
如何利用 **Cortex[®]-M0+** 单片机实现更快的数学计算

简介

工业和家用电器市场中的各种应用要求使用数学运算来实现不同的算法和计算。基于 **Cortex[®]-M0+** 的单片机包含加法、减法和乘法指令。**Cortex-M0+** 架构没有用于除法运算的汇编指令，除法逻辑可以根据不同的编译器而变化。基于 **Arm[®] Cortex-M0+** 的单片机（MCU）具有一个可配置选项，可通过该选项使用快速乘法器进行乘法运算。基于该可配置选项，乘法运算可以为单个周期指令到最多 32 个周期指令不等。

SAMC21（一款 **Cortex-M0+** MCU）非常适合需要数学计算的应用。**SAMC21** MCU 具有可进行乘法运算的快速单周期乘法器选项，还具有一个新的外设，称为除法和平方根加速器（**Division and Square Root Accelerator, DIVAS**），可用于执行快速除法和平方根运算。

目录

简介.....	1
1. 概念.....	3
2. 解决方案/实现.....	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

适用于 Arm 架构的应用程序二进制接口（Application Binary Interface, ABI）包含一系列标准，其中有些是开放的标准，还有一些是 Arm 架构专用标准。ABI 可管控各种基于 Arm 的执行环境中二进制文件和开发工具的互操作。支持 Arm MCU 的编译器需符合这些标准。这些标准的其中一项是适用于 Arm 架构的运行 ABI。此标准为 ABI 指定辅助函数，使之能够支持 C、C++ 和算术运算。对于除法，编译器会用各自的库代码替换除法和模运算符（即，使用重复减法来实现除法）。该库代码将数百个字节添加到代码存储器，MCU 消耗 50 到 400 之间任意数量的时钟周期，具体取决于操作数的大小。编译器可通过过载运行时 ABI 辅助方法来使用 DIVAS 功能。DIVAS 展现出的性能优于编译器除法（即，比除法 $65535/3$ 少 50 个时钟周期）。DIVAS 支持整数平方根运算，而不需要任何额外的库依赖关系。

注：模运算符使用除法来取得余数，因此需要过载。DIVAS 的性能表现可能会随着被除数和除数的值而变化。

2. 解决方案/实现

DIVAS 只支持 32 位整数除法。用于除法运算的运行时 ABI 辅助方法过载，以便编译器了解除法应使用 DIVAS 功能进行除法。根据运行时 ABI 标准，32 位整数除法函数在 r0 中返回商，或在 {r0, r1} 中返回商和余数。

在下面的示例中，使用 Arm 专用原型表示法描述二值返回函数。

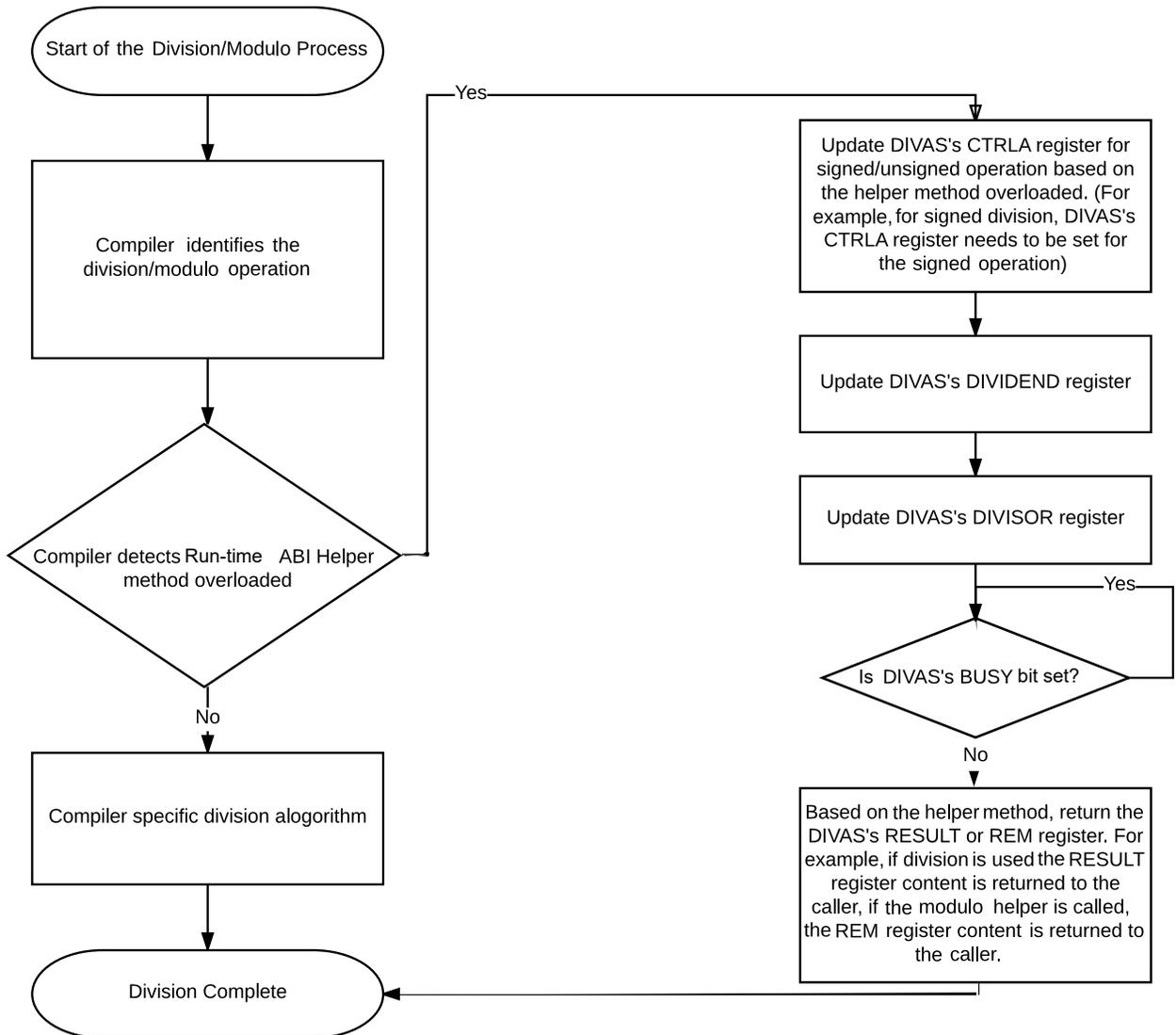
注：有些编译器可以使用 64 位有符号/无符号整数作为返回类型，而不是 `idiv` 或 `uidiv` 结构。

```
int __aeabi_idiv(int numerator, int denominator);
unsigned __aeabi_uidiv(unsigned numerator, unsigned denominator);
typedef struct { int quot; int rem; } idiv_return;
typedef struct { unsigned quot; unsigned rem; } uidiv_return;
__value_in_regs idiv_return __aeabi_idivmod(int numerator, int denominator);
__value_in_regs uidiv_return __aeabi_uidivmod(unsigned numerator, unsigned denominator);
```

注：

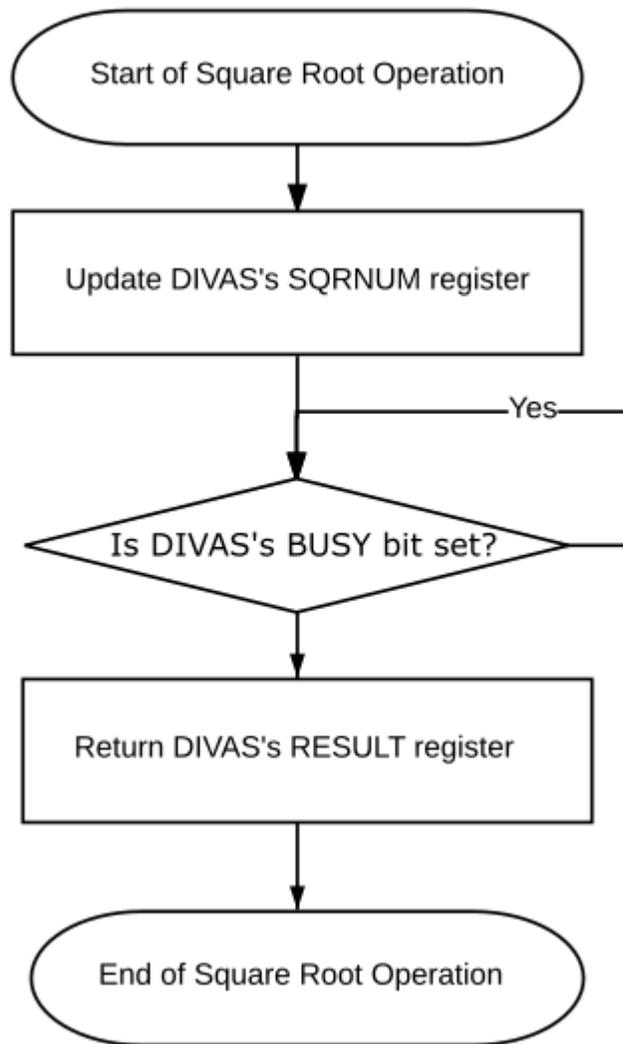
ASFv3 框架为 DIVAS 驱动程序提供支持。DIVAS ASF API 包含整数除法、模和平方根的 API。将符号定义 `DIVAS_OVERLOAD_MODE` 设置为 `true`，即可帮助 DIVAS 的 ASF 驱动程序中过载的 ABI 辅助方法来执行内部除法运算。包含运行时 ABI 辅助方法的驱动程序使用 DIVAS ASF 驱动程序 API 进行过载。

图 2-1. DIVAS 除法运算



函数可以使用 DIVAS 平方根功能，不再需要使用基于数学库浮点运算的函数调用。

图 2-2. DIVAS 平方根运算



DIVAS 可用于以下应用场景：

- ADC 和振荡器的运行时校准，用于微调工业和电机控制应用中 ADC/振荡器输出的性能。
- 需要更快 PID 环的工业控制应用。



提示:

被零除: Cortex-M0+是不包括除法指令的 Armv6-M 架构，因此没有硬件异常。用户可以通过确认分母是否为零来进行验证，基于此，可以使用引发 API 来引发软件用户异常，或者提供默认值（零或被除数）作为输出。请参见 https://www.gnu.org/software/libc/manual/html_node/Signaling-Yourself.html 了解 GCC 编译器支持的信号/引发 API 的信息。

该除法可能导致有符号位溢出: 当被除数-2147483648（位模式 0x80000000）除以值为-1 的分母时，输出数 2147483648 用符号表示，没有值。以上是一种特殊情况，用户可以根据应用需求定义实现方式（即，可以返回被除数或默认值）。

从 ISR 和主上下文进行的除法/模运算: 如果同时从 ISR 和主上下文进行除法运算，则过载方法应受到中断锁定的保护。那么，在每个过载方法开始和结束时，实现应包含全局中断禁止和全局中断允许方法。

浮点除法与长除法: Arm Cortex-M0+没有浮点单元（floating-point unit, FPU），而且 DIVAS 只支持 32 位整数除法。编译器继续使用自己的库代码来执行浮点除法和长（64 位）除法，而不是使用 DIVAS。

3. 相关资源

- http://www.atmel.com/Images/Atmel-42465-Using-DIVAS-on-SAMC-Microcontroller_ApplicationNote_AT6486.pdf
- Application Binary Interface for the ARM® Architecture http://infocenter.arm.com/help/topic/com.arm.doc.ihl0036b/IHL0036B_bsabi.pdf
- Run-time ABI for the ARM® Architecture (http://infocenter.arm.com/help/topic/com.arm.doc.ihl0043d/IHL0043D_rtabi.pdf)
- http://asf.atmel.com/docs/latest/samc20/html/group__asfdoc__sam0__divas__group.html
- https://www.gnu.org/software/libc/manual/html_node/Program-Error-Signals.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、PICKIT tail、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: 978-1-5224-3265-4

AMBA、Arm、Arm7、Arm7TDMI、Arm9、Arm11、Artisan、big.LITTLE、Cordio、CoreLink、CoreSight、Cortex、DesignStart、DynamIQ、Jazelle、Keil、Mali、Mbed、Mbed Enabled、NEON、

POP、RealView、SecurCore、Socrates、Thumb、TrustZone、ULINK、ULINK2、ULINK-ME、ULINK-PLUS、ULINKpro、 μ Vision 和 Versatile 是 Arm Limited（或其子公司）在美国和/或其他国家/地区的商标或注册商标。

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			