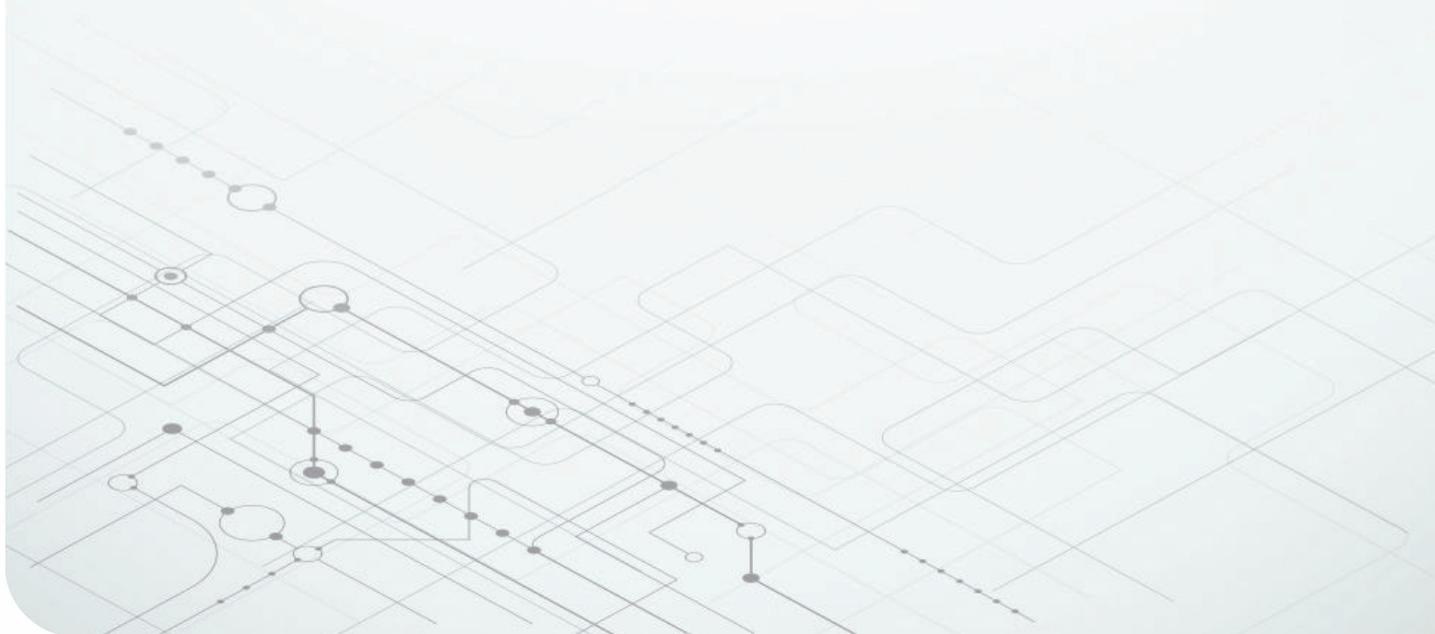


使用 TI 的毫米波传感器，让细微运动检测和人员计数功能能够实现智能自主操作



Keegan Garcia
Marketing Manager,
Industrial Radar Sensors



智能建筑、工厂和城市的建筑师和城市规划师需要越来越智能的传感器来解决资源保护难题，通过提高安全性来解决日益增加的安全问题，并实现更加流畅的人机交互。

具体地说，通过人员位置检测和移动跟踪功能，各种系统将能够在更加智能的未来世界实现自主运行。如图 1 所示，这些系统可包括室内/室外安防监控、自动门、工厂机械安全扫描仪以及用于照明控制、暖通空调 (HVAC) 和电梯的自动化设备。

引言

毫米波是一种感应解决方案，将会给这些系统中的人员检测、定位和跟踪方式带来革命性变化。TI 的毫米波传感器非常独特，因为它们可以在各种环境下检测物体的距离、速度和角度，同时提供高级算法的片上处理功能。这些特性用于楼宇、工厂和城市自动化中的占用和移动传感器，能够减少误检、提供高精度的位置和行进方向数据并保持私密性，所有这些特性都集中在单个芯片上，可实现边缘处理。

目前技术状况

目前的占用及人员跟踪传感器所使用的技术包括：被动红外 (PIR)、光学摄像头、主动红外（如激光雷达和 3D 飞行时间 (ToF)）和 10GHz 至 24GHz 微波等。图 1 比较了这

些技术并列出了它们的优缺点。但是，随着人们对安防、安全和效率的期望越来越高，



图 1. TI 的毫米波传感器可在各种楼宇和工厂应用（例如室内/室外安防、自动门、工厂自动化和照明及电梯的自动控制）中实现智能感应。

下一代传感器必须克服常见的感应难题，提供既准确又可靠的感应。让我们来思考一下用于检测人员和测量占用的传感器所面临的难题。

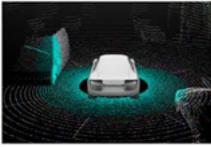
	Passive infrared (PIR)	Optical cameras	Active infrared (LIDAR, ToF)	Microwave (10 GHz or 24 GHz)	TI mmWave
					
Description	Measures changes in infrared light in order to detect motion	Analyzes imagery to determine people movement and behavior	Measures infrared light ToF	Discrete components assembled to create a radar for motion detection	TI single-chip radar sensor provides range, velocity and angle information about objects
Pros	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Simple, low-power consumption 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Algorithms applied for variety of applications ✓ Video for recording and monitoring 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ High angular resolution provides a rich data set, similar to cameras 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ High sensitivity to motion (breathing, typing) ✓ Extended range (+50 m) ✓ Insensitive to weather, changing environments 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ High sensitivity to motion (breathing, typing) ✓ On-chip processing for single-chip tracking, classification ✓ Extended range (+50 m) ✓ Insensitive to weather, changing environments
Cons	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Low sensitivity to fine motion ✗ False detection outdoors from sunlight, temperature ✗ Limited range, no position or distance information 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ False detection from shadows, occlusion, day/night, environment ✗ Complex software and processing requirements ✗ No position/range information ✗ Privacy considerations 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Limited range in the presence of sunlight (5-10m) ✗ Complex software and processing requirements 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Hardware and software design and integration complexity ✗ No position information ✗ Large form factor 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Lower angular resolution than cameras or active infrared

图2. 楼宇自动化中的现有技术及其优缺点。

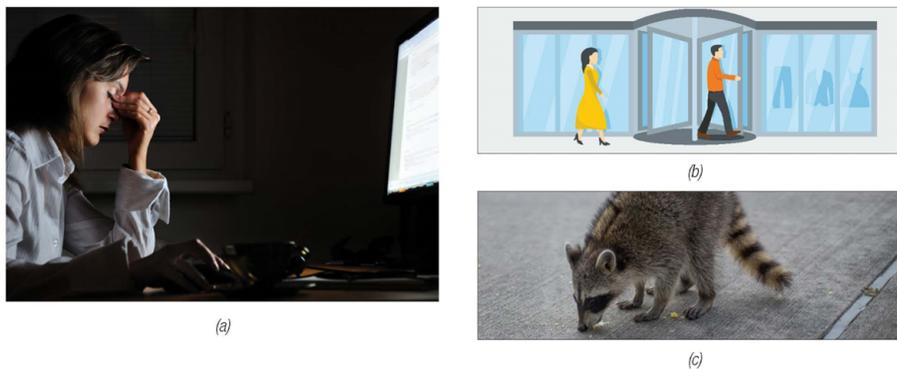


图3. 误检示例：典型商务办公空间内所使用的 PIR 传感器易出现错误的否定检测 (a)；对运动方向的误检导致自动门在非必要情况下打开，浪费了资源 (b)；当传感器仅对运动检测时，动物可导致误检 (c)。

误检

目前，传感器所面临的重大难题之一是误检，见图 3。具体表现为发生某个传感事件时的响应或未能响应（通过警报和系统触发等形式）。误检具有两种截然不同的形式，即错误肯定和错误否定，而且是由于某种技术的特定传感故障或灵敏度造成的。

错误否定是指传感系统未能对重要的事件作出响应。错误肯定则是传感系统对不重要的事件作出了响应。根据传感器所从属的更大的系统，错误肯定可能会导致类似开灯之类的无害结果，也有可能也会导致需要安保人员介入调查的较为严重的后果。

错误否定 - 运动灵敏度

您是否曾在办公室桌前工作到深夜，却由于自己运动幅度较小，照明传感器无法检测到您的存在，从而导致照明灯关闭？PIR 传感器经常会因较差的细微运动灵敏度而出现此类错误否定情况。除了比较细小的动作（如在计算机上打字、调整在沙发上的坐姿或者只是呼吸）外，人们在室内时通常都保持静止。要实现准确的占用感应，就必须对这些非常细小的动作类型保持灵敏。

错误肯定 - 环境

错误肯定的一个常见原因是环境，照明、降水、温度、湿度或气流等环境条件会引起传感器的错误触发。例如，当在室外放置一个摄像头或 PIR 传感器时，阳光直射或降水可能会导致传感器“失明”，使其检测到不存在的运动事件。

错误肯定 - 运动方向

另外一种错误肯定则是由于无法准确检测人员的运动方向造成的。想象一下自动门。有多少次您只是从便利店或仓库的自动门边走过，而自动门却打开了？这时，自动门的电机会运转，而且空调空气会与室外对流，因此造成能源浪费。传感器要能够推断人员想要运动的方向，而不是只是基于接近进行响应，这对于提高未来传感系统的效率至关重要。

错误肯定 - 准确位置

基于位置的检测也可能会出现错误肯定。假设有一个用于在安全边界内进行监控和运动检测的光学摄像头系统。有

一个错误肯定的例子是：摄像头会在安全边界之外（而不仅仅是边界之内）存在运动时警告安保人员。此时需要能够准确地确定运动物体的位置，这对于了解运动物体是在关注区域之内还是之外至关重要。

错误肯定 - 非人类物体的检测

对于大多数智能化系统而言，主要关注的是人的检测和定位，而不是其他对象。不幸的是，移动的物体（如摇曳的树木、急速移动的动物或过往车辆）可能会误导运动检测系统，使其认为某个位置有人。为了克服这个问题，传感器应能够基于物体的大小和运动特性来过滤或分类物体。

隐私

随着自动化系统越来越趋向于高水平的连接性和智能化，在公共空间和私人空间中安装传感器有可能导致公众对泄露个人身份的担忧。配备能够在保持匿名性的情况下，提供有意义数据的传感器将会成为一个重要的优势。

解决方案的复杂性

解决方案的复杂性可能会成为实施楼宇自动化中的传感技术的极大障碍。确保解决方案在软硬件设计层面的简易性可大大减少用户的必需投资，从而将相应技术推向市场并解决感应系统必须处理的所有极端情况。

在传感器端提供处理和决策能力也可以简化楼宇自动化系统的软硬件设计。通过在传感器端进行决策，用户可以尽可能减少数据传输、数据存储和对决策型中心系统或人员的需求，从而简化系统设计并节省成本。

环境遮挡

传感器所面临的一个重大挑战是，环境中的物体常常会遮挡到目标物体的视线。墙壁、树叶和不透明的玻璃等物体会遮挡基于光学技术的传感器的“视线”，最终限制这些传感器的安装、放置和使用。使用射频和其他穿透技术的传感器

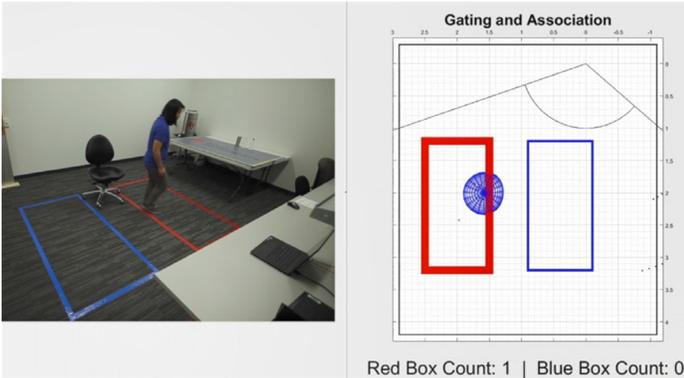


图4. 毫米波范围和角度信息可提供精准的位置信息。当有人进入红色的“禁入”区时，红色框会高亮显示。这些信息可用于触发楼宇自动化系统

有一个优势，即它们可以穿透某些材料，开辟了使用这些传感器的新途径。

毫米波技术简介

TI 的毫米波技术和 IWR 系列传感器具有许多关键特性，这些特性可转化为楼宇自动化应用中的实际优势，包括减少误检。

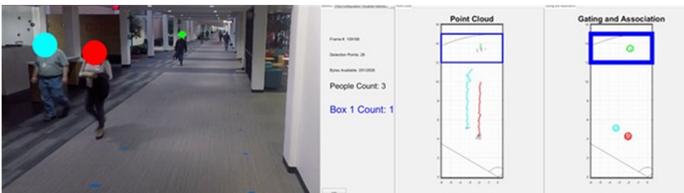


图5. 通过速度信息和板载跟踪，TI 的毫米波传感器可以确定行进方向。请注意蓝色和红色点的跟踪尾部，这指示一个人在走廊中的行进方向。此功能可以推断一个人将要去哪里以及他/她是否在朝特定的目标区域移动。

毫米波是唯一可以提供距离、速度和角度这三个数据集的传感技术。正是通过这一数据组合，毫米波传感器才能准确地确定人员的位置及行进方向。图4展示了如何使用这些数据集在有人进入特定区域时激活系统。速度数据可使毫米波传感器忽略环境中静止的物体。因为人一定会动，

即使只是无聊或呼吸时的少量动作，毫米波技术也能检测出来。

图5展示了如何使用速度数据来推断一个人的行进方向和速度。TI 的毫米波传感器是独一无二的，因为我们在传感器中嵌入了处理内核，可实时处理距离、速度和角度数据。这些传感器还实现了高级算法，可支持跟踪人员运动历史、基于位置或行进方向触发系统或基于物体大小和运动对物体进行分类等功能。



图6. 会议室内有许多静态物体，这些物体可能会导致传统的传感器出现误检。TI 毫米波传感器上的静态干扰消除算法可以忽略桌椅等静态物体及墙上的反射影像（如红色箭头处所示）。

在传感器上实现嵌入式处理意味着，TI 的毫米波传感器可以在单个芯片上执行所有操作，而无需使用外部处理器。

通过 TI 毫米波传感器的独特数据集和片上处理功能，楼宇自动化系统能够减少误检。毫米波传感器可以检测非常细小的动作（如人们打字、谈话或呼吸时的动作），从而防止对目标的误检，同时忽略静止的物体。静态物体因其大小和形状也有可能造成误检；图6展示了毫米波技术如何使用一种叫做静态干扰消除的算法来忽略这些静态物体。通过使用分类和过滤方法（如图7和图8所示），也可以忽略风扇、窗帘或摇曳的树木等移动物体。

毫米波传感器会发送和接收射频信号，而且本身对可能成为误检常见原因的环境影响因素有非常强的适应能力。它们可以在各种环境光照、温度、湿度和气流情况下进行准确传感，甚至可以在雨天连续工作。因此，它们非常适合需要在各种环境条件下进行恒定传感的室内或室外应用。此外，这种适应能力意味着，毫米波传感器无需任何复杂软件即可应对阴影或天气等环境临界情况。

支持运动检测和人员计数的毫米波技术

使用毫米波雷达传感器的 人员计数与跟踪参考设计介绍了 TI 的毫米波传感器在室内和室外人员计数应用中的使用情况。此参考设计采用了 IWR6843 器件，该器件包括用于运行板载算法的射频/模拟和数字处理内核，可支持能在 14m 范围内进行人员检测和跟踪的单芯片人员计数系统。

该参考设计同时包括硬件和软件组成部分，表 1 总结了该设计的特性。硬件组成部分采用了 IWR6843 评估模块 (EVM)，以实现水平 120°、垂直 30° 的取决于天线的视场。

从软件角度来看，该参考设计包括两种基本配置，分别支持 6m 和 14m 运行，还采用了可消除静态物体影响和跟踪多人移动历史的专用算法。IWR6843 能够运行板载算法，这一点非常重要，通过该功能，毫米波传感器能够为楼宇自动化应用带来实质性的好处。该参考设计实现了两种关键算法：



图 7. 室内场景，有一个旋转的风扇和两个人。其他技术通常会将风扇的旋转识别为运动并导致误检，但毫米波传感器能够识别风扇的运动，将其归类为不属于人的运动，并将其指示为灰色轨迹。人的运动将指示为彩色轨迹。

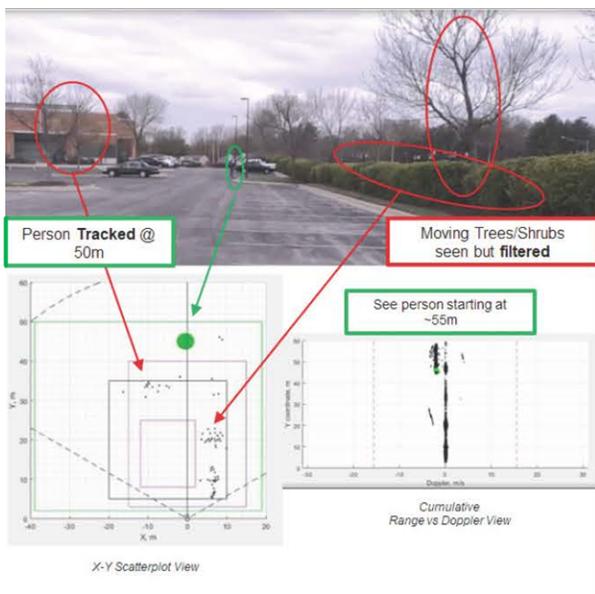


图 8. 大风天的室外场景，有树木和灌木等移动干扰。其他技术通常会将树木的摇曳识别为运动并导致误检，但毫米波传感器能够识别并过滤掉不属于人的干扰物的运动。人的运动通过彩色轨迹指示，而摇曳的树木/灌木则显示为黑点，而没有彩色轨迹。

在非常注重隐私的应用（例如浴室、更衣室或健身房）中，人们可能会对使用摄像头和其他光学解决方案的做法比较敏感。而毫米波传感器使用的是射频信号，因此不会提供任何与个人身份有关的信息。

传感器信号可以穿透干墙、胶合板和塑料等不同类型的材料，方便用户选择独特的安装位置，包括隐藏在墙壁和其他物体的后面，从而避免系统损坏或保持清洁的工业设计。

	近距离配置		中距离配置
硬件/EVM	IWR6843 ISK EVM		
视场（取决于天线）	水平 120°，垂直 30°		
最大距离	6m	14m	
距离分辨率	4.8cm	12cm	
最大速度	5.17mps	5.25mps	
速度分辨率	0.082mps	0.082mps	
所用算法	静态干扰消除、群组跟踪		
系统功耗	~2W		
性能指标			
定位精度	人员位置在 16cm 以内		
计数密度	每平方米 3 人		
展示的精度 (包括准确人数的帧百分比)	± 0 人	± 1 人	± 2 人
3 人在场	>95% 的帧	100% 的帧	100% 的帧
5 人在场	>51% 的帧	>85% 的帧	100% 的帧
7 人在场	>59% 的帧	>85% 的帧	>98% 的帧
9 人在场	>14% 的帧	>43% 的帧	>84% 的帧

表 1. 人员计数参考设计的性能规格 (TIDEP-01000)。

- 静态干扰消除算法用于忽略场景中静止不动的物体。此算法会分析来自毫米波传感器的速度（多普勒）信息，从而过滤属于静态背景部分的物体，例如墙壁和家具。由于人是移动的物体，借助此算法，更高级的应用和算法可以轻松忽略非人类静态物体，从而减少误检。
- 群组跟踪算法用于同时对多个对象进行区分和跟踪。此算法会在一段时间内监控点云的移动历史，从而测量场景中移动物体的大小、精确定位这些物体的位置并跟踪物体在一段时间内的移动和位置历史。借助该算法，更高级别的应用可以确定在环境中移动之人员的确切位置和行进方向。

这些算法是在 IWR6843 上软件运行的示例处理链中实施的。图 9 展示了该处理链，在板载 C674x DSP 以及 Arm® Cortex-R4F 微控制器上运行的数字信号处理 (DSP) 代码实现了该处理链。该处理链的实现和上述算法包括可调整参数，因此可对软件进行调整以适应不同的应用和参数。用户可以调整多个设置，以便在不同的环境中更接近期望的性能水平。

TI 在不同的环境下测试了该参考设计，包括会议室、走廊、开放式办公区和电梯，以证明该设计可在不同的调试参数下保持相应的性能。这些调试参数都是线性调频脉冲

数据库中提供的一些示例，该数据库在 [TI Resource Explorer](#) 的毫米波工业工具箱内。

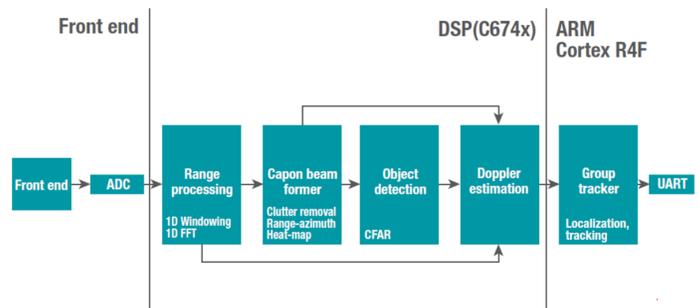


图 9. IWR6843 上的软件中所实现的处理链的方框图（在人员计数参考设计中提供）。

TI Resource Explorer 还提供了对人员计数参考设计进行扩展的示例，用于介绍使用 IWR6843 减少误检的不同方法。图 7 所示为利用分类来识别风扇、百叶窗和窗帘等室内移动干扰的一个示例。

另一个示例将参考设计的距离扩展至 50 米，用于室外入侵检测，并利用群组跟踪算法的过滤特性来消除摇曳的树木和灌木等标记，如图 8 中所示。TI Resource Explorer 还记录了参考设计在更加不寻常的环境限制下的表现的实验。我们验证了参考设计在烟雾环境下的性能，这证明毫

毫米波传感器可以在即使是可能存在雾和烟的情景下进行人员检测和定位。我们还验证了将传感器隐藏在不同材料（如玻璃树脂、胶合板和数层干墙）后面时的性能，这表明毫米波传感器支持隐蔽式安装，从而不会遭到恶意破坏，还能实现环保和私密性。

结论

TI 的毫米波传感器通过采用基于射频的耐用型高精度传感器实现了前所未有的距离、速度和角度数据集以及提供强大的片上处理功能，可支持楼宇自动化应用的创新。毫米波传感器可在强日光、黑暗、穿过墙壁和雨天等严苛环境实现感应，因此可带来附加价值。这些特性使得毫米波技术成为了公认感应选择，而且有助于解决当今面临的误检、隐私和解决方案复杂性这三个难题，从而打造出具有智能和本端决策功能的下一代楼宇自动化传感器。

该人员计数参考设计包括公开的硬件设计文件和以源代码形式提供的完整软件。TI 在多个不同的环境下测试了该参考设计，证明该设计可通过扩展和调整适应不同的性能条件和需求。

重要声明: 本文所提及德州仪器 (TI) 及其子公司的产品和服务均依照 TI 标准销售条款和条件进行销售。建议客户在订购之前获取有关 TI 产品和服务的最新和完整信息。TI 对应用帮助、客户的应用或产品设计、软件性能或侵犯专利不负任何责任。有关任何其它公司产品或服务的发布信息均不构成 TI 因此对其的认可、保证或授权。

所有商标均为其各自所有者的财产。

重要声明和免责声明

TI 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安全、安保或其他要求。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 (<https://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 或 [ti.com.cn](https://www.ti.com.cn) 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。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122
Copyright © 2021 德州仪器半导体技术（上海）有限公司