
使用 MPLAB® Harmony v3 基于 PIC32MZ MCU 在运行时使用 高速缓存维护操作处理高速缓存一致性问题

简介

对于使用直接存储器访问（Direct Memory Access, DMA）进行数据传输操作的应用程序，当其运行在具有可高速缓存存储区的单片机（MCU）上时，难以避免地会出现高速缓存一致性问题。这是因为当 DMA 在外设与物理存储器之间传输数据时，CPU 会通过高速缓存执行读/写操作。

其中一种处理高速缓存一致性的方法要求应用程序在运行时使用高速缓存维护操作来管理高速缓存。MPLAB® Harmony v3 为 PIC32MZ 器件提供了高速缓存维护应用程序编程接口（Application Program Interface, API）。

本文档介绍了应用程序如何在 MPLAB Harmony v3 下使用高速缓存管理 API 在运行时管理高速缓存一致性问题。

注： 本文档中讨论的概念对于所有 PIC32MZ MCU 通用，并以 PIC32MZ EF 为例来讨论这些概念。

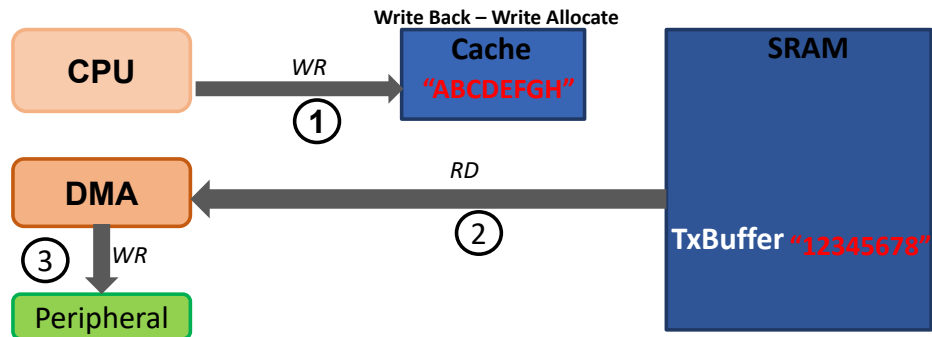
目录

简介.....	1
1. 说明.....	3
1.1. 处理高速缓存一致性.....	4
2. 实现.....	6
2.1. 配置.....	6
2.2. 数据高速缓存维护 API.....	7
2.3. 示例.....	8
3. 参考资料.....	9
Microchip 网站.....	10
产品变更通知服务.....	10
客户支持.....	10
Microchip 器件代码保护功能.....	10
法律声明.....	10
商标.....	11
质量管理体系.....	11
全球销售及服务网点.....	12

1. 说明

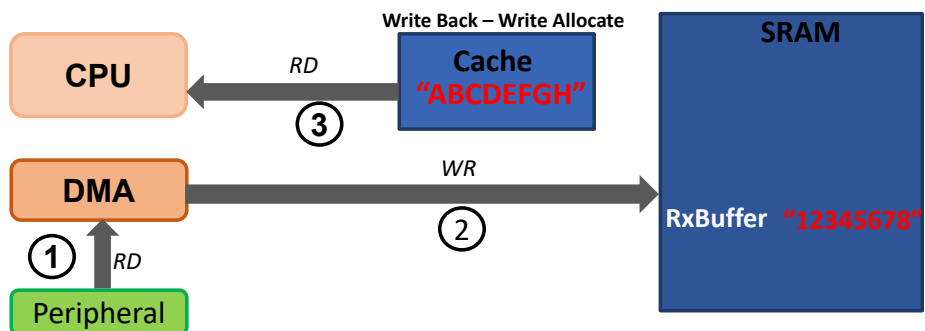
下图给出了 DMA 从 PIC32MZ EF MCU 上的 SRAM 读取时出现的高速缓存一致性问题。

图 1-1. 存储器到外设的传输 (DMA 从 SRAM 读取)



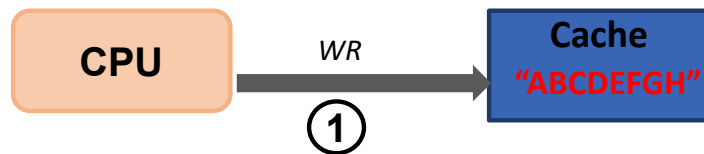
应用程序提交向外设传输数据缓冲区 *TxBuffer* 值 “ABCDEFGH” 的请求。CPU 以要写入外设的数据 “ABCDEFGH” 填充 DMA 写缓冲区 (*TxBuffer*)。

Peripheral to Memory Transfer (DMA writes to SRAM)

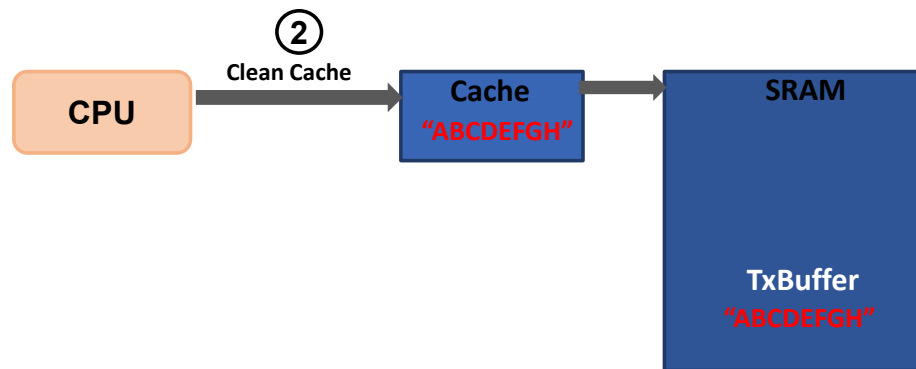


应用程序提交从外设接收 *RxBuffer* 中的数据值 “12345678” 的请求。DMA 在 SRAM 中用值 “12345678” 填充 *RxBuffer*。但是，数据高速缓存不会更新，而是继续保存先前的数据。当 CPU 读取 *RxBuffer* 时，最终会读取缓冲区中包含的先前值 “ABCDEFGH”。

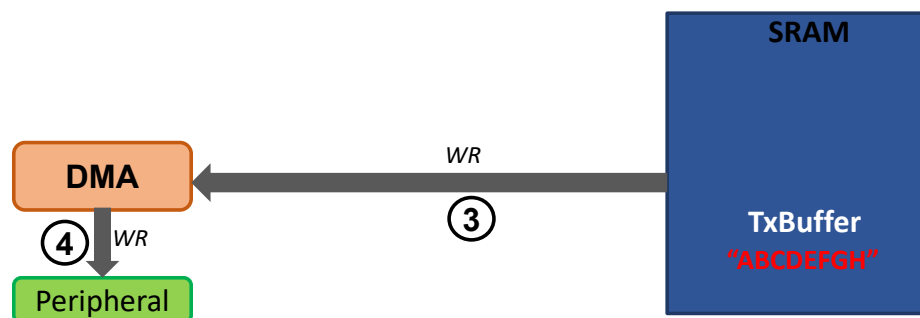
1.1 处理高速缓存一致性

MPLAB[®] Harmony PLIB – Considerations with DMA
(Cache Coherency Issue)

2. 通过调用清理高速缓存 API 将写数据缓冲区 *TxBuffer* 中的值 “ABCDEFGH” 刷新到主存储器。
- 图 1-4. 刷新写缓冲区



3. 应用程序提交向外设传输 *TxBuffer* 中的数据值 “ABCDEFGH” 的请求。
- 图 1-5. 写入外设



要处理外设到存储器的传输（DMA 写入 SRAM）中所述的高速缓存一致性，请按照以下步骤操作：

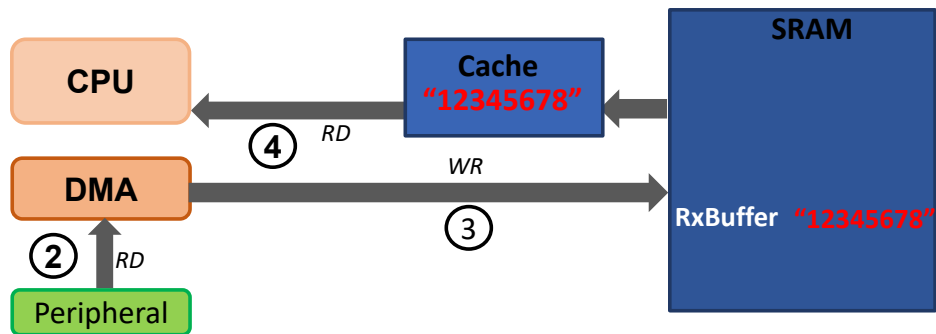
1. 应用程序调用 *使高速缓存无效 API* 来将高速缓存行标记为无效。

图 1-6. 使高速缓存无效



2. 应用程序提交从外设接收 *RxBuffer* 中的数据值 “12345678” 的请求。
3. DMA 在 SRAM 中用值 “12345678” 填充 *RxBuffer*。
4. 由于 *RxBuffer* 对应的高速缓存行处于无效状态，因此 CPU 的读访问会导致将 *RxBuffer* 从主存储器复制到数据高速缓存中。

图 1-7. 处理外设到存储器传输的高速缓存一致性

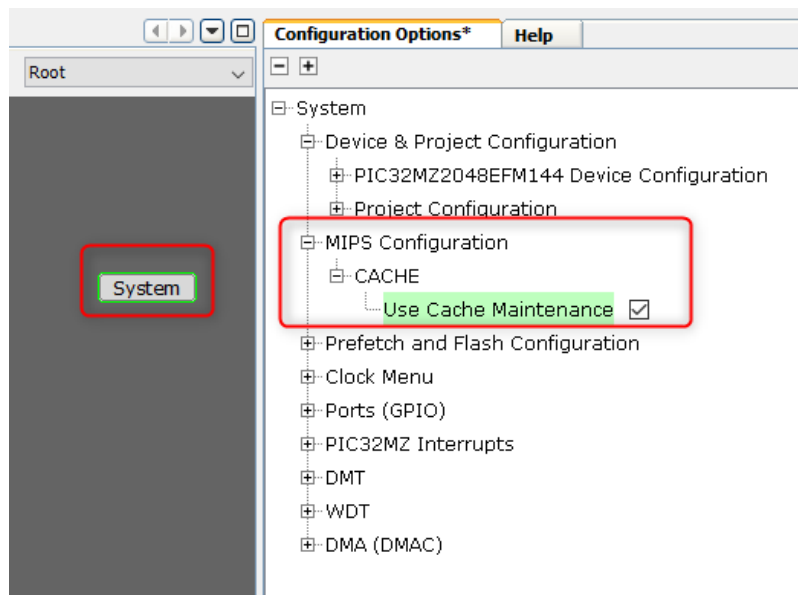


2. 实现

2.1 配置

在使用 PIC32 MZ EF 的 MPLAB Harmony v3 项目中，高速缓存维护操作通过 MPLAB Harmony v3 配置器（MHC）或 MPLAB 代码配置器（MPLAB Code Configurator, MCC）使能。在 MHC 或 MCC 中，可以在 *project graph* > *System* > *MIPS Configuration* > *Cache*（项目图 > 系统 > MIPS 配置 > 高速缓存）下找到配置设置。

图 2-1. MHC 高速缓存配置



2.2 数据高速缓存维护 API

MPLAB Harmony v3 提供了以下数据高速缓存维护 API:

表 2-1. 数据高速缓存维护 API

名称	说明
DCACHE_INVALIDATE (void)	启用之前，整个数据高速缓存无效。
DCACHE_CLEAN_BY_ADDR (uint32_t addr, size_t sz)	回写并使数据高速缓存中的地址范围无效。
DCACHE_INVALIDATE_BY_ADDR (uint32_t addr, size_t sz)	使数据高速缓存中的地址范围无效。
DCACHE_CLEAN_INVALIDATE_BY_ADDR (uint32_t addr, size_t sz)	回写并使数据高速缓存中的地址范围无效。

注:

- MCU 特定的数据和指令高速缓存维护 API 以外设库 (PLIB) `plib_cache.c` 的形式提供。有关 PLIB 应用程序示例，请访问：
https://github.com/Microchip-MPLAB-Harmony/csp_apps_pic32mz_ef/tree/master/apps/cache/cache_maintenance。
- 在使用按地址清理并使数据高速缓存无效的 API 时：
 - addr:** 必须与高速缓存行大小边界对齐。这意味着 DMA 缓冲区地址必须与 16 字节边界对齐。
 - dsz:** 必须是高速缓存行大小的倍数。这意味着 DMA 缓冲区大小必须是 16 字节的倍数。

2.3 示例

以下代码示例说明了如何使用数据高速缓存维护 API 与 MPLAB Harmony v3 DMA 外设库 API 通过 UART 接口读写数据。

```
char __attribute__((aligned(16))) messageStart[] = "**** 使用 UART 的高速缓存维护演示 ****\r\n\
**** 键入缓冲区中的 10 个字符并观察是否有回显 ****\r\n\
**** 每次回显缓冲区时, LED 都会翻转为点亮状态 ****\r\n";
char __attribute__((aligned(16))) receiveBuffer[BUFFER_SIZE] = {};
char __attribute__((aligned(16))) echoBuffer[BUFFER_SIZE] = {};
char __attribute__((aligned(16))) messageError[BUFFER_SIZE] = "**** UART 发生错误 ****\r\n";

int main ( void )
{
    /* 初始化所有外设和模块 */

    While(1)
    {
        if(readStatus == true)
        {
            readStatus = false;

            /* 用要发送的数据填充 TxBuffer。
            TxBuffer 可能位于 D-cache 中 */

            memcpy(echoBuffer, receiveBuffer, READ_SIZE);
            echoBuffer[READ_SIZE] = '\r';
            echoBuffer[(READ_SIZE + 1)] = '\n';

            DCACHE_CLEAN_BY_ADDR((uint32_t)echoBuffer, sizeof(echoBuffer));

            DMAC_ChannelTransfer(DMAC_CHANNEL_0, echoBuffer, READ_SIZE+2,
                (const void *)&U2TXREG, 1, 1);
            LED_TOGGLE();
        }

        else if(writeStatus == true)
        {
            writeStatus = false;

            /* 使占用接收缓冲区的高速缓存行无效, 然后使用该缓冲区
            * 将实际存储器中的最新数据装载到高速缓存 */
            DCACHE_INVALIDATE_BY_ADDR((uint32_t)receiveBuffer, sizeof(receiveBuffer));

            DMAC_ChannelTransfer(DMAC_CHANNEL_1, (const void *)&U2RXREG, 1,
                receiveBuffer, READ_SIZE, 1);
        }
    }
    /* 正常情况下应该不会执行到这里 */
    return ( EXIT_FAILURE );
}
```

有关详细源代码, 请参见以下位置的 PLIB 应用程序示例:

https://github.com/Microchip-MPLAB-Harmony/csp_apps_pic32mz_ef/tree/master/apps/cache/cache_maintenance。

注: 上述高速缓存一致性问题也可以在链接时进行处理, 具体方法是对存在争用的数据缓冲区使用 *coherent* 变量属性。

```
unsigned int __attribute__((coherent)) buffer[1024];
```

在该代码中, 编译器将 1024 元素分配 (在链接时) 到不可高速缓存的存储区 KSEG1 中。

3. 参考资料

下面列出了一些参考文档。有关高速缓存一致性和相关 Microchip 产品的更多信息，请访问 [Microchip 网站](#)或联系当地的 Microchip 销售代表。

- [在 PIC32MZ 器件上使用 L1 高速缓存](#)
- [PIC32MZ EF 高速缓存维护 PLIB 示例](#)
- MPLAB Harmony v3 Quick Docs 文档包为用户提供了独立的帮助页面，可帮助用户着手基于 Microchip 的 32 位 SAM 和 PIC32 MCU 开发应用程序。下载 `quick_docs` repository，从 `docs` 文件夹中的 `index.html` 文件开始阅读。
可访问以下位置获取在线版本：microchip-mplab-harmony.github.io/quick_docs/。
- MPLAB Harmony v3 主页：
www.microchip.com/mplab/mplab-harmony

Microchip 网站

Microchip 网站 (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。我们的网站提供以下内容：

- **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**——常见问题解答 (FAQ)、技术支持请求、在线讨论组以及 Microchip 设计伙伴计划成员名单
- **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

产品变更通知服务

Microchip 的产品变更通知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，请访问 www.microchip.com/pcn，然后按照注册说明进行操作。

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 (ESE)
- 技术支持

客户应联系其代理商、代表或 ESE 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 www.microchip.com/support 获得网上技术支持。

Microchip 器件代码保护功能

请注意以下有关 Microchip 产品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规范。
- Microchip 确信：在正常使用且符合工作规范的情况下，Microchip 系列产品非常安全。
- Microchip 注重并积极保护其知识产权。严禁任何试图破坏 Microchip 产品代码保护功能的行为，这种行为可能会违反《数字千年版权法案》(Digital Millennium Copyright Act)。
- 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。Microchip 承诺将不断改进产品的代码保护功能。

法律声明

提供本文档的中文版本仅为了便于理解。请勿忽视文档中包含的英文部分，因为其中提供了有关 Microchip 产品性能和使用情况的有用信息。Microchip Technology Inc. 及其分公司和相关公司、各级主管与员工及事务代理机构对译文中可能存在的任何差错不承担任何责任。建议参考 Microchip Technology Inc. 的英文原版文档。

本出版物及其提供的信息仅适用于 Microchip 产品，包括设计、测试以及将 Microchip 产品集成到您的应用中。以其他方式使用这些信息都将被视为违反条款。本出版物中的器件应用信息仅为您提供便利，将来可能会发生更新。如需额外的支持，请联系当地的 Microchip 销售办事处，或访问 <https://www.microchip.com/en-us/support/design-help/client-supportservices>。

Microchip “按原样”提供这些信息。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，包括但不限于针对非侵权性、适销性和特定用途的适用性的暗示担保，或针对其使用情况、质量或性能的担保。

在任何情况下，对于因这些信息或使用这些信息而产生的任何间接的、特殊的、惩罚性的、偶然的或间接的损失、损害或任何类型的开销，Microchip 概不承担任何责任，即使 Microchip 已被告知可能发生损害或损害可以预见。在法律允许的最大范围内，对于因这些信息或使用这些信息而产生的所有索赔，Microchip 在任何情况下所承担的全部责任均不超出您为获得这些信息向 Microchip 直接支付的金额（如有）。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损害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任。除非另外声明，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、Adaptec、AVR、AVR 徽标、AVR Freaks、BesTime、BitCloud、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemi 徽标、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 徽标、PolarFire、Prochip Designer、QTouch、SAMB、SenGenuity、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash、Symmetricom、SyncServer、Tachyon、TimeSource、tinyAVR、UNI/O、Vectron 及 XMEGA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的注册商标。

AgileSwitch、APT、ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、Flashtec、Hyper Speed Control、HyperLight Load、Liberio、motorBench、mTouch、Powermite 3、Precision Edge、ProASIC、ProASIC Plus、ProASIC Plus 徽标、Quiet-Wire、SmartFusion、SyncWorld、Temux、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider、TrueTime 和 ZL 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国的注册商标。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、Augmented Switching、BlueSky、BodyCom、Clockstudio、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、Espresso T1S、EtherGREEN、GridTime、IdealBridge、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Intelligent Paralleling、IntelliMOS、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、Knob-on-Display、KoD、maxCrypto、maxView、memBrain、Mindi、MiWi、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、RTAX、RTG4、SAM-ICE、Serial Quad I/O、simpleMAP、SimpliPHY、SmartBuffer、SmartHLS、SMART-I.S.、storClad、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Switchtec、SynchroPHY、Total Endurance、Trusted Time、TSHARC、USBCheck、VariSense、VectorBlox、VeriPHY、ViewSpan、WiperLock、XpressConnect 和 ZENA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的商标。

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

Adaptec 徽标、Frequency on Demand、Silicon Storage Technology 和 Symmcom 均为 Microchip Technology Inc. 在除美国外的国家或地区的注册商标。

GestIC 为 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。

© 2022, Microchip Technology Incorporated 及其子公司版权所有。

ISBN: 978-1-6683-0574-4

质量管理体系

有关 Microchip 的质量管理体系的信息，请访问 www.microchip.com/quality。

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: 480-792-7200 传真: 480-792-7277 技术支持: www.microchip.com/support 网址: www.microchip.com	澳大利亚 - 悉尼 电话: 61-2-9868-6733 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 - 香港特别行政区 电话: 852-2943-5100 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 - 珠海 电话: 86-756-3210040	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 - 槟榔屿 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 台湾地区 - 新竹 电话: 886-3-577-8366 台湾地区 - 高雄 电话: 886-7-213-7830 台湾地区 - 台北 电话: 886-2-2508-8600 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: 45-4485-5910 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: 49-7131-72400 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 - 若那那市 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: 47-72884388 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, 佐治亚州 电话: 678-957-9614 传真: 678-957-1455 奥斯汀, 德克萨斯州 电话: 512-257-3370 波士顿 韦斯特伯鲁, 马萨诸塞州 电话: 774-760-0087 传真: 774-760-0088 芝加哥 艾塔斯卡, 伊利诺伊州 电话: 630-285-0071 传真: 630-285-0075 达拉斯 阿迪森, 德克萨斯州 电话: 972-818-7423 传真: 972-818-2924 底特律 诺维, 密歇根州 电话: 248-848-4000 休斯顿, 德克萨斯州 电话: 281-894-5983 印第安纳波利斯 诺布尔斯特维尔, 印第安纳州 电话: 317-773-8323 传真: 317-773-5453 电话: 317-536-2380 洛杉矶 米慎维荷, 加利福尼亚州 电话: 949-462-9523 传真: 949-462-9608 电话: 951-273-7800 罗利, 北卡罗来纳州 电话: 919-844-7510 纽约, 纽约州 电话: 631-435-6000 圣何塞, 加利福尼亚州 电话: 408-735-9110 电话: 408-436-4270 加拿大 - 多伦多 电话: 905-695-1980 传真: 905-695-2078			