

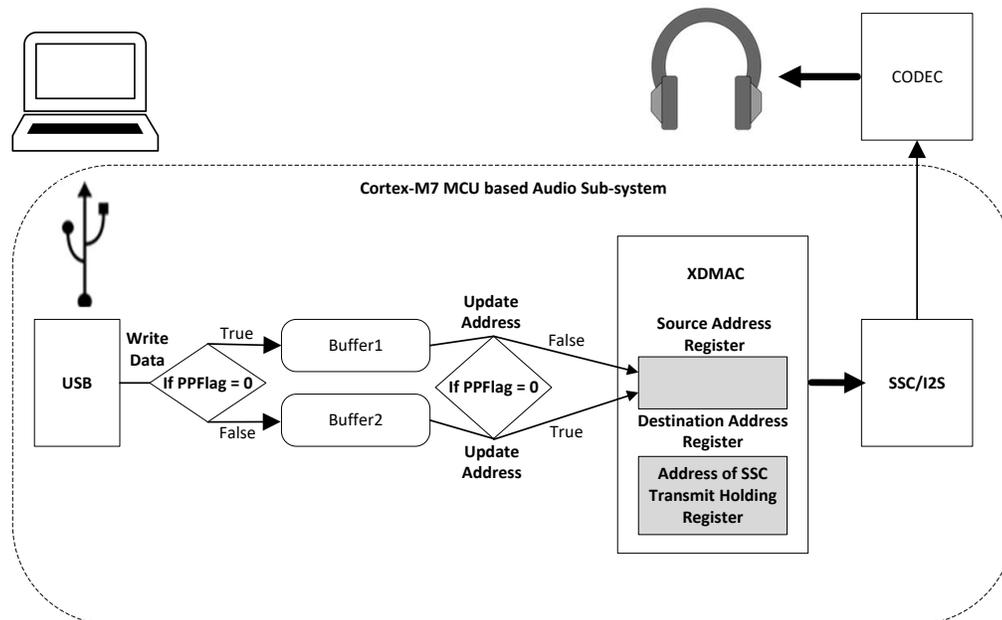
如何使用 Cortex®-M7 单片机中的 XDMAC 功能在音频应用中实现“乒乓”缓冲法

简介

音频系统应用可能会产生与实时系统相关的典型生产者-消费者问题。时序约束包括延迟时间、采样率、采样周期和实时响应。为了解决音频时间难题，应用通常使用“乒乓”（Ping-Pong）数据缓冲法。“乒乓”法使用两个缓冲区：一个缓冲区从源读取数据，另一个缓冲区将数据提交到目标。提交到目标后，两个缓冲区的角色互换。“乒乓”法通过修改指向缓冲区的索引（指针）来实现。

下图显示的是一个典型 USB 音频耳机应用的实现方式，其中 PC（用作 USB 主机）将音频数据流式传输到基于 Cortex®-M7 单片机（MCU）的音频子系统。该应用使用来自 USB 的流式音频数据更新缓冲区 1。XDMAC 将缓冲区 1 的地址配置为源地址并将 SSC 发送寄存器（SSC_THR）的地址配置为目标地址，以此实现（通过 SSC）将音频数据传输到编解码器。数据传输完成后，XDMAC 将源地址切换到缓冲区 2（将更新为最新的流式音频数据）。缓冲区 2 数据传输完成后，XDMAC 又将源地址切换到缓冲区 1（将更新为最新的流式音频数据）。在将数据从缓冲区发送到编解码器以实现耳机端音频播放时，随着数据在缓冲区中流式传输和更新，XDMAC 会继续执行将源地址从缓冲区 1 切换到缓冲区 2 的过程。

图 1. USB 音频耳机应用



目录

简介.....	1
1. 概念.....	3
2. 解决方案.....	4
3. 相关资源.....	8
Microchip 网站.....	9
变更通知客户服务.....	9
客户支持.....	9
Microchip 器件代码保护功能.....	9
法律声明.....	10
商标.....	10
DNV 认证的质量管理体系.....	11
全球销售及服务网点.....	12

1. 概念

XDMAC 外设通过多块数据传输功能实现“乒乓”缓冲法。在多块数据传输中，每个数据块可以通过不同的配置参数实现传输，例如数据源、目标地址、数据大小和触发源。XDMAC 通过链表支持多块数据传输。必须创建链表描述符才能实现链表功能。

链表描述符包含用于传输存储器块的寄存器设置。使用链表传输数据时，XDMAC 从链表中获取第一个描述符，将寄存器设置复制到通道寄存器，并根据配置设置执行数据传输。完成第一个块传输后，XDMAC 从链表中获取第二个描述符，将寄存器设置复制到通道寄存器，并根据配置设置执行数据传输。该过程会一直持续，直至链表末尾。链表描述符通常存储在内部数据存储器中。

2. 解决方案

要在 USB 音频耳机应用中实现“乒乓”音频数据缓冲处理法，可构建一个由两个“视图 1”类型的描述符组成的 XDMAC 循环链表。“视图 1”类型的描述符有四个成员，如下表所示。

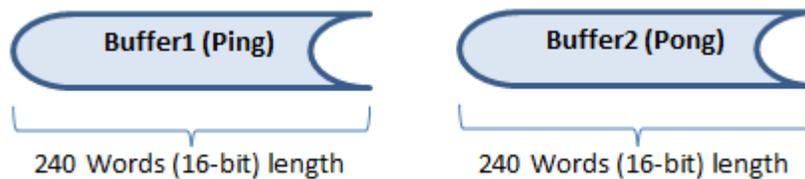
表 2-1. 视图 1 类型的链表描述符

MBR_NDA		下一个描述符地址
MBR_SA		源地址
MBR_DA		目标地址
MBR_UBC (微块控制)	UBLEN	微块中的数据长度
	NDE	下一个描述符使能
	NSEN	下一个描述符源更新
	NDEN	下一个描述符源更新
	NVIEW	下一个描述符视图类型

注：在该应用中，“视图 0”类型的描述符已足以满足要求，但为了展示在一个控制配置项保持不变（禁止 NDEN）的情况下将另一个控制项从一个块转到另一个块的用例，此处仍选择“视图 1”类型的描述符。

下图显示了“乒乓”法实现过程中所用的应用缓冲区。

图 2-1. 乒乓音频数据缓冲区

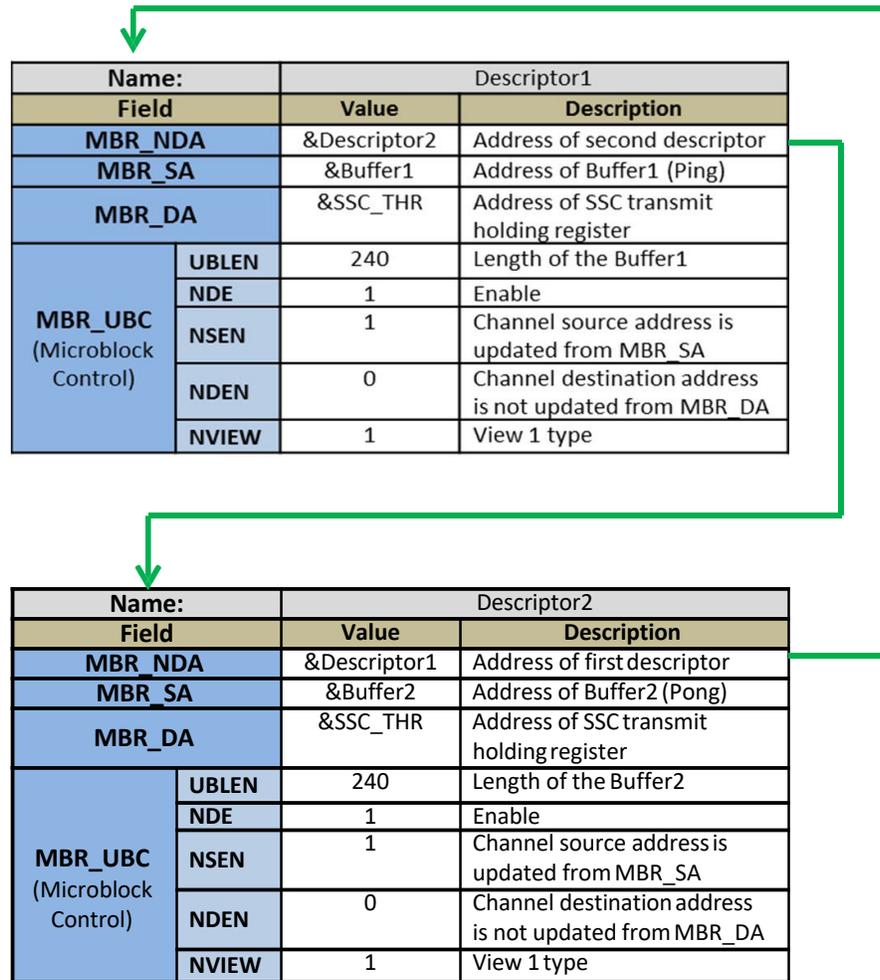


注：XDMAC 和 USB 之间共享以下应用缓冲区：缓冲区 1 和缓冲区 2。

1. 通常，应用通过全局标志（如 PPFlag）维持对这些缓冲区的独占访问，如图 1 所示。
2. 如果 XDMAC 正在发送缓冲区 1 中的数据，则应用需要确保在缓冲区 1 完成之前使用来自 USB 的数据更新缓冲区 2。

下图显示了带有两个描述符的 XDMAC 循环链表，用于实现“乒乓”缓冲。

图 2-2. 循环链表



- 下一个描述符字段（NDA、NDE、NSEN、NDEN 和 NVIEW）控制下一个描述符（而不是当前描述符）的传输行为。
 - 描述符 1 控制第一个描述符完成，第二个描述符传输即将启动时的传输行为
 - 描述符 2 控制第二个描述符完成，第一个描述符传输即将启动时的传输行为
- 上述两个链表描述符中的 NSEN 字段都设置为“1”，以使用 MBR_SA 字段中的值更新通道专用源地址寄存器（XDMAC_CSAx）。这是因为在块传输结束时，XDMAC_CSAx 没有有效地址，无法开始下一事务。MBR_SA 包含缓冲区的地址，即下一个准备传输的缓冲区。
 - 描述符 1 传输结束时，将会更新 XDMAC_CSAx 以包含缓冲区 1（兵）中的缓冲区 2（兵）的地址。
 - 描述符 2 传输结束时，将会更新 XDMAC_CSAx 以包含缓冲区 2（兵）中的缓冲区 1（兵）的地址。
- 上述两个链表描述符中的 NDEN 字段都设置为“0”，以禁止使用 MBR_DA 字段中的值更新通道专用目标地址寄存器（XDMAC_CDAx）。这是因为在块传输结束时，XDMAC_CDAx 仍将拥有有效地址，可以开始下一事务。

- 描述符1 传输结束后，XDMAC_CDAX 将包含 SSC 发送保持寄存器（SSC_THR）的地址，随后不更新。
 - 描述符2 传输结束后，XDMAC_CDAX 将包含 SSC 发送保持寄存器（SSC_THR）的地址，随后不更新。
4. 要启动数据传输，将第一个描述符的值（NDA、NDE、NSEN、NDEN 和 NVIEW）直接写入通道专用的下一个描述符控制（XDMAC_CNDCx）和地址（XDMAC_CNDAx）寄存器，以使能已实现的链表。

下图显示了用于创建循环链表的代码示例。

图 2-3. 创建循环链表

```
typedef struct {
    /** Next Descriptor Address number. */
    uint32_t mbr_nda;
    /** Microblock Control Member. */
    uint32_t mbr_abc;
    /** Source Address Member. */
    uint32_t mbr_sa;
    /** Destination Address Member. */
    uint32_t mbr_da;
} lld_view1;

/** Bits per slot */
#define BITS_BY_SLOT          (16)
/** Total number of buffers */
#define TOTAL_BUFFERS        2
/** Length of a buffer */
#define MAX_DMA_SIZE          240
/** XDMA Descriptor */
static lld_view1 linklist_write[TOTAL_BUFFERS];
/** Audio Buffer */
static uint16_t Buffer[TOTAL_BUFFERS][MAX_DMA_SIZE*(BITS_BY_SLOT / 8)];

for(i = 0; i < TOTAL_BUFFERS; i++)
{
    linklist_write[i].mbr_abc = XDMAC_UBC_NVIEW_NDV1
                               | XDMAC_UBC_NDE_FETCH_EN
                               | XDMAC_UBC_NSEN_UPDATED
                               | XDMAC_UBC_NDEN_UNCHANGED
                               | XDMAC_CUBC_UBLEN(MAX_DMA_SIZE);
    linklist_write[i].mbr_sa = (uint32_t)&Buffer[i];
    linklist_write[i].mbr_da = (uint32_t)&(SSC->SSC_THR);
    if ( i == (TOTAL_BUFFERS - 1) )
    {
        linklist_write[i].mbr_nda = (uint32_t)&linklist_write[0];
    }
    else
    {
        linklist_write[i].mbr_nda = (uint32_t)&linklist_write[i+1];
    }
}
}
```

如前所述初始化链表后，只要使能了相应的 XDMAC 通道，XDMAC 就会根据配置参数将缓冲区 1 的内容放入 SSC 发送寄存器（SSC_THR）。缓冲区 1 传输完成后，XDMAC 将切换到链表中的描述符 2。描述符 2 中的音频数据的源地址指向缓冲区 2。传输完成后，与之前的描述符一样，XDMAC 移回链表中的描述符 1。当通过 SSC 将音频数据发送到编解码器时，XDMAC 就在两个描述符之间切换（在缓冲区 1 和缓冲区 2 这两个“乒乓”音频缓冲区之间隐式切换）。

3. 相关资源

- 在 SAM S/SAM E/SAM V 上使用 XDMAC
http://www.atmel.com/Images/Atmel-42761-Usage-of-XDMAC-on-SAMS-SAME-SAMV_ApplicationNote_AT17417.pdf
- SAMV71 器件的同步串行控制器（SSC），可通过片上 WM8904 编解码器输出音频流
http://asf.atmel.com/docs/latest/sam.components.audio.codec.wm8904.example.samv71_xplained_ultra/html/index.html
- SAM3S 器件的同步串行控制器（SSC），可通过片上 WM8731 编解码器输出音频流
http://asf.atmel.com/docs/latest/sam.components.audio.codec.wm8731.example.sam3x_ek/html/index.html

Microchip 网站

Microchip 网站 <http://www.microchip.com/> 为客户提供在线支持。客户可通过该网站方便地获取文件和信息。只要使用常用的互联网浏览器即可访问，网站提供以下信息：

- **产品支持**——数据手册和勘误表、应用笔记和示例程序、设计资源、用户指南以及硬件支持文档、最新的软件版本以及归档软件
- **一般技术支持**——常见问题（FAQ）、技术支持请求、在线讨论组以及 Microchip 顾问计划成员名单
- **Microchip 业务**——产品选型和订购指南、最新 Microchip 新闻稿、研讨会和活动安排表、Microchip 销售办事处、代理商以及工厂代表列表

变更通知客户服务

Microchip 的变更通知客户服务有助于客户了解 Microchip 产品的最新信息。注册客户可在他们感兴趣的某个产品系列或开发工具发生变更、更新、发布新版本或勘误表时，收到电子邮件通知。

欲注册，请登录 Microchip 网站 <http://www.microchip.com/>。在“支持”（Support）下，点击“变更通知客户”（Customer Change Notification）服务后按照注册说明完成注册。

客户支持

Microchip 产品的用户可通过以下渠道获得帮助：

- 代理商或代表
- 当地销售办事处
- 应用工程师（FAE）
- 技术支持

客户应联系其代理商、代表或应用工程师（FAE）寻求支持。当地销售办事处也可为客户提供帮助。本文档后附有销售办事处的联系方式。

也可通过以下网站获得技术支持：<http://www.microchip.com/support>

Microchip 器件代码保护功能

请注意以下有关 Microchip 器件代码保护功能的要点：

- Microchip 的产品均达到 Microchip 数据手册中所述的技术指标。
- Microchip 确信：在正常使用的情况下，Microchip 系列产品是当今市场上同类产品中最安全的产品之一。
- 目前，仍存在着恶意、甚至是非法破坏代码保护功能的行为。就我们所知，所有这些行为都不是以 Microchip 数据手册中规定的操作规范来使用 Microchip 产品的。这样做的人极有可能侵犯了知识产权。
- Microchip 愿意与关心代码完整性的客户合作。
- Microchip 或任何其他半导体厂商均无法保证其代码的安全性。代码保护并不意味着我们保证产品是“牢不可破”的。

代码保护功能处于持续发展中。Microchip 承诺将不断改进产品的代码保护功能。任何试图破坏 Microchip 代码保护功能的行为均可视为违反了《数字器件千年版权法案（Digital Millennium Copyright Act）》。如

果这种行为导致他人在未经授权的情况下，能访问您的软件或其他受版权保护的成果，您有权依据该法案提起诉讼，从而制止这种行为。

法律声明

本出版物中所述的器件应用信息及其他类似内容仅为您提供便利，它们可能由更新之信息所替代。确保应用符合技术规范，是您自身应负的责任。Microchip 对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担保，包括但不限于针对其使用情况、质量、性能、适销性或特定用途的适用性的声明或担保。Microchip 对因这些信息及使用这些信息而引起的后果不承担任何责任。如果将 Microchip 器件用于生命维持和/或生命安全应用，一切风险由买方自负。买方同意在由此引发任何一切伤害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任，并加以赔偿。除非另外声明，否则在 Microchip 知识产权保护下，不得暗或以其他方式转让任何许可证。

商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、AnyRate、AVR、AVR 徽标、AVR Freaks、BitCloud、chipKIT、chipKIT 徽标、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、Heldo、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LINK MD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 徽标、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash、tinyAVR、UNI/O 和 XMEGA 是 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的注册商标。

ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、mTouch、Precision Edge 和 Quiet-Wire 为 Microchip Technology Incorporated 在美国的注册商标。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、BodyCom、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、EtherGREEN、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、KleerNet、KleerNet 徽标、memBrain、Mindi、MiWi、motorBench、MPASM、MPF、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、Ripple Blocker、SAM-ICE、Serial Quad I/O、SMART-I.S.、SQL、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、ViewSpan、WiperLock、Wireless DNA 和 ZENA 为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP 为 Microchip Technology Inc. 在美国的服务标记。

Silicon Storage Technology 为 Microchip Technology Inc. 在除美国外的国家或地区的注册商标。

GestIC 是 Microchip Technology Inc. 的子公司 Microchip Technology Germany II GmbH & Co. KG 在除美国外的国家或地区的注册商标。

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2018, Microchip Technology Incorporated 版权所有。

ISBN: 978-1-5224-3189-3

DNV 认证的质量管理体系

ISO/TS 16949

Microchip 位于美国亚利桑那州 Chandler 和 Tempe 与位于俄勒冈州 Gresham 的全球总部、设计和晶圆生产厂及位于美国加利福尼亚州和印度的设计中心均通过了 ISO/TS-16949:2009 认证。Microchip 的 PIC[®] MCU 和 dsPIC[®] DSC、KEELOQ[®]跳码器件、串行 EEPROM、单片机外设、非易失性存储器及模拟产品严格遵守公司的质量体系流程。此外，Microchip 在开发系统的设计和生产方面的质量体系也已通过了 ISO 9001:2000 认证。

全球销售及服务中心

美洲	亚太地区	亚太地区	欧洲
公司总部 2355 West Chandler Blvd. Chandler, AZ 85224-6199 电话: 1-480-792-7200 传真: 1-480-792-7277 技术支持: http://www.microchip.com/support 网址: www.microchip.com	中国 - 北京 电话: 86-10-8569-7000 中国 - 成都 电话: 86-28-8665-5511 中国 - 重庆 电话: 86-23-8980-9588 中国 - 东莞 电话: 86-769-8702-9880 中国 - 广州 电话: 86-20-8755-8029 中国 - 杭州 电话: 86-571-8792-8115 中国 - 南京 电话: 86-25-8473-2460 中国 - 青岛 电话: 86-532-8502-7355 中国 - 上海 电话: 86-21-3326-8000 中国 - 沈阳 电话: 86-24-2334-2829 中国 - 深圳 电话: 86-755-8864-2200 中国 - 苏州 电话: 86-186-6233-1526 中国 - 武汉 电话: 86-27-5980-5300 中国 - 西安 电话: 86-29-8833-7252 中国 - 厦门 电话: 86-592-2388138 中国 - 香港特别行政区 电话: 852-2943-5100 中国 - 珠海 电话: 86-756-3210040 台湾地区 - 高雄 电话: 886-7-213-7830 台湾地区 - 台北 电话: 886-2-2508-8600 台湾地区 - 新竹 电话: 886-3-577-8366	澳大利亚 - 悉尼 电话: 61-2-9868-6733 印度 - 班加罗尔 电话: 91-80-3090-4444 印度 - 新德里 电话: 91-11-4160-8631 印度 - 浦那 电话: 91-20-4121-0141 日本 - 大阪 电话: 81-6-6152-7160 日本 - 东京 电话: 81-3-6880-3770 韩国 - 大邱 电话: 82-53-744-4301 韩国 - 首尔 电话: 82-2-554-7200 马来西亚 - 吉隆坡 电话: 60-3-7651-7906 马来西亚 - 檳榔嶼 电话: 60-4-227-8870 菲律宾 - 马尼拉 电话: 63-2-634-9065 新加坡 电话: 65-6334-8870 泰国 - 曼谷 电话: 66-2-694-1351 越南 - 胡志明市 电话: 84-28-5448-2100	奥地利 - 韦尔斯 电话: 43-7242-2244-39 传真: 43-7242-2244-393 丹麦 - 哥本哈根 电话: 45-4450-2828 传真: 45-4485-2829 芬兰 - 埃斯波 电话: 358-9-4520-820 法国 - 巴黎 电话: 33-1-69-53-63-20 传真: 33-1-69-30-90-79 德国 - 加兴 电话: 49-8931-9700 德国 - 哈恩 电话: 49-2129-3766400 德国 - 海尔布隆 电话: 49-7131-67-3636 德国 - 卡尔斯鲁厄 电话: 49-721-625370 德国 - 慕尼黑 电话: 49-89-627-144-0 传真: 49-89-627-144-44 德国 - 罗森海姆 电话: 49-8031-354-560 以色列 - 赖阿南纳 电话: 972-9-744-7705 意大利 - 米兰 电话: 39-0331-742611 传真: 39-0331-466781 意大利 - 帕多瓦 电话: 39-049-7625286 荷兰 - 德卢内市 电话: 31-416-690399 传真: 31-416-690340 挪威 - 特隆赫姆 电话: 47-7289-7561 波兰 - 华沙 电话: 48-22-3325737 罗马尼亚 - 布加勒斯特 电话: 40-21-407-87-50 西班牙 - 马德里 电话: 34-91-708-08-90 传真: 34-91-708-08-91 瑞典 - 哥德堡 电话: 46-31-704-60-40 瑞典 - 斯德哥尔摩 电话: 46-8-5090-4654 英国 - 沃金厄姆 电话: 44-118-921-5800 传真: 44-118-921-5820
亚特兰大 德卢斯, 乔治亚州 电话: 1-678-957-9614 传真: 1-678-957-1455 奥斯汀, 德克萨斯州 电话: 1-512-257-3370 波士顿 韦斯特伯鲁, 马萨诸塞州 电话: 1-774-760-0087 传真: 1-774-760-0088 芝加哥 艾塔斯卡, 伊利诺伊州 电话: 1-630-285-0071 传真: 1-630-285-0075 达拉斯 艾迪生, 德克萨斯州 电话: 1-972-818-7423 传真: 1-972-818-2924 底特律 诺维, 密歇根州 电话: 1-248-848-4000 休斯敦, 德克萨斯州 电话: 1-281-894-5983 印第安纳波利斯 诺布尔斯维尔, 印第安纳州 电话: 1-317-773-8323 传真: 1-317-773-5453 电话: 1-317-536-2380 洛杉矶 米申维耶霍, 加利福尼亚州 电话: 1-949-462-9523 传真: 1-949-462-9608 电话: 1-951-273-7800 罗利, 北卡罗来纳州 电话: 1-919-844-7510 纽约, 纽约州 电话: 1-631-435-6000 圣何塞, 加利福尼亚州 电话: 1-408-735-9110 电话: 1-408-436-4270 加拿大 - 多伦多 电话: 1-905-695-1980 传真: 1-905-695-2078			