

DP83640

*Application Note 1728 IEEE 1588 Precision Time Protocol Time
Synchronization Performance*



Literature Number: ZHCA332

IEEE 1588精密时间协议的时间同步性能

美国国家半导体公司
应用注释1728
Alexander E Tan
2007年10月



1.0 引言

IEEE 1588精密时间协议（PTP）的目的是在以太网中保持不同结点之间的时间同步。在工厂自动化、测试和测量以及通信中的大量应用要求非常精密的时间同步。这通常会超出标准软件解决方案所能提供的范围。精确的PHYTER解决方案可以提供特别严格的时间同步，满足这些应用的需求，并能很容易地添加到现有的产品中。

这个应用注释介绍了精密PHYTER的详细的的时间同步性能。提供这些同步结果的直方图和示波器图说明了在主时钟和从时钟之间的关系。

本应用注释可适用于产品 DP83640

2.0 背景介绍

网络时间协议（NTP）已是以太网时间同步的传统方法。NTP允许时间同步达到100毫秒。需要采用IEEE 1588精密时间协议（PTP）来实现更严格的控制。应用软件PTP在单个链路同步中可达到100毫秒以内。如图1所示，需要硬件协助来实现纳秒级的时间同步性能。

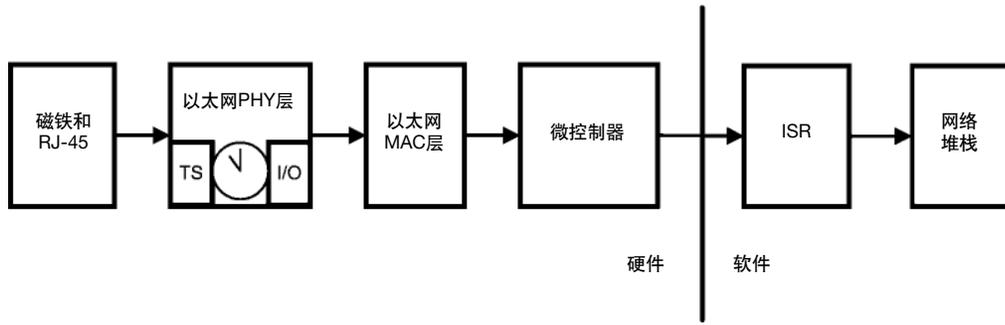
标准以太网	软件 IEEE 1588	硬件辅助 IEEE1588	
NTP	1588 PTP	1588 PTP	
TCP/IP/UDP		TCP/IP/UDP	
标准 MAC		标准MAC	
		定制FPGA或者微控制器	
标准 PHY	PHYTER	带硬件 IEEE1588 时间标记的精密 PHYTER + 时钟 + GPIO	
100 ms	100 μ s - 10 μ s	100 ns - 50 ns	5 ns
人工控制		过程控制	动作控制
			精密控制

30039502

图 1. 实现方案的选择以获得更优异的时间同步

在线路上接收PTP包之后并对它们进行处理的每一种器件会增加同步误差。由于处理器负载和与处理中断有关的时延都会影响处理同步请求的速度，因而大多数误差是由软件增加的。幸运的是，仅有某些PTP操作是时序攸关的。时序要求最严格的PTP操作是记录PTP包的时间标记，调节和维持同步本地时钟，以及使用同步I/O端口。如图2所示，

在以太网物理层（PHY）中放置这些器件，一旦线路上有PTP包，即为DP83640精密PHYTER所读取。因此，精密PHYTER是实现时间同步少于10纳秒的关键器件。一个额外优点是，仅需替换以太网物理层并增加IEEE 1588 PTP软件，便可将这种解决方案加到现有的产品设计中，从而避免转换到新的处理器系列或开发辅助FPGA的复杂过程。



30039503

图2. 精密PHYTER IEEE 1588时间同步的优点

3.0 测试时间同步的理论

很难评估系统能够达到的时间同步水平，因为不止一种方法来测试时间同步的质量。因为每种方法都提供了不同的信息，并具有不同的考虑，本应用注释提供了在不同测试条件下采集的同步数据。共有三种方法来测试时间同步：软件测试，秒脉冲信号比较和输出时钟比较。

软件测试依赖PTP堆栈报告的结果显示时间同步的质量。这意味着软件结果同PTP算法本身一样会受到相同的约束。PTP算法的主要限制在于它不能纠正发送路径和接收路径长度的差别。分析软件结果时还需考虑的是，总是在时间同步之前得到报告的误差。因为过程报告的是两个时钟之间的漂移产生的误差，软件误差表达的是平均时间同步的最差情况。

分析时间同步的最通用的方法是观察秒脉冲信号（PPS）。在每秒跳变处传送的脉冲产生秒脉冲信号。对于许多较早的系统而言，秒脉冲信号是唯一测量时间同步成功的方法。这种测量主要的缺点是它会有效地采样每秒的误差。因为在第二次转换和时钟同步更新之间不一定相关，很难得到可靠的结果。采用秒脉冲测量的其它问题是秒脉冲信号一般从数字输出中产生，会对同步结果增添额外的误差。附加的误差仅会影响数字输入和输出，而不是同步时钟本身，因此不会包括在同步测量中。

测试时钟同步的最精确的方法是，同时设置主时钟和从时钟在已知频率点产生一个时钟输出，然后比较这两路时钟信号。这在每秒中提供了很多次误差，从而提供了更为精确的时间同步。额外的优点是，可通过模拟输出来控制时钟输出，而不会增添额外的同步误差。

4.0 软件报告的同步测试结果

4.1 软件报告的测试设置

软件测试设置依靠一张FPGA卡仿真以太网MAC层将控制软件与以太网物理层硬件相接口。软件通过一根USB接线连到MAC仿真器。MAC产生PTP包和物理层控制，并送至以太网物理层。PTP协议的软件部分由计算机处理，同时PTP协议的硬件部分放在物理层电路板上的DP83640中。设置如图3所示。

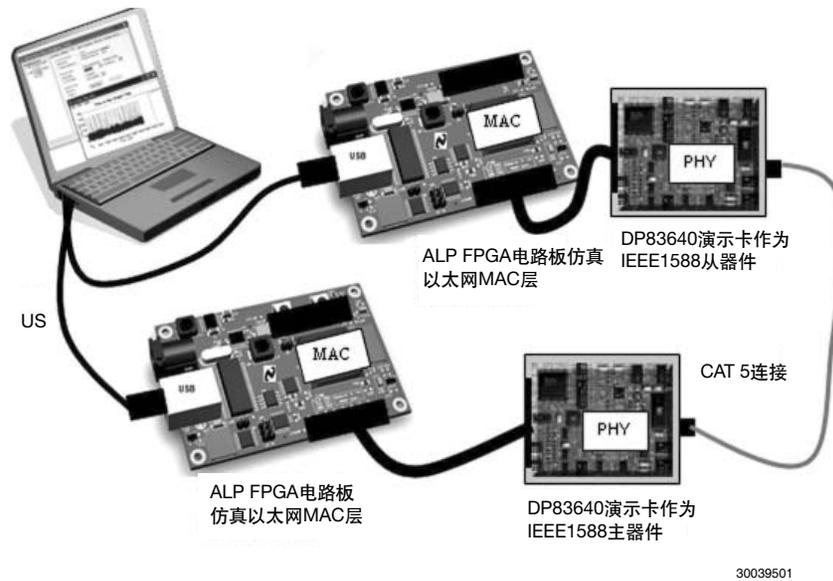


图 3. 软件同步测试的设置

4.2 软件报告测试条件

下表总结了软件测试设置的条件。

表1. 测试条件

工作电压	3.3 V
温度	25 °C
基准频率源	板载25 MHz 晶振
IEEE 1588 PTP 同步间隔	1秒

4.3 软件报告的测试结果

表 2. 采用 IEEE 1588 PTP同步主时钟

	平均值	标准偏差	样值数目
软件报告的测试结果	1.59 ns	6.5 ns	500个样值

图4说明了当采用IEEE 1588 PTP协议进行时间同步时，软件报告的主结点和从结点之间时钟同步误差的典型实例。中间的曲线说明了两个时钟之间的平均失调。顶部和底部曲线表示了平均失调附近的标准偏差。变化的曲线表示对本地从时钟进行每个同步调节之前计算得到的瞬间失调。在图4中，从平均失调的稳定性和精确性，以及每个同步周期的瞬态失调循迹中可很容易观察到PTP同步算法的效果。

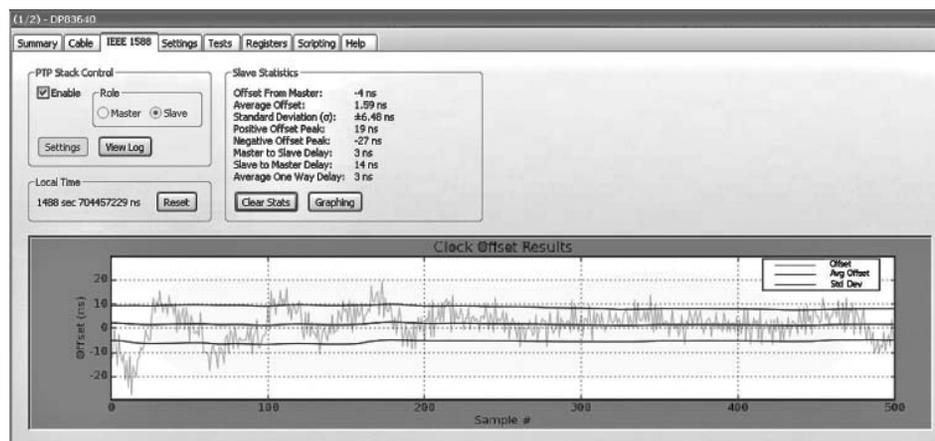


图 4. 采用IEEE 1588随主时钟的同步 – 软件测试的结果

5.0 秒脉冲 (PPS) 同步测试的结果

信号，可实现测试秒脉冲信号的时间同步。测试设置如下图5所示。

5.1 秒脉冲测试的设置

采用Tektronix TDS784C示波器分析主从器件的秒脉冲

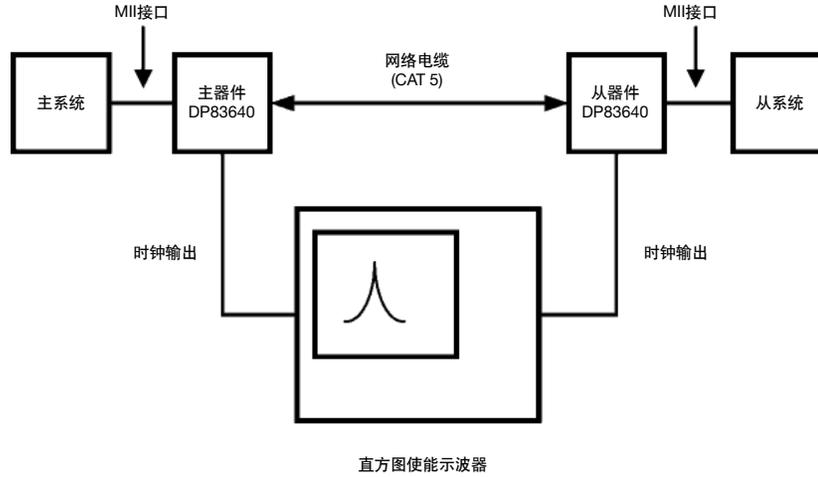


图 5. 秒脉冲的输出同步测试的设置

5.2 秒脉冲测试的条件

下表总结了秒脉冲测试设置的条件。

表 3. 测试条件

工作电压	3.3 V
温度	25 °C
基准频率源	板载25 MHz 晶振
IEEE 1588 PTP 同步间隔	1秒

5.3 秒脉冲测试结果

表4. 采用 IEEE 1588 PTP随主时钟同步

	平均值	标准偏差	样值数目
秒脉冲 同步	-869 ps	7.87 ns	1000个样值

图6说明了当采用IEEE 1588 PTP协议进行时间同步时，主结点和从结点的时钟输出信号之间时间差的典型直方图。在图6中，时钟至时钟的同步在7.9纳秒的标准偏差内，均方差仅为-869皮秒。这种性能说明，其相比于其它商用的时间同步器件具有明显的优势。

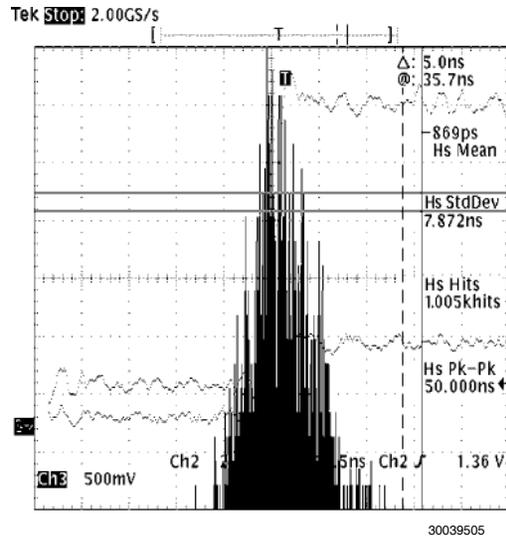
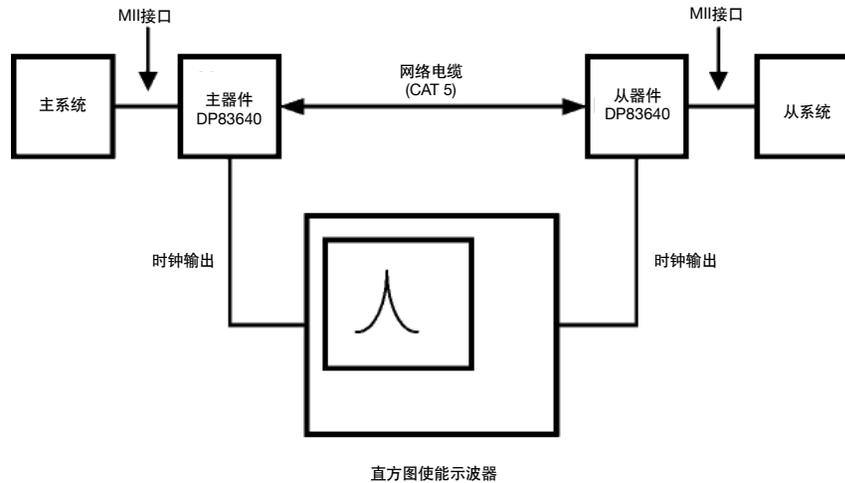


图 6. 采用 IEEE 1588随主时钟同步- 秒脉冲抖动的直方图

6.0 时钟同步测试的结果

6.1 时钟测试的设置

通过分析Tektronix TDS784C示波器主从器件的时钟输出信号，实现了秒脉冲信号的时间同步测试。为了进行测试，设置两种器件都输出一个10 MHz时钟信号。在以下的图7中说明了测试设置。



30039508

图7. 时钟输出同步测试的设置

6.2 时钟测试的条件

下表总结了时钟同步测试设置的条件。

表 5. 测试条件

工作电压	3.3 V
温度	25 °C
基准频率源	板载25 MHz晶振
时钟输出频率	10 MHz
IEEE 1588 PTP 同步间隔	1秒

6.3 时钟测试结果

表6. 采用IEEE 1588 PTP随主时钟同步

	平均值	1- σ 标准偏差	样值数目
秒脉冲同步	-226 ps	2.655 ns	1100个样值

下图8说明了当采用IEEE 1588 PTP协议进行时间同步时，主结点和从结点的时钟输出信号之间时间差的典型直方图。在图8中，时钟至时钟的同步在2.7纳秒标准偏差内，均方差仅为-226皮秒。这种同步的水平能很容易地支持要求非常苛刻的应用。

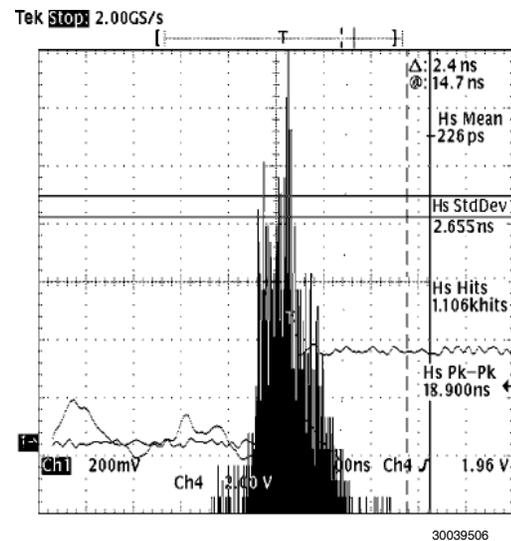


图 8. 采用IEEE 1588随主时钟同步 - 时钟输出抖动直方图

了解主从时钟输出之间关系的其它方法是在时序上观察两个时钟的输出。相同测试设置得到的下列示波图显示出这种关系。将示波器设定为无限持续，显示出从信号的峰峰值抖动。在顶部显示主时钟输出，在底部显示从时钟输出。正如图9所示，两个时钟都是相位和频率校准的。在右上角观察到峰峰值同步抖动为11 ns增量测试值。这个示波器捕捉图象显示了，采用IEEE 1588 PTP和精密PHYTER解决方案的两路时钟能实现显著的稳定性和时间同步性能。

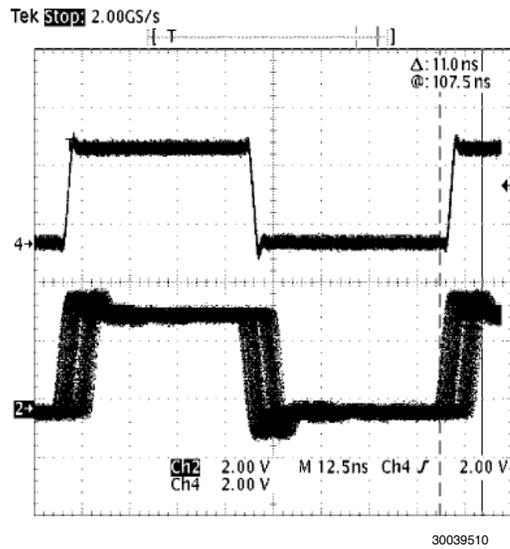


图9. 采用IEEE 1588随主时钟同步 - 时钟输出信号

7.0 总结

时间同步以太网的许多应用都要求使用比仅用软件实现时间同步协议更精确的同步要求。美国国家半导体的DP83640精密PHYTER可提供一种简单的实现方法，将高精度时间同步添加到以太网应用中。所提供的测试结果清楚地表明了，精密PHYTER解决方案能提供非常精确和准确的时间同步，达到在单个链路上低于10个纳秒的标准偏差。这种精度使硬件工程师能为有严格时间同步需求的任何应用开发一种性能非常强大，基于以太网的解决方案。由软件分析，秒脉冲信号分析和同步时钟输出分析的结果极好地说明了DP83640器件的能力可以支持应用开发和系统设计。

注释

注释

对于上述任何电路的使用，美国国家半导体公司不承担任何责任且不默示任何电路专利许可。美国国家半导体公司保留随时更改上述电路和规格的权利，恕不另行通知。
想了解最新的产品信息，请访问我们的网址：www.national.com。

生命支持策略

未经美国国家半导体公司的总裁和首席律师的明确书面审批，不得将美国国家半导体公司的产品作为生命支持设备或系统中的关键部件使用。特此说明：

1. 生命支持设备/系统指：(a) 打算通过外科手术移植到体内的生命支持设备或系统；(b) 支持或维持生命，依照使用说明书正确使用时，有理由认为其失效会造成用户严重伤害。
2. 关键部件是在生命支持设备或系统中，有理由认为其失效会造成生命支持设备/系统失效，或影响生命支持设备/系统的安全性或效力的任何部件。

禁用物质合规

美国国家半导体公司制造的产品和使用的包装材料符合《消费产品管理规范（CSP-9-111C2）》以及《相关禁用物质和材料规范（CSP-9-111S2）》的条款，不包含CSP-9-111S2限定的任何“禁用物质”。
无铅产品符合RoHS指令。



National Semiconductor
Americas Customer
Support Center
Email: new.feedback@nsc.com
Tel: 1-800-272-9959

National Semiconductor
Europe Customer Support Center
Fax: +49 (0) 180-530 85 86
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor
Asia Pacific Customer
Support Center
Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor
Japan Customer Support Center
Fax: 81-3-5639-7507
Email: jpn.feedback@nsc.com
Tel: 81-3-5639-7560

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	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 机动性处理器	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

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 © 2011 德州仪器 半导体技术(上海)有限公司