进行距离维FFT变换，提取距离为  $m$  的距离门处的振动信号。

$$x(m, nT_s) = \frac{\lambda}{4\pi} \phi_b(m, nT_s)$$

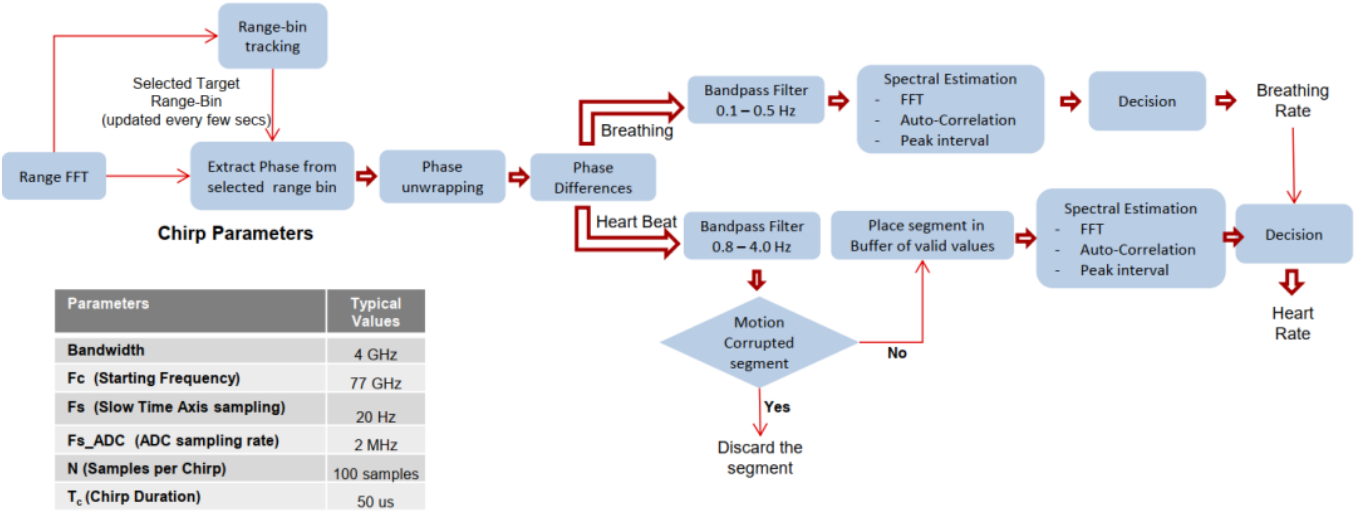
假如我们进行了FFT，并且目标位于距离门处的距离为  $m$ ，则可以通过在  $nT_s$  时间内连续提取距离为  $m$  处的相位来获取振动信号  $x(t)$ ，其中  $n$  是chirp脉冲的索引（序号）， $T_s$  是一个chirp的周期（连续测量时间）。

## 2.雷达波形参数配置与检测算法流程

TI官方给出的雷达波形配置为：雷达在每个Chirp进行100次ADC采样，每个Chirp的持续时间为  $50\mu s$ ，IF采样频率为2Msps。每帧发射两个Chirp，每帧的周期为50 ms。目前仅使用单发单收的天线布局；生命体征波形沿“慢时间轴”采样，因此生命体征采样率等于系统的帧率（即每一帧内，仅采一次样，通过连续的N帧得到心率、呼吸的相位变化），如下图所示。



但是我们可以按照自己的需求来设计雷达的发射波形，不一定百分之百按照TI官方给出的标准配置。最为基本的呼吸心跳检测算法框架如下图所示，这是最为基本和简单的算法模型，本文的仿真也会近似按照这个基本框架去实现，但我们也可以基于此采用高级的算法开发更为复杂以及更为精确的雷达呼吸和心跳检测算法。



下面是对上图中每一个算法步骤的解释和说明：

(1) Range FFT（距离维FFT）：对原始的ADC复信号数据进行快速傅立叶变换（FFT）以得到距离维的谱图。

(2) Range bin tracking（距离门锁定）：通过雷达的与人体大致位置关系，可以确定人体目标的距离范围，通过在该范围内搜索最大值，获取目标对应的距离门。

(3) Extract Phase（相位提取）

上述步骤（1）、（2）、（3）循环提取目标Range bin 处的相位，帧周期是50ms，即每一个帧周期内提取一次目标的相位，若目标与距离的径向距离发生变化，则需要根据Range bin tracking 算法得出此时的Rang bin ,然后提取相位，循环发射N帧，即可得到目标的相位随帧数的取值变化，也可看作目标相位与时间的关系，并记做振动信号  $x(t)$ 。

(4) Phase Unwrapping（相位解缠绕）

或称为相位解卷绕，由于相位值在  $[-\pi, \pi]$  之间，而我们需要相位展开以获取实际的位移曲线，因此每当连续值之间的相位差大于或者小于  $\pm\pi$  时，通过从相位中减去  $2\pi$  来获得相位展开。

#### (5) Phase Difference (相位差分)

通过减去连续的相位值，对展开的相位执行相位差运算，这将有利于增强心跳信号并消除存在的相位漂移。

#### (6) Bandpass Filtering (带通滤波器)

依据心跳和呼吸频率的不同，利用带通滤波器滤波将相位值（相位变化所形成的频率值）进行滤波以进行区分，便于后续的呼吸和心跳的计算。

#### (7) Spectral Estimation (谱估计)

对相位信号做FFT，依据峰值大小及其谐波特征，获取N个Frame时间内对应的呼吸和心跳频率。

#### (8) Decision (判决)

获取一段时间内的呼吸和频率，根据不同的置信度指标判断此时的呼吸频率，并输出呼吸频率随时间变化的关系。

(9) 在对相位进行滤波后，因为心率的测量是基于心脏收缩和舒张的微小运动产生的距离差而引起的相位变化，依据微多普勒原理，当人的身体出现大幅摆动时，将会对其准确性造成影响，此处的目的是减少人身体的相对位置移动而对心率测量造成的影响。通过对心跳频谱进行分割，设置阈值去判断是否符合心率的频率变化的范围，并选取稳定状态下的数据进行下一步的估计。

(10) 心跳的计算方法与求呼吸频率类似，最终获得呼吸和心跳的人体生命体征信号。

### 3. 毫米波雷达呼吸和心跳检测建模

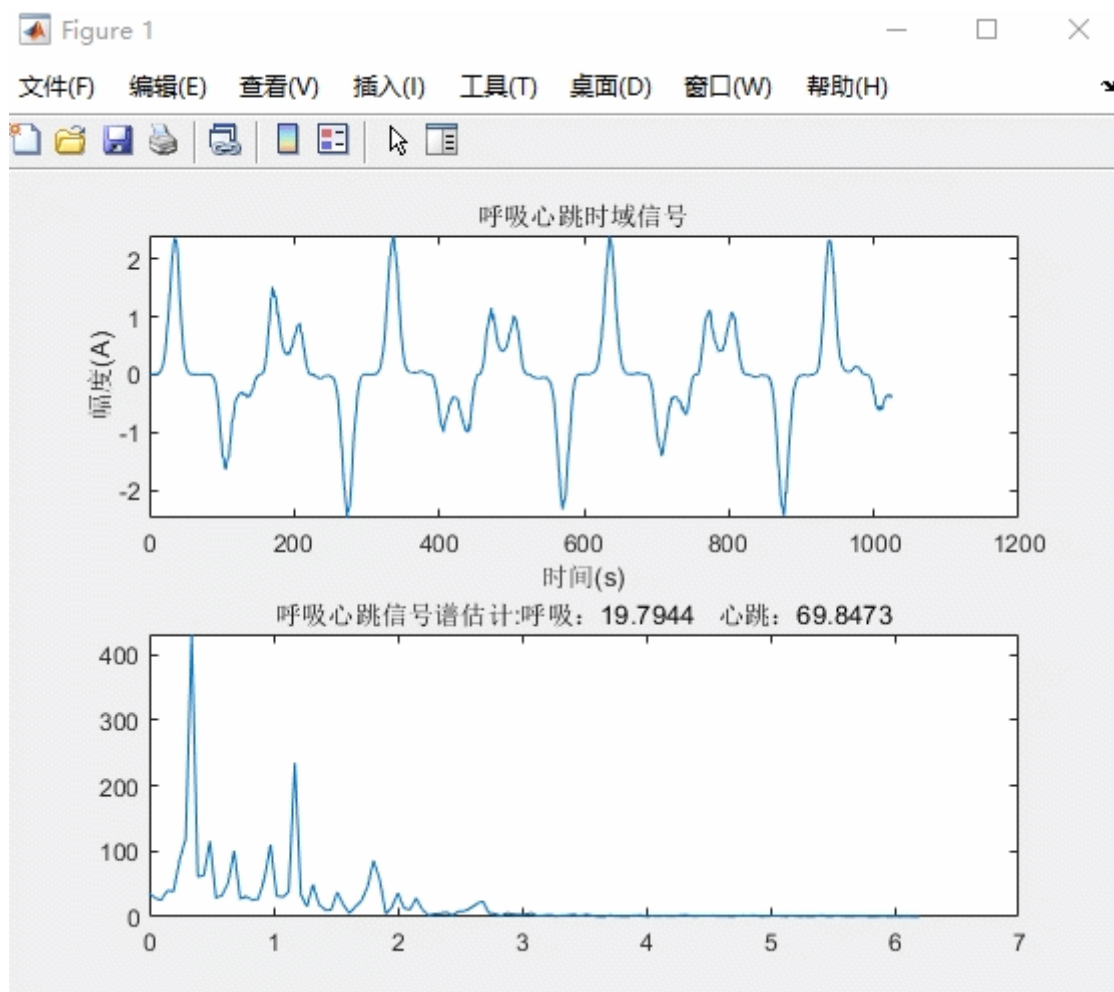
呼吸和心脏跳动的信号波形为一个非平稳信号，却近似于正弦波，依据前面的理论，本文将呼吸和心跳以标准正弦波信号在 Matlab 软件中建模仿真。

对于单人体征信号，如下公式所示：

$$s(t) = A_h \sin(f_h t + \varnothing) + A_b \sin(f_b t + \varnothing)$$

其中  $f_b$  代表呼吸信号频率,  $f_h$  代表心跳信号频率,  $A_h$  代表心跳振幅,  $A_b$  代表呼吸振幅、 $\varnothing$  为初始相位。对单人体征信号建模, 这里假定单人体征信号每分钟呼吸次数为20次, 每分钟心跳次数为73次, 则通过计算得到 $f_b=0.34\text{Hz}$ ,  $f_h=1.27\text{Hz}$ , 再加上40dB的高斯白噪声信号。

下图为Matlab 建模后得到的体征信号和加噪声后的体征信号波形, 在生命体征信号图中可以明显的看到整个信号波峰之间的长度对应呼吸信号的周期, 心跳信号使的呼吸信号的变化幅度发生改变。



仿真建模的MATLAB代码如下, 仅供参考:

```
1 %% FMCW毫米波雷达呼吸心跳仿真
2 clc;
3 close all;
4 clear all;
5 %%
6 include_heartbeat = true;
```

```
7  sig_amp_heartbeat = 0.3;
8
9  Breath_PerMinute    = 20;    %呼吸次数设置
10 Heartbeat_PerMinute = 73;    %心跳次数设置
11 Breath_Var          = 0.05;
12 Heartbeat_Var       = 0.05;
13
14 fs = 50;    %采样率
15 SNR = 40;   %噪声信噪比
16 NonLinear = true; %非线性使能
17
18
19 sim_cnt = 20; %播放的时间 呼吸心跳频率有一定的误差变化
20
21 %% 仿真
22 ts = 1/fs;
23 n = 5000;
24 T = n/fs; %仿真时间
25 t = 0:ts:T;
26
27 for kk=1:sim_cnt
28
29     wb =Breath_PerMinute/60 * 2*pi * (1+2*(rand-0.5)*Breath_Var);
30     wh = Heartbeat_PerMinute/60 * 2*pi * (1+2*(rand-0.5)*Heartbeat_Var);
31
32     fb=wb/(2*pi);
33     fh=wh/(2*pi);
34
35     pb = 0.05*(rand(n,1)-0.5); %呼吸信号相位噪声
36     pb2 = 2*pb;
37     ph = 0.05*(rand(n,1)-0.5); %心跳信号相位噪声
38
39     for k=2:n
40         pb(k)  = pb(k) + pb(k-1) + wb*ts;    %相位计算
41         pb2(k) = pb2(k) + pb2(k-1) + 2*wb*ts;%呼吸相位计算
42         ph(k)  = ph(k) + ph(k-1) + wh*ts;    %心跳相位计算
43     end
44
45
46
```



```
47     if NonLinear
48         xb = sin(pb) + 0.15 * sin(pb2);    %呼吸信号
49     else
50         xb = sin(pb);
51     end
52
53     xh = sig_amp_heartbeat * sin(ph + 2*pi*rand);%心跳信号
54
55     if ~include_heartbeat
56         x = xb;
57     else
58         x = xb + xh; %呼吸和心跳的信号叠加
59     end
60
61
62     x = awgn(x, SNR); %呼吸和心跳的信号叠加，再加上高斯白噪声
63     %
64     if NonLinear
65         y = x.^3;    %非线性运算
66     else
67         y = x;
68     end
69
70
71     %% 绘图
72     f = abs(fft(y(1:1024)));%呼吸心跳信号谱估计（FFT）
73     subplot(211)
74     plot(y(1:1024));
75     title('呼吸心跳时域信号');
76
77     subplot(212)
78     plot((fs/1024)*((1:128)-1),f(1:128)); %呼吸和心跳频率
79     title(['呼吸心跳信号谱估计:', '呼吸频率: ', num2str(fb), '    心跳频率: ',
80     pause(1);
81
82     end
83
84     %%
85
86     % save('vital_sign_sim.mat','y');
87
88     % figure; plot(y); fs
89
90     %% 其他算法开发:
```

#### 4. 毫米波雷达呼吸和心跳原始数据采集与分析

这里是今天的核心代码内容，下面详细给诸位读者解析代码的主要组成部分，文章末尾提供代码下载方式。

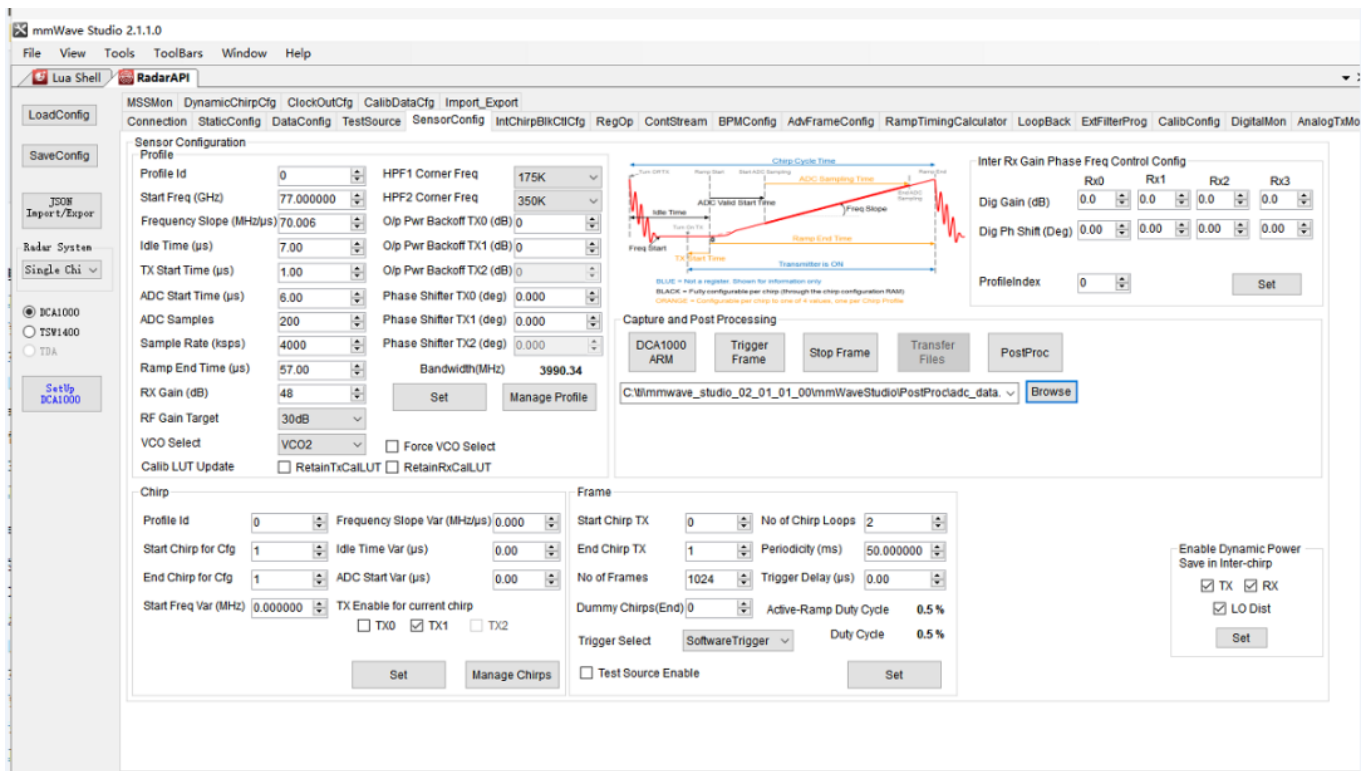
##### （1）数据采集环境

采集环境相对空旷，周围杂物较少，目标位于雷达140~150cm处。



##### （2）雷达参数配置

如若看不清楚，调皮哥将截图打包在代码中，可以下载代码一并查看。



### (3) 数据组成

提供给读者的数据主要有四个：分别是无人、单人目标1、单人目标2以及双人目标1+目标2四组数据，数据的格式读者详细查看雷达配置参数即可知道如何修改。

### (4) 代码组成

#### (4.1) 读取数据

本代码处理的文件是“one\_people1.bin”，详细的代码需要下载，本文只解释比较重要的组成部分。

```

1  %% 读取Bin文件
2  Filename = 'one_peple1.bin'; %文件名 用户需要按照自己的文件名修改
3  fid = fopen(Filename,'r');
4  adcDataRow = fread(fid, 'int16');
5  if numADCBits ~= 16
6      l_max = 2^(numADCBits-1)-1;
7      adcDataRow(adcDataRow > l_max) = adcDataRow(adcDataRow > l_max) - 2^r
8  end
9  fclose(fid);

```

## (4.2) 重组数据

IWR1642采用2发4收，但是只处理一个接收通道一个发射通道的数据，其余数据不处理，感兴趣的读者可以自行进行双人呼吸心跳检测。

```

1 %% 重组数据
2 adcData = zeros(numRX,numChirps*numADCSamples);
3 for row = 1:numRX
4     for i = 1: numChirps
5         adcData(row, (i-1)*numADCSamples+1:i*numADCSamples) = LVDS(i, (r
6     end
7 end
8
9
10 retVal= reshape(adcData(1, :), numADCSamples, numChirps); %取第二个接收天
11 process_adc=zeros(numADCSamples,numChirps/2);
12 for nchirp = 1:2:numChirps %2T4R 但只用了TX1 一个通道 2*200*1024=200* 20
13     process_adc(:, (nchirp-1)/2+1) = retVal(:,nchirp);
14 end

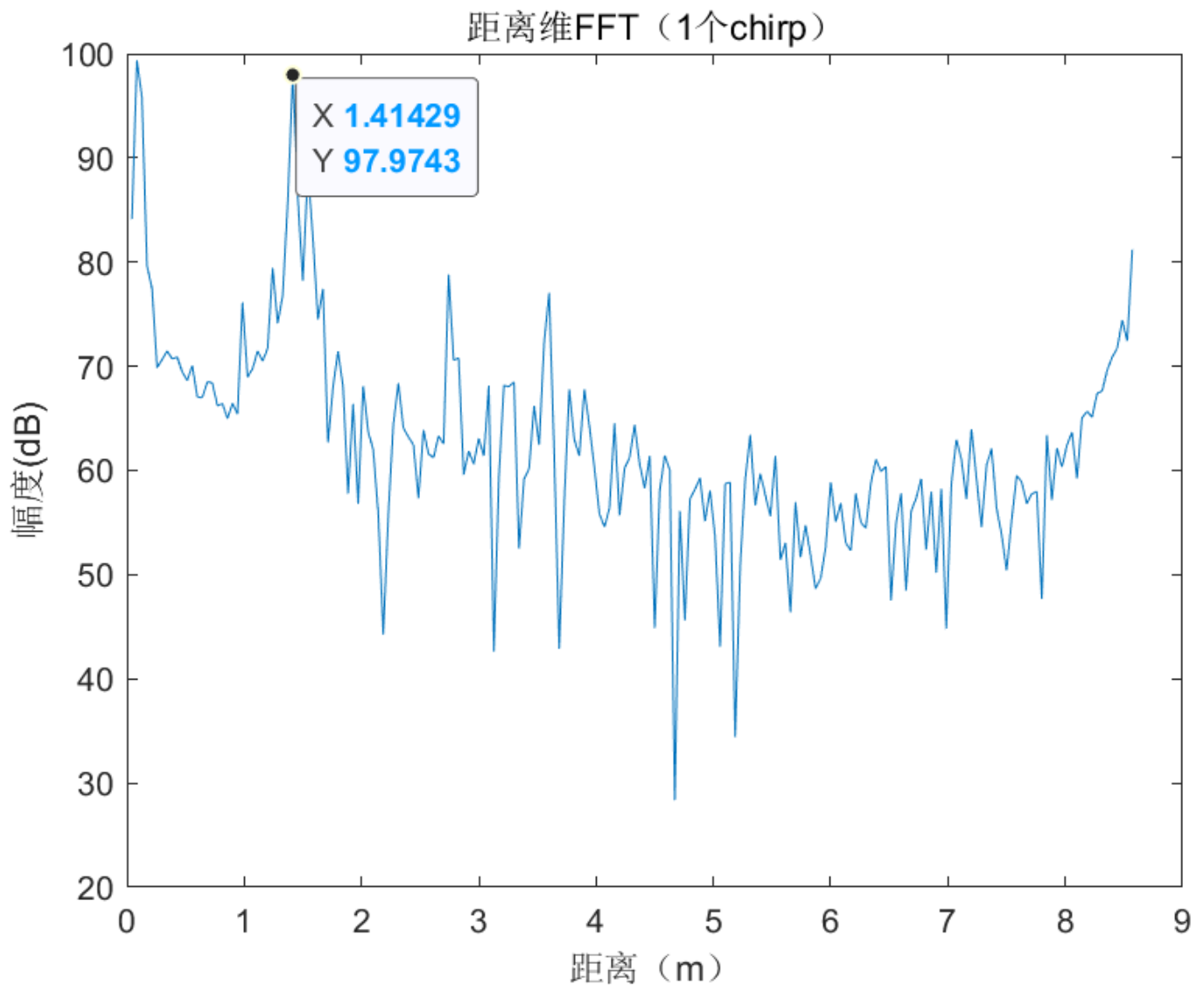
```

## (4.3) 距离维FFT (1个chirp)

```

1 figure;
2 plot((1:numADCSamples)*detaR,db(abs(fft(process_adc(:,1)))));
3 xlabel('距离 (m) ');
4 ylabel('幅度(dB)');
5 title('距离维FFT (1个chirp) ');
6 figure;
7 plot(db(abs(fft(process_adc(:,1)))))

```



#### (4.4) 相位解缠绕

这里采用手动解缠绕，自动解可以采用MATLAB自带的函数unwrap()

```

1  n = 1;
2  for i = 1+1:numChirps
3      diff = angle_fft_last(i) - angle_fft_last(i-1);
4  if diff > pi
5      angle_fft_last(i:end) = angle_fft_last(i:end) - 2*pi;
6      n = n + 1;
7  elseif diff < -pi
8      angle_fft_last(i:end) = angle_fft_last(i:end) + 2*pi;
9  end
10 end
end

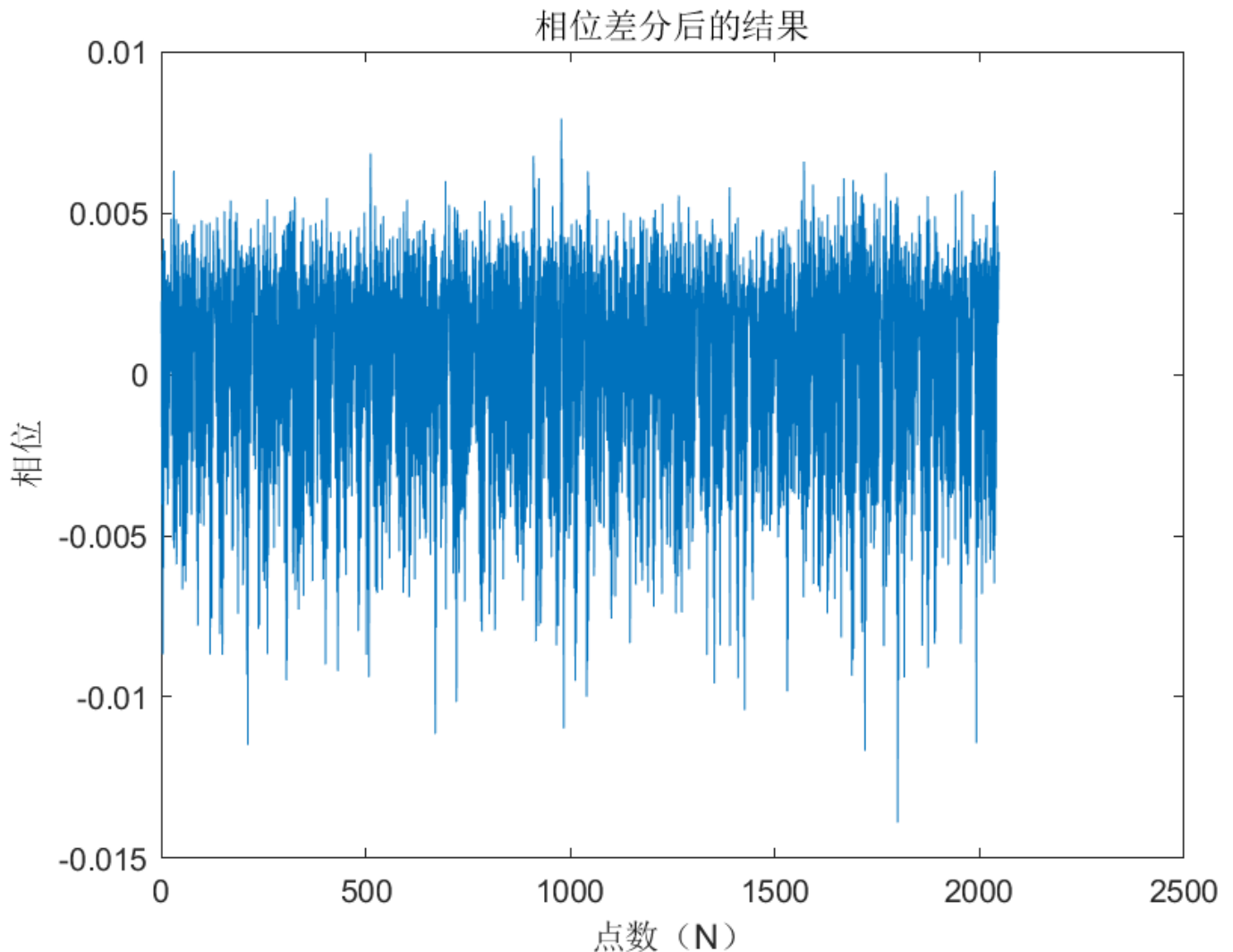
```

#### (4.5) 相位差分

```

2 %% phase difference 相位差分后的数据
3 angle_fft_last2=zeros(1,numChirps);
4 for i = 1:numChirps-1
5     angle_fft_last2(i) = angle_fft_last(i+1) - angle_fft_last(i);
6     angle_fft_last2(numChirps)=angle_fft_last(numChirps)-angle_fft_last(r
end

```



#### (4.6) IIR带通滤波器

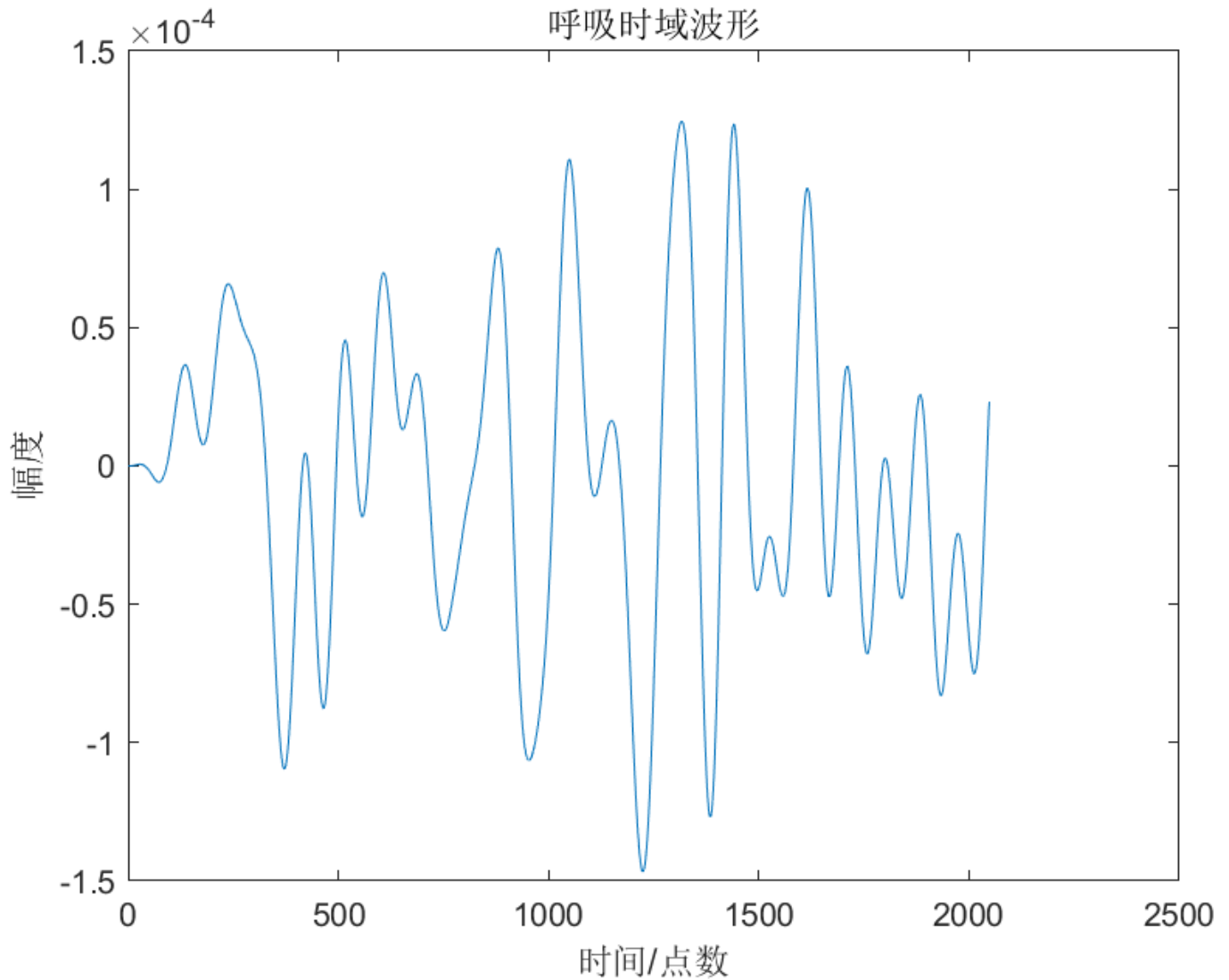
FIR 带通滤波器效果不好，因此采用IIR，呼吸心跳信号采样率 $f_s = 100$ 。首先采用fdatool生成滤波器系数，直接由MATLAB调用，读者也可以自行设计滤波器，这里方法不固定，怎么好就怎么来，关键是最终的结果要好。

```

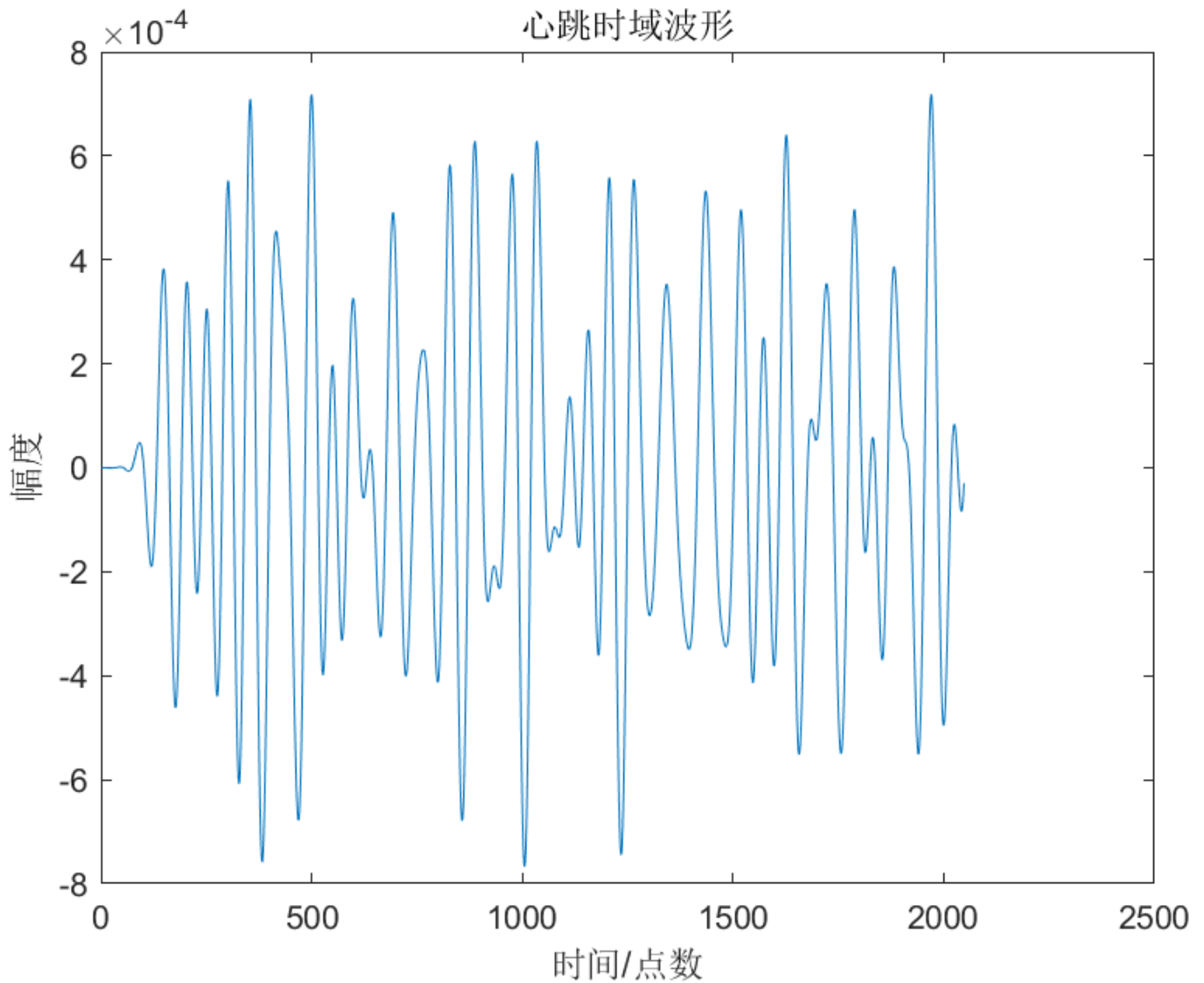
1 COE1=chebyshev_IIR; %采用fdatool生成函数
2 save coe1.mat COE1;
3 breath_data = filter(COE1,angle_fft_last2);
4
5

```

```
6 figure;  
7 plot(breath_data);  
8 xlabel('时间/点数');  
9 ylabel('幅度');  
title('呼吸时域波形');
```



```
1 COE2=chebyshev_IIR2;  
2 save coe2.mat COE2;  
3 heart_data = filter(COE2,angle_fft_last2);  
4  
5 figure;  
6 plot(heart_data);  
7 xlabel('时间/点数');  
8 ylabel('幅度');  
9 title('心跳时域波形');
```



#### (4.7) 谱估计

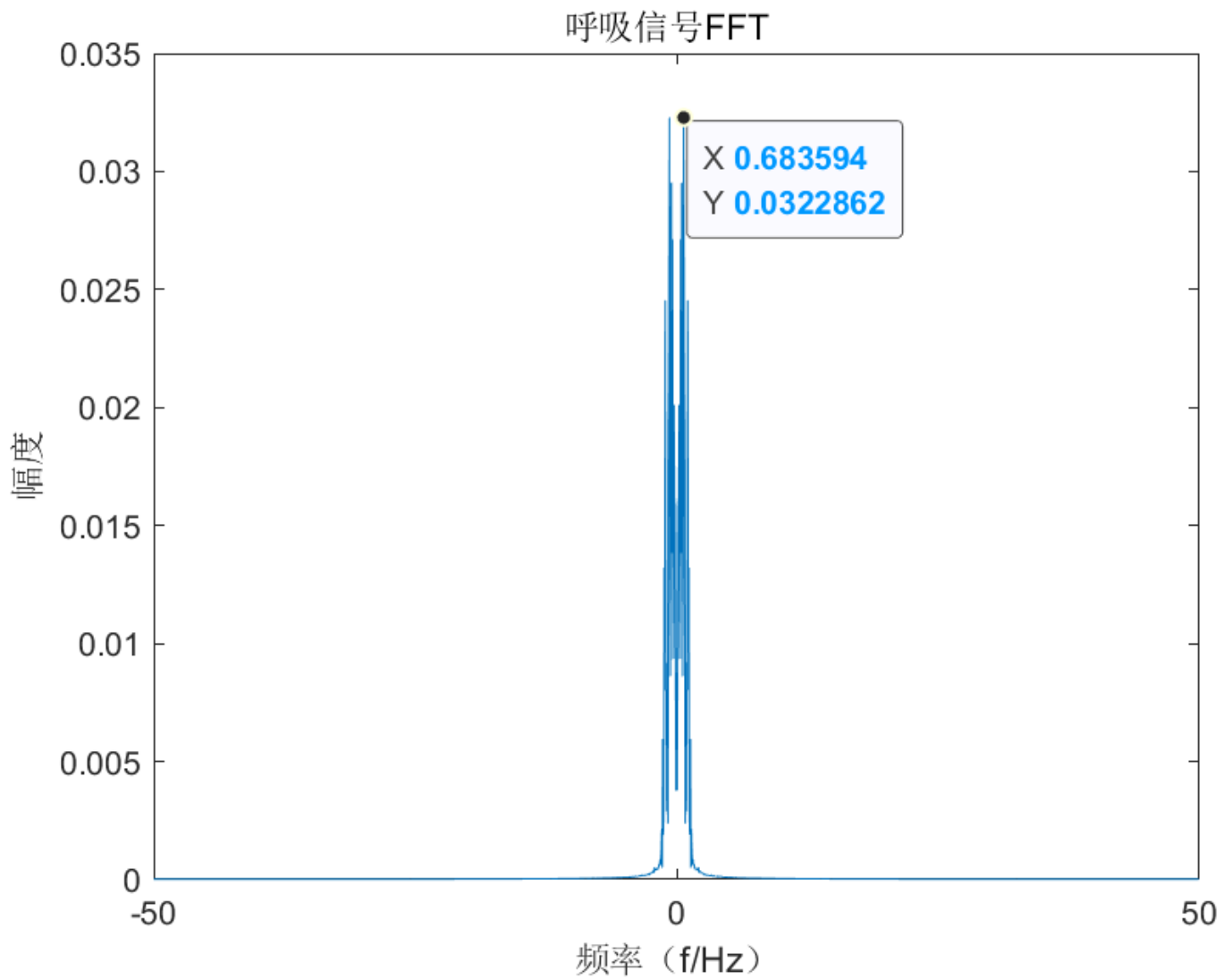
fftshift函数把零频移动到中间，便于观察（订：呼吸谱图放错，但代码中是对的）。

```

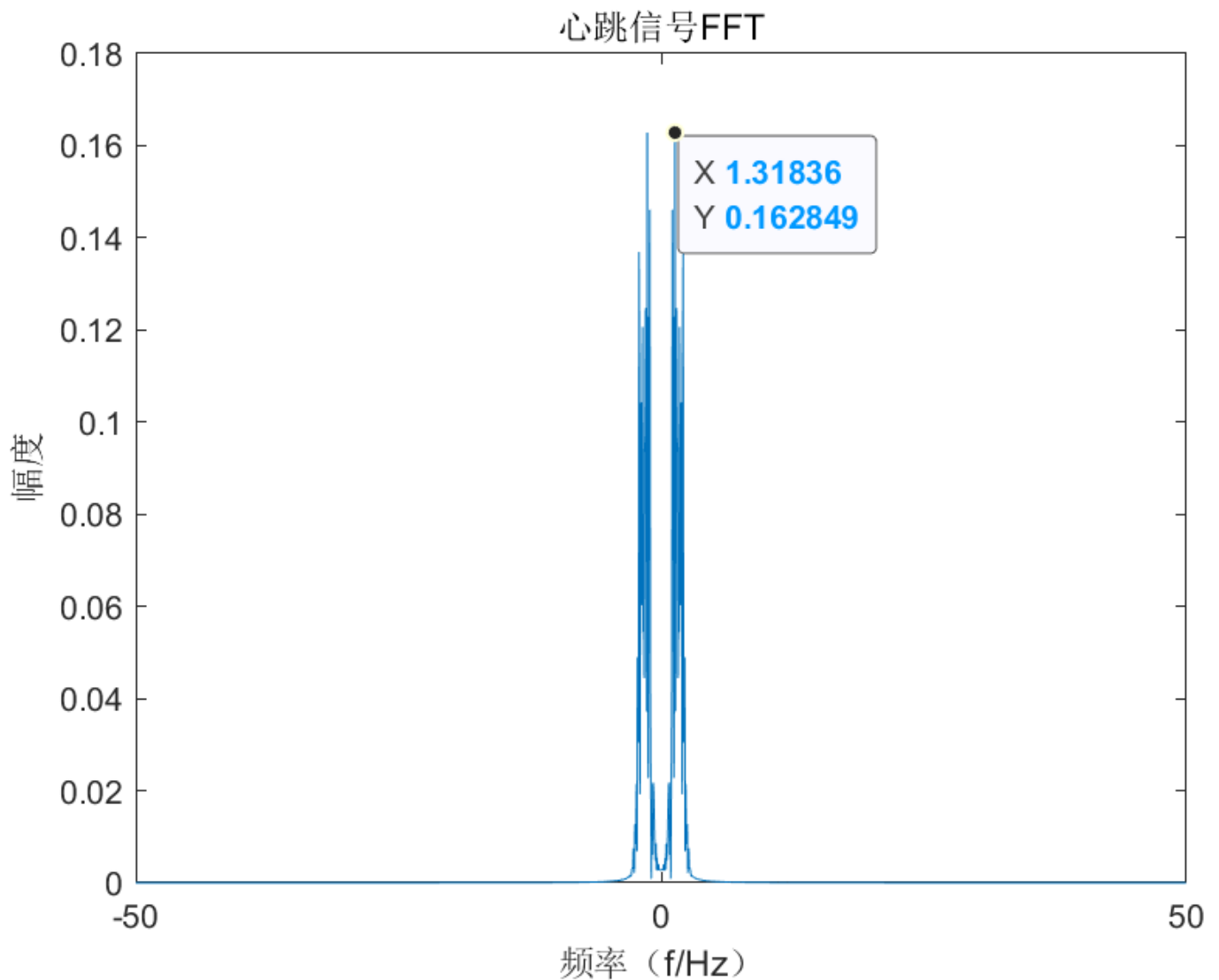
1 N1=length(breath_data);
2 fshift = (-N1/2:N1/2-1)*(fs/N1); % zero-centered frequency
3 breath_fre = abs(fftshift(fft(breath_data))); %--FFT
4 figure;
5 plot(fshift,breath_fre);
6 xlabel('频率 (f/Hz) ');
7 ylabel('幅度');
8 title('呼吸信号FFT ');

```





```
1 N1=length(heart_data);  
2 fshift = (-N1/2:N1/2-1)*(fs/N1); % zero-centered frequency  
3 heart_fre = abs(fftshift(fft(heart_data)));  
4 figure;  
5 plot(fshift,heart_fre);  
6 xlabel('频率 (f/Hz) ');  
7 ylabel('幅度');  
8 title('心跳信号FFT');
```



#### (4.8) 呼吸和心跳结果解算

因为只有5s多的数据，因此不能够持续播放，因此只能打印结果。该解算的结果符合日常人体呼吸心跳的值，仅供读着参考学习。

```
1 breath_count =(fs*(1024-(breath_index-1))/2048)*60; %呼吸频率解算
2 heart_count =(fs*(1024-(heart_index-1))/2048)*60;%心跳频率解算
3 disp(['呼吸: ',num2str(breath_count),' 心跳: ',num2str(heart_count)])
```

```
呼吸: 17.5781 心跳: 64.4531
fx >> |
```

后续调皮哥会采集长时间的数据进行动画演示播放，形成比较直观的演示效果，读者有条件也可自行处理。

好了，本文的内容其实比较简单，也算是一个毫米波雷达的小实验，因此感兴趣的读者可以自行研究。后面程序解释部分我觉得都比较简单，所以不再做更多的论述，读者需要详细阅读程序才能够更加深刻地理解，如果有什么地方写错，以及有什么问题，欢迎在文章下面私信我（**私信**是公众号新加的功能），感谢大家理解。

### 【进群方式】

感谢大家关注【**调皮的连续波**】公众号，调皮哥创建了一个【**雷达工程技术交流群**】，汇集雷达行业内诸多大佬。点击下方名片关注后，选择菜单栏【**联系作者**】，添加调皮哥微信后邀请入群，欢迎各位读者加入！



#### 调皮连续波

雷达技术领域干货知识分享。雷达信号处理和数据处理、微波、毫米波雷达、太...  
104篇原创内容

公众号

本文完整的MATLAB程序，请关注公众号【**调皮的连续波**】，回复“**0506**”获得！

感谢阅读，觉得还不错，可以给调皮哥一个**打赏**，鼓励调皮哥继续创作，喜欢可以帮助调皮哥点个赞！（**加粗的谢谢**）

收录于合集 #雷达 87

上一篇

干货 | FMCW雷达信号处理的二维CFAR  
(2D -CFAR) 检测算法

下一篇

万字长文干货 | 毫米波雷达信号处理入门  
教程（雷达初学者必读）

文章已于2022-05-07修改

喜欢此内容的人还喜欢

由机载雷达测量的个性化方案



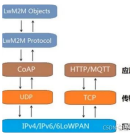
帮助实现心电量的实时测量

助造柔性测量



## 物联网系列-CoAP协议详解

数据与架构



## 六级数字孪生成熟度模型：您的数字孪生成熟了吗？

数字孪生DigitalTwin

