

Application Brief

可穿戴设备光学心率监测 (OHRM)



Anand Udupa

Wearable Bio-Sensing Series

应用

光学心率监测 (OHRM) 基于光电容积脉搏波 (PPG) 的原理来测定心率。对于健康的个体，心脏在每个心动周期中会将血液泵送到身体各处。这会导致动脉中的血容量具有一个脉动分量，其周期性与心率一致。通过使用发光二极管 (LED) 照亮皮肤并测量透射或反射到光电二极管 (PD) 的光量，脉动波形可以转换为信号电流。如图 1 所示，模拟前端 (AFE) 将来自 PD 的信号电流转换为数字化波形，该数字化波形随后可由 MCU 中的信号处理算法进行处理，从而提取心率 (HR)。

在智能手表等设备中，LED 和 PD 均朝向腕部。LED 发出的光入射到皮肤上，动脉对光的反射会产生脉动分量。通常情况下，该方法采用绿色 LED，并将来自多个空间分离的 PD 的信号组合在一起，以减轻运动等产生的影响。

HR 频率的临床范围为 0.5Hz 至 4Hz。PPG 波形以称为脉冲重复频率 (PRF) 的速率 (例如 25Hz) 进行采样。

为节省功耗，LED 以 PRF 速率进行脉冲驱动，即在每个 PRF 周期内仅在一个短时间窗口内亮起。LED 每次亮起都会在数字数据流中产生一个样本。

AFE4432

AFE4432 是德州仪器 (TI) 的一款高性能、低功耗 AFE，专为可穿戴设备和耳戴式设备上的 OHRM 而设计。

- 接口：SPI™、I²C 接口：可通过引脚进行选择
- 封装：1.9mm × 1.8mm DSBGA 封装，0.35mm 间距
- 供电：RX：1.7V - 1.9V，TX：3.0V - 5.5V
- 特性：
 - 先进先出 (FIFO)，深度为 160 个样本
 - 内部振荡器、外部时钟选项

优势

- 信号链具有广泛的适应性 (LED 电流、跨阻放大器 (TIA) 增益、偏移数模转换器 (DAC) 范围)，适用于低灌注指数、高环境光干扰和运动等各种使用场景
- 降噪滤波器可限制光噪声带宽，并提供高信噪比 (SNR)，即使在 LED 电流较低的情况下也能实现
- 输入偏移消除 DAC 可消除环境光和 LED 产生的直流分量，并允许高 TIA 增益设置，以实现出色的噪声性能

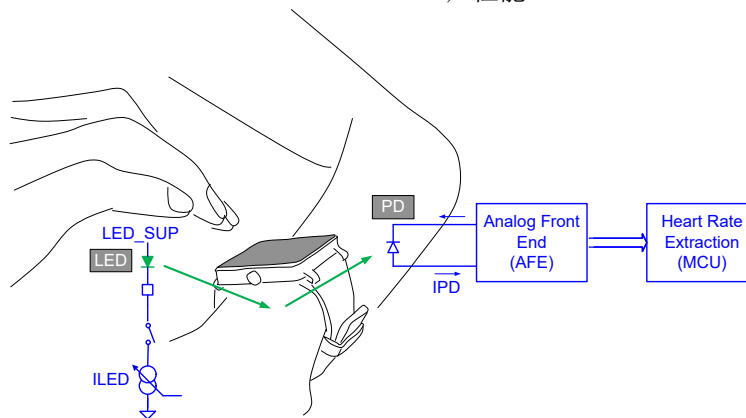


图 1. 在可穿戴设备上实现心率监测

图 2 显示了使用 AFE4432 实现 OHRM 应用的参考原理图，表 1 显示了 OHRM 系统的规格。

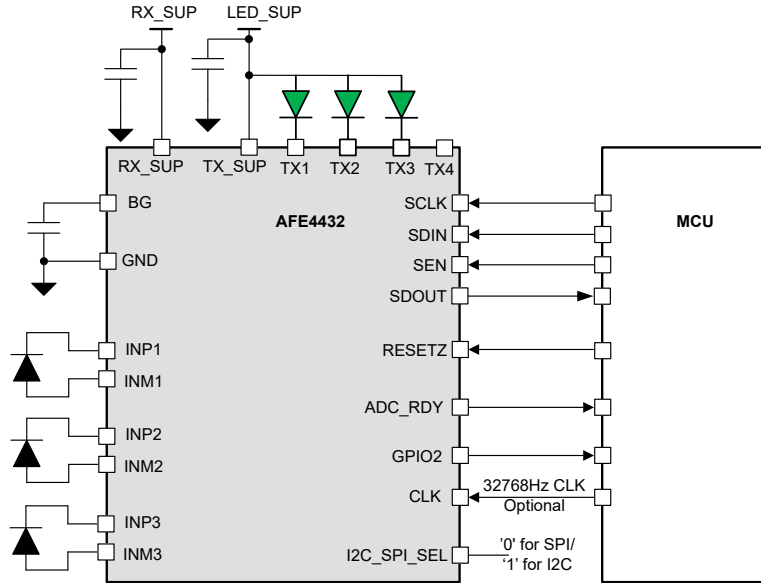


图 2. 使用 AFE4432 实现 OHRM 的参考原理图

表 1. 可穿戴设备上 OHRM 系统的规格

系统规格	AFE4432	注释
多传感器支持	4 个 LED、3 个 PD	将来自多个 PD 和 LED 的信号组合在一起有助于减少运动伪影
采样速率	1Hz-1kHz	在连续 HRM 中，通常采用 25Hz 至 100Hz 的采样速率
电流消耗	12 μ A	针对 25Hz PRF 条件下的接收器
峰值 SNR	10Hz 带宽内为 115dB	在低灌注情况下实现良好精度的重要考虑因素。
环境光抑制	在 160Hz 带宽内大于 70dB	良好的环境光抑制有助于消除由室内照明等环境光源引起的杂散信号

图 3 显示了 AFE4432 中的 PPG 信号链。

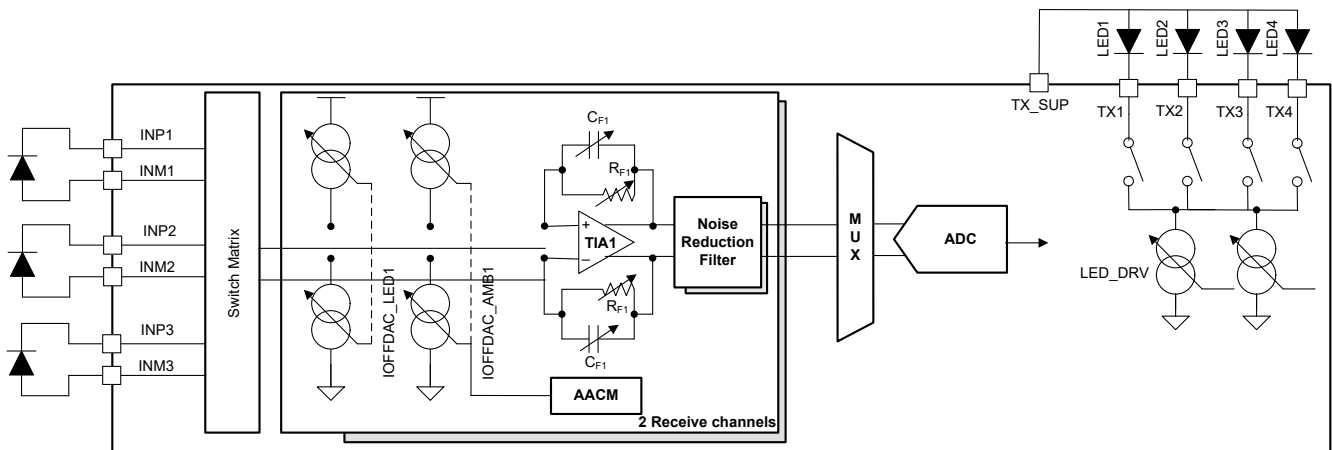


图 3. AFE4432 中的 PPG 信号链

LED 驱动器能够通过可编程电流驱动多达 4 个 LED。每个接收器可连接至多达 3 个 PD，并且内部集成一个 TIA、多个输入直流偏移消除 DAC（用于环境光和 LED 光）和多个具有可编程带宽的降噪滤波器。两个接收器共用一个模数转换器 (ADC)。德州仪器 (TI) 多款其他 AFE（例如 AFE4950、AFE4960P 和 AFE4500 器件）同样支持可穿戴设备上的光学心率监测 PPG 信号链。

重要通知和免责声明

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、与某特定用途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安全、安保法规或其他要求。

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 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 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。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月