



David Vaseliou

## 摘要

无论是在智能手机、个人电脑 (PC) 还是日常笔记本电脑上，让处理器充分发挥其性能至关重要。随着技术的日新月异，对速度更快的处理器的需求变得愈加迫切。设备的处理能力通常由中央处理单元 (CPU) 和图形处理单元 (GPU) 决定。CPU 和 GPU 的主要限制因素是它们的热设计点。

## 内容

1 引言.....	2
2 什么是 CPU、GPU 和 SoC ? .....	2
3 温度与性能.....	2
3.1 速度更快的处理器的优点.....	2
3.2 超频和降频 ( 时钟节流 ) .....	3
3.3 散热系统.....	3
4 基准测试.....	3
4.1 基准测试数据.....	3
5 如何获得准确的 CPU/GPU 温度.....	7
5.1 使用本地温度传感器.....	7
5.2 使用远程温度传感器.....	8
6 总结.....	8

## 插图清单

图 4-1. 智能手机：基准测试分数与温度间的关系.....	4
图 4-2. 游戏计算机：CPU 时钟速率与温度间的关系.....	4
图 4-3. 游戏计算机：CPU 基准测试与时钟速率间的关系.....	5
图 4-4. 游戏计算机：CPU 基准测试与温度间的关系.....	5
图 4-5. 游戏计算机：GPU 时钟速率与温度间的关系.....	6
图 4-6. 游戏计算机：GPU 基准测试分数与时钟速率间的关系.....	6
图 4-7. 游戏计算机：GPU 基准测试分数与温度间的关系.....	7
图 5-1. 本地温度传感器的放置.....	8
图 5-2. 远程温度传感器应用原理图.....	8

## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 引言

CPU 和 GPU 的温度会变得非常高，而且超过其热设计点可能会造成不可逆转的损坏。为了避免这些器件过热，系统中会集成散热器、风扇甚至昂贵的液冷系统等散热系统。除了这些散热系统外，还会实施热安全裕度，以确保处理单元不会超出其限值。当 CPU 或 GPU 的温度接近热限值时，会进行时钟降频以保护 CPU 或 GPU，因此其性能会降低。由于温度测量的不准确，安全裕度必须更大，因而处理器将提前开始降低其性能。有鉴于此，获得更准确的温度数据对于优化处理器性能（从而尽可能提高整体用户体验）至关重要。

## 2 什么是 CPU、GPU 和 SoC？

CPU 是 PC、智能手机或其他电子设备主板上的主要芯片。每个 CPU 具有三个主要组件：算术逻辑单元 (ALU)、控制单元 (CU) 和存储器单元。如今，通常会发现具有多个内核的 CPU，内核数通常在 2 到 16 个之间，每个内核都自带 ALU、CU 和存储器。CPU 从程序或应用程序获得指令并执行指令。这些指令可以是基本算术计算、数值比较或存储器移动和存储等任务。这些指令的处理速度受 CPU 内核数量和时钟速率的限制。CPU 的时钟速率以 GHz 为单位，是指 CPU 每秒可以执行的指令数。因此，时钟速率越快，CPU 处理指令的速度就越快，CPU 的性能也就越高。

GPU 是专门设计用于处理图形的处理单元。与 CPU 类似，GPU 包含多个内核，这些内核具有 ALU、CU 和存储器单元。主要区别在于 GPU 的架构设计为具有数百到数千个内核。因此，它们专门用于处理并行吞吐量计算。GPU 处理数据的速度也受其时钟速率的限制。

片上系统 (SoC) 是一种集成电路，由单个平台上的多个电子元件组成。CPU 和 GPU 通常集成到 SoC 中。SoC 比 PC 或笔记本电脑中的多芯片设计要小得多，功耗也更低，但通常速度要慢得多。由于其更小的尺寸和更低的功耗，它们通常用于智能手机、平板电脑和其他移动设备。

## 3 温度与性能

若要了解 CPU 和 GPU 过热的原因，我们必须在晶体管级别审视这些器件。一个处理单元上每平方毫米最多可以有 1 亿个晶体管。每个晶体管都作为一个开关来允许或阻止电流从其流过。当晶体管进行开关操作时，它们会经历一个阻力更大的状态。任何通过电阻的电流都会产生  $I^2R$  损耗，从而产生热量。在更高的时钟速率下，晶体管会更频繁地进入阻力更大的状态，从而产生更多的热量。如果不进行准确监测，这种自发热会损坏处理器。

### 3.1 速度更快的处理器的优点

性能更佳的处理器的优势会为智能手机和 PC 带来许多优势。速度更快的处理器可以降低延迟，更快处理信息，并使设备能够运行复杂应用。随着将增强现实技术、人工智能软件和高分辨率图形集成到智能手机中，更快的处理器对于提供快速流畅的用户体验至关重要。凭借更快的处理器，加载网页、观看视频和玩游戏等常见任务能以更快的速度执行，从而给用户带来更愉悦的体验。PC 上配备具有更优性能的处理器也可以带来类似的优势。此外，PC 还通常用于研究、评估和开发。这意味着更快地运行应用程序可以减少开发时间并提高生产力。

## 3.2 超频和降频 ( 时钟节流 )

### 3.2.1 超频

超频是使处理器的时钟速率超过系统设计速率的做法。该限值通常取决于具有相应安全裕度的最高温度额定值。虽然超频可以加快处理器速度，但也会产生更多热量。在许多情况下，处理器超频时需要进行额外的冷却和散热管理。虽然对处理器来说，超频听起来可能很危险，但这是一种常见的做法。通过适当的热管理和准确的温度监测，即可安全地进行超频。

### 3.2.2 降频 ( 时钟节流 )

同样道理，降频或“时钟节流”是使处理器的时钟速率低于设计速率的做法。降频用于在不需要更高性能时降低系统功耗，并在需要更高性能时用作减少处理器产生的热量的一种安全措施。当温度接近器件的热限值（将安全裕度考虑在内）时，大多数处理器会自动降频。在这种情况下，处理器会降低其性能以保持在其热限值范围内。更准确的温度测量使系统可以更接近其热设计限值，从而减少降频并优化性能。

## 3.3 散热系统

由于处理器的自发热性质，通常需要散热器、风扇或液冷系统等散热系统。虽然这些系统能让处理器运行得更快，但它们会占用大量空间、消耗大量电能，并可能产生很大噪声。随着处理器温度的升高，风扇速度或液体泵速会增加。这将增加系统的功耗并产生更多令用户不悦的可闻噪声。更准确的温度测量有助于将处理器保持在所需的温度范围内，同时尽可能降低功耗和散热系统的可闻噪声。

## 4 基准测试

基准测试是将性能指标与一致的标准或基准进行比较的做法。在对 CPU 或 GPU 进行基准测试时，会将一致的任务或工作负载分配给处理器，然后测量不同的指标。然后，这些指标将与标准的基准进行比较，进而根据处理器的表现给出相应的分数。为处理器测量的一些常见指标包括时钟速率、延迟、执行时间和吞吐量。每秒帧数 (FPS) 也是特定于 GPU 基准测试的常用指标。

### 4.1 基准测试数据

为了展示时钟速率、温度和性能之间的关系，我们在智能手机和游戏计算机上进行了一系列基准测试。在执行这些测试期间，将设备的时钟速率限制在不同的速率值，测量了相应的温度和基准测试分数。

#### 4.1.1 智能电话

以下数据是在智能手机设备上收集的。将智能手机的性能限制到不同级别，并进行了基准测试。图 4-1 表明，随着 GPU 和 CPU 性能的提高，智能手机的温度也会因为时钟速率的增加而升高。从图中可以看出，随着处理器接近热设计点，在较低温度下对该器件进行降频会影响基准测试分数：每 °C 约 2%。

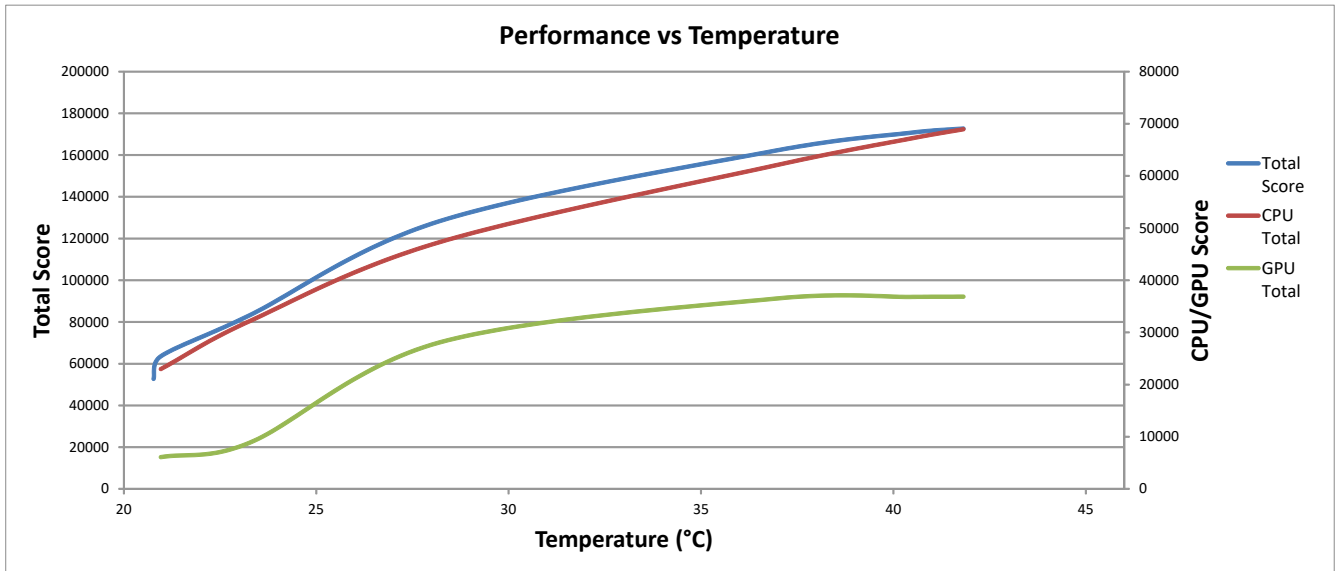


图 4-1. 智能手机：基准测试分数与温度间的关系

#### 4.1.2 游戏计算机

以下数据是在游戏计算机上收集的。使用了两个不同的基准测试来测试 CPU 和 GPU。此处基于所限制的不同时钟速率进行基准测试，并测量了温度和基准测试分数。

##### 4.1.2.1 游戏计算机 CPU 性能

图 4-2 表明当时钟速率增加时 CPU 的温度会升高。

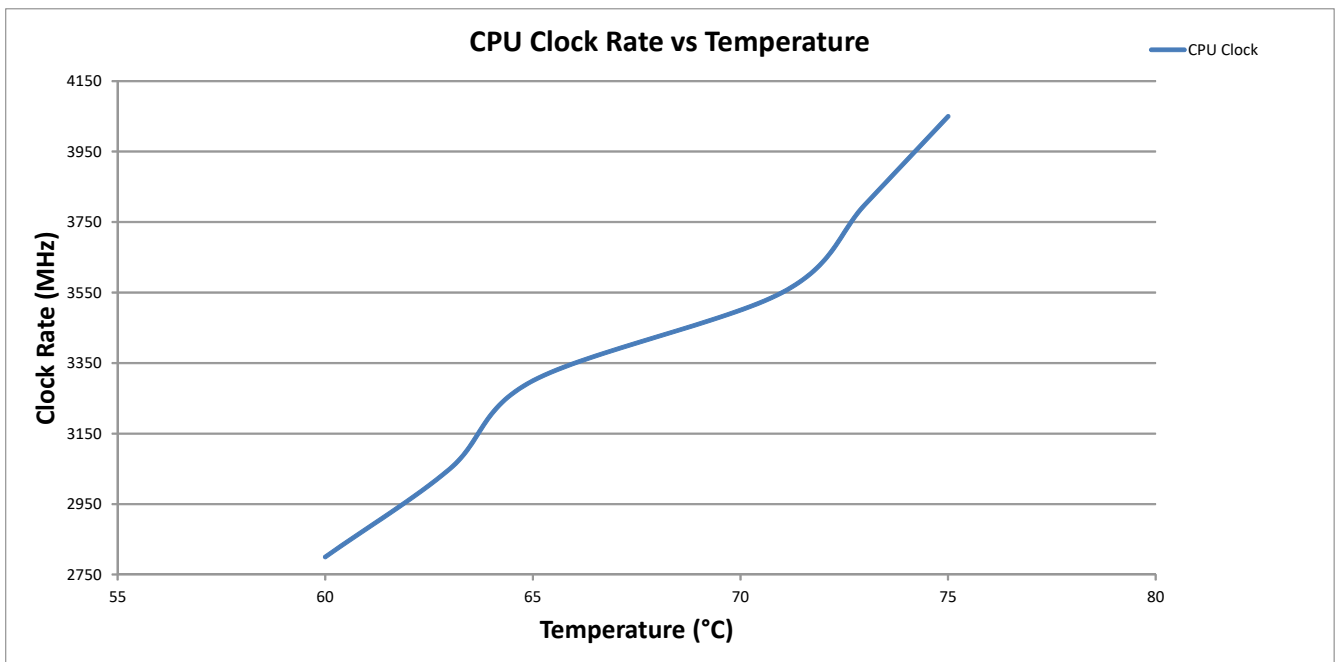


图 4-2. 游戏计算机：CPU 时钟速率与温度间的关系

图 4-3 表明当时钟速率增加时 CPU 的基准测试性能会提高。

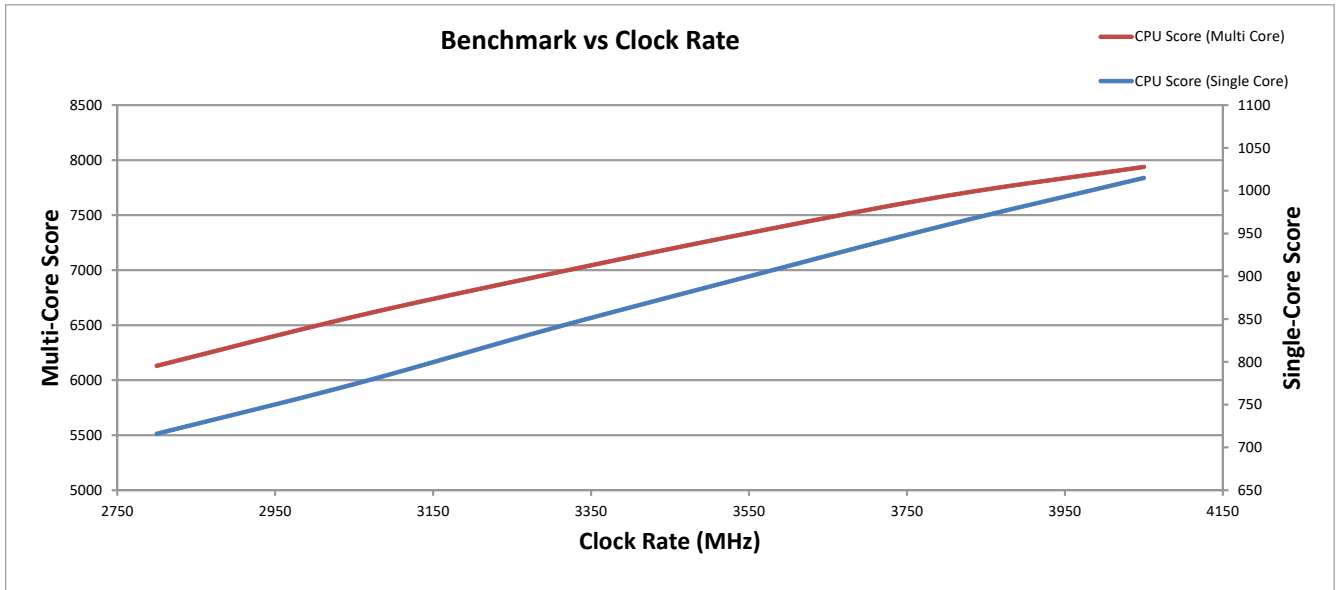


图 4-3. 游戏计算机：CPU 基准测试与时钟速率间的关系

最后，图 4-4 表明当时钟速率基准测试分数增加时 CPU 的温度会升高。

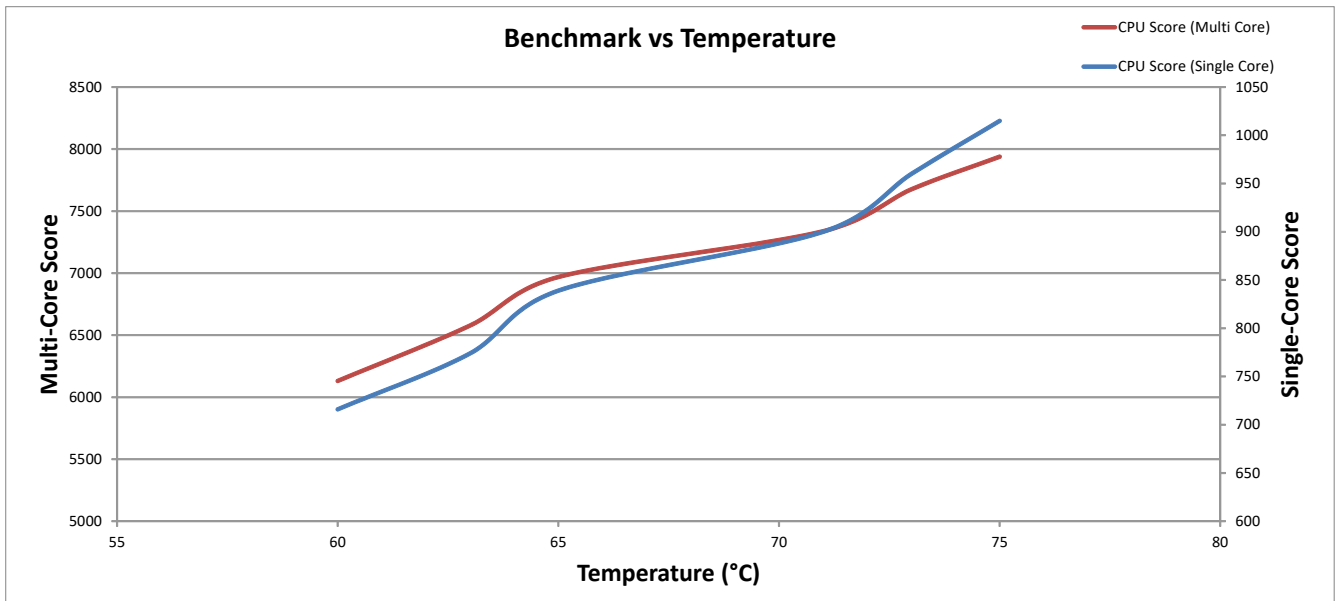


图 4-4. 游戏计算机：CPU 基准测试与温度间的关系

从这些图中可以看出，2°C 的较小安全裕度可以将基准测试分数提高约 4.0%。

#### 4.1.2.2 游戏计算机 GPU 性能

图 4-5 表明当时钟速率增加时 GPU 的温度会升高。

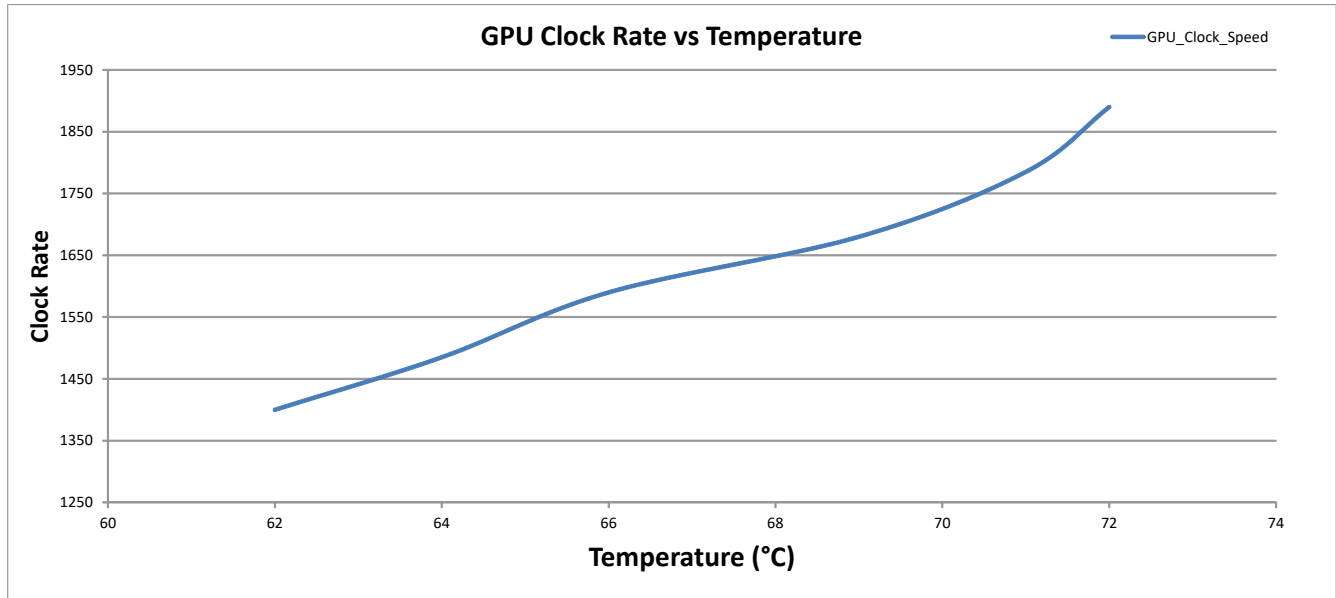


图 4-5. 游戏计算机：GPU 时钟速率与温度间的关系

图 4-6 表明当时钟速率增加时 GPU 的基准测试性能会提高。

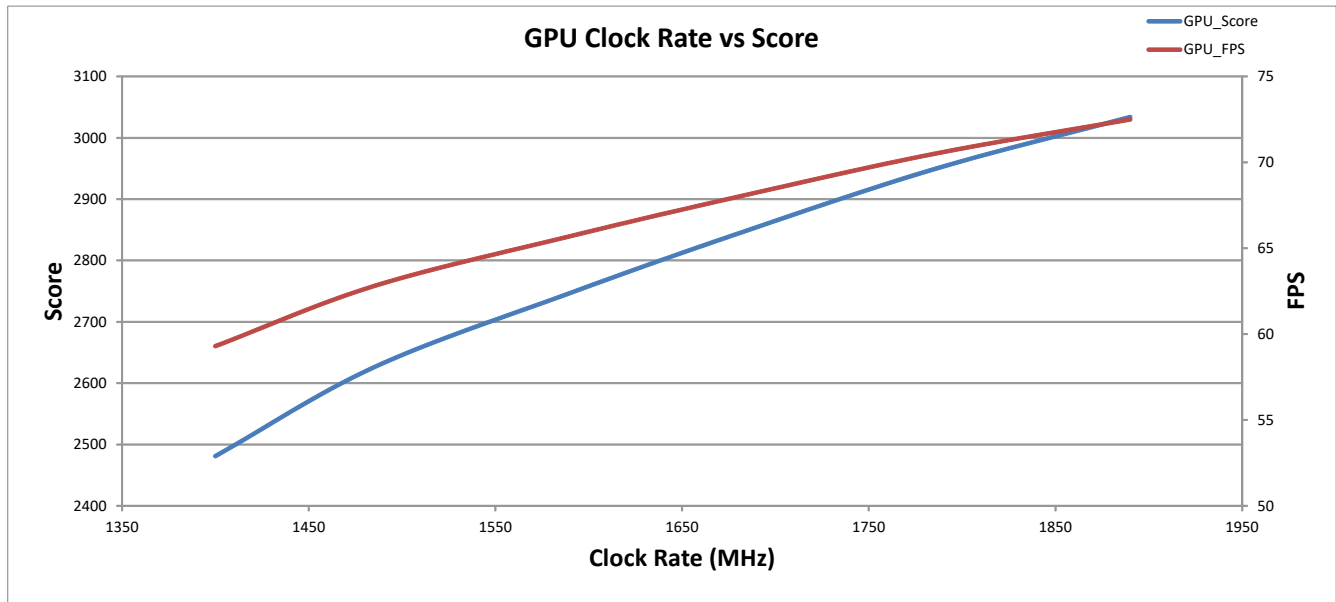


图 4-6. 游戏计算机：GPU 基准测试分数与时钟速率间的关系

最后，图 4-7 表明当时钟速率基准测试分数增加时 GPU 的温度会升高。

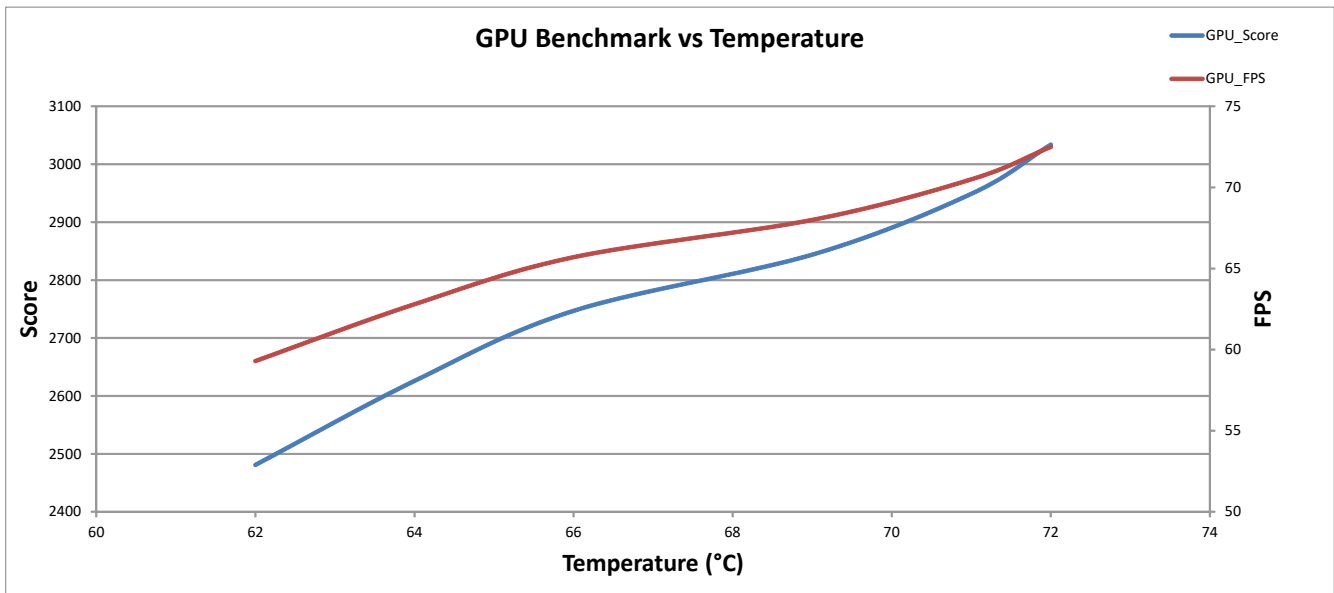


图 4-7. 游戏计算机：GPU 基准测试分数与温度间的关系

从这些图中可以看出，2°C 的较小安全裕度可以将 FPS 和基准测试分数提高约 6.0%

## 5 如何获得准确的 CPU/GPU 温度

可采用多种不同的方法来监测处理器温度。一种常用的方法是使用 NTC 热敏电阻，为此，需要将这些器件放置在靠近处理器的位置并在器件之间保持一条良好的导热路径。然而，这些器件可能非常不准确，并会导致必要的安全裕度增大。相比而言，本地温度传感器具有非常高的测量精度，并能以与 NTC 相同的方法集成到系统中。一些本地温度传感器可以进行极其准确的测量，达到 0.1°C 的精度。

另一种方法是在处理器搭载集成温度传感器的情况下，使用集成的温度传感器。与 NTC 类似，这种方法可能非常不准确（误差高达  $\pm 10^{\circ}\text{C}$ ）。出于这一原因，许多处理器都通过专用的引脚来使用远程温度传感器。这些专用引脚与直接位于处理器管芯上的热敏二极管相连。远程温度传感器可以直接测量管芯的温度，因此具有超高的精度。

### 5.1 使用本地温度传感器

本地温度传感器测量其自有管芯的温度以确定特定区域的温度。因此，了解管芯与处理器之间的主要温度传导路径至关重要。主要通过两种路径导热：通过连接到封装的管芯连接焊盘 (DAP) 或通过封装引线引脚。为了形成从处理器到本地温度传感器的有效导热路径，应通过实心接地层尽可能靠近处理器放置器件。图 5-1 显示了将本地温度传感器放置在不同位置以执行高精度温度测量的做法。

位置 A 显示了位于 CPU 或 GPU 散热器中心钻孔中的传感器。散热器可以夹持到处理器上或用环氧树脂贴附（通常位于处理器顶部）。另一个可以准确监测处理器温度的位置是在处理器插座下方的空腔中（位置 B）。鉴于传感器与气流是分隔的，环境温度对传感器读数的影响极小。此外，如果散热器与处理器分离，传感器会显示处理器温度升高。最后，位置 C 显示了安装在处理器旁边的电路板上的传感器。虽然这种安装方式易于实施，但传感器温度与处理器温度之间的相关性要弱得多。



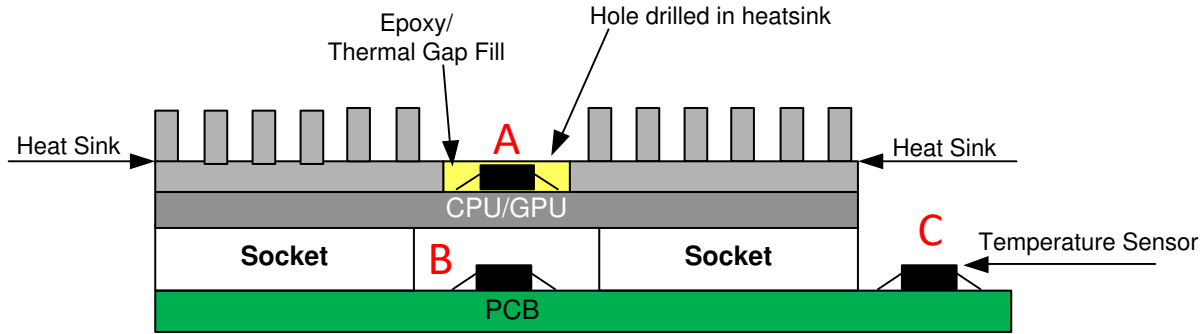


图 5-1. 本地温度传感器的放置

## 5.2 使用远程温度传感器

当 CPU 或 GPU 具有可用的热敏二极管引脚时，即可使用远程温度传感器。远程温度传感器将施加不同的电流，并回读处理器引脚上的电压变化。通过电压的变化可以确定结温。使用远程温度传感器时，处理器的电气路径很重要，因为这些信号引脚上的电气噪声会导致温度误差。导致误差的其他来源包括理想因子变化、串联电阻和低  $\beta$  结。有些远程温度传感器具有内置功能，可以限制这些误差来源导致的温度误差。图 5-2 所示为远程温度传感器与 CPU 或 GPU 搭配使用的典型应用原理图。

### Integrated PNP Transistor-connected Configuration

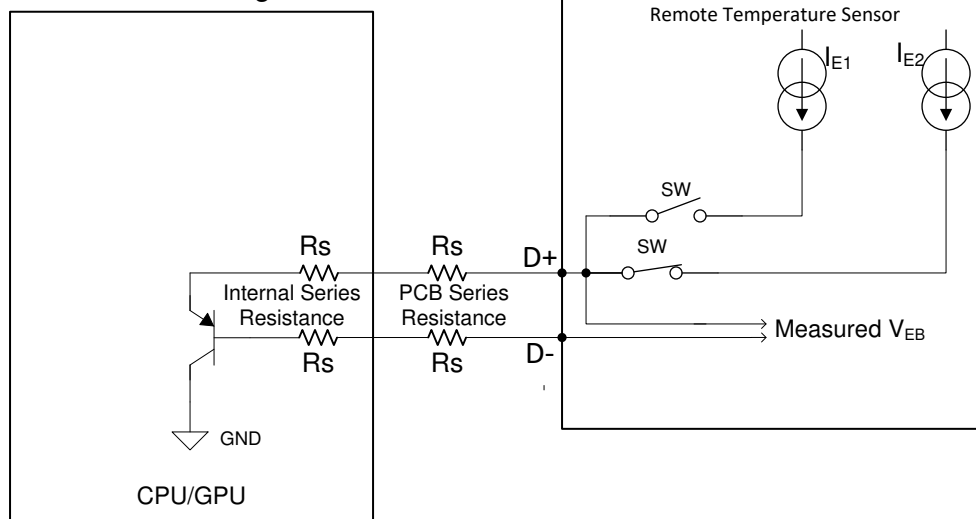


图 5-2. 远程温度传感器应用原理图

## 6 总结

综上所述，CPU 和 GPU 在运行过程中会产生大量热量。为了将这些器件保持在相应的温度限制范围内，通常会为它们添加会产生噪声且高成本的大型散热系统。由于在温度监测系统不准确的条件下内置的安全裕度较高，这些器件会进行时钟降频，而这将降低 CPU 或 GPU 性能并更难驱动散热系统。对 CPU 和 GPU 的温度进行准确监测可保护这些处理器免受热损坏、降低散热系统成本和功耗并优化器件性能。处理器仅提前  $2^{\circ}\text{C}$  降频便会将智能手机的基准测试分数降低高达 4%，而在 PC 上则会降低高达 6%。此外，通过使用远程温度传感器或高精度本地温度传感器 IC，用户可以优化 CPU 和 GPU 的性能并确保安全运行。



## 重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、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暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2022，德州仪器 (TI) 公司