

# 高分辨率触觉体验：不一样的感觉！

作者：ShreHarsha Rao,

德州仪器 (TI) 触觉技术产品线经理

尽管大多数智能手机和平板电脑用户都已经体验过触觉技术，但是触觉学这个术语本身却很少为消费者所了解。就其基本定义而言，“触觉学”是指触觉反馈科学。触觉技术最为基本的应用形式是，手机通过振动提示用户来电或者收件箱有一条新的短信。在这些情况下，手机利用触觉技术，引起用户的请注意。

约有三分之一的智能手机都使用了触觉反馈技术，其实现的功能已不仅仅只是振动提醒。一个常见例子是，当使用手机编写电子邮件或者发短信时，用户会感受到细微的振动反馈。成功按下某个按键后，手机就会振动确认一次。在使用触觉反馈的情况下，用户很少会出现的输入错误，并且操作体验也更满意。

## 利用触觉技术增强用户体验

越来越多的移动设备，例如：手机和平板电脑等，都在使用触摸功能。触摸界面是如此的简单和直观，以至于三岁小孩也会解锁智能手机，然后点击YouTube图标查看视频播放列表。但是，触摸屏存在一个严重的局限性：因为没有物理或者机械反馈，无法实现用户互动或者提醒。设计优秀的触觉反馈功能，可以极大增强触摸式移动设备的整体用户体验。

触觉技术的应用远不止用户提醒或者按键确认那么简单。标准的手势操作，例如：滑动解锁、手指缩放图片以及上下拖动翻页等，都可以拥有属于自己的触觉/感知特性。当用户将图片放至最大尺寸观看时，触觉反馈强度也会增加。快速滚动操作时，触觉反馈也会更快。如果这种情景敏感型反馈同声音反馈相结合，所得到的用户体验会令人高度满意，也更加直观。

另外，触觉反馈还带来了另一种乐趣。许多人都使用移动设备玩游戏。触觉反馈技术可以极大地改善游戏体验。例如，在第一人称射击游戏中，游戏主角可以真实地感受到武器射

击带来的震撼。用户可以在赛车游戏中感觉到车载的碰撞和颠簸，在流行的“愤怒的小鸟”游戏中感受释放弹弓绳时的弹力，在演奏游戏中真实感受吉他琴弦或者钢琴键等等，诸如此类。游戏开发者的想象力将创造出无限的体验可能性！

## 惯性触觉传动器 (ERM/LRA)

手机中的标准触觉反馈功能，通过一个被称作偏心旋转质量传动器 (ERM) 的小型马达来实现。该马达受到电压驱动开始旋转，用户便可感觉到振动。触觉反馈驱动器芯片以差动方式驱动马达，因此马达在正电压起作用时旋转，而在反极性即负电压起作用时停止。用于振动提醒时，这种方法十分有效。但是，当把ERM用于其他触觉反馈应用时，例如：游戏等，设备电池电量迅速下降。

ERM存在惯性，需要过驱动才能更快速地旋转。启动时间是指马达达到90%额定加速度所需的时间，其范围通常为50到100 ms。马达制动或者停止的时间范围类似。触发一个非常简单的触觉反馈事件（例如：点击），耗时约100到200 ms。如果应用要求重复触觉反馈事件，则马达型触觉反馈的延迟便不那么理想。

ERM的另一个方面是旋转马达产生的嗡嗡声，即人耳可以听见的噪声。如果触觉反馈与声音反馈结合使用，可以部分缓解这个问题。但是，在安静的会议室里，如果有人发短信，则所有人都能听到这种噪声。另外，ERM的触觉反馈效果会因用户操作而变得不明显。振动频率和振幅，与单控制电压有关。

另一种惯性传动器即线性共振传动器 (LRA)，用于一些智能手机中，实现触觉反馈和振动提醒。相比ERM，LRA的机械结构不同。它包含一个安装在弹簧上的质量块，以线性运动方式振动。LRA必须在窄共振频率下受到驱动。另外，它的启动时间稍好于ERM。

根据不同的制造厂商，启动时间范围为40到60 ms（图1），相比ERM的启动时间（50到100ms）要好一些。通过对共振载波振幅进行调制，可以产生各种不同的触觉反馈效果。

**高分辨率触觉反馈**

高清 (HD) 电视比标清电视的分辨率更高，因此能够提供更加锐丽和清晰的画面。同样，相比惯性传动器的嗡嗡振动，高分辨率触觉反馈也可以让用户感受到更明显的振动效果。压电 (piezo) 或者陶瓷式触觉反馈传动器用于实现 HD 触觉反馈，提供与ERM/LRA不一样的美好体验。

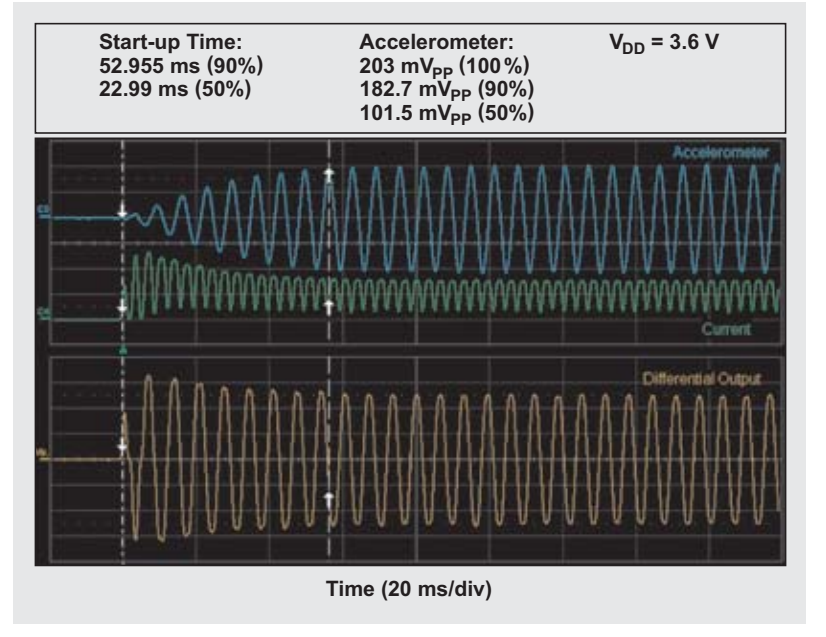
**压电式传动器**

当在压电式传动器两端施加差动电压时，它会弯曲变形，从而产生振动。压电式传动器需要高压才能变形。根据不同的制造厂商，电压可以为50到150V<sub>pp</sub>。电压更高时，要求压电层数减少；因此，电压为150V<sub>pp</sub>时，压电式传动器约有4层，而电压为50V<sub>pp</sub>时，则可能有16到24层。更高电压时，由于层数减少，压电式传动器的电容更小。换句话说，驱动低电容触觉反馈传动器所需的电流更小。

压电传动器使用圆盘或者矩形条的形式，也被称作弯曲器。压电盘垂直变形，可用于Z轴振动。压电弯曲器可直接安装在一块“漂浮”式触摸屏上，以实现屏幕振动（图2a）。压电弯曲器还可以贴装到一个小型模块中，而该模块又可以安装到设备

图 1 LRA 的典型启动时间为 40 到 60ms

ns



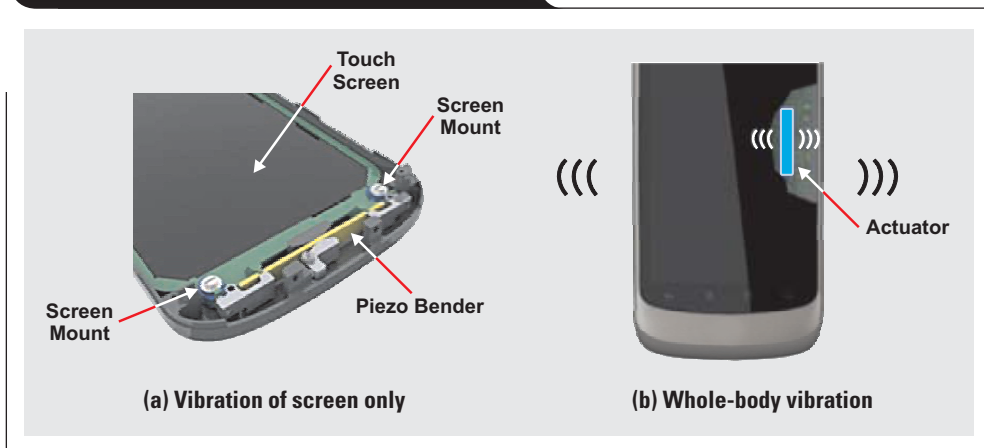
的外壳或者PCB上，从而实现整个设备振动（图2b）。压电模块之所以流行，是因为它的机械集成很简单。

**是什么让压电式传动器拥有高分辨率？**

四大因素让压电式传动器区别于惯性传动器：

- 1、启动更快：由于其固有机械属性，压电式传动器的启动时间非常短——一般小于15ms，比ERM快3到4倍。相比ERM，总体

图 2 压电式传动器的形状系数



触觉反馈事件持续时间缩短70ms。图3对此进行了详细的描述。

- 2、**带宽更高**：压电式传动器的更高带宽（参见图4），可提供更细腻的触觉反馈组合，实现更多的效果。
- 3、**噪声更低**：与ERM不同，压电式传动器没有旋转质量产生的机械噪声。

- 4、**振动更强**：压电式模块可产生更高的振动强度。图5显示了一个市售压电式模块的加速特性，而图6显示了一个市售LRA的加速特性。我们可以看到，相比LRA低于1.5G<sub>pp</sub>的峰值到峰值加速度，压电式传动器产生了3G<sub>pp</sub>的峰值到峰值加速度。这种更高的振动强度意味着，压电式模块是大屏幕智能手机和平板电脑的理想选择。

图 3 压电式模块的典型启动时间为~14 ms

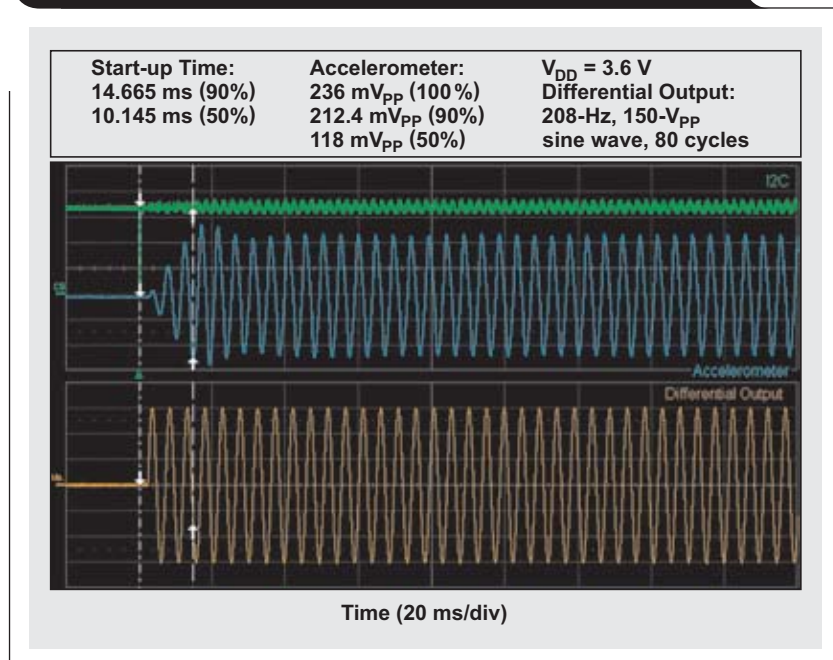
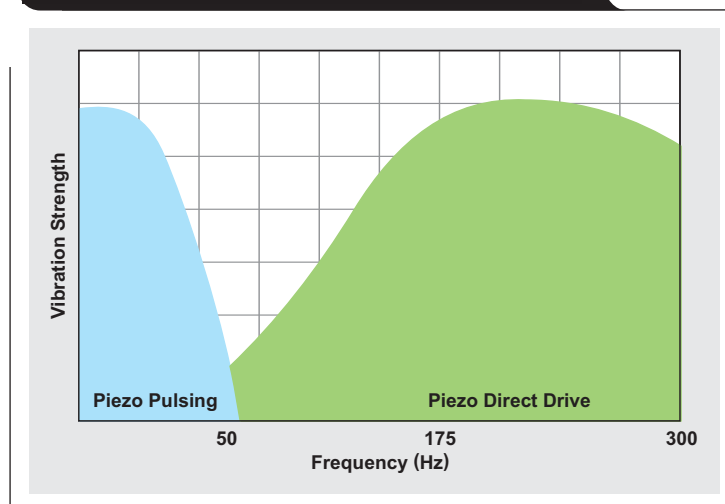


图 4 压电式传动器（理想模块）的带宽更高



### 压电式传动器的电流消耗

尽管压电式传动器所需电压高于标准惯性传动器，但是实际电流消耗却低于ERM，大小与LRA一样（参见表1）。

### 结论

相比惯性传动器，压电式传动器拥有较大的性能和成本优势。它具有更短的启动时间，帮助键盘应用程序实现强烈而轻快的点击确认。它的高带宽优点，可帮助用户更易感知的触觉效果，这一点对游戏应用至关重要。压电式传动器具有更强的振动，可以为一些大尺寸消费类设备（例如：平板电脑和电子阅读器等）带来触觉反馈功能。总之，压电式触觉反馈技术拥有许多引人注目的特性，可以增强触觉反馈体验，帮助提高移动设备的整体用户体验。

TI 同时供应模拟输入（DRV8662）和数字输入（DRV2665）压电式触觉反馈驱动器，其可以与市场上的各种压电式传动器一起使用。另外，TI还提供一些让广大设计人员“耳目一新”的演示。

### 相关网站

- [www.ti.com/haptics-ca](http://www.ti.com/haptics-ca)
- [www.ti.com/product/DRV2665](http://www.ti.com/product/DRV2665)
- [www.ti.com/product/DRV8662](http://www.ti.com/product/DRV8662)

图 5 压电式模块的加速特性

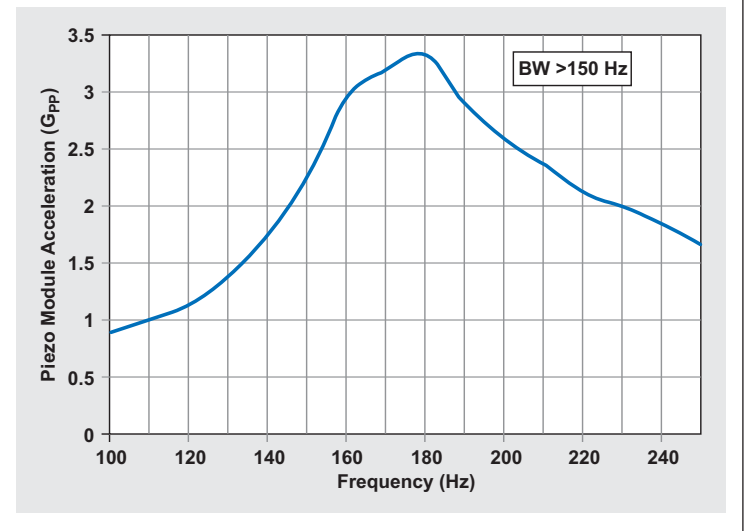


图 6 LRA 的加速特性

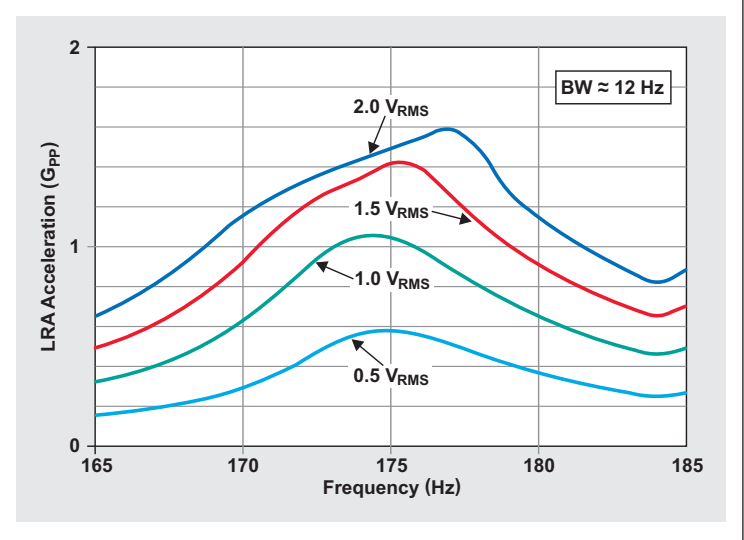


表 1 触觉反馈传动器的功耗

USAGE	PIEZO ACTUATOR (mAh)	LRA (mAh)	ERM (mAh)
Per 25 phone calls	2.685	1.497	3.540
Per 50 text messages	25.660	11.869	27.480
Per 4 hours of e-mail access	28.076	12.150	29.078
Crossword game (60 min)	1.094	0.487	1.150
DoodleJump game (30 min)	6.270	3.975	8.170
Shooting game (30 min)	24.976	37.777	61.558
Total power	88.761	67.755	130.975
Discharge percentage of 1200-mAh battery	7.4%	5.6%	10.9%

## 重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权在不事先通知的情况下, 随时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, 并有权随时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 保证其所销售的硬件产品的性能符合TI 标准保修的适用规范。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。除非政府做出了硬性规定, 否则没有必要对每种产品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 产品或服务的组合设备、机器、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, 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。在复制信息的过程中对内容的篡改属于非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任。

在转售TI 产品或服务时, 如果存在对产品或服务参数的虚假陈述, 则会失去相关TI 产品或服务的明示或暗示授权, 且这是非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类虚假陈述不承担任何责任。

TI 产品未获得用于关键的安全应用中的授权, 例如生命支持应用(在该类应用中一旦TI 产品故障将预计造成重大的人员伤亡), 除非各方官员已经达成了专门管控此类使用的协议。购买者的购买行为即表示, 他们具备有关其应用安全以及规章衍生所需的所有专业技术和知识, 并且认可和同意, 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在关键安全应用中使用其产品及TI 产品所需的所有法律、法规和安全相关要求。此外, 购买者必须全额赔偿因在此类关键安全应用中使用TI 产品而对TI 及其代表造成的损失。

TI 产品并非设计或专门用于军事/航空应用, 以及环境方面的产品, 除非TI 特别注明该产品属于“军用”或“增强型塑料”产品。只有TI 指定的军用产品才满足军用规格。购买者认可并同意, 对TI 未指定军用的产品进行军事方面的应用, 风险由购买者单独承担, 并且独力负责在此类相关使用中满足所有法律和法规要求。

TI 产品并非设计或专门用于汽车应用以及环境方面的产品, 除非TI 特别注明该产品符合ISO/TS 16949 要求。购买者认可并同意, 如果他们在汽车应用中使用任何未被指定的产品, TI 对未能满足应用所需要求不承担任何责任。

可访问以下URL 地址以获取有关其它TI 产品和应用解决方案的信息:

	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/consumer-apps">www.ti.com/consumer-apps</a>
DLP® 产品	<a href="http://www.dlp.com">www.dlp.com</a>	能源	<a href="http://www.ti.com/energy">www.ti.com/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 机动性处理器	<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>

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 © 2012 德州仪器 半导体技术 (上海) 有限公司