

## **MSP430 电容触摸转轮和 LED PWM 输出设计**

---

徐康程

MCU SAE TEAM CHINA

### **摘要**

本应用文档介绍了使用 MSP430 微控制器实现电容触摸转轮和多路独立 LED 的 PWM 软件驱动技术。方案通过 4 路 I/O 端口实现电容触摸转轮控制，I/O 端口配合三极管驱动 LED，实现 LED 呼吸、轨迹灯等效果。本方案为需要电容触摸转轮控制和 LED 跟踪显示等绚丽灯效的产品提供了有效的低成本方案。

## 目录

简介 .....	3
<b>1. 电容触摸转轮实现方案 .....</b>	<b>3</b>
1.1 电容触摸实现原理 .....	3
1.2 转轮算法 .....	4
<b>2. LED PWM 驱动方案实现 .....</b>	<b>6</b>
<b>3. 设计实例 .....</b>	<b>6</b>
3.1 电路设计 .....	7
3.2 代码设计 .....	8
3.2.1 LED 驱动 .....	8
3.2.2 转轮 .....	10
<b>4. 总结 .....</b>	<b>11</b>
参考文档 .....	11
图 1 PIN RO 原理图 .....	4
图 2 转轮电极设计 .....	4
图 3 手指触摸时不同电极上测量到的信号值 .....	5
图 4 实例演示图 .....	6
图 5 MCU 电路 .....	7
图 6 LED 驱动电路 .....	8
图 7 TIMERB 流程图 .....	9
图 8 TIMERA0 流程图 .....	9

## 简介

电容触摸技术作为一种实用、时尚的人机交互方式，已经被广泛的应用到各种电子产品，小到电灯开关，大到平板电脑、触摸桌等。随之而来的是考验产品设计者如何发挥智慧，在把产品用户界面设计得方便简洁的同时，又能呈现产品绚丽的外观，从而带来良好的用户体验。

LED 显示由于界面友好，可以实时反映触摸的位置信息，在电容触摸产品设计中得到广泛应用。本设计正是利用了大量的 LED 来实现呼吸灯、轨迹灯的特效，可以为例如灯光、音量、温度等带有调节功能的产品提供设计参考。

德州仪器的 MSP430 系列单片机以低功耗和外设模块的丰富性而著称，而针对电容触摸应用，MSP430 的 PIN RO 电容触摸检测方式支持 IO 口直接连接检测电极，不需要任何外围器件，极大的简化了电路设计，而本设计文档中使用的 MSP430G2XX5 更支持多达 32 个 IO 口，可驱动 24 个以上的 LED 灯，达到理想的显示效果。

## 1. 电容触摸转轮实现方案

MSP430 电容触摸转轮方案通过 4 个 IO 口完成 4 个通道的电容检测，配合特殊的电极图形，就可实现转轮的设计。

### 1.1 电容触摸实现原理

MSP430 根据型号的不同支持多种电容触摸检测方式，有 RC 震荡、比较器、PIN RO，本设计使用的是 PIN Relaxation Oscillator 方式，原理如图 1，芯片管脚内部检测电路由施密特触发器、反向器，以及一个电阻组成，震荡信号经过施密特触发器变成脉冲信号，再通过反向器反馈回 RC 电路，通过 Timer\_A 对施密特触发器的输出进行记数，再通过设置测量窗口 Gate 获得记数的结果。当手指触摸电极，电极上的 C 产生变化，导致震荡频率改变，这样在定长的测量窗口就能获得不同的记数结果，一旦差值超过门限，结合一定的滤波算法判断就可以触发触摸事件。

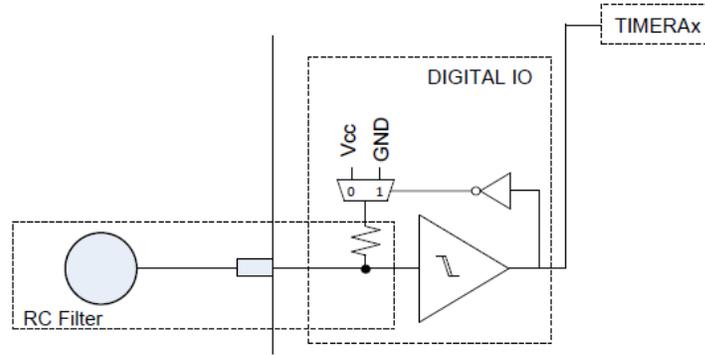


图 1 PIN RO 原理图

## 1.2 转轮算法

将 4 个按键电极按照图 2 锯齿状交叉就形成了一个转轮的电极，转轮的大小根据产品设计的需要可进行适当的缩放，图 2 的图形设计适合 30mm 左右直径的转轮。

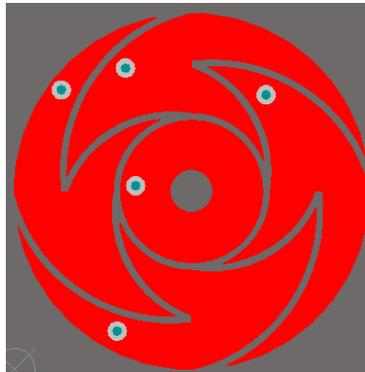


图 2 转轮电极设计

当用户在转轮上操作的时候，在手指对应位置的电极会获得最高的信号值，手指临近的通道会有相对高的信号值，离手指最远的通道检测到的信号值最小，如图 3 所示：

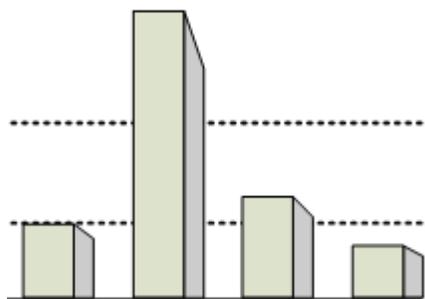


图 3 手指触摸时不同电极上测量到的信号值

这时可以利用不同通道上信号值的不同计算出手指在转轮或滑条上的位置。位置计算步骤如下：

- a. 用排序方法找出 4 个电极中信号最大的电极

```
index = Dominant_Element(groupOfElements, &measCnt[0]);
```

- b. 将找到的这个电极的信号加上相邻电极的信号

```
position = measCnt[index] + measCnt[index+1] + measCnt[index-1];
```

相加后的结果如果大于门限，就认为有触摸事件产生，继续后续的位置计算。把前后信号相加的原因是手指在操作的过程中有可能处于两个电极中间，这样两个电极上得到的信号都不会很高，需要把信号相加才可以与门限做比较。

- c. 计算位置坐标时先根据筛选出的 index 值得到一个大约的位置，再根据 index 的相邻电极信号强度进行修正，得到最后的坐标值

```
position = index*(groupOfElements->points/groupOfElements->numElements);
```

```
position += (groupOfElements->points/groupOfElements->numElements)/2;
```

```
position += (measCnt[index+1]*(groupOfElements->points/groupOfElements->numElements))/100;
```

```
position -= (measCnt[index-1]*(groupOfElements->points/groupOfElements->numElements))/100;
```

- d. 针对 index 为 0 或者 3 的情况代码需要另外处理，不过计算方法和上述是一致的。

这里转轮的分辨率，即转轮一圈分为多少个段是根据 points 设定的，假设用户只需要区分 24 个位置，就可以设 points 为 24，当然也可以设为 64，128，甚至更高，这取决于转轮的大小，电极图形的设计以及电极的多少，例如需要类似 1024 这种高精度，需要增加电极数从 4 个到 8 个或者更多。

## 2. LED PWM 驱动方案实现

要实现 LED 呼吸的效果，就要求 LED 进行 PWM 调光，而要实现轨迹灯的效果，每一路 LED 必须是独立的 PWM 控制。

本应用由于使用了 24 个 LED 灯，需要 24 路的 PWM 输出控制，MSP430G2955 有 32 个 IO 口，通过 IO 口配合 TIMER 定时器，足够支持 24 路的软件 PWM 输出。

## 3. 设计实例

本实例采用德州仪器 MSP430G2955，通过 6 个 IO 完成电容触摸检测，24 个 IO 驱动 24 路 LED，并预留了通讯口。设计实例如图 4



图 4 实例演示图

### 3.1 电路设计

原理图设计如图 4，MCU 通过一个 5V 转 3.3V 的 LDO 给 VCC 供电，使用 LDO 的目的是为了保证电源的稳定，让触摸电路在检测信号时不会因为电源的噪声产生过大的信号偏差。

电极上串的电阻作为 ESD 保护器件，如果在产品结构设计合理的情况下可以省去。

电路中预留了 UART 口与主控系统通讯。

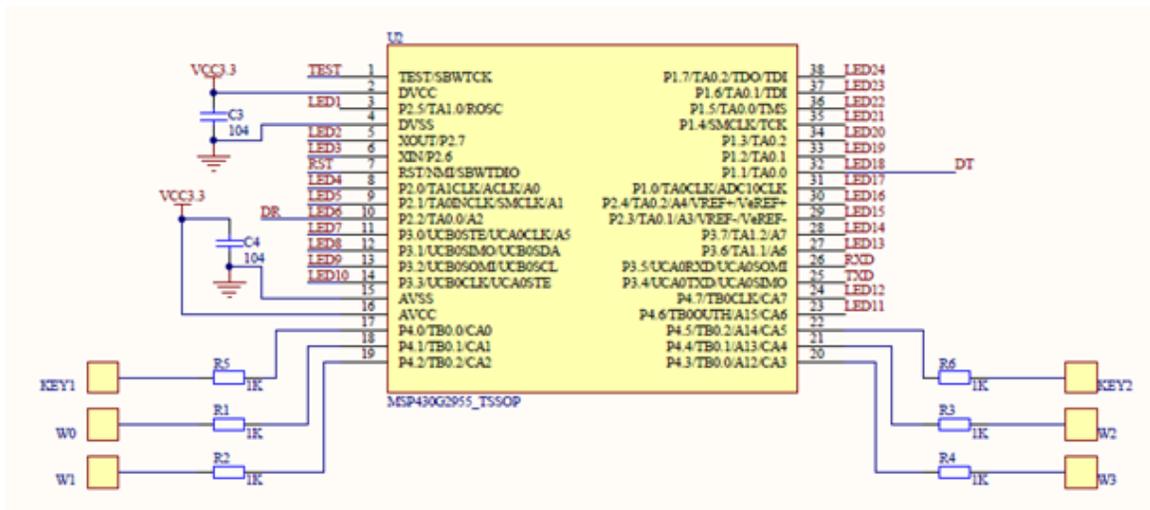
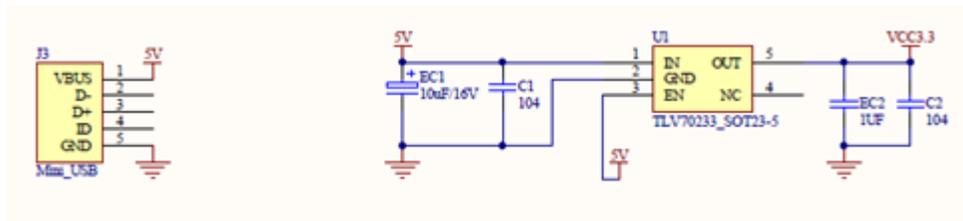


图 5 MCU 电路

LED 驱动部分电路如图 5，由于每一个 LED 的电流在 10mA 左右，24 个 LED 如果同时亮就有 240mA，无法通过 MCU IO 口直接驱动，在每个 LED 上加一个三极管以及限流电阻，实现 24 路 LED 的控制。

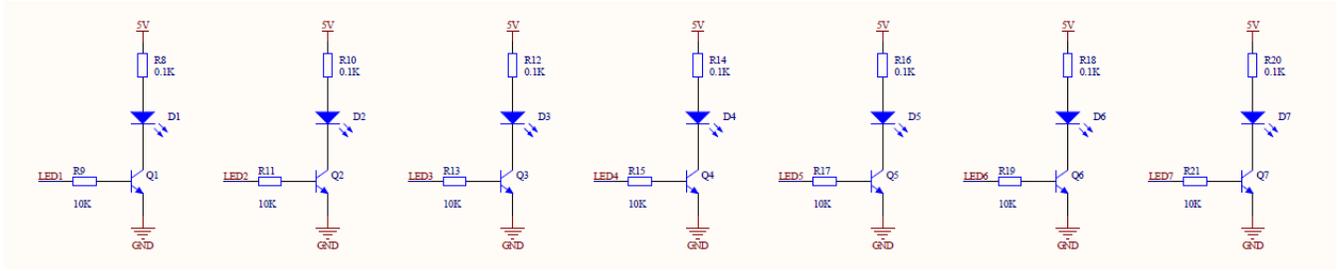


图 6 LED 驱动电路

## 3.2 代码设计

### 3.2.1 LED 驱动

在编写代码控制 LED 点亮时序前，先定义好 PWM 输出相关的规格：

- PWM 输出占空比设置为 50%。
- 频率为 5K Hz，亮度的等级分为 24 级，0 级的时候关闭 LED，23 的时候最亮。
- 使用 2 个 TIMER 进行 PWM 输出的控制
- TIMERA0 中断频率为  $24 \times 5K \text{ Hz} = 120K \text{ Hz}$ 。
- TIMERB 中断间隔设为 10ms，在 TIMERB 中进行 LED 亮度等级的改变

通过两个 TIMER 的中断配合，就可以完成 24 路独立 PWM 输出的控制。当有触摸事件产生时，根据触摸位置对对应的 LED 进行亮度等级赋值，然后在 TIMERB 的中断中让亮度等级慢慢减少至零，这样就可以实现手指离开电极后，对应 LED 慢慢变暗的效果。

在两个 TIMER 中断里的程序流程图如下图 7 和图 8

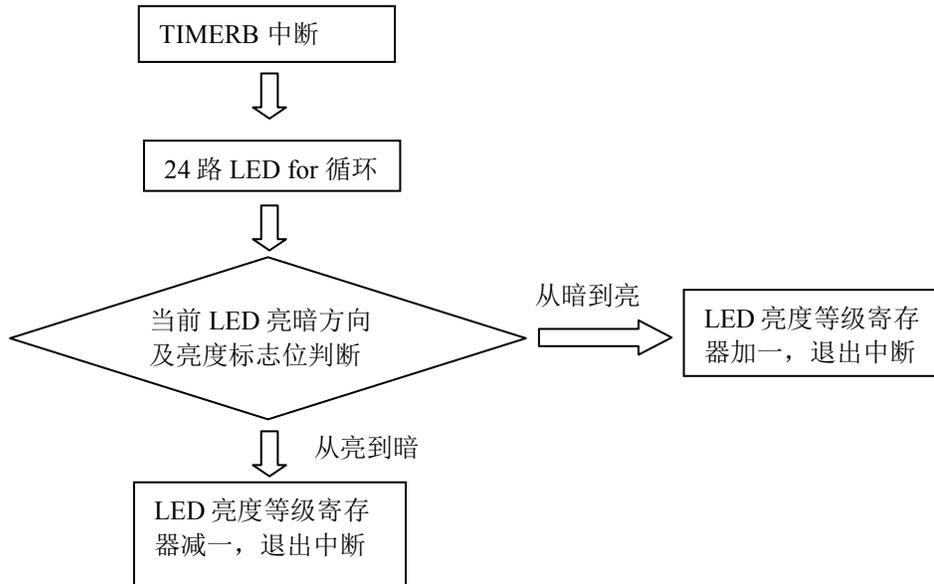


图 7 TIMERB 流程图

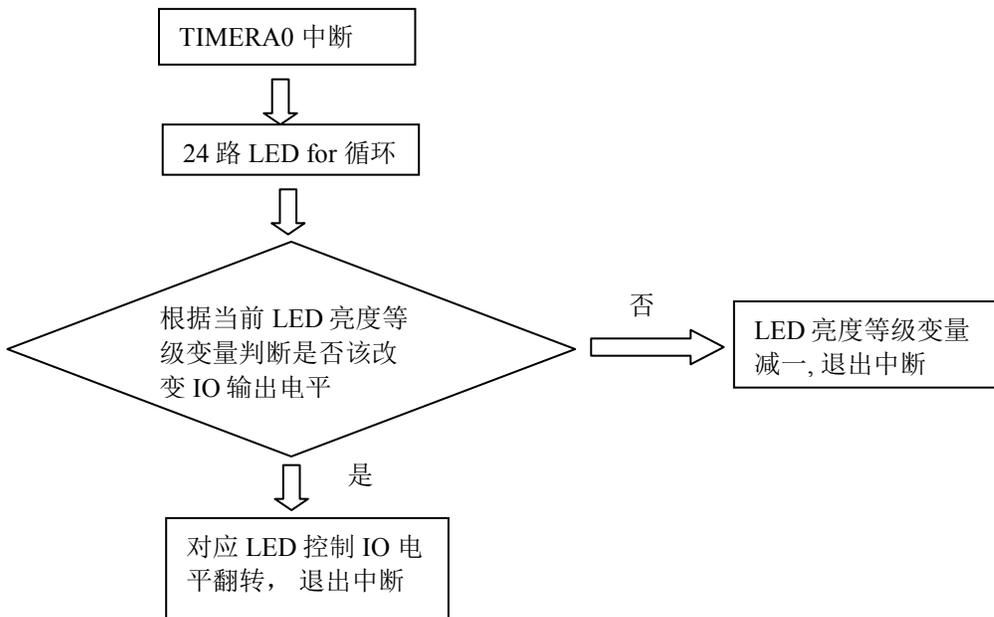


图 8 TIMERA0 流程图

### 3.2.2 转轮

德州仪器的电容触摸软件库支持电容按键的信号检测以及转轮坐标的计算，通过软件库相关参数的配置以及函数的调用就可以得到当前触摸事件的位置值，可以参考德州仪器的触摸按键软件库 ([www.ti.com/capacitivetouch](http://www.ti.com/capacitivetouch)) 获得详细介绍。

当用户在转轮上做滑动操作，LED 的轨迹显示应该是 N 个灯同时被点亮，手指所在位置的灯最亮，之前滑过的轨迹上的灯一个比一个暗，N 的数值由操作者滑动的速度决定，如果滑的速度够快，24 个 LED 灯会同时被点亮，只是亮度不同。

在滑动很快的操作时会带来一个问题，电容按键扫描的周期跟不上滑动的速度，导致坐标的变化不是连续的，结果就是 LED 的轨迹不连贯，在连续的 N 个 LED 中有部分没有被点亮。为了解决这个问题需要在转轮坐标计算后加入一个插值算法，在用户操作过快的时候对被漏掉的坐标进行补值，使得 LED 的轨迹连续。

插值的方法可以通过当前位置和上一次位置的比较，决定是否要进行插值，这里需要设置一个插值门限 `InterpolationThreshold`，当位置跳动距离超过门限就不进行插值，反正误操作产生。

```
if((WheelPosition-LastPosition)< InterpolationThreshold)
{
    for (j=1;j<=(WheelPosition-LastPosition+1);j++)
    {
        SetLightLevel(LastPosition+j);
    }
}
```

除此之外，还需要对两个特殊情况做处理，及正向和反向滑动操作经过转轮坐标 0 点。

## 4. 总结

本文介绍了使用 MSP430G 系列单芯片实现电容触摸转轮和 24 路独立 PWM 输出 LED 控制方案，在一些需要低成本的产品设计，又要对多种 LED 特效控制的场合，有很大的使用价值。

## 参考文档

1. *MSP430x2xx Family User's Guide (SLAU144H)*
2. *MSP430\_SLAS800\_G2x55*
3. *Capacitive Touch Software Library Programmer's Guide (Rev. A) (s1aa490a)*

## 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	<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.cn/omap">www.ti.com.cn/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>

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