



北京大学

智能电子系统设计与实践

项目名称：便携式智能血压计

小组成员：杨垒、王京、李贤玮

指导教师：段晓辉、高繁民、张云峰

二〇二一年 6 月

摘要

基于市场调研，我们认为便携腕式血压计有其应用价值和意义，遂计划制作一块腕式血压计，用示波法测量，外形如手表，可显示时间。通过蓝牙连接微信小程序，通过手机控制测量及查看结果，由小程序记录数据，显示血压变化趋势。成品能完成血压测量，数值在正常血压范围内且测量稳定，但体积比预期更大。

Abstract

Market research indicates the applicable value and significance of portable wrist sphygmomanometers. This project aims to design a wrist sphygmomanometer that can display time with the shape of a watch and uses the oscillometric method for measurement. The device can connect to the WeChat Mini Program via Bluetooth for the measurement and results viewing through the mobile phone. Historical data will be recorded on Mini Program and shown as the trend of blood pressure changes. The finished product can realize stable blood pressure measurement within the normal range, however, its size is larger than expected.

关键字：示波法 腕式 血压计

一、系统规范

• 应用场景

目前全球超过 1/3 的人群患有高血压相关疾病，需要即使测量并进行管控。但传统水银柱血压计的操作不方便、不易携带，且每次去医院等地方进行测量并不现实，因此小巧便携并带有一定智能化功能的血压测量设备具有极大的意义。面向高血压集中的老年群体、患有高血压的中年人士和工作所在地频繁变更，对便携性有要求的工作人士，其中

核心群体为患有高血压疾病的中老年群体。

- **系统功能**

在未测量状态下为腕式手表，和手机进行蓝牙配对后，通过移动端微信小程序控制测量血压，并将测量数据存储在本地，结合折线图等可视化手段为患者一目了然地呈现血压波动，便于监测和查看。在一次的蓝牙连接后可重复多次测量蓝牙，并且额外添加了重置时间的功能，可将手机端时钟时间同步到手表端来减少误差。

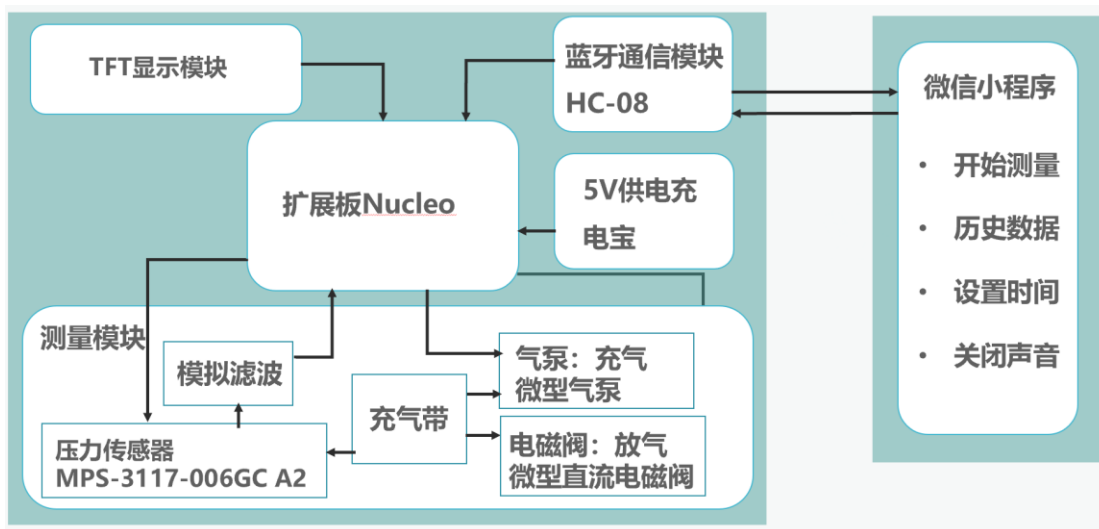
- **系统指标**

体积：接近手表大小，能戴在手腕使用且便于携带；

精度：稳定性。短时间 3-5 次测量，最大最小值相差小于 4mmHg；

二、总体方案

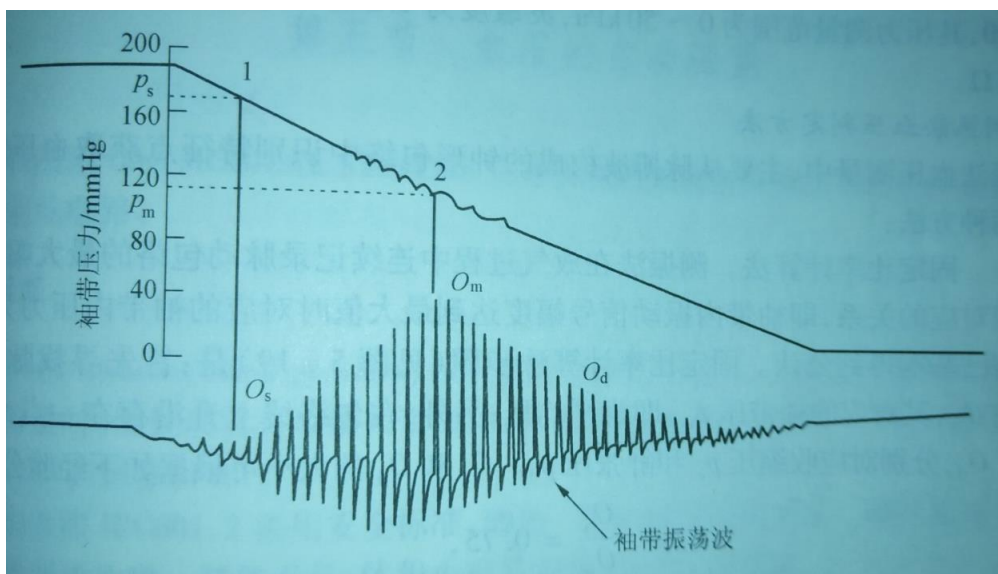
- 系统总体架构图（总体软硬件框图）



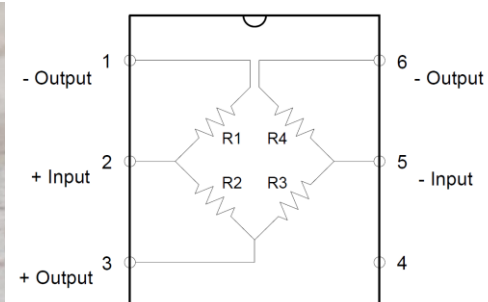
- 关键算法论证计算

- 蓝牙模块：用番茄闹钟调试器将蓝牙连接到电脑，并和手机进行连接后进行串口调试，验证完成。
- 测量原理：示波法
 - 气压传感器测量值为袖带内气压和脉搏振荡波的叠加信号。通过滤波电路可分开两路信号。
 - 测量原理：当袖带加压超过收缩压，血液流动受阻，脉搏波消失。随着袖带压强减小到收缩压以下，脉搏波重新出现，当脉搏波增大到一定值 ($O_s/O_m = 0.55$ ，分母是脉搏波最大时**对应气压**，0.55 是临床经验数值，**注意**这个比例是脉搏振荡波幅值的比例，不是气压（即血压）的比例）。随着压强降低到舒张压以下，血液流动完全不受阻碍，相当于袖带和手腕间压力为 0，就无法测量到脉搏波，所以脉搏波会再度消失。当脉搏波此刻幅度与最大幅度比值 $O_d/O_m = 0.85$ ，取此时压强为舒张压。 O_m 对应压强称为平均压。
 - 不同人脉搏振荡波的波形可能是不同的，所以即便平均压相同，高低压也不一定相同。

如下图所示



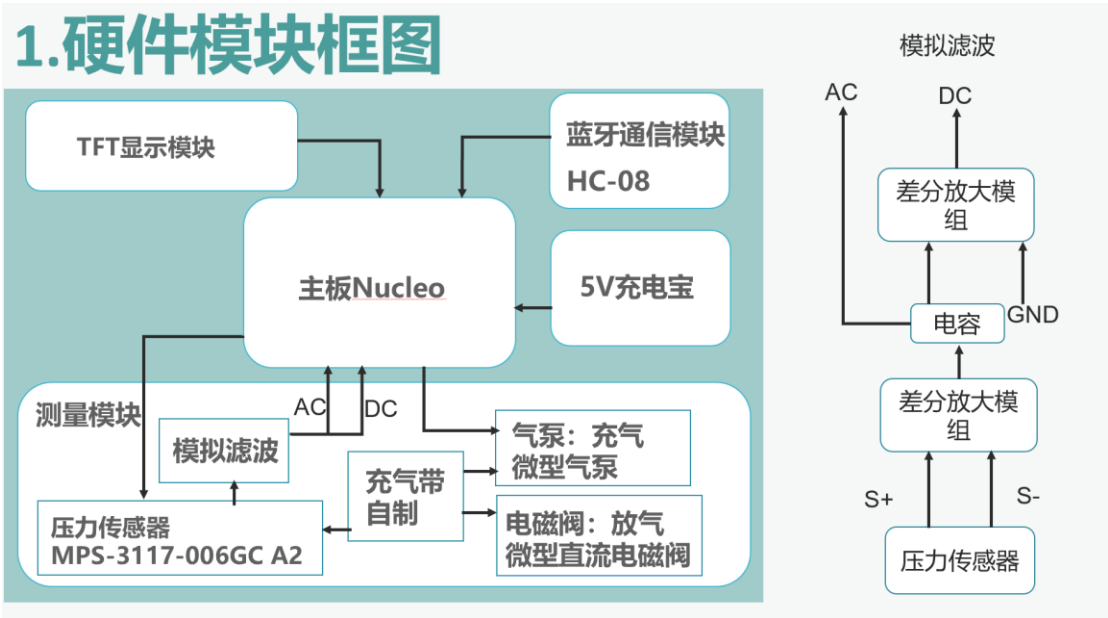
➤ 测量模块：气泵、电磁阀、袖带、气压传感器



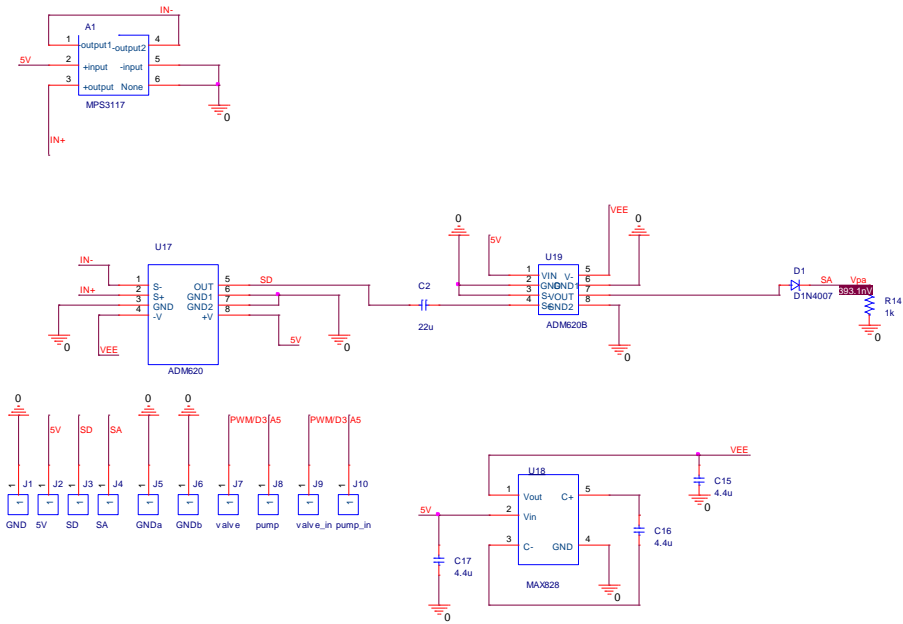
三、系统设计

1、智能设备的详细设计：

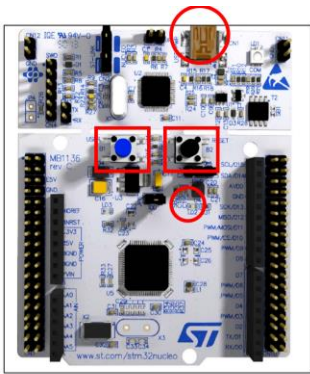
- 硬件总体框图



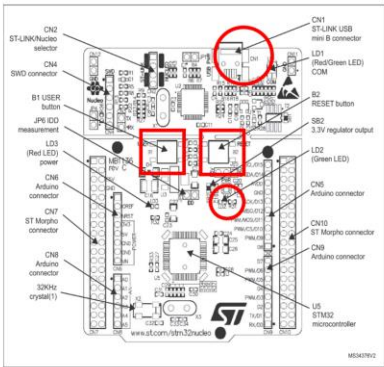
- 扩展板电路图



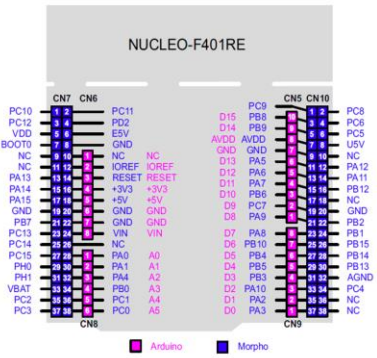
主板：



STM32 Nucleo-64 开发板实物图

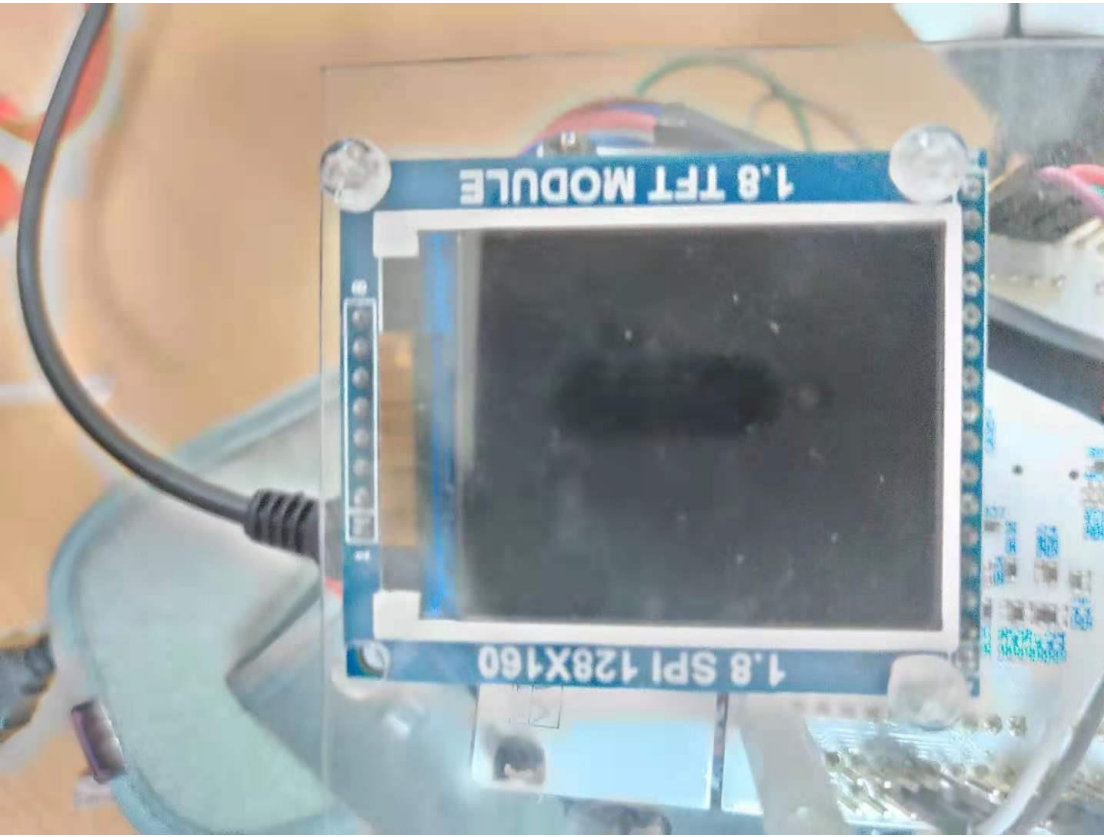


F401RE 顶层元器件布局图（Top layout）



连接管脚图

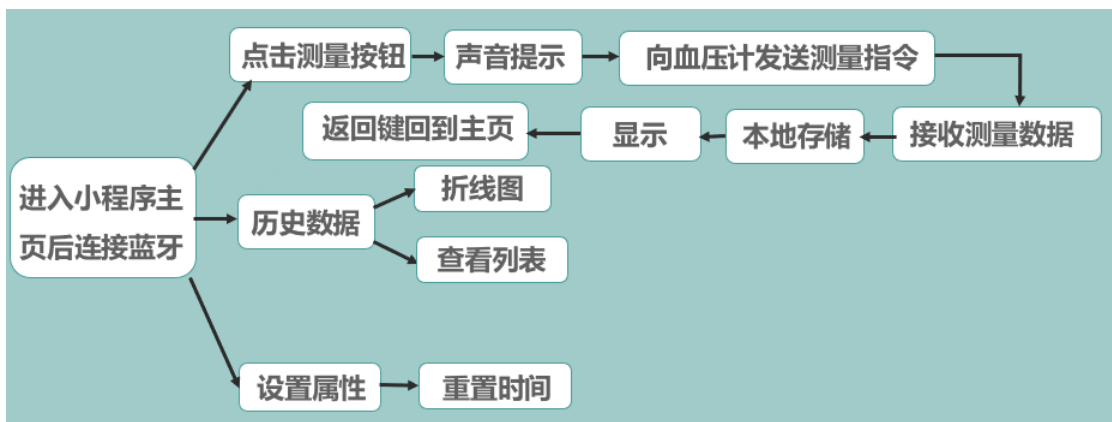
屏幕：



- 软件总体框图



- 软件总体流程图



2、智能服务的详细设计

➤ 本地数据存储

每次的测量值通过微信的存储功能缓存到本地，分为**测量时间**、**收缩压**、**舒张压**三组数组进行存储。

➤ 历史数据呈现

查看每次具体测量时间和对应测量值的列表

*同一个微信用户在同一个小程序的本地存储数据上限为 10MB，本项目足够使用

➤ 数据可视化——调用 wxcharts

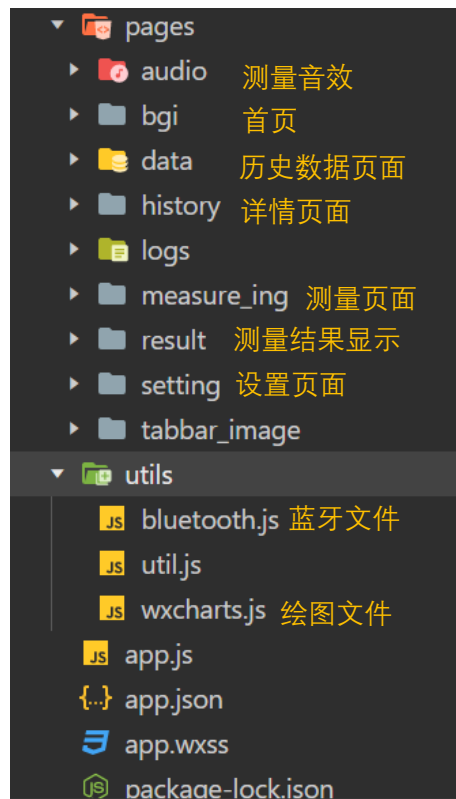
可拖拽折线图：以测量时间为 x 轴，收缩压和舒张压的测量值为 y 轴，绘制折线图，用户可通过**拖拽**查看历史 14 次的测量结果并查看波动情况

➤ 语音提示

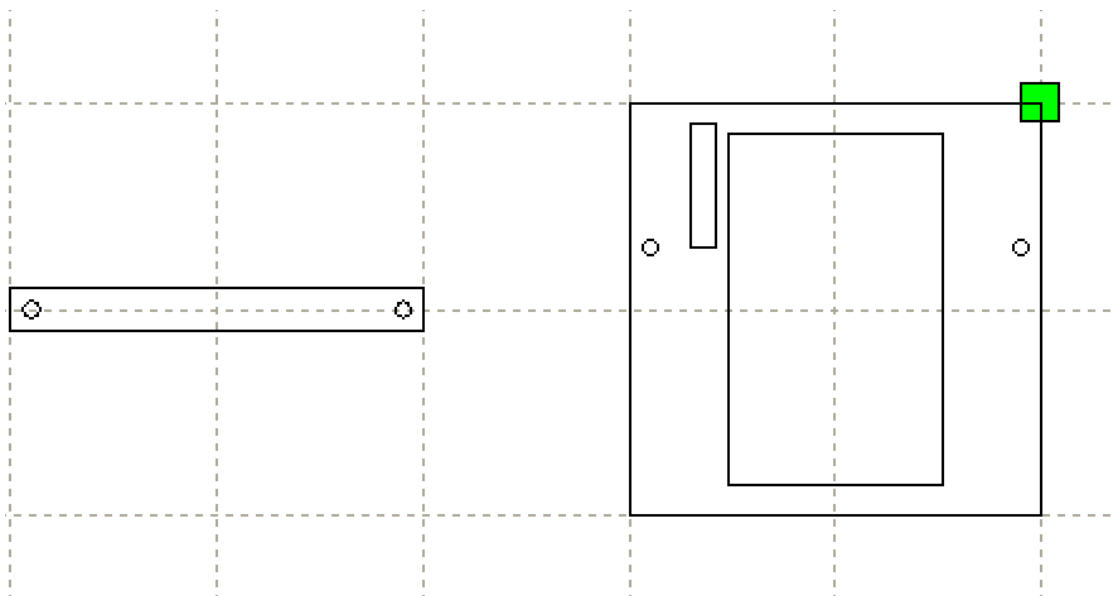
用户点击测量按钮后，语音提示用户开始测量

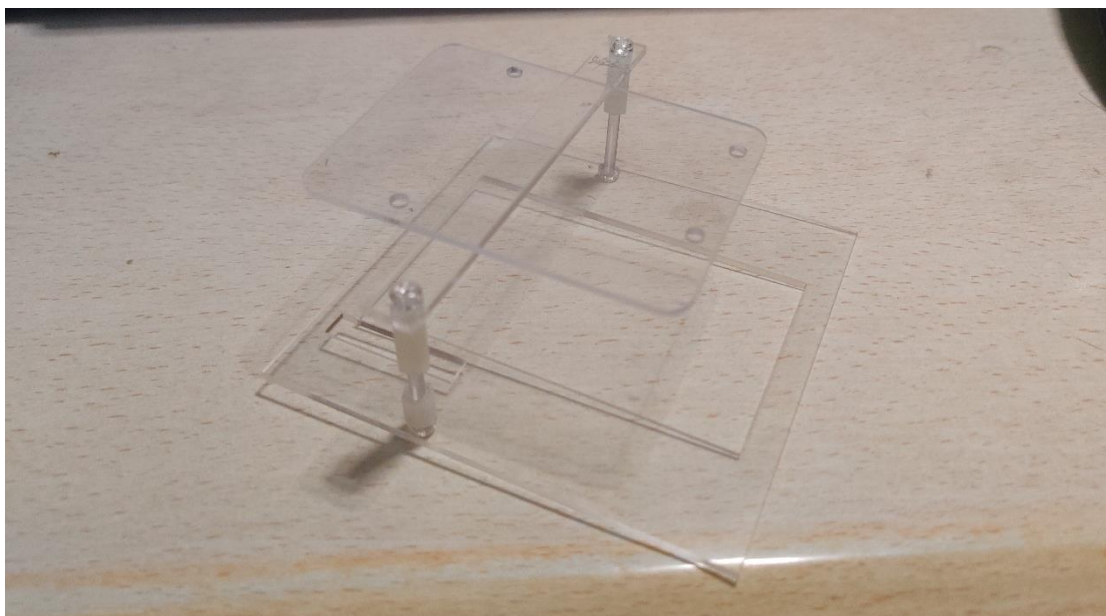
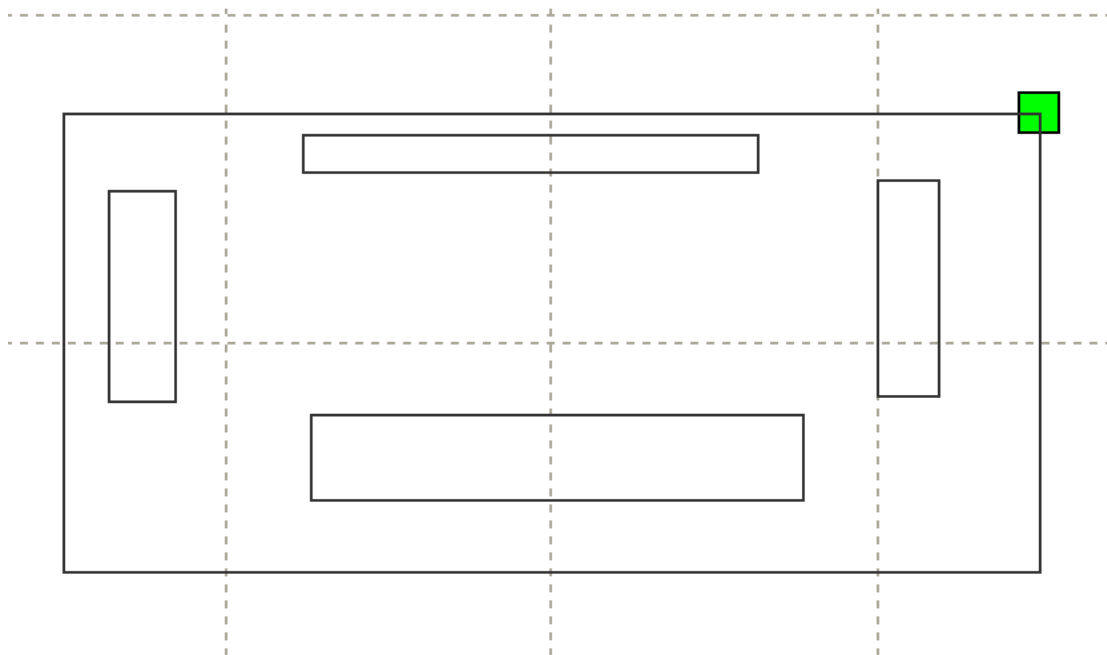
四、系统实现

- 智能设备软件代码结构图（目录及文件名）



- 智能设备外壳设计图





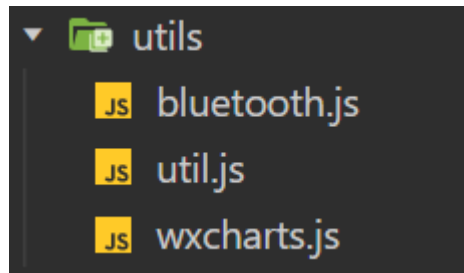
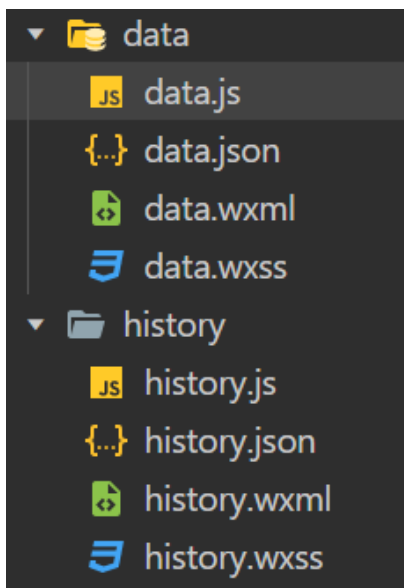
- **智能服务软件代码结构图**

Data 为可视化界面，显示折线图

History 为列表界面，可具体查看测量时间和对应测量值

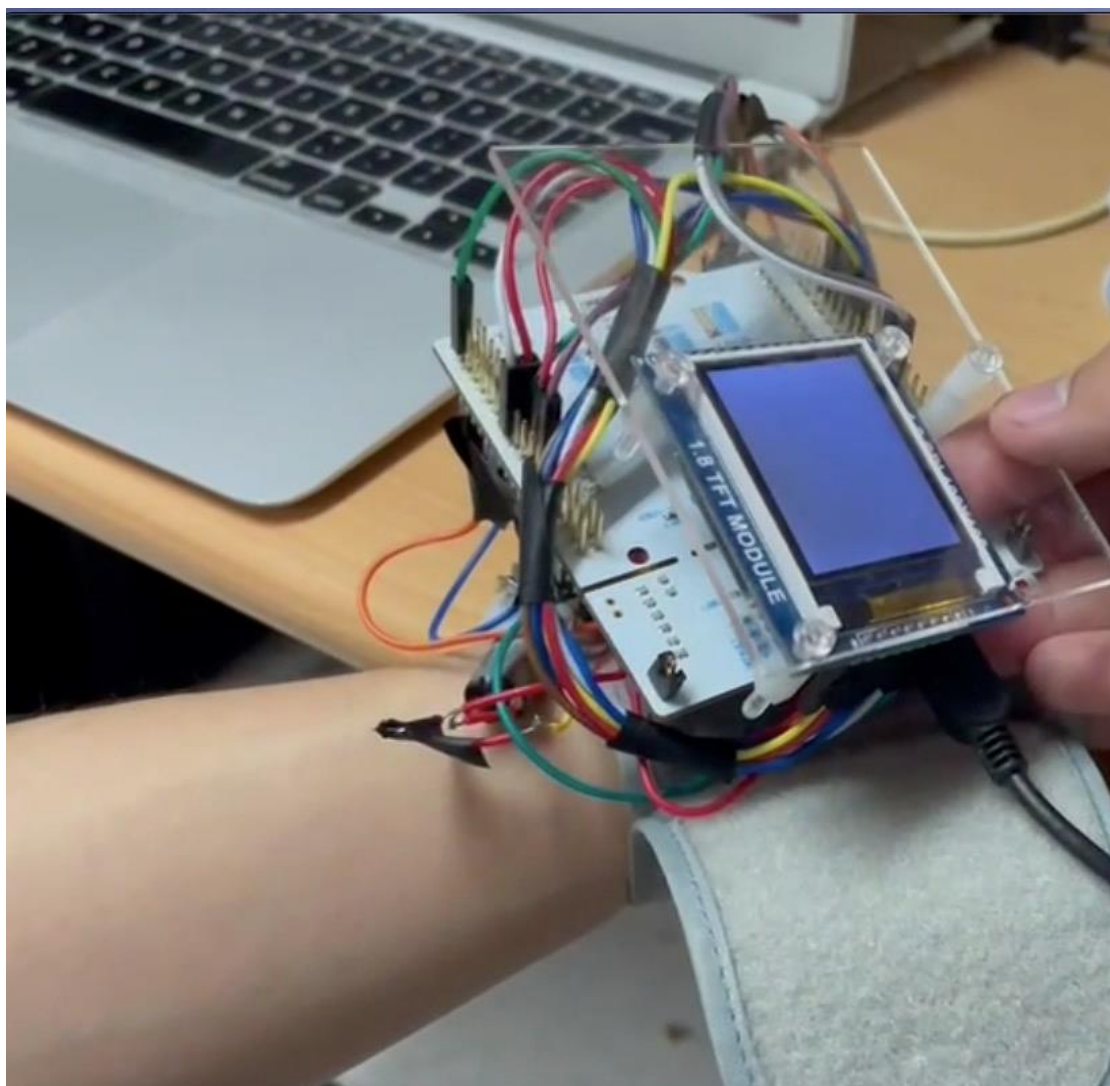
Wxcharts 为可视化绘制所调用的文件

- Bluetooth 为蓝牙通信模块文件



五、系统测试

1、智能硬件实物照片



软件人机界面截图





15:45 61%

查看历史数据

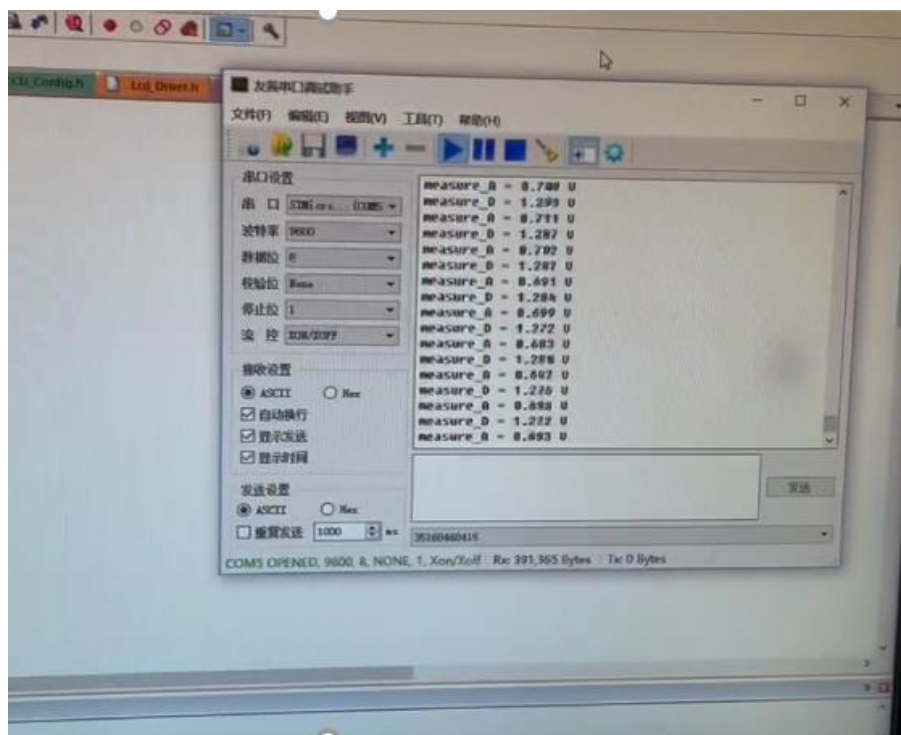
320px × 504px

时间:5/14	收缩压:120	舒张压:88
时间:5/13	收缩压:145	舒张压:75
时间:5/12	收缩压:127	舒张压:80
时间:5/11	收缩压:138	舒张压:90
时间:5/10	收缩压:125	舒张压:78
时间:5/9	收缩压:130	舒张压:83
时间:5/8	收缩压:120	舒张压:80
时间:5/7	收缩压:120	舒张压:70
时间:5/6	收缩压:145	舒张压:88
时间:5/5	收缩压:127	舒张压:75
时间:5/4	收缩压:138	舒张压:80
时间:5/3	收缩压:125	舒张压:90
时间:5/2	收缩压:130	舒张压:78
时间:5/1	收缩压:120	舒张压:83

2、系统功能测试

- 测试方法：使用小程序控制血压计进行血压测量，
 - 1) 观察血压计是否正常工作（气泵、电磁阀正常受控；串口返回数据正常）
 - 2) 程序正常收到回传的血压值并显示
 - 3) 小程序可以查看历史数据





- 测试结果：观察血压计工作正常，小程序情况如下图所示。





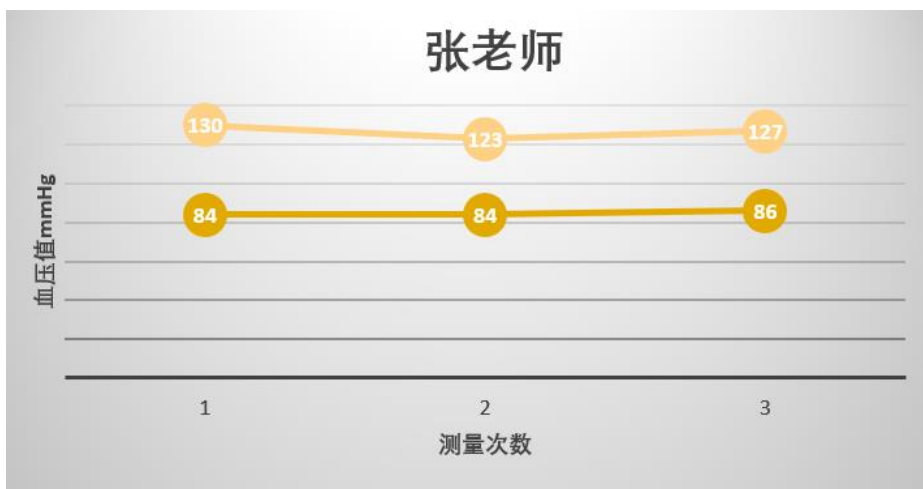
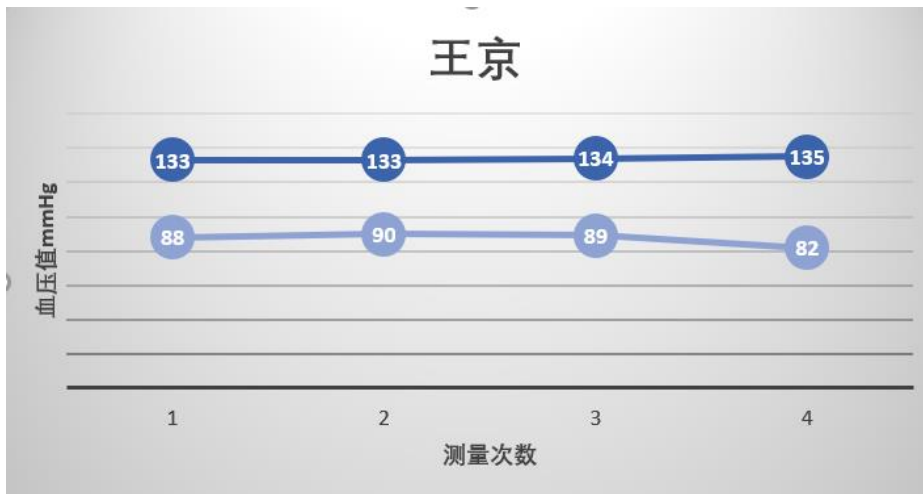
3、系统指标测试

- 测试方法

附一：

测试编号	2-1、2-2
测试项目	是否能够达到指标要求
标准依据	用户说明书（含系统规范书）
测试目的	检验腕式血压计的平均精度和工作稳定性
测试配置	三名测试者，腕式血压计，用于对比的水银血压计
测试步骤	<ol style="list-style-type: none"> 1. 用腕式血压计测量高压和低压，记录结果 2. 短时间内，用水银血压计对同一测试者测量高压和低压，记录结果 3. 交换测试者，重复进行12次 4. 将用两种仪器测量的结果相减，取绝对值，取平均，得到平均误差 5. 误差在10mmHg内认为测量达标，计算达标次数占比，记为命中率
预期结果	平均误差小于10mmHg，命中率大于90%
测试结果	<p>(1) 130/84 . 123/84 127/86</p> <p>(2) 137/94 . 135/93 '136/94 136/94 136/94.</p> <p>(3) 133/88 . 133/90 . 134/89 135/82</p>
测试结论	.
备注	测试时有提示音，手机可查看历史数据。

- 测试结果



4、测试结果总结

血压计电路工作正常，与小程序连接良好，数据收发快速。测量结果稳定，连续测量的变化都在 10mmHg 以内。

六、结束语

通过腕式血压计的设计，我们经历了分析应用背景、调研原理、设计方案、

调试迭代的完整设计过程。最终结果实现了我们设想的基本功能——腕式血压测量、手机交互、数据可视化。过程中遇到诸多问题，比如对软件的不熟练、电路设计缺乏参考。最大的阻碍是模拟滤波电路的调试和修改比较费时费力。

腕式血压计方便携带以及使用的特点十分契合当下忙碌人群对体质健康监测的需求。在控制成本的基础上使用更微型的器件可以进一步压缩体积。搭配滤波效果更好的滤波电路，尽可能抑制噪声，可以实现更准确的测量效果。小米有品刚刚众筹了一款腕式血压计，相信腕式血压计未来会在家庭医疗场景中发挥重要作用。

七、参考文献

[1]Ogedegbe G, Pickering T. Principles and techniques of blood pressure measurement. *Cardiol Clin*. 2010;28(4):571-586. doi:10.1016/j.ccl.2010.07.006

[2]张新白,夏勋荣,夏炎,张莹.不同血压计检测方法的对比研究与问题分析[J].中国医学装备,2020,17(04):135-138.

[3]徐春旭.基于单片机的便携式电子血压计设计[J].电子测试,2020(03):30-31.

[4]崔晓华,孙苏,吴光辉,许云蛟,倪瑜.基于示波法的腕式电子血压计检定方法探讨[J].中国计量,2020(07):116-117.

[5]CSDN“便携式电子血压计”，

https://blog.csdn.net/weixin_42059397/article/details/104773225?ops_request_misc=%257B%2522request%255Fid%2522%253A%2522162403629516780271519471%2522%252C%2522scm%2522%253A%25220140713.130102334..%2522%257D&request_id=162403629516780271519471&biz_id=0&utm_medium=distribute.pc_search_result.none-task-blog-2~all~sobaiduend~default-1-104773225.first_rank_v2_pc_rank_v29&utm_term=%E7%94%B5%E5%AD%90%E8%A1%80%E5%8E%8B%E8%AE%A1&spm=1018.2226.3001.4187

[6]CSDN“单片机电子血压计原理与设计”

https://blog.csdn.net/qg_17320163/article/details/105297471?ops_request_misc=%257B%2522request%255Fid%2522%253A%2522162403637416780271520391%2522%252C%2522

[2scm%2522%253A%252220140713.130102334..%2522%257D&request_id=162403637416780271520391&biz_id=0&utm_medium=distribute.pc_search_result.none-task-blog-2~all~sobaiduend~default-1-105297471.first_rank_v2_pc_rank_v29&utm_term=%E7%94%B5%E5%AD%90%E8%A1%80%E5%8E%8B%E8%AE%A1%E5%8E%9F%E7%90%86&spm=1018.2226.3001.4187](https://blog.csdn.net/qq_30993593/article/details/79715055?ops_request_misc=%257B%2522request%255Fid%2522%253A%2522162403637416780271520391%2522%252C%2522scm%2522%253A%252220140713.130102334..%2522%257D&request_id=162403637416780271520391&biz_id=0&utm_medium=distribute.pc_search_result.none-task-blog-2~all~sobaiduend~default-1-105297471.first_rank_v2_pc_rank_v29&utm_term=%E7%94%B5%E5%AD%90%E8%A1%80%E5%8E%8B%E8%AE%A1%E5%8E%9F%E7%90%86&spm=1018.2226.3001.4187)

[7]CSDN“血压计的测量原理”

https://blog.csdn.net/qq_30993593/article/details/79715055?ops_request_misc=%257B%2522request%255Fid%2522%253A%2522162403637416780271520391%2522%252C%2522scm%2522%253A%252220140713.130102334..%2522%257D&request_id=162403637416780271520391&biz_id=0&utm_medium=distribute.pc_search_result.none-task-blog-2~all~sobaiduend~default-2-79715055.first_rank_v2_pc_rank_v29&utm_term=%E7%94%B5%E5%AD%90%E8%A1%80%E5%8E%8B%E8%AE%A1%E5%8E%9F%E7%90%86&spm=1018.2226.3001.4187

八、致谢

感谢三位老师的对项目方向的建议和开发过程的指导。感谢张云峰老师帮助我们检查 PCB 绘制的错误并解答 CAD 软件使用的问题。感谢实验室李老师在实验室开放时间给予的协调和帮助。感谢助教学长学姐对软件使用、硬件调试上的指导。感谢同学对激光雕刻软件使用的帮助。