

Tom Catalino

Critical Link, LLC

Asheesh Bhardwaj

德州仪器公司 (TI)

计算密集型定制机器视觉的架构

简介:

机器视觉技术的采用率不断增加，已经并将继续在各种应用领域中得到部署。其中包括用于制造板材制品、药物、半导体、剃须刀片和汽车等众多产品的仪器和检验设备。每种机器视觉应用都具有一组独特的视觉系统要求，预配置的器件往往无法满足这些要求。本白皮书针对特定种类（即计算密集型）的机器视觉，详细介绍一种架构和附加资源，供读者以此架构或以类似架构为基础进一步进行自己的视觉系统设计。

问题声明:

许多机器视觉系统算法都是高度计算密集型的，因此可能需要专用硬件。每种应用都具有独特的要求，最好是使用 DSP 或 FPGA 等可编程架构，而不是使用具有固定功能的专用器件和内核（例如利用 CODEC 或 ASIC 的视觉分析和视频压缩）。

当今市场上有一些现成的视觉产品，为基于标准的视觉系统提供了构件块。其中包括 OpenCV 提供的开放源码视觉算法。许多视觉系统必须支持的标准包括使用许多不同标准视频格式（MPEG-4、H.264 等）进行视频编码或译码，以及一组标准数字接口（USB、GigE、Camera Link、HDMI 等）。

但是如果您需要开发非常专业的摄像机怎么办？对于您的应用，每秒 30 帧 (fps) 或 60fps 全分辨率高清视频的摄像机可能已经不能满足您的需要。您需要的可能是对很小的目标区域进行完全定制的计算处理，帧速率非常高，达数千 fps，并采用 50×50 像素分辨率。又或者，您可能需要对非标准的极高分辨率图像执行定制算法，所需帧速率较低，总功耗也很低。而这种专用摄像机的需求量可能仅为中低水平，不值得付出开发专用 ASIC 所需的时间、费用或风险。

本白皮书提供了一种可以解决这种独特要求的架构，并提供了必要的资源，以便您能够以本文概要介绍的概念为基础进一步进行自己的设计。

架构:

德州仪器公司 (TI) 设计网络的成员 Critical Link 在一些具有这类要求的设计中使用了一种架构，这种架构利用了 Xilinx 提供的 Spartan-6 系列 FPGA，并采用了低功耗且灵活的 TI OMAP-L138 DSP+ARM9™ 处理器，包括使用其 uPP 接口。通过将这两种器件组合在一起（本白皮书通过 Critical Link 的 MityDSP-L138F 模块上系统 (SoM) 进行了阐释），实现了可以有效解决独特需求的低功耗系统。

通过 Xilinx Spartan-6 实现的可编程逻辑：

在任何硬件设计中采用可编程逻辑可以提高系统的总体灵活性。在这种情况下，Xilinx Spartan-6 与 TI OMAP-L138 处理器和本白皮书中所述系统类型是一种特别出色的搭配选择。Spartan-6 有自己的 SelectIO，可以对其进行配置以广泛支持各种信号标准，包括 LVDS、LVTTTL、LVCMOS 和许多其他标准。可以通过定制将其与最适合所设计的系统的数字成像传感器直接连接。此外，通过在 FPGA 与传感器本身之间设计一个 ADC，它还可以用于连接基于模拟的传感器，例如 CCD 成像器。

FPGA 采集图像数据后，即可使用可编程逻辑快速高效地对数据执行各种各样的操作。FPGA 十分适合边缘和角的检测、提取及低级分析操作等诸多操作。此外，还可以在 FPGA 中高效地执行基本的逐帧操作。

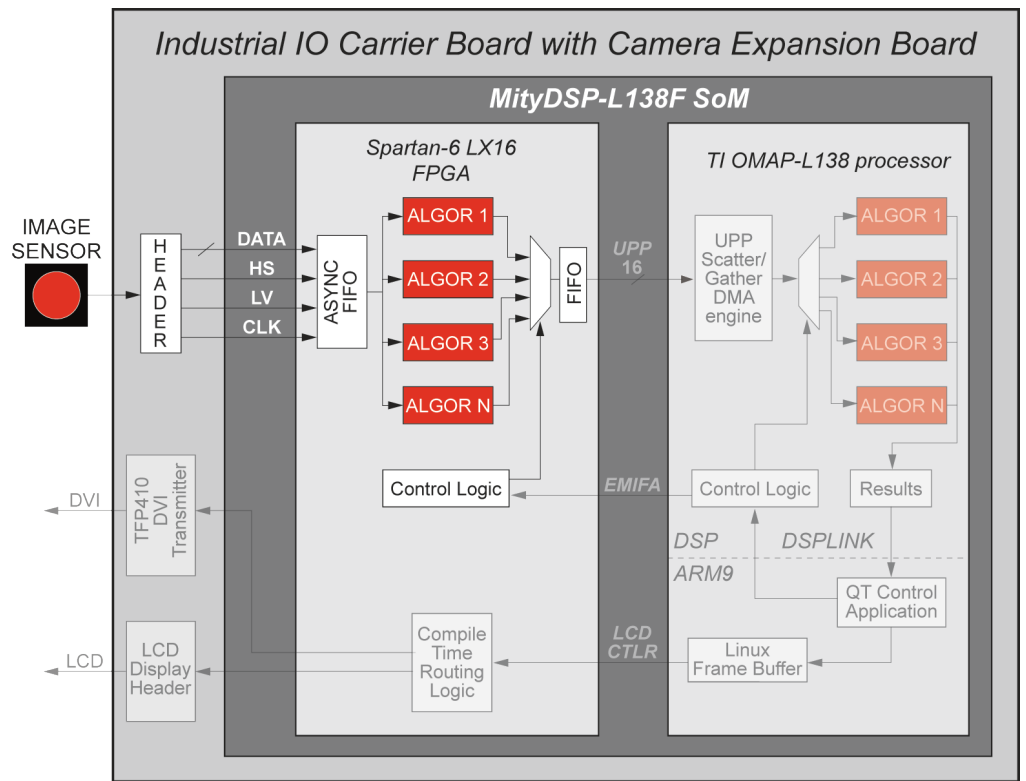


图 1：Xilinx FPGA 中的图像处理

FPGA 的另一个优势是可以用于从原始数据中挑选出 DSP/应用处理器必须处理的数据。当 DSP/应用处理器无法满足处理要求（例如以高帧速率分析全分辨率视频流的每一帧）时，或者当数据量本身超出处理器数字接口的处理量时，这尤为有用。通过使用 FPGA 静态或动态地识别应用处理器可能要处理的图像区域（例如牌照或面孔），或者使用 FPGA 计算关键统计数据（例如直方图或图像的后台估算）并将此信息提供给 OMAP-L138 处理器，可以执行这种对原始数据的挑选。

Xilinx Spartan-6 FPGA 能够以极高帧速率捕捉数据并放弃整个或部分无关的帧。然后它可以只将感兴趣的数据传递给 DSP 进行处理，从而减少了 FPGA 与 DSP/应用处理器之间所需的总带宽。

Xilinx Spartan-6 器件最多提供 180 个 DSP48A1 片，可以利用它并借助并行硬件架构实现高性能视频加速块。Xilinx 还提供视频和图像处理 IP 内核，使用它们可以减少开发时间。

最后，Xilinx FPGA 还用于实现非标准接口。这可以是多显示或多摄像机系统、定制同步串行接口、定制并行接口或为系统内的应用处理器所不支持的其他标准接口添加的功能。这些接口也可以利用 FPGA 提供的各种物理层（LVDS 等）。

通过 uPP 从 FPGA 向 DSP 传递图像数据：

Critical Link 在 TI OMAP-L138 处理器上使用 uPP 接口从 Xilinx Spartan-6 向 OMAP-L138 处理器板上 DSP 传递图像数据。该接口专门用来将大量数据持续移入处理器内存或从处理器内存移出数据。

uPP 每个时钟周期可以记录一个数据字（8 或 16 位）。（或者，对于双数据速率它每个时钟周期可以处理两个数据字，但时钟速度必须减半。）uPP 时钟速率最高可以达到处理器时钟速率的一半，最大 uPP 时钟为 75MHz，最高允许 150MB/s 的吞吐量。这种精简的 uPP 接口使得可以轻松与 FPGA 集成。

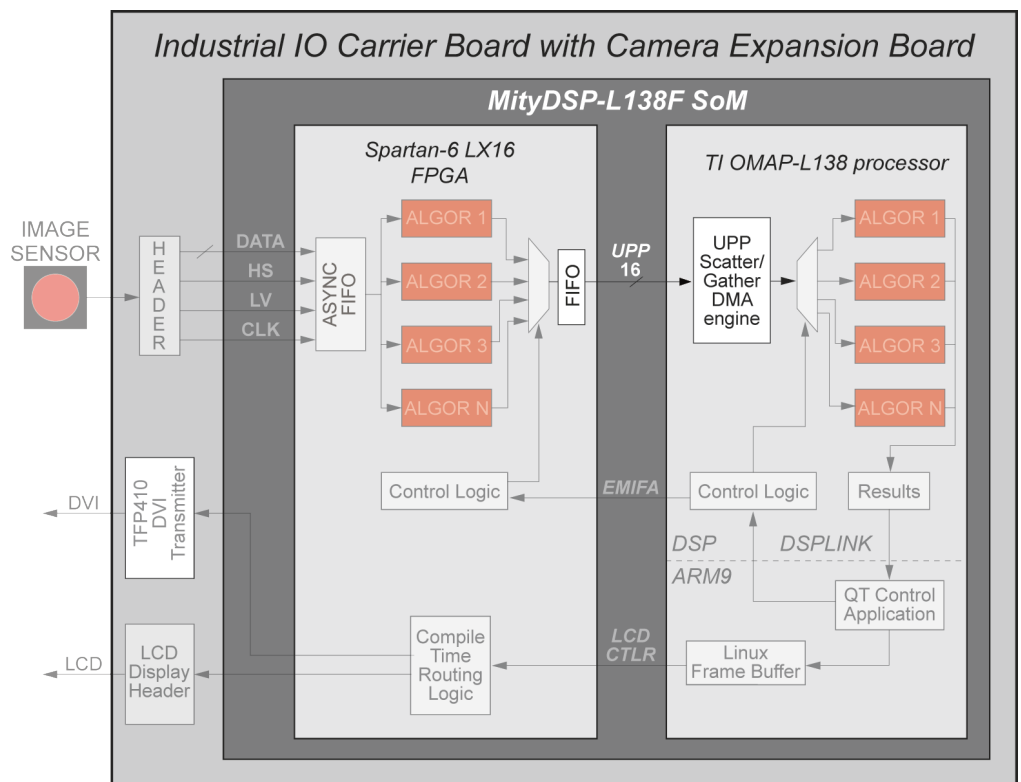


图 2：TI OMAP-L138 DSP+ARM9™ 处理器与 FPGA 之间的 uPP 接口

TI OMAP-L138 处理器实际包括 2 个 uPP 接口，其中的每一个都可以单独配置。从硬件角度看，uPP 接口是一种非常简单的同步数据接口。其包含一个时钟引脚、多个数据引脚以及若干控制引脚，用于指明有效数据和启动/等待条件。事实上，该接口可用于与一些并行 ADC 和 DAC 实现无缝连接。

以上述 uPP 数据速率为例，下表（表1）说明从 Xilinx Spartan-6 FPGA 到 OMAP-L138 处理器系统内存的理论最大传输 fps。请注意，这些计算假定传感器不需要帧间或行间间隙。在确定系统规模时必须考虑 OMAP-L138 处理器的 456-MHz ARM9 和 456-MHz 浮点 DSP 对数据执行要使用的算法的能力，因为这将影响总的处理帧速率。

这最好通过在原型系统或评估模块上实验要使用的算法来执行。在任何情况下，当 DSP 或 ARM 中的应用处理成为系统设计的限定因素时，最能发挥 FPGA 的作用：可以确定重复性操作，将其从 OMAP-L138 处理器中去除，然后交给 FPGA。这样 DSP 和 ARM 可以专注于非重复性操作、更全局性的操作或需要同时处理多帧的操作。如果捕捉速率非常高，uPP 外设无法处理全部原始数据量，可以利用 FPGA 降低总的数据速率。

W	×	H	字节/像素	fps
1024	×	1	2	73,242
64	×	64	2	18,311
256	×	256	2	1,144
1024	×	256	2	286
640	×	480	2	244
752	×	480	2	208
640	×	480	3	163
1024	×	768	2	95
1280	×	720	2	81
1280	×	720	3	54
1920	×	1080	2	36
1920	×	1080	3	24

表 1：通过 uPP 以 150MB/s 传输的理论帧速率

使用 uPP 的两个独立通道可以轻松实现图 3 中所示的架构。进站数据可以由 FPGA 进行预处理，并通过 uPP 发送到 OMAP-L138 处理器中的 DSP，在那里进一步处理，执行智能图像/视频分析操作。最后，可以通过 FPGA 将数据发回任何输出接口。当它第二次通过 FPGA 时，可以执行低级输出处理，例如在 OMAP-L138 的 ARM® 内核所提供的图形用户界面之上叠加视频，或者根据 OMAP-L138 处理器中的 DSP 指令提供文本或其他图形叠加。

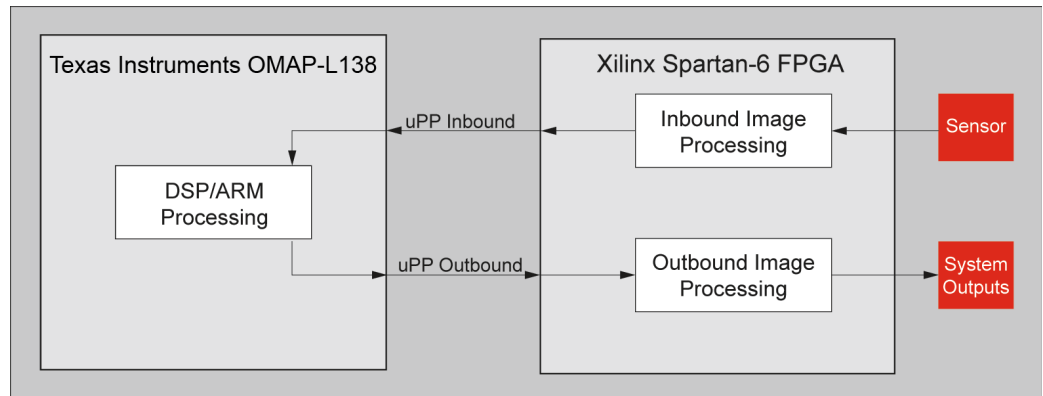


图 3: uPP 在 TI OMAP-L138 DSP+ARM9 处理器中进出

通过 **OMAP-L138** 处理器进行的集成 **ARM** 和 **DSP** 处理：

至此，我们讨论了 FPGA 数据采集、FPGA 数据处理和向 OMAP-L138 处理器的数据传输，该处理器具有独特的架构，集成了 456-MHz ARM9 应用处理内核和 456-MHz TMS320C674x DSP 内核，可以自行处理图形数据。

Critical Link 通常通过如下方式利用 OMAP-L138 处理器 + Xilinx Spartan-6 FPGA 架构组合：当预处理的图像数据从 FPGA 到达时，允许 OMAP-L138 处理器中的 DSP 对数据执行算法上剩余的“举重”任务。这一工作可以通过以下方式执行：实施经过 C 或 C++ 手动编码并专为 DSP 优化（使用 TI 在 Code Composer Studio™ 集成开发环境 (IDE) 中提供的编译器）的定制算法，或使用 TI 为图像和视频处理提供的经过优化的库：IMGLIB 和 VLIB。OpenCV 是开放源码库，有许多有关视觉的算法可以方便地移植到 DSP。

DSP 能够处理计算密集型图像分析和处理操作，例如对象检测、对象识别、边缘检测、颜色转换、图像过滤、对象跟踪和尺寸调整。

机器视觉算法需要许多用于查找对象的形状、裂缝、污垢和其他异常的过滤操作。稀释、腐蚀、Sobel、Canny 过滤器、Harris、Hough 和 Haar 分类器有助于对象查找和特征提取。对象检测和跟踪算法主要由 Lucas Kanade、光学流、Kalman 过滤器、Bhattacharya 距离和 Gaussian 模型提供支持。

大部分图像处理操作发生在灰度模式或 RGB 颜色模式下。如果捕捉的图像为 YCbCr 格式，则可以将亮度 Y 数据用于灰度处理。根据所需的处理类型，捕捉的 RGB 格式数据可以转换为 YCbCr 格式或保持 RGB 格式。执行广泛信号处理算法的函数是 IMGLIB 或 VLIB 的一部分，或在 OpenCV 中提供。所开发的应用还使用对外部存储器的 DMA 访问，使数据可以传输到内部存储器中以加快处理。

移动对象分段是一个机器视觉处理的示例，它要求以灰度模式处理视频，删除背景，处理前景数据。这通过对前景蒙版进行稀释和腐蚀等形态操作来完成。对象边界通过连接的组件模型而形成。

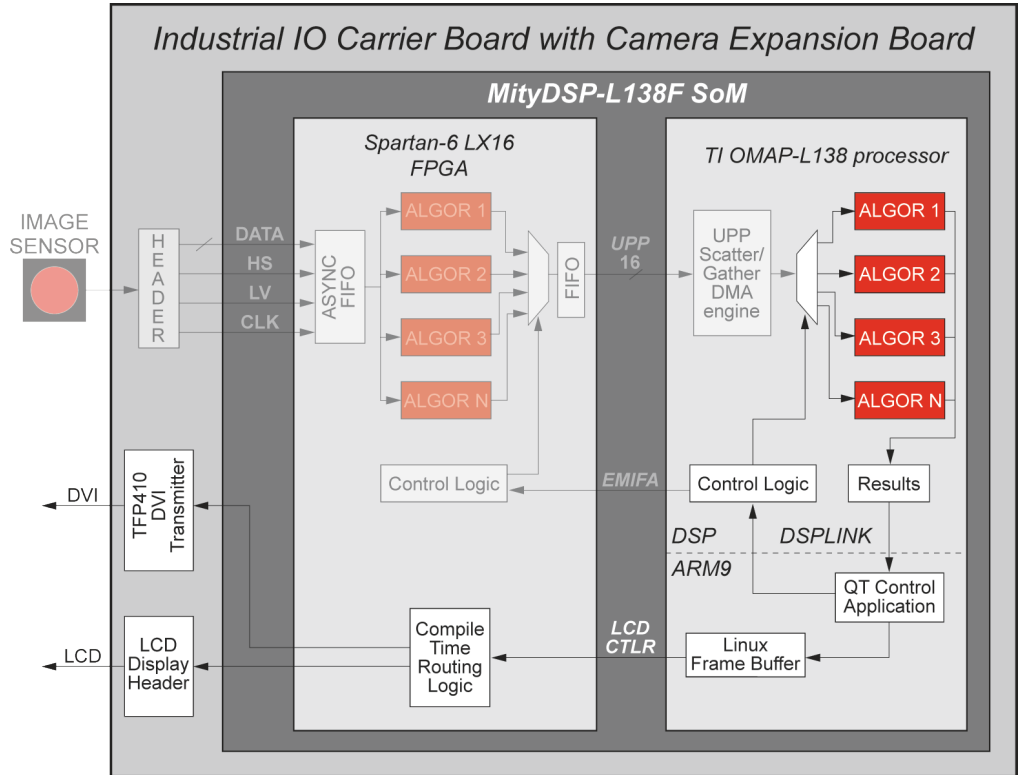


图 4: TI OMAP-L138 DSP+ARM9 处理器中的图像处理

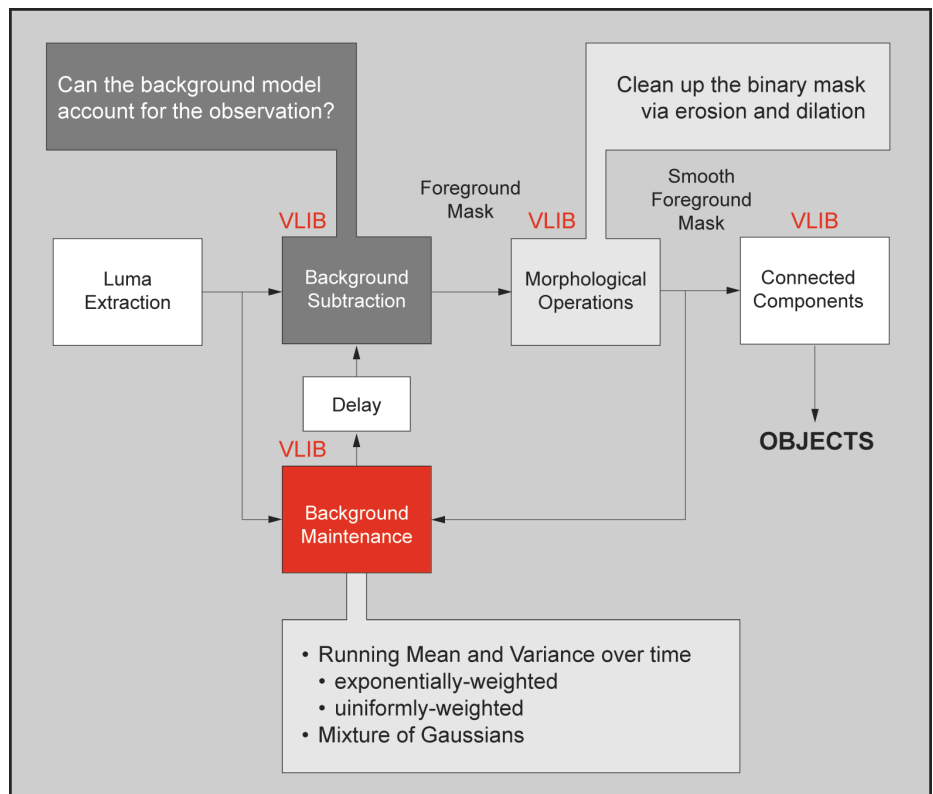


图 5: 移动对象分段

具有 16 位精度的移动对象分段比单一 Gaussian 模型的 16 位精度低。根据所需操作的类型，可以选择馈送给 DSP 的大致精度。当数据在外部存储器中时，VLIB 处理将有额外的 50% 开销。

VLIB 函数	周期/像素
将 YUV 转换为 Luma	0.38
去除背景	1.38
腐蚀	0.2
稀释	0.2
EWRMean	1.16
EWRVariance	1.37
CreateCCList	1.8

表 2: VLIB 性能基准

通过 ARM 内核连接和管理外部系统接口，以便可以在此处处理数据以及处理驱动程序的处理负载。将计算在三个内核上仔细分区可以从架构获得最大的处理能力。

在执行 DSP 算法工作时，DSP 可以与 OMAP-L138 处理器中的 ARM 通信，并通过 ARM 与外部通信。这可以是本地或远程用户接口，甚至可以是一个较大系统中的其他子系统。DSP 可以通过共享内存、邮箱或 TI 的 DSPLink 库提供的各种其他机制与 ARM 通信。RingIO、MessageQ 和 Notify 在 DSPLink 内为这种通信提供接口。ARM 和 DSP 之间的共享存储器区域用于在这些处理器之间共享数据指针。DSPLink 提高了数据交换的效率。

可以从 ARM 向 DSP 传递配置数据，同时向 ARM 传递测量值、统计信息及原始或经过处理的图像/视频数据，以便与外界共享。ARM 特别适于通信和显示功能，因为它可以运行全功能的操作系统，例如嵌入式 Linux™、Windows® CE、QNX® 或 ThreadX。

概要: 本白皮书阐释了一种架构，特别适用于所要求与机器视觉市场有着巨大差别的应用领域。此架构利用了 Xilinx Spartan-6 FPGA（尽管任何系列的 FPGA 都可以用于设计中）、TI OMAP-L138 处理器提供的浮点和定点 DSP 和 ARM9 以及它提供的方便而易于使用的 uPP 接口外设的功能。

有关这些主题的其他信息，可以参阅下面提供的参考资料。需要特别说明的是，Critical Link 提供的 MityDSP-L138F SoM 和视觉开发套件提供了一个方便的平台，使工程师可以在自己的设计中进一步研究这一架构。

有用链接：

- [Critical Link MityDSP](#)
- [Critical Link 视觉开发套件](#)
- [TI OMAP-L138 DSP+ARM9 处理器](#)
- [Xilinx Spartan-6](#)
- [Xilinx 图像处理库](#)
- [TI IMGLIB](#)
- [TI VLIB](#)
- [TI Code Composer Studio™ IDE](#)
- [开放源码 OpenCV](#)
- [基于 TI 技术的 OpenCV](#)

Important Notice: The products and services of Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries described herein are sold subject to TI's standard terms and conditions of sale. Customers are advised to obtain the most current and complete information about TI products and services before placing orders. TI assumes no liability for applications assistance, customer's applications or product designs, software performance, or infringement of patents. The publication of information regarding any other company's products or services does not constitute TI's approval, warranty or endorsement thereof.

Code Composer Studio is a trademark of Texas Instruments Incorporated. All other trademarks are the property of their respective owners.

重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权根据 JESD46 最新标准, 对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权根据 JESD48 最新标准中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。仅在 TI 保证的范围内, 且 TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非适用法律做出了硬性规定, 否则没有必要对每种组件的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用 TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何 TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了 TI 组件或服务的组合设备、机器或流程相关的 TI 知识产权中授予的直接或隐含权作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从 TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是 TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于 TI 的产品手册或数据表中 TI 信息的重要部分, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任或义务。复制第三方的信息可能需要服从额外的限制条件。

在转售 TI 组件或服务时, 如果对该组件或服务参数的陈述与 TI 标明的参数相比存在差异或虚假成分, 则会失去相关 TI 组件或服务的所有明示或暗示授权, 且这是不正当的、欺诈性商业行为。TI 对任何此类虚假陈述均不承担任何责任或义务。

客户认可并同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由 TI 提供, 但他们将独力负责满足与其产品及其应用中使用的 TI 产品相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意, 他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识, 可预见故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因在此类安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中, 为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。TI 的目标是利用此类组件帮助客户设计和创立其特有的可满足适用的功能安全性标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此, 此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备) 的授权许可, 除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或“增强型塑料”的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的。购买者认可并同意, 对并非指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用, 其风险由客户单独承担, 并且由客户独力负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的产品, 这些产品主要用于汽车。在任何情况下, 因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要求, TI 不承担任何责任。

	产品		应用
数字音频	www.ti.com.cn/audio	通信与电信	www.ti.com.cn/telecom
放大器和线性器件	www.ti.com.cn/amplifiers	计算机及周边	www.ti.com.cn/computer
数据转换器	www.ti.com.cn/dataconverters	消费电子	www.ti.com.cn/consumer-apps
DLP® 产品	www.dlp.com	能源	www.ti.com.cn/energy
DSP - 数字信号处理器	www.ti.com.cn/dsp	工业应用	www.ti.com.cn/industrial
时钟和计时器	www.ti.com.cn/clockandtimers	医疗电子	www.ti.com.cn/medical
接口	www.ti.com.cn/interface	安防应用	www.ti.com.cn/security
逻辑	www.ti.com.cn/logic	汽车电子	www.ti.com.cn/automotive
电源管理	www.ti.com.cn/power	视频和影像	www.ti.com.cn/video
微控制器 (MCU)	www.ti.com.cn/microcontrollers		
RFID 系统	www.ti.com.cn/rfidsys		
OMAP应用处理器	www.ti.com.cn/omap		
无线连通性	www.ti.com.cn/wirelessconnectivity	德州仪器在线技术支持社区	www.deyisupport.com

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 © 2013 德州仪器 半导体技术 (上海) 有限公司