

# 3D ToF 三维场景距离（景深）测量系统简介

戴观祖 Garrick Dai

Shenzhen OEM

## 摘要

随着数字成像技术的发展，相机作为一种传感器开始被广泛研究。因为人可以通过自己的视觉和大脑来估计视野中物体的位置、距离，而相机的原理模拟了人的双眼，所以研究者们模仿人的特点，利用相机的二维图像反推图像中物体的三维信息。这种和二维图像推算三维信息相关的技术和数学理论发展成了一个独立的学科——计算机视觉，也被称作机器视觉。而 ToF，即time of flight，不同于二维图像来推算三维信息，而是通过红外光在空气中的飞行时间，计算出目标体的距离。三维ToF技术是机器视觉工业重要里程碑，通过使用低成本CMOS像素面阵列和主动调制光源技术来提供三维场景的距离景深信息。本文介绍3D ToF三维场景飞行时间距离/景深测量基本原理、测量精度、距离拓展多频技术和点云数据，也进一步阐述了TI第二代3D ToF解决方案Tintin chipset的原理及系统设计。文章最后也例举了一些典型应用等。

## 内容

<b>1</b>	<b>3D ToF 工作原理 .....</b>	<b>2</b>
1.1	ToF sensor 传感器工作原理 -- 脉冲调制和连续调制波 .....	3
1.2	ToF 测量精度误差 .....	4
1.3	N 相步 N-Quad 工作原理 .....	4
1.4	扩展测量距离 -- 多频技术 .....	5
1.5	点云 Point Cloud .....	6
<b>2</b>	<b>TI 的 3D ToF 解决方案 .....</b>	<b>7</b>
2.1	3D ToF 传感器原理 .....	7
2.2	测量时序 .....	8
2.3	TI 第二代 3D ToF-- Tintin 套片方案 .....	8
2.4	ToF 数据输出格式 .....	9
2.5	OPT9221 数据输出接口模式 .....	10
2.6	光学知识简介-- FOV、F 值和 COC .....	12
<b>3</b>	<b>3D ToF 典型应用 .....</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>总结 .....</b>	<b>14</b>
<b>5</b>	<b>参考文献 .....</b>	<b>14</b>

## 插图

图 1	三维 ToF 相机工作原理 .....	3
图 2	两种测量方法：脉冲波（左边）和连续调制波（右边） .....	3
图 3	参数关系--I,Q 对应于 Phase .....	5
图 4	使用多频技术扩展测量距离 .....	5
图 5	苏打水罐的景深图 .....	6
图 6	点云形成的人物虚拟图 .....	6
图 7	景深图、亮度图和点云图.....	6
图 8	CAPD 电流辅助光子解调技术 .....	7
图 9	CAPD 像素等效电路 .....	7
图 10	测量时序 .....	8
图 11	Tintin 套片解决方案.....	9
图 12	4 字节模式.....	9
图 13	邻近组合及每 8 个分组 .....	10
图 14	2 字节模式.....	10
图 15	8 通道 DVP 时序.....	10
图 16	8 通道通用并口时序 .....	11
图 17	4 通道 SSI 时序 .....	11
图 18	单通道 SSI 时序 .....	11
图 19	视角 FOV .....	12
图 20	光圈值 F.....	12
图 21	模糊圈 COC .....	12
图 22	典型应用 .....	13

## 1 3D ToF 工作原理

三维ToF技术是机器视觉工业重要里程碑，它通过使用低成本CMOS像素阵列和主动调制光源技术来提供三维场景的距离景深图。所以不同于单点逐点扫描方式，而是每个像素都能测量对应目标体的亮度和反射回来的调制光的到达时间，从而计算出该点对应的距离景深。3D ToF提供了视角范围内场景的整个分辨率的距离景深数据。该技术结构简单，容易使用，不依赖环境光，高精度和高帧率使得ToF相机应用越来越广。

## 1.1 ToF sensor 传感器工作原理 -- 脉冲调制和连续调制波

三维 ToF 相机通过主动发射调制过的光源到目标面上，然后观察计算反射回来的对应光。发射和反射光之间的相位差通过运算和转换得到距离/景深，如图 1 所示。一般来说，主动发射光源是 850nm 波长的固态激光管或者发光二极管 LED，对人眼来说是不可见光（可见光波长范围：400~700nm）。一个特制的成像传感器用来接受同样频谱的光线，并且转换光子能量到电子电流。需要注意，光线进入该传感器有一个环境光分量和反射光分量。距离（景深）信息就存在反射光分量中。因此，高环境光分量会降低测量的信噪比。

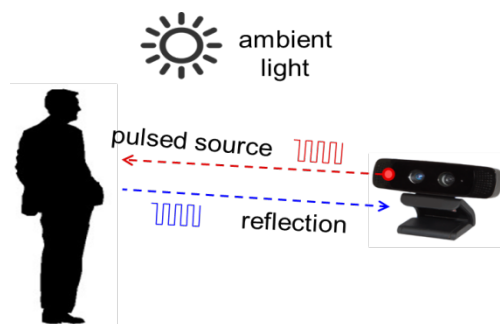


图 1 三维 ToF 相机工作原理

为了检测发射与反射光之间相位差，光源必须是脉冲或者连续调制波，一般是正弦波或者方波。而方波会更常见，因为容易通过数字电路来实现。

通过收集反射光电子或者在第一次检测到反射时启动一个快速计数器，来实现脉冲波接受。而后者需要快速光子检测器。这个计数器需要非常快速，因为比如 1 毫米精度只需要 6.6 皮秒(负 12 次方)。这个精度水平对于硅半导体在室温下是不可能实现的。

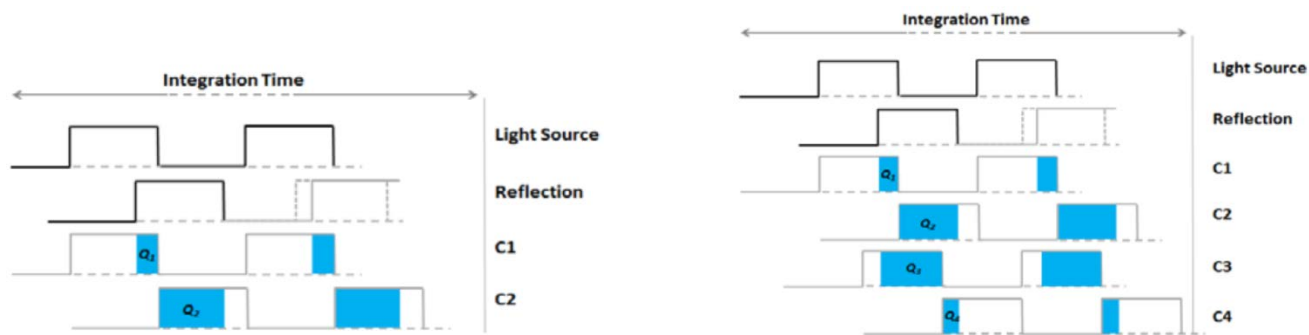


图 2：两种测量方法：脉冲波（左边）和连续调制波（右边）

脉冲调制波方法是比较直接的。光源发射一段周期( $\Delta t$ )，然后传感器每个像素采样反射光能量，并行地，使用 2 个反相的计算窗口 C1, C2 和相同的  $\Delta t$  时间。在采样时间内像素点按窗口开启电荷累计，Q1 和 Q2，然后测量出并且通过公式 1 计算每个像素点对应的距离。

$$d = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \Delta t \cdot \frac{Q_2}{(Q_1 + Q_2)}, \quad \text{公式 1}$$

作为对比，连续调制波使用多个采样计算窗口测量，每个计算窗口相位延时  $90^\circ$  ( $0^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $270^\circ$ )，共 4 个，也称 4-quad。使用该 4 相步方法，发射与反射光的相位差  $\phi$  和测量距离  $d$  有如下公式：

$$I = Q_1 - Q_2, \quad Q = Q_3 - Q_4. \quad \text{公式 2, 3}$$

$$\varphi = \arctan[Q/I] = \arctan[(Q_3 - Q_4)/(Q_1 - Q_2)], \quad d = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \varphi / 2\pi \cdot f, \quad \text{公式 4, 5}$$

同时像素点测量到反射光的亮度  $A$  和偏置  $B$  计算公式如下：

$$A = \frac{\sqrt{(Q_1 - Q_2)^2 + (Q_3 - Q_4)^2}}{2}, \quad B = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4}{4}, \quad \text{公式 6, 7}$$

以上所有公式中  $c$  为光速常量。

连续调制波使用多个测量窗口， $(Q_3 - Q_4)$  及  $(Q_1 - Q_2)$  可以减掉测量中的共同成分（复位电压，环境光，电容增益等）及其中的偏差。

## 1.2 ToF 测量精度误差

反射光亮度  $A$  和偏置  $B$  会影响距离景深测量的精度，误差近似于如下公式：

$$\sigma = \frac{c}{4\sqrt{2}\pi f} \cdot \frac{\sqrt{B+A}}{c_d A} \quad \text{公式 8}$$

调制对比度  $C_d$ ，是描述传感器分离和收集光电子的质量。反射光亮度  $A$ ，是光的能量。偏置  $B$  是环境光和系统偏置。可以看到，更高亮度  $A$ ，更快调制频率  $f$  和更高调制对比度  $C_d$ ，会提高测量精度，但是更高偏置  $B$  会降低测量精度。

另外，受限于硅片物理特性，调制频率太高会导致调制对比度衰减，所以调制频率也有个上限。具有较高衰减频率的传感器就能提供更高精度。

## 1.3 N 相步 N-Quad 工作原理

4 相步测量法经常使用  $0^\circ$ ， $180^\circ$ ， $90^\circ$ ， $270^\circ$  这 4 相来计算，但有时这不是最好的，有时 3 相步或 5 相步可以更好消除奇数谐波。同上理论也可以扩展到  $N$ -quad 系统，有如下公式。可以看到，当  $N=4$  时， $\sin()$  和  $\cos()$  系数简单等于 -1, 0, 1，而当  $N \neq 4$  时， $\sin()$  和  $\cos()$  系数不再等于 -1, 0, 1，而是对应正、余弦值。

$$I = \sum_{i=0}^{N-1} D_i \cos\left(\frac{2\pi i}{N}\right), \quad Q = \sum_{i=0}^{N-1} D_i \sin\left(\frac{2\pi i}{N}\right), \quad \text{公式 9, 10}$$

$$\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{Q}{I}\right), \quad \text{公式 11}$$

$$A = \frac{2}{N} \sqrt{I^2 + Q^2}, \quad B = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} D_i, \quad \text{公式 12, 13}$$

以上参数  $I$ 、 $Q$  对应于 **Phase** 可以制成如下图型来直观表达。 $I$  是余弦分量， $Q$  是正弦分量，**Confidence** 信心值是半径  $R$ ，也就是反射光亮度的指示，相位差 **Phase** 是由  $I$  和  $Q$  构成的角度，也就是测量距离信息。**Noise** 噪音是  $R, I, Q$  的扰动波动。如果 **Confidence** 更高，那么图中半径更大，因此由噪音造成的 **Phase** 失真就越小。另外，**Confidence** 更高，信噪比 **SNR** 也就更高。

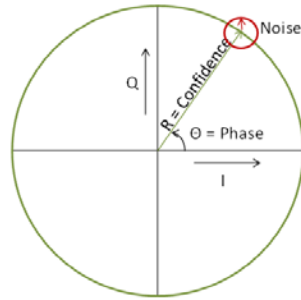


图 3 参数关系--I,Q 对应于 Phase

Confidence 的公式如下：

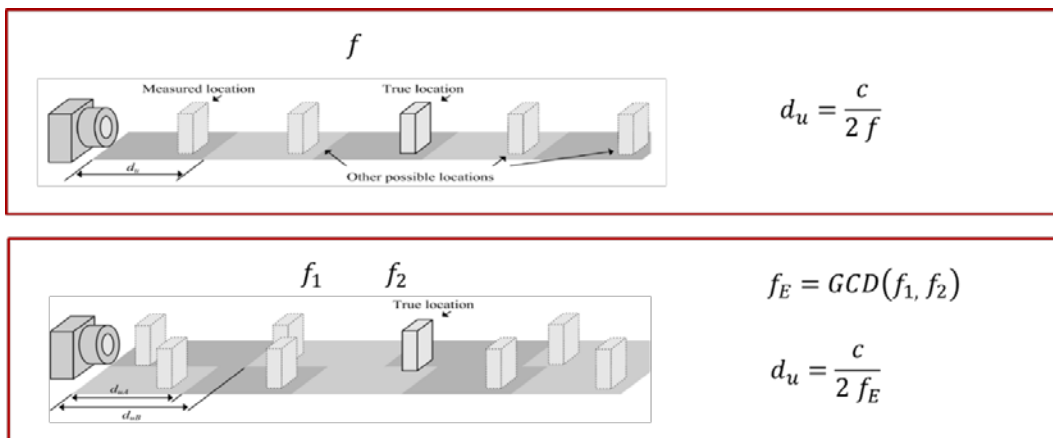
$$Confidence = \sqrt{I^2 + Q^2}, \quad \text{公式 14}$$

#### 1.4 扩展测量距离 -- 多频技术

连续调制波 CW 测量是基于相位差，而相位每  $2\pi$  就会重叠，这也意味着测量距离会混叠。发生混叠的测量距离称之为  $d_{amb}$ ，如公式：

$$d_{amb} = \frac{c}{2f} \quad \text{公式 15}$$

$d_{amb}$  也就是最大的可测量距离。如果希望扩展可测量的距离，可以降低连续调制波频率  $f$ ，但是这会增大测量的误差，如公式 8。为了扩展测量距离同时不影响精度，先进的 ToF 系统会采用多频技术，可以在不降低调制频率  $f$  的同时来实现扩展。多频技术是增加一个或者多个频率调制波来混频，每个调制波测量都有不同的不明确的距离，但是真实距离就是多个频率调制波共同测量到的那个值，该位置对应频率也就是多个频率的最大公约数，称为 **beat frequency** 击打频率。击打频率一般会更低，也就扩展更长测量距离。双频技术如下图所示：



$$GCD(f_1, f_2) = \text{greatest common divisor}$$

图 4：使用多频技术扩展测量距离

## 1.5 点云 Point Cloud

在三维 ToF 传感器中，二维地址阵列上的每个像素来测量距离，也就得到景深图。景深图是场景中所有三维点（每个点也称一个三维像素）的集合体。举个例子，一个 QVGA 传感器就有 320x240 那么多的像素。景深图的二维表示就是灰度图像，如下图 5 苏打水罐例子，像素点亮度越亮代表该点场景越近。下图 5 显示了一组苏打水罐的景深图。



图 5：苏打水罐的景深图

换言之，景深图也可成为三维尺寸空间的点的集合，或称为点云。这些三维点能够通过数学方式连接起来形成物体表面纹理对应的网格图。如果这个纹理来自于物体实时彩色图像，那么一个犹如现实中的三维物体将会呈现，如下图人物虚拟图例子描述。可以旋转虚拟图来观看不同视角。

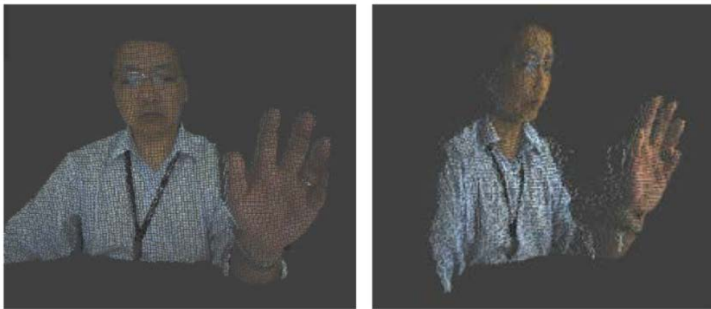


图 6：点云形成的人物虚拟图

关于场景的景深、亮度和点云实际区别，可以参考下图 7 例子。

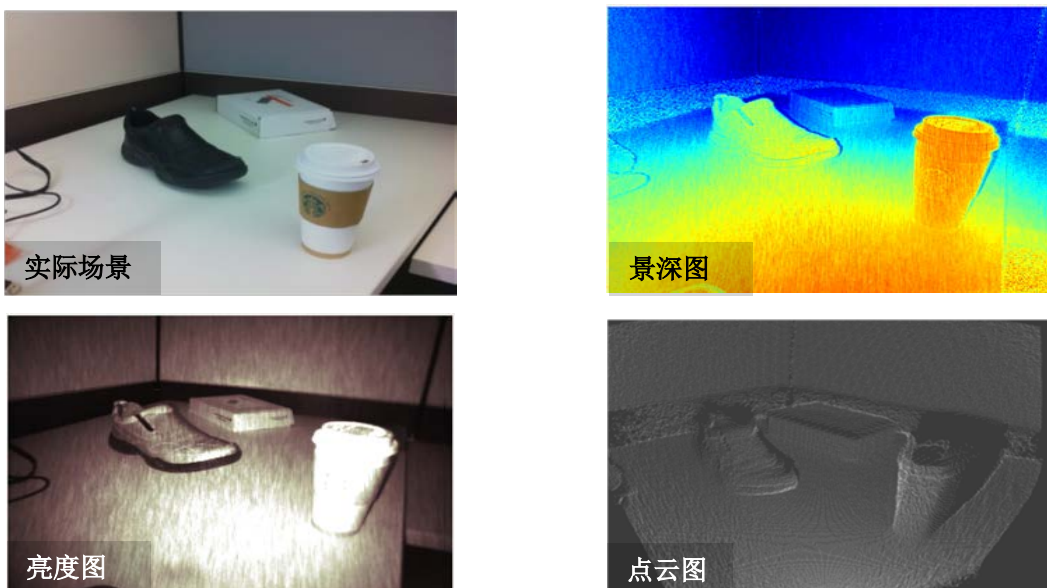


图 7：景深图、亮度图和点云图

## 2 TI 的 3D ToF 工作原理

### 2.1 3D ToF 传感器原理

TI 第二代 ToF-- Tintin 套片方案可以支持 QVGA 格式的 320x240 分辨率，也就是 76800 个像素点。每个像素点采用 CAPD 技术，如图 3 和 4。CAPD 工作主要分 3 个阶段：

阶段 1: **Reset** 复位—对收集器电容 A 和电容 B 预先充电到预定值；

阶段 2: **Integration** 集成—当发射光信号打开并且解调电压  $V_m$  上电。光子产生电荷充电，数量取决于传感器材料的量子效率 QE。此时若没有  $V_m$ ，电子会缓慢地漂移到电容 A 和 B，但若  $V_m$  加上，电场效应将会快速地引导电子流向电容 A 和 B，从而实现更好的电荷收集，也就是增加了调制对比度。在整个集成阶段调制周期重复 1000 次。 $V_m$  开启和反射光子间的相位延时就是发射光和目标的距离测量，成比例于电容 A 和 B 收集电子电荷差异比例。

阶段 3: **Readout** 读取—集成阶段后，节点 A 和 B 的电压被读取。反射光亮度越高，读取的电压越低。如果预充电值被耗尽，就会发生饱和。

阶段 4: **Dead time** 死区—在给定的帧率和集成时间外，读取之后会有多余的时间剩下，这就是死区时间，这个阶段关闭发射光源。

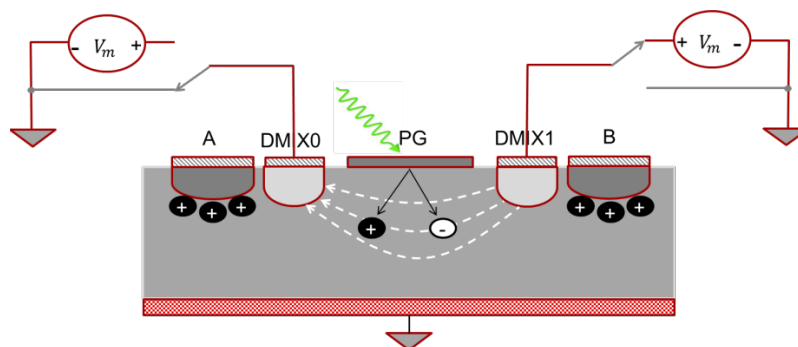


图 8: CAPD 电流辅助光子解调技术

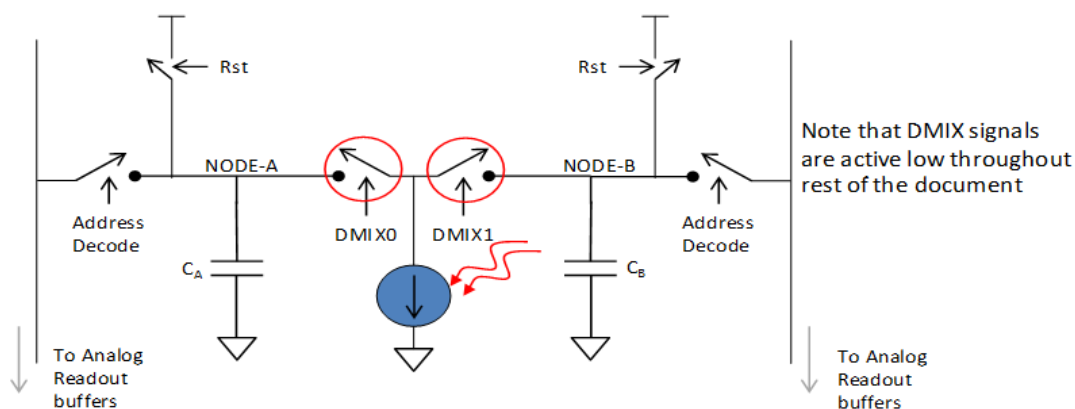


图 9: CAPD 像素等效电路



## 2.2 测量时序

如上说明的 4 个阶段形成一个主要的时序成为一个“quad”。在每个 quad 里，调制信号的相位延时对应于发射光的相位。从一个 quad 到下一 quad，顺序延时  $2\pi k/N$ ，这里  $k = 0..N-1$  和  $N$  是多少相。大部分 TOF 使用 4 相方法，也就是  $N=4$ （每顺序延时 90 度），这样数字运算较容易。TI 最多可支持 6 相（ $N=6$ ）。

一帧 frame 包含若干个 microframe，每个 microframe 由 4 个 quad 组成，每个 quad 由 4 个阶段构成，而 Integration 集成阶段又由上千个调制周期组成。

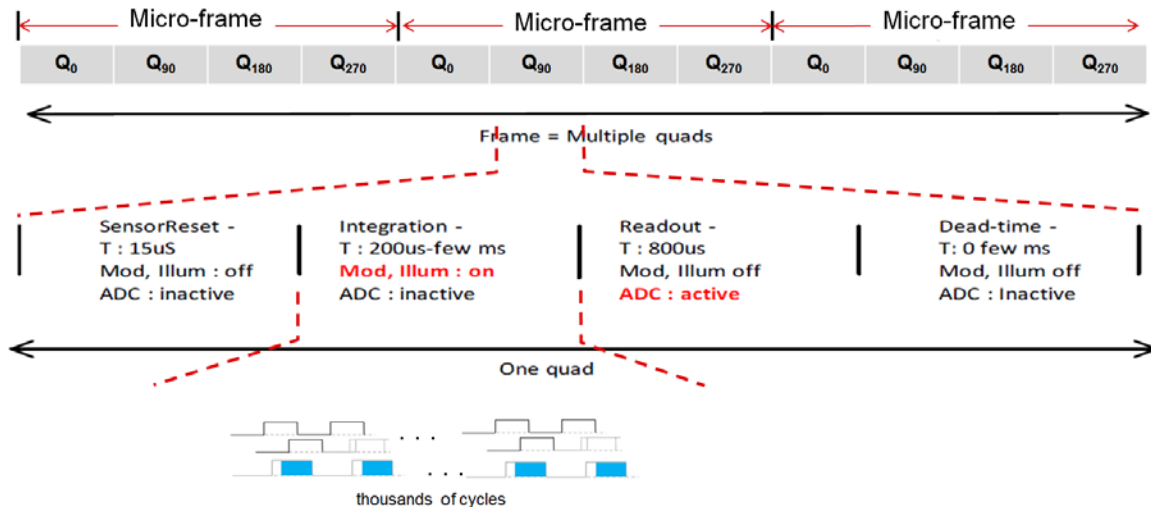


图 10: 测量时序

## 2.3 TI 第二代 3D ToF-- Tintin 套片方案

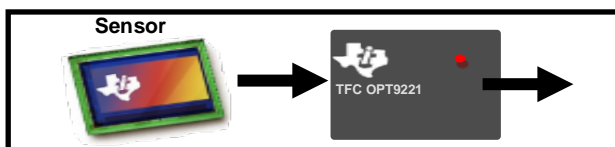
TI 第二代 3D ToF 方案—Tintin 双芯片由传感器芯片 OPT8241（包含模拟前端）和控制处理器芯片 OPT9221 组成，如下主要功能。

### OPT8241

- QVGA 分辨率: 320x240
- 1/3" 光学尺寸
- 最高 120fps 帧率
- 集成功能
  - Global Reset
  - Global Shutter
  - Dynamic Region of Interest
  - Dynamic Illumination control
- 8.75 mm x 7.85mm 光学 BGA-78 封装
  - 自带红外滤波(820nm to 865nm)
- 工作温度: 0°C to +70°C

### OPT9221

- QVGA TOF 控制器+相位处理器
- 输出接口: DVP (CMOS Parallel) or SSI
- I2C Slave 控制接口
- 景深输出数据:
  - 12-bit Phase
  - 12-bit Confidence (Signal Strength)
  - 4-bit Ambient
- 集成功能:
  - 像素饱和检测
  - 相位去混叠
  - 景深校正
- 封装: 9-mm x 9-mm BGA-256
- 工作温度: 0°C to +85°C



3D ToF 三维场景距离（景深）测量系统简介



系统框图如图 11。OPT8241 是分辨率为 QVGA 320x240 的光传感器，控制光源发射和反射光接受和处理。OPT9221 是 ToF 控制器，负责整个系统时序和控制，并把原始数字相位信息处理并输出景深数据，需外配 DDR 内存。光源（LED 或者 Laser）发热较大，需要 TMP103 温度传感器监测温度给 OPT9221 以作系统温度校正。除了电子元器件，还需要接收反射光的透镜，调整镜头焦距来决定测量目标的远近。

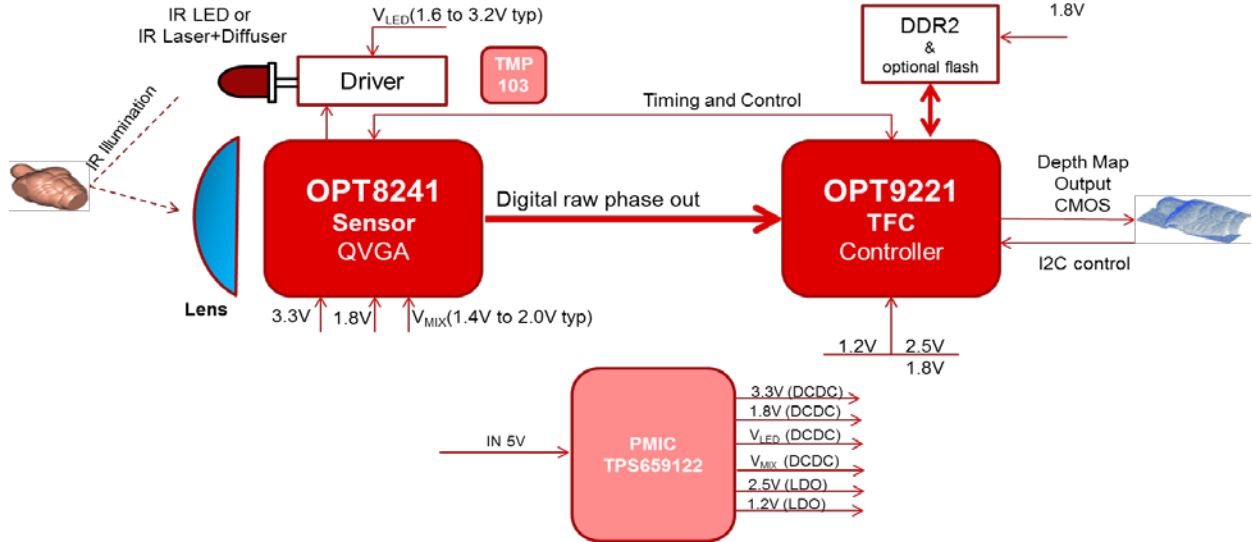


图 11: Tintin 套片解决方案

## 2.4 ToF 数据输出格式

OPT9221 的景深数据输出格式根据寄存器设置可以提供 2 种选择——

一种是 4 字节模式（默认）：

包含 12bits 的反射光亮度 Amplitude (C)、4bits 的环境光 Ambient (A)、12bits 的相位 Phase (P) 和 4bits 的标志位 Flags (F)。如下图 12。Ambient 和 Amplitude 组成 16 位 word，Ambient 为 MSB。Flag 和 Phase 组成 16 位 word，Flag 为 MSB。

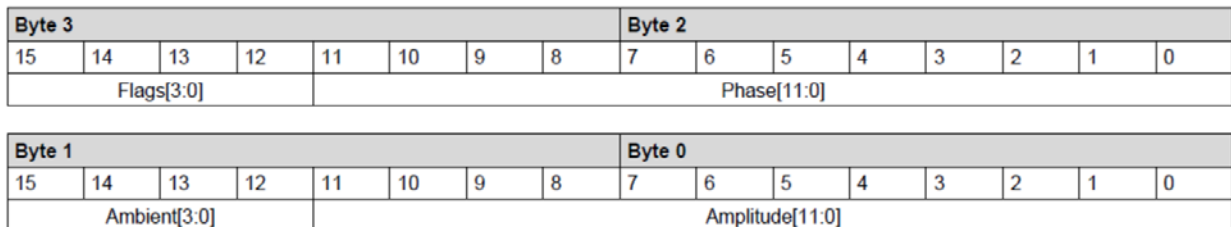


图 12: 4 字节模式

该模式有 2 种组合， 邻近组合及每 8 个分组（默认）， 如下图 13。

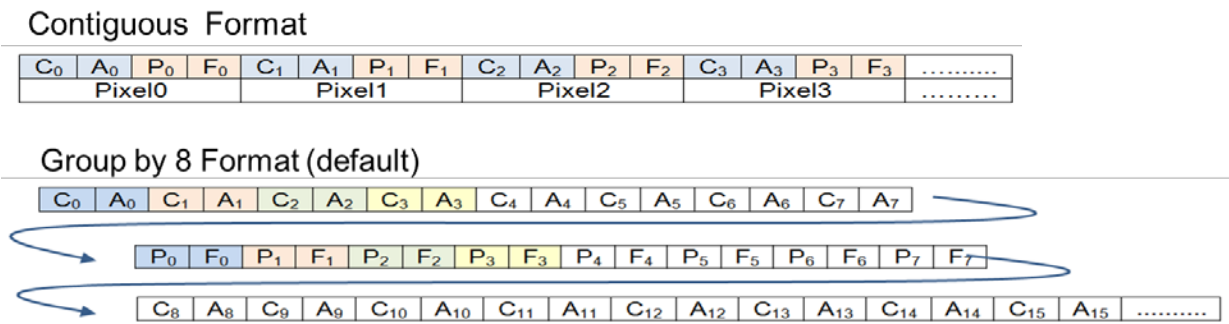


图 13: 邻近组合及每 8 个分组

另一种是 2 字节模式:

包含 4bits 的反射光亮度 (C) 和 12bits 的相位 (P)。如下图 14。Amplitude 和 Phase 组成 16 位 word，Amplitude 为 MSB。

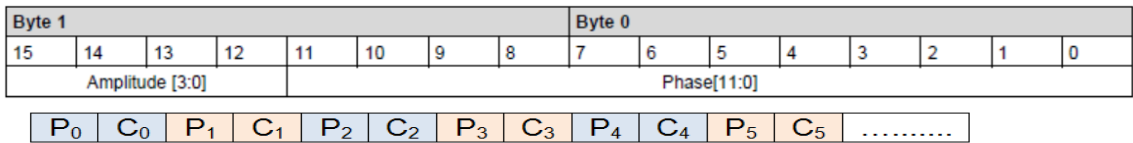


图 14: 2 字节模式

2.5 OPT9221 数据输出接口模式

OPT9221 数据输出支持如下几种模式—

**8 通道的 DVP 模式:** DVP 模式输出一行行的阵列数据。一帧标志位 VD 和一行标志位 HD 用来指示帧和行的边界。数据输出从 LSD 开始。时序如下图 15:

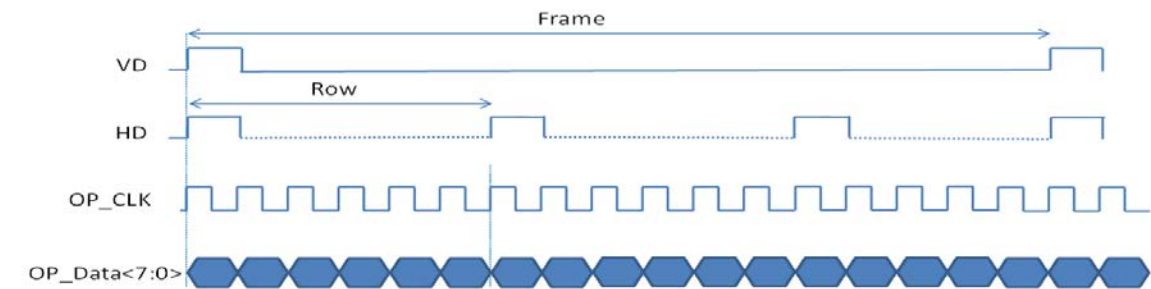


图 15: 8 通道 DVP 时序

**8 通道通用并口模式：**除了 DVP 功能外，增加 FE 信号标记最后一个字节传输完成，如下图 16。

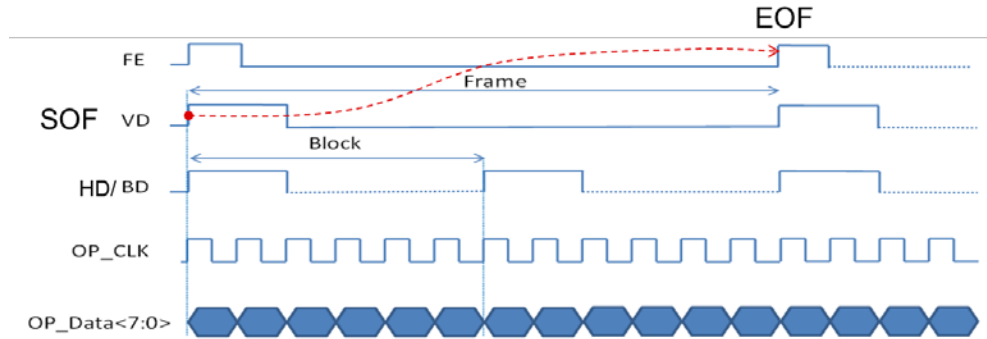


图 16: 8 通道通用并口时序

**4 通道 SSI 同步串口模式：**如下图 17 时序和数据串行逻辑。CS 片选信号，极性可设置。数据按串行逻辑打散分别从 4 通道同步输出每个字节，每个字节从 LSB 开始。另外有 4 个字节的 0xFF 会插入到每一帧开始用来指示帧的起始。

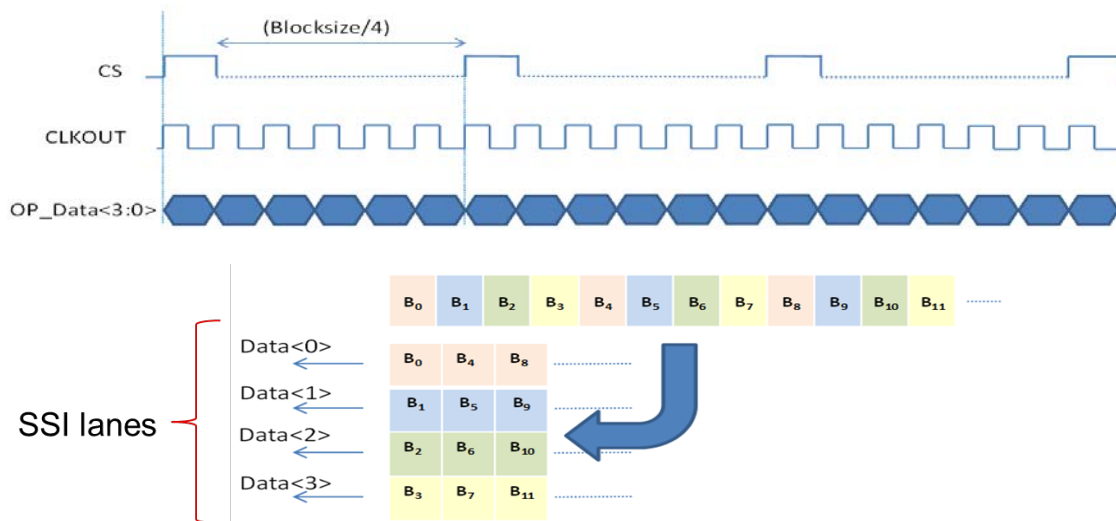


图 17: 4 通道 SSI 时序

**单通道 SSI 同步串口模式：**如下图 18 时序和串行逻辑。CS 片选，数据按每字节串行输出到单通道 Data[0]，每字节从 LSD 开始。另外有 4 个字节的 0xFF 会插入到每一帧开始用来指示帧的起始。

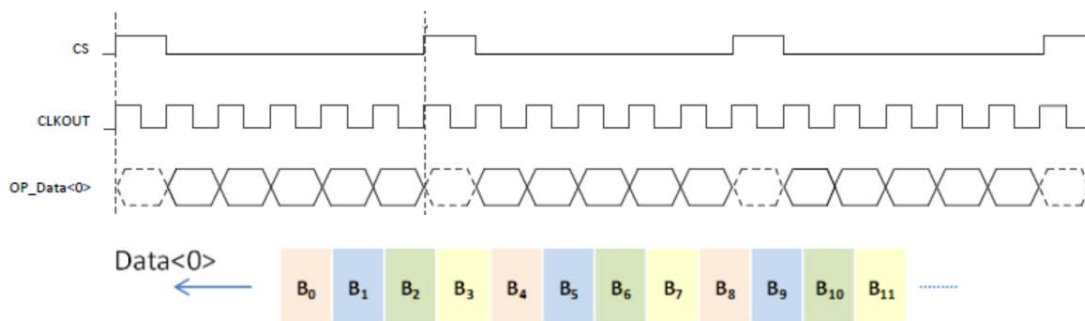


图 18: 单通道 SSI 时序

## 2.6 光学知识简介-- FOV、F 值和 COC

接收反射光透镜由镜头和额外滤光组成（若需要的话，传感器本身已有滤光）。镜头有 FOV、F 值和 COC 等参数。

当设计 ToF 系统时，FOV 是首先选择的参数之一。一个典型的视角 FOV 如下图所示。需要根据实际应用覆盖范围来选择合适的视角 FOV。例如，对于短距离的笔记本电脑手势识别应用，由于待测目标离相机较近，所以一个宽广的视角更合适。再例如，电视的手势识别应用，由于相距较远，一个稍窄的视角会更合适。

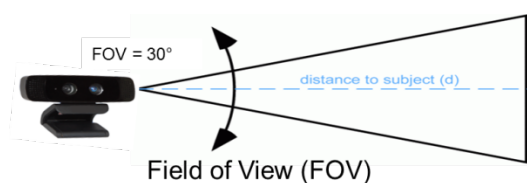


图 19 视角 FOV

F 值，也就是光圈值，决定了光线透过镜头进入传感器的光量。F 值如下公式： $F = \frac{f}{D}$ 。

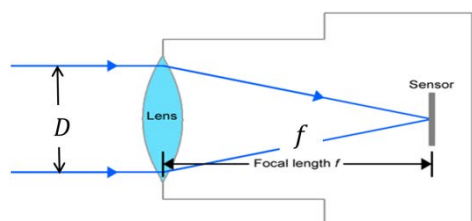


图 20 光圈值 F

COC, Circle of Confusion 模糊圈,由不准确对焦造成，如下图所示。

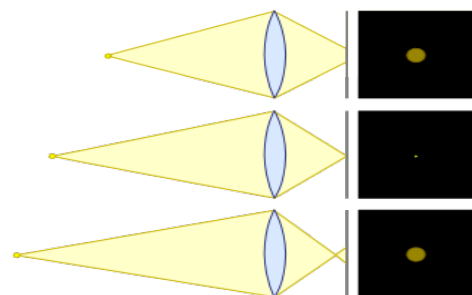


图 21 模糊圈 COC

### 3 3D ToF 的典型应用

3D ToF 广泛用于各种应用，如下一些典型例子：

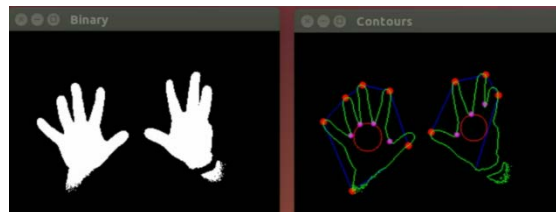
机器人避障和自动导航：



三维扫描：



手势识别：



人数统计：



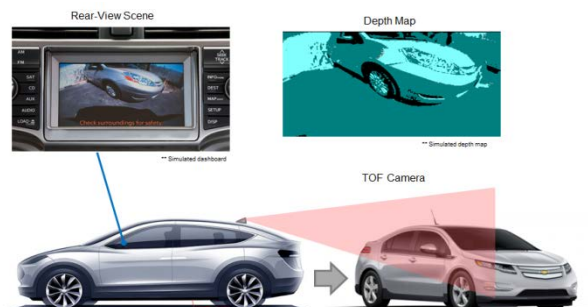
安全监控（脸部立体识别、防尾随）：



互动购物体验：



自动驾驶：



VR 人机互动



图 22 典型应用

## 4 总结

本文详细介绍3D ToF工作原理和TI 第二代Tintin解决方案。比较于超声波测距方案对反射物体要求比较高，面积小的物体，如线、锥形物体就基本测不到，而3D TOF测距完全可克服此问题，同时测距精度高，测距远，响应快。比较于视觉处理算法方案，3D ToF软件复杂程度及对处理器要求大大降低，也不依赖环境光及没有特征场景（如纯色面），同时测量精度和响应时间都更高。

当然也要看到3D ToF也会受环境的影响，比如在强太阳光下、大雾环境下、被测物体是透明玻璃，红外光的背景噪音太大、反射光太弱、直接透过等问题。同时受限红外光源发射功率及相关安全规范，3D ToF测量距离也有限制。因此3D ToF可根据实际应用场景与其它方案搭配应用，互补各自缺点。

## 5 参考文献

1. E. Charbon, M. Fisburn, R. Walker, R. Henderson, C. Niclass, SPAD-Based Sensors.
2. D. Van Nieuwenhove, W. Van der Tempel, R. Grrotjans, M. Kuijk, "Time-of-flight Optical Ranging Sensor based on a Current Assisted Photonic Demodulator", Proceedings Symposium, IEEE/LEOS Benelux Chapter, 2006, Eindhoven.
3. SoftKinetic DepthSense™ sensors, <http://www.softkinetic.com/en-us/products/depthsensesensors.aspx>.
4. M. Hansard, S. Lee, O. Choi, R. Horaud, "Time-of-Flight Cameras: Principles, Methods and Applications", Springer Brief in Computer Science, 2012.
5. A.P.P Jongenelen, D. G. Bailey, A.D. Payne, A.A. Dorrington, D.A. Carnegie, Analysis of Errors in ToF Range Imaging with Dual-Frequency Modulation, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vo. 60, No. 5, May 2011, SSN0018-9456.
6. Intro to TOF system design(SBAU219D).
7. Time-of-Flight Camera – An Introduction sloa190b(SLOA190B).
8. OPT8241,OPT9221 datasheet.



## IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, modifications, enhancements, improvements, and other changes to its products and services at any time and to discontinue any product or service without notice. Customers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All products are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its hardware products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by government requirements, testing of all parameters of each product is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. Customers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with customer products and applications, customers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any TI patent right, copyright, mask work right, or other TI intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license from TI to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of TI information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. Reproduction of this information with alteration is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for such altered documentation. Information of third parties may be subject to additional restrictions.

Resale of TI products or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that product or service voids all express and any implied warranties for the associated TI product or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

TI products are not authorized for use in safety-critical applications (such as life support) where a failure of the TI product would reasonably be expected to cause severe personal injury or death, unless officers of the parties have executed an agreement specifically governing such use. Buyers represent that they have all necessary expertise in the safety and regulatory ramifications of their applications, and acknowledge and agree that they are solely responsible for all legal, regulatory and safety-related requirements concerning their products and any use of TI products in such safety-critical applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by TI. Further, Buyers must fully indemnify TI and its representatives against any damages arising out of the use of TI products in such safety-critical applications.

TI products are neither designed nor intended for use in military/aerospace applications or environments unless the TI products are specifically designated by TI as military-grade or "enhanced plastic." Only products designated by TI as military-grade meet military specifications. Buyers acknowledge and agree that any such use of TI products which TI has not designated as military-grade is solely at the Buyer's risk, and that they are solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

TI products are neither designed nor intended for use in automotive applications or environments unless the specific TI products are designated by TI as compliant with ISO/TS 16949 requirements. Buyers acknowledge and agree that, if they use any non-designated products in automotive applications, TI will not be responsible for any failure to meet such requirements.

Following are URLs where you can obtain information on other Texas Instruments products and application solutions:

### Products

Motor [www.ti.com/motor](http://www.ti.com/motor)  
 Audio [www.ti.com/audio](http://www.ti.com/audio)  
 Amplifiers [amplifier.ti.com](http://amplifier.ti.com)  
 Data Converters [dataconverter.ti.com](http://dataconverter.ti.com)  
 DLP® Products [www.dlp.com](http://www.dlp.com)  
 DSP [dsp.ti.com](http://dsp.ti.com)  
 Clocks and Timers [www.ti.com/clocks](http://www.ti.com/clocks)  
 Interface [interface.ti.com](http://interface.ti.com)  
 Logic [logic.ti.com](http://logic.ti.com)  
 Power Mgmt [power.ti.com](http://power.ti.com)  
 Microcontrollers [microcontroller.ti.com](http://microcontroller.ti.com)  
 RFID [www.ti-rfid.com](http://www.ti-rfid.com)  
 OMAP Mobile Processors [www.ti.com/omap](http://www.ti.com/omap)  
 Wireless Connectivity [www.ti.com/wirelessconnectivity](http://www.ti.com/wirelessconnectivity)

### Applications

Motor Drive & Control [www.ti.com/motor](http://www.ti.com/motor)  
 Automotive and Transportation [www.ti.com/automotive](http://www.ti.com/automotive)  
 Communications and Telecom [www.ti.com/communications](http://www.ti.com/communications)  
 Computers and Peripherals [www.ti.com/computers](http://www.ti.com/computers)  
 Consumer Electronics [www.ti.com/consumer-apps](http://www.ti.com/consumer-apps)  
 Energy and Lighting [www.ti.com/energy](http://www.ti.com/energy)  
 Industrial [www.ti.com/industrial](http://www.ti.com/industrial)  
 Medical [www.ti.com/medical](http://www.ti.com/medical)  
 Security [www.ti.com/security](http://www.ti.com/security)  
 Space, Avionics and Defense [www.ti.com/space-avionics-defense](http://www.ti.com/space-avionics-defense)  
 Video and Imaging [www.ti.com/video](http://www.ti.com/video)

### TI E2E Community Home Page

德州仪器在线技术支持社

[e2e.ti.com](http://e2e.ti.com)

[www.deyesupport.com](http://www.deyesupport.com)

Mailing Address: 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 © 2012, Texas Instruments Incorporated



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

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