

支持视频功能无人机的低延迟设计注意事项



Dennis Barrett
产品营销经理

Prajakta Desai
产品营销经理,

德州仪器 (TI)

简介

据预测¹，在未来 10 年，全球范围内在航空无人机和其它无人驾驶飞行器方面的花费将接近 980 亿美元。这些无人机并不仅仅是业余爱好者的玩具，或由府使用——针对无人机技术的商业应用将催生出一个价值超过 1270 亿美元的新兴全球市场²，来满足业务服务的需求。可以预期无人机将在很短的时间内使众多行业产生变革，其中包括基础设施、农业、运输、安保、娱乐和媒体、保险、电信和采矿业。

由于无人机的出现已经司空见惯，无人机定制的步伐正在越来越快，以解决特定的使用情况，和满足特定行业的需要。基于主要航空特性和飞行要求，无人机出现了自然分组或产品分类，并且出现了针对视距 (VLOS) 运行以外飞行模式的明确需求。

在整个飞行操作模式下，实现无人机安全飞行的一个关键要素就是低延迟视频传输。这篇文章详细介绍了工程师在开发此类系统之前，应该考虑在内的设计注意事项。

无人机在广泛的工作范围内飞行

无人机有很多种分类方法。本文讨论的内容，采用的分类是基于远程操控飞行员和无人机之间的操作距离。

• 视距内 (VLOS) 操作：

地面上的操控飞行员始终能够在无需视觉辅助（比如说双眼望远镜、望远镜等）的

情况下，看到无人机。无论是移动到树后，或者钻入厚厚的云层或浓雾中，无人机应该一直在飞行员的自由视野范围内。对于 VLOS 操作的实际距离，特定的国家会有额外的限制距离。

• 扩展视距内 (EVLOS) 操作：

操控无人机的飞行员也许会依靠其他处于无人机视距内的远程观察员。远程观察员必须能够将关键飞行信息实时分程传递给操控飞行员。



图 1 和 2：广泛使用情况下的无人机，其中包括基础设施、农业、运输、安保、娱乐与媒体、保险、电信和采矿。

• 视距以外 (BVLOS) 操作:

根据仪器仪表, 以及无人机与远程地面导航站间的控制和通信, 来实现对无人机的远程操纵。无人机允许飞到视觉范围以外。通常采用一个基于板上摄像头的系统 (诸如第一人视角操作), 不过这还不足以实现 BVLOS 运行。为了保证安全性, 还在这些系统上部署 “感知与避让” 技术等额外级别的自主运行。这还需要更高的操作员或飞行员资质和经验。

• 第一人视角 (FPV) 操作:

远程飞行员采用板上视频摄像头来从无人驾驶系统中获得实时景象, 并根据这个视频来操纵无人机。FPV 运行在以娱乐为主要目的的飞行玩家中很常见。这种无人机也用于采集飞行中的传感器和图像数据。

对于支持视频功能无人机的要求

让无人机能够在不能直接被看到的情况下下进行操控的一个主要特性就是能够将无人机上摄像头的视频实时传送给远程操作人员。下面提到的内容是此类无人机系统的最重要要求。

低功耗: 一架无人机能够停留在空中的时间完全取决于系统消耗的电能。记住了这一点, 所有板上器件的低功耗是必不可少

的。耗电率直接影响一架无人机的飞行时间。有些无人机提供了 “安全着陆” 功能。当系统快要没电时, 这个功能能够避免电池耗尽时无人机从空中坠落。

低延迟: 为了对无人机进行控制, 远方的操控员需要对无人机周围发生的情况作出快速反应。这意味着, 必须尽可能减少无人机上的数据采集到这些数据被远程操控员接收到之间的延迟。这对于支持视频功能无人机非常重要。为了高效传输并降低带宽, 开发人员经常采用视频压缩技术。因此, 设计人员需要选择支持低延迟视频压缩和传输的器件。

无线链路的稳健耐用性: 控制器和无人机之间的无线链路是对无人机精确且快速响应控制的基础。即使在最拥挤的 RF 环境中, 一条无线链路也必须能够确保数据帧的传递。这一点可以通过使用一条 “洁净” 通道 (例如, 低拥塞的 5GHz 波段) 或高级速率控制和接收器算法来实现, 它们能以最少的丢包来确保及时传输。

范围: 由于灵活性和任务性能的需要, 用户越来越需要无人机能够尽可能地扩大工作范围。对于视距和支持视频功能无人机来说, 无线通信链路必须支持超长距离传输和接收。这一点可以通过使用一个既具有极低灵敏度阈值, 又具有高传输功率的连接器件解决方案来实现。

自主性：无人机配备有额外的传感器来增加它们的自主运行等级。现在，传感器不但可以确定无人机飞行路径上的障碍物，还可以确定到这些障碍物的距离。这些传感器包括超声波、毫米波感测、以及基于视觉的双目摄像头。通过使用基于机器视觉的算法来识别物体，并且采取适当的行动来避开它们，这些感测形式的功能被增强了。这样的工作机制通常被称为“感知与避让”。

低延迟视频压缩和传输

开发人员会在以下几个方面将延迟引入到无人机所使用的视频压缩和传输系统中。

视频采集：帧速率越高，采集时间， T_{cap} 越少。例如，一个 30fps 的相机需要 33ms 来采集一帧视频数据。这个数字对于 60fps 的视频采集会减少到 16.5ms。

压缩或编码：压缩技术用于减少视频帧传输需要的数据率。H.264 压缩标准是无人机记录和压缩视频的常见技术。通常来说，压缩是计算密集型任务。编码时间， T_{enc} ，取决于所选择的编码引擎和所使用的功能。

传输：无人机使用诸如 Wi-Fi® 的无线通信机制与地面站通信。这中间产生的传输延

迟， T_{tx} ，取决于可用数据带宽。例如，如果以 1Mbps 的速率对 720p30 流媒体进行编码，并且可用带宽为 2Mbps 的话，将流媒体发送至地面站需要的时间为 16.5ms。

网络：根据需要，无人机可能需要通过一个网络与远程站相连。在这个情况下，也许会在网络中产生额外的延迟， T_{nw} 。

接收：如果地面站也与这个网络无线连接的话，那么，与传输延迟相类似的额外延迟， T_{rx} 也会出现在系统中。

解压缩或解码：经压缩的视频流需要在接收站内解压缩。与编码相似，这个解码过程也会产生大量计算。这将在系统中引入一个解码延迟， T_{dec} 。

显示：与视频采集一样，根据显示刷新率的不同，将会出现不同的显示延迟， T_{disp} 。

需要注意的一点是，当无人机直接与地面站通信时，没有使用到网络，所以只有一个单传输延迟， T_{tx} （即， $T_{nw}=0$ ，并且 $T_{rx}=0$ ）。

在上面提到的运行都是逐帧执行的系统中，从采集到显示的总延迟为 $T=T_{cap}+T_{enc}+T_{tx}+T_{nw}+T_{rx}+T_{dec}+T_{disp}$ 。这一点在图 3 中进行了说明。

表 1 用特定示例解释了这个延迟。

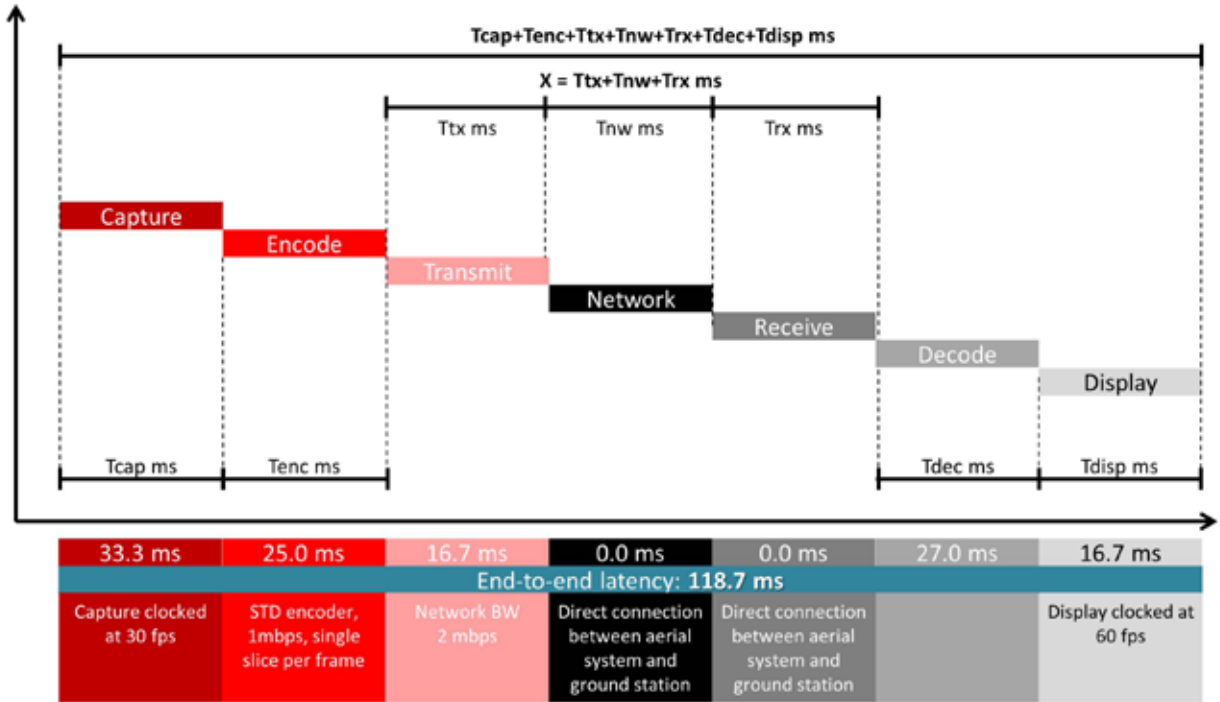


图 3: 视频采集和显示时间轴。

系统块	延迟 (单位 ms)	注释
T_{cap}	33.3	采集 30fps
T_{enc}	25	STD 编码器, 1Mbps、每帧单条带
T_{tx}	16.7	网络带宽 2Mbps
T_{nw}	0.0	无人机系统与地面站直接连接
T_{rx}	0.0	航空系统与站直接连接
T_{dec}	27	
T_{disp}	16.7	显示 60fps
端到端延迟	118.7	假定零网络延迟

表 1: 逐帧延迟示例。

这个示例提供了一个延迟很高的控制无人机操作的情况。操控员看到采集到的视频需要 118.7ms。如果无人机每秒钟运动 15 米的话（大约每小时 30 英里），在远程操控员发现需要进行飞行改变，并且发出这条指令时，这个无人机已经移动了 1.8 米。因此，运动中的无人机有可能已经到了一

个执行这条指令导致不确定行为的环境当中。一系列的杂乱无序指令会导致无人机失控，并且有可能使无人机迫降在一片未准进入的领土，或者撞到一个物体。

为了实现低延迟视频编码，H.264 标准引入了分片的概念。一个条带由数个宏块组成（一个宏块是一个视频帧 2 维单元），并且独立编码，因此它能够在不参考任何其它条带的情况下自我解码。一个条带内的宏块顺序是十分灵活的。然而，为了在低延迟编码中实现最高效率，使用了自然行顺序条带。当每帧内的条带数量为 1 时，它就是上面讨论过的逐帧编码。

然而，当一个帧内的条带数量大于 1 时，开发人员不但可以减少编码时间，还可以降低总延迟。

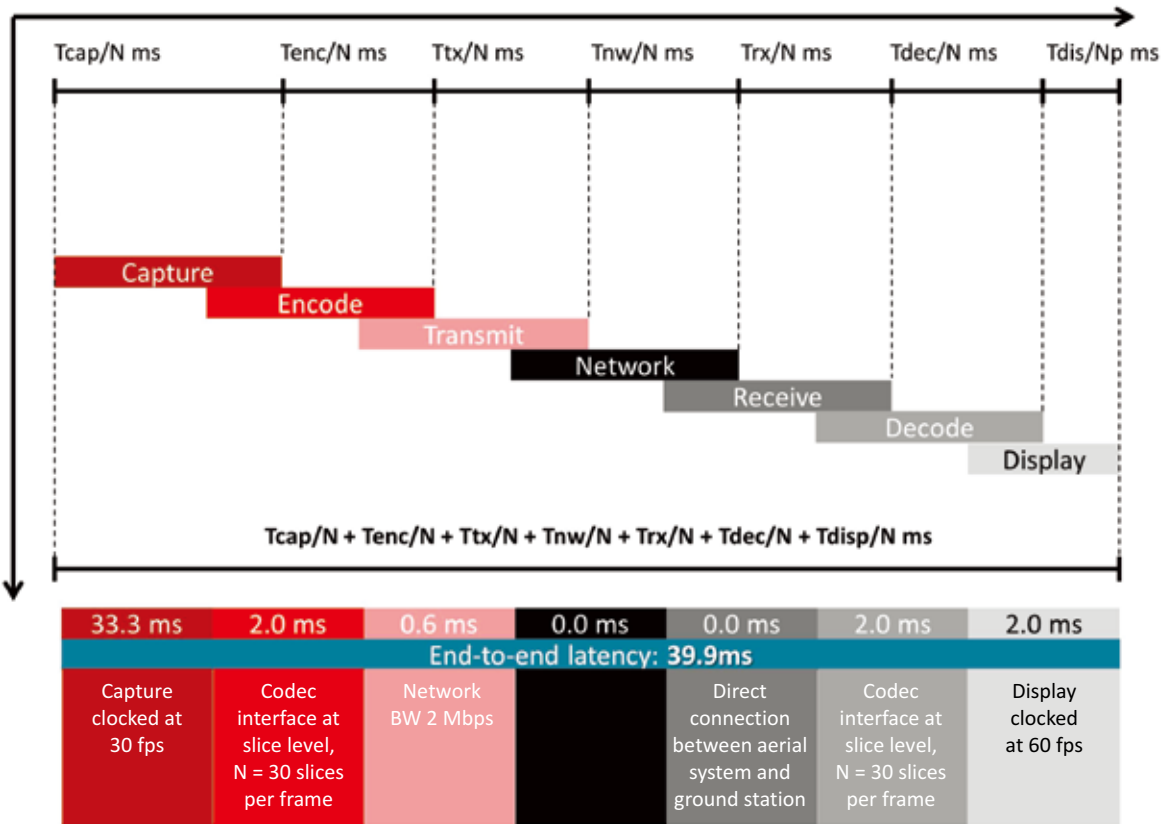


图 4: 分片技术对于处理时间轴的影响。

系统没有必要等到整个帧都被捕捉到就可以开始编码。只要捕捉到一个条带，就能够开始编码了。相似的，只要一个条带被编码，它的传输就可开始，以此类推。所带来的影响是，采集、编码、传输、接收和解码，以及显示不再是串行的，而是并行的，会出现大量的同时运行。在每一步，它理论上将延迟减少了 N 倍。那么，总延迟 $T = (T_{cap} + T_{enc} + T_{tx} + T_{nw} + T_{rx} + T_{dec} + T_{disp}) / N$ 。这在图 4 中进行了说明。理论上，从编码到显示的有效时间将被减少 N 倍，然而实际上，它们也许并不与片的数量成正比。这是因为建立和处理每个片都需要系统开销。在表 2 中，显示了每帧 30 个条带上建立的条带编码的延迟示例。

系统块	延迟 (单位 ms)	注释
T_{cap}	33.3	采集 30fps
有效 T_{enc}	2	基于条带的 Codec 接口， $N =$ 每帧 30 个条带
有效 T_{tx}	0.6	网络带宽 2Mbps
T_{rx}	0.0	无人机与地面站直接连接
有效 T_{dec}	2	基于条带的 Codec 接口， $N =$ 每帧 30 片
有效 T_{disp}	2.0	显示 60fps
端到端延迟	39.9	

表 2: 条带延迟示例。

正如上面表格中显示的那样，即使没有实现一个高效编码 - 解码时间（每个条带编码时间是一帧编码时间的 1/30），这个每帧 30 个条带的延迟也是以帧为基础进行编码（每帧单条带）时所产生延迟的 1/2。这使得远程操控员对于事件反应速度提高 3 倍（因此无人机的反应速度也提高了 3 倍）。

在条带数量和压缩率之间有一个平衡，需要做出取舍。条带的数量越高，编码和传输速度越快。然而，它会降低压缩比，并且会增加一个条带所用的数据，以及针对每个条带的有效传输时间。无人机设计人员可以决定这个参数，这样的话，他们就可以优化端到端系统。任何一个解决方案都需要提供这一必要的灵活性，这样的话才不会限制设计人员做出选择。

稳健耐用的无线链路

低延迟视频传输所需要的另外一个重要特性就是一条稳健耐用的无线链路。以下是保持无线链路稳健耐用的几个至关重要的特性：

- **天线多样性：**这个特性使用多个发射和 / 或接收天线，其中最常用的情况就是多个发射天线。从一个指定发射天线到一个指定的接收天线之间的链路条件也许比较嘈杂。具有多个发射天线，连同支持在这些天线之间进行切换的功能，可以使系统选择最佳可用链路。
- **最大比率组合 (MRC)：**MRC 使用多个接收天线。一个天线上接收到的信号噪

声有可能要比其它天线上的信号噪声要大。MRC 技术是将所有天线上的信号组合在一起的最优方法，通过这种方法，组合信号的质量要优于单个天线信号的质量。

- **多输入、多输出 (MIMO)：**MIMO 增加了发射器和接收器之间的通道数量。例如，一个 2x2（2 个发射和 2 个接收）MIMO 系统相对于单输入、单输出（SISO）接收系统有四条通道，因此，它的理论数据吞吐量是 SISO 系统的 4 倍，从而有效地将发送时间减少了四分之一。
- **速率自适应：**稳健耐用的无线链路的另外一个重要特性就是有效的速率自适应。无线通道随时间的变化而变化。一条好的链路也许在某些时候会变得嘈杂起来。在这个情况下，一个速率自适应算法将更改为较低数据吞吐量，不过仍然会保持这条链路，直到通道质量再次变好。如果没有速率自适应，无线连接会失去这条链路和数据。

一个支持视频功能无人机的低延迟系统

德州仪器 (TI) **DMx 数字多媒体处理器** 集成了硬件视频编码和解码引擎，结合硬件图像信号处理器 (ISP)，使用每帧多个条带，可实现低延迟视频编码和解码。这个系列的产品提供了不同性能、不同价位的高性价比产品的选择（下一页 内的图 5），以使设计人员能够选择合适的芯片最好地满足无人机多种不同的需要。

	DM36x DM369 DM368 DM365	DM38x DM388 DM385	DM812x DM8127
Core	ARM® ARM9™ up to 432 MHz	ARM® Cortex™-A8 up to 1000MHz	ARM® Cortex™-A8 up to 1000MHz
Analytics (DSP)	-	-	C674x DSP up to 750MHz
Encode/Decode Capability	Multi-format: H.264, MPEG4, MPEG2, MJPEG. H.264 BP/MP/HP up to 1080p30	Multi-format: H.264, MPEG4, MPEG2, MJPEG. H.264 BP/MP/HP up to 1080p60	Multi-format: H.264, MPEG4, MPEG2, MJPEG. H.264 BP/MP/HP up to 1080p60
Multimedia	-	-	-
Peripherals	Integrated HW ISP, Parallel Camera Input, 3ch Video Output DAC, D0/D2, USB2.0, 10/100 EMAC, SD/MMC	Integrated HW ISP, Parallel Camera Input, CSI-2, HDMI Output, D0/D2/L, USB2.0, P0w, 10/100/1000 EMAC, SD/MMC	Integrated HW ISP, Parallel Camera Input, CSI-2, HDMI Output, D0/D2/L, USB2.0, P0w, 10/100/1000 EMAC, SD/MMC
Applications	Sports and Action Cameras, Wearables, Drones, Automotive Camera, Video Security and Surveillance	Sports and Action Cameras, Wearables, Drones, Automotive Camera, Video Security and Surveillance	Industrial Machine Vision, Vision Analytics, Sports and Action Cameras, Wearables, Drones, Video Security and Surveillance
Package	13x13mm, 0.65mm BGA	16x16mm, 0.8mm BGA	23x23mm, 0.8mm BGA

图 5: TI 数字多媒体系列涵盖不同性能、不同价位的高性价比产品

TMS320DM36x 系列提供了一个低成本解决方案。由于有了支持并行摄像头接口 (ISIF) 的成像子系统 (ISS), 这个解决方案使得无人机能够采集和发送低延迟视频。由于与硬件视频编码/解码引擎 (HDVICP) 和专用显示硬件一同使用, 对于 ARM CPU 的处理要求大幅降低, 从而降低了功耗和成本。

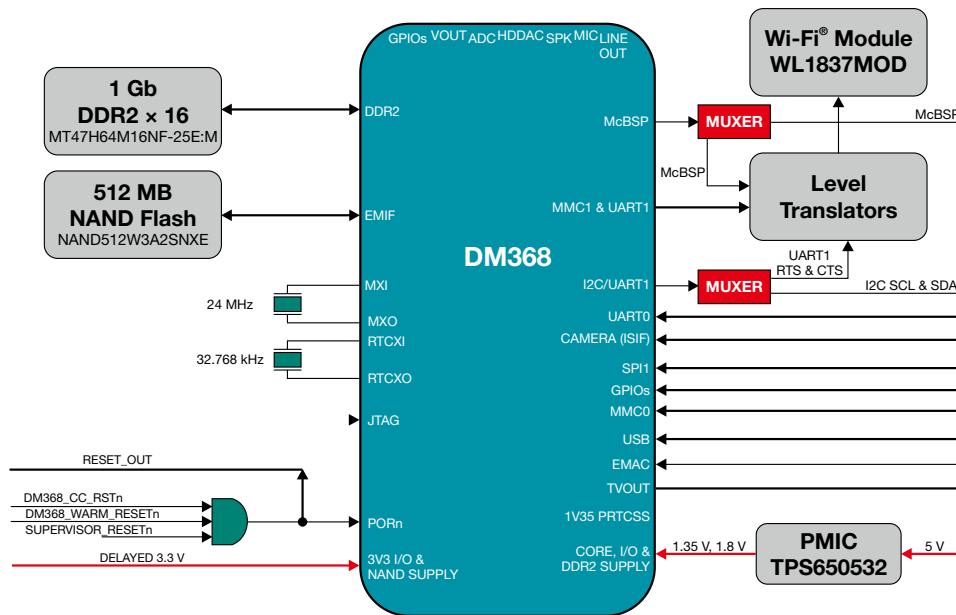


图 6: TMS320DM368 数字媒体处理器在低延迟视频编码 Wi-Fi 无人机系统中的应用

如果需要 MIPI (CSI2) 摄像头串行接口,

DM38x 系列器件也许可以支持这一需求。

图 6 显示的是 TMS320DM368 数字媒体处理器在一个低延迟视频编码 Wi-Fi 无人机系统内的应用。

为了使无人机能够采集视频, 摄像头通过一个专用摄像头接口与数字媒体处理器对接。成像子系统 (ISS) 支持多种图像采集接口, 其中包括并行摄像头接口 (CAM), 串行摄像头接口 (CSI2)。

通过使用 2.4G 或 5GHz Wi-Fi 连接, 视频流可被传送至地面控制单元并在显示设备上显示; 操控员通过显示设备的视频信息对无人机进行实时调整, 防止碰撞。

我们以器件为例来进行说明, **WiLink 8™ 解决方案**是 TI 生产的 Wi-Fi 和 Bluetooth® 组合连接器系列产品。它配备有无人机所需的先进特性, 诸如天线多样性、MRC、双波段支持 (2.4G 和 5GHz 波段)、速率管

理和经优化的数据路径。即使在非常恶劣的环境中，WiLink 8 产品也能够提供和保持低延迟和稳健耐用的链路。

如果需要对无人机系统进行本地控制，可以使用 UART 接口与无人机的中央控制单元交换控制数据。这样可使本地生成的碰撞避让控制信息（基于视频输入和其它输入）可直接发送至无人机电机控制器，并且实现自主避免碰撞。

对于那些需要在多个无线器件中实现时钟同步的应用，比如说一大群无人机在网状网络中进行通信，可使用 WiLink 8 来实现 20µs 以内的精度。

WiLink 8 驱动已经包含在最新的 Linux® 内核源文件 (kernel sources) 中，相对于之前的 Linux®，WiLink 8 解决方案的集成更加简单。

总结

无人机有希望实现全新应用和高能效生产力；然而它们需要的操作模式只能通过稳健耐用无线连接上的低延迟视频传送来实现。目前，德州仪器 (TI) 用其 **DMx 数字多媒体处理器系列** 提供数款解决方案，以应对这些在数十年的视频处理中逐渐产生的难题和挑战。所有 TI DMx 多媒体处

理器都支持针对整个视频帧的灵活分片处理，例如用流媒体传送多路压缩视频的 TI 参考设计套件 (RDK) 中执行的超低延迟分片处理。此外，TI 的 **WiLink 8** Wi-Fi 和 Bluetooth 组合器件能够提供和保持低延迟且稳健耐用的链路，即使在十分恶劣的环境下也是如此。

TI 始终致力于创造创新产品，以解决未来以无人机为基础的经济发展中出现的技术难题，其中包括电池充电和管理、嵌入式处理器、传感器技术、电机驱动器、电机控制、无线连接和 DLP® 技术。敬请访问 www.ti.com.cn/product/cn/tms320dm368，进一步了解本白皮书中特别介绍的 TI 产品是如何给您的设计需求带来优化。

参考文献

¹Marcelo Balve, Business Insider (商业内幕)，2014 年 10 月 13 日—商用无人机：评估全新无人机经济的巨大潜能—www.businessinsider.com/the-market-for-commercial-drones-2014-2

²PwC 2016 年 5 月—Clarity from above—无人机技术商业应用 PwC 全球报告—www.pwc.pl/clarityfromabove

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.

The platform bar and WiLink are trademarks and DLP is a registered trademark of Texas Instruments. All 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间接权利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, 但他们将独自负责满足与其产品及其应用中使用 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, 并且由客户独自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

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated