

## 角度定时器实现

作者: Daniel Hou  
Microchip Technology Inc.

### 简介

角度定时器模块是一个定时器，可将周期信号分割为较小时间间隔并将基于时间的信号转换为基于角度 / 相位的信号。本技术摘要简要介绍了该模块是如何工作的、如何在用户应用中使用该模块以及需要重点注意的地方。

### 基本原理

当需要在周期信号的特定角度 / 相位发生事件时，角度定时器模块非常有用。例如，电机控制就是该模块的一个较好应用。如果直流电机的传感器在电机每旋转一次时产生一个脉冲以及在用户应用中需要在每次旋转的 30 度和 90 度处触发事件。如果是这样，那么角度定时器再合适不过了。

该模块的基本工作原理是将周期输入信号分割为较小时间间隔。该模块能够在每个角度产生中断，中断数基于用户希望每个输入信号周期分割为多少个角度（分辨率），捕捉 / 比较模式下也可以在特定角度产生中断。为了完成该操作，模块使用几个计数器来执行硬件除法并在正确时间触发中断。

图 1: 角度定时器模块的简化框图

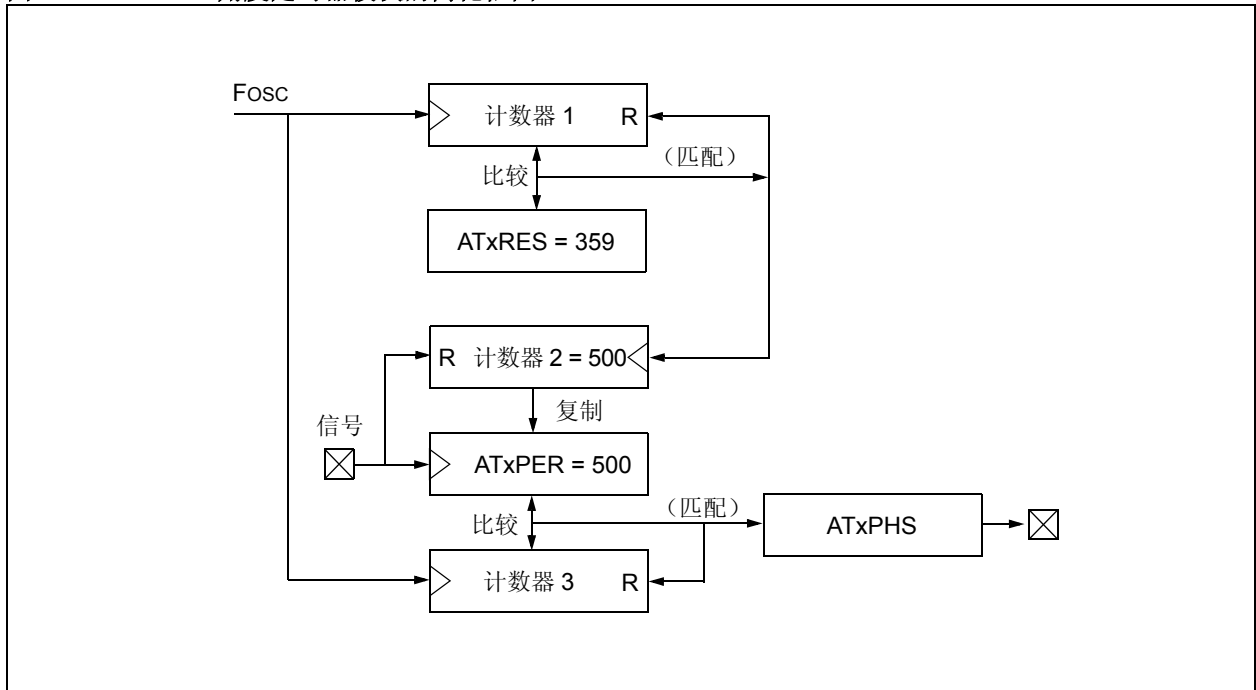
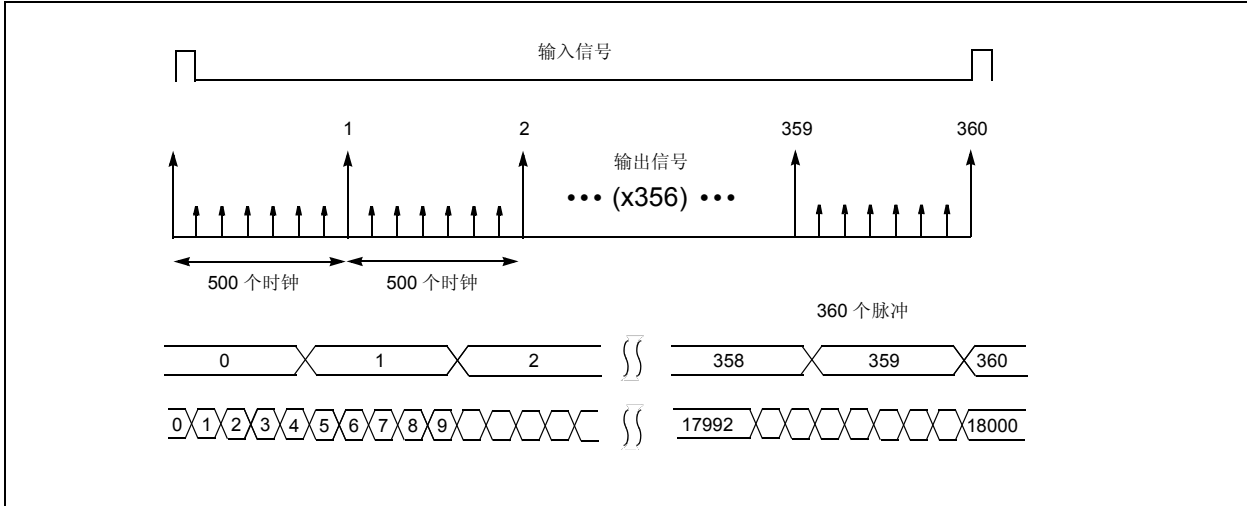


图 2: 角度定时器的输入和输出时序图



例如，用户在输入信号的每个周期中需要 360° 分辨率。Fosc 为 16 MHz 的模块时钟。输入信号的频率大约为 90 Hz (5400 RPM)，那么输入信号每个周期需要大约 180k 个模块时钟。这可计算得到 180,000/360 = 500，在该情况下意味着模块需要每隔 500 个时钟插入一个中断来获得每周期 360°。公式 1 给出了模块的工作原理：

公式 1:

$$ATxPER = \frac{F(ATxCLK)}{F(ATxSIG)} - 1$$

在公式 1 中，ATxRES 寄存器表示用户希望在每个周期内产生多少个中断，在本例中为 360 - 1 = 359 个。模块时钟频率除以输入信号频率，得到每个周期中的模块时钟数量，即为 180k。ATxPER 寄存器记录需要间隔多少个模块时钟才插入一个中断，这里是 500。

图 1 所示为本示例的简化框图。图中唯一需要设置的寄存器是 ATxRES。所有其他值均由硬件计算。计数器 1 每个模块时钟增加 1 并与 ATxRES 寄存器作比较。当计数器 1 与 ATxRES 中的数字匹配时，计数器 2 递增 1。在该周期中，有 180k 个模块时钟，因此计数器 2 增加到 500。在该周期结束时，将计数器 2 中的数字复制到 ATxPER 寄存器。到目前为止，模块已完成该周期的计算并准备为下一个周期输出中断。当下一个周期开始时，计数器 3 每个模块时钟增加 1 并与 ATxPER 作比较。当这两个值匹配时，中断标志置 1，ATxPHS 寄存器增加 1。因此，模块每隔 500 个模块时钟触发一次中断，ATxPHS 记录目前为止发生的中断数。同时，框图的上半部分为下一个周期计算 ATxPER。图 2 所示为本示例的输入和输出信号的时序图。

## 实现

### 初始化

要在用户自己的应用中设置模块，第一个步骤是初始化寄存器。要使模块开始工作，需要初始化三个主要输入：

- 模块时钟
- 输入信号
- 分辨率

ATxCLK 用于选择模块的时钟源。Fosc 或 HFINTOSC (16 MHz) 均可选择作为模块时钟。另外，可通过设置 ATxCON0 寄存器应用预分频器，这在低速 / 低频应用中很有用，可避免 ATxPER 寄存器发生溢出。

ATxSIG 用于选择输入信号。有几个源可选为输入信号，例如可配置逻辑单元 (Configurable Logic Cell, CLC) 输出、过零检测 (Zero-Cross Detect, ZCD) 输出、内部比较器输出和 ATxINPPS，可通过外设引脚选择 (Peripheral Pin Select, PPS) 功能将信号传递到各数字引脚。

ATxRES 用于设置用户应用的分辨率。回想公式中的“+1”。如果用户需要 360° 分辨率，ATxRES 寄存器应设置为 359。

还有其他一些寄存器可根据用户偏好设置，例如工作模式和输入信号的极性位。可在数据手册中找到这些寄存器并轻松进行设置。

### 选择 ATxRES

选择的分辨率将影响角度定时器模块的误差。由于模块的基本工作原理是硬件除法，因此通常计算会有余数。该余数表现为每个周期最后一个角度 / 相位中的额外模块时钟数。ATxRES 值越大，该误差就越大。除数 (ATxRES + 1) 越大，余数将越大。因此，选择相对较小的 ATxRES 值可降低模块的误差。例如，如果用户需要在电机分别旋转 90°、180°、270° 和 360° 时产生四个中断，那么 ATxRES 可以设置为 3，而不是 359。然而，对于相同被除数 (每个周期的模块时钟数)，较小的除数将产生较大的结果，结果保存在 ATxPER 中。因此，要注意如果分辨率太小和输入信号频率太低的话 ATxPER 可能会溢出。

## 灵敏值

计算灵敏值是了解用户应用误差大小的一种方式。

灵敏值可通过公式 2 计算。

### 公式 2:

$$FOM\% = \frac{ATxRES}{f(ATxCLK)} \cdot 100$$

$$f(ATxSIG)$$

结果表示单个角度的最大可能误差。如果 FOM 很小，这意味着用户设计只有较小的误差裕度。

## 丢失脉冲寄存器

丢失脉冲寄存器 ATxMISS 可用于故障检测，可用于检测电机控制应用中的速度突变。

不断从周期计数器的当前值中减去 ATxPERH/L 寄存器对的锁存值。基于不同的模式，将结果与 ATxMISSH/L 寄存器对的值或之前锁存的测量周期的一半 (ATxPER/2) 作比较。如果发生匹配，在丢失脉冲输出上输出一个脉冲，并且 AT1IR0 寄存器的 MISSIF 中断标志位置 1。此外，在某些模式下，丢失脉冲输出决定何时设置周期时钟脉冲。请注意，AT1MISSH 在 AT1MISSL 写入之前被锁存。在用户代码中，应分别设置 AT1MISSH 和 AT1MISSL，且应先设置 AT1MISSH 再设置 AT1MISSL。

## 工作模式

角度定时器有四种基本工作模式，如下所述。请注意，所有描述均假设 ATxCON0 寄存器的 POL 位清零。如果 POL 置 1，将在下降沿触发事件，而不是上升沿。

- 具有固定丢失脉冲的单脉冲旋转
- 具有固定丢失脉冲的多脉冲旋转
- 具有自适应丢失脉冲的单脉冲旋转
- 具有自适应丢失脉冲的多脉冲旋转

当 ATxCON0 寄存器的 MODE 位设置为 00，角度定时器处于单脉冲旋转模式。在该模式下，在 ATxCON 寄存器的 VALID 位置 1 后，在输入信号的每个上升沿将当前周期计数器值锁存到 ATxPERH/L 寄存器对并复位周期计数器。如果 ATxPERH/L 寄存器对的锁存值与周期计数器的当前值之间的差值等于 ATxMISSH/L 寄存器对的值，则触发丢失脉冲输出。

当 ATxCON0 寄存器的 MODE 位设置为 01 时，角度定时器模块处于具有固定时间丢失脉冲的多脉冲旋转模式。在该模式下，每个输入锁存周期计数直到出现丢失脉冲。在这之后，紧接的输入边沿将 VALID 位置 1，但不会锁存周期计数器值。然后，在出现丢失脉冲且 VALID = 1 时，周期时钟将等待丢失脉冲后的下一个输入边沿，并在该输入边沿输出一个脉冲和一个中断。该过程将继续，直至发生丢失脉冲输出。在这之后，输入信号上的下一个上升沿将输出周期时钟脉冲，但不会锁存周期计数器值，直至出现下一个上升沿。请注意，在具有固定丢失脉冲的两种模式下，ATxMISS 需由用户设置，但在下面的两种自适应丢失脉冲模式下，模块将忽略 ATxMISS 而无需进行设置。

具有自适应丢失脉冲的单 / 多脉冲旋转与具有固定丢失脉冲的两种模式非常相似。不同之处在于，如果 ATxPERH/L 寄存器对的锁存值与周期计数器的当前值之间的差值等于 ATxPERH/L 寄存器对锁存值的一半 (ATxPER/2)，则触发丢失脉冲输出。通过这种方式，使丢失脉冲检测适合当前电机速度。

## 捕捉 / 比较模式

角度定时器包含多个内置捕捉 / 比较模块。这些模块由其各自的 ATxCCONy 寄存器控制。

捕捉模式可帮助用户读出特定时刻的当前角度 / 相位值。在该模式下，捕捉单元寻找输入边沿并在瞬时相位计数器值中捕捉角度 / 相位定时器的当前值并将其存储在相应的 ATxCCy 寄存器中。它还输出一个脉冲用于触发 ADC 模块或 CLC 中组合逻辑，并触发中断。

当应用需要高分辨率时，可使用比较模式。在该模式下，ATxCCONy 将其值与当前角度 / 相位值作比较。如果相同，则触发中断。

## 中断

角度定时器的主要用途是在特定角度 / 相位触发中断。最常用中断是角度定时器相位中断和周期中断。在输入信号的两个上升沿 / 下降沿之间的每个角度 / 相位处，相位中断标志 ATxPHSIF 置 1。周期中断标志 ATxPERIF 在输入信号的每个上升沿 / 下降沿置 1。因此，对这两个标志进行逻辑或运算，用户可在输入信号的每个角度 / 相位处得到一个中断。

用户可根据自己的应用选择其他要使用的有用中断，例如丢失脉冲和捕捉 / 比较中断。

## 结论

角度定时器模块可用于许多电机控制应用。由于模块使用硬件除法将基于时间的信号转换为基于角度的信号，这样更具时效并允许用户基于角度或相位触发事件。

### 软件许可协议

Microchip Technology Incorporated（以下简称“本公司”）在此提供的软件旨在向本公司客户提供专门用于 Microchip 生产的产品软件。

本软件为本公司和 / 或其供应商所有，并受到适用的版权法保护。版权所有。使用时违反前述约束的用户可能会依法受到刑事制裁，并可能由于违背本许可的条款和条件而承担民事责任。

本软件是按“现状”提供的。任何形式的保证，无论是明示的、暗示的或法定的，包括但不限于有关适销性和特定用途的暗示保证，均不适用于本软件。对于在任何情况下、因任何原因造成的特殊的、附带的或间接的损害，本公司概不负责。

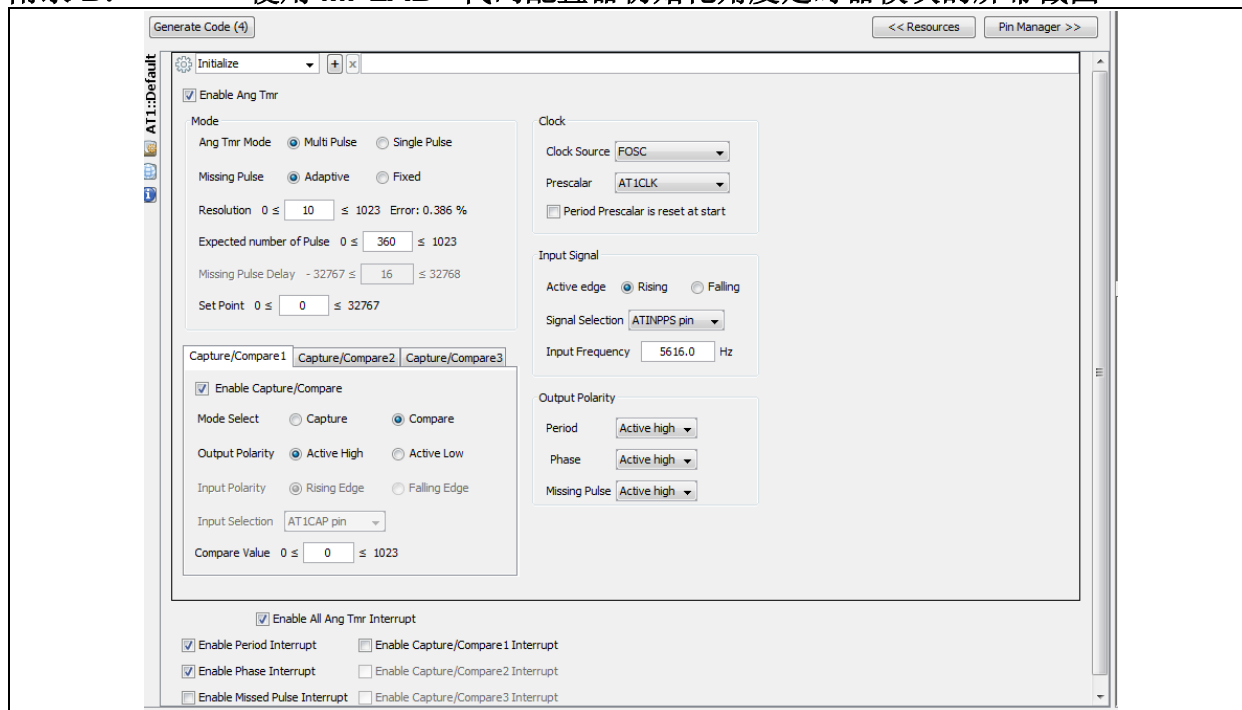
## 附录 A: 初始化和使用相位和周期中断的代码

```
// enable interrupts
AT1IE = 1; // the same ISR handles both phase and period interrupts
AT1IE0 = 0x05;
// Angular Timer initialization
ATINPPS = 0b00100; // RA4 as input
AT1CLK = 0; // Fosc as system clock (ATxCLK)
AT1RES = res - 1; // Set a resolution of 360 degrees. Recall the "-1" (ATxRES)
AT1CON0bits.PS = 0b11; // Prescaler set to ATxCLK/8
AT1CON0bits.PREC = 1; // Period prescaler is reset at the start of every period
// (ATxCON0)

AT1CON0bits.MODE = 0b00; // Angular Timer is in Single Pulse mode (ATxCON0)
AT1SIG = 0b000; // Input signal is ATxINPPS (ATxSIG)
AT1CON0bits.AT1EN = 1; // Angular Timer is enabled (ATxCON0)

// Angular Timer interrupt
void interrupt ISR(void) {
    if (AT1IF)
    {
        // write your own application here
        AT1IF0 = 0; // The ATxIF flag in PIR is read-only, and the only way to clear
                    // it is to clear the bits in AT1IF0
    }
}
```

## 附录 B: 使用 MPLAB® 代码配置器初始化角度定时器模块的屏幕截图



---

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，是您自身应尽的责任。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 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<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 and 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: 978-1-5224-0674-7

## 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: 905-695-1980  
Fax: 905-695-2078

### 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 - 广州**  
Tel: 86-20-8755-8029

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

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

### 亚太地区

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

**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 - Druen**  
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