

---

---

## 带计算功能并使用 DMA 实现现场切换的 ADC

---

---

### 简介

作者: Keith Curtis, Microchip Technology Inc.

此款 ADC 具有计算和现场切换功能，它为 ADC 转换增加了转换后操作，还可将寄存器配置保存为现场。这些转换后操作包括求平均值、累加、滤波和与预设阈值比较。此外，ADC 还具有执行单转换和双转换以及 CVD 电容测量的能力。这些转换后操作显著增强了 ADC 的功能，但在涉及多个通道时会带来一些问题。每个通道可能会有其自己特定的配置、平均值、累加值、滤波值和/或阈值。因此，为了在给定应用中有效操作多个通道，可以将多个输入通道的 ADC 寄存器配置作为现场来保护。可以使用 ADC 模块或通过直接存储器访问（Direct Memory Access, DMA）模块读取现场。

本应用笔记涵盖了 ADC 现场切换系统的几个示例，包括在有和没有 DMA 协助的情况下，具有不同配置的通道以及具有不同平均值、累加值和滤波值的通道。

## 目录

简介.....	1
1. ADC 概述.....	4
1.1. 10 位/12 位 ADC.....	4
1.2. 计算.....	5
1.3. 现场切换.....	5
2. DMA 概述.....	8
2.1. 实现 ADC 现场保护恢复.....	8
3. 双 DMA 系统.....	9
3.1. 用例.....	9
3.2. ADC 配置.....	10
3.3. DMA 通道读取配置.....	10
3.4. DMA 通道写入配置.....	10
3.5. 最终系统配置.....	10
3.6. 系统运行——双 DMA.....	12
4. 三通道 DMA.....	13
4.1. 用例.....	14
4.2. ADC 配置.....	14
4.3. DMA 通道读取配置.....	14
4.4. DMA 写入通道配置.....	14
4.5. 最终系统配置.....	14
4.6. 系统运行——三通道.....	15
5. 使用具有现场切换功能的 ADC 和单通道 DMA.....	16
5.1. 用例.....	16
5.2. ADC 配置.....	16
5.3. DMA 通道读取配置.....	17
5.4. 最终系统配置.....	17
5.5. 系统运行——具有现场定序器的 ADC.....	17
6. 结论.....	18
Microchip 网站.....	19
产品变更通知服务.....	19
客户支持.....	19
Microchip 器件代码保护功能.....	19
法律声明.....	19
商标.....	20
质量管理体系.....	20

全球销售及服务网点.....21

## 1. ADC 概述

为了方便理解，我们先来了解一下 ADC 的通用功能、转换后计算以及新的现场切换功能。本章的重点是介绍配置、转换、状态、计算功能和现场切换会用到哪些模式和寄存器，不会深入探讨如何配置和使用 ADC。

### 1.1 10 位/12 位 ADC

此 ADC 是一款带有附加元件的 10 位或 12 位逐次逼近寄存器（Successive Approximation Register, SAR）转换器。这些附加元件包括：

- 多通道模拟输入多路开关
- 多通道模拟参考多路开关
- 多源输入时钟多路开关
- 多源转换触发多路开关
- 采集定时器
- 预充电定时器
- 大小可变的采样保持（Sample-and-Hold, S/H）电容
- 双转换定序器
- 电容分压器（Capacitive Voltage Divider, CVD）定序器（电容传感器转换器）
- CVD 的保护环转换器

这些附加元件一起构成了 ADC 的基本 ADC 前端。可在表 1-1 中列出的 ADC 配置寄存器中配置这些选项。

表 1-1. 配置寄存器

配置寄存器	说明
ADPCH	ADC 输入选择
ADCON0	ADC 配置 0
ADCON1	ADC 配置 1
ADREF	ADC 参考选择
ADCLK	ADC 时钟选择
ADCAP	采样电容选择
ADACQ	ADC 采集时间选择
ADPRE(16)	ADC 预充电时间选择
ADACT	ADC 转换触发选择

除配置寄存器外，表 1-2 中还列出了两个转换结果寄存器。

表 1-2. 数据寄存器

数据寄存器	说明
ADRES(16)	16 位结果寄存器
ADPREV(16)	16 位前一个结果寄存器

ADRES 是最新转换的结果，ADPREV 寄存器数据则是前一个转换的结果。保持双转换的结果需要两个寄存器。

**注：** 转换结果寄存器为 16 位，可用于保存 ADC 转换的 10 位/12 位结果。可通过配置 ADCON0 寄存器中的 FM 位来提供左右对齐/格式。

## 1.2 计算

ADC 的计算部分能够执行以下操作：

- 基本：无转换后处理的转换
- 累加：累加所有后续转换的结果
- 求平均值：计算每次采样的平均值，每 X 次采样后将结果与阈值进行比较
- 突发平均值：重复采样 X 个值，将其与阈值进行比较
- 滤波：对采样执行低通滤波，在 X 次采样后与阈值进行比较

这些计算选项可通过表 1-3 中列出的寄存器配置。

表 1-3. 配置寄存器

配置寄存器	说明
ADCON2	计算配置 2 寄存器
ADCON3	计算配置 3 寄存器
ADRPT	ADC 重复设置寄存器
ADSTPT(16)	ADC 阈值设定值寄存器
ADLTH(16)	下限阈值寄存器
ADUTH(16)	上限阈值寄存器

除配置寄存器外，表 1-4 和 1-5 中还列出了计算的现场和状态寄存器。

表 1-4. 状态寄存器

状态寄存器	说明
ADERR(16)	16 位错误状态寄存器
ADSTAT	计算状态寄存器

表 1-5. 数据寄存器

数据寄存器	说明
ADACC(16)	16 位累加寄存器
ADCNT	重复计数寄存器
ADFLTR(16)	当前滤波值寄存器

## 1.3 现场切换

ADC 的现场切换功能允许配置多个具有不同计算功能、状态、输入通道、累加值、滤波值、阈值以及当前和先前结果的通道。对于设计人员来说，这种现场切换功能相当于多个具备单独计算功能的 ADC 外设。此外，实际现场切换可在 ADC 转换结束后触发，这样便可轮询多个输入来响应硬件 CIP 触发事件。

CIP 触发自动轮询是现有硬件 ADC 触发信号和现场定序器的组合。定序器管理所有影子配置寄存器的软件访问以及 ADC 触发事件间的自动现场切换。使用 DMA 访问特殊功能寄存器映射（仅限 DMA 访问）可实现额外的访问。

**注：** 有关使用 DMA 外设访问现场寄存器的信息，请参见器件数据手册中的 DMA 外设一章。



..... (续)									
地址	名称	位位置							
0x03DF	ADSTPT	7:0	STPT[7:0]						
		15:8	STPT[15:8]						
0x03E1	ADFLTR	7:0	FLTR[7:0]						
		15:8	FLTR[15:8]						
0x03E3	ADACC	7:0	ACC[7:0]						
		15:8	ACC[15:8]						
		23:16							ACC[17:16]
0x03E6	ADCNT	7:0	CNT[7:0]						
0x03E7	ADRPT	7:0	RPT[7:0]						
0x03E8	ADPREV	7:0	PREV[7:0]						
		15:8	PREV[15:8]						
0x03EA	ADRES	7:0	RES[7:0]						
		15:8	RES[15:8]						
0x03EC	ADPCH	7:0	PCH[5:0]						
0x03ED	保留								
0x03EE	ADACQ	7:0	ACQ[7:0]						
		15:8	ACQ[12:8]						
0x03F0	ADCAP	7:0	CAP[4:0]						
0x03F1	ADPRE	7:0	PRE[7:0]						
			PRE[12:8]						
0x03F3	ADCON0	7:0	ON	CONT		CS		FM	GO
0x03F4	ADCON1	7:0	PPOL	IPEN	GPOL				DSEN
0x03F5	ADCON2	7:0	PSIS	CRS[2:0]		ACLR	MD[2:0]		
0x03F6	ADCON3	7:0		CALC[2:0]		SOI	TMD[2:0]		
0x03F7	ADSTAT	7:0	AOV	UTHR	LTHR	MATH	STAT[2:0]		
0x03F8	ADREF	7:0				NREF		PREF[1:0]	
0x03F9	ADACT	7:0	ACT[5:0]						
0x03FA	ADCLK	7:0	CS[5:0]						
0x03FB	ADCTX	7:0	CTXSW					CTX[1:0]	
0x03FC	ADCSEL1	7:0	CHEN	SSI					
0x03FD	ADCSEL2	7:0	CHEN	SSI					
0x03FE	ADCSEL3	7:0	CHEN	SSI					
0x03FF	ADCSEL4	7:0	CHEN	SSI					

## 2. DMA 概述

直接存储器访问（DMA）外设是一种通用数据传输外设，能够将数据从程序存储器、EEPROM 存储器、GPR 存储器和 SFR 存储器传送到 GPR 和 SFR 存储器。可通过软件或硬件触发信号来触发这种传输。

要配置 DMA，必须进行以下配置：

1. 必须使用 SMR[4:3]位在 DMAxCON1 寄存器中配置存储器的源类型。
2. 将源地址装入 DMAxSSAL、DMAxSSAH 和 DMAxSSAU 寄存器。
3. 将目标地址装入 DMAxDSAL 和 DMAxDSAH 寄存器。
4. 将源的大小装入 DMAxSSZL 和 DMAxSSZH 寄存器。
5. 将目标的大小装入 DMAxDSZL 和 DMAxDSZH 寄存器。
6. 通过装入 DMAxSIRQ 寄存器选择传输触发源。
7. 如果需要，通过装入 DMAxAIRQ 寄存器选择中止触发信号。
8. 使用 DMAxCON1 寄存器中的 SMODE[1:0]和 DMODE[1:0]位配置 DMA 自动化。此操作会选择地址指针的固定后递增或后递减。
9. 使用 DMAxCON1 寄存器中的 SSTOP 或 DSTOP 位设置适当的 DMA 终止选项。
10. 允许需要的任何中断。请注意，本应用笔记会使用中断触发其他操作。
11. 通过配置单片机中的仲裁器系统来配置传输优先级。记得将 PRLOCK 位置 1 以启用 DMA 操作。
12. 通过将 DMAxCON0 寄存器中的 EN 位置 1 来启用 DMA。

**注：**有关详细的配置信息，请参见器件数据手册和《配置 DMA 外设》技术简介（DS90003242A\_CN）。

### 2.1 实现 ADC 现场保护恢复

在本应用笔记中，我们将介绍三种配置：

- 最简单的系统，仅使用两个 DMA 通道和一个较大的现场存储数组。
- 更稳健的系统，使用三个 DMA 通道和一个较小的现场存储数组。
- 由具备计算和现场切换功能的新 ADC 以及单个包含纯数据数组的 DMA 通道组成的系统。

双 DMA 系统基于具有多个 ADC 通道的系统，这些 ADC 通道具有完全不同的计算配置。由于现场数组较大，因此固件可以动态修改各 ADC 通道的配置。当阈值或模式需要根据外部要求更改时，这非常有用。固件可以通过仅修改现场数组来修改计算配置。示例包括：需要可变阈值的 mTouch<sup>®</sup>系统、需要响应变化的噪声条件的传感器滤波应用或者具有不同工作模式（需要转换为 ADC 模式，例如累加或滤波）的系统。

三 DMA 系统也基于具有多个 ADC 通道的系统，这些 ADC 通道具有不同的计算配置。由于现场数组较小，因此可最大限度地减少对 GPR 存储器的要求，但会锁定有关 ADC 通道的系统配置。由于 ADC 的配置被程序存储器固定，因此可有效避免噪声或潜在的数据损坏问题。

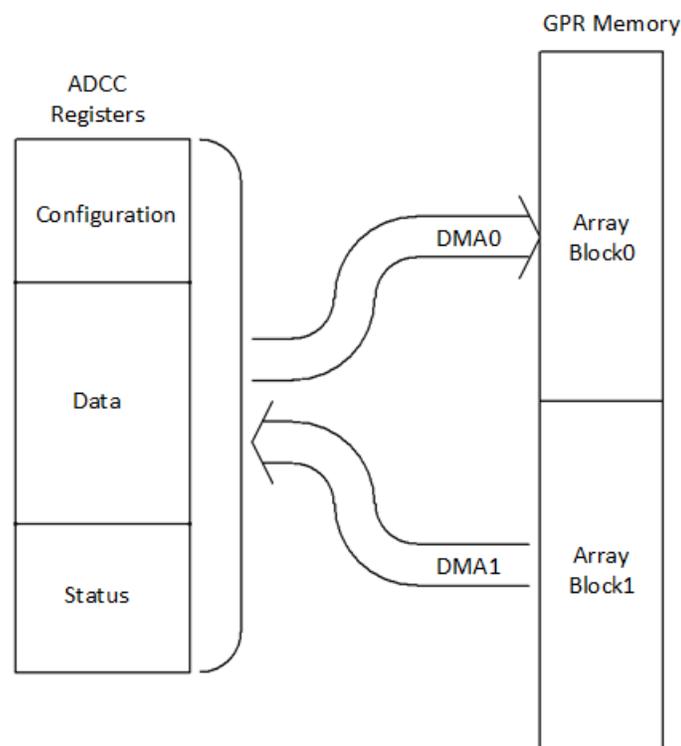
具有现场切换功能的 ADC 也基于具有多个 ADC 通道的系统，这些 ADC 通道也具有不同的计算配置。微小的数据数组对 GPR 存储器只有最低限度的要求，但它不会像三 DMA 系统一样锁定有关 ADC 通道的系统配置。各通道的配置仍然可以动态修改，但不需要固件通过 ADCTX 寄存器来访问各个寄存器。尽管这种系统在抵抗噪声方面不如三 DMA 系统安全，但仍比双 DMA 系统安全，而且使用的 GPR 寄存器数最少。

### 3. 双 DMA 系统

这种最简单的系统设计使用两个 DMA 通道；第一个通道将完整的当前寄存器映射（现场、数据和状态）从 ADC 中复制出来，第二个通道将下一个寄存器映射复制到 ADC 中。这些传输由指示转换或计算结束的 ADC 中断触发。首先为处理寄存器读取的 DMA 通道指定仲裁优先级（优先级 0），随后为处理下一次现场写入的 DMA 通道指定仲裁优先级（优先级 1）。系统中断和主代码的优先级分别为 2 和 3。请参见图 3-1。

随附的项目使用 PIC18F57Q43、Curiosity Nano 适配器和三个传感器 Click board™来演示此系统。三个传感器 Click 板包括一个力传感器 Click 板、一个环境光传感器 Click 板和一个紫外线传感器 Click 板。每个传感器板都有自己的 ADC 配置，双 DMA 系统在传感器之间循环处理，为每个传感器换入和换出现场。TMR0 驱动 ADC 转换输入，ADC 完成中断触发两个 DMA 通道。第一个 DMA 将上一个现场和 ADC 配置复制出来。第二个 DMA 将下一个现场和 ADC 配置复制进去。两个 DMA 通道都由 ADC 完成信号触发，仲裁器将最高优先级指定给第一个 DMA 通道，下一优先级指定给第二个 DMA，第三优先级和第四优先级则分配给中断和主代码。

图 3-1. 双 DMA 现场保护系统的数据流



读取 DMA 具有最高优先级，因此一旦被触发，它会首先完成寄存器读取。读取完成后，写入 DMA 成为最高优先级，进而完成下一个现场的写入。最后，会将优先级返还给系统中断和主代码。这简化了读取和写入 DMA 通道的顺序性，同时确保传输在下次 ADC 触发之前发生。

如果使用计算和阈值功能，此系统的每个 ADC 通道（配置、现场和数据）将需要 34 个存储单元。如果只需要简单的 ADC，则每个通道只需要 18 个寄存器（配置和数据）。如果将 ADC 配置为单次转换，则只需要 13 个存储单元。

**注：**虽然 ADCON2、ADCON3 和 ADSTAT 寄存器为计算操作提供了配置，但它们仍然包含在非计算现场保护的寄存器计数中。它们在存储器中的存储单元与 ADC 配置寄存器交织在一起，从而使 DMA 无法跳过连续的随机寄存器，确保将它们包含在内。

#### 3.1 用例

双 DMA 系统不允许在采样系统工作时动态更改 ADC 配置。不过，这样可防止系统因 GPR 存储器被噪声破坏而更改 ADC 配置，从而提高系统的稳健性。此外，此系统还使用了较小的 GPR 存储单元数组来存储 ADC 数据和状态。

## 3.2 ADC 配置

要配置此系统，从 ADC 开始：

1. 确定要保存的寄存器数和寄存器的基址。
2. 设置用于现场保护/恢复的变量数组。
  - 需要的存储字节数为：(通道数) x (寄存器数)。
  - 需要在包含连续的 GPR 存储器的 RAM 存储区中定义变量空间。
3. 创建程序以将各 ADC 通道的配置值装入变量空间：
  - 包括 ADC 触发信号。
4. 配置 ADC 触发源。

## 3.3 DMA 通道读取配置

ADC 配置完成后，配置读取 DMA 通道：

1. 配置 GPR/SFR 存储器的源和 ADC 寄存器的起始地址。
2. 根据要读取的寄存器数配置源大小。
3. 将 DMAxCON1 寄存器中的 SSTP 位置 1 以在源计数器重载时终止 DMA。
4. 配置后递增的源。
5. 根据数组变量的起始地址配置目标的起始地址。
6. 根据数组变量的大小配置目标大小。
7. 将 DMAxCON1 寄存器中的 DSTP 位清零。
8. 配置后递增的源。
9. 为 ADC 转换完成标志设置 DMA 触发源。
10. 配置系统仲裁器以将读取 DMA 指定为最高优先级（0）。

## 3.4 DMA 通道写入配置

下一步，配置 DMA 写入通道：

1. 配置 GPR/SFR 存储器的源和数组变量的起始地址。
2. 根据数组变量的大小配置源大小。
3. 将 DMAxCON1 寄存器中的 SSTP 位清零。
4. 配置后递增的源。
5. 根据 ADC 寄存器的起始地址配置目标。
6. 根据要写入的寄存器数配置目标大小。
7. 将 DMAxCON1 寄存器中的 DSTP 位置 1 以在目标计数器重载时终止 DMA。
8. 配置后递增的目标。
9. 为 ADC 转换完成标志设置 DMA 触发源。
10. 配置系统仲裁器以将读取 DMA 指定为定最高优先级（1）。

## 3.5 最终系统配置

最终系统配置如下：

1. 设置系统仲裁器，使中断级别为（2），主代码级别为（3）。
2. 设置系统仲裁器中的 PRLOCK 以避免意外修改系统优先级。请参见示例 3-1 和 3-2。
3. （在软件中）手动触发第一个 DMA 写入通道，为第一次转换预装载 ADC。
4. 启动提供 ADC 触发信号的外设。

**例 3-1. 优先级锁定顺序**

```
INTCON0bits.GIE = 0;           // Disable Interrupts;  
PRLOCK = 0x55;  
PRLOCK = 0xAA;  
PRLOCKbits.PRLOCKED = 1;      // Grant memory access to peripherals;  
INTCON0bits.GIE = 1;         // Enable Interrupts;
```

**例 3-2. 优先级解锁顺序**

```
INTCON0bits.GIE = 0;           // Disable Interrupts;  
PRLOCK = 0x55;  
PRLOCK = 0xAA;  
PRLOCKbits.PRLOCKED = 0;      // Allow changing priority settings;  
INTCON0bits.GIE = 1;         // Enable Interrupts;
```

### 3.6 系统运行——双 DMA

启动后，系统会执行 ADC 转换、读取 ADC 寄存器并将数据存储于 GPR 存储器中。然后，系统会从 GPR 存储器中读取下一组数据，并将这些数据写入 ADC 寄存器。此时，系统将一直等待，直到下一个 ADC 触发事件。此过程会持续进行，直到所有通道都已转换。随后，DMA 会以连续循环方式计满返回并开始处理 ADC 输入通道，直到 DMA 被禁止、ADC 被禁止或系统被置于休眠状态。

要访问转换数据，用户只需读取现场数组内的相应存储单元。如有需要，可以禁止 ADC 转换完成中断，这样在转换完成时，ISR 便可以访问现场数组中的数据。

**注：** 由于在系统仲裁器中 ISR 的优先级低于 DMA，因此 ADRES 寄存器中不再存在最新转换数据，只能在现场数组存储器中访问这些数据。

此外，也可以在现场数组存储器中访问阈值数据，以响应阈值中断。

另外，也可以在系统仲裁器中将中断设置为最高优先级。这将允许 ADC 转换完成和阈值中断直接访问 ADC 寄存器中的转换数据。中断完成后，DMA 会自动获取控制权并执行读取和写入现场功能。

**注：** 由于无法将 ADC 中断与其他系统中断区分开，因此，使用系统仲裁器将中断的优先级设置为高于 DMA 时，可能会由于 ISR 调用发生堆叠而导致 ADC 现场的读取和存储延迟完成。这可能会使现场切换出现延迟，进而导致下一次 ADC 触发在现场切换完成前启动，因此要小心使用这种方法。

项目 Dual\_DMA.x 中包含此示例的配置。要了解更多信息，请参见器件数据手册中的示例和 ADC/DMA 外设配置信息。

## 4. 三通道 DMA

采用三个 DMA 通道的设计可实现更稳健的系统；第一个 DMA 将数据寄存器映射从 ADC 中复制出来。第二个 DMA 将完整的配置寄存器映射从闪存程序存储器的常量数组中复制到下一个 ADC 通道中。第三个 DMA 将数据寄存器映射复制到下一个 ADC 通道中。DMA 传输由指示转换或计算结束的 ADC 中断触发。

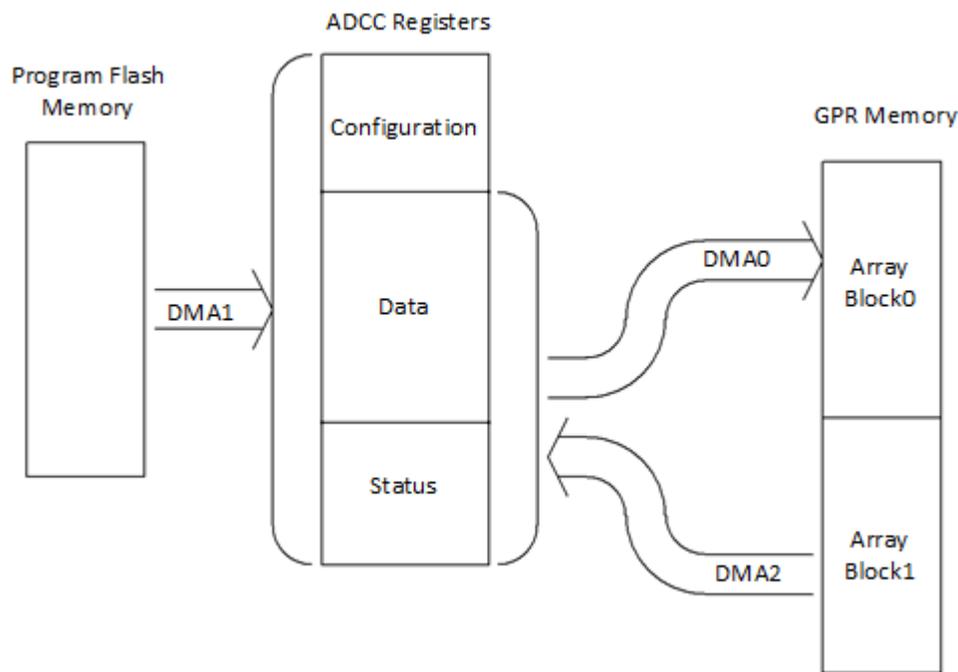
首先为处理寄存器读取的 DMA 通道指定仲裁优先级（优先级 0），随后为处理用于下一次 ADC 转换的配置寄存器写入的 DMA 通道指定仲裁优先级（优先级 1），最后为将数据寄存器现场复制到下一个通道中的最后一个 DMA 指定仲裁优先级（优先级 2）。系统中断和主代码的优先级分别为 3 和 4。

这种设计更稳健，因为每次转换前都会从闪存中复制 ADC 的配置寄存器。上一个设计从 RAM 中复制配置数据，因此存在因代码跑飞而造成数据损坏的风险。

此设计对 GPR 的要求也较低，因为现场保护功能仅保存 ADC 计算部分的数据寄存器。此设计中的每个通道仅需 12 个寄存器，作为对比，上一个设计中的每个通道需要 34 个寄存器。事实上，如果不使用计算部分，就不需要现场保护，此时只需要从闪存程序存储器中复制配置数据寄存器的 DMA。请参见图 4-1。

随附的项目使用 PIC18F57Q43、Curiosity Nano 适配器和三个传感器 Click 板来演示此系统。三个传感器 Click 板包括一个力传感器 Click 板、一个环境光传感器 Click 板和一个紫外线传感器 Click 板。每个传感器板有自己的 ADC 配置，三通道 DMA 系统在传感器之间循环，为每个传感器换入和换出现场。TMR0 驱动 ADC 转换输入，ADC 完成中断触发三个 DMA 通道。第一个 DMA 将上一个现场复制出来，第二个 DMA 将下一个现场复制进去，第三个 DMA 则将 ADC 配置复制到新通道中。三个 DMA 通道都由 ADC 完成信号触发，仲裁器将最高优先级指定给第一个 DMA 通道，第二优先级指定给第二个 DMA，第三优先级指定给 ADC 配置 DMA，第四优先级和第五优先级指定给中断和主代码。

图 4-1. 三 DMA 现场保护系统的数据流



正如在上一个设计中所述，可以允许中断，包括关于在发生中断堆叠时引起 ADC 时序溢出的相同警告。

与上一个设计一样，DMA 通道的配置非常简单，只需使用 ADC GODONE 中断触发全部三个中断。再次使用系统仲裁器按顺序开启 DMA 通道，首先是数据现场读取，接着是配置写入，最后是数据现场写入。

### 4.1 用例

三 DMA 系统允许在采样系统工作时动态更改 ADC 配置。这样，系统便可按需更改 ADC 采样器系统的计算特性来响应系统更改。尽管这样做有一定价值，但当配置数据损坏时，系统可能会发生问题。此外，此系统使用了非常多的 GPR 存储单元来存储可能冗余的配置信息。

### 4.2 ADC 配置

与上一个设计一样，从 ADC 开始：

1. 确定要保存的数据寄存器数和寄存器的基址。
2. 设置用于现场保护/恢复的变量数组。
  - 需要的存储字节数为：(通道数) x (寄存器数)。
  - 这需要在包含连续的 GPR 存储器的 RAM 存储区中定义变量空间。
3. 创建程序来清除变量空间。

### 4.3 DMA 通道读取配置

ADC 配置完成后，配置 ADC 数据读取 DMA 通道：

1. 配置 GPR/SFR 存储器的源和要保存的 ADC 寄存器的起始地址。
2. 根据要读取的寄存器数配置源大小。
3. 将 DMAxCON1 寄存器中的 SSTP 位置 1 以在源计数器重载时终止 DMA。
4. 配置后递增的源。
5. 根据数组变量的起始地址配置目标的起始地址。
6. 根据数组变量的大小配置目标大小。
7. 将 DMAxCON1 寄存器中的 DSTP 位清零。
8. 配置后递增的源。
9. 为 ADC 转换完成标志设置 DMA 触发源。
10. 配置系统仲裁器以将读取 DMA 指定为最高优先级（0）。

### 4.4 DMA 写入通道配置

下一步，配置 DMA 写入通道：

1. 配置包含常量数组和起始地址的闪存程序存储器的源以及常量数组的起始地址。
2. 根据数组变量的大小配置源大小。
3. 将 DMAxCON1 寄存器中的 SSTP 位清零。
4. 配置后递增的源。
5. 根据 ADC 配置寄存器的起始地址配置目标。
6. 根据要写入的寄存器数配置目标大小。
7. 将 DMAxCON1 寄存器中的 DSTP 位置 1 以在目标计数器重载时终止 DMA。
8. 配置后递增的目标。
9. 为 ADC 转换完成标志设置 DMA 触发源。
10. 配置系统仲裁器以便为读取 DMA 指定最高优先级（1）。

### 4.5 最终系统配置

最终系统配置如下：

1. 设置系统仲裁器，使中断级别为（3），主代码级别为（4）。

2. 设置系统仲裁器中的 PRLOCK 以避免意外修改系统优先级。请参见例 4-1 和例 4-2。
3. (在软件中) 手动触发第一个 ADC 配置 DMA 写入通道, 为第一次转换预装载 ADC。
4. (在软件中) 手动触发第一个 ADC 数据 DMA 写入通道, 为第一次转换预装载 ADC 数据寄存器。
5. 启动提供 ADC 触发信号的外设。

**例 4-1. 优先级锁定顺序**

```
INTCON0bits.GIE = 0;           // 禁止中断;
PRLOCK = 0x55;
PRLOCK = 0xAA;
PRLOCKbits.PRLOCKED = 1;      // 授予外设存储器访问权限;
INTCON0bits.GIE = 1;         // 允许中断;
```

**例 4-2. 优先级解锁顺序**

```
INTCON0bits.GIE = 0;           // 禁止中断;
PRLOCK = 0x55;
PRLOCK = 0xAA;
PRLOCKbits.PRLOCKED = 0;      // 允许更改优先级设置;
INTCON0bits.GIE = 1;         // 允许中断;
```

**注:** 在启动时, 应手动触发数据现场写入和配置写入, 为第一次传输预装载 ADC 的数据和配置寄存器。这也会将它们的指针移动到下一个通道的配置和数据, 为初始 ADC 转换的完成做好准备。

## 4.6 系统运行——三通道

启动后, 系统会执行 ADC 转换、读取 ADC 的数据现场寄存器并将数据存储于 GPR 存储器中, 然后将 ADC 配置寄存器从闪存装入下一个 ADC 通道。然后, 系统会从 GPR 存储器中读取下一组数据, 并将这些数据写入 ADC 寄存器。此时, 系统将一直等待, 直到下一个 ADC 触发事件。此过程会持续进行, 直到所有通道都已转换。随后, DMA 会以连续循环方式计满返回并开始处理 ADC 输入通道, 直到 DMA 被禁止、ADC 被禁止或系统被置于休眠状态。

要访问转换数据, 用户只需读取现场数组内的相应存储单元。如有需要, 可以禁止 ADC 转换完成中断, 这样在转换完成时, ISR 便可以访问现场数组中的数据。

**注:** 由于在系统仲裁器中 ISR 的优先级低于 DMA, 因此 ADRES 寄存器中不再存在最新转换数据, 只能在现场数组存储器中访问这些数据。

此外, 也可以在现场数组存储器中访问阈值数据, 以响应阈值中断。

和上一个示例一样, 也可以在系统仲裁器中将中断设置为最高优先级。这将允许 ADC 转换完成和阈值中断直接访问 ADC 寄存器中的转换数据。中断完成后, DMA 会自动获取控制权并执行读取和写入现场函数。

**注:** 由于之前的设计中提到的相同时序问题仍然存在, 因此, 使用系统仲裁器将中断的优先级设置为高于 DMA 时, 仍然可能会由于 ISR 调用发生堆叠而导致 ADC 现场的读取和存储延迟完成。这可能使现场切换出现延迟, 进而导致下一次 ADC 触发在现场切换完成前启动, 因此要小心使用这种方法。

项目 Tripple\_DMA.x 中包含此示例的配置。要了解更多信息, 请参见器件数据手册中的示例和 ADC/DMA 外设配置信息。

## 5. 使用具有现场切换功能的 ADC 和单通道 DMA

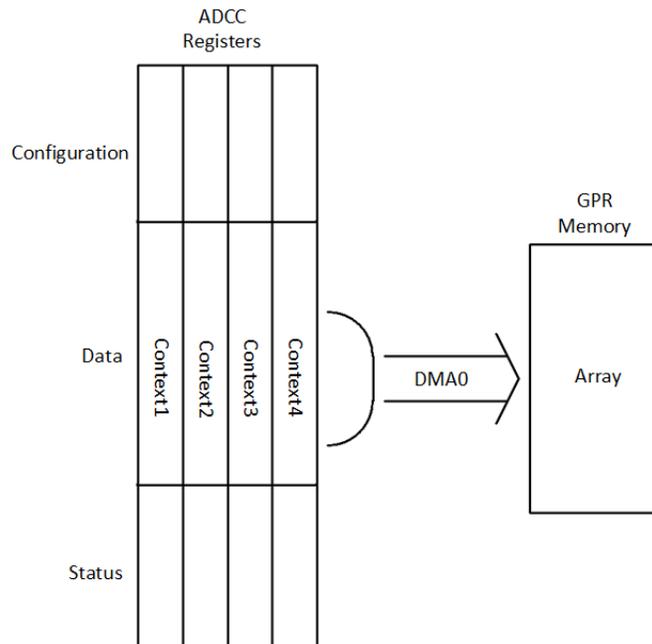
最后一个示例将单 DMA 通道与具有计算和现场切换功能的 ADC 相结合。DMA 现场定序器处理现场切换，DMA 外设将结果寄存器中生成的数据复制出来，随后将这些数据复制到外部数据存储器中。DMA 传输由指示转换或计算结束的 ADC 中断触发。

先为处理来自影子寄存器的 ADC 数据传输的 DMA 通道指定仲裁优先级（优先级 0），随后为系统中断和主代码指定优先级 1 和优先级 2。

此设计对 GPR 的要求最低，因为现场保护会处理配置交换，而 GPR 存储器仅用于保存转换结果。此设计中的每个通道仅需 2 到 9 个寄存器，具体取决于保存的数据量。请参见图 5-1。

随附的项目使用 PIC18F57Q84、Curiosity HPC 板和两个传感器 Click 板来演示此系统。两个传感器 Click 板包括一个环境光传感器 Click 板和一个紫外线传感器 Click 板。此外，还会对内部温度指示器进行采样。每个传感器板都有自己的 ADC 配置，ADC 现场定序器在传感器之间循环处理 ADC，为每个传感器换入和换出。TMR0 驱动 ADC 转换输入，ADC 完成中断触发 DMA 通道。DMA 将上一个数据复制出来，随后将其存储到 GPR 缓冲区以进行格式化并发送给主机。DMA 通道由 ADC 完成信号触发，仲裁器将最高优先级指定给 DMA 通道，第二优先级指定给中断功能，第三优先级指定给主代码。

图 5-1. 单 ADC 现场保护系统的数据流



读取 DMA 具有最高优先级，因此一旦被触发，它会以突发方式完成寄存器读取。完成后，中断服务程序和主函数代码会拥有最高优先级。这可确保读取在下次 ADC 触发前完成。

### 5.1 用例

具有 ADC 计算和现场切换功能的单 DMA 系统允许在采样系统工作时动态更改 ADC 配置。这样，系统便可按需更改 ADC 采样器系统的计算特性来响应系统更改。此外，由于现场切换基于对系统隐藏的寄存器，因此该系统比三 DMA 系统更稳健，但不如双 DMA 系统安全。单 DMA 系统也使用最少的 GPR 存储单元来存储 ADC 结果。

### 5.2 ADC 配置

要配置此系统，从 ADC 开始：

1. 确定各 ADC 通道的配置。
2. 创建程序以将配置值装入各通道的配置寄存器：
  - 包括 ADC 触发信号。

**注：**

1. ADCCON0 和 ADCCLK 寄存器通用于所有现场通道，因此所有配置的值都必须相同。
2. ADCTX 寄存器中的 CTXSW 位必须清零，以便将起始现场编号写入 ADCTX 寄存器。

### 5.3 DMA 通道读取配置

ADC 配置完成后，配置读取 DMA 通道：

1. 配置 GPR/SFR 存储器的源和 ADC 所需数据寄存器的起始地址。
2. 根据要读取的寄存器数配置源大小。
3. 将 DMAxCON1 寄存器中的 SSTP 位置 1 以在源计数器重载时终止 DMA。
4. 配置后递增的源。
5. 根据 GPR 输出数组变量的起始地址配置目标的起始地址。
6. 根据数组变量的大小配置目标大小。
7. 将 DMAxCON1 寄存器中的 DSTP 位清零。
8. 配置后递增的源。
9. 为 ADC 转换完成标志设置 DMA 触发源。
10. 配置系统仲裁器以将读取 DMA 指定为最高优先级（0）。

### 5.4 最终系统配置

最终系统配置如下：

1. 设置系统仲裁器，使 DMA1 级别为（0）。
2. 设置系统仲裁器，使中断级别为（1），主代码级别为（2）。
3. 设置系统仲裁器中的 PRLOCK 以避免意外修改系统优先级。请参见例 4-1 和例 4-2。
4. （在软件中）手动触发第一个 DMA 写入通道，为第一次转换预装载 ADC。
5. 启动提供 ADC 触发信号的外设。

### 5.5 系统运行——具有现场定序器的 ADC

启动后，系统会执行 ADC 转换、读取 ADC 结果寄存器并将数据存储在 GPR 存储器中。随后，ADC 会切换到下一个现场。此时，系统将一直等待，直到下一个 ADC 触发事件。此过程会持续进行，直到所有通道都已转换。之后，DMA 和 ADC 定序器会以连续循环方式计满返回并开始处理 ADC 输入通道，直到 DMA 被禁止、ADC 被禁止或系统被置于休眠状态。

要访问转换数据，用户可以读取输出数组内的相应存储单元。如有需要，可以禁止 ADC 转换完成中断，这样在转换完成时，ISR 便可以访问现场数组中的数据。

**注：** 由于在系统仲裁器中 ISR 的优先级低于 DMA，因此 ADRES 寄存器中不再存在最新转换数据，只能在现场数组存储器中访问这些数据。

此外，也可以在现场数组存储器中访问阈值数据，以响应阈值中断。另外，也可以在系统仲裁器中将中断设置为最高优先级。这将允许 ADC 转换完成和阈值中断直接访问 ADC 寄存器中的转换数据。中断完成后，DMA 会自动获取控制权并执行读取和写入现场功能。

**注：** 由于无法将 ADC 中断与其他系统中断区分开，因此，使用系统仲裁器将中断的优先级设置为高于 DMA 时，可能会由于 ISR 调用发生堆叠而导致 ADC 现场的读取和存储延迟完成。这可能会使现场切换出现延迟，进而导致下一次 ADC 触发在现场切换完成前启动，因此要小心使用这种方法。项目 SINGLE\_DMA.x 中包含此示例的配置。要了解更多设置信息，请参见器件数据手册中的示例和 ADC/DMA 外设置置信息。

## 6. 结论

本应用笔记旨在演示如何在多个输入通道上使用计算功能。可以通过切换各通道的配置和计算寄存器的现场来实现此目的。设计方法包括使用两个和三个 DMA 通道的系统，以及使用单 DMA 通道加上特殊版本 ADC 内置的现场切换和定序器的系统。每种设计方法都有各自的优缺点。

双 DMA 系统最容易配置，允许动态更改各通道的配置和计算。但是，这种系统需要相对较大的 GPR 存储块来存储配置和数据现场，并且其配置和数据存储没有任何保护。

由于配置数据存储存储在程序存储器中，因此三通道 DMA 系统更加稳健。这种系统使用三个 DMA 通道，但只需要较小的 GPR 存储块来存储状态和数据。

单通道 DMA 使用了具有计算和现场切换功能的 ADC，这不仅允许动态更改，还能够保护配置和数据存储器，同时使用最小的 GPR 存储器来保存结果。

有关三种现场切换方法的比较，请参见表 6-1。

**表 6-1. 现场切换方法**

设计解决方案	通道数	需要的 DMA 数	是否支持动态更改	稳健性	GPR 数据要求
双 DMA 系统	任意	2	是	中	高
三 DMA 系统	任意	3	否	高	低
具有计算和现场切换功能的 ADC	≤ 4 通道	1	否	高	零

根据系统的可靠性需求在这三种设计方法中选择一种，这样就能够在可靠性要求、外设组合和 GPR 存储器要求之间取得平衡。

**注：**并非所有 PIC18 器件都能提供每种系统所需的特定外设组合。

---

## Microchip 网站

---

Microchip 网站 ([www.microchip.com/](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。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](http://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](http://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 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规范。
- Microchip 确信：在正常使用的情况下，Microchip 系列产品非常安全。
- 目前，仍存在着用恶意、甚至是非法的方法来试图破坏代码保护功能的行为。我们确信，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。这种试图破坏代码保护功能的行为极可能侵犯 Microchip 的知识产权。
- 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

---

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。

本出版物中提供的信息仅仅是为方便您使用 Microchip 产品或使用这些产品来进行设计。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 “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、AnyRate、AVR、AVR 徽标、AVR Freaks、BesTime、BitCloud、chipKIT、chipKIT 徽标、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemi 徽标、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PackeTime、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、APT、ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、FlashTec、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、Libero、motorBench、mTouch、Powermite 3、Precision Edge、ProASIC、ProASIC Plus、ProASIC Plus 徽标、Quiet-Wire、SmartFusion、SyncWorld、Temux、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider、WinPath 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、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、Espresso T1S、EtherGREEN、IdealBridge、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Intelligent Paralleling、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、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、SMART-I.S.、storClad、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Switchtec、SynchroPHY、Total Endurance、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。

© 2021, Microchip Technology Incorporated 版权所有。

ISBN: 978-1-5224-6853-0

## 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](http://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
<b>公司总部</b> 2355 West Chandler Blvd. Chandler, AZ 85224-6199 电话: 480-792-7200 传真: 480-792-7277 技术支持: <a href="http://www.microchip.com/support">www.microchip.com/support</a> 网址: <a href="http://www.microchip.com">www.microchip.com</a>	<b>澳大利亚 - 悉尼</b> 电话: 61-2-9868-6733 <b>中国 - 北京</b> 电话: 86-10-8569-7000 <b>中国 - 成都</b> 电话: 86-28-8665-5511 <b>中国 - 重庆</b> 电话: 86-23-8980-9588 <b>中国 - 东莞</b> 电话: 86-769-8702-9880 <b>中国 - 广州</b> 电话: 86-20-8755-8029 <b>中国 - 杭州</b> 电话: 86-571-8792-8115 <b>中国 - 香港特别行政区</b> 电话: 852-2943-5100 <b>中国 - 南京</b> 电话: 86-25-8473-2460 <b>中国 - 青岛</b> 电话: 86-532-8502-7355 <b>中国 - 上海</b> 电话: 86-21-3326-8000 <b>中国 - 沈阳</b> 电话: 86-24-2334-2829 <b>中国 - 深圳</b> 电话: 86-755-8864-2200 <b>中国 - 苏州</b> 电话: 86-186-6233-1526 <b>中国 - 武汉</b> 电话: 86-27-5980-5300 <b>中国 - 西安</b> 电话: 86-29-8833-7252 <b>中国 - 厦门</b> 电话: 86-592-2388138 <b>中国 - 珠海</b> 电话: 86-756-3210040	<b>印度 - 班加罗尔</b> 电话: 91-80-3090-4444 <b>印度 - 新德里</b> 电话: 91-11-4160-8631 <b>印度 - 浦那</b> 电话: 91-20-4121-0141 <b>日本 - 大阪</b> 电话: 81-6-6152-7160 <b>日本 - 东京</b> 电话: 81-3-6880-3770 <b>韩国 - 大邱</b> 电话: 82-53-744-4301 <b>韩国 - 首尔</b> 电话: 82-2-554-7200 <b>马来西亚 - 吉隆坡</b> 电话: 60-3-7651-7906 <b>马来西亚 - 槟榔屿</b> 电话: 60-4-227-8870 <b>菲律宾 - 马尼拉</b> 电话: 63-2-634-9065 <b>新加坡</b> 电话: 65-6334-8870 <b>台湾地区 - 新竹</b> 电话: 886-3-577-8366 <b>台湾地区 - 高雄</b> 电话: 886-7-213-7830 <b>台湾地区 - 台北</b> 电话: 886-2-2508-8600 <b>泰国 - 曼谷</b> 电话: 66-2-694-1351 <b>越南 - 胡志明市</b> 电话: 84-28-5448-2100	<b>奥地利 - 韦尔斯</b> 电话: 43-7242-2244-39 传真: 43-7242-2244-393 <b>丹麦 - 哥本哈根</b> 电话: 45-4485-5910 传真: 45-4485-2829 <b>芬兰 - 埃斯波</b> 电话: 358-9-4520-820 <b>法国 - 巴黎</b> 电话: 33-1-69-53-63-20 传真: 33-1-69-30-90-79 <b>德国 - 加兴</b> 电话: 49-8931-9700 <b>德国 - 哈恩</b> 电话: 49-2129-3766400 <b>德国 - 海尔布隆</b> 电话: 49-7131-72400 <b>德国 - 卡尔斯鲁厄</b> 电话: 49-721-625370 <b>德国 - 慕尼黑</b> 电话: 49-89-627-144-0 传真: 49-89-627-144-44 <b>德国 - 罗森海姆</b> 电话: 49-8031-354-560 <b>以色列 - 若那那市</b> 电话: 972-9-744-7705 <b>意大利 - 米兰</b> 电话: 39-0331-742611 传真: 39-0331-466781 <b>意大利 - 帕多瓦</b> 电话: 39-049-7625286 <b>荷兰 - 德卢内市</b> 电话: 31-416-690399 传真: 31-416-690340 <b>挪威 - 特隆赫姆</b> 电话: 47-72884388 <b>波兰 - 华沙</b> 电话: 48-22-3325737 <b>罗马尼亚 - 布加勒斯特</b> 电话: 40-21-407-87-50 <b>西班牙 - 马德里</b> 电话: 34-91-708-08-90 传真: 34-91-708-08-91 <b>瑞典 - 哥德堡</b> 电话: 46-31-704-60-40 <b>瑞典 - 斯德哥尔摩</b> 电话: 46-8-5090-4654 <b>英国 - 沃金厄姆</b> 电话: 44-118-921-5800 传真: 44-118-921-5820
<b>亚特兰大</b> 德卢斯, 佐治亚州 电话: 678-957-9614 传真: 678-957-1455 <b>奥斯汀, 德克萨斯州</b> 电话: 512-257-3370 <b>波士顿</b> 韦斯特伯鲁, 马萨诸塞州 电话: 774-760-0087 传真: 774-760-0088 <b>芝加哥</b> 艾塔斯卡, 伊利诺伊州 电话: 630-285-0071 传真: 630-285-0075 <b>达拉斯</b> 阿迪森, 德克萨斯州 电话: 972-818-7423 传真: 972-818-2924 <b>底特律</b> 诺维, 密歇根州 电话: 248-848-4000 <b>休斯顿, 德克萨斯州</b> 电话: 281-894-5983 <b>印第安纳波利斯</b> 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 <b>洛杉矶</b> 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 <b>罗利, 北卡罗来纳州</b> 电话: 919-844-7510 <b>纽约, 纽约州</b> 电话: 631-435-6000 <b>圣何塞, 加利福尼亚州</b> 电话: 408-735-9110 电话: 408-436-4270 <b>加拿大 - 多伦多</b> 电话: 905-695-1980 传真: 905-695-2078			