

## 使用可配置逻辑单元（CLC）来连接 PIC16F1509 和 WS2811 LED 驱动器

作者: Joseph Julicher  
Microchip Technology Inc.

### 简介

PIC16F1509 器件中的可配置逻辑单元（CLC）外设提供了创建自定义接口的好方法，这件工作原本很困难。WS2811 LED 使用的单线 PWM 信号就是一个例子，它在 LED 视频显示系统中广为人知。本应用笔记将提供 WS2811 LED 灯条驱动器的简单演示。

WS2811 使用的串行协议有三种状态。状态 1 是逻辑“0”，状态 2 是“1”，状态 3 是锁存器。该数据被接受并用于驱动 LED 发光强度。状态 1 是持续  $500\text{ ns} \pm 150\text{ ns}$  的高输出，随后再持续  $2000\text{ ns} \pm 150\text{ ns}$  的低电平。状态 2 是持续  $120\text{ ns} \pm 150\text{ ns}$  的高输出，随后是持续  $130\text{ ns} \pm 150\text{ ns}$  的低输出。状态 3 是持续  $50\text{ us}$  以上的低输出。有一种快速模式，可将所有这些时间缩短一半（状态 3 除外），因而能够在相同的时间内驱动更多的 LED。

在软件中驱动 I/O 引脚虽然可以创建这种串行协议，但会带来两个问题：

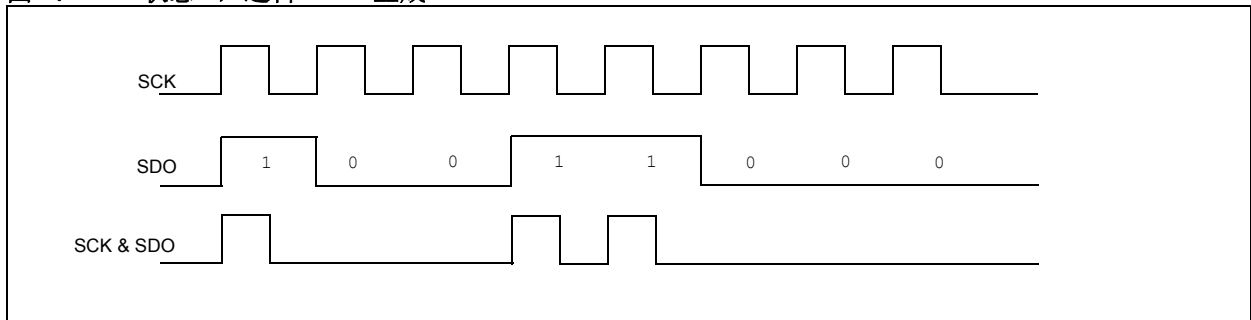
1. LED 串更新期间占用 100% 的 CPU 资源。（在低速率下，256 个 LED 的更新时间持续 15.3 ms）。
2. 可确定下一个 LED 的颜色的时间很少。

理想条件是创建自定义串行通信外设，以正确格式传输完整字节。有关更多信息，请参见 PIC16F1509 数据手册《采用 XLP 技术的 20 引脚 8 位闪存单片机》（DS40001609C\_CN）中的 CLC 章节。

### 自定义外设

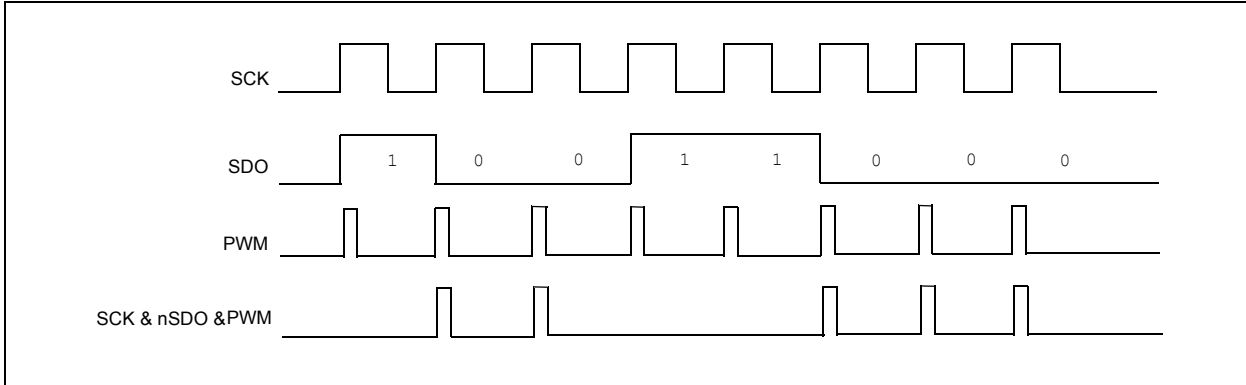
CLC 连接到 PIC16F1509 中的各种外设，包括 MSSP。由于 MSSP 一次可移出 8 位，因此是该新外设的完美起始点。查看 MSSP 输出波形，图 1 显示如下：

图 1: 状态 2，逻辑“1”生成



如果 SCK 和 SDO 仅与 AND 组合，则逻辑“1”（状态 2）将被覆盖。为了创建更短的逻辑“0”（状态 1）脉冲，需要另外一个信号。如果包括 PWM 作为短脉冲生成器，可获得以下信号（见图 2）。

**图 2: 状态 1, 逻辑“0”生成**



同时获得逻辑“0”和逻辑“1”时，需要将它们做逻辑或运算，以生成所需的波形（见图 3）。

**图 3: 逻辑“0”和“1”生成**

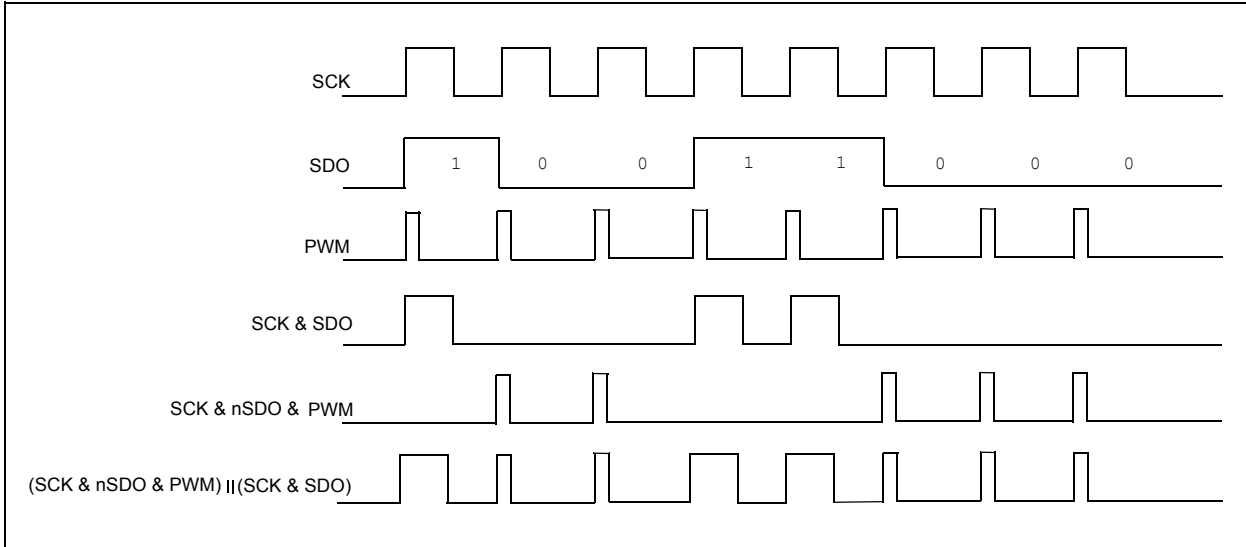
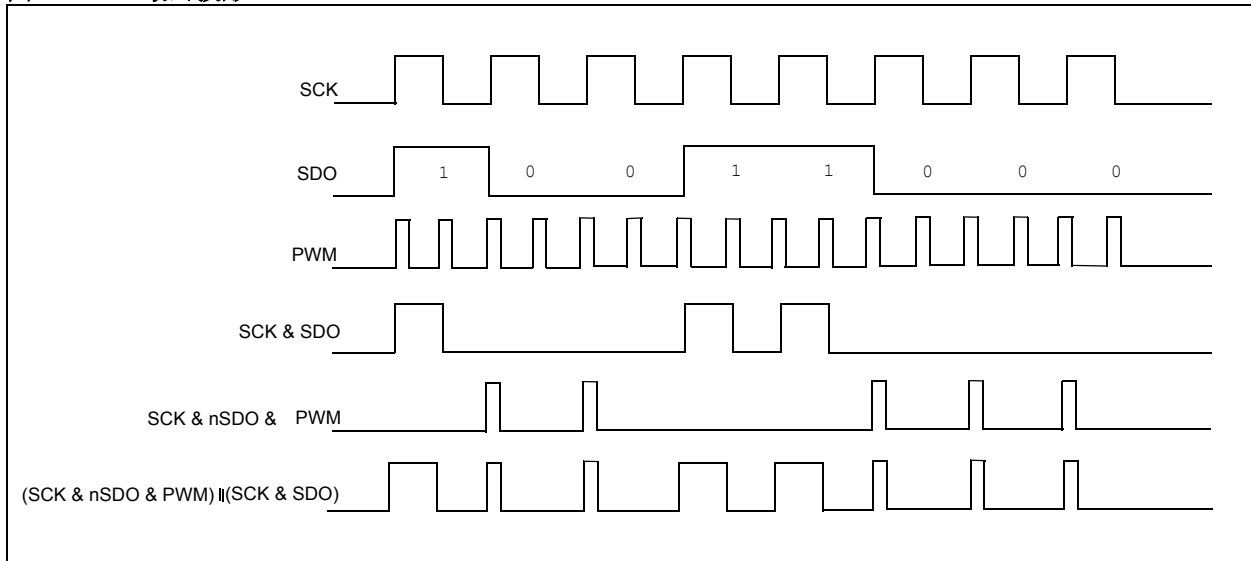


图 3 看似正确的波形，但仍然有一个问题需要解决。PWM 和 MSSP 如何同步，才能使 PWM 脉冲的上升沿与数据位的起点匹配？结果是，MSSP 可设置为  $\frac{1}{2}$  个 TMR2 周期的波特率，PWM 周期可以设置为一个 TMR2 周期。

考虑到这些新信息，上面的图 2 和图 3 是错误的。新的组合波形可参见图 4：

图 4： 最终波形



请注意，唯一差异是 PWM 脉冲数量加倍，但没有产生任何影响，因为这些脉冲是在 SCK 信号处于低电平时发生。

## 实施

为了创建最终配置，必须研究 PIC16F1509 中 CLC 外设的布局。

**表 1: CLCx 数据输入选择**

数据输入	lcxd1 D1S	lcxd2 D1S	lcxd3 D1S	lcxd4 D1S	CLC 1	CLC 2	CLC 3	CLC 4
CLCxIN0	000	—	—	100	CLC1IN0	CLC2IN0	CLC3IN0	CLC4IN0
CLCxIN1	001	—	—	101	CLC1IN1	CLC2IN1	CLC3IN1	CLC4IN1
CLCxIN2	010	—	—	110	SYNCC1OUT	SYNCC1OUT	SYNCC1OUT	SYNCC1OUT
CLCxIN3	011	—	—	111	SYNCC2OUT	SYNCC2OUT	SYNCC2OUT	SYNCC2OUT
CLCxIN4	100	000	—	—	Fosc	Fosc	Fosc	Fosc
CLCxIN5	101	001	—	—	TMR0IF	TMR0IF	TMR0IF	TMR0IF
CLCxIN6	110	010	—	—	TMR1IF	TMR1IF	TMR1IF	TMR1IF
CLCxIN7	111	011	—	—	TMR2 = PR2	TMR2 = PR2	TMR2 = PR2	TMR2 = PR2
CLCxIN8	—	100	000	—	lc1_out	lc1_out	lc1_out	lc1_out
CLCxIN9	—	101	001	—	lc2_out	lc2_out	lc2_out	lc2_out
CLCxIN10	—	110	010	—	lc3_out	lc3_out	lc3_out	lc3_out
CLCxIN11	—	111	011	—	lc4_out	lc4_out	lc4_out	lc4_out
CLCxIN12	—	—	100	000	NCO1OUT	LFINTOSC	TX (EUSART)	SCK (MSSP)
CLCxIN13	—	—	101	001	HFINTOSC	ADFRC	LFINTOSC	SDO (MSSP)
CLCxIN14	—	—	110	010	PWM3OUT	PWM1OUT	PWM2OUT	PWM1OUT
CLCxIN15	—	—	111	011	PWM4OUT	PWM2OUT	PWM3OUT	PWM4OUT

MSSP 输出均可在 CLC4 中提供。请注意，PWM 1 和 PWM 4 也在 CLC4 上。但是，它们都在同一逻辑组中，每个组中只能使用四个信号中的两个。CLC 可在不同逻辑组中使用 LCx\_OUT 信号进行组合。此处选择在 CLC2 中组合 PWM1OUT，并通过 LC2\_OUT 将其发送到 CLC4。因此，逻辑将在 CLC4 中构建，如下所示：

$$LC4\_OUT = (SDO \& SCK) \parallel (!SDO \& SCK \& LC2\_OUT)$$

CLC2 中的逻辑将是：

$$LC2\_OUT = PWM1OUT$$

最终配置要求使用正确的位时间来激活 TMR2：

$$T2CON = 0x04$$

$$PR2 = (\text{位时间} / 2) * (Fosc / 4)$$

如果缓慢位时间为 2.5 us，并运行 16 MHz 内部振荡器，那么：

$$PR2 = 5。$$

必须将 PWM 占空比对应的脉冲宽度配置为“0”。

$$PWM1DCH = pr2/3。$$

缓慢的比特率要求该值为 2（对于 16 MHz）。

$$PWM1DCH = 2。$$

将 SSP1CON1 配置为使用 1/2 个 TMR2 周期作为时钟周期，得出：

$$SSP1CON1 = 0x23。$$

要允许引脚输出信号，必须将 TRISC4 清除为 0。

## 结论

CLC 可以非常简单地让 PIC16F1509 中的多个外设共同工作，以生成适合用户应用的全新复合外设。利用几十行代码，MSSP 现在成为自定义的 WS2811 驱动器。有关更多信息，请参见附录 A。

## 附录 A:

## 例 1: 源代码

```

void WS2811_Init(void)
{
    // 初始化 PIC16(L)F1509 CLC2、CLC4、Timer2 和 MSSP
    // 针对 WS2811 信号传输协议
    // 加载 SSP1BUF 寄存器可将该数据字节发送到 RC4/CLC4 引脚之外

    // PWM1 直接通过 CLC2

    CLC2GLS0 = 0x20;
    CLC2GLS1 = 0x00;
    CLC2GLS2 = 0x00;
    CLC2GLS3 = 0x00;
    CLC2SEL0 = 0x00;
    CLC2SEL1 = 0x06;
    CLC2POL  = 0x0E;
    CLC2CON  = 0x82;

    // (SPI SDO & SPI CLK) || (nSPI SDO & SPI CLK & PWM1)
    // PWM1 通过 CLC2
    CLC4GLS0 = 0x44;
    CLC4GLS1 = 0x10;
    CLC4GLS2 = 0x80;
    CLC4GLS3 = 0x20;
    CLC4SEL0 = 0x50;
    CLC4SEL1 = 0x05;
    CLC4POL  = 0x01;
    CLC4CON  = 0xC0;

    // 调整 Timer2 周期以实现所需的波特率
    // 一个位周期是两个 Timer2 周期

    T2CON   = 0x04;
    PR2     = 5;

    // 调整 PWM1 占空比以实现所需的“0”数据 - 位占空比
    // ‘1’ 数据 - 位占空比自动为 50%

    PWM1CON = 0xE0;
    PWM1DCH = 2;
    PWM1DCL = 0;

    // 为 SPI 主器件配置的 MSSP, 采用 Timer2_Period/2 时钟

    SSP1CON1 = 0x23;

    // RC4/CLC4 上的输出

    TRISC    &= 0xEF;
}

```

---

---

**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为安全的产品之一。
- 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。这样做的人极可能侵犯了知识产权。
- Microchip 愿与那些注重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之中。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。

---

提供本文档的中文版本仅为为了便于理解。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。

本出版物中所述的器件应用信息及其他类似内容仅为为您提供便利，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、适用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，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。

Microchip 位于美国亚利桑那州 Chandler 和 Tempe 与位于俄勒冈州 Cresham 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<sup>®</sup> MCU 与 dsPIC<sup>®</sup> DSC、KEELOQ<sup>®</sup> 跳码器件、串行 EEPROM、单片机外设、非易失性存储器和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。

**QUALITY MANAGEMENT SYSTEM**  
**CERTIFIED BY DNV**  
**== ISO/TS 16949 ==**

### 商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、AnyRate、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、Heldo、JukeBlox、KeeLoq、KeeLoq 徽标、Kleer、LANCheck、LINK MD、MediaLB、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PIC、PICSTART、PIC32 徽标、RightTouch、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash 及 UNI/O 均为 Microchip Technology Inc. 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 均为 Microchip Technology Inc. 在美国的注册商标。

Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、BodyCom、chipKIT、chipKIT 徽标、CodeGuard、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、EtherGREEN、In-Circuit Serial Programming、ICSP、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、KleerNet、KleerNet 徽标、MiWi、motorBench、MPASM、MPF、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICTail、PureSilicon、RightTouch 徽标、REAL ICE、Ripple Blocker、Serial Quad I/O、SQL、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、ViewSpan、WiperLock、Wireless DNA 和 ZENA 均为 Microchip Technology Inc. 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 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。

© 2016, Microchip Technology Inc. 版权所有。

ISBN: 978-1-5224-0669-3

## 全球销售及服务中心

### 美洲

**公司总部 Corporate Office**  
2355 West Chandler Blvd.  
Chandler, AZ 85224-6199  
Tel: 1-480-792-7200  
Fax: 1-480-792-7277

技术支持:  
<http://www.microchip.com/support>

网址: [www.microchip.com](http://www.microchip.com)

**亚特兰大 Atlanta**  
Duluth, GA  
Tel: 1-678-957-9614  
Fax: 1-678-957-1455

**奥斯汀 Austin, TX**  
Tel: 1-512-257-3370

**波士顿 Boston**  
Westborough, MA  
Tel: 1-774-760-0087  
Fax: 1-774-760-0088

**芝加哥 Chicago**  
Itasca, IL  
Tel: 1-630-285-0071  
Fax: 1-630-285-0075

**克里夫兰 Cleveland**  
Independence, OH  
Tel: 1-216-447-0464  
Fax: 1-216-447-0643

**达拉斯 Dallas**  
Addison, TX  
Tel: 1-972-818-7423  
Fax: 1-972-818-2924

**底特律 Detroit**  
Novi, MI  
Tel: 1-248-848-4000

**休斯敦 Houston, TX**  
Tel: 1-281-894-5983

**印第安纳波利斯 Indianapolis**  
Noblesville, IN  
Tel: 1-317-773-8323  
Fax: 1-317-773-5453

**洛杉矶 Los Angeles**  
Mission Viejo, CA  
Tel: 1-949-462-9523  
Fax: 1-949-462-9608

**纽约 New York, NY**  
Tel: 1-631-435-6000

**圣何塞 San Jose, CA**  
Tel: 1-408-735-9110

**加拿大多伦多 Toronto**  
Tel: 1-905-673-0699  
Fax: 1-905-673-6509

### 亚太地区

**亚太总部 Asia Pacific Office**  
Suites 3707-14, 37th Floor  
Tower 6, The Gateway  
Harbour City, Kowloon  
Hong Kong  
Tel: 852-2943-5100  
Fax: 852-2401-3431

**中国 - 北京**  
Tel: 86-10-8569-7000  
Fax: 86-10-8528-2104

**中国 - 成都**  
Tel: 86-28-8665-5511  
Fax: 86-28-8665-7889

**中国 - 重庆**  
Tel: 86-23-8980-9588  
Fax: 86-23-8980-9500

**中国 - 东莞**  
Tel: 86-769-8702-9880

**中国 - 杭州**  
Tel: 86-571-8792-8115  
Fax: 86-571-8792-8116

**中国 - 香港特别行政区**  
Tel: 852-2943-5100  
Fax: 852-2401-3431

**中国 - 南京**  
Tel: 86-25-8473-2460  
Fax: 86-25-8473-2470

**中国 - 青岛**  
Tel: 86-532-8502-7355  
Fax: 86-532-8502-7205

**中国 - 上海**  
Tel: 86-21-5407-5533  
Fax: 86-21-5407-5066

**中国 - 沈阳**  
Tel: 86-24-2334-2829  
Fax: 86-24-2334-2393

**中国 - 深圳**  
Tel: 86-755-8864-2200  
Fax: 86-755-8203-1760

**中国 - 武汉**  
Tel: 86-27-5980-5300  
Fax: 86-27-5980-5118

**中国 - 西安**  
Tel: 86-29-8833-7252  
Fax: 86-29-8833-7256

**中国 - 厦门**  
Tel: 86-592-238-8138  
Fax: 86-592-238-8130

**中国 - 珠海**  
Tel: 86-756-321-0040  
Fax: 86-756-321-0049

### 亚太地区

**台湾地区 - 高雄**  
Tel: 886-7-213-7828

**台湾地区 - 台北**  
Tel: 886-2-2508-8600  
Fax: 886-2-2508-0102

**台湾地区 - 新竹**  
Tel: 886-3-5778-366  
Fax: 886-3-5770-955

**澳大利亚 Australia - Sydney**  
Tel: 61-2-9868-6733  
Fax: 61-2-9868-6755

**印度 India - Bangalore**  
Tel: 91-80-3090-4444  
Fax: 91-80-3090-4123

**印度 India - New Delhi**  
Tel: 91-11-4160-8631  
Fax: 91-11-4160-8632

**印度 India - Pune**  
Tel: 91-20-3019-1500

**日本 Japan - Osaka**  
Tel: 81-6-6152-7160  
Fax: 81-6-6152-9310

**日本 Japan - Tokyo**  
Tel: 81-3-6880-3770  
Fax: 81-3-6880-3771

**韩国 Korea - Daegu**  
Tel: 82-53-744-4301  
Fax: 82-53-744-4302

**韩国 Korea - Seoul**  
Tel: 82-2-554-7200  
Fax: 82-2-558-5932 或  
82-2-558-5934

**马来西亚 Malaysia - Kuala Lumpur**  
Tel: 60-3-6201-9857  
Fax: 60-3-6201-9859

**马来西亚 Malaysia - Penang**  
Tel: 60-4-227-8870  
Fax: 60-4-227-4068

**菲律宾 Philippines - Manila**  
Tel: 63-2-634-9065  
Fax: 63-2-634-9069

**新加坡 Singapore**  
Tel: 65-6334-8870  
Fax: 65-6334-8850

**泰国 Thailand - Bangkok**  
Tel: 66-2-694-1351  
Fax: 66-2-694-1350

### 欧洲

**奥地利 Austria - Wels**  
Tel: 43-7242-2244-39  
Fax: 43-7242-2244-393

**丹麦 Denmark - Copenhagen**  
Tel: 45-4450-2828  
Fax: 45-4485-2829

**法国 France - Paris**  
Tel: 33-1-69-53-63-20  
Fax: 33-1-69-30-90-79

**德国 Germany - Dusseldorf**  
Tel: 49-2129-3766400

**德国 Germany - Karlsruhe**  
Tel: 49-721-625370

**德国 Germany - Munich**  
Tel: 49-89-627-144-0  
Fax: 49-89-627-144-44

**意大利 Italy - Milan**  
Tel: 39-0331-742611  
Fax: 39-0331-466781

**意大利 Italy - Venice**  
Tel: 39-049-7625286

**荷兰 Netherlands - Drunen**  
Tel: 31-416-690399  
Fax: 31-416-690340

**波兰 Poland - Warsaw**  
Tel: 48-22-3325737

**西班牙 Spain - Madrid**  
Tel: 34-91-708-08-90  
Fax: 34-91-708-08-91

**瑞典 Sweden - Stockholm**  
Tel: 46-8-5090-4654

**英国 UK - Wokingham**  
Tel: 44-118-921-5800  
Fax: 44-118-921-5820