

ECG 及 PPG 心电心率实验指示书

一、实验目的和任务

1. 实验目的：本实验旨在通过 ECG+PPG 系统的实际操作，深入了解心电和光电容积传感器基本原理，培养实验者对心电图和光电式心率图的人工解读和机器解读能力。
2. 实验任务：
 - 掌握 ECG+PPG 系统的基本操作和设置；
 - 学习并理解心电图的基本知识，包括心电产生原理、心电图各波形特征和意义；
 - 学习并理解光电容积法的基本知识，包括产生原理、波形特征和意义；
 - 能够对心电图和反射式心率图进行初步分析，如心律失常、心肌缺血、心率不齐等常见心脏问题。

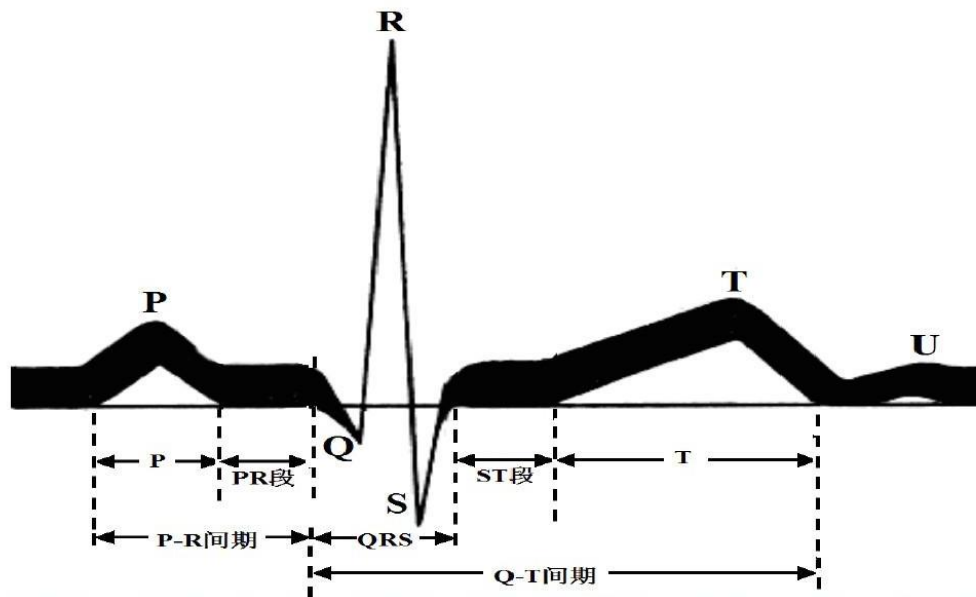
二、实验设备和材料

1. ECG+PPG 实验系统 Maxim86150；
2. 实验讲义及教材。

三、实验原理

3.1 ECG 实验系统

1. 心电产生原理：心电是心脏电位的变化在人体内传播形成的电信号。心脏的窦房结细胞自律性地产生电信号，并通过特殊通道传导至心脏各部分，形成心电图上的各个波形。
2. 心电图各波形特征：心电图主要包括 P 波、QRS 波群、T 波和 U 波。每个波形都有其特定的产生原理和临床意义。



- (1) P 波:反映心房肌在除极过程中的电位变化过程;
 - (2) P-R 间期:反映的是激动从窦房结通过房室交界区到心室肌开始除极的时限;
 - (3) QRS 波群:反映心室肌除极过程的电位变化;
 - (4) T 波:代表心室肌复极过程中所引起的电位变化;
 - (5) S-T 段:从 QRS 波群终点到达 T 波起点间的一段水平线[2];
 - (6) Q-T 间期:心室从除极到复极的时间;
 - (7) U 波:代表动作电位的后电位。
3. 心电图分析方法: 根据心电图波形特征, 分析心律失常、心肌缺血等常见心电图表现。同时, 结合临床病史和体征, 对心电图做出初步诊断。
- (1) P 波。一般正常时限小于 0.12s, 同时肢体导联振幅不大于 0.25mV, 胸导联不超过 0.2mV。
 - (2) PR 段。临床上时限是 0.12~0.2s。
 - (3) QRS 波。R 波振幅肢体导联不超过 2.0mV, 时限为 0.06~0.1s。另外, Q 波的振幅深度, 通常小于同导联 R 波的 1/4, 时限小于 0.04s。
 - (4) T 波。振幅不小于同导联 R 波振幅的 1/10。
 - (5) ST 段。一般不超过 0.05mV。

3.2 PPG 实验系统

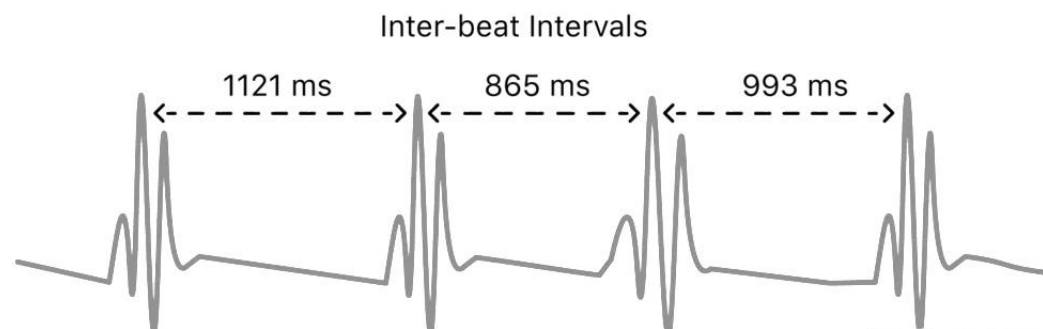
1. PPG 测量血氧和心率的原理: PPG 是一种将光照进皮肤并测量因血液流动而产生的光散射的方法。光学心率传感器基于以下工作原理: 当血流动力发生变化时, 例如血脉搏率(心率)或血容积(心输出量)发生变化时, 进入人体的光会发生可预见的散射。

2. 光学心率传感器使用下列元件来测量心率：(1)光发射器 - 通常至少由两个光发射二极管（LED）构成，它们会将光波照进皮肤内部。(2)光电二极管和模拟前端（AFE） - 这些元件捕获穿戴者折射的光，并将这些模拟信号转换成数字信号用于计算可实际应用的心率数据。

3. PPG 设备可测量心率、心率变异性指标 HRV：

心率：正常成年人静坐心率一般在 60~80 次/分钟，过低或过高可能会影响心脏健康。

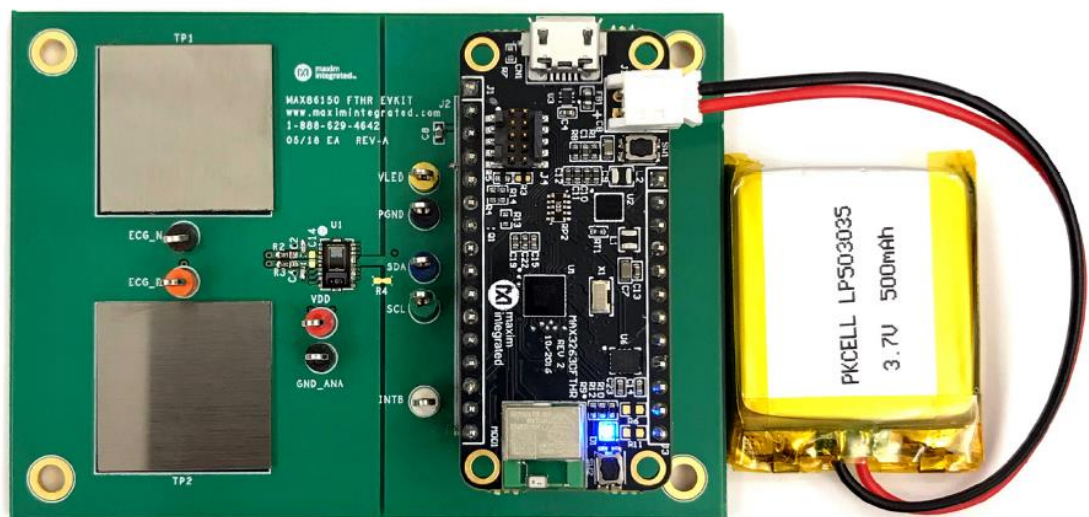
HRV：静坐情况下心电信号周期变异值，成人正常的 HRV 值通常在 20~70 毫秒之间，较高的 HRV 值通常反映出更好的心血管健康状态。



注：心率和 HRV 也可以通过 ECG 获得。

四、实验步骤

- 1、将 Maxim86150 的电池插上，如下图所示，此时 LED 应闪红灯。



注：如电池无电或电压低，请插上 USB 线充电，但是实验过程中请将 USB 线拔掉，否则将会由于电磁干扰产生较大噪声，导致测量失败

- 2、在实验室提供的电脑上查找蓝牙设备，找到名为 Pegasus Evkit 的设备，并尝试连接之。

Windows 设置

查找设置



系统
显示、声音、通知、电源



设备
蓝牙、打印机、鼠标



手机
连接 Android 设备和 iPhone



网络和 Internet
WLAN、飞行模式、VPN



个性化
背景、锁屏、颜色



应用
卸载、默认应用、可选功能



帐户
你的帐户、电子邮件、同步设置、工作、其他人员



时间和语言
语音、区域、日期



游戏
Xbox Game Bar、捕获、游戏模式



轻松使用
讲述人、放大镜、高对比度



搜索
查找我的文件、权限



隐私
位置、相机、麦克风



更新和安全
Windows 更新、恢复、备份

← 设置

主页

查找设置

设备

- 蓝牙和其他设备
- 打印机和扫描仪
- 鼠标
- 输入
- 笔和 Windows Ink
- 自动播放
- USB

蓝牙和其他设备

+ 添加蓝牙或其他设备

蓝牙
☒ 开
现在可作为“20220114-174223”被检测到

鼠标、键盘和笔

USB Keyboard

音频

Bravo-X USB Audio

DELL E177FP

更快地打开蓝牙
若要在不打开“设置”的情况下打开或关闭蓝牙，请打开操作中心，然后选择蓝牙图标。

相关设置

[设备和打印机](#)

[声音设置](#)

[显示设置](#)

[更多蓝牙选项](#)

[通过蓝牙发送或接收文件](#)

[获取帮助](#)

[提供反馈](#)

蓝牙和其他设备

+ 添加蓝牙或其他设备

蓝牙
开

现在可作为“XTZJ-20231004OQ”被检测到

鼠标、键盘和笔

Dell USB Entry Keyboard

USB OPTICAL MOUSE

其他设备

DELL E178FP

Generic Bluetooth Radio

Pegasus Evkit
已配对

删除设备

☐ 通过按流量计费的连接下载

为避免产生额外的费用，请始终关闭此功能。这样当你使用按流量计费的 Internet 连接时，就不会为新设备下载相关的设备软件(驱动程序、信息和应用)。

注 1：如果在上述界面上发现有已配对的名为 Pegasus Evkit 设备，请一律删除，再进行下一步操作。



注 2：如果显示 PIN 码，则表示可连接。



注 3: 如果仍连接不上, 请在如下界面点击“更多蓝牙选项”, 并在弹出的窗口里删除所有 COM 端口, 再重复连接步骤。

蓝牙和其他设备



添加蓝牙或其他设备

蓝牙



现在可作为“20220114-174223”被检测到

鼠标、键盘和笔



USB Keyboard

音频



Bravo-X USB Audio



DELL E177FP

其他设备



Realtek RTL8192FU Wireless LAN 802.11n USB 2.0
Network Adapter

更快地打开蓝牙

若要在不打开“设置”的情况下打开或关闭蓝牙, 请打开操作中心, 然后选择蓝牙图标。

相关设置

[设备和打印机](#)

[声音设置](#)

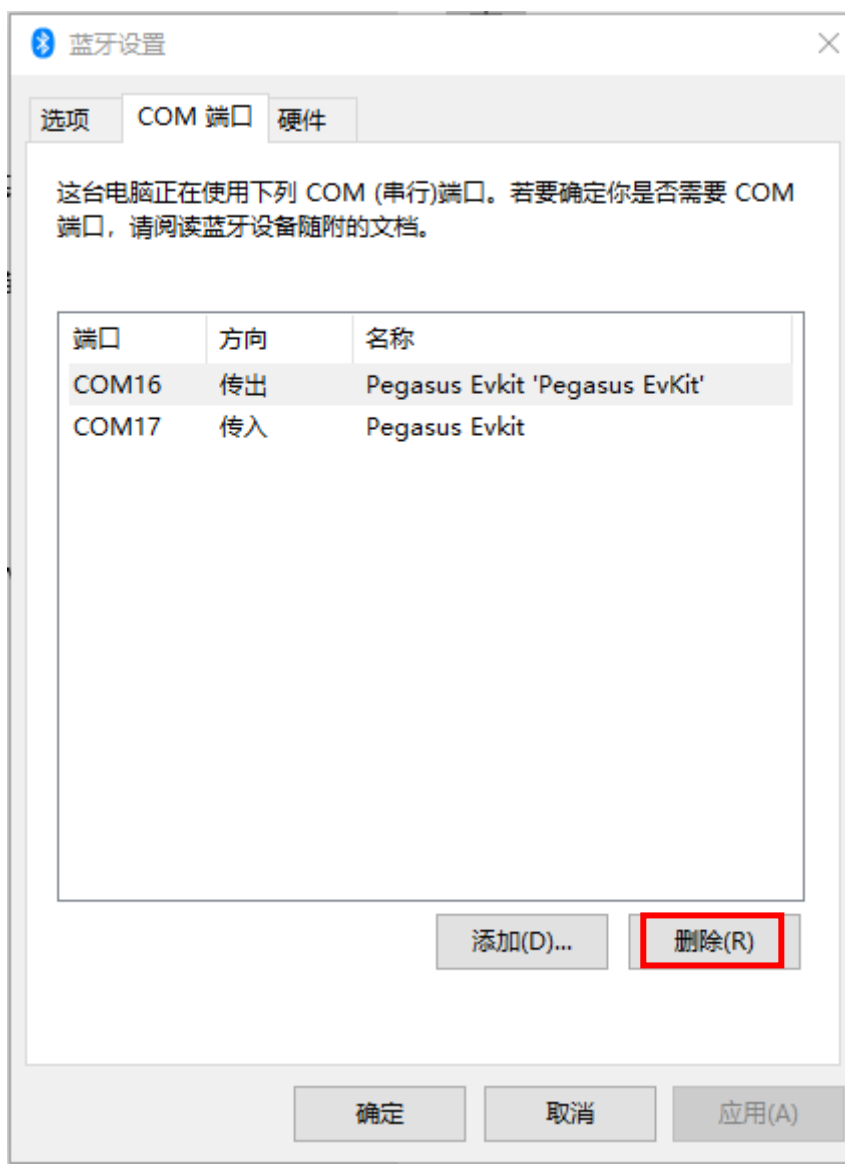
[显示设置](#)

[更多蓝牙选项](#)

[通过蓝牙发送或接收文件](#)

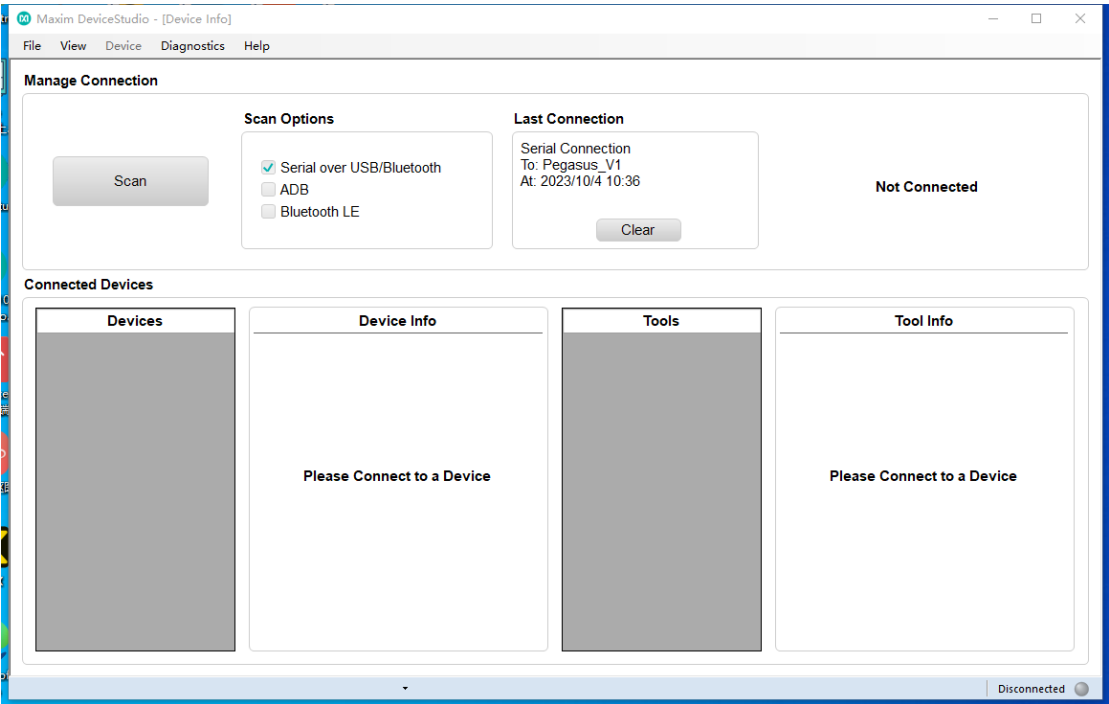
[获取帮助](#)

[提供反馈](#)

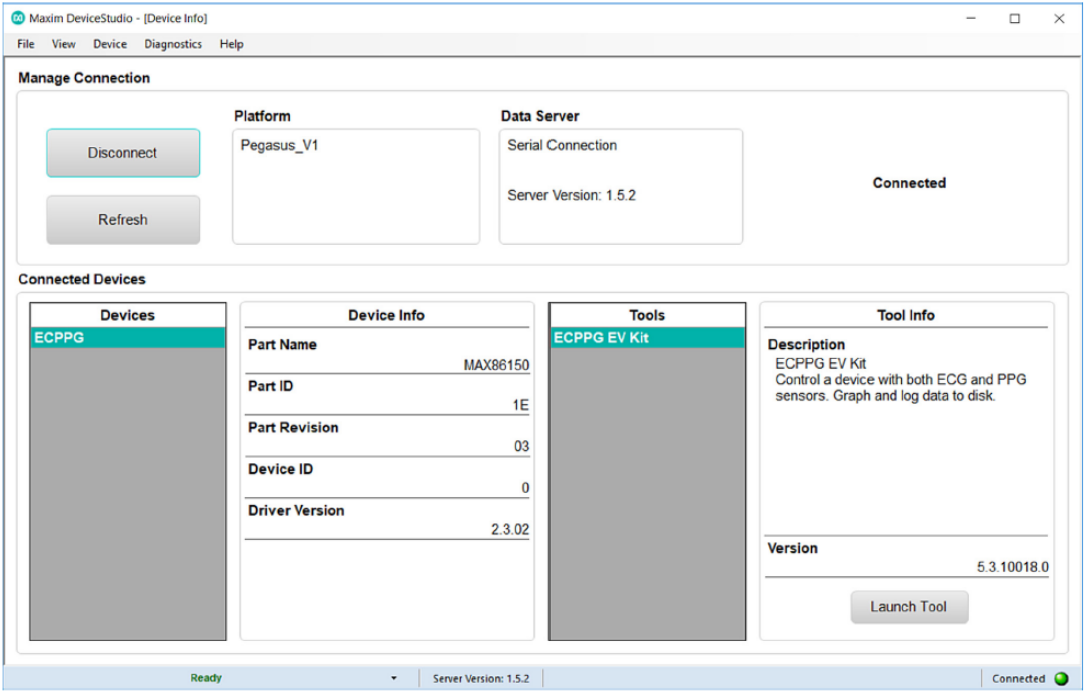


注 4：当同时有多组同学在使用设备的时候，蓝牙可能会显示多个同名设备，因此建议采取先后开机的方式，以免连接到别组的设备上。

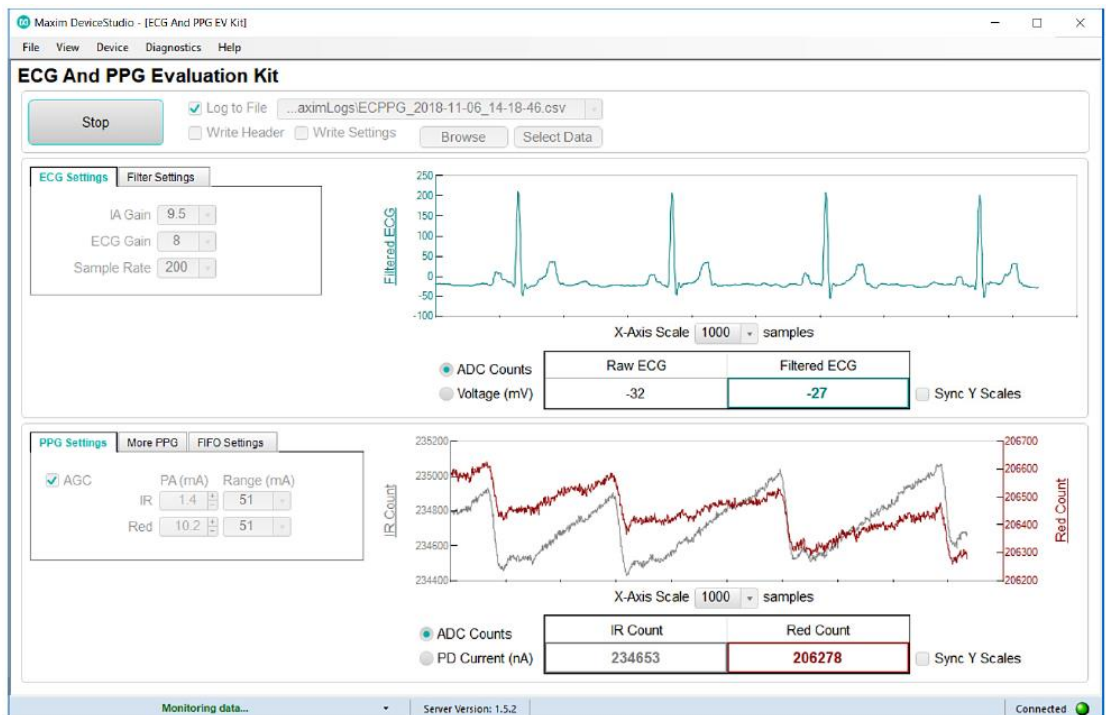
3、启动 Device Studio 5 软件，界面如下图所示：



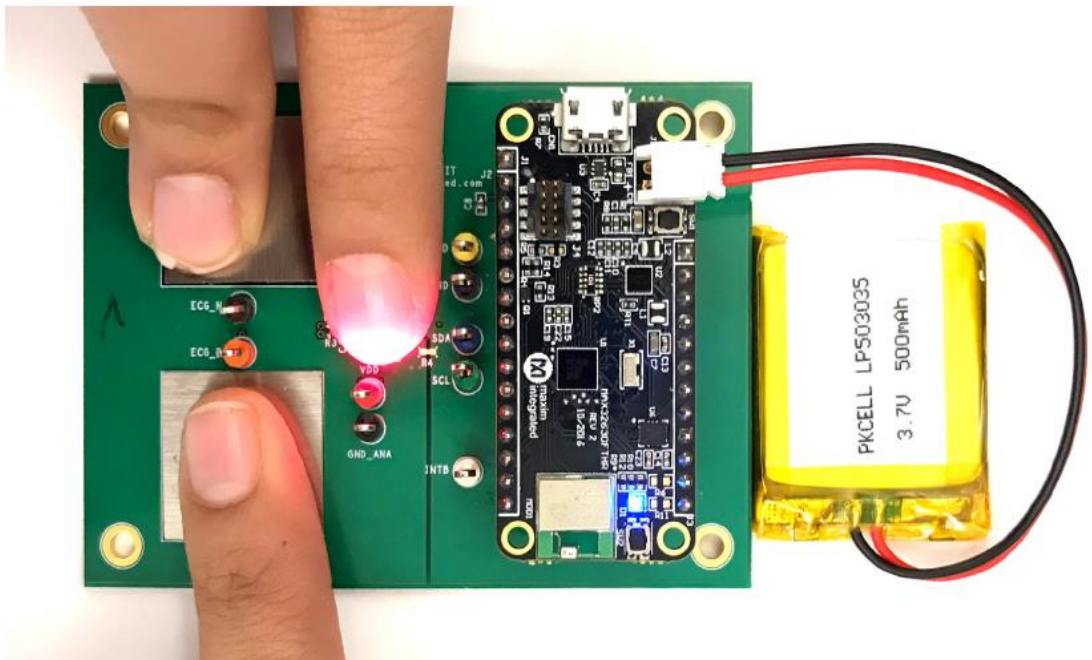
4、选中” Serial over USB/Bluetooth” 选项后，点击 Scan, 如连接成功，实验板上红灯应变蓝，且软件显示下列画面：



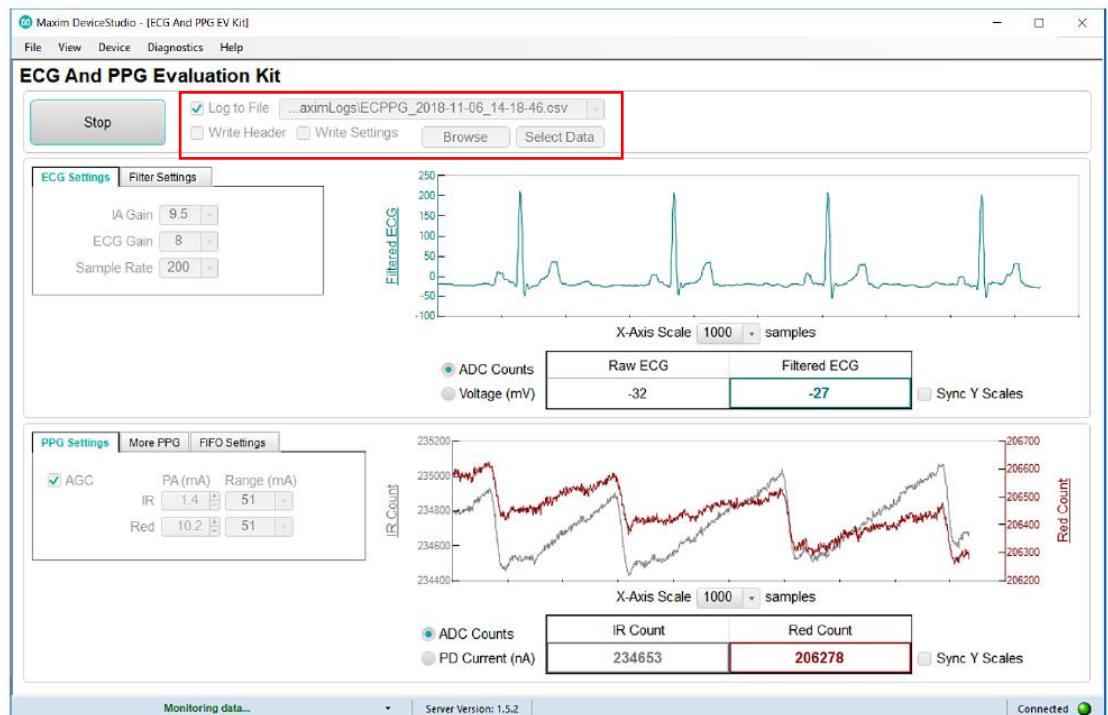
5、点击 Launch Tool, 进入以下界面：



- 6、拔掉 USB 线，尽量远离电磁干扰源，参照下图，左手手指按压在 ECG-P 电极上，右手手指按压在 ECG-N 电极上，同时在反射式传感器上按压一只手指，即可同时测量 ECG 和 PPG 波形，请注意保持身体安静，呼吸平稳，并将测量设备放置于远离其他电子设备处。



- 7、另外一名同学操作计算机，将结果存入文件，在测量结束后点击 Stop，即可在指定位置读取到全部测量值：



- 8、利用 matlab 等工具将存储的文件打开，手动分析 ECG 的各个波形，给出被测试者心脏健康状况；手动分析 PPG 波形，获得被测试者心率和 HRV 数据。
- 9、利用数学计算工具，如 Matlab 或 Python 分析测量数据，获取被测量者心脏健康相关数据，并撰写相应研究报告（选做）。

建议相关研究代码或论文如下：

ECG:

滤波器: https://blog.51cto.com/u_15295137/3569013

深度学习: https://zhuanlan.zhihu.com/p/530461249?utm_id=0

PPG:

特征提取:

1 Elgendi, M. On the analysis of fingertip photoplethysmogram signals. Current cardiology reviews 8, 14-25 (2012).

2 Alian, A. A. & Shelley, K. H. Photoplethysmography: Analysis of the Pulse Oximeter Waveform. 165-178, doi:10.1007/978-1-4614-8557-5_19 (2014).

3 Shelley, K. H. Photoplethysmography: beyond the calculation of arterial oxygen saturation and heart rate. Anesthesia and analgesia 105, S31-36, tables of contents, doi:10.1213/01.ane.0000269512.82836.c9 (2007).

4 Alian, A. A. & Shelley, K. H. Photoplethysmography. Best practice & research. Clinicalanaesthesiology 28, 395-406, doi:10.1016/j.bpa.2014.08.006 (2014).

5 Allen, J. & Murray, A. Age-related changes in peripheral pulse timing characteristics at the ears, fingers and toes. Journal of human hypertension 16, 711-717, doi:10.1038/sj.jhh.1001478 (2002).

6 Murray, J. A. a. A. Age-related changes in the characteristics of the photoplethysmographic pulse shape at various body sites. Physiological measurement, 24, 297-307 (2003).

PPG 特征分析 Matlab 代码:

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
% PPG Feature Extraction
```

```
% Function Name:
```

```
% Last update date:
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
%PPG Feature Point Name
```

```
%PPG : O S N D
```

```
%VPG : w y z
```

```
%APG : a b c d e
```

```
%% Turotial 2 : Start Here
```

```
%set the search path for the subfunction
```

```
addpath(genpath(pwd));
```

```

pwd;

clc;

close all;

%% flag

flag_plot_figure = 1;

%% initialization variable

error_code = 0;

sample_time = 0.001; %sencond

%%                                     %%%%%%%%%%%                      Code
Area %%%%%%%%%%%

% Signal Data Index-----change as your data path

path.data = '.\DATA\';

path.output = '.\OUTPUT\';

path.T3_data = '..\T3_Classification\DATA\';

path.subject_info = '.\DATA\subject_info\';

D = dir('.\DATA\*.txt');

disp(length(D));

delete([path.output 'BP_PPG_Feature_dataset.csv']);

delete([path.output 'BP_PPG_discard_record.csv']);

```

```

for subject_index = 1:1:length(D)

    disp(subject_index);

    error_code = 0;

    filename = D(subject_index).name;

    [subject.num, wavedata] = load_wave(path.data, filename);

    subject_data = load([path.subject_info 'PPG_BP.txt']);

    [error_code, subject.info] =
read_subject_info(error_code, subject.num, subject_data);

    wave.ppg_raw = zscore(wavedata);

    %% Filtering PPG signal

    [wave.ppg, filter_SOS] =
filter_home_bandpass(wave.ppg_raw, 1, 2, 1000, 0.5, 10);

    %% Calculate SQI

    S_SQI_ppg = ppg_sqi(wave.ppg);

    [SQI_max_ppg, SQI_window_ppg] = ppg_window_sqi(wave.ppg);

    [SQI_max_ppg, Index_ppg] = max(SQI_window_ppg);

```

```

%% vpg, apg, 3rd, 4th

[wave.vpg, wave.apg, wave.third, wave.fourth] =
multi_derivative(wave.ppg);

```

```

wave.vpg = zscore(wave.vpg);

```

```

wave.apg = zscore(wave.apg);

```

```

wave.third = zscore(wave.third);

```

```

wave.fourth = zscore(wave.fourth);

```

```

%% PPG Feature point extraction

```

```

[error_code, Loc.PPG, Loc.VPG, Loc.APG] =
ppg_point_extraction(error_code, wave.ppg, wave.vpg, wave.apg, wave.third);

```

%If you have done this step, you can establish your model to classification or prediction next step.

%Please put the dataset file to the 'T3_Classification\DATA' folder.

%If you want to watch or check the extracted PPG point, you can set 'flag_plot_figure' to be 1 in the start of code.

```

%% watch the waveform and SQI value

```

```

if flag_plot_figure == 1

    if error_code == 0

        plot_multi(subject_index, 2, 3);

        n = 1:1:length(wave.ppg);

plot(n*sample_time, wave.ppg, 'k', n*sample_time, wave.vpg, 'b', n*s
ample_time, wave.apg, 'r', ...

        ... %n*sample_time, wave.third, 'm', ...

        ... %n*sample_time, wave.fourth, 'c', ...

Loc.PPG*sample_time, wave.ppg(Loc.PPG), '*r', ...

Loc.VPG*sample_time, wave.vpg(Loc.VPG), '*r', ...

Loc.APG*sample_time, wave.apg(Loc.APG), '*r');

legend('PPG', 'VPG', 'APG');

axis([0 length(wave.ppg)*sample_time -5 5]);

title(subject.num);

text(0, 4.5, 'SQI');

text(0, 4, num2str(SQI_max_ppg));

text(0.5, 4.5, 'AGE');

```

```
text(0.5,4,num2str(subject.info(3))); %age
```

```
text(1,4.5,'SBP');
```

```
text(1,4,num2str(subject.info(6))); %SBP
```

```
text(1.25,4.5,'DBP');
```

```
text(1.25,4,num2str(subject.info(7))); %SBP
```

```
text(0,-4,'PASS');
```

```
text(0,-4.5,num2str(error_code));
```

```
%%show the PPG points
```

```
text(Loc.PPG(1)*sample_time,wave.ppg(Loc.PPG(1)),'O');
```

```
text(Loc.PPG(2)*sample_time,wave.ppg(Loc.PPG(2)),'S');
```

```
text(Loc.PPG(3)*sample_time,wave.ppg(Loc.PPG(3)),'N');
```

```
text(Loc.PPG(4)*sample_time,wave.ppg(Loc.PPG(4)),'D');
```

```
text(Loc.PPG(5)*sample_time,wave.ppg(Loc.PPG(5)),'O2');
```

```
text(Loc.PPG(6)*sample_time,wave.ppg(Loc.PPG(6)),'S2');
```



```
text (Loc. VPG (1)*sample_time, wave. vpg (Loc. VPG (1)), ' w' );
```

```
text (Loc. VPG (2)*sample_time, wave. vpg (Loc. VPG (2)), ' y' );
```

```
text (Loc. VPG (3)*sample_time, wave. vpg (Loc. VPG (3)), ' z' );
```

```
text (Loc. VPG (4)*sample_time, wave. vpg (Loc. VPG (4)), ' w2' );
```

```
text (Loc. APG (1)*sample_time, wave. apg (Loc. APG (1)), ' a' );
```

```
text (Loc. APG (2)*sample_time, wave. apg (Loc. APG (2)), ' b' );
```

```
text (Loc. APG (3)*sample_time, wave. apg (Loc. APG (3)), ' c' );
```

```
text (Loc. APG (4)*sample_time, wave. apg (Loc. APG (4)), ' d' );
```

```
text (Loc. APG (5)*sample_time, wave. apg (Loc. APG (5)), ' e' );
```

```
text (Loc. APG (6)*sample_time, wave. apg (Loc. APG (6)), ' a2' );
```

```
text (Loc. APG (7)*sample_time, wave. apg (Loc. APG (7)), ' b2' );
```

```

xlabel(' t/s' );

ylabel(' Normalized value' );

grid on;

hold on;

else

    plot_multi(subject_index,2,3);

    n = 1:1:length(wave.ppg);

    plot(n*sample_time, wave.ppg_raw, 'k', n*sample_time, wave.ppg, 'k'
    , ...

    n*sample_time, wave.vpg, 'b', n*sample_time, wave.apg, 'r', ...

    n*sample_time, wave.third, 'm', n*sample_time, wave.fourth, 'c');

    legend(' PPG', ' VPG', ' APG' );

    axis([0 length(wave.ppg)*sample_time -5 5]);

    title(subject_num);

    text(0,4.5, ' SQI' );

    text(0,4,num2str(SQI_max_ppg));

    text(0.5,4.5, ' AGE' );

    text(0.5,4,num2str(subject.info(3))); %age

```

[illegible]