

GigaDevice Semiconductor Inc.

提高 GD32 温度传感器使用精度的方法

应用笔记

AN095

目录

目录.....	1
图索引.....	2
表索引.....	3
1. 前言.....	4
1.1. 温度传感器.....	4
1.2. 温度传感器测量过程中的理论分析.....	4
1.3. 用户校准.....	5
2. 提高采样精度的几种方法.....	7
2.1. MCU 选用高精度的供电电源.....	7
2.2. 通过数据处理以提高准确度.....	7
3. 版本历史.....	8

图索引

图 1-1. 温度传感器的传输特性	5
图 2-1. 电源对 ADC 采样的影响	7

表索引

表 1-1. 温度传感器特性	4
表 1-2. 用户自采集数据	6
表 3-1. 版本历史	8

1. 前言

GD32 MCU 内部温度传感器产生随芯片结温而线性变化的电压，在内部被连接到 ADC0_IN16 的输入通道上，用于将输出电压转换为数字量。本应用笔记讲述通过工厂校准与用户程序提高温度传感器精度的方法。

1.1. 温度传感器

芯片集成温度传感器的具有良好的线性特性，温度范围等于器件的工作温度范围，未经校准的温度传感器不适合于要求高精度的应用。工厂校准的偏移量由传感器测量环境温度，ADC 测出的修正的偏移量存放于内存只读区。参考 GD32W515xx 数据手册中获得如[表 1-1. 温度传感器特性](#)所示的参数。

表 1-1. 温度传感器特性

符号	参数	最小值	典型值	最大值	单位
T _L	与温度的线性关系	—	±1	—	°C
Avg_Slope	平均斜率	—	4.3	—	mV/°C
V ₂₅	25 °C 电压值	—	1.42	—	V
t _{START}	启动时间	—	8	—	μs
t _{S_temp}	ADC 读取温度时的采样时间	—	13.7	—	μs

1.2. 温度传感器测量过程中的理论分析

温度传感器输出在芯片内部连接至 ADC0_IN16，ADC 通道用于采样转换温度传感器的输出电压数据，经进一步处理该原始数据得到温度值。温度值的误差值与温度传感器输出信号的噪声以及 ADC 采样误差有关。ADC 采样误差以及提高精度的方法见 AN059，温度传感器的误差与供电电压以及温度传感器的特性变化有关。

若器件直接用电池供电，则微控制器的供电电压会发生变化。按小封装低引脚的连接方式（V_{DDA} 等于 V_{REFP}），ADC 转换的值随电压漂移，需要知道当前供电电压以补偿该温度漂移。以 GD32W515 为例，使用芯片内部参考电压（V_{REFINT}）来确定实际供电（V_{DDA}）。ADC0_IN17 内部通道采样 Val_{VREFINT} 由下式表示：

$$Val_{VREFINT} = V_{REFINT} * 4095 / V_{REFP} = V_{REFINT} * 4095 / V_{DDA} \quad (1-1)$$

精确的芯片内部参考电压（V_{REFINT}）由 ADC 单独采样，在制造过程中，使用外部参考电压（3.3V）获得其 ADC 转换值（Cal_{VREFINT}），并存储于受保护的区域，其地址在数据手册中规定。确定实际 V_{DDA} 电压，如下式所示：

$$V_{DDA} = 3.3 * Cal_{VREFINT} / Val_{VREFINT} \quad (1-2)$$

当采样温度传感器数据时，根据上述步骤确定实际的 V_{DDA} 值。

温度传感器校准数据存储于内存只读区，该地址在数据手册中提供。用户从该处读取使用数据以提高温度测量的精度。一般在生产过程中提供一个或两个校准值，具体的校准值情况需要参

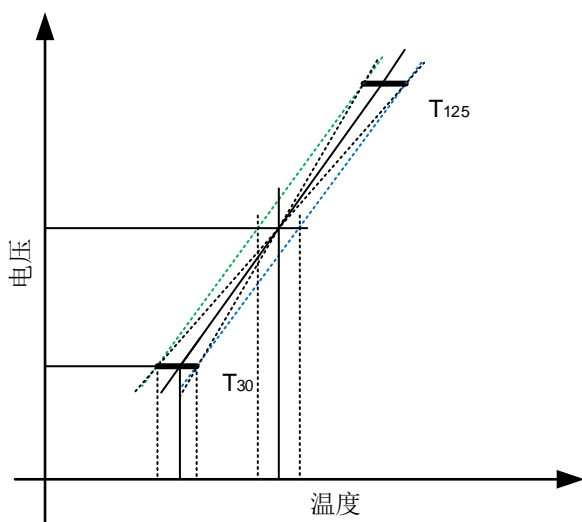
照对应型号 MCU 的数据手册：

室温（30℃）： Cal_{T30}

高温（125℃）： Cal_{T125}

温度校准数据为 12 位的无符号数（存储于 2 个字节中），若无校准值，则使用默认值计算（由数据手册提供）。默认值基于温度传感器特性的统计数据，由于制造过程中个体的差异，使用默认值会导致温度估计的精度较差。

图1-1. 温度传感器的传输特性



由 ADC 进行线性采样，由数字量 Val_{Ts} 计算温度。若两个校准点 T_{30} 和 T_{125} 的坐标已知，则可使用此方法，已知低温坐标表示为 (T_{30}, Cal_{T30}) ，高温坐标为 (T_{125}, Cal_{T125}) ，公式如下：

$$T_s = (T_{125} - T_{30}) / (Cal_{T125} - Cal_{T30}) * (Val_{Ts} - Cal_{T30}) + T_{30} \quad (1-3)$$

若是只有一个校准值室温时，公式如下：

$$T_s = (Val_{Ts} - Cal_{T30}) / Avg_Slope + T_{30} \quad (1-4)$$

Avg_Slope：温度与温度传感器电压曲线的均值斜率，具体请见数据手册。

若是没有校准点，则根据常温下温度传感器的典型电压值，参考相关型号数据手册。

1.3. 用户校准

除了根据工厂校准值确定公式与计算温度外，用户也可以根据自己采集到的数据进行用户校准，温度 $f(x)$ 与 ADC 采样值 x 是一种线性关系，假设这种线性关系为：

$$f(x) = ax + b \quad (1-5)$$

用户可以根据采集到的已知 ADC 采样值与对应的温度值进行用户校准：

表 1-2. 用户自采集数据

ADC码值	实际温度
x_0	y_0
x_1	y_1
x_2	y_2
.....
x_n	y_n

根据最小二乘法原理，将误差的平方和 $\epsilon = \sum (f(x_i) - y_i)^2 = \sum (ax_i + b - y_i)^2$ 最小作为“优化判据”。根据多元微积分的知识，当 ϵ 对 a 、 b 偏导数等于 0 时， ϵ 达到最小值：

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial a} \epsilon = 2 \sum (ax_i + b - y_i)x_i = 0 \\ \frac{\partial}{\partial b} \epsilon = 2 \sum (ax_i + b - y_i) = 0 \end{cases} \quad (1-6)$$

求得

$$\begin{cases} a = \frac{n \sum (x_i y_i) - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \\ b = \frac{\sum y_i - \sum x_i a}{n} \end{cases} \quad (1-7)$$

当 $n=2$ 时，上述公式转换为两点校准公式

$$\begin{cases} a = \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} \\ b = \frac{y_1 + y_0 - (x_1 + x_0)a}{2} \end{cases} \quad (1-8)$$

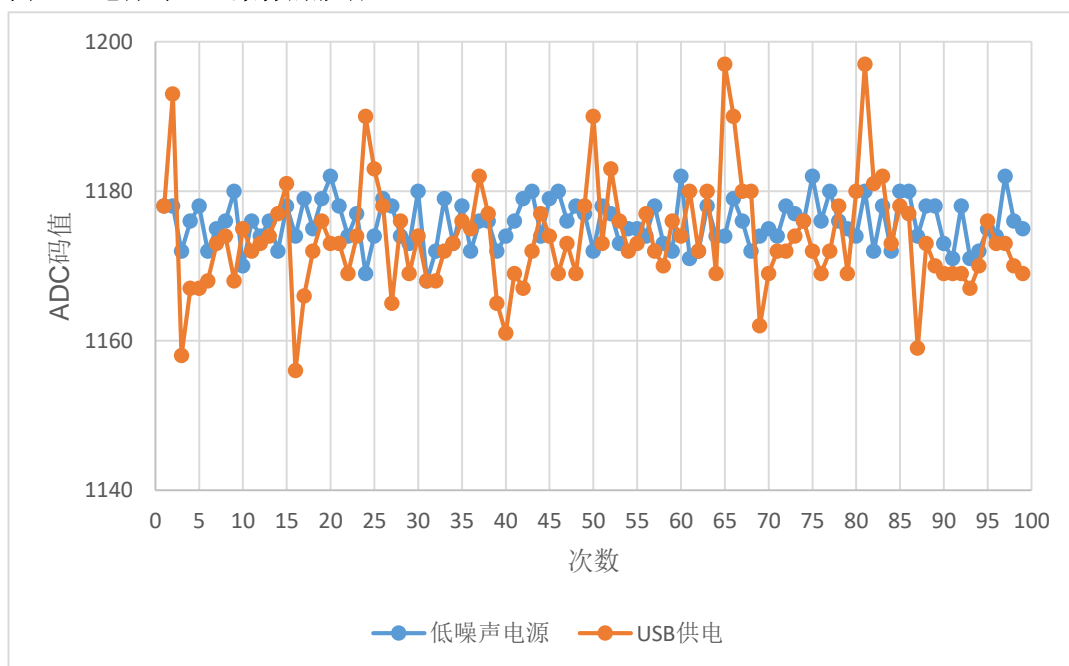
用户可以多采集几组数据，根据公式(1-7)计算出最佳拟合直线。

2. 提高采样精度的几种方法

2.1. MCU 选用高精度的供电电源

不同质量的电压源输入对 ADC 采样结果影响,如下图所示,采样 100 次时,低噪声电源($\pm 2\text{mV}$)与 USB 供电 ($\pm 20\text{mV}$) 比较下,后者波动范围较大。采用低噪声电源可以提高采样的稳定性与精度。

图2-1. 电源对ADC采样的影响



2.2. 通过数据处理以提高准确度

由于温度传感器在芯片内部为弱电电压源, ADC 需要足够的时间使得采样电路达到充放电平衡而稳定,操作者需根据相关型号手册确定适合的采样周期与 ADC 频率。在代码中,每两秒,从温度传感器电压获取 100 个采样值,将这 100 个值从大到小顺序排列,去除最大的 5 个值与最小的 5 个值,得到 90 个值的平均值。根据这个平均值得到当前温度的 ADC 采样值,并根据公式计算得出当前温度。

3. 版本历史

表 3-1. 版本历史

版本号.	说明	日期
1.0	首次发布	2023 年 1 月 6 日

Important Notice

This document is the property of GigaDevice Semiconductor Inc. and its subsidiaries (the "Company"). This document, including any product of the Company described in this document (the "Product"), is owned by the Company under the intellectual property laws and treaties of the People's Republic of China and other jurisdictions worldwide. The Company reserves all rights under such laws and treaties and does not grant any license under its patents, copyrights, trademarks, or other intellectual property rights. The names and brands of third party referred thereto (if any) are the property of their respective owner and referred to for identification purposes only.

The Company makes no warranty of any kind, express or implied, with regard to this document or any Product, including, but not limited to, the implied warranties of merchantability and fitness for a particular purpose. The Company does not assume any liability arising out of the application or use of any Product described in this document. Any information provided in this document is provided only for reference purposes. It is the responsibility of the user of this document to properly design, program, and test the functionality and safety of any application made of this information and any resulting product. Except for customized products which has been expressly identified in the applicable agreement, the Products are designed, developed, and/or manufactured for ordinary business, industrial, personal, and/or household applications only. The Products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems designed or intended for the operation of weapons, weapons systems, nuclear installations, atomic energy control instruments, combustion control instruments, airplane or spaceship instruments, transportation instruments, traffic signal instruments, life-support devices or systems, other medical devices or systems (including resuscitation equipment and surgical implants), pollution control or hazardous substances management, or other uses where the failure of the device or Product could cause personal injury, death, property or environmental damage ("Unintended Uses"). Customers shall take any and all actions to ensure using and selling the Products in accordance with the applicable laws and regulations. The Company is not liable, in whole or in part, and customers shall and hereby do release the Company as well as its suppliers and/or distributors from any claim, damage, or other liability arising from or related to all Unintended Uses of the Products. Customers shall indemnify and hold the Company as well as its suppliers and/or distributors harmless from and against all claims, costs, damages, and other liabilities, including claims for personal injury or death, arising from or related to any Unintended Uses of the Products.

Information in this document is provided solely in connection with the Products. The Company reserves the right to make changes, corrections, modifications or improvements to this document and Products and services described herein at any time, without notice.