

改进的实车标定方法

James Li

Automotive FAE

摘要

汽车全景摄像系统在目前国产 SUV 中成为越来越普遍的配置。这套系统通过安装在车头、车尾和两侧后视镜共 4 个鱼眼摄像头捕获图像，然后使用拼接软件做变形、拼接处理，从而形成一张从车顶鸟瞰的俯视图用于辅助驾驶。全景系统的成像质量取决于系统校准是否准确。由于工程上存在误差，摄像头安装的位置，角度以及摄像头个体之间都存在差异。所以即使同一个车型也不可能适用完全相同的校准参数。每辆车在产线上都需要校准。我们通常称这种校准为标定。标定的方法是在汽车四周布置有特定图样的标定布。让摄像头采集标定布的图像。因为标定布的位置是确定的，而每个镜头的输入图像隐含了镜头的个体差异信息（包括镜头的安装位置，角度等）。基于此，算法就可以算出每个镜头的标定参数。所以车厂的产线有专门的标定场地。车厂也会花费较多的人力物力来精确的布置标定布并长期保持。和前装工业产线不同，后装和 4S 售后很难设定专门的标定产地，全景客户以及我们汽车处理器团队在研发测试过程中也会经常要做实车标定以测试我们的软件和算法。在没有专门的标定场地的条件，如果每次标定都只能在非固定场地（如，办公楼的地下车库）中临时摆放标定布，实际操作中会费时费力。而且标定布摆放不准常常导致标定结果不好，全景图像拼接错位。我们深切感受到改进现有标定方法的必要性。经过摸索和尝试我们终于找到一种方法并在实际操作中对它做了检验。本文对这种方法做了介绍和总结。

目录

全景标定简介	3
原有的鸟瞰图生成方法	3
鸟瞰图生成方法的改进	4
实车测试	7
总结	8

图

图 1 全景标定示意图	3
图 2 新旧鸟瞰图生成过程的比较	4
图 3 计算矩形顶点位置的几何原理	5
图 4 计算三角形顶点位置的几何原理	5
图 5 新鸟瞰图生成方法计算角点的次序	6
图 6 新鸟瞰图生成方法显示的角点计算误差	7
图 7 实车标定效果比较	7

全景标定简介

为了解决倒车影像系统不能全面照顾周围视角的问题，车厂引入了全景摄像系统。这套系统的核心就在于在车头车尾加两侧后视镜共安装 4 个摄像头，从而能够获取车辆周边的实时影像。摄像头捕获的数据在车机的图像处理单元实时进行变形、拼接处理，从而形成一张从车顶鸟瞰的俯视图。这样独特的视角可以很好地帮助缺乏“车感”的驾驶员去理解自己的走向和位置。TI 的 TDA2X 和 TDA3X 芯片就是最新一代支持全景应用的硬件平台。

全景拼接的依据是鸟瞰图中像素点位置和鱼眼图像素点位置的映射关系，这个映射关系随摄像头的类型和安装位置而变化。每辆车，每个摄像头的映射关系都不相同。要获得这个映射关系必须将摄像头装车固定以后进行标定。下面是一个标定的例子。把标定布（1）放在车的左前方（如图 1 所示），使前视和左视摄像头都可以看到它。这个标定布是一个正方形，正方形的四个顶点是 4 个角点（a1, b1, c1, d1）。在前视摄像头采集的图像中可以找到这四个角点。在鸟瞰图上，这 4 个角点的位置也是确定的。求解它们之间的映射关系就可以得到前视摄像头到鸟瞰图的像素映射关系。求解的过程不是本文讨论的重点。我们想说明的是计算出的映射结果是否准确取决于输入是否准确。输入有两个：鸟瞰图上角点的位置和鱼眼图上角点的位置。选取鱼眼图上角点的位置可以通过将鱼眼图展平找角点的办法尽量降低误差。鸟瞰图角点位置的确定我们在下一节阐述。本文提出的方法通过改进鸟瞰图角点的获取方式极大的简化实车标定的工作量。

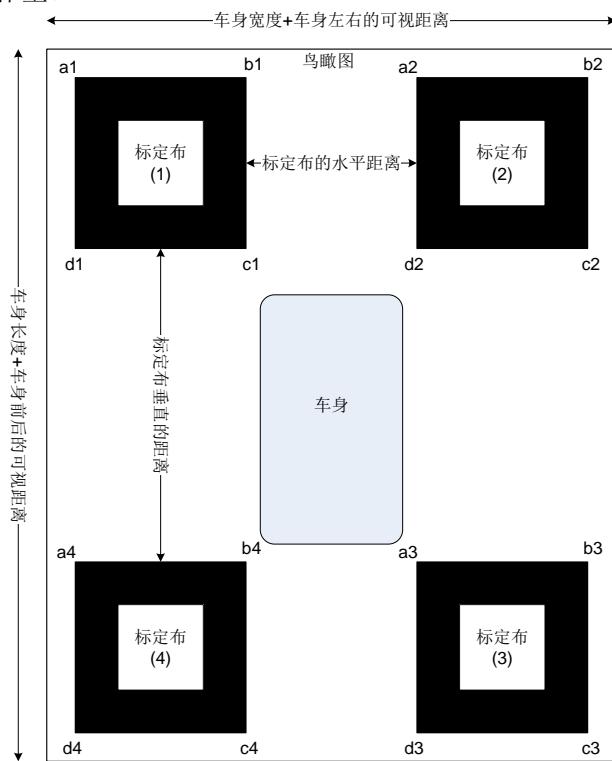


图 1 全景标定示意图

原有的鸟瞰图生成方法

要获取鸟瞰图的角点位置首先要弄清楚鸟瞰图是怎么得到的。实际操作中我们不可能在车顶很高的位置装一个无畸变的摄像头去拍摄鸟瞰图。传统的方法是根据预先测量好的标定布的尺寸和标定布的摆放位置来人为构造出鸟瞰图的。如图 1，先确定三个尺寸：标定布水平距离，标定布的垂直距离，标定布边长。再根据设计要求确定车身左右的可视距离和车身前后的可视范围。最后通过简单的几何计算就可以得到 16 个角点（a1, b1, c1, d1, a2, b2..., a4, b4, c4, d4）的位置。换句话说，鸟瞰图是计算得到的。这就要求我们在标定的时候严格按照计算鸟

瞰图用到的距离参数摆放标定布并捕获输入的鱼眼图像。这带来两个实际操作问题：

- 标定布的尺寸必须精确
- 在标定过程中标定布必须精确按照图中的水平距离和垂直距离摆放，而且左右前后要对称。

我们在实际操作中发现满足这两个条件很难。即使是专业的 pattern 制作供应商也会引入尺寸随机误差。例如 我们定制的标定布的设计尺寸是 1.5mx1.5m，在裁剪打印后，发现四块标定布并不一致，是长约 1.56m 宽约 1.52m 的矩形，布与布之间存在<5cm 左右的误差。

在摆放标定布的过程中，要做到距离精准并且前后左右完全对称也非常难。每次摆布，位置调整都会造成大量时间浪费。因为摆放标定布占用较大空间，通常在地下车库进行，受场地条件限制，通常需要挪移和重新摆放，从而带来大量误差。很容易前功尽弃。通常一次实车标定需要至少 3 人协作，耗费一个多小时反复布置测量。最后标定出来效果受到操作误差的影响，误差原因也很难追溯难以确定是哪块布摆放得不好。

鸟瞰图生成方法的改进

本文提出了一种新的生成鸟瞰图的方法。不再预定义鸟瞰图，而是在摆好标定布以后根据少量的距离测量把鸟瞰图计算出来的。

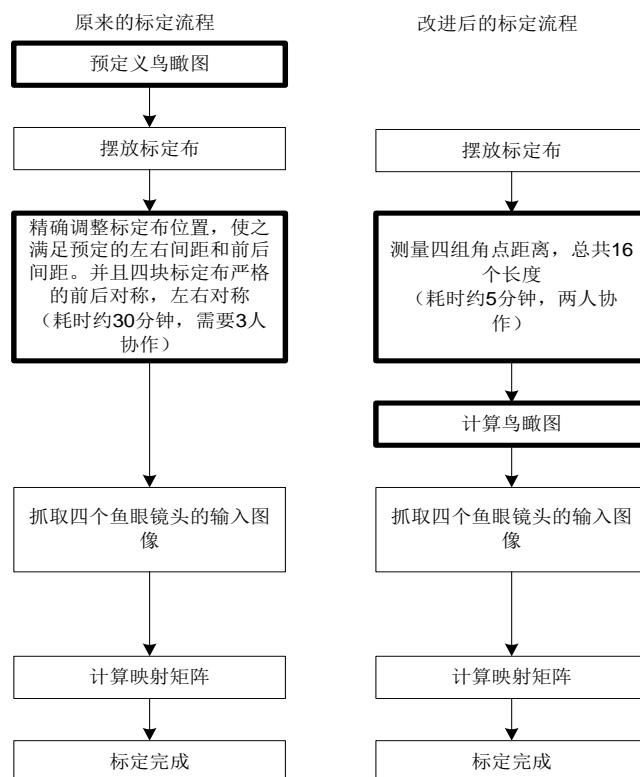


图 2 新旧鸟瞰图生成过程的比较

使用这个方法可以避开之前的两点约束

- 标定布的尺寸必须精确
- 在标定过程中标定布必须精确按照图中的水平距离和垂直距离摆放，而且左右前后要对称。

新方法计算鸟瞰图的过程用到下面两个几何知识:

1. 已知矩形的长和宽，并且知道矩形任何两个顶点的位置，就可以推出其他顶点的位置

证明：假设矩形的四个顶点是 p1, p2, p3 和 p4，长边的长度是 long，短边的长度是 short。

已知 p1 和 p2 的坐标可以算出角度 θ , p4, p3 的坐标可以按下面的算式计算

$$p4.x = p1.x + \text{short} * \cos(\theta + \pi/2), \quad p4.y = p1.y + \text{short} * \sin(\theta + \pi/2)$$

$$p3.x = p4.x + \text{long} * \cos(\theta), \quad p3.y = p4.y + \text{long} * \sin(\theta)$$

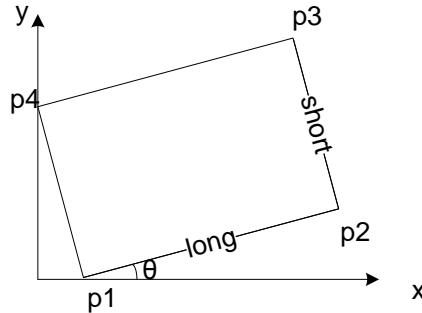


图 3 计算矩形顶点位置的几何原理

2. 已知三角形三条边的长度并能确定其中两个顶点的位置，那么第三个顶点的位置也是确定的。

证明：假设三角形三边是 a, b, c，设 a 的对角是 A, b 的对角是 B, c 的对角是 C，设 A, B, C 对应的顶点是 p1, p2, p3。问题可以描述成：已知三角形两个顶点 p1 和 p2 的坐标，也知道三角形三边 a, b, c 的边长，求顶点 p3 的坐标。根据余弦定理，有下面的等式：

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc * \cos(A)$$

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2ac * \cos(B)$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab * \cos(C)$$

已知 a, b, c 三个边的长度以后可以计算出 A, B, C 的角度。如下图：

已知 p1 和 p2 的坐标，可以算出直线 c 和 x 轴的夹角 α , $\theta = A - \alpha$ ，再根据下面的算式就可以算出 p3 的坐标 $p3.x = p1.x + b * \cos(\theta)$ 和 $p3.y = p1.y + b * \sin(\theta)$

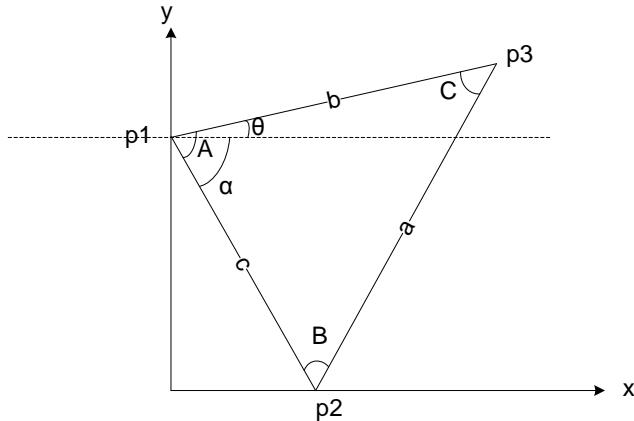


图 4 计算三角形顶点位置的几何原理

原理清楚后我们回来详细说明新的鸟瞰图生成方法。

假设我们有 4 块标定布，四块布的尺寸不同，长宽不等，摆放的位置也不是完全对称的，甚至标定布放歪了。使用新的鸟瞰图生成方法后，测量出图 5 所示的蓝色线段的长度后就可以准确的算出 16 个角点的位置。例如，设 a_1 为坐标原点，测量出线段 (a_1, b_1) 和 (a_1, d_1) 的长度并且知道 (a_1, b_1, c_1, d_1) 是一个矩形，那么 b_1, c_1, d_1 的位置就可以计算出来。知道 b_1, c_1 的坐标并且知道线段 $(b_1c_1), (b_1d_2), (c_1a_2)$ 的长度就可以算出 a_2 的坐标。以此类推，就可以得到所有 16 个角点的坐标。图 5 的绿线标注了计算角点的次序。另外，标定布的尺寸我们可以预先测量好。实际标定的时候我们只需要准确测量两两标定布之间的 4 组（每组 4 根）线段的长度就可以了。

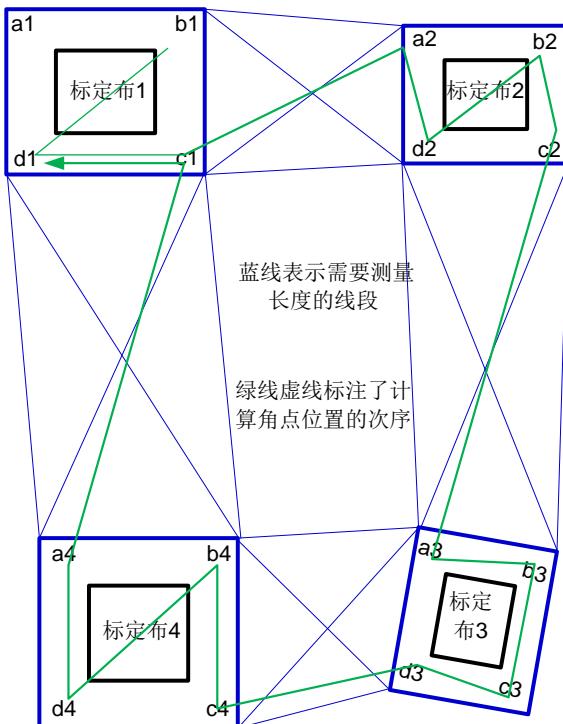


图 5 新鸟瞰图生成方法计算角点的次序

新方法的另一个好处是测量偏差会直接体现在计算出的鸟瞰图的匹配度上。因为，我们有两种方法计算角点 c_1 和 d_1 的位置

- 方法 1，根据 a_1, b_1 的位置和标定布 1 的长宽，可以算出 c_1, d_1 的位置，记为 c_1, d_1 。
- 方法 2，根据 a_4, b_4 的位置和四条边 $(a_4, c_1), (a_4, d_1), (b_4, c_1), (b_4, d_1)$ 的长度也可以算出 c_1, d_1 的位置，记为 c_k, d_k 。

方法 1 的计算可以认为是准确的。方法 2 以 a_4, b_4 为基准估计 c_1, d_1 的坐标，相当于累积了前续所有坐标点的计算误差。如果两种方法的计算结果误差在 10mm 内，那说明测量是基本准确的。

例如，图 6 显示了我们在一次标定中的误差。放大以后可以看到，用方法 1 算出的结果 d_1 和用方法 2 算出的结果 d_k 在水平方向误差是 3mm，在垂直方向误差是 3mm，是足够准确的。

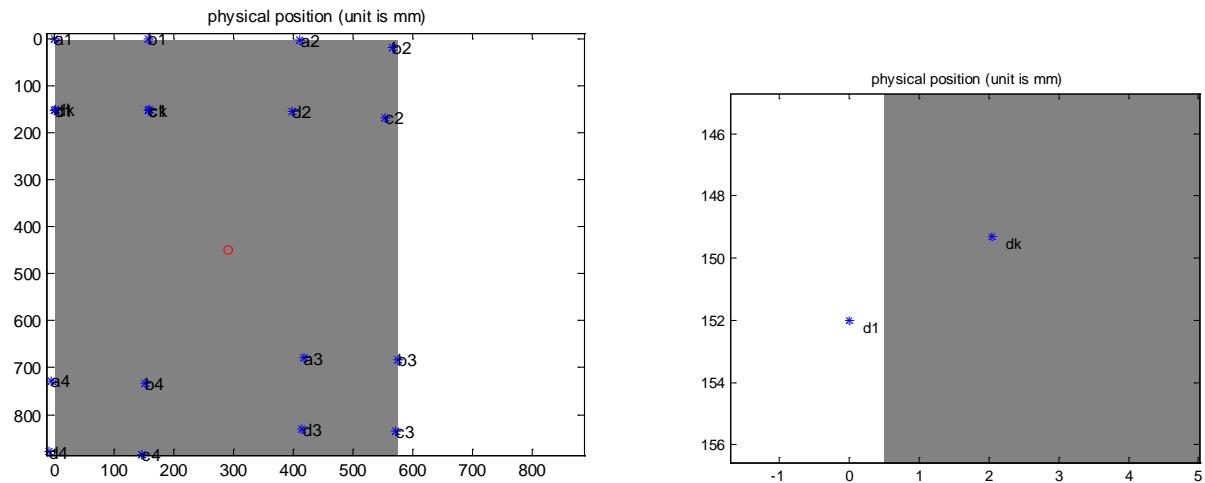


图 6 新鸟瞰图生成方法显示的角点计算误差

实车测试

我们在实验室对新的标定方法做了验证后还在实车做了测试。实车测试中，我们把原来的标定方法和新的标定方法都做了一遍，以便对比效果和工作量。

图 7 左边是原有的标定方法标定的结果，右边是改进后的方法标定的结果。

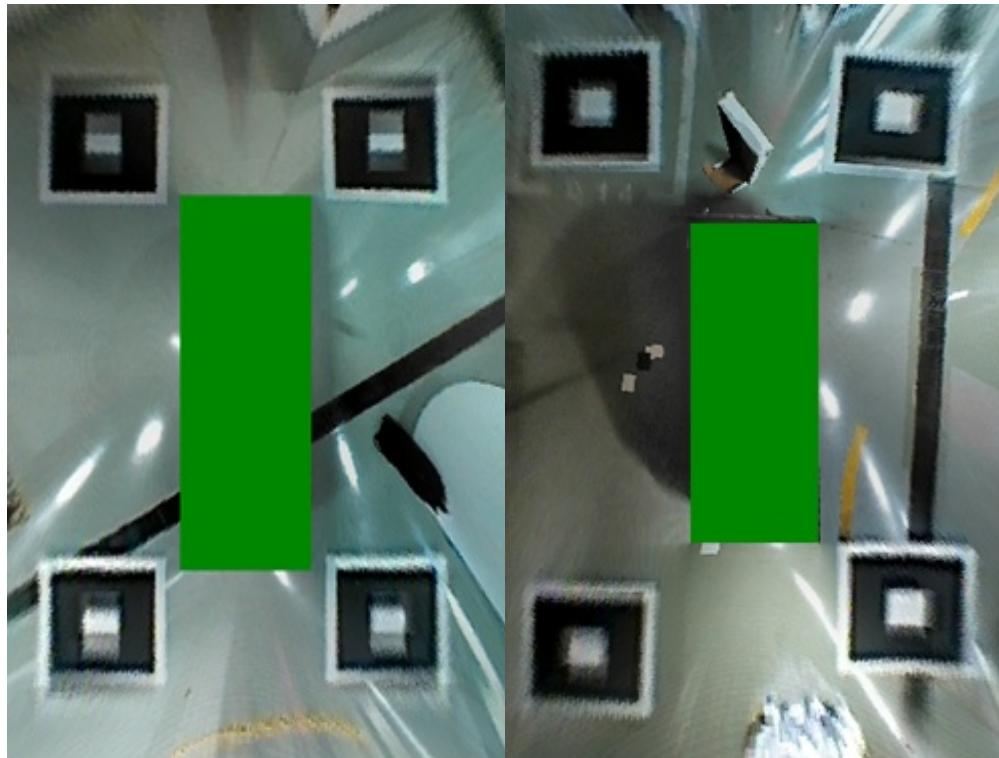


图 7 实车标定效果比较

用原有标定方法算出的全景图的前后标定布处有明显的虚影。以前视右侧的标定布为例，虚影是因为前视摄像头和

右视摄像头在重叠区域的拼接不齐导致的。改进后的标定方法在拼接区的虚影大幅改善。

工作量的对比方面，用原有的标定方法，我们花了大约 30 分钟校准标定布位置，需要 3 人协同。使用新的标定方法，长度测量耗时大约 5 分钟，只要 2 个人就可以。

总结

我们试验结果说明：改进后的标定方法很大的提升了工作效率，标定的准确度不低于甚至略好于原方法，是高效可行的。另外，从图 7 也可以看到，两个拼接图都不完美，和本文提出的标定创新无关。主要原因是在鱼眼图中选择角点的准确度还有待改进。例如：

- 使用更准确的摄像头内参，包括焦距，镜头中心等有助于更准确的做鱼眼图展平，进而选择展平图中的标定布角点。
- 测试场地更好的光照条件有助于提高镜头成像质量，在清晰的图像中选择角点可以得到更准确的结果。

这是我们后续进一步改进标定流程的方向。

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限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 组件或服务的所有暗示或显示授权, 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在其应用中使用 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/consumer-apps
DLP® 产品 www.dlp.com	能源 www.ti.com/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/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