
引导时CRC的使用

简介

循环冗余校验（Cyclic Redundancy Check, CRC）常用于对非易失性存储器（Non-Volatile Memory, NVM）各区域执行错误检验，以确保该存储器的数据完整性。在许多安全关键型应用中，需要独立于器件的程序存储器来执行这类校验，这种情况下CRC会非常实用。此外，在执行程序存储器中的任何代码之前进行这类校验还有助于避免执行任何错误代码，防止系统中发生潜在的问题。

引导时CRC功能在设计之初即考虑了上述应用需求。该功能可对器件上NVM的多个区域执行CRC，无需依赖程序存储器。如果发现错误，还可以在执行代码之前将器件保持在复位状态。本技术简介提供了有关一系列PIC®单片机上32位CRC模块的引导时CRC功能的信息。该功能基于原有的16位CRC模块硬件设计而成。因此，如果用户不熟悉PIC16F/PIC18F CRC模块，建议先阅读[TB3128《8位单片机上的CRC和存储器扫描》](#)来大致熟悉一下CRC模块的工作原理以及CRC计算。

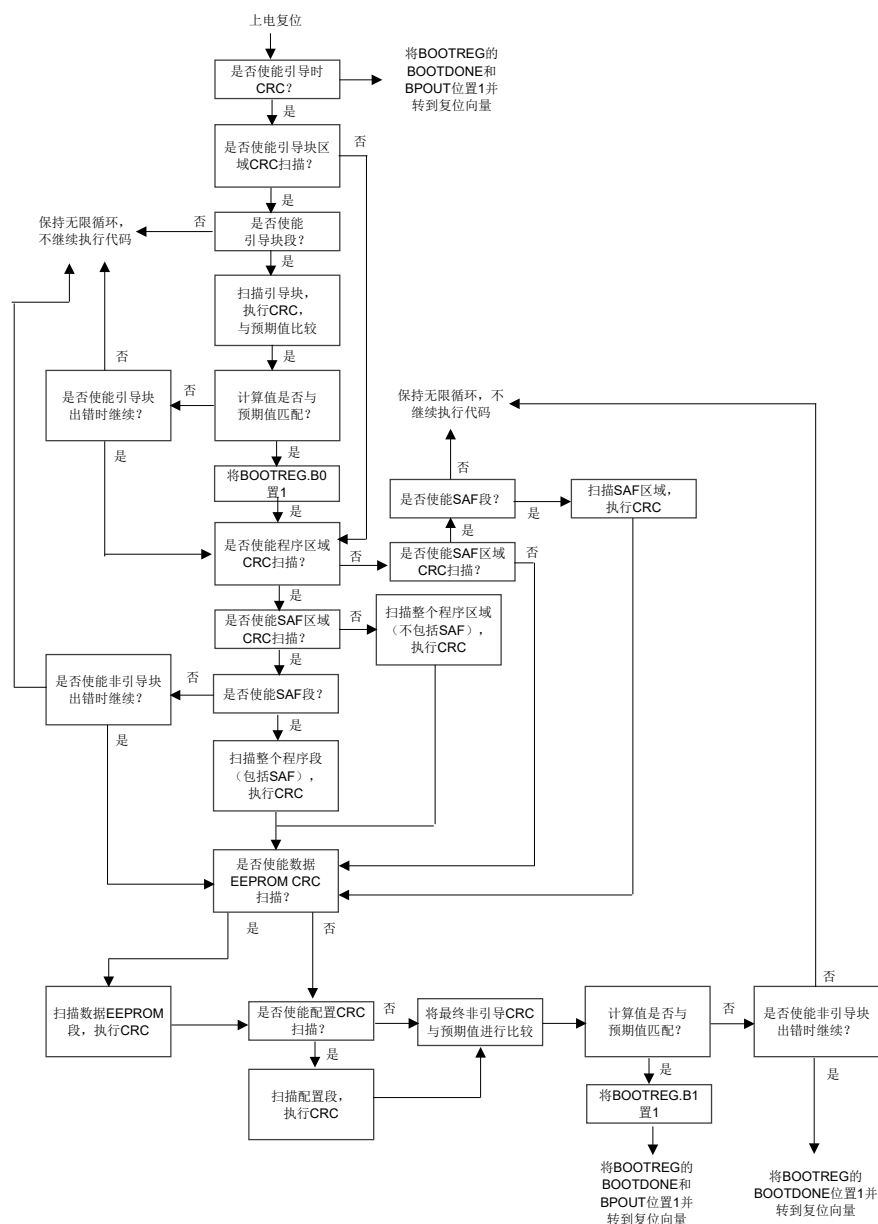
目录

简介	1
1. 引导时CRC.....	3
1.1 扫描段.....	4
1.2 引导时CRC输出	4
2. CRC模块	5
3. 引导时CRC配置.....	6
3.1 扫描区域使能和选择	6
3.2 输出控制	6
3.3 多项式、种子和预期值配置与计算.....	6
4. 用例示例	7
5. 结论	8
Microchip网站.....	9
变更通知客户服务.....	9
客户支持	9
全球销售及服务网点	11

1. 引导时CRC

使能单片机的引导时CRC功能时，会在器件上电后立即对非易失性存储器的选定区域执行CRC，然后再执行任何用户代码。该功能完全通过配置字进行设置并由器件上的硬件执行，无需任何用户代码干预。图1-1给出了引导时CRC功能的流程图。

图1-1. 引导时CRC流程图



引导时CRC功能负责选择NVM中要进行扫描和运行32位CRC的段，以及用于CRC计算的多项式和种子。该功能将扫描所有选定的存储区域，并对其中包含的数据运行CRC计算。然后，将计算结果与预先配置的预期结果进行比较，并指示计算结果是否与预期结果匹配，从而确认所有被扫描的存储区域是否偏离预期值。

1.1 扫描段

引导时CRC可扫描NVM的以下主要区域：

- 程序存储器引导扇区
- 非引导NVM

非引导NVM进一步细分为四个较小的段：

- 非引导程序存储器
- 存储区闪存
- 数据EEPROM
- 配置字

对于上述五个段（程序存储器引导扇区和非引导NVM的四个段），可以单独使能或禁止扫描每一个段。此外，引导时CRC功能扫描的这两个主要区域将各自拥有一组配置寄存器来存储其多项式、种子和预期结果值；各自拥有一个状态位来指示是否发现CRC不匹配；各自拥有一个配置位来决定在检测到不匹配时器件是继续执行还是触发陷阱。

注：由于引导区域计算会先完成，因此除非BOOTCOE位清零，否则如果CRC引导区域不匹配，将不会进行非引导区域计算。

1.2 引导时CRC输出

当引导时CRC操作开始时，会清零BOOTREG寄存器的BPOUT位。如果发现所有已使能CRC计算的结果均与其各自的预期值匹配，则BPOUT位将置1，并开始执行常规用户代码。此外，BPOUT位还会控制任何选定输出引脚的状态，即先将引脚拉为低电平，等到确定CRC匹配成功后再将引脚驱动或释放为高电平。输出引脚可使能或禁止以及转向到多个输出引脚，并且可配置为正常模式或漏极开路模式。

注：未使能的所有CRC计算均视为计算值与预期值匹配。

2. CRC模块

引导时CRC功能使用32位CRC模块来执行CRC计算。多项式和种子值（CRCXOR和CRCACC）从各自的配置字装载。对于引导段，BCRCPOL配置寄存器的内容装入CRCXOR寄存器中，BCRCSEED配置寄存器的内容装入CRCACC寄存器中。对于其他段，CRCPOL的内容装入CRCXOR中，CRCSEED的内容装入CRCACC中。对于引导段、应用程序段和SAF段，CRC设置如下：

- CRC输入数据设置为16位（CRCCON2 = 0x0F）
- 多项式设置为32位（CRCCON1 = 0x1F）
- CRC左移（MSb在前，SHIFTM = 0）
- 累加器使用零扩充（ACCM = 1）

对于数据EEPROM扫描和配置扫描，CRC设置基本保持不变，只是CRC输入数据设置为8位（CRCCON2 = 0x07），而不是16位。

选择进行扫描的区域时需考虑多项因素，具体分为引导时CRC的内部因素和外部因素。受外部因素影响的三个主要段分别为程序段、SAF段和引导段。这三个段是NVM内的一个连续区域，只是大小各不相同。引导段扫描将通过调整来匹配引导段所配置的大小（由BOOTSIZ配置位确定），程序存储段也将通过调整进行匹配。程序存储段将扫描至程序存储器的末尾，但使能了SAF段时除外，此时必须单独使能SAF扫描。数据EEPROM扫描将扫描存储器的整个数据EEPROM段。配置扫描将扫描所有配置字节，但非引导段预期值的四个配置字节除外，因为扫描这些字节将导致扫描过程无法进行。

注：

1. 对未使能的存储段使能扫描（例如，在禁止SAFEN时对SAF段使能扫描）时，引导时CRC会将其视为预期值不匹配。
2. 引导时CRC使用的时钟由器件的RSTOSC配置位选择。这一点很重要，因为将源时钟配置为慢速源（例如，32k LFINTOSC或32k SOSC输入源）可能会导致引导时CRC需要很长的时间才能完成操作。如果器件需要以较慢的时钟频率工作（例如，出于降低功耗的目的），解决方案是先将RSTOSC配置位设置为较高的时钟频率，然后在用户代码开头将时钟切换到较慢的频率。这样，既可以使引导时CRC在合理的时间内完成操作，也可以让器件以较慢的速度运行。

3. 引导时CRC配置

3.1 扫描区域使能和选择

将 $\overline{\text{BOOTPOR}}$ 配置位清零即可使能引导时CRC。使能对各个段的扫描则分别通过 $\overline{\text{CFGSCEN}}$ 、 $\overline{\text{DATSCEN}}$ 、 $\overline{\text{SAFSCEN}}$ 、 $\overline{\text{APPSCEN}}$ 和 $\overline{\text{BOOTSCEN}}$ 配置位进行控制。默认情况下，模块在检测到不匹配后会立即停止器件的操作。清零 $\overline{\text{COE}}$ 或 $\overline{\text{BOOTCOE}}$ 位将禁止该功能并允许器件继续执行后续操作。当每个段（引导段或非引导段）完成扫描时， $\overline{\text{BOOTREG}}$ 的B0和B1位将置1或清零，以指示每个段是否通过其CRC。

3.2 输出控制

输出引脚通过 $\overline{\text{ODCON}}$ 、 $\overline{\text{BPEN}}$ 和 $\overline{\text{BOOTPINSEL}}$ 配置位进行配置。 $\overline{\text{BPEN}}$ 位用于使能或禁止输出引脚， $\overline{\text{BOOTPINSEL}}$ 位用于选择哪个引脚将拥有模块输出， $\overline{\text{ODCON}}$ 位用于控制输出引脚是既驱动高电平信号也驱动低电平信号还是处于漏极开路模式（仅驱动低电平信号）。输出引脚的电平由 $\overline{\text{BOOTREG}}$ 寄存器的BPOUT位决定。该位会由引导时CRC在完成其计算后自动设置为合适的电平，但也可用软件进行控制，以便手动控制由 $\overline{\text{BOOTPINSEL}}$ 位选择的引脚。

注：如果BPEN位清零，则通过 $\overline{\text{BOOTPINSEL}}$ 选择的引脚将完全由引导时CRC控制，不能用于GPIO、PPS或模拟功能。

表3-1. 引导时CRC输出引脚选择

BPEN	BOOTPINSEL	输出引脚
1	x	无
0	00	RA4
0	01	RA2
0	10	RC4
0	11	RC5

3.3 多项式、种子和预期值配置与计算

如果使能引导时CRC，则在发生所有上电复位（Power-On Reset, POR）事件时都将运行。如果计算完成后继续执行用户代码（无论是通过匹配预期值还是使能出错时继续功能来实现）， $\overline{\text{BOOTREG}}$ 中的 $\overline{\text{BOOTDONE}}$ 位将置1。当该位置1时，所有非POR事件将立即跳转到用户代码，无需执行引导时CRC。但是，如果在非POR事件之后需要进行这类计算，则清零该位将导致在下次复位（无论复位源为何）时执行引导时CRC。

如前文所述，多项式和种子值直接取自其各自的配置字节并装入CRC模块的关联字节。有关CRC计算的更多详细信息，请参见TB3128《8位单片机上的CRC和存储器扫描》。对于预期值，必须已知将被扫描和校验的存储区域才能进行计算。预期值装入相应的配置寄存器，其中BCRCRES寄存器的内容与引导段最终计算出的CRC值进行比较，CRCRES寄存器的内容与非引导段最终计算出的CRC值进行比较。

4. 用例示例

下面通过几个示例说明了引导时CRC在不同用例中的配置设置。例4-1为程序存储器中没有引导扇区或SAF扇区的情况。在这种情况下，仅扫描应用程序存储器，输出在引脚RA2（用于共用错误线）上设置为漏极开路模式，器件在出错时将不会继续执行操作。这样可以使整个系统处于复位状态，适用于安全关键型系统。

例4-2为扫描程序存储器的引导段和应用程序段的情况。如果引导段中出错，则器件不会继续执行操作，因为该错误不可恢复。但是，如果应用程序段中出错，引导段可以对此作出反应并（可能）修复应用程序段中的错误。

例4-3为仅扫描数据EEPROM的情况。在这种情况下，可在应用程序代码的开头处理所有错误，并且既不需要输出信号，也不需要出错时暂停，这两项功能均禁止。

例4-1. 仅扫描应用程序代码，无引导扇区或SAF，RA2引脚设为漏极开路模式，禁止出错时继续

```
CONFIG7=0xFF // 禁止调试，禁止SAF，禁止引导块
CONFIG9=0xCD // 使能输出引脚，将RA2引脚设为漏极开路模式
CONFIG11=0x7B // 使能引导时CRC，使能应用程序段
```

例4-2. 扫描引导段和应用程序段，禁止引导段出错时继续，使能应用程序段出错时继续

```
CONFIG7=0xF4 // 禁止调试，禁止SAF，使能引导块，16 kW引导块
CONFIG9=0xEC // 使能输出引脚并在RA4引脚上驱动高电平和低电平
CONFIG11=3A // 使能引导时CRC，使能非引导段出错时继续，使能应用程序扫描
              // 使能引导段扫描，禁止引导段出错时继续
```

例4-3. 仅扫描数据EEPROM，无输出引脚，出错时继续

```
CONFIG7=0xF4 // 禁止调试，禁止SAF，使能引导块，16 kW引导块
CONFIG9=0xEC // 使能输出引脚并在RA4引脚上驱动高电平和低电平
CONFIG11=3A // 使能引导时CRC，使能非引导段出错时继续，使能应用程序扫描
              // 使能引导段扫描，禁止引导段出错时继续
```

5. 结论

循环冗余校验（CRC）常用于验证PIC单片机上非易失性存储器（NVM）的数据完整性。引导时CRC是8位PIC单片机上某些32位CRC模块的一项功能，允许独立于应用程序代码来扫描和验证数据的完整性。本技术简介概述了引导时CRC的主要特性，以及在使用中应避免的几种错误。此外，还通过几个示例演示了在不同用例中使用该功能时的配置设置。

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。我们的网站可提供以下内容：

- **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（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

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。

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。

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。

有关Microchip质量管理体系的更多信息，请访问www.microchip.com/quality。

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、SAM-BA、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、ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、Flashtec、Hyper Speed Control、HyperLight Load、Libero、motorBench、mTouch、Powermite 3、Precision Edge、ProASIC、ProASIC Plus、ProASIC Plus徽标、Quiet-Wire、SmartFusion、SyncWorld、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider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、EyeOpen、GridTime、IdealBridge、IGaT、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Intelligent Paralleling、IntelliMOS、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、Knob-on-Display、MarginLink、maxCrypto、maxView、memBrain、Mindi、MiWi、MPASM、MPF、MPLAB Certified徽标、MPLIB、MPLINK、mSiC、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICKit、PICKtail、Power MOS IV、Power MOS 7、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、Ripple Blocker、RTAX、RTG4、SAM-ICE、Serial Quad I/O、simpleMAP、SimpliPHY、SmartBuffer、SmartHLS、SMART-I.S.、storClad、SQL、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Switchtec、SynchroPHY、Total Endurance、Trusted Time、TSHARC、Turing、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。© 2023, Microchip Technology Incorporated及其子公司版权所有。ISBN:

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

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

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
Tel: 1-317-536-2380

洛杉矶 Los Angeles
Mission Viejo, CA
Tel: 1-949-462-9523
Fax: 1-949-462-9608
Tel: 1-951-273-7800

罗利 Raleigh, NC
Tel: 1-919-844-7510

纽约 New York, NY
Tel: 1-631-435-6000

圣何塞 San Jose, CA
Tel: 1-408-735-9110
Tel: 1-408-436-4270

加拿大多伦多 Toronto
Tel: 1-905-695-1980
Fax: 1-905-695-2078

亚太地区

中国 - 北京
Tel: 86-10-8569-7000

中国 - 成都
Tel: 86-28-8665-5511

中国 - 重庆
Tel: 86-23-8980-9588

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

中国 - 南京
Tel: 86-25-8473-2460

中国 - 青岛
Tel: 86-532-8502-7355

中国 - 上海
Tel: 86-21-3326-8000

中国 - 沈阳
Tel: 86-24-2334-2829

中国 - 深圳
Tel: 86-755-8864-2200

中国 - 苏州
Tel: 86-186-6233-1526

中国 - 武汉
Tel: 86-27-5980-5300

中国 - 西安
Tel: 86-29-8833-7252

中国 - 厦门
Tel: 86-592-238-8138

中国 - 香港特别行政区
Tel: 852-2943-5100

中国 - 珠海
Tel: 86-756-321-0040

台湾地区 - 高雄
Tel: 886-7-213-7830

台湾地区 - 台北
Tel: 886-2-2508-8600

台湾地区 - 新竹
Tel: 886-3-577-8366

亚太地区

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

印度 India - Bangalore
Tel: 91-80-3090-4444

印度 India - New Delhi
Tel: 91-11-4160-8631

印度 India - Pune
Tel: 91-20-4121-0141

日本 Japan - Osaka
Tel: 81-6-6152-7160

日本 Japan - Tokyo
Tel: 81-3-6880-3770

韩国 Korea - Daegu
Tel: 82-53-744-4301

韩国 Korea - Seoul
Tel: 82-2-554-7200

马来西亚 Malaysia - Kuala Lumpur
Tel: 60-3-7651-7906

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

菲律宾 Philippines - Manila
Tel: 63-2-634-9065

新加坡 Singapore
Tel: 65-6334-8870

泰国 Thailand - Bangkok
Tel: 66-2-694-1351

越南 Vietnam - Ho Chi Minh
Tel: 84-28-5448-2100

欧洲

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

丹麦 Denmark - Copenhagen
Tel: 45-4485-5910
Fax: 45-4485-2829

芬兰 Finland - Espoo
Tel: 358-9-4520-820

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

德国 Germany - Garching
Tel: 49-8931-9700

德国 Germany - Haan
Tel: 49-2129-3766400

德国 Germany - Heilbronn
Tel: 49-7131-72400

德国 Germany - Karlsruhe
Tel: 49-721-625370

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

德国 Germany - Rosenheim
Tel: 49-8031-354-560

以色列 Israel - Ra'anana
Tel: 972-9-744-7705

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

意大利 Italy - Padova
Tel: 39-049-7625286

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

挪威 Norway - Trondheim
Tel: 47-7288-4388

波兰 Poland - Warsaw
Tel: 48-22-3325737

罗马尼亚 Romania - Bucharest
Tel: 40-21-407-87-50

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

瑞典 Sweden - Gothenberg
Tel: 46-31-704-60-40

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

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