

温度传感器NST112x-CWLR 应用于可穿戴设备温度检测设计指南

AN-12-0009

作者：Yuyun Yang



温度传感器NST112x-CWLR应用于可穿戴设备温度检测设计指南

说明

NST112x是一款工作电压范围在1.5V至3.6V的低功耗数字温度传感器。片上集成了14位模数转换器（ADC），提供高达0.015625°C的分辨率。该传感器规定的工作温度范围为-40°C至125°C。其通过灵活的两线I2C接口与主机进行通信，该接口与SMBus兼容，并支持4个设备地址。该传感器在高精测温范围（25°C~45°C）内的典型精度为0.1°C，且高度线性化，不需要复杂的计算或查找表来获得温度。

NST112x采用DABGA封装，使其适用于工业和消费市场中的对结构集成有严苛要求的产品，如智能手表、IoT节点传感器、蓝牙体温贴等。



功能特点

- 兼容SMBus的I2C接口
- 支持4个I2C地址
- 宽温度范围：-40°C 至125°C
- 分辨率高，最高可达0.015625°C
- 全温域内保持高精度
25°C to 45°C: $\pm 0.2^\circ\text{C}$ (Max)
-40°C to 125°C: $\pm 1^\circ\text{C}$ (Max)
- 单次温度转换时间20ms
- 超低功耗
- 4Hz连续转换模式时工作电流仅5.7uA
- 关断电流0.25uA
- 1Hz OneShot模式时工作电流<1uA
- 宽供电范围，1.5V到3.6V
- 晶圆级小封装WCSP4 (0.75mm x 0.75mm)

应用

- 电子温度计
- 智能手表
- 通用系统热管理
- 计算机外围设备热保护
- 笔记本电脑
- 工业物联网
- 通信基础设施
- 电力系统监视器
- 热保护
- 环境监测和暖通空调

温度传感器NST112x-CWLR应用于可穿戴设备温度检测设计指南

目录

| | |
|----------------------------------|----|
| 1. 管脚描述 | 2 |
| 2. 典型应用电路 | 3 |
| 3. 温度计算 | 4 |
| 4. 评估套件 | 5 |
| 4.1. 评估板硬件 | 5 |
| 4.1.1. 评估板原理图 | 5 |
| 4.1.2. 评估板PCB | 7 |
| 4.1.3. 评估板实物 | 7 |
| 4.2. 上位机 | 8 |
| 4.2.1. 上位机介绍 | 8 |
| 4.2.2. 串口驱动安装 | 8 |
| 4.2.3. 评估板上位机软件使用 | 10 |
| 5. 可穿戴设计指导 | 11 |
| 5.1. 高阶算法推荐 | 11 |
| 5.2. 基于NST112x-CWLR结构和layout设计指导 | 13 |
| 6. 参考例程 | 16 |

温度传感器NST112x-CWLR应用于可穿戴设备温度检测设计指南

1. 管脚描述

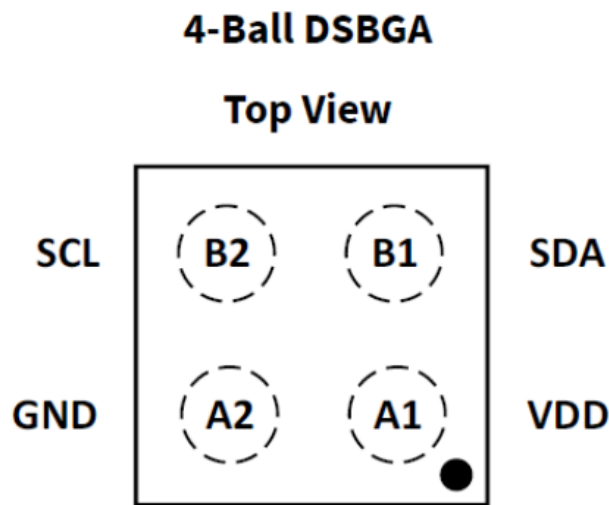


图1.1 NST112x-CWLR引脚定义图 (Top View)

表1.1 NST112x-CWLR引脚定义

| 引脚 | 符号 | 类别 | 功能 |
|----|-----|-------|--------------------|
| A1 | VDD | Power | 供电电压, 1.5V-3.6V |
| A2 | GND | GND | 接地 |
| B1 | SDA | I/O | 串行数据, 开漏输出, 需要上拉电阻 |
| B2 | SCL | I | 时钟线, 需要上拉电阻 |

温度传感器NST112x-CWLR应用于可穿戴设备温度检测设计指南

2. 典型应用电路

在I²C总线上最多支持挂载4颗NST112x-CWLR，其A/B/C/D四个版本具备不同的I2C设备地址。同一产品中支持多点测温，为产品温度检测算法提供多变量输入。典型应用电路如图2.1所示。

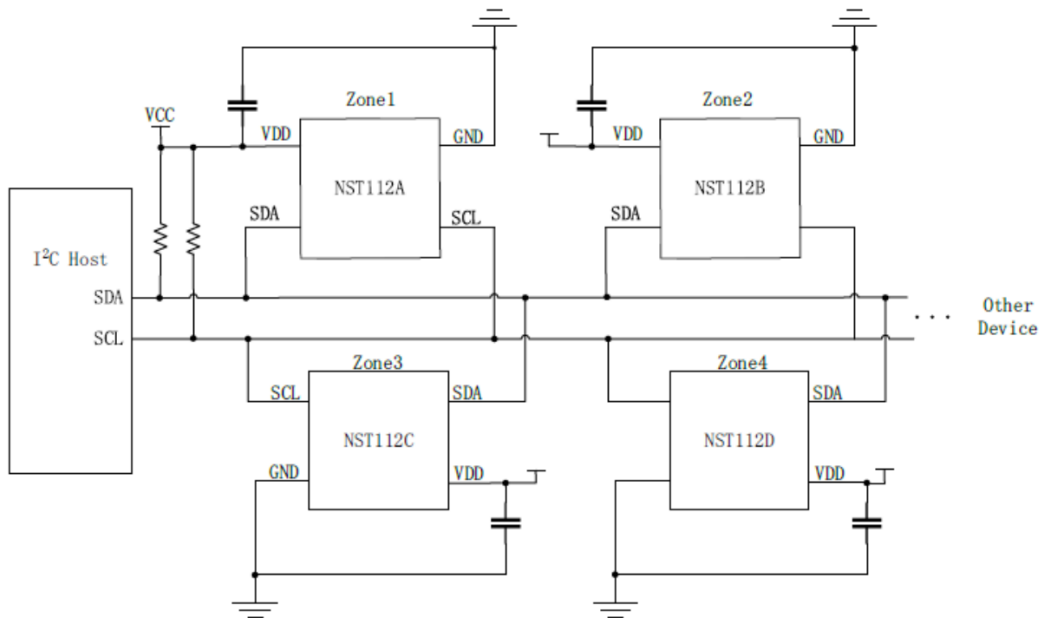


图2.1 NST112x-CWLR典型应用电路图

温度传感器NST112x-CWLR应用于可穿戴设备温度检测设计指南

3. 温度计算

NST112x使用16位二进制补码形式存储数据，读取两个Byte数据后，将两Byte数据拼接成一个16位有符号数，使用该数除以256可以得到物理的温度值。

表3.1 NST112x 14Bit高分辨率模式温度与数据对照表

| 温度 (°C) | 二进制表示 | 十六进制表示 |
|------------|-----------------------|--------|
| 150 | 0111 1111 1111 11(00) | 7FFC |
| 128 | 0111 1111 1111 11(00) | 7FFC |
| 127.984375 | 0111 1111 1111 11(00) | 7FFC |
| 100 | 0110 0100 0000 00(00) | 6400 |
| 85 | 0101 0101 0000 00(00) | 5500 |
| 50 | 0011 0010 0000 00(00) | 3200 |
| 20 | 0001 0100 0000 00(00) | 1400 |
| 0.015625 | 0000 0000 0000 01(00) | 0004 |
| 0 | 0000 0000 0000 00(00) | 0000 |
| -0.015625 | 1111 1111 1111 11(00) | FFFC |
| -20 | 1110 1100 0000 00(00) | EC00 |
| -50 | 1100 1110 0000 00(00) | CE00 |

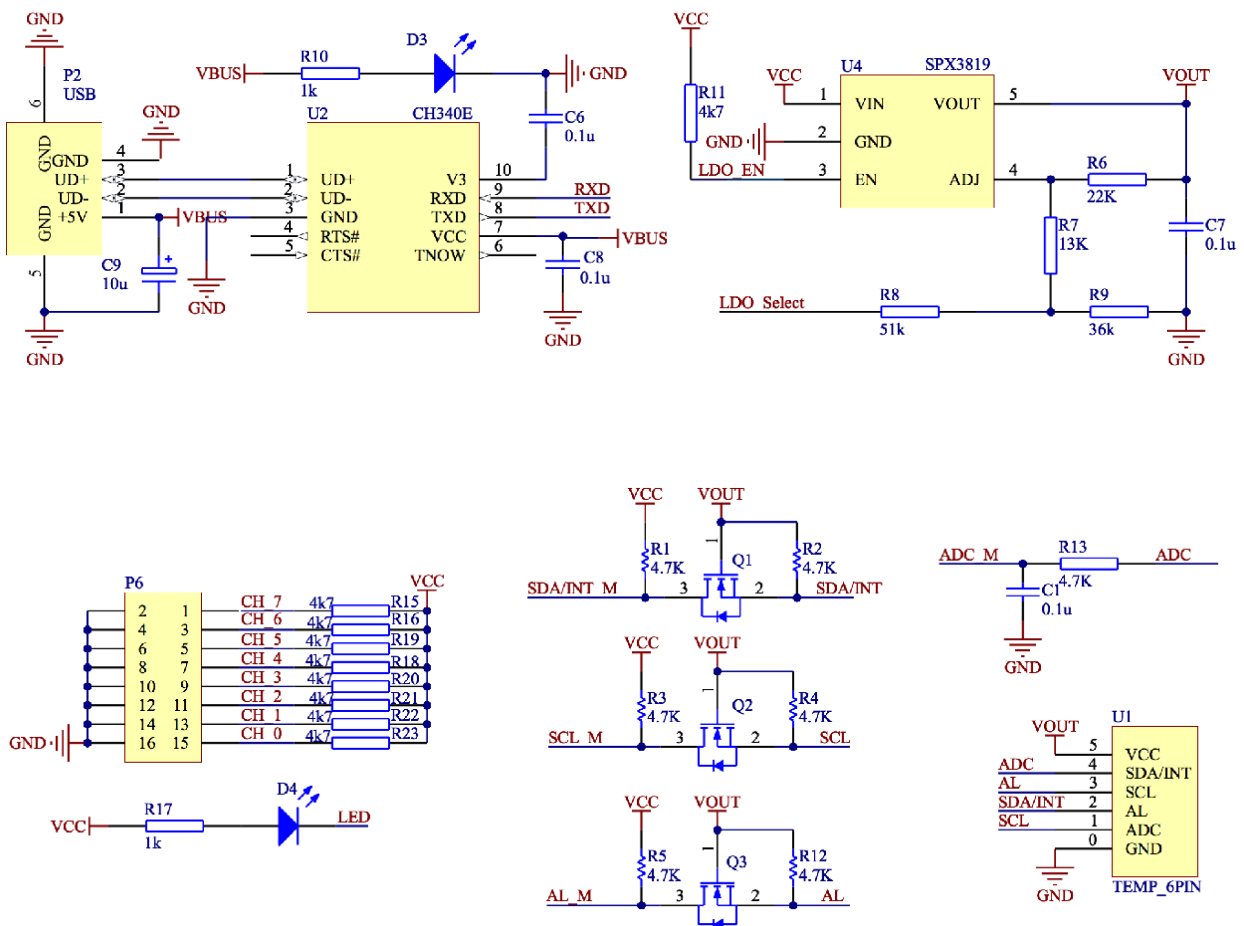
温度传感器NST112x-CWLR应用于可穿戴设备温度检测设计指南

4. 评估套件

4.1. 评估板硬件

4.1.1. 评估板原理图

该评估板的硬件包含两部分，一部分是基于51单片机的通信模块，另外一部分是NST112x DUT。两个模块通过排线连接。



温度传感器NST112x-CWLR应用于可穿戴设备温度检测设计指南

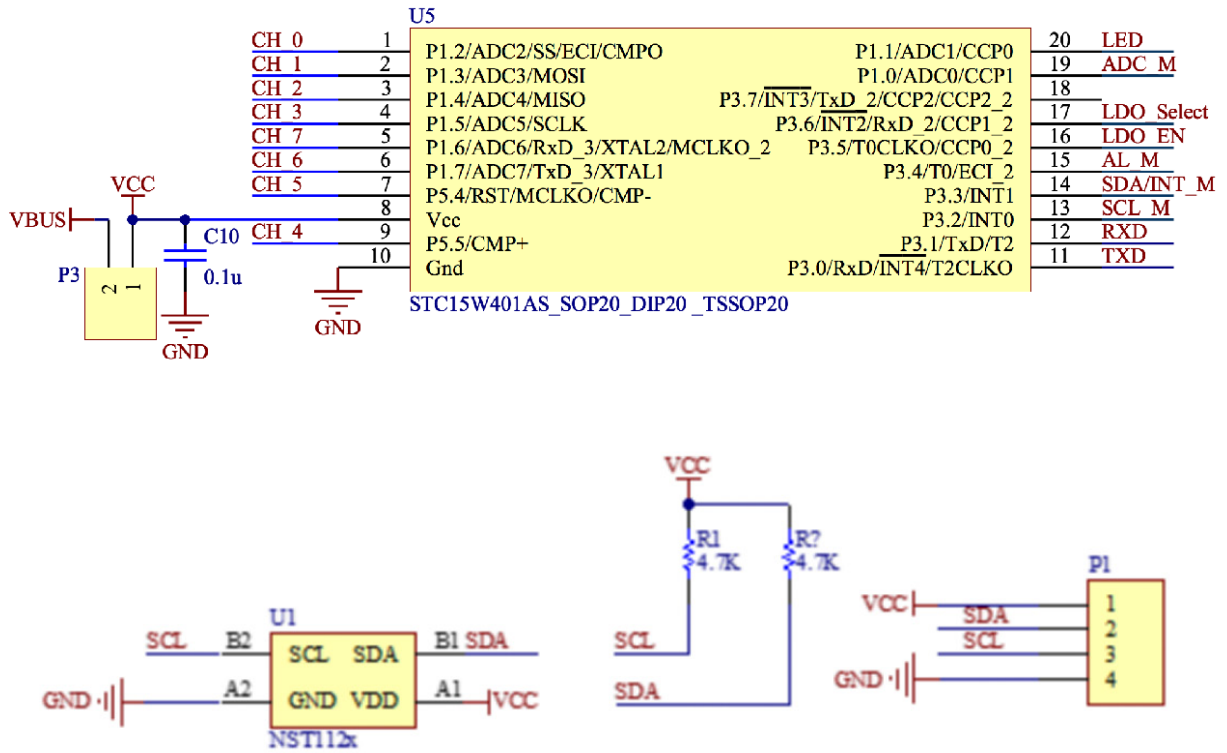


图4.1 NST112x评估板原理图

温度传感器NST112x-CWLR应用于可穿戴设备温度检测设计指南

4.1.2. 评估板PCB

该评估板的硬件包含两部分，一部分是基于51单片机的通信模块，另外一部分是NST112x DUT。两个模块通过排线连接。

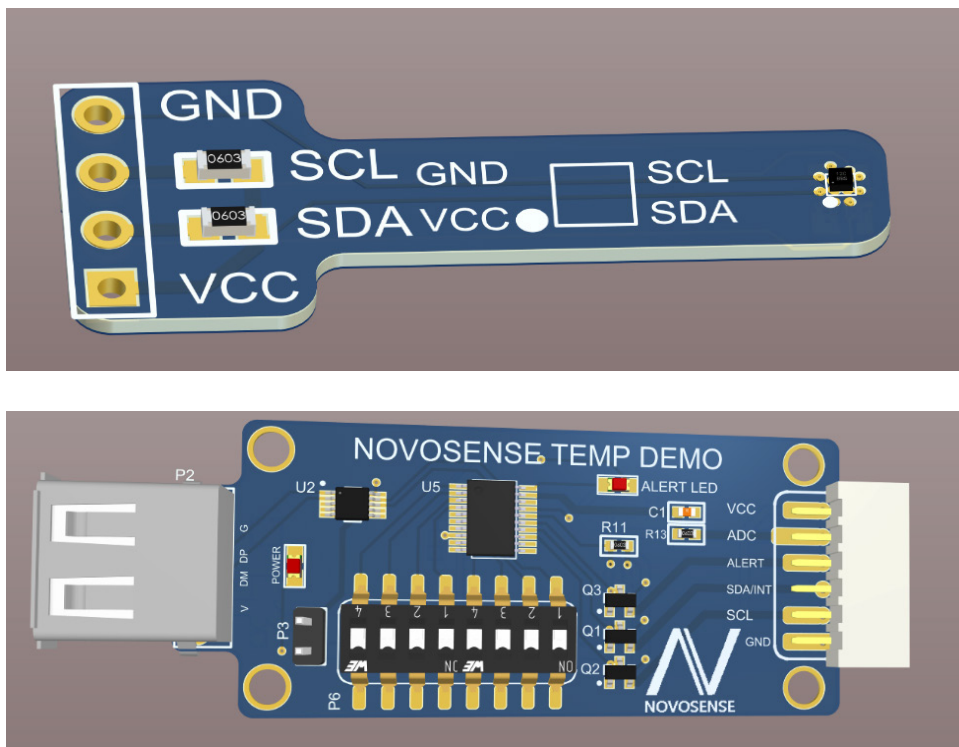


图4.2 NST112x评估板PCB图

4.1.3. 评估板实物

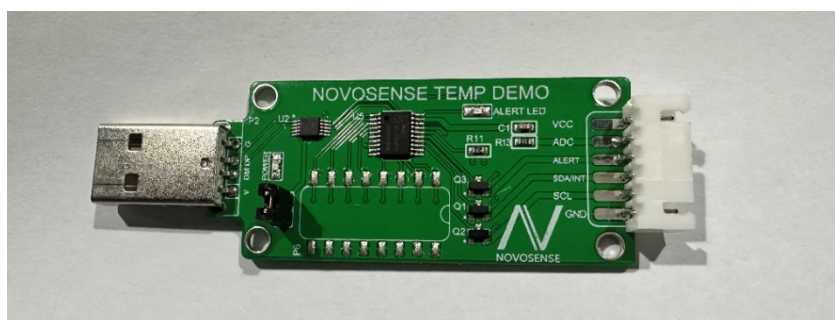


图4.3 NST112x评估板实物图

温度传感器NST112x-CWLR应用于可穿戴设备温度检测设计指南

4.2.上位机

4.2.1.上位机介绍

上位机的文件夹包含下列文件

- CH341SER.exe
- 温度上位机软件.exe
- SerialPoxy.dll
- ZedGraph.dll
- 软件使用说明.txt

4.2.2.串口驱动安装

打开上位机文件夹，直接运行CH341SER.exe可执行文件。弹出对话框如图4.4所示：

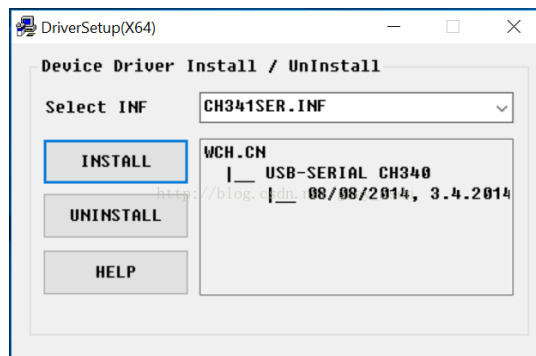


图4.4 CH341SER驱动安装

点击“INSTALL”，软件会自动安装好程序，安装结束后提示如图4.5所示：

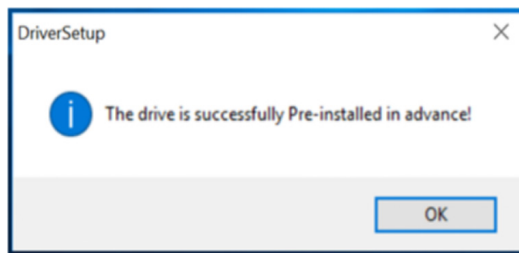


图4.5 CH341SER驱动安装成功

温度传感器NST112x-CWLR应用于可穿戴设备温度检测设计指南

如图4.6所示，选择此电脑，右键点击，选择属性，进入设备管理器，选择端口（COM和LPT），可以查看到当前评估板所有的COM口，根据用户机显示选择正确的COM口。

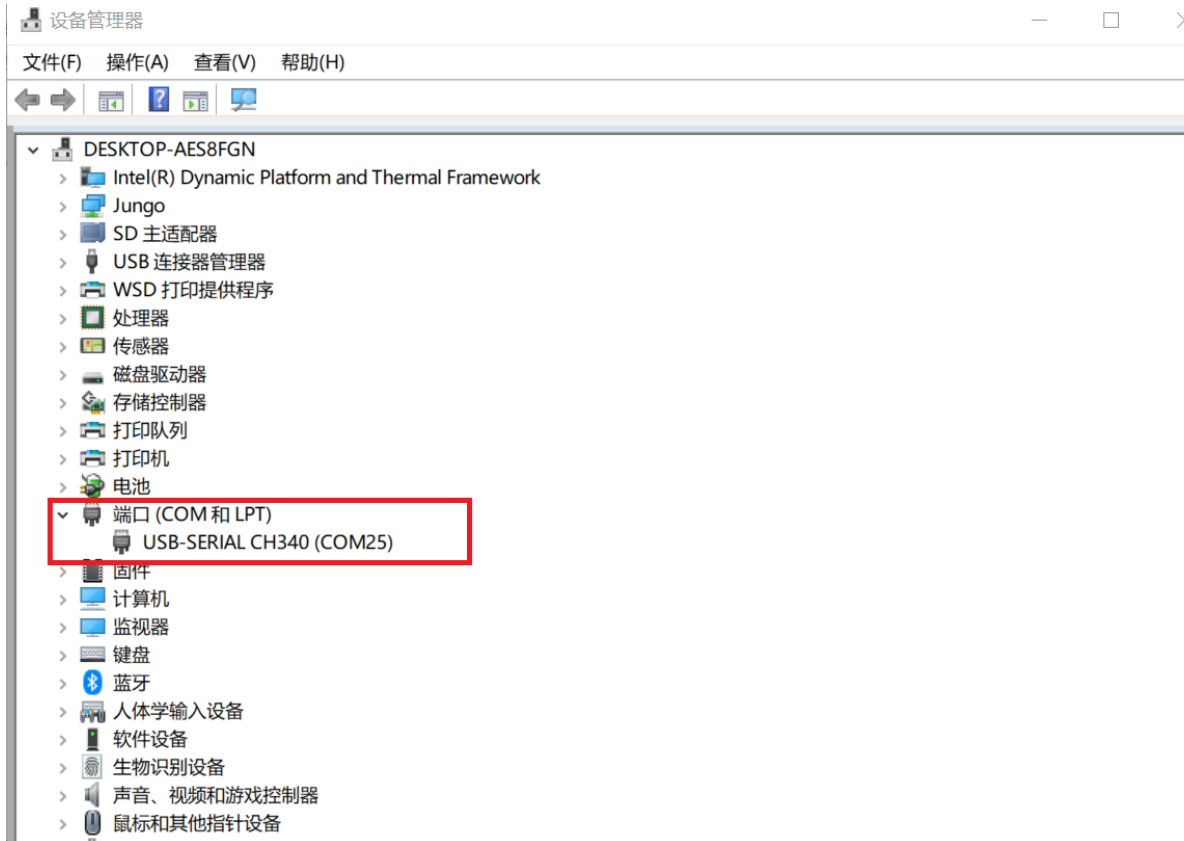


图4.6设备管理器查看评估板COM口

温度传感器NST112x-CWLR应用于可穿戴设备温度检测设计指南

4.2.3. 评估板上位机软件使用

电脑USB口插入NST112x评估板硬件，打开上位机文件夹，运行可执行文件“温度上位机软件.exe”。在端口号下拉框选择“COM19”（此处需要根据用户电脑的具体COM口进行选择），波特率选择“115200”，点击“打开串口”，最后点击“开始接收”，接收温度显示如图4.7所示。

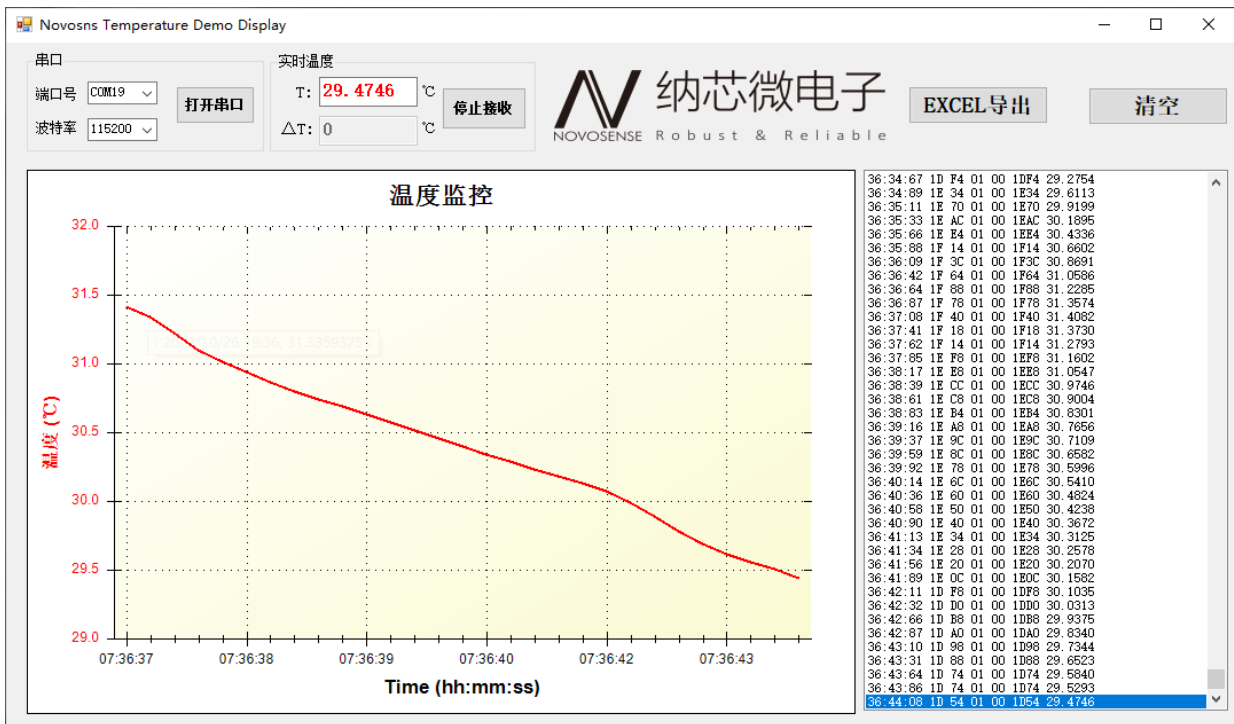


图4.7上位机温度显示

温度传感器NST112x-CWLR应用于可穿戴设备温度检测设计指南

5. 可穿戴设计指导

随着健康监测类可穿戴设备的迅速发展，监测血氧、心率等生理参数的功能逐渐完善，这极大地满足了用户交互的需求。随着各主流品牌智能手表产品纷纷增加体温监测功能，这逐渐成为智能手表的标配需求。人体温度分为体核温度和体表温度，生理学上所说的体温是指机体体核温度的平均值。人体体核温度不易测量，临床上常通过测量腋窝、口腔等的温度来代表人体体温。相关研究表明，人体处于安静状态时，体表温度分布大致表现为额面部、腋窝、颈前和项部最高，其次为躯干部，到四肢逐渐下降，手掌手背最低。相比于体核温度，体表温度更容易受外界环境因素的影响且更不稳定。腕部温度属于体表温度，具有易于观察和测量的优点，但在医学上也有采信度不高的缺陷。

研究表明影响皮肤温度的因素主要有环境温度、风速、相对湿度等。因此以腕部体表温度测量为基础，设计并实现的一种可穿戴体温监测设备会涉及以下几个问题：

首先，从检测精度的角度着手，需要重点考虑腕部体表温度与以腋下温度为基准的体温间的补偿方案；

其次，从检测的热平衡角度考量，可穿戴设备的结构堆叠和材料选择需要重点考虑；

最后，从持续监测的计算效率及检测可视化的角度切入，需要设计高效的体温数据处理方案。

5.1. 高阶算法推荐

根据学术界研究，人体组织与外界的传热主要通过水份蒸发、热对流、热辐射、热传导、组织血液热传导、血液流动传导、代谢发热等，由此可以建立体核温度与身体各部位温度关系的模型。其中腕部温度与体核温度也存在关系，通过测量腕部温度来检测体核温度的技术在可穿戴设备中的应用逐渐成熟。

在静止环境下环境温度对皮肤温度的影响最为显著，其次依次为服装热阻、风速等，另外穿戴的松紧程度也影响到热传导。具体到腕部体表温度时，由于一般情况下腕部裸露，可忽略穿戴松紧度带来的影响；又以室内监测情况居多，亦可忽略风速等因素。由此，以腕部体表温度为基础推导体核温度的简化情况，是建立起腕部体表温度、环境温度、体核温度三者间的补偿关系。

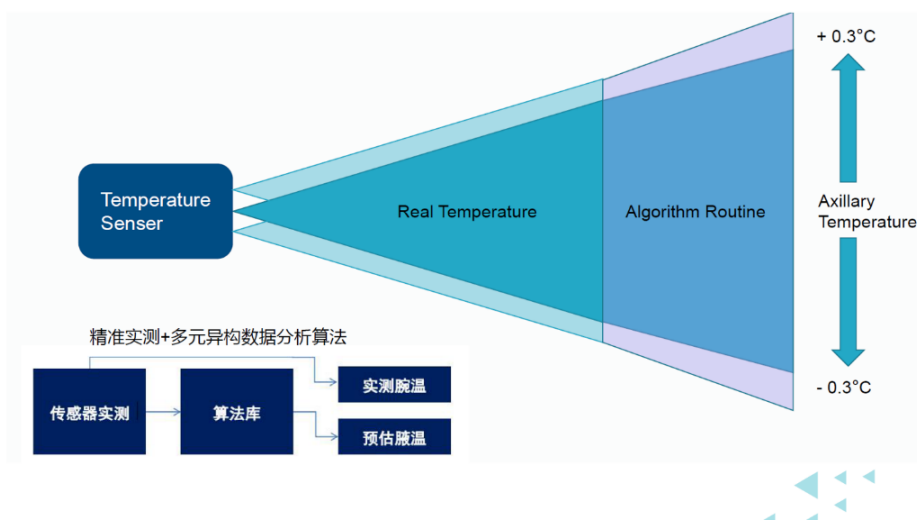


图5.1 体表温度、环境温度、体核温度三者补偿关系图

温度传感器NST112x-CWLR应用于可穿戴设备温度检测设计指南

由于腕部测温受上述的诸多因素影响，客户在具体实施测温算法时应该考虑通过其他的手段来避免多余的干扰，影响测试结果。例如：检测是否佩戴，在测量应用中提醒用户佩戴松紧程度，并在相对平静的室内环境下等待足够长时间（人体在运动时，体表温度变化较大）。而腕部温度与体核温度的关系影响因素更多，目前的研究还不成熟，因此本算法的应用场景存在一定的局限性。

纳芯微在可穿戴设备的结构上部署了两颗NST112x芯片，其中一颗用于测试环境温度，一颗通过传导测量手腕温度。并且根据一系列的实验，获得若干组数据拟合出了一个二次关系曲线，客户直接使用该组系数，效果不一定最好，建议产品完成样机试制之后，在各条件下测量体核温度 t_{core} （其他标准测温设备）与环境温度 t_{en} 、皮肤温度 t_{sk} ，进而实现算法结果最优。

令 x 为环境温度， y 为腕部体表温度， z 为补偿后的预估体核温度，三者间的补偿关系为：

$$z = Ax^2 + By + Cx + Dxy + E$$

其中，A, B, C, D, E为补偿系数。

由此，纳芯微提供基于NST112x的环境温度和体核温度一种补偿算法方案，参考例程如下：

函数名：TempCoreNovosns

功能介绍：输入环境温度&腕部体表温度预估体核温度

```
float _TempCoreNovosns(float _TempEnvir, float _TempSkin)
```

```
{
```

```
float TEMP_Core = 0; //最终返回人体温度数值
```

```
float TEMP_Skin = 0; //皮肤温度
```

```
float TEMP_Envir = 0; //环境温度
```

```
TEMP_Envir = _TempEnvir; //环境温度
```

```
TEMP_Skin = _TempSkin - 1.2; //人体耳部皮肤温度
```

```
//根据医学理论模型，人体皮肤温度的数值范围为 30~42°C，超出此范围认为数据无效
```

```
if((TEMP_Skin > 42)|| (TEMP_Skin < 30))
```

```
{
```

```
    //腕温数据无效，此时应告警提示
```

```
    return 0; //返回数值可以自行定义，此处返回0，仅为示例
```

```
}
```

```
else
```

```
{
```

```
//根据环温和人体皮肤的温度，计算出人体核心的温度
```

```
TEMP_Core = 0.0336*TEMP_Skin*TEMP_Skin - 0.546*TEMP_Skin + 1.7082*TEMP_Envir - 0.0514*-
```

```
TEMP_Envir*TEMP_Skin + 17.626;
```

```
return TEMP_Core;
```

```
}
```

```
}
```

温度传感器NST112x-CWLR应用于可穿戴设备温度检测设计指南

5.2. 基于NST112x-CWLR结构的layout设计指导

NST112x-CWLR的测温原理是基于CMOS电路硅衬底寄生晶体管PN结温度效应，因此在进行腕部体表温度测量时，要求芯片Die内PN结温度与体表温度达到热平衡。因此在进行可穿戴设备结构设计时，根据傅里叶定律，热导率定义：

$$k = - \frac{q_x''}{\frac{\partial T}{\partial X}}$$

由此可以看出，材料和路径是影响热传导的主要因素，除此之外，热隔离也是重要因素。不同材料的导热系数可参照表5.1。

表5.1 不同材料的导热系数表

| 材料 | 导热系数 k (W/m*k) |
|------------------|----------------|
| 空气 | 0.02~0.05 |
| 木材 | 0.05~0.3 |
| 水 | 0.58 |
| Epoxy (芯片封装材料) | 0.2~0.3 |
| FR4(PCB材料) | 0.4 |
| Polyimide | 0.5 |
| 环氧树脂 (芯片封装材料) | 1.0 |
| 导热硅胶 | 1.0~7.0 |
| 导热硅脂 | 1~10 |
| 不锈钢 | 16~30 |
| 纯铝 | 237 |
| 纯铜 | 401 |
| Solder焊锡 (63/37) | 39 |
| 无铅焊料 | 50~70 |
| PC塑料 (聚碳酸酯) | 0.2 |
| ABS塑料 | 0.25 |

温度传感器NST112x-CWLR应用于可穿戴设备温度检测设计指南

皮肤至温度传感器芯片的热传导路径有以下两种方式，如图5.2，5.3所示：

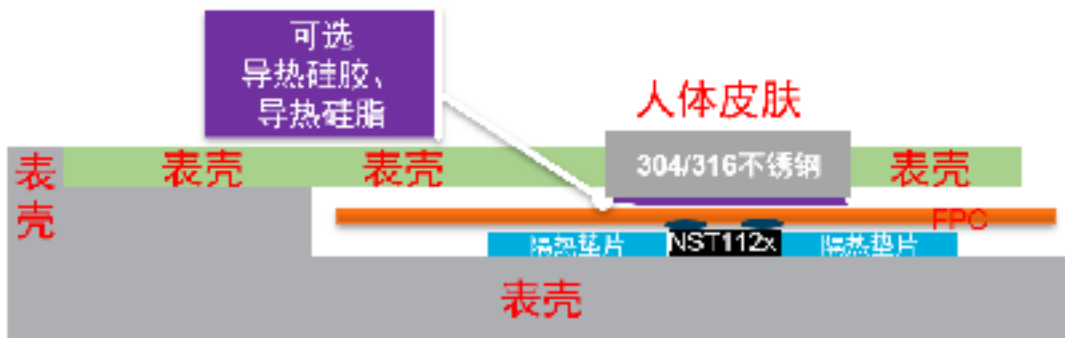


图5.2方式一：腕部皮肤→不锈钢→FPC→芯片锡球→DIE

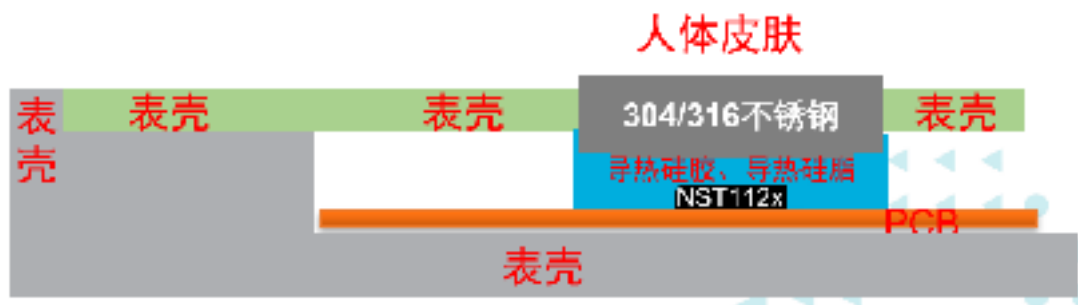


图5.3方式二：腕部皮肤→不锈钢→导热硅胶→芯片封装材料→DIE

推荐采用方式一，软板FPC的方案可使热平衡路径最优；如结构和工艺受限，采用方式二热传导响应时间会变长，但在实际应用场景中，一般佩戴10分钟以上才建议进行体温测试，即使采用方式二也可最终实现热平衡，因此也可以按照方式二进行热传导路径设计。接触皮肤部分建议使用金属，优选不锈钢。最优热传导路径示意图如图5.4所示：

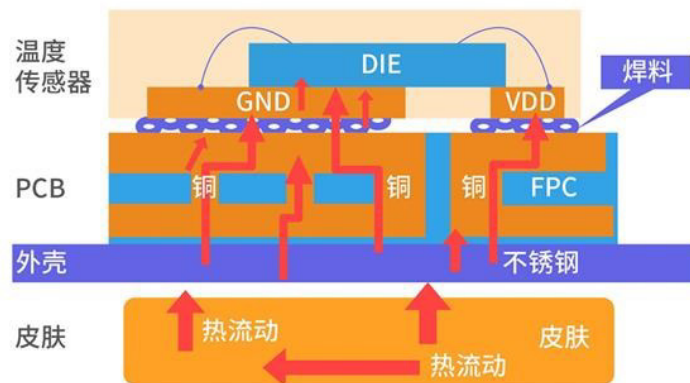


图5.4最优热传导路径示意图

温度传感器NST112x-CWLR应用于可穿戴设备温度检测设计指南

NST112x-CWLR应用于可穿戴设备测温，使用温度传感器感知环境温度与腕部皮肤温度的layout设计要点都是导热与隔热，具体考虑点如下表5-2所示，layout参考如下图5.5所示：

表5.2 设计要点

| 使测温Sensor精确测量腕部皮肤温度，隔绝其它发热源 | | | |
|-----------------------------|-------------|--|---|
| Item | 目标 | 路径 | 方法 |
| 传热 | 无温差 响应快 | 1、结构上靠近发热源 2、降低导热材料热阻 3、减小接触热阻 4、降低传热及测温部分热容 | 1、结构上Pad贴近导热材料更利于传热，塑封体其次 2、高导热材料（蓝宝石，金属（需考虑绝缘）） 3、使用导热胶填充Sensor与传热材料之间的空隙 4、提醒较紧佩戴 5、减小测热及传热部分体积，并与其他大热容部分隔离 |
| 隔热 | 隔绝其他 热源 | 隔绝传导路径 | 1、用电阻隔离引线导热 2、测温Sensor周围镂空（考虑发热源是否从镂空中心传导热量） 3、测温Sensor周围不铺铜 4、使用隔热材料隔离其他发热源 |
| 使测温Sensor精确测量环境温度，隔绝其它发热源 | | | |
| Item | 目标 | 路径 | 方法 |
| 传热 | 无温差 响应适中 | 1、结构上靠近发热源 2、降低传导热量材料热阻 3、减小接触热阻 4、合适的热容，过滤快速 环温变化 | 1、结构上sensor靠近传导环境温度的部位（如Mic壳，表冠，按键） 2、sensor Pad通过PCB铜箔连接传导材料金属部分 3、测热及传热部分体积合适 |
| 隔热 | 隔绝其他 热源 | 隔绝传导路径 | 1、电阻隔离引线 2、测温Sensor周围镂空（考虑发热源是否从镂空部位传导热量） 3、使用隔热材料隔离其他发热源 |

在进行NST112x-CWLR layout设计时合理运用镂空和芯片周边覆铜设计，使传热和隔热可以有效实施。

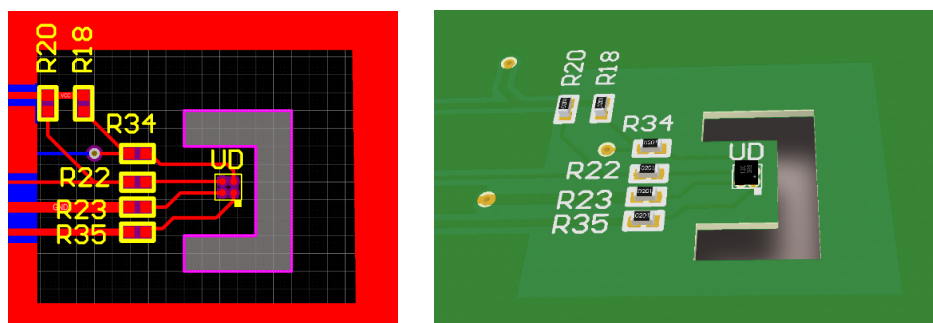


图5.5 Layout参考

温度传感器NST112x-CWLR应用于可穿戴设备温度检测设计指南

6. 参考例程

NST112x-CWLR支持I2C和SMBus通信接口方式，因此纳芯微提供了基于I2C标准通信协议的驱动例程。

函数名：i2c_soft

功能介绍：NST112x上电初始化配置完成后，主机读取温度数据

```
#include "i2c_soft.h"
void nst112_read_full_regs_str(u8 addr)
{
char regs_str[14][25]={"Temp_Data", "Config ", "Temp_LimitL", "Temp_LimitH", "PartID ", "Cali-
bration_Bit"};

u8 j,reg8;
u16 reg16;
s16 regs16;
double temp;
printf("\r\n*****Register Map*****\r\n");
for (j = 0; j < 4; j++)
{
i2c_soft_read_word(addr, j, (u8 *)&reg16);
regs16 = (s16)reg16;
if (j == 0)
{
temp = regs16 / 256.0;
printf(" reg %02x\t%s\t0x%04x\t%f\r\n", j, regs_str[j], reg16, temp);
}
else
printf(" reg %02x\t%s\t0x%04x\r\n", j, regs_str[j], reg16);
}
i2c_soft_read_byte(addr, 0x07, (u8 *)&reg8);
printf(" reg %02x\t%s\t0x%02x\r\n", 7, regs_str[j++], reg8);
```

温度传感器NST112x-CWLR应用于可穿戴设备温度检测设计指南

```

i2c_soft_read_byte(addr, 0x08, (u8 *)&reg8);
printf(" reg %02x\t%s\t0x%02x\r\n", 8, regs_str[j++], reg8);
}

void ns112_read_temp(u8 addr, u8 os, double *pout)
{
    u8 i;
    s16 reg_s16;
    union word_type tmp;
    i2c_soft_read_word(addr, TEMP_REG, (u8 *)tmp.bytes); // read reg0
    reg_s16 = (s16)tmp.word;
    *pout = reg_s16 / 256.0;
    if (os)
    {
        tmp.word = 0xE1A2; // - 14bit one shot mode
        i2c_soft_write_word(addr, CFG_REG, (u8 *)tmp.bytes);
    }
}

```

主程序

```

void usrmain(void)
{
    double temp;
    u16 initreg = 0x60A2; // - 14bit continuous 4Hz
    u8 addr = 0x4b;
    // init 14bit
    i2c_soft_write_word(addr, CFG_REG, (u8 *)&initreg);
    nst112_read_full_regs_str(addr);
    for (;;)
    {
        systick_delay_ms(100);
        ns112_read_temp_os(addr, 1, &temp);
        //ns112_read_temp_os(addr, &temp, 0);
        printf(" temp %3.6f\r\n", temp);
    }
}

```

温度传感器NST112x-CWLR应用于可穿戴设备温度检测设计指南

修订历史

| 版本 | 描述 | 作者 | 日期 |
|------|----|------------|------------|
| V1.0 | 创建 | Yuyun Yang | 2023/08/24 |

销售联系方式: sales@novosns.com; 获取更多信息: www.novosns.com

重要声明

本文件中提供的信息不作为任何明示或暗示的担保或授权,包括但不限于对信息准确性、完整性,产品适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的陈述或保证。

客户应对其使用纳芯微的产品和应用自行负责,并确保应用的安全性。客户认可并同意:尽管任何应用的相关信息或支持仍可能由纳芯微提供,但将在产品及其产品应用中遵守纳芯微产品相关的所有法律、法规和相关要求。

本文件中提供的资源仅供经过技术培训的开发人员使用。纳芯微保留对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其他更改的权利。纳芯微仅授权客户将此资源用于开发所设计的整合了纳芯微产品的相关应用,不视为纳芯微以明示或暗示的方式授予任何知识产权许可。严禁为任何其他用途使用此资源,或对此资源进行未经授权的复制或展示。如因使用此资源而产生任何索赔、损害、成本、损失和债务等,纳芯微对此不承担任何责任。

有关应用、产品、技术的进一步信息,请与纳芯微电子联系(www.novosns.com)。

苏州纳芯微电子股份有限公司版权所有